

СИСТЕМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.3

В.С. Хандецький, Т.В. Пастушкін

ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЕФЕКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ЕЛМАНА

Вступ. Одним з найбільш простих і надійних методів виявлення наскрізних дефектів у непрозорих плівках, стрічках, металевій фользі є просвічування їх світлом з реєстрацією світлового потоку, що пройшов через дефект, з іншого боку стрічки. Цей метод достатньо легко автоматизувати, його можна застосовувати у виробничих умовах при неперервному русі стрічки.

Проте при необхідності визначення метричних характеристик дефекту виникають значні ускладнення. Вони пов'язані з тим, що внаслідок дифракції світла у наскрізному отворі (дефект суцільності) центральна, більш яскрава ділянка зображення оточена шарами, яскравість яких знижується при віддаленні від центру зображення. Зображення дефекту важко центрувати, геометричний центр плями з максимальною яскравістю часто зсунуто відносно центру елементарної комірки зображення, що реєструється. Крім того, зображення, як правило, спотворено шумами. Сучасні засоби реєстрації зображень дозволяють в якості елементарної комірки, використовувати дискретну площу 10x10 пікселів.

Аналогічні задачі виникають при використанні рентгенівського, радіохвильового та ультразвукового просвічування плоских дефектних виробів, при застосуванні вихорострумової та електропотенційної дефектоскопії [1,2].

Постановка задачі. Дану роботу присвячено дослідженню можливостей нейромережних технологій для відновлення зображень дефектів. В якості елементарної комірки, в межах якої фіксувалося зображення дефекту, використовувалась матриця розміром 10x10 клітин. Світлова пляма найбільшої яскравості щодо зображення дефекту моделювалася квадратом чорного кольору на цій матриці. Кількість градацій сірого кольору обмежено п'ятьма, від 4 до 1, де 1 відповідає білому кольору. Білий колір відповідає повній відсутності зображення дефекту, включаючи напівтіні в даних клітинах матриці.

Нейронна мережа Елмана[3,4] , що використовується нами для моделювання, містить один вхідний шар, один проміжний (схований) шар і один вихідний шар. Вхідні і вихідні шари мережі у відповідності з кількістю клітин в матриці містять по 100 елементів. Кількість нейронів в проміжному шарі дорівнює 401 [5].

Помилки ідентифікації зображень дефектів визначались аналогічно [5]. Для моделювання процесу ідентифікації використовувалась обчислювальна середа Matlab, розташована на комп'ютері наступної конфігурації : AMD Athlon (tm) XP 1800+ (1,53 GHz), 256 MB DDR.

Процес навчання здійснювався наступним чином. Спочатку на вхід мережі подавали визначену кількість “чистих” вхідних зображень, які створює розроблений генератор зображень. Цей генератор здійснював автоматичний зсув зображень в межах вхідної матриці, а також змінював розміри зображень дефектів. Після того, як мережа успішно закінчить навчання на цьому наборі згідно встановленим критеріям, на вхід мережі подається попередній набір адитивно спотворений білим гаусовським шумом заданої інтенсивності одночасно з набором неспотворених зображень. Після успішного закінчення навчання, набір “чистих” зображень спотворюється адитивним шумом ще більшої інтенсивності. На вхід мережі подаються усі три набори : набір “чистих” зображень і набори зображень, спотворені шумом меншої й більшої інтенсивності. І наприкінці, після успішного завершення навчання на вхід мережі знову подають повний набір “чистих” зображень, щоб уникнути явища перенавчання.

Основна частина. При дослідженні використовувались чотири значення інтенсивності шуму, які відповідають значенням відносної помилки $\gamma = 4,3\%; 7,9\%; 19,5\%; 34,7\%$. Приклад однієї вибірки з $\gamma = 34,7\%$ наведено нижче.

1	-1	1	0	-1	0	-1	0	1	0
0	1	-1	0	0	-1	0	1	0	1
1	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
-1	1	0	0	0	0	1	-1	-1	0
-1	0	0	0	1	1	0	0	-1	0
0	0	-1	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
-2	1	0	0	1	1	0	0	-2	-1
1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0
0	0	0	1	0	1	-1	0	0	1

Зображення дефектів, що моделювалися, були розбиті на окремі групи.

Початкове зображення першої групи має площу чорного квадрату 2×2 клітини. Таке зображення позначене як 1_0 . Цей квадрат обмежений шарами з послідовно спадаючою величиною градації сірого кольору : 4, 3, 2, 1 (1 – це білий колір , що характеризує повню відсутність зображення). Два додаткові дефектні зображення цього типу характеризуються тим, що у верхньому шарі чорного квадрату з градацією 5 одна з двох клітин замінена на клітину з градацією 4. Такі зображення позначені як 1_1 і 1_2 . Цільовий вектор являє собою чорний квадрат розмірами 2×2 клітини, положення якого співпадає з положенням початкового чорного квадрату.

Зображення другої групи представлені у вигляді чорного квадрату розміром 3×3 клітини (градація 5), що оточені шарами з послідовно спадаючою інтенсивністю (градацією) сірого кольору . Ширина кожного шару дорівнює однієї клітині. Таке зображення позначене як 2_0 . Друга, третя і четверта матриці відрізняються від першої тим, що у верхньому шарі чорного квадрату одна з трьох клітин, що мають градацію кольору 5, замінена клітиною з 4-ю градацією сірого кольору. Такі зображення позначені як $2_1, 2_2, 2_3$. Цільовий вектор для зображення другої групи представляє собою чорний квадрат розміром 3×3 клітини, оточений білим кольором (клітини з градацією 1), положення якого співпадає з положенням початкового чорного квадрату.

Дефектні зображення третьої групи відрізняються від зображень другої групи тим, що у верхньому шарі чорного квадрату дві клітини з трьох замінені клітинами з градацією 4. Ці зображення позначені як 3_1 і 3_2 . При цьому цільовий вектор представляє собою прямокутник чорного кольору розміром 2×3 клітини, який співпадає з двома нижчими шарами чорного квадрату початкового зображення.

Початкове зображення четвертої групи має площу чорного квадрату 5×5 клітин. Цей квадрат, як і у попередніх випадках, оточений шарами сірого кольору з послідовно спадаючою величиною градації. П'ять дефектних зображень четвертої групи характеризуються тим, що у верхньому шарі чорного квадрату, який складається з 5 клітин, спочатку одна крайня зліва і одна крайня справа клітини замінені на клітини з градацією 4 (зображення 4_1 та 4_2), потім така ж заміна здійснена для двох сусідніх зліва і двох сусідніх справа клітин (зображення 4_3 та 4_4) і наприкінці – для

центральної у верхньому ряді клітини (зображення 4₅). Цільовий вектор для зображення четвертої групи представляє собою чорний квадрат розміром 5х5 клітин, оточений білим кольором (клітини з градацією 1), положення якого співпадає з положенням початкового чорного квадрату.

Чотири дефектних зображення п'ятої групи характеризуються тим, що у верхньому шарі чорного квадрату розміром 5х5 клітин спочатку зліва, а потім справа по чотири чорні клітини замінені сірими з градацією 4 (зображення 5₁ та 5₂), а потім те ж зроблене для трьох чорних клітин (зображення 5₃ та 5₄).

Площі усіх описаних видів зображень з відповідними цільовими векторами зібрані у таблиці 1.

Перший тестовий набір оберемо таким, що складається з множини вхідних векторів, які містять зображення типу 1, причому, координати лівого кутка цього кластеру будемо переміщувати вздовж клітин матриці з координатами $x = 1..9$, $y = 1..9$, таким чином перший вхідний набір буде містити 81 зразок для навчання. Мережа повинна завершити навчання по досягненню квадратичної помилки $SSE=0,16$, тобто відхилення вихідного зображення від зразкового не повинно перевищувати зміни однієї клітини на одну градацію.

Таблиця 1

Група і підгрупа зображення дефекту																		
1			2				3		4						5			
1 ₀	1 ₁	1 ₂	2 ₀	2 ₁	2 ₂	2 ₃	3 ₁	3 ₂	4 ₀	4 ₁	4 ₂	4 ₃	4 ₄	4 ₅	5 ₁	5 ₂	5 ₃	5 ₄
4	3	3	9	8	8	8	7	7	25	24	23	23	24	21	21	22	22	
2x2			3x3				2x3		5x5						4x5			
Цільовий вектор																		

Процес навчання мережі описано нижче.

На вхід ненавченої мережі подано 81 “чистий” зразок типу 1₀

На навчання без шуму витрачене 133.48 секунд. На вхід попередньо навченої мережі подано 81 “чистий” зразок типу 1₀, до яких додали 81 такий же зразок адитивно викривлений шумом з $\gamma=7,9\%$ (10 клітин матриці змінюють колір на 1 градацію сірого), до яких додали 81 зразок викривлений шумом з $\gamma=34,7\%$ (40 клітин матриці змінюють колір на 1 градацію сірого і 2 клітини на 2 градації). Таким чином за одну епоху обробляється вже 243 зразки.

Мережа повинна завершити навчання по досягненню квадратичної помилки $SSE = 1$, тобто відхилення вихідного

зображення від зразкового становить зміну однієї клітини на одну градацію. На навчання з шумом витрачене 11.09 секунд. Як видно вже навчена мережа змогла обробити викривлені зображення всього за 9 епох.

Тестування мережі з використанням адитивно викривлених шумом зразків 1_0 показало, що помилка розпізнавання практично не перевищує 2%.

На наступному кроці необхідно перевірити чи здібна мережа розпізнавати трансформовані зображення 1_1 і 1_2 . Тестовий набір для навчання нейронної мережі оберемо таким, що складається з множини вхідних векторів, які містять зображення типу $1, 1_1, 1_2$, причому координати лівого кутка кластерів будемо переміщувати вздовж клітин поля з координатами $x = 1..9, y = 1..9$. Таким чином другий вхідний набір буде містити 243 зразки для навчання. На навчання без шуму витрачене 385.38 секунд. Далі, на вхід попередньо навченої мережі подано 243 “чисті” зразки типу $1_0, 1_1, 1_2$, до яких додали 243 таких же зразків викривлених шумом з множником $\gamma=7,9\%$, до яких додали 243 зразки, що викривлені шумом з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється вже 729 зразків.

На навчання із шумом витрачене 71.98 секунд. Як видно вже навчена мережа навчилася обробляти спотворені зображення всього за 25 епох.

Тестування мережі з використанням адитивно викривлених шумом зразків $1_0, 1_1, 1_2$, показало, що помилка розпізнавання не перевищує 1,5 %.

Наступний тестовий набір для навчання нейронної мережі оберемо таким, що складається з множини вхідних векторів які містять зображення типу 2_0 , причому, координати центру цього кластеру будемо переміщувати вздовж усіх клітин поля, таким чином перший вхідний набір буде містити 100 зразків для навчання. Процес навчання здійснювався наступним чином.

На вхід ненавченої мережі подано 100 “чистих” зразків типу 2_0 . На навчання без шуму витрачене 338.67 секунд. На вхід попередньо навченої мережі подано 100 “чистих” зразків типу 2_0 , до яких додали 100 таких же зразків адитивно викривлених шумом з $\gamma=7,9\%$, до яких додали 100 зразків викривлених шумом з $\gamma=34,7\%$. Таким

чином за одну епоху обробляється 300 зразків. На навчання з шумом витрачене 21.63 секунд. Як видно вже навчена мережа може обробляти спотворені зображення всього за 15 епох.

Тестування мережі показало, що значення середньої по усій матриці помилки розпізнавання для максимального значення шуму (34,7%) практично не перевищує 2,5 %.

Другий тестовий набір для навчання нейронної мережі оберемо таким, що складається з множини вхідних векторів які містять зображення типу 2_0-2_3 , причому, координати центру кластерів будемо переміщувати вздовж усіх клітин матриці. Таким чином другий вхідний набір буде містити 400 зразків для навчання. На навчання без шуму з використанням “чистих” зразків витрачене 1031.13 секунд.

Далі на вхід попередньо навченої мережі подано 400 “чистих” зразків типу 2_0-2_3 , до яких додали 400 таких же зразків викривлених шумом з $\gamma=7,9\%$, до яких додали 400 зразків викривлених шумом з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється 1200 зразків. На навчання із шумом витрачене 103.61 секунд. Як видно вже навчена мережа може обробляти викривлені зображення за 20 епох.

Наступний набір для навчання нейронної мережі оберемо таким, що складається з множини вхідних векторів, які містять зображення типу 2_0-2_3 , $3_1, 3_2$. Центр кластеру будемо переміщувати вздовж клітин з координатами $x = 3-8$, $y = 3-8$. На навчання без шуму витрачене 686.13 секунд.

Далі на вхід попередньо навченої мережі подано 216 “чистих” зразків типу 2_0-2_3 , $3_1, 3_2$, до яких додали 216 таких же зразків викривлених шумом з $\gamma=7,9\%$, до яких додали 216 зразків викривлених шумом з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється вже 648 зразків. На навчання із шумом витрачене 1020.9 секунд. Як видно навчена мережа навчилась обробляти спотворені зображення за 406 епох.

Тестування мережі показало, що значення середньої помилки розпізнавання для максимального значення шуму (34,7%) приблизно складає 8 %.

Наступний навчальний набір узагальнює усі попередні зразки, тобто містить зображення груп 1-3 з усіма підгрупами. Центри кластерів зображень будемо переміщувати в тих же діапазонах

координат, що і раніше. Загальна кількість зразків складає 459. На навчання без шуму витрачено 1207,83 сек.

До цих зразків додали 459 таких же зразків викривлених шумом з $\gamma=7,9\%$, і 459 зразків викривлених шумом з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється 1377 зразків. При цьому на навчання з шумом витрачено 6264,16 сек., тобто 1249 епох. Середня помилка при тестуванні у цьому випадку приблизно дорівнює 6%.

Для перевірки здібності мережі узагальнювати вхідні дані, подамо на її вхід усі попередні зображення типів 1-3, але центри координат кластерів будемо переміщувати по усіх, без виключення, координатах матриці, тобто $x=1\ldots 10$, $y=1\ldots 10$. Одержані дані свідчать, що у цьому випадку мережа робить помилки у розпізнаванні навіть не викривлених зображень. Це пов'язано з викривленнями форми зображень в граничних шарах матриці. Більш детальний аналіз показує наприклад, що включення в загальній набір зразків з величиною дефекту 2×2 істотно зменшує помилки розпізнавання.

Збільшимо розміри зображення дефекту. Створимо навчальний набір з зображення 4_0 , координати центру якого будемо переміщувати уздовж усіх клітин поля : $x=1\ldots 10$, $y=1\ldots 10$ (100 зразків для навчання). На навчання без шуму витрачено 144,88 сек. До цих зразків додали такі ж зразки викривлені шумом з $\gamma=7,9\%$ і з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється 300 зразків. При цьому на навчання з шумом витрачено 42,33 сек (31 епоха). Середня помилка при тестуванні – 1,5%.

Створимо навчальний набір з зображень 4_0-4_5 аналогічно попередньому (600 зразків). На навчання без шуму витрачено 2396,17 сек. Середня помилка при тестуванні – 1,5%. Далі до цих зразків додали такі ж зразки викривлені шумом з $\gamma=7,9\%$ і з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється 1800 зразків. При цьому на навчання з шумом витрачено 147,78 сек (19 епоха). Середня помилка при тестуванні – 0,7%.

Додамо до попередньо досліджених зображень 4_0-4_5 зображення 5_1-5_4 . Координати центру кластерів будемо переміщувати вздовж клітин поля з координатами $x=3\ldots 8$, $y=3\ldots 8$, таким чином цей набір для навчання буде містити 360 зразків. При цьому на навчання без шуму витрачено 1569,92 сек.

До цих зразків додали такі ж зразки викривлені шумом з $\gamma=7,9\%$ і з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється 1080 зразків. При цьому на навчання з шумом витрачено 2477,36 сек (623 епохи). Середня помилка при тестуванні – 7%.

Одержані результати. Заключний тестовий набір створимо з зображень усіх груп 1-5 з відповідними підгрупами. Координати центру кластерів будемо переміщувати у відповідності з алгоритмами, що описані вище. Загальна кількість “чистих” зразків таким чином складає 819. На навчання без шуму витрачено 3016,75 сек. До цих зразків додали такі ж зразки викривлені шумом з $\gamma=7,9\%$ і з $\gamma=34,7\%$. Таким чином за одну епоху обробляється вже 2457 зразків. При цьому на навчання з шумом витрачено 13895,25 сек (1493 епохи). Середня помилка при тестуванні – приблизно 8%.

На закінчення цієї статті відзначимо деякі особливості роботи нейронної мережі.

Мережа найкраще розпізнає зображення, що розташовані в центральній частині матриці. З віддаленням від центру помилка роботи мережі зростає. Особливо значні помилки спостерігаються, коли зображення розташоване у граничних шарах матриці і частина зображення “зрізується” її краями.

Якщо дане зображення є таким, що не входить в набір навчальних зображень (викривлене шумом), мережа намагається пристосувати вихід до меншого з відповідних навчальних зображень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Под ред. В.В.Клюева.- М.: Машиностроение, 1986 – 351 с.
2. Шарп Р. Методы неразрушающих испытаний.- М.: Мир, 1972 – 494 с.
3. Khandetsky V., Antonyok I. Signal processing in defect detection using back-propagation neural networks.- NDT&E International, 35, 2002, pp. 483-488.
4. Elman I.L. Finding structure in time. – Cognitive Science, vol. 14, 1990, pp. 179-211.
5. Ханецький В.С., Канаков Є.В., Пастушкін Т.В. Розпізнавання викривлених зображень дефектів при зміні їх форми й розташування за допомогою нейронних мереж.-Системні технології, 2 (49) 2007, с.33-30.

Получено 22.11.2007 г.

ЕКСПРЕС-КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПУ ДЕФЕКТІВ ЗА ДЕЛЬТА- МОДУЛЬОВАНИМИ СИГНАЛАМИ ВИХОРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

Вступ. Діаметром зони електромагнітного зондування обмежена просторова база сигналів, сформованих при скануванні об’єкту. Крім того, амплітуда імпульсів вихорострумової дефектоскопії визначається у кожній точці абсциси проекцією дефекту суцільності на площину, перпендикулярну напрямку вихорових струмів. Тому інтегральною інформативною характеристикою таких сигналів є їх площа, у разі перевищення якою критичного значення дефекти класифікуються як бракувальні [1, 2].

Постановка задачі. За виглядом ДМ-огиноючої треба оперативно оцінити площу відповідного ІКМ-імпульсу, породженого дефектом, з метою його експрес-класифікації.

Основна частина. Плавна зміна огиноючої аналогових імпульсів вихорострумової дефектоскопії від максимально-амплітудних унімодальних (коли дефекти перебільшують зону контролю за розмірами) до положистих бімодальних із найбільшим провалом вершини (точкові дефекти) моделюється за допомогою виразу [3]:

$$y(x) = (2^n - 1) \cdot [\exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2)] \quad (1)$$

де параметр k змінюється у діапазоні від 0 до 1.

Площі таких ІКМ-сигналів пропонується використовувати в якості оцінок для відповідних класів модельних сигналів, визначених згідно із розмірами відповідних дефектів суцільності, виділяючи серед останніх так звані *бракувальні, потенційно-загрозливі і несуттєві*.

Площа модельного імпульсу вихорострумового перетворювача (ВСП) обчислюється шляхом інтегрування виразу (1) за абсцисою від $-\infty$ до $+\infty$:

$$Q = (2^n - 1) \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} k\right), \quad (2)$$

де Q вимірюється у квадратних відносних одиницях довжини, приведеної до еквівалентного діаметру котушки ВСП, а множник $(2^n - 1)$ – це максимальне значення сигналу n -розрядного АЦП.

Графік залежності (2) площі Q від значення параметра k (рис. 1) пропонується використовувати для класифікації дефектів суцільності за відповідною площею імпульсів ВСП.

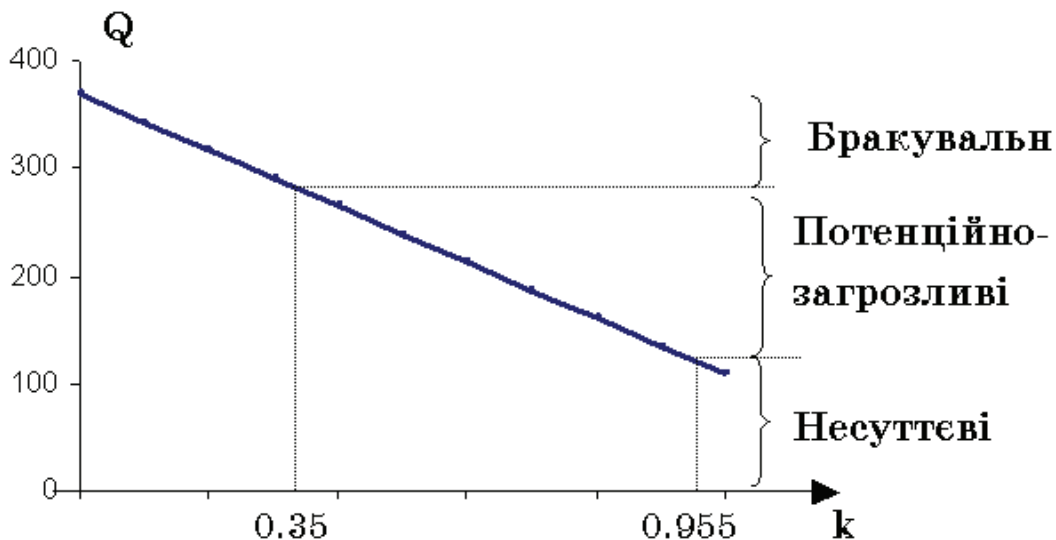


Рисунок 1 - Класифікація дефектів суцільності

Параметри ВСП обираються таким чином, щоб його зона контролю перетиналась повністю типовими бракувальними дефектами, а коефіцієнт підсилення масштабувального підсилювача забезпечував повне використання всього динамічного діапазону $[0, 2^n - 1]$ застосованого n -розрядного АЦП; тоді варіація площі ($\sim 25\%$ від максимального значення) імпульсу ВСП досягається при його повній або частковій взаємодії із бракувальними дефектами (рис.1). З іншого боку, площа імпульсу повинна бути достатньою ($\sim 35\%$) (рис. 1) для впевненої реєстрації несуттєвих дефектів, зокрема, точкових, з метою подальшого відстеження їх можливого зростання. Найширший діапазон варіації площі ($\sim 40\%$) імпульсу необхідно виділяти потенційно-загрозливим дефектам (рис. 1), які при відповідних умовах набудуть бракувальних розмірів найближчим часом.

При обчисленні зазначеної площі у якості початкової величини використовується попередньо відкоригована дельта-модульована(ДМ)-огиначаюча ІКМ-імпульсу.

При обробці ІКМ-сигналів із стрімкими наростанням фронтів і убутанням зрізів, з метою коректного залучення ДМ, доцільно попередньо використовувати адаптивно-різницеву модуляцію:

$$X_i = S_i - \alpha S_{i-1}, (i=0, 1, \dots, N-1) \quad (3)$$

де $(S_0, S_1, \dots, S_{N-1})$ – дискрети первинного ІКМ-сигналу, N – натуральне число ($N \geq 2$), а $(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$ – послідовність отриманих слів АРІКМ-коду.

В якості коефіцієнта лінійного прогнозування α слід використовувати “золотий перетин” $\alpha = \varpi = (1 + \sqrt{5})/2 \approx 1.618\dots$ або його зворотну величину $\alpha = \varpi^{-1} = \varpi - 1 \approx 0.618\dots$, що забезпечує найбільше відношення потужностей сигналу й білого гауссового шуму[4].

Матрична форма подання виразів (3) породжує сімейство прямих лінійних дискретних адаптивно-модулюючих перетворень (АМП)[5].

З метою забезпечення дельта-модуляції модифікацію прямого АМП пропонується здійснювати шляхом залучення щодо всіх компонент результуючого вектора $[X_1, X_2, \dots, X_{N-1}]$ додаткової операції фіксації знаку:

$$x_i = [X_i] = [S_i - \alpha S_{i-1}], (i=0, 1, \dots, N-1) \quad (4)$$

де $[X_i]$ – знак операції фіксації знаку X_i .

Твердження. Для кожної з 2^N бінарних послідовностей довжини N ($N=2, 3, \dots$), що складаються з ‘ ± 1 ’, можна побудувати дискретну функцію $\{\hat{S}_i\}$, для якої кожна компонента ДМ-подання обчислюється за допомогою (4) із похибкою, меншою одиниці наймолодшого двійкового розряду.

Припускаючи, що $\hat{S}_0 = 0$, $\hat{S}_1 = F_{b+3} - 1$, де F_b – число Фібоначчі з номером b ($b=0, 1, 2, \dots$), підбираємо подальші значення такої функції таким чином, щоб кожного разу виконувалась рівність (4).

Мінімально можлива похибка отриманого ДМ-подання обумовлена тим, що сусідніми значеннями конструйованих функцій являються послідовні числа Фібоначчі, зменшенні на ‘1’ чи на ‘2’. При цьому завжди формується результат, менший одиниці за абсолютною величиною, котрий потім замінюється на ‘ ± 1 ’ в залежності від знака.

За допомогою комп’ютерного моделювання встановлено, що оптимальний крок дискретизації складає $\Delta \approx 0.15$ відносних одиниць довжини. Тоді при $n=8$ для всієї множини аналогових сигналів (1)

існує лише чотири ДМ-подання огибаючих, наведених в табл. 1, де також вказані діапазони відповідних значень параметра k .

Відновлення ІКМ-сигналів виконується за допомогою зворотного АМП[5]. Його модифікація досягається завдяки залученню операцій округлення до найближчого цілого знизу при $x_{i-1} \geq 0$ (чи найближчого цілого зверху при $x_{i-1} < 0$) і точно відновлює сконструйовані ІКМ-сигнали:

$$S_i = \begin{cases} x_i + \langle \varpi \cdot S_{i-1} \rangle, & \text{якщо } x_{i-1} \geq 0 \\ x_i + \{\varpi^{-1} \cdot S_{i-1}\}, & \text{якщо } x_{i-1} < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

де $\langle \rangle$ і $\{ \}$ – знаки операції округлення.

Таблиця 1

ДМ-подання модельних сигналів вихорострумового контролю

x	k=0ч0.35	k=0.355ч0.954	k=0.955ч0.977	k=0.978ч1
-2.1	1	1	1	1
-1.95	1	1	1	1
-1.8	1	1	1	1
-1.65	1	1	1	1
-1.5	1	1	1	1
-1.35	1	1	1	1
-1.2	1	1	1	1
-1.05	1	-1	-1	-1
-0.9	-1	1	1	1
-0.75	1	-1	-1	-1
-0.6	-1	1	1	1
-0.45	1	-1	-1	-1
-0.3	-1	1	1	-1
-0.15	1	-1	-1	-1
0	-1	1	-1	-1
0.15	1	-1	1	1
0.3	-1	1	1	1
0.45	1	-1	-1	1
0.6	-1	1	1	-1
0.75	1	-1	-1	1
0.9	-1	1	1	-1
1.05	1	-1	-1	1
1.2	-1	1	1	-1
1.35	-1	-1	-1	-1
1.5	-1	-1	-1	-1
1.65	-1	-1	-1	-1
1.8	-1	-1	-1	-1
1.95	-1	-1	-1	-1
2.1	-1	-1	-1	-1

Кожному ДМ-поданню можна поставити у відповідність декілька точно відновлюваних ІКМ-зображень, які відрізняються значеннями параметра b ($b=0, 1, 2, \dots$). У табл. 2 приведені ІКМ-зображення, сконструйовані для ДМ-подань огибаючих із табл. 1, причому для

ДМ₂ використовуються два точно відновлюваних ІКМ-зображення $\hat{S}_2^0$ при $b=0$ і $\hat{S}_2^1$ при $b=1$; для кожного ІКМ-зображення наведена також сума його дискрет, яка є мірою площі у разі фіксованого шагу дискретизації.

Таблиця 2

Точно відновлювані ІКМ-зображення ДМ-подань сигналів

x	ДМ ₁	$\hat{S}_1^1$	ДМ ₂	$\hat{S}_2^0$	$\hat{S}_2^1$	ДМ ₃	$\hat{S}_3^0$	ДМ ₄	$\hat{S}_4^0$
-2.1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
-1.95	1	4	1	2	4	1	2	1	2
-1.8	1	7	1	4	7	1	4	1	4
-1.65	1	12	1	7	12	1	7	1	7
-1.5	1	20	1	12	20	1	12	1	12
-1.35	1	33	1	20	33	1	20	1	20
-1.2	1	54	1	33	54	1	33	1	33
-1.05	1	88	□1	53	87	-1	53	-1	53
-0.9	-1	142	1	33	54	1	33	1	33
-0.75	1	88	□1	53	87	-1	53	-1	53
-0.6	-1	142	1	33	54	1	33	1	33
-0.45	1	88	-1	53	87	-1	53	-1	53
-0.3	-1	142	1	33	54	1	33	-1	32
-0.15	1	88	-1	53	87	-1	53	-1	19
0	-1	142	1	33	54	-1	32	-1	11
0.15	1	88	-1	53	87	1	20	1	6
0.3	-1	142	1	33	54	1	33	1	12
0.45	1	88	-1	53	87	-1	53	1	20
0.6	-1	142	1	33	54	1	33	-1	33
0.75	1	88	-1	53	87	-1	53	1	20
0.9	-1	142	1	33	54	1	33	-1	33
1.05	1	88	-1	53	87	-1	53	1	20
1.2	-1	142	1	33	54	1	33	-1	33
1.35	-1	87	-1	53	87	-1	53	-1	19
1.5	-1	53	-1	32	53	-1	32	-1	11
1.65	-1	32	-1	19	32	-1	19	-1	6
1.8	-1	19	-1	11	19	-1	11	-1	3
1.95	-1	11	-1	6	11	-1	6	-1	1
2.1	-1	6	-1	3	6	-1	3	-1	0
Сума дискрет		2180	–	891	1468	–	857	–	583

Площі таких ІКМ-сигналів пропонується використовувати в якості оцінок для відповідних класів сигналів, сформованих у результаті взаємодії з дефектами суцільності:

бракувальними при $k=0 \div 0.35$ за допомогою точно відновленого ІКМ-подання з параметром $b=1$ огинаючої ДМ₁ (рис 2);

потенційно-загрозливими при $k=0.355 \div 0.954$ із залученням двох точно відновлених ІКМ-зображень ($b=0$ і $b=1$) бінарної огинаючої ДМ₂;

несуттєвими при $k=0.955\text{ч}0.977$ за допомогою точно відновлених ІКМ-подань огинаючої ДМ₃.

На рис. 2 наведено приклад ДМ-подання та його точно відновлюване ІКМ-зображення сигналів для бракувальних дефектів. Двома жирними штрих-пунктирними лініями обмежено зверху і знизу розглядуваний клас модельних сигналів, котрі володіють тотожним ДМ-поданням; для кожної лінії вказано відповідне значення параметра k . Жирною суцільною лінією виділяється модельний сигнал, площа (2) якого дорівнює площі

$$Q = \Delta \sum \quad (6)$$

(де $\sum$ – відповідна сума дискрет, наведених в останньому рядку табл. 2) використаного точно відновлюваного ІКМ-сигналу, котрий подається множиною рівновіддалених за абсцисою точок, поєднаних штриховою лінією.

Прирівнюючи вирази (2) і (6) для зазначених площ, отримуємо відповідні значення k , наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення параметра k модельних сигналів, рівновеликих точно відновлюваним ІКМ-зображенням

ДМ ₁	ДМ ₂		ДМ ₃
$\hat{S}_1^1$	$\hat{S}_2^0$	$\hat{S}_2^1$	$\hat{S}_3^0$
0.161	0.570	0.902	0,922

Висновки. У разі кроку дискретизації $\Delta \approx 0.15$, підбраного шляхом комп’ютерного моделювання з метою покращення якості відновлення, множина всіх модельних сигналів контролю володіє обмеженим числом ДМ-подань (зокрема, у разі 8-розрядного АЦП лише чотирма). Такі ДМ-подання використані у якості ознак при розпізнаванні сигналів від класів дефектів: бракувальних, потенційно-загрозливих і несуттєвих. Площі відповідних сигналів із похибками: 8,58%, 3,20% і 5,07%, 6,80% задовольняють площам залучених точно відновлюваних ІКМ-сигналів.

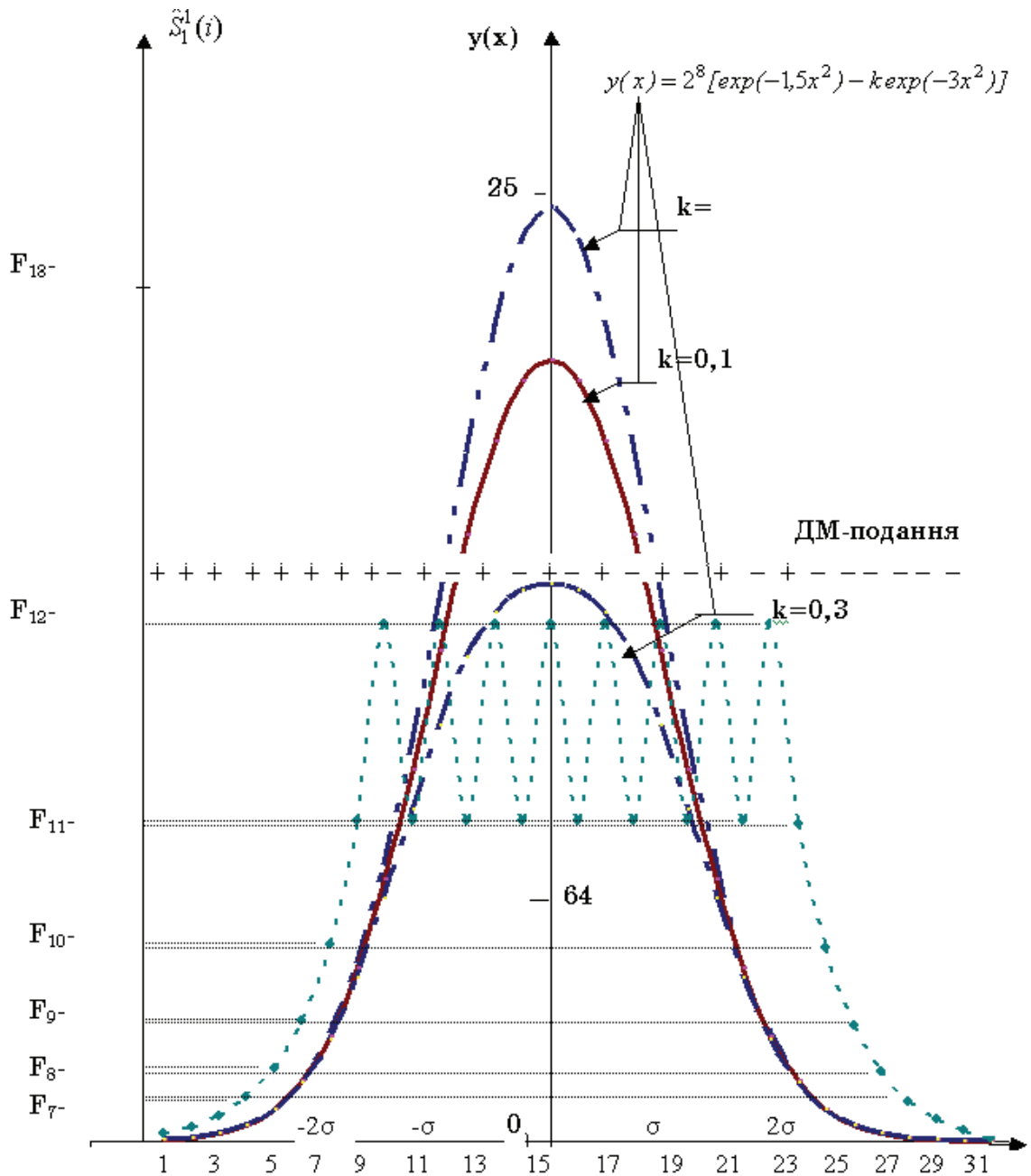


Рисунок 2 - ДМ-подання та його точно відновлене ІКМ-зображення (точки, поєднані пунктиром) сигналів бракувальних дефектів (обмежені штрих-пунктиром) при $k=0.35$: жирна суцільна лінія – сигнал, рівновеликий ІКМ-зображенню

ЛІТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль и диагностика/ Под ред. В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 2003. -656с.
2. Дорофеев А.Л., Казамапов Ю.Г. Электромагнитная дефектоскопия. - М.: Машиностроение, 1980. -232 с.
3. Ханецкий В.С., Герасимов В.В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний //Вестник ДНУ. - 2003. - № 10. С. 24-28

4. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.
5. Пащенко В.А., Матвеева Н.А. Семейство адаптивно-модулирующих дискретных преобразований реального времени //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(42). – Дніпропетровськ, 2006,С. 12-23.

Получено 20.02.2008 г.

УДК 621.396.96

О.О.Дробахин, А.В.Доронин, Д.Ю.Салтыков

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ
КАЛИБРОВКИ ДЕТЕКТОРОВ В ТРЕХЗОНДОВОМ
ВОЛНОВОДНОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ КОМПЛЕКСНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ**

Введение. Применение волн СВЧ диапазона для бесконтактных измерений в свободном пространстве требует использования волноводной техники. Наиболее полная информация об объекте при одностороннем доступе содержится в комплексном коэффициенте отражения (КО). Современные измерители КО базируются на концепции 12-полюсного преобразователя на основе мостов [1], что при использовании волноводных элементов приводит к достаточно громоздким конструкциям. В этом отношении зондовые волноводные секции имеют существенные преимущества. По сути, традиционная 4-х зондовая секция представляет собой 12-полюсный преобразователь. Для целей измерения комплексного КО достаточно использовать 3-х зондовую измерительную секцию [2]. Для получения искомого значения КО решается система квадратных уравнений, которые графически представимы в виде двух окружностей. В классических работах решение находили графически на диаграмме Вольперта-Смита [2], в настоящее время, естественно, применяются компьютерные технологии. Все указанные измерительные устройства могут быть рассмотрены с единых позиций голографии с тремя опорными сигналами [3,4]. Эффективность работы указанного класса измерителей зависит от эффективности проведения калибровки

Постановка задачи. Целью данной работы является построение на основе данных реального эксперимента математической модели выхода детектора с применением нейросетевых технологий [5] для обеспечения калибровки диодных датчиков мощности, т.е. обеспечения максимально строгого выполнения квадратичности характеристик.

Построение математической модели измерителя. Рассмотрим случай, когда зонды с детекторами расположены в волноводе

эквидистантно на расстоянии $\Lambda/8$ друг от друга (Λ – длина волны в волноводе), причем детекторы имеют квадратичные характеристики. Выходной сигнал, полученный с детекторов, в этом случае будет иметь вид:

$$P_m = k_m \left| \exp\left(-j \frac{2\pi}{\Lambda} \frac{\Lambda}{8} (m-1)\right) + \dot{\Gamma} \exp\left(j \frac{2\pi}{\Lambda} \frac{\Lambda}{8} (m-1)\right) \right|^2, \quad (1)$$

где $m=1,2,3$. При этом сигналы $\exp\left(-j \frac{2\pi}{\Lambda} \frac{\Lambda}{8} (m-1)\right)$ имеют смысл опорных, а сигналы $\dot{\Gamma} \exp\left(j \frac{2\pi}{\Lambda} \frac{\Lambda}{8} (m-1)\right)$ содержат информацию об исследуемом комплексном коэффициенте отражения $\dot{\Gamma} = \Gamma' + j\Gamma''$. Коэффициенты пропорциональности k_m для каждого из детекторов устраняются из окончательных выражений путем деления результатов измерений (1) на результат измерений в режиме бегущей волны, то есть при согласованной нагрузке. Таким образом, имеем систему трех нормированных величин:

$$p_1 = |1 + \dot{\Gamma}|^2; p_2 = \left| e^{-j\frac{\pi}{2}} + \dot{\Gamma} \right|^2; p_3 = \left| e^{-j\pi} + \dot{\Gamma} \right|^2. \quad (2)$$

Далее согласно методу голографии с тремя опорными сигналами [3] необходимо сформировать величины $p_1 - p_2$ и $p_1 - p_3$, при этом процедура вычитания сигнала при согласованной нагрузке из каждого из P_m может быть опущена. В результате получим систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Gamma' \\ \Gamma'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 - p_2 \\ p_1 - p_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Число обусловленности данной системы в метриках l_1, l_2 , эвклидовой и чебышевской равно 3, 2,618, 3, 3, для сравнения число обусловленности для 4-х зондового измерителя равно 1, 2, 1, 1. Следует отметить, что число обусловленности не зависит от значений коэффициента отражения, в то время как решение системы квадратных уравнений классическим методом приобретает большие погрешности при коэффициенте отражения, приближающемся к единице. Решение системы (3) может быть записано в явном виде:

$$\Gamma' = 0.25(p_1 - p_3); \quad \Gamma'' = 0.25(p_1 - 2p_2 + p_3) \quad (4)$$

Интересно отметить, что первое выражение в (4) пропорционально первой разности, а второе – второй разности нормированных значений детекторов.

Синтез нейронной сети. Была создана математическая модель трехслойной нейронной сети с обратной связью [5]. Первый слой имел 1 нейрон, что определялось входным отсчетом диодного датчика мощности для конкретного положения x зонда в измерительной линии. Третий слой имел 1 нейрон, что соответствовало выходному значению нормированной величины $100\sin^2(2\pi x/\Lambda)$, где Λ – длина волны в волноводе измерительной линии. Первый и второй слои (входной и скрытый) нейронной сети имели сигмоидальную функцию (S – функция) активации слоёв нейронов, третий (выходной) слой – линейную.

Была проведена серия тренировок математической модели нейронной сети с применением ряда алгоритмов (Левенберга - Маркварда, сопряженных градиентов, Флетчера - Пауэлла, классический алгоритм обратного распространения, алгоритм обратного распространения ошибки с использованием метода секущих, алгоритм масштабируемых сопряженных градиентов, алгоритм Полака - Рибера) и различным числом нейронов во внутреннем слое (от 8 до 12 с шагом 1, и от 10 до 80 с шагом 10). Следует отметить, что для каждого выбранного числа нейронов во внутреннем слое было предпринято, по крайней мере, 3 попытки подбора весов. Качество сформированной сети проверялось путем предъявления набора входных данных.

Наилучшие результаты показала модель нейронной сети, имеющая 10 нейронов в скрытом слое, при этом был использован алгоритм масштабируемых сопряженных градиентов. Следует отметить, что число нейронов в скрытом слое превышало расчетные значения. Линейная модель нейронной сети, также не показала хороших результатов, несмотря на явный линейный характер связи зависимости входных данных и целевого вектора нормированных данных. Точность обучения составляла 10^{-4} .

Результаты реального эксперимента. Реальные измерения были проведены для подвижного короткозамыкающего поршня (идеальное значение модуля коэффициента отражения 1,0) при его смещении от

первоначального положения с шагом 5 мм. Изменение модуля коэффициента отражения было обеспечено использованием аттенюатора, включенного между короткозамыкающим поршнем и измерительной секцией. Данные измерений для случая проведения калибровки и в ее отсутствие приведены в таблице 1. Применение нейронных сетей для калибровки демонстрирует существенное превосходство в точности оценок как модуля КО, так и местоположения отражателя по сравнению со случаем отсутствия такой процедуры.

Таблица 1

Оценки комплексного КО методом голографии с тремя опорными сигналами

Оценка модуля КО после калибровки, отн. ед.	Оценка модуля КО без калибровки, отн. ед.	Оценка местоположения отражателя после калибровки, мм	Погрешность оценки местоположения, мм	Оценка местоположения отражателя без калибровки, мм	Погрешность оценки местоположения, мм
Данные для короткозамыкающего поршня					
0,97	0,78	0	0	0	0
0,99	0,73	5,03	0,03	4,88	0,12
0,97	0,75	10,10	0,10	9,70	0,30
0,96	0,80	15,05	0,05	14,83	0,17
Данные для короткозамыкающего поршня при наличии аттенюатора с затуханием 6 дБ					
0,49	0,41	0	0	0	0
0,52	0,39	5,11	0,11	4,93	0,07
0,50	0,40	10,34	0,34	9,85	0,15
0,47	0,41	15,24	0,24	14,91	0,09
Данные для короткозамыкающего поршня при наличии аттенюатора с затуханием 30 дБ					
0,03	0,02	0	0	0	0
0,03	0,02	4,95	0,05	4,94	0,06
0,03	0,02	9,99	0,01	9,88	0,12
0,02	0,01	14,58	0,42	14,49	0,51

Выводы. Данные эксперимента показывают, что калибровка позволяет существенно уточнить значения модуля КО, однако оценки местоположения поршня, а, значит, оценки фазы коэффициента отражения, могут в ряде случаев быть получены более точными в отсутствие калибровки. В целом, метод обработки, принятый в голографии с тремя опорными сигналами, при условии построения математической модели выхода детекторов на основе нейросетевых технологий, показал, что он обеспечивает возможность измерения комплексного КО как близкого к единице, так и близкого к нулевому значению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рейзенкинд Я.А., Следков В.А. Состояние и перспективы развития методов измерения параметров двухполюсников и четырехполюсников на СВЧ. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1988. – №8. – С. 30-60.
2. Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах. – М.: Физматлит, 1963. – 364 с.
3. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений. – М.: Мир, 1989. – 336 с.
4. Drobakhin O.O., Karlov V.A. Holographic Approach to Microwave Measurements // Proc. of the 16th URSI Int. Symp. on Electromagnetic Theory. – Vol. 1. – Thessaloniki (Greece). – 1998. – P.109-111.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.–1104 с.

Получено 21.11.2007 г.

УДК 621.396.96

О.О.Дробахин, А.В.Доронин, В.Г.Короткая

ОЦЕНИВАНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ВОЗДУШНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Введение. Обнаружение, распознавание и оценивание размеров естественных или искусственных подповерхностных образований радиофизическими методами относится к числу актуальных задач. Такие задачи возникают в геофизике [1], в дефектоскопии изделий из диэлектриков [2]. Классические методы распознавания подповерхностных объектов базируются на применении корреляционного анализа и его модификаций [1]. Корреляционный анализ можно рассматривать как вариант анализа невязки в квадратичной метрике сигналов опознаваемого и эталонного объектов. Возможным подходом является применение согласованной фильтрации [2], которая, по сути, позволяет сформировать корреляционную функцию альтернативным способом. При этом происходит оценивание размеров воздушных включений. Композиционные диэлектрические структуры широко используются в качестве конструкционных материалов в современном машиностроении, а также для создания многослойных антенных обтекателей. Оценка толщины воздушных включений важна для прогноза механических и электромагнитных свойств изделия. Применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона обеспечивает бесконтактные измерения и относительно высокую локальность по поперечным координатам. Для получения данных реального эксперимента был использован измерительно-вычислительный комплекс [3], который позволяет получить отсчеты комплексного коэффициента отражения исследуемой структуры в диапазоне 40-50 ГГц.

Развитие нейросетевых технологий [4] делает актуальным вопрос о возможности улучшения по сравнению с корреляционными методами распознавания воздушных включений. Применение искусственной нейронной сети позволяет избежать построения точной математической модели для прямой задачи, если сеть была обучена

для получения интересующих параметров типа толщин по данным реального эксперимента. Любое создание нейронной сети включает синтез сети, обучение и применение к оценке параметров.

Постановка задачи. Цель данной статьи – исследование эффективности оценки толщин подповерхностных воздушных включений посредством применения нейронной сети по сравнению с корреляционным классификатором. В данной статье в качестве исходных данных были взяты результаты реального эксперимента.

Экспериментальные данные и результаты корреляционного опознавания. Физической моделью исследуемой структуры являлась трехслойная структура: диэлектрик – воздух – диэлектрик. Толщина первого слоя составляла 40 мм, второго слоя (слоя воздушной прослойки) изменялась от 0 до 40 мм с шагом 1 мм. Толщина третьего слоя была 38 мм. Относительная диэлектрическая проницаемость материала первого и третьего слоев равнялась 2,6. Измерения проводились в диапазоне частот от 38 до 52 ГГц с шагом 54,9 МГц. Измерения были проведены три раза, таким образом, для каждой толщины воздушного зазора было получено три набора данных результатов измерений.

Экспериментальные данные представляли собой отсчеты комплексного коэффициента отражения на сетке дискретных частот. Наличие такой информации позволило также получить сигналы во временной области, в частности, синтезированный радиоимпульс и огибающую синтезированного радиоимпульса. В данных присутствует отражение от передней грани первого слоя (пик 1), которое доминирует. Для осуществления эффективного распознавания, как корреляционным методом, так и методом, основанном на использовании нейронной сети, необходимо рассматривать сигнал без первого пика, поскольку он дает существенную корреляцию данных для всех структур независимо от свойств воздушного слоя. Проведенные эксперименты показали, что по сравнению с обработкой синтезированного радиоимпульсного сигнала и сигнала в частотной области наиболее достоверные результаты получались при обработке огибающей синтезированного временного сигнала.

В качестве численной меры эффективности распознавания корреляционным методом был использован максимум меры

$$r = \frac{R_{ij}}{\sqrt{R_{ii}R_{jj}}}, \quad (1)$$

где R_{ij} , R_{ii} – взаимнокорреляционная для i -го и j -го значений толщины зазора и автокорреляционная для i -го значения зазора функции. При этом i -ый зазор служит в качестве эталонного, а j -ый изменяется, что соответствует рассмотрению данных при всех значениях зазора. Очевидно, что при совпадении i и j максимум меры r принимает значение, равное 1. В качестве эталонного сигнала была выбрана огибающая для значения толщины воздушного зазора, равного 15 мм. В табл. 1 приведены данные распознавания на основе корреляционной меры для случая рассмотрения результатов другого набора измерений. Максимальные значения меры r наблюдаются для значений толщины воздушного зазора 11 и 12 мм, что ведет к принятию неверного решения.

Таблица 1

Значения меры (1) для эталонного значения $i=15$

Эталонное значение толщины, мм	Максимальное значение r	Эталонное значение толщины, мм	Максимальное значение r	Эталонное значение толщины, мм	Максимальное значение r
1	0.982	15	0.995	29	0.940
2	0.982	16	0.944	30	0.852
3	0.916	17	0.961	31	0.906
4	0.983	18	0.994	32	0.918
5	0.989	19	0.937	33	0.867
6	0.950	20	0.939	34	0.919
7	0.978	21	0.984	35	0.883
8	0.989	22	0.971	36	0.889
9	0.990	23	0.909	37	0.862
10	0.882	24	0.962	38	0.894
11	0.995	25	0.967	39	0.844
12	0.997	26	0.899	40	0.847
13	0.877	27	0.929		
14	0.990	28	0.945		

Особенности построения нейронной сети и результаты опознавания

Для тренировки математической модели нейронной сети использовался лишь один из имеющихся наборов исходных данных, остальные же использовались для проверки качества работы готовой сети. При этом из обучающей выборки были предварительно удалены данные, соответствующие толщинам воздушного зазора 7, 15 и 21 мм.

Было протестировано большое количество различных моделей нейронных сетей с использованием различных алгоритмов

тренировки, большинство из которых не показали хороших результатов. Для наших целей была создана математическая модель 3-х слойной нейронной сети с обратной связью. Первый слой имел 70 нейронов, что определяется числом отсчетов огибающей временного сигнала, предъявляемой для опознания. Третий слой имел 1 нейрон, что соответствует выходному значению толщины воздушного зазора. Первый и второй слои (входной и скрытый) нейронной сети имели сигмоидальную функцию (S – функция) активации слоёв нейронов, третий (выходной) слой – линейную. Этот выбор соответствует указаниям, описанным в [4]. Для выбора числа нейронов в скрытом слое были использованы рекомендации [5], согласно которым число нейронов в скрытом слое L определяется исходя из соотношения:

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m, \quad (2)$$

где N – число элементов обучающей выборки, n – размерность вектора входного сигнала, m – размерность вектора выходного сигнала. Исходя из (2), должно выполняться соотношение $188 \leq L \leq 1224$.

После чего была проведена серия тренировок нейронной сети с различным числом нейронов во внутреннем слое. Следует отметить, что для каждого выбранного числа нейронов во внутреннем слое было создано, по крайней мере, 10 моделей, которым в последствии предъявлялись на опознание проверочные векторы, соответствующие толщинам зазора в 7, 15 и 21мм для всех измерений.

Наилучшие результаты показала модель нейронной сети, имеющая 400 нейронов в скрытом слое, при этом был использован алгоритм масштабируемых сопряженных градиентов. Точность обучения составляла 10^{-4} . Результаты работы этой сети отображены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты оценки толщин слоев воздушного включения с использованием нейросетевых технологий

Эталонные значения толщин, мм	Результаты для первого набора данных, мм	Результаты для второго набора данных, мм
7	7,01	6,8
15	14,77	15,2
21	20,75	21,23

Выводы. Несмотря на то, что математическая модель нейронной сети тренировалась на экспериментальных данных только из первого набора и из них были исключены данные для толщин 7, 15 и 21 мм, она показала хорошие результаты оценивания толщин, как для первого, так и для второго наборов экспериментальных данных. При этом нейронная сеть имеет свойства интерполяции результатов оценивания на те значения, по которым не производилось обучение. Это свидетельствует о преимуществе использования нейронных сетей по сравнению с методами корреляционного распознавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чжань Л.Ч., Моффэт Д.Л., Питерс Л. Определение характеристик подповерхностных радиолокационных объектов // ТИИЭР.– 1979.– № 7. – С. 18-29.
2. Ахметшин А.М., Барташевский Е.Л., Дурнев И.В. К оценке сигналов дефектов на фоне структурных и измерительных шумов в ближней зоне СВЧ контроля: метод согласованной фильтрации // Дефектоскопия. – 1980. – № 1. – С. 81-85.
3. Alekseev V.V., Drobakhin O.O., Kondrat'yev Ye.V., Saltykov D.Yu. Microwave introscopy using multifrequency measurements and transversal scan // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2006, V.21.– N 2, p.24-26.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.–1104 с.
5. Дьяконов В., Круглов В., Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480с.

Получено 21.11.2007 г.

УДК 535.24:681.3

В.М. Григорьев, М.С. Мамонтов

**ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ВЫСТУПОВ НА
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЛЕНТЕ**

Актуальность темы. Метод служит для создания системы неразрушающего контроля поверхности фольги в условиях существующей производственной линии. Он позволяет определять высоту выступов металлической фольги путем анализа изображений ее поверхности, полученных фотографическим путем с использованием цифровых фотоаппаратов серийного производства, управляемых с персонального компьютера с использованием специально разработанного программного обеспечения. В процессе анализа отсутствует необходимость в механическом контакте между измерительной системой и образцом, а также в остановке производственного процесса.

Постановка задачи. Задача состоит в создании программно-аппаратного комплекса для фотометрического анализа плоских поверхностей для поиска выступов и классификации их по высоте. Одним из условий задачи является использование компонентов серийного производства (фотоаппарат, персональный компьютер). Программное обеспечение необходимо для автоматического управления фотоаппаратом и анализа полученных изображений.

Обоснование полученных результатов. Ключевая идея метода, использованная при решении задачи, проиллюстрирована на рис. 1 и состоит в том, что любые объекты на плоскости при освещении их источником света, направленным под углом к поверхности, отличным от 90° , должны отбрасывать тень. Площадь отбрасываемой тени зависит от геометрических размеров объектов.

Сложность состоит в том, что на полученном изображении присутствует шум, а положение выступа относительно границ изображения не определено. Для формализации определения тени вводится понятие порога освещенности. Элементы изображения, яркость которых ниже пороговой считаются принадлежащими тени объекта. Для выделения объекта на плоскости используется особенность отражения света выступами. Каждая из них на

изображении оставляет яркий блик и зону низкой освещенности. Поскольку положение и ориентация источника света относительно камеры известны, для выделения из изображения плоскости зоны, содержащей выступ достаточно провести анализ освещенности вдоль линий, параллельных лучам света от источника. Если отложить на графике по оси ординат яркость элементов изображения, а ось абсцисс ориентировать вдоль луча света получим характерные перепады освещенности, представленные на рис. 2.

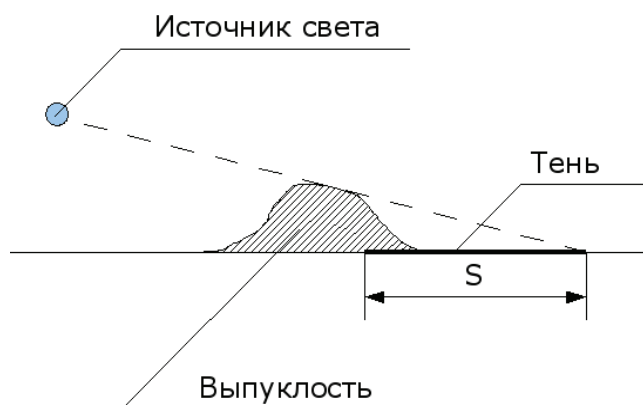


Рисунок 1 - Ключевая идея метода

На рис. 2 показаны три перепада освещенности от трех выступов. Начальный всплеск вызван зеркальным отражением источника света от поверхности, следующий за ним спад – зона рассеянного или диффузного отражения. Минимум приходится на зону полной тени. Участок графика непосредственно за максимумом, содержащий локальный минимум, и лежащий ниже порога освещенности используется для вычисления глубины тени. Глубина тени – это объём фигуры, ограниченной двумерным графиком освещенности и плоскостью пороговой освещенности.

Зависимость между глубиной тени и высотой выступа неизвестна, поэтому для классификации необходимо использовать таблицу зависимости глубины тени от высоты. Таблица строится по результатам статистического анализа результатов измерений, проведенных на тестовой выборке выступов с заранее известными характеристиками.

Рис. 2 также показывает неравномерность освещения по образцу. Такая неравномерность не позволяет использовать единое значение пороговой освещенности для определения зоны тени. Для компенсации неоднородности используется нормализация. Она

состоит в приведении средней освещенности участка изображения, содержащего выступ, к определенному значению. В качестве такого значения может использоваться значение средней освещенности по всему изображению.

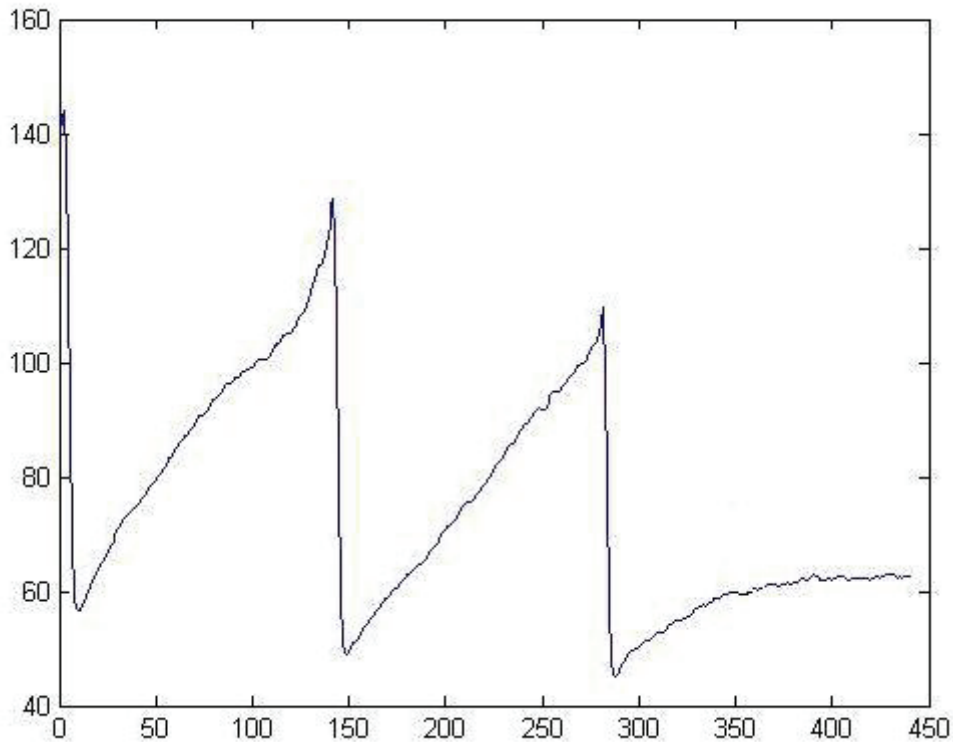


Рисунок 2 - График интенсивности освещенности поверхности

Практическая реализация

Система создана на базе фотоаппарата Olympus SP-350, соединенного с персональным компьютером посредством универсальной последовательной шины USB. Управление фотоаппаратом реализовано программно, посредством библиотеки RyeNV, предоставляемой его производителем [1]. Программный комплекс состоит из трех независимых подсистем: подсистема управления фотоаппаратом, подсистема анализа изображений и база данных. В качестве базы данных использовалась открытая и бесплатная реализация стандарта Interbase – Firebird. Программное обеспечение написано на языке C++ с использованием интегрированной среды разработки Borland C++ Builder. Для взаимодействия с базой данных используется объектно-ориентированная библиотека IBPP.

Подсистема управления фотоаппаратом отвечает за подачу команд настройки, съемки и захвата полученного кадра. Полученные

изображения сохраняются в базе данных вместе с метаданными: условиями съемки, датой и временем, разрешающей способностью и др. Подсистема работает автономно, что позволяет исключить влияние времени обработки изображения на скорость захвата кадров. Таким образом, скорость захвата кадров определяется только быстродействием фотоаппарата, а не быстродействием алгоритма обработки изображений. База данных при этом выступает в качестве промежуточного буфера для выравнивания скоростей подсистемы управления фотоаппаратом и подсистемы анализа изображений.

Подсистема анализа изображений выполняет обработку кадров в несколько этапов. Исходные изображения, полученные с помощью фотоаппарата, представлены в виде файлов в формате JPEG. Этот формат неприменим для поэлементного анализа изображения, поэтому изображения преобразовываются в формат DIB. Для преобразования используется библиотека `libjpeg`. Полученное изображение кадрируется для уменьшения области анализа и поворачивается для компенсации поворота фотоаппарата относительно образца. Результирующее изображение записывается в базу как промежуточный результат работы программы с целью дальнейшего статистического анализа и оптимизации параметров обработки изображения.

Выступы на образце расположены параллельными рядами. Для увеличения быстродействия подсистемы анализа выполняется дополнительное кадрирование с целью выделения отдельных рядов выступов и уменьшения зоны обработки. Для определения координат рядов используется тот факт, что каждый выступ имеет пик освещенности. Средняя освещенность вдоль ряда будет значительно превышать среднюю освещенность по изображению. Поэтому вычисляется средняя освещенность по линиям, параллельным рядам с выступами и выполняются поиск локальных максимумов. Усреднение также позволяет компенсировать шум на изображении. По полученным координатам из изображения вырезаются полосы. Перед сохранением в базе для полос выполняется нормализация освещенности.

Следующий этап обработки состоит в выделении областей с отдельными выступами, в которых будет вычисляться глубина тени. Для этого тоже используется факт наличия блика на выступе.

Линейные размеры зоны с выступом на порядок меньше размеров исходного кадра, поэтому влияние шума на изображении здесь значительно выше. Для исключения ложной идентификации максимума освещенности применяется фильтрация значений освещенности с использованием алгоритма скользящего среднего.

Последний этап обработки – вычисление глубины тени. Для этого подсчитывается среднее значение яркости тех элементов изображения зоны, яркость которых ниже пороговой.

Выводы. В процессе тестирования система корректно осуществляла управление фотоаппаратом, кадрирование и компенсирующий поворот изображения, определение координат рядов выступов на изображении и зон с выступами в ряду. Используемый метод нормализации яркости позволил уменьшить влияние неравномерности освещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Olympus SDK 3.4 Reference Guide, 2004. – 68 с.

Получено 13.11.2007 г.

СЕГМЕНТАЦИЯ НИЗКО КОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ АЛГОРИТМОМ ГИБРИДНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ SOM-FCM

Введение. Сегментация является одной из наиболее сложных задач, выполняемой при обработке изображений различного типа (медицинских, космоснимков и т.д.). В зависимости от поставленной цели может требоваться различный уровень детализации, приводящий к выявлению объектов интереса.

Многие из этих изображений являются по своей природе низко контрастными, т.е., непосредственное визуальное выделение объектов интереса на них затруднено или вообще невозможно в связи с ограниченностью органов восприятия человека. Поэтому повышение чувствительности сегментации и быстродействия ее алгоритмов является одним из приоритетных направлений информационных технологий.

Одним из новых подходов, эффективно решающих подобные задачи, является применение нейронных сетей и нечеткой логики. Первый – привлекателен своей адаптивностью, а второй - гибкостью и возможностью рассмотрения альтернативных решений. В связи с этим представляется интересным возможность объединения преимуществ этих подходов в рамках одного метода.

Постановка задачи. В настоящее время для решения задачи сегментации часто применяются различные методы нечеткой кластеризации, в основе которых лежит метод FCM (Fuzzy C – Means). Нечеткая или мягкая кластеризация вводит понятие нечетких кластеров и функцию принадлежности объектов к ним, изменяющуюся в интервале $[0,1]$, что позволяет оценить степень принадлежности объекта к тому или иному классу. В результате работы алгоритма FCM всем объектам ставится в соответствие вектор из функций принадлежности к каждому классу, на основе которого можно сделать выводы о природе данного объекта.

Однако, непосредственное применение такого подхода, в ряде случаев не позволяет обнаруживать тонкие структуры на низко контрастных изображениях. Кроме того, при выборе большого числа

нечетких классов и в случае работы с изображениями большой размерности кластеризация базовым алгоритмом FCM занимает достаточно много времени. При работе в режиме реального времени последний недостаток может привести к отказу от использования алгоритма FCM.

Поэтому интерес представляют модификации алгоритма FCM, направленные на повышение чувствительности кластеризации, например, FAFCM [1] или предложенная нами в [2] модификация алгоритма FCM с использованием динамического преобразования функции принадлежности, а также - на улучшение ее сходимости (уменьшение времени кластеризации).

В [3] нами была предложена модификация метода FCM с использованием карты Кохонена при вычислении центров нечетких классов (названная нами алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM), обеспечивающая как повышение чувствительности нечеткой кластеризации, так и уменьшение времени ее выполнения.

Целью данной работы является разработка нового метода, сочетающего преимущества нечеткой и адаптивной кластеризации для повышения информативных возможностей при сегментации низко контрастных изображений.

Решение задачи. Задача нечеткой кластеризации формулируется следующим образом [4]: на основе исходных данных D определить такое нечеткое разбиение $\mathfrak{R}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ или нечеткое покрытие $\mathfrak{Z}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ множества A на заданное число c нечетких кластеров $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которое доставляет экстремум некоторой целевой функции $f(\mathfrak{R}(A))$ среди всех нечетких разбиений или экстремум целевой функции $f(\mathfrak{Z}(A))$ среди всех нечетких покрытий.

Для уточнения вида целевой функции $f(\mathfrak{Z}(A))$ в рассмотрение вводятся некоторые дополнительные понятия. Прежде всего, предполагается, что искомые нечеткие кластеры представляют собой нечеткие множества A_k , образующие нечеткое покрытие исходного множества объектов кластеризации A , для которого имеет место следующие соотношение:

$$\sum_{K=1}^c u_{A_K}(a_i) = 1 (\forall a_i \in A), \quad (1)$$

где c – общее количество нечетких кластеров $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которое считается предварительно заданным ($c \in N$ и $c > 1$).

Таким образом, базовый алгоритм FCM состоит из следующих шагов:

Инициализация числа кластеров c , значения m , начальных значений функции принадлежности u .

Вычисление значений центров нечетких кластеров:

$$v_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (u_{ki})^m \cdot x_{ij}}{\sum_{i=1}^n (u_{ki})^m} (\forall k \in \{1, \dots, c\}) \quad (1)$$

где x_i – вектор размерности q , описывающий i -й пиксель исходного изображения, v_k вектор размерности q , описывающий центр k -го нечеткого кластера, u_{ki} – значение функции принадлежности i -го пикселя исходного изображения к k -му нечеткому кластеру; m – параметр, называемый экспоненциальным весом ($m > 1$).

Вычисление текущего значения целевой функции:

$$f_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (u_{kj})^m \sum_{j=1}^q (x_{ij} - v_{kj})^2; \quad (2)$$

Вычисление текущих значений функции принадлежности:

$$u_{ik} = \left[\sum_{l=1}^c \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^m (x_{ij} - v_{kj})^2 \right)^{1/2} \right]^{2/(m-1)}}{\left[\left(\sum_{j=1}^m (x_{ij} - v_{kl})^2 \right)^{1/2} \right]^{2/(m-1)}} \right]^{-1} (\forall k \in \{1, \dots, c\}). \quad (3)$$

Если разность целевых функций текущего и предыдущего шагов

$$|f_t - f_{t-1}| > \varepsilon \quad (4)$$

где ε – пороговое значение, то переход к пункту 2.

Предложенный нами в [3] алгоритм гибридной кластеризации SOM-FCM состоит из следующих шагов:

Инициализация числа кластеров c , значения m , начальных значений центров нечетких кластеров v_{fcm}^0 .

Кластеризации картой Кохонена исходных данных с использованием центров нечетких классов предыдущей итерации V_{fcm}^p в качестве начальных значений для кластеров (нейронов).

Размерность карты Кохонена равна $[2 * c, 1]$, причем каждое новое значение кластера получается на основании усреднения двух соседних значений кластеров из матрицы V_{fcm}^p .

Получения новых значений центров нечетких кластеров V_{som}^{p+1} путем выбора c центров кластеров, полученных в результате обучения карты Кохонена. Осуществление этого выбора является нетривиальной задачей, зависит от специфики исходных данных и, соответственно, влияет на результаты кластеризации.

Вычисление текущих значений функции принадлежности по формуле (3) с использованием V_{som}^{p+1} .

Вычисление текущего значения целевой функции по формуле (2) с использованием V_{fcm}^p .

Вычисление текущих значений центров нечетких кластеров V_{fcm}^{p+1} по формуле (1) для использования на следующей итерации.

Проверка условия (4) и переход к пункту 2 в случае его выполнения.

Экспериментальные результаты были получены на примере обработки двух изображений: тестового (200x200 пикселей), представляющего собой 7 геометрических объектов, зашумленных фоном (рис. 1а) и трехдиапазонного низко контрастного фотоснимка лесистой местности (256x256 пикселей), представленного на рис. 2а-2в.

Количество нечетких кластеров в эксперименте было выбрано равным 10 для тестового изображения и 15 - для фотоснимка, параметр $m = 2$, пороговое значение $\varepsilon = 10^{-5}$, максимальное количество итераций алгоритмов = 100. Все расчеты производились на компьютере, оснащенный процессором AMD Athlon 64 3000+ (2763 MHz, s939), оперативной памятью 1024Мб (частота работы 500 MHz), под управлением ОС Microsoft Windows XP Pro SP2 в среде Matlab 6.1.

Результаты кластеризации тестового изображения базовым алгоритмом FCM и предложенным методом представлены на рис. 1б и 1в, соответственно. Можно легко увидеть, что оба алгоритма выделили все 7 скрытых объектов, невидимых на исходном изображении. Однако, как показано в табл. 1, сходимость предложенного алгоритма по сравнению с базовым методом FCM

существенно выше, а затраченное на кластеризацию время меньше. Выбор 10 центров кластеров из 20, получаемых в результате выполнения шага 2 предложенного алгоритма, осуществлялся путем последовательного поочередного определения первых 5 центров с максимальным и минимальным количеством относящихся (имеющих минимальное евклидово расстояние) к ним пикселей исходного изображения.

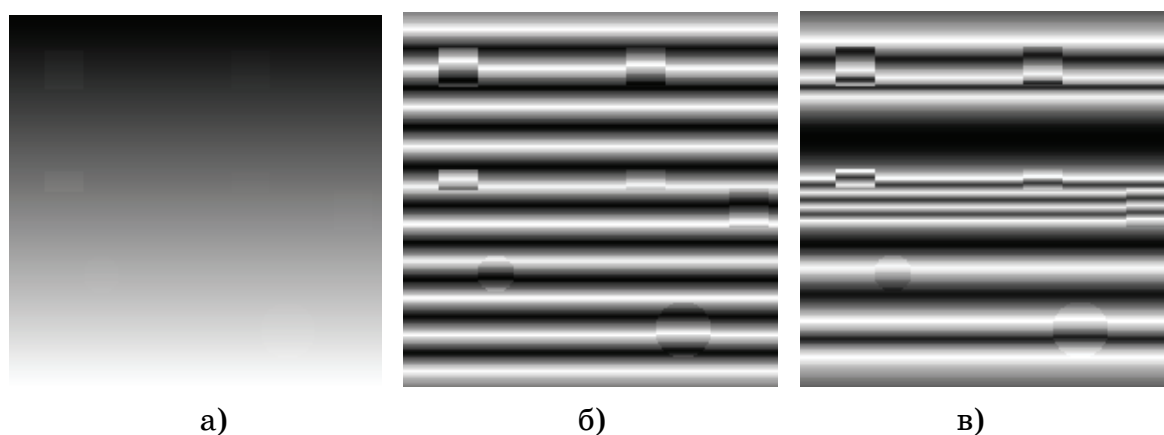


Рис. 1. а) – исходное тестовое изображение; б) результаты кластеризации алгоритмом FCM; в) результаты кластеризации предложенным методом

Таблица 1

Сравнение сходимости базового алгоритма FCM и предложенного алгоритма для используемых изображений

Изображение	Алгоритм	Время кластеризации, сек.	Число итераций
Тестовое Изображение	Алгоритм FCM	9.954	100
	Предложенный алгоритм	4.375	3
Фотоснимок	Алгоритм FCM	41.172	60
	Предложенный алгоритм	13.281	3

Результаты кластеризации фотоснимка базовым алгоритмом FCM и предложенным методом представлены на рис. 3а и 3б, соответственно. Очевидно, что базовый алгоритм FCM оказался неэффективным для этого изображения, в то время как предложенный метод обеспечил лучший уровень детализации, а также улучшил сходимость и уменьшил время кластеризации (таб.1).

Выбор 15 центров кластеров из 30, получаемых в результате выполнения шага 2 предложенного алгоритма, осуществлялся путем последовательного выбора первых 15 центров с минимальным количеством относящихся к ним пикселей исходного изображения.

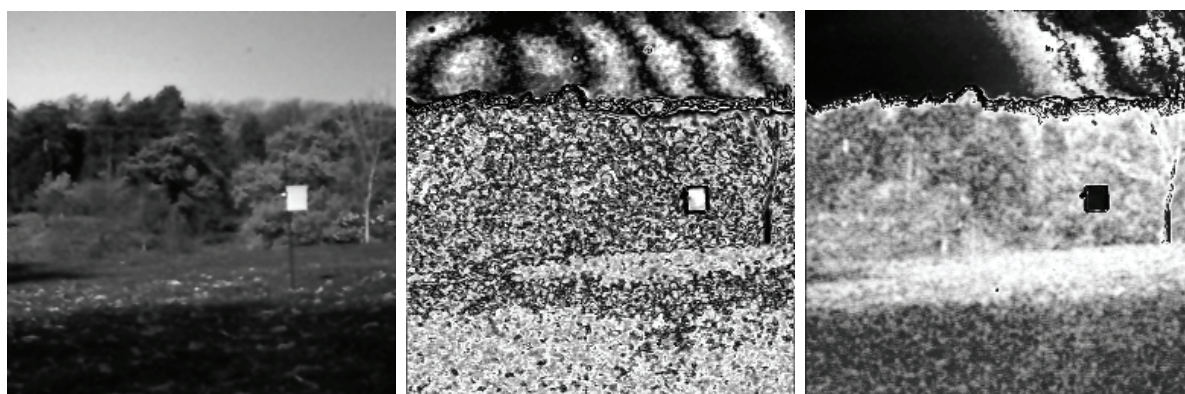


а)

б)

в)

Рис. 2. Трехдиапазонный низко контрастный фотоснимок



а)

б)

в)

Рис. 3. а) - высококонтрастный исходный фотоснимок; б) – результаты кластеризации фотоснимка базовым алгоритмом FCM; в) – результаты кластеризации фотоснимка предложенным методом

Метод был протестирован на различных типах изображений и на основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Предложенный алгоритм обеспечивает лучшую сходимость и меньшее время кластеризации в сравнении с базовым алгоритмом FCM. Причем эта разница существенно увеличивается при увеличении размерности исходного изображения, а также при увеличении числа нечетких кластеров.

В случае применения предложенного алгоритма для мультиспектрального низко контрастного фотоснимка достигается повышение чувствительности кластеризации по сравнению с базовым алгоритмом FCM.

Процедура перехода от структуры, представленной картой Кохонена к нечеткому представлению является нетривиальной задачей, зависит от специфики исходных данных и влияет на результаты кластеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jiang Lei, Yang Wenhui A Modified Fuzzy C-Means Algorithm for Segmentation of Magnetic Resonance Images: Proc. VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications, Sun C., Talbot H., Ourselin S. and Adriaansen T. (Eds.), Sydney, December 2003, P. 225 – 231.
2. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Модификация метода нечеткой кластеризации на основе динамического преобразования функции принадлежности, Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” – 2006 – С. 6-7.
3. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Модификация метода FCM с использованием карты Кохонена при вычислении центров нечетких классов, Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” – 2007 – С. 6 - 7.
4. Леоненков А., Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.: С–П.: БХВ–Петербург, 2003. – 719 с.

Получено 15.11.2007 г

УДК 004.42

Н.А. Иванова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАКЕТА MACROMEDIA AUTHORWARE 7.0 ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО СБОРНИКА ЗАДАЧ

Введение. Существует зависимость между методом усвоения материала и способностью восстановить полученные знания через некоторое время. Если материал был звуковым, то человек запоминал около четверти его, если информация была представлена визуально - около трети, при комбинированном воздействии (зрительном и звуковом) запоминание повышалось к половине, а если человек привлекался к активным действиям в процессе обучения, то усвоение материала повышалось до 70%. Активные методы обучения, используемые в электронных учебных пособиях, применяют эту зависимость. Основное отличие электронных учебных пособий от традиционных печатных изданий и электронных книг заключается в обязательном наличии интерактивного взаимодействия между студентом и компьютером. Важнейшее условие создания эффективной обучающей программы — обеспечение необходимого уровня обратной связи с обучаемым.

В данной статье рассматриваются основные этапы создания электронного пособия, в частности по дисциплине «Объектно-ориентированное программирование»:

- Выделение основных разделов дисциплины.
- Разработка по каждой теме курса задач и контрольных вопросов в виде тестов.
- Создание структуры учебного пособия и наполнение его материалом.
- Создание системы проверки знаний студентов.

Пакет Macromedia Authorware относится к типу авторских программ, одно из применений которого создание интерактивных учебных систем. Мультимедийный продукт разрабатывается в нем в два этапа: проектирование и детализация. Первый содержит в себе выбор типа проекта (например, учебная программа или программа для непосредственного тестирования пользователя), определение

базовых шагов, выполняемых приложением, а также настройка свойств, связанных с условиями работы и распространением. Результат представляется в виде шкалы, на которой размещаются все элементы, которые выглядят как иконки. Методом обычного перетаскивания можно менять порядок их прохождения, создавать новые взаимосвязи и т.д. Потом наступает следующий этап: каждому объекту, который принимает участие в текущем сценарии, присваиваются значения его свойств. После чего приложение готово для тестирования внутри редактора, а после отладки всех ошибок - и к публикации.

Процесс создания электронного учебника

Электронный учебник состоит из последовательности кадров. Выполнение и переход по кадрам выполняется пользователем или автоматически через установленные разработчиком интервалы времени. Первым кадром при запуске электронного учебника должна быть заставка с информацией об авторах и названии. Следующим кадром будет главное меню электронного учебника. Структура всего учебного пособия, в том числе и структура Главного Меню представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура электронного пособия

Основное меню учебника позволяет перейти на информационные разделы курса и на кадр завершения работы, путем нажатия на кнопку с соответствующим названием. Для создания меню в данном пакете использовалась иконка Выбор и к ней присоединялись иконки

перехода на соответствующие кадры с теорией и задачами. В результате внешний вид кадра Главное меню представлен на рис. 2.

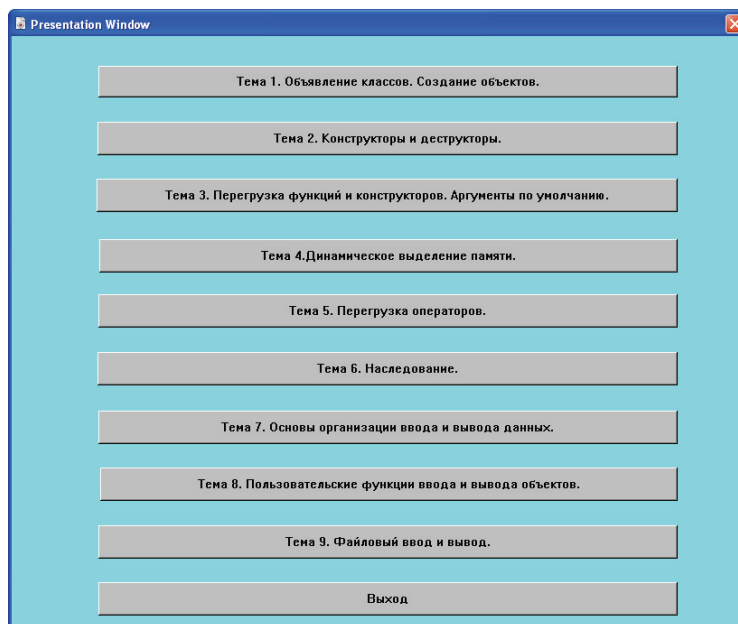


Рисунок 2 – Главное меню

Все главы учебника созданы по одному принципу. Например, первая глава состоит из меню, двух теоретических подразделов, подразделов с задачами и контрольными вопросами (рис. 3). Каждому из подразделов соответствует в схеме курса отдельный кадр.



Рисунок 3 – Меню первой главы

В теоретических разделах отображается и озвучивается текст раздела и его озвучивание. Удобная система навигации позволяет легко перемещаться по теоретическим разделам. По каждой из 9 тем

дисциплины «Объектно-ориентированное программирование» в электронном пособии содержится по 15 задач. Для перехода к списку задач, в меню каждой темы находится пункт «Задания». При выполнении щелчка на данном пункте осуществляется переход к кадру с содержимым первой задачи данной темы. В окне выводится текст задачи, её номер.

Разработка подсистемы проверки знаний

Для самостоятельной проверки полученных знаний в состав программы включим средства тестирования, позволяющие студенту ответить на ряд контрольных вопросов. В Authorware основным инструментом построения тестов (в данном случае контрольных вопросов) является набор мастеров, связанных с соответствующими предопределенными объектами. В реализованном проекте тесты содержатся после каждой главы. Схема меню теста и его визуальное представление приведены на рис. 4 и рис. 5.

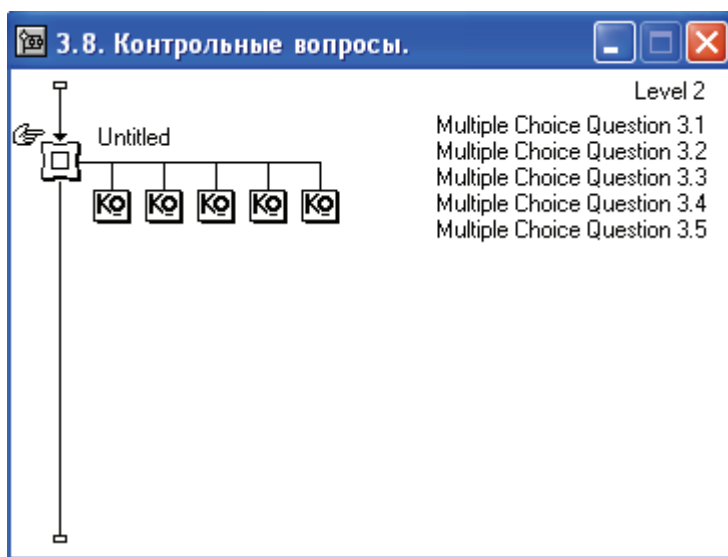


Рисунок 4 – Кадр «Контрольные вопросы» третьей главы

В данной программе контрольные вопросы реализованы следующим образом: при щелчке на варианте ответа, сразу отображается результат (верно или неверно) и напротив варианта ответа ставится отметка. В течение одного сеанса работы с программой можно только один раз ответить на контрольный вопрос. Количество вариантов ответа – 4, один из них правильный. В каждой теме 5 контрольных вопросов.

Одно из важнейших достоинств последней версии Authorware – возможность опубликовать созданный курс сразу в нескольких

форматах. Для этого достаточно выполнить единственную команду Publish. Если для публикации выбран вариант создания исполняемого файла, в результате для распространения учебного пособия «Сборник задач», достаточно скопировать файл Сборник задач.exe, и две библиотеки: DVD.DLL и JS32.DLL. Данную программу можно запустить на любом компьютере, даже без установки Authorware.

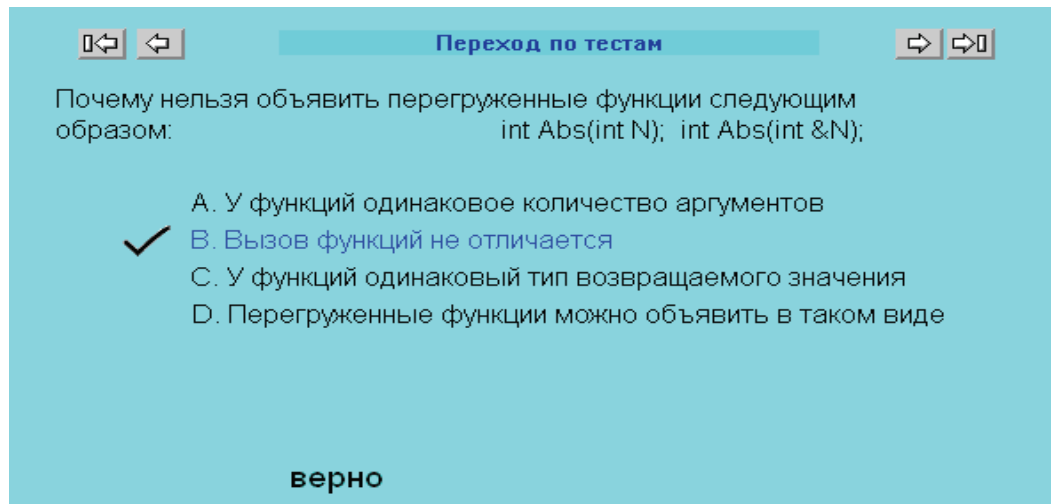


Рисунок 5 – Внешний вид тестового вопроса

Выводы. Пакет Macromedia Authorware 7.0 является удобным инструментом для создания мультимедийных электронных учебных пособий ввиду его возможностей по управлению потоком просмотра информации, по подключению звуковых, графических и rtf- файлов. Особо хочется отметить, наличие в данном пакете мастера по созданию тестовых вопросов, который позволяет выбрать количество вариантов ответов, количество попыток ответов на один и тот же вопрос, количество правильных ответов. Единый «центр тестирования» получает информацию об ответах на тестовые вопросы, и таким образом выставляется общая оценка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулятьев А. К. Macromedia Authorware 6.0. Разработка мультимедийных учебных курсов // Гулятьев А. К. - Спб.: Корона-Принт, 2002. - 400 с.
2. Соловов А. В. Информационные технологии обучения в профессиональном образовании//Информатика и образование. - 1996. - № 1.
3. Чепмен Дж., Чепмен Н. Цифровые технологии мультимедиа. – Изд. "Вильямс", 2005 г. - 624 с.

Получено 15.11.2007 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ БЕЗМАРКЕРНОЙ СЕТИ

Ведение. Все растущая доступность персональных компьютеров обуславливает повсеместную компьютеризацию. Все больше компьютеров появляются на рабочих местах, дома, в местах общественного досуга. Возможности удаленного доступа к информации предоставляют все больше возможностей, преимуществ и удобств.

Сетевые потребности же современных пользователей существенно отличаются от потребностей пользователей 20-25 лет назад:

- 1) Резко возросла потребность в получении с удаленных компьютеров текстовой информации: современные гипертекстовые документы содержат до 95% информации неотображаемой, а лишь отвечающей за оформление и функциональность.
- 2) Помимо текстовой информации пользователи Интернет загружают с удаленных серверов изображения, музыкальные и видеофайлы, а так же крупные программные продукты и их обновления.
- 3) Сетевой трафик создают многопользовательские игры и сетевые приложения. Так же растет популярность файлообмена.
- 4) Растет популярность реальновременной загрузки мультимедийного контента: Интернет-радио, Интернет-телевидение, «видео по заказу»
- 5) Развертываются локальные и региональные вычислительные сети

По данным статистики ежегодно объем передаваемых по Интернет данных возрастает на 7-9%. [1]

В связи с этим присутствие определенной сетевой технологии на рынке и объемы ее использования должны определяться исключительно соображениями экономической целесообразности. Естественным эффектом становится поиск и разработка наиболее

эффективных на данном научно-техническом уровне развития сетевых технологий.

Постановка задачи. Работа посвящена оценке конкурентоспособности сетей с кольцевой топологией перед сетями Ethernet и разработке кольцевой сети с канальным уровнем, имеющим преимущества перед стандартными кольцевыми сетями Token Ring и FDDI. Также производилось компьютерное моделирование поведения предлагаемой архитектуры.

Основная часть. Во многих моментах сети кольцевой топологии и сети Ethernet основываются на прямо противоположных принципах, а потому обладают противоположными свойствами:

- Сети Ethernet используют общую среду, в кольцевых сетях применяется множество отрезков несущей среды (кабеля, оптоволокну, эфира), по каждому из которых информация может распространяться независимо от других отрезков (единственной информационной связью является логика работы самой сети – 2 уровня OSI модели). Благодаря этому, в кольцевых сетях может одновременно существовать несколько потоков данных, а в сетях Ethernet – нет.
- В сетях Ethernet применяется случайный доступ к среде, в кольцевых сетях реализуем формализованный метод доступа. Это определяет неминуемость коллизий в сетях Ethernet и предоставляет возможность их полного избежания в сетях с кольцевой топологией
- При применении сетевого концентратора или свича (избежание применения которого невозможно в случае использования витой пары, кроме соединений точка-точка) в сети Ethernet возникает устройство (собственно свич), при обесточивании или выходе из строя которого вся сеть становится неработоспособной. Для кольцевых сетей при применении двойных колец достигим вариант полной отказоустойчивости при выходе из строя одного сетевого устройства, или обрыва одного участка кабеля

Особое внимание необходимо уделить коллизиям в Ethernet. При увеличении процента загруженности сети, возрастает и процент коллизий, что приводит к еще большему снижению фактической

пропускной способности сети. Из-за этого сети Ethernet крайне не рекомендуется загружать более, чем на 75%. [2]

При развертывании региональных (например, городских сетей) расходы на соединительные линии (кабели или оптоволокно) становятся ощутимыми, порой превышая стоимость сетевого оборудования.

Причиной этому является то, что прокладка длинного сетевого кабеля (особенно в городе) – это сложная инженерная задача. Расходы на прокладку кабельной линии состоят из:

- 1) стоимости кабеля;
- 2) расходов на проектирование маршрута прокладки кабеля (кабель должен проходить по специальным коммуникационным туннелям или другим безопасным местам), расходы на получение разрешительной документации;
- 3) расходов на оплату труда рабочих, выполняющих прокладку кабеля.

Кроме того, с увеличением длины кабеля растут риски повреждения кабеля силами природы действиями людей. Таким образом, преимуществом в цене и безопасности будет обладать та топология, которая образуется суммарно меньшей длиной соединительных линий. Для распределенных по площади сетей суммарная длина соединительных линий значительно меньше, чем для сетей Ethernet, а значит их использование предпочтительнее.

На целесообразность применения кольцевых сетей указывает и разработка компанией IBM нового стандарта Token Ring (HSTR) со скоростью передачи данных 100Мбит/сек.

При разработке новой кольцевой сети было уделено внимание способам повышения производительности сети путем организации в одном кольце нескольких потоков данных. Отсутствие информационной связи между отдельными отрезками сети позволяет теоретически присутствовать в сети нескольким независимым потокам данных, но эта возможность блокируется самим принципом маркерного доступа. [4,5,6]

Если принять модель случайного образования кадров, т.е. что в каждом адаптере в среднем рождается одинаковое количество данных, адресованных равномерно всем остальным участникам сети, то получается, что средняя длина пробега кадра составляет примерно

половину длины кольца. Это наталкивает на мысль о том, что в сети может одновременно присутствовать около двух потоков данных. Под словом «около» подразумевается, что пути многих кадров могут перекрываться частично, что даст производительность сети меньшую, чем удвоенная, но большую, чем номинальная. Так же следует заметить, что в реальности могут возникать моменты, когда скорость будет превышать удвоенный номинал, если в сети одновременно встретятся неперекрывающиеся кадры с короткими путями пробега, а теоретическим максимумом скорости является номинальная, умноженная на количество адаптеров в сети.

Для топологии с двумя противоположно направленными кольцами (как FDDI), но в которой задействованы сразу оба кольца, появляется возможность посылать данные по тому кольцу, путь по которому для каждой конкретной пары адаптеров короче. В результате максимальная длина пути кадра составляет половину длины кольца, а средняя – четверть. Следовательно, в каждом кольце средняя суммарная скорость передачи данных будет в 4 раза превышать физическую скорость эмиссии данных адаптером.

Описание поведения адаптера. Состояние адаптера характеризуется состояниями различных его подсистем:

Состояние входящего интерфейса: занят, свободен

Состояние исходящего интерфейса: занят, свободен,
межкадровая задержка

Состояния каждого буфера:

Кадр обрабатывается: да/нет

Поступают данные из входного интерфейса: да/нет

Поступают данные во входной интерфейс: да/нет

Получен заголовок кадра: да/нет

Проанализирован заголовок кадра: да/нет

Кадр в буфере ретранслируемый да/нет

Поведение сетевой подсистемы в различных ситуациях описывается следующими утверждениями:

- При генерации нового кадра он размещается в генеративном буфере, если он пустой

- Если кадр успешно размещен, то если в транзитных буферах нет ретранслируемых кадров и если исходящий интерфейс свободен, начинается передача кадра
- При начале поступления кадра на входящий интерфейс под него отводится один из транзитных буферов (свободный на момент прихода)
- При поступлении заголовка кадра (первых нескольких байт) иницируется процедура анализа заголовка
- Результатом завершения анализа заголовка является
 - Проанализирован заголовок кадра= да
 - Если кадр адресован не этому адаптеру, то Кадр в буфере ретранслируемый = да
- При завершении передачи кадра с исходящего интерфейса
 - Опустошается буфер, из которого шла передача
 - Если это генеративный буфер – попытка взять следующий кадр из очереди
 - Состояние исходящего интерфейса переключается в «межкадровое ожидание»
- При завершении межкадрового ожидания исходящий интерфейс переключается в состояние «свободен» и делается попытка отправки следующего кадра, сначала из одного из транзитных буферов

Таким образом, каждый адаптер может передавать данные следующему в любой момент, при этом имеющиеся в нем транзитные данные всегда имеют более высокий приоритет на передачу, чем кадры сгенерированные компьютерной системой, частью которой является адаптер.

Полученные результаты. Моделирование предлагаемой сетевой архитектуры было проведено в специально написанной для этого программе и показало следующие результаты. Во всех моделях была принята физическая скорость истечения данных - 100Мбит/сек

Для приближения моделирования к реальным условиям был введен параметр «ролевая асимметрия», позволяющий всем адаптерам генерировать сетевые кадры к одному особому адаптеру чаще, чем ко всем остальным. Это позволило смоделировать сеть с одним сервером или шлюзом. Коэффициент асимметрии указывает во сколько раз

чаще генерируются кадры к особому адаптеру, чем к любому из остальных.

Таблица 1

Зависимость суммарной скорости передачи данных от количества адаптеров в сети

Количество адаптеров в сети	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	25
Средняя скорость передачи данных в сети, Мбит/с	198	145	178	184	186	189	193	194	197	198	200	208

Таблица 2

Зависимость скорости передачи от асимметричности сети (15 адаптеров)

Коэффициент асимметрии	1	1,2	1,4	1,6	1,7	2	3	4	5	10	100
Средняя скорость передачи данных в сети, Мбит/с	200	186	178	170	157	143	139	128	125	118	112

Заметим, что при значительной асимметрии сети скорость падает почти до физической скорости эмиссии, что объясняется постоянной занятостью сегментов сети, смежных с особым адаптером – сервером, однако скорость не становится ниже, чем в сетях с маркерным доступом.

Для сети из двух колец получены следующие результаты моделирования:

Таблица 3

Зависимость суммарной скорости передачи данных от количества адаптеров в сети (двойное кольцо)

Количество адаптеров в сети	6	7	8	9	10	11	15	25
Средняя скорость передачи данных в сети, Мбит/с.	714	756	738	776	760	792	800	804

Здесь снижение скорости для четного числа адаптеров объясняется тем, что каждый адаптер связывается с нечетным числом адаптеров, в результате чего возникает приоритетное направление отправки данных, что соответствует малой асимметрии.

Выводы. Результаты моделирования показали значительный прирост эффективности безмаркерных сетей кольцевой топологии по сравнению с маркерными сетями. Производительность безмаркерной

сети с равномерной нагрузкой составляет 700-800% от производительности маркерной сети (FDDI). Но производительность значительно падает при сетевой асимметрии – присутствии в сети компьютера, генерирующего трафика намного больше, чем получающего.

Это делает применение безмаркерных сетей очень выгодным в качестве одноранговых магистралей и несколько менее целесообразным в сетях с клиент-серверными отношениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. InternetWorldStats.com – комитет по сбору статистики использования Интернет.
2. Информация о коллизиях в Ethernet <http://www.intuit.ru/department/database/sqlserver2000/11/5.html>.
3. Анализ перспектив Token Ring 100 (HSTR) <http://www.crn.ru/numbers/reg-numbers/detail.php?ID=3342>.
4. Архитектура FDDI <http://relay.sao.ru/hq/vch/RusDoc/ito/7.htm>.
5. Архитектура FDDI http://book.itep.ru/4/41/fddi_416.htm.
6. Архитектура Token Ring <http://relay.sao.ru/hq/vch/RusDoc/ito/6.htm>.

Получено 16.11.2007 г.

УДК 004.722

В.А. Шугаев, Ю.А. Рубаха

РАЗРАБОТКА СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ СЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР

Введение. Разработка аппаратных решений для современных компьютерных систем довольно быстро переходит в стадию, на которой теоретические исследования в принципе не могут предоставить возможность глубокого анализа проектируемой технологии, либо становятся чрезвычайно трудоемкими. Изготовление же аппаратных прототипов – это дорогой и не менее сложный процесс, требующий привлечения соответствующих специалистов. Кроме того, положительно на процессе проектирования сказывается возможность варьирования количественных и качественных характеристик системы с возможностью отслеживания изменений в ее поведении и потребительских качествах. Компьютерное моделирование становится зачастую необходимой и вполне доступной фазой проектирования и анализа аппаратуры.

В процессе разработки новой кольцевой безмаркерной архитектуры сети стало очевидным, что результаты компьютерного моделирования станут очень информативными, а так же смогут прояснить некоторые спорные моменты касательно организации ее работы.

Однако не удалось обнаружить никаких программных заготовок или «стендов» для построения моделей такого рода, поэтому компьютерную модель пришлось оформлять в качестве самостоятельного программного продукта.

Постановка задачи. Работа посвящена проектированию и разработке специализированного программного средства, которое было использовано для моделирования кольцевой безмаркерной сети, а кроме того может быть использовано в научно-прикладных целях для моделирования других нестандартных сетевых архитектур, а так же в учебном процессе.

В связи с этим главными требованиями к среде являются гибкость – минимальные ограничения для конструирования сетей, расширяемость – возможность дополнительного создания классов

адаптеров, передающих сред, сетевых кадров и широкие возможности по сбору исторической и статистической информации – результатах моделирования.

Основная часть. Рассматриваемая среда Network Advanced Modeling Software (NAMS) основана на предыдущей закрытой разработке Network Modeling Software (NMS). NMS – использовалась на ранних стадиях проектирования и анализа кольцевой безмаркерной сети. NMS был экспериментальным продуктом, перед которым задачи выработки основных концепций и принципов реализации моделирования сетевых архитектур стояли наравне с собственно задачей моделирования.

NMS разрабатывался как нерасширяемый продукт, описывающий конкретную реализацию безмаркерной сети, и отказ от него связан именно со сложностями, которые возникли при попытке использовать его для моделирования двойного кольца и неординарных кольцевых топологий.

Как было сказано ранее, одним из требований к NAMS были гибкость и расширяемость. Это было достигнуто с помощью современного объектно-ориентированного подхода к программированию.

NAMS написан на Microsoft Visual Basic .Net для .Net Framework 1.1. Выбор этой системы неслучаен, поскольку именно ее возможности были задействованы для реализации определенных функций.

В NAMS существуют следующие базовые интерфейсы объектов:

Adapter, Interface, DataLine, Frame. Они описывают соответственно поведение процессора/контроллера сетевого адаптера; сетевого интерфейса (в общем случае один адаптер может иметь несколько интерфейсов); линию связи с ее физическими свойствами; кадр данных.

Реализовывать данные интерфейсы могут объекты различных классов, что позволяет моделировать различные сетевые адаптеры и способы их соединения.

Для моделирования используется событийно-ориентированный подход. В среде организованы внутренние часы и внутренняя очередь событий. События извлекаются из очереди в порядке назначенного из времени наступления и направляются к тем объектам, которые они

затрагивают (например, событие «завершение приема кадра» освобождает входящий интерфейс сетевого адаптера, изменяет состояние временного буфера сетевого адаптера, меняет некоторые переменные состояния адаптера). Во время обработки события объект устанавливает в очередь другие события, функционально связанные с обрабатываемым, например, событие «начало передачи сетевого кадра» связано с событием «конец передачи кадра» через его длину и скорость эмиссии данных.

В NAMS очень развита система сбора статистической информации: каждый объект моделирования может быть оснащен объектом сбора статистики, который может как собирать информацию для вывода статистических результатов, так и записывать в журнал (базу данных Microsoft Access) выбранные события для подробного их анализа с помощью сторонних средств (например, строить гистограммы задержек для кадров).

Так же развита система построения условия завершения моделирования – это могут быть составные условия с использованием логических операторов, наложенные на любые анализируемые характеристики системы, как глобальные – такие как суммарный объем переданных данных, глобальное время, так и локальные для адаптера или интерфейса – превышение длины очереди, истечение срока передачи кадра и т.д. Такие условия могут использоваться для детального изучения сети на предмет качества обслуживания.

В разработке возможность приостанавливать моделирование и вносить изменения в архитектуру или давать в ручном режиме команды для отслеживания реакции системы на ошибки и сбои в работе оборудования.

Обеспечиваемая .Net Framework возможность динамической загрузки сборок обеспечит в будущем возможность загрузки подключаемых модулей, которые смогут быть созданы без перекомпиляции основного приложения. А использование Reflection позволяет основной программе узнавать устройство дополнительных объектов для сбора статистической информации и проверки условий завершения моделирования.

В настоящее время ведется работа над визуальным интерфейсом программы и специфицированием внешних интерфейсов, которые могут быть востребованы авторами дополнительных модулей.

Полученные результаты. В зависимости от количества адаптеров и моделируемой частоты внутренних событий программа выполняет моделирование на процессоре Celeron M 1.6 ГГц в масштабе времени примерно 1:200 для сети из 20 адаптеров (1 секунда моделируется более 3 минут). В зависимости от объема сохраняемых результатов и собираемых статистик скорость моделирования падает. Для задач, стоящих перед программой это достаточная производительность, поскольку интервалы порядка более 10 секунд моделировать нецелесообразно, т.к. современные сети отличаются высокими скоростями и за несколько секунд успевают продемонстрировать свою работу. Задача моделирования в реальном времени не ставилась.

Программа работает стабильно, однако может работать с ошибками при заведомо неестественных значениях некоторых входных параметров, однако ограничения не вводились умышленно, чтобы не сужать возможностей данного лабораторного продукта. Полученные с помощью NAMS результаты моделирования кольцевой безмаркерной сети, стали частью доказательства ее работоспособности и высокой производительности.

Выводы. Разработанная среда моделирования нестандартных сетевых архитектур (NAMS) – лабораторный продукт, в настоящее время не имеющий доступных аналогов и позволяющий проводить моделирование работы сетей, как в учебных, так и в проектных целях. Примененный в ее разработке объектный подход с ориентацией на масштабируемость позволяет добавлять дополнительные классы объектов, только описав их поведение без изменений в саму среду, что позволить легко развивать проект силами независимых разработчиков.

Получено 16.11.2007 г.

УДК 621.391 (075.8)

О.О. Кузьменко, Ю.М. Рибка

АЛГОРИТМ ШВИДКОЇ ПОБУДОВИ КОДІВ ХАФФМЕНА

Постановка проблеми. Розглядаються основні недоліки класичних способів побудови коду Хаффмена. Описано алгоритм швидкої побудови цих кодів, який дозволяє отримати код за час $O(m_1)$ (де m_1 – кількість символів у алфавіті).

Аналіз останніх досліджень, невирішені проблеми. Інтерес до оптимального кодування росте пропорційно збільшенню обсягів інформації, що спостерігається у всіх галузях науки й техніки. Зараз майже немає програм, призначених безпосередньо для побудови кодів Хаффмена. Однак є ряд програм стиснення даних при використанні цих кодів (наприклад, [1,2]). Всі вони мають серйозний недолік: використовуються алфавіти, що містять не більше 256 символів. Оскільки, відповідно до основної теореми кодування Шенона [3], ефективність коду збільшується при кодуванні блоків символів (що рівносильно збільшенню алфавіту), можливість використання великих алфавітів у програмі може значно підвищити ефективність отримуваних кодів. Зазначимо також, що часова складність класичних алгоритмів побудови коду Хаффмена дорівнює $O(m_1^2)$ [3].

Постановка задачі. Необхідно розробити алгоритм швидкої побудови кодів Хаффмена, який дозволяє отримати код за час $O(m_1)$. Методика повинна працювати з алфавітами довільної розмірності.

Основні результати. Алгоритм побудови коду Хаффмена складається з двох частин [3]:

знаходження на кожному кроці двох символів алфавіту з найменшими ймовірностями та об'єднання цих символів;

визначення кодової комбінації для кожного символу алфавіту.

При реалізації класичного алгоритму побудови цього коду для знаходження символів із найменшими ймовірностями та їх об'єднання виконується повне перебирання усіх символів, тому часова ефективність становить $O(m_1^2)$ [3].

Можна використати для цієї мети структуру “піраміда”. Ця структура даних, по суті, є двійковим деревом, тому обчислювальна складність виконання злиттів символів складає $O(m_1 \log_2 m_1)$ [3].

Запропонуємо алгоритм, що дозволяє вибирати два символи з найменшими ймовірностями за час, що не залежить від розміру алфавіту. Виконання всіх необхідних об’єднань символів при цьому займає час $O(m_1)$.

Розглянемо процес виконання злиттів на прикладі алфавіту, символи якого мають ймовірності: 0,25, 0,25, 0,125, 0,1, 0,1, 0,06, 0,04, 0,025, 0,025, 0,025 (рис.1). На цьому рисунку використовуються такі умовні позначення: стрілки показують, які символи поєднуються на поточному кроці стиснення алфавіту, товста горизонтальна лінія розділяє символи на дві групи: символи, які ще не брали участь у злиттях розташовуються над нею, символи, отримані шляхом об’єднання символів - під нею. Будемо символ, отриманий при злитті, поміщати під цією лінією (якщо під нею були деякі символи, вони зрушуються вниз).

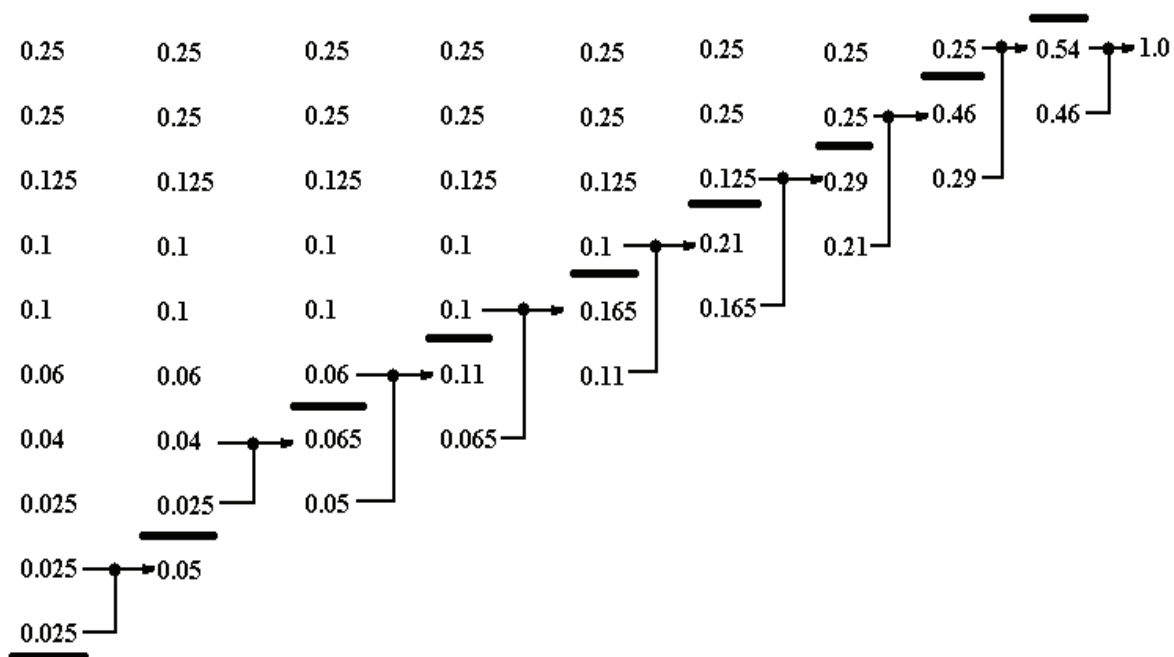


Рисунок 1 - Об’єднання символів алфавіту

Даний алгоритм можна описати наступним чином:

Упорядкувати символи вхідного алфавіту в порядку не зростання їх ймовірностей. Оскільки ще не було зроблено жодного об’єднання символів, всі вони потрапляють у групу 1 - групу символів, що не

брали участь у злиттях. Група 2 (символи, отримані шляхом об'єднання символів) на даному кроці є пустою.

Знайти два символи із найменшими ймовірностями. Пошук цих символів ведеться як у групі 1, так і у групі 2.

Знайдені символи виключити із груп і поєднати в один символ. Новий символ помістити в групу 2 на перше місце.

Якщо в обох групах разом більше одного символу, перейти до кроку 2.

Крок 2 алгоритму зводиться до того, що спочатку в групі 1 визначаються два символи з найменшими ймовірностями, потім ця ж операція повторюється для групи 2. Для визначення двох символів, що підлягають злиттю, потрібно вибрати із чотирьох раніше отриманих символів (два символи із групи 1 і два із групи 2) два символи із найменшими ймовірностями. Обрані символи виключаються із груп, а символ, утворений шляхом їх злиття поміщається на першу позицію в групу 2.

Оскільки символи групи 1 початково були впорядковані за зменшенням їх ймовірностей і надалі в цю групу не додаються нові символи, то впорядкованість символів у ній буде зберігатися. Таким чином, для знаходження символів з найменшими ймовірностями в групі №1 досить взяти із неї два останні символи.

З рис. 1 видно, що символ котрий додається на кожному кроці в початок групи 2 має ймовірність, більшу за ймовірність символу, що помістився на перше місце на попередньому кроці. Тобто на протязі даного алгоритму символи групи 2 також упорядковані за зменшенням їх ймовірностей. Тому два символи з найменшими ймовірностями - два останні символи цієї групи.

Обчислення довжин кодових значень. Розглянемо алгоритм обчислення довжин кодових комбінацій з ефективністю $O(m_1)$.

Нехай маємо алфавіт із ймовірностями символів 0,25, 0,25, 0,15, 0,15, 0,05, 0,05, 0,05, 0,05. Виконаємо злиття символів. При цьому на кожному кроці записуємо номери символів що об'єднуються до робочого масиву (рис. 2). Кожний елемент цього масиву являє собою пари номерів об'єднаних символів. На підставі цих даних легко можна побудувати дерево Хаффмена (рис 3).

a									
1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.55	1.0	
2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.45	0.45	0	
3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.3	0.3	0	0	
4	0.15	0.15	0.15	0.15	0	0	0	0	
5	0.05	0.05	0.1	0.2	0.2	0	0	0	
6	0.05	0.05	0	0	0	0	0	0	
7	0.05	0.1	0.1	0	0	0	0	0	
8	0.05	0	0	0	0	0	0	0	

Вміст робочого масиву: (8, 7); (6, 5); (7, 5); (4, 3); (5, 2); (3, 1); (2, 1)

Рисунок 2 - Приклад заповнення робочого масиву

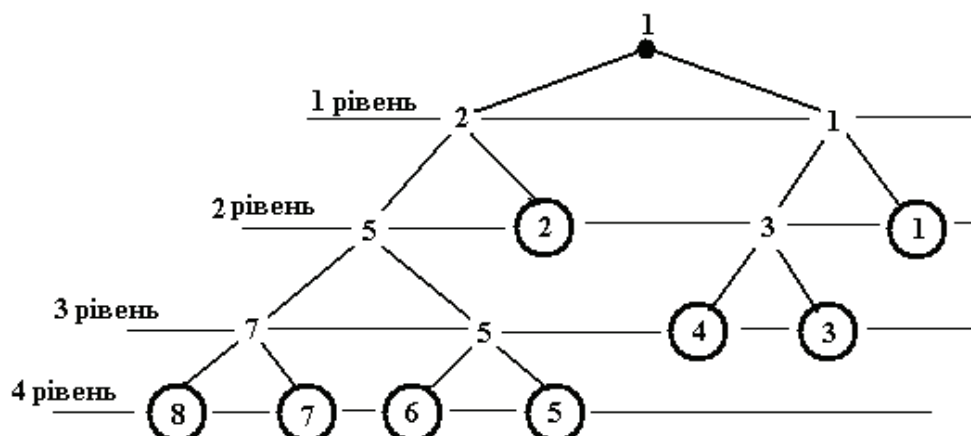


Рисунок 3 - Дерево Хаффмена, побудоване на основі робочого масиву

Довжина коду символу дорівнює номеру того рівня в дереві, на якому міститься цей символ. Випишемо всі вузли дерева, починаючи із “найглибших”: 4 рівень - 8,7,6,5; 3 рівень - 7,5,4,3; 2 рівень - 5,2,3,1; 1 рівень - 2,1. Таким чином, отримуємо наступну послідовність вузлів: 8, 7, 6, 5, 7, 5, 4, 3, 5, 2, 3, 1, 2, 1. Видно, що дана послідовність збігається із вмістом робочого масиву. А оскільки її елементи розташовані в порядку зменшення їх рівня в дереві, то й елементи робочого масиву (номера символів) будуть розташовані в порядку зменшення довжин їх кодів. Ця властивість обумовлює однократний обхід масиву з $m_1 - 1$ елементів. При цьому на кожному кроці виконується проста операція - інкремент умісту деякого лічильника. Очевидно, що складність алгоритму складе $O(m_1)$.

Обчислення кодів. Класичний алгоритм визначення кодових комбінацій [3] не дуже зручний при реалізації, тому що для побудови кодів необхідно додатково визначити максимальну довжину коду, кількість кодів кожної довжини та початкове значення коду для кожної з довжин.

Наведемо алгоритм, що дозволяє безпосередньо, тільки на підставі довжин кодових комбінацій, визначати коди символів.

Перейти до символу, що має найбільшу довжину коду. Змінній `code_len` присвоїти значення, рівне цій довжині.

Нехай поточний символ - a_i . l_i - довжина коду для a_i . Якщо l_i менше значення `code_len`, то зсунути значення `code_val` вправо на `code_len` - l_i розрядів. Змінній `code_len` присвоїти значення l_i .

Кодова комбінація символу a_i дорівнює `code_val`.

Значення змінної `code_val` збільшити на 1.

Якщо ще не обчислені кодові представлення для всіх символів, то повторити кроки 2-4 для символу a_{i-1} .

Покажемо, що цей алгоритм дійсно обчислює канонічні коди Хаффмена. Символи впорядковані за зменшенням довжини відповідних їм кодів. Припустимо, довжина коду першого символу дорівнює L , тоді цей символ одержить кодову комбінацію $S_L = 0...0$, що складається з L нулів. Другий символ з довжиною коду L одержить представлення $S_L + 1$, третій символ - $S_L + 2$, і т.д. Останній символ з довжиною коду L одержить представлення рівне $S_L + N_L - 1 = 0 + N_L - 1$, де N_L - кількість символів, що мають коди довжини L . Припустимо, далі йде символ з довжиною коду рівної $L-1$, тоді йому буде поставлений у відповідність код $S_{L-1} = (N_L - 1 + 1) \gg L - (L - 1)$, тобто $S_{L-1} = (0 + N_L) \gg 1$. Символи з довжиною коду $L-1$ отримають коди S_{L-1} , $S_{L-1} + 1$, $S_{L-1} + 2, \dots, S_{L-1} + N_{L-1} - 1$. Символи з довжиною коду $L-2$ одержать коди $S_{L-2} = (S_{L-1} + N_{L-1}) \gg 1$, $S_{L-2} + 1$, $S_{L-2} + 2, \dots, S_{L-2} + N_{L-2} - 1$.

При цьому немає необхідності заздалегідь обчислювати початкові значення для кодів кожної довжини, оскільки вони утворюються автоматично в процесі роботи алгоритму.

Порівняння з іншими алгоритмами. Нижче наведені результати порівняння часу роботи програм побудови кодів Хаффмена `tplzh` (автор Joe Jared [1]) та `PQHuff` (автор Mark Nelson [2]) з розробленою авторами даної роботи програми `Huff`.

У програмі `tplzh` для знаходження символів із найменшими ймовірностями використовується повне перебирання всіх символів, що зумовлює її низьку ефективність - $O(m_1^2)$. Програма `PQHuff` використовує для цієї мети структуру “піраміда” і має ефективність порядку $O(m_1 \log_2 m_1)$.

Програма `Huff` реалізує описаний у даній роботі алгоритм швидкої побудови кодів Хаффмена. Її ефективність $O(m_1)$.

Тестування проводилося на комп’ютері, з процесором Intel Celeron 700 МГц, оперативна пам’ять 128 Мб. Для кожного алфавіту виконувалося 5 запусків кожної з програм і обчислювався середній час побудови кодів. Результати дослідження представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння програм для побудови кодів Хаффмена

Розмір алфавіту, тис. символів	Час побудови кодів, мс		
	<code>tplzh v0.31</code>	<code>PQHuff</code>	<code>Huff v1.0.7</code>
50	2845	2254	120
100	3100	2603	225
250	4790	3585	510
500	8910	5980	970
1000	---	9744	1909
2000	---	---	3926

Висновки. В роботі було проведено аналіз існуючих програм для побудови кодів Хаффмена та розроблено алгоритм швидкої побудови коду Хаффмена (на основі нього було написано програму `Huff`).

Проведено також порівняння розробленого програмного продукту із двома аналогами, в результаті якого програма `Huff` показала вищу ефективність.

Алгоритм реалізовано у вигляді параметризованих класів мови C++. Це значно спростить його повторне використання у інших програмах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Програма для стиснення з використання кодів Хаффмена. FTP://webworldinc.com/joejared/tplzh031.zip.
2. Програма PQHuff для стиснення даних з використання кодів Хаффмена. <http://www.dogma.net/markn/articles/pqstl/source.zip>.
3. Жураковський Ю.П., Полупорак В.П. Теорія інформації та кодування. –К.: Вища школа. 2001.

Получено 22.11.2007 г.

СЕМАНТИКО-СИНТАКСИЧНА МОДЕЛЬ КЛАСИФІКАЦІЇ КЛІНІЧНИХ ДІАГНОЗІВ

Постановка проблеми. Сучасна тенденція розвитку госпітальних інформаційних систем полягає в переході від вузько-функціональних систем до багатофункціональних, комплексних і відкритих інформаційних систем; при цьому актуальним стає питання інтеграції різноманітних систем у єдиному інформаційному просторі[1,2]. Ключовим моментом у цьому сенсі стають питання розробки та вдосконалення стандартів щодо надання та обміну інформацією[3].

Вирішення питань щодо інтеграції різноманітних госпітальних інформаційних систем, централізованої обробки, аналізу та дослідження даних, що поступають з різноманітних джерел, тісно пов'язано з вирішенням проблем стандартизації відносно надання, використання та керування біо-медичною інформацією.

При цьому у якості пріоритетних класифікацій, що використовуються в госпітальних інформаційних системах стають класифікації діагнозів, операцій, процедур, які виконують роль бази для аналітичної та статистичної оцінки лікувально-діагностичного процесу. Найважливішою серед означених слід вважати класифікацію клінічних діагнозів, яка лежить у основі і діагностичних систем, і оцінки результатів діяльності лікувальних закладів, а також є базою створення стандартів лікування.

На даний момент у більшості медичних інформаційних систем, розповсюджених на території України і в світі, як класифікація діагнозів використовується міжнародна класифікація хвороб 10-го перегляду. Однак є труднощі з її використанням в практичних і дослідницьких цілях. Так, при інформаційній обробці діагнозів не враховуються всі ознаки, властиві конкретному захворюванню. Процес адаптації інших термінологічних систем пов'язаний як зі значними витратами, так і з рядом недоліків, які роблять неефективною їх адаптацію до систем державних лікувальних закладів України.

Таким чином, дослідження всесвітнього досвіду, обґрунтування і побудова концептуальної моделі оптимальної класифікації діагнозів для лікувальних закладів України, а також розробка і побудова інструментарію керування цією класифікацією, враховуючи можливу інтеграцію з однією із сучасних термінологічних систем, і створення госпітальної системи, що враховує специфіку державних лікувальних установ, є важливим завданням, пов'язаним з інформатизацією державних медичних закладів України.

Аналіз публікацій та постановка задачі. На основі аналізу сучасних термінологічних систем[4-9] слід відзначити наступні особливості: широке коло медичної термінології, що передбачає можливість кодування любого медичного поняття з будь-якої області; концептно-орієнтована архітектура; композиційна схема кодування; існування обмежень на семантику заданої композиції.

Розглянемо основні принципи використання термінологічної системи.

Фактично процес завдання комплексного медичного концепту (клінічного діагнозу) складається з формування композиції на основі концептів-атомів, що відносяться до різноманітних осей системи; при цьому враховуються семантичні обмеження на зв'язок понять. В результаті отримується кодова комбінація, що задає консистентний термін за визначеною ТС. Подальший розвиток передбачає реалізацію механізмів трансляції натурально-мовних речень, що описують медичний термін, в кодову послідовність (композицію концептів) з обмеженням або взагалі без участі користувача.

З означеного вище, виходять три припущення: будь-яке натурально-мовне консистентне описання стосовно медичної термінології має бути відображене ТС на базі взаємодії „термін-синоніми-концепт”; процес кодування може бути здійсненим тільки на базі інформаційних технологій; користувачем системи має бути досвідчений спеціаліст.

З визначеного підходу виходять наступні негативні фактори щодо впровадження такої системи в ЛПЗ України навіть у разі їх перекладу на українську або російську мову:

1. Складність процесу кодування навіть у разі досвідченого лікаря. Так, у разі завдання комплексного концепту, лікар повинен знайти необхідні концепти-атоми, що належать різним осям.

Пошук може здійснюватися на основі дерева класифікації та за термінами-синонімами, але у обох випадках пов’язаний з тратою певного часу на ітерації „пошук-вибір”.

2. Складність побудови механізмів аналізу інформації. За означеним принципом одне складне поняття може бути закодованим декількома різноманітними засобами; таким чином, щоб вибрати хворих з відповідним класом захворювання, слід генерувати усі комбінації можливих кодів.
3. Неможливість користування ТС за межами інформаційної системи, тобто кодування лікарем клінічного діагнозу з подальшим вводом цього коду оператором є повністю неможливим.

Розглянемо механізм завдання семантичних обмежень. Слід відзначити, що в першу чергу основним об’єктом дослідження з цього питання було вибрано SNOMED CT як основний претендент на стандартизацію, при цьому доменом інтересу є виключно область клінічних діагнозів. Семантична складова системи, описується логікою *ELH* [10, 11] яка: підтримує спадкоємство концептів і відношень; надає можливість визначення концептів через сукупність інших, використовуючи оператор кон’юнкції; підтримує оператор можливості зв’язку концепту з іншим концептом. Наприклад, на рис. 1 показано визначення концепту „гостра виразка шлунка” (acute gastric ulcer) в системі SNOMED CT, яка визначена як гостра виразка, що знаходиться в шлунку (finding site.stomach) та характеризується швидким розвитком (clinical course. sudden onset and short duration). Важливою особливістю є існування асоціацій, наприклад, з поняттям важкості (severity), але на атрибути не можуть бути накладені ніякі обмеження. Так, не можливо виділити обов’язкові атрибути, без значень яких концепт не може вважатися семантично повним або навіть коректним, та можливі характеристики, які не визначають, але поширюють поняття. Другою особливістю є неможливість завдання обмежень на кількість значень певної характеристики. Описані проблеми тісно пов’язані з відсутністю конструкторів обмежень на кількість філерів ролі або атрибуту (асоціації), що надає можливість завдання багатозначних концептів. Також слід відзначити можливість існування залежності

характеристик одного концепту, що також не може бути заданим на базі існуючих механізмів семантичних обмежень.

Стосовно питання взаємодії з адміністративними системами слід відзначити, що у версії SNOMED CT (January 2007) існує прямий зв'язок концептів діагнозів з класифікацією МКХ-9, в той час як єдиним стандартом для звітної документації на території України з 1997 р. є остання версія класифікація МКХ-10.

Останнім важливим питанням є питання існування механізмів формування синтаксично-правильного опису концепту на базі заданого коду (наприклад, статистична карта хворого стаціонару). Реальним виходом у контексті цієї проблеми стосовно кодування клінічних діагнозів є лише дублювання закодованого терміну додатковим натурально-мовним описом без можливості автоматичного перекладу, що безумовно ускладнює роботу лікаря.

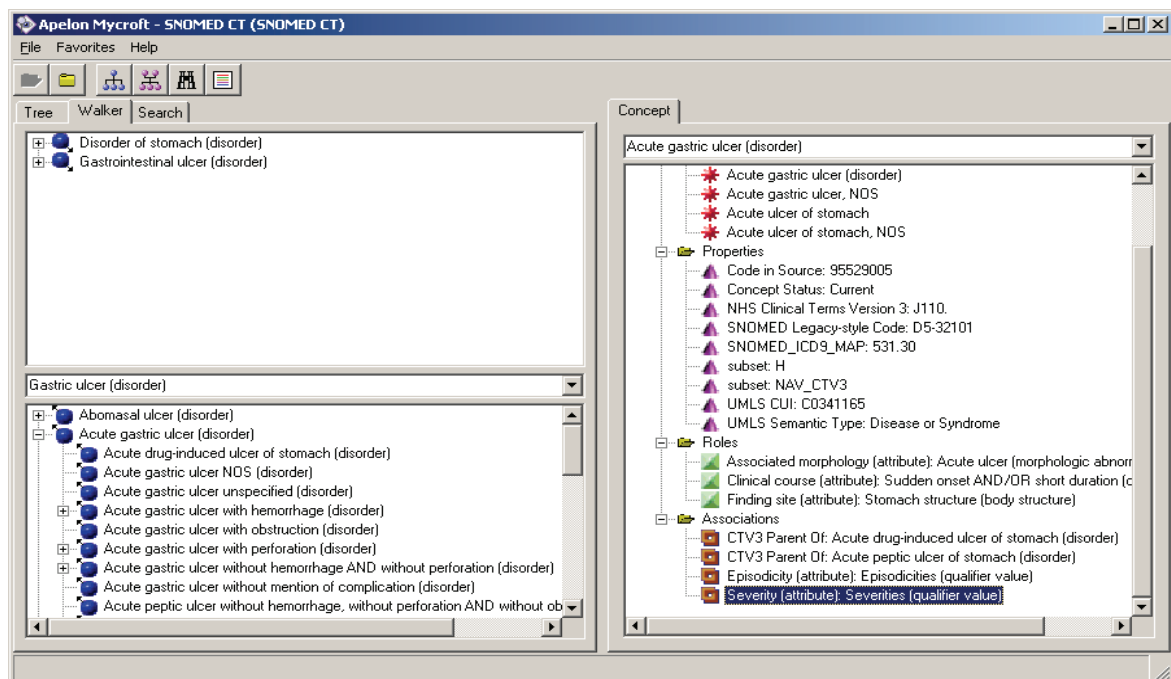


Рисунок 1 - Гостра виразка шлунка за SNOMED CT

Виходячи з даних проведеного аналізу, основними вимогами, що впливають на успішне використання клінічної класифікації в ЛПЗ України слід вважати: компактність надання множини клінічних діагнозів базуючись на композиційній архітектурі класифікації; врахування семантичних особливостей, пов'язаних із задачею формування лише семантично-коректних понять; наявність механізмів формування лише синтаксично-правильних описів діагнозів. Можливим рішенням може бути розробка або застосування

деякої надбудови над вказаною термінологічною системою, що враховувала би специфіку цих умов.

Задача:

В даній роботі ставиться задача надання моделі класифікації клінічних діагнозів, що відповідає вимогам ЛПЗ України.

Основна частина

На базі проблемної лабораторії „Нові інформаційні технології в медицині” Дніпропетровської Державної Медичної Академії було запропоновано форма прототипу і варіант класифікації клінічних діагнозів в домені гастроентерологічних хвороб [12]. Класифікація може бути представлена у вигляді мережевої структури, що складається з множини класів клінічних діагнозів, у ролі яких можуть виступати діагнози МКХ-10 та множини клінічних характеристик, що складають множини (осі) категорій клінічних характеристик. Елементами термінологічних осей є формули-макети або примітиви. Макети складаються зі слів (констант) та клінічних характеристик (змінних), які пов'язані з елементами інших термінологічних осей, виключаючи свою. Так макет діагнозу «виразка шлунку» може мати клінічну характеристику «ускладнення», який зв'язує даний діагноз з віссю «ускладнень». На зв'язок накладаються обмеження на значення і на число значень. Порядок клінічних характеристик у макеті та слова-константи, що виконують роль зв'язок клінічних характеристик, надають можливість створення натурально-мовного опису діагнозу. Концепти осі діагнозів, елементами якої являються діагнози МКХ-10, що мають макети, можуть бути пов'язаними зі всіма осями класифікації. Макети інших осей можуть включати клінічні характеристики всіх типів, окрім діагнозів. Макет діагнозу, пов'язаний з певним кодом МКХ-10, відображає всі можливі варіанти даного діагнозу і, як правило, поглинає варіанти даного діагнозу, представлені в МКХ-10.

У якості істотних особливостей клінічного діагнозу за наданими вимогами слід відзначити:

1. Композиція концептів, що складають комплексне поняття, може відбуватися тільки в рамках семантичних обмежень, накладених на клінічні характеристики, що складають змінну частину макету.

2. Клінічні характеристики мають певний порядок у макеті, що впливає на генерацію синтаксично правильного опису.
3. З клінічною характеристикою може бути пов'язана деяка синтаксична складова, що містить ряд слів-констант, які забезпечують натуральність мови у описі діагнозу. У разі визначення клінічної характеристики слова константи, пов'язані з нею, з'являються у кінцевому описі варіанту діагнозу разом з її значенням. При цьому слід враховувати можливість існування механізмів, за яким може відбуватися редукція або зміна синтаксичної складової клінічної характеристики в макеті у разі вибору клінічної характеристики.
4. Існує залежність між клінічними характеристиками. Значення залежної характеристики задається тільки у разі визначення характеристики, від якої вона залежить.
5. Основним елементом макету є статистичний діагноз МКХ-10.
6. Кожен з визначених варіантів класу клінічного діагнозу, заданого макетом, має відповідність в МКХ-10.
7. Класифікація клінічних діагнозів має бути орієнтована на компактний опис множини варіантів заданого класу діагнозів і відповідно композицію необхідного поняття на базі даного опису, але не на пошук понять по всім термінологічним осям або трансформацію натурально-мовного речення в коди, що надає можливість виключити лікаря з процесу безпосередньої взаємодії з системою.

Приймаючи наведені вимоги та бажану форму і неформальний опис клінічної класифікації як вихідні дані для моделювання, доцільно провести формалізацію, побудову узагальненої семантико-синтаксичної моделі клінічного діагнозу.

В роботі [13] була приведена методика формування моделі клінічного діагнозу з застосуванням апарату логіки предикатів першого порядку. З точки зору семантики множина клінічних діагнозів може бути представлена у вигляді набору формул, оснований на аксіомах, що виступають в ролі метамови та вказують на засоби та шляхи побудови цих формул. Доменом інтерпретації цих формул є скінчена кількість класів клінічних діагнозів та їх клінічних характеристик.

Переваги даного підходу полягають в точному описі правил створення і використання концепту клінічного діагнозу, що надає можливість побудови алгоритмів перевірки як завдання концепту експертом, так і коду, введенного користувачем на базі певного макету діагнозу. Недоліками даного підходу є трудомісткість як з погляду побудови, так і з точки зору вдосконалення даної моделі.

Синтаксична складова форми клінічного діагнозу може бути віднесена до таких мов опису знань, що розглядає мову у якості множини правильно побудованих фраз, складених з елементів деякої фіксованої множини (алфавіту мови), не торкаючись при цьому семантики побудованої фрази.

Таким чином, можна сказати, що шаблон-макет клінічного діагнозу може бути представлений у вигляді формальної граматики, на базі якої генерується множина коректних речень діагнозів.

Так, у якості прикладу можна навести наступну граматику, яка відображає множину станів, пов'язаних з діагнозом «шлунково-стравохідний розривно-геморагічний синдром» (код K22.6 за МКХ-10), який має наступний вигляд у нотації УКСКХ „Синдром Маллорі-Вейса з кровотечею, {!I,{крововтрата !T ст. тяжкості}}”. Введемо до розширеної нотації знак „!”, який за нетермінальним символом буде означати можливість обов'язкової підстановки замість нього одного зі зв'язаних з ним значень. Для скорочення запису була виключена деяка кількість значень клінічних характеристик, та їх семантичні подробиці. Кожен шаблон клінічного діагнозу може бути наданим у нормальній формі, тобто у вигляді контекстно-незалежної граматики (зліва може стояти лише нетермінальний символ, теорема 5.1. за [14]). Наприклад:

K22.6 → Синдром Маллорі-Вейса з кровотечею S_1

$S_1 \rightarrow !S_2$

$S_2 \rightarrow$ крововтрата **T**

$I \rightarrow I_1|I_2$

$I_1 \rightarrow$ (активна струминна)

$I_2 \rightarrow$ (активна капілярна)

$T \rightarrow T_1|T_2|T_3$

$T_1 \rightarrow$ легкого ступеня важкості (*крововтрата 10-20%, пульс до 90 уд. за 1 хв., $AT > 120$ мм. рт. ст., шоківий індекс $П/AT - 0,54-0,78$; ...*)

$T_2 \rightarrow$ середнього ступеня важкості (*...додатковий опис*)

$T_3 \rightarrow$ важкого ступеня (...*додатковий опис*)

Загальну мета-модель (мета-граматику), що лежить в основі моделей (граматик), і здатна відображати як загальний процес трансформації деякої кодової комбінації в Т-термінальний ланцюжок (натурально-мовне описання клінічного діагнозу), або порядок завдання деякого діагнозу за правилами граматики, так і можливу структуру шаблону діагнозу, що задає відповідну граматику.

$$K \rightarrow K_1 | K_2 | K_3 | \dots | K_n \quad (1)$$

Кожний існуючий діагноз (в ідеалі) може бути віднесеним до одного з шаблонів, пов'язаного з кодом МКХ-10. Це ствердження відображено продукцією

$$K_i \rightarrow \alpha_i S_i \quad \alpha_i \in VT^* \quad (2)$$

Правило (2) показує структуру шаблону, яка складається з початкового термінального рядка $\square_i$, який може бути пустим, тобто віднесеним до множини терміналів з пустим ланцюжком, та набору слотів-атрибутів, пов'язаних з даним шаблоном.

$$S_i \rightarrow \Sigma_{i1} \Sigma_{i2} \dots \Sigma_{im} \quad (3)$$

Правило (3) показує структуру набору слотів-атрибутів розширеного опису діагнозу, пов'язаного з кодом K_i .

$$\Sigma_{ij} \rightarrow l_1 \alpha \Sigma_{ik} P_{ij} \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma \quad (4)$$

Правило (4) показує синтаксичну структуру слоту, де l_1, l_2 – термінальні символи, що визначають границі слоту, P_{ij} – ядро слоту, α, β, γ – термінальні рядки, Σ_{ik}, Σ_{il} – залежні слоти з аналогічною структурою.

$$P_{ij} \rightarrow * \Theta_{ij} \varepsilon | ! \Theta_{ij} \varepsilon | * \Theta_{ij} \& | ! \Theta_{ij} \& \quad (5)$$

$$l_1 \alpha * \Theta_{ij} \varepsilon \beta l_2 \gamma \rightarrow \alpha N_{ij} \beta \gamma | \varepsilon \quad (6)$$

$$l_1 \alpha ! \Theta_{ij} \varepsilon \beta l_2 \gamma \rightarrow \alpha N_{ij} \beta \gamma \quad (7)$$

$$l_1 \alpha * \Theta_{ij} \& \beta l_2 \gamma \rightarrow \alpha (N_{ij}) + \beta \gamma | \varepsilon \quad (8)$$

$$l_1 \alpha ! \Theta_{ij} \& \beta l_2 \gamma \rightarrow \alpha (N_{ij}) + \beta \gamma \quad (9)$$

Правила (5-9) показують варіанти структури слоту. Додаткові знаки „*” та „!” вказують на обов'язковість підстановки одного з значень замість нетермінального символу та не входять до алфавіту V . Знак „&” вказує на можливість підстановки декількох значень нетермінального символу одночасно. Знак розширеної нотації формальних граматик „+” означає обов'язкову підстановку одного або декількох значень замість нетермінального символу.

$$\Sigma_{ik} \rightarrow l_1 \alpha \Sigma_{ik} * \Theta_{ij} \varepsilon \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma \rightarrow$$

$$l_1 \alpha N_{ij} \beta l_2 \gamma | l_1 \alpha N_{ij} \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma | l_1 \alpha \Sigma_{ik} N_{ij} \beta l_2 \gamma | l_1 \alpha \Sigma_{ik} N_{ij} \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma | \gamma$$
(10)

$$\Sigma_{ik} \rightarrow l_1 \alpha \Sigma_{ik} ! \Theta_{ij} \varepsilon \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma \rightarrow$$

$$l_1 \alpha N_{ij} \beta l_2 \gamma | l_1 \alpha N_{ij} \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma | l_1 \alpha \Sigma_{ik} N_{ij} \beta l_2 \gamma | l_1 \alpha \Sigma_{ik} N_{ij} \beta \Sigma_{il} l_2 \gamma$$
(11)

Правила (10-11) показують варіант залежності слотів у шаблоні (слоти Σ_{ik} і Σ_{il} залежить від Σ_{ij}) у разі обов’язкової та необов’язкової клінічної характеристики. Відповідні правила для формул (3.19)-(3.20) будуються аналогічним чином.

$$N_{ij} \rightarrow \delta_{ij1} | \delta_{ij2} | \dots | \xi_{ij1} S_{ij1}^1 | \xi_{ij2} S_{ij2}^1 | \dots | \xi_{ijn} S_{ijn}^1$$
(12)

Правило (12) показує варіанти значень нетермінального символу, якими можуть бути як термінальні символи, так і певна кількість шаблонів-значення $\xi_{ij1} S_{ij1}^1 | \xi_{ij2} S_{ij2}^1 | \dots | \xi_{ijn} S_{ijn}^1$.

$$S_{ijk}^1 \rightarrow \Sigma_{ijk1}^1 \Sigma_{ijk2}^1 \dots \Sigma_{ijkm-1}^1$$
(13)

У випадку шаблону-значення він може бути організований з $m-1$ слотів-атрибутів, де m – кількість нетермінальних символів в алфавіті, що визначають клінічні характеристики діагнозу(правило 13).

Описана формальна модель дає наступні результати:

1. Визначена загальна синтаксична структура слоту клінічної характеристики, його компоненти, їх порядок у слоті та у фреймі.
2. Визначені чотири види слотів.
3. Визначені термінальні рядки, що можуть існувати перед клінічною характеристикою, після неї, та взагалі після слоту.
4. Визначені варіанти підстановки значень замість нетермінального символу-характеристики.
5. Описані правила підстановки у разі залежності між слотами.

З метою відображення семантичної складової класифікації моделі клінічного діагнозу та враховуючи досвід розробки сучасних термінологічних систем, доцільно розглянути модель семантичної складової класифікації на базі дескрипційної логіки. Це дозволить віднести мову опису класифікації до формалізованих мов, визначити її переваги і недоліки, можливі шляхи розвитку.

Термінологічна база знань у нотації дескрипційної логіки описується набором термінологічних аксіом, конструкторів, концептів і ролей. Слід особливо підкреслити, що від вибору конструкторів, аксіом та мови класифікації залежить не тільки

концептуальна модель і механізми керування класифікацією, але і її подальший розвиток. Вважаючи еволюційний підхід основою розробки, слід особливу увагу звернути на вибір необхідного мінімуму конструкторів та аксіом логіки, без протиріч сформованим вимогам.

Розглянемо аксіоми. В загальному випадку існують два види аксіом: аксіоми підпорядкування (inclusion axioms) та аксіоми визначення (equality axioms). Обидва типи аксіом стосуються ролей та концептів. З семантичної точки зору аксіоми підпорядкування говорять, що підпорядкування концептів або ролей у визначеному домені інтерпретації означає, що множина об'єктів, формуючих клас концептів або бінарних відношень формуючих клас ролей, є підмножиною більш загальної множини (класу) відповідно об'єктів та ролей $(C_1 \subseteq C_2)^{\mathfrak{A}} = C_1^{\mathfrak{A}} \subseteq C_2^{\mathfrak{A}}$.

В нашому випадку можна сказати, що доменом інтерпретації $\Delta^{\mathfrak{A}}$ є медична термінологія клінічних діагнозів, в якій чітко визначаються множини класів діагнозів, ієрархія яких задана на засадах МКХ-10, і класів клінічних характеристик $\Delta^{\mathfrak{A}} = \Delta_D^{\mathfrak{A}} \cup \Delta_C^{\mathfrak{A}}$. Класами ролей є: відношення „клас-суперклас” в суб-домені діагнозів $C_1^{\mathfrak{A}} \subseteq C_2^{\mathfrak{A}} \subseteq \Delta_D^{\mathfrak{A}}$; відношення асоціації „має зв'язок з клінічною характеристикою”, яке може бути заданим об'єднанням можливих бінарних зв'язків між доменами діагнозів і характеристик та можливих відношень в самому домені характеристик $R^{\mathfrak{A}} = (\Delta_D^{\mathfrak{A}} \times \Delta_C^{\mathfrak{A}}) \cup (\Delta_C^{\mathfrak{A}} \times \Delta_C^{\mathfrak{A}})$.

Аксіоми підпорядкування та визначення концептів є базовими для будь-якої дискрипційної логіки. Виключення аксіоми підпорядкування приводить до виключення можливості побудови таксономії, що приводить до дублювання однієї і тієї інформації в системі, неможливості узагальнення висновків щодо заданих фактів. Таким чином, існування ієрархії в домені клінічних характеристик і відповідно аксіоми підпорядкування, слід вважати необхідною складовою класифікації клінічних діагнозів.

Розглянемо конструктори концептів класифікації. Концепт діагнозу визначається класом діагнозу (нозологія МКХ-10) та набором клінічних характеристик, серед яких слід виділити обов'язкові, тобто без завдання яких концепт не є семантично правильним,

необов’язкові та приймаючі декілька значень одночасно. Також була визначена залежність клінічних характеристик – значення певної клінічної характеристики має сенс лише при визначені другої.

Для визначення характеристик існують два механізми. Перший – це ролі звичайного апарату дескрипційної логіки. Другий – це характеристики (faetures) апарату логіки характеристик (feature logic). Логіка характеристик вийшла з досліджень в області обчислювальної лінгвістики і є логікою, що надає можливість задавати семантичні обмеження в уніфікаційній граматиці, яка може бути визначена як правила контекстно-незалежної граматики з семантичними обмеженнями, та має метою розбір та генерацію натурально-мовних речень [15, 16]. В основі логіки характеристик також знаходиться частина теорії предикатів з теорією моделей семантики Тарського, але основними недоліками логіки характеристик, стосовно термінології клінічних діагнозів, є відсутність механізмів обмежень на кількість значень атрибуту та спрямована орієнтація на роль додаткового рівня обмежень в синтаксико-семантичній системі уніфікаційної граматики. Таким чином, для опису характеристик доцільно обрати стандарт дескрипційної логіки.

Користуючись дескрипційною логікою, клінічний діагноз можна описати як $CN = D_i \sqcap R_j.C_i \sqcap \dots \sqcap R_k.C_n$, $R_j.R_k \sqsubseteq R, D_i \sqsubseteq T(D), C_i \dots C_n \sqsubseteq T(C)$, де D_i – клас діагнозу (наприклад за МКХ-10), $R_j \dots R_k$ – імена ролей-атрибутів, що відповідають категоріям клінічних характеристик, $C_i \dots C_n$ – класи характеристик, що відповідають даному діагнозу.

Тип клінічної характеристики (обов’язковість та ін.) може задаватися за допомогою конструкторів обмеження на кількість значень, пов’язаних з визначеним класом (Q див. розділ 2).

Розглянемо причини виключення конструктору $CN = \exists R.C_i$, який є основою логіки SNOMED CT.

За визначенням цей конструктор означає: для множини об’єктів визначеного класу CN існує таке значення y атрибуту R , що належить класу C . В нотації теоретичної семантики це ствердження має відповідний запис $\{x \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists y. \langle x, y \rangle \in R^{\mathcal{I}} \wedge y \in C^{\mathcal{I}}\}$. У якості прикладу [11] можна привести ствердження $\exists hasChild.Female$, яке означає

множину всіх об'єктів, що мають дитину жіночої статі, але це не означає, що об'єкти не мають дітей чоловічої статі.

На відміну від цього, конструктор $CN = \forall R.C_1$ означає, що всі об'єкти класу C пов'язані з класом CN відношенням R мають бути об'єктами цього класу. В нотації теоретичної семантики це ствердження має відповідний запис $\{x \in \Delta^{\exists} \mid \forall y. \langle x, y \rangle \in R^{\exists} \rightarrow y \in C^{\exists}\}$. Наприклад ствердження $\forall hasChild.Female$ означає клас об'єктів, які мають дітей тільки жіночої статі і ніяких інших.

У нашому випадку однією з основних вимог є строгість семантичних обмежень. Тобто, якщо ми говоримо, що діагноз „виразка шлунка” має атрибут „ускладнення”, ми визначаємо множину ускладнень виразки шлунку, але не всіх ускладнень взагалі, або ускладнень виразки шлунку та ще будь-яких інших ускладнень. За цим, виключення конструктору екзистенціальності вважаємо обґрунтованим.

Для визначення залежності клінічних характеристик в рамках дескрипції слід визначити конструктор матеріальної імплікації.

Таким чином, ми отримуємо наступний мінімальний набір конструкторів концептів клінічного діагнозу відповідно заданим вимогам (табл. 1). Приймаючи до уваги еквівалентність відношень $C_1 \rightarrow C_2 \equiv \neg C_1 \vee C_2$ або $C_1 \rightarrow C_2 \equiv \neg(C_1 \wedge \neg C_2)$, мову УКСКХ можна віднести до підмножини мов FL_0CQ або більш відомої логіки $ALCQ$ без оператора «обмеження на існування». В таблиці 2 наведено відповідності нотацій УКСКХ і DL $ALCQ$. Великими літерами з індексами внизу позначаються класи, які поєднують концепти певної осі, які можуть бути пов'язані з діагнозом, наданим фреймом, наприклад: фази захворювання діагнозу «виразка дванадцятипалої кишки». Розглянемо наприклад діагноз K40, який має такий шаблон „{!L} {!Q} пахова грижа, {ускладнена *O&.}”. Користуючись нотацією дескрипційної логіки даному концепту можна надати відповідну дескрипцію

$$F(K40) \doteq K40 \sqcap \forall^{-1} hasLocalization.L_i \sqcap \forall^{-1} hasClinicalCourse.Q_j \sqcap \forall^{20} hasComplexity.O_j \\ L_i \sqsubseteq T(L), \quad Q_j \sqsubseteq T(Q), \quad O_i \sqsubseteq T(O), \quad OQL \sqsubseteq T(C)$$

За описаною моделлю, семантична складова діагнозу складається з двох частин: класу діагнозу та ролей-характеристик, пов'язаних з класами відповідних концептів характеристик, що відносяться до

певних категорій-осей. Значення ролі „локалізація” може бути лише з класу, що складається, наприклад, з об’єктів {лівостороння, правостороння, двостороння}, а ролі «клінічні прояви» з об’єктів {вправна, невіправна, рецидивна}.

Теоретично класи описаних об’єктів можуть бути віднесеними і до іншого концепту, і можуть бути розширеними. У цьому випадку можна говорити про успадкування одного класу клінічних характеристик від іншого, у якості прикладу можна навести ступінь важкості в контексті кровотечі.

Таблиця 1

Конструктори концептів УКСКХ

Оператор	Нотація дескрипційної логіки
Кон’юнкція	$CN = C_1 \sqcap C_2$
Імплікація	$CN = C_1 \rightarrow C_2$
Обмеження на значення	$CN = \forall R.C_1$
Обмеження на мінімальне число значень	$CN = \geq nR.C_1$
Обмеження на максимальне число значень	$CN = \leq nR.C_1$

Таблиця 2

Таблиця відповідностей конструкторів концептів УКСКХ та мови ALCQ

Нотація УКСКХ	Приклад	Нотація логіки	Опис
*Axis	{*F}	$\forall^{\leq 1} hasPhase.F_i$ $F_i \sqsubseteq F$	Необов’язкова клінічна характеристика діагнозу
{*Axis1 {*Axis2}}	{*T{*F}}	$\neg(\forall^{\leq 1} hasPhase.F_i \sqcap$ $\neg \forall^{\leq 1} hasSeverity.T_j)$ $F_i \sqsubseteq F, T_j \sqsubseteq T$	Залежність характеристики F від T
Axis&	{*O&}	$\forall^{20} hasComplexity.O_i$ $O_i \sqsubseteq O$	Можливість завдання декількох значень
!Axis	{!T}	$\forall^{\neg 1} hasSeverity.T_k$ $T_k \sqsubseteq T$	Обов’язкова характеристика

Семантико-синтаксична модель класифікації. Серед формалізмів, здатних об’єднати синтаксичну і семантичну складові, слід відзначити фреймову парадигму опису знань[17,18,19], що має тісний зв’язок з об’єктно-орієнтованим підходом програмування. У такому сенсі фреймова парадигма може служити мета-мовою, здатною відобразити семантичні та синтаксичні особливості, визначені на певних рівнях формалізації. Результатом моделювання може вважатися концептуальна модель структурної та функціональної

складових класифікації, методики її інтеграції з існуючими термінологічними системами.

Іншим методом об'єднання семантичної та синтаксичної складових може вважатися застосування апарату уніфікаційної грамматики, що базується на застосуванні правил контекстно-вільної грамматики поширених логікою характеристик[15]. Але її спрямованість на синтаксичну складову (застосування графів характеристик) та відсутність засобів щодо завдання необхідних семантичних обмежень є вагомими недоліками при розробці клінічної класифікації діагнозів.

На засадах методики описання фреймових систем слід відзначити, що моделлю класифікації можна вважати композицію наступних складових: аксіоми та перелік конструкторів, здатних описати фрейм-концепт; структура слоту з визначенням відповідних граней; визначення функціональної складової класифікації, що може бути визначена як набір команд мови керування класифікацією та базується на перших двох складових. Аксіоми та конструктори концептів були визначені в попередньому параграфі. Структуру слоту, тобто множину його граней, що об'єднує семантичну та синтаксичну складові, наведено в табл. 3. Необхідно відзначити існування термінального рядка, який не належить жодному слоту.

Основу функціонального рівня складають команди управління фреймовою мережею класифікації на засадах описаної структури. Серед особливостей відзначимо команди завдання абстрактних фреймів, які складаються з певної множини слотів характеристик, успадкування від абстрактних фреймів і т.п.

Таблиця 3

Загальна структура слоту фрейму УКСКХ

Ім'я грані слоту	Опис грані слоту
SuperSlot	Слот, від якого наслідуються даний
MemberSlot	Ідентифікатор слоту
SlotIsDependentOf	Слот, від якого даний залежить
ValueClass	Ім'я концепту (фрейму), з яким задається відношення
Cardinality.Min	Обмеження на мінімальну кількість значень
Cardinality.Max	Обмеження на максимальну кількість значень
OrderInFrame	Порядок слоту у фреймі
OrderInSlot	Порядок підпорядкованого слоту в слоті
DirectionForOrderInSlot	Показчик напрямку місцезнаходження підпорядкованого слоту в слоті
TerminalString1	Термінальний рядок перед КХ у фреймі
TerminalString2	Термінальний рядок за КХ у фреймі
TerminalString3	Термінальний рядок, який стоїть за слотом у фреймі

Розглянемо більш детально особливості механізму успадкування синтаксичної складової. Проблема полягає в тому, що при звичайному методі успадкування такі синтаксичні особливості наданого опису, як відмінок та множина, втрачаються. Можливими рішеннями можуть бути: успадкування тільки семантичної складової, з повторним завданням синтаксичних термінів, враховуючи описані особливості; надання додаткового механізму трансформації синтаксичних термінів філерів слотів абстрактного фрейму у відповідну форму на засадах додаткових ознак. Перший метод приводить до збільшення часу, що витрачається експертом на редагування класифікації, другий, у чистому вигляді, до складності логіки програми керування.

Таким чином, оптимальним може вважатися інтеграція описаних підходів, за яким за заданими правилами здійснюється генерація та подальше копіювання заданих термінів до множини значень відповідного слоту; при цьому експерту надається можливість змінювати ці значення. Важливо підкреслити, що з семантичної точки зору концепти лишаються незмінними.

Формально, процес успадкування може бути описаним наступним чином: $\forall_{C \leq F} \forall_{s \in F.S} s \in C.S \equiv Copy(GT(s, F.S.GTRules), C.S)$, де F $\square$ абстрактний фрейм, C $\square$ фрейм, $F.S$ – множина слотів супер-фрейму, $Copy$ – предикат, що описує процес копіювання відповідної частини мережі, що пов’язана з успадкованим слотом, GT – предикат, що описує синтаксичну трансформацію термінів при успадкуванні на основі описаних правил $GTRules$ для даного слоту.

Слід відзначити також правило відносно змін у абстрактному фреймі. Без перевірки фактів, заданих на основі фрейму C відносно змінених слотів, зміна в слотах не можлива, що може бути виражено як $\forall_{C \leq F} \forall_{s \in F.S} \forall_{c \in C \wedge c.s.v \neq \varepsilon} Update(F.s) \rightarrow Update(C.s) \rightarrow Check(c.s.v)$, де c – екземпляр-факт C з заданим значенням відповідного слоту, s – слот, v – філер слоту в екземплярі-об’єкті.

Розглянемо перехід від фреймової до об’єктно-орієнтованої моделі класифікації. Як було описано в розділі 2, перехід може здійснюватися наступним чином: структурна частина отриманої фреймової репрезентації може бути відображена на даталогічну модель, а функціональна – на об’єктно-орієнтовану модель, що описує контур керування класифікацією.

Концептуальна модель класифікації представлена на рис. 2. Основою класифікації є композиція класів *Frame* та *Slot* (табл. 4, 5), що відповідає за репрезентацію фреймової мережі клінічних діагнозів. Особливістю моделі є використання циклічного зв'язку на базі шаблону *Composite*, що дозволяють репрезентувати мережу з необмеженою кількістю рівнів ієрархії „частина-ціле”. Залежність слотів у рамках фрейму (конструктор імплікації слотів) визначається циклічним зв'язком класу *Slot*, що дозволяє задати нескінчену кількість вкладених слотів. Класи *AFrameFrame* та *AFrameSlot* відповідають за реалізацію механізму успадкування фреймів-концептів від абстрактних фреймів, при цьому передбачається можливість реалізації часткового успадкування (лише деяких слотів абстрактного фрейму). Також важливою особливістю при реалізації успадкування є існування механізму граматичної трансформації філерів визначеного слоту, при якому зі значенням слоту абстрактного фрейму можуть бути пов'язані схеми граматичної трансформації, які визначаються композицією класів *GT*, *GTItem*, *GTTypeID*: клас *GT* визначає схему трансформації; клас *GTItem* визначає елементарну трансформацію в рамках фрейму-значення; *GTType* визначає тип трансформації. Елементарною трансформацією можна вважати заміну вказаних маркерів (*Marker*) в значенні атрибуту *TS0* відповідного фрейму на фразу (*Description*) за визначеною схемою. Клас *Axis* відповідає за репрезентацію осей класифікації, тісно пов'язаних з визначенням слотів фреймів. Класи *ICD*, *ICDFrame* відповідають за зв'язок клінічної класифікації з МКХ-10. Приклад завдання фрейму діагнозу «шлунково-стравохідний розривно-геморагічний синдром» (К 22.6 по МКХ-10) з макетом {, (! I) {, крововтрата !T ст. тяжкості}} показано в таблицях 6, 7.

Таблиця 4

Структура таблиці «фрейми»

Атрибут	Призначення
FrameID	Ідентифікатор фрейму
SlotID	Ідентифікатор слоту
Element	Номер характеристики даного класу для даного слоту
TS0	Значення у випадку примітивного концепту або термінальний рядок, який передує першому слоту у випадку фрейму
Note	Додатковий атрибут для більш детального опису

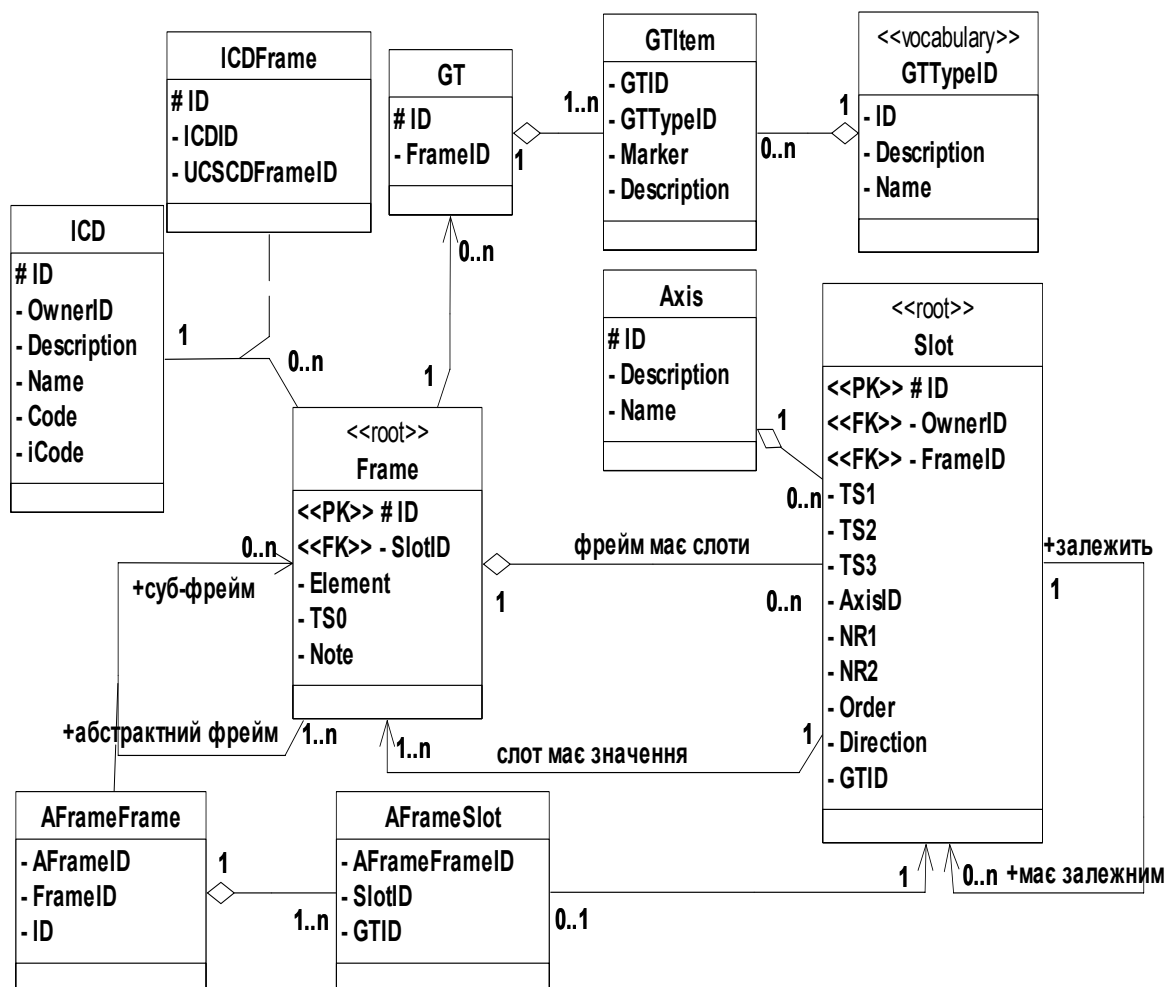


Рисунок 2 - Концептуальна модель УКСКХ

Таблиця 5

Структура таблиці «слоти»

Атрибут	Призначення
FrameID	Ідентифікатор фрейму
SlotID	Ідентифікатор слоту
HSlotID	Ідентифікатор слоту, від якого залежить даний.
TS1	Термінальний рядок символів перед гранню Axis
Axis	Вісь
TS2	Термінальний рядок символів після грані Axis
TS3	Термінальний рядок символів за слотом
Order	Порядок слоту в фреймі/слоті(У разі залежного слоту)
Direction	Показчик місця (має сенс у разі залежного слоту).
NR1	Обмеження на мінімальне число значень
NR2	Обмеження на максимальне число значень

Таблиця 6

Фрейми і значення

ID	SlotID	Axis	Element	T ₀ /Value
100	0			Синдром Малорі-Вейса з кровотечею
120	210	I	1	активна струминна
121	210	I	2	активна капілярна
...				

144	211	T	1	легкого
145	211	T	2	среднього

Таблица 7

Слоти											
FrameID	SlotID	HSID	TS ₁	Axis	TS ₂	TS ₃	Order	oif	Direction	NR1	NR2
100	210	0	, (	I	)	.	0	1	0	1	1
100	211	210	, кровов- втрата	T	ступінь тяжкості		1	0	0	1	1

Висновки. В даній роботі надано семантико-синтаксична модель класифікації клінічних діагнозів, що відповідає основним вимогам щодо успішного використання в ЛПЗ України, якими є: простота і компактність надання множини клінічних діагнозів базуючись на композиційній архітектурі класифікації; врахування семантичних особливостей, пов'язаних із задачею формування лише семантично-коректних понять; наявність механізмів формування лише синтаксично-правильних описів діагнозів. Формальна модель клінічного діагнозу, як елементу класифікації, включає семантичну і синтаксичну складові, які описані на базі формальних граматик і дескрипційної логіки. Концептуальна модель класифікації діагнозів основана на формальній семантико-синтаксичній моделі і надається з використанням фреймового і об'єктно-орієнтованого підходів до опису знань.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриценко В.И. Медицинское информационное пространство. Госпитальные информационные системы / В.И. Гриценко, А.М. Сердюк, М.И. Вовк, А.Б. Котова. – К.: Международный науч.-учеб. центр ЮНЕСКО\МПИ информ. технологий и систем, 1998. – 16 с.
2. Гриценко В.И., Вовк М.И., Котова А.Б. Введение в архитектуру информационного пространства. Модели. Проблемы развития. Киев, Наукова думка, 2003. – 168 с.
3. Емелин И.В. Интеграция стандартов медицинской информатики. – М.: Кремлевская медицина, 2000. – С. 26–36.
4. Keizer N.F., Abu-Hanna A., Zwetsloot J.H.M. Understanding Terminological Systems (I): terminology and typology // Methods of information in Medicine. – 2000. – № 39. – P. 16–21.

5. Spackman K.A., Campbell K.E. Compositional concept representation using SNOMED: Towards further convergence of clinical terminologies // Proceedings AMIA Annual Fall Symp. – 1998. – P. 740–744.
6. Rothwell D. J. SNOMED-based knowledge representation // Meth Info Med. – 1995. – № 34. – P. 209–213.
7. Rothwell D., Cotñ R. Managing Information with SNOMED: Understanding the model // SCAMC, 1996. – P. 80–83.
8. Read JD, Benson TJR. Comprehensive coding. British Journal of Healthcare Computing. – 1986 – №3 – p. 622-625.
9. Ceusters W., Smith B., Flanagan J. Ontology and Medical Terminology: Why Description Logics Are Not Enough // Towards an Electronic Patient Record (TEPR 2003), San Antonio, Boston, MA: Medical Records Institute (CD-ROM publication), 10–14 May, 2003.
10. Baader F., Brandt S., Lutz C. Pushing the EL envelope // Proc. of the Nineteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-05, Edinburgh, UK, 2005. Morgan-Kaufmann Publishers. – p.364-369.
11. The description logic handbook: Theory, implementation, and applications / Edited by Franz Baader, Deborah L. McGuinness etc. – Schneider. – 2003. – 574 p.
12. Библиотека практического врача. Унифицированная клинико-статистическая классификация болезней. Болезни пищеварения / Под ред. чл.-корр. АМН Украины Филиппова Ю.А. – Днепропетровск, 1998. – 40 с.
13. Хандецкий В. С., Литвинов А. А. Методика формирования модели диагноза на базе унифицированной клинико-статистической классификации болезней // Информационные технологии. – 2002. – №4. – С. 49–54.
14. Глушков В.М. Алгебра. Языки. Программирование. – 1978. – 320 с.
15. Smolka G. Feature constraint logics for unification grammars. Journal of logic programming. – vol.12. – 1992 – P.51-87.
16. Nebel B., Smolka G. Attributive description... and the rest of the World. In Textunderstanding in LILOG: Integrating computational linguistic and artificial intelligence. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. – 1991. – P.439-452.
17. Marvin Minsky. A Framework for Representing Knowledge. MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974
18. Kifer M., Launsen G., Wu J. Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages. // Journal of the Association for Computing Machinery. – vol. 42 -- №4 -- 1995. – P. 741-843.
19. Karp, PD,. The Design Space of Frame Knowledge Representation Systems. Technical Report 520, SRI International Artificial Intelligence Center, 1992. 49 p.

Получено 22.11.2007 г.

УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ В ОПЕРАТОРНОЙ ФОРМЕ

Актуальность темы. Для работы с линейными нестационарными системами представленными в операторной форме широко используется теория матриц над кольцом линейных нестационарных дифференциальных операторов. Для изучения устойчивости таких систем пространство устойчивых сигналов должно быть замкнуто относительно действия дифференциальных операторов. В работе предлагается пространство устойчивых сигналов, абелева группа которого имеет структуру левого модуля над кольцом операторов.

Постановка задачи. В работе предлагается модификация понятия устойчивости системы в терминах вход-выход, учитывающая собственные движения систем и базирующаяся на первом методе Ляпунова.

Обоснование полученных результатов. Характеристический показатель Ляпунова (в дальнейшем просто показатель) функции x из пространства X бесконечно дифференцируемых за исключением конечного числа точек функций определяется как верхний предел

$$\chi(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\ln |x(t)|}{t}, \quad \chi(0) = -\infty.$$

Функция x имеет строгий показатель, если существует предел

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\ln |x(t)|}{t}.$$

Для числа $\alpha < 0$ определим множество

$$M_\alpha = \{x \in X \mid \chi(x^{(i)}) < \alpha, i = 0, 1, 2, \dots\} \quad (1)$$

Заметим, что $\forall m \in M_\alpha \quad \lim_{t \rightarrow \infty} m(t) = 0$. Выделим в подмножество

$$\overline{M}_\alpha = \{m \in M_\alpha \mid \exists C_i > 0 \quad \forall t \in D(m^{(i)}) \quad |m^{(i)}(t)| \leq C_i, i = 0, 1, 2, \dots\}, \quad (2)$$

где $D(\cdot)$ – область определения функции.

Если, например, $\alpha = -2$, то $e^{-3t}/t \in M_\alpha$, но $e^{-3t}/t \notin \overline{M}_\alpha$.

Любая функция из M_α , начиная с некоторого момента T будет ограниченной. Более того, согласно 34, 83, имеем

$$\forall \varepsilon \exists C > 0 \quad |m(t)| \leq C e^{(\chi(m)+\varepsilon)t}, \quad t > T, \quad t \in D(m). \quad (3)$$

Рассмотрим произвольное поле $\mathbb{Q}$ функций со строгим нулевым показателем, замкнутое относительно дифференцирования. Примером такого поля является множество дробно рациональных функций. Рассмотрим кольцо линейных дифференциальных операторов с коэффициентами в поле $\mathbb{Q}$. Выделим в поле $\mathbb{Q}$ подкольцо $\mathbb{Q}_T$, состоящее из функций, не имеющих полюсов при $0 \leq t < \infty$ (полюса в бесконечности допустимы). Выделим в $\mathbb{R}$ подкольцо $\mathbb{R}_T$ операторов с коэффициентами из $\mathbb{Q}_T$.

Теорема 1. Множества M_α и $\overline{M_\alpha}$ являются абелевыми группами, имеющими структуру левого $\mathbb{R}$ и $\mathbb{R}_T$ модулей, соответственно.

Согласно [1, 2]

$$\chi(x_1 + x_2) \leq \max(\chi(x_1), \chi(x_2)), \quad \forall x_1, x_2 \in X \quad (4)$$

Из соотношений (1), (4) и линейности дифференцирования следует, что M_α - абелева группа. Рассмотрим теперь $m_1, m_2 \in \overline{M_\alpha}$. Согласно (2) $\exists C_{1,i}, \exists C_{2,i} \forall t \in D(m_1^{(i)}) \quad |m_1^{(i)}(t)| \leq C_{1,i}, \forall t \in D(m_2^{(i)}) \quad |m_2^{(i)}(t)| \leq C_{2,i}$. Тогда $\forall t \in D((m_1)'(t) + m_2'(t))^{(i)} \supseteq D(m_1^{(i)}) \cap D(m_2^{(i)}) \quad |(m_1)'(t) + m_2'(t)|^{(i)} \leq C_{1,i} + C_{2,i}$, т.е. $m_1 + m_2$ лежит в $\overline{M_\alpha}$.

Определим операции умножения

$$\forall m \in M_\alpha \quad \forall r \in \mathbb{R} \quad rm = \left(\sum_i q_i p^i \right) m = \sum_i q_i m^{(i)}, \quad q_i \in \mathbb{Q}.$$

$$\forall m \in \overline{M_\alpha} \quad \forall r \in \mathbb{R} \quad rm = \left(\sum_i q_i p^i \right) m = \sum_i q_i m^{(i)}, \quad q_i \in \mathbb{Q}_T.$$

Так как абелевы группы M_α и $\overline{M_\alpha}$ замкнуты относительно дифференцирования, то для доказательства теоремы следует показать, что $\forall q \in \mathbb{Q}, \forall m \in M_\alpha \quad qm \in M_\alpha$ и $\forall q_T \in \mathbb{Q}_T, \forall m \in \overline{M_\alpha} \quad q_T m \in \overline{M_\alpha}$.

Элементы из $\mathbb{Q}$ и $\mathbb{Q}_T$ имеют строгий нулевой показатель, поэтому согласно [1, 2] для любого q из $\mathbb{Q}$ и m из $M_\alpha \quad \chi(qm) = \chi(m) < \alpha$. Дифференцируя qm произвольное число раз, убеждаемся, что $\chi((qm)^{(i)}) < \alpha$. Отсюда следует, что qm лежит в M_α .

Пусть $q_T \in Q_T$, $\forall m \in \overline{M}_\alpha$, тогда $q_T m \in M_\alpha$. q_T и m ограничены вместе со всеми своими производными в своих областях определения. Следовательно $q_T m \in \overline{M}_\alpha$.

Согласно неравенства (3) элементы множеств M_α и $\overline{M}_\alpha$ экспоненциально убывают. Следовательно, эти множества можно назвать пространствами устойчивых сигналов.

Введём множества

$$S_0(M_\alpha^n) = \{S \in R^{n \times n} \mid \forall x \in X^n (Sx=0^n) \Rightarrow x \in M_\alpha^n\} \quad (5)$$

$$S(M_\alpha^n) = \{S \in R^{n \times n} \mid \forall x \in X^n \forall u \in M_\alpha^n (Sx=u) \Rightarrow x \in M_\alpha^n\} \quad (6)$$

$$S_0(\overline{M}_\alpha^n) = \{S \in R^{n \times n} \mid \forall x \in X^n (Sx=0^n) \Rightarrow x \in \overline{M}_\alpha^n\} \quad (7)$$

$$S(\overline{M}_\alpha^n) = \{S \in R^{n \times n} \mid \forall x \in X^n \forall u \in \overline{M}_\alpha^n (Sx=u) \Rightarrow x \in \overline{M}_\alpha^n\} \quad (8)$$

Очевидно, что $S(M_\alpha^n) \subseteq S_0(M_\alpha^n)$, $S(\overline{M}_\alpha^n) \subseteq S_0(\overline{M}_\alpha^n)$.

Изучим свойства множеств (5) – (8).

Утверждение 1. Пусть $S_1 \in S(M_\alpha^n)$, $S_2 \in S_0(M_\alpha^n)$, а матрицы $U_1, U_2 \in R^{n \times n}$ обратимы над R . Обозначим $\overline{S}_1 = U_1 S_1 U_2$, $\overline{S}_2 = U_1 S_2 U_2$. Тогда, $\overline{S}_1 \in S(M_\alpha^n)$, $\overline{S}_2 \in S_0(M_\alpha^n)$.

Рассмотрим уравнения $\overline{S}_1 x_1 = u$, $u \in M_\alpha^n$ и $\overline{S}_2 x_2 = 0^n$. Произведём замену неизвестных: $z_i = U_2 x_i$, $i=1,2$ и умножим уравнения слева на U_1^{-1} . От последнего действия решения уравнений согласно Леммы из [3] не изменятся. Получим $S_1 z_1 = u_1$, $S_2 z_2 = 0^n$, где $u_1 = U_1^{-1} u$. В силу теоремы 1 $u_1 \in M_\alpha^n$. Из определения множеств $S_0(M_\alpha^n)$ и $S(M_\alpha^n)$ следует, что в последних равенствах функции z_i , $i=1,2$ лежат в M_α^n . Так как $x_i = U_2^{-1} z_i$ и $U_2^{-1} \in R^{n \times n}$, то в силу теоремы 1 $x_i \in M_\alpha^n$, $i=1,2$. Согласно определениям (5) и (6) имеем $\overline{S}_1 \in S(M_\alpha^n)$, $\overline{S}_2 \in S_0(M_\alpha^n)$.

Утверждение 2. Пусть $S_1 \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$, $S_2 \in S(\overline{M}_\alpha^n)$, а матрица $U \in R^{n \times n}$ обратима над R . Тогда $US_1 \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$. Однако в общем случае $S_1 U \notin S_0(\overline{M}_\alpha^n)$, и $S_2 U, US_2 \notin S(\overline{M}_\alpha^n)$.

Рассмотрим уравнение $S_1 x = 0^n$. Так как $x \in \overline{M}_\alpha^n$, то в силу Леммы из [3] $US_1 \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$. Для уравнения $S_2 Ux = u$, $u \in \overline{M}_\alpha^n$ сделаем

замену $z=Ux$. Так как $S_2 \in S(\overline{M_\alpha}^n)$ и $S_2 z = u$, то $z \in \overline{M_\alpha}^n$. В общем случае $U^{-1} \notin R_T^{n \times n}$ и $x = U^{-1}z$ не лежит в $\overline{M_\alpha}^n$, т.е. $S_2 U \notin S(\overline{M_\alpha}^n)$. Взяв уравнение $S_1 U x = 0^n$ аналогично доказываем, что $S_1 U \notin S_0(\overline{M_\alpha}^n)$. Перейдём к уравнению $U S_2 x = u$, $u \in \overline{M_\alpha}^n$. В $Q^{n \times n}$ найдётся такая матрица V , что $V S_2 \in R_T^{n \times n}$. Тогда $\overline{S}_2 x = u_1$, где $\overline{S}_2 = V S_2$ и $u_1 = V U^{-1} u$. В общем случае $U^{-1} \notin R_T^{n \times n}$ и $u_1 \notin \overline{M_\alpha}^n$. Пусть $x \in \overline{M_\alpha}^n$. Согласно теореме 1 $\overline{S}_2 x \in \overline{M_\alpha}^n$. Противоречие.

Утверждение 3. Пусть $A \in R^{n \times n}$, $\text{rk} A = n$. Приведём A к верхней правой треугольной матрице B . Если диагональные элементы $b_{1,1}, b_{1,2} \dots b_{n,n}$ матрицы B лежат в $S(M_\alpha)$, то $A \in S(M_\alpha^n)$. При $b_{n,n} \in S_0(M_\alpha)$ и $b_{1,1}, b_{1,2} \dots b_{n-1,n-1} \in S(M_\alpha)$ имеем $A \in S_0(M_\alpha^n)$. Из того, что матрица A лежит в $S(M_\alpha^n)$ или в $S(\overline{M_\alpha}^n)$, следует, что диагональные элементы матрицы B лежат в $S_0(M_\alpha)$ ($S_0(\overline{M_\alpha})$).

Рассмотрим систему уравнений $Ax = u$, $u \in M_\alpha^n$. Умножим её слева на обратимую в $R^{n \times n}$ матрицу U , приводящую A к B : $Bx = v$, $v = Bu$. Распишем последнее уравнение построчно

$$\begin{aligned} b_{1,1}x_1 &= -(b_{1,2}x_2 + \dots + b_{1,n}x_n) + v_1 \\ &\dots\dots\dots \\ b_{n-1,n-1}x_{n-1} &= -b_{n-1,n}x_n + v_{n-1} \\ b_{n,n}x_n &= v_n, \end{aligned} \quad (9)$$

где $x = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_{n-1})^T$, $v = (v_1 \ v_2 \ \dots \ v_{n-1})^T$.

Так как по условию $b_{i,i} \in S(M_\alpha)$, $i=1, 2 \dots n$, то решая (9) снизу вверх, на основании теоремы 1 и определения множества $S(M_\alpha)$ имеем, что $x \in M_\alpha^n$. Следовательно $B \in S(M_\alpha^n)$. Используя утверждение 1, получаем $A \in S(M_\alpha^n)$. Пусть $b_{n,n} \in S_0(M_\alpha)$ и $b_{1,1}, b_{1,2} \dots b_{n-1,n-1} \in S(M_\alpha)$. Аналогично имеем $A \in S_0(M_\alpha^n)$. Положим $u = 0^n$. Согласно определению $S(M_\alpha^n)$ ($S(\overline{M_\alpha}^n)$) все решения x_i , $i=1, 2 \dots n$ лежат в $M_\alpha(\overline{M_\alpha})$. Система (9) допускает решения в виде $(x_1 \ x_2 \ \dots \ x_i \ 0 \ \dots 0)^T$, где x_i - любое решение уравнения $b_{i,i}x_i = 0$, $i=1, 2 \dots n$. Из (5) (соответственно (7)) следует, что $b_{i,i} \in S_0(M_\alpha)$ ($b_{i,i} \in S_0(\overline{M_\alpha})$).

Утверждение 4. Пусть диагональные элементы $b_{i,i}$, $i=1, 2 \dots n-1$ матрицы B лежат в $S(\overline{M}_\alpha)$ и $b_{n,n} \in S_0(\overline{M}_\alpha)$, а наддиагональные элементы расположены в R_T . Тогда $A \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$.

Рассмотрим уравнение (9) при $v_i=0$, $i=1, 2 \dots n$. Так как $b_{n,n} \in S_0(\overline{M}_\alpha)$, то $x_n \in \overline{M}_\alpha$. Решая уравнение снизу вверх и учитывая, что $b_{i,i} \in S(\overline{M}_\alpha)$, $i=1, 2 \dots n-1$, $b_{i,j} \in R_T$, $i=1, 2 \dots n-1$, $j=i+1, i+2 \dots n$ в силу теоремы 1 имеем $x_i \in \overline{M}_\alpha$, $i=1, 2 \dots n-1$. Следовательно $B \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$. Поскольку $A=U^{-1}B$, то воспользовавшись утверждением 2, получим $A \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$.

Определим следующую разновидность устойчивости в терминах вход-выход [4], которая учитывает собственные движения системы.

Назовём линейную нестационарную многосвязную систему

$$Ax = Bu, \quad (10)$$

где $A \in R_T^{n \times n}$, $B \in R_T^{n \times m}$ $\overline{M}_\alpha$ -инвариантной, если при любом входе $u \in \overline{M}_\alpha^m$ её выходы x лежат в $\overline{M}_\alpha^n$.

Утверждение 5. Если система (10) $\overline{M}_\alpha$ -инвариантна, то $A \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$. Обратно, если $A \in S(\overline{M}_\alpha^n)$, то эта система $\overline{M}_\alpha$ -инвариантна.

Пусть система (10) $\overline{M}_\alpha$ -инвариантна. Положим $u=0^n$. Все решения уравнения $Ax=0^n$ лежат в $\overline{M}_\alpha^n$, что в соответствии с (7) означает $A \in S_0(\overline{M}_\alpha^n)$.

Обратно. Пусть $A \in S(\overline{M}_\alpha^n)$. Из теоремы 1 получим $Bu \in \overline{M}_\alpha^n$. Из определения множества $S(\overline{M}_\alpha^n)$ в (8) следует, что $x \in \overline{M}_\alpha^n$, т.е. система (10) $\overline{M}_\alpha$ -инвариантна.

Выводы. Первый метод Ляпунова позволил определить пространство устойчивых сигналов, замкнутое относительно действия линейных нестационарных дифференциальных операторов. Изучены условия устойчивости линейных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Наука, 1967. 472 с.
2. Теория показателей Ляпунова и её приложение к вопросам устойчивости. / Былов Б.Ф., Виноград Р.Э., Гробман Д.М., Немыцкий В.В. М.: Наука, 1966. 576 с.
3. Григорьев В.М. Совместность и эквивалентность линейных нестационарных систем управления // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 2 (10). - Дніпропетровськ, 2003. - С. 104–112.
4. Дезоер Ч., Видьясагар М. Синтез систем с обратной связью: вход-выходные соотношения. М.: Наука, 1983. 280 с.

Получено 13.11.2007 г.

ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС СИСТЕМЫ КОНВЕРТОРОВ ИМПЕДАНСА

Актуальность. Увеличение чувствительности первичного измерительного преобразователя (индуктивного, емкостного, резистивного) к контролируемому параметру является одной из основных задач при разработке средств измерения и контроля.

Анализ известных решений. Решению этой задачи посвящено много работ. Особый интерес для повышения чувствительности представляют преобразователи импеданса, позволяющие масштабировать полное сопротивление измерительного преобразователя [1,2]. Преобразователи с изменением знака импеданса существенно повышают чувствительность электрических цепей [3,4]. В работе [5] показано как увеличить абсолютное приращение реактанта первичного индуктивного преобразователя системой из последовательно соединенных токовых конверторов. Выводы из [5] справедливы для частного случая, не учитывающего коэффициенты преобразования конверторов, а также возможные способы включения измерительных преобразователей в схемы конверторов.

Постановка задачи. Целью работы является анализ входного импеданса системы из последовательно соединенных токовых конверторов для обоснования возможности повышения чувствительности к изменению импеданса первичного измерительного преобразователя.

Основная часть. Рассмотрим общий случай последовательного соединения произвольного количества n токовых конверторов импеданса, выполненных на основе дифференциального усилителя постоянного тока (рис.1).

Отдельный i -й конвертор преобразует линейные электрические импедансы z_{1i}, z_{2i}, z_{3i} во входной импеданс z_{exi} , равный согласно [6]

$$z_{\text{exi}} = -z_{1i} z_{3i} / z_{2i} \quad (1)$$

Найдем входной импеданс z_{ex1} электрической цепи, которая состоит из произвольного количества n последовательно соединенных

токовых конверторов (рис.1). Входной импеданс последнего n-го конвертора согласно (1) равен

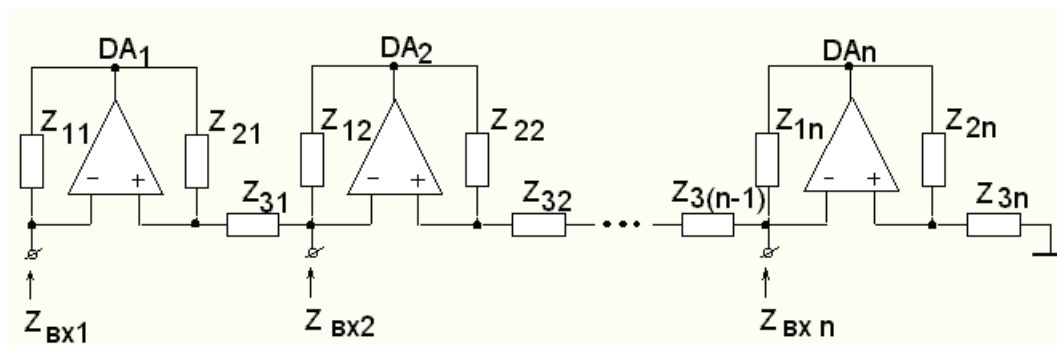


Рисунок 1 - Последовательное соединение токовых конверторов импеданса

$$Z_{\text{вх}n} = -Z_{1n}Z_{3n}/Z_{2n} \quad (2)$$

При этом $Z_{\text{вх}n}$ последовательно соединен с импедансом $Z_{3(n-1)}$, входящим в состав (n-1)-го конвертора. Конвертор с номером (n-1) преобразует суммарный импеданс $(Z_{3(n-1)} + Z_{\text{вх}n})$ в $Z_{\text{вх}(n-1)}$, равный

$$Z_{\text{вх}(n-1)} = -(Z_{3(n-1)} + Z_{\text{вх}n})Z_{1(n-1)}/Z_{2(n-1)} \quad (3)$$

или с учетом (2)

$$Z_{\text{вх}(n-1)} = -\frac{Z_{1(n-1)}}{Z_{2(n-1)}} \left(Z_{3(n-1)} - Z_{3n} \frac{Z_{1n}}{Z_{2n}} \right) \quad (4)$$

Для импеданса $Z_{\text{вх}1}$ по аналогии с (4) можно записать

$$Z_{\text{вх}1} = -\frac{Z_{11}}{Z_{21}} \left(Z_{31} - \frac{Z_{12}}{Z_{22}} \left(Z_{32} - \dots - \frac{Z_{1(n-1)}}{Z_{2(n-1)}} \left(Z_{3(n-1)} - Z_{3n} \frac{Z_{1n}}{Z_{2n}} \right) \right) \dots \right). \quad (5)$$

Преобразуем (5) к виду конечного ряда:

$$Z_{\text{вх}} = -Z_{31} \frac{Z_{11}}{Z_{21}} + Z_{32} \frac{Z_{11}Z_{12}}{Z_{21}Z_{22}} - \dots + (-1)^n Z_{3n} \frac{Z_{11}Z_{12}Z_{13} \dots Z_{1n}}{Z_{21}Z_{22}Z_{23} \dots Z_{2n}}, \quad (6)$$

тогда в общем виде входной импеданс $\square$ электрической цепи из n последовательно соединенных конверторов можно определить как

$$Z_{\text{вх}} = \sum_{i=1}^n (-1)^i Z_{3i} \prod_{j=1}^i \frac{Z_{1j}}{Z_{2j}}. \quad (7)$$

В качестве любого из Z_{1i} Z_{2i} Z_{3i} , может быть использован первичный измерительный преобразователь. Рассмотрим, каким будет абсолютное приращение входного импеданса $\Delta Z_{\text{вх}}$ при вариациях величин Z_{1i} Z_{2i} Z_{3i} . При этом сделаем допущение,

справедливое на практике, что соответствующие импедансы во всех конверторах равны по величине, т.е.

$$Z_{11} = Z_{12} = \dots = Z_{1i} = \dots = Z_1; Z_{21} = Z_{22} = \dots = Z_{2i} = Z_2; Z_{31} = Z_{32} = \dots = Z_{3i} = \dots = Z_3$$

Тогда (7) приводится к виду

$$Z_{d1} = Z_3 \sum_{i=1}^n (-1)^i \left(\frac{Z}{Z_2} \right)^i \quad (8)$$

Примем в качестве первичных измерительных преобразователей все импедансы Z_1 , которые в процессе измерений изменяют свое значение на величину ΔZ_1 . При этом входной импеданс системы конверторов изменяется до значения

$$Z'_{ex} = Z_3 \sum_{i=1}^n (-1)^i \frac{(Z_1 + \Delta Z_1)^i}{Z_2^i} \quad (9)$$

Абсолютное приращение входного импеданса определим как

$$\Delta Z'_{ex} = Z_3 \sum_{i=1}^n (-1)^i \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^i \left[\left(1 + \frac{\Delta Z_1}{Z_1} \right)^i - 1 \right] \quad (10)$$

Аналогично для случаев, когда измерительными преобразователями являются импедансы Z_2 или Z_3 определим абсолютные приращения входных импедансов системы конверторов $\Delta Z''_{ex}$ и $\Delta Z'''_{ex}$

$$\Delta Z''_{ex} = Z_3 \sum_{i=1}^n (-1)^i \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^i \left[\frac{1}{\left(1 + \Delta Z_2 / Z_2 \right)^i} - 1 \right], \quad (11)$$

$$\Delta Z'''_{ex} = \Delta Z_3 \sum_{i=1}^n (-1)^i \left(Z_1 / Z_2 \right)^i \quad (12)$$

Из рассмотрения (10), (11), (12) можно сделать следующие выводы. Если считать, что

$$\Delta Z_1 / Z_1 = \Delta Z_2 / Z_2 = \Delta Z_3 / Z_3 = \Delta Z / Z, \quad (13)$$

то максимальное абсолютное приращение входного импеданса системы конверторов наблюдается при включении измерительных преобразователей в качестве Z_1 . При этом справедливо $|\Delta Z'_{ex}| > |\Delta Z''_{ex}| > |\Delta Z'''_{ex}|$. Абсолютное приращение входного импеданса пропорционально количеству n конверторов и отношению Z_1 / Z_2 . Для реализации эффекта увеличения абсолютного приращения входного

импеданса измерительные преобразователи необходимо включать либо только в конверторы с четным n , либо только с нечетным n . При этом в первом случае $\Delta z'_{\text{ex}} > 0$; $\Delta z''_{\text{ex}} < 0$; $\Delta z'''_{\text{ex}} > 0$, а во втором $\Delta z'_{\text{ex}} < 0$; $\Delta z''_{\text{ex}} > 0$; $\Delta z'''_{\text{ex}} < 0$. На рис.2 приведены рассчитанные по формулам (10),(11),(12) графические зависимости абсолютных приращений от величины вариации импедансов Z_1 , Z_2 , Z_3 при условии (13)

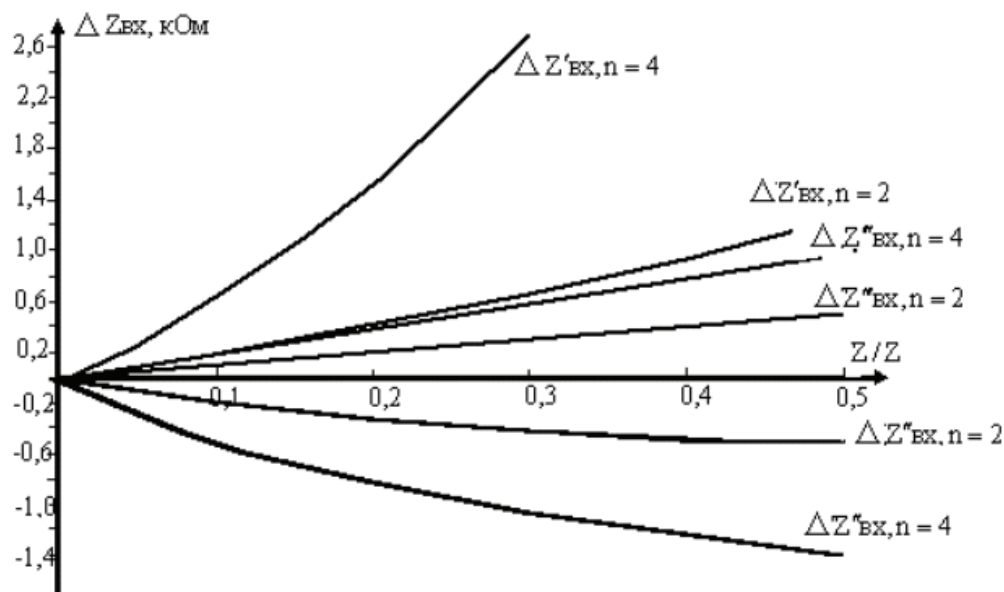


Рисунок 2 - Абсолютное приращение $\Delta Z_{\text{вх}}$ как функция вариации преобразуемых импедансов $\Delta Z/Z$ при включении измерительных преобразователей в четные конверторы ($Z_3=1$ кОм, $Z_1/Z_2=1$)

Из рисунка видно, что уже при $n=4$ максимальные значения принимает зависимость (10). Зависимость $\Delta z'''_{\text{ex}} (\Delta z_3/z_3)$ линейна, а $\Delta z'_{\text{ex}} (\Delta z_1/z_1)$ и $\Delta z''_{\text{ex}} (\Delta z_2/z_2)$ не линейны, причем $\Delta z''_{\text{ex}} (\Delta z_2/z_2)$ асимптотически стремится к значению -1 (при $n=2$) и к значению -2 (при $n=4$), что свидетельствует об ограниченной чувствительности при использовании z_2 в качестве измерительного преобразователя. Анализ зависимостей абсолютного приращения $\Delta z_{\text{ex}} (\Delta z/z)$ показывает целесообразность использования Z_1 в качестве первичного измерительного преобразователя, т.к. только в этом случае достигается максимальная чувствительность.

Система из последовательно соединенных конверторов будет работоспособна при выполнении условия устойчивости по

постоянному току, а именно - для каждого усилителя постоянного тока коэффициент отрицательной обратной связи должен быть больше коэффициента положительной обратной связи. Для отдельного конвертора условие устойчивости имеет вид[5]

$$\frac{Z_n}{Z_n + Z_{1i}} > \frac{Z_{3i}}{Z_{3i} + Z_{2i}}, \quad (14)$$

где Z_i - импеданс нагрузки, подключенной к входу i -го конвертора.

Очевидно, что в системе последовательно соединенных конверторов условие (14) будет автоматически выполняться для всех конверторов, начиная со второго, т.к. инвертирующий вход усилителя каждого I -го конвертора через импеданс $Z_{3(i-1)}$ подключен к неинвертирующему входу усилителя $(i-1)$ -го конвертора, имеющему большое входное сопротивление (т.е. $Z_{i(i-1)} \rightarrow \infty$). Следовательно, устойчивость системы конверторов определяется условием устойчивости только первого конвертора, которое по аналогии с (14) имеет вид

$$\frac{Z_n}{Z_n + Z_{11}} > \frac{Z_{31} + \sum_{i=2}^n (-1)^i Z_{3i} \prod_{j=1}^i Z_{1j} / Z_{2j}}{Z_{31} + \sum_{i=2}^n (-1)^i Z_{3i} \prod_{j=1}^i Z_{1j} / Z_{2j} + Z_{21}}. \quad (15)$$

Выводы. Анализ входного импеданса последовательно соединенных токовых конверторов показал возможность реализации измерительной системы на основе преобразователей импеданса с высокой чувствительностью к изменению полного сопротивления первичного измерительного преобразователя. Проведенный анализ позволил получить условия реализации высокой чувствительности и обеспечения устойчивости по постоянному току.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филановский И.М., Персианов А.Ю., Рыбин В.К. Схемы с преобразователями сопротивления. - Л.: Энергия, 1973. -192 с.
2. Карпов Е.А., Марунчак Л.В., Рядинских А.С. Синтез нелинейных преобразователей. - М.: Энергоатомиздат, 1986. -136 с.
3. Индуктивный датчик: А.с.1629876 ССР, МКИ 5G01R 27/26/ Н.А.Филинчук, А.И.Никольский, В.Г.Красиленко, И.И.Билык (СССР). - №4413794; Заявл. 20.04.88; Оpubл.23.02.91.Бюл.№7 - 4с.
4. Твердоступ Н.И., Бакушев В.А.. Автогенераторные средства электромагнитного контроля на основе преобразователей импеданса.-

В кн. «XI Всесоюзн. научно-техн. конф. «Неразрушающие физические методы и средства контроля». Часть 3. - М.: МНПО «Спектр», 1987. -с.147 - 148.

5. Твердоступ Н.И. О повышении чувствительности измерителей магнитной проницаемости с помощью конверторов отрицательных импедансов. - В кн.: Приборы и методы экспериментальных исследований. - Днепропетровск: ДГУ, 1985. с.40 - 43.

Достал И. Операционные усилители. – М.: Мир, 1982. – с 512.

Получено 15.11.07 г.

УДК 621.316.544.1:621.316.89

А.В. Дегтярёв, И.В. Гомилко, Ю.А. Тонкошкур

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОЗИСТОРОВ

Вступление

Одним из направлений совершенствования технологии производства полупроводниковых резистивных элементов, в частности позисторов, является создание эффективных автоматизированных систем контроля их основных эксплуатационных параметров. Особо это важно при проведении различных их испытаний и оценке надежности. Перспективным для этих целей представляется применение микроконтроллерной техники. К ее достоинствам относятся и то, что функциональные возможности систем контроля могут корректироваться за счет изменения программного кода, заложенного в микропроцессоре, и то, что благодаря обработке данных в реальном времени существует возможность моментальной реакции на критические изменения, способные привести к нежелательным результатам.

В настоящей работе приведены результаты разработки специализированной многоканальной системы, предназначенной для измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ), температурных зависимостей сопротивления (ТЗС) и проведения испытаний на циклические изменения электрической нагрузки (ИЦИЭН) позисторов и самовостанавливающихся предохранителей на основе полимера, наполненного проводящим наполнителем (графитом) [1-3].

Разработанная система сбора и обработки данных испытаний содержит пять измерительных каналов. Полученные данные могут пересылаться через LPT-порт в компьютер для дальнейшей обработки.

Структурная схема системы

Система разработана на базе восьми разрядного микроконтроллера (МК) ATmega 16 [4] и имеет следующие узлы (рис.1).

Блок выбора измерительного канала реализован (рис.2) путем последовательного соединения испытываемого образца, мощного

полевого транзистора IRF 830 (максимальный ток ~4А) и набора токовых резисторов.

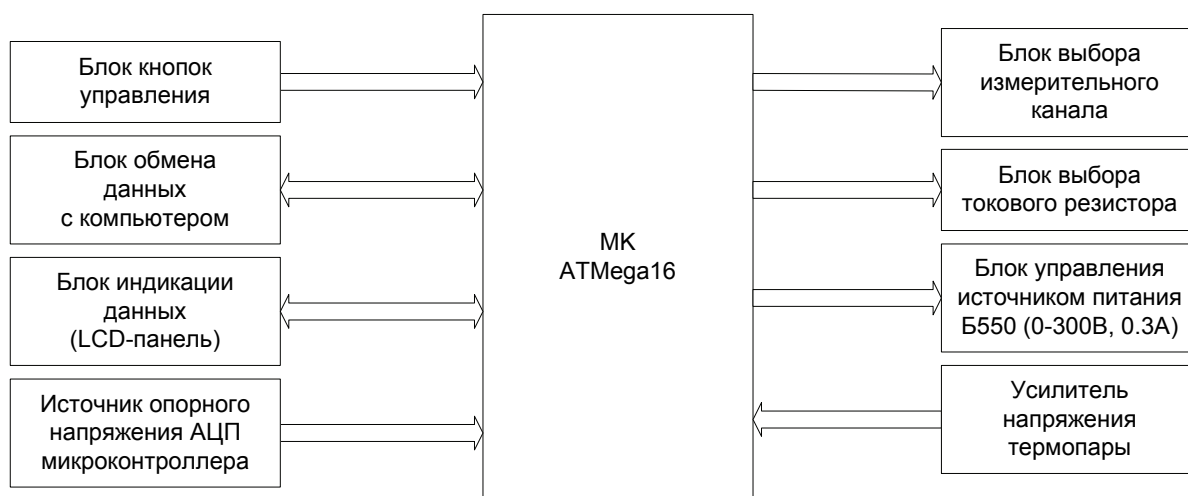


Рисунок 1 - Структурная схема системы

При выборе необходимого измерительного канала МК формирует его код в двоичной форме. Код поступает на мультиплексор (SN74HC138N). В результате на затвор транзистора подаётся напряжение, и транзистор открывается (канал выбран). Для развязки измерительных и управляющих цепей после мультиплексора стоит оптопара, а для согласования с нагрузкой - эмиттерный повторитель на транзисторах КТ315А. Сопротивление полевого транзистора в открытом состоянии составляет 140 Ом, что необходимо учитывать при обработке результатов измерений.

Блок выбора токового резистора обеспечивает подключение с помощью реле оптимального R_T .

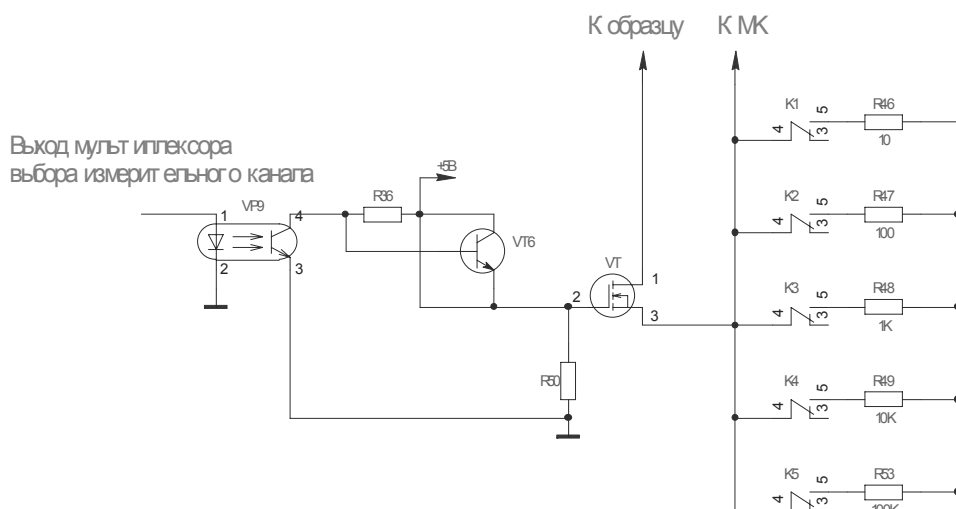


Рисунок 2 - Схема измерительного канала

Блок индикации информации представляет собой LCD дисплей (2x16).

Блок кнопок управления предназначен для изменения условий испытаний и выбора режима работы устройства.

Блок обмена данными с персональным компьютером позволяет МК передать измеренную информацию через LPT-порт. Передача информации происходит независимо от процесса измерений. Для обмена информацией используется три вывода МК (для передаваемых данных, сигнала готовности МК к передаче и сигнала подтверждения приёма данных от компьютера). Данные, полученные при измерении, передаются в компьютер по прерыванию таймера Т/С1. Для избежания наложения данных они накапливаются в буфере. Процесс измерения и передачи информации происходят параллельно.

Блок управления источником питания формирует из последовательного кода генерируемого МК двоично-десятичный код, который через схему управления подается на внешний управляемый источник питания Б5-50. Для этих целей в МК выделено три вывода: для передачи последовательного кода величины требуемого напряжения, синхроимпульса для сдвига передаваемой информации и для непосредственной выдачи полученного кода для коммутации внутри блока питания.

Блок усилителя напряжения термопары представляет собой дифференциальный усилитель с коэффициентом усиления 200.

Источник опорного напряжения формирует высокостабильное не зависящее от температуры окружающей среды напряжение 4.096 В, которое используется для преобразования аналоговых сигналов в цифровой код.

При измерении электрического сопротивления образца подключается наибольшее токовое сопротивление R_T , выбирается необходимый измерительный канал (открывается соответствующий полевой транзистор) и при помощи управляемого блока питания на образец подаётся напряжение (U). Такая схема включения представляет собой резистивный делитель в одном плече, которого находится образец (сопротивление $R_{обр}$), а в другом – R_T . (в R_T следует учитывать сопротивление n-канала полевого транзистора). Так как образец и резистор соединены последовательно, то ток через образец $I = U_T / R_T$, где U_T – измеряемое напряжение на резисторе R_T . Напряжение на образце $U_{i\dot{o}} = U - U_T$.

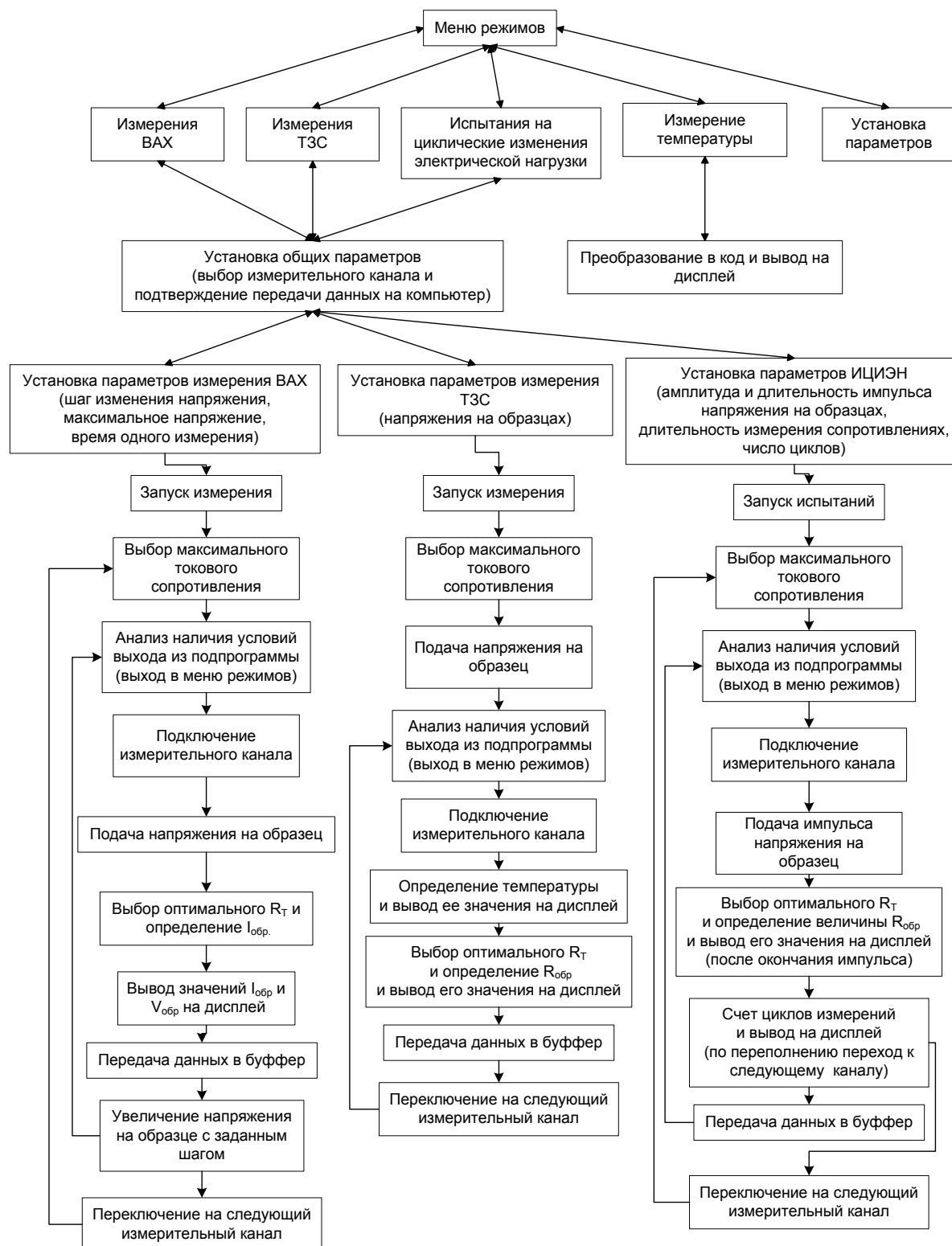


Рисунок 3 - Структурная схема основной программы

Программное обеспечение

Управляющая программа, «зашитая» в МК, разработана с использованием языка программирования «С» среды WinAVR [5] и состоит из раздела сервисных подпрограмм (вывод информации на экран, задержка на определенное время, подпрограммы организации

меню и др.) и раздела подпрограмм управления измерительными устройствами (выбора измерительного канала, выбора токового резистора R_T , управления блоком питания, «оцифровки» напряжения на токовом резисторе, «оцифровки» напряжения термопары, передачи данных в компьютер). Ее структура в алгоритмическом виде представлена на рис.3.

Система предназначена для работы в пяти режимах.

Измерение ВАХ

Предварительно в меню задаются нужные измерительные каналы, путем установки напротив их 1 или 0; шаг увеличения прикладываемого к испытуемым образцам напряжения (от 1 до 10 В); максимальное напряжение и время в течение, которого напряжение будет приложено к образцу (от 100 мс до 9 с) и указывается требуется или нет передача данных измерений в компьютер. После запуска системы в процессе измерений на экране LCD-дисплея отображаются величина напряжения, приложенная к образцу, номер измерительного канала и сопротивление образца.

Измерения прекращаются по достижении максимального напряжения, приложенного к образцу или выхода токового сопротивления за пределы измерений (диапазон измерений от 100 Ом до 100 МОм). Допускается ручная остановка путем длительного удержании кнопки SET (~ 1 секунды).

Измерение ТЗС

Предварительно в меню выбираются нужные каналы; прикладываемое к образцу во время измерения напряжение (от 1В до 50 В); указывается потребность передачи данных в компьютер. В процессе измерения на LCD-дисплей будет последовательно выводиться информация о сопротивлении и температуре образца. Предусмотрена возможность вручную прекратить измерения удержанием кнопки SET.

Измерение температуры

На экране LCD-дисплея отображается температура образцов. Этот режим может использоваться при изготовлении позисторов для контроля температуры нагрева.

Испытания на циклические изменения электрической нагрузки

Предварительно выбираются измерительные каналы; задается величина импульса напряжения, прикладываемого к образцу (от 1 до

300 В); длительность импульса; время измерения сопротивления образца после окончания импульса и число измерений; указывается потребность передачи данных в компьютер. В процессе испытаний на экране отображается номер текущего измерения, номер измеряемого канала и величина сопротивления образца. Предусмотрена возможность прекращения испытания вручную.

Установка параметра.

В данном режиме происходит установка параметров, необходимых для работы микроконтроллерной системы и сохраняемых в энергонезависимой памяти МК типа EEPROM (в частности коэффициентов k , b выражения $y = kx + b$, аппроксимирующего температурную характеристику термопары).

Выводы

Апробация разработанной микроконтроллерной системы показала ее удовлетворительную работоспособность и пригодность для обеспечения контроля и испытаний новых позисторных элементов на основе композитов типа полимер-графит. Созданное устройство достаточно универсально и после незначительных изменений может быть использовано в других областях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
2. Пат. US5747147 МКИ В 32 В 9/00 Conductive polymer composition and device: Wartenberg Mark F (US); Lahlouh John G (US); Toth James (US); Raychem Corp (US) - № 19970130; Опубл. 05.05.98.
3. Degtyar'ov A.V, Tonkoshkur A.S. Electric Conductivity of PTCR Polyethylene-Graphite Composites // Ukrainian Journal of Physics. – 2007. – V.52. - N 9. - P.863-867
4. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel – М.: ИП РадиоСофт, 2002 – 176 с., ил.
5. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. – К.: “МК-ПРЕСС”. 2006. – 400 с.

Получено 22.11.2007 г.

УДК 621.396.6

В.Ф. Истушкин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ПЕРИОДА ПРИРАБОТКИ

Введение. Для правильной количественной оценки надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) при эксплуатации необходимо определить прежде всего наличие и продолжительность периода приработки с учетом предъявленных требований к надежности. Кроме того, решение этих задач влияет на расчет затрат (материальных и трудовых) при восстановлении работоспособности РЭА за приработочный период, продолжающийся и после передачи аппаратуры потребителю. Эти затраты в большинстве случаев намного превышают затраты на устранение приработочных отказов во время технологических испытаний на заводе-изготовителе РЭА.

Постановка задачи. Цель настоящей работы – рассмотреть возможность определения наличия периода приработки по критерию Манна для оценки тенденции изменения интервалов между отказами.

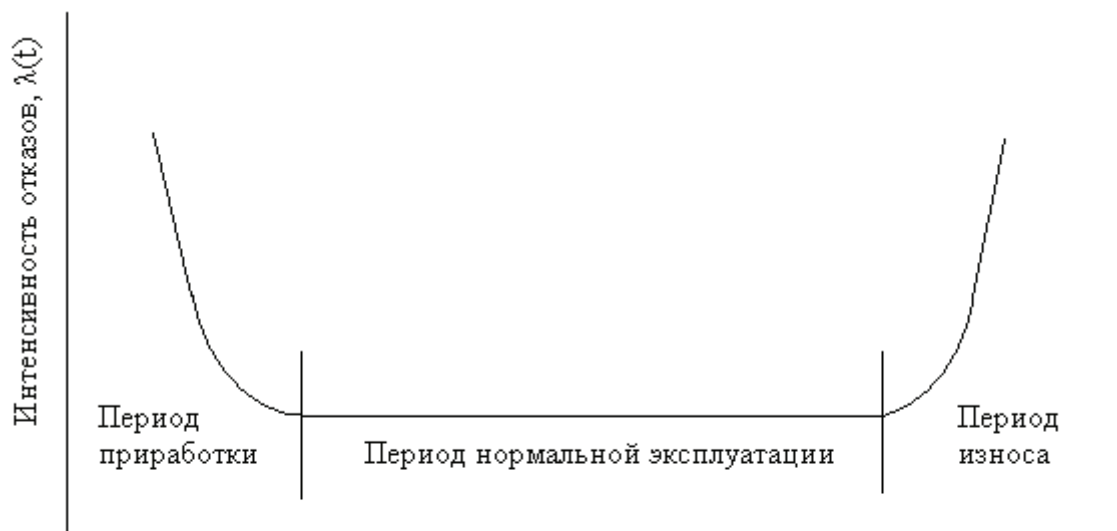
Обоснование полученных результатов. Типичная функция интенсивности отказов для РЭА[1] имеет вид, изображенный на рис. 1.

Участок убывающей интенсивности отказов называют периодом приработки или периодом ранних отказов. Появление отказов в этом периоде вызывается скрытыми дефектами производства.

Участок постоянной отказов называют периодом нормальной эксплуатации. Этот период начинается сразу после периода приработки и заканчивается непосредственно перед периодом износа. Появление отказов из-за дефектов уменьшается и наступает относительная стабилизация. Отказы возникают в случайные моменты времени под воздействием большого количества влияющих факторов.

Участок возрастающей интенсивности отказов начинается тогда, когда аппаратура начала «стареть». Однако этот период для современной РЭА можно не учитывать, так как надежность современных комплектующих элементов очень высокая и моральное старение аппаратуры наступает быстрее физического. Это замечание необходимо учитывать для разработки критерия принятия решения о наличии периода приработки и при описании функции параметра

потока отказов РЭА для определения длительности периода приработки при заданной вероятности безотказной работы ($P_{\text{зад.}}$) после приработки. Последняя из перечисленных задач в данной работе не рассматривается.



Продолжительность эксплуатации (срок службы или продолжительность существования образца РЭА), t

Рисунок 1- Интенсивность отказов в течение срока службы РЭА

Для определения наличия периода приработки у РЭА необходимо выяснить, имеет ли место тенденция увеличения или уменьшения интервалов между отказами с течением времени эксплуатации. С этой целью в [2] предлагается использовать непараметрический критерий Манна на основе исследования и анализа эксплуатационных данных об отказах.

Прежде всего определяется общее количество отказов в данном комплекте РЭА (N) с учетом начальных данных, затем фиксируются моменты возникновения отказов (t_i) в порядке их возрастания и временные интервалы между соседними отказами

$$\tau_i = t_i - t_{i-1}.$$

По этим данным подсчитывается число случаев (T_i), когда более ранний временной интервал меньше одного из более поздних интервалов (т.е. число неравенств $t_i < t_j$ при $i < j$). Если два временных интервала одинаковые, то к величине T_i следует добавить 0,5 вследствие дискретной природы результатов [2].

Результаты анализа сводятся в таблицу.

Таблица 1

Номер отказа	Момент возникновения отказа (t_i)	Временной интервал между соседними отказами (τ_i)	Число неравенств (T_i)
1			
2			
...			
N			

Используя данные табл. 1, вычисляется суммарное значение числа случаев (T_i) по формуле

$$T = \sum_{i=1}^N T_i \quad (1)$$

Математическое ожидание и дисперсия случайной величины T при условии отсутствия исследуемой тенденции изменения временного интервала между отказами в соответствии с [2] определяется по формулам

$$M(T) = \frac{N(N-1)}{4}, \quad (2)$$

$$\sigma^2(T) = \frac{(2N+5)(N-1)N}{72} \quad (3)$$

Нормированное отклонение случайной величины T имеет близкое к нормальному распределение даже при малом числе N ($N > 10$) и определяется по формуле

$$H_T = \frac{T + 0,5 - M(T)}{\sqrt{\sigma^2(T)}}. \quad (4)$$

По величине H_T и соответствующему ему значению вероятности $P(H_T)$ из таблиц для нормального закона распределения можно сделать заключение о наличии или отсутствии периода приработки:

$P(H_T) \geq P_{\text{зад.}}$ - есть период приработки,

$P(H_T) < P_{\text{зад.}}$ - нет периода приработки.

Выводы. Использование непараметрического критерия Манна дает возможность принять правильное решение о наличии периода приработки при эксплуатации РЭА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диллон Б., Сингх И. Инженерные методы обеспечения надежности систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.- 318 с.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. - М.: «Сов. Радио», 1969, 488 с.

Получено 21.11.2007 г.

УДК 681.142.35

А.П. Пеньков, Д.С. Емельянов

ОБОБЩЁННЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Вступление

Существующее множество транспортных средств требует переосмысления принципов построения систем управления ими. Ввиду динамичного развития этих средств в Украине и в мире в целом, задача актуальна [2,4,5,6].

Формализация проблемы

Рассмотрим автоматизированные транспортные устройства мировой практики. Для удобства введём обобщённое название автоматизированного транспортного устройства – “самодвижущийся робот” (СР). И применим термин СР для технических систем различной сложности, которые при взаимодействии с “окружающей средой” (ОС) обеспечивают своё перемещение по какой-либо траектории.

Постановка задачи

Для проведения общего анализа и формирования постановки задачи, использованы общесистемные критерии оценки в виде модели “что-чем-как” обрабатывается в системе. Рассматриваются следующие классы СР: самолёт-ракета в воздушной, водной и безвоздушной среде Земли по сложной траектории в координатах X, Y, Z ; корабль (судно) на жидкой среде по координатам X, Y ; подводная лодка в жидкой среде по сложной траектории в координатах X, Y, Z ; дорожный транспорт (автотранспорт) на твёрдой среде по координатам X, Y , ограниченной системой автодорог; сельскохозяйственный и военный транспорт специального назначения (вездеходы) на твёрдой среде по координатам X, Y , ограниченной задаваемой прямоугольной моделью самодвижения (с заданным квадратом движения); железнодорожный транспорт на твёрдой среде по координатам X, Y , ограниченной системой рельсовых железных дорог; спутниковые устройства в околоземной среде по сложной траектории в координатах X, Y, Z ;

специальные устройства (проходческие комбайны) во внутри-земной среде по сложной траектории в координатах X, Y, Z.

Решение задачи

Указанным перечнем определён набор восьми классов СР. Указанное число “восемь” соответствует одному из чисел ряда Фибоначчи, определяющего объективность делимости систем. Поэтому обозначенный перечень классов СР можно считать объективно правильным.

Для выявления критериев оценки ограничений на траекторию, использована система координат (рис. 1):

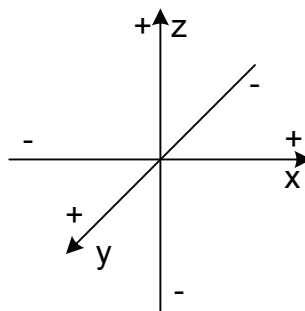


Рисунок 1 – Система координат оценки ограничений на траекторию СР

С использованием общесистемных критериев классы СР представляются в табличном виде (таб. 1).

Таблица 1

Классы СР с использованием общесистемных критериев

№	Классы СР	ОС перемещения СР	Система координат СР в ОС	Кратность пространства координат	Ограничения на траекторию в системе координат		
					$\pm x$	$\pm y$	$\pm z$
1	Самолёт	Воздушная	x, y, z	3	Нет	Нет	Нет
	Ракета	Воздушная, водная					
2	Корабль, судно	На жидкой	x, y	2	Нет	Нет	Да
3	Подводная лодка	Жидкая	x, y, -z	3	Нет	Нет	Да, +z
4	Дорожный транспорт (автотранспорт)	На твёрдой	x, y	2	Нет, в пределах автодорог		Да
5	Сельскохозяйственный и военный транспорт специального назначения (вездеходы)	На твёрдой	x, y	2	Нет	Нет	Да

6	Железнодорожный транспорт	На твёрдой	x, y	2	Нет, в пределах системы рельсовых железных дорог		Да
7	Спутниковые устройства	Воздушная и безвоздушная	x, y, z	3	Нет	Нет	Нет
8	Специальные устройства (проходческие комбайны)	Твёрдая	x, y, -z	3	Нет	Нет	Да, +z

Очевидно, что качественные критерии "классы СР", "ОС перемещения СР", "система координат СР в ОС", "кратность пространства координат", "ограничения на траекторию в системе координат" жёстко взаимосвязаны. Из таблицы 1 также очевидны несколько самостоятельных подзадач по указанным качественным критериям оценки системы СР в ОС.

Задача о траектории

Известно, что любая система транспортного средства реализует определённую абстрактную математическую модель "траектории" какого-либо процесса. Отсюда следует необходимость формализации процесса перехода от "реализуемой траектории" к "реализуемым функциям", и далее к элементам в "устройстве управления". Этот общий алгоритм создания СР реализуется во всех классах СР.

Решение задачи о траектории

Для решения поставленной задачи используем методологию системного представления процесса разработки "сложных систем" [1] в виде следующего алгоритма:

Отождествить модель объективного представления "сложной системы" в виде "базовой системы" S_0 с "системным окружением" S_{CO} – $S_0 \rightleftharpoons S_{CO}$.

Разрабатываемая транспортная система может быть представлена в виде технической реализации системы управления S_{yy} обеспечения выполнения конкретного изображения модели траектории $S_{из}$.

Рассмотрим объективные этапы – фазы объединения этих абстрактных систем в единую систему S_0 СР.

Системное представление обеспечения необходимой траектории СР может быть представлено в виде (рис. 2), где связь "1" – вывод конкретного "изображения".

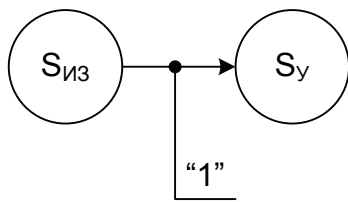


Рисунок 2 – Одно-
направленный ввод
«изображения»

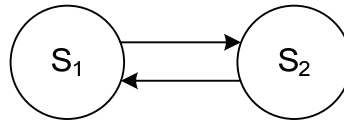


Рисунок 3 - Общая
модель
двунаправленной связи

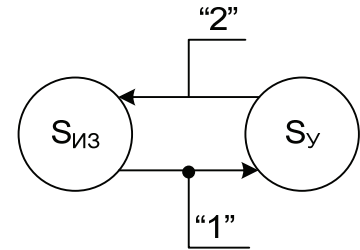


Рисунок 4 – Дву-
направленный обмен
«изображением»

Очевидно, что такое представление "реального" СР является недостаточным. С точки зрения кибернетики [2] необходимо представление в виде (рис. 3).

Преобразованная модель (рис. 2) с использованием (рис. 3) примет вид (рис. 4).

Появившаяся связь "2" (рис. 4) требует ввода "изображения" в S_{yu} . Очевидно, что это может сделать только человек в "режиме проектирования".

При этом конкретное $S_{из}$ в аналоговом графическом виде согласно "2" предусматривает "отображение $S_{из}$ " в S_{yu} в дискретном двоичном виде.

Признав любые $S_{из}$ $S_{сл}$ сложной математической функцией, можем преобразовать её в "матрицу двоичных эквивалентов" по алгоритму "3-единства информатики" [3] – "модель $\rightarrow$ алгоритм $\rightarrow$ программа".

При этом конкретное $S_{из}$ должно соответствовать исходной абстрактной "модели процесса".

Из $S_{из}$ должно следовать разложение "функции $S_{сл}$ " на составляющие $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ при расположении $S_{сл}$ в системе координат X, Y, Z .

О специфике траектории групп СР из анализа траекторий

Данная специфика в целом очевидна из таблицы 1.

Анализ формализма траекторий подтверждает общность системной модели взаимодействия СР с ОС по заданной траектории. Но при этом необходимо рассматривать особенности взаимодействия СР со средой для определённых групп.

Введём модель (рис. 5) измерения параметров объекта-среды (S_{oc}) с помощью соответствующих преобразователей и формирователей

($S_{пр}$), снимаемый сигнал которых (“1”) используется для воздействия (“3”) на объект-среду с целью управления взаимодействием со средой.

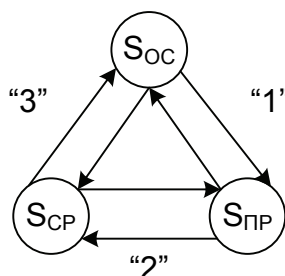


Рисунок 5 – Модель взаимодействия СР с ОС

“Взаимодействующей” системой всегда является СР ($S_{ср}$). Особенности среды измеряются соответствующими датчиками-преобразователями при оценке и осуществляются “обратными” преобразователями (“2”) при управлении СР. Соответствующие средства прямого и обратного преобразования сигналов в управляющей системе привязываются к конструкции СР. Полученный комплекс осуществляет взаимодействие по заданной и заложенной в программе УУ СР траектории.

Об энергетическом взаимодействии СР и ОС

Эта задача очевидна из таблицы 1 для осуществления взаимодействия СР с ОС с целью реализации перемещения СР в ОС по заданной траектории.

В процессе перемещения СР в ОС происходит энергетическое преобразование. Преобразование позволяет переводить $S_{исходной_энергии}$ (“неуправляемую”) посредством $S_{преобр}$ в конечную выходную энергию (“управляемую”). Это аналогично энергетическому преобразованию в $S_{чм}$ (человеко-машинная система). Выходная энергия воздействует из СР на ОС, а выходная реакция – из ОС на СР. На основе общего анализа особенностей энергетического преобразования в системах СР-ОС, выявлены особенности, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Особенности энергетического преобразования в системах СР-ОС

№	Классы	Выходная энергия	Выходная реакция
1	Самолёт, ракета	Плазма	Реактивная
2	корабль (судно)	Усилие	Механическая
3	подводная лодка	Усилие	Механическая
4	дорожный транспорт (автотранспорт)	Усилие	Механическая

5	сельскохозяйственный и военный транспорт специального назначения (вездеходы)	Усилие	Механическая
6	железнодорожный транспорт	Усилие	Механическая
7	спутниковые устройства	Плазма	Реактивная
8	специальные устройства (проходческие комбайны)	Химическая, электрическая	Механическая

О конструктивной модели реализации системы координат X, Y, Z для обеспечения взаимодействия СР с ОС

Эта задача очевидна из таблицы 1 и таблицы 2 для воплощения особенностей конструктивной реализации взаимодействия СР с ОС по заданной траектории в соответствующей системе координат. На основе общего анализа особенностей конструктивной реализации элементов преобразования в системе СР–ОС и ОС–СР, выявлены особенности конструктивной реализации этих элементов для всех СР в качестве средств управления. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Особенности конструктивной реализации средств управления движения СР в соответствующей ОС по заданной траектории

№	Классы	Особенности функциональной реализации системы координат	Особенности конструктивной реализации элементов взаимодействия СР-ОС
1	самолёт-ракета	x, y, z	разностный сигнал управления по Δz , Δx и Δy с помощью рулей
2	корабль (судно)	x, y	разностный сигнал управления по Δx и Δy с помощью рулей
3	подводная лодка	x, y, -z	разностный сигнал управления по $\Delta(-z)$, Δx и Δy с помощью рулей
4	дорожный транспорт (автотранспорт)	x, y	разностный сигнал управления по Δx и Δy
5	сельскохозяйственный и военный транспорт специального назначения (вездеходы)	x, y	разностный сигнал управления по Δx и Δy
6	железнодорожный транспорт	x, y	разностный сигнал управления по Δx и Δy
7	спутниковые устройства	x, y, z	разностный сигнал управления в системе спутник-Земля
8	специальные устройства (проходческие комбайны)	x, y, z	разностный сигнал управления по Δz , Δx и Δy с помощью рулей

Выводы

В работе проведен анализ систем управления движением транспортных средств с использованием обобщённых критериев. Это позволило выявить ряд самостоятельных подзадач: о траектории; об энергетическом взаимодействии транспортных средств с окружающей средой; и реализации систем ориентации различных классов.

Рассмотренные алгоритмы и модели можно использовать при проектировании СР – от постановки задачи до функциональных, структурных и конструктивных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горохов В. Г. Методологический анализ системотехники. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
2. Винер Н. Кибернетика и общество. – М.: Издательство иностранной литературы, 1958.
3. Краснощеков П. С., Петров А. А., Федоров В. В. Информатика и проектирование. - М.:Знание,1986. – 48 с.
4. Denison E. Accounting for Slower Economic Growth: The United States in the 1970's. –1979.
5. Эйрис Р., Миллер С. Перспективы развития робототехники. – М.: "Мир", 1986. – с.256.
6. Kendrick J.W., Grossman E. Productivity in the United States: Trends and Cycles. Johns hopkins Press, Baltimore, Md., 1980.

Получено 23.10.2007 г.

УДК 65.50:62.5

В.Т.Белан, В.И.Корсун, Е.М.Снежко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНИСТА ПРОКАТНОГО СТАНА

Постановка проблемы

Современный прокатный стан - это сложная техническая система, требующая от оператора (или группы операторов) большого напряжения при ее обслуживании. Создание современного автоматизированного пульта управления с передачей части операторских функций автоматическим системам и с высоким уровнем эргономичности требует глубокого анализа операторской деятельности в различных условиях. Значительно уменьшить объем экспериментальных исследований, повысить точность анализа, увеличить количество анализируемых параметров позволяет имитационное моделирование операторской деятельности. Моделирование позволяет получить также данные о перспективных пультах управления, провести сравнительный анализ различной компоновки пультов. Для решения подобных задач была разработана имитационная модель деятельности оператора прокатного стана и соответствующее программное обеспечение.

Анализ последних достижений

Основные результаты исследований и моделирования информационной нагрузки человека-оператора получены для операторов энергокомплексов, в космической и авиационной отраслях [1,2]. Для операторов прокатного производства такие исследования ранее не проводились. Методологической основой проведенного исследования явились методы статистического и имитационного моделирования [3,4].

Постановка задачи

Для решения подобных задач была разработана имитационная модель деятельности оператора прокатного стана и соответствующее программное обеспечение. Участок чистовой группы клетей является одним из наиболее напряженных рабочих мест прокатного стана, поэтому именно он был в первую очередь выбран для моделирования.

расчет информационной и физической нагрузки старшего оператора чистовой группы клеток стана проводился на основе описания основных функций оператора и эскиза пульта перспективного стана "2500", разработанных Киевским НПО "Промавтоматика".

Основная часть

Методика исследования

Для моделирования был выбран период нормальной (безаварийной) работы оператора по поддержанию нормального темпа прокатки, включая этап перенастройки стана на новый типоразмер. В этом случае можно выделить несколько основных режимов работы оператора: формирование параметров перестройки; -нормальный контроль за прохождением полосы; устранение отказов.

Поскольку пооперационный алгоритм деятельности оператора разработан не полностью, были сделаны определенные предположения о порядке обращения к индикаторам и органам управления пульта.

Для выполнения комплексной функции формирования параметров перестройки предполагается следующая последовательность элементарных действий: поиск и нажатие кнопки "Исходные данные"; считывание и запоминание параметров полосы нового типоразмера с экрана монитора; -поиск и нажатие одной из кнопок группы "Режим перестройки"; -поиск и нажатие кнопки "Вызов базы"; -считывание и запоминание необходимых параметров настройки оборудования; -регулировка геометрии полосы при помощи кнопок и работы с курсором; -регулировка температурного режима при помощи кнопок "Т" и далее аналогично предыдущей операции; регулировка скоростей по клетям.

Расчет информационной и физической нагрузки оператора

При расчете информационной нагрузки оператора при выполнении элементарных операций были использованы следующие постоянные скорости передачи информации, принятые в психологии и эргономике:

- поиск индикаторов или органов управления 3, 5-9.5 бит/с;
- считывание показаний со стрелочных приборов 2-3 бит/с;
- реакция выбора, запоминание, решение задач типа "или" 3.5-5.5 бит/с;
- время нажатия кнопки 0.17 с,

- время работы с курсором 2 с на каждый параметр.

Количество информации, перерабатываемое оператором при выборе органа управления из группы N аналогичных или снятие показаний с индикатора с N возможными состояниями, вычисляется по известной формуле теории информации:

$$J = \log_2 N$$

Так как пульт управления оператора чистовой группы клеток достаточно протяженный и состоит из трех частей, в которых не все участки находятся в зоне непосредственной близости к оператору, принято целесообразным для расчета информационной и физической нагрузки оператора разделить пульт на 4 зоны, пропорционально удаленности от оператора (рис. 1).

При подсчете информационной нагрузки при поиске индикатора или органа управления из этих зон скорость обработки информации в рамках табличного интервала принимается равным соответственно для зоны: 1 - 4.4, 2 - 5.7, 3 - 7.0, 4 - 8.3 бит/с. Для реакции выбора и считывания показаний были выбраны средние значения 4.5 бит/с и 2.5 бит/с независимо от зоны.

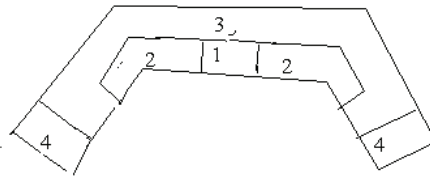


Рисунок 1 - Зоны пульта управления

Механическая нагрузка оператора рассчитывается в условных единицах. При этом принимаются следующие значения элементарных нагрузок и времен: перемещение руки из зоны в зону и внутри зоны - 1 мех. ед. и 0.5 с.; нажатие кнопки - 0.5 мех.ед. и 0.17с.

Для учета эффективности работы операторов различной квалификации при расчете информационной нагрузки вводится коэффициент K , на который умножается скорость переработки информации.

Структура моделирующей программы

Для проведения имитационного моделирования использовался пакет программ непрерывно-дискретного моделирования, являющийся адаптацией известного пакета SLAM I4I. В модели используются переменные для описания состояния оператора и стана. Возможны 4 типа событий. Событие типа 1 – начало прокатки новой

полосы. Событие типа 2 (авария) приводит к изменению параметров прокатки текущей полосы. Событие с кодом 3 (конец аварии) стирает признаки о нарушении работы, работа продолжается в нормальном режиме. Событие с кодом 4 (ожидание полосы) необходимо для выдерживания паузы при смене полос и вызвано особенностями аппарата отслеживания времени пакета.

Различия в организации технологического процесса моделировались тремя возможными ситуациями по количеству полос различных типоразмеров:

- три полосы одного типоразмера и пять полос другого (цикл 1);
- пять полос одного типоразмера и пять полос другого (цикл 2);
- двадцать полос одного типоразмера и пять полос другого (цикл 3).

Результаты моделирования

Существенными для операторов факторами технологического процесса являются количество прокатанных за определенное время полос и количество проведенных при этом перестроек стана. В табл.1 приведена часть полученных данных для трех значений уровня тренированности оператора. На рис.2 показаны зависимости этих параметров от типа цикла.

Табл.1

Результаты моделирования нагрузки оператора

К	Тип цикла	Уд.нагрузка			Уд.время		
		Восприятие	Анализ	Движение	Восприятие	Анализ	Движение
0,8	1	0,46	1,16	0,3	0,12	0,32	0,15
0,8	2	0,38	0,94	0,26	0,1	0,26	0,13
0,8	3	0,67	1,76	0,43	0,18	0,49	0,21
1	1	0,54	1,38	0,35	0,11	0,31	0,17
1	2	0,44	1,12	0,29	0,09	0,25	0,11
1	3	0,78	2,1	0,5	0,17	0,5	0,24
1,2	1	0,61	1,58	0,39	0,11	0,29	0,19
1,2	2	0,5	1,28	0,33	0,09	0,24	0,16
1,2	3	0,89	2,4	0,56	0,16	0,45	0,27

Нужно отметить, что более половины в общей нагрузке оператора данного участка стана составляет информационная нагрузка по анализу поступающих сигналов и решению логических задач типа "или" (от 51 до 53%). Восприятие зрительных сигналов занимает 19-20% в общей нагрузке, механическая работа 27-29%. при одинаковом в среднем числе отказов оборудования производительность оператора существенно зависит от количества перенастроек оборудования за это время: при пяти перенастройках в час прокатано только 16 полос, при одной - 24 полосы. Производительность зависит также от

характеристик полос: уменьшение числа перестроек с пяти до двух не привело к увеличению производительности, так как в числе 16 полос в первом случае меньше длинных полос, катаемых с меньшей скоростью, чем в числе 13 во втором случае.

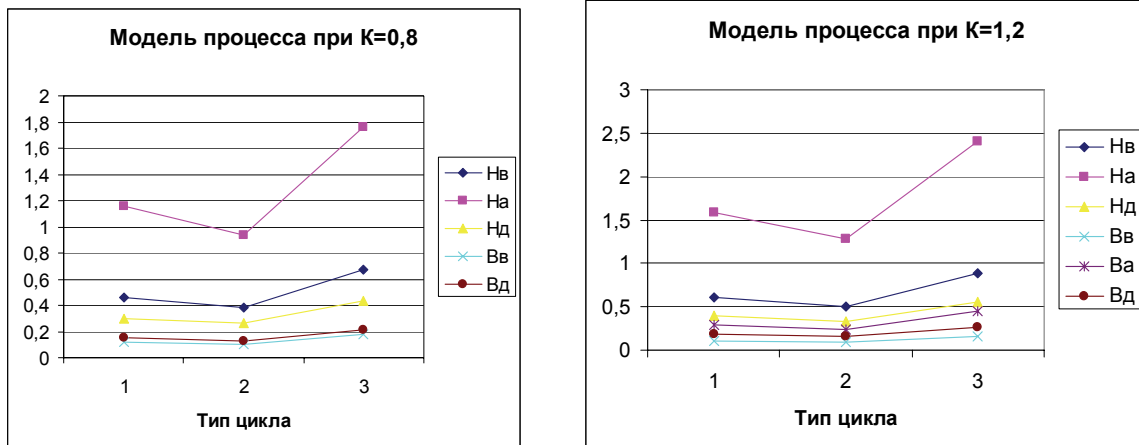


Рисунок 2 - Зависимости удельной нагрузки и удельного времени занятости оператора при различных типах циклов прокатки

Увеличение производительности оператора с 13 до 24 полос в час ведет к резкому увеличению коэффициента занятости оператора, который определяется как отношение времени, занятого всеми видами деятельности, к общему времени работы. Этот коэффициент равен 0.48 при производительности 13 полос и 0.87 при росте производительности. При этом пропорционально возрастает и доля нагрузки каждого вида: перцептивная на 7%, механическая на 9%, мыслительная на 22%.

Величина каждого вида нагрузки зависит не только от производительности, но и от количества перенастроек. При почти равной производительности (16 и 13 полос в час) при пяти перенастройках информационная нагрузка по анализу и решению логических задач выше на 6%, по восприятию зрительной информации - на 2%, механическая - на 4.5%.

Различия в уровне профессиональной подготовки оператора моделировались заданием трех значений коэффициента K: 0.86 1.06 1.2. Чем больше коэффициент, тем выше скорость переработки информации оператором, тем выше его профессиональная подготовка. Уровень профессиональной подготовки не влияет на коэффициент загрузки, который определяется только организацией технологического процесса.

Различная профессиональная подготовка операторов приводит к перераспределению времени, занятого нагрузкой каждого вида. За счет увеличения удельной информационной нагрузки в единицу времени более подготовленному оператору удастся уменьшить долю времени, занятого мыслительной работой в общем времени занятости, на несколько процентов. Для оператора с $K=1.2$ удельное время на восприятие информации уменьшается в среднем на 2%, на ее анализ на 6% по сравнению с оператором, для которого $K=0.8$. Но это уменьшение времени связано с ростом абсолютной и удельной нагрузки, поэтому более квалифицированный оператор нуждается в другой организации технологического процесса по сравнению с менее квалифицированным.

Заключение

Таким образом, в работе старшего оператора чистовой группы клеток стана "2500" наибольшую часть составляет нагрузка по анализу информации и решению логических задач. Абсолютная величина нагрузок всех видов возрастает с увеличением количества перенастроек (нагрузка по анализу возрастает в большей степени) и с ростом производительности работы оператора.

Правильная организация технологического процесса не должна предусматривать частые перенастройки, увеличивающие нагрузку оператора и снижающие его производительность. С другой стороны, в отсутствии перенастроек работа оператора по поддержанию заданного темпа прокатки приводит к увеличению коэффициента занятости почти до 90%, что не отвечает психофизиологическим нормам (до 70%). В этом случае организация технологического процесса должна предусматривать увеличение паузы между полосами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов М.В. Контроль функционального состояния человека-оператора М:Наука, 1987 -196с.
2. Рыжов Б.Н., Сальницкий В.П. Методика оценки уровня психической напряженности сб. «Космическая биология и авиационная медицина», М:Наука, 1983, №5
3. Афифи Л, Эйзел Е. Статистический анализ:подход с использованием ЭВМ, М: Мир, 1992- 202с.
4. Pritzker A., Introduction to Simulation. and SLAM II . Wiley, New York, 1995

Получено 04.03.2008 г.

УДК 629.735.015.017.2

В.В. Огоренко, С.В. Клименко

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ПСИХОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Постановка задачи

Компьютерный психометрический мониторинг – это один из методов динамического наблюдения и изучения психического состояния путем информационного взаимодействия человека и компьютера. Взаимодействие осуществляется по зрительному каналу через экран и клавиатуру компьютера [1]. Процесс взаимодействия или тестирование – это ответы и решения на последовательность вопросов, задач, команд, заданий (стимулов). Математически тестирование описывается функцией теста $\Phi(k)$ – последовательность правильных ответов или решений (ключ теста); стимульной функцией $S(k)$ – количество информации в каждом вопросе или задании; функцией решений $R(k)$ и функцией $T(k)$ – время реакции на каждое информационное воздействие (k – номер стимула). Индивидуальный психометрический мониторинг – это последовательность повторных тестирований и сравнение их результатов с целью оценки изменений тех или иных показателей психического состояния или уровня психического расстройства личности. К ним относятся изменение устойчивости темперамента, характера и структуры личности, восприятия и запоминания информации и ее осмысление; это изменение показателей внимания и мыслительных процессов, работоспособности и правильности принятия решений. Рассмотрим информационные технологии психометрического мониторинга на примере двух задач: наблюдение за устойчивостью темперамента и за устойчивостью внимания личности.

Математическое описание результатов тестирования.

Тест Г.Айзенка для оценки темперамента разработан на основе идей И.П. Павлова и К.Г. Юнга о четырех типах нервной системы личности, отличающихся степенью проявления ее направленности (экстраверсии или интроверсии) и эмоциональной устойчивости

(невротизма). Тест сконструирован таким образом, что ответы на вопросы характеризуют проявление крайних значений этих двух исследуемых факторов: высокий или низкий уровень невротизма и экстраверсию или интроверсию личности.

Типы личности связаны с этими показателями следующими отношениями: 1) холерики – экстраверты с высоким уровнем невротизма; 2) сангвиники – экстраверты с низким уровнем невротизма; 3) флегматики – интроверты с низким уровнем невротизма; 4) меланхолики – интроверты с высоким уровнем невротизма. Каждое решение (ответ на стимул) является случайным событием, вероятность которого можно оценить по результатам тестирования. Если число стимулов равно n , а число ответов, совпадающих с ключом теста равно n_1 , то отношение n_1/n является оценкой вероятности того, что у испытуемого проявляется высокий уровень исследуемого фактора и с вероятностью $(1 - n_1/n)$ – низкий уровень. В тесте Айзенка 24 стимула относятся к задаче исследования экстраверсии-интроверсии и 24 стимула для оценки невротизма. Для выделения стимулов сформированы факторные функции $\mathcal{E}(k)$ и $N(k)$. Число совпадающих с ключом решений определяются по формулам

$$n_{\mathcal{E}} = 0,5 \sum_{k=1}^{57} (R(k)\Phi(k)+1)\mathcal{E}(k) \quad , \quad n_N = 0,5 \sum_{k=1}^{57} (R(k)\Phi(k)+1)N(k) \quad .$$

По этим данным можно оценить вероятности проявления высоких и низких уровней направленности и невротизма

$$P_{\mathcal{E}}^*(B) = \frac{n_{\mathcal{E}}}{24} \quad , \quad P_N^*(B) = \frac{n_N}{24} \quad , \quad P_{\mathcal{E}}^*(H) = 1 - P_{\mathcal{E}}^*(B) \quad , \quad P_N^*(H) = 1 - P_N^*(B) \quad .$$

Сочетания степеней выраженности этих факторов характеризуют тип личности: 1) холерик $X = B_{\mathcal{E}}B_N$; 2) сангвиник $C = B_{\mathcal{E}}H_N$; 3) флегматик $\Phi = H_{\mathcal{E}}H_N$; 4) меланхолик $M = H_{\mathcal{E}}B_N$.

Тип личности оценивается четырьмя значениями вероятности одновременного проявления и направленности, и невротизма как произведение двух независимых случайных событий

$$P^*(X) = P_{\mathcal{E}}^*(B)P_N^*(B) \quad ; \quad P^*(C) = P_{\mathcal{E}}^*(B)P_N^*(H) \quad ; \quad P^*(\Phi) = P_{\mathcal{E}}^*(H)P_N^*(B) \quad ; \\ P^*(M) = P_{\mathcal{E}}^*(H)P_N^*(H) \quad .$$

На практике более понятным представлением результатов тестирования будет не оценки вероятностей, а показатели проявления

у испытуемых свойств всех четырех типов темперамента выраженные в процентах

$$X\% = 100P^*(X), \quad C\% = 100P^*(C), \quad M\% = 100P^*(M), \quad \Phi\% = 100P^*(\Phi).$$

Рассмотрим теперь второй измеряемый показатель тестирования – время, которое необходимо испытуемым на восприятие информации, содержащейся в каждом стимуле, ее осмысление и на формирование решения. Время $T(k)$ зависит от информативности стимулов $S(k)$, которую можно оценить числом знаков, содержащихся в каждом стимуле. Чтобы ослабить эту зависимость, выберем в качестве показателя психоинформационной реакции испытуемых на стимульные воздействия удельное время, которое затрачивается на обработку одного знака k -го стимула $\tau(k) = T(k)/S(k)$. Обратная величина – скорость обработки k -го стимула $V(k) = S(k)/T(k) = (\tau(k))^{-1}$. Оценки удельного времени $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots, \tau_n$ являются случайными величинами с неизвестными статистическими закономерностями, для математического описания которых необходимо построить гистограммы, как модели законов распределения вероятностей, оценить средние значения и выборочные дисперсии.

Визуализация результатов тестирования

Для визуального анализа можно использовать графическое представление результатов тестирования и количественную оценку темперамента протестированной личности. Показатели тестирования $n_{\odot}$ и n_N в классической методике принятия решений представляются как координаты точки в прямоугольной системе координат (рис.1.). Если точка попадает в правый верхний квадрат (12х12) – принимается решение «холерик», правый нижний – «сангвиник», левый верхний – «меланхолик», левый нижний – «флегматик».

Такой информационный квадрат показан на рис.1а. Трудности принятия решений возникают только в случаях попадания точек окрестность центра информационного квадрата, когда показатели направленности и невротизма равны 11ч13 (рис.1б.).

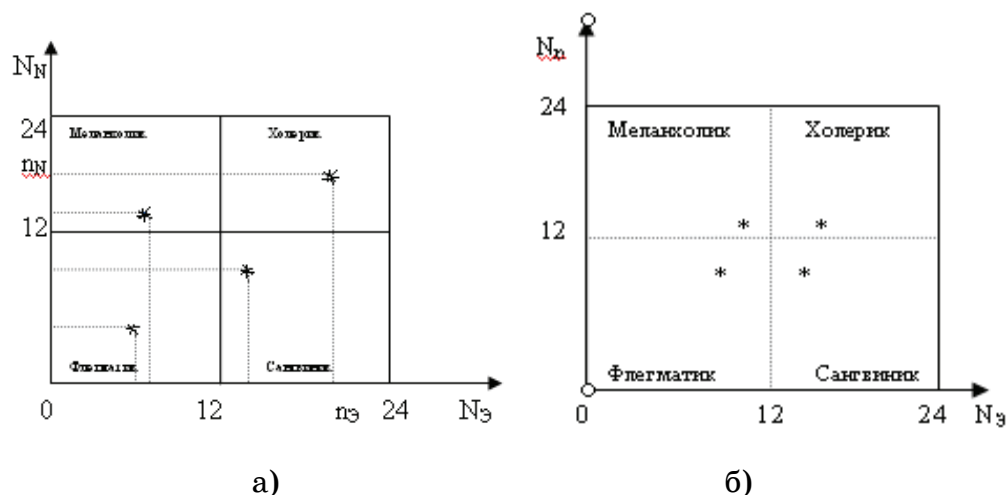
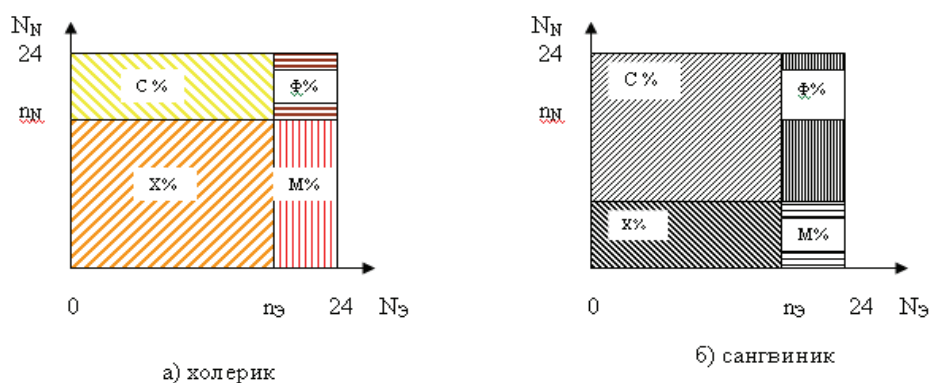


Рисунок 1 - Графическое представление результатов тестирования
(классическая методика)

Предлагается новый, более информационный метод графического представления результатов тестирования. Через точку с координатами n_3 и n_N проводятся две прямые параллельно осям координатного квадрата. Информационный квадрат делится на четыре части, площади которых равны выраженным в процентах (%) показателям одновременного проявления свойств холерика, сангвиника, флегматика и меланхолика. Его визуализация представляет собой графическую модель темперамента личности (рис.2.).



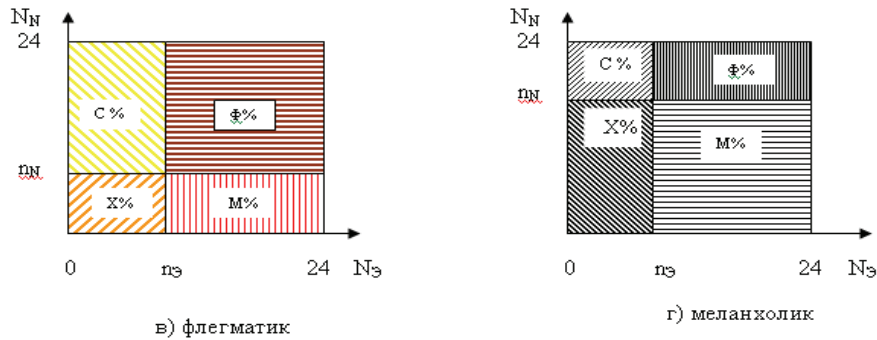


Рисунок 2 - Графические модели темпераментов по результатам четырех тестирований (новая методика)

Для поддержки принятия решений по результатам тестирования формируются следующие данные:

- 1) информационный квадрат с процентными показателями проявления свойств темпераментов 4-х типов;
- 2) гистограмма и таблицы гистограммных чисел удельного времени реакции;
- 3) среднее значение и выборочная дисперсия удельного времени.

Психометрическое тестирование внимания

Рассмотрим один из тестов для исследования внимания на основе стимулов в виде таблиц двухзначных чисел (рис.3.)

10	15	25
16	14	12

22	44	54
14	98	45
56	32	25

42	15	26
72	46	59
29	13	78
62	34	65

Рисунок 3 - Примеры стимулов теста «Внимание»

Задача испытуемого – определить максимальное (или минимальное) число в таблице и набрать его на клавиатуре компьютера. Информативность стимулов оценивается числом цифр в таблице, например, $S(1) = 12$, $S(2) = 18$, $S(3) = 24$. Таблицы формируются специальными генераторами случайных чисел и никогда не повторяются. Математически процесс тестирования описывается ключом как функцией теста $\Phi(k)$, стимульной функцией $S(k)$, функцией решений $R(k)$ и временем реакции $T(k)$.

По этим данным формируются: функция правильных решений $Q(k)$ и функция удельного времени $\tau(k)$ обработки одного знака стимула $S(k)$

$$Q(k) = \text{sgn}(-|\Phi(k) - R(k)|), \quad \tau(k) = \frac{T(k)}{S(k)},$$

где $\text{sgn}(z)$ – функция единичного скачка, равная единице, если $z \geq 0$, и нулю, если $z < 0$, $|\Phi - R|$ – модуль разности.

По этим данным можно оценить вероятность правильных решений P^* (или ошибочных решений $P_0^* = 1 - P^*$), где

$$P^* = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \text{sgn}(-|\Phi(k) - R(k)|),$$

построить гистограмму оценок $\tau(k)$ и определить их выборочные числовые характеристики.

Сравнение результатов тестирований

Рассмотрим теперь задачу сравнения результатов первого и повторного тестирования. Математически эта задача сводится к анализу оценок вероятностей p_i^* и выборок измерений $\tau_{i1}, \tau_{i2}, \dots, \tau_{in}$, $i = 1, 2$. Задача сравнения решается путем проверки однородности выборок при первом и повторном тестировании $R_1(k)$ и $R_2(k)$, $\tau_1(k)$ и $\tau_2(k)$. Выборки считаются однородными, если у них одинаковые законы распределения вероятностей.

Для однородных выборок $R_1(k)$ и $R_2(k)$ число правильных решений n_1 и n_2 имеют одинаковые биномиальные законы распределения вероятностей с параметрами m – число стимулов, p – вероятность принятия правильного решения. Сумма $n = n_1 + n_2$ тоже случайная величина, то ожидаемое случайное число повторных правильных решений $i = n - n_1$ описывается условным гипергеометрическим законом распределения вероятностей [2]

$$P(i/m, n) = \frac{C_m^i C_n^{n-i}}{C_{2m}^n},$$

где i – может изменяться в интервале $[0; n - m] \leq i \leq \min[n, m]$. Следовательно, если выборки однородные, то ожидаемое число повторных правильных решений i с вероятностью P должно

удовлетворять неравенству $i_1 \leq i \leq i_{02}$, где $i_1 = \max[0, n - m]$, а порог сравнения i_{02} определяется путем решения уравнения

$$\sum_{i=i_1}^{i_{02}} P\left(\frac{i}{m, n}\right) = \frac{1}{C_{2m}^n} \sum_{i=i_1}^{i_{02}} C_m^i C_m^{n-i} = P,$$

где C_N^k – число сочетаний из N по k . Решающее правило проверки однородности двух выборок запишется как неравенство $i_1 \leq n_2 \leq i_{02}$. Если теперь i_{02} заменить на n_2 , то будем иметь равносильное неравенство

$$S = \sum_{i=i_1}^{n_2} P\left(\frac{i}{m, n}\right) \leq P,$$

Используя это неравенство, можно проверять, изменились или не изменились показатели направленности и невротизм личности n_3 и n_N теста Айзенка и ошибки принятия решений по тесту «Внимание» (n_1 и n_2). Чтобы пользоваться этой информационной технологией, достаточно задать только показатель ее надежности (вероятность P , например $P = 0,95$).

Для наблюдения за выборками измерений удельного времени $\tau(k)$ можно воспользоваться одним из критериев однородности независимых непрерывных случайных величин [3]. Если число измерений в выборке больше 20, то можно применить непараметрический критерий Вилкоксона. Информационная технология решения этой задачи заключается в определении рангов $R[\tau_2(k)]$ повторных измерений $\tau_2(k)$ в объединенной упорядоченной выборке, сформированной из последовательностей $\tau_1(k)$ и $\tau_2(k)$ и записанной в виде порядковой статистики $\xi_1 < \xi_2 < \dots < \xi_i < \dots < \xi_{2m}$, где ξ_1 – минимальное, а ξ_{2m} – максимальное значения $\tau(k)$

$$R(\tau_2(k)) = \sum_{i=1}^{2m} \text{sgn}[\tau_2(k) - \xi_i].$$

Если выборки $\tau_1(k)$ и $\tau_2(k)$ однородны, то среднее значение рангов

$$R(\tau_2(k)) = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} R_2(\tau_2(k)),$$

как случайная величина, распределена по закону Гаусса. Математическое ожидание и дисперсия среднего зависят только от размеров исследуемых выборок

$$M[\bar{R}] = \frac{2m+1}{2}, \quad D[\bar{R}] = \frac{2m+1}{12}.$$

Показатели близости Вилкоксона W двух выборок сформируем как нормированную разность $\bar{R}(\tau_2)$ и $M[\bar{R}]$

$$W = \frac{2\sqrt{3}[\bar{R}(\tau_2) - 0,5(2m+1)]}{\sqrt{2m+1}}.$$

Решающее правило контроля однородности запишется в виде неравенства: если $|W| \leq W_0$, то результаты повторного тестирования совпадают с предыдущими. В противном случае, имеют место изменения реакций испытуемого на стимульные воздействия. Порог сравнения W_0 выбирается по заданной (выбранной) вероятности надежности принимаемых решений P (если $P = 0,95$, то $W_0 = 1,96$).

Если имеет место изменение хотя бы одного из измеряемых факторов (невротизма и направленности личности), изменилось число принятых ошибочных решений, нарушилась однородность оценок удельного времени обработки знаковой информации, то готовятся психометрические данные для поддержки принятия диагностических решений:

- 1) графические модели повторного и предыдущего результатов оценки темперамента;
- 2) гистограммы выборок удельного времени в одном масштабе измерений;
- 3) таблица, содержащая результаты сравнения вероятностей ошибок, средних значений и выборочных дисперсий.

Закключение.

1. Компьютерный психометрический мониторинг позволяет количественно оценивать изменения показателей психического состояния или уровня психического расстройства личности.

2. Для повышения диагностической информативности теста Айзенка предложен новый метод обработки и визуализации результатов психометрического тестирования на основе оценок вероятностей одновременного проявления свойств всех четырех типов темперамента личности (холерика, сангвиника, флегматика, меланхолика).

3. Внимание, как один из показателей психического состояния личности, предлагается оценивать числом ошибочных решений при

определении максимальных значений чисел стимулов в виде двухзначных цифровых матриц.

4. В качестве показателя психомоторной реакции испытуемых на последовательность стимулов предлагается использовать оценки удельного времени обработки одной условной единицы информации, содержащейся в каждом стимуле.

5. Задачи обнаружения изменений показателей повторного тестирования решаются на основе статистической теории однородности выборок измерений, сравнения оценок вероятностей, гистограмм, средних значений и выборочных дисперсий по критериям хи-квадрат, Стьюдента и Снедекора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика.- СПб, Братство, 1994.- 365с.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. –М.: Наука, 1985. -416с.
3. Ван-дер-Варден Б.Л. Математическая статистика. М.: Изд. иностр. литературы, 1960.- 434с.

Получено 11.02.2008 г.

РАНДОМИЗИРОВАННОЕ ВЛОЖЕНИЕ РАССТОЯНИЯ РЕДАКТИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОИСКА ГЕНОВ И ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

Введение

Во многих предметных областях актуальна задача сравнения длинных символьных последовательностей. Примерами являются поиск дубликатов в поисковых машинах [1], генетика [2], информационная безопасность в компьютерных системах [3,4] и др.

Распространенной метрикой, применяемой для сравнения последовательностей, является расстояние Левенштейна (классическое расстояние редактирования) [5]. Оно определяется между двумя символьными строками x , y как минимальное количество операций вставки, замены и удаления символов для преобразования x в y . Эти операции легко интерпретируются в задачах генетики как изменения, происходящие при мутациях и эволюции генов, а также хорошо описывают некоторые способы обхода систем обнаружения вторжений в компьютерные системы [6].

Широко известен классический алгоритм вычисления расстояния Левенштейна, имеющий для строк длиной n сложность $O(n^2)$ [7]. Однако, при больших размерах n и большом количестве строк, что характерно для указанных выше областей, применение этого алгоритма весьма затруднительно.

В [8] был предложен метод вычислительно эффективной оценки расстояния редактирования, использующий вложение расстояния редактирования в векторное пространство. В данной работе исследуется его применение в задачах поиска генов и обнаружения аномалий в компьютерных системах.

Рандомизированное вложение и LSH

Суть предложенного в [8] рандомизированного вложения классического расстояния редактирования в векторное пространство состоит в следующем.

Принято, что подстрока длиной q есть q -грамма символьной строки $x \in \Sigma^n$ и $q \in \mathbb{N}$. Для вектора вида $v_{n,q}(x) \in (\mathbb{N} \cup \{0\})^{|\Sigma|^q}$, где каждой q -грамме $\sigma \in \Sigma^q$ соответствует элемент вектора, значение которого – число встречаемости σ в x , введен термин *q -граммный вектор*. Манхетенново (l_1) расстояние между такими векторами, т.е. сумма модулей разностей значений элементов векторов, названо *q -граммным расстоянием*.

Пусть вектор $v_{w,q_1,q_2}^i(x)$ есть конкатенация q -граммных (от q_1 до q_2) векторов подстроки $x[i, i+w-1]$ длиной w , где i выбрано случайно, независимо и равновероятно из множества возможных позиций i окна шириной $w: i=1, \dots, n-w+1$. Пусть ϕ^i – случайный вектор такой же размерности, как и $v_{w,q_1,q_2}^i(x)$, с элементами, выбранными случайно и независимо из распределения Коши $p(x) = (\pi(1+x^2))^{-1}$. Построим для строки x хеш-вектор размерностью K : $h(x) = (h_1(x), h_2(x), \dots, h_K(x))$, где

$$h_i(x) = \lfloor ((v_{w,q_1,q_2}^i(x), \phi_i) + b_i) / r \rfloor, \quad (1)$$

r и b_i – действительные числа, b_i выбрано случайно, независимо и равновероятно из диапазона $[0, r]$.

Если определить шар $B(q, k) = \{x \in \Sigma^n \mid \text{ed}(q, x) \leq k\}$, то семейство $H = \{h: \Sigma^n \rightarrow X\}$ (где X – некоторое конечное или счетное множество значений) является [9] (k_1, k_2, p_1, p_2) -чувствительным или просто локально-чувствительным, если для любых $x, y \in \Sigma^n$ и любой независимо и равновероятно выбранной хеш-функции $h \in H$ выполняется:

$$\text{если } x \in B(y, k_1), \text{ то } \text{Prob}[h(x) = h(y)] > p_1, \quad (2)$$

$$\text{если } x \notin B(y, k_2), \text{ то } \text{Prob}[h(x) = h(y)] < p_2. \quad (3)$$

В [8] доказано, что (1) есть локально-чувствительная функция и на ее основе можно построить процедуру поиска ближайших строк [9], реализуемую с помощью процедуры LSH-лес [10].

Пусть имеется база P строк одинаковой длины n . Необходимо на запрос $q \in \Sigma^n$ возвратить приближенного ближайшего соседа – строку, находящуюся в шаре $B(q, k_2)$. При этом $K = \log_{1/p_2} |P|$, количество деревьев $L = |P|^\rho$, где

$$\rho = \log(p_1/p_2). \quad (4)$$

При этих условиях описанный ниже алгоритм поиска выдает в выходное множество S с вероятностью большей, чем $1/2$, строку y , такую, что $\text{ed}(x, y) \leq k_2$, где $k_2 = O(zn^{1/3} \ln n)$, z – параметр, которые

влияет на значение k_2 и значения вероятностей p_1, p_2 . При $p_2 < p_1$ выполняется $\rho < 1$, что позволяет проводить меньше сравнений, чем при полном переборе базы P .

Реализация поиска ближайшей строки с помощью LSH-леса

Для каждого $j=1, \dots, L$ все хеш-векторы $h^j(p)$ (размерностью K) всех строк p базы P хранятся в виде отдельного префиксного дерева T_j глубиной до K уровней (корень имеет глубину 0, листья – K). Узлы дерева соответствуют значениям элементов хеш-вектора и содержат ссылки на строки, хеш-векторы которых соответствуют пути от корня дерева к данному узлу. Так, если у хеш-векторов двух строк совпадают первые k их элементов, то и первые k узлов на пути от корня дерева T_j до листьев, соответствующих этим строкам, также совпадают.

При поступлении запроса-строки q :

а. Формируются L его K -мерных хеш-векторов $h^j(q)$;

б. Для каждого хеш-вектора $h^j(q)$ в T_j находится узел, соответствующий $h^j(p)$ с наибольшим числом совпадающих первых элементов этих векторов;

в. Начиная от найденных в 2 узлов, все L деревьев синхронно проходятся по направлению к корню, и соответствующие указанным узлам строки p добавляются в результирующее мультимножество строк S ;

г. После того, как все строки, хеш-векторы которых совпадают на данном уровне, добавлены в S , повторяется процедура для следующего (более “высокого”) уровня, пока не достигнут корень или $|S|$ не превысит $2L$.

В результате получаем мультимножество S строк (кандидатов на приближенного ближайшего соседа к q), упорядоченное в порядке убывания глубины узлов дерева, до которых совпадали первые элементы хеш-векторов соответствующей строки и запроса. Будем далее под уровнем строки из S понимать глубину последнего узла дерева, на котором еще совпадали первые элементы хеш-векторов запроса и этой строки.

Согласно теореме 5.1 из [10], S будет содержать приближенных ближайших соседей к запросу с ненулевой постоянной вероятностью. Для того, что бы найти действительных ближайших соседей в S ,

необходимо проверить принадлежность строк из S шару $B(q, k_2)$ с помощью классического алгоритма.

Для всех экспериментов, описываемых ниже, были зафиксированы параметры $k_1=1$, $z=1.01$.

Поиск генов и гиперчувствительных сайтов в ДНК

Поиск генов с помощью рассуждений на основе примеров

Поиск новых генов – это фундаментальная задача вычислительной биологии, состоящая в алгоритмизированном поиске биологически функциональных участков генетических последовательностей. Генами называются определенные подпоследовательности нуклеиновых баз (нуклеотидов) дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Гены высших организмов (эукариотов) состоят из несмежных участков – экзонов. Между экзонами находятся гораздо более длинные некодирующие, “мусорные” последовательности, не относящиеся к генам – интроны [11], у человека суммарно составляющие до 99% длины всего генома [12].

Объем базы генов GenBank удваивается каждые 15 месяцев [13], а длина, например, генома человека составляет около 3.2 миллиардов нуклеотидов. Поэтому поиск генов невозможен без эффективных вычислительных инструментов анализа большого количества длинных последовательностей. Сходство (гомологичность) генетических последовательностей исследуемых организмов с известными позволяет находить новые гены, а также указывает на их эволюционное родство и функцию. Это обуславливает актуальность эффективного поиска гомологичных генетических последовательностей.

Другой важной задачей является поиск гомологичных некодирующих участков в локус-контролирующих областях (locus control region, LCR) бета-глобина, которые управляют транскрипцией в локусе. Известно, что последовательности бета-глобина содержат хорошо сохранившиеся в процессе эволюции области, называемые гиперчувствительными сайтами ДНКазы [14], что позволяет идентифицировать эти области в бета-глобине исследуемых организмов.

Нуклеотиды можно представить как алфавит из четырех символов А, G, T и C, а цепи молекулы ДНК – как

последовательности таких символов. Степень отличия двух цепей может быть определена как расстояние редактирования между последовательностями составляющих их нуклеотидов.

В данной работе для поиска экзонов используется подход рассуждений на основе примеров (case-based reasoning, CBR), где роль примеров играют экзоны последовательностей обучающей выборки. По таким примерам ищутся экзоны в тестовых последовательностях, либо участки гиперчувствительных сайтов одного организма, по которым необходимо найти такие же в бета-глобине другого организма. Для повышения эффективности поиска используются описанные выше и в [8] методы вложения.

Результаты экспериментального исследования поиска экзонов

Цель первого эксперимента – оценить эффективность предложенного метода поиска сходных строк в задаче поиска экзонов в генетических последовательностях позвоночных по известным примерам экзонов других организмов.

Были проведены эксперименты по поиску экзонов, где обучающей базой был выбран набор HMR195, использованный в [15] для тестирования программ обнаружения генов (948 последовательностей). Тестовой выборкой служила база последовательностей Burset-Guigo из [16] (570 последовательностей). В обеих базах экзоны размечены.

Поиск экзонов осуществлялся путем распознавания принадлежности экзону отдельных нуклеотидов. Каждому i -му нуклеотиду всех тестовых последовательностей ставился в соответствие счетчик c_i , изначально инициализированный нулем. Для каждого экзона g_i из обучающей последовательности принималось $P=\{g_i\}$ и строился LSH-лес. Далее все тестовые последовательности у нарезались скользящим окном шириной $|g_i|$. Подстроки вида $y[i, i+|g_i|-1]$ поочередно служили запросом к таким образом построенному LSH-лесу. Для всех подстрок, совпавших с g_i на уровне большем или равном K , с помощью классического алгоритма вычислялось расстояние редактирования. Для тех подстрок, расстояние редактирования которых было минимально в пределах данной тестовой последовательности, увеличивалось на единицу значение счетчиков, соответствующих нуклеотидам, принадлежащим данным подстрокам. Далее решение о том, что считать нуклеотидом,

принадлежащим экзону, определялось порогом t , отсекающим малые значения c_i .

Чтобы избежать влияния того, что краевые нуклеотиды покрываются меньшим числом окон, предварительно все последовательности из тестовой выборки дополнялись в начале и в конце спецсимволом N (в количестве 2454 символа, что равно длине самого длинного экзона из набора HMR195).

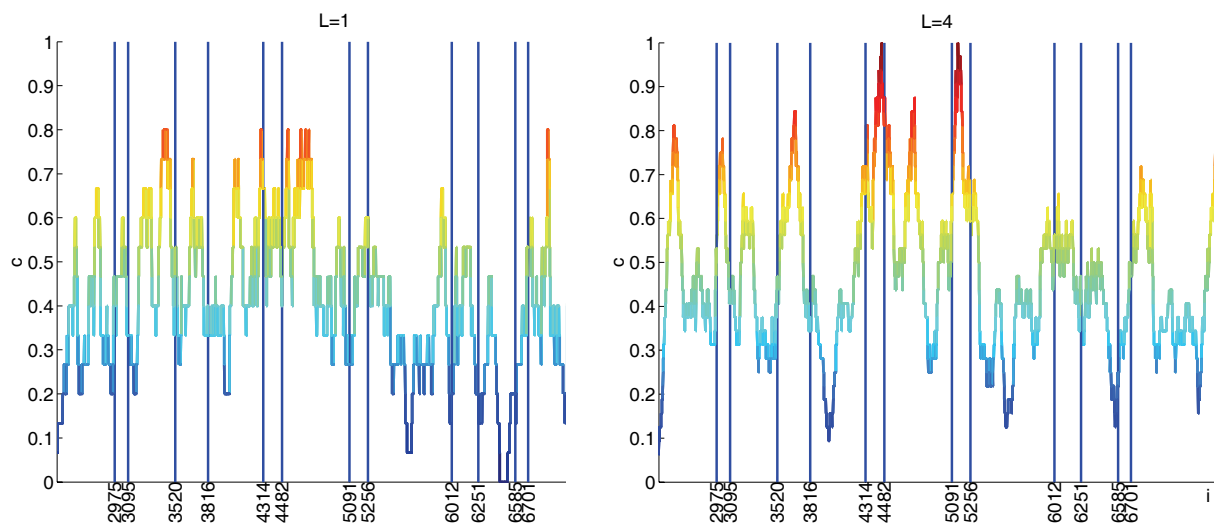
Как интегральная оценка качества поиска экзонов применялась т.н. “приближенная корреляция” (approximate correlation, AC) [16], определяемая как

$$AC = 1/2[TP/(TP+FN)+TP/(TP+FP)+TN/(TN+FP)+TN/(TN+FN)]-1, \quad (5)$$

где TP – true positives, TN – true negatives, FP – false positives, FN – false negatives.

На рис. 1 изображены графики нормализованных значений c_i , а также реальные границы экзонов для последовательности ACU08131 из набора Burset-Guigo для значений $K=5$ и $L=1,4,7,10$. Как видно из рисунков, увеличение L приводит к увеличению разницы между значениями c_i для интронов и экзонов, пики становятся более узкими.

Предложенный метод сравнивался с подходом на основе классического алгоритма редактирования [17]. В последнем лучшие значения AC (5), усредненного по всем тестовым последовательностям (AC_{avg}), достигали 0.49. Однако, полученная нами оценка времени работы такого алгоритма на исследованной базе составляет около 6 лет на однопроцессорном компьютере Athlon XP 2600+.



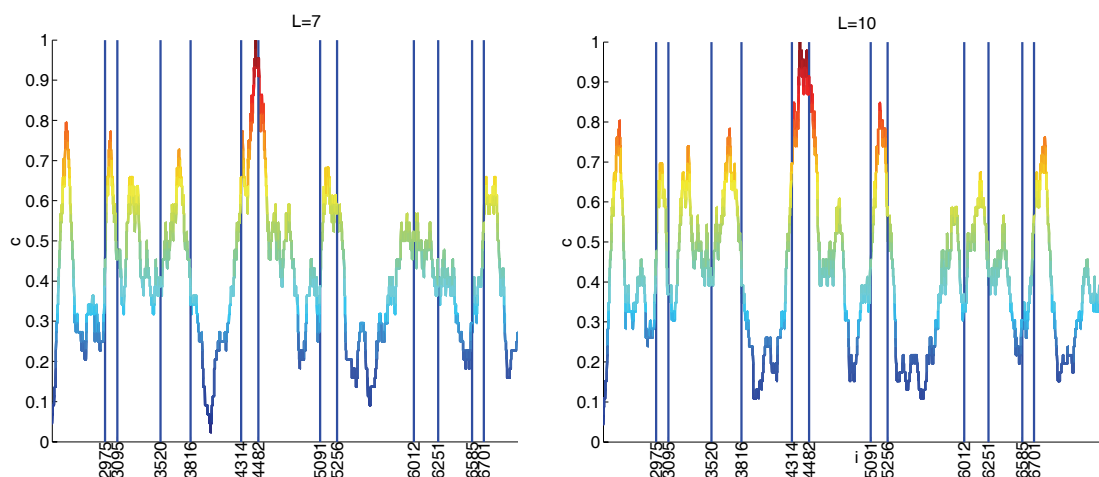


Рисунок 1 – Графики нормализованных значений c_i , а также реальные границы экзонов для последовательности ACU08131 для $K=5$ и $L=1,4,7,10$.

В табл. 1 приведены полученные нашим методом значения $AC_{\max} = \max_t AC_{\text{avg}}(t)$, усредненные по всем тестовым последовательностям для $K=5,7$ и $L=1, \dots, 10$, а также суммарное время, потраченное на поиск кандидатов с помощью предложенного метода, а также на проверку полученных кандидатов с помощью классического алгоритма.

Как видно из табл. 1, метод на основе поиска приближенных ближайших строк с помощью процедуры LSH-лес показывает сравнимые результаты с методом из [17], но за гораздо меньшее время.

Результаты работы предложенного метода поиска генов сравнивались с результатами одной из популярных программ для поиска генов – GeneID 1.3.8. Алгоритм программы основан на использовании ряда разработанных эвристик в комбинации с марковскими цепями со специально подобранными параметрами для разных типов организмов, а также правилами, выведенными экспертами.

Таблица 1

Результаты поиска экзонов в наборе Burset-Guigo, для $K=4,5,7$

K=4			K=5		K=7	
L	время, час	$AC_{\max}$	время, час	$AC_{\max}$	время, час	$AC_{\max}$
1	20	0.440	5	0.408	5	0.308
2	39	0.452	11	0.419	9	0.364
3	56	0.463	23	0.431	24	0.385
4	29	0.468	18	0.438	25	0.391
5	62	0.469	22	0.442	25	0.393
6	42	0.470	34	0.448	29	0.395
7	62	0.470	39	0.449	26	0.397
8	71	0.473	34	0.452	29	0.398
9	80	0.471	38	0.455	32	0.400
10	70	0.474	42	0.458	36	0.402

Для сравнительного анализа использованы следующие наборы параметров, предоставляемые с программой GeneID 1.3.8, – human1iso, human3iso, human.070606 и human.061209.

На рис. 2 сплошными линиями изображены графики изменения точности (отношение количества правильно классифицированных нуклеотидов к общему числу нуклеотидов, классифицированных как кодирующие) от полноты (отношение количества правильно классифицированных нуклеотидов к общему числу кодирующих нуклеотидов) для метода на основе LSH-леса, полученные изменением порога t на значение c_i и усреднением по всем последовательностям тестовой выборки. Маркерами на рисунке изображены результаты GeneID.

Как видно из рис. 2 метод, основанный на процедуре LSH, и не использующий никаких специфических экспертных знаний о природе тестируемых последовательностей, тем не менее, правильно распознает принадлежность 25-50% нуклеотидов, находящихся в экзонах.

В ходе эксперимента было замечено, что короткие экзоны распознаются гораздо хуже, чем длинные, что может объяснять не очень высокий по сравнению с GeneID общий результат. Более высокие результаты работы программы GeneID также объясняются ее высокой специализацией и настройкой на конкретный тип организмов.

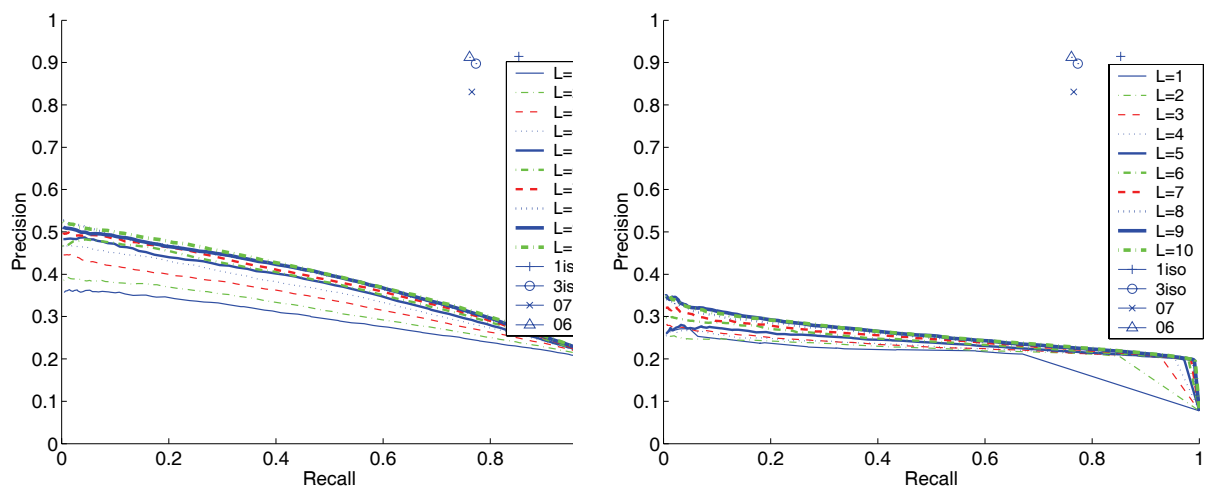


Рисунок 2 – График точность-полнота для $K=5,7$ и $L=1,...,10$ с обозначенными результатами работы GeneID для разных наборов параметров (“+” – human1iso, “o” – human3iso, “x” – human.070606, “Δ” – human.061209).

Поиск коротких некодирующих последовательностей

Помимо поиска генов, исследовался поиск коротких гомологичных участков также в некодирующих участках генетических последовательностей для значений n , при которых не выполняется $\rho < 1$ (4).

Цель второго эксперимента – исследование эффективности поиска близких коротких последовательностей нуклеотидов, а именно гиперчувствительных сайтов в бета-глобине родственных организмов. Использовалась LCR-последовательность бета-глобина мыши (длина 12Kb, GenBank Z13985) и человека (первые 20Kb, GenBank U01317) из [18].

В качестве обучающей выборки был принят бета-глобин мыши, тестовой – человека. Обозначим обучающую выборку x_m , тестовую – h_m . Все подстроки длиной n обучающей выборки составляли базу P , на которой строился LSH-лес. Создавался также массив счетчиков c , $|c| = |h_m|$, изначально инициализированный нулями. При проходе последовательности h_m скользящим окном шириной n , с помощью LSH-процедуры находились кандидаты на приближенных ближайших соседей к запросам $q_i = h[i, i+n-1]$, $i = 1, \dots, |h_m|$. Если среди строк-кандидатов с глубиной совпадения K , возвращенных LSH-процедурой на запрос q_i , была хотя бы одна подстрока, принадлежащая $B(q, e)$ (это проверялось с помощью классического алгоритма вычисления расстояния редактирования), то значения $c(j)$ для всех $j = i, \dots, i+n-1$ увеличивались на единицу. Проводилось усреднение по 100 независимым запускам процедуры поиска с разными инициализациями генератора случайных чисел.

Таблица 2

Пример результатов поиска подстрок длиной $n=50$, находящихся на расстоянии редактирования не больше 3 в последовательностях бета-глобина мыши и человека для $K=7,8$

	c	$\sigma^2(c)$	время, мин	память, Мб	c	$\sigma^2(c)$	время, мин	память, Мб
$L \backslash K$	7	8						
1	0.3	0.5	0.01	2.3	0.3	0.6	0.01	2.7
2	0.6	1.1	0.01	3.4	0.7	1.0	0.01	4.1
3	1.0	1.7	0.01	4.4	0.9	1.4	0.01	5.4
4	1.6	2.5	0.01	5.4	1.4	2.1	0.01	6.8
5	2.0	3.4	0.02	6.4	1.7	2.2	0.02	8.2
6	2.4	3.6	0.02	7.4	2.1	3.1	0.02	9.6
7	2.8	3.8	0.02	8.5	3.0	0.0	0.02	10.9

8	3.2	4.3	0.03	9.5	2.6	3.2	0.03	12.3
9	3.5	5.0	0.03	10.5	2.9	3.4	0.03	13.7
10	3.9	5.7	0.03	11.5	3.2	3.7	0.03	15.1
20	7.2	6.1	0.07	21.7	5.8	7.1	0.07	28.8
30	9.9	7.3	0.11	31.9	8.2	7.4	0.10	42.6
40	12.1	7.6	0.15	42.1	10.2	6.1	0.14	56.3
50	13.6	5.6	0.19	52.2	11.6	5.7	0.18	70.1
100	17.4	1.7	0.40	103.0	16.4	2.8	0.36	138.7
150	18.3	0.7	0.61	153.7	17.9	1.0	0.55	207.3
200	18.6	0.4	0.84	204.3	18.4	0.7	0.74	275.8
300	18.7	0.3	1.23	305.8	18.7	0.3	1.18	412.9

Реальное количество подстрок длиной 50, находящихся на расстоянии редактирования не больше $e=3$ в исследованных последовательностях, равно 19. В табл. 2 приведены результаты поиска, где в колонке с приведено (усредненное по 100 независимым запускам) количество найденных подстрок. В колонке $\sigma^2(c)$ – дисперсия этого числа. В двух остальных колонках, соответственно, среднее время поиска и затраты памяти.

В работе [19] все 19 подстрок были найдены за 0.4 мин. (на машине Athlon XP 2600+ под оболочкой Cygwin). Как видно из табл. 2 результаты, полученные с помощью метода, основанного на описанной процедуре LSH-лес, в среднем проигрывают результатам [19], что может объясняться слишком короткими строками ($n=50$), тогда как минимальная длина подстрок, при которой $\rho < 1$ (4), равна $n=100$.

Обнаружение вторжений

Обнаружение хакерских атак является актуальной задачей и, одновременно, сложной, так как поток данных, генерируемых аудит-системами, имеет огромный объем – до гигабайтов в день. Системы обнаружения вторжений (intrusion detection systems, IDS) предназначены для обнаружения попыток несанкционированного доступа в компьютерную систему. Такие системы должны противостоять атакам, даже если злоумышленник с точки зрения соблюдения прав доступа имел необходимые полномочия на свои действия. Одним из подходов к обнаружению атак является создание профиля “нормальной” активности пользователя, а любая активность, не подпадающая под принятое понимание “нормальности”, считается опасной. Такие IDS называются

системами обнаружения аномалий (anomaly detection systems, ADS). Некоторые существующие подходы к построению ADS рассмотрены в [3].

Одним из направлений обнаружения вторжений есть их обнаружение рассуждениями на основе примеров, где в качестве базы примеров используют аудит-файлы (логи) пользователей. Используются подходы, оперирующие в каждый момент времени ограниченными участками сессии (окнами). Наиболее востребованы ADS в виде online-систем, которым, очевидно, не доступны будущие команды, а старые логи, как правило, ежедневно или даже ежечасно архивируются, поскольку на их хранение необходимо много ресурсов.

Мы применили приведенный выше подход к поиску генов для обнаружению вторжений в компьютерных системах. Цель эксперимента – проверить, насколько эффективной может быть классификация принадлежности пользовательских сессий (последовательностей системных команд) на основе предложенного метода поиска близких строк.

Роль обучающей выборки, аналогично ситуации с генами, здесь играет множество подпоследовательностей логов сессий. В отличие от задачи поиска генов, где кодирующие экзоны редки и разделены длинными интронами, все команды в логе несут определенную семантическую нагрузку. Поэтому в данной задаче проводилась нарезка и обучающего, и тестового логов на окна одинаковой длины.

Обучающий лог x пользовательской сессии разбивался на пересекающиеся окна вида $x[i, i+n-1]$, $i=1, \dots, |x|-n+1$ фиксированной длины n , которые сохраняются для каждого пользователя u в отдельном LSH-лесе F_u . На этапе тестирования создается массив счетчиков C_u для каждого пользователя u . Каждое окно $y[j, j+n-1]$, $j=1, \dots, |y|-n+1$ тестового лога y пользователя u^* является запросом в F_u для всех присутствовавших в обучающей сессии пользователей u (в эксперименте – 558 пользователей). Обозначим $l_{\max}(u, y[j, j+n-1])$ максимальное значение уровня строк, возвращенных в ходе процедуры LSH-лес для леса F_u при запросе $y[j, j+n-1]$. Если $l_{\max}(u, y[j, j+n-1])=K$, то значение счетчика C_u увеличивается на единицу. Пусть U – множество пользователей, таких, что C_u имеет максимальное значение для всех пользователей: $U=\{\operatorname{argmax}_u(C_u)\}$. Если $u^* \in U$, то

считалось, что пользователь определен правильно. Иначе, пользователь определен неправильно и имеет место аномалия.

Эксперименты проводились на данных, полученных с UNIX сервера физико-технического факультета НТУУ “КПИ”, использованных в [4]. Механизмами аудита ОС FreeBSD отслеживались все процессы, которые запускались от имени зарегистрированных в системе пользователей, на протяжении 671 дня (с июня 2001 по декабрь 2003, с перерывами). Всего были получены данные для 717 пользователей, выполнивших 23249986 команд.

В качестве обучающей выборки были приняты все сессии, выполненные за 2001-2002 год (всего 403 дня), в качестве тестовой – сессии 2003 года (268 дней).

Таблица 3

Доля правильно классифицированных сессий для значений ширины окна $n=10, 20, 30, 40$ и параметров $K=5, 7$, $L=1, 5, 10$

	n=10			n=20			n=30			n=40		
L	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10
K=5	0.470	0.984	0.997	0.440	0.942	0.984	0.241	0.787	0.940	0.354	0.848	0.967
K=7	0.431	0.945	0.987	0.403	0.741	0.942	0.327	0.434	-	0.229	0.390	0.836

Результаты (доля правильно классифицированных сессий) для разных значений ширины окна $n=10, 20, 30, 40$ и параметров $K=5, 7$, $L=1, 5, 10$ представлены в табл. 3. Видно, что при увеличении L достигается точность классификации практически 100%. Затраты времени в среднем составляют от 3 до 11 сек. (в зависимости от параметров) на проверку одной сессии. Таким образом, предложенный метод является перспективным в качестве предварительной онлайн-обработки логов.

Выводы

Проведенные эксперименты подтвердили возможность применения рандомизированного метода вложения расстояния редактирования в векторное пространство как метода нахождения приближенно ближайших строк [8]. А именно, показана возможность применения в реальных практических задачах поиска генов и других участков генетических последовательностей, а также в задачах обнаружения вторжений. Учитывая намеренное игнорирование при решении этих задач информации о специфике предметных областей, которые обязательно должны использоваться при решении реальных задач на практике, предложенный метод показал хорошие результаты

в обеих задачах и может применяться как составная часть в более специализированных системах.

Перспективным направлением является исследование предложенного подхода на базах компьютерных логов, содержащих следы хакерских атак, для задачи обнаружения вторжений, а также более "осторожных" методов принятия решения относительно тестируемых сессий. В задаче поиска генов представляет интерес исследование объединения предложенного метода с генеративными моделями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов А. Исследование ускоренного поиска близких текстовых последовательностей с помощью векторных представлений // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – №4.
2. Gusfield D. Algorithms on Strings Trees and Sequences. – Cambridge Univeristy Press, 1997. – 532 p.
3. Соколов А.М. Современные модели обнаружения аномалий в компьютерных системах // Управляющие Системы и Машины. – 2004. – №5. – С. 67-73.
4. Sokolov A.M. An adaptive detection of anomalies in user's behavior // Proc. of the Int. Conference on Neural Networks. – 2003. – 4. – P. 2443-2447.
5. Левенштейн В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 163, – Вып. 4. – С. 845-848.
6. Sokolov A.M, Rachkovskij D.A. On handling replay attacks in intrusion detection systems // Int. Journal Information Theories & Applications. – 2003. – 10. – №3. – P. 341-347
7. Винцюк Т. К. Распознавание слов устной речи методами динамического программирования // Кибернетика. – 1968. – Вып. 1. – С. 81-88.
8. Соколов А. М. Векторные представления для эффективного сравнения и поиска похожих строк // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №4. – С. 18-38.
9. Indyk P., Motwani R. Approximate nearest neighbors: towards removing the curse of dimensionality // Proc. of STOC. –1998. – P. 604–613.
10. Bawa M., Condie T., Ganesan P. LSH forest: self-tuning indexes for similarity search // Proc. of the Conference on WWW. – 2005. – P. 651-660
11. Zhang MQ. Computational prediction of eukaryotic protein-coding genes // Nat Rev Genet. – 2002. – Vol. 3. – №9. – P. 698-709
12. Sakharkar, M. K., Chow, V. T. and Kanguane, P. Distributions of exons and introns in the human genome. // Silico Biol. – 2004. – 4. – 387-393.

13. Genbank / Benson D.A., Karsch-Mizrachi I., Lipman D.J., Ostell J., Rapp B.A., Wheeler D.L. // Nucleic Acids Research. – 2000. – №1. – P. 15-18.
14. Evidence for a locus activation region: the formation of developmentally stable hypersensitive sites in globin-expressing hybrids / Forrester W., Takegawa S., Papayannopoulou T., Stamatoyannopoulos G., Groudine M. // Nucl. Acids Res. – 1987. – 15. – P. 10159–10177.
15. Rogic S., Mackworth A., Ouellette F. B. F. Evaluation of gene-finding programs on mammalian sequences // Genome Research. – 2001. – 11. – P. 817-832.
16. Burset M., Guigy R. Evaluation of Gene Structure Prediction Programs // Genomics. – 1996. – 34. – P. 353-367.
17. Costello E., Wilson D. C. A Case-Based approach to Gene Finding // Workshop on CBR in the Health Sciences. – 2003. – P. 19-28.
18. Buhler J. Efficient large-scale sequence comparison by locality-sensitive hashing // Bioinformatics. – 2001. – 17. – P. 419-428.
19. Narayanan M., Karp R. M. Gapped local similarity search with provable guarantees // Workshop on Algorithms in Bioinformatics. – 2004. – P. 74-86.

Получено 26.03.2008 г.

УДК 621.376

О.В. Рязанцев, А.А. Андреев, А.Ю. Мухацкий

СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ОФМ

Введение. Вся эволюция систем связи, в которых кодек и модулятор независимы, указывает на обменный характер соотношения между помехоустойчивостью и спектральной эффективностью таких систем. Причем, этот характер имеет место как для аналоговых, так и для цифровых систем, что, в частности, потребовало разработки и реализации весьма громоздких алгоритмов информационного сжатия для достижения приемлемых значений ширины спектра цифровых каналов. В настоящее время есть понимание того, что для оптимального формирования сигнала процессы кодирования и модуляции должны быть определенным образом согласованы, т.е. представлять по существу, единый процесс (кодированная модуляция [1]).

Постановка задачи исследований. Соответственно, для оптимальной обработки сигнала требуется согласованная работа демодулятора и декодера. Не исключено, что каждая пара этих функций может быть реализована в одном устройстве.

Так, например, известно, что одной из наиболее помехоустойчивых систем является система связи с фазовой манипуляцией (ФМ), причем, её разновидность ОФМ – относительная ФМ не требует передачи опорного сигнала, т.к. его роль выполняет предыдущая посылка (радиоимпульс) [2]. Однако, скачок фазы на границе двух соседних посылок приводит к существенному распылению спектра такого сигнала. В простейшем случае «опрокидывания фазы» (однократная ФМ) колебаний на π в области перехода между радиоимпульсами выражение для сигнала имеет вид [3]

$$a(t) = \frac{2A_0}{\pi} \{ [\cos(\omega_0 + \Omega)t - \cos(\omega_0 - \Omega)t] + \frac{1}{3} [\cos(\omega_0 + 3\Omega)t - \cos(\omega_0 - 3\Omega)t] + \frac{1}{5} [\cos(\omega_0 + 5\Omega)t - \cos(\omega_0 - 5\Omega)t] + \dots \},$$

где Ω - половинная частота следования радиоимпульсов. Как видно, теоретически этот спектр бесконечен, однако, основной вклад имеют линии с частотами $\omega_0 - \Omega$ и $\omega_0 + \Omega$, причем, линия с частотой ω_0 в этом спектре отсутствует. Ориентируясь на изложенное выше попытаемся определить вид компенсирующей АМ для данного сигнала с целью сужения его спектра. Учитывая, что производная от фазы сигнала по времени равна мгновенному значению его частоты, а резкое изменение фазы происходит именно в области перехода между радиоимпульсами, можно прийти к выводу о том, что в этой области необходимо соответствующим образом уменьшить амплитуду сигнала, а для идеального скачка фазы эта амплитуда должна обращаться в ноль.

Методика исследования. Переход от нулевых амплитуд на границах радиоимпульса до конечного значения амплитуды в его центре должен быть наиболее плавным (минимальное распыление спектра), т.е. происходить по гармоническому закону. В результате, вместо классического сигнала ОФМ (рис.1в) получим сигнал, показанный на рис.1б.

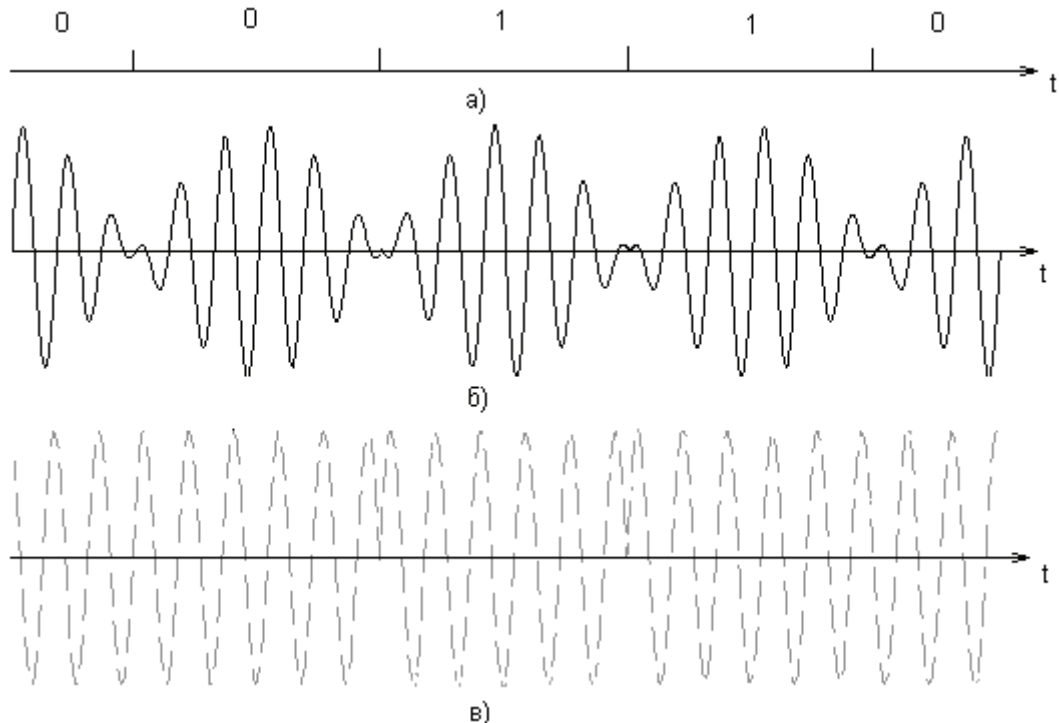


Рисунок 1 - Пример временных зависимостей сигналов Н-ОФМ и ОФМ для кода 00110. а) –представляемый код, б) – сигнал «нуль-ОФМ», в) –сигнал ОФМ

Каждой кодовой позиции «1» или «0» соответствует, например скачок фазы в момент перехода амплитуды через ноль или его отсутствие, т.е. фазовая манипуляция, соответствующая передаваемой кодограмме должна быть строго когерентна компенсирующей АМ.

Спектр предлагаемого сигнала ОФМ на рис.16 нет нужды определять специально, т.к. точно такой же вид имеет сигнал биений – результат сложения двух гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами и различными частотами (или сигнал DSB). Если частота одного из них равна ω_0 , а второго $\omega_0 + \Delta\omega$, то уравнение биений

$$a(t) = 2A_0 \cos \frac{\Delta\omega}{2} t + \cos \omega_0 t$$

Как видно, первый гармонический сомножитель определяет форму огибающей, а обращение амплитуды в ноль происходит при условии $\frac{\Delta\omega}{2} t = \frac{\pi}{2} (2n + 1)$, где $n = 0, 1, 2, \dots$. Интервал между соседними узлами, т.е. период следования радиоимпульсов $T_n = \frac{2\pi}{\Delta\omega}$.

Итак, если в качестве базовой взять временную последовательность сигнала биений, т.е. последовательность радиоимпульсов с гармонической огибающей и скачком фазы на π в каждом из узлов, то информацию сообщения можно заложить в такую последовательность в виде наличия или отсутствия скачка фазы в этих узлах. Для определения спектра полученного сигнала использовалось моделирование в ПО MathCad [4], причем в качестве сигнала сообщения использовалась псевдослучайная знаковая функция, а сам сигнал представлял собой произведение этой функции на сигнал биений. Знаковая функция подбиралась таким образом, чтобы знаковые скачки приходились строго на узлы опорного сигнала биений. Результаты моделирования приведены на рис.2.

В данном случае на псевдослучайную последовательность не накладывалось никаких дополнительных требований, т.е. допускалось, что манипуляция фазы или ее отсутствие могли выполняться в любом узле опорного сигнала. Был также проанализирован вариант, при котором подобные манипуляции могли быть осуществлены только в четных узлах опорного сигнала, т.е. количество нулей и единиц в результирующем сигнале любого вида

было одинаковым, т.е каждая кодовая позиция содержала в этом случае только четное число радиоимпульсов. Спектр такого сигнала представлен на рис.3

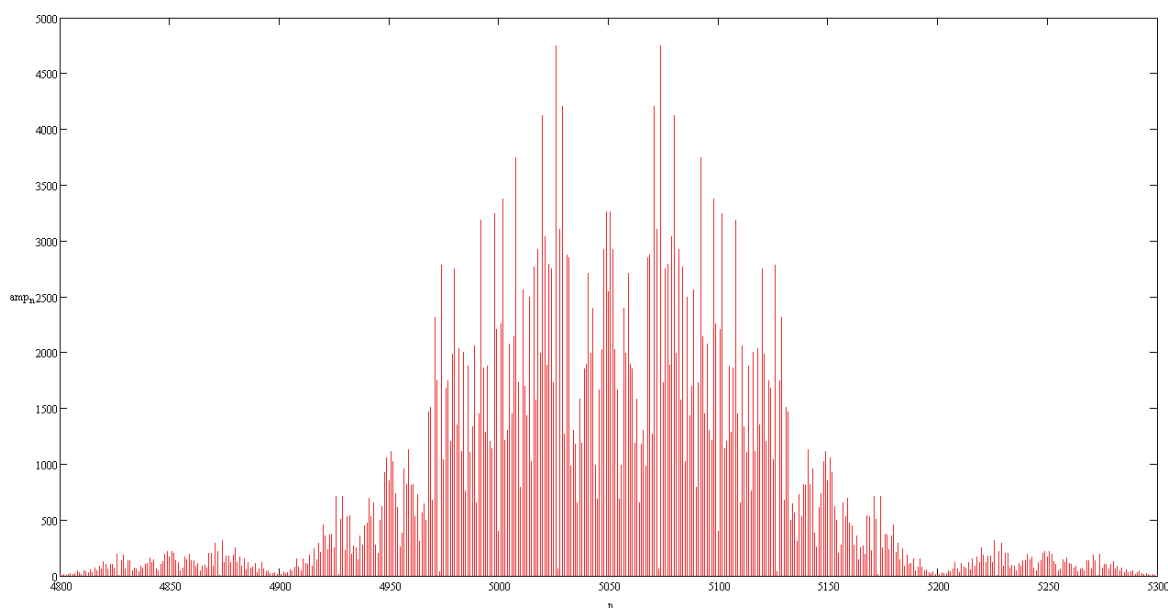


Рисунок 2 - Спектр сигнала Н-ОФМ для случайного сообщения

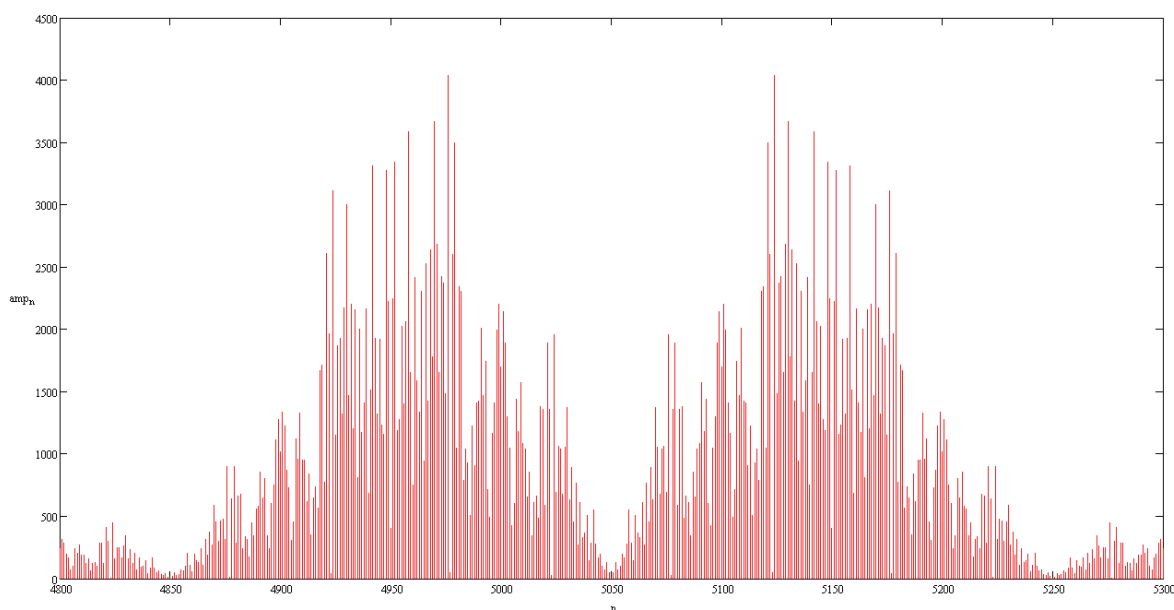


Рисунок 3 - Спектр сигнала Н-ОФМ при избыточном кодировании

Как видно из рисунков, при избыточном кодировании полностью подавляется частота заполнения радиоимпульсов, а вместо спектральных линий опорного сигнала биений возникают две спектральные полосы, ширина каждой из которых практически совпадает со скоростью передачи информации. При обычном кодировании спектральная линия, соответствующая частоте заполнения радиоимпульсов присутствует. Оба спектра симметричны

относительно частоты заполнения, причем ширина боковых полос для неизбыточного кодирования оказывается приблизительно в 1.33 раза меньше, чем для избыточного. Оба варианта оказываются достаточно спектрально эффективными и, в принципе, позволяют реализовать цифровой вариант SSB.

В работе исследован еще один вариант формирования опорного сигнала биений в котором каждая из двух компонент этого сигнала расщеплялась на две квадратурные составляющие, а манипуляция фазы в узле радиоимпульса при наложении сигнала сообщения осуществлялась только над одной парой этих составляющих. Результаты проведенного моделирования при псевдослучайном сообщении для данного варианта (расщепленная квадратурная манипуляция) приведены на рис.4.

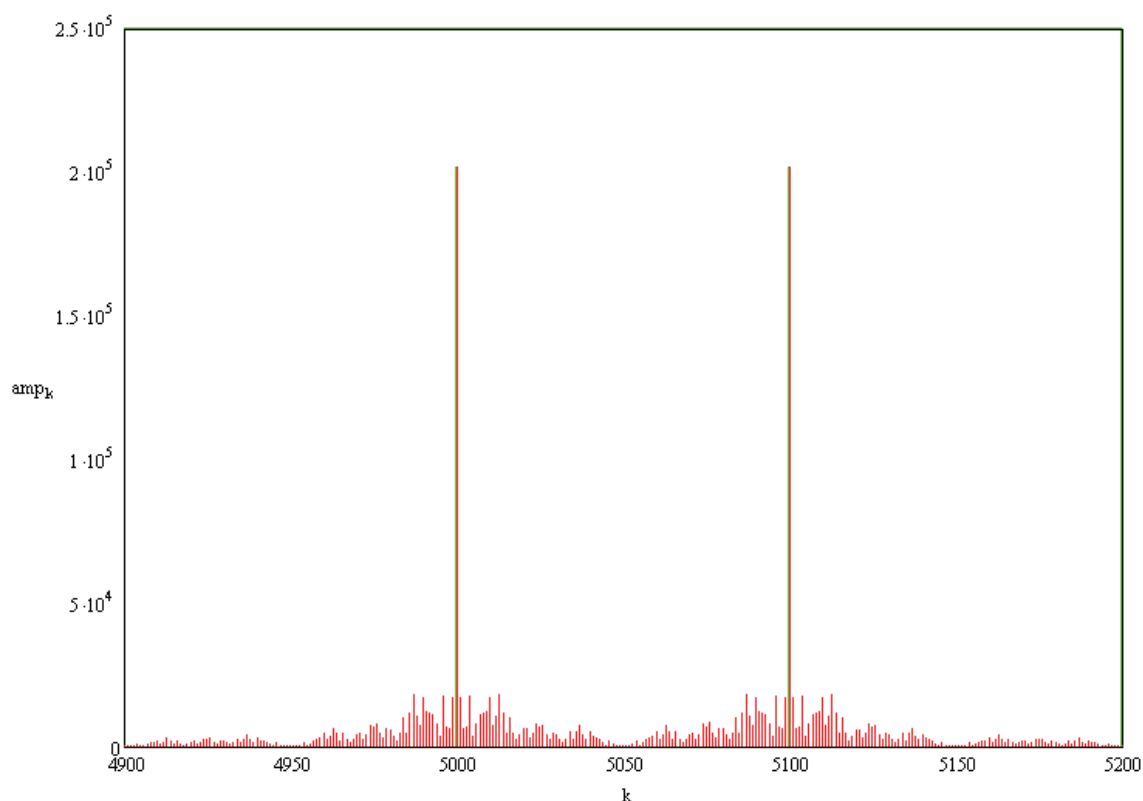


Рисунок 4 - Спектр сигнала Н-ОФМ при расщепленной квадратурной фазовой манипуляции

Как видно, полученный спектр содержит две основные линии, соответствующие компонентам опорного сигнала биений, т.е. является еще более спектрально эффективным, чем предыдущие – пространство между этими линиями практически пустое, что может

позволит, например, сформировать каналы связи для такого сигнала следующим образом.

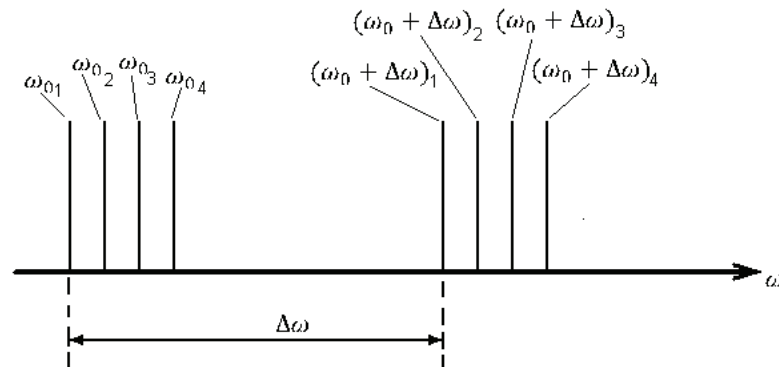


Рисунок 5 - Вариант частотного распределения каналов связи для Н-ОФМ

Такой способ формирования каналов, обусловлен следующей причиной. В настоящее время практически все системы связи являются цифровыми, причем по традиции для повышения помехоустойчивости этих систем относительно узкоспектральных помех, спектр сигнала стремятся сделать по возможности более широким, в пределе – шумоподобным. В результате для каждой из систем связи все остальные по существу являются источниками шума. И по этой причине система связи использующая линейчатый спектр сигнала с ограниченным количеством спектральных линий может оказаться более помехоустойчивой.

Однако, в отличие от любой другой цифровой системы связи в которой кодер и модулятор работают независимо, в данном варианте требуется максимальная когерентность процесса фазовой манипуляции и момента перехода амплитуды через ноль, что, очевидно потребует новых архитектурных решений как передающих, так и приемных устройств. Кроме того, можно представить такую Н-ОФМ с кратностью больше единицы, однако, если увеличение кратности обычной ОФМ приводит к росту её эффективности (см. например [2]), то для Н-ОФМ, кроме аппаратного усложнения такое увеличение ни к чему не приведет – спектр сигнала Н-ОФМ отличается от вообще немодулированного наличием ещё одной спектральной линии, вместо одной – две. Для увеличения же скорости передачи достаточно расширить частотный зазор между канальной парой этих линий.

Заметим, что форма сигнала, приведенного на рис.1б, может быть использована и для частотной манипуляции (в таком варианте

«Н-ЧМ») с той разницей, что частота заполнения радиоимпульсов может принимать одно из двух значений, а информация отображается наличием или отсутствием скачка частоты на границе между соседними радиоимпульсами. Спектр такого сигнала сложнее, чем спектр Н-ОФМ, однако, в данном варианте Н-ЧМ благодаря компенсирующей АМ практически устраняется паразитный скачок фазы на переходе между радиоимпульсами, приводящий к дополнительному расширению спектра – в момент скачка амплитуда сигнала близка к нулю. В этом случае отпадает необходимость использования систем ЧМ с непрерывной фазой (ЧМНФ) или модуляции с минимальным сдвигом (ММС).

Выводы. Показано, что определенным образом согласованная работа кодера и модулятора может привести к существенному увеличению эффективности цифрового канала связи. Так, например, для предложенных вариантов ОФМ (Н-ОФМ (ZPSK)) показано, что в случае избыточного кодирования спектр сигнала в 1.5 раза больше скорости передачи информации, для избыточного – в 2 раза, а для расщепленной квадратурной Н-ОФМ расстояние между основными линиями спектра в точности равно скорости передачи информации. Полученные результаты создают предпосылки для дальнейших исследований в данном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория электрической связи. Под ред. Д.Д. Колосского, М., «Радио и связь», 1998.
2. Н.Т. Петрович. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М., «Советское радио», 1965.
3. И.С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы, часть I. М., «Советское радио», 1966
4. www.mathsoft.com.

Получено 14.03.2008 г.

УДК 678.065:678.028

М.В. Шаптала, В.А. Ищенко

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН С УЧЕТОМ ТРЕХМЕРНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Введение

Технология изготовления пневматических шин предусматривает сборку конструкций шин на специальных сборочных станках из предварительно изготовленных сырых, не обладающих упругими свойствами, резиновых деталей и последующей вулканизацией собранной шины в пресс форме. В процессе вулканизации заготовка шины прогревается до необходимой температуры, при которой происходит химическая реакция серы и каучука [1], в процессе которой молекулы каучука сшиваются в единую пространственную сетку, и резина приобретает требуемые упругие характеристики. Это наиболее энергоемкий процесс, который в зависимости от габаритов шины может длиться от нескольких десятков минут до десяти и более часов.

Выделяют четыре стадии процесса вулканизации (рис. 1). Индукционный период (I) – первая стадия, при которой происходит подача теплоносителя при высоком давлении во внутреннюю полость шины и к наружной поверхности пресс формы, на которых устанавливается заданная температура. Химическая реакция на этой стадии отсутствует. Период вулканизации (II) – вторая стадия, во время которой происходит прогрев конструкции, по мере которого свойства резины достигают требуемых значений. В силу малой теплопроводности резины время прогрева зависит от толщины конструкции. В виду неравномерности прогрева в отдельных зонах шины, расположенных вблизи поверхностей нагрева реакция вулканизации может быть завершена. А в трудно прогреваемых зонах, их называют холодные точки, реакция, возможно, еще и не началась. Плато вулканизации (III) – третья стадия, реакция вулканизации уже завершена на отдельных участках и свойства резин достигли нужных значений и сохраняются на требуемом уровне. Реверсия (IV) – четвертая стадия, свойства участков резин,

где реакция вулканизации завершена, ухудшаются. Прекращение подачи теплоносителя и начало охлаждения может быть начато на третьей или четвертой стадиях. Таким образом, для получения высокого качества изделия при минимальных затратах тепла, необходимо разработать такой режим вулканизации, т.е. подачу и смену теплоносителей [1,2], при котором за наименьшее время во всем изделии получится наиболее лучшее сочетание основных свойств готового изделия.

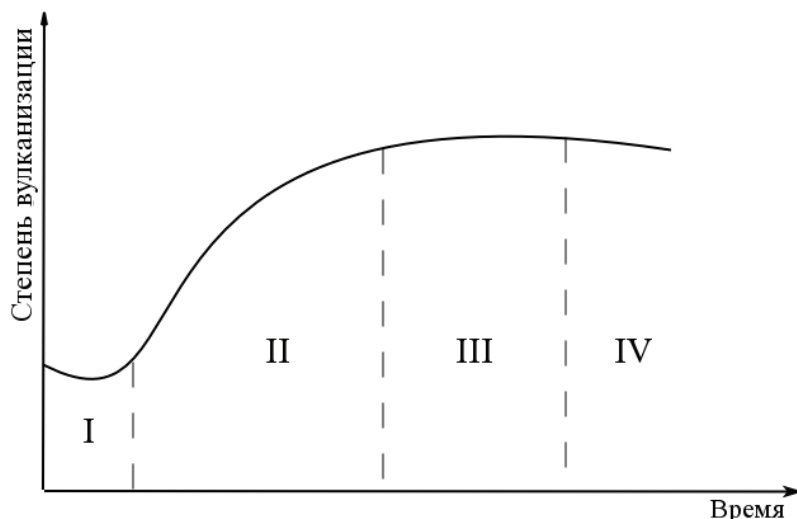


Рисунок 1 – Кинетическая кривая процесса вулканизации

Для построения режимов вулканизации необходимо знать, как изменяется температура в изделии во время процесса вулканизации и последующего охлаждения.

Расчет температурных полей шин при вулканизации в настоящее время основан на разработанных ранее методах приведенной пластины [4] и плоского сечения [5]. Эти методы основаны на эмпирическом выборе самого трудно прогреваемого плоского сечения, которое выбирается в окружном направлении шины. При выборе такого сечения необходимо учитывать рисунок протектора, изменение толщины резины по поперечному сечению шины. Обоснованность такого выбора зависит от опыта и интуиции специалистов. В методе [4] поперечное сечение шины приводят к пластине определенной толщины, температурное поле которой одномерное, и для которой можно получить аналитическое решение [6].

В методе [5] температурное поле является двумерным. Ввиду того, что конфигурация плоского сечения сложная, а конструкция шины состоит из нескольких слоев с различными теплофизическими

характеристиками, то решение выполняется численными методами. Реальные трехмерные тепловые потоки, которые зависят от геометрии рисунка протектора и конфигурации шины, в этих методах не учитываются. Основными причинами, по которым были разработаны описанные методы, является сложность аналитического описания трехмерной геометрии изделия.

По существующей практике на шинных заводах режим, определяемый по одному из описанных выше методов, проверяется экспериментально. Для этого изготовленную шину подвергают исследованиям, при которых измеряются упругие характеристики всех типов резин и по их значениям судят о режиме вулканизации. Для определенного ассортимента шин данный подход оправдан ввиду сравнительно низкой стоимости единицы изделия. Однако для крупногабаритных, сверх крупногабаритных шин или массивных шин, стоимость которых достигает нескольких тысяч долларов, этот метод весьма дорогостоящий.

Вышеописанные методы не дают полной картины распределения температурного поля во всем изделии, кроме отдельно выбранного сечения. Поэтому с целью разработки рациональных режимов вулканизации следует отказаться от методов, построенных на упрощении расчетной модели и использовать максимально приближенные к реальной конструкции трехмерные модели.

В настоящее время созданы предпосылки для реализации данного подхода. На шинных заводах используются САПР шин, в которых создаются твердотельные трехмерные модели [7], которые можно использовать при решении задачи теплопроводности для разработки режимов вулканизации шин.

Математическая модель процесса вулканизации

Для построения режима вулканизации необходимо рассчитать нестационарное температурное поле в шине, на базе которого построить кинетику неизотермической вулканизации во время процесса. Для этого необходимо решить начально-краевую задачу

теплопроводности [8] в области $\Omega = \sum_{i=1}^m \Omega_i + \sum_{i=1}^{m+1} \Gamma_i$:

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda_i(T_i)}{c_i(T_i)\rho_i} \frac{\partial T_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda_i(T_i)}{c_i(T_i)\rho_i} \frac{\partial T_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\lambda_i(T_i)}{c_i(T_i)\rho_i} \frac{\partial T_i}{\partial z} \right) + q_i(\tau), \quad (1)$$

$$M(x, y, z) \in \Omega_i, \tau > 0, i = 1, 2, \dots, m,$$

В уравнении (1) точка $M(x, y, z)$ принадлежит области Ω_i , m – число слоев (с учетом варочной камеры), с различными теплофизическими характеристиками; T_i – температура в точке M ; λ_i , c_i , ρ_i – соответственно теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность материала i -го слоя; q_i – внутренние источники теплоты.

Теплофизические характеристики рассчитываются исходя из состава резиновой смеси. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности и плотности резиновой смеси незначительна. Коэффициент теплопроводности определяется [9] по формуле:

$$\lambda = \lambda_{\text{с}} + 0,00214C_1 + 0,00163C_2, \quad (2)$$

где C_2 – дозировка саж типа канальной в вес. ч. на 100 вес. ч. каучука;

C_1 – дозировка всех остальных саж.

Объемы ингредиентов резиновых смесей в достаточном приближении аддитивны, т.е. плотность можно вычислить по формуле:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\omega_1}{\rho_1} + \frac{\omega_2}{\rho_2} + \dots + \frac{\omega_n}{\rho_n}, \quad (3)$$

где ω_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) – весовые доли ингредиентов;

ρ_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) – плотность ингредиентов.

Удельная теплоемкость резиновой смеси может быть найдена аналогично [9]:

$$c = \omega_1 c_1 + \omega_2 c_2 + \dots + \omega_n c_n, \quad (4)$$

где c_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) – удельные теплоемкости ингредиентов.

В соответствии с [10] теплоемкость смеси с повышением температуры увеличивается по линейной зависимости.

Внутренние источники обусловлены тепловыделениями в результате протекания химической реакции вулканизации и значительно влияют на температурное поле массивных изделий [11, 12]. Тепловые эффекты вулканизации пропорциональны массе присоединенного агента вулканизации и индивидуальны для различных слоев шины. Расчет внутренних источников производится по формуле [12]:

$$q(\tau) = \begin{cases} 0, & \tau < \tau_0, \tau > \tau_9; \\ q_{\text{сум}} \left[1 - e^{-k(\tau - \tau_0)} \right], & \tau_9 > \tau \geq \tau_0 \end{cases}, \quad (5)$$

где τ_0 – индукционный период вулканизации, с;

τ_9 – эквивалентное время, рассчитываемое по формуле (10), с;

$q_{\text{сум}}$ – суммарный тепловой эффект реакции за время ее протекания $\tau_9 - \tau_0$ [13], Вт/м³;

$k = k_0 \exp\left(-\frac{U}{RT}\right)$ – константа скорости реакции вулканизации [1];

U – энергия активации процесса вулканизации, Дж/кмоль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль К).

Начальные условия задают начальную температуру T_0 во всей расчетной модели:

$$T(M, \tau) = T_0, \quad M(x, y, z) \in \Omega, \quad \tau = 0. \quad (6)$$

При расчетах режимов вулканизации резинотехнических изделий принимают [2] температуру поверхности пресс-формы и диафрагмы (варочной камеры), равной температуре теплоносителя. Ввиду этого во время подачи теплоносителя τ_1 по поверхности диафрагмы Γ_1 и поверхности модели, которая находится в контакте с пресс-формой Γ_{m+1} , задаются граничные условия первого рода:

$$\begin{aligned} T(M, \tau) &= \varphi_1(M, \tau), \quad M(x, y, z) \in \Gamma_1, \quad \tau_1 > \tau > 0; \\ T(M, \tau) &= \varphi_2(M, \tau), \quad M(x, y, z) \in \Gamma_{m+1}, \quad \tau_1 > \tau > 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Во время остывания покрышки $\tau_2 - \tau_1$ вне вулканизационного оборудования происходит вулканизация холодных зон изделия, поэтому для построения рационального режима вулканизации шин необходимо рассчитать изменение температурного поля в период их охлаждения. Процесс теплообмена между горячей поверхностью покрышки и окружающей средой задается граничными условиями третьего рода:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial T(M, \tau)}{\partial n} \right|_{\Gamma_1} + \alpha T|_{\Gamma_1} &= \gamma_1(\tau), \quad M(x, y, z) \in \Gamma_1, \quad \tau_2 > \tau > \tau_1; \\ \left. \frac{\partial T(M, \tau)}{\partial n} \right|_{\Gamma_{m+1}} + \beta T|_{\Gamma_{m+1}} &= \gamma_2(\tau), \quad M(x, y, z) \in \Gamma_{m+1}, \quad \tau_2 > \tau > \tau_1. \end{aligned} \quad (8)$$

Температура в точке соприкосновения разнородных слоев, составляющих конструкцию покрышки, а также внутренней полости

и диафрагмы принимается одинаковой, т.е. задаются граничные условия четвертого рода:

$$T|_{\Gamma_i} = T|_{\Gamma_{i+1}}, \quad \lambda_i(T) \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma_i} = \lambda_{i+1}(T) \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma_{i+1}}, \quad M(x, y, z) \in \Gamma_i, \quad \tau > 0, \quad i = 2, \dots, m. \quad (9)$$

В уравнении (9) Γ_i – поверхность i -го слоя, которая соприкасается с поверхностью Γ_{i+1} слоя $i+1$.

Для решения дифференциального уравнение теплопроводности (1) применяется метод конечных элементов, который представляет собой эффективный численный метод решения физических задач для расчетной области сложной конфигурации [15,16].

Для процесса вулканизации основное значение имеют не сами температуры, а связанные с ними степень вулканизации, по которой судят о степени завершенности процесса. В настоящее время в шинной промышленности степень вулканизации оценивают по эквивалентному времени [1,14]. Эквивалентное время вулканизации $\tau_{\text{э}}$ считается такое время [1], которое при температуре $T_{\text{э}} = \text{const}$ приведет к тем же свойствам резины, что и при переменных температурах. Оно рассчитывается как функция температуры и фактических свойств резин, формируемых в процессе вулканизации:

$$\tau_{\text{э}} = \begin{cases} 0, & \tau < \tau_0; \\ \int_0^{\tau} \exp \left[\frac{U}{RT(\tau)T_{\text{э}}} (T(\tau) - T_{\text{э}}) \right] d\tau, & \tau \geq \tau_0 \end{cases}, \quad (10)$$

где $T_{\text{э}}$ – температура эквивалентного режима вулканизации, К.

Достижение оптимальных свойств находится из отношения $\tau_{\text{э}}/\tau_{\text{э,опт}}$, где $\tau_{\text{э,опт}}$ – эквивалентное оптимальное время вулканизации, определяемое при испытаниях смесей [17].

Пример расчета

По описанной выше методике шины был выполнен расчет шины 27.00–49 (рис. 2), которая имеет наружный диаметр 2,7 м, посадочный диаметр 1,2 м, массу около 2 т. и предназначена для автосамосвала БелАЗ и его зарубежных аналогов грузоподъемностью 75–80 т.



Рисунок 2 – Сверхкрупногабаритная шина 27.00-49

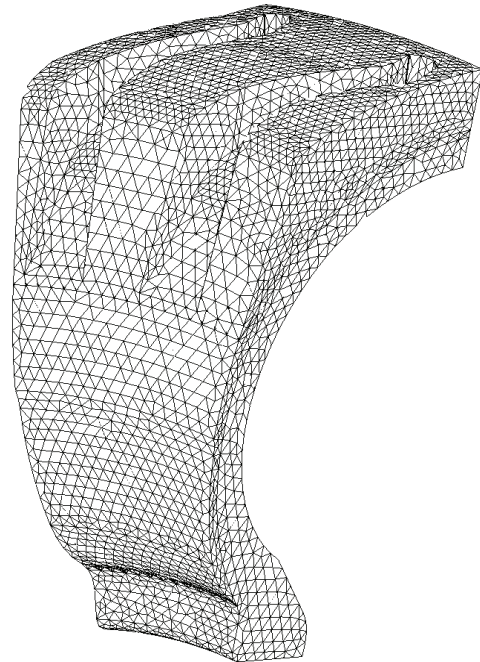


Рисунок 3 – Конечно-элементная трехмерная модель шины 27.00-49

Исходная трехмерная модель покрышки была построена в САПР SolidWorks™. Ввиду повторяемости рисунка протектора, а также с целью сокращения времени счета, для расчета была выбрана половина сектора покрышки. На рис. 3 представлена конечно-элементная трехмерная расчетная модель шины. В качестве конечного элемента используется четырех узловой тетраэдр. Число узлов 9825, элементов 41443.

При заданных начальных и граничных условиях было получено решение в виде изменения температурного поля и степени вулканизации во времени.

Аналогичный расчет был выполнен по методу плоского сечения. Сечение выбрано в плечевой зоне, в соответствии с методом [5]. На рис. 4 представлена конечно-элементная сетка двумерной расчетной модели. Число узлов 2241, треугольных симплекс элементов 4205.

На рис. 5 представлены графики изменения температуры и эквивалентного времени в наиболее холодной точке изделия для двумерной и трехмерной модели. Видно, что холодная точка двумерной модели прогревается на 5 град. меньше, чем холодная точка трехмерной модели. Анализ результатов расчета трехмерной модели показал, что ее холодная точка не находится в том сечении,

которое было выбрано по методу плоского сечения, а смещена в сторону центра протектора.

В связи с тем, что температура холодной точки в плоском сечении ниже, чем в трехмерной модели, то время вулканизации, рассчитанное по методу плоского сечения будет больше на 34 мин., следовательно и затраты теплоносителей будут на 6% выше.

Однако данные количественные результаты не следует распространять на другие типы шин ввиду существенного влияния рисунка протектора и конструкции шины в целом, начальных и граничных условий, состава резин и других факторов.

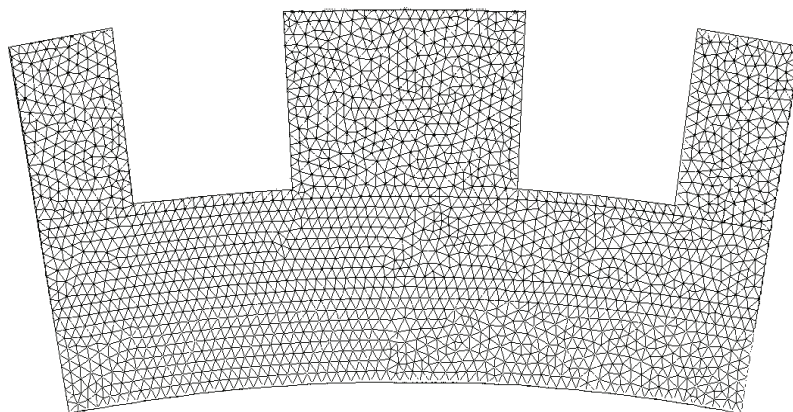


Рисунок 4 – Конечно-элементная двумерная модель

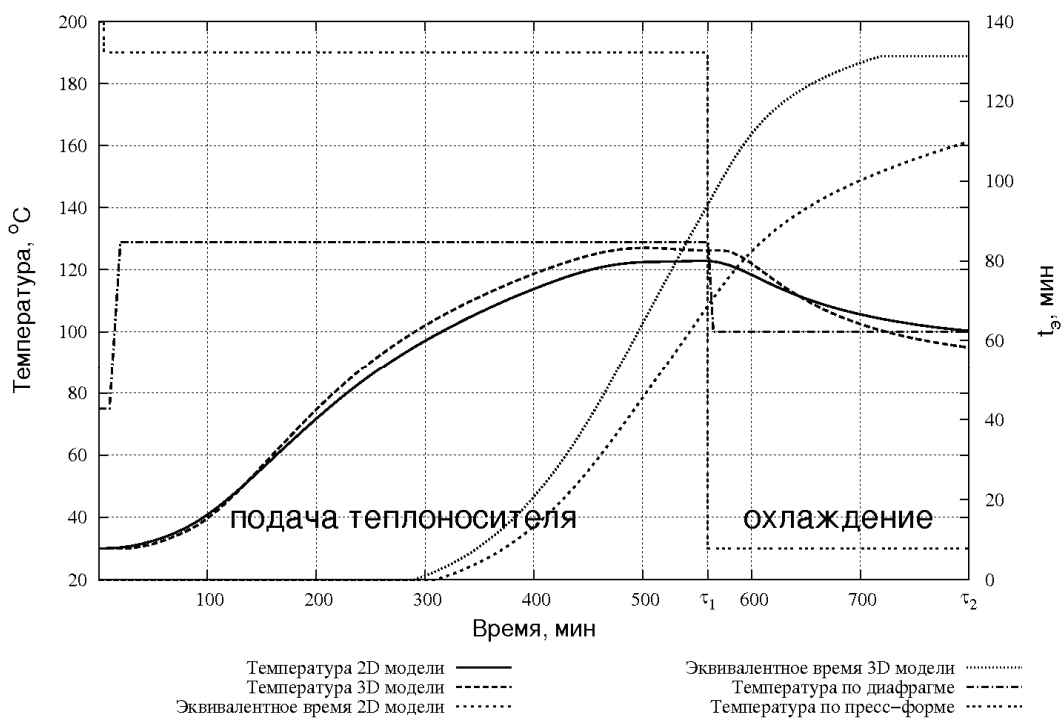


Рисунок 5 – Изменение температуры и эквивалентного времени в «холодной» точке для двумерной и трехмерных моделей

Сравнение расчета с экспериментом

При проведении эксперимента на стадии сборки в покрышку были заложены термопары, показания которых были использованы для оценки точности расчетного метода. Положение некоторых датчиков представлены на рис. 6.

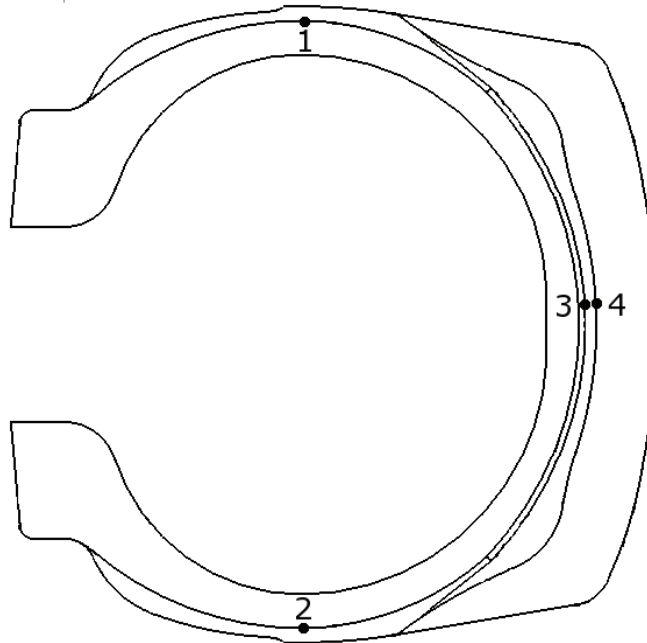


Рисунок 6 – Положения термопар в меридиональном сечении покрышки

1, 2 – каркас-боковина (верх, низ); 3 – брекер-подканавка; 4 – подканавка-беговая

На рис. 7 приведены графики изменения температуры во время вулканизации в точке каркас-боковина, брекер-подканавка, подканавка-беговая полученных при расчете и определенных экспериментально.

Таким образом, расчет по предлагаемой методике дает удовлетворительные результаты по сравнению с экспериментом. Стоит отметить, что при проведении эксперимента во время прессования, горячие спаи термопар смещаются; термоэлектроды могут попадать на неизотермические поверхности, что может приводить к погрешностям измерения температуры.

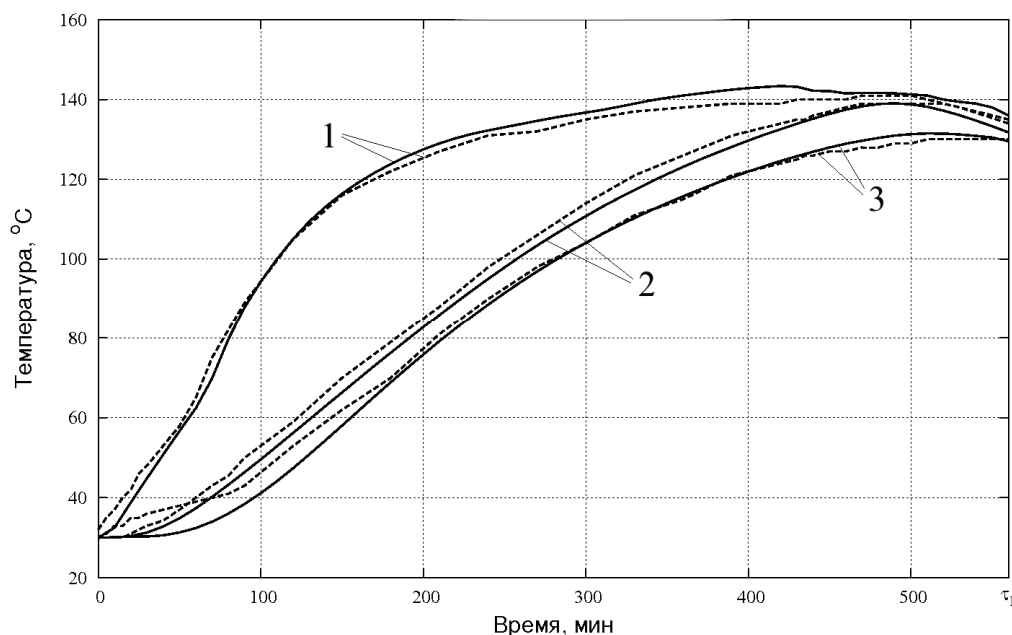


Рисунок 7 – Изменение температуры в точках 1 - каркас-боковина, 2 - брекер-подканавка, 3 - подканавка-беговая;

—— расчет; ----- эксперимент

Выводы

- предложена методика расчета температурных полей, с учетом трехмерности, предназначенная для разработки режимов вулканизации пневматических шин и др. РТИ сложной конфигурации;
- расчеты, по предложенной методике, удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными;
- применение предложенной методики, позволит разрабатывать новые или уточнить существующие режимы вулканизации РТИ, что позволит сократить расход дорогостоящих энергоносителей без значительных материальных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукомская А.И. и др. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий / А.И. Лукомская, П.Ф. Баденков, Л.М. Кеперша. - М.:Химия, 1972. – 358 с.
2. Температурные режимы шин в процессе их производства и эксплуатации / под общ. ред. Лукомской А. И // Материалы к научно-техническому семинару. – Красноярск, 1970. – 371 с.
3. Лукомская А. И., Пороцкий В. Г. Автоматическое управление технологическими процессами в резиновой промышленности. - М.:Химия, 1984. - 160 с.
4. Расчет продолжительности вулканизации покрышек сельскохозяйственных и крупногабаритных автомобильных шин

- методом приведенной пластины / Аранович Ф. Д., Ищенко В.А., Никитина Л.Б., Свердел М.И. // Каучук и резина. – 1976 - № 6. – С. 28-32.
5. Программно-методическое обеспечение проектирования режимов вулканизации покрышек пневматических шин / Свердел М. И., Зимин А. В., Дзюра Е. А. // Каучук и резина. – 2003. -№ 5. – С. 17-22.
 6. В.О. Фогель Аналитические методы расчета температур в вулканизуемых резиновых изделиях // Труды МИТХТ –1955. Выпуск 5. – С. 66-83.
 7. Методология построения трехмерных моделей пресс-форм для шин и анализ их работоспособности в системе SolidWorks / Керножицкий Е. В., Пономарев В. В. и Нарадовский А. Н. // Тезисы докладов 5-й международной научно-технической конференции “Эластомеры: материалы, технология, оборудование, изделия”. - Днепропетровск, 2004. - С. 96.
 8. Лыков А. В. Теория теплопроводности. - М.:Высшая школа, 1967. - 600с.
 9. Влияние состава резин на их тепловые свойства / Беляева В. А. // Автореф. дисс. канд. техн. наук. - М.: НИИШП, 1977.
 10. Теплофизические основы и тепловые режимы процесса вулканизации резин / Фогель В. О. // Автореф. дисс. канд. док. наук. - М. МИТХТ:, 1963, 31 с.
 11. О влиянии тепловых эффектов вулканизации на температурное поле в вулканизуемых покрышках / Лукомская А. И., Евстратов В. Ф., Борисевич Г. М., Новоселова Н. А. // Каучук и резина. - 1967. – С.29-31.
 12. Расчеты и прогнозирование режимов вулканизации резиновых изделий / Лукомская А. И., Баденков П. Ф., Кеперша Л. М. - М.:Химия, 1987.-280 с.
 13. Моделирование теплопроводности резинометаллокордных систем и тепловых эффектов при расчетной разработке эффектов при расчетной разработке режимов вулканизации шин / Точилова Т. Г. // Дисс. канд. техн. наук. - М.:НИИШП, 1987.
 14. Примеры и задачи по технологии переработки эластомеров / Красовский В. Н., Воскресенский А. М., Харчевников В. М.. - Л.: Химия, 1984. -240 с.
 15. Конечные элементы и аппроксимация / Зенкевич О. и Морган К.. - М. : Мир, 1986. - 318 с.
 16. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. - М.:Мир, 1979. - 393 с.
 17. ГОСТ 12535-84 «Смеси резиновые. Метод определения вулканизационных характеристик на вулканометре»

Получено 10.01.2008 г.

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПОВИХ СТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ГВС

Вступ. Розвиток сучасного виробництва характеризується постійним удосконаленням та оновленням зразків продукції. Це обумовлює необхідність систематичної перебудови виробництва, що в свою чергу, потребує широкого впровадження гнучких виробничих систем (ГВС). Такі системи це не традиційні системи комплексної автоматизації, не просто системи машин з повною автоматизацією технологічних операцій, об'єднаних єдиною транспортною системою, а принципово нове покоління систем, яке здатне швидко переходити з випуску одного виду виробу на інший [1].

Технічними передумовами появи таких систем є наявність:

- сучасного автоматизованого обладнання, яке оснащено промисловими роботами або іншими типами технічних засобів, що забезпечують автоматизацію допоміжних операцій та операцій встановлення об'єктів;

- засобів, які забезпечують автоматизоване зберігання, накопичення та транспортування об'єктів;

- комп'ютерної техніки, яка дозволяє будувати як взаємопов'язані, так і не пов'язані управляючі структури для окремих технологічних одиниць та їх компонентів.

Для подібних систем характерна висока ступінь технологічної, параметричної та структурної гнучкості, що дає можливість варіації маршрутів виготовлення об'єктів виробництва з метою максимального використання технологічного обладнання без додаткового його переобладнання. Крім того, такі системи базуються на використанні гнучких виробничих модулів (ГВМ), які реалізують в автоматичному режимі виготовлення об'єктів у відповідності до виробничої ситуації.

Досвід впровадження ГВС, які побудовані на базі окремих ГВМ показує, що вони можуть бути дуже ефективними в сучасному виробництві. Однак суттєвої уваги потребують питання їх

структурування, особливо на етапах структурно-компонувального синтезу.

Однією з основних задач структурно-компонувального синтезу ГВС є задача визначення складу ГВМ на основі аналізу їх технологічних структур [2].

Аналіз попередніх досліджень. В роботах [3,4,5] наведені принципи формування групових операцій, які дозволяють ГВС, що проектується на їх основі, адаптуватись до зміни номенклатури об'єктів, побудовані моделі технологічних структур групових операцій та проведені дослідження взаємозв'язків як між елементами технологічних структур ГВС так і між їх структурними компонентами, що дозволило сформулювати всі необхідні умови для формування типових структурних компонент та проведення на їх основі аналізу технологічних структур ГВС.

Мета роботи – спрощення та підвищення ефективності структурного аналізу технологічних структур групових операцій ГВС за рахунок виділення в них типових структурних конфігурацій (структурних компонент), які мають специфічні властивості як з формальної точки зору, так і по суті їх ролі в формуванні ГВС.

Матеріал і результати дослідження. Уведемо поняття структурної компоненти (СК) технологічної структури (ТС) групової операції (ГрОП), для чого в технологічній структурі $TS_{Гр_j}$ [4], яка має операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$, $i, k = 1, 2, \dots, N$, утворимо сукупність операцій E_m виду $ОП_{ji}, ОП_{j_1}, ОП_{j_2}, \dots, ОП_{j_r}, ОП_{jk}$ розміщуючи між $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ будь-які сукупності з операцій, що залишились. Пронумеруємо отримані сукупності E_m в деякому фіксованому для даної ТС порядку $m = 1, 2, \dots, s$. Крім того, уведемо нумерацію операцій $\{ОП_{jp}\}$ в кожній сукупності E_m , $p = 0, 1, \dots, f_m$. При цьому під $ОП_{j_0}$ будемо розуміти $ОП_{ji}$, а під $ОП_{j_{f_m}}$ - $ОП_{jk}$.

Будемо вважати, що операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ слабо зв'язані в даній ТС, якщо в цій ТС існує хоча б одна сукупність операцій E_m така, що будь-які дві її сусідні (p -та та $p+1$ -ша, $p = 0, 1, 2, \dots, f_m$) операції безпосередньо зв'язані.

Наведене означення відношення слабкого зв'язку для будь-яких двох операцій $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ потребує, щоб існувала хоча б одна сукупність операцій E_m така, яка має наступні властивості:

- 1) операція $ОП_{ji}$ є першим елементом E_m , а $ОП_{jk}$ - останнім;
- 2) для будь-якого p за умови $0 \subseteq p \subseteq f_m$ впливає наявність безпосереднього зв'язку між $ОП_{jn(p,m)}$ та $ОП_{jn(p+1,m)}$.

Першу з цих властивостей можна описати тримісним предикатом

$$\xi(i, k, m) = (\{n(0, m) = i\} \wedge \{n[f_m, m] = k\}). \quad (1)$$

Другу властивість можна описати за допомогою двох предикатів: предиката умови

$$\mu(p, m) = [0 \subseteq p \subseteq f_m], \quad (2)$$

та предиката наслідку

$$(\alpha[n(p, m), n(p+1, m)] \vee \alpha[n(p+1, m), n(p, m)]). \quad (3)$$

Тоді, будь-яку сукупність E_m , що відповідає відношенням (1), (2) та (3) будемо розглядати як структурну компоненту відповідної технологічної структури ГВС.

Розглянемо деяку структурну компоненту CK_{js} , яка складається з набору операцій $ОП_{ji} \in CK_{js}$, що входять до складу технологічної структури $TS_{Гр_j}$ як самостійну структуру.

Введемо відображення

$$\left\{ \left[X_{l_\phi}^{(\phi)s} \right]_1^{n_\phi} \bigcup_{ОП_{ji} \in CK_{js}} \left[X_{l_i}^{(i)} \right]_1^{n_i} \right\} \rightarrow \left\{ \left[Y_{l_\phi}^{(\phi)s} \right]_1^{m_\phi} \bigcup_{ОП_{ji} \in CK_{js}} \left[Y_{l_i}^{(i)} \right]_1^{m_i} \right\}, \quad (4)$$

яке реалізується оператором

$$Y_{l_i}^{(i)} = \mathfrak{R}_s(X_{l_k}^{(k)}), \quad (5)$$

який будемо називати внутрішнім оператором сполучення структурної компоненти CK_{js} .

Таким чином, для структурної компоненти CK_{js} маємо: сукупність операцій, які входять до її складу; множини фіктивних вхідних $\left[X_{l_\phi}^{(\phi)s} \right]_1^{n_\phi}$ та вихідних $\left[Y_{l_\phi}^{(\phi)s} \right]_1^{m_\phi}$ контактів, які представляють зовнішнє середовище (операція $ОП_{j\phi}$); оператор $\mathfrak{R}_s$, в область

визначення якого входять всі вхідні контакти $\left[X_{l_i}^{(i)}\right]_1^{n_i}$ операцій $ОП_{ji} \in CK_{js}$ та операції $ОП_{j\phi}$ і який описує сукупність зв'язків, які з'єднують ці контакти з вихідними контактами $\left[Y_{l_i}^{(i)}\right]_1^{m_i}$ операцій $ОП_{ji} \in CK_{js}$ та операції $ОП_{j\phi}$.

Очевидно, що структурна компонента CK_{js} є окремою технологічною структурою, характеристики якої не залежать від інших структурних компонент, які складають $TS_{\Gamma p_j}$, і тому може бути реалізована за допомогою дискретної ГВС відповідного рівня організаційної структури, а саме рівня ГВМ.

Розглянемо деяку множину структурних компонент $\left[CK_{jq}\right], q=1,2,\dots,Q$, як елементів $TS_{\Gamma p_j}$, кожен з яких характеризується множиною вхідних $\left[X_{l_q}^{(q)}\right]_1^{n_q}$ та вихідних $\left[Y_{l_q}^{(q)}\right]_1^{m_q}$ контактів, а також множинами контактів $\left[X_{l_\phi}^{(\phi)q}\right]_1^{n_\phi}$ та $\left[Y_{l_\phi}^{(\phi)q}\right]_1^{m_\phi}$.

Уведемо відображення

$$\left(\bigcup_{q=0}^Q \left[X_{l_q}^{(q)}\right]_1^{n_q}\right) \rightarrow \left(\bigcup_{q=0}^Q \left[Y_{l_q}^{(q)}\right]_1^{m_q}\right),$$

яке реалізується оператором

$$Y_{l_h}^{(h)} = \Re_2 \left(X_{l_q}^{(q)} \right). \quad (6)$$

Оператор $\Re_2$ будемо називати оператором сполучення структурних компонент в технологічній структурі $\Gamma p ОП$ (або оператором спряжіння другого рівня).

Таким чином, структурні компоненти CK_{js} можуть об'єднуватись в структурні компоненти більш високого рівня (реалізуються дискретними ГВС рівня ГАЛ, ГАД і т.д.) за допомогою операторів сполучення $\Re_2, \Re_3$ і т.д. у відповідності до рівня ієрархії ГВС.

Для визначення характеристик сполучення структурних компонентів різних рівнів придатні співвідношення, які розглядалися в роботі [5], якщо замість характеристик операцій $\Gamma p ОП$ підставити відповідні характеристики структурних компонент. Тоді можна

розглядати внутрішні СК: $[\beta(l,0) \vee \gamma(l,0)] = 0$, зовнішні СК: $[\beta(l,0) \vee \gamma(l,0)] = 1$, безпосередньо зв'язані СК: $[\alpha(i,k) \vee \alpha(k,i)] = 1$, а також відношення слабого зв'язку $\nu(i,k) = 1$, слідовання $\eta(i,k) = 1$ і т.д. між різними структурними компонентами ТС *ГрОП*.

Розглянемо деякі типові структурні компоненти ТС *ГрОП*.

Будь-яку сукупність E_m , для якої

$$(\forall p) \left([\xi(i,k,m) \wedge \mu(p,m)] \rightarrow \right. \\ \left. \eta[n(p,m), n(p+1,m)] \wedge \eta[n(0,m), n(f_m,m)] \right) \quad (7)$$

назвемо структурною компонентою “ланцюг”.

Якщо операція $ОП_j(p-1)$ передуює операції $ОП_j p$, або іде слідом за операцією $ОП_j p$ для всієї множини $\{ОП_{jp}\} \in E_m$, т.т.

$$(\forall p) \left([\xi(i,k,m) \wedge \mu(p,m)] \rightarrow \right. \\ \left. \eta[n(p,m), n(p+1,m)] \wedge \eta[n(f_m-1,m), n(0,m)] \right), \quad (8)$$

то таку структурну компоненту назвемо “замкнений контур”.

Коли для будь-якої операції $\{ОП_{jp}\} \in E_m$ вихідний зв'язок операції $ОП_j(p-1)$ є входним зв'язком операції $ОП_j p$ і навпаки – вихідний зв'язок $ОП_j p$ є входним зв'язком для $ОП_j(p-1)$, то таку структурну компоненту будемо називати “взаємозв'язок”. В цьому випадку

$$(\forall p) \left([\xi(i,k,m) \wedge \mu(p,m)] \rightarrow \right. \\ \left. \eta[n(p,m), n(p+1,m)] \wedge \eta[n(p+1,m), n(p,m)] \right). \quad (9)$$

Нарешті, коли для будь-якої операції $ОП_j i$ характерна наявність тільки вихідних зв'язків

$$(\forall k) [\beta(i,k) = \emptyset], \quad (10)$$

то таку структурну компоненту будемо називати “початковою”, а коли тільки входних

$$(\forall k) [\gamma(i,k) = \emptyset], \quad (11)$$

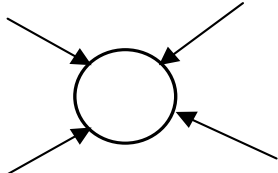
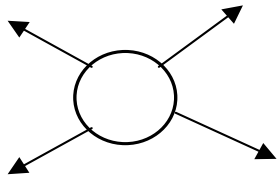
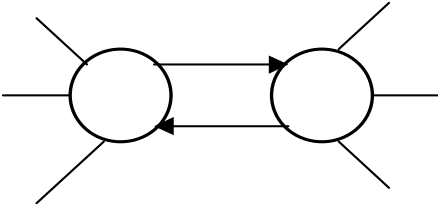
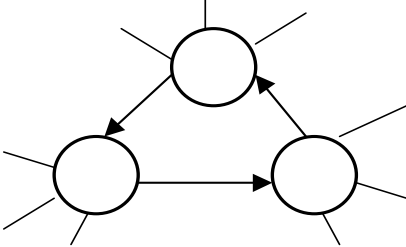
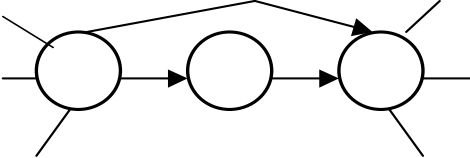
то – “кінцевою”.

Треба відмітити, що зазначені типи структурних компонент (7-11) легко інтерпретуються на графах (табл. 1) і являють собою дуже розповсюджені в реальних умовах структурні конфігурації ГВМ.

Тому, процес виділення таких типів *СК* на структурних моделях ТС *ГрОП* складає одну з основних задач її структурного аналізу.

Таблиця 1

Типові *СК*

Графічне відображення типових <i>СК</i>	Формалізований опис типових <i>СК</i>
“кінцева” 	$(\forall k)[\gamma(i, k) = \emptyset]$
“початкова” 	$(\forall k)[\beta(i, k) = \emptyset]$
“взаємозв’язок” 	$(\forall p)([\xi(i, k, m) \wedge \mu(p, m)]) \rightarrow$ $\eta[n(p, m), n(p+1, m)] \wedge \eta[n(p+1, m), n(p, m)]$
“замкнений контур” 	$(\forall p)([\xi(i, k, m) \wedge \mu(p, m)]) \rightarrow$ $\eta[n(p, m), n(p+1, m)] \wedge \eta[n(f_m - 1, m), n(0, m)]$
“ланцюг” 	$(\forall p)([\xi(i, k, m) \wedge \mu(p, m)]) \rightarrow$ $\eta[n(p, m), n(p+1, m)] \wedge \eta[n(0, m), n(f_m, m)]$

Висновки. 1. Проведені дослідження структурних компонент технологічної структури ГВС показали, що кожна з них є окремою технологічною структурою, характеристики якої не залежать від інших структурних компонент, що складають відповідну технологічну структуру, і тому може бути реалізована за допомогою дискретної ГВС відповідного рівня організації.

2. Отримані типові структурні компоненти дають можливість підвищити ефективність структурного аналізу технологічних структур ГВС за рахунок виділення в них відповідних структурних конфігурацій, які реалуються відповідними організаційними утвореннями ГВС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гибкие производственные комплексы/ Под ред. П.Н. Беянина, В.А. Лещенко, М.: Машиностроение, 1984. - 384 с.
2. Ткач М.М. Основні концепції методології структурного системного аналізу і проектування ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2003 №6(26). С.90-93.
3. Ткач М.М., Поліщук М.М. Методологія формування групових операцій при проектуванні ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2005 №8(28). С. 142-146.
4. Ткач М.М. Моделювання технологічних структур ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2007 №10(306). С.142-151.
5. Ткач М.М. Формалізований опис відносин між елементами технологічних структур ГВС //Вісник ХНАДУ - 2007 №37. С. 134-135.

Получено 20.02.2008 г.

УДК 530.1

Е.Н.Ватченко, А.И.Деревянко, Н.В.Лысая

УПРАВЛЕНИЕ ХАОТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ ОДНОМЕРНЫХ УНИМОДАЛЬНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Введение. Интерес к фрактальным наноразмерным пленкам связан с их физическими свойствами, которые существенно отличаются для твердых тел с кристаллической или аморфной структурой. Для получения их традиционно используется метод CVD (химическое паровое осаждение вещества) в котором исходное вещество испаряется в отдельной камере, переносится через газовую среду и осаждается на подложку [1].

Постановка задачи. Целью данной работы является построение алгоритмов оптимального управления хаотическим режимом логистического уравнения [2] и их сравнительный анализ для решения задачи подавления хаотических колебаний при осаждении наноматериалов по CVD-технологии из газовой фазы.

Математическая модель роста при осаждении. Дифференциальное уравнение, описывающее динамику роста наночастиц в пленке осадка, имеет вид

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \frac{1 - N(t)}{K}, \quad (1)$$

где $N(t)$ количество наночастиц в пленке в момент времени t , r – темп роста, K – предельный коэффициент роста. Следует отметить, что существенное влияние на свойства наноразмерных пленок оказывает тонкая структура формирующих их кластерных образований [3].

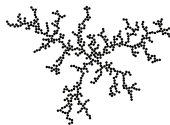
а) $D=1.546$, $\chi=0.05$ б) $D=1.617$, $\chi=0.20$ в) $D=1.638$, $\chi=0.40$

Рисунок 1 - Влияние коэффициента диффузии на фрактальную размерность
нанокластеров

Аналитическое решение уравнения (1) имеет вид

$$N(t) = \frac{e^{rt} N(0)}{1 + (e^{rt} - 1) N(0)/K} \quad (2)$$

и стремится к K при $t \gg 1/r$. Это значит, что уравнение (1) теряет свое начальное значение $N(0)$ и будущее значение $N(t)$ определяется параметром K .

Рассмотрим дискретный вариант уравнения (1), введя замены $x(n)=N(t)/(1+1/r)$ и $a=1+r$, получим логистическое уравнение (отображение)

$$x(n+1) = ax(n)(1-x(n)), \quad (3)$$

где $a \in [0,4]$ и $x(n) \in [0,1]$. Неподвижные точки $x(n+1)=x(n)$ отображения (3) при изменении параметра a образуют последовательность бифуркаций удвоения периода, формирующих сценарий перехода в хаотический режим [4]. Выражение (3) представляет собой рекурсивное отображение, определяющее текущее значение элемента временного ряда по значению предыдущего. Для граничного значения $a=4$ в отображении (3) устанавливается хаотический режим. Значение критерия устойчивости для неподвижной точки $x_{02}=0.75$

$$\left| \frac{dx(n+1)}{dx} \right| = |a - 2ax_{02}| = |-2| \geq 1 \quad (4)$$

характеризует ее как неустойчивую.

Инкурсивное отображение определяет текущее значение временного ряда по значениям предыдущему и прогнозу текущего имеет вид

$$x(n+1) = ax(n)(1-x(n+1)) \quad (5)$$

Выражение (5) можно преобразовать к рекурсивному виду, воспользовавшись определением суммы элементов бесконечной геометрической прогрессии

$$x(n+1) = \frac{ax(n)}{1+ax(n)} \quad (6)$$

Неподвижные точки отображения (6), равные $x_{01}=0$ и $x_{02}=(a-1)/a$, устойчивы при $|a| < 1$ и $a > 1$, соответственно. Решение нелинейного уравнения (6) имеет вид

$$x(n) = \frac{\left(\frac{a-1}{a}\right)Ca^n}{1+Ca^n}, \quad (7)$$

где

$$x(0) = \frac{\frac{a-1}{a}C}{1+C} \quad (8)$$

и $x(0)$ – первый элемент временного ряда.

Произведя замену e на a в выражении (2), сравним выражения (2) и (7), учитывая (8). Совпадение решений для уравнений (3) и (6)

дает возможность использовать отношение (6) для определения стабилизирующего управления.

Рассмотрим два варианта оптимального

$$\frac{dJ}{dU} = 0 \quad (9)$$

стабилизирующего управления

$$1. J = (x(n+1) - x(n))^2 + \omega U^2(n) \quad (10)$$

$$x(n+1) = ax(n)(1-x(n)) + U(n) \quad (11)$$

$$2. J = (x(n+1) - x_{inc}(n+1))^2 \quad (12)$$

$$x(n+1) = ax(n)(1-x(n)) + U(n) \quad (13)$$

$$x_{inc}(n+1) = \frac{ax(n)}{1+ax(n)} \quad (14)$$

Оптимальное управляющее воздействие, стабилизирующее хаотический режим логистического уравнения (3) для случаев (10) и (12) имеет вид

$$1. U(n) = \frac{x(n) - ax(n)(1-x(n))}{1+\omega} \quad (15)$$

$$2. U(n) = ax(n) \frac{x(n) - ax(n)(1-x(n))}{1+ax(n)} \quad (16)$$

Для сравнительной оценки стабилизирующих управляющих воздействий (15) и (16) рассмотрим логистическое уравнение (3) при значении параметра $a=4$, определяющих хаотический режим (3).

Рассмотрим стабилизирующее управление (10), (15). В этом случае неподвижные точки $x_{01}=0$ и $x_{02}=0.75$ совпадают со значениями неподвижных точек нестабилизированного ($U(n)=0$) логистического уравнения (3). Тогда значение критерия устойчивости для неподвижной точки $x_{02}=0.75$ будет

$$\left| \frac{4\omega - 8\omega x_{02}}{1+\omega} \right| = \left| \frac{2\omega}{1+\omega} \right| \leq 1, \quad (17)$$

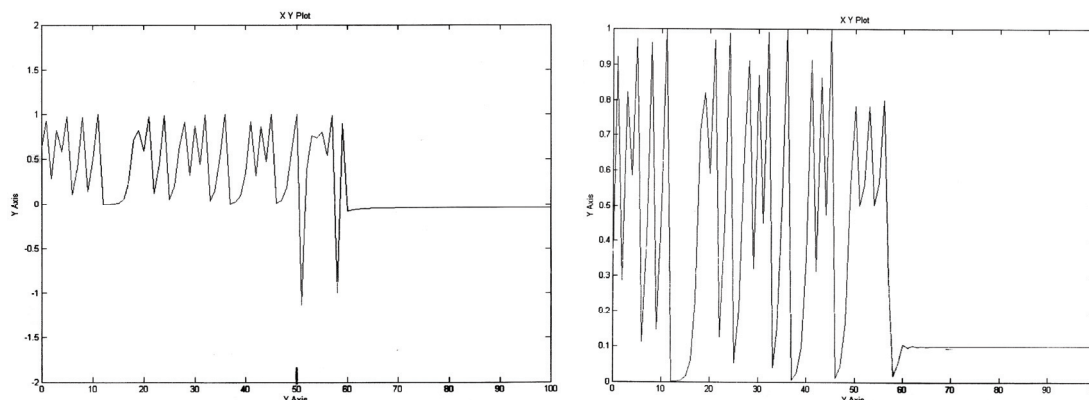
т.е. при $0 < \omega < 1$ решение x_{02} уравнения (11) устойчиво.

Рассмотрим стабилизирующее управление (12), (16). В этом случае неподвижные точки $x_{01}=0$ и $x_{02}=0.75$ совпадают со значениями неподвижных точек нестабилизированного ($U(n)=0$) логистического уравнения (3). Значение критерия устойчивости для неподвижной точки $x_{02}=0.75$ будет

$$\left| \frac{a}{(1+ax_{02})^2} \right| = \left| \frac{1}{4} \right| < 1 \quad (18)$$

т.е. решение x_{02} уравнения (13) устойчиво.

Результаты численных экспериментов по стабилизации (подавлению) хаотических колебаний в решении уравнения (3) приведены на рисунке 2, где включение соответствующего управления производилось на 50 шаге.



а) воздействие (15)

б) воздействие (16)

Рисунок 2 - Подавление хаотических колебаний управляющими воздействиями U

Выводы. Результаты компьютерного эксперимента показали, что для управляющего воздействия (15) затухание (длительность переходного процесса) зависит от значения коэффициента ω ($0 < \omega < 1$), который является величиной постоянной для действующего закона управления.

Управляющее воздействие (16) может быть получено из (15) заменой $\omega = 1/ax(n)$. Таким образом, для управления (16) затухание определяется текущим значением управляемой переменной. Это объясняет меньшую длительность переходного процесса для управления (16).

ЛИТЕРАТУРА

1. Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: Наука, 2006. - 592 с.
2. Schuster H., Just W. Deterministic Chaos. – Verlag, 2005. – 283p.
3. Деревянко А.И., Михалев А.И. Моделирование динамики геометрического фазового перехода. Системні технології, Міжвузівський збірник наукових праць. 3(44), 2006, с. 27-31.
4. Шарковский А.Н., Коляда С.Ф., Сивак А.Г., Федоренко В.В. Динамика одномерных отображений. К.: Наукова думка, 1989. - 216 с. Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах. – М.: Физматлит, 1963. – 364 с.

Получено 21.11.07 г.

УДК 519.876.5

Т.О. Голубева, О.В. Глонь, В.М. Дубовой

МОДЕЛЬ ШВИДКОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ У ПРОЕКТАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Вступ

За останні 10-15 років активного розвитку здобули системи планування ресурсів. Розвиток цих систем зумовлений тим, що виробництво у всьому світі вийшло на рівень, коли необхідно мати науково обґрунтовані підходи до моделювання і планування виробничих процесів, зокрема, процесів розробки програмного забезпечення.

Для України дане питання ще досить мало опрацьоване, в той час, як іноземні науковці активно працюють у цьому напрямку [1-5]. Велика кількість іноземних робіт посиляється на міжнародну організацію The Workflow Management Coalition [5], основна мета якої є моделювання виробничих процесів.

Як окрему частину моделювання виробничих процесів слід виділити процес планування розподілу ресурсів. У виробничих процесах ресурси поділяються на:

- матеріальні, наприклад, техніка;
- нематеріальні, наприклад, інформація;
- людські.

Під час планування розподілу людських ресурсів, необхідно враховувати як швидко виконавець може виконати те чи інше завдання. Аналіз функціональності основних пакетів управління проектами, такими як Spider Project [6], Primavera [7], MS Project 2007 [8] показав, що швидкість виконання завдання виконавцем ніде не враховується та є експертною оцінкою, що не враховує залежність швидкості від багатьох факторів та визначається як константа керівником проекту. Проте, врахування впливу характеристик виконавця, умов праці, характеристик завдання, тощо сприяє підвищенню достовірності планування розподілу ресурсів, а отже і зменшенню ризиків проекту в цілому. Отже, **задача** пошуку

залежності швидкості виконання завдання від характеристик завдання та виконавця є актуальною та потребує вирішення.

Під завданням в даному випадку будемо розуміти певну сукупність дій, що необхідно виконати. Вважатимемо, що кожне завдання є атомарним, тобто не потребує подальшого ділення на підзавдання. Під проектом будемо розуміти сукупність завдань, що необхідно виконати для досягнення кінцевої мети за допомогою наявних ресурсів.

Розв’язання задачі

Для побудови моделі залежності швидкості виконання завдання від характеристик завдання та виконавця використаємо апарат нечіткої логіки та експертні оцінки. Експертами було залучено ряд керівників проектів різних компаній через мережу Internet, а також керівників проектів ТОВ «Арісент Україна» та Вінницького національного технічного університету.

Під час планування оцінку часу на виконання завдання дає керівник проекту, керуючись такими основними показниками:

- власною оцінкою виконавцем часу на виконання завдання;
- витратами часу виконавцем на аналогічні попередні завдання;
- рівень складності завдання;
- об’єм завдання;
- завантаженість виконавця;
- поточне здоров’я (фізичне і моральне) виконавця та ін.

Найбільш вагомими показниками для визначення часу є оцінка часу на виконання завдання виконавцем та скільки часу він витрачав на аналогічні завдання. Проте не завжди можливо підібрати аналогічне завдання. В такому випадку постає питання про те, як складність завдання та інші характеристики завдання та виконавця вплинуть на швидкість його виконання.

Експертно було визначено, що графік залежності швидкості виконання v_{Z_i} від складності задачі ϑ_{Z_i} буде мати вигляд як на рис. 1. Такий висновок виходить з наступних міркувань: максимальна швидкість буде коли виконавець може виконати задачу та задача є для нього цікавою. Нехай в цьому випадку $\vartheta_{Z_i} = 1$.

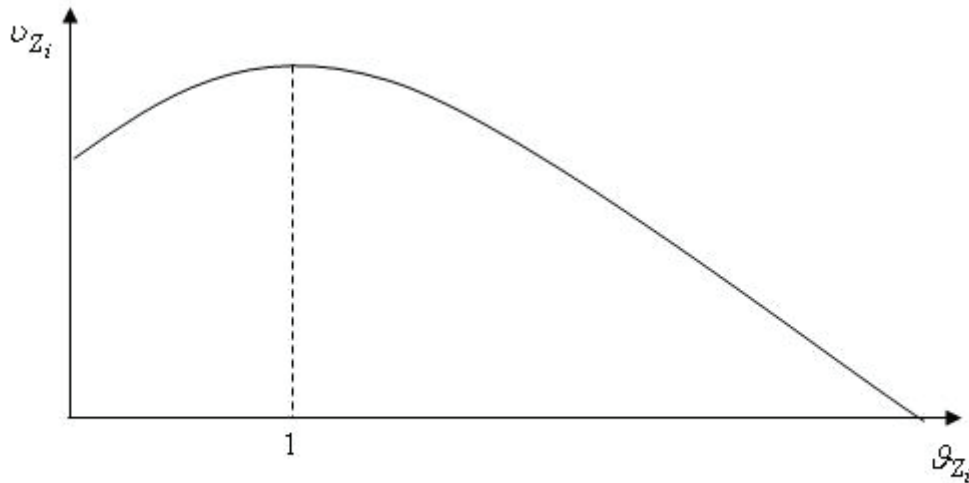


Рисунок 1 - Залежність швидкості виконання завдання від його складності

Відповідно, швидкість може падати, якщо

- виконавець може виконати задачу, але при цьому вона нецікава, тобто коли $g_{Z_i} < 1$;
- задача занадто складна або потребує додаткових знань, що їх не має виконавець, тобто $g_{Z_i} > 1$.

Побудуємо нечітку модель залежності швидкості виконання завдання. Спочатку визначимо параметри, від яких залежить швидкість виконання завдання. Базуючись на опитуванні керівників проектів, були виділені наступні параметри:

- складність задачі;
- мотивація виконавця виконувати дане завдання – наскільки вмотивований робітник працювати з повною віддачею;
- чи відповідальний виконавець, назвемо цей параметр відповідальністю;
- взаємодія в команді: наскільки легко можуть взаємодіяти виконавці між собою;
- робоче обладнання: цей параметр має значення саме для проектів розробки програмного забезпечення, оскільки деякі задачі, наприклад, компілювання програми та подібні, можуть займати різний час, в залежності від швидкості комп'ютера, на якому це завдання виконується;

- самоорганізація: наскільки виконавець може сам організувати свою роботу, правильно розподілити час на виконання завдання;
- загальний стан виконавця: відповідає середньому фізичному та моральному стану виконавця під час виконання завдання;
- здатність навчатися: цей параметр показує як швидко виконавець може навчатися новим знанням та навикам, що відповідають його кваліфікації.

У таблиці 1 наведено кількість термів для кожного з параметрів, та їх значення:

Таблиця 1

Терми характеристик завдань та виконавців

Параметр	Кількість термів	Значення термів	Область значень
складність задачі	5	{дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока}	[0;2], причому 1 відповідає терму «середня»
мотивація виконавця	3	{низька, середня, висока}	[0;1]
відповідальність	3	{низька, середня, висока}	[0;1]
взаємодія в команді	3	{погана, нормальна, добра}	[0;1]
робоче обладнання	3	{погане, нормальне, добре}	[0;1]
самоорганізація	3	{низька, середня, висока}	[0;1]
загальний стан виконавця	2	{нормальний, поганий}	[0;1]
здатність навчатися	3	{погана, нормальна, добра}	[0;1]
Швидкість	5	{дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока}	[0;1]

Зауважимо, що складність задачі оцінюється проміжком [0;2] за для зручності так, щоб одиниці вповідав терм «середня», тобто коли кваліфікація виконавця від подіває його кваліфікації. Крім того, така область значень наближається до того, що відображено на рис.1.

Зміст оцінок параметрів подано у таблиці 2.

Таблиця 2

Зміст оцінок параметрів

Значення терму	Пояснення
Терми параметру «складність задачі»	
дуже низька	Завдання дуже просте для виконавця
низька	Кваліфікація виконавця перевищує складність
середня	Відповідає кваліфікації виконавця
висока	Складність завдання перевищує кваліфікацію виконавця
дуже висока	Завдання дуже складне для виконавця, його кваліфікація не відповідає складності завдання та є значно нижчою
Терми параметру «мотивація виконавця»	
низька	Виконавець невмотивований виконувати завдання
середня	Виконавець вмотивований виконувати завдання
висока	Виконавець має високі моральні або матеріальні стимули для виконання завдання
Терми параметру «відповідальність»	
низька	Виконавець невідповідальний, виконавець може кинути завдання посередині роботи
середня	Виконавець скоріше за все доведе завдання до кінця
висока	Виконавець зробить завдання в будь-якому випадку
Терми параметру «взаємодія в команді»	
погана	Виконавці знаходяться на значній віддалі та їм важко спілкуватися між собою, або відносини у команді погані, що перешкоджає взаємодії
нормальна	Виконавці можуть між собою взаємодіяти, але це не є живим спілкуванням, взаємодія проходить за допомогою телефонів, електронної пошти та ін.
добра	Виконавці можуть між собою взаємодіяти вживу, вони знаходяться разом та у будь-який момент можуть зібратися разом.
Терми параметру «робоче обладнання»	
погане	Обладнання має низьку швидкодію, може іноді виходити з ладу
нормальне	Обладнання має нормальну швидкодію, працює стабільно
добре	Обладнання має високу швидкодію, що перевищує потреби виконання завдання, працює стабільно
Терми параметру «самоорганізація»	
погана	Виконавець не може самостійно організувати свою роботу так, щоб завдання було виконано вчасно
нормальна	Виконавець може самостійно організувати свою роботу так, щоб завдання було виконано вчасно, але існує ймовірність, що завдання не буде вчасно закінчене
добра	Виконавець може самостійно організувати свою роботу так, щоб завдання було виконано вчасно за будь-яких умов
Терми параметру «загальний стан виконавця»	
поганий	Моральне або фізичне здоров'я виконавця погане, що значно знижує його продуктивність праці
нормальний	Моральне або фізичне здоров'я виконавця в середньому в гарному стані
Терми параметру «здатність навчатися»	
погана	Виконавцю важко вивчити щось нове по роботі, погані навички вчитися
нормальна	Виконавець здатен вивчити щось нове по роботі за прийнятний строк
добра	Виконавець здатен вивчити щось нове по роботі у найкоротший

	термін
Терми параметру «швидкість виконання завдання»	
дуже низька	Завдання виконується дуже повільно, ймовірність встигнути вчасно завершити його дуже низька
низька	Завдання виконується повільно, ймовірність встигнути вчасно завершити його низька, але вище ніж для терму «дуже низька»
середня	Завдання виконується з нормальною швидкістю, скоріше за все, воно буде виконано вчасно
висока	Завдання виконується досить швидко, точно буде виконано вчасно, можливо навіть з випередженням запланованого часу на виконання
дуже висока	Завдання виконується дуже швидко і буде завершено значно раніше запланованого часу на виконання

Для всіх термів функції належності були представлені у вигляді симетричних гаусівських функцій, що мають вигляд:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-h)^2}{2c^2}},$$

де $\mu(x)$ - функція належності, x - елемент універсальної множини, h - параметр функції належності координата максимуму, c - параметр функції належності коефіцієнт концентрації.

Для розглянутої множини параметрів може бути отримано $5 \cdot 2 \cdot 3^6 = 7290$ правил. Проте неможливо і недоцільно використовувати усі правила. Для отримання нечіткої моделі, складемо таблицю правил, що складається із 28 правил (табл.3): кожен терм кожного з завдань використовується як мінімум в одному правилі.

Таблиця 3

Таблиця правил

Складність завдання	Мотивація	Відповідальність	Взаємодія в команді	Робоче обладнання	Самоорганізація	Загальний стан	Здатність навчатись	Швидкість
дуже низька	-	низька	-	-	низька	нормальне	-	дуже низька
дуже низька	середня	середня	погане	погане	середня	нормальне	-	низька
дуже низька	висока	середня	середнє	середнє	середня	нормальне	-	середня
дуже низька	висока	висока	середнє	добре	добра	нормальне	-	середня
низька	середня	середня	середнє	середнє	середня	нормальне	-	низька
низька	висока	висока	добре	добре	добра	нормальне	-	висока
низька	висока	середня	добре	добре	середня	нормальне	-	середня
низька	-	низька	-	-	низька	нормальне	-	дуже

		а			а	е		низька
нормальн а	низьк а	низьк а	-	-	низьк а	нормальн е	-	дуже низька
нормальн а	серед ня	серед ня	поган е	поган е	серед ня	нормальн е	-	низька
нормальн а	серед ня	серед ня	серед не	серед не	серед ня	нормальн е	-	середня
нормальн а	висок а	висок а	добре	серед не	серед ня	нормальн е	-	висока
нормальн а	висок а	висок а	добре	добре	добре	нормальн е	-	дуже висока
нормальн а	серед ня	серед ня	серед не	серед не	серед ня	погане	-	низька
нормальн а	висок а	висок а	добре	добре	добре	погане	-	середня
висока	низьк а	низьк а	-	-	низьк а	нормальн е	нормал ьна	дуже низька
висока	серед ня	серед ня	поган е	поган е	серед ня	нормальн е	низька	дуже низька
висока	серед ня	серед ня	серед не	серед не	серед ня	нормальн е	висока	середня
висока	серед ня	серед ня	серед не	серед не	серед ня	нормальн е	нормал ьна	низька
висока	висок а	висок а	добре	серед не	висок а	нормальн е	низька	низька
висока	висок а	висок а	добре	добре	висок а	нормальн е	висока	висока
висока	висок а	висок а	добре	добре	висок а	погане	висока	середня
висока	висок а	висок а	добре	добре	висок а	нормальн е	нормал ьна	середня
дуже висока	серед ня	серед ня	серед не	серед не	серед ня	нормальн е	нормал ьна	дуже низька
дуже висока	висок а	висок а	серед не	серед не	серед ня	нормальн е	висока	низька
дуже висока	висок а	висок а	добре	добре	висок а	нормальн е	висока	середня
дуже висока	висок а	висок а	добре	добре	висок а	погане	висока	дуже низька
дуже висока	висок а	висок а	серед не	поган е	висок а	нормальн е	висока	низька

В таблиці 3 знаком «-» відмічено параметри, що для правила, де вони використовуються, не мають значення.

Для нечіткого логічного висновку вибрано висновок Мамдані, оскільки для певного набору входних параметрів необхідно отримати фіксоване значення вихідного параметру. Використовуючи пакет Matlab, будуюмо нечіткий висновок Мамдані.

Було проведено навчання розробленої системи. На основі параметру нев'язки системи було визначено, що запропонована

кількість правил є достатньою для побудови системи нечіткого логічного висновку.

Розглянемо залежність швидкості виконання завдання від складності завдання. На рис.2 наведено графік залежності швидкості виконання завдання від складності завдання, коли всі інші параметри набувають середнього значення (рис.2).

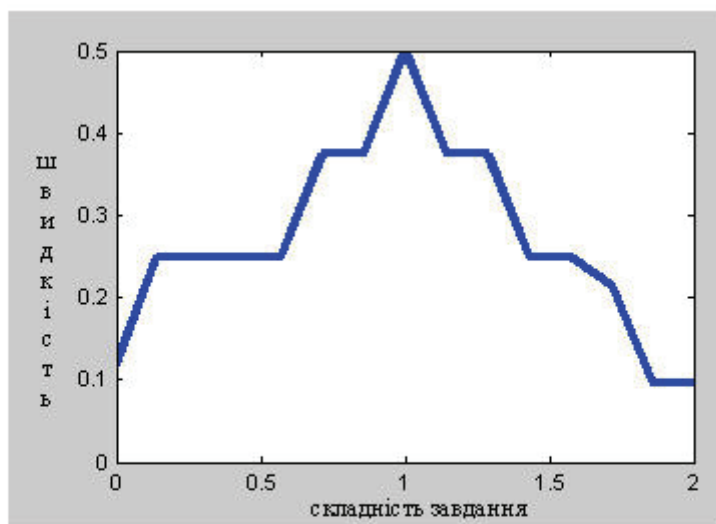


Рисунок 2 - Залежність швидкості виконання завдання від складності завдання

На швидкість виконання завдання в значній мірі впливає здатність людини до навчання. На основі розробленої математичної моделі було отримано поверхню залежності швидкості виконання завдання від його складності та здатності працівника до навчання (рис.3)

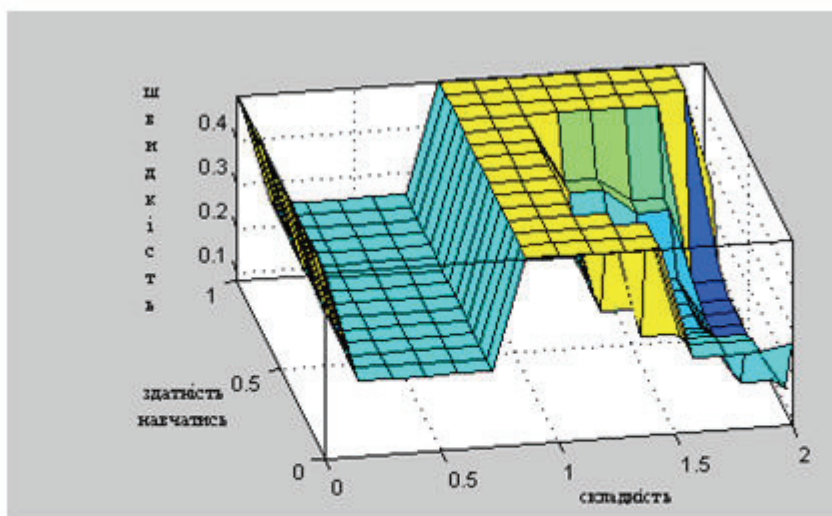


Рисунок 3 - Залежність швидкості виконання завдання від його складності та здатності працівника до навчання

Побудована модель дозволяє отримати залежність швидкості виконання завдання від будь-якого з 8 параметрів, або пари цих параметрів, так як це показано на рис. 2 та 3.

Експериментальні дослідження

Запропонована нечітка модель залежності швидкості виконання завдань від характеристик завдання та виконавця була протестована на прикладі проекту тестування, що складався з 3 завдань:

Таблиця 4

Опис завдань проекту

Завдання	Опис завдання
Тестування функціональності №1	Завдання потребує спеціальних знань та додаткових міркувань, як організувати тестування
Тестування функціональності №2	Завдання звичайне, потребує лише відповідних професійних знань, додаткових спеціальних знань не потребує
Тестування функціональності №3	Завдання звичайне, потребує лише відповідних професійних знань, додаткових спеціальних знань не потребує

Для виконання цих завдань було взято 3 виконавці, а саме: виконавець 1 виконує тестування функціональності №1, виконавець 2 виконує тестування функціональності №2 та виконавець 3 виконує тестування функціональності №3. При цьому виконавці мали наступні характеристики:

Таблиця 5

Характеристики виконавців проекту

Виконавець	Складність завдання	Мотивація	Відповідальність	Взаємодія в команді	Робоче обладнання	Самоорганізація	Загальний стан	Здатність навчатись
1	Висока = 1,4	Висока = 0,8	Висока = 0,9	Низька = 0,2	Добре = 0,9	Добра = 1	Нормальний = 0,9	Висока = 1
2	Середня = 1	Середня = 0,6	Висока = 1	Низька = 0,2	Добре = 0,95	Середня = 0,6	Нормальний = 1	Висока = 0,9
3	Середня = 1,1	Середня = 0,5	Середня = 0,9	Низька = 0,2	Добре = 0,85	Середня = 0,4	Поганий = 0,3	Висока = 1

В результаті використання розробленої моделі нечіткого логічного висновку залежності швидкості виконання завдання від ряду характеристик, були отримані результати, що наведено у таблиці 6. В останній колонці наведено швидкість, яку передбачав керівник проекту.

Таблиця 6

Результати моделювання

Виконавець	Результат моделювання	Значення, поставлене керівником проекту
1	0,405=середня	Висока $\approx 0,8$
2	0,405=середня	Середня $\approx 0,5$
3	0,375=низька	Низька $\approx 0,3$

Наведений експеримент доводить, що розроблена модель здатна допомогти керівникам проектів по розробці програмного забезпечення, зокрема підвищити точність планування.

Висновки

В результаті проведеного моделювання було отримано математичну модель залежності швидкості виконання завдання від характеристик виконавця і складності завдання. Розроблена модель здатна допомогти керівникам проектів у плануванні та підвищити точність планування.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eshuis R., Wieringa R. A Formal Semantics for UML Activity Diagrams- 2001 - Formalising Workow Models – Режим доступу: <http://citeseer.ist.psu.edu/eshuis01formal.html>
2. Eshuis R., Wieringa R. Comparing Petri Net and Activity Diagram Variants for Workflow Modelling – A Quest for Reactive Petri Nets - 2002 – Режим доступу: <http://citeseer.ist.psu.edu/eshuis02comparing.html>
3. Srivastava B. Efficient planning by efficient resource reasoning - 2000– Режим доступу: <http://citeseer.ist.psu.edu/srivastava00planning.html>
4. Jorgensen H. D. Interactive Process Models – 2004 - Режим доступу: <http://www.idi.ntnu.no/grupper/su/publ/phd/Jorgensen-thesis.pdf>
5. WFMC.org Homepage- 2008 - Режим доступу: <http://www.wfmc.org>
6. Спайдер Проджект: Управление Проектами|Project Management|консалтинг|обучение|Spider Project – 2008 - Режим доступу: <http://www.spiderproject.ru/>
7. Project and Portfolio Management – 2008 - Режим доступу: <http://www.primavera.com/>
8. Project Home Page - Microsoft Office Online -2008 - Режим доступу: <http://office.microsoft.com/en-us/project/FX100487771033.aspx>
9. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Получено 20.02.2008 г.

УДК 338.5.0187

Н.Б. Андрейшина, В.В. Гоцуленко, О.А. Поддубная

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РАВНОВЕСНОЙ ЦЕНЫ С УЧЕТОМ ЕЕ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Введение. Спрос и предложение является неотъемлемыми категориями рыночной организации ведения хозяйства, которые выражают объективные экономические отношения товарного производства. Это два важнейших понятия, с помощью которых описывается взаимодействие продавцов и покупателей, каждый из которых стремится к максимально полному удовлетворению своих потребностей. Определение количественной трактовки спроса и предложения является необходимым условием их исследования. Существует множество подходов формирования спроса и предложения как функций других экономических величин. Так, в теории Вальраса формирования цены [1,6], спрос и предложение рассматриваются как математические функции аргументом которых она является.

Далее под спросом на определенный товар будем понимать зависимость платежеспособной потребности покупателей, имеющих доступ к определенному рынку, в определенном количестве этого товара от существующей цены на этот товар и тенденции изменения цены во времени. Под предложением будем понимать зависимость количества товаров, которое поставщик готов поставлять для продажи, от установленной продажной цены, и тенденции изменения цены во времени. Покупатели определенного товара всегда будут предпочитать купить его по более низкой цене, а продавцы – продать его по более высокой. То есть цена товара является одним из важнейших факторов, как для спроса, так и для предложения, и одновременно общим для них фактором. Наряду с ценой, на спрос явно влияет субституты и реклама, а на предложение – уровень развития технологии в данной отрасли [3]. Соотношение спроса и предложения на рынке постоянно изменяется. Формируя спрос и стимулируя сбыт, заставляя потребителей покупать товары и ускоряя процесс “купли-продажи”, а отсюда оборачиваемость капитала, реклама выполняет на рынке экономическую функцию. Используя свои возможности направленного воздействия на определенные

категории потребителей, реклама все в большей степени выполняет функцию управления спросом.

В соответствии с теорией спроса и предложения реальная ценность товара равняется фактической цене, которая устанавливается на рынке в соответствии со спросом и предложением товара. Однако отметим, что если рассматривать цену как функцию времени, то спрос и предложение как математические функции, одним из аргументов которых она является, будут по разному от нее зависеть. Так, значение цены $p(t)$ в данный момент времени t даст эффект на изменение спроса лишь через некоторый промежуток времени запаздывания τ , например необходимый для рекламы товара или анализа его качества и.т.д. В свою очередь предложение, формируется наличием товара и его ценой лишь непосредственно в данный момент времени.

Составление математической модели и ее анализ. Построим математическую модели, в которой спрос и предложение будут рассматриваться как функции, зависящие от цены товара и тенденции ее формирования, а также в которой будет учитываться запаздывающий характер влияния цены на формирования функции спроса.

Отметим, что рассматривая спрос и предложение лишь как функции от значения цены является мало информативным с точки зрения динамики. Например, допустима ситуация, когда положение динамики с малым значением цены и положительным показателем тенденции ее изменения более выгодно чем случай, когда значение цены в данный момент времени является достаточно большим, а тенденция ее изменения является отрицательной [5].

В связи с чем, далее будем рассматривать спрос D как функцию от цены p и тенденции ее изменения (во времени) q , т.е. $D = D(p, q)$ и аналогично предложение $S = S(p, q)$. Рассмотрим их как линейные формы (3):

$$\begin{cases} S(p, q) = a_1 \cdot p + b_1 \cdot q + c_1, \\ D(p, q) = a_2 \cdot p + b_2 \cdot q + c_2. \end{cases} \quad (1)$$

В силу приведенных выше рассуждений, в динамике по времени t получаем, что:

$$\begin{cases} D(t) = D(p(t - \tau), q(t)), \\ S(t) = S(p(t), q(t)), \end{cases} \quad (2)$$

где $q(t) = \frac{dp(t)}{dt}$.

Из соотношения баланса спроса и предложения, учитывая формулы (2), приходим к следующему дифференциальному уравнению с запаздывающим аргументом:

$$D\left(p(t-\tau), \frac{dp}{dt}\right) = S\left(p(t), \frac{dp}{dt}\right), \quad (3)$$

или учитывая (2)

$$\frac{dp}{dt} = k_1 \cdot p(t-\tau) + k_2 \cdot p(t) + k_3 \quad (4)$$

где $k_1 = \frac{a_1}{b_2 - b_1}$, $k_2 = \frac{a_2}{b_1 - b_2}$, $k_3 = \frac{c_1 - c_2}{b_2 - b_1}$.

Далее, отметим, что для получения однозначного решения уравнения (3) необходимо задание на отрезке запаздывания $[0, \tau)$ некоторой начальной функции $p_0(t)$: что в корне отличает рассматриваемую задачу, например от задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения [4]. Разобьем ось времени R^+ на интервалы длины τ , т. е. $R^+ = \bigcup_{m=0}^{\infty} [m \cdot \tau, (m+1) \cdot \tau)$, при $t \in [0, \tau)$ $p(t) = p_0(t)$.

Рассмотрим следующую последовательность задач Коши:

$$\text{при } t \in [\tau, 2\tau) \quad \frac{dp_1}{dt} = k_1 \cdot p_0(t-\tau) + k_2 \cdot p_1(t) + k_3 \cdot p_1(\tau) = p_0(\tau);$$

$$\text{при } t \in [2\tau, 3\tau) \quad \frac{dp_2}{dt} = k_1 \cdot p_1(t-\tau) + k_2 \cdot p_2(t) + k_3 \cdot p_2(2\tau) = p_1(2\tau);$$

.....

$$\text{m) при } t \in [m\tau, (m+1)\tau) \quad \frac{dp_m}{dt} = k_1 \cdot p_{m-1}(t-\tau) + k_2 \cdot p_m(t) + k_3 \cdot p_m(m\tau) = p_{m-1}(m\tau).$$

и т. д.

В дальнейшем нам понадобится следующее вспомогательное утверждение:

Лемма 1. Пусть имеется задача Коши

$$\frac{dp}{dt} = k_1 \cdot v(t) + k_2 \cdot p(t) + k_3, \quad t \in [a, b], \quad p(a) = v(a), \quad v \in C[a, b]$$

Обозначим ее решение через $P(a, b, t, v)$, тогда

$$P(a, b, t, v) = v(a) \cdot \exp\{k_2 \cdot (t-a)\} + \frac{k_3}{k_2} [\exp\{k_2 \cdot (t-a)\} - 1] + k_1 \int_a^t \exp\{k_2 \cdot (t-\xi)\} v(\xi) d\xi.$$

Из леммы 1 непосредственно получается следующее рекуррентное соотношение:

$$p_m(t) = P(m \cdot \tau, (m+1) \cdot \tau, t, p_{m-1}) = p_{m-1}(m \cdot \tau) \cdot \exp\{k_2 \cdot (t - m \cdot \tau)\} + \frac{k_3}{k_2} [\exp\{k_2 \cdot (t - m \cdot \tau)\} - 1] + k_1 \int_{m \cdot \tau}^t \exp\{k_2 \cdot (t - \xi)\} p_{m-1}(\xi - m \cdot \tau) d\xi.$$

Следовательно решение уравнения (4) с начальным условием при $t \in [0, \tau)$, $p(t) = p_0(t)$, можно представить в следующем виде:

$$p(t) = \sum_0^{\infty} \chi_m(t) \cdot p_m(t) \quad (5)$$

где как обычно символом $\chi_m(t)$ обозначена характеристическая функция полуинтервала $[m \cdot \tau, (m+1) \cdot \tau)$, т. е.

$$\chi_m(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \in [m \cdot \tau, (m+1) \cdot \tau) \\ 0, & \text{если } t \notin [m \cdot \tau, (m+1) \cdot \tau) \end{cases}.$$

Замечание 1. Отметим, что т.к. при любом фиксированном значении переменной $t \geq 0$ существует лишь единственный содержащий ее полуинтервал в последовательности $\{[m \cdot \tau, (m+1) \cdot \tau)\}_{m=0}^{\infty}$, то на самом деле в соотношении (5) при каждом фиксированном значении $t \geq 0$ лишь одно слагаемое отлично от нуля.

Анализ динамики равновесной цены в зависимости от времени длительности рекламы. Основное внимание сосредоточим на изучении поведения функции цены $p(t)$ в зависимости от длительности времени рекламы τ , в связи с чем, для уменьшения технических выкладок, коэффициент k_2 при слагаемом без запаздывания в основном уравнении (4) положим равным нулю и в данном случае оно примет вид:

$$\frac{dp}{dt} = k_1 \cdot p(t - \tau) + k_3 \quad (6)$$

В случае, когда начальная цена $p_0(t) = \text{const}$, получим более удобное для асимптотического анализа представление решения уравнения (6) чем соотношение (5) для этого рассмотрим следующую вспомогательную лемму.

Лемма 2. Единственное решение задачи Коши

$$\begin{cases} \text{При } t \in [0, \tau) \quad p(t) = p_0 = \text{const}, \\ \text{при } t \geq \tau \quad \frac{dp}{dt} = k_1 \cdot p(t - \tau), \end{cases}$$

определяется следующим соотношением

$$p(t) = p_0 \sum_{m=0}^{N(t)} \frac{k_1^m}{m!} (t - m \cdot \tau)^m,$$

где $N(t) = \left[\frac{t}{\tau} \right]$ – целая часть числа $\frac{t}{\tau}$.

Действительно, положим $\varphi_m(t) = p_0 \cdot \frac{k_1^m}{m!} (t - m \cdot \tau)^m$, $m \geq 0$, и проверим,

что функция $p(t) = \sum_{m=0}^{\left[\frac{t}{\tau} \right]} \varphi_m(t)$ является решением рассматриваемой задачи. Имеем: $\forall t > 0$ найдется единственное целое неотрицательное число $t \in [q \cdot \tau, (q+1) \cdot \tau) \Rightarrow \left[\frac{t}{\tau} \right] = q$, и следовательно $p(t) = \sum_{m=0}^q \varphi_m(t)$. Но тогда

$$p(t - \tau) = \sum_{m=0}^{\left[\frac{t-\tau}{\tau} \right]} \varphi_m(t - \tau) = \sum_{m=0}^{q-1} \varphi_m(t - \tau). \quad \text{Далее,} \quad \frac{dp}{dt} = \sum_{m=0}^q \frac{d\varphi_m(t)}{dt} \quad \text{и} \quad \text{прямая}$$

подстановка дает $\sum_{m=1}^q \left\{ \frac{d\varphi_m(t)}{dt} - k_1 \cdot \varphi_{m-1}(t - \tau) \right\} = 0$, так как $\varphi_0(t) = p_0 = \text{const}$, но

функция $\varphi_m(t)$, $m \geq 0$, как можно проверить, удовлетворяют следующему рекуррентному соотношению:

$$\frac{d\varphi_m(t)}{dt} - k_1 \cdot \varphi_{m-1}(t - \tau) = 0, \quad m \geq 1.$$

Итак, лемма доказана.

Далее, можно видеть, что константа $p(t) = -\frac{k_3}{k_1}$ является частным решением уравнения (6). Поэтому, объединяя этот факт и лемму (2), получаем справедливость следующей теоремы.

Теорема 1. Задача

$$\begin{cases} \text{Пу } t \in [0, \tau), & p(t) = p_0 = \text{const}, \\ \text{пу } t \geq \tau, & \frac{dp}{dt} = k_1 \cdot p(t - \tau) + k_3, \end{cases} \quad (7)$$

имеет единственное решение

$$p(t) = -\frac{k_3}{k_1} + \left(p_0 + \frac{k_3}{k_1} \right) \sum_{m=0}^{\left[\frac{t}{\tau} \right]} \frac{k_1^m}{m!} (t - m \cdot \tau)^m \quad (8)$$

Замечание 2. Практические расчеты [3] показывают, что вообще говоря относительно знаков коэффициентов справедливы следующие неравенства:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_1 < 0, \\ \frac{k_3}{k_1} > 0, \\ p_0 + \frac{k_3}{k_1} < 0 \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} k_1 < 0, \\ k_3 > 0, \\ p_0 < -\frac{k_3}{k_1} \end{array} \right. \quad (9)$$

Далее, если не оговорено противное, будем всюду предполагать выполненными неравенства (9).

Отметим также тот факт, что функция (8) является функцией двух аргументов $p = p(t, \tau)$. Возникает важный для практических целей вопрос: какова величина τ времени рекламы продукции, при которой ее эффективная цена наибольшая. Где эффективность цены означает, что ее величина не должна противоречить балансу спроса и предложения. Очевидно, что достаточно долгая реклама продукции, особенно некачественной, может привести даже к вынужденному снижению ее эффективной цены. Также, если $\tau \rightarrow 0$, т.е. когда реклама длится в коротком временном промежутке, ее эффективность также снижается.

Следовательно, в общих чертах возникает проблема рационального выбора времени τ рекламирования продукции. Формализация этой проблемы приводит к следующей экстремальной задаче:

Для любого фиксированного $t > 0$ найти время рекламы $\tau = \tau(t) \rightarrow \min$, так чтобы выполнялось

$$p(t, \tau(t)) = \max_{0 < \tau \leq t} \{p(t, \tau)\}.$$

Следующая лемма оценивает асимптотическое поведение цены $p(t, \tau)$ при $\tau \rightarrow 0$ и любом фиксированном значении $t \geq 0$.

Лемма 3. При $\tau \rightarrow 0$ справедливо следующее асимптотическое равенство

$$p(t, \tau) = -\frac{k_3}{k_1} + \left(p_0 + \frac{k_3}{k_1} \right) \cdot \exp\{k_1 \cdot t\} (1 + \eta \cdot \tau),$$

где $\eta(\tau) = 0$, причем равномерно по t принадлежащему фиксированному отрезку конечных размеров.

Из леммы 3 элементарно следует, что

$$\lim_{\substack{\tau \rightarrow 0 \\ t = \text{const}}} p(t, \tau) = -\frac{k_3}{k_1} + \left(p_0 + \frac{k_3}{k_1} \right) \cdot \exp\{k_1 \cdot t\}$$

Отметим также, как следует из (8), что $p(t, \tau) = p_0$ при $\tau > t$ и, следовательно

$$\lim_{\substack{\tau \rightarrow \infty \\ t = \text{const}}} p(t, \tau) = p_0$$

Замечание 3. Из соотношений (10) и (11) при предположениях замечания 2 получается очевидное, но в тоже время важное замечание:

$$\lim_{\substack{\tau \rightarrow 0 \\ t = \text{const}}} p(t, \tau) > \lim_{\substack{\tau \rightarrow \infty \\ t = \text{const}}} p(t, \tau),$$

т.е. слишком долгая реклама еще больше уменьшает эффективную цену, чем ее отсутствие вовсе.

Числовые расчеты. Для проверки полученных в предыдущих разделах теоретических соотношений, рассмотрим деятельность конкретного торгового предприятия, занимающегося продажей строительных материалов. В таблице приведены данные о цене товара, объеме реализации и товарных остатках.

Таблица 1

месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Цена товара, грн.	1,14	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,09	1,11	1,15	1,16	1,14	1,15
Объем реализации, кг	112	9	102,5	98	85,5	120	111,5	102	108	97	105,5	98,5
Товарные остатки, кг	205	156	234	127	146	118	104	116	104	117	108	110

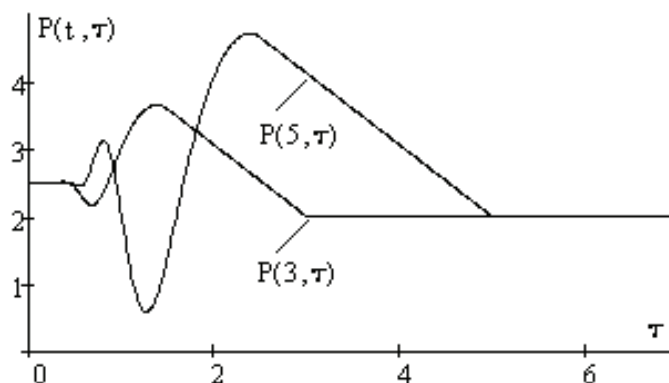


Рисунок 1 - Зависимость эффективной цены $p(t, \tau)$ от времени рекламы τ при различных значениях времени отсчета $t \geq 0$

Для нахождения коэффициентов $k_i (i=1,2,3)$ в уравнение (4) воспользуемся методом наименьших квадратов:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (a_1 p_i + b_1 q_i + c_1 - D_i)^2 \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n (a_2 p_i + b_2 q_i + c_2 - S_i)^2 \rightarrow \min, \end{cases} \quad (12)$$

где p_i цена, $q_i = \frac{p_i - p_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$ изменение цены, D_i и S_i – соответственно

величины спроса и предложения в i -й период времени (т.е. в нашем случае номер месяца, $n=12$). Мы полагаем, что предложение формируется как сумма проданного и оставшегося товара. Изменение цены: $q_i = p_i - p_{i-1} (i = \overline{1,12})$. Величина $q_0 = 0$, так как в начальный момент времени цена еще не сформировалась.

Получим следующие значения коэффициентов:

$k_1 = -2.07$, $k_2 = 4.31$, $k_3 = 5.2$.

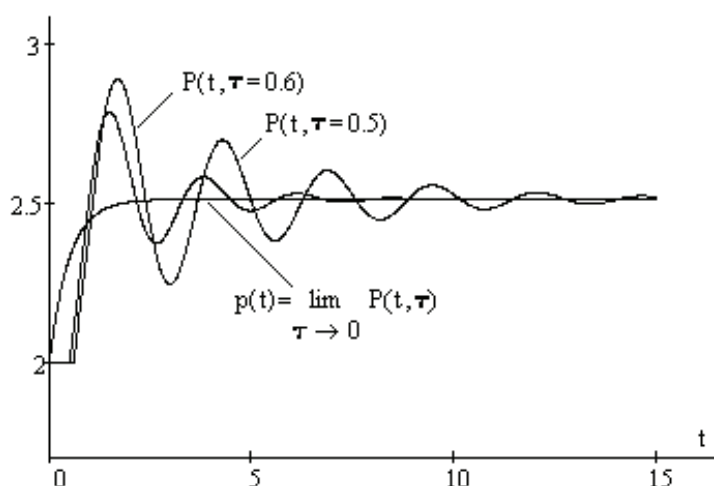


Рисунок 2 - Зависимость эффективной цены $p(t, \tau)$, как функции времени $t \geq 0$ при различных фиксированных значениях длительности времени рекламы

Выводы

1. На основании баланса спроса и предложения с учетом запаздывающего характера влияния цены на формирование спроса, получено дифференциальное уравнение для равновесной цены и проанализированы его решения;

2. Показано, что долгосрочная реклама приводит к снижению эффективной цены, а также получены соотношения определяющие

длительность времени рекламы необходимое и достаточное для получения максимального значения эффективной цены;

3. Приведены практические числовые расчеты, подтверждающие правдоподобность полученных теоретических закономерностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Занг В. Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ. М.: Мир, 1999.
2. Гоцуленко В.В., Самохвалов Т.С. Об одном классе стратегий капиталовложений в замкнутой экономической системе //Международная научная конференция "Ломоносовские чтения 2004", Черноморский филиал МГУ.
3. Андрейшина Н.Б., Гоцуленко В.В. Повышение эффективности деятельности торгового предприятия оптимальным выбором цены как функции времени //Вестник Национального технического университета "ХПИ". 2006. № 39. -С. 81-85.
4. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях. М.: Наука, 1987.
5. Економічна теорія: Політекономія: Підручник / за ред. Базидевича В.Д. – К.: Знання –Прес, 2006.
6. Андрейшина Н.Б., Гоцуленко В.В. Об одном классе экономических систем обладающих предельным циклом//Міжнародна науково - практична конференція “Розвиток економіки в трансформаційний період: глобальний та національний аспекти”, Дніпропетровськ, 2005 р.

Получено 20.02.2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Хандецкий, Т.В. Пастушкін Відновлення зображень дефектів з використанням нейронної мережі Елмана	3
Н.О. Матвеева Експрес-класифікація типу дефектів за дельта-модульованими сигналами вихорострумового контролю	11
О.О.Дробахин, А.В.Доронин, Д.Ю.Салтыков Применение нейросетевых технологий для калибровки детекторов в трехзондовом волноводном измерителе комплексного коэффициента отражения.....	19
О.О.Дробахин, А.В.Доронин, В.Г.Короткая Оценивание толщины подповерхностного воздушного включения с применением нейросетевых технологий.....	24
В.М. Григорьев, М.С. Мамонтов Фотометрическое определение высот выступов на металлической ленте	29
Л.Г. Ахметшина, А.А.Егоров Сегментация низко контрастных изображений алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM	34
Н.А. Иванова Исследование возможностей пакета MACROMEDIA AUTHORWARE 7.0 для создания электронного сборника задач	41
В.А. Шугаев, Ю.А. Рубаха Моделирование кольцевой безмаркерной сети	46
В.А. Шугаев, Ю.А. Рубаха Разработка среды моделирования нестандартных сетевых архитектур.....	53
О.О. Кузьменко, Ю.М. Рибка Алгоритм швидкої побудови кодів Хаффмена	57
О.А. Литвинов Семантико-синтаксична модель класифікації клінічних діагнозів ...	64
В.М. Григорьев Устойчивость линейных систем в операторной форме	83
Н.И. Твердоступ Входной импеданс системы конверторов импеданса.....	89
А.В. Дегтярёв, И.В. Гомилко, Ю.А. Тонкошкур Микроконтроллерная система сбора и обработки данных электрических испытаний позисторов	95
В.Ф. Истушкин Определение наличия периода приработки	101

А.П. Пеньков, Д.С. Емельянов	
Обобщённый анализ алгоритмов маршрутизации транспортных средств	104
В.Т.Белан, В.И.Корсун, Е.М.Снежко	
Математическая модель операторской деятельности машиниста прокатного стана	111
В.В. Огоренко, С.В. Клименко	
Информационные технологии индивидуального компьютерного психометрического мониторинга	117
А.М. Соколов	
Рандомизированное вложение расстояния редактирования в задачах поиска генов и обнаружения вторжений	126
О.В. Рязанцев, А.А. Андреев, А.Ю. Михацкий	
Спектрально-эффективная модификация ОФМ	140
М.В. Шаптала, В.А. Ищенко	
Особенности расчета режимов вулканизации пневматических шин с учетом трехмерности конструкции	147
М.М. Ткач	
Визначення типових структурних компонент технологічних структур ГВС	158
Е.Н.Ватченко, А.И.Деревянко, Н.В.Лыся	
Управление хаотическим режимом одномерных унимодальных отображений	165
Т.О. Голубева, О.В. Глонь, В.М. Дубовой	
Модель швидкості виконання завдань у проектах розробки програмного забезпечення в умовах невизначеності	169
Н.Б. Андрейшина, В.В. Гоцуленко, О.А. Поддубная	
Определение функции равновесной цены с учетом ее запаздывания во времени	179

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.3

Хандецкий В.С., Пастушкин Т.В. **Восстановление изображений дефектов с использованием нейронной сети Элмана** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.3-10.

Исследовано функціонування нейронної мережі з зворотними зв'язками при розв'язанні задачі відновлення спотворених зображень дефектів поверхності в трьохшарових структурах.

Бібл.5, табл.1.

УДК 621.3

Матвеева Н.А. **Экспресс-классификация типа дефектов с помощью дельта-модулированных сигналов вихретокового контроля** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.11-18.

Площадь ИКМ-сигналов вихретокового контроля оценивается по виду их ДМ-ограничивающих, число которых ограничено и составляет, в частности, четыре в случае 8-разрядного АЦП. Это создает основу для распознавания трех качественно отличных классов дефектов.

Библ. 5,ил. 2., табл. 3.

УДК 621.396.96

Дробахін О.О., Доронін О.В., Салтиков Д.Ю. **Застосування нейромережових технологій для калібрування детекторів у 3-зондовому хвилеводному вимірювачі комплексного коефіцієнта відбиття товщини підповерхневого повітряного включення з застосуванням нейромережових технологій** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.19-23.

Розглянуто застосування математичної моделі діодного детектора, яку побудовано на базі нейромережових технологій. Модель забезпечує високий ступінь квадратичності вихідного сигналу детектора та вимірювання значення комплексного коефіцієнту відбиття за допомогою трьохзондового хвилевідного датчика. Оптимальна модель нейронної мережі має структуру 1-10-1 нейронів. Працездатність методу підтверджена даними реального експерименту.

Бібл. 5, табл.1.

УДК 621.396.96

Дробахін О.О., Доронін О.В., Коротка В.Г. **Оцінювання товщини підповерхневого повітряного включення з застосуванням нейромережових технологій** // Системні

технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.24-28.

Розглядається застосування нейронних мереж для визначення товщини підповерхневого повітряного включення. Було обрано 3-шарову нейронну мережу з зворотним зв'язком з сигмоїдальною функцією активації нейронів. В якості вхідного сигналу використано огинаючу часового сигналу. Тренування мережі здійснено на основі алгоритму спряжених градієнтів. Проведено порівняльний аналіз з результатами кореляційного розпізнавання.

Бібл. 5, табл.2

УДК 535.24:681.3

Григор'єв В.М., Мамонтов М.С. **Фотометричне визначення висот виступів на металевій стрічці** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.29-33.

У роботі описаний програмно-апаратний комплекс фотометричного аналізу плоских поверхонь для пошуку виступів і класифікації їх по висоті.

Бібл. 1.

УДК 004.93

Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. **Сегментация низко контрастных изображений алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.34-40.

УДК 004.42

Іванова Н. О. **Дослідження можливостей пакету Macromedia Authorware 7.0 для створення електронного збірника задач** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.41-45.

Проаналізовані можливості програми Authorware 7.0 для створення мультимедійних програмних засобів навчального призначення. Застосування цього програмного продукту дозволяє створювати складні електронні навчальні посібники, які містять звуковий та відео супровід. Розглянуті питання впровадження в електронний посібник системи тестування.

Бібл. 3, іл. 5.

УДК 004.722.23

Шугаєв В.О., Рубаха Ю.А. **Моделювання кільцевої безмаркерної мережі** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.46-52.

Описано архітектуру кільцевої безмаркерної мережі і виконано її комп'ютерне моделювання.

Бібл. 6, табл. 3.

УДК 004.722

Шугаєв В.О., Рубаха Ю.А. **Розробка середовища моделювання нестандартних мережених архітектур** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.53-56.

Надано короткий технічний огляд розробленого середовища для моделювання на низькому рівні комп'ютерних мереж нестандартної архітектури.

УДК 621.391 (075.8)

Кузьменко А.О., Рыбка Ю.М. **Алгоритм быстрого построения кодов Хаффмена** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.57-63.

В работе представлен алгоритм быстрого построения кодов Хаффмена, который позволяет получить код за время $O(m_1)$, где m_1 – число символов в алфавите.

Библ. 3, рис. 3, табл. 1.

УДК 574/578+004.38

Литвинов А.А. **Семантико-синтаксическая модель классификации клинических диагнозов** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.64-82.

В работе рассмотрен вариант классификации клинических диагнозов на основе семантико-синтаксической модели: определены основные требования терминологических систем связанные со спецификой ЛПУ Украины; приведена формальная модель диагноза на базе дескрипционной логики и формальных грамматик. Результатом работы является концептуальная и даталогическая модели классификации клинических диагнозов.

Библ. 19. ил.2. табл.7.

УДК 62-50:519.49

Григор'єв В.М. **Стійкість лінійних систем в операторній формі** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.83-88.

У роботі пропонується модифікація поняття стійкості системи в термінах вхід-вихід, що враховує власні рухи систем і базується на першому методі Ляпунова.

Бібл. 4.

УДК 621.382

Твердоступ М. І. **Вхідний імпеданс системи конверторів імпедансу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.89-94.

Обумовлені умови одержання високої чутливості системи вимірювальних конверторів імпедансу.

Бібл.6, рис. 2.

УДК 621.316.544.1:621.316.89

Дегтярьов А.В., Гомілко І.В., Тонкошкур О.С. **Мікроконтролерна система збору та обробки даних електричних випробовувань позисторів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.95-100.

У статті наведені результати розробки мікроконтролерної системи, призначеної для вимірювань і випробувань основних електричних параметрів позисторів і самовідновлюючих запобіжників на основі композита полімер-графіт. Розглянуто алгоритм роботи вимірювальної системи й апаратно-програмні рішення

Бібл. 5.

УДК 621.396.6

Істушкін В.Ф. **Визначення наявності періоду припрацювання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.101-103.

Розглянуто можливість визначення наявності періоду припрацювання за критерієм Манна для оцінки тенденції зміни інтервалів між відмовами.

Бібл. 2, рис.1., табл.1.

УДК 681.142.35

Пеньков А.П., Ємельянов Д.С. **Системні аспекти взаємодії транспортних засобів з навколишнім середовищем** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.104-110.

Розглянуті аналіз системи класів саморушних роботів (СР) з використанням загальносистемних критеріїв; поставлена та вирішена задача про траєкторію; проведено розгляд специфіки траєкторії груп СР; проаналізовано енергетичну взаємодію СР і навколишнього середовища; розглянуто конструктивну модель реалізації системи координат класів СР.

Бібл. 6, іл. 5, табл. 3.

Бєлан В.Т., Корсун В.І., Сніжко Є.М. **Математична модель операторської діяльності оператора прокатного стана** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.111-116.

Запропоновано імітаційні моделі оператора прокатного стана для визначення інформаційних навантажень залежно від циклів роботи й ступеня підготовки оператора. За результатами моделювання зроблені висновки про залежності питомого інформаційного навантаження й питомий час зайнятості різними видами діяльності (рух, сприйняття, аналіз). Показана можливість застосування моделі для оптимізації роботи оператора.

Бібл.4, іл.2, табл.1

УДК 629.735.015.017.2

Огоренко В.В., Клименко С.В. **Інформаційні технології індивідуального комп'ютерного психометричного моніторингу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55). - Дніпропетровськ, 2008. - С. 117-125.

Запропоновано новий метод оцінки стійкості темпераменту й уваги особистості на основі статистичної обробки і візуалізації результатів комп'ютерного психометричного тестування.

Бібл.3, мал.3.

УДК 51-76+004.056.53

Соколов А.М. **Рандомизированное вложение расстояния редактирования в задачах поиска генов и обнаружения вторжений** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55). - Дніпропетровськ, 2008. - С.126-139.

В работе рассматривается приложение рандомизированного метода вложения классического расстояния редактирования к задаче поиска генов и гиперчувствительных сайтов, а также к задаче идентификации пользователя компьютерной системы по логам аудит-системы с целью предотвращения вторжений.

Библ. 19, ил. 2, табл. 4.

УДК 621.376

Рязанцев О.В. Андреев А.А. Міхацький А.Ю. **Спектрально-ефективна модифікація ВФМ** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.140-146.

У роботі розглянута узгоджена робота модулятора й кодеру в системі зв'язку. На основі ВФМ розроблена модуляція, що по ефективності значно перевершує ВФМ.

Бібл.4, іл.5.

УДК 678.065:678.028

Шаптала М.В., Іщенко В.О. **Особенности расчета режимов вулканизации пневматических шин с учетом тривимірності конструкції** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.147-157.

Розглянуто процес вулканизації багатошарових гумовотехнічних виробів – пневматичних шин. Запропонована методика розрахунків режимів вулканизації з урахуванням тривимірності конструкції. Приведений розрахунок крупно габаритної пневматичної шини і показано, що урахування реальних тривимірних теплових потоків при розрахунках режимів вулканизації дозволяє скоротити час вулканизації у порівнянні із розрахунками по методу плоского перетину. Приведено порівняння розрахункового методу із дослідними даними.

Бібл. 17, іл. 7.

УДК 628.007.52

Ткач М.М. **Определение типовых структурных компонент технологических структур ГПС** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.158-164.

Исследованы структурные компоненты технологических структур ГПС и показано, что каждая из них есть самостоятельная технологическая структура и может быть реализована с помощью организационной структуры ГПС соответствующего уровня. Определены типовые структурные компоненты технологических структур ГПС.

Библ. 2, рис. 2.

УДК 530.1

Ватченко О.М., Дерев'янюк О.І, Лиса Н.В. **Управління хаотичним режимом одномірних унімодальних відображень** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.165-168.

Побудовані алгоритми оптимального управління хаотичним режимом логістичного рівняння та проведено їх порівняльний аналіз для вирішення задачі стримання хаотичних коливань при осадженні наноматеріалів за CVD-технологією з газової фази.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 519.876.5

Голубєва Т.О., Глонь О.В., Дубовой В.М. **Модель скорости исполнения заданный в проектах разработки программного обеспечения в условиях неопределенности** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.169-178.

В статье построена нечеткая модель зависимости скорости исполнения заданий в проектах разработки программного обеспечения от характеристик заданий и исполнителя таких, как сложность задания, способность исполнителя обучаться и др. Модель построена на основании нечеткого логического вывода Мамдани. Проведенные эксперименты показали, что разработанная модель способна помочь руководителям проектов в планировании и повысить точность планирования.

УДК 338.5.0187

Андрейшина Н.Б., Гоцуленко В.В., Поддубная О.А. **Определение функции равновесной цены с учетом ее запаздывания во времени** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 2 (55).- Дніпропетровськ, 2008.- С.179-187.

Рассматривая спрос и предложение как функции цены и тенденции ее изменения во времени, найдена стратегия формирования эффективной цены с учетом фактора запаздывания, адаптированная для применения на практике.

Библ. 6, ил. 2, таб.1.

UDC 621.3

Khandetsky V.S., Pastyskin T.V. **Reconstruction the defect images using Elman's neural network** // System technologies. - N 2 (55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.3-10.

The processing of neural network with feedbacks for reconstruction the images of defects in three-layer structures are studied.

Bibl. 5, tabl. 1.

UDC 621.3

Matveyeva N.A. **The express train-classification type of defects with the help of the delta-modulate signals of the eddy-currents testing** // System technologies. - N 2 (55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.11-18.

The area of ICM-signals of eddy-currents testing is evaluated by the form appropriate DM - bend around, which number is limited and, for example, is equal to four in case of 8-digit ADT. It creates the basis for identification three qualitatively different classes of defects.

Bibl. 5 il. 2, tabl. 3.

UDC 621.396.96

Drobakhin O.O., Doronin A.V., Saltykov D.Yu. **Neural net technology application to detector calibration in three-probe waveguide sensor of complex reflection coefficient** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.19-23.

A mathematical model of diode detector on base of neural net is considered. The model provides a high level of square-law of output signal of detector and complex reflection coefficient measurements. The optimal model of neuron set has structure of 1-10-1 neurons. Efficiency of the method has been proved experimentally.

Bibl. 5, tabl.1.

UDC 621.396.96

Drobakhin O.O., Doronin A.V., Korotkaya V.G. **Undersurface air insertion thickness estimation on base of neural net technology** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.24-28.

Neuron network technology application to subsurface air layer thickness estimation is considered. The three-layered neuron network with backpropagation and sigmoid (S-shaped) activation function of neurons was chosen. The envelope of time-domain signal was used as

input data. The algorithm of scaled conjugate gradient was used for training. The comparison with results of correlation method is presented.

Bibl. 5, tabl.2

UDC 535.24:681.3

Grigor'yev V. M., Mamontov M.S. **Photometric definition of heights of ledges on a metal tape** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.29-33.

In work the hardware-software complex of the photometric analysis of flat surfaces for search of ledges and classification them on height is described.

Bibl. 1.

UDC 004.93

Akhmetchina L.G., Egorov A.A. **Low contrast image segmentation with gibrid cluster SOM-FCM algorithm** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.34-40.

UDC 004.42

Ivanova N. A. **Research of Macromedia Authorware 7.0 package's features for making of the electronic task book** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.41-45.

Authorware 7.0 program features are studied in order to make educational multimedia software tools. Application of this software product allows to compose complicated electronic training aids that contain sound and video tracking. Matters referring to implementation of testing systems into electronic educational aid are considered here.

Bibl. 3, ill. 5.

UDC 004.722.23

Shugaev V.A., Rubakha Y.A. **Modelling of circular tokenless network** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.46-52.

The architecture of circular tokenless network was described and its computer modeling was executed.

Bibl. 6, tabl. 3.

UDC 004.722

Shugaev V.A., Rubakha Y.A. **Modeling of circular tokenless network** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.53-56.

The brief technical review of the developed environment for modeling a low level work of computer networks of non-standard architecture is given.

UDC 621.391 (075.8)

Kuzmenko O.O., Rybka Yu.M. **The algorithm of rapid construction Huffman codes** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.57-63.

The algorithm of rapid construction Huffman codes, which lets to build the code in times of $O(m^1)$ (where m^1 is an amount of characters in an alphabet) is presented in this work.

Bibl. 3, ill. 3, tabl. 1.

UDC 574/578+004.38

Litvinov A.A. **Semantic-syntactical model of clinical classification of disease** // System technologies. - N 2 (55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.64-82.

The given work represents a variant of clinical classification of disease based on semantic-syntactical model. First, main modern terminological systems were analyzed and core requirements were gathered selecting primary issues considering Ukrainian hospital needs and abilities. Then, clinical diagnosis formalization was suggested using formal grammar and description logic formalisms. As a result of formal modeling the conceptual and datalogical model of the classification, which are the foundation of its framework, were defined.

Bibl. 19, il. 2, tabl.7.

UDC 62-50:519.49

Grigor'ev V. M. **Stability of systems in operator form** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.83-88.

In work the updating of concept of stability of system in the terms an input - output taking into account own movement of systems and basing on the first method Lyapunov is offered.

UDC 620.179(031)

Tverdostup N.I. **An input impedance of converters system of impedance** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.89-94.

The conditions of deriving of a sharp response of a system of measuring converters of impedance are justified.

Bibl. 6, ill. 2.

UDC 621.316.544.1:621.316.89

Degtyar'ov A.V., Gomilko I.V., Tonkoshkur A.S. **Data gathering and processing microcontroller system of posistors' electrical testing** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.95-100.

The design results of microcontroller system, which intended for measurements and examinations of main electrical features of posistors and polyswitches, based on the composite polymer-graphite, are shown at preset paper. It was viewed an algorithm of measurement system and hardware-in-the-loop solutions.

Bibl. 5

UDC 621.396.6

Istushkin V.Ph. **The definition the availability the period of additional** // System technologies. - N 2(55). - Dnepropetrovsk, 2008. - P.101-103.

The possibility of definition the availability the period of additional by Mann criteria for rating of tendency to changing interval between failures was consideration.

Bibl. 2, ill.1, tabl. 1.

UDC 681.142.35

Penkov A.P., Yemelyanov D.S. **System aspects of interaction of transport systems and environment** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.104-110.

In work are considered: the analysis of system of classes self-moving robots (SMR) with using of common-system criteria; the problem about a trajectory is put and solved; consideration of specificity of a trajectory of groups is spent; power interaction of SMR and environment is analyzed; the constructive model of realization of system of coordinates of classes is considered.

Bibl. 6, ill. 5, tab. 3.

V.T.Belan, V.I.Korsun, Ye.M.Snizhko **Mathematical model of rolling mill operator's activity** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.111-116.

Simulation models of rolling mill operator's activity are developed for information loading investigations depending on job cycles and operator's skills. The conclusions are given about specific information loading (perception . analysis, movement). Some information about operator's work optimization are shown.

Bibl.4, ill.2, tabl.1

UDC 629.735.015.017.2

Ogorenko V.V., Klimenko S.V. **Informational of a process engineering of individual computer psychometric monitoring** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.117-125.

The new method of an estimation of fastness of temperament and attention of the person on the basis of statistical handling and visualization of outcomes computer psychometric testing is offered.

Bibl. 3, il. 3.

UDC 51-76+004.056.53

Sokolov A.M. **Randomized edit distance embedding in the tasks of gene finding and intrusion detection** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.126-139.

We apply a randomized classic edit distance embedding method to the tasks of gene and hypersensitive sites finding, and to the task of computer system user identification for preventing intrusions by analyzing system audit logs.

Bib. 19, pic. 2, tabl. 4.

UDC 621.376

Ryazantcev O.V. Andreew A.A. Mihatkij A.Y. **Spectrum effective modification of PSK** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.140-146.

In this article coordinated work of modulator and codec in a communication network is considered. On the basis of PSK modulation is developed an effective modification of PSK.

Bibl.4, ill.5.

UDC 678.065:678.028

Shaptala M.V., Ishchenko V.A. **Features of calculation of modes of vulcanization of pneumatic tires taking into account tridimensionality of a design** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.147-157.

Considered multilayer process cured rubber goods – pneumatic tire. Proposed method of calculating the regimes in the light curing 3D design. As contained calculation of the large, and shows that the integration of real three-dimensional heat flow regimes in the calculation of the opportunity to shorten the curing time cured compared with the calculation method of flat sections. Comparison of the calculation method is given to experimental data.

Bibl. 17, ill. 7.

UDC 628.007.52

Tkach M.M. **Structural analysis and systems analysis of the flexible manufacturing system** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.158-164.

The functional and morphological analysis of modern FMS is conducted, the morphological model of FMS is built and new approach is offered to their synthesis which allows to get a few variants of decisions with subsequent by their clarification on the stage of design.

Ref. 4, pic. 2

UDC 530.1

Vatchenko H. N., Derevyanko A.I., Lysay N.V. **Control of a chaotic mode one-dimensional logistic equation** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.165-168.

The algorithms of optimum control of a chaotic mode logistic equation are constructed and their comparative analysis for the decision of a task of suppression of chaotic fluctuations is carried out at concretion nanomaterials on CVD-technology from a gas phase.

Bibl.4, ill. 2

UDC 519.876.5

Golubeva T.O., Glon' O.V., Dubovoj V.M. **The model of tasks execution rate in software development projects under conditions of uncertainty** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.168-178.

In article the fuzzy model of tasks execution rate dependence in software development projects from parameters of task and executor (like task complexity, executor possibility to study, etc.) was built. Model is based on Mamdani fuzzy logical deduction. Experiments showed that developed model can help project managers to plan and to increase planning accuracy.

UDC 338.5.0187

Andreishina N.B., Gotsulenko V.V., Piddubna O.A. **Determination of function of equilibrium price taking into account its delay in time** // System technologies. – N 2 (55). – Dnepropetrovsk, 2008., - P.179-187.

Regarding demand and supply as functions of price and its change tendencies, the strategy of optimal price forming adapted for practical usage was found.

Bibl 6, ill 2, tab. 1.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Андреев Александр Александрович – ассистент кафедры АРРТ, ДГТУ.

Андрейшина Наталья Борисовна - Преподаватель кафедры “Экономическая кибернетика” Института предпринимательства “Стратегия”, г. Желтые Воды.

Белан Володимир Трохимович – доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірjuвальних технологій Національного гірничого університету.

Глонь Ольга Віталіївна – к.т.н., доцент кафедри КСУ Інституту автоматики, електроніки та комп’ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету.

Голубєва Тетяна Олександрівна – аспірант кафедри КСУ Інституту автоматики, електроніки та комп’ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету.

Гомилко И.В. – к.ф.-м.н., доцент, кафедра Радиоэлектроники, ФФЕКС, ДНУ.

Гоцуленко Владимир Владимирович - Преподаватель кафедры “Экономическая кибернетика” Института предпринимательства “Стратегия”, г. Желтые Воды.

Дегтярёв А.В. – ведущий инженер научной криогенной лаборатории, кафедра Радиоэлектроники, ФФЕКС, ДНУ.

Деревянко Александр Иванович – к.т.н., доцент, доцент каф. АСОИ, ДНУ.

Доронин Алексей Владимирович - м.н.с. Института технической механики НАНУ.

Дробахин Олег Олегович – д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной и компьютерной радиофизики Днепропетровского национального университета.

Дубовой Володимир Михайлович – д.т.н., професор, завідувач кафедри КСУ Інституту автоматики, електроніки та комп’ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету.

Емельянов Дмитрий Сергеевич - студент группы КИ-07-М кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Иванова Наталья Александровна – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Истушкин Валерий Федорович – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Ищенко Владимир Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры «Теплотехника» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Клименко Светлана Владимировна – ассистент кафедры радиоэлектронной автоматики, Физико-технического факультета, Днепропетровского национального университета.

Короткая Валентина Григорьевна - старший преподаватель кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Корсун Валерій Іванович – д.т.н., професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій Національного гірничого університету.

Кузьменко Александр Олегович – магистрант кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Лысая Наталья Викторовна – к.т.н., доцент каф. ИТС, НМетАУ.

Михацкий Алексей Юрьевич – Радиотехнический факультет, КПИ.

Огоренко Виктория Викторовна – кандидат медицинских наук, психиатр высшей квалификации.

Пеньков Анатолий Павлович - к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Поддубная Ольга Александровна - Старший преподаватель кафедры “Экономическая кибернетика” Института предпринимательства “Стратегия”, г. Желтые Воды.

Рубаха Юрий Александрович - студент группы КИ-07-м, каф. ЭВМ, ФФЕКС ДНУ.

Рыбка Юрий Михайлович – старший преподаватель кафедры ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Рязанцев Олег Вадимович – к.ф.-м.н., доц. кафедра АРРТ, ДГТУ.

Салтыков Дмитрий Юрьевич - старший преподаватель кафедры прикладной и компьютерной радиофизики, ФФЕКС, ДНУ.

Сніжко Євген Матвєєвіч – к.т.н., доцент кафедри експериментальної фізики Дніпропетровського національного університету.

Соколов Артем Михайлович – м.н.с. Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, г. Киев.

Ткач М.М. – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Тонкошкур Ю.А. – студент гр. КИ-04-01, кафедра ЭВМ, ФФЕКС, ДНУ.

Шаптала Максим Валентинович – ассистент кафедры «Теплотехника» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Шугаев Валерий Александрович - к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ФФЕКС ДНУ.