

УДК 621.3

В.С. Хандецький, С.Г. Лебедев, Д.П. Сівцов

СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ АЛГОРИТМІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЕФЕКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вступ. В задачах ідентифікації сигналів та зображень дефектів використовуються нейромережні технології [1-3]. У порівнянні з іншими методами обробки сигналів вони дозволяють досягнути задовільну з точки зору практики вірогідність виявлення та ідентифікації форми дефекту. Ідентифікація базувалась на алгоритмі зворотного розповсюдження помилки та його модифікаціях. Цей алгоритм забезпечує досить високі значення вірогідності ідентифікації, але потребує багато часу на навчання і на роботу, а також значних комп'ютерних ресурсів.

Тому актуальним є порівняння нейромережних технологій, які за своїми властивостями в найбільшій мірі відповідають поставленій задачі.

Постановка задачі. Для порівняльного аналізу нейронних мереж доцільно використовувати тестові зображення дефектів простої форми. Найбільше для цього підходять зображення дефектів суцільності в непрозорих плівках, стрічках, металевій фользі, що реєструються з використанням оптичних методів [4,5]. Для реєстрації зображень дефектів доцільно використовувати матрицю невеликої площі. Ми використовували матрицю 10x10 клітин. Світлова пляма найбільшої яскравості моделювалася квадратом білого кольору (градація 5) кількість градацій сірого кольору (дифракційна картина) обмежена п'ятьма, від 0 до 5, де 0 відповідає чорному кольору.

Основна частина. Зображення дефектів подаються у вигляді білих квадратів (прямокутників) розмірами 2x2, 2x3, 3x3, 4x5, 5x5 з градацією 5. Ці прямокутники дефектів знаходяться в колі замкнутих шарів сірого кольору зі спадаючою від шару до шару градацією. Ширина кожного шару складає одну клітину.

© Хандецький В.С., Лебедев С.Г., Сівцов Д.П., 2009

Зашумлення зображення дефекту здійснюється шляхом додавання матриці з шумом до початкової матриці. Рівень шуму визначається як сума модулів різниць зашумленої та незашумленої матриць. В роботі використовуються рівні шуму $\alpha = 10, 30, 50, 70, 90$.

В процесі навчання нейронної мережі береться робочий набір, що складається з чистих, незашумлених даних, до нього додається такий же у суміші з шумом рівня 10, потім такий же з шумом рівня 30 і так далі, доки не буде отримано бажаний рівень шуму. При цьому, якщо початковий незашумлений набір містить $10 \times 10 = 100$ елементів, та навчальний набір з рівнем шуму $\alpha = 10$ містить 200 елементів, з рівнем шуму $\alpha = 50$ – 400 елементів, з рівнем шуму $\alpha = 90$ – 600 елементів.

Тестується мережа на зображенні з заданим рівнем шуму.

Для моделювання дефектів використовується 21 тип тестових зразків. Кількість варіантів робочого набору дорівнює кількості можливих варіантів розміщення зображення дефекту на матриці при умові, що це зображення повністю знаходиться на матриці. Наприклад, для зображення дефекту 3×3 кількість варіантів робочого набору складає 64. Розглянемо типи тестових зразків. Їх класифікація та описання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Типи тестових зразків

№ тестового зразку	Розміри цільового зображення	Площа даного зразку	Описання даного зразку
1	3×3	9	Квадрат розміром 3×3 клітки
2	3×3	8	Кутова праворуч клітка зовнішнього шару квадрату має градацію 4 сірого кольору
3	3×3	8	Кутова ліворуч клітка зовнішнього шару квадрату має градацію 4 сірого кольору
4	3×3	8	Центральна клітка зовнішнього шару квадрату має градацію 4 сірого кольору
5	2×3	7	Дві клітки праворуч зовнішнього шару квадрату розміром 3×3 мають градацію 4 сірого кольору
6	2×3	7	Дві клітки ліворуч зовнішнього шару квадрату розміром 3×3

			мають градацію 4 сірого кольору
7	2x2	4	Квадрат розміром 2x2 клітки
8	2x2	3	Кутова праворуч клітка квадрату розміром 2x2 має градацію 4 сірого кольору
9	2x2	3	Кутова ліворуч клітка квадрату розміром 2x2 має градацію 4 сірого кольору
10	5x5	25	Квадрат розміром 5x5 кліток
10	5x5	24	Кутова праворуч клітка зовнішнього шару квадрату має градацію 4 сірого кольору
12	5x5	23	Дві клітки праворуч зовнішнього шару квадрату мають градацію 4 сірого кольору
13	5x5	24	Центральна клітка зовнішнього шару квадрату має градацію 4 сірого кольору
14	5x5	24	Кутова ліворуч клітка зовнішнього шару квадрату має градацію 4 сірого кольору
15	5x5	23	Дві клітки ліворуч зовнішнього шару квадрату мають градацію 4 сірого кольору
16	4x5	21	Чотири клітки ліворуч зовнішнього шару квадрату розміром 5x5 мають градацію 4 сірого кольору
17	4x5	22	Три клітки ліворуч зовнішнього шару квадрату розміром 5x5 мають градацію 4 сірого кольору
1.	4x5	22	Три клітки праворуч зовнішнього шару квадрату розміром 5x5 мають градацію 4 сірого кольору
19.	4x5	21	Чотири клітки праворуч зовнішнього шару квадрату розміром 5x5 мають градацію 4 сірого кольору
20	2x3	6	Прямокутник розміром 2x3 клітки
21	4x5	20	Прямокутник розміром 4x5 клітки

Для оцінки результатів роботи мережі використовуються наступні параметри:

- Зміщення центру вихідного зображення дефекту відносно реального місцезнаходження. Для його визначення необхідно

перемістити центр вихідного зображення в точку, де зсув центрів вхідного до зашумлення й реального вихідного зображення буде мати мінімальний модуль $e_1 = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$.

- Зміна форми зображення. Після зсуву вихідного зображення в точку максимального збігу, визначається сума модулів різниць градацій у кожній точці порівнюваних цільової та реальної вихідної матриць:

$$e_2 = \sum_i \sum_j |p_{i,j} - q_{i-e_x, j-e_y}|, \quad (1)$$

де $p_{i,j}$ - градація елементів вихідної матриці в точці (i,j), $q_{i-e_x, j-e_y}$ - градація елементів цільової матриці після зсуву.

- Кількість зображень з зайвими фрагментами t. Вихідні зображення, на яких крім розпізнаного зображення дефекту з'являються окремі елементи чи кластери елементів з градацією 4 або 5, відокремлені від зображення дефекту.

- Кількість нечітких вихідних зображень s. Максимальна градація кольору в нечіткому зображенні дорівнює чи перевищує 3.

- Кількість точно розпізнаних зображень.

В процесі дослідження використовувалась наступна конфігурація комп'ютера: процесор AMD Athlon 64 X2 Dual Core 3800+, тактова частота 2 ГГц; пам'ять DDR2 1 Гб, частота 800 МГц.

Мережа прямого розповсюдження

Перевіримо здатність мережі розпізнавати зашумлені зображення. Спочатку використаємо тестовий зразок № 1. Створюється мережа зі 100 елементами в прихованому шарі. Вона навчається спочатку на незашумленому зразку, який переміщується по усіх клітинах матриці. Потім тестове зображення змішується з шумом з рівнем $\alpha = 10$. Після цього, щоб переконатись в відсутності перенавчання, відбувається повторне навчання на незашумлених даних. Далі мережа тестується на 100 наборах з $\alpha = 10$. На наступних етапах навчання і тестування проводиться з використанням шуму з $\alpha = 30, 50, 70, 90$. Ті ж самі дії повторюються для мереж з 200, 300 і 400 елементами прихованого шару.

Максимальний час навчання з шумом склав – 610, 375с, без шуму – 87,475 с.

Зайві елементи з'явилися лише на виході мережі зі 100 прихованими елементами. Це явище становиться відчутним (10,6%)

лише при рівні шуму $\alpha = 90$. При рівні шуму 70 зайві елементи з'являються у 1,6 % випадків.

Нечіткі зображення з'являються для 100 елементів прихованого шару при $\alpha = 70$ та $\alpha = 90$, а для 200 та 300 елементів прихованого шару тільки при $\alpha = 90$.

Додамо до робочого набору зразки №2 - №4. Дослідження проводиться як і у попередньому випадку. Мінімальний час навчання – 27,3 с для 100 елементів прихованого шару і рівня шуму $\alpha = 10$, максимальний – 211,3 с для 400 елементів і $\alpha = 90$. Результати роботи мережі наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати роботи мережі

Рівень шуму	Кількість елементів прихованого шару			
	100	200	300	400
	Відносне відхилення, %			
10	0.08	0.01	0.00	0.00
30	0.88	0.38	0.24	0.21
50	2.68	1.93	1.21	1.09
70	7.47	5.26	4.12	3.75
90	13.04	10.46	9.22	8.47

Відносна похибка розпізнавання дефекту у порівнянні з попереднім випадком зменшилась. Відсоток виходів мережі з зайвими елементами та відсоток нечітких зображень зменшились, але ненабагато.

Доповнимо робочий набір зразками №5 і №6. Результати роботи мережі наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати роботи мережі

Рівень шуму	Кількість елементів прихованого шару			
	100	200	300	400
	Відносне відхилення, %			
10	6.00	1.84	1.66	1.53
30	12.95	5.56	4.46	4.43
50	16.99	9.79	8.76	8.43
70	22.62	15.19	14.23	14.04
90	29.64	21.40	19.80	19.79

Мінімальний загальний час навчання дорівнює 2,7 хв. для 200 елементів прихованого шару і $\alpha = 10$, максимальний – 62,7 хв. для 200 елементів і $\alpha = 90$.

При 100 елементах прихованого шару і $\alpha = 70$ та $\alpha = 90$ з'явилися значення $e_1 > 8$, що указує на факт розпізнавання дефекту зовсім не в тому місці, де він має знаходитись, але відсоток таких випадків незначний. Збільшується кількість виходів з зайвими елементами, та кількість нечітких зображень.

Включимо до робочого набору усі тестові зразки з таблиці 1. Результати роботи мережі у цьому випадку наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати роботи мережі

Рівень шуму	Кількість елементів прихованого шару			
	100	200	300	400
	Відносне відхилення, %			
10	16.49	4.02	3.03	2.50
30	28.79	11.38	9.80	8.08
50	38.80	18.06	15.04	14.22
70	43.58	24.14	21.77	20.35
90	55.43	31.13	35.74	28.32

Мінімальний загальний час навчання складає 16,8 хв. для 200 елементів прихованого шару, і $\alpha = 10$, максимальний – 4,51 год., спостерігається для тих же 200 елементів і $\alpha = 90$.

При $\alpha = 90$ для будь-якої кількості елементів прихованого шару зустрічаються випадки розпізнавання дефекту не в тій частині матриці, де він повинен знаходитись, проте все же таки середнє значення e_1 незначне й коливається в межах 0,215 – 0,598. Найменший відсоток виходів з зайвими елементами отримано при 400 елементах прихованого шару – 0,08% для $\alpha = 90$ і 0,01% для $\alpha = 70$. При тих же умовах відсоток нечітких зображень дорівнює 0,983% для $\alpha = 90$ і 0,346% для $\alpha = 70$. Дефекти розміром 2x2 розпізнаються найгірше, зі збільшенням розмірів дефекту, якість розпізнавання покращується (рис. 1).

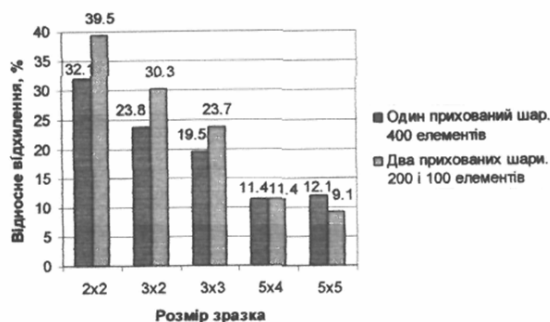


Рисунок 1- Змінення відносного відхилення у залежності від розміру зразку для мережі з одним прихованим шаром (400 елементів) і двома шарами (200 і 100 елементів). Рівень шуму $\alpha = 70$

Розглянемо мережу прямого розповсюдження з двома прихованими шарами, що працює з повним набором зразків з таблиці 1. Результати дослідження одержані з використанням тієї ж методики, наведені в таблиці 5.

Мінімальний загальний час навчання для $\alpha = 10$ склав 22,2 хв., а максимальний – 4,39 год. для $\alpha = 90$. При порівнянні результатів тестування даної з попередньою топологією мережі з одним прихованим шаром (400 елементів) видно (рис. 1), що результати розпізнавання для двох прихованих шарів гірші для зображень дефектів малої площі: 2x2, 3x2, 3x3, однакові для площі 5x4 й кращі для площі 5x5.

Таблиця 5

Результати роботи мережі

Рівень шуму	Кількість елементів першого прихованого шару			
	100		200	
	Кількість елементів другого прихованого шару			
	100	200	100	200
	Відносне відхилення, %			
10	8.62	6.62	4.22	7.19
30	16.64	15.34	11.58	15.38
50	26.83	20.81	18.66	21.21
70	34.65	27.72	25.88	27.25
90	48.18	36.97	34.00	33.84

Дослідимо вплив кількості повторних ітерацій навчання на якість розпізнавання зображень. Використовувалась мережа з одним прихованим шаром, у якому 400 елементів. Робочі зразки № 1-6.

Навчання проводиться з шумом $\alpha = 90$. Усього проводилось 5 ітерацій навчання. Після кожної з них мережа тестувалася при $\alpha = 10, 50, 90$ та здійснювався перехід на наступну ітерацію. Одержані результати знаходяться в таблиці 6.

Таблиця 6

Результати роботи мережі

Рівень шуму	Кількість повторень навчання з шумом				
	1	2	3	4	5
	Відносне відхилення, %				
10	1.46	1.52	1.62	1.45	1.48
50	7.23	7.04	7.01	6.89	6.77
90	19.4 3	17.5 3	16.4 0	16.2 6	15.91

Мережа Елмана

Всі параметри мережі вибираються такими ж як і для мережі прямого розповсюдження з одним прихованим шаром. Результати роботи мережі Елмана з тестовими зразками № 1- 4 із таблиці 1 наведені в таблиці 7.

У порівнянні з мережею прямого розповсюдження значно збільшується час навчання та тестування. Так для випадку 400 елементів прихованого шару час тестування одного зразку збільшився з 0,23 мс до 0,42 мс.

Таблиця 7

Результати роботи мережі

Рівень шуму	Кількість елементів прихованого шару			
	100	200	300	400
	Відносне відхилення, %			
10	0.15	0.01	0.00	0.01
30	1.22	0.30	0.27	0.22
50	3.22	1.49	1.34	1.14
70	6.75	4.59	4.53	3.72
90	12.67	10.3 3	9.36	8.83

Мінімальний загальний час навчання складає 64,7с для 100 елементів прихованого шару і шуму з $\alpha = 10$, максимальний – 13,7 хв. для 400 елементів і $\alpha = 90$. Суттєвого покращення розпізнавання зображень дефектів не спостерігається.

При тестуванні мережі Елмана тестові зразки з таблиці 1 подавали як в порядку зростання номеру зразка з 1 по 21, так і в

зворотньому порядку, з 21 по 1. При цьому відносно відхилення інформаційного сигналу практично не змінилося. Таким чином можна зробити висновок, що порядок пред'явлення зразків при роботі мережі не має суттєвого значення.

Мережа зустрічного розповсюдженн (з шарами Кохонена й Гросберга)

Так як кількість класів, на які розділятиме вхідні дані шар Кохонена дорівнює кількості різних цільових елементів робочого набору, то мережа зустрічного розповсюдження не навчається, а вагові коефіцієнти задаються так, щоб при подачі на вхід вхідної матриці на виході отримували цільову. Внаслідок цього перевірка роботи мережі без шуму не потрібна.

Будемо використовувати тестові зразки № 1-19 з таблиці 1. Кількість елементів шару Кохонена – 281, кількість елементів вхідного шару і шару Гросберга така як і розміри матриць з дефектами. Результати тестування наведені на рис. 2. Середній час тестування одного зразку складає 1,31 мс (для мережі прямого розповсюдження цей час дорівнював 0,21 мс).

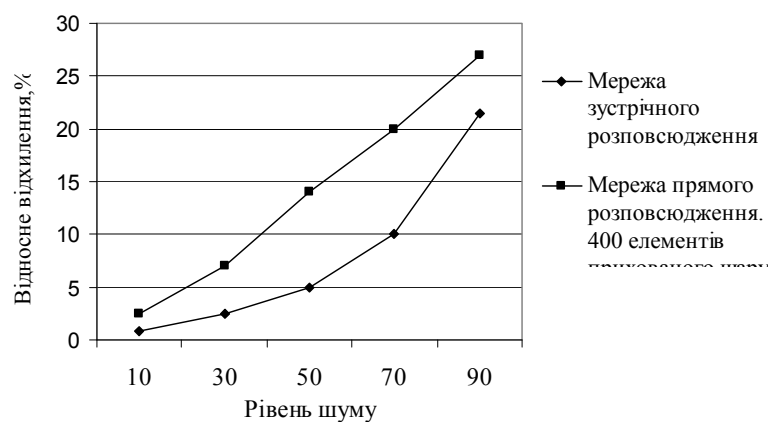


Рисунок 2 - Порівняння точності розпізнавання зображень дефектів мережами прямого й зустрічного розповсюдження

З рис. 2 видно, що відносно похибка розпізнавання зображень дефектів для мережі зустрічного розповсюдження значно нижче, особливо при малих та середніх інтенсивностях шуму.

Виводи. Серед розглянутих мереж найбільшу швидкість розпізнавання демонструє мережа прямого розповсюдження. При цьому непогані результати демонструє мережа з одним прихованим шаром. Якість роботи мережі залежить від кількості підходів

навчання з високо інтенсивним шумом, але після трьох підходів точність розпізнавання стабілізується. Кількість елементів прихованого шару залежить від кількості елементів навчального набору. Недостатня кількість цих елементів зменшує якість розпізнавання, особливо при високих рівнях шуму, проте при великій кількості збільшується час навчання.

Мережа Елмана демонструє меншу швидкість і приблизно таку ж якість розпізнавання. Мережа зустрічного розповсюдження потребує значно більших витрат часу ніж мережа прямого розповсюдження, але дозволяє отримувати кращі результати розпізнавання у ряді випадків. Проте ця мережа не здатна до узагальнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Khandetskyu V., Antonyok I. Signal processing in defectoscopy using artificial neural networks. – Proc. of 15-th World Conference of NDT. Roma, Italy, Oct. 15 - 21, 2001, pp. 118 - 122.
2. Хандецкий В.С., Антонюк И.Н. Исследование искусственных нейронных сетей для идентификации модуляционных импульсов дефектов. – Дефектоскопия, 2001, №4, с. 28 – 34.
3. Khandetskyu V., Antonyok I. Signal processing in defect detection using back-propagation neural networks.-NDTLE International, 35, 2002, pp. 483 – 488.
4. Хандецкий В.С., Конаков Е.В., Пастушкін Т.В. Розпізнавання викривлених зображень дефектів при зміні їх форм й розташування за допомогою нейронних мереж. - Системні технології. 2 (49) 2007,с. 33-39.
5. Хандецкий В.С., Сівцов Д.П. Відновлення зображень дефектів з використанням нейронної мережі Елмана – Системні технології, 2008.
6. Хандецкий В.С., Лебедев С.Г. Использование искусственного интеллекта для принятия решения о дефектности изделия. – Доклады международной конференции «Информационные технологии в управлении сложными системами». Днепропетровск, Украина, 22-23 май 2008г., с. 55 – 56.

Одержано 08.10.2008р.

УДК 621.396: 681.3.07

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

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЛЩИНЫ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ВОЗДУШНОГО СЛОЯ

Введение. Решение задач, связанных с обнаружением, распознаванием и оцениванием естественных или искусственных подповерхностных включений в слоистых диэлектрических материалах является очень актуальным. Подобная проблематика характерна для таких областей как геофизика и дефектоскопия изделий из диэлектриков. Применение для оценивания параметров подповерхностных воздушных образований методов, основанных на СВЧ измерениях, имеет ряд преимуществ: безынерционность и отсутствие непосредственного контакта. Последнее особенно важно при работе в агрессивной среде и при наличии температурных нагрузок.

Развитие современных технологий в области вычислительной техники открывает возможность повышения качества (точности и скорости обработки данных) оценивания параметров подповерхностных воздушных включений. Одним из средств достижения цели является применение нейросетевых технологий [1].

Анализ публикаций. Классические методы распознавания подповерхностных объектов базируются на применении корреляционного анализа и его модификаций [2]. Такой подход можно рассматривать как вариант анализа невязки в квадратичной метрике сигналов опознаваемого и эталонного объектов. Возможным подходом является применение согласованной фильтрации [3], которая, по сути, позволяет сформировать корреляционную функцию альтернативным способом. При этом происходит оценивание размеров воздушных включений.

В работе [4] по данным реального эксперимента в виде отсчетов комплексного коэффициента отражения на сетке дискретных частот исследуемой структуры с воздушным включением показаны

© Дробахин О.О., Доронин А.В., Короткая В.Г., 2009

преимущества нейросетевых технологий по сравнению с корреляционными методами. Однако в [4] было рассмотрено применение одной из простейших структур – сети с одним скрытым слоем нейронов. Одним из наиболее действенных методов повышения качества функционирования нейронных сетей, а, следовательно, и обеспечения точностных характеристик, является увеличение числа скрытых слоев [1].

Постановка задачи. Цель исследований – выбор оптимальной структуры (числа скрытых слоев и нейронов в них) нейронной сети для обеспечения эффективной оценки параметров подповерхностных воздушных включений.

Описание алгоритма. Анализируемая структура может быть рассмотрена как трехслойная: первый и третий слой соответствуют собственно материалу, а второй слой – слою воздуха. Исследования [4] показали, что отражение от передней грани структуры должно быть устранено из обрабатываемых данных как обеспечивающее значительную корреляцию сигналов отражения от любой структуры, независимо от наличия и параметров воздушного включения. Вследствие этого была выбрана простейшая модель отражения в виде:

$$R = r_0 \cdot e^{-j\omega t_0} + r_1 \cdot e^{-j\omega(t_0+t_1)} \quad (1)$$

r_0, r_1 – амплитуды отражений от передней и задней границ воздушного включения;

t_0 – время появления отражения от передней грани включения;

t_1 – время прохождения электромагнитной волны в воздушном слое;

ω – частота электромагнитного излучения.

Первое слагаемое в (1) соответствует отражению от второй грани первого слоя исследуемой диэлектрической структуры, а второе – отражению от первой грани третьего слоя. Данные моделирования представляли собой отсчеты комплексного коэффициента отражения на сетке дискретных частот в диапазоне от 38 до 51,8 ГГц с шагом 300 МГц (47 значений). Толщина воздушного зазора варьировался в пределах от 0,1 до 39 мм с шагом 1 мм (40 значений). Диэлектрическая проницаемость первого слоя составляла 3,6.

Обучение математических моделей нейронных сетей только с использованием действительной или мнимой части комплексного коэффициента отражения не отображает полной картины происходящих процессов. В результате при тренировке на данных,

как в частотной, так и во временной области происходит потеря информационно важной части исходных данных о коэффициенте отражения структуры. Входное множество формировалось следующим образом, действительные части комплексного коэффициента отражения чередовались с мнимыми частями для каждого значения изменяющейся частоты и искомой толщины воздушного слоя. В итоге на вход тренируемой математической модели нейронной сети подавался массив данных размерностью 94Ч40.

Для тренировки генерировалась математическая модель нейронной сети, соответственно имеющая 94 нейрона на входе сети и один нейрон на выходе, который давал оценку толщины включения.

Число нейронов во внутреннем слое (или слоях) рассчитывается исходя из соотношения [5]:

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

где L – число нейронов во внутреннем слое, N – число элементов обучающей выборки (равно 94Ч40), n – число нейронов во входном слое (равно 94), m – число нейронов в выходном слое (равно 1).

Таким образом, имеем соотношение $281 \leq L \leq 1785$.

Функции активации слоев стандартны для задач, связанных с аппроксимацией функций, а именно: логистическая (S-функция) для входного и скрытого слоев и линейная для выходного. В качестве алгоритма обучения, был выбран алгоритм масштабированных сопряженных градиентов на всем диапазоне вычисленных значений числа нейронов во внутреннем слое с шагом 25, при этом для каждой модели менялась целевая ошибка обучения, принимая значения от 10^{-2} до 10^{-4} . Каждая модель тренировалась не менее трех раз. Тестирование полученных моделей осуществлялось посредством предъявления на распознавание тестового множества сигналов для структур с известной толщиной, в диапазоне значений от 0 до 39,96 мм с шагом 0,04 мм (100 значений). Отношение сигнал/шум составляло 30 дБ.

Результаты численного моделирования и выводы. Полученные математические модели нейронных сетей, имеющие только один скрытый слой нейронов, при тестировании показали большой уровень относительной погрешности – порядка $8 \cdot 10^{-2}$ мм. При этом в процессе последовательного перебора всего диапазоне рассчитанных

значений числа нейронов во внутреннем слое с заданным шагом было получено всего несколько работоспособных моделей.

Из [1] известно, что количество нейронов для одного скрытого слоя эквивалентно произведению числа нейронов первого слоя на число нейронов во втором скрытом слое для сети с двумя скрытыми слоями. При этом возрастает общее число весовых коэффициентов синаптических связей. Иными словами, при одном и том же значении числа нейронов в скрытом слое сеть, имеющая два и более скрытых слоя, будет работать более эффективно, чем сеть с одним скрытым слоем.

Применение второго слоя обеспечило много меньший уровень относительной погрешности, при этом получение в результате тренировок эффективно работоспособных сетей носило постоянный характер, в отличие от спорадического для случая одного скрытого слоя. Если для сетей с одним скрытым слоем зависимость времени тренировки от числа нейронов в скрытом слое явно выражена (пропорционально возрастает с ростом числа нейронов), то для двух и более скрытых слоёв эта зависимость практически незаметна.

Получаемые в результате тренировки математические модели нейронных сетей с двумя скрытыми слоями при тестировании показали значительно более низкий уровень относительной погрешности. При этом в отличие от сетей с одним скрытым слоем процесс получения математических моделей нейронных сетей, способных эффективно решать поставленную задачу, носил систематический характер, то есть все три реализации сети с одними и теми же параметрами при тестировании, как правило, давали малый уровень относительной погрешности.

С целью выявления влияния соотношения числа нейронов первого и второго скрытых слоев на величину относительной погрешности оценок были проведены соответствующие исследования. За основу была принята математическая модель нейронной сети, имеющая в сумме 1000 нейронов в двух скрытых слоях. Вследствие последовательного уменьшения числа нейронов в первом слое, начиная с 100 и заканчивая 10 с шагом 10, и соответственно увеличения числа нейронов во втором слое была получена зависимость значения уровня относительной погрешности оценок нейронной сетью искомым значений толщины воздушного зазора от

соотношений числа нейронов во внутренних слоях. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение числа нейронов в первом и втором скрытых слоях	Максимальная абсолютная погрешность оценивания $\Delta_{\max}$, мм	Средняя абсолютная погрешность оценивания $\Delta_{\text{ср}}$, мм
100:10	0,04	0,027
90:11	0,045	0,032
80:13	0,08	0,04
70:14	0,085	0,044
60:16	0,023	0,017
50:20	0,025	0,019
40:25	0,038	0,024
30:34	0,052	0,031
20:50	0,27	0,12
10:100	>1	>1

Из результатов моделирования следует, что применение двух скрытых слоев при построении нейронных сетей обеспечило значительно меньший уровень абсолютной погрешности оценок, который для математической модели нейронной сети со структурой 94:60:16:1 составил $1,7 \cdot 10^{-2}$ мм. Для сравнения сети с одним скрытым слоем обеспечили соответствующую погрешность в $8 \cdot 10^{-2}$ мм. Получаемые в процессе тренировки математические модели нейронных сетей в отличие от сетей с одним скрытым слоем практически всегда обеспечивали эффективное решение задачи.

Исследования показали, что наиболее оптимальное для решения данной задачи соотношение числа нейронов в первом и втором скрытых слоях находится в пределах, соответственно, $22 \pm 5\%$ и $6 \pm 5\%$ от минимального значения расчетного числа нейронов во внутреннем слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.–1104 с.
2. Чжань Л.Ч., Моффэт Д.Л., Питерс Л. Определение характеристик подповерхностных радиолокационных объектов // ТИИЭР.– 1979.– № 7. – С. 18-29.
3. 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.
4. Drobakhin O., Doronin A. Estimation of thicknesses of subsurface air layer by neuron network technology application to reflected microwave signal // Conf.Proc.12 Int.Conf on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, Odesa,2008. – p.150-152.
5. Дьяконов В., Круглов В., Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480с.

Получено 26.10.2008г.

УДК 621.3

Н.О. Матвеева

ЦИФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ОБМЕЖЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАДМІРНОСТІ

Вступ. При здійсненні неруйнівного контролю композиційних матеріалів основні вимоги докладаються до ступеню вірогідності процесу виявлення та ідентифікації сигналу дефекту в умовах високої інтенсивності шуму. Використання для цього ефективних методів і алгоритмів обчислень накладає жорстких вимог щодо обмеженої інформаційної надмірності сигналів на різних етапах їх обробки, зокрема, завадостійкої, коли з одного боку, корегується більшість викривлень, а з іншого, – не ускладнюються суттєво використовувані апаратно-програмні засоби.

Постановка задачі. В даній роботі обґрунтовуються шляхи вдосконалення цифрової обробки ІКМ-сигналів, викривлених адитивним гауссовим шумом, за допомогою залучення обмеженої інформаційної надмірності.

Основна частина. Зменшенню початкової інформаційної надмірності ІКМ-сигналів, котрі характеризуються власними значеннями частоти Найквіста, сприяє вибір прийнятного для всього їх сімейства кроку дискретизації. Його значення, наприклад, $\sim 0,25$ мм обґрунтоване в [1] для просторових сигналів вихорострумової дефектоскопії вуглевмісних композитів.

Широковідомим методом зменшення інформаційної надмірності ІКМ-сигналів являється їх адаптивно-різницеве квантування [2, 3], для оптимальної реалізації якого – згідно із відношенням потужностей сигналу та шуму – пропонується використовувати коефіцієнт лінійного прогнозування, який дорівнює «золотому перетину» або його зворотному значенню[4]; залучати швидкі лінійні дискретні перетворення[5] .

Виникає потреба в підборі необхідного рівня інформаційної надмірності шляхом аналізу значень отриманих адаптивно-різницевих слів та їх заміни двійковими наборами із цифр $\{\pm 1\}$.

© Матвеева Н.О., 2009

Одержані послідовності володіють обмеженою надмірністю, яка з одного боку, дозволяє усувати викривлення за допомогою завадостійких кодів, а з іншого, – не ускладнює суттєво апаратно-програмну реалізацію відповідної системи цифрової обробки.

Надмірність сигналу проявляється у взаємній статистичній прогнозованості амплітуд близько розташованих відліків, а тому може бути описана функцією кореляції між дискретами [2]. Остаточною метою компресії сигналів є усунення статистичної прогнозованості їх відліків, чого можна досягнути, наприклад, коректним вибором підходящої (для досліджуваного сімейства ІКМ-сигналів) частоти дискретизації.

У разі достатньо представницької множини розглядуваних сигналів неможливо в однаковій мірі забезпечити якість їх подання вибором єдиної частоти дискретизації, а тому серед отримуваних слів адаптивно-різницевих кодів можуть зустрічатися такі, які відрізняються значною абсолютною величиною. Тому необхідно обмежувати кількість двійкових розрядів за допомогою усікання кількості розрядів подання таких слів.

У разі коректного вибору значення частоти дискретизації, по відношенню до якого має значно меншу частоту Найквіста розглядувана множина модельних(неспостворених шумами) сигналів, котрі у області визначення характеризуються достатньо широкою базою й незначною крутизною фронтів, пропонується залишати лише знаки слів адаптивно-різницевих кодів (табл. 1). Запропонована таблиця ілюструє обчислення слів адаптивно-різницевих кодів за допомогою адаптивно-модулюючих перетворень, запропонованих в [4]. Відмітимо, що обчислення адаптивно-різницевих слів і фіксація їх знаку – це різні етапи усунення надмірності.

При подвоєнні частоти дискретизації пропонується бінарне кодування адаптивно-різницевих слів, зображених жирними суцільними стрілками на рис. 1, за допомогою чотирьох можливих двопозиційних комбінацій, що складаються з цифр $\{\pm 1\}$.

Якщо на зростаючий ділянці ІКМ-сигналу наступна дискрета S_i перевершує попередню S_{i-1} за амплітудою:

а) більше ніж у $\varpi \approx 1.618...$ разів, то використовується комбінація $(++)_{\varpi}$, яка має фіксоване значення $\varpi + 1 = \varpi^2 \approx 2.618...$ (рис. 1а);

б) лише безпосередньо, то залучається комбінація $(+ -)_{\varpi}$ із незмінним значенням $\varpi - 1 = \varpi^{-1} \approx 0.618...$ (рис. 1б).

Якщо на спадаючий ділянці ІКМ-сигналу попередній відлік S_{i-1} , зменшений у ϖ разів, менше як на рис.1в (або більше як на рис. 1г) за амплітудою ніж подальша дискрета S_i , то використовується комбінація $(- +)_{\varpi}$ (або комбінація $(- -)_{\varpi}$) з фіксованим значенням $-\varpi + 1 = -\varpi^{-1} \approx -0.618...$ (або значенням $-\varpi - 1 = -\varpi^2 \approx -2.618...$), відповідно

Таблиця 1

Дельта-модуляція ІКМ-сигналу при незмінній та подвоєній частоті дискретизації

	Si	Ч1		Ч2		
		$X_i = S_i - \alpha S_{i-1}$	ДМ1	$S_i - S_{i-1}$	$S_i - \alpha S_{i-1}$	ДМ2
	2	$2 - \varpi \cdot 1 > 0$	+			+
	4	$4 - \varpi \cdot 2 > 0$	+			+
	10	$10 - \varpi \cdot 4 > 0$	+			+
	27	$27 - \varpi \cdot 10 > 0$	+			+
	70	$70 - \varpi \cdot 27 > 0$	+			+
	178	$178 - \varpi \cdot 70 > 0$	+			+
	85	$85 - \varpi \cdot 178 < 0$	-	$85 - 178 < 0$	$85 - \varpi \cdot 1 \cdot 178 < 0$	-
	30	$30 - \varpi \cdot 185 < 0$	-	$30 - 85 < 0$	$30 - \varpi \cdot 1 \cdot 85 < 0$	-
	24	$24 - \varpi \cdot 1 \cdot 30 > 0$	+	$24 - 30 < 0$	$24 - \varpi \cdot 1 \cdot 30 > 0$	-
	80	$80 - \varpi \cdot 24 > 0$	+			+
	192	$192 - \varpi \cdot 80 > 0$	+			+
	88	$88 - \varpi \cdot 192 < 0$	-	$88 - 192 < 0$	$88 - \varpi \cdot 1 \cdot 192 < 0$	-
	36	$36 - \varpi \cdot 1 \cdot 88 < 0$	-			-
	12	$12 - \varpi \cdot 1 \cdot 36 < 0$	-			-
	5	$5 - \varpi \cdot 1 \cdot 12 < 0$	-			-

Таким чином, слова АРІКМ-коду, які належать чотирьом різним діапазонам значень апроксимуються за допомогою відповідних фіксованих двопозиційних комбінацій.

У другій частині табл. 1 ілюструється процес отримання дельта-модульованої послідовності ДМ₂ із подвоєною частотою дискретизації. Якщо при значенні коефіцієнта прогнозування $\alpha=\omega$ (значенні $\alpha=\omega^{-1}$) результат порівняння у лівій частині табл. 1 – додатній (від’ємний), то можна безпосередньо залучати комбінацію $(++)_{\omega}$ (комбінацію $(--)_\omega$); у решті випадків необхідно використовувати додаткові нерівності.

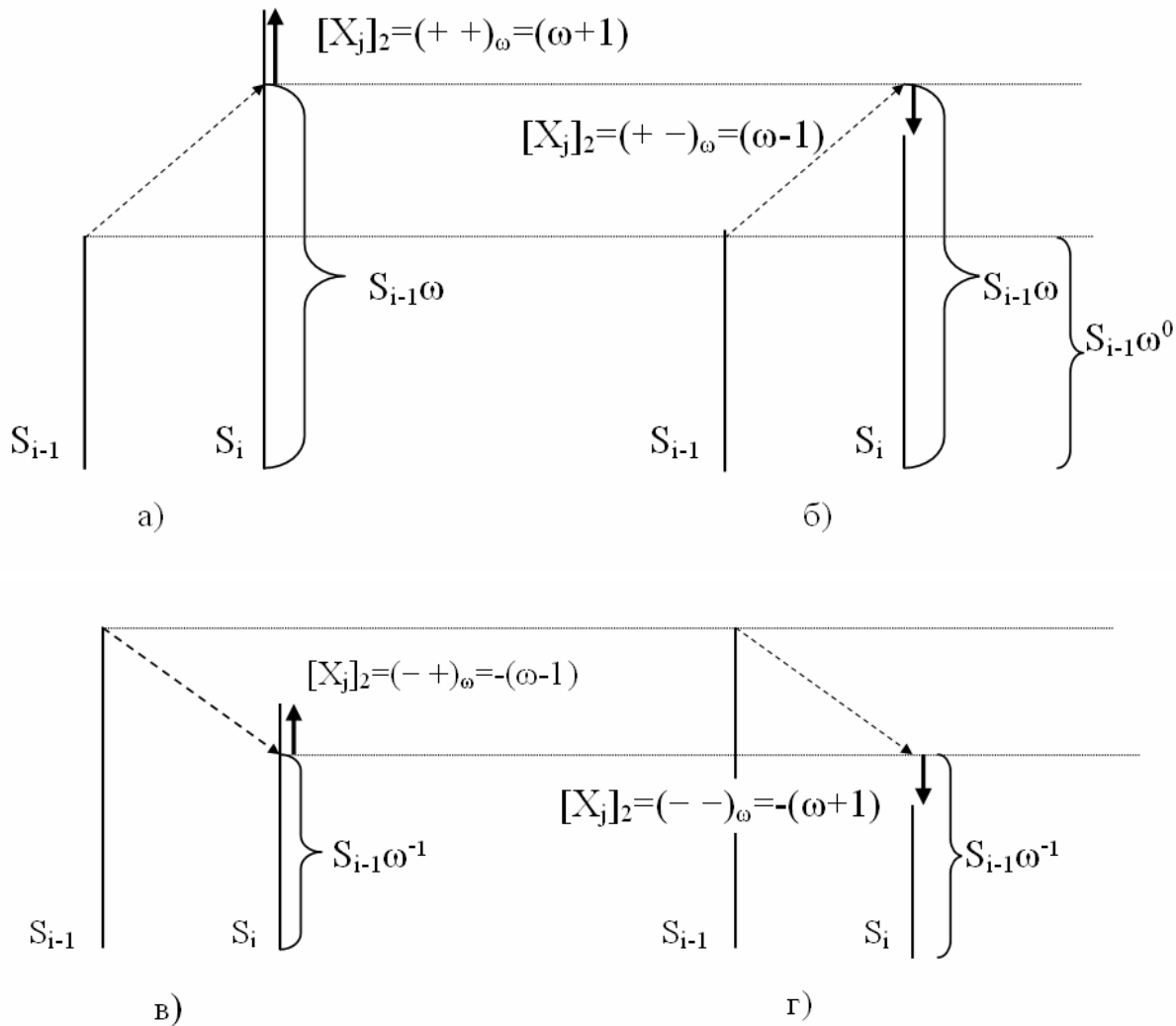


Рисунок 1 - Принцип бінарного кодування адаптивно-різницевих слів (жирні стрілки) із подвоєнням частоти дискретизації на ділянках ІКМ-сигналу а, б – зростаючих; в, г – спадаючих

Зокрема, у рядках 1-6 і 10, 11 має місце ситуація, відображена на рис. 1а, а тому залучається комбінація $(++)_{\omega}$. У сьомому (дванадцятому) рядку дискрети S_7 та S_6 (S_{12} та S_{11}) слід додатково

порівняти: спочатку безпосередньо, а потім – при зменшенні S_6 (S_{11}) в ϖ разів; оскільки в обох випадках результат порівняння негативний, використовується комбінація $(- -)_{\varpi}$. Ситуація у рядках з номерами 8, 13-15 відображена на рис. 1г, а тому необхідно залучати комбінацію $(- -)_{\varpi}$. У дев'ятому рядку достатньо безпосереднього порівняння S_9 і S_8 , щоб обрати комбінацію $(- +)_{\varpi}$ (рис. 1в).

Висновки. З метою підвищення обчислювальної ефективності методів і алгоритмів обробки, спрощення складності розроблюваних апаратно-програмних засобів, а також скорочення терміну отримання результатів, зокрема, вихорострумової дефектоскопії композитних матеріалів, запропонована цифрова обробка ІКМ-сигналів із залученням обмеженої інформаційної надмірності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хандецкий В.С. Выявление слоев с повышенной концентрацией микротрещин в углеродсодержащих композитах вихретоковым методом. // Механика композитных материалов. – 1992. №6. – С. 741-749.
2. Применение цифровой обработки сигналов /Под ред. Э.Оппенгейма. – М.: Мир, 1980. – 552 с.
3. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов. радио, 1979. – 312 с.
4. Пащенко В.А., Матвеева Н.А. Семейство адаптивно-модулирующих дискретных преобразований реального времени //Системные технологии: Рег. межвуз. сб. научн. трудов. – 1(42). – Днепропетровск, 2006. – С. 12-23
5. Дагман Э.Е., Кухарев Г.А. Быстрые дискретные ортогональные преобразования. – Новосибирск: Наука, 1983. – 256 с.

Отримано 11.12.2008р.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГРАМНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ АЛГОРИТМУ СТИСКАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖІ КОХОНЕНА В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ І МОВОЮ С

Одним з програмних засобів, що дозволяють моделювати роботу штучних нейронних мереж, є пакет MATLAB і його розширення Neural Networks Toolbox, який містить засоби для проектування, моделювання, навчання й використання великої кількості штучних нейронних мереж: від базових моделей персептрона до найсучасніших асоціативних мереж і мереж, що самоорганізуються.

Отже, ідея векторного квантування полягає в наступному [1,2]. Зображення розбивається на квадратні блоки, наприклад 2×2 , 4×4 або 8×8 . Кожен блок розглядається як вектор в 4-мірному, 16-мірному або 64-мірному просторі. Із цього простору вибирається обмежена кількість векторів, які утворюють кодову книгу, але так, щоб з найбільшою точністю апроксимувати вектори, які видаляються з вихідного зображення. У канал зв'язку або файл записуються номери векторів з кодової книги, які мають найменшу відстань від векторів, які вилучаються із вхідного зображення, і сама кодова книга. Оскільки векторів у кодовій книзі значно менше загальної кількості векторів у вихідному зображенні, то для представлення номера вектора витрачається менше біт, ніж для початкового вектора. За рахунок цього й досягається стискання. Ідеальним варіантом для вирішення цієї задачі є нейронні мережі, запропоновані Кохоненом.

Мережа Кохонена дозволяє виділяти схожі фрагменти даних у класи. Номер класу звичайно займає набагато менше місця в пам'яті, ніж ядро класу. Якщо передати одержувачеві всі ядра класів і номери класів, що кодують кожен фрагмент даних, то дані можуть бути відновлені. При цьому якщо число класів менше числа різних фрагментів даних, тоді неминучі втрати. Тому мережу Кохонена можна застосувати для стискання зображень із втратами.

Вихідне зображення ділиться на невеликі квадратні фрагменти, розміром декілька пікселів. Створюється шар Кохонена. Кількість входів нейронної мережі повинна збігатися з кількістю пікселів в одному квадратному фрагменті. Якщо нейронів у шарі Кохонена буде стільки, скільки різновидів фрагментів може зустрітися в зображенні, то реалізувати стискання буде не можливо, тому що отримана матриця класів буде займати стільки ж місця, скільки й вихідне зображення. Щоб застосування шару Кохонена забезпечило гарні результати стискання зображення, кількість нейронів (а значить і число класів) у ньому повинна бути менше числа можливих різновидів фрагментів.

Мережа вчиться активувати один і той самий нейрон для подібних фрагментів. Активується той нейрон, що відповідає класу, до якого віднесений даний фрагмент зображення. При навчанні мережа сама формує ядра класів, тобто набір фрагментів, з яких будується зображення. Чим більше розмір фрагментів, на які розбивається зображення, і чим менше нейронів у шарі Кохонена, тим вище ступінь стискання, але також і більші втрати при декодуванні, тобто гірше якість відновленого зображення.

Щоб порівняти ефективність програмних реалізацій розробленого алгоритму стискання зображень з використанням нейронних мереж в середовищі MATLAB із застосуванням засобів пакета Neural Networks Toolbox і мовою C, в якості тестового береться монохромне зображення розміром 100×100 пікселів. Це зображення розбивається на квадратні блоки розміром 2×2 пікселя, число нейронів при тестуванні змінюється від 2 до 1024. При оцінці ефективності різних реалізацій варто враховувати час стискання (тобто тривалість процесу кодування) і якість відновленого зображення, кількісною мірою якого є величина PSNR – пікове відношення сигналу до шуму.

У таблиці 1 представлені результати роботи алгоритму стискання зображень, реалізованого за допомогою засобів пакета Neural Networks Toolbox.

Таблиця 1

Результати тестування алгоритму стискання, реалізованого в середовищі MATLAB

Розмір блоку	Число нейронів	Час стискання, с	Час декодування, с	PSNR	RMSE	Максимальне відхилення
2x2	2	580,19	0,063	16,008	40,375	161
2x2	4	581,06	0,062	18,634	29,842	148
2x2	8	589,7	0,063	20,194	24,936	150
2x2	16	606,17	0,063	21,764	20,814	121
2x2	32	635,81	0,063	23,317	17,406	104
2x2	64	691,03	0,063	24,852	14,587	97
2x2	128	788,52	0,063	26,5	12,066	87
2x2	256	1038,4	0,062	28,468	9,6195	60
2x2	512	1356	0,062	30,002	8,0617	68
2x2	1024	2011,5	0,047	29,115	8,9292	71

У таблиці 2 представлені результати роботи алгоритму стискання зображень, реалізованого за допомогою функції, що моделює роботу шару Кохонена, яка написана мовою С.

Таблиця 2

Результати тестування алгоритму стискання, реалізованого мовою С

Розмір блоку	Число нейронів	Час стискання, с	Час декодування, с	PSNR	RMSE	Максимальне відхилення
2x2	2	1,484	0,016	16,029	40,278	166
2x2	4	2,609	0,015	18,654	29,775	144
2x2	8	5,141	0,016	20,255	24,763	149
2x2	16	10,469	0,015	21,764	20,812	113
2x2	32	21,187	0,016	23,292	17,456	93
2x2	64	42,078	0,016	24,802	14,67	87
2x2	128	83,032	0,015	26,522	12,034	79
2x2	256	164,97	0,015	28,354	9,7459	70
2x2	512	329,17	0,016	30,351	7,7442	63
2x2	1024	659,19	0,016	32,352	6,151	54

Графік залежності часу стискання від числа нейронів для різних реалізацій алгоритму представлений на рис. 1. Як видно із

графіка на рис. 1, реалізація алгоритму стискання зображень мовою C є більш ефективною в плані швидкодії.

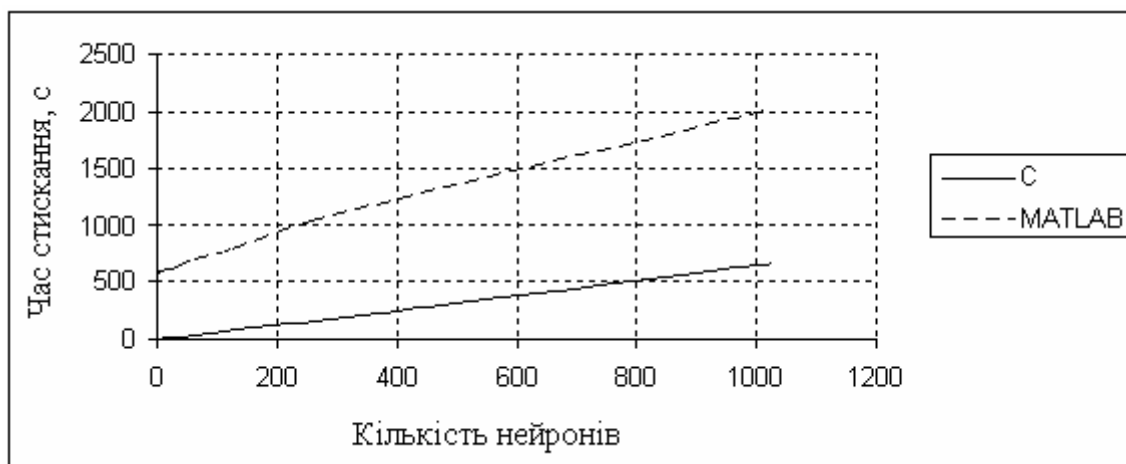


Рисунок 1 - Залежність часу стискання від числа нейронів

При однакових параметрах стискання (розмір блоку й число нейронів) швидкість процесу кодування в цьому випадку в 3 - 300 разів більше аналогічної характеристики при використанні готових функцій MATLAB для роботи з нейронними мережами. При цьому, чим менше число нейронів використовується, тим більше різниця у швидкодії. На рисунку 2 представлений графік залежності якості відновленого зображення (PSNR) від числа нейронів.



Рисунок 2 - Залежність якості зображення від числа нейронів

Як видно із графіка на рисунку 2, при використанні до 256 нейронів включно обидві реалізації алгоритму демонструють приблизно однакові результати якості відновленого зображення.

Проте для 512 нейронів і більше реалізація мовою С показує кращі результати.

Таким чином, на підставі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що реалізація алгоритму стискання зображень за допомогою нейронних мереж мовою С є більш ефективною, оскільки в цьому випадку забезпечується більш швидке кодування (в 4 - 10 разів для найбільш оптимальної кількості нейронів), а якість відновленого зображення при певних параметрах стискання виявляється більш високою. Реалізація в середовищі MATLAB з використанням готових функцій для роботи із нейронними мережами з пакета Neural Networks Toolbox вимагає значно більшого часу на виконання процесу ущільнення, тому для проведення досліджень використовувалася реалізація мовою С.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М: Техносфера, 2004. – 368с.
2. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 384 с.

Одержано 15.11.2008р.

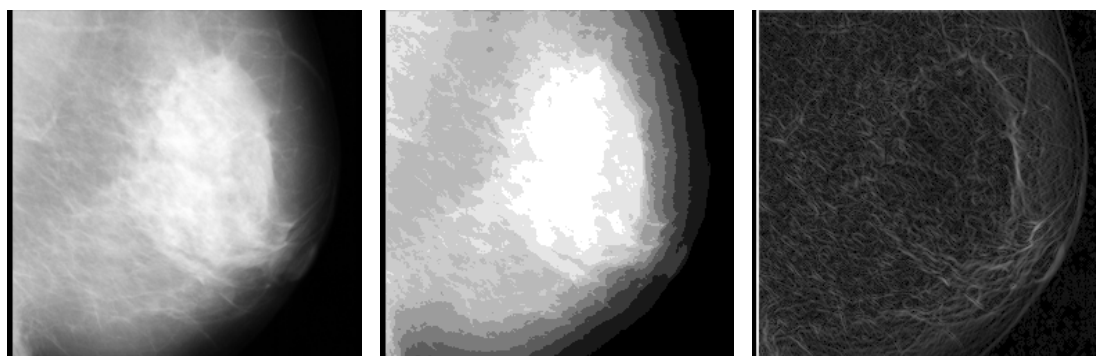
УДК 004.93

Л.Г. Ахметшина, И.М. Мацюк

ВЫДЕЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ОБЛАСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ МОДУЛЯЦИОННОГО ГРАДИЕНТНО-ФАЗОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Постановка проблемы. Визуальный анализ различных типов слабо- контрастных изображений (медицина, геофизика, неразрушающий контроль) во многих случаях диктует необходимость обнаружения и выделения скрытых, визуально неразличимых областей интереса (патологии, геофизические аномалии, дефекты).

Один из подходов при решении подобного класса задач – методы сегментации на основе использования алгоритмов нечетких С-средних, нейросетевого анализа [1] и различных типов градиентных преобразований [2, 3]. Однако в случаях, когда анализируемое изображение характеризуется сложным структурным фоном и шумом, что приводит к крайне незначительным перепадам яркостей на границе области интереса, прямое использование этих методов, как это видно из рис. 1, не обеспечивает достаточной чувствительности при выделении объектов интереса и их детализации (в данном случае это яркий участок в центральной части изображения).



а)

б)

в)

Рисунок 1- Маммограмма: а – оригинал; б – результат сегментации методом нечетких С-средних (10 кластеров); в – модуль градиентного преобразования

Данное обстоятельство диктует необходимость разработки новых методов выделения слабоконтрастных участков изображений, сочетающих высокую чувствительность и, одновременно, устойчивость к влиянию неоднородных фоновых компонент.

В целях повышения чувствительности визуального анализа слабоконтрастных изображений $I(x, y)$ в [4] было предложено использовать модуляционное преобразование вида

$$A(x, y) = \exp(j\pi I(x, y) / \lambda) = \exp(j\varphi(x, y)), \quad (1)$$

где λ – параметр модуляционного преобразования. Модуль векторного преобразования (1) всегда равен единице, а угол поворота определяется соотношением яркости конкретной точки изображения и величины параметра преобразования λ . Малые значения λ позволяют преобразовать небольшие вариации яркости исходного изображения $I(x, y)$ в большие величины угла фазового поворота $\varphi(x, y)$ вектора $A(x, y)$. Выбор λ определяется как особенностями самого анализируемого изображения, так и поставленными задачами при его анализе. Как показали эксперименты, наилучший результат обеспечивается при значении $\lambda \approx 1.2[I_{\max}(x, y) - I_{\min}(x, y)]$, где $I_{\max}$ и $I_{\min}$ – границы изменений яркостей области потенциального интереса.

Базируясь на идее модуляционного преобразования (1) и введении виртуального когерентного опорного поля в работах [5 - 7] была проведена аналогия с методом фазоконтрастной микроскопии Цернике, что позволило расширить границы динамического диапазона изменения яркости слабоконтрастных изображений более чем в 20 раз и повысить контрастность синтезированных изображений. Однако в рамках данного метода повышается лишь общая чувствительность визуального анализа, а не решается задача выделения скрытых областей потенциального интереса. Помимо этого, в качестве информативной характеристики используется модуль векторной суммы или разности и не рассматриваются их фазовые характеристики.

Целью работы является демонстрация информативных возможностей нового метода модуляционного градиентного фазового преобразования при выделении скрытых областей потенциального интереса слабоконтрастных изображений, являющегося более чувствительным и устойчивым, по сравнению рассмотренными выше подходами.

Основная часть. Алгоритм предлагаемого метода включает в себя следующие этапы.

1. Выбирается область потенциального интереса и на основании граничных значений ее яркости определяется значение модуляционного параметра λ .

2. На основании выражения (1) рассчитывается фазо-пространственная характеристика $\varphi(x, y)$ анализируемого изображения $I(x, y)$.

3. К синтезированной фазовой характеристике $\varphi(x, y)$ применяется операция градиентного преобразования

$$\psi(x, y) = \frac{\partial \varphi(x, y)}{\partial x} + j \frac{\partial \varphi(x, y)}{\partial y}. \quad (2)$$

Модуль функции $\psi(x, y)$ рассматривается в виде новой информативной характеристики.

На рис. 2 а, б представлены результаты обработки маммограммы (рис. 1, а) при значении параметра модуляции $\lambda = 0.19$ в сопоставлении с контурным графическим представлением анализируемого изображения в 16 уровнях градации яркостей (рис. 2 в).

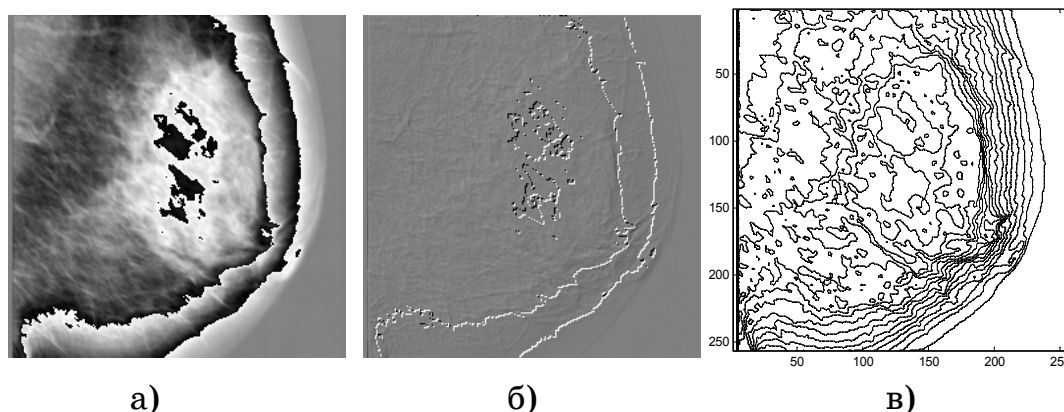


Рисунок 2 - Преобразование маммограммы: а – $\varphi(x, y)$; б – $\psi(x, y)$; в – контурное отображение исходного изображения в 16 уровнях градации яркостей

Фазо-пространственная характеристика $\varphi(x, y)$ позволила выделить скрытые области потенциального интереса, но не устранила фоновую составляющую, тогда как градиентно-фазовое преобразование при визуализации характеристики $\psi(x, y)$ выделило эти области и устранила фон. На контурном отображении

анализируемого изображения (рис. 2 в) область интереса практически невозможно выделить из других областей.

На рис. 3 представлены результаты обработки рентгеновской томограммы головного мозга. На исходном изображении хорошо видна гематома (показана стрелкой), целью анализа является определение области ее влияния, которая совершенно неразличима на исходном изображении. Применение классического варианта градиентного преобразования (рис. 3 б), как и в предыдущем случае, не приводит к выделению скрытого объекта интереса, тогда как модуляционное градиентно-фазовое преобразование (рис. 3 в) четко его выделяет.

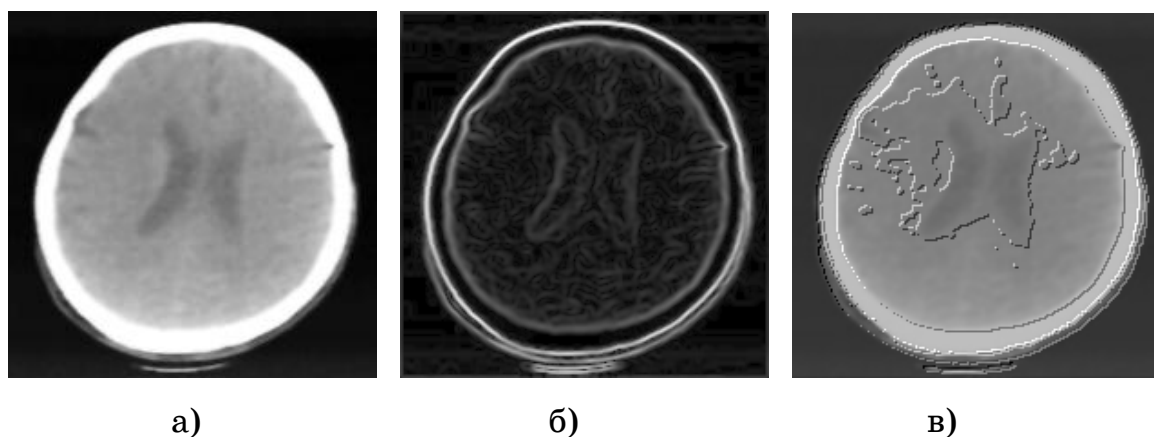
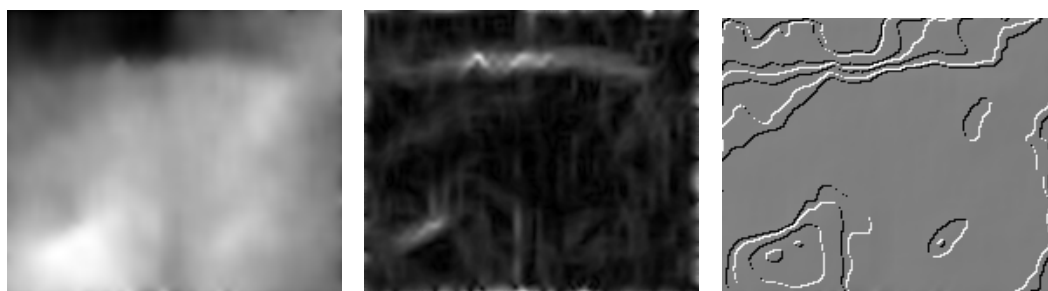


Рисунок 3 - Томограмма головного мозга: а – оригинал; б – модуль градиентного преобразования; в – $\psi(x, y)$

Дополнительные особенности предложенного метода демонстрирует пример обработки изображения геофизического поля участка земной поверхности, представленного на рис. 4 а, для которого использование градиентного преобразования не позволило выделить ни одну из скрытых областей возможных аномалий (рис. 4 б). Визуализация характеристик градиентно-фазового преобразования (рис. 4 в) выделяет несколько скрытых областей потенциального интереса.

На рис. 5 представлены амплитудно-пространственные срезы 135-ой строки изображений рис. 4, из рассмотрения которых следует, что классическое градиентное преобразование слишком чувствительно к неоднородностям фона. Данное обстоятельство не позволяет использовать его для выделения скрытых областей интереса, тогда

как градиентно-фазовое преобразование оказывается устойчивым к их влиянию.

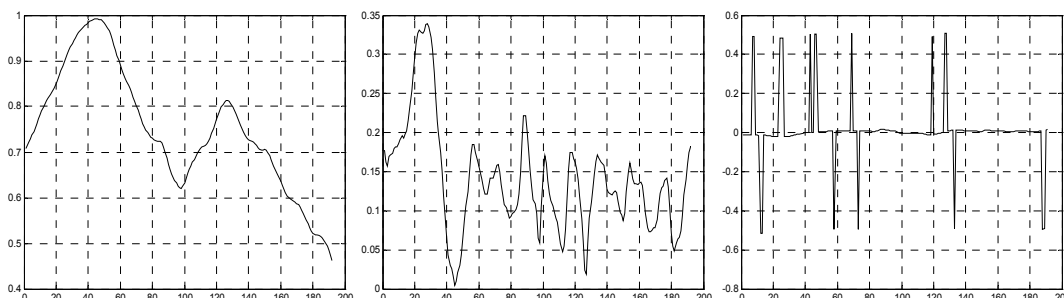


а)

б)

в)

Рисунок 4 - Изображение геофизического поля: а – оригинал; б – модуль градиентного преобразования; в – $\psi(x, y)$



а)

б)

в)

Рисунок 5 - Амплитудно-пространственные срезы 135-ой строки соответствующие изображениям на рис. 4

Однако следует подчеркнуть, что если фон является однородным или плавно изменяющимся, то простое градиентное преобразование является также эффективным при выделении скрытых областей, что демонстрируется на рис. 6 на примере обработки численной модели, которая имеет 7 скрытых областей, из которых только три являются визуально различимыми. Остальные области имеют вариации яркостей в пределах 1%, что в соответствии с законом Вебера [3], не позволяет их визуально идентифицировать.

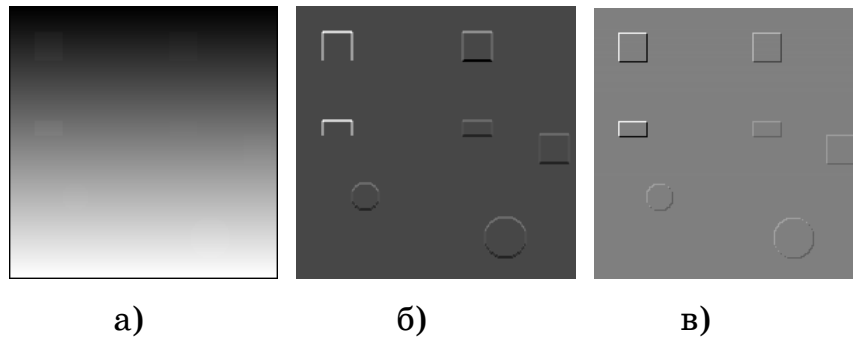


Рисунок 6 - Численная модель: а – оригинал; б – модуль градиентного преобразования; в - $\psi(x, y)$

Модуль градиентного преобразования позволил выделить все скрытые участки, но при этом на двух левых участках неопределена нижняя граница. Использование нового метода градиентно-фазового преобразования с визуализацией характеристики $\psi(x, y)$ позволяет идентифицировать эти участки именно как конкретные области, а не линии.

Выводы. На основании проведенных исследований и представленных экспериментальных результатов можно заключить следующее.

1. Метод модуляционного градиентно-фазового преобразования слабоконтрастных изображений позволяет выделять скрытые области потенциального интереса и является устойчивым к влиянию неоднородного фона.

2. Чувствительность метода может регулироваться параметром модуляции, значения которого зависят от крайних значений перепадов яркости зоны возможного интереса.

3. Применение классического варианта градиентного преобразования для выделения скрытых областей целесообразно лишь в случае однородного или плавно изменяющегося фона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение: современный подход / Форсайт Д., Понс Ж. – М.: – С.- П.; – К: Вильямс, 2004. – 926 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
3. Pratt W.K. Digital Image Processing / Pratt W.K. – New York; – Chichester; – Weinheim; – Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.

4. Ахметшина Л.Г. Информационные возможности модуляционного преобразования при сегментации мультиспектральных изображений / Ахметшина Л.Г. // Системні технології. – 2004. – № 6. – С. 122-127.
5. Ахметшина Л.Г. Геометрические методы повышения качества слобоконтрастных изображений в плоскости комплексных яркостей / Ахметшина Л.Г., Ахметшин А.М., Мацюк И.М. // Геометричне та комп'ютерне моделювання.– 2007. – Вип. 18. – С. 41– 46.
6. Ахметшина Л.Г. Адаптивный интерференционный метод повышения яркостного разрешения низкоконтрастных изображений / Ахметшина Л.Г., Ахметшин А.М., Мацюк И.М. // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2007. № 27. – С. 202-207 .
7. Ахметшина Л.Г. Интерференционные методы повышения качества и чувствительности анализа низкоконтрастных изображений на основе комплексной фазовой модуляции яркостей / Ахметшина Л.Г., Ахметшин А.М., Мацюк И.М. // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3 . – С. 194– 204.

Получено 21.11.2008г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Введение. Важнейшей задачей, решаемых при обработке данных различного рода, является задача кластеризации. В настоящее время существует множество способов ее решения, среди которых можно выделить нечеткую кластеризацию, поскольку ее применение позволяет учитывать различного рода неопределенности, которые всегда существуют при решении реальных задач.

Нечеткая кластеризация вводит понятия нечетких кластеров и функции принадлежности объектов к ним, которая изменяется в интервале $[0,1]$, что позволяет оценить степень принадлежности объекта к тому или иному кластеру. В результате работы алгоритма FCM всем объектам ставится в соответствие вектор из функций принадлежности к каждому кластеру, на основе которого можно сделать выводы о природе данного объекта [1].

Первым и до сих пор широко используемым методом, применяемым для решения задачи кластеризации, является алгоритм FCM, для которого разработано множество модификации, позволяющих учитывать специфику исходных данных.

В случае применения нечеткой кластеризации важным этапом является визуализация ее результатов, включающая в себя аккумуляцию и дефагификацию, которые являются завершающими фазами процесса нечеткого вывода [1]. При выполнении визуализации может ставиться как задача получения качественного распределения между нечеткими кластерами векторов исходных данных, так и задача формирования детализированного выходного изображения на основании значений функций принадлежности, которые рассматриваются как новое пространство информативных признаков, полученных на основе векторов исходных данных. Традиционно для решения первой задачи применяются методы

визуализации, формирующие выходное изображение на основании значений центров нечетких кластеров и функций принадлежности исходных данных к ним.

Решение же последней задачи неоднозначно, потому что зависит как от исходных данных, так и от способа аккумуляции (дефазификации) значений функции принадлежности, например, визуализация по максимуму среди ее значений, метод сравнения с исходными данными [2], что и определяет актуальность поиска новых решений.

При цифровой обработке изображений особый интерес представляют методы визуализации, которые позволяют учесть специфику исходных данных, а именно, топологические свойства.

Постановка задачи. Целью данной работы является описание двух новых методов визуализации результатов нечеткой кластеризации: метода отслеживания изменения функции принадлежности и метода, основанного на вычислении λ -суммы [1], а также сравнение результатов, получаемых на их основе с традиционно используемыми подходами.

Решение задачи. Одним из способов визуализации является метод максимумов, суть которого заключается в поиске наибольшего значения функции принадлежности к нечетким кластерам для каждого вектора исходных данных. Модель выходного изображения в этом случае имеет вид:

$$I_{x,y} = \max_k (\mu_{i,k}), k \in [1..c], i \in [1..N], \quad (1)$$

где $\mu_{i,k}$ – значение функции принадлежности к нечеткому кластеру k для i -го вектора исходных данных; $I_{x,y}$ – значение пикселя с координатами x, y выходного изображения; c – количество нечетких кластеров; N – количество векторов исходных данных.

При использовании метода визуализации на основе сравнения с исходными данными модель выходного изображения формируется следующим образом:

$$I_{x,y} = \left| \sqrt{\sum_{j=1}^L (D_{i,j})^2} - \sum_{k=1}^c (C'_k * \mu_{i,k}) \right|, i \in [1..N], \quad (2)$$

где $D_{i,j}$ – j -я компонента i -го вектора исходных данных, L – количество компонент (размерность) каждого вектора исходных данных, а значение C'_k вычисляется по следующей формуле:

$$C'_k = \sqrt{\sum_{j=1}^L (C_{k,j})^2}, k \in [1..c], \quad (3)$$

где $C_{k,j}$ – j -я компонента центра k -го нечеткого кластера.

Важнейшим свойством изображений является существование топологических свойств, что позволяет использовать понятие «геометрическая близость» при их обработке. На этом основан предложенный метод отслеживания изменений функции принадлежности, в результате применения которого модель выходного изображения формируется следующим образом:

$$I_{x,y} = \sqrt{(dx_{x,x+1})^2 + (dy_{y,y+1})^2}, \quad (4)$$

где $dx_{x,x+1}$ и $dy_{y,y+1}$ представляют собой изменения значений функций принадлежности для соседних по соответствующей оси векторов исходных данных.

Одним из традиционных способов определения близости в n -мерном пространстве является Евклидово расстояние:

$$d_{i,i+1} = \sqrt{\sum_{k=1}^c (\mu_{i,k} - \mu_{i+1,k})^2}, i \in [1..N], \quad (5)$$

где $\mu_{i,k}$, $\mu_{i+1,k}$ – значения функции принадлежности к нечеткому кластеру k для i -го и $i+1$ -го векторов исходных данных, соответственно; $d_{i,i+1}$ – расстояние между соседними точками по каждой оси в пространстве значений нечеткой функции принадлежности векторов исходных данных к одному из c нечетких кластеров.

Использование угловой метрики для определения геометрической близости изменяет качество полученных результатов. В этом случае угол между двумя векторами в n -мерном пространстве определяется следующим образом:

$$\alpha_{i,i+1} = \arccos \left(\frac{\sum_{k=1}^c (\mu_{i,k} * \mu_{i+1,k})}{\sqrt{\sum_{k=1}^c (\mu_{i,k})^2 * \sum_{k=1}^c (\mu_{i+1,k})^2}} \right), i \in [1..N], \quad (6)$$

где $\alpha_{i,i+1}$ – угол между двумя векторами, заданными своими координатами в c -мерном пространстве (координаты образуются значениями функции принадлежности векторов исходных данных к каждому из c нечетких кластеров), полученный на основании определения его косинуса с использованием скалярного произведения векторов.

В качестве еще одного способа визуализации результатов нечеткой кластеризации может выступать предложенный в этой работе метод, основанный на вычислении λ -суммы:

$$I_{x,y} = S_i, i \in [1..N], \quad (7)$$

причем S_i вычисляется по следующей рекуррентной формуле:

$$S_{i,1} = \mu_{i,1}, i \in [1..N], \quad (8)$$

$$S_{i,k} = S_{i,k-1} * (1 - \lambda_i) + \mu_{i,k} * \lambda_i, i \in [1..N], k \in [2..c]. \quad (9)$$

Значение λ_i при этом вычисляется для каждого вектора исходных данных следующим образом:

$$\lambda_i = \frac{\max_k(\mu_{i,k}) + \min_k(\mu_{i,k})}{2}, i \in [1..N], k \in [1..c], \quad (10)$$

где $\max_k(\mu_{i,k})$ и $\min_k(\mu_{i,k})$ – максимальное и минимальное значение функции принадлежности для i -го вектора исходных данных.

Экспериментальные результаты были получены на примере обработки трех изображений: модельного, содержащего семь неразличимых или частично различимых объектов интереса на неравномерном фоне (рис. 1 а), маммограммы (рис. 2 а) и инфракрасного изображения интегральной микросхемы (рис. 3 а).

Количество нечетких кластеров c в эксперименте было выбрано равным 10 для модельного изображения и инфракрасного изображения интегральной микросхемы, а для маммограммы $c = 7$. Нечеткая кластеризация проводилась при помощи алгоритмом SOM-FCM [3], при этом параметр $m = 2$, пороговое значение $\varepsilon = 10^{-5}$, максимальное количество итераций алгоритма – 100. При использовании выбранного алгоритма кластеризации перед применением карты Кохонена осуществлялось двукратное увеличение числа кластеров. Впоследствии выбирались c кластеров, которые имели максимальное количество относящихся (имеющих

минимальное Евклидово расстояние) к ним векторов исходных данных [4].

На рис. 1 б – 1 е представлены результаты кластеризации модельного изображения. Используемые методы визуализации дают различные результаты, однако, применение метода отслеживания изменений функции принадлежности (рис. 1 г – 1 д) обеспечило четкое выделение всех объектов интереса, в то время как использование остальных методов не позволяет выявить все скрытые объекты.

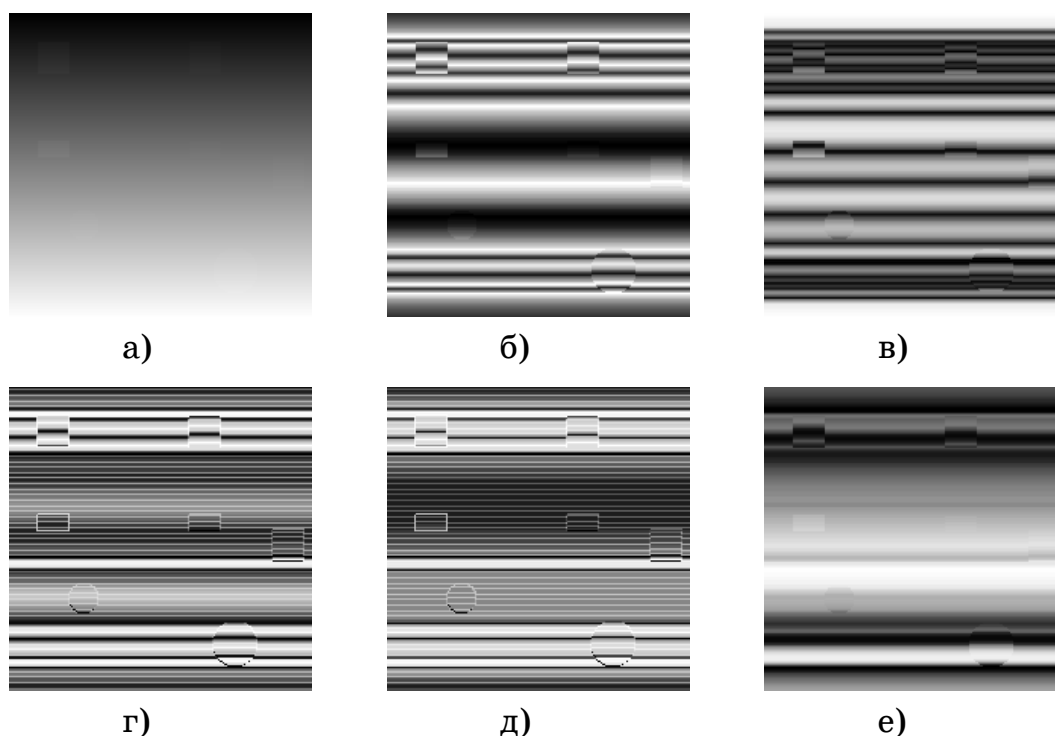


Рисунок 1 - а) – исходное модельное изображение; визуализация результатов нечеткой кластеризации различными методами: б) максимумов; в) сравнения с исходными данными; отслеживания изменений функции принадлежности на основании: г) – угла (б); д) - Евклидова расстояния (5); е) – основанным на вычислении λ -суммы

На рис. 2 б – 2 е представлены результаты кластеризации маммограммы. Следует отметить, что в данном случае метод сравнения с исходными данными (рис. 2 в) и метод, основанный на использовании λ -суммы (рис. 2 е), обеспечивают более высокую степень детализации области интереса. В то же время использование метода отслеживания изменений функции принадлежности (рис. 2 г – 2 е) оказывается малоэффективным и не позволяет поднять уровень

детализации области интереса в сравнении с методом максимумов (рис. 2 б).

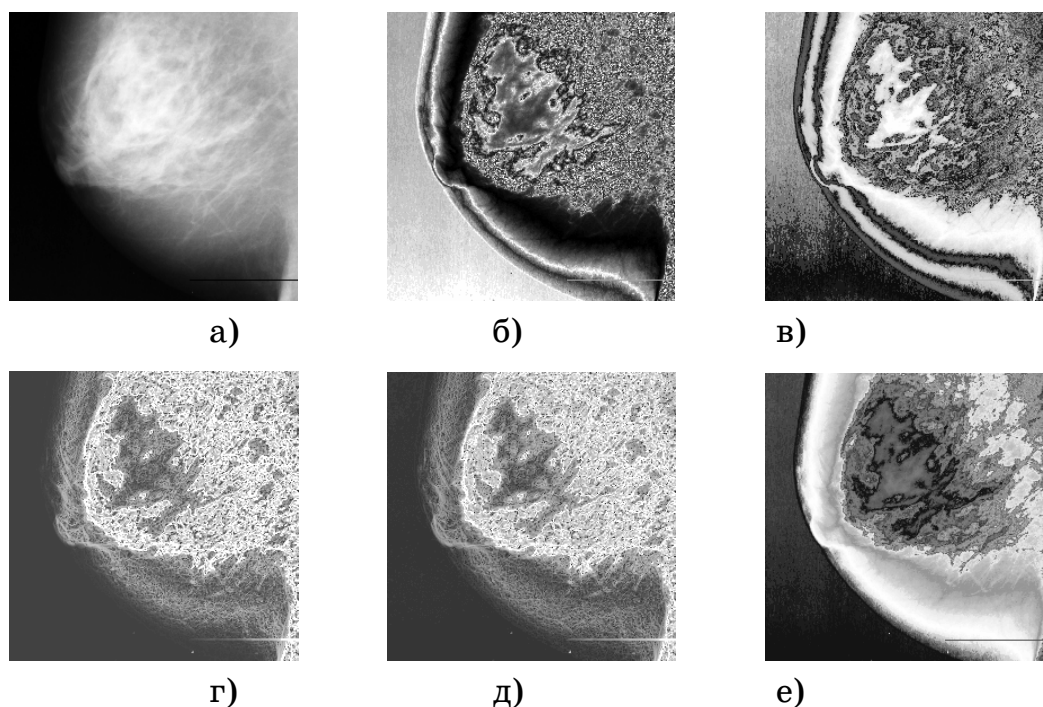


Рисунок 2 - а) –маммограмма; визуализация результатов нечеткой кластеризации различными методами: б) – максимумов; в) – сравнения с исходными данными; отслеживания изменений функции принадлежности на основании: г) –угла (6); д) – Евклидова расстояния (5); е) – основанным на вычислении λ -суммы

На рис. 3 б - 3 е представлены результаты кластеризации инфракрасного изображения интегральной микросхемы. Для этого изображения более высокую степень детализации обеспечило применение метода отслеживания изменения функции принадлежности (рис. 3г – 3д) и метода, основанного на использовании λ -суммы (рис. 3е). Следует отметить, что использование углов между соседними векторами исходных данных для оценки степени изменения функции принадлежности (рис. 3г) обеспечило несколько лучший уровень детализации (более четкое выделение контуров областей с различным уровнем тепловыделения), чем применение евклидовых расстояний (рис. 3 д).

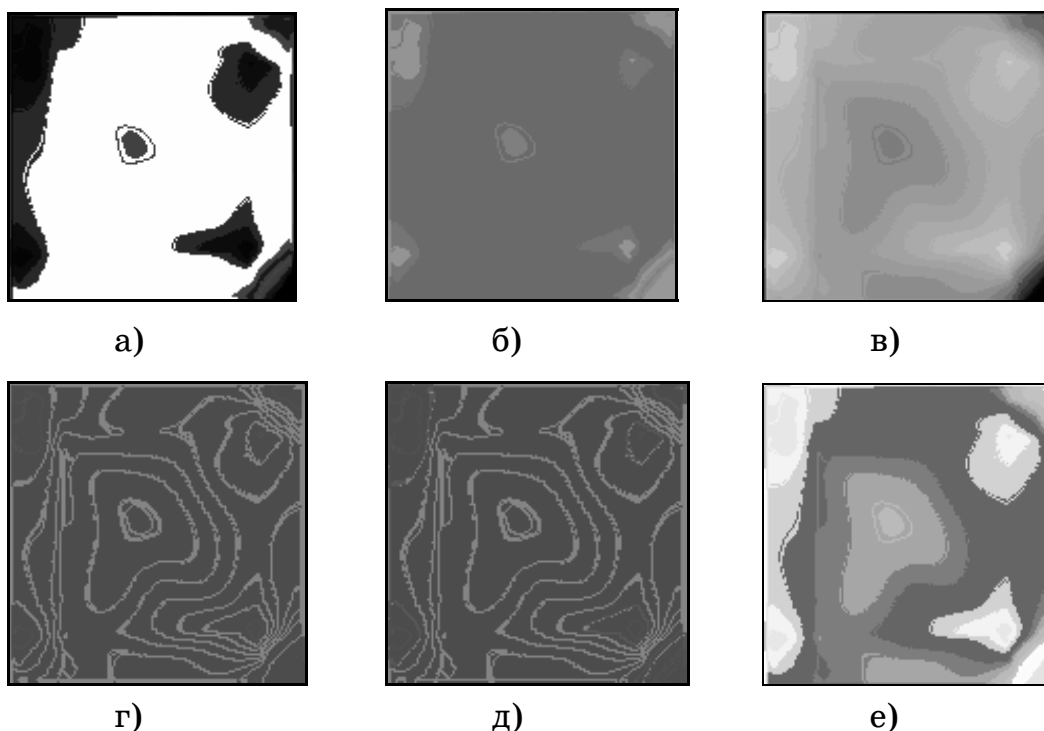


Рисунок 3 - а) –инфракрасное изображение интегральной микросхемы ; визуализация результатов нечеткой кластеризации различными методами: б) – максимумов; в) – сравнения с исходными данными; отслеживания изменений функции принадлежности на основании: г) – угла (6); д) – Евклидова расстояния (5); е) – основанным на вычислении λ -суммы

На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

1 Исходное изображение оказывает существенное влияние на уровень детализации выходного изображения у большинства из рассмотренных методов визуализации результатов нечеткой кластеризации

2 Предложенный в данной работе метод отслеживания изменений функции принадлежности эффективен в случае визуализации результатов нечеткой кластеризации изображений, содержащих невидимые или плохо различимые объекты, границы между различными областями изображения и т.п. В то же время применение этого метода для медицинских изображений (маммограммы, рентгеновские снимки и т.п.) не приводит к повышению детализации в сравнении с известными подходами (например, с методом максимумов).

3 При использовании метода отслеживания изменений функции принадлежности оценка изменения как с помощью углов между соседними векторами, так и с помощью евклидовых расстояний между соседними точками, дает схожий уровень детализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – С-П.: БХВ-Петербург, 2003. – 719 с.
2. Егоров А.А. Визуализация результатов нечеткой кластеризации на основе сравнения с исходными данными. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” – 2008 – С. 117-118.
3. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Сегментация низко контрастных изображений алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(55). – Днепропетровск, 2008. – С. 34–40.
4. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Использование расстояний в n-мерном пространстве для повышения достоверности в модифицированном алгоритме нечеткой кластеризации. – Материалы Третьей украино-российской научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования» - 2008 – С. 16 – 20.

Получено 25.11.2008р.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Актуальность. Основным недостатком существующих программных продуктов обработки данных является то, что при работе возникает необходимость написания программ языком пакета, который не очень удобен для медика или других специалистов, не имеющих навыков программирования и слабо ориентирующихся в статистических методах.

Анализ известных исследований. Для обработки данных обычно используют такие мощные платформы и пакеты как SAS [1], SPSS [2], STATISTICA [3], Maple [4], MathCAD [5], Microsoft Excel и NeuroPro [6]. Основным достоинством программных комплексов является наиболее широкий охват статистических методов, регрессионного, факторного, кластерного анализа и не только, что удачно совмещается с большим количеством удобных средств визуализации результатов обработки, притом не все пакеты имеют возможность проведения нейросетевого моделирования. Также, не смотря на все свои позитивные качества, данные программные продукты имеют большую цену, являются слишком громоздкими, не приспособлены под конкретные области применения и не доступны широким массам. Поэтому исследователям не всегда легко интерпретировать полученный результат.

Постановка задачи. Таким образом, имеется острая необходимость в гибком программном комплексе для обработки данных, который будет:

- простым для понимания экспертов в различных науках;
- иметь удобный и дружелюбный интерфейс, позволяющий пользователю минимизировать время на обучение работе;
- адаптироваться под конкретную предметную область;
- иметь возможность быстрой реконфигурации при изменении спектра решаемых задач;

- проводить подсчеты стандартных и специфических для предметной области пользователя показателей;
- избавлять пользователя от необходимости разбираться в нюансах работы системы;
- предоставлять визуализацию последовательности обработки данных;
- конфигурироваться на этапе инсталляции;
- иметь возможность расширения функциональности при помощи встраивания новых частей без переустановки и перекомпиляции кода.

Основная часть. Для реализации поставленной задачи был смоделирован гибкий программный комплекс MiningLibs.

Для обеспечения успешности разрабатываемого продукта, необходимо грамотно подобрать архитектуру. На данный момент существуют следующие архитектурные шаблоны [7]: объектно-ориентированная архитектура (Object-Oriented Architecture), архитектура модель-вид-контроллер (Model-View-Controller Architecture), канальная архитектура (Pipes and Filters Architecture), многоуровневая архитектура (Layered Architecture). Наиболее распространенным подходом к разработке архитектуры является рассмотрение архитектуры на нескольких уровнях абстракции по своему собственному шаблону, которые характеризуются постепенной детализацией системы, такая архитектура носит название гетерогенной. В спроектированной системе была использована комбинация архитектурных подходов (рис. 1).

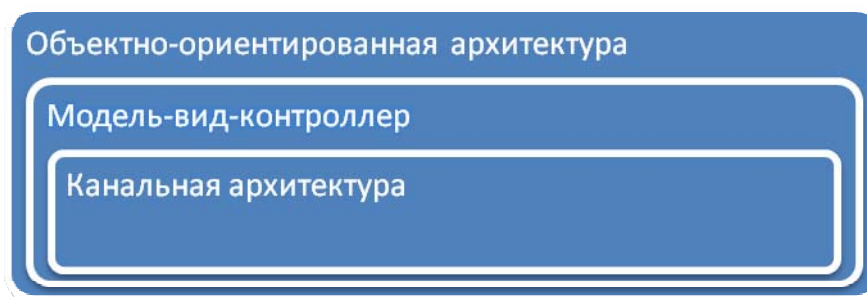


Рисунок 1 - Архитектурная схема программного комплекса MiningLibs

Для обеспечения независимости компонент системы была применена объектно-ориентированная архитектура. При данном

подходе компоненты системы рассматриваются как объекты. Объект представляет собой некоторую сущность, что содержит в себе данные и операции, которые могут быть выполнены над этими данными. Кроме интеграции данных и операций, для объектов характерна защита своих данных от непосредственного доступа со стороны других объектов.

Для разделения функциональности между частями системы была применена архитектура MVC (Model-View-Controller) (рис. 2).

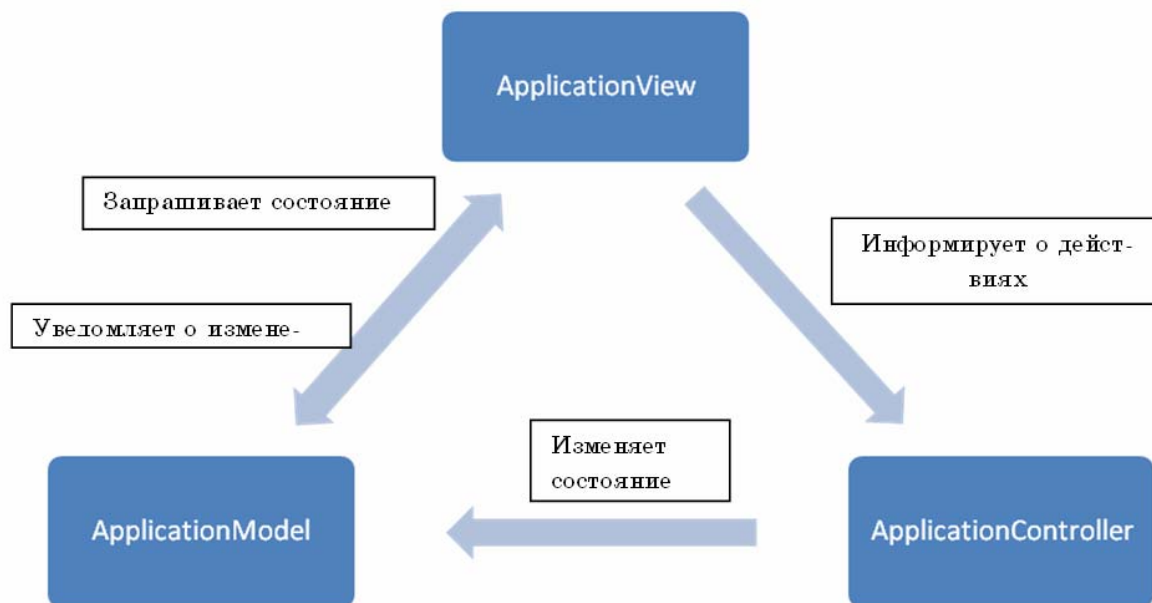


Рисунок 2 - Схема ядра программного комплекса MiningLibs

Основными архитектурными компонентами ядра системы являются модель (ApplicationModel), вид (ApplicationView) и контроллер (ApplicationController). ApplicationModel хранит в себе модули, предназначенные для обработки данных, а также взаимосвязи между этими модулями. ApplicationView является визуальным представлением модели, которое подается пользователю через графический интерфейс. ApplicationController определяет поведение всей системы и реализует алгоритм ее функционирования. Для построения визуального представления данных ApplicationView запрашивает у ApplicationModel ее состояние и формирует соответствующее изображение. О каждом действии пользователя ApplicationView информирует ApplicationController, который на основании заложенного алгоритма функционирования вносит соответствующие изменения в ApplicationModel. ApplicationModel

информирует `ApplicationView` о изменении своего состояния, `ApplicationView` обращается к `ApplicationModel` с запросом о новом состоянии и корректирует соответствующим образом свое визуальное представление.

Для обеспечения гибкости системы было принято решение представить модули с их взаимосвязями как канальную архитектуру. В данном подходе `ApplicationModel` рассматривается как контейнер модулей (`Unit`) и их взаимосвязей. Каждый модуль выполняет строго специализированные задачи и имеет множество входов и множество выходов, причем форматы данных на входах и выходах специфицированы, но при этом не может определять, с какими именно другими модулями может быть соединен. В процессе функционирования модуль считывает данные со своих входов, обрабатывает считанные данные, соответственно к заложенной функциональности и выдает обработанные данные на выход.

В данном подходе можно выделить несколько основных модулей: `Unit` загрузки данных, `Unit` предварительной обработки данных, `Unit` моделирования, `Unit` вывода результатов, которые взаимодействуют по канальной схеме (рис. 3).



Рисунок 3 - Схема потока данных программного комплекса MiningLibs

Построение и конфигурацию цепочки модулей производит пользователь. Модули представлены пользователю в виде графических компонент, имеющих средства настройки и помощи. Добавление и связывание компонент проводится с применением технологии `Drag&Drop`.

Для разработки системы выбран язык программирования Java. Основным преимуществом Java является кроссплатформенность, также язык поддерживает объектно-ориентированную парадигму программирования. В качестве среды разработки применяется Eclipse

Platform. В процессе разработки были использованы пакеты Spring framework, предоставляющие расширения к стандартным средствам разработки, и JFreeChart для вывода графиков. На этапе разработки системы тестирование проводится при помощи утилиты JUnit. Интеграционное тестирование проводится конечными пользователями.

Разработанная система позволяет проводить интеллектуальный анализ данных (Data Mining), таким образом, помогая пользователю выявлять полезные скрытые взаимосвязи в больших объемах данных. Для этого применяется как машинное обучение, так и расширенные средства визуализации.

Для обеспечения гибкости формат входных данных не фиксирован и зависит только от подключенных к системе модулей загрузки, которые, при необходимости, могут быть обновлены и расширены. Таким образом, для загрузки будут применяться как текстовые файлы, так и базы данных. Формат выходных данных также не специфицирован и зависит только от модулей вывода результатов. Данный подход позволяет сохранять результаты работы не только в виде файлов различных форматов и баз данных, но также в виде графиков и схем.

Система поставляется конечному пользователю в виде дистрибутива, требующего инсталляции. На этапе инсталляции система производит оценку задач, которые будет решать пользователь и на основании этого конфигурирует доступные пользователю модули. В дальнейшем система при запуске проводит самодиагностику и информирует пользователя о неполадках, если таковые имеются. Изменение функциональности система производит по запросу пользователя. Имеется возможность проведения поиска обновлений.

Пример построения модели в программном комплексе MiningLibs: оценить применимость использования MultiLayer Perceptron (MP) многослойной нейронной сети при гипертонической болезни [8]. Данные предоставляются в виде текстового CSV файла. Для решения данной задачи используется для моделирования модуль MP, оценка адекватности проводится при помощи модуля ROC-анализа. Для загрузки данных используется загрузчик CSV файлов. Также используется модуль нормализации данных для обеспечения

работы аппарата МР. Таким образом, имеем следующую схему потока данных (рис.4):

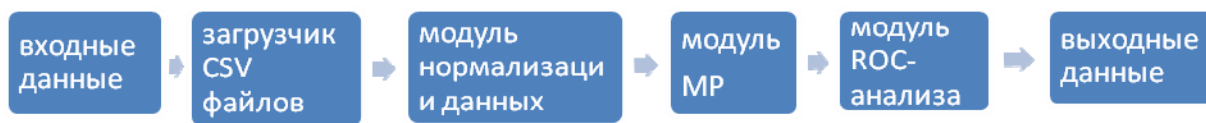


Рисунок 4 - Схема потока данных в MiningLibs решении задачи диагностики

Выводы. Был смоделирован гибкий программный комплекс обработки данных, который имеет возможность наращивания функциональности без перекомпиляции и переустановки, а также адаптируется под конкретную предметную область конечного пользователя и предоставляет удобную визуализацию, как процесса моделирования, так и полученных результатов. Программный комплекс MiningLibs позволяет проводить анализ данных статистическими методами, методами корреляционного, регрессионного, факторного, кластерного анализа, производить подсчеты стандартных статистических показателей. Данный пакет имеет возможность проведения нейросетевого моделирования, подсчет нестандартных коэффициентов и показателей, а также позволяет обрабатывать данные различных форматов. Таким образом, система сочетает в себе позитивные качества систем данного класса, а также привносит новый взгляд на сам процесс проведения анализа данных и предоставления пользователю результатов работы. Программный пакет был протестирован на данных исследований газочувствительных свойств оксиднометаллических полупроводников к парам спиртов, а так же в рамках Национальной Программы профилактики и лечение артериальной гипертензии [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.sas.com/offices/europe/russia/software/>
2. <http://www.spss.com.ua/>
3. <http://www.statsoft.ru/home/portal/>
4. <http://www.maplesoft.com/products/Maple/>
5. <http://www.ptc.com/products/mathcad/data-analysis-extension-pack>
6. <http://www.neuropro.ru/>

7. Buschmann F. Pattern – Oriented Software Architecture/ Buschmann F., Meunier R., Rohnert H., Sommerlad P., Stal M. // A System Of Patterns Vol.1, Wiley: - New York, 1996. – P. 457.
8. Буланая Т.М. Автоматизированная система комплексного индивидуального анализа при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. / Буланая Т.М, Колесник Т.В. // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем MPZIS-2006: Міжн. наук.-практ. конф., 15-17 лист. 2006 р.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2006. – С. 81.

Получено 16.11.2008г.

УДК 681.3.06

Ю.М. Рибка

КОНСОЛЬ КЕРУВАННЯ КОНТЕНТОМ САЙТУ

Постановка проблеми. Мета даної роботи – розробка CMS (Content Management System) – консолі керування контентом сайту, яка надає можливості зручного управління, а також адміністрування та змінювання його наповнення.

Аналіз останніх досліджень, невирішені проблеми. Зараз неможливо уявити існування будь-якого підприємства, де б не використовувались комп'ютери. Всі вони та користувачі, котрі мають комп'ютери вдома, підключенні до мережі Інтернет. Тому люди все частіше звертаються до мережі за потрібними даними. Але таку інформацію необхідно створювати, поновлювати та контролювати.

В роботі пропонується метод розробки консолі керування контентом сайту, який охоплює усі переваги подібних розробок, викладених в [1, 2] і надає можливість користувачам середньої кваліфікації самостійно створювати свої web- сервери та керувати ними.

Постановка задачі. Необхідно створити CMS- консоль керування контентом сайту підприємства чи компанії, яка виконуватиме такі функції:

- додавання та видалення будь-яких сторінок сайту;
- редагування змісту сторінок;
- змінювання привілей доступу до сайту різними групами користувачів;
- змінювання будь-яких меню сайту;
- надання можливостей обмеження доступу до певних розділів сайту тільки для зареєстрованих користувачів;
- керування групами користувачів: видалення або додавання, змінювання привілей доступу.

Інтерфейс сайту повинен бути зручним та зрозумілим.

Основні результати. Згідно із вимогами, що пред'являються до системи, була розроблена схема, що відображає принцип її роботи.

© Рибка Ю.М., 2009

Система CMS – це web-вузол по своїй суті, тобто система, що поєднує програмування мовою HTML (у нашому випадку динамічне створення web-сторінок), web-дизайн та реалізацію технології “клієнт-сервер”.

Уся робота з базою, створення сторінок і аналіз результатів виконується на сервері, клієнт служить тільки для відображення інформації і її уведення.

Таким чином, крім створення самого алгоритму програми, необхідно буде створити ще й сайт, що буде інтерфейсом для роботи з базами даних клієнтів.

Веб-вузол має кілька ступенів реалізації, основними з яких є: відображення інформації, програмування, програмно-серверна реалізація;

Розглянемо кожний з них окремо.

Відображення інформації відбувається в браузері клієнта, тому, програма, з якою він працюватиме йому знайома. Дані повинні подаватись логічно, легко читатися. Загальну структуру сторінок подано на рис. 1.

А	Б	В
Г		
Д	Е	Є
Ж		
З		

Рисунок 1 - Загальна структура сторінки сайту

На сторінці маютья наступні зони: А – логотип, Б – девіз компанії. В – назва компанії та короткі відомості, мінімальні реквізити, Г - перелік груп сторінок у майбутньому верхньому меню, що розкриваються (верхнє меню), Д та Є - ліве і праве меню. Меню можуть бути багаторівневими. Пункти меню в кожній із зон можуть бути відсутніми. Е містить контент (зміст) сторінки, обраної клієнтом в полі Г або контент, що відповідає обраним в меню в Д або Є. Е може містити текст, посилання, зображення, документи, обрані з бази. Ж - навігація (нижнє меню). З - банери та інформація про права й можливості копіювання.

Програмна частина. За специфікою завдання, майже весь контент буде генеруватися поступово залежно від даних. Цей рівень реалізації є прошарком, інтерфейсом між клієнтським браузером і базою користувача. Він відповідає за вибірку даних з бази, видачу їх клієнту, одержання інформації від клієнта і зміни бази користувача на основі даних, що надійшли. Мова програмування повинна мати всі необхідні функції для роботи з даними, що відправляються користувачам, для роботи з базами даних, і бути добре документованою та легкою, як у плані завантаження сервера, так і в плані навчання.

Програмно-серверна реалізація являє собою безкоштовний комплекс: Apache, PHP, MySQL, що поставляється у вихідних кодах і перевірений часом

Причому, настройка його - не є значною проблемою для адміністратора.

Алгоритм роботи системи. Коли завантажено першу сторінку сайту, починається робота з базою даних, а саме - з таблицями де розміщенні дані наповнення сторінки. На сервері виконується запит до бази даних, визначаючий вміст верхнього, лівого, правого та нижнього меню, календаря новин, а також центральної області. Потім ця інформація виводься в браузері користувача.

Якщо користувач зайшов на сайт під правами адміністратора, то йому доступне унікальне меню “Панель керування”, яке має наступні розділи:

Настройка сайту – дозволяє змінювати реквізити фірми, підпис до логотипу, девіз, адресу та назву сайту, поштову скриньку головного адміністратора, програмні коди лічильників пошукових систем, спеціальні дані HTML мови такі як, META Keywords, META Description та META Abstract.

Сторінки – виводить список усіх сторінок сайту і дозволяє додавати, видаляти та редагувати зміст будь-якої сторінки за винятком корневих сторінок.

Меню зверху, меню зліва, меню справа, меню знизу – Дозволяють уводити склад відповідних меню та додавати, видаляти і інформацію щодо меню.

Користувачі – виводить список усіх зареєстрованих користувачів сайту та дозволяє додавати видаляти та змінювати данні будь-якого користувача.

Групи користувачів – виводить групи користувачів та дозволяє додавати та видаляти будь-яку групу користувачів.

Групи новин - виводить групи новин. Дозволяє додавати та видаляти будь-яку групу новин, видаляти користувачів підписаних на розсилання новин та змінювати права доступу кожної групи новин для усіх груп користувачів.

Зворотній зв'язок – виводить усі повідомлення, залишені відвідувачами сайту через форму зворотного зв'язку.

Товари – виводить список усіх товарів та їх груп. Дозволяє додавати, видаляти та змінювати будь-який товар.

У верхньому лівому кутку сайту (зона Д) знаходиться область входу для зареєстрованих користувачів. Після введення імені та паролю, на сервер відбувається їх перевірка. Якщо дані вірні, адміністратор або людина маюча доступ в цей розділ входить на головну сторінку адміністрування сайту. В іншому випадку, користувачеві виводиться повідомлення про невірне ім'я чи пароль.

У верхньому правому кутку (зона Є) знаходиться посилання на сторінку з даними про підписку зареєстрованого користувача до груп новин.

Нижче знаходиться календар новин. Він має динамічну структуру, тобто, автоматично визначає число та день тижня. Якщо в якийсь день була опублікована новина, то цей день є посиланням, при натисканні на яке відбувається перехід на сторінку з усіма новинами на цей день.

Проектування бази даних. При розробці бази даних необхідно приділити особисту увагу до структури таблиць. В таблицях всі поля мають бути необхідної довжини. Наприклад, не треба виділяти для поля зберігання електронної скриньки 100 знаків, для цього вистачить максимум 40 знаків. Завдяки цьому, база даних буде займати менший обсяг, а час, необхідний на пошук інформації, буде також меншим. Запити до бази даних необхідно зробити максимально короткими і простими, це теж дозволить заощадити деякий час. Це дуже важливо тому що, при роботі з Інтернет,

зазвичай, користувачі і так чекають якийсь час, що іде на завантажування сторінки на комп'ютер

В інтерфейсі використовуються CSS - каскадні таблиці стилю та скрипти на мові JavaScript, для різного роду задач. Файл style.css розміщується на сервері в директорії templates\russian. В ньому описуються стилі відображення для тексту, таблиць та різних елементів форми.

Інтерфейс сайту розроблено таким чином, що можна однаково зручно працювати з ним користувачам, маючим різний дозвіл екрану, від 1024 x 768 пікселів до 1600 x 1200 пікселів, що досягнуте за допомогою використання таблиць з динамічно змінюваною шириною. Якщо мається перший дозвіл екрану, то проект відображається в браузері на всю ширину екрану.

Висновки. Поставлена задача була вирішена шляхом розробки сайту web-вузла та програмного забезпечення на базі сучасних технологій web-програмування PHP та MySQL. Систему реалізовано за технологією “клієнт-сервер”. Вона призначена для розміщення в мережі Internet/Intranet та має можливість віддаленого адміністрування.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://www.1c-bitrix.ru/sitemanager/features/features.php> - повний опис системи 1С-Бітрікс: Керування сайтом.
2. <http://joomla.ru/content/view/83/204/> - опис можливостей CMS Joomla.

Одержано 22.11.2008р.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТАІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ГНУЧКОГО ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА ГОСПІТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Постановка проблеми. Формулювання загальної проблеми з якою пов'язана дана робота вичерпано надане в роботі [1]:

Яким чином моделі можуть використовуватися як засоби подання (representation tools) в розробці інтерактивних систем у сенсі інтеграції розробки інформаційних систем з розробкою інтерфейсу.

Комплекс питань пов'язаних з даною проблемою може бути розподілений на три загальних класи: які типи моделей (техніки формалізації, нотації, порядок їх застосування) можливо використовувати як джерело для інтерпретації/генерації інтерфейсу користувача; які засоби можливо використовувати для інтерпретації/відображення моделей на механізми реалізації; який ефект може бути отриманий від використання зв'язку «моделі – засоби» для реалізації тих чи інших задач інформаційних систем.

Основним напрямком пов'язаним з вказаним комплексом питань може вважатися модельно-орієнтована розробка інтерфейсу користувача (Model-Based User Interface Development) [1,2,3] . Другим аспектом побудови, з якою пов'язана дана робота є забезпечення динамічної інтерпретації моделей. Важливими напрямками у цьому сенсі є: MDA(model-driven architecture)[4], AOM(adaptive object models) [5].

Аналіз публікацій та постановка задачі. Практично в будь-якій інформаційній системі (ІС) можна виділити взаємодію "користувач - інтерфейс - бізнес логіка – база даних". З огляду на можливі зміни структури бази даних (БД), а також специфіку бізнес-логіки, що полягають у основі інформаційних процесів лікувального закладу, доцільно передбачити реалізацію гнучкості інтерфейсу користувача госпітальної інформаційної системи (ГІС), особливо відносно елементів доступу до даних рівня предметної області, враховуючі при

цьому такі важливі характеристики розробки, як пониження коштів розробки, спрощення процесу модифікації та повторного використання розроблених компонентів.

Засоби, які звичайно використовуються для вирішення задачі зміни можна поділити на три категорії[6]:

Засоби розробки інтерфейсів (Interface Builders) які існують в сучасних інтегрованих середовищах програмування (Delphi, Visual Studio та інш.) та дозволяють здійснювати проектування візуальної складової інтерфейсу користувача використовуючи стандартні елементи.

Системи керування інтерфейсом користувача (User Interface Management Systems), які підтримують розподілену реалізацію та модифікацію інтерфейсу та логіки програми та мають засоби декларативного опису моделі зв'язку «інтерфейс – логіка». Типовим прикладом є мова XAML.

Моделльно-орієнтовані засоби розробки інтерфейсу (Model-Based Interface Development Systems), які дозволяють отримати специфікацію усього інтерфейсу та по специфікації згенерувати код інтерфейсу. Модель у загальному випадку охоплює: семантику додатку (об'єкти, оператори), рівень презентації(елементи), послідовність діалогу(обмеження порядку на команди) [1,2,3].

Підхід розробки інтерфейсу на базі онтологій. Авторами [6] декларується застосування декларативних моделей високого рівня з повним виключенням програмування на процедурній мові. Розробники мають справи з універсальними онтологіями для формування компонентів моделі конкретного інтерфейсу. Код інтерфейсу генерується автоматично на базі декларативної моделі.

Важливими рисами двох останніх підходів є: генерація на відміну від інтерпретації; претензія на повну генерацію інтерфейсу користувача без застосування процедурних мов; увага сфокусована на моделюванні, розробці, модифікації саме інтерфейсу.

Задача, яка розглядається в роботі: чи можна використовуючи єдину модель предметної області отримати відповідні зміни як елементів інтерфейсу, що відображають об'єкти типів заданих предметною областю та відповідної бізнес логіки(механізмів валідації заданих значень, контролювання взаємодії елементів).

Основна частина. У роботі [7] було запропоновано використати підхід проектування і реалізації системи, сутність якого полягає в інтерпретації метаінформації, що міститься у зовнішньому джерелі, на ту або іншу функціональну вісь системи. Основою підходу слід вважати використання фреймової парадигми опису знань[8] для репрезентації метаінформації. Основна від'ємність від об'єктно-орієнтованого складається в вилученні поняття «грані» при описі об'єктів. Так, тип, розмір, значення за замовченням та інші характеристики властивостей або атрибутів є гранями опису атрибутів. Структура таблиць, що містять мета-інформацію, показана на рис.1.

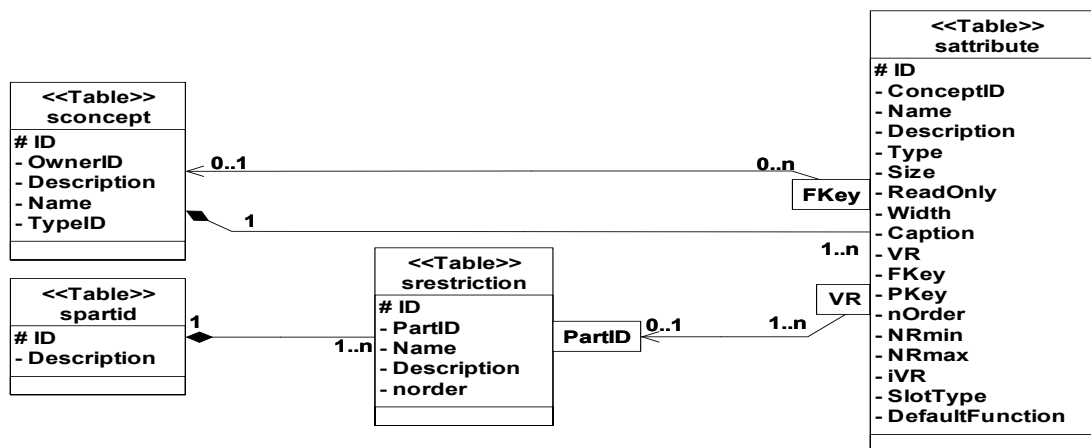


Рисунок 1 - Структура та зв'язок довідників метаінформації

В основі запропонованого підходу до застосування цієї моделі для генерації елементів інтерфейсу лежить побудова ряду візуальних компонентів, взаємодіючих з контуром "метаінформації", що дозволяє динамічно (у процесі роботи програми) створювати елементи інтерфейсу користувача з можливістю забезпечення контролю інформації, яка вводиться, на базі описаної моделі, при цьому зміна в моделі веде за собою одночасну зміну частини інтерфейсу додатка [9]. Використання тієї же моделі для задачі побудови аналітичної системи надано у роботі [10].

Розробка компонентів відповідаючи за інтерпретацію моделі базується на використанні шаблону Layers, що припускає нарощування рівня більш складних елементів над рівнем більш простих. Так до основних елементів найнижчого рівня можна віднести CComboBox, CTextBox, що наслідуються від відповідних

елементів Windows.Forms, які під час взаємодії з моделлю дозволяють реалізовувати елементи "простий атрибут" і "слот". Діаграма взаємодії елементів з контуром "метаінформації" показана на рис. 2. У якості "фасаду" даного рівня виступає клас CGUIFactory, що дозволяє без перешкод розширювати безліч елементів, виключаючи при цьому будь-які зміни інших компонентів додатку.

У якості прикладу компоненту більш високого рівня, представленого на рис. 2 класами CClass1 і CClass2, можна розглянути компонент "форма-об'єкт", завданням якого є запит і відображення візуальних елементів, що відповідають атрибутам об'єкта концепту по його імені (поле name у таблиці sconcept, де ім'я концепту є унікальним).

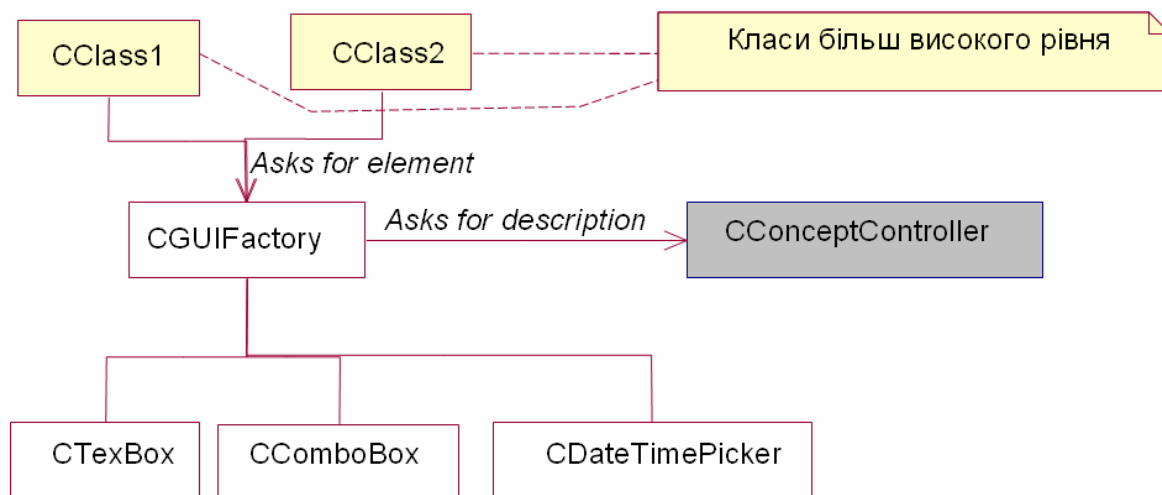


Рисунок 2 - Схема взаємодії компонентів вводу системи

При цьому у випадку редагування елементи містять поточні значення атрибутів, а у випадку додавання нового запису можуть бути порожніми або містити значення за умовчанням. Слід відзначити компонент для відображення множини записів-об'єктів заданого концепту, з огляду на особливості відображення й редагування атрибутів, які задані гранями відповідного опису моделі (caption, width, readonly, nrmin, nrmax і інш.). Класом-фасадом компонента є CDctGrid. Діаграма прецедентів компонента представлена на рис. 3, особливості представлені в табл. 1. На рис. 4 зображена діаграма, яка показує основні класи, що становлять компонент "Grid концепту", що включає класи із префіксом CDctGrid-, а також взаємодії компонента і контуру метаінформації (показані на рисунку більш темним кольором).

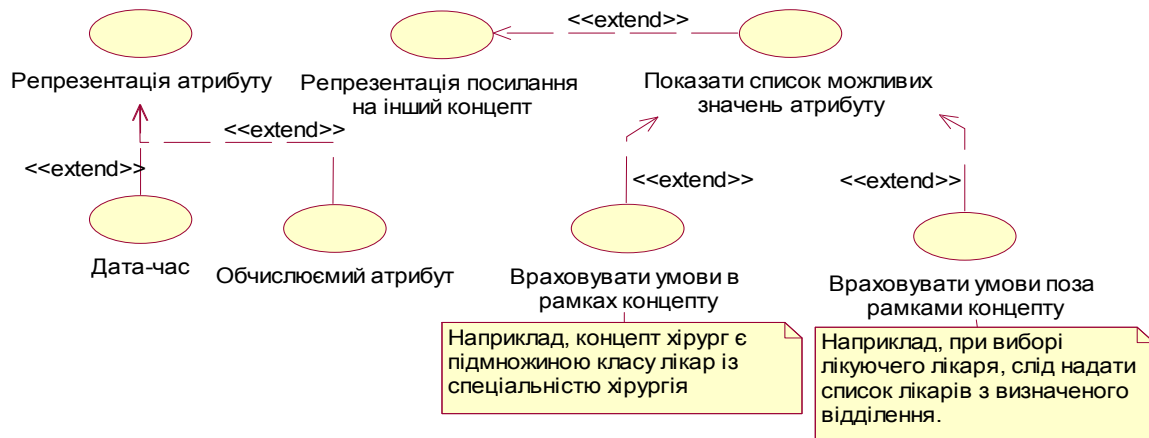


Рисунок 3 – Діаграма основних прецедентів елемента CDctGrid

Таблиця 1

Основні прецеденти використання компоненту CDctGrid

Взаємозв'язок атрибутів	Проблема
Відображення атрибута таблиці	Необхідно відобразити тільки потрібні атрибути в заданому порядку
Атрибут є зовнішнім ключем для зв'язку 1:1	Вивести додаткові атрибути зв'язаного концепту-таблиці
Атрибут є зовнішнім ключем для зв'язку 1::n	Вивести значення атрибута зв'язаного концепту-таблиці, при активації значення надати можливість вибору із списку можливих значень Те ж саме, але на список значень накладена умова

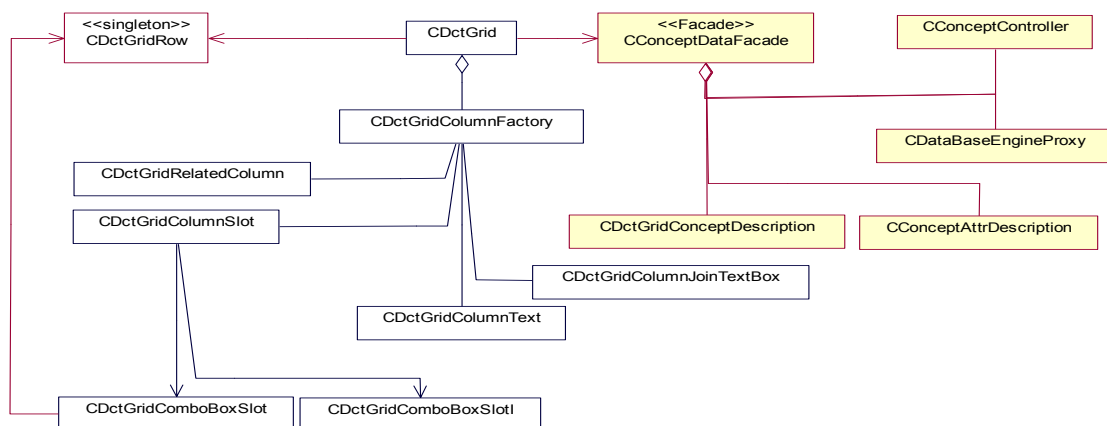


Рисунок 4 – Взаємодія класу CDctGrid з класами для роботи з мета даними

Подальше вдосконалення підходу може привести до досить повного опису процесу побудови інтерфейсу користувача на базі описів, що зберігаються в одному або ряді xml-файлів, та їхнього динамічного відтворення в процесі роботи програми. Варто відзначити, що використання підходу розглядається в контексті розробки ГІС, що безумовно накладає свої обмеження як на елементи, так і на мову опису моделі; однак у рамках підходу, вибраного для проектування і реалізації, передбачається його подальше вдосконалення.

Також були розроблені засоби, що дозволяють шляхом зміни моделі предметної області, яка представлена у вигляді метаінформації, впливати на інтерфейс користувача, скорочуючи або зовсім не піддаючи при цьому змінам код програми. Тому реалізовані наступні можливості: приховання або відкриття тих або інших атрибутів від користувача; введення обмежень на значення та кількість значень атрибута; імплікація атрибутів; валідація, збереження, зміна, видалення відображуваних даних; автоматизація зв'язку з довідником; установка значень за умовчанням.

Слід зазначити, що розроблені елементи не дозволяють повністю вирішити питання рутинного програмування при побудові інтерфейсу користувача, однак істотно скорочують час роботи програміста при переробці коду, адаптації підсистем. Крім цього використання даного підходу дозволяє полегшити перехід системи з одного на інший клас візуальних елементів.

В цілому, поведінка елементів може бути описана в такий спосіб:

1. Контейнер візуальних елементів (форма або Grid) є пов'язаним з певною сутністю/групою сутностей, атрибути яких він відображає.

2. В процесі активації контейнер по унікальному імені концепту, з яким він зв'язаний, одержує список (ArrayList) елементів, що відсортовані за порядком відображення атрибутів, який було описаному в моделі. Розмір і позиція елемента в полі контейнера можуть бути представлені як грані (мета атрибутів) опису атрибута та бути задані безпосередньо в моделі.

3. Для реалізації спеціальних можливостей, які пов'язані з відображенням елементів на формі, передбачений XML-файл

конфігурації форми, що описує такі властивості елементів як розмір, позиція на формі.

4. Набір елементів відображається у відповідності до властивостей, що задані в списку елементів та файлі конфігурації.

5. Після зміни значень атрибутів і ініціалізації процедури збереження відбувається перевірка даних, що були введені, згідно значень відповідних граней в описі атрибута.

Але поряд з описаними перевагами зазначеного підходу слід відзначити наступні недоліки: для побудови складних форм, особливо з використанням технології прив'язки елементів до певної області форми (Dock), що дозволяє їм пропорційно змінювати розміри, необхідно будувати досить складну оболонку розробника, повторюючи при цьому вже розроблене візуальне середовище; інтерпретація потребує значно більше часу ніж виконання коду, особливо, якщо форма буде певної складності; наявність додаткових файлів з метаданими про форми може викликати невдоволення з боку користувачів; вигода від динамічної інтерпретації у цьому контексті незначна. Тобто такі ситуації, щоб не виходячи з програмного додатку змінювати зміст форми, змінювати метадані і структуру БД, практично не виникають.

Виходячи з оцінки недоліків було прийнято рішення про зміну підходу щодо побудови інтерфейсу, не лишаючи при цьому зв'язку з метаданими. За цим підходом форми будуються в звичайному середовищі Visual Studio IDE, але постачальником елементів, що пов'язані з даними на засадах заданої метаданих, є контур GUIFactory. Типовий сценарій роботи програміста за заданою методикою можна описати наступним чином: програміст будує нову форму і розташовує головний елемент `TableLayoutPanel`, що дозволяє зв'язаним з ним елементам змінювати свій розмір пропорційно до змін розмірів форми; програміст розміщує елементи `TableLayoutPanel` або `Panel` в ячейках агрегуючого елемента `TableLayoutPanel` більш високого рівня; назва (атрибут `Name`) відповідного елемента `Panel` має бути такою, як і відповідний атрибут з префіксом "p". Далі форма в процесі ініціалізації запрошує набір елементів у контур GUIFactory та розташовує їх відповідно до заданої розмітки.

	Дата приема	Дата выписки	Отделение	Доктор
12.01.2002	14.01.2002	Первое отделение	Васильев П.П.	
14.01.2002		Второе отделение	Васильев П.П.	

Рисунок 5 – Форма введення місцезнаходження пацієнта

Використання елемента CDctGrid показано на рис. 5. Так по моделі концепту «переведення» будується наступна форма, що включає в себе елемент CDctGrid, який відображає список переведень даного пацієнта. При цьому бізнес-правило «лікар може бути тільки із призначеного відділення», описане в моделі як «імплікація атрибутів», відображається на інтерфейс таким чином, що без вибору відділення не може бути задане значення атрибута «лікар», а при призначенні відділення, значення атрибута «лікар» може бути задано тільки зі списку лікарів, що працюють у призначеному відділенні. Визначним, з погляду складності організації, може служити концепт «операції», в якому всі поля є зовнішніми ключами, що пов'язують даний концепт з іншими концептами. Так «етап лікування», «тип операції» відносяться до довідника обмежень, хірург і асистенти відносяться до лікарів, спеціалізація яких – хірургія; анестезіолог – із спеціалізацією анестезіологія.

Висновки. Використання фреймової парадигми є ефективним засобом опису метайнформації інформаційної системи, що забезпечує гнучкість ІС і дозволяє уникнути недоліків об'єктно-орієнтованої моделі пов'язаних із відсутністю поняття «грані» в об'єктно-орієнтованих системах. Представлена модель метайнформації може ефективно застосовуватися при побудові інтерфейсу користувача.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hallvard Trjetteberg. Model-based User Interface Design.// Information Systems Group Department of Computer and Information Sciences Faculty of Information Technology, Mathematics and

- Electrical Engineering Norwegian University of Science and Technology. 2002. P.204.
2. F. Bodart, A.-M. Hennebert, J.-M., Leheureux, J. Vanderdonckt, A Model-based Approach to Presentation: A Continuum from Task Analysis to Prototype, Chapter 6, in "Interactive Systems: Design, Specification and Verification", F. Paterno (ed.), Focus on Computer Graphics Series, Springer-Verlag , Berlin, 1995, pp. 77-94
 3. MDA home page. – Режим доступа: <http://www.omg.org/mda/>.
 4. OMG presentations and papers. <http://www.omg.org/mda/presentations.htm>.
 5. The list of papers of Joseph W. Yoder. <http://www.joeyoder.com/papers/>.
 6. В.В.Грибова, А.С. Клещев. Концепция разработки пользовательского интерфейса на основе онтологий. Вестник ДВО РАН, №6.2005.-с.123-128
 7. Литвинов А.А. Использование метаданных при проектировании и реализации медицинской информационной системы // Системные технологии. Рег. меж вуз. сб. научн. работ. – Вып. 6(35). – Днепропетровск, 2004. – С. 33–39.
 8. Karp P.D. The Design Space of Frame Knowledge Representation Systems // Technical Report 520, SRI International Artificial Intelligence Center.–1992.– 49 p.
 9. Литвинов А.А. Использование метаинформации при реализации пользовательского интерфейса медицинской госпитальной системы // Математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем: Международная научно–практическая конференция: Сб. тез. – Днепропетровск, 2005. – С. 106–107.
 10. Литвинов А.А. Использование метаинформации при построении аналитической подсистемы медицинской госпитальной системы // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Вып. 6(41). – Днепропетровск, 2005. – С. 105–114.

Одержано 23.11.2008р.

КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ТЕРМИНАХ ВХОД-ВЫХОД ЛИНЕЙНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

Постановка задачи. Цель работы состоит в получении достаточных условий для коэффициентов линейного нестационарного дифференциального уравнения, обеспечивающих экспоненциальное убывание решений при произвольной экспоненциально убывающей правой части.

Обоснование полученных результатов. Характеристический показатель Ляпунова (в дальнейшем просто показатель) функции $x(t)$ из пространства X бесконечно дифференцируемых функций времени $t \geq 0$ определяется как верхний предел [1, 2]

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

Функция $x(t)$ имеет строгий показатель, если существует предел

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

Для числа $\alpha < 0$ определим множество

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

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

Любая функция $m(t)$ из M_α , будет ограниченной. Более того, согласно [1, 2], имеем

$$\forall \varepsilon \exists C > 0 \quad |m(t)| \leq C e^{(\alpha + \varepsilon)t}. \quad (1)$$

Элементы множества M_α экспоненциально убывают. Следовательно, эти множества можно назвать пространствами устойчивых сигналов со степенью устойчивости α [3].

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

Введём множество дифференциальных операторов

$$S(M_\alpha) = \{s \in R \mid \forall x \in X \quad \forall u \in M_\alpha \quad (sx=u) \Rightarrow x \in M_\alpha\} \quad (2)$$

Если в линейном нестационарном дифференциальном уравнении, представленном в операторной форме $sx=u$, оператор s лежит в множестве $S(M_\alpha)$, то это означает, что все решения этого уравнения вместе со всеми своими производными будут иметь показатели Ляпунова меньшие, чем α при любой правой части, имеющей вместе со всеми своими производными показатели Ляпунова меньшие, чем α . Назовём такое свойство уравнения устойчивостью в терминах вход/выход со степенью α [3].

Изучим условие принадлежности операторов из R множеству $S(M_\alpha)$. Для этого нам понадобятся некоторые сведения из первого метода Ляпунова [1, 2].

Характеристическим показателем Ляпунова матричной или векторной функции $Y(t)$ называется максимальный среди показателей его элементов. Причём $\chi(Y(t)) = \chi(\|Y(t)\|)$, где $\|\cdot\|$ - произвольная норма матрицы (вектора). Рассмотрим линейную дифференциальную систему размерности n

$$y'(t) = F(t)y(t), \quad t \geq 0, \quad (3)$$

где элементы матрицы $F(t)$ непрерывны и ограничены при $t \geq 0$. Каждое нетривиальное решение системы (3) имеет конечный показатель. Множество $\alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_m$ показателей решений называется спектром системы. Число m элементов в спектре не превышает размерности системы n . Если в (3) $F(t) = F_1 + F_2(t)$, где F_1

— постоянная матрица и $\lim_{t \rightarrow \infty} F_2(t) = 0^{n \times n}$, то спектр систем (3) и $y'(t)$

$= F_1 y(t)$, совпадают [2, с. 83]. Пусть фундаментальная система $Y(t)$ решений системы (3) содержит n_s решений с показателем α_s , $s=1,$

2...m. Рассмотрим величину $\sigma_Y = \sum_{s=1}^m n_s \alpha_s$, где $\sum_{s=1}^m n_s = n$. Существуют фундаментальные системы с наименьшим значением σ величины σ_Y . Такие фундаментальные системы называются нормальными. Причем для любой фундаментальной системы $Y(t)$ найдётся такая действительная матрица C , что $CY(t)$ будет нормальной системой.

Если $\sigma = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t \text{Tr}(F(\tau)) d\tau$, где $\lim$ - нижний предел, $\text{Tr}()$ -

след матрицы, то система называется правильной по Ляпунову.

Теорема Перрона гласит, что система (3) правильна по Ляпунову тогда и только тогда, когда для её спектра $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ с учётом кратности показателей, и спектра $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ сопряжённой системы $y'(t) = -F(t)^T y(t)$, $t \geq 0$, выполнено соотношение

$$\alpha_i + \beta_i = 0, i=1, 2 \dots n. \quad (4)$$

Пусть $Y(t)$ - произвольная фундаментальная система решений уравнения (3) и $K(t, \tau)$ - матрица Коши. Если система (3) правильна по Ляпунову, то имеет место неравенство [с. 238]

$$\forall \varepsilon > 0 \exists C > 0 \|K(t, \tau)\| \leq C e^{(\alpha + \varepsilon)(t - \tau) + 2\varepsilon\tau}, t \geq \tau \geq 0, \quad (5)$$

где α - максимальный элемент спектра системы (3). Используя приведенные сведения, докажем теорему.

Теорема. Если в операторе $S = \sum_{i=0}^n a_i(t) p^{(i)}$, $a_n = 1$, $p = d/dt$ коэффициенты $a_i(t) \in Q_T$, $i=0, 1 \dots n-1$ имеют пределы s_i и максимальная действительная часть корней стационарного многочлена $\sum_{i=0}^n s_i p^{(i)}$, $s_n = 1$ меньше, чем α , то S лежит в $S(M_\alpha)$.

Рассмотрим в пространстве X бесконечно дифференцируемых за исключением конечного числа точек функций времени $t \geq 0$ дифференциальное уравнение $Sx(t) = u(t)$, $\forall u(t) \in M_\alpha$ и представим его в виде

$$(p^n + (s_{n-1} + q_1(t)) p^{n-1} + (s_0 + q_0(t)) x(t) = u(t),$$

где функции $q_i(t) \in Q_T$, $i=0, 1 \dots n-1$ имеют строгий нулевой предел при $t \rightarrow \infty$.

Запишем последнее уравнение в пространстве состояний

$$y'(t) = F(t) y(t) + Gu(t) \quad (6)$$

$$x(t) = Hy(t),$$

где $y(t) = [x(t) \ x'(t) \ \dots \ x^{(n-1)}(t)]^T$,

$$G^T = [0 \ 0 \ \dots \ 1], \ H = [1 \ 0 \ \dots \ 0], \ F(t) = F_1 + F_2(t),$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & & 1 \\ s_0 & s_1 & & s_{n-1} \end{bmatrix}, \ F_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & & 0 \\ q_0 & q_1 & & q_{n-1} \end{bmatrix}.$$

Так как $\lim_{t \rightarrow \infty} F_2(t) = 0^{n \times n}$, то системы

$$y'(t) = F(t) y(t) \quad (7)$$

и

$$y'(t) = F_1 y(t) \quad (8)$$

имеют одинаковый спектр $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ с учётом кратности показателей.

Поскольку $\lim_{t \rightarrow \infty} (-F_2^T(t)) = 0^{n \times n}$, то спектр сопряжённой к (7)

системы $y'(t) = -F(t)^T y(t)$, совпадает со спектром $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ стационарной системы $y'(t) = -F_1^T y(t)$. Так как F_1 - постоянная матрица, то имеет место соотношение (4) и согласно теореме Перрона система (7) будет правильной по Ляпунову.

Система (8) соответствует линейному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами $(p^n + s_{n-1}p^{n-1} + \dots + s_0)x(t) = 0$. По условию теоремы максимальный показатель Ляпунова этой системы меньше, чем α . Обозначим этот максимальный показатель как $\gamma (\gamma < \alpha)$. Показатель произвольной фундаментальной системы решений $Y(t)$ системы (7) также равен γ . Так как система (7) правильна по Ляпунову, то для её матрицы Коши имеет место неравенство (5)

$$\forall \varepsilon > 0 \exists C_1 > 0 \|K(t, \tau)\| \leq C_1 e^{(\gamma + \varepsilon)(t - \tau) + 2\varepsilon\tau}, \ t \geq \tau \geq 0, \quad (9)$$

Пусть показатель $u(t)$ равен δ , тогда, согласно (1)

$$\forall \varepsilon \exists C_2 > 0 |u(t)| \leq C_2 e^{(\delta + \varepsilon)t}, \ t > 0. \quad (10)$$

Произвольное решение уравнения (6) имеет вид $x(t) = Hy(t)$ где

$$y(t) = Y(t)y(0) + \int_0^t K((t, \tau)Gu(\tau)d\tau = z_0(t) + z_u(t)$$

для некоторого начального условия $y(0)$. Так как показатель γ фундаментальной системы $Y(t)$ меньше чем α , то $z_0(t)$ лежит в пространстве M_α . Рассмотрим второе слагаемое. Учитывая (9) и (10), имеем

$$\|z_u(t)\| \leq C_1 C_2 e^{(\gamma+\varepsilon)t} \int_0^t e^{(-\gamma+2\varepsilon+\delta)\tau} d\tau = \frac{C_1 C_2}{-\gamma+2\varepsilon+\delta} e^{(\gamma+\varepsilon)t} (e^{(-\gamma+2\varepsilon+\delta)t} - 1) = \frac{C_1 C_2}{-\gamma+2\varepsilon+\delta} (e^{(3\varepsilon+\delta)t} - e^{(\gamma+\varepsilon)t}).$$

Так как $\gamma < \alpha$ и $\delta < \alpha$, то в силу произвольности ε всегда можно добиться, чтобы $-\gamma+2\varepsilon+\delta \neq 0$ и $\max(3\varepsilon+\delta, \gamma+\varepsilon) < \alpha$. Тогда показатель $\|z_u(t)\| < \alpha$ и, следовательно, показатели решений системы (6) будут меньше, чем α .

Дифференцирую систему (6) и, учитывая, что коэффициенты имеют строгий нулевой показатель, получаем, что и все производные решения будут меньше, чем α и, следовательно, принадлежат пространству M_α . Учитывая определение множества $S(M_\alpha)$, завершаем доказательство теоремы.

Выводы. Доказано, что если коэффициенты линейного нестационарного дифференциального уравнения стремятся к устойчивому с некоторой степенью стационарному уравнению, то нестационарное уравнение будет устойчиво с той же степенью в терминах вход/выход. Доказательство базируется на первом методе Ляпунова.

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. Устойчивость линейных систем в операторной форме // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 2 (55). - Днепропетровск, 2008. - С. 104–112.

Получено 15.12.2008г.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ СЕТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА В УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAN КОНТРОЛЛЕРА

Введение. Большинство угольных шахт Украины характеризуется сложными геологическими условиями. Высокая аварийность и производственный травматизм объясняются рядом причин, среди которых можно выделить высокую пожароопасность ленточных конвейеров и отставание в применении передовых научно-технических разработок [1]. В условиях повышенных требований к технологическим и экономическим показателям в угольной промышленности особенно актуальным является развитие и внедрение передовых технологий и автоматизированных комплексов.

Процесс транспортировки угля из шахты на поверхность земли осуществляется при помощи конвейерного транспорта – ленточных конвейеров. Средняя длина ленточного конвейера составляет 300-500 м [2]. Если уголь транспортируется на большие расстояния, то отдельные конвейеры объединяют в единую систему транспортировки – конвейерную линию. Места соединения отдельных конвейеров, называемые перегрузочными пунктами, нуждаются в более совершенствованном методе контроля. На сегодня существуют комплексы автоматизированного управления конвейерными линиями, такие как АУК-10М, АУК.2М, САУКЛ, которые включают в себя датчики контроля завала перегрузочных пунктов или, другими словами, заштыбовки бункера углем [3]. Но эти системы устарели и не отвечают современным требованиям к автоматизации конвейерных линий, предусматривающие увеличение объема информации, выводимой на пульт горного диспетчера, повышенные показатели надежности элементов системы контроля [4].

Предлагаемая в данной статье система видеоконтроля является инновационной и перспективной. При этом применение полевой шины CAN для создания системы передачи информации в шахтных

условиях является наиболее приемлемым [5]. Таким образом, видна актуальность решения задачи реализации мониторинга перегрузочных пунктов конвейерных линий для анализа горным диспетчером и руководством шахты с помощью видеоснимков.

Анализ публикаций. В [6] проведен анализ готовых промышленных сетевых решений, основанных на полевых шинах Modbus, CAN, Interbus и Profibus, и представлен ряд отличий шины CAN (Controller Area Network), который выделил ее из приведенного перечня зарубежных продуктов. В [5] исследована возможность применения полевой шины CAN для создания системы передачи информации в шахтных условиях. Возможность использования видеоконтроля технологических процессов в угольной шахте представлена в [7].

Постановка задачи. Необходимо обосновать и структурировать компьютерную сеть автоматизированного видеоконтроля мест пересыпа угля на конвейерной линии, обеспечивающей высокий уровень достоверности передачи данных в условиях угольной шахты, предусмотрено использование CAN шины.

Основная часть. Компьютерная сеть видеоконтроля перегрузочных пунктов состоит из двух подсетей: подземной и наземной. В подземной части сети происходит сбор данных (видеосъемка), передача данных на CAN контроллер и дальнейшая передача на сервер базы данных, где происходит сохранение изображений с присвоенной им информацией о месте съемки и даты. В наземной части сети к серверу базы данных через сетевой маршрутизатор подключены ПК пользователей, а именно, горного диспетчера и руководства шахты.

Одним из основных условий при организации сети является то, что сбор и передача информации в шахте должны выполняться с необходимым дублированием и резервированием для снижения вероятности потери и искажения данных. Среда передачи данных должна иметь высокую помехоустойчивость и искробезопасность.

При выборе средств реализации системы автоматизированного управления, а именно видеоаппаратуры, клемных соединений и канала передачи информации на поверхность, в первую очередь необходимо руководствоваться к какой категории опасности по запылённости относится объект наблюдения. Соответственно, чем

выше категория, тем выше требования к искро- и взрывобезопасности шахтного оборудования.

При выборе камеры необходимо руководствоваться также тем, какая обеспечивается освещенность. Известно, что камеры, позволяющие делать цветные снимки, теряют свои свойства и в темноте делают черно-белые снимки. Приемлемым вариантом является камера со встроенным блоком компрессии изображений в формат JPEG, которая производит съемку в инфракрасном спектре. Места съемки должны быть оснащены источниками света – инфракрасными прожекторами.

В качестве базовой шины передачи данных в угольной шахте была выбрана CAN шина. Контроллер локальной сети (CAN) был разработан в 1980 г. автомобильной фирмой Robert Bosch. Цель созданного интерфейса – повышение надежности передачи информации по последовательному интерфейсу от различных узлов автомобиля с сокращением общего числа проводников. В результате CAN интерфейс нашел широкое применение в промышленной автоматике, где имеется большое число устройств управления, датчиков, механизмов, электроприводов и других объектов, которые связаны единым технологическим циклом. В промышленности Германия CAN шина занимает первое место по распространенности благодаря выгодному сочетанию скорости и надежности передачи информации по последовательному интерфейсу, простоте организации сети и дешевизне. Кроме того, шина характеризуется повышенной защищенностью от электрических и информационных перегрузок [5].

Выбрана версия контроллера CAN 2.0B (Full-CAN), обеспечивающая меньшую загрузку центрального процессорного устройства и большую пропускную способность канала. При стремительном удешевлении CAN-контроллеров использование Full-CAN по сравнению с версией 2.0A (Basic CAN) стало оправданным еще и с экономической точки зрения.

Скорость передачи данных по каналу связи устанавливается программным путем и может достигать 1 Мбит/с. Эта скорость определяется исходя из расстояний, числа абонентов и пропускной способности линий передачи. Зависимость скорости передачи информации от расстояния представлена в табл. 1 [5].

Таблица 1

Скорости передачи данных по спецификации CAN

Расстояние, м	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
Скорость, Кбит/с	1000	800	500	250	125	50	20	10

Протокол CAN обладает развитой системой обнаружения и сигнализации ошибок. Для этих целей используется проверка пакета сообщения значением контрольной последовательности пакета, которое вычисляется с помощью алгоритма проверки циклической избыточности (Cyclic Redundancy Check – CRC).

Система арбитража протокола CAN исключает потерю информации и времени при возникновении коллизий на шине.

Физический уровень CAN дает возможность использовать витую пару, оптоволоконный кабель, радиоканал. Для организации CAN сети рекомендуется использовать неэкранированную витую пару [5].

Сама CAN шина представляет собой двухпроводную линию, нагруженную резисторами сопротивлением 120 Ом для предотвращения отражений электрических сигналов от концов линий, которые отразившись, могут вызвать наложение сигналов и возникновение ошибок сети [5]. Подключение CAN контроллера к шине происходит через дифференциальный приемопередатчик для повышения помехоустойчивости передаваемого сигнала. Видеокамеры подключаются к портам ввода/вывода CAN контроллеров. Общее число узлов будет ограничено временной задержкой и (или) электрической нагрузкой на линии шины.

Допустимой скоростью передачи видеоданных с частотой заснятия объекта 15 секунд является 20 Кбит/с, что обосновано в [7]. С учетом этого одна система может контролировать не более 3-4-х перегрузочных пунктов, так как выше указывалась средняя длина ленточного конвейера 300-500 м.

Благодаря арбитражу шины сообщение с высшим приоритетом передается первым, обеспечивая функционирование системы в реальном масштабе времени и быструю передачу информации. Распределение приоритетов между различными типами сообщений задается разработчиком при проектировании сети.

К CAN шине подключается также главный контроллер, с которого данные передаются на наземную подсеть, т.е. на сервер базы данных, и сохраняются там. Наземная подсеть имеет клиент-серверную структуру, состоит из сервера базы данных и ПК пользователей, объединенных с помощью сетевого устройства – маршрутизатора. При построении наземной сети используется технология Fast Ethernet на основе неэкранированной витой пары с максимальной пропускной способностью 100 Мбит/с. Этой скорости достаточно, так как максимальная скорость подземной сети не превышает 1 Мбит/с.

Таким образом, исходя из выше обоснованного, построена структурная схема системы видеоконтроля (рис. 1). Компьютерная сеть состоит из следующих элементов: контроллеров, проводной среды передачи данных, сервера базы данных, сетевого маршрутизатора и ПК пользователей.

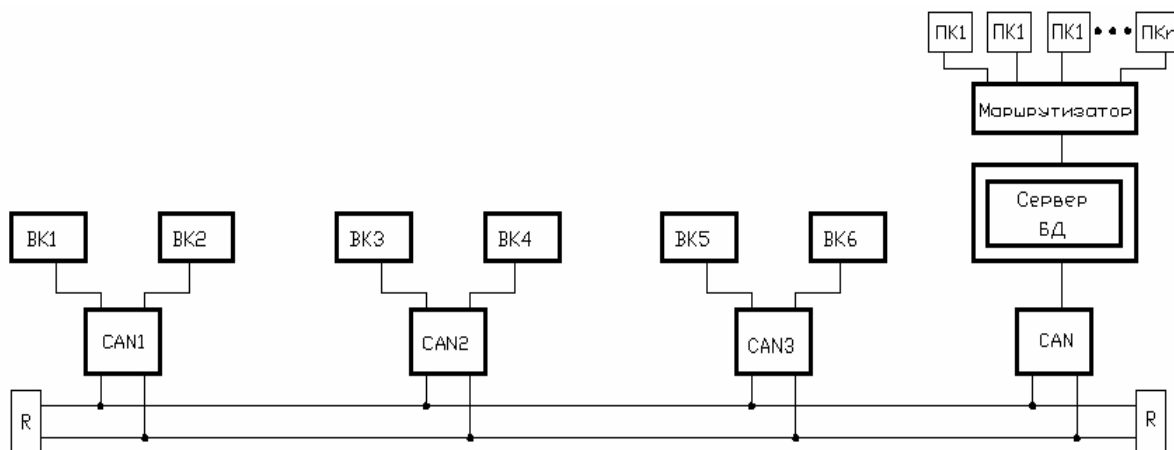


Рисунок 1 - Структурная схема сети передачи данных:

- ВК – видеокамера;- CAN – контроллер;- ПК – персональные компьютеры на рабочих местах горного диспетчера и руководителей шахты

Видеоинформация поступает на сервер и сохраняется в базе данных с информацией о пункте съемки и времени. Диспетчер, отправляя запросы на сервер, анализирует и систематизирует базу видеоизображений и принимает то или иное решение, направленное на предотвращение развития аварийной ситуации.

Вывод. Разработана структурная схема системы видеоконтроля перегрузочных мест конвейерной линии в условиях угольной шахты с

использования CAN шины, не описанная ранее. Построена структурная схема системы видеоконтроля. Определены параметры для подземной и наземной частей компьютерной сети, обеспечивающие решение задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левкин Н. Перспективы обеспечения промышленной безопасности на угольных шахтах / Н. Левкин, О. Кашуба. – Донецк: Уголь Украины. – 2007. – №6. – С. 27-29.
2. Пейсахович Г. Справочник по шахтному транспорту / Г. Пейсахович, И. Ремизова. – М.: НЕДРА, 1977. – 624 с.
3. Иванов А. Автоматизация процессов подземных горных работ / А. Иванов. – К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987. – 328 с.
4. Казаков В. Экспериментальный образец шахтной компьютерной сети / В. Казаков, Т. Зиновьева – Донецк: Уголь Украины. – 2007. – №9. – С. 54-55.
5. Ткачев В. Исследование возможности применения полевой шины CAN протокола CAN Open для создания систем передачи информации в шахтных условиях / В. Ткачев, Д. Поперечный, В. Надточий – Днепропетровск: НГУ – Сборник научных трудов НГУ №19, том 2. – 2004. – С. 50-59.
6. Ткачев В. Разработка системы передачи информации для подземных условий / В. Ткачев, Ю. Аврахов, Д. Поперечный – Днепропетровск: НГУ – Сборник научных трудов НГУ №19, том 2. – 2004. – С.20-27.
7. Цвиркун Л. Математическая модель и анализ системы видеоконтроля технологических процессов угольной шахты / Л. Цвиркун, И. Кмитина – Новосибирск: НГТУ – Материалы IX международной конференции, том 2. – 2008. – С. 85-88.

Получено 25.11.2008г.

СИСТЕМА ЗНАНИЙ ПО СТРУКТУРИРОВАННЫМ КАБЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ

Актуальность. Физическая среда передачи (кабель) локальных сетей стала практически независимой от применяемых технологий, что обусловило появление концепции структурированных кабельных систем (СКС) [1]. Существующие стандарты на СКС не исключают учет специфики проектирования и применения СКС. Но современная литература по СКС не рассматривает комплекс специальных знаний по СКС, специфику подготовки соответствующего инженера в вузе.

Анализ известных исследований. В [2] предложено триединство «модель-алгоритм-реализация» при разработке сложных систем с наилучшими характеристиками. Проблема «модели» актуальна по существу и должна «адекватно отображать фрагмент объективной реальности» [2].

Постановка задачи. Взаимодействие человека и техники в системе производства должно рассматриваться моделью «человек-машина-производство-среда» на стадии проектирования с использованием требований эргономики [3]. Эта модель тождественна техническому вузу, который проектирует процесс «изготовление выпускника-инженера», разрабатывает методическое обеспечение и реализует сам процесс» конкретной информационной обработки студента. При этом «идеальный инженер-системотехник должен сочетать в себе талант ученого с искусством конструктора и деловыми качествами администратора» [4].

Основная часть.

1. Модель формирования инженерного мышления по СКС.

При решении любой инженерной задачи следует использовать системный подход [4]. При этом можно представить следующую системную модель человеко-машинного взаимодействия (ЧМВ).

С использованием «модели системы труда» [5], модель ЧМВ (рис. 1) следует рассматривать в качестве «обобщенного системного средства труда».

Обычно в учебном процессе и в профессиональной деятельности приоритет внимания отдается только системе [1]. Но в таком случае исключается из рассмотрения система человека [2], как обязательная подсистема [4], инициирующая решение о создании, разработке и эксплуатации системы [1].

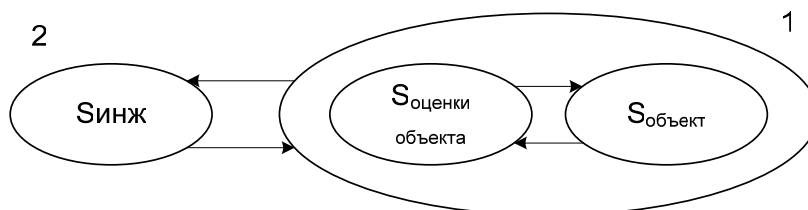


Рисунок 1

Для формирования понимания «объективного многоуровневого инженерного мышления» (логический предмет труда), можно использовать древовидную граф-модель (рис. 2) [4]. На ней отображены этапы — циклы по формированию профессионала (Синж) в области «Компьютерной инженерии»:

I цикл: Работа с моделями кабелей; изучение и измерение свойств с помощью приборов измерения.

II цикл: Проектирование конкретной СКС; использование стандартов для построения СКС.

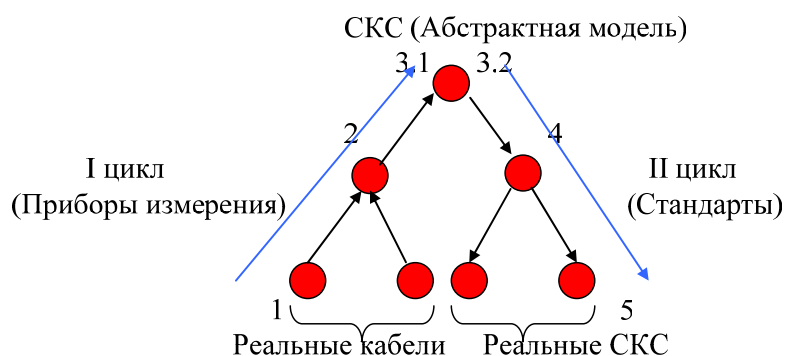


Рисунок 2 - Граф-модель методологии мышления в учебном процессе СКС

Очевидно следующее формальное содержание циклов: I цикл – этапы 1->2->3.1; II цикл – этапы 3.2->4->5. При этом нами закладывается следующее содержание на этапах 1 – 5:

1. Реальные кабели: виды несимметричных кабелей.

2. Физическое представление: параметры, алгоритмы измерения приборами, результаты, пояснения.

3.1. Математическое представление реальных кабелей: связь полученных результатов конструктивного и параметрического измерения (исследования), получение модельного описания.

3.2. Абстрактное представление СКС. Виды моделей СКС для разрабатываемых информационных систем (ИС).

4. Физическое представление работы и условий эксплуатации СКС при

разработке ИС с учетом используемых стандартов: особенности используемых приложений; особенности окружающих условий эксплуатации — влажность, температура, электромагнитные поля.

5. Практическая реализация: конструкторская и технологическая документация собственно СКС и вспомогательного оборудования с учетом применяемых стандартов: прокладка кабелей, монтаж декоративных коробов и точек перехода, тестирование линий и трактов СКС, передача в эксплуатацию, администрирование эксплуатации СКС и устранения неисправностей.

2. Модель подготовки по СКС с учетом Болонского процесса.

Проблема. Образовательный процесс ВПХ характеризуется следующими основными подходами: - иллюстративно-воспроизводящий (репродуктивный) метод подачи учебного материала;- творческий метод обучения личности.

Первый метод широко распространен в системе образования Украины. Основная функция репродуктивного метода обучения — усвоение учебного материала в ходе лекций с целью его дальнейшего воспроизведения и практического закрепления. Многочисленные научные эксперименты показали низкую эффективность репродуктивного метода.

Второй метод обучения предполагает определенную степень свободы. Обучаемый должен сам принимать решение в процессе творческой самостоятельной работы, создавать нечто новое на основе полученных от преподавателя знаний и навыков. В настоящее время в системе образования Украины творческий метод обучения не

получил широкого распространения в силу как объективных факторов (отсутствия денежных средств, необходимых материальных фондов), так и субъективных обстоятельств (дефицита в среде педагогов ярких личностей).

Оба эти типа обучения — творческий и репродуктивный — при всей своей несхожести требуют поиска их единства, некой основы, которая могла бы их объединить. Одновременно с учетом Болонского процесса (БП), Украина реформирует систему образования, адаптирует методику преподавания к западным стандартам в контексте движения всего государства в ЕС.

БП предусматривает создание «репродуктивно-творческого подхода» (РТП) для обучения студентов: обзорного курса изучаемого предмета; истории развития предмета; анализом конкретного содержания научной дисциплины; решения конкретных творческих задач научного, или производственного характера; перехода от контроля студента к сотрудничеству преподавателя и студента.

Однако, западной системе образования также присущ ряд негативных особенностей:

- излишняя формализация форм контроля тестированием;
- утрата фундаментальных знаний в области математики, физики, химии приводит к снижению научного кругозора студентов и способствует превращению в «одностороннего» человека, о чём предупреждал немецкий философ Герберт Маркузе в книге «Одномерный человек» [6, 7].

Решение проблемы. Опыт профессиональной подготовки в «компьютерной инженерии» (КИ) и исследования в области методологии учебного процесса заставил обратить внимание на восприятие базовых дисциплин специальности. Выяснилось, что восприятие этих знаний у будущих профессионалов разрознено и не имеет связи теории с практикой в области СКС. С целью адаптации к БП, необходимо реформировать учебный процесс по СКС.

Следовательно, для успешной подготовки специалистов в области ИС, адаптации учебного процесса к БП, знания по СКС следует формировать с использованием РТП, например, на базе «теории электрических цепей» (ТЭЦ), начиная со 2-го курса и завершая в общей дисциплине 5-го курса «Аппаратные средства компьютерных систем» (АСКС). ТЭЦ является теоретической основой

СКС, совместно с «теоретическими основами радиотехники» (ТОР рассматривает высокочастотные колебания, а ТЭЦ — низкочастотные). В пределах ТОР СКС стоит излагать связь базовых теоретических знаний. Дополнительные сведения по теории могут быть почерпнуты в индивидуальном творческом порядке в специальных литературных источниках — информационном фонде (ИФ).

Таким образом, обосновывается возможность организации репродуктивно-творческого учебного процесса по ТОР СКС. При этом:

1. Строится «мост» между базовой дисциплиной специальности на 2 курсе — ТЭЦ, и выходной дисциплиной 5-го курса — АСКС.

2. Формируется новое понимание теоретической базы СКС информационных систем, как область знаний «ТОР СКС».

3. Возрастает качество профессиональной подготовки за счет связного рассмотрения ТЭЦ и ТОР СКС студентами со 2-го по 5-й курс.

4. Вырабатывается также стиль творческой самостоятельной подготовки, формирование профессиональной ответственности и интереса.

5. Возрастает престиж профилирующей кафедры как «производства» подготовки качественных выпускников-профессионалов в области СКС и компьютерной инженерии в целом.

6. Очевидна следующая структура занятий по ТОР СКС с использованием РТП: лекции, самостоятельные занятия, лабораторные работы и практические занятия.

7. Для обеспечения учебного процесса ТОР СКС сформирована основа ИФ. Он состоит из основных и вспомогательных источников, содержащих описание теоретических основ и практических аспектов ТОР СКС в их эволюции (книги, справочники, статьи, журналы, патенты, стандарты).

8. Так как при общении (передаче знаний) наиболее информативными являются графические образы, то в работе используются следующие виды сообщений: общие виды, графы, графики, таблицы, уравнения. Особенности данных сообщений раскрываются в месте, обозначенном ссылкой (так реализуется необходимость творческого подхода у обучаемых) [4].

Выводы. Представленные формализмы обеспечивают объективное формирование специалистов по СКС в рамках учебного процесса по компьютерной инженерии. Подготовлен базовый учебно-методический материал по СКС на симметричном и несимметричном кабелях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия – СПб.: Питер, 2005. – 573 с.
2. Краснощеков П. С. Информатика и проектирование. / Краснощеков П. С., Петров А. А., Федоров В. В. – М.: Знание, 1986. – 48 с.
3. Кобевник В. Ф. Охрана труда. – К.: Выща шк., 1990. – 286 с.
4. Горохов В. Г. Методологический анализ системотехники. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
5. Мардахаев А. А. Охрана труда. История, теория, практика. – Львов: Вища школа, 1984. – 140 с.
6. Галазюк О. Д. Проблема диверсификации методов обучения в контексте участия Украины в Болонском процессе. — "Наука, религия, общество", 2004, № 3
7. 7.Лямзин А. Страны СНГ и Болонский процесс. — Проект Ahey@
8. <http://mmj.ru/index.php?id=40&article=70>.

Получено 31.10.2008г.

УМНОЖИТЕЛЬ ИНДУКТИВНОСТИ

Актуальность. Использование индуктивных датчиков в резонансных измерительных устройствах на низких частотах ограничивается малыми значениями их собственной индуктивности. Поэтому актуальным является создание устройств, позволяющих увеличивать индуктивность датчика до необходимого значения.

Анализ последних исследований. Общие вопросы синтеза преобразователей реактанса рассмотрены в ряде работ [1-3], частные схемотехнические решения умножителей индуктивности показаны в [4, 5]. Анализ результатов, полученных в [6] делает целесообразным использование комбинированной операционной схемы для проектирования умножителя индуктивности.

Постановка задачи. Целью работы является обоснование методики синтеза умножителя индуктивности как частного случая комбинированной операционной схемы.

Основная часть. Для линейной комбинированной операционной схемы (рис.1) характерным является наличие положительной и отрицательной обратных связей, а также то, что сигнал возбуждения поступает на оба входа операционного усилителя.

В [6] показано, что входной импеданс такой схемы со стороны Z_1 равен

$$Z_{\text{вх}} = \frac{1}{1-n} (Z_1 - Z_2 Z_3 / Z_4), \quad (1)$$

где $n = U_2 / U_1$; Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 — линейные импедансы.

В схеме на рис.1 неинвертирующий усилитель DA2 обеспечивает синфазность напряжений U_1 и U_2 . Поскольку коэффициент передачи неинвертирующего усилителя равен $A = 1 + R_2 / R_1$, то здесь

$$n = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (2)$$

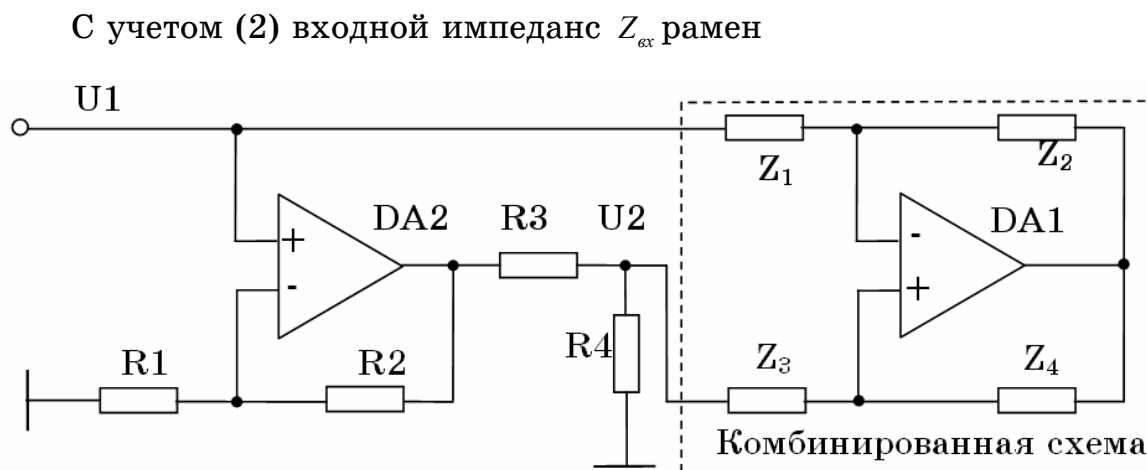


Рисунок 1- Комбинированная операционная схема согласно уравнению (1)

$$Z_{\text{вх}} = \frac{R1(R3 + R4)}{R1R3 - R2R4} \left(Z_1 - \frac{Z_2 Z_3}{Z_4} \right). \quad (3)$$

Из (3) следует, что относительно Z_1, Z_2, Z_3 схема является умножителем импеданса на постоянный коэффициент, относительно Z_4 — гиратором. Умножение с положительным знаком возможно при выполнении одного из условий: $R1R3 > R2R4$ и $Z_1 > Z_2 Z_3 / Z_4$; (4)

$$R1R3 < R2R4 \text{ и } Z_1 < Z_2 Z_3 / Z_4; \quad (5)$$

а умножение с отрицательным знаком при

$$R1R3 < R2R4 \text{ и } Z_1 > Z_2 Z_3 / Z_4; \quad (6)$$

$$R1R3 > R2R4 \text{ и } Z_1 < Z_2 Z_3 / Z_4; \quad (7)$$

Очевидно, что выбор требуемого условия при заданном знаке умножения определяется тем, какой из импедансов $Z_1 \div Z_3$ подлежит умножению. Условия (4), (6) целесообразно использовать для умножения Z_1 , так как в этом случае удобно выбрать $Z_2 = Z_3 = 0$, $Z_4 = \infty$. Условия (5), (7) целесообразно использовать для умножения Z_2, Z_3 , при этом $Z_1 = 0$. Такой подход к выбору условий упрощает схемотехнику умножителя импедансов. Анализ выражения (3) показывает также, что условие (4) гарантирует умножение Z_1 на постоянный коэффициент больше 1. По условиям (5), (6), (7) постоянный коэффициент, на который умножаются $Z_1 \div Z_3$, может быть как больше, так и меньше 1.

Для экспериментальной проверки условия (4) в качестве Z_1 была использована индуктивность $L_1 = 0,33 \text{ мГн}$ с активным сопротивлением $r = 1,4 \text{ Ом}$. Расчетное значение входной индуктивности умножителя определено из (3) в виде

$$L_{\text{вх.расч.}} = L_1 R_1 (R_3 + R_4) / (R_1 R_3 - R_2 R_4). \quad (8)$$

На рис.2 приведены расчетная $L_{\text{вх.расч.}}(n)$ и экспериментальные зависимости реактивной $L_{\text{вх.}}(n)$ и активной $r_{\text{вх.}}(n)$ составляющих входного импеданса от коэффициента n .

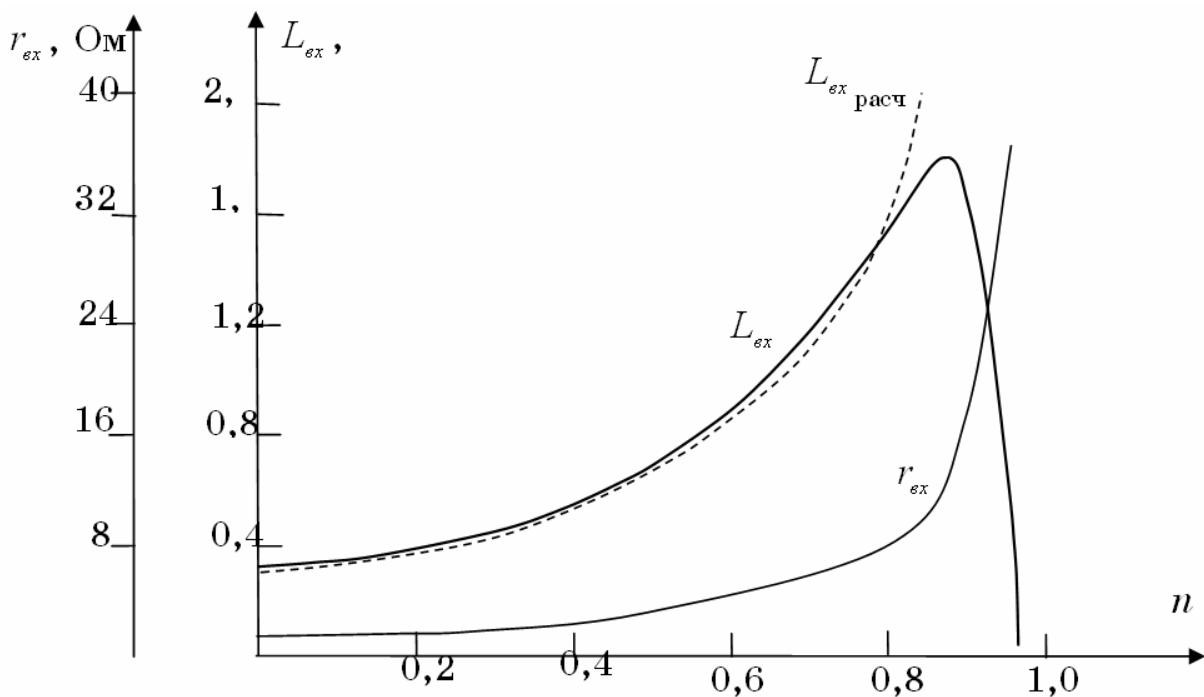


Рисунок 2 - Входные индуктивность $L_{\text{вх}}$ и активное сопротивление $r_{\text{вх}}$ как функции коэффициента n (для схемы на рис. 1)

Из рисунка видно, что зависимость $L_{\text{вх.расч.}}(n)$ и $L_{\text{вх.}}(n)$ при $0 \leq n \leq 0,8$ отличаются незначительно. Коэффициент умножения импеданса Z_1 достигает 5,5. При $n > 0,88$ $L_{\text{вх}}$ резко уменьшает свое значение, что объясняется насыщением усилителя DA1.

По условию (4) можно реализовать схему умножителя индуктивностей на одном операционном усилителе (рис.3,а).

Такая схема эквивалентна схеме на рис.1. в которой $R_1 = \infty, R_2 = 0$. Напряжение U_2 снимается с резистивного делителя R_3, R_4 , который питается напряжением U_1 . Коэффициент n определяется как

$$n = R4/(R3 + R4) \quad (9)$$

и может изменяться от 0 до 1. Из (1) с учетом (4) и (9) получим, что входная индуктивность умножителя

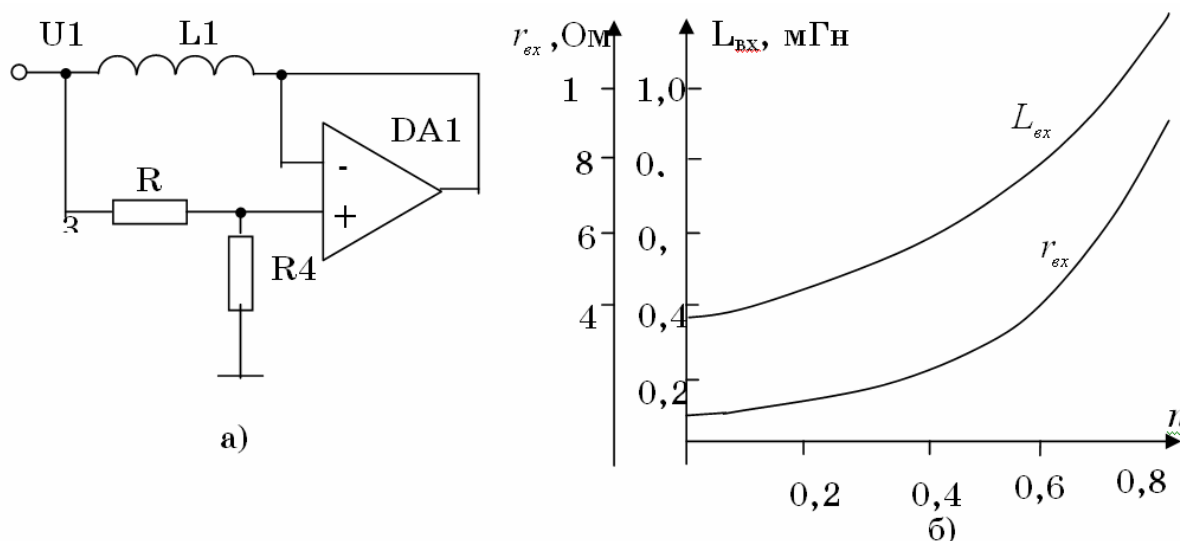


Рисунок 3 - Умножитель индуктивности (а) и его входные характеристики (б)

$$L_{\text{вх}} = L1(1 + R4/R3). \quad (10)$$

Как видно из экспериментальных зависимостей $L_{\text{вх}}(n)$ и $r_{\text{вх}}(n)$, приведенных на рис.3,б, при $0 \leq n \leq 0,8$ наблюдается эффект умножения индуктивности $L1$ с максимальным коэффициентом умножения 3,7. Возможность значительного увеличения $L_{\text{вх}}$ по сравнению с $L1$ сдерживается ограничениями по динамическому диапазону, так как напряжение на $L_{\text{вх}}$ меньше напряжения насыщения усилителя DA1 в $(1 + R4/R3)$ раз.

Рассмотренный умножитель имитирует на входных клеммах заземленную индуктивность, величина которой определяется значением индуктивности $L1$ и коэффициентом умножения.

Вывод. Проведенные исследования показывают возможность схемотехнического проектирования умножителей индуктивности с заданными характеристиками на основе комбинированной операционной схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов Е.А., Марунчак Л.В., Рядинских А.С. Синтез нелинейных преобразователей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
2. Кустов О.В., Лундин В.З. Операционные усилители в линейных цепях. – М.: Связь, 1978. – 144 с.
3. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. – Л.: Энергия, 1974. – 216 с.
4. А.с. 813696 СССР Индуктивный двухполюсник/ А.Ф. Гришков, А.Н. Гуляев, И.Г. Дорух, А.В., Маргелов. Бюл. №10, 1981.
5. А.с. 836784 СССР. Преобразователь сопротивления/ С.А.Новосельцева, М.З. Чаповский. Бюл. №21, 1981.
6. Твердоступ Н.И. О функционально полном наборе входных импедансов комбинированной операционной схемы // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 6(41). – Днепропетровск, 2005. – с. 47 – 53.

Получено 28.11.2008г.

УДК 519.6: 536.764

А.И. Ивон, А.А. Андреев, Л.А. Можаровский**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ ДЛЯ
АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА ТРОТТЛИНГА
ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА**

Введение. Режим троттлинга (throttling) используется для управления энергопотреблением центрального процессора компьютера и в частности для его защиты от перегрева [1]. В режиме троттлинга тактовый сигнал процессора модулируется таким образом, что за любой достаточно большой по сравнению с его периодом промежутков времени количество „полезных” тактов процессора, в которых выполняется машинный код команд, уменьшается и увеличивается число „холостых” тактов, в течение которых процессор простаивает. Такой режим работы уменьшает загрузку процессора, поскольку он уже не тратит все свои такты на выполнение программного кода, как следствие энергопотребление снижается. Поэтому перевод процессора при возникновении перегрева в режим троттлинга является эффективным средством борьбы с этим негативным явлением. В современных процессорах контроль температуры кристалла осуществляется с помощью термодиода, интегрированного в схему процессора [2]. Когда температура кристалла превышает заданный предел, запускаются программные или аппаратные средства, переводящие процессор в режим троттлинга.

Значительные возможности для борьбы с перегревом процессоров предоставляют критические терморезисторы на основе диоксида ванадия (VO_2) [3]. Такие терморезисторы сочетают свойства датчика температуры и термического реле переключающегося при температуре $\sim 68^\circ\text{C}$, близкой к граничным рабочим температурам, составляющим для разных моделей процессоров $80 - 90^\circ\text{C}$ [2].

Постановка задачи. В настоящей работе поставлена задача исследовать возможности использования критических терморезисторов на основе VO_2 для аппаратной реализации режима троттлинга центрального процессора компьютера с целью его защиты от перегрева.

© Ивон А.И., Андреев А.А., Можаровский Л.А., 2009

Обоснование полученных результатов. Принципы, заложенные в режиме троттлинга процессора, поясняет рис. 1. Тактирующий сигнал процессора, имеющий частоту f_0 модулируется по амплитуде сигналом с меньшей частотой f и скважностью $Q = T/T_{\text{и}}$. Благодаря такой модуляции за период модулирующего сигнала T тактовые сигналы („полезные” такты в которые выполняется программный код) подаются ядру процессора по его внутренней шине только в течение интервала времени $T_{\text{и}}$, а в интервале времени $T - T_{\text{и}}$ не подаются, то есть процессор не выполняет программный код и эти такты являются „холостыми”.

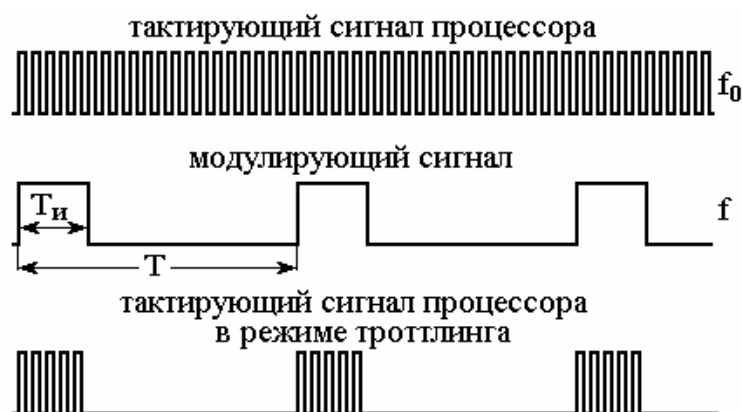


Рисунок 1 – Модуляция тактовой частоты процессора в режиме троттлинга

Уменьшение количества „полезных” тактов процессора в режиме троттлинга эквивалентно снижению тактовой частоты процессора, следствием чего является снижение энергопотребления. Эффективную частоту процессора в режиме троттлинга, называемую „частотой троттлинга” ($f_{\text{тр}}$), можно оценить, если учесть, что количество „полезных” тактов за период модулирующего сигнала T равно $f_0 T_{\text{и}}$ (рис. 1) и ввести эффективный период тактового сигнала в режиме троттлинга равный $T/(f_0 T_{\text{и}})$. В результате для частоты троттлинга получим следующее выражение:

$$f_{\text{тр}} = \frac{f_0}{Q}, \quad (1)$$

из которого вытекает, что частота троттлинга, а, следовательно, энергопотребление процессора снижаются с ростом скважности сигнала модулирующего тактирующий сигнал процессора.

Для модуляции тактового сигнала центрального процессора компьютера при борьбе с его перегревом можно использовать делитель напряжения, схема которого показана на рис. 2.

В этом делителе терморезистор R_t на основе VO_2 скачком (не менее чем на два порядка) уменьшает сопротивление, когда нагревается от процессора до температуры фазового перехода металл-полупроводник $T_t \sim 68^\circ\text{C}$.

Как следствие, сигнал высокого уровня напряжения U^1 (логическая „1“) на выходе делителя сменяется сигналом низкого уровня U^0 (логический „0“), который может использоваться для перевода процессора в режим троттлинга. Если сопротивление критического терморезистора

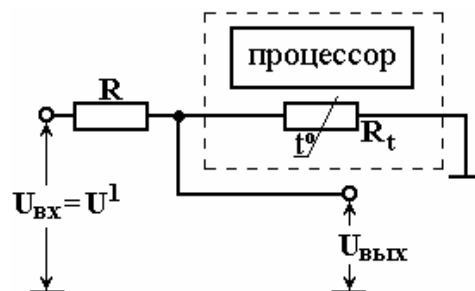


Рисунок 2 – Схема делителя напряжения на критическом терморезисторе

в полупроводниковой фазе VO_2 вблизи температуры фазового перехода T_t равно R_{off} , а выше этой температуры R_{on} , то уровни напряжения на выходе делителя определяются соотношениями:

$$U^1 = \frac{U^1 R_{off}}{R + R_{off}}; \quad U^0 = \frac{U^1 R_{on}}{R + R_{on}}. \quad (2)$$

Для обеспечения необходимого перепада напряжения между уровнями логического нуля и единицы сопротивление резистора R в схеме делителя можно выбрать, как геометрическое среднее сопротивлений R_{off} и R_{on} :

$$R = \sqrt{R_{off} R_{on}}, \quad (3)$$

это обеспечивает следующие уровни напряжения логических сигналов, соответственно, выше и ниже критической температуры $T_t \sim 68^\circ\text{C}$:

$$U^1 = \frac{U^1}{1 + \sqrt{\frac{R_{on}}{R_{off}}}} \approx U^1; \quad U^0 = \frac{U^1 \sqrt{\frac{R_{on}}{R_{off}}}}{1 + \sqrt{\frac{R_{on}}{R_{off}}}} \approx U^1 \sqrt{\frac{R_{on}}{R_{off}}}. \quad (4)$$

Из (4) вытекает, что при обычном для терморезисторов на основе VO_2 отношении сопротивлений $R_{off}/R_{on} \geq 10^2$ [3,4], делитель на

рис. 2, обеспечивает напряжение логического нуля $U^0 \leq 0,1 U^1$, который является типичным для микросхем ТТЛШ и КМОПТЛ используемых в современной цифровой технике.

Критические терморезисторы на основе VO_2 могут быть изготовлены как в пленочном исполнении [4], так и в объемном [3]. Такие терморезисторы в пленочном исполнении, как и термодиоды, могут быть интегрированы непосредственно на кристалле процессора при использовании гибридной технологии изготовления СБИС. Известно, что температура кристалла процессора в области его ядра на $20 - 30^\circ\text{C}$ превышает температуру на корпусе процессора [2], предельное значение которой, как отмечалось выше, составляет $80 - 90^\circ\text{C}$. Поэтому второй уровень защиты от перегрева могут обеспечить объемные терморезисторы на основе VO_2 , расположенные на корпусе процессора.

Один из возможных вариантов двухуровневой схемы защиты процессора от перегрева с помощью критических терморезисторов на основе VO_2 , которая аппаратным путем обеспечивает перевод процессора в режим троттлинга при возникновении перегрева, показан на рис. 3. Первый уровень защиты в этой схеме обеспечивает пленочный терморезистор R_{t1} , интегрированный на кристалле процессора. Он переключается в состояние с низким сопротивлением, когда температура ядра процессора достигает $\sim 68^\circ\text{C}$. Объемный терморезистор R_{t2} , расположенный на корпусе процессора также переключается при температуре $\sim 68^\circ\text{C}$, но тогда, когда кристалл процессора нагрет до $90 - 100^\circ\text{C}$.

В штатном режиме работы процессора, когда его кристалл еще не нагрет до температуры 68°C , оба критических терморезистора находятся в состоянии высокого сопротивления R_{off} , поэтому на выходе обоих делителей уровень напряжения U^1 соответствует логической „1”. Логическая единица, поступающая на элемент „И” DD1 с делителя $R2-R_{t2}$ не блокирует опорный сигнал тактового генератора, который для разных моделей процессоров обычно имеет частоту $f_{\text{оп}} \sim 100 \div 200 \text{ МГц}$ [5]. Этот сигнал поступает на умножитель частоты $\times n$, где преобразуется в тактирующий сигнал ядра процессора $f_0 = n f_{\text{оп}}$. Логическая единица, приходящая с делителя напряжения $R1-R_{t1}$ на элемент „ИЛИ” DD3, блокирует передачу сигнала опорной частоты на вход элемента „И” DD2. На элемент DD2

с выхода DD3 поступает логическая „1”, разрешающая передачу тактирующего сигнала в ядро процессора, поэтому он работает на своей подлинной частоте f_0 .

Когда кристалл процессора нагревается до температуры 68°C , срабатывает первый уровень защиты, обеспечиваемый делителем напряжения $R1-R_{t1}$. Сигнал низкого уровня напряжения U^0 с выхода этого делителя, поступающий на логический элемент DD3 разрешает передачу сигнала опорной частоты $f_{оп}$ на вход DD2. Происходит амплитудная модуляция тактирующего сигнала процессора, имеющего частоту f_0 , сигналом опорной частоты $f_{оп}$. В промежутки времени, когда сигнал опорной частоты имеет низкий уровень U^0 , передача тактирующего сигнала в ядро процессора не происходит (рис. 1), то есть реализуются „холостые” такты процессора, когда он фактически находится в спящем режиме. Поскольку опорный сигнал тактового генератора имеет скважность $Q \approx 2$, то частота троттлинга $f_{тр}$ в соответствии с (1) в этом случае в два раза меньше истинной частоты процессора f_0 .

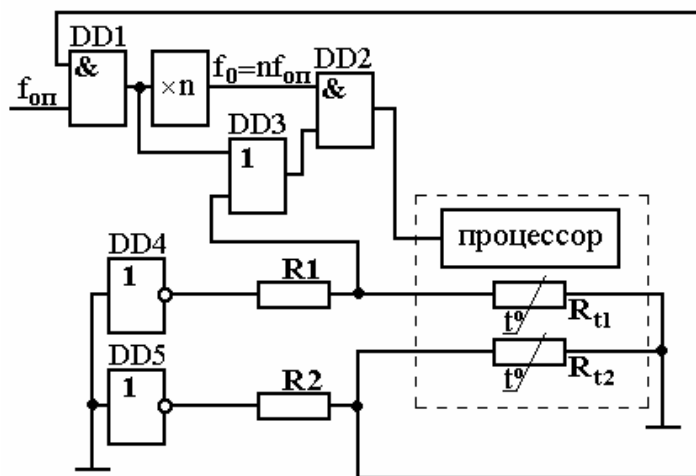


Рисунок 3 – Двухуровневая схема защиты центрального процессора компьютера от перегрева, использующая режим троттлинга

Поэтому загрузка процессора снижается до 50% и он остывает. Если температура ядра процессора снизится до значения $68^{\circ}\text{C} - \Delta T_t$ ($\Delta T_t \sim 3 - 10^{\circ}\text{C}$ ширина петли температурного гистерезиса фазового перехода металл-полупроводник VO_2) критический терморезистор R_{t1} переключается в состояние высокого сопротивления и штатный

режим работы процессора с частотой тактирующего сигнала f_0 восстанавливается.

В том случае, если после срабатывания первого уровня защиты нагрев процессора продолжается, то при температуре кристалла $90 - 100^\circ\text{C}$, терморезистор расположенный на корпусе процессора переключается в состояние низкого сопротивления. С делителя напряжения $R_2 - R_{t_2}$ на элемент DD1 поступает напряжение логического нуля U^0 , которое блокирует передачу сигнала опорной частоты $f_{\text{оп}}$ в процессор. В этом случае все такты становятся „холостыми“, что значительно снижает энергопотребление и способствует эффективному охлаждению процессора.

Таким образом, критические терморезисторы на основе VO_2 позволяют с помощью простых схемотехнических решений, без привлечения программных средств, реализовать режим троттлинга процессора для обеспечения его защиты от перегрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Функции управления производительностью и энергопотреблением процессоров Intel Pentium 4 и Intel Xeon. Часть 2: новые процессоры, новые технологии [Электронный ресурс] / Д. Беседин // iXBT – 2004 – Режим доступа: <http://www.dvgu.ru/meteo/PC/IntelThermal-2.html>.
2. Защита процессоров AMD от перегрева (Обзор) [Электронный ресурс] / А. Карабуто // FERRA.RU – 2002 – Режим доступа: <http://www.ferra.ru/online/>
3. [system/s19535/](http://www.ferra.ru/online/system/s19535/)
4. Шефтель И.Т. Терморезисторы (Электропроводность $3d$ -окислов. Параметры, характеристики и области применения). – М.: Наука, 1973.–416 с.
5. Терморезистор прямого подогрева ТРП68-01 [Электронный ресурс]// Индустрон – 2007 – Режим доступа:<http://www.industron.ru/catalog/relsib/uzt/uzt.htm>.
6. М. Гук. Аппаратные средства IBM PC, С-П: “Питер”, 2006 – 1072 с.

Получено 28.10.2008г.

УДК 519.6: 536.764

А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин

УПРАВЛЕНИЕ КУЛЕРОМ С ПОМОЩЬЮ КРИТИЧЕСКИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Введение. Критические терморезисторы – это электронные приборы, сочетающие свойства обычных полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления и термического реле [1]. Характерной особенностью критических терморезисторов есть резкое (на несколько порядков) изменение сопротивления при некоторой критической температуре T_t . Такие терморезисторы реализуют на основе материалов с фазовым переходом металл-полупроводник. В частности электронной промышленностью выпускаются терморезисторы СТ-9 [1], ТПР 68-01[2] с критической температурой $T_t \sim 68^\circ\text{C}$. В последние годы разработан керамический материал на основе VO_2 и стекол системы $\text{V}_2\text{O}_5\text{--P}_2\text{O}_5$ (диоксиднованадиевая стеклокерамика), который проявляет скачок электрического сопротивления при температуре $T_t \sim 70^\circ\text{C}$ [3]. Критические терморезисторы, реализованные на основе такого материала, способны пропускать электрический ток до десятка ампер, это дает возможность использовать их в электрических цепях потребляющих значительный электрический ток, например, для управления работой электрических двигателей.

Постановка задачи. Цель настоящей работы исследование возможностей критических терморезисторов для управления работой кулера процессора.

Обоснование полученных результатов. Известные методы защиты СБИС от перегрева и, в частности, СБИС центрального процессора компьютера, обеспечивают такую защиту либо путем снижения мощности выделяемой электрическим током в микросхеме либо путем увеличения тепловой мощности рассеиваемой микросхемой в окружающую среду [4]. В последнем случае корпус СБИС обдувается потоком воздуха с помощью вентилятора – кулера. Критические терморезисторы на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики, которые испытывают скачкообразное изменение сопротивления (более

© Ивон А.И., Истушкин В.Ф., 2009

двух порядков) при температуре $\sim 70^{\circ}\text{C}$, близкой к верхней границе рабочих температур процессора 80°C ч 90°C [4] могут быть использованы для управления работой кулера с целью организации более экономичного режима его работы.

Такой режим может быть реализован путем управления скоростью вращения крыльчатки кулера. Кулеры, используемые для охлаждения процессора, работают при напряжении питания 12 В и токе I_p , величина которого для различных моделей кулеров составляет от 0,07 до 0,4 А. Значение пускового тока I_n и напряжения, при которых крыльчатка кулера начинает вращаться, примерно в 1,5 – 2 раза меньше рабочих значений. Это дает возможность, изменяя ток в интервале $I_n \leq I \leq I_p$, регулировать скорость вращения крыльчатки и интенсивность воздушного потока, обдувающего корпус микросхемы.

В настоящей работе были выполнены исследования равновесной температуры на нагретой поверхности при обдуве ее кулером модели ND3. Для этой цели на поверхности тонкой керамической пластины, подогреваемой с противоположной стороны электрическим нагревателем, размещали датчик температуры (медный термометр сопротивления) и обдували ее кулером. Равновесную температуру поверхности измеряли для трех режимов работы: при токе кулера $I < I_n$ (крыльчатка не вращается), при токе близком к I_n ($I \sim I_n$) и рабочем токе кулера I_p . Результаты для двух исходных температур поверхности приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы обдув кулером, когда через него течет рабочий ток I_p почти в два раза снижает равновесную температуру поверхности, а при токе близком к пусковому току I_n такое снижение составляет 30 – 40 %.

С учетом полученных результатов можно предложить трехступенчатый режим управления кулером (рис.1). Первая ступень ограничена диапазоном температуры на поверхности микросхемы $T < T_{S1}$. Ток I_0 меньше пускового тока I_n , поэтому кулер выключен. Включение кулера происходит, когда температура достигает значения $T = T_{S1}$, при этом ток через него ограничивается на уровне близком к пусковому току I_n . Когда температура поверхности достигает значения T_{S2} , ток кулера увеличивается до рабочего значения I_p .

Таблица 1

Равновесная температура на поверхности, обдуваемой кулером

Напряжение и ток кулера		Температура поверхности
U, В	I, мА	t, °C
0	0	96 ± 1
6,3	38,8	59 ± 1
12,5	74,5	42 ± 1
0	0	65 ± 1
6,3	38,8	43 ± 1
12,5	74,5	36 ± 1

Режим управления кулером (рис.1) в зависимости от степени нагрева поверхности микросхемы позволяет организовать экономичную работу кулера, используя его на полную мощность, в случае значительного перегрева СБИС.

Для организации такого режима работы кулера потребуется два критических терморезистора, которые переключаются в низкоомное состояние при разных температурах T_{S1} и T_{S2} (причем $T_{S1} < T_{S2}$). Схема включения терморезисторов для управления работой кулера показана на рис. 2. Терморезисторы, имеющие рабочее тело

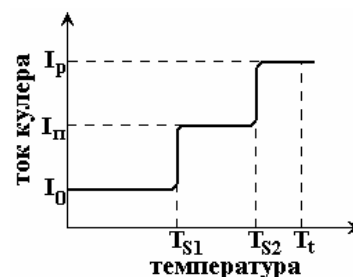


Рисунок 1–

Трехступенчатый режим управления кулером

в виде тонкой пластины диоксидованадиевой стеклокерамики с нанесенными на него электродами (сэндвич структура), приклеиваются теплопроводящей пастой на корпус микросхемы. Необходимые величины сопротивления R_{S1} и R_{S2} вблизи температур T_{S1} и T_{S2} , которые должны иметь терморезисторы до переключения в низкоомное состояние (состояние с сопротивлением $R_{ON1} \ll R_{S1}$ и $R_{ON2} \ll R_{S2}$) несложно рассчитать с учетом рис. 2, записав выражения для токов на каждой ступени кривой режима управления работой кулера (рис. 1):

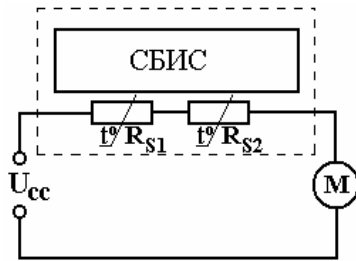


Рисунок 2 – Схема управления кулером

$$I_0 = \frac{U_{cc}}{R_k + R_{S1} + R_{S2}} < I_n, \quad (1)$$

$$I_n = \frac{U_{cc}}{R_k + R_{ON1} + R_{S2}} \approx \frac{U_{cc}}{R_k + R_{S2}}, \quad (2)$$

$$I_p = \frac{U_{cc}}{R_k + R_{ON2}} \approx \frac{U_{cc}}{R_k}, \quad (3)$$

где R_k – сопротивление кулера.

Из соотношений (1) – (3), при выборе $I_0 = 0,5I_n$, вытекает, что для управления кулером потребуются критические терморезисторы, с сопротивлениями R_{S1} , R_{S2} :

$$R_{S1} = U_{cc}/I_n, \quad (4)$$

$$R_{S2} = \frac{U_{cc}(I_p - I_n)}{I_p I_n}. \quad (5)$$

Достоинством критических терморезисторов на основе материалов с фазовым переходом металл-полупроводник является то, что температурой их переключения можно управлять, пропуская через терморезистор электрический ток [5]. Найдём связь между током терморезистора I_s и температурой поверхности СБИС T_s , при которой терморезистор переключается. Это происходит, когда температура рабочего тела терморезистора достигает температуры фазового перехода T_t . В этом случае уравнение теплового баланса терморезистора, рабочее тело которого имеет форму тонкой пластины, можно записать в виде:

$$K_1(T_t - Q) + K_2(T_t - T_s) = I_s^2 R_s, \quad (6)$$

где K_1 – коэффициент теплообмена между поверхностью терморезистора и окружающей средой с температурой Q ; K_2 – коэффициент теплообмена между поверхностью терморезистора, контактирующей с поверхностью СБИС, имеющей температуру T_s ; I_s , R_s – ток и сопротивление терморезистора.

Из (6) для T_s , при которой терморезистор переключится, получим:

$$T_s = T_t + \frac{K_1}{K_2}(T_t - Q) - \frac{I_s^2 R_s}{K_2}, \quad (7)$$

откуда вытекает, что значением T_s можно управлять, варьируя ток терморезистора I_s и его сопротивление R_s . Это дает возможность

задавать любые значения пороговых температур $T_{S1}, T_{S2} \leq T_t$ для режима управления кулером на рис. 1.

Учитывая, что для плоского терморезистора с площадью контактной поверхности S , коэффициент теплообмена $K = HS$ (H – удельный коэффициент теплообмена), на основании (7) для температур T_{S1}, T_{S2} получим:

$$T_{S1} = T_t + \frac{H_1}{H_2}(T_t - Q) - \frac{I_n^2 R_{S1}}{H_2 S_1}, \quad (8)$$

$$T_{S2} = T_t + \frac{H_1}{H_2}(T_t - Q) - \frac{I_p^2 R_{S2}}{H_2 S_2}. \quad (9)$$

Поскольку величины T_t , H_1 , H_2 , Q , I_n , I_p фиксированы, а величины R_{S1} и R_{S2} с учетом (4), (5) также не могут изменяться, согласно (8), (9) можно изменять пороговые температуры T_{S1}, T_{S2} путем вариации площади контактной поверхности терморезисторов S_1 , S_2 . Причем, в соответствии с режимом управления кулером, представленным на рис. 1, должно выполняться условие $T_{S1} < T_{S2}$. Из соотношений (4), (5), (8), (9) вытекает, что это можно обеспечить при отношении S_2/S_1 , удовлетворяющем условию:

$$\frac{S_2}{S_1} > \frac{I_p}{I_n} \left(\frac{I_p}{I_n} - 1 \right), \quad (10)$$

в частности для кулера, который был исследован в настоящей работе (см. табл. 1), это условие принимает вид: $S_2/S_1 > 1,77$.

Из (8), (9) вытекает, что всегда существует возможность сдвинуть температуры T_{S1} , T_{S2} относительно температуры фазового перехода металл-полупроводник $T_t \sim 70^\circ \text{C}$ к более низким значениям за счет уменьшения площади контактных поверхностей терморезисторов S_2 , S_1 . Можно, например, подобрать такие значения площади, при которых кулер будет включаться, когда микросхема нагреется до температуры $\sim 40^\circ \text{C}$, а выходить на рабочий режим вращения крыльчатки, когда температура достигнет 60°C . Обеспечить требуемые для данного кулера значения R_{S1} и R_{S2} (соотношения (4), (5)) можно варьируя геометрические размеры рабочего тела терморезистора и удельное электрическое сопротивление диоксиднованадиевой стеклокерамики, которое, как показано в [6], можно изменять в широких пределах, путем введения оксидных и металлических добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шефтель И.Т. Терморезисторы (Электропроводность 3d-окислов. Параметры, характеристики и области применения). – М.: Наука, 1973. – 416 с.
2. Терморезистор прямого подогрева ТРП68-01 [Электронный ресурс]// Индустрон – 2007 – Режим доступа: <http://www.industron.ru/catalog/relsib/uzt/uzt.htm>.
3. Терморезистор прямого подогрева ТРП68-01 [Электронный ресурс]// Индустрон – 2007 – Режим доступа: <http://www.industron.ru/catalog/relsib/uzt/uzt.htm>.
4. Деклараційний патент 40748А Україна, МКИ С 04 В 35/495, Н 01 В 01/08. Спосіб одержання напівпровідникової кераміки на основі діоксиду ванадію: О.І. Івон, В.Р. Колбунов, І.М. Черненко (Україна); Дніпропетровський державний університет. – № 99031402; Заявл. 16.03.99; Опубл. 15.08.2001. Бюл. №7. – 2 с
5. Защита процессоров AMD от перегрева [Электронный ресурс] / А. Карабуто// FERRA.RU – 2002 – Режим доступа: <http://www.ferra.ru/online/system/s19535/>.
6. Ивон А.И., Кузьменко Е.Н. Использование критических терморезисторов для защиты процессора от перегрева // Системные технологии: сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 2 (49). – С. 25–32.
7. Ivon A.I., Kolbunov V.R., Chernenko I.M. Conductivity of VO₂-based ceramics.// J. Mat. Sci: Materials in Electronics.–2006.– V. 17, №1. – P. 57 – 62.

Получено 4.11.2008г.

УДК 519.7

Д.А Крушинський

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОВЕДІНКИ ПІШОХОДА У КЛІТИННО-АВТОМАТНИХ МОДЕЛЯХ РУХУ НАТОВПУ

1 Вступ. Рух натовпів пішоходів являє собою досить складний процес, що відбувається у просторово-часовій області і може включати в себе різноманітні явища [1], [2] від однорідного спрямованого руху до осциляцій (як щільності розташування пішоходів, так і напрямку руху) та ударних хвиль і до хаотичної поведінки на деяких ділянках. Ця складність зумовлена кількома факторами, першим з яких є наявність значної кількості взаємодіючих «агентів». Різними дослідниками (див. напр. [3]) було показано, що навіть системи з простою регулярною структурою та простими правилами взаємодії своїх складових можуть мати поведінку довільної складності. Другим фактором є складність поведінки кожного окремого пішохода, який може приймати рішення щодо вибору напрямку руху виходячи зі своїх поточних міркувань, досвіду, спостереження за поведінкою оточуючих («колективний розум»), і т. ін. Нарешті, на натовп впливають різноманітні зовнішні фактори, які, зазвичай, неможливо передбачити; особливо це має місце під час надзвичайних ситуацій.

Через таку складність поведінки натовпу пішоходів, а також через її просторову розподіленість, класичні математичні методи виявляються досить неефективним засобом опису таких систем. Тому було запропоновано моделювати поведінку натовпу засобами клітинних автоматів (КА) [4]. Цей підхід виявився досить перспективним [5], зокрема завдяки подібності просторової структури КА до розподіленої у просторі структури об'єкту моделювання, універсальності КА (здатності моделювати поведінку довільної складності), ефективності у обчисленнях (на відміну від інших розподілених систем, таких як штучні нейромережі (ШНМ), локальність зв'язків у КА дозволяє досить ефективно обчислювати наступні стани), а також зручності візуалізації. При цьому КА моделі, зазвичай, є мікроскопічними, тобто моделюється кожен

© Крушинський Д.А, 2009

пішохід (на відміну від макроскопічних моделей де моделюються деякі узагальнені характеристики, напр. щільність), якому відповідає окрема клітина. Отже, сутність побудови КА моделі руху натовпу полягає у підборі таких правил взаємодії клітин, які б забезпечували відповідність поведінки модельного натовпу поведінці реальних груп людей. Справа в тому, що навіть у достатньо простих КА моделях виникають складні явища притаманні натовпам пішоходів, однак часові масштаби цих явищ не співпадають. Наприклад, якщо розглядати задачу евакуації скінченої кількості пішоходів з деякого приміщення, реальні пішоходи зазвичай роблять це у рази швидше ніж їх модельні аналоги. Тому виникає потреба в ускладненні моделі пішохода в межах клітинного автомата, що має призвести до оптимізації його поведінки.

Базовою властивістю класичного КА є локальність всіх взаємодій, як просторова (кожна клітина взаємодіє лише з найближчими сусідами), так і часова (наступний стан системи визначається тільки поточним станом). Однак, припущення щодо локальності не завжди є справедливим коли мова йде про поведінку реальних груп пішоходів, які можуть отримувати інформацію про ситуацію поза межами їх безпосереднього околу (візуально або через систему оповіщення), а також на основі цієї інформації прогнозувати розвиток ситуації на декілька кроків вперед. Отже наступним кроком в оптимізації моделі пішохода є її «де-локалізація», тобто побудова такої системи, яка б займала проміжкове місце між повністю локалізованою системою (такою як КА) та повнозв'язною системою (такою як ШНМ).

2 Короткий опис базової моделі. Нижче наведено короткий опис моделі на основі якої було проведено подальше удосконалення. В основі базової моделі лежить клітинний автомат, дискретний у просторі та часі. Таким чином, модель є:

- мікроскопічною: кожному пішоходу відповідає окрема клітина;
- стохастичною: правила переходу автомата містять випадкові величини;
- дискретною у просторі та часі.

Модель заснована на наступних основних припущеннях:

- динаміка руху пішоходів може бути описана за допомогою КА;

- глобальний маршрут попередньо заданий;
- поведінка пішоходів має раціональний характер;
- жорстка конкуренція відсутня, тобто учасники руху не травмують один одного;
- індивідуальні відмінності можна представити за допомогою параметрів, що впливають на поведінку.

Клітинний автомат складається з двох шарів (див. Рис.1). Перший шар – шар даних, що містить інформацію про розташування пішоходів та перешкод. Потужність простору станів кожної клітини тут дорівнює 3: «вільна», «перешкода», «пішохід». Кожній клітині цього шару можна однозначно співставити вектор її координат $X \in Z_2$, $X=(x_1, x_2)$. Також можна ввести метрику $\mu(\cdot, \cdot): Z_2 \times Z_2 \rightarrow Z$, $\mu(X, Y)=|x_1-y_1|+|x_2-y_2|$.

Другий шар містить векторне поле напрямків і відображає інформацію про глобальний маршрут. Це поле напрямків підібране таким чином, що мінімізувати час евакуації (довжину шляху) одиночного пішохода. Якщо в деякій точці існує декілька альтернатив, вважають що пішохід обирає одну з них з однаковими ймовірностями.

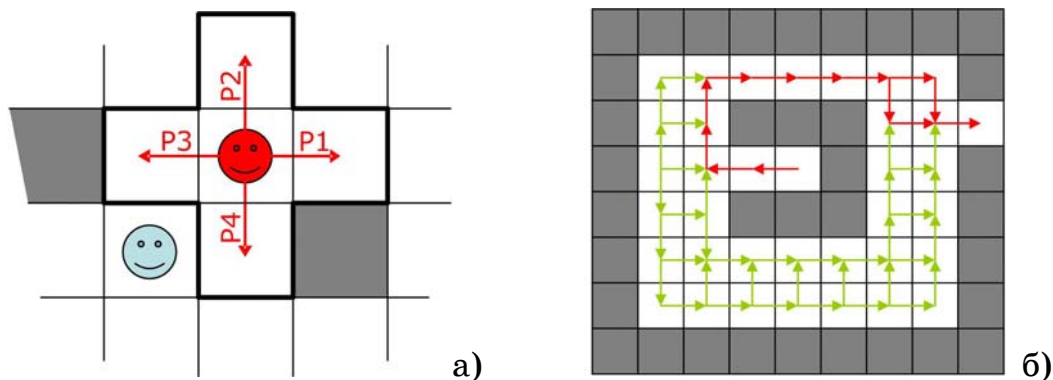


Рисунок 1 - Структура базової моделі

На кожному кроці для пішохода розраховуються імовірності зміщення у всіх чотирьох напрямках із врахуванням наступних принципів:

- якщо в деякому напрямку клітина зайнята (перешкодою або іншим пішоходом), відповідна імовірність дорівнює 0;
- пішохід намагається притримуватись глобального маршруту, тобто рухатися вздовж наперед заданих напрямків (див. Рис.1 б).

На кожному кроці порядок руху пішоходів обирається випадковим чином. Пішоходи мають різну максимальну швидкість руху (v_i). Для того, щоб реалізувати різницю в цих швидкостях, крок розбивається на $v_{\max} = \max(v_i)$ підкроків $t_0..t_{v_{\max}}$ і на кожному t_k якщо $v_i < v_{\max}$ то пішохід намагається зміститися, у протилежному випадку він залишається на місці.

3 «Передбачливі» пішоходи. На основі описаної вище базової моделі, можливо побудувати антисипуючого пішохода, спроможного передбачати розвиток ситуації у своєму безпосередньому оточенні і використовувати ці знання для оптимізації деякої характеристики натовпу, у розглянутих нижче прикладах – часу евакуації.

Як було вказано в п.2, на кожному кроці для пішохода розраховуються імовірності його зміщення (P_k , $k=1..4$), котрі залежать тільки від поточного розташування перешкод у його безпосередньому оточенні. Саме через ці величини можливо ввести антисипацію у модель. Припустимо, що пішоходи прагнуть уникати зіткнень між собою, тобто пішохід намагається не потрапляти в деяку клітину свого оточення, якщо у наступний момент часу вона буде зайнята (відповідно до його прогнозу) іншим пішоходом. Відповідно до цієї схеми імовірності можливо виправити, наприклад, наступним чином:

$$P_k \rightarrow P_k \cdot (1 - \alpha \cdot P_{k,3}) \quad (1)$$

де $P_{k,3}$ – імовірність того, що k -а клітина з оточення буде зайнята на наступному кроці одним із сусідів. Природно, що величини P_k підлягають нормуванню, оскільки їх сума повинна дорівнювати 1 (якщо хоча б одна з цих імовірностей більше 0). Слід зазначити, що при такому способі реалізації антисипації всі пішоходи є рівноправними і при $\alpha=1$ може виникнути ситуація коли два пішоходи, намагаючись пропустити один іншого, залишаться нерухомими і будуть заважати руху всього натовпу. Повністю уникнути цього можливо лише обираючи значення параметра меншими за 1, однак, кількість таких блокувань можливо також зменшити шляхом надання одним пішоходам переваг перед іншими. Найбільш природним шляхом в цьому напрямку є надання переваги більш швидким пішоходам, тобто імовірності зміщення будуть мати наступний вигляд:

$$P_k \rightarrow P_k \cdot (1 - \alpha \cdot (1 - \frac{v}{v_{\max}}) \cdot P_{k,z}) \quad (2)$$

При такій поправці найбільш швидкі учасники руху ($v=v_{\max}$) нікого не пропускають, однак їх можна зробити більш «ввічливими» підставивши у (2) замість $v_{\max}$ дещо більше значення.

Як було вказано вище, антисипація нерозривно пов'язана зі спроможністю прогнозувати стан системи, тому залишається відкритим питання про методи побудови пішоходами прогнозу, іншими словами – про методи обчислення імовірностей $P_{k,z}$. Було розглянуто два варіанти. Перший – прогнозування, що базується на спостереженнях – базується на гіпотезі про збереження пішоходами напрямку свого руху: «іду куди дивлюсь, дивлюсь куди йду». При цьому $P_{k,z}$ можна вважати пропорційною кількості пішоходів, що рухаються («дивляться») в сторону k -ї клітини:

$$P_{k,z} = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

де m - кількість пішоходів, що прямують в k -у клітину;

$M = \langle \text{кількість клітин в околі} \rangle - 1$, в даному випадку $M = 3$.

Такий метод є найбільш простим та природним і, в той же час, найменш точним, оскільки прийнятність гіпотези про збереження напрямку руху суттєво залежить від геометричних властивостей конкретної задачі (плану приміщення, тощо). Тому було розглянуто другий метод – прогнозування, що базується на моделі пішохода. В цьому випадку кожен пішохід для кожної клітини зі свого околу обчислює P_k її сусідів (крім себе самого) і шукана імовірність має вигляд:

$$P_{k,z} = \sum_{i=1}^3 P_i - \sum_{i \neq j} P_i P_j + \sum_{i \neq j, j \neq k} P_i P_j P_k = \sum_{i=1}^3 P_i - \sum_{i \neq j} P_i P_j + \prod_{i=1}^3 P_i \quad (4)$$

Неважко зрозуміти, що такий підхід забезпечує більш точне визначення $P_{k,z}$, хоча є дещо штучним, оскільки для його реалізації кожен учасник руху повинен знати модель поведінки своїх сусідів, що накладає певні обмеження на гнучкість всієї КА моделі.

З усіма описаними вище варіантами моделі пішохода було проведено чисельні експерименти, результати яких дозволяють зробити висновки про адекватність запропонованих підходів. На Рис.2 наведено чотири криві, що відповідають можливим комбінаціям підходів до запровадження антисипації та методів

обчислення прогнозованих значень $P_{k,3}$. Криві перетинаються в точці $\alpha=0$, оскільки таке значення параметра відповідає простій неантисипаційній моделі. Так, з наведеного графіку видно, що надання швидким пішоходам переваги призводить до збільшення часу евакуації, отже не є прийнятним.

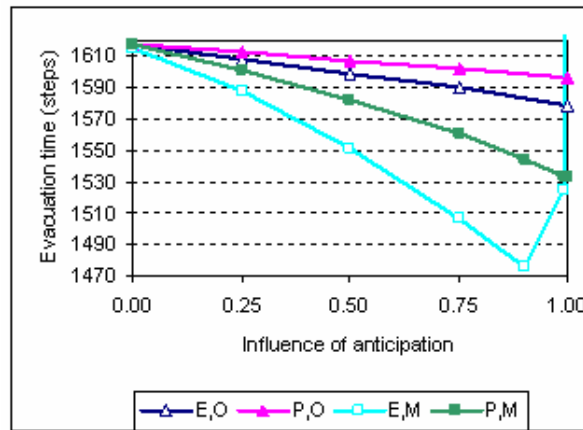


Рисунок 2 - Результати чисельних експериментів (Е/Р – рівноправність/перевага швидких; О/М – передбачення, що базується на спостереженнях/моделі)

Зокрема, з наведеного графіку видно, що надання швидким пішоходам переваги призводить до збільшення часу евакуації, отже не є прийнятним. З іншого боку, чим точніше розраховуються поправки у P_k (нижня крива на Рис.2), тим швидше відбувається евакуація, що свідчить про адекватність самого підходу до запровадження антисипації у модель. Також нижня крива, що стрімко зростає в околі $\alpha=1$, демонструє описаний вище ефект, коли пішоходи, намагаючись пропустити один іншого, гальмують рух всього натовпу.

4 «Де-локалізація» у просторі. В п.3 було розглянуто випадок, коли антисипуючий пішохід будував прогноз на основі поведінкової моделі своїх сусідів. Суттєвим є те, що остання була звичайною неантисипаційною моделлю. Звідси виникає бажання уточнити прогноз за рахунок використання антисипаційної моделі сусідів. При цьому для кожного з них (в межах околу радіуса 2) виконується процедура описана в п.3 для цільового пішохода: розрахунок імовірностей P_k , розрахунок $P_{k,3}$ (р-ня 4) та коригування P_k (р-ня 1). Неважко помітити, що при розрахунку $P_{k,3}$ використовуються клітини розташовані на відстані 3 від цільового пішохода (від центру

околу). При цьому, при розрахунку $P_{k,z}$ для пішоходів на відстані 2 від центру, для пішоходів на відстані 3 використовується неантисипаційна модель. Якщо для останніх теж використовувати антисипаційну модель, у розрахунки залучаються пішоходи на відстані 4. Таким чином, під час уточнення прогнозу шляхом врахування антисипаційної моделі все більш віддалених пішоходів окіл розширюється, поки не накриє все поле автомата (Рис.3).

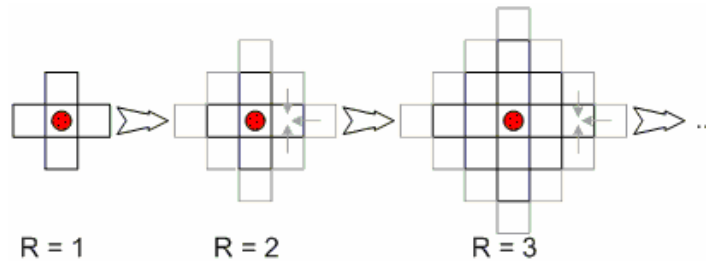


Рисунок 3 - Розширення околу через використання антисипаційної моделі сусідів

Вочевидь, цей процес розширення околу необхідно на деякому кроці перервати, що зумовлено двома причинами (теоретичною та обчислювально-практичною):

- по-перше, з кожним кроком втрачається просторова локалізація моделі, що протирічить гіпотезі про локальну інформованість пішоходів (пішохід не знає що відбувається за межами його деякого околу);

- по-друге, з розширенням околу зростає обчислювальна складність моделі, що становить $O(R^2)$ для околу радіуса R .

Таким чином, радіус околу необхідно обмежити деякою фіксованою величиною, шляхом зміни значення якої можна моделювати різну степінь інформованості пішоходів. З точки зору моделі це можна інтерпретувати наступним чином: всі сусіди всередині околу визначеного радіусу вважаються антисипуючими, на межі та поза нею – неантисипуючими. З точки зору пішохода найбільш природною є така інтерпретація: всі пішоходи всередині околу та на його межі є антисипуючими, їх розташування відоме; про пішоходів поза окомом нічого невідомо, вважається що їх там просто немає (в цьому випадку для пішоходів на межі околу виконується умова $P_{k,z}=0$).

Цю схему можна реалізувати за допомогою наступного ітераційного алгоритму, що пристосовано для використання в межах КА:

< ініціалізація околу: заповнення околу радіуса R навколо цільового пішохода даними з відповідної області поля автомата >

повторити N разів

```
{
  for (всі пусті клітини){
    обчислення  $P_{k,3}$ :

$$P_{k,3} = \sum_{i=1}^4 P_i - \sum_{i \neq j} P_i P_j + \sum_{i \neq j \neq k} P_i P_j P_k - \sum_{i \neq j \neq k \neq l} P_i P_j P_k P_l$$

    }
    for (всі пішоходи){
      коригування  $P_k$ :

$$P'_{k,3} = \frac{P_{k,3} - P_k}{1 - P_k}$$


$$P_k = P_k \cdot (1 - \alpha \cdot P'_{k,3})$$

    }
  }
}
```

Неважко зрозуміти, що при $R=2$ та $N=1$ отримаємо модель розглянуту в п.3 (нижня крива на Рис.2). При подальшому зростанні кількості ітерацій (N) алгоритму з'являється залежність між віддаленими пішоходами, причому легко показати, що ця залежність має обернено експоненційний характер і спадає із відстанню між пішоходами, що є досить природним. Також слід відзначити, що обирати $N < [(R+1)/2]$ немає сенсу, оскільки інформація розповсюджується зі «швидкістю» дві клітини за ітерацію. В цей же час, теоретичними засобами неможливо виявити, чи буде подальше збільшення N мати позитивний вплив. Для відповіді на це питання було проведено ряд чисельних експериментів (див. Рис.4, 5).

Як показали результати експериментів, найбільший внесок в оптимізацію поведінки пішоходів (зменшення часу їх евакуації) роблять перші кілька ітерацій, тому на практиці значення N 5..7 забезпечують найкращий компроміс між обчислювальною складністю та ефективністю моделі.

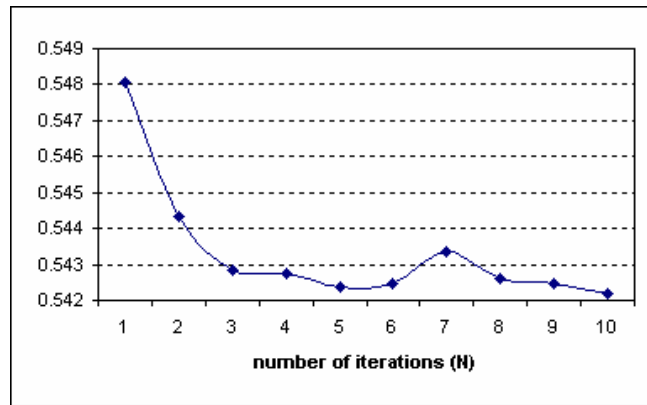


Рисунок 4 - Типова залежність часу евакуації від кількості ітерацій алгоритму (час евакуації подано у відносній шкалі, де 1.0 відповідає 150 часовим крокам)

Також було визначено залежність між N та оптимальним значенням параметра, що визначає вплив антисипації, α (див. Рис.5). На Рис. 6 відображено загальний ефект від збільшення радіусу околу R .

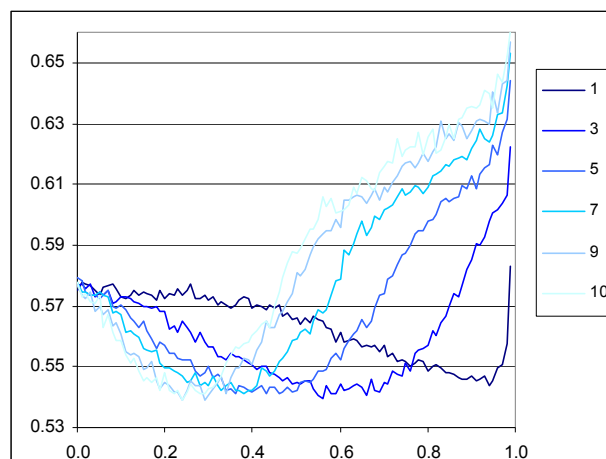


Рисунок 5 - Залежність часу евакуації від α для різних значень N

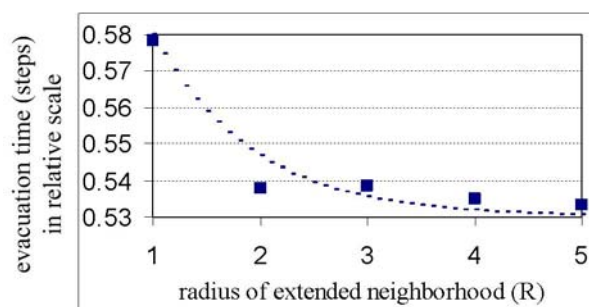


Рисунок 6 - Вплив розширення околу на час евакуації натовпу

Згідно з результатами чисельних експериментів, підвищення поінформованості пішоходів (розширення околу взаємодії) в межах вищезгаданої моделі має позитивний вплив на їх поведінку, що свідчить про адекватність запропонованого підходу. При цьому характер спадання часу евакуації добре узгоджується із обернено експоненційним характером впливу віддалених пішоходів. Загалом, просторова де-локалізація моделі дозволила оптимізувати загальні показники натовпу, отже сприяла оптимізації траєкторій руху окремих пішоходів.

Проте, кількісні зміни не є досить значними, хоча наявність у пішохода інформації про розширений окіл дозволяє проводити подальше удосконалення його поведінки, наприклад, шляхом побудови багатокрокових прогнозів. Отже, наступним кроком у оптимізації поведінки пішохода є втрата локальності моделі у часі через побудову багатокрокових прогнозів.

5 «Де-локалізація» у часі. Описаний у попередньому параграфі підхід дозволяє пішоходам використовувати додаткову інформацію про їх оточення в межах дещо більшого, ніж елементарний, околу радіусу R (R – вільний параметр). При цьому, у порівнянні з неантисипаційною моделлю, кожен пішохід отримує два типи додаткової інформації:

- інформацію про розташування більш віддалених сусідів;
- інформацію про модель поведінки інших пішоходів.

Неважко зрозуміти, що пішохід описаний в п.4 не використовує цю інформацію в повній мірі, оскільки прогнозує поведінку сусідів тільки на 1 крок вперед, хоча має можливість виходячи з тієї ж інформації будувати більш довгострокові прогнози, а отже знаходити більш оптимальні траєкторії руху.

Реалізувати багатокрокову антисипацію можливо різними шляхами, найбільш простий з яких – вважаючи всі варіанти розвитку подій рівноімовірними, будувати вичерпне дерево сценаріїв (висота дерева дорівнює горизонту прогнозування, кожній вершині відповідає деякий стан розширеного околу) та шукати в ньому оптимальну траєкторію (шлях від кореня до одного з листів). Однак, такий підхід має два суттєвих недоліки. По-перше, він призводить до швидкого розростання дерева сценаріїв, що робить подальшу його обробку практично неможливою; а по-друге тут ніяк не

використовується модель поведінки пішоходів. Цих недоліків можливо уникнути шляхом видалення з дерева гілок, що відповідають малоімовірним переходам, в граничному випадку – залишити в дереві тільки ті переходи, що мають максимальну імовірність. Пошук таких переходів можливо сформулювати у вигляді задачі про призначення, що є відомою задачею комбінаторної оптимізації і для якої існують ефективні методи розв’язання. Справді, є дві скінчені множини, клітин і пішоходів, кожен пішохід може перейти до однієї з не більш як чотирьох клітин або залишитися на місці (всього не більше п’яти альтернатив). Знаючи поведінкову модель пішоходів можливо знайти імовірності всіх таких переходів. Задача полягає у пошуку такої множини переходів, яка б задовольняла наступним умовам:

- 1) кожен пішохід переходить до однієї клітини (призначається одній клітині);
- 2) у кожную клітину може потрапити не більше одного пішохода;
- 3) сума імовірностей переходів повинна бути максимальною.

Побудувавши дерево сценаріїв, кожне ребро у якому відповідає розв’язку задачі про призначення, пішоходу треба якимось чином вилучити з цього дерева інформацію, яка допоможе обрати напрям руху на поточному кроці. Така інформація може мати вигляд оптимальної в певному сенсі траєкторії – простого шляху від кореня до одного з листів. Однак, цей шлях містить дещо надлишкову інформацію, оскільки пішохода цікавить більш вузьке питання: яке з ребер інцидентних кореню належить оптимальній траєкторії. Нижче розглянуто два підходи до вирішення цього питання.

6 Пошук оптимальних шляхів в дереві сценаріїв. Дерево сценаріїв, строго кажучи, не є деревом, оскільки його гілки (сценарії розвитку) можуть перетинатися), а являє собою орієнтований граф $G(T)$ з деякими спеціальними властивостями:

- 1) $G(T)$ містить одну вершину s , що не має вхідних ребер;
- 2) $G(T)$ містить не більше $((T+1)^2 + T^2)^K$ вершин t_i , що не мають вихідних ребер і знаходяться на відстані T від вершини s ;
- 3) $G(T)$ має пошарову організацію, вершини кожного шару не зв’язані між собою і зв’язані лише з вершинами сусіднього шару; всього шарів $T+1$;

4) кожна вершина, крім s , має не менше одного і не більше 5^K вхідних ребер;

5) кожна вершина, крім t_i , має не менше одного і не більше 5^K вихідних ребер.

На множині вершин V (станів розширеного околу) можна визначити функціонал $q(v)$ ($v \in V$), який буде відігравати роль критерію оптимальності (якості). Зрозуміло, що $q(\cdot)$ можна визначити різними способами.

Введемо допоміжне відображення $C(\cdot)$ ($C: V \rightarrow Z^2$), яке повертає координати цільового пішохода. Тоді критерій оптимальності можна визначити як:

$$q(v) = -\min_i [\mu(C(v), X_{exit}^i)], \text{ де } X_{exit}^i - \text{координати } i\text{-го виходу} \quad (8)$$

З іншого боку, $q(v)$ можна визначити як:

$$q(v) = \mu(C(v), C(s)) \quad (9)$$

Перевагою такого визначення є те, що пішоходу не обов'язково знати розташування виходів (відстані до них).

Критерій оптимальності $Q(p)$ довільного шляху вигляду $p = \{s, \dots, t_i\}$ можна визначити як деяку функцію від критеріїв оптимальності його вершин, наприклад:

$$Q(p) = \alpha_0 q(s) + \alpha_1 q(v_1) + \dots + \alpha_{T-1} q(v_{T-1}) + \alpha_T q(t_i),$$

$$v_k \in p, \alpha_k \in \mathbb{R}, k=0..T \quad (10)$$

6.1 Поточковий підхід

Утворимо граф $G_k(T)$ наступним чином:

1) множина вершин $G_k(T)$ співпадає з множиною вершин $G(T)$;

2) множина ребер $G_k(T)$ співпадає з множиною ребер $G(T)$;

3) кожному ребру $e = (v_i, v_j)$ співставимо пропускну здатність $c(e) = q(v_j) - q(v_i) + 2$ (11)

(двійка забезпечує додатність $c(e)$, оскільки $|q(v_j) - q(v_i)| \leq 1$);

4) ребра виду (s, v_j) мають нульову пропускну здатність при $j \neq k$, нескінченно (достатньо) велику - при $j = k$.

5) додамо вершину t (стік) та ребра виду (t_i, t) , причому $c(t_i, t) = q(t_i) - q(s) + T$. (11a)

В побудованому таким чином графі найбільш переважні переходи (ребра) матимуть найбільшу пропускну здатність. Для отриманого графа можливо розв'язати задачу про знаходження максимального потоку (напр. за допомогою алгоритму Форда-

Фалкерсона). Зрозуміло, що ребра, що належать оптимальним шляхам будуть мати найбільшу пропускну здатність, отже вони будуть забезпечувати максимальний потік.

Однак, побудований таким чином граф $G_k(T)$ має одну від'ємну властивість: кількість ребер має тенденцію до зростання від шару до шару, в той час як пропускні здатності ребер мають один порядок ($c(e) \in \{1,2,3\}$ для всіх $e=(v_i, v_j) \in G_k(T)$). Таким чином, чим ближче деяке ребро до витоків s , тим швидше воно буде насичуватися, отже значення максимального потоку буде визначатися, в основному, ребрами близькими до s , при цьому пропускні здатності віддалених ребер практично не будуть впливати на величину потоку. Щоб виправити цей недолік, пропускні здатності $c(v_i, v_j)$ можна збільшити на фіксовану величину $\sum_l c(t_l, t)$, $v_i, v_j \neq t_l, \forall (t_l, t) \in G_k(T)$. Тоді пропускна

здатність довільного ребра буде мати вигляд (враховуючи р-ня 11):

$$c(v_i, v_j) = q(v_j) - q(v_i) + 2 + \sum_l c(t_l, t) \quad (12)$$

Неважко зрозуміти, що максимальний потік $f_{\max}$ в такому графі буде задовольняти наступній нерівності:

$$\min_i c(t_i, t) \leq f_{\max} \leq \sum_i c(t_i, t) \quad (13)$$

враховуючи (11a)

$$\min_i (q(t_i) - q(s)) + T \leq f_{\max} \leq \sum_i (q(t_i) - q(s) + T) \quad (13a)$$

тоді $f_{\max}$ можна представити у вигляді

$$f_{\max} = \alpha_0 q(s) + \sum_i \alpha_i q(t_i), \text{ де } \alpha_0, \alpha_i \in \mathbb{R}. \quad (14)$$

Порівнюючи (14) та (10), поклавши $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ у (10) рівними 0, значення максимального потоку можна представити у вигляді:

$$f_{\max} = \sum_i Q(p_i) \quad (15)$$

де p_i – всі прості шляхи вигляду $(s, \dots, t)$ в графі $G_k(T)$.

Таким чином, значення максимального потоку є адекватним критерієм сукупної оптимальності простих шляхів у графі $G_k(T)$.

Обчисливши значення максимального потоку для всіх (не більше чотирьох) – $f_{k, \max}$, отримаємо кількісну міру «вигідності» переміщення цільового пішохода в k -му напрямку: чим більше значення $f_{k, \max}$, тим більше у пішохода можливостей дотримуватися

оптимальної (принаймні, на найближчі T кроків) для нього траєкторії.

Введемо допоміжну величину $Q_k \in [0;1)$, яка буде використана для коригування імовірностей P_k :

$$Q_k = 1 - \frac{f_{k,\max} - \min_i(f_{i,\max}) + 1}{\max_i(f_{i,\max}) - \min_i(f_{i,\max}) + 1} \quad (16)$$

Тепер можна скоригувати імовірності P_k відповідно до описаної вище схеми (див. р-ня. 1):

$$P_k \rightarrow P_k \cdot (1 - \alpha \cdot Q_k) \quad (17)$$

6.2 Нейромережевий підхід

Наявність у дерева сценаріїв $G(T)$ особливої пошарової структури дає можливість поставити йому у відповідність багат шаровий персептрон і використовувати для його обробки нейромережеві алгоритми.

Розглянемо приклад такого дерева $G(2)$ (див. Рис. 7). Надавши ребрам деякі ваги можливо розглядати як багат шаровий персептрон. Позначивши вихід i -го нейрону j -го шару через X_i^j , функціонування мережі можна представити у вигляді:

$$X_i^j = \sigma \left(\sum_k w_{ik} X_k^{j-1} \right), \quad (18)$$

де X_1^0 - довільний вхід мережі, $\sigma(\cdot)$ - деяка сигмоїдальна функція.

Нехай є деяка стохастична система, еволюція якої може бути представлена у вигляді графа, зображеного на Рис.7; вершини відповідають станам, ваги ребер w_{ij} - імовірностям переходу між відповідними станами - отже вони повинні задовольняти:

$$\sum_j w_{ij} = 1 \quad \forall j : (i, j) \in G \quad (19)$$

Позначимо через X_{ji} імовірність того, що система після j кроків опиниться в i -му стані. Тоді матиме місце наступний вираз:

$$\sum_i X_i^j = 1 \quad (20)$$

Крім того:

$$X_i^j = \sum_k w_{ik} X_k^{j-1} \quad (21)$$

$X_1^0 = 1$ - поточний стан системи визначений і відомий.

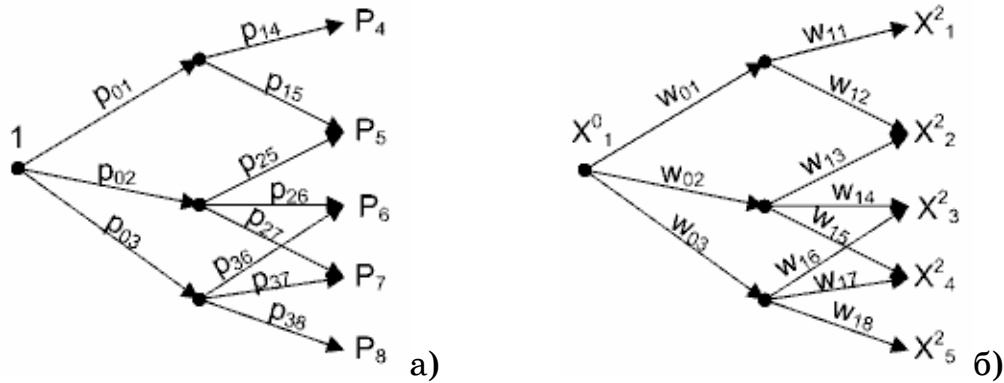


Рисунок 7 - Приклад дерева сценаріїв (а) та відповідного йому персептрона (б)

Враховуючи, що $X_i^j \in [0;1]$ з (21) випливає:

$$0 \leq \sum_k w_{ik} X_k^{j-1} \leq 1 \quad (22)$$

Визначивши сигмоїдальну функцію $\sigma(\cdot)$ наступним чином:

$$\sigma(x) = \begin{cases} x, & x \in [0;1] \\ 0, & x < 0 \\ 1, & x > 1 \end{cases}, \quad (23)$$

отримаємо, що (18) та (21) еквівалентні. Отже, вихід побудованої таким чином нейромережі X^T (в даному випадку $T=2$) можна інтерпретувати як вектор імовірностей попадання системи у відповідні стани.

З іншого боку, нехай задано деякий бажаний розподіл імовірностей X^T і треба знайти такий набір імовірностей переходу на першому кроці, які б забезпечили заданий кінцевий розподіл. В термінах нейромереж стоїть наступна задача: підібрати такі значення ваг w_{0k} , які б забезпечували перетворення заданого входу мережі ($X_1^0=1$) в заданий вихід (X^j). Тобто виникає задача навчання нейромережі, для розв'язання якої було розроблено певна кількість методів, найбільш відомим з яких є BackPropagation.

Зауваження. Алгоритм BackPropagation вимагає, щоб $\sigma(\cdot)$ була диференційовною, що в даному випадку (див. р-ня 23) не відбувається. Тому необхідно або довизначити похідну кусково-лінійної $\sigma(\cdot)$ в точках 0.0 та 1.0, або апроксимувати кусково-лінійну $\sigma(\cdot)$ деякою диференційовною функцією із заданою точністю. Апроксимація також має сенс оскільки за кінцеву кількість кроків BackPropagation дає лише деяке наближення до розв'язку.

Повернемося до задачі про знаходження оптимального шляху в дереві сценаріїв $G(T)$. Щоб реалізувати описаний вище нейромережвий підхід, необхідно надати ребрам вагові коефіцієнти, що відповідають імовірностям переходів. Імовірність переходу зі стану i в стан j має вигляд:

$$p_{ij} = \prod_{l=1}^K \sum_{k=0}^4 P_k^l \delta_{k,d(l)}, \quad (24)$$

де K – кількість пішоходів, P_k^l – імовірність того що l -й пішохід прямує в k -му напрямку, $d(l)$ – напрям l -го пішоходу при переході околу зі стану i в стан j . Оскільки дерево сценаріїв містить не всі можливі переходи, а найбільш імовірні (див. п.5), поклавши $w_{ij}=p_{ij}$, співвідношення 19 може не виконуватися, тому вагові коефіцієнти треба визначити як:

$$w_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_k p_{ik}} \quad (25)$$

На вхід мережі подається 1 ($X_1^0=1$). Вихід являє собою розподіл імовірностей попадання околу в різні кінцеві стани. Природно, що чим більше значення критерію оптимальності $q(t_i)$ деякого кінцевого стану t_i , тим більше повинна бути відповідна імовірність. Тому бажаний вихід можна визначити таким чином:

$$X_i^T = \frac{q(t_i) - \min_j(q(t_j))}{\sum_k \left[q(t_k) - \min_j(q(t_j)) \right]}, \quad (26)$$

де T – номер останнього прошарку нейромережі (графа $G(T)$).

Виконавши навчання нейромережі, отримаємо шукані імовірності зміщення на першому кроці $p_{0j}=w_{0j}$, із врахуванням яких тепер можна скоригувати значення або відповідно до розглянутої вище схеми

$$P_k \rightarrow P_k \cdot (1 - \alpha \cdot (1 - p_{0k})) \quad (27)$$

з наступним нормуванням ($\sum P_k=1$), або

$$P_k \rightarrow (1 - \alpha)P_k + \alpha \cdot p_{0k} \quad (28)$$

Висновки. Основним наслідком введення антисипації у клітинно-автоматну модель руху пішоходів є покращення загальних показників натовпу (в даному випадку зменшення часу евакуації), що викликане більш оптимальною поведінкою окремих учасників руху. Цей результат є досить природним, оскільки в реальному житті

суттєвий вплив мають ментальні властивості пішоходів, які дозволяють останнім на основі передбачення ситуації, набутого раніше досвіду і т. ін. обирати найбільш вигідні траєкторії переміщення. При цьому, як показали наведені вище результати експериментів, запропонований підхід до запровадження антисипації у модель дійсно призводить до очікуваної оптимізації поведінки, що свідчить про його адекватність.

Слід згадати, що розроблений підхід дозволяє моделювати різну степінь інформованості пішохода шляхом вибору значень таких параметрів як радіус околу взаємодії та горизонт прогнозування. І хоча тут наведено результати експериментів для різних значень першого з цих параметрів, чисельне дослідження впливу другого залишається відкритим питанням. Зокрема, особливу цікавість викликає поведінка моделі у граничному випадку – коли пішохід має повну інформацію про оточення, тобто радіус достатньо великий щоб окіл «накривав» все поле автомата, а горизонт прогнозування – достатньо великий для того щоб кожен пішохід міг передбачати ситуацію до того моменту як він досягне виходу. Вочевидь, бажано щоб в такому випадку досягався теоретично можливий час евакуації для заданого початкового розташування пішоходів та перешкод. Однак, скоріше за все в рамках запропонованого підходу таке не відбудеться, оскільки кожен пішохід явним чином намагається оптимізувати лише свій показник (див. р-ня (8), (9)), в той час як скоординовані дії груп пішоходів можуть призвести до подальшого покращення загального показника натовпу. Отже, у подальшому доцільно розглянути засоби введення у модель колективної взаємодії, спрямованої на покращення загального результату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Navin P.D., Wheeler R. J. Pedestrian flow characteristics // Traffic Engineering. – 1969. – 39. – P. 31-36.
2. Bierlaire M., Antonini G., Weber M. Behavioral dynamics for pedestrians. In: Axhausen K. (ed) Moving through nets: physical and social dimensions of travel. – Elsevier. – 2003. – 20 p.
3. Wolfram S. A new kind of science. - Wolfram Media Inc., USA. – 2002. – 1280 p.

4. Burstedde C., Klauck K., Schadschneider A., Zittarz J. Simulation of pedestrian dynamics using a 2-dimensional cellular automata. // Physica A. – 2001. – vol. 295A. – P. 507-525.
5. Goldengorin B., Makarenko A., Smilianec N. Some applications and prospects of cellular automata in traffic problems. In: Proceed. Int. Conf. ACRI'06. – Springer: LNCS.– 2006. – vol. 4173. – P. 532-537.

Одержано 10.11.2008р.

ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСТЕНИЙ

1. Актуальность задачи трехмерного моделирования растений. Трехмерные модели растений применяются в интерактивных компьютерных программах, тренажерах, а также при создании спецэффектов для фильмов.

Проблема создания изображений растений состоит из задач по созданию и улучшению:

1. Моделей роста и построения геометрической структуры растений (в т.ч. различных моделей взаимодействия растений, модели тропностей [21]).

2. Моделей распределения листьев на ветках и стеблях [22].

3. Алгоритмов визуализации (в т.ч. способов ускорения визуализации, увеличения реалистичности, построения теней и освещения).

Существующие модели построения делятся на две группы: ориентированные на биологическую структурную реалистичность (с использованием Л-систем [1] и их модификаций) и ориентированные на скорость построения и отображения (эвристические методы).

1.1. Л-системы. Методы, которые основаны на применении Л-систем, получили наиболее широкое развитие в работах группы под руководством Прусинкевича.

ДОЛ-система (детерминированная Л-система, правила контекстно-независимы) – упорядоченная тройка $\langle V, w, P \rangle$, где V – алфавит системы, w – аксиома, P – набор правил. Основное отличие – параллельный вывод, когда правила применяются не последовательно, а параллельно.

В статье Прусинкевича, «Графическое применение Л-систем» [1], показывается возможность использования Л-систем для построения трехмерных моделей растений в два шага. Первый –

построение слова с использованием ДОЛ-системы, второй – графическая интерпретация полученного слова с использованием конечного автомата магазинного типа, где буквы слова являются командами автомату, «черепаше», которая выполняет построение модели. Состояние «черепашки» – это позиция и ориентация в пространстве. Примеры команд: повернуть на Z градусов, пройти вперед на расстояние D . Другие примеры использования Л-систем содержатся в [2, 3].

В статье [4] показана возможность использования Л-систем для симуляции передачи сигналов, от корня и к корню растения, аналогично тому, как это происходит в действительности.

В книге «The Algorithmic Beauty of Plants» [5] авторы доказывают возможность использования стохастических, контекстно-зависимых, параметрических, временных Л-систем. Обновленная версия этого же материала появляется позже в [6, 7]. Вводится понятие суб-Л-системы [8].

ОЛ-система (стохастическая Л-система, правила контекстно-независимы) – упорядоченная четверка $\langle V, w, P, p_i \rangle$, где V , w и P определены так же, как и для ДОЛ-систем, а функция $p_i : P \rightarrow (0; 1]$ отображает набор правил в набор вероятностей применения правил. Сумма вероятностей для правил с одинаковым символом предшественником равна 1.

К контекстно-зависимым, или (k, l) -Л-системам, относятся системы с правилами вывода вида $wl\langle a \rangle wr \rightarrow x$, где буква a (именуемая строгим предшественником) может порождать слово x только тогда, когда слева от a находится слово wl , а справа – wr . k и l определяют длину левого и правого слова соответственно.

Параметрические Л-системы образуются за счет добавления в правила условий и параметров. Теперь каждому символу алфавита могут быть назначены параметры. Например, правило $A(t) : t > 5 \rightarrow B(t + 1)CD(\sqrt{t}, t - 2)$ может быть применено к слову $A(16)$, поскольку $16 > 5$. Результатом будет слово: $B(17)CD(4, 14)$.

Обзор некоторых моделей морфогенеза приводится в статье [9]. Из рассмотренных моделей следует отметить воксельный автомат, пространственно ориентированную модель, которая дает впечатляющие результаты при моделировании корней дерева.

В статье «Synthetic Topiary» [10] дается обзор существующих методов моделирования растений с учетом эндогенных механизмов. Предлагается расширение Л-систем, с тем, чтобы с их помощью можно было моделировать взаимодействие между растением и окружающей средой. Развитие этой идеи изложено в [11].

В [12] показана методология построения Л-системы по данным наблюдения за растением на примере *Fraxinus pennsylvanica* (green ash).

В программе, по которой подготовлена статья [13], впервые в работах группы выполнено создание изображения экосистемы. Выдвинуты базовые идеи по увеличению быстродействия: использование экземпляров и уровней детализации.

В [14] показана возможность изменения некоторых параметров модели без полной ее перестройки.

Практическая проверка теорий группы проводится в программах *crfg* и *vlab*, которые описаны в [15, 16].

1.2. Методы моделирования. В [17] изложен процесс моделирования клена. Показывается метод моделирования сочленений веток. Данные о производительности метода не приведены.

1.3. Методы визуализации. В [19] исследованы характеристики прозрачности, отражения и другие свойства листьев с целью построения алгоритма их реалистичной визуализации. В [20] предлагается алгоритм непрерывного изменения детализации, наиболее ценная часть которого – построение «нечестных» изображений растений на горизонте.

1.4. Ускорение визуализации. В [18] предложен алгоритм визуализации лесных массивов, основанный на предварительной оценке затрат на визуализацию каждой модели. Благодаря такой оценке удастся поддерживать приемлемое количество кадров в секунду независимо от количества растений в кадре.

Проведенный анализ литературы показал, что проблема повышения эффективности трехмерного моделирования растений является многогранной и актуальной. В представленной статье предложен новый метод увеличения реалистичности визуализации трехмерных изображений растений без снижения эффективности.

2. Ускоренная визуализация большого количества деревьев без billboard-эффекта. Проблема отображения листьев дерева состоит в

том, что в настоящее время не существует таких ресурсов графического процессора, которые позволят отображать высокодетализированные полигональные сетки (ПС) в большом количестве в реальном времени.

Чтобы обойти это ограничение применяются спрайты (sprites) – плоские четырехугольники со специальной текстурой, которые всегда расположены перпендикулярно линии взгляда [23, 24, 25, 26]. При их использовании становится заметна регулярность. Для устранения этого недостатка применяют усовершенствованные спрайты, нормаль к которым отклонена от линии взгляда на случайный, но постоянный во времени угол (рис. 1).

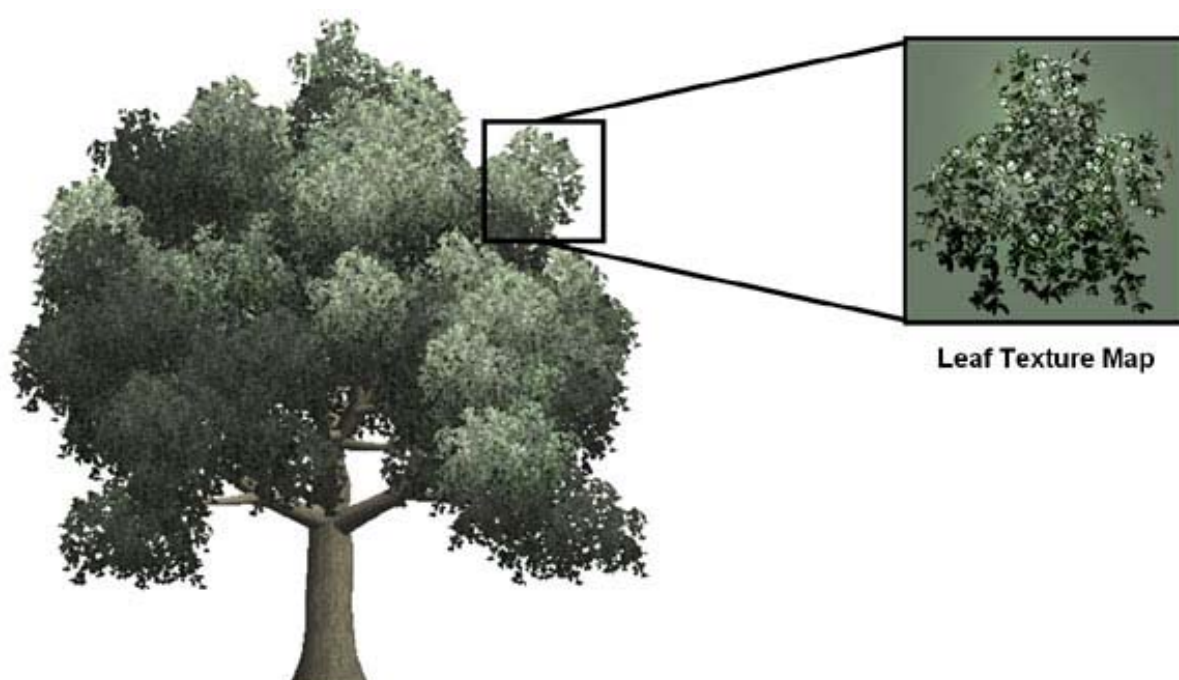


Рисунок 1 - Усовершенствованные спрайты в системе SpeedTree [27]

Недостаток вышеизложенных методов (будем называть его billboard-эффект) состоит в следующем: при «облете» дерева становится заметно, что листья отображаются при помощи спрайтов, поскольку при повороте изображение пучка листьев не изменяется.

Далее предлагается модификация последнего метода: визуализация с помощью спрайтов с текстурой, которая зависит от направления взгляда. Будем создавать такую текстуру с помощью проекции изображения ПС на сферу. В дальнейшем эта сфера отображается вместо ПС с использованием маски, полученной с помощью alpha-смешивания комбинации масок, также полученных

из ПС посредством кубической проекции. При использовании предложенного метода необходимо увеличивать количество треугольников на один спрайт. Это не повлияет на степень заполнения пропускного канала и объем памяти, занимаемый данными о спрайтах, на новых видеокартах с поддержкой Shader Model 4.0. Естественно, увеличивается нагрузка на вершинный шейдер, однако, за счет оптимизации площади спрайтов, уменьшится количество alpha-тестов и, теоретически, возможно увеличение быстродействия.

Результат моделирования – текстура $C = C_{ij}$ размера $M \times N$ и карта глубины $D = D_{ij}$ аналогичного размера. Модель, для которой необходимо построить C и D , задана текстурой $C1 = C1_{ij}$ размера $M1 \times N1$ и набором треугольников $M = \{T_k(I_1, I_2, I_3)\}$. Каждый треугольник – это три индекса в наборе вершин $V = \{V'_k(x', y', z', u, v)\}$, где x', y', z' – координаты в пространстве, а u и v – текстурные координаты.

Найдем сферу минимального объема $S(x'_s, y'_s, z'_s, r)$, которая бы заключала в себе все вершины V [D3DXComputeBoundingSphere в 28]. Для сокращения записи перейдем в новую систему координат, где S будет находиться в центре координат и иметь радиус равный единице. В новой системе координат:

$$V = \{V_k(x, y, z, u, v)\} = \left\{ V'_k \left(\frac{x' - x_s}{r}, \frac{y' - y_s}{r}, \frac{z' - z_s}{r} \right) \right\}$$

Для каждого пикселя $C_{i,j}$ найдем координаты соответствующей ему точки в сферической с.к. α (0; π) и β (0; 2π), используя проекцию Меркатора:

$$\alpha = (2i+1) * \pi / (2M)$$

$$\beta = (2j+1) * \pi / N$$

В декартовой с.к.:

$$R_x = \sin(\alpha)\sin(\beta)$$

$$R_y = \cos(\alpha)$$

$$R_z = \sin(\alpha)\cos(\beta)$$

Проведем луч, направленный к центру сферы. Начало луча $R_o(R_x, R_y, R_z)$, направление луча $R_d(-R_x, -R_y, -R_z)$. Пройдем по всем треугольникам сетки и из точек, которые пересек луч [D3DXIntersectTri в 28], выберем ближайшую к точке R_o , используя карту глубины D . Для найденной точки известны ее

барицентрические координаты u_1 , u_2 и вершины треугольника V_1 , V_2 , V_3 , к которому она принадлежит. Умножив барицентрические координаты на текстурные координаты вершин треугольника, найдем текстурные координаты точки:

$$u = u_1 * u\{V_1\} + u_2 * u\{V_2\} + (1 - u_1 - u_2) * u\{V_3\}$$

$$v = u_1 * v\{V_1\} + u_2 * v\{V_2\} + (1 - u_1 - u_2) * v\{V_3\}$$

Установим цвет пикселя C_{ij} равным цвету на текстуре C_1 в точке с координатами u , v . Для приемлемого результата должно быть достаточно использования билинейной фильтрации. Если луч не пересек ни одного треугольника полигональной сетки, то установим α -компоненту пикселя C_{ij} равной нулю (абсолютно прозрачный).

Алгоритмы, которые здесь не описаны, не влияют на производительность отображения в конечной программе, их реализация содержится в [28].

3. Выводы. Эксперименты с программой, разработанной по предложенному методу, подтвердили целесообразность ее использования для устранения billboard-эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Prusinkiewicz: Graphical applications of L-systems. Proceedings of Graphics Interface '86 / Vision Interface '86, pp. 247-253.
2. P. Prusinkiewicz, L. Kari: Subapical bracketed L-systems. Grammars and their Application to Computer Science, volume 1073 of Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 1996, pp. 550-564.
3. P. Prusinkiewicz: Modeling of spatial structure and development of plants. Scientia Horticulturae vol. 74, pp. 113-149.
4. P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, J. Hanan: Developmental Models of Herbaceous Plants for Computer Imagery Purposes. Computer Graphics, Volume 22, Number 4, August 1988, pp. 141-150.
5. P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer: The Algorithmic Beauty of Plants. Springer-Verlag, New York, 1990.
6. Prusinkiewicz, Hammel, Hannan, Mech: Visual models of plant development. Handbook of formal languages. Springer-Verlag, 1996.
7. Prusinkiewicz, Hammel, Hannan, Mech: The Artificial Life of Plants. Artificial life for graphics, animation, and virtual reality, volume 7 of SIGGRAPH'95 Course Notes, pages 1-1-1-38. ACM Press, 1995.

8. J. Hanan: Parametric l-systems and their application to the modeling and visualization of plants. University of Regina, 1992.
9. P. Prusinkiewicz: Modeling and Visualization of Biological Structures. Proceeding of Graphics Interface'93, pages 128-137, May 1993.
10. P. Prusinkiewicz, M. James, and R. Mech: Synthetic Topiary. Proceedings of SIGGRAPH 94. ACM SIGGRAPH, pp. 351-358.
11. Radomir Mech and Przemyslaw Prusinkiewicz. Visual Models of Plants Interacting with Their Environment. Proceedings of SIGGRAPH 96 (New Orleans, Louisiana, August 4-9, 1996). In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1996, ACM SIGGRAPH, pp. 397-410.
12. Hammel, Prusinkiewicz, Remphrey, Davidson: Simulating the development of *Fraxinus pennsylvanica* shoots using L-systems. Proceedings of the Sixth Western Computer Graphics Symposium, pages 49-58, March 1995.
13. Oliver Deussen, Pat Hanrahan, Bernd Lintermann, Radomir Mech, Matt Pharr, and Przemyslaw Prusinkiewicz. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. Proceedings of SIGGRAPH'98 (Orlando, Florida, July 19-24, 1998). In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1998, ACM SIGGRAPH, pp. 275-286.
14. Joanna L. Power, A. J. Bernheim Brush, Przemyslaw Prusinkiewicz, and David H. Salesin: Interactive arrangement of botanical L-system models. In Proceedings of the 1999 Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 175-182 and 234.
15. Przemyslaw Prusinkiewicz, Jim Hanan and Radomir Mech. An L-system-based plant modeling language. In: M. Nagl, A. Schuerr and M. Muench (Eds): Applications of graph transformations with industrial relevance. Proceedings of the International workshop AGTIVE'99, Kerkrade, The Netherlands, September 1999. Lecture Notes in Computer Science 1779, Springer, Berlin, 2000, pp.395-410.
16. P. Federl and P. Prusinkiewicz: Virtual Laboratory: an Interactive Software Environment for Computer Graphics. In Proceedings of Computer Graphics International 1999, pp. 93-100.
17. Bloomenthal: Modeling the Mighty Maple. SIGGRAPH'85 Proceedings.

18. Hernandez, Benes: Robin Hood's Algorithm for Time-Critical Level of Detail. Graphicon'05 Proceedings.
19. Gladimir V. G. Baranoski Jon G. Rokne: A Simplified Model for Light Interaction with Plant Tissue. Graphicon'98 proceedings.
20. Н. А. Елыков, И. В. Белаго, С.А. Кузиковский: Метод непрерывной детализации трехмерных моделей растительности. Материалы Графикон'06.
21. Tropism
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tropism>
22. Phyllotaxis
<http://en.wikipedia.org/wiki/Phyllotaxis>
23. Ворсин: Визуализация лесных массивов в реальном времени.
<http://www.gamedev.ru/articles/?id=30125>
24. Decaudin, Neyret, Cohen: Rendering Forest Scenes in Real-Time.
<http://www.antisphere.com/Research/Forest.php>
25. Geometric modelling of plants.
<http://www.vterrain.org/Plants/Modelling/index.html>
26. Billboards
<http://www.opengl.org/resources/code/samples/advanced/advanced97/notes/node31.html>
27. Speed Tree Help System
<http://www.speedtree.com/>
28. Microsoft DirectX Software Development Kit.
<http://msdn.microsoft.com/en-us/directx/default.aspx>

Одержано 29.11.2008р.

УДК 681.3

А.А. Шумейко, С.Л. Сотник, М.В. Лысак

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ

Введение

Лавинообразное количество информации, вырабатываемое человечеством, привело к понятию автоматизации извлечения знаний – Data Mining. Это направление связано с широким спектром задач – от распознавания размытых образов до создания поисковых машин. Важной составляющей Data Mining является обработка текстовой информации. Такого рода задачи опираются на понятие классификации и кластеризации. Классификация заключается в определении принадлежности некоторого элемента (текста) одному из заранее созданных классов. Кластеризация подразумевает разбиение множества элементов (текстов) на кластеры, количество которых определяется локализацией элементов заданного множества в окрестностях некоторых естественных центров этих кластеров. Реализация задачи классификации изначально должна опираться на заданные постулаты, основные из которых – априорная информация о первичном множестве текстов и мера близости элементов и классов.

Постановка задачи классификации.

Будем использовать следующую модель задачи классификации.
 Ω - множество объектов распознавания (пространство образов).

$\omega \in \Omega$ объект распознавания (образ).

$g(\omega): \Omega \rightarrow \mathcal{R}$, $\mathcal{R} = \{1, 2, \dots, n\}$ - индикаторная функция, разбивающая пространство образов Ω на n непересекающихся классов $\Omega^1, \Omega^2, \dots, \Omega^n$.
Индикаторная функция неизвестна наблюдателю.

X — пространство наблюдений, воспринимаемых наблюдателем (пространство признаков).

$x(\omega): \Omega \rightarrow X$ — функция, ставящая в соответствие каждому объекту ω точку $x(\omega)$ в пространстве признаков. Вектор $x(\omega)$ - это образ объекта, воспринимаемый наблюдателем.

© Шумейко А.А., Сотник С.Л., Лысак М.В., 2009

В пространстве признаков определены непересекающиеся множества точек $\Xi[i] \subset X$ $i=1,2,\dots,n$, соответствующих образам одного класса.

$\varphi(x)$: $X \rightarrow \mathcal{R}$ решающее правило - оценка для $g(\omega)$ на основании $x(\omega)$, т.е. $\varphi(x) = \varphi(x(\omega))$.

Пусть $x_\nu = x(\omega_\nu)$, $\nu=1,2,\dots,N$ доступная наблюдателю информация о функциях $g(\omega)$ и $x(\omega)$, но сами эти функции наблюдателю неизвестны. Тогда (g_ν, x_ν) , $\nu=1,2,\dots,N$ — есть множество прецедентов.

Задача заключается в построении такого решающего правила $\varphi(x)$, чтобы распознавание проводилось с минимальным числом ошибок.

Основные направления исследования проблемы классификации.

Обычный случай — считать пространство признаков евклидовым, а качество решающего правила измеряют частотой появления правильных решений. Как правило, его оценивают, наделяя множество объектов Ω некоторой вероятностной мерой. Байесовский подход (см., например, [1]) исходит из статистической природы наблюдений. За основу берется предположение о существовании вероятностной меры на пространстве образов, которая либо известна, либо может быть оценена. Цель состоит в разработке такого классификатора, который будет правильно определять наиболее вероятный класс для пробного образа. Тогда задача состоит в определении “наиболее вероятного” класса. Байесовский подход основывается на предположении о существовании некоторого распределения вероятностей для каждого параметра. Недостатком этого метода является необходимость постулирования как существования априорного распределения для неизвестного параметра, так и знание его формы.

Использованию поиска соответствия предшествует построение множества статистик, в которых содержится количество текстов в данном классе и список используемых термов вместе со своими счетчиками.

Для определения подходящего класса текстов для заданного текста строится структура из неповторяющихся термов и их счетчиков $-(w_i, n(w_i))$.

Через M обозначим количество множества статистик. Классы, на принадлежность к которым проверяется текст, обозначим через $C_j (j=0, \dots, M-1)$. Для каждого слова w_i из проверяемого текста, в каждой статистике находим это слово и соответствующий счетчик $n(w_i, C_j)$ (здесь j ($j=0, 1, \dots, M-1$)-номер класса (элемент множества статистик)). Через $n(C_j)$ обозначим число текстов в j -м классе. Минимизация риска и вероятности ошибки эквивалентны разделению пространства признаков на n областей. Если области смежные, то они разделены поверхностью решения в многомерном пространстве. Для случая построения разделяющей поверхности предпочтительней использовать методы классификации отличные от Байесовской. Использование вероятностных характеристик определяется на распределение Гаусса, которое очень широко используется по причине вычислительного удобства и адекватности во многих случаях.

Если известно или с достаточным основанием можно считать, что плотность распределения функций правдоподобия $P(x|\Omega^i)$ является гауссовской, то применение классификатора Байеса приводит к тому, что образы, характеризующиеся нормальным распределением проявляют тенденцию к группированию вокруг среднего значения, а их рассеивание пропорционально среднеквадратическому отклонению σ . Вероятностные методы опираются на информацию о плотности распределения вероятностей каждого класса. К сожалению, в реальных задачах информация о плотности распределения отсутствует.

J.Rocchio [2] для решения задачи автоматической классификации объектов аэрокосмической съемки, предложил алгоритм TFIDF (term frequency / inverse document frequency), который состоит в следующем. Для каждого класса путем комбинации положительных и отрицательных решений принадлежности нормализованных векторов данному классу, строится центральный вектор этого класса c_i , а в качестве меры используется значение косинуса угла между проверяемым вектором и центральным вектором класса. Таким образом, задача нахождения подходящего класса для вектора d' сводится к решению задачи

$$\arg \max_{c_j} \cos(c_j, d') = \arg \max_{c_j} \frac{\langle c_j, d' \rangle}{|c_j| |d'|}.$$

К сожалению, эффективность этого метода существенно зависит от экспертных оценок положительных и отрицательных решений, используемых при конструировании центрального вектора класса.

В 1974 г. вышла книга В.Н.Вапника и А.Я.Червоненкиса [3], положившая начало целой серии их работ в этой области. Предложенные авторами методы распознавания образов и статистическая теория обучения, лежащая в их основе, оказались, весьма успешными. Алгоритмы классификации и регрессии под общим названием SVM во многих случаях успешно заменили нейронные сети и в данное время применяются очень широко.

Идея метода основывается на предположении о том, что наилучшим способом разделения точек в n -мерном пространстве является $n-1$ плоскость (заданная функцией $f(x)$), равноудаленная от точек, принадлежащих разным классам. Метод опорных векторов (Support Vector Machine - SVM) относится к группе граничных методов. Эта группа методов определяет классы при помощи границ областей. Опорными векторами называются объекты множества, лежащие на границах областей. Классификация считается хорошей, если область между границами пуста. Однако сложность построения SVM-модели заключается в том, что чем выше размерность пространства, тем сложнее с ним работать, что существенно ограничивает использование SVM.

Основные результаты.

Для построения файла статистики последовательно обрабатываются все файлы словоформ $b^v, v = 0, \dots, M-1$, принадлежащие одному классу $B = \{b^v\}_{v=0}^{M-1}$. По множеству словоформ каждого обрабатываемого текста b^v строится множество уникальных (неповторяющихся) словоформ и их счетчики - $(w_i^v, n_i^v) (i = 0, \dots, N^v - 1)$. Здесь N^v - количество уникальных словоформ для текста b^v . После этого данные для каждого файла отдельно нормируются

$$\bar{n}_i^v = \frac{n_i^v}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N^v-1} (n_j^v)^2}} (i = 0, \dots, N^v - 1).$$

После этого, упорядочиваем все слова для каждого документа в одном и том же порядке (сам порядок слов не существен, главное, чтобы слова в каждой из структур $(w_i^v, n_i^v)(i=0, \dots, N^v-1)$ шли в одном и том же порядке) и находим сумму всех векторов $n_i(B) = \sum_{j=0}^{M-1} \bar{n}_i^j(i=0, \dots, N(B))$ (где $N(B)$ - количество уникальных словоформ для класса B в целом) и нормируем ее единицей

$$\bar{n}_i(B) = \frac{n_i(B)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N(B)} (n_j(B))^2}}.$$

Для полученной центральной точки класса формируем файл статистики, записывая в него значения $(w_i(B), \bar{n}_i(B))(i=0, \dots, N(B))$.

Для построения центрального вектора классов $\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}$, где каждый класс B^μ описывается своим центральным вектором $(w_i(B^\mu), \bar{n}_i(B^\mu))(i=0, \dots, N(B^\mu))$ нужно найти их сумму, просуммировав все координаты из всех суммируемых векторов для каждого значений словоформы, то есть для словоформы ω получаем координату

$$n(\omega) = \sum_{\mu=0}^{K-1} \left\{ \bar{n}_i(B^\mu) \middle| w_i(B^\mu) = \omega, i=0, \dots, N(B^\mu) \right\},$$

то есть, нужно составить список уникальных словоформ по всем центральным векторам классов $\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}$ и просуммировать их координаты. Результатом будет множество, состоящее из уникальных (неповторяющихся) словоформ и их координат

$$(w_i(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}), n_i(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}))(i=0, \dots, N(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}))$$

где $N(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1})$ количество уникальных словоформ множества классов $\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}$. Остается пронормировать полученные координаты

$$\bar{n}_i(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}) = \frac{n_i(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1})}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1})} (n_j(\{B^\mu\}_{\mu=0}^{K-1}))^2}}$$

и полученный вектор $\left(w_i\left(\left\{B^\mu\right\}_{\mu=0}^{K-1}\right), \bar{n}_i\left(\left\{B^\mu\right\}_{\mu=0}^{K-1}\right)\right)(i=0, \dots, N\left(\left\{B^\mu\right\}_{\mu=0}^{K-1}\right))$ будет центральным вектором множества $\left\{B^\mu\right\}_{\mu=0}^{K-1}$.

Идеально сформированной классификацией векторного метода является такой набор классов $\left\{B^\mu\right\}_{\mu=0}^{K-1}$, для которого выполняется следующее условие $\forall b \in B^\mu, \mu=0, \dots, K-1$ имеет место соотношение

$$\left\langle \bar{n}(b), \bar{n}\left(B^\mu\right)\right\rangle < \left\langle \bar{n}(b), \bar{n}\left(B^\nu\right)\right\rangle, \nu \neq \mu. \quad (1)$$

Рассмотрим вектор Λ (управление) размерностью $N\left(B^\mu\right)$, координаты которого принимают только одно из двух допустимых значений

$$\lambda_i = \begin{cases} 0, \\ 1. \end{cases}$$

Через Λb обозначим прямое произведение векторов Λ и b , то есть

$$\Lambda b = \left(\lambda_0 \bar{n}_0(b), \lambda_1 \bar{n}_1(b), \dots, \lambda_{N\left(B^\mu\right)} \bar{n}_{N\left(B^\mu\right)}(b)\right).$$

Управление Λ будем называть допустимым на классе $B^\mu = \left\{b^k\right\}_{k=0}^{M-1}$, если выполняется условие

$$\left\langle \overline{\Lambda n}\left(b^k\right), \overline{\Lambda n}\left(B^\mu\right)\right\rangle < \left\langle \overline{\Lambda n}\left(b^k\right), \bar{n}\left(B^\nu\right)\right\rangle, \nu \neq \mu, k=0, 1, \dots, M-1 \quad (2)$$

Допустимое управление, для которого имеет место это соотношение и при этом $\sum_{k=0}^{M-1}(\Lambda b^k)^2 \rightarrow \max$ называется оптимальным.

Если для $\nu \neq \mu$ множество допустимых управлений вырождено, то класс $B^\mu = \left\{b^k\right\}_{k=0}^{M-1}$ определен некорректно, то есть он неразделим с классом B^ν .

Задача нахождения оптимального управления классическими методами достаточно сложна, поэтому для ее решения мы применим генетические алгоритмы.

Основные принципы работы ГА заключены в следующей схеме:

1. Генерируем начальную популяцию из n хромосом λ_i .
2. Вычисляем для каждой хромосомы ее пригодность, то есть выполнение условия (2).

3. Выбираем пару хромосом-родителей с помощью одного из способов отбора.

4. Генерируем потомство выбранных родителей, используя генетические операторы, прежде всего елссвер и мутацию.

5. Повторяем шаги 3–4, пока не будет сгенерировано новое поколение популяции, содержащее n хромосом.

6. Повторяем шаги 2–5, пока не будет достигнут критерий окончания процесса.

Критерием окончания процесса может служить заданное количество поколений или схождение популяции.

Существует несколько подходов к выбору родительской пары. Селекция состоит в том, что родителями могут стать только те особи, значение приспособленности которых не меньше пороговой величины, в нашем случае, среднего значения приспособленности по популяции. Такой подход обеспечивает более быструю сходимость алгоритма.

Оператор рекомбинации применяют сразу же после оператора отбора родителей для получения новых особей-потомков. Смысл рекомбинации заключается в том, что созданные потомки должны наследовать генную информацию от обоих родителей. Рекомбинацию бинарных строк принято называть кроссинговером (кроссовером) или скрещиванием. В нашем случае используется одноточечный кроссинговер (Single-point crossover), который моделируется следующим образом - пусть имеются две родительские особи с хромосомами $X = \{x_i, i \in \{0, \dots, L\}\}$ и $Y = \{y_i, i \in \{0, \dots, L\}\}$. Случайным образом определяется точка внутри хромосомы (точка разрыва), в которой обе хромосомы делятся на две части и обмениваются ими. После процесса воспроизводства происходят мутации (mutation). Данный оператор необходим для «выбивания» популяции из локального экстремума и препятствует преждевременной сходимости. Это достигается за счет того, что изменяется случайно выбранный ген в хромосоме.

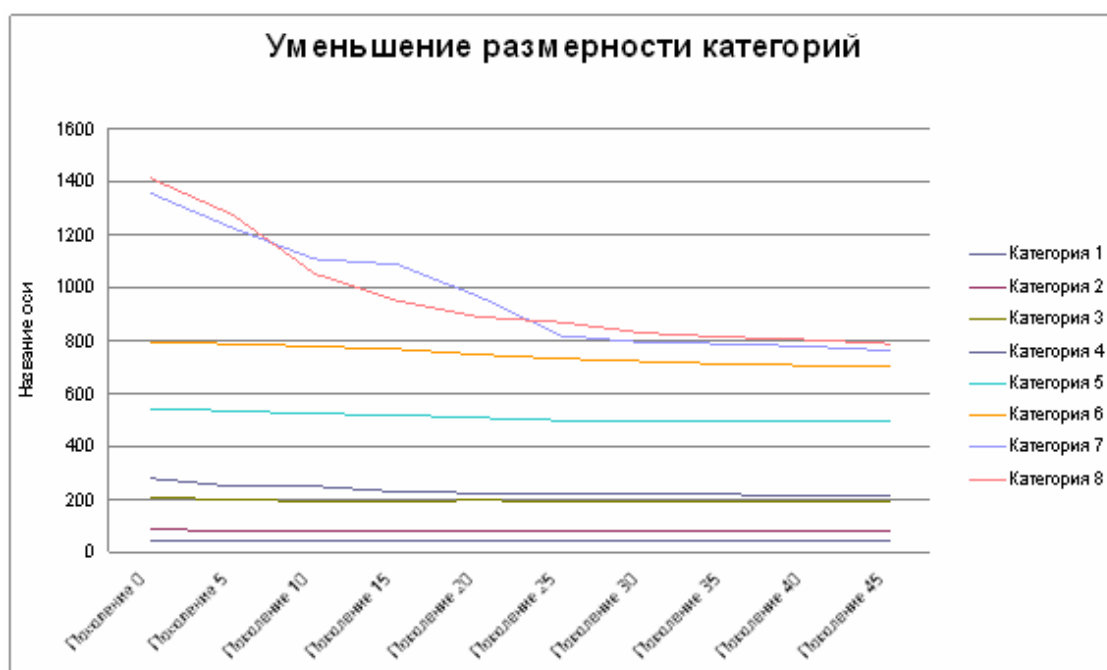


Рисунок 1 - Диаграмма уменьшения размерности категорий при использовании генетических алгоритмов

Для создания новой популяции можно использовать различные методы отбора особей. Нами использован элитарный отбор (Elite selection). Создается промежуточная популяция, которая включает в себя как родителей, так и их потомков. Члены этой популяции оцениваются, а за тем из них выбираются N самых лучших (пригодных), которые и войдут в следующее поколение.

Результат применения генетического алгоритма к задаче сокращения размерности класса, приведен на рисунке 1.

Заметим, что векторный метод в качестве критерия качества использует величину скалярного произведения ортов, таким образом, класс единичных векторов (документов) ограничен на сфере окружностью с центром в конце центрального вектора класса. Так как срезы сферы по окружности не могут плотно упаковать всю поверхность единичной сферы, то появляется множество точек (ортов), которые принципиально не могут попасть ни в один класс. Таким образом, возникает необходимость разбить множество точек на единичной сфере, так, чтобы элементы этого разбиения плотно упаковывали всю поверхность единичной сферы, то есть позволяли однозначно классифицировать любой документ.

Использование диаграмм Вороного в задаче классификации текстов.

Для любого центра системы $\{A\}$ можно указать область пространства, все точки которой ближе к данному центру, чем к любому другому центру системы. Такая область называется многогранником Вороного или областью Вороного. К многограннику Вороного обычно относят и его поверхность. В трехмерном пространстве область Вороного любого центра i системы $\{A\}$ есть выпуклый многогранник, в двумерном — выпуклый многоугольник. Формально многоугольники Вороного T_i определяются следующим образом:

$$T_i = \{x \in R^2 : d(x, x_i) < d(x, x_j) \forall j \neq i\}$$

Построение аппроксимации опирается на фундаментальное свойство для произвольно заданных n точек множества S на плоскости. Для любого узла из n на плоскости существует множество натуральных соседей N . Понятие натуральных соседей тесно связано с разбиением области ячейками Вороного. Для непустой ячейки Вороного $V(R), R \subset S$ натуральные соседи для $r \in R$ — вершины треугольников Делоне, инцидентных к $V(R)$.

Двумерный многогранник Вороного показан на рисунке 2. Плоскости Вороного, которые породили грани у данного многогранника, называются образующими плоскостями Вороного, а соответствующие центры системы — геометрическими соседями данного центра i . Среди геометрических соседей различают основные (естественные) и не основные. Для первых середина отрезка, соединяющая его с центральным узлом, лежит на грани многогранника Вороного. Для вторых — вне грани и, следовательно, вне самого многогранника.

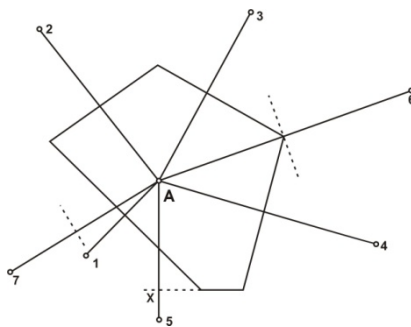


Рисунок 2 - Многогранник Вороного для центра i двумерной системы

Многогранники Вороного, построенные для каждого центра системы $\{A\}$, дают мозаику многогранников - разбиение Вороного (рисунок 3). Многогранники Вороного системы $\{A\}$ не входят друг в друга и заполняют пространство, будучи смежными по целым граням. Разбиение пространства на многогранники Вороного однозначно определяется системой $\{A\}$ и, наоборот, однозначно ее определяет.

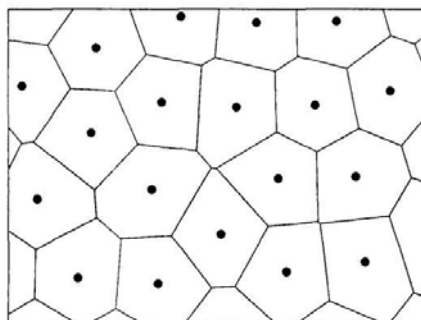


Рисунок 3 - диаграмма Вороного на плоскости

Используя конструкцию диаграмм Вороного применительно к точкам на многомерной единичной сфере, получаем разбиение всех ортов документов на естественные классы. Границами классов будут являться гиперплоскости, разделяющие сферические многогранники Вороного. При этом к одному классу будут относиться точки на единичной сфере (концы ортов документов), которые по отношению ко всем гиперплоскостям, ограничивающим данный класс, лежат с одной ее стороны, что и центральный вектор этого класса.

Проверка существующей классификации на корректность.

Пусть проверяются на корректность разбиения классы документов C_ν и C_μ . Для соответствующих орт (центральных векторов) $\widehat{C}_\nu$, $\widehat{C}_\mu$ строим вектор разности

$$\vec{\Delta}_{\nu,\mu} = \widehat{C}_\nu - \widehat{C}_\mu = \left\{ \hat{n}^\nu(w_i) - \hat{n}^\mu(w_i) \right\}$$

и вектор суммы

$$\vec{\Xi}_{\nu,\mu} = \frac{1}{2}(\widehat{C}_\nu + \widehat{C}_\mu) = \frac{1}{2} \left\{ \hat{n}^\nu(w_i) + \hat{n}^\mu(w_i) \right\}.$$

Конец вектора полусуммы численно совпадает с координатами этого вектора. Обозначим его через $\Xi_{v,\mu}$. Проведем через точку $\Sigma_{v,\mu}$ плоскость с нормальным вектором $\vec{\Delta}_{v,\mu}$

$$\Omega_{v,\mu} = \langle \vec{\Delta}_{v,\mu} \cdot (P - \Xi_{v,\mu}) \rangle = 0. \quad (3)$$

Эта плоскость разделяет классы. Для того, чтобы метод корректно разделял классы, нужно, чтобы все точки (документы) одного класса находились с одной стороны плоскости, то есть, если $b \in C_v$, то

$$\langle \vec{\Delta}_{v,\mu} \cdot (\hat{C}_v - \Xi_{v,\mu}) \rangle \langle \vec{\Delta}_{v,\mu} \cdot (\hat{b} - \Xi_{v,\mu}) \rangle \geq 0.$$

Точки, в которых это условие не выполняется нужно рассмотреть на вопрос принадлежности к категории C_μ .

Возможна ситуация, когда категории имеют непустое пересечение. Например, категория «АВТОР» содержит документы по математике (этого автора) и категория «НАУКА» содержит документы по математике того же автора. В этом случае нужно выделить непустое пересечение этих категорий и, в дальнейшем, либо эту категорию локализовать, либо проводить адресацию в обе категории.

Для решения этой проблемы предлагается следующий метод. Рассмотрим категории C_v и C_μ . Разделим их плоскостью (3), и все точки, лежащие с одной стороны, соберем в новые две категории C_v^* и C_μ^* .

Пусть

$$d(B, \Omega_{v,\mu}) = \frac{|\langle \vec{\Delta}_{v,\mu} \cdot (B - \Xi_{v,\mu}) \rangle|}{|\vec{\Delta}_{v,\mu}|}$$

расстояние от точки $B = \{b_i\}$ до плоскости $\Omega_{v,\mu}$.

Если выполняется условие (то есть, после отсечения данных обе категории отодвигаются друг от друга)

$$\begin{cases} d(C_v^*, \Omega_{v,\mu}) - d(C_v, \Omega_{v,\mu}) > 0, \\ d(C_\mu^*, \Omega_{v,\mu}) - d(C_\mu, \Omega_{v,\mu}) > 0, \end{cases}$$

то категории C_v и C_μ имеют непустое пересечение $\tilde{C}$, которое можно определить следующим образом, $b \in \tilde{C}$ если $b \in C_v$ и при этом

$$\left\langle \bar{\Delta}_{v,\mu} \cdot (\hat{C}_v - \Xi_{v,\mu}) \right\rangle \left\langle \bar{\Delta}_{v,\mu} \cdot (\hat{b} - \Xi_{v,\mu}) \right\rangle < 0$$

или, если $b \in C_\mu$ и при этом

$$\left\langle \bar{\Delta}_{v,\mu} \cdot (\hat{C}_\mu - \Xi_{v,\mu}) \right\rangle \left\langle \bar{\Delta}_{v,\mu} \cdot (\hat{b} - \Xi_{v,\mu}) \right\rangle < 0.$$

Естественно, что для метода, построенного на диаграммах Вороного также актуальна задача сокращения размерности классов. Для этой цели, так же, как и в предыдущем случае, использовались генетические алгоритмы.

Сравнительный анализ применения различных методов классификации к тестовой базе документов Reuters приведен на следующих диаграммах.

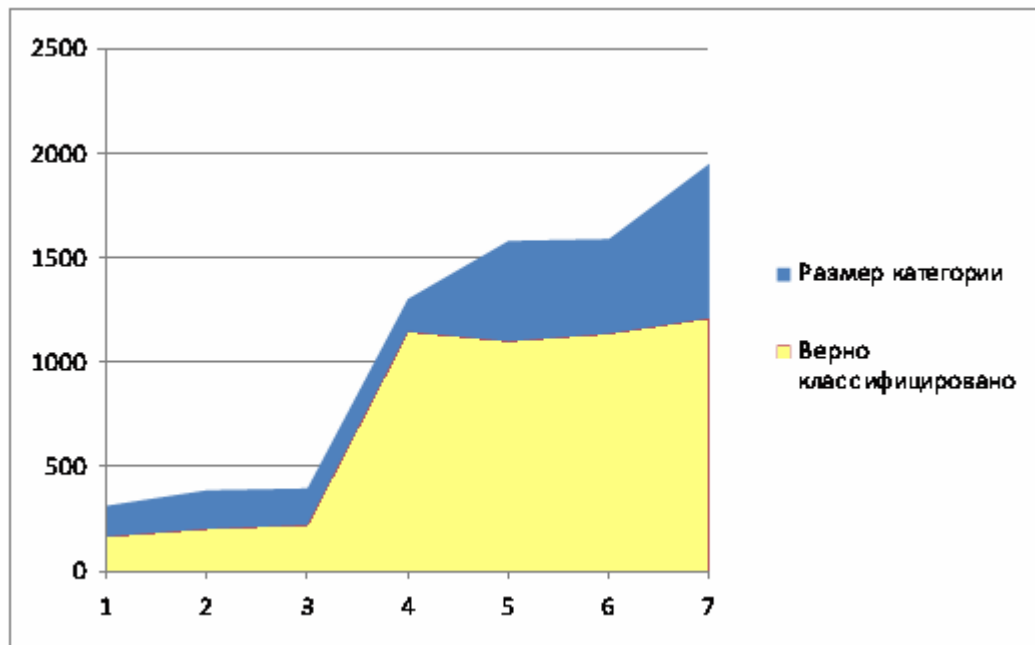


Рисунок 4 - Результат применения алгоритма Байеса

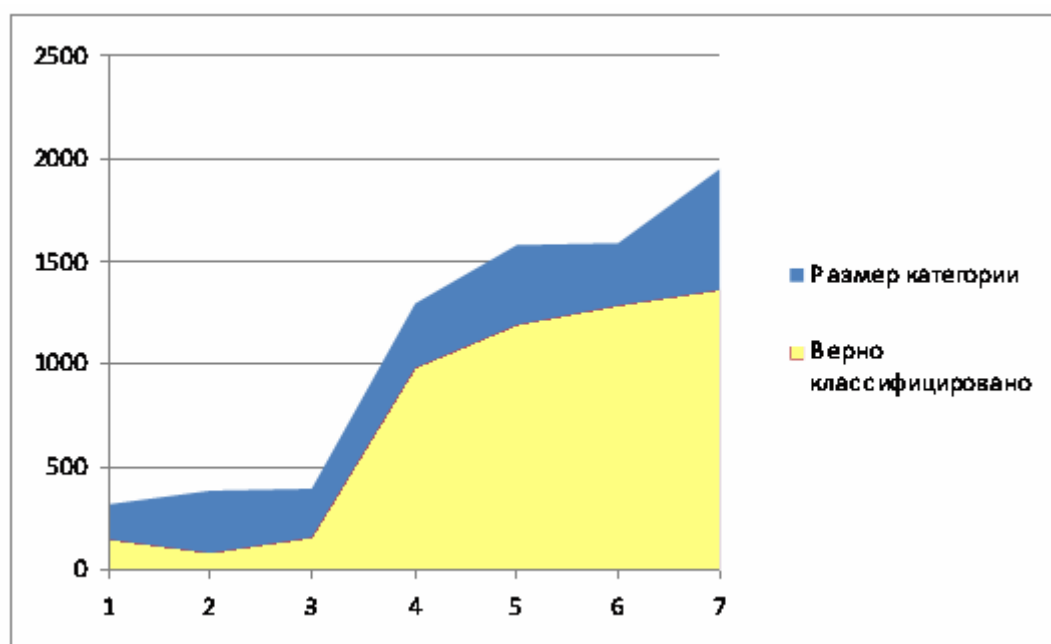


Рисунок 5 - Результат применения векторного алгоритма

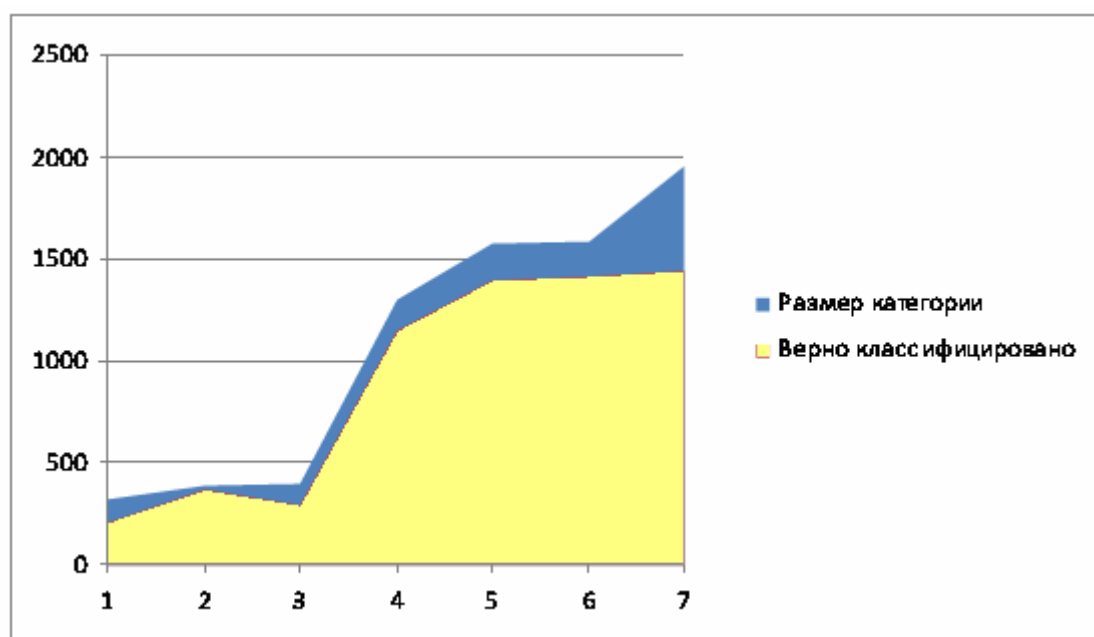


Рисунок 6 - Результат применения алгоритма основанного на диаграммах Вороного

Выводы.

Результаты работы показали, что для сокращения размерности векторов классов документов достаточно эффективно использовать генетические алгоритмы с хромосомами длиной равной количеству ненулевых координат центрального вектора и бинарными генами. Предложено минимизацию генотипа проводить из условия

минимальности воздействия на класс при обеспечении заданной степени локализации класса. Для тестовой базы Rambler при условии попадания в класс не менее 90% документов, удалось сократить размерность классов от 10% до 50%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining.- СПб.: БХВ-Петербург, 2004.- 336 с.
2. Rocchio O. "Relevance Feedback in Information Retrieval", in Salton: The SMART Retrieval System: Experiments in Automatic Document Processing, Chapter 14, P.313-323, Prentice-Hall, 1971.
3. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. — М.: Наука, 1974. — 416 с.
4. Шумейко А.А., Сотник С.Л., Лысак М.В. Использование генетических алгоритмов в задачах классификации текстов// Тези доповідей на VI міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (MPZIS-2008), Дніпропетровськ, 2008.- С. 345-346.

Одержано 05.12.2008р.

УДК:681.5.015

Р.М. Гуменюк, С.М. Іщеряков

АРХІТЕКТУРА ФОРМУВАЧІВ БАЗИСНИХ ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ СПЕЦПРОЦЕСОРА ПОДВІЙНОГО ЗГОРТАННЯ СИГНАЛІВ

Важливою науково-технічною задачею є вдосконалення методів та цифрових засобів спектрального аналізу сигналів в комп'ютеризованих системах діагностування промислових об'єктів. Розвиток теорії, методів та апаратно-програмних засобів цифрового оброблення сигналів дозволяє суттєво підвищити швидкодію та якість визначення спектральних характеристик сигналів діагностування.

У блоці згортання по частоті спецпроцесора подвійного згортання [1] базисні частотні сигнали формуються згідно розгортки, запропонованих в [2]. Недоліком роботи формувачів базисних частотних сигналів на основі генераторів часових інтервалів лінійно-змінної тривалості [3] є формування сигналів з неоднаковою амплітудою, що приводить до отримання певної похибки в спектральних дослідженнях. Формувач інтервалів, архітектуру якого наведено на рис.1, дозволяє отримувати базисні частотні сигнали заданої амплітуди.

До складу кожного з n генераторів часових інтервалів лінійно-змінної тривалості входять: два реверсивних лічильники із паралельним записом, інформаційними та двома пороговими виходами, два RS-тригери, а також віднімаючий лічильник із паралельним записом та пороговим виходом. Входи WR паралельного запису реверсивних лічильників всіх генераторів часових інтервалів об'єднані і утворюють вхід попереднього встановлення генераторів, тактові входи реверсивних лічильників $CT1_{(1...n)}$ всіх генераторів часових інтервалів з'єднані між собою, паралельні входи кожного k -го реверсивного лічильника є інформаційними входами для запису значення періоду k -го базисного частотного сигналу, вхід U/D режиму тактування на збільшення або зменшення реверсивного лічильника $CT1_{(k)}$ підключений до інверсного виходу RS-тригера $T2_{(k)}$,

© Гуменюк Р.М., Іщеряков С.М., 2009

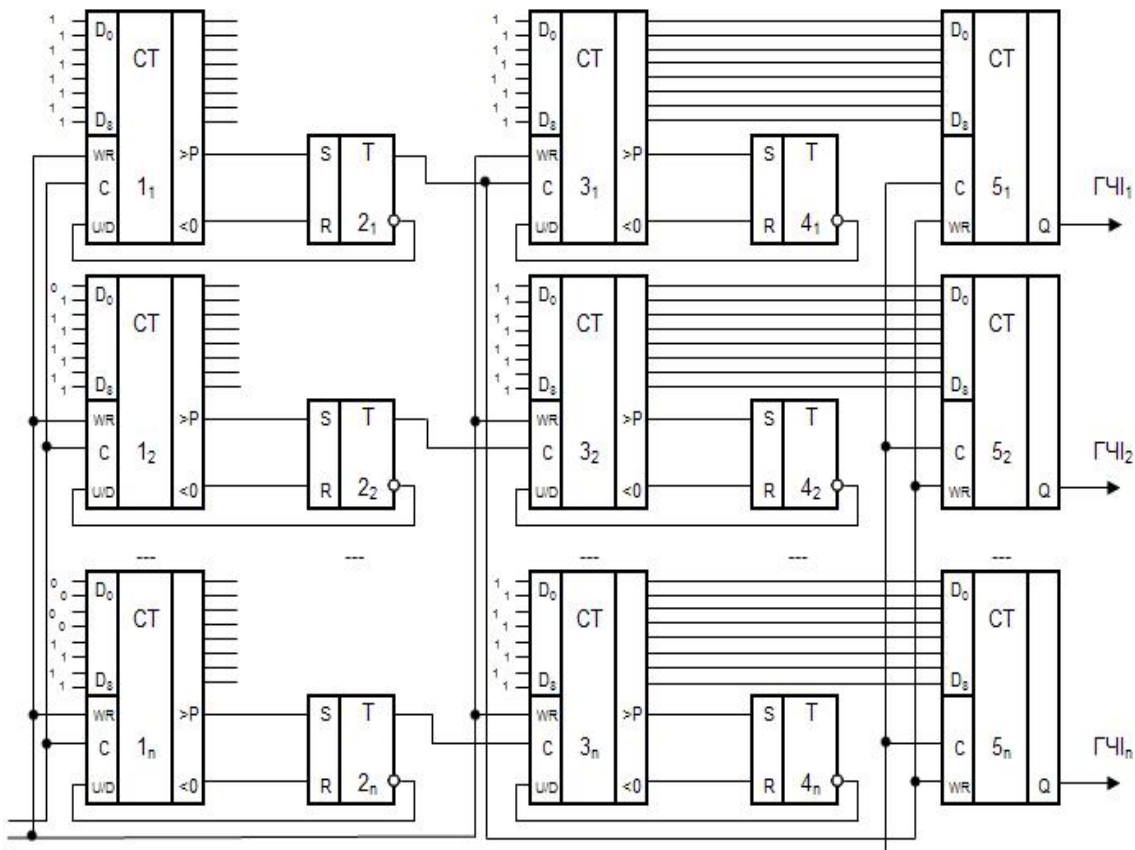


Рисунок 1 - Архітектура формувача часових інтервалів лінійно-змінної тривалості

S-вхід якого з'єднаний із першим пороговим виходом реверсивного лічильника $CT1_{(k)}$, а R-вхід RS-тригера $T2_{(k)}$ підключений до другого порогового виходу реверсивного лічильника $CT1_{(k)}$, прямий вихід RS-тригера $T2_{(k)}$ з'єднаний з тактовим входом реверсивного лічильника $CT3_{(k)}$, паралельні входи кожного k -го реверсивного лічильника $CT3_{(k)}$, є інформаційними входами для запису максимального значення, вхід U/D режиму тактування на збільшення або зменшення реверсивного лічильника $CT3_{(k)}$ підключений до інверсного виходу RS-тригера $T4_{(k)}$, S-вхід якого з'єднаний із першим пороговим виходом реверсивного лічильника $CT3_{(k)}$, а R-вхід RS-тригера $T4_{(k)}$ підключений до другого порогового виходу реверсивного лічильника $CT3_{(k)}$, інформаційні виходи реверсивного лічильника $CT3_{(k)}$ з'єднані із паралельними входами віднімаючого лічильника $CT5_{(k)}$, WR входи паралельного запису віднімаючих лічильників всіх генераторів часових інтервалів з'єднано з прямим виходом RS-тригера $T2_{(1)}$, тактові входи віднімаючих лічильників всіх генераторів

часових інтервалів з'єднані між собою, а пороговий вихід віднімаючого лічильника є виходом генератора часових інтервалів лінійно-змінної тривалості.

На рис.2 наведено діаграми роботи k -го генератора часових інтервалів лінійно-змінної тривалості.

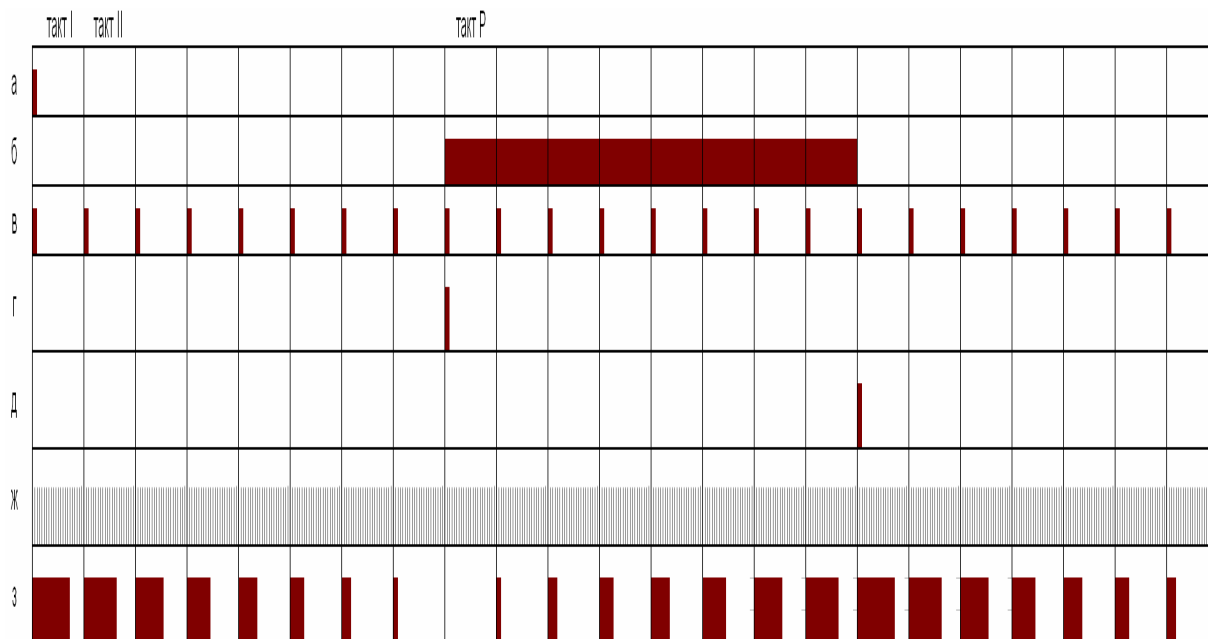


Рисунок 2 - Діаграми роботи генератора часових інтервалів лінійно-змінної тривалості

Попереднє встановлення генератора здійснюється імпульсом на вході WR реверсивного лічильника СТ1 (рис.2а), що записує двійкове значення P періода k -го базисного частотного сигналу через паралельні входи реверсивного лічильника. Протягом перших P тактів роботи всіх генераторів часових інтервалів за рахунок наявності нульового рівня на вході U/D режиму тактування (рис.2б) реверсивні лічильники СТ1 працюють в режимі зменшення (для генератора, часова діаграма роботи якого наведена на рис.2, $P = 8$). Таким чином, по фронтах спадання імпульсів, що надходять на тактовий вхід С реверсивного лічильника СТ1 на початку кожного з P тактів роботи генератора (рис.2в), вміст реверсивного лічильника зменшується.

Після P тактів роботи генератора і досягнення нульового значення в реверсивному лічильнику СТ1 на другому пороговому

виході реверсивного лічильника СТ1 утворюється імпульс (рис.2г), що переводить інверсний вихід RS-тригера Т2 у нульовий стан а прямий вихід у стан одиниці. На протязі наступних P тактів за рахунок формування одиничного рівня на вході U/D по фронтах спадання тактових імпульсів вміст реверсивного лічильника СТ1 збільшується. Коли вміст реверсивного лічильника СТ1 досягне значення P , на першому пороговому виході сформується імпульс (рис.2д), що поверне інверсний вихід RS-тригера Т2 до одиничного стану.

Робота наступного в ланці реверсивного лічильника СТ3 є аналогічною роботі описаного реверсивного лічильника, відмінністю є тільки те, що при попередньому встановленні генератора імпульсом на вході WR реверсивного лічильника СТ3 відбувається запис через паралельні входи максимального двійкового значення, а тактування реверсивного лічильника СТ3 відбувається періодичним сигналом, що надходить з прямого виходу попереднього RS-тригера Т2.

По фронтах наростання імпульсів, що формуються на прямому виході першого RS-тригера Т2 (рис.2в), здійснюється паралельний перезапис двійкового вихідного коду реверсивного лічильника СТ3 до віднімаючого лічильника СТ5, пороговий вихід якого синхронно встановлюється в одиничний стан. На тактовий вхід С віднімаючого лічильника СТ5 надходить неперервна послідовність високочастотних імпульсів (рис.2ж), за рахунок чого вміст віднімаючого лічильника СТ5 досягне нульового значення через інтервал часу, пропорційний значенню двійкового коду реверсивного лічильника СТ3, переписаного на початку такту. Одночасно відбудеться скидання в нуль порогового виходу віднімаючого лічильника СТ5, що призводить до формування на пороговому виході віднімаючого лічильника СТ5 часових інтервалів (рис.2з), які є вихідними сигналами генератора.

На рис.3 наведено часові розгортки вихідних сигналів генераторів часових інтервалів формувача базисних сигналів.

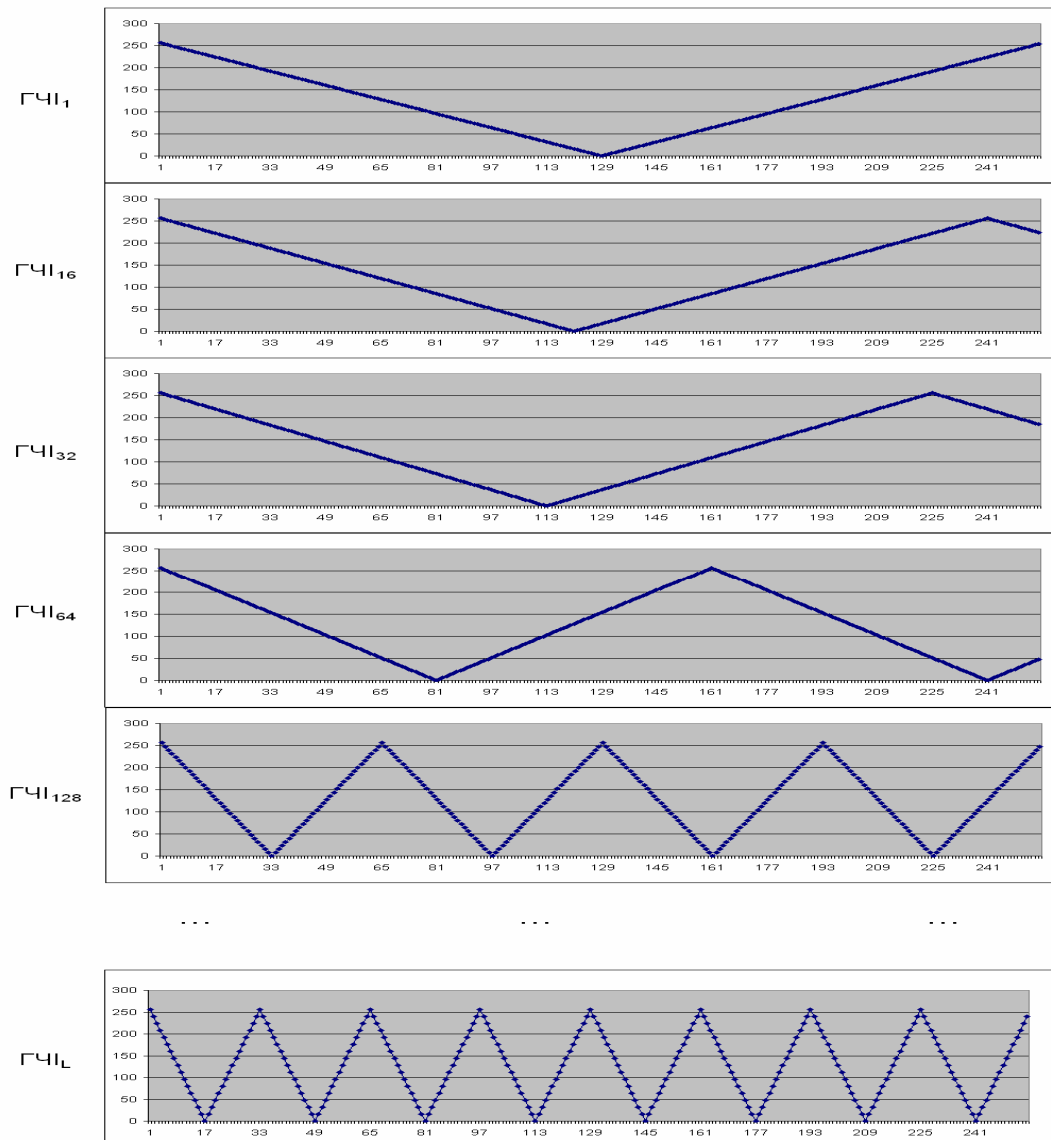


Рисунок 3 -Часові розгортки базисних частотних сигналів

Таким чином, використання запропонованого формувача базисних частотних сигналів дає змогу уникнути спадання амплітуд базисних сигналів із зростанням частоти, та, відповідно, уникнути негативного впливу на критерії якості визначення спектральних характеристик.

Запропонована архітектура формувача базисних частотних імпульсів на основі генераторів часових інтервалів блоку згортання по частоті спецпроцесора спектрального аналізу дозволила реалізувати згортання відліків сигналів, представлених унітарними кодами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гуменюк Р.М., Іщеряков С.М. Обчислювальне середовище для визначення спектра методом подвійної згортки // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Технічні науки – Житомир:ЖІТІ.–2002.–С.192-198.
2. Гуменюк Р.М., Іщеряков С.М. Аналіз методу подвійного згортання із послідовним використанням різних статистичних функцій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця:ВПІ,2003.–№ 6.– С.307-311.
3. Гуменюк Р.М. Формувачі базисних частотних сигналів на основі генераторів часових інтервалів лінійно-змінної тривалості // Наукові вісті. – Івано-Франківськ: ІМЕ «Галицька академія». – 2006. – №. 2. – С. 13-18.

Одержано 27.11.2008р.

УДК 519.872:519.876.5

И.В. Новицкий, А.А. Саганенко

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТДЕЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

Введение. Актуальность задачи. Как любое из подразделений банка, непрерывно обслуживающее клиентов, отдел технической поддержки клиентов через Интернет по своей сути может быть представлен как система массового обслуживания (СМО). Однако, специфика его структуры и особенности потоков событий в нем не позволяют использовать для расчетов хорошо известные зависимости для типовых СМО [1, 2]. Так, во-первых, вследствие круглосуточной работы отдела потоки заявок не являются стационарными, во-вторых, сортировка заявок приводит к тому, что пуассоновский поток «прореживается» и превращается в несколько потоков Эрланга уже ненулевого порядка, для которых свойство отсутствия последствия не выполняется. Потоки заявок, непосредственно поступающие в обслуживающие системы, не являются простейшими. Поэтому для анализа работы и оптимизации подобной системы в настоящей работе принят универсальный подход, основанный на имитационном моделировании. Актуальность решаемой задачи обусловлена тем, что для подавляющего большинства структурных подразделений банка, обслуживающих клиентов, характерны существенные отклонения потоков событий от простейших.

Постановка задачи. Рассматриваемый отдел является одной из служб технической поддержки банка, консультирующей клиентов через Интернет. Функционирование отдела может быть представлено в виде структурной схемы (рис.1).

© Новицкий И.В., Саганенко А.А., 2009

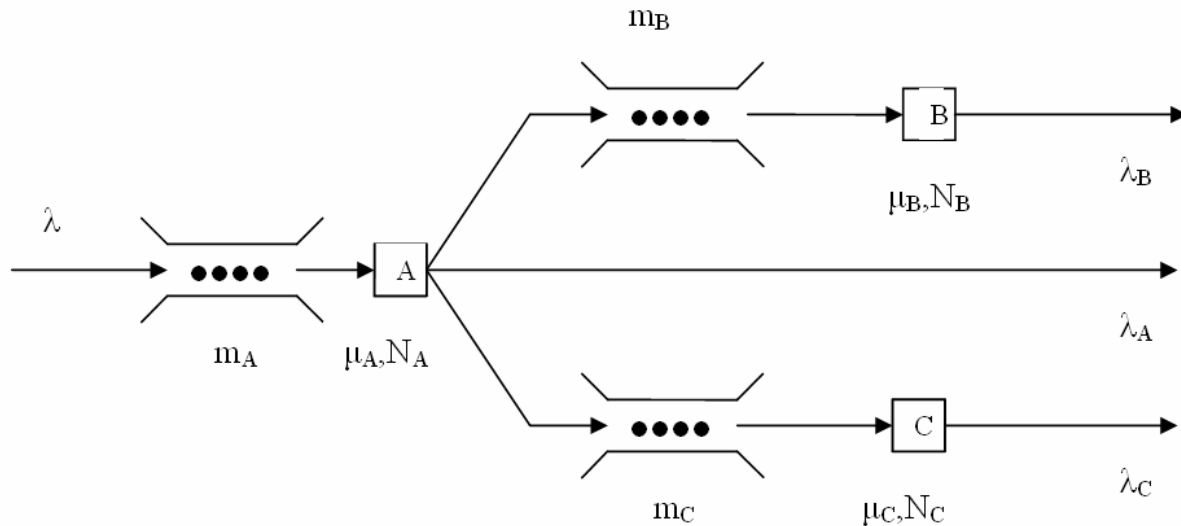


Рисунок 1 - Структурная схема СМО

Исходный поток заявок клиентов интенсивностью λ поступает через накопитель (очередь длиной m_A) в многоканальную обслуживающую систему А. Это один или несколько диспетчеров, в обязанности которых входит либо самому ответить на вопрос и выполнить заявку (поток λ_A), либо направить заявку в одну из обслуживающих систем В или С. Это также многоканальные системы (несколько специалистов) с накопителями ёмкостью m_B и m_C , различающиеся спецификой поставленных клиентами вопросов. Заявки, застающие все каналы любой из систем А, В, С занятыми и накопитель (m_A , m_B , m_C) заполненным, покидают систему не обслуженными. Очевидно, что для потоков обслуженных заявок справедливо:

$$\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C \leq \lambda$$

На рис.1 также обозначено: μ_A , μ_B , μ_C - интенсивности обслуживания и N_A , N_B , N_C - количество каналов для систем типа А, В, С соответственно.

Статистические исследования исходного потока заявок позволили установить, что он представляет собой нестационарный пуассоновский поток с интенсивностью λ , причем параметр λ явно зависит от времени суток.

Остальные характеристики системы: интенсивности обслуживания μ_A , μ_B , μ_C и соотношение интенсивностей $\lambda_A : \lambda_B : \lambda_C$

также легко оцениваются по опытным данным. В качестве параметров оптимизации СМО были приняты количества каналов обслуживания N_A , N_B , N_C (количество диспетчеров и специалистов) для каждой из систем А, В, С.

Критерий оптимизации имеет смысл материальных потерь при функционировании отдела и состоит из трех составляющих:

$$J = J_1 + J_2 + J_3 \quad (1)$$

$J_1 = c_{11}n_1 + c_{12}n_2 + c_{13}n_3$ - потери из-за простоев обслуживающих систем; n_1 , n_2 , n_3 - среднее количество свободных каналов обслуживания для систем А, В, С соответственно.

$J_2 = c_{21}w_1 + c_{22}w_2 + c_{23}w_3$ - потери из-за отказов в обслуживании заявок; w_1 , w_2 , w_3 - количество заявок получивших отказ для систем А, В, С соответственно.

$J_3 = c_{31}T_1 + c_{32}T_2 + c_{33}T_3$ - потери из-за низкой эффективности обслуживания заявок; T_1 , T_2 , T_3 - среднее время пребывания заявок в системе для А, В, С соответственно.

$i, j = \overline{1,3}$ Весовые коэффициенты C_{ij} определяются методом экспертных оценок.

Задача оптимизации состоит в определении такого количества каналов обслуживания N_A , N_B , N_C , чтобы значение критерия (1) приняло минимальное значение, т.е.

$$J \rightarrow \min_{N_A, N_B, N_C} \quad (2)$$

Методика решения задачи. Поставленную оптимизационную задачу (2) следует решать методом имитационного моделирования, поскольку известные в теории массового обслуживания аналитические подходы основаны на допущении об отсутствии последствия в потоках событий. Для условий данной задачи потоки заявок в системах В и С этим свойством не обладают.

Δt При решении задачи (2) использован метод имитационного моделирования.

Время вычислительного эксперимента определялось для заданной доверительной вероятности γ и точности δ при оценке основных показателей эффективности работы СМО, входящих в критерий (1).

Расчеты были выполнены для условий работы отдела технической поддержки клиентов через Интернет одного из крупнейших банков Украины. Для значений надежности $\gamma = 0,95$ и точности $\delta = 5\%$ время вычислительного эксперимента составило $T = 10000$ мин. Оптимизация по параметрам N_A , N_B , N_C выполнялась методом спуска по координатам. На рис.2 представлены результаты заключительных итераций. В результате решения задачи для $\lambda = 0,51$ мин⁻¹ получены оптимальные значения критерия $J_{\min} = 16168$ грн при $N_A=2$, $N_B = 6$, $N_C = 6$.

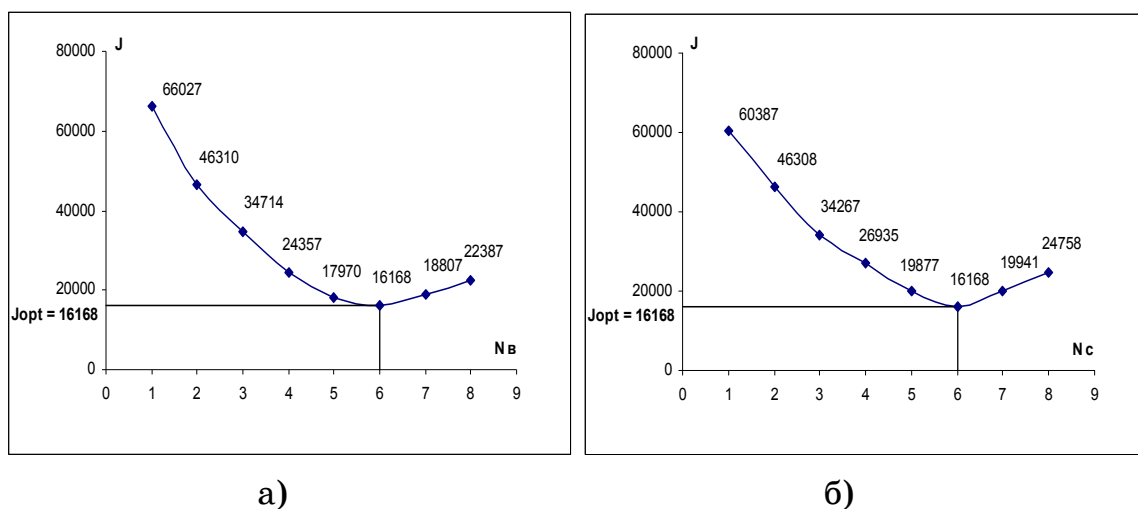


Рисунок 2 - Заключительные этапы решения задачи оптимизации по параметрам N_B (а) и N_C (б) для $\lambda = 0,51$ мин⁻¹ и $N_A=2$

Поскольку в реальных условиях поток λ нестационарный и зависит от времени суток, то его интенсивность представлена в виде кусочно-постоянной периодической функции с различными интенсивностями. Результаты решения задачи для нестационарного исходного потока приведены в таблице 1.

Таблица 1

Период суток (№ смены)	Интенсивность λ , мин ⁻¹	Оптимальные значения параметров			Оптимальное значение критерия
		N_A	N_B	N_C	
1	0,16	1	2	2	7709
2	0,21	1	3	3	9921
3	0,38	1	4	5	14791
4	0,51	2	6	6	16168

Из таблицы видно, что в первую смену с 00.00 до 06.00 часов интенсивность исходного потока $\lambda = 0,16$ мин⁻¹ и оптимальное количество специалистов трех видов $N_A=1$, $N_B = 2$, $N_C = 2$ и т. д.

Выводы. Предложенный подход, основанный на имитационном моделировании и проведении вычислительного эксперимента, позволяет оптимизировать процесс функционирования подразделений банка, представляемых как СМО. При таком универсальном подходе решение может быть получено для производственных структур системы и потоков событий, не удовлетворяющих условиям стационарности и отсутствия последствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. Уч. пособие для ВУЗов – Л. Энергоиздат. 1982г., 365с.
2. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций, 6-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс»: 2001. – 912с

Одержано 01.12.2008р.

КАЛЕНДАРНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МОНОТОННОЙ СИСТЕМЫ

Введение. В процессе функционирования сложной технической системы ухудшаются характеристики её элементов. Одним из методов улучшения стационарных показателей качества функционирования является предупредительное техническое обслуживание (ТО) элементов. В [1] исследована стратегия ТО простой системы, известная под названием «восстановление блоками». Суть этой стратегии заключается в следующем. В случае отказа элемент подвергается аварийному восстановлению (АВ). Независимо от возраста элемента, в фиксированные моменты времени $\tau, 2\tau, \dots$, планомерно проводится его ТО. В [1] исследована интенсивность эксплуатационных затрат при данной стратегии ТО без учета времени на АВ элемента. В данной работе указанная стратегия ТО переносится на сложные системы с монотонной структурой [1]. В общих предположениях относительно времен безотказной работы и восстановления элементов системы определяются стационарные и экономические показатели качества функционирования такой системы при указанной стратегии ТО ее элементов и устанавливаются оптимальные периодичности проведения ТО с целью достижения наилучших значений этих стационарных характеристик.

Постановка задачи и построение математической модели. Рассмотрим N -компонентную систему с монотонной структурой [1]. К таким системам относятся, например, последовательные, дублированные, мостиковые системы, системы « P из N », системы с раздельно-общим резервированием.

Время безотказной работы i -го элемента системы - случайная величина (СВ) α_i с функцией распределения (ФР) $F_i(t) = P(\alpha_i \leq t)$, $i = \overline{1, N}$. Индикация отказа элемента осуществляется мгновенно и начинается его (АВ), которое длится случайное время β_i с ФР

$G_i(t) = P(\beta_i \leq t)$, $i = \overline{1, N}$. Через заданный интервал времени τ_i после обновления i -го элемента системы, независимо от его состояния, проводится ТО этого элемента, длительность которого – СВ β_i^p с ФР $G_i^p(t) = P(\beta_i^p \leq t)$. Предполагается, что все СВ независимы, имеют абсолютно непрерывные ФР и конечные математические ожидания $M\alpha_i, M\beta_i, M\beta_i^p$. Очереди на восстановление не возникает. Как после ТО, так и после АВ, все надежность характеристики элементов полностью обновляются. Отключение и включение элементов в систему происходит мгновенно. Доход за единицу времени исправного функционирования, плата за единицу времени аварийного восстановления и плата за единицу времени ТО i -го элемента системы соответственно равны c_i^0 , c_i и c_i^p , $i = \overline{1, N}$.

Система находится в работоспособном состоянии тогда и только тогда, когда, по крайней мере, одна из последовательных структур минимального пути [1] работоспособна. Система считается в отказе, если, по крайней мере, одна из параллельных структур минимального сечения [1] находится в нерабочем состоянии (по причине ТО или АВ ее элементов). Предполагается, что в результате АВ или ТО какого-либо элемента не происходит отключение тех работоспособных элементов, функционально связанных с отказавшим, которые не принадлежат более ни одному работоспособному пути.

Требуется определить следующие показатели качества функционирования системы: стационарный коэффициент технического использования $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$, среднюю удельную прибыль $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящуюся на единицу календарного времени и средние удельные затраты $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящиеся на единицу времени исправного функционирования системы. Определить промежутки времени τ_i между окончанием предыдущих и началом последующих ТО элементов, для которых указанные показатели качества функционирования системы имели бы оптимальные значения.

Функционирование системы опишем полумарковским процессом $\xi(t)$ с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний [2,3]

$$E = \left\{ i \overline{d} \overline{x}^{(i)} \overline{u}, \quad i = \overline{1, N} \right\},$$

где компоненты вектора $\overline{d} = (d_1, \dots, d_N)$ указывают на «физические» состояния элементов: $d_k = 1$ - k -й элемент находится в работоспособном состоянии, $d_k = 0$ - в состоянии АВ, $d_k = 2$ - в состоянии ТО; i - номер элемента, изменившего свое «физическое» состояние последним. Компоненты вектора $\overline{x}^{(i)}$ фиксируют время с момента последнего изменения состояния i -го элемента до ближайших моментов изменения состояний соответственно остальных элементов ($x_i = 0$), причем, если $d_k = 1$, то x_k - время до ближайшего аварийного отказа k -го элемента. Компоненты вектора $\overline{u} = (u_1, \dots, u_N)$ - времена, прошедшие с моментов окончания последних ТО элементов. Если $d_k = 2$, то считается, что $u_k = \tau_k$. В момент восстановления работоспособности i -го элемента после его ТО считается, что $u_i = 0$.

Времена пребывания системы в состояниях определяются формулами

$$\theta_{i \overline{d} \overline{x}^{(i)} \overline{u}} = \gamma_i^{(d_i)} \wedge \bigwedge_{k \neq i} x_k \bigwedge_{k \notin \Omega_d^2} (\tau_k - u_k),$$

где $\wedge$ - знак минимума, Ω_d^2 - совокупность номеров компонент

$$\text{вектора } \overline{d}, \text{ равных } 2, \quad \gamma_i^{(d_i)} = \begin{cases} \alpha_i, & d_i = 1, \\ \beta_i, & d_i = 0, \\ \beta_i^p, & d_i = 2. \end{cases}$$

Опишем вероятности (плотности вероятностей) переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n, n \geq 0\}$. Заметим, что i -й элемент из физического состояния 1 может перейти в состояние 0 (АВ) и в состояние 2 (ТО), из состояния 0 в состояние 1 или 2, а из состояния 2 - только в состояние 1.

Обозначим $z_i = \bigwedge_{k \neq i} x_k \wedge \bigwedge_{k \notin \Omega_d^2} (\tau_k - u_k)$. Из состояния $i \overline{d} \overline{x}^{(i)} \overline{u}$, $i = \overline{1, N}$, переходы бывают следующих типов:

а) в совокупность состояний $i \overline{d}' \overline{x}^{(i)} \overline{u}'$, $d'_i \neq 2$, с плотностью вероятности перехода $p_{i \overline{d} \overline{x}^{(i)} \overline{u}}^{i \overline{d}' \overline{x}^{(i)} \overline{u}'} = \psi_i^{(d_i)}(z_i - y)$, где $y < z_i$, $\psi_i^{(d_i)}(\cdot)$ - плотность распределения вероятностей СВ $\gamma_i^{(d_i)}$, $d'_k = d_k$, $x'_k = x_k - (z_i - y)$, $k \neq i$,

$$u_k' = \begin{cases} u_k + z_i - y, & k \notin \Omega_d^2, \\ \tau_k, & k \in \Omega_d^2, \end{cases} \quad k \neq i, \quad u_i' = \begin{cases} u_i + z_i - y, & i \notin \Omega_d^2, \\ 0, & i \in \Omega_d^2, \end{cases}$$

б) в совокупность состояний $\overline{id' x^{(i)} u'}$, $d_i = 1$ или $d_i = 0$, $d'_i = 2$, с вероятностью перехода $P_{\overline{id' x^{(i)} u'}}^{\overline{id' x^{(i)} u'}} = \overline{\Psi}_i^{(d_i)}(\tau_i - u_i)$, где

$$d_k' = d_k, x_k' = x_k - (\tau_i - u_i), k \neq i, \Psi_i^{(d_i)}(\cdot) - \text{ФР СВ } \gamma_i^{(d_i)},$$

$$u_k' = \begin{cases} u_k + \tau_i - u_i, & k \notin \Omega_d^2, \\ \tau_k, & k \in \Omega_d^2, \end{cases}$$

в) в совокупность состояний $\overline{j d' x^{(j)} u'}$, $j \neq i$, с плотностью вероятности перехода $p_{\overline{id' x^{(i)} u'}}^{\overline{j d' x^{(j)} u'}} = \psi_i^{(d_i)}(z_i + y)$, где

$$y > 0, d_k' = d_k, k \neq j, x_i' = y, x_k' = x_k - z_i, k \neq i, j,$$

$$u_j' = \begin{cases} u_j + z_i, & j \notin \Omega_d^2, d_j' \neq 2, \\ \tau_j, & j \notin \Omega_d^2, d_j' = 2, \\ 0, & j \in \Omega_d^2, \end{cases} \quad u_k' = \begin{cases} u_k + z_i, & k \notin \Omega_d^2, \\ \tau_k, & k \in \Omega_d^2, \end{cases} \quad k \neq j.$$

Предположим, что для ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ выполняются условия существования и единственности стационарного распределения $\rho(\cdot)$, тогда оно определяется формулами

$$\rho(\overline{id' x^{(i)} u}) = \begin{cases} \rho h_i^{(0)}(u_i) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \neq i}} v_k^{(0)}(u_k, x_k) \prod_{k \in \Omega_d^1} v_k^{(1)}(u_k, x_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} \overline{G}_k^p(x_k), & i \in \Omega_d^0, \\ \rho h_i^{(1)}(u_i) \prod_{k \in \Omega_d^0} v_k^{(0)}(u_k, x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} v_k^{(1)}(u_k, x_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} \overline{G}_k^p(x_k), & i \in \Omega_d^1, u_i \neq 0, \\ \rho \prod_{k \in \Omega_d^0} v_k^{(0)}(u_k, x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} v_k^{(1)}(u_k, x_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} \overline{G}_k^p(x_k), & i \in \Omega_d^1, u_i = 0, \\ \rho \prod_{k \in \Omega_d^0} v_k^{(0)}(u_k, x_k) \prod_{k \in \Omega_d^1} v_k^{(1)}(u_k, x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \neq i}} \overline{G}_k^p(x_k), & i \in \Omega_d^1, i = \overline{1, N}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho = \left[\sum_{i=1}^N (2 + H_i^{(0)}(\tau_i) + H_i^{(1)}(\tau_i)) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N (\tau_k + M \beta_k^p) \right]^{-1}.$$

$$\text{Здесь } v_k^{(1)}(u_k, x_k) = f(u_k + x_k) + \int_0^{u_k} f(u_k + x_k - s) h_k^{(1)}(s) ds,$$

$$v_k^{(0)}(u_k, x_k) = \int_0^{u_k} g(u_k + x_k - s) h_k^{(0)}(s) ds - \text{соответственно плотности}$$

остаточной наработки и остаточного времени восстановления;

$v_k^{(1)}(0,0)=1$; $H_k^{(1)}(\tau_k)$, $H_k^{(0)}(\tau_k)$ – соответственно среднее число 1-восстановлений и 0-восстановлений альтернирующего процесса восстановления, Ω_d^0 , Ω_d^1 – совокупность номеров компонент вектора $\bar{d}$, равных соответственно 0 и 1.

Доказательство этого утверждения проводится аналогично подобному утверждению в [4].

Перейдем к нахождению стационарных характеристик системы. Разобьем фазовое пространство E состояний системы на два непересекающихся подмножества E_+ и E_- ; E_+ – подмножество работоспособных состояний, E_- – подмножество отказовых состояний:

$$E_+ = \left\{ i \overline{dx^{(i)}} u, \bar{d} \in D_+, i = \overline{1, N} \right\}, E_- = \left\{ i \overline{dx^{(i)}} u, \bar{d} \in D_-, i = \overline{1, N} \right\}.$$

Здесь $D_+(D_-)$ – множество векторов $\bar{d}$, компоненты которых равны кодам «физических» состояний элементов системы, находящейся в подмножестве работоспособных (отказовых) состояний $E_+(E_-)$.

Среднюю стационарную наработку на отказ T_+ , среднее стационарное время восстановления T_- и стационарный коэффициент технического использования (КТИ) K_u системы найдем по формулам [2,3].

$$T_+ = \frac{\int_{E_+} m(z) \rho(dz)}{\int_{E_+} \rho(dz) P(z, E_-)}, \quad T_- = \frac{\int_{E_-} m(z) \rho(dz)}{\int_{E_-} \rho(dz) P(z, E_+)}, \quad K_u = \frac{T_+}{T_+ + T_-}, \quad (2)$$

где $\rho(\cdot)$ – стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$, $m(z)$ – средние времена пребывания в состояниях системы, $P(z, E_+)$ ($P(z, E_-)$) – вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ из отказовых (работоспособных) состояний в работоспособные (отказовые).

С учетом вида стационарного распределения ВЦМ (1) формулы (2) преобразуются к виду

$$T_+ = \frac{\sum_{d \in D_+} \prod_{k \in \Omega_d^1} \left(\tau_k - \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \right) \prod_{k \in \Omega_d^0} \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \prod_{k \in \Omega_d^2} M \beta_k^p}{\sum_{d \in D_+} \sum_{j \in G(d)} (1 + H_j^{(1)}(\tau_j)) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq j}} \left(\tau_k - \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \right) \prod_{k \in \Omega_d^0} \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \prod_{k \in \Omega_d^2} M \beta_k^p},$$

$$\begin{aligned}
T_- = & \left[\sum_{d \in D_-} \prod_{k \in \Omega_d^1} \left(\tau_k - \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \right) \prod_{k \in \Omega_d^0} \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \prod_{k \in \Omega_d^2} M \beta_k^p \right] / \\
& / \left\{ \sum_{d \in D'_+} \left[\sum_{j \in I_0(d)} H_j^{(1)}(\tau_j) \prod_{k \in \Omega_d^1} \left(\tau_k - \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \right) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \neq j}} \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \prod_{k \in \Omega_d^2} M \beta_k^p + \right. \right. \\
& \left. \left. + \sum_{j \in I_2(d)} \prod_{k \in \Omega_d^1} \left(\tau_k - \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \right) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \neq j}} \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \prod_{k \in \Omega_d^2} M \beta_k^p \right] \right\} \\
K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = & \frac{\sum_{d \in D_+} \prod_{k \in \Omega_d^1} \left(\tau_k - \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \right) \prod_{k \in \Omega_d^0} \int_0^{\tau_k} (H_k^{(0)}(t) - H_k^{(1)}(t)) dt \prod_{k \in \Omega_d^2} M \beta_k^p}{\prod_{k=1}^N (\tau_k + M \beta_k^p)}.
\end{aligned}
\tag{3}$$

Здесь D'_+ – множество пограничных работоспособных «физических» состояний системы, т.е. множество векторов $\bar{d} \in D_+$, таких, что изменение некоторой одной компоненты с 1 на 0 или 2 переводит вектор $\bar{d}$ во множество D_- ; $G(d)$ – множество номеров компонент вектора $\bar{d} \in D'_+$, изменение значения каждой из которых с 1 на 0 или 2 переводит вектор $\bar{d}$ во множество D_- . D'_- – множество пограничных отказовых состояний системы, т.е. множество векторов $\bar{d} \in D_-$, таких, что изменение некоторой одной компоненты с 0 или 2 на 1 переводит вектор $\bar{d}$ во множество D_+ ; $I_0(d)(I_2(d))$ – множество номеров компонент вектора $\bar{d} \in D'_-$, изменение значения каждой из которых с 0 (2) на 1 переводит вектор $\bar{d}$ во множество D_+ .

Выразим стационарные характеристики T_+ , T_- , $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$ системы через КТИ $K_i(\tau_i)$ элементов, которые определяются формулами [1]:

$$K_i(\tau_i) = \frac{\tau_i - \int_0^{\tau_i} (H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t)) dt}{\tau_i + M \beta_i^p}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Обозначим через $M_1, \dots, M_{\omega'}$ – все различные множества элементов путей системы [1]. Обратим внимание, что по определению, элементы, не принадлежащие множеству элементов пути, находятся в нерабочем состоянии, т.е. в состояниях 0 или 2. M'_i , $i = \overline{1, \omega'}$ –

множества элементов пограничных путей; $G(M'_i)$, $i = \overline{1, \omega'}$ - множество элементов пограничного пути M'_i , соответствующих номерам тех элементов, переход которых из работоспособного состояния в отказовое, приводит к отказу всей системы. Φ_i , $i = \overline{1, s}$ - множества элементов сечений; Φ'_i , $i = \overline{1, s'}$ - множества элементов пограничных сечений; $I(\Phi'_i)$, $i = \overline{1, s'}$ - множество элементов пограничного сечения Φ'_i , соответствующих номерам тех элементов, переход которых из отказового состояния в работоспособное, приводит к восстановлению работоспособности всей системы.

Формула (3) с помощью преобразования сумм произведений средних после несложных преобразований приводится к виду

$$T_+ = \frac{\sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{n \notin M_i}^N (1 - K_n(\tau_n))}{\sum_{i=1}^{\omega'} \sum_{j \in G(M'_i)} \frac{(1 + H_j^{(1)}(\tau_j)) \prod_{n \in M'_i} K_n(\tau_n) \prod_{n \notin M'_i}^N (1 - K_n(\tau_n))}{\tau_j - \int_0^{\tau_j} (H_j^{(0)}(t) - H_j^{(1)}(t)) dt}},$$

$$T_- = \frac{\sum_{i=1}^s \prod_{n \notin \Phi_i} K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi_i}^N (1 - K_n(\tau_n))}{\sum_{i=1}^{s'} \sum_{j \in I(\Phi'_i)} \frac{(1 + H_j^{(0)}(\tau_j)) \prod_{n \notin \Phi'_i} K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi'_i}^N (1 - K_n(\tau_n))}{\int_0^{\tau_j} (H_j^{(0)}(t) - H_j^{(1)}(t)) dt + M \beta_j^p}},$$

$$K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = \sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{n \notin M_i}^N (1 - K_n(\tau_n)) = \varphi(K_1(\tau_1), \dots, K_N(\tau_N)) \quad (4)$$

Здесь структурная функция системы $\varphi(z_1, \dots, z_n)$ задана в дизъюнктивной нормальной форме, однако ее можно представить многими эквивалентными способами, например, в линейной форме [1,5].

Для определения среднего удельного дохода $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящегося на единицу календарного времени и средних удельных затрат $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящихся на единицу времени исправного функционирования системы, используем формулы [6]

$$S = \frac{\int_E m(z) f_s(z) \rho(dz)}{\int_E m(z) \rho(dz)}, \quad C = \frac{\int_{E_+} m(z) f_c(z) \rho(dz)}{\int_{E_+} m(z) \rho(dz)}, \quad (5)$$

где $f_s(z)$, $f_c(z)$ функции, определяющие соответственно доход и затраты в каждом состоянии.

Функции $f_s(z)$ и $f_c(z)$ с учетом обозначений, введенных в постановочной части статьи, имеют вид:

$$f_s(z) = \begin{cases} -\sum_{k \in \Omega_d^0} c_k - \sum_{k \in \Omega_d^2} c_k^p, & z \in \left\{ i \overline{dx}^{(i)} \overline{u} \right\}, i = \overline{1, N}, \text{ если } \Omega_d^1 = \emptyset, \\ \sum_{k \in \Omega_d^1} c_k^0 - \sum_{k \in \Omega_d^0} c_k - \sum_{k \in \Omega_d^2} c_k^p, & z \in \left\{ i \overline{dx}^{(i)} \overline{u} \right\}, i = \overline{1, N}, \text{ если } \Omega_d^1 \neq \emptyset, \end{cases}$$

$$f_c(z) = \begin{cases} \sum_{k \in \Omega_d^0} c_k + \sum_{k \in \Omega_d^2} c_k^p, & z \in \left\{ i \overline{dx}^{(i)} \overline{u} \right\}, i = \overline{1, N}, \text{ если } \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2 \neq \emptyset, \\ 0, & z \in \left\{ i \overline{dx}^{(i)} \overline{u} \right\}, i = \overline{1, N}, \text{ если } \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2 = \emptyset. \end{cases}$$

После преобразований формулы (5) приводятся к виду

$$S(\tau_1, \dots, \tau_N) = \sum_{i=1}^N S_i(\tau_i), \quad (6)$$

$$C(\tau_1, \dots, \tau_N) = \sum_{i=1}^N \frac{C_i(\tau_i) K_i(\tau_i)}{K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)}, \quad (7)$$

где $S_i(\tau_i) = \frac{c_i^0 \tau_i - (c_i^0 + c_i) \int_0^{\tau_i} (H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t)) dt - c_i^p M \beta_i^p}{\tau_i + M \beta_i^p}$ - средний удельный

доход i -го элемента, приходящийся на единицу календарного

времени, а $C_i(\tau_i) = \frac{c_i^p M \beta_i^p + c_i \int_0^{\tau_i} (H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t)) dt}{\tau_i - \int_0^{\tau_i} (H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t)) dt}$ - средние удельные

затраты, приходящиеся на единицу времени исправного функционирования i -го элемента.

Оптимизация сроков проведения то элементов. Задача определения оптимальных показателей качества функционирования системы сводится к отысканию абсолютных экстремумов функций (4), (6) и (7). Заметим, что для достижения максимальных значений КТИ $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$ и среднего удельного дохода $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$ системы необходимо и достаточно оптимизировать величину наработки каждого элемента системы для проведения его ТО, что нельзя

утверждать относительно минимальных средних удельных затрат $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$ системы.

Приравнявая нулю частные производные функций $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$, $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$ и $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$, получаем соответственно системы уравнений (8) – (10) для определения оптимальных значений наработок τ_i^k , τ_i^s , τ_i^c , $i = \overline{1, N}$.

$$(M\beta_i^p + \tau_i) \left(H_i^{(0)}(\tau_i) - H_i^{(1)}(\tau_i) \right) - \int_0^{\tau_i} \left(H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t) \right) dt = M\beta_i^p, \quad i = \overline{1, N}, \quad (8)$$

$$(M\beta_i^p + \tau_i) \left(H_i^{(0)}(\tau_i) - H_i^{(1)}(\tau_i) \right) - \int_0^{\tau_i} \left(H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t) \right) dt = \frac{(c_i^p + c_i^0)M\beta_i^p}{(c_i + c_i^0)}, \quad i = \overline{1, N} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & c_i \left(M\beta_i^p + \tau_i \right) \left(H_i^{(0)}(\tau_i) - H_i^{(1)}(\tau_i) \right) - c_i \int_0^{\tau_i} \left(H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t) \right) dt - \frac{\partial}{\partial K_i} \ln \varphi(K_1(\tau_1), \dots, K_N(\tau_N)) \times \\ & \times \left[\sum_{j=1}^N C_j(\tau_j) K_j(\tau_j) \right] \cdot \left[M\beta_i^p - (M\beta_i^p + \tau_i) \left(H_i^{(0)}(\tau_i) - H_i^{(1)}(\tau_i) \right) + \int_0^{\tau_i} \left(H_i^{(0)}(t) - H_i^{(1)}(t) \right) dt \right] = \\ & = c_i^p M\beta_i^p, \quad i = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (10)$$

Достаточными условиями существования конечных решений систем уравнений (8)-(10) является выполнение соответственно неравенств

$$\begin{aligned} & \frac{M\alpha_i D\beta_i - M\beta_i D\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i} > M\alpha_i (2M\beta_i^p - M\beta_i), \quad i = \overline{1, N}, \\ & \frac{M\alpha_i D\beta_i - M\beta_i D\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i} > \frac{2(c_i^p + c_i^0)}{c_i + c_i^0} M\beta_i^p (M\alpha_i + M\beta) - M\beta_i (2M\beta_i^p + M\alpha_i), \quad i = \overline{1, N} \\ & c_i \left(M\alpha_i M\beta_i + \frac{M\alpha_i D\beta_i - M\beta_i D\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i} \right) - \frac{\partial}{\partial K_i} \ln \varphi \left(\frac{M\alpha_1}{M\alpha_1 + M\beta_1}, \dots, \frac{M\alpha_N}{M\alpha_N + M\beta_N} \right) \times \\ & \times \sum_{j=1}^N \frac{c_j M\beta_j}{M\alpha_j + M\beta_j} \left[M\alpha_i (2M\beta_i^p - M\beta_i) - \frac{M\alpha_i D\beta_i - M\beta_i D\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i} \right] > \\ & > 2M\beta_i^p (c_i^p M\alpha_i + (c_i^p - c_i) M\beta_i), \quad i = \overline{1, N}. \end{aligned}$$

В случае существования единственных решений систем уравнений оптимальные значения показателей качества функционирования системы определяются формулами

$$\begin{aligned} K_{u\max} &= \varphi(K_1(\tau_1^k), \dots, K_N(\tau_N^k)), \quad K_i(\tau_i^k) = 1 - H_i^{(0)}(\tau_i^k) + H_i^{(1)}(\tau_i^k), \quad S_{\max} = \sum_{i=1}^N S_i(\tau_i^s), \\ S_i(\tau_i^s) &= c_i^0 + (c_i^0 + c_i) \left(H_i^{(1)}(\tau_i^s) - H_i^{(1)}(\tau_i^s) \right), \end{aligned} \quad (11)$$

$$C_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i(\tau_i^c) K_i(\tau_i^c)}{K_u(\tau_1^c, \dots, \tau_N^c)}, \quad (12)$$

Если системы уравнений имеют несколько решений, то оптимальные значения показателей качества находятся подстановкой каждого из них в формулу для случая единственного решения с последующим выбором наилучшего из них. Отсутствие корней какого-либо j -го уравнения систем (8), (9) означает, что функция

$K_j(\tau_j)(S_j(\tau_j))$ является монотонной и ее экстремум достигается при $\tau_i \rightarrow \infty$. В этом случае в формулах (11) следует полагать $K_i(\infty) = \frac{M\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i}$, $S_i(\infty) = \frac{c_i^0 M\alpha_i - c_i M\beta_i}{M\alpha_i + M\beta_i}$.

Если система уравнений (10) не имеет решений, то следует исследовать на минимум всевозможные функции, которые получаются из (7) в результате замен $K_i(\infty) = \frac{M\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i}$, $C_i(\infty) = \frac{c_i M\beta_i}{M\alpha_i}$.

Достижение экстремума при $\tau_i \rightarrow \infty$ говорит о том, что проводить предупредительное ТО i -го элемента нецелесообразно, поскольку его проведение ухудшает показатель качества функционирования системы.

В заключение приведем пример применения полученных результатов. Рассмотрим систему из трех элементов (см. рисунок 1). Нарботка на отказ и времена аварийного восстановления элементов распределены по закону Эрланга третьего порядка соответственно с плотностями: $f_i(t) = \frac{\lambda_i^3 t^2 e^{-\lambda_i t}}{2}$, $i = \overline{1,3}$, $g_i(t) = \frac{\mu_i^3 t^2 e^{-\mu_i t}}{2}$, $i = \overline{1,3}$.

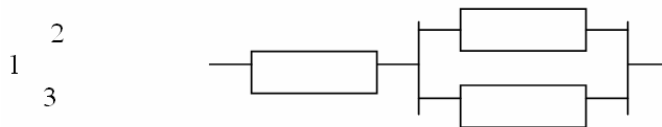


Рисунок 1 - Пример системы с монотонной структурой

Таблица 1

Исходные данные системы

№	λ_i	μ_i	$M\alpha_i, ч$	$M\beta_i, ч$	$M\beta_i^p, ч$	$c_i^0, у.е./ч$	$c_i, у.е./ч$	$c_i^p, у.е./ч$
1	0,05	1	60	3	0,5	5	1	0,2
2	0,1	0,3	30	10	3	7	3	2
3	0,08	0,3	37,5	10	2	9	3	1

Таблица 2

Результаты расчетов

№	$\tau_i^k, ч$	$K_u^{\max}$	K_u^{∞}	$\tau_i^s, ч$	$S^{\max}$	S^{∞}	$\tau_i^c, ч$	$C^{\max}$	C^{∞}
1	25,699	0,939	0,902	23,618	17,424	14,483	18,293	0,718	1,584
2	18,865			17,717			15,289		
3	29,017			17,420			12,432		

Здесь через $K_u^{\infty}, S^{\infty}, C^{\infty}$ обозначены показатели качества функционирования системы в случае не проведения ТО элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. Корольюк В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. – К.: Наук. думка, 1982. – 236 с.
3. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, М.И. Новиков, А.Ф. Турбин – Кишинев: Штиинца, 1991. – 209 с.
4. Песчанский А.И. Оптимизация технического обслуживания по наработке каждого элемента с последовательной структурой // Кибернетика и системный анализ.- 2006. – № 6. – С. 126-135.
5. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. –СПб.:БХВ-Петербург, 2006. - 704 с.
6. Шуренков В.М. Эргодические процессы Маркова. – М.: Наука, 1989. – 336 с.

Одержано 17.12.2008р.

Е.Н. Ватченко, А.И. Деревянко

ВОЗБУЖДЕНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ДИССИПАТИВНОЙ СИСТЕМЕ

Введение. Неослабевающий интерес к исследованию классических колебательных систем и их моделей связан с тем, что наблюдаемые движения реальных систем происходят в ограниченном пространстве и, поэтому, для больших интервалов наблюдения проявляют повторяемость.

Например, метод молекулярной динамики описывает протяженность связи между атомами в молекулярных образованиях уравнением гармонического осциллятора, так как, нанометровый масштаб и длительности в десятки и сотни фемтосекунд - это та область, где еще хорошо работают законы классической механики. Задачи, возникающие при управлении молекулярными системами, сходны с задачами управления нелинейными механическими системами. При этом выбор механической модели молекулы определяет результат решения задач управления и прогноза свойств таких систем. Особый интерес для исследований представляет влияние характеристик колебаний атомов на топологию молекулярных систем.

Постановка задачи. Целью работы является определение закономерностей изменений внутренней энергии колебательной системы при переходе к хаотическим колебаниям. Направление исследований связано с моделированием процессов диссоциации молекулярных систем методами нелинейной молекулярной динамики [1].

Основная часть. Множество реальных объектов различной физической природы имеют одинаковое математическое описание. Это дает возможность создавать для них одинаковые математические модели и рассматривать друг друга как физические модели.

Удобными для исследования являются, например, нелинейные электрические цепи. Нелинейным элементом RLC-цепи является

варианта, описываемый следующей нелинейной зависимостью между зарядом x и напряжением $V(x)$ [2]

$$V(x) = \left(1 + \frac{V(x)}{0.6}\right)^{0.43} \frac{x}{C_0} \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение, определяющее временную зависимость заряда, имеет вид

$$L\ddot{x} + Rx + V(x) = V_0 \sin(2\pi f_0 t) \quad (2)$$

Для значений V_0 , играющих роль внешнего управляющего параметра r , последовательность значений тока заряда (рис. 1b) представляет собой одномерное унимодальное отображение. При этом, спектр мощности демонстрирует сценарий Фейгенбаума перехода к хаотическим колебаниям.

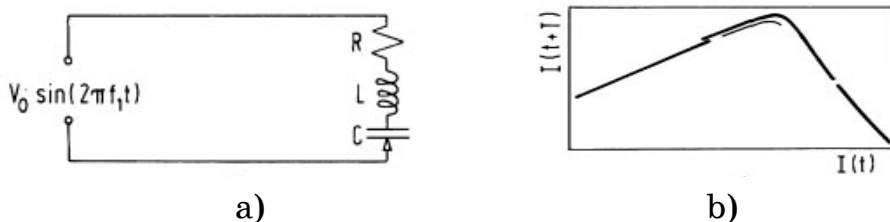


Рисунок 1 - а) нелинейная RLC-цепь, возбуждаемая генератором гармонических колебаний с частотой f_0 , - б) экспериментальное одномерное отображение дискретных (шаг $T=1/f_0$) значений тока в RLC-цепи

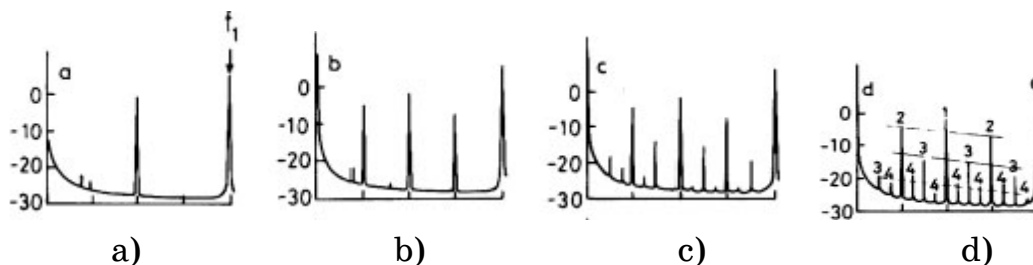


Рисунок 2 – Изменение спектра мощности при увеличении значения V_0 (рис. 1,а)

Для значений V_0 , играющих роль внешнего управляющего параметра r , последовательность значений тока заряда (рис. 1b) представляет собой одномерное унимодальное отображение. При этом, спектр мощности демонстрирует сценарий Фейгенбаума перехода к хаотическим колебаниям.

Таким образом, переход к хаотическим колебаниям - это процесс перехода к полигармоническим колебаниям. Отличительной особенностью такого перехода является возникновение на каждом этапе бифуркаций новых частот при сохранении диапазона $[0 - f_1]$ значений этих частот (рис. 2). Следовательно, переход к хаотическим колебаниям - это преобразование дискретного спектра Фурье в непрерывный, что приводит к увеличению «внутренней» энергии системы.

Полная энергия E колебаний изолированной детерминированной системы представляет собой сумму кинетической – T и потенциальной – P энергий. Из закона сохранения энергии следует

$$\max T = E - \min P \quad (3)$$

Кинетическая энергия тела массой m при $P(t) = 0$, совершающей гармонические колебания с частотой ω будет

$$T(t) = \frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

Тогда максимальное значение кинетической энергии, которой обладает колеблющееся с частотой ω тело массой m

$$\max T = \frac{mA^2\omega^2}{2} \quad (5)$$

Увеличение значения спектра мощности Фурье в точках суперустойчивости между двумя последовательными бифуркациями представляют последовательность [2]

$$E_1 = \frac{mA_1^2}{2} \omega_1^2 \quad (6)$$

$$E_2 = \frac{mA_2^2}{2} (\omega_{21}^2 + \omega_{22}^2) \quad (7)$$

$$E_3 = \frac{mA_3^2}{2} (\omega_{31}^2 + \omega_{32}^2 + \omega_{33}^2 + \omega_{34}^2) \quad (8)$$

$$E_k = \frac{mA_k^2}{2} \sum_{n=1}^{2^{k-1}} \omega_{kn}^2 \quad (9)$$

Таким образом, амплитуды гармоник спектра A_k имеют одинаковое значение для новых спектральных компонент, возникших в результате бифуркации удвоения периода.

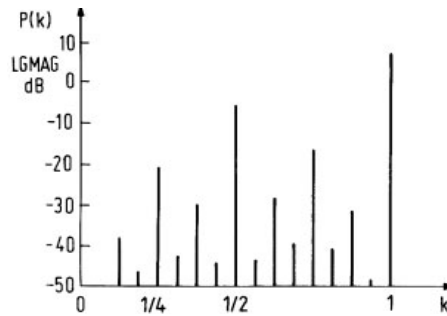


Рисунок 3 - Спектр мощности квадратичного

отображения $x_{n+1} = 1 - rx_n^2$ для $r = 1.401$

Амплитуды гармоник спектра мощности, полученные в результате бифуркации удвоения периода (рис. 3), образуют рекуррентную последовательность [3]

$$A_2^2 = \mu A_1^2 \quad (10)$$

$$A_3^2 = \mu A_2^2 = \mu^2 A_1^2 \quad (11)$$

$$A_k^2 = \mu A_{k-1}^2 = \mu^{k-1} A_1^2 \quad (12)$$

Тогда

$$E_k = \frac{mA_1^2}{2} \frac{\mu^{k-1}}{2^{2k}} \sum_{n=1}^{2^{k-1}} (2n-1)^2 \quad (13)$$

или учитывая значение суммы конечной последовательности квадратов нечетных целых чисел выражение (13) преобразуется к виду

$$E_k = \frac{mA_1^2 \omega_0^2}{3} \mu^{k-1} \frac{2^{2k} - 1}{2^{k+2}} \quad (14)$$

Процесс перехода к хаотическим колебаниям по сценарию Фейгенбаума реализуется как бесконечная последовательность бифуркаций удвоения периода. Следовательно, энергия «накачанная» в тело массой m будет

$$E = \sum_{k=1}^{\infty} E_k \quad (15)$$

Выражение (15) с учетом (14) представляет сумму двух бесконечных геометрических прогрессий со знаменателями

$$q_1 = 2\mu \quad \text{и} \quad q_2 = \mu/2 \quad (16)$$

Таким образом

$$E = \frac{mA_1^2 \omega_0^2}{2} \frac{1}{(1-2\mu)(2-\mu)}, \quad (17)$$

где ω_0 - частота возбуждаемая генератором гармонических колебаний (рис. 1), A_1 - амплитуда колебаний тела массой m после первой бифуркации (рис. 2а).

Значение E определяет энергию, запасенную телом массой m , в результате перехода к хаотическим колебаниям под действием внешнего гармонического воздействия $A \sin \omega_0 t$ и не учитывает диссипацию [4]. Относительное увеличение внутренней энергии при возбуждении хаотических колебаний определяется как

$$\eta = \frac{E}{E_1} = \frac{4}{(1-2\mu)(2-\mu)} = 2.2484. \quad (18)$$

Выводы. Переход к хаотическим колебаниям по сценарию удвоения периода вызывает накопления внутренней энергии (эффект «накачки» от внешнего источника) не столько за счет увеличения амплитуды, сколько за счет преобразования дискретного спектра в непрерывный. При этом диапазон частот значений спектра мощности остается неизменным, ограниченным значением частоты возбуждающих колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянко А.И., Ватченко Е.Н., Лысяя Н.В. Управление хаотическим режимом унимодальных отображений. //Системные технологии, № 2(55), 2008.С. 165-168.
2. Шустер Г. Детерминированный хаос.- М. Мир, 1988-240 с.
3. Кузнецов С.П. Динамический хаос.- М. Физ-мат. литература, 2001.- 296 с.
4. Ватченко Е.Н. Моделирование эволюции маятника, управляемого внешним моментом //Системные технологии, № 2(49), 2007.С. 177-180.

Получено 26.10.2008г.

УДК 004.4'22

С.М. Гриша, О.А. Іотко, Є.О. Роздольский

**ЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ ЗАДАЧ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ
ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ СИСТЕМ КЛАСУ ERP/MRP
ТА ЗАДАЧ БУЛЬОВОГО ПРОГРАМУВАННЯ З ОБМЕЖЕННЯМИ
ОСОБЛИВОГО ВИГЛЯДУ**

Вступ

Задача бульового програмування має велике практичне значення та широку область застосування. У загальному вигляді задача бульового програмування є NP-повною [1]. Ефективні алгоритми розв'язання таких задач без обмежень на нерівності та цільову функцію, наприклад, адитивний алгоритм, за прийнятний час дозволяють розв'язувати задачі розмірності у десятки змінних.

Проте у випадку, якщо обмеження та цільова функції мають певний характер, то можливо запропонувати такий алгоритм розв'язання який буде ефективно працювати на вхідних даних значно більшої розмірності.

У статті наводиться математична модель задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації систем класу ERP/MRP з відношенням заміщення на ациклічному орграфі. Для моделей з безальтернативним забезпеченням [2,3] та з альтернативним забезпеченням наводяться постановки у вигляді задач бульового програмування з обмеженнями особливого вигляду.

Як показано в [2,3] алгоритм розв'язання задачі без альтернатив працює за поліноміальний час, а отже і еквівалентна їй задача бульового програмування розв'язується за поліноміальний час.

Для задачі з заміщеннями на двошаровому орграфі алгоритм розв'язання у вигляді комбінованого методу «генетичний алгоритм-редукція» є наближенням [4] і, як показано обчислювальним експериментом, працює ефективно на розмінностях 10^3 елементів [5].

Постановка задачі у моделі з відношенням заміщення

Розширимо модель з безальтернативним забезпеченням наступним чином.

Визначення 1. Відношенням заміщення називається бінарне відношення η на множині $\wp(\Omega)$ (множині всіх підмножин Ω) і позначається як $A \mapsto B$ (читається « A заміщує B »), де $A, B \subseteq \Omega$, для якого виконується:

1. $\forall B_j \subseteq B : A \mapsto B \Rightarrow A \mapsto B_j$ - множина A , що заміщує множину B , заміщує і всі її підмножини;
2. $A \mapsto B_1, A \mapsto B_2 \Rightarrow A \mapsto B_1 \cup B_2$ - множина A , що заміщує множини B_1 та B_2 в окремості, заміщує і їх об'єднання;
3. $A \subseteq C, A \mapsto B \Rightarrow C \mapsto B$ - множина C , що включає в себе множину A , яка заміщує множину B також заміщує множину B ;
4. $A \mapsto B, B \mapsto C \Rightarrow A \mapsto C$ - транзитивність;
5. $A \mapsto A$ - рефлексивність;
6. $\forall A \neq \emptyset \neg \emptyset \mapsto A$ - пуста множина не може заміщати непусту множину;
7. $A \mapsto B, (B \cup C) \mapsto D \Rightarrow (A \cup C) \mapsto D$ - заміщення заміщення.

Введемо наступні позначення:

$A^{<\#} = \{b \mid b \in \Omega, A \mapsto b\}$ - множина всіх елементів, що заміщуються множиною A ;

$A^\# = A^{<\#} / A$ - множина всіх елементів, що заміщуються A за виключенням елементів з A .

Надалі будуть корисними деякі властивості відношення заміщення.

Твердження 1.

- (а) $B \subseteq \Omega : A \mapsto B \Rightarrow B \subseteq A^{<\#}$
- (б) $B \subseteq \Omega, B \cap A = \emptyset : A \mapsto B \Rightarrow B \subseteq A^\#$
- (в) $A \subseteq A^{<\#}$
- (г) $A \mapsto X, B \mapsto Y \Rightarrow (A \cup B) \mapsto (X \cup Y)$
- (д) $A^{\#\#} = \emptyset$

Доведення:

- (а) $A \mapsto B \Rightarrow \forall b \in B, A \mapsto b \Rightarrow \forall b \in B, b \in A^{<\#} \Rightarrow B \subseteq A^{<\#}$;
- (б) $B \subseteq \Omega, A \mapsto B = \emptyset \Rightarrow B \subseteq A^{<\#}$;
 $B \subseteq A^{<\#}, A^\# = A^{<\#} / A, B \cap A \Rightarrow B \subseteq A^\#$

$$(в) A \mapsto A \Rightarrow A \subseteq A^{<\#};$$

$$A \mapsto X \Rightarrow A \cup B \mapsto X;$$

$$(г) B \mapsto Y \Rightarrow A \cup B \mapsto Y;$$

$$(A \cup B \mapsto X) \wedge (A \cup B \mapsto Y) \Rightarrow A \cup B \mapsto (X \cup Y)$$

$$A \mapsto A^{\#}, A^{\#} \mapsto A^{\#\#} \Rightarrow A \mapsto A^{\#\#};$$

$$(д) A^{\#\#} = (A^{\#})^{<\#} / A^{\#} \Rightarrow A^{\#} \cap A^{\#\#} = \emptyset;$$

$$A \mapsto A^{\#\#}, A^{\#} \cap A^{\#\#} \Rightarrow A^{\#\#} = \emptyset;$$

Визначення 2. Трійку $\langle \Omega, \gamma, \eta \rangle$ будемо називати **конструктивним різноманіттям (КР)** систем у моделі з відношення заміщення. Причому для відношення заміщення та відношення забезпечення повинна виконуватися аксіома узгодженості КР:

$$A \mapsto B \Rightarrow {}^o B \subseteq {}^o A \quad (A1)$$

Визначення 3. Узгодженою системою у моделі з відношення заміщення називається деяка множина $J \subseteq \Omega$, для якої виконуються аксіоми узгодженості:

$$J^{<o} \subseteq J^{<\#} \quad (A2)$$

$$\forall j \in J: {}^*j \cap J \neq \emptyset \vee \exists A \subseteq J, j \in A, {}^*(A^{\#}) \cap J \neq \emptyset \quad (A3)$$

або, що, з врахуванням властивостей заміщення, теж саме:

$$\forall j \in J: \exists A \subseteq J, j \in A, {}^*(A^{<\#}) \cap J \neq \emptyset \quad (A4)$$

A2 заперечує відсутність хоча б одного елемента, що забезпечує, тобто присутні всі необхідні елементи з врахуванням відношення заміщення;

A3 заперечує відсутність елемента з ${}^*\Omega$ хоча б для одного елемента забезпечення, тобто в системі відсутні зайві елементи.

Той факт, що J є узгодженою системою в КР $\langle \Omega, \gamma, \eta \rangle$ будемо також позначати $A_{2,3}(J, K)$ якщо в контексті мова йде про різне КР. В інших випадках позначення буде мати вигляд $A_{2,3}(J)$

Визначення 4. Ефективною системою будемо називати таку узгоджену систему S , вартісна оцінка якої позитивна ($E(S) > 0$)

Визначення 5. Оптимальною системою назовемо таку узгоджену систему, для якої виконуються наступні аксіоми:

$$I \succ J \Leftrightarrow E(I) \geq E(J) \quad (A5)$$

$$I \in \Omega^{opt} \Leftrightarrow (\forall J \in \{J \subseteq \Omega: A_{1,2}(J)\})(I \succ J) \quad (A6)$$

Тут:

$E: \wp(\Omega) \rightarrow R$ – вартісна функція, що кожній підмножині множини Ω ставить у відповідність дійсне число і обчислюється за формулою $E(J) = \sum_{j \in J} w_j$ причому виконується $\forall j \in {}^*\Omega: w_j \geq 0$ та $\forall j \in \Omega^o: w_j \leq 0$.

Ω^{opt} – множина оптимальних систем, які можна побудувати в КР $K = \langle \Omega, \gamma \rangle$.

$I \succ J$ позначає той факт, що множина I не уступає по ефективності множині J . Легко помітити, що оптимальна система ефективна, але не навпаки. Таким чином, задача інформаційно-вартісного аналізу полягає в побудові Ω^{opt} для $\langle \Omega, \gamma \rangle$, або деякого $\Omega_1 \in \Omega^{opt}$.

Еквівалентність задач вибору оптимальної функціональної конфігурації та задач булевого програмування

Задача булева програмування у класичному вигляді [1] має наступний вигляд:

$$\sum_{i=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \leq b_i, i = \overline{1, m} \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, j = \overline{1, n} \quad (3)$$

Зведення до неї задачі з безальтернативним забезпеченням [2,3] виглядає наступним чином:

$$n = |\Omega|$$

c_j – вартість елемента $j \in \Omega$ з обмеженнями накладеними на цільову функцію у попередніх підрозілах.

x_j – ознака чи включається елемент $j \in \Omega$ до оптимального рішення задачі. Якщо $x_j = 1$ елемент $j \in \Omega$ – включається, якщо $x_j = 0$ – не включається.

Нерівності (2) виглядають наступним чином:

$$\forall (j_1, j_2) \in \gamma, x_{j_1} \leq x_{j_2} \quad (4)$$

тобто $m = |\gamma|$, або, що теж саме:

$$\forall j \in \Omega, |J^o| * x_j \leq \sum_{i \in J^o} x_i \quad (5)$$

тобто $m = |\Omega|$.

Як строго доведено у [2;3], задача з обмеженнями такого характеру може бути розв'язана за поліноміальний час.

Розглянемо зведення задачі з відношенням заміщення до задачі бульового програмування. Проведемо зведення наступним чином:

Позначимо $\Xi = \{(A, j) \mid A \subseteq \Omega, j \in \Omega, j \notin A, A \mapsto j, \neg \exists B \subset A: B \mapsto j\}$ - множина таких пар вигляду «множина-елемент що може бути заміщений цією множиною», при яких множина-замістник є мінімальною та не рівна самому елементу.

Кожній парі $(A, j) \in \Xi$ поставимо у відповідність змінну $x_{(A, j)}$ - ознака «спрацювання» заміщення елементу j множиною A у оптимальному рішенні. Якщо 1 - вважається, що заміщення «спрацювало», якщо 0 - «не спрацювало».

Кожній парі $(A, j) \in \Xi$ відповідає значення вартісної функції $c_{(A, j)} = 0$.

$$n = |\Omega| + |\Xi|$$

c_j - вартість елементу $j \in \Omega$ з обмеженнями накладеними на цільову функцію у попередніх главах.

x_j - ознака чи включається елемент $j \in \Omega$ до оптимального рішення задачі. Якщо $x_j = 1$ елемент $j \in \Omega$ - включається, якщо $x_j = 0$ - не включається.

Тоді нерівності (2) виглядають наступним чином:

$$\forall (A, j) \in \Xi, \forall a \in A: x_{(A, j)} \leq x_a \quad (6)$$

$$\forall i \in \Omega, j \in i^o: x_i \leq x_j + \sum_A x_{(A, j)} \quad (7)$$

Розглянемо зведення задачі з альтернативним забезпеченням до задачі булева програмування. Проведемо зведення наступним чином:

Позначимо $\Psi = \{(j, c) \mid (j, j_1, c) \in \gamma\}$ - множину всіх пар вигляду «вершина-варіант її забезпечення».

Кожній парі $(j, c) \in \Psi$ поставимо у відповідність змінну $x_{(j, c)}$ - ознака вибору до оптимального рішення варіанту реалізації c елементу j .

Кожній парі $(j, c) \in \Psi$ відповідає значення вартісної функції $c_{(j, c)} = 0$.

$$n = |\Omega| + |\Psi|$$

c_j - вартість елементу $j \in \Omega$ з обмеженнями накладеними на цільову функцію у попередніх главах.

x_j - ознака чи включається елемент $j \in \Omega$ до оптимального рішення задачі. Якщо $x_j = 1$ елемент $j \in \Omega$ - включається, якщо $x_j = 0$ - не включається.

Тоді нерівності (2) виглядають наступним чином:

$$\forall j, (j, c) \in \Psi : x_j \leq \sum_{c, (j, c) \in \Psi} x_{(j, c)} \quad (8)$$

$$\forall (j, j_1, c) \in \gamma : x_{(j, c)} \leq x_{j_1} \quad (9)$$

або, що теж саме:

$$\forall (j, c) \in \Psi : |j^{oc}| x_{(j, c)} \leq \sum x_{j^{oc}}. \quad (10)$$

Висновки

У статті наведено модель задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації систем класу ERP/MRP з відношенням заміщення на ациклічному оргграфі. Показано еквівалентність моделей без альтернатив, з альтернативним забезпеченням, відношенням заміщення та задач бульового програмування з обмеженнями та цільовою функцією особливого вигляду.

Отримані результати мають велике практичне значення оскільки дозволяють розв'язувати задачі бульового програмування з обмеженнями та цільовою функцією особливого вигляду значно більшої розмірності, ніж при застосуванні класичних алгоритмів. Так для адитивного алгоритму розмірність вхідних даних при яких алгоритм працює за прийнятний час складає до 10^2 в той час як для задачі бульового програмування еквівалентній задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації без альтернатив 10^4 з точним розв'язком, а для задачі бульового програмування еквівалентній задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації з альтернативним забезпеченням та множинними заміщеннями 10^3 з розв'язком отриманим наближеним комбінованим алгоритмом методом вигляду «генетичний алгоритм редукція».

ЛІТЕРАТУРА

1. Гэри М, Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. - М.: "Мир", 1982. - 416 с., ил.

2. Гриша С.Н. Информационно-стоимостной анализ и синтез моделей компьютеризованного управления производственными системами : Дис. док. техн. наук. : спец. : 05.13.06 / Киевский политехнический институт. - К., 1991. - 340 с.
3. Галяпа А.А. Построение алгоритмической модели системы управления на основе информационно-стоимостного анализа : Дис. канд. техн. наук : спец. : 05.13.06 / Киевский политехнический институт. - К., 1991. - 132 с.
4. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы/ Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. - М.: Горячая линия – Телеком – 2007 – 452 с.
5. Стратегічне планування функціональності ERP/MRP-систем із врахуванням множинних заміщень / Гриша С.М., Іотко О.А. // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. - 2008 – № 6 – С. 20–24.

Одержано 29.10.2008р.

УДК 669.017.3:669.15

А.А. Балакин, А.И. Денисенко

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ “СТОП-ЗАКАЛКИ”

Введение и анализ публикаций

Развитие промышленного производства как в Украине, так и за рубежом постоянно требует создания новых материалов с повышенным комплексом свойств, главенствующее место среди которых занимают легированные стали. Отличительная особенность современных легированных сталей состоит в том, что, имея сложный химический состав, они характеризуются многостадийным процессом затвердевания, предполагающим последовательное осуществление ряда фазовых превращений [1]. Как известно [2], связь между технологией и свойствами не является непосредственной, а раскрывается исключительно через структуру самих материалов, которая соответствует центральному звену цепи «технология-структура-свойства». Под наследственностью в широком плане понимают не только восстановление зерна [3], но и сохранение в металле после фазового или структурного преобразования некоторых особенностей макроскопического, микроскопического или субмикроскопического строения исходной структуры. Термическая обработка металлов также представима как информационная технология [4], формирующая информационный код структуры, обеспечивающей свойства металлов.

Основной целью различных вариантов термической обработки сталей является изменение фазового состава как матрицы, (соотношение феррита, аустенита, мартенсита), так и вторичных выделяющихся фаз (карбидов, нитридов и т.д.), поскольку фазовый состав сталей играет определяющую роль в формировании их свойств – физических, механических, коррозионных [5]. В работе [6] акцентируется внимание на то, что температурно-временную обработку расплава следует объединять с интенсивным теплоотбором

при кристаллизации для сохранения всех преимуществ создания значительного количества зародышей кристаллизации в интервале твердо-жидкого состояния расплава. Метод закалки из твердо-жидкого состояния позволяет гибко моделировать температурные условия плавления и затвердевания быстрорежущих сталей в достаточно большом диапазоне температур и скоростей.

В отличие от углеродистых сталей, где перитектическое превращение осуществляется с высокой скоростью в узком интервале температур и практически не сказывается на конечной структуре, в легированных сталях складывается обратная ситуация. Наличие в химическом составе сталей таких элементов, как хром, молибден, вольфрам и других, – эффективно влияет на кинетику перитектического превращения, часто делая его основополагающим в формировании комплекса свойств затвердевшего металла [1].

Для исследования высокотемпературного структурообразования в легированных сталях было создано экспериментальное оборудование [7], позволяющее методически строго фиксировать закалкой высокотемпературное состояние образца [1]. Основу конструкции установки (см. рис. 1а) составила вакуумная печь с закалочной емкостью. Подробно конструкция установки для “стоп-закалки” стали, а также расчет основных ее параметров и результаты поверочных экспериментов описаны в работах [1, 7].

Однако относительно сложная система электрического питания печи [1], собранная на базе автоматического пропорционально-дифференциального регулятора с широтно-импульсным принципом управления электронными вентилями и с применением генератора линейно изменяющегося напряжения для поддержания скорости изменения температуры в интервале 0,5 – 200,0 К/мин, со временем превратилась в основной фактор, ограничивающий как диапазон динамических параметров временной зависимости температуры печи, так и точность их отслеживания при формировании.

Постановка задачи

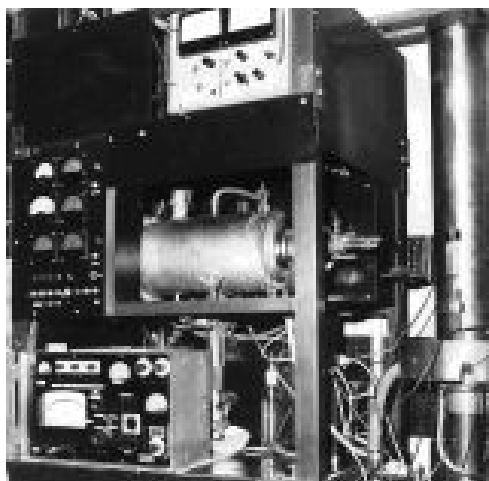
Вследствие вышеизложенного представляется актуальной как необходимость модернизации установки для исследования структурообразования в легированных сталях с применением фиксации высокотемпературного состояния образцов методом “стоп-закалки”, так и создание на ее базе компьютеризированного

программно-аппаратного комплекса с автоматизированной системой сбора данных и управления периферийными устройствами.

Основная часть

Принципы, на основе которых строилась система автоматизации установки, изложены в работах [8,9]. Основные элементы системы автоматизации – персональный компьютер с установленными на нем специализированным программным обеспечением и многофункциональным модулем.

Разработанный с участием проф., д.т.н. Калинушкина Е.П. и авторов настоящей публикации программно-аппаратный комплекс (см. рис. 1б) для исследования высокотемпературного структурообразования в легированных сталях по аналогии с [8,9] в части управления энерговыделением электротермических устройств включает цифро-аналоговый (ЦАП) и согласующий преобразователи. Измеряемые электрические сигналы, например от термопар, вводятся в компьютер через согласующие и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи и используются для оперативной компьютерной коррекции энерговыделения согласно запрограммированному термическому режиму, а также для фиксации зависимостей от времени как этих величин, так и технологических характеристик нагревателя, ими обусловленных.



а)



б)

Рисунок 1 - Общий вид установки для “стоп-закалки” сталей и сплавов до (а) и после (б) модернизации

Программой управления организуется мониторинг измеряемых параметров а также заполнение массивов, содержащих временные зависимости всех первичных измеряемых параметров. Одновременно

организуется мониторинг управляющих параметров и перерисовок экрана циклом на основе таймера с более крупным временным интервалом, чем у измерительных циклов. В каждом интервале таймера для текущего момента времени по заданным функциям вычисляются соответствующие ему значения всех управляющих величин, производятся требуемые вычисления и корректировки с учетом измеряемых параметров, направляются управляющие сигналы в соответствующие аппаратные модули управления цифро-аналоговыми и дискретными каналами, производится заполнение массивов, содержащих временные зависимости всех значений измеряемых (использованных в расчетах) и управляющих (заданных и текущих) параметров.



Рисунок 2 - Схема организации информационных потоков системы автоматического управления периферийными устройствами программно-аппаратного комплекса

По истечении заданного интервала времени завершается работа всех циклов, выключаются все каналы управления и производится запись отчета о реализованном режиме в директорию отчета в виде набора файлов, содержащих массивы данных с временными зависимостями по всем измеряемым и управляющим параметрам.

Особое внимание при создании установки было уделено автоматизации системы управления греющей мощностью термических устройств в реакционной камере при использовании для управления выделением тепловой энергии величины напряжения источника питания [10-12]. В процессе работы над поставленной задачей авторами определены совокупности параметров для описания состояния электротермических устройств и совокупности измеряемых и компьютерно регистрируемых информативных факторов для текущего расчета на их основе этих параметров с целью обеспечения оперативности диагностики и управления энергоснабжением соответствующих устройств программно-аппаратных исследовательских комплексов [12].

Вакуумная электрическая печь сопротивления с экранной теплоизоляцией и металлическими нагревателями (см. рис. 3а и 3б), используемая в установке для исследования сталей методом “стоп-заковки”, относится к печам косвенного нагрева [13], которые имеют сравнительно малую тепловую инерционность и дают возможность поддерживать необходимую чистоту атмосферы в камере в тех случаях, когда необходимо обеспечивать ее соответствующий состав.

В качестве нового нагревательного элемента (см. рис. 3а и 3б) применена лента шириной 50 мм, огибающая по дуге постоянного радиуса тигель с образцом стали, что позволило получить в фокальной плоскости обрабатываемого образца концентрированный тепловой поток высокой однородности и сфокусировать тепловую энергию на исследуемом объекте.

В рабочее пространство печи, ограниченное коаксиальной экранной защитой, входят: толкатель, с помощью которого образец сбрасывается через отверстие и шахту в закалочную ванну; молибденовый эталон с зачеканенным горячим спаем термопары, термопара, управляющая работой температурного задатчика системы электропитания нагревателя, тепловые экраны.



а)



б)

Рисунок 3 - Вакуумная электрическая печь сопротивления с экранной теплоизоляцией (а) и металлическим нагревателем (б)

Конструкция модернизированного толкателя (см. рис. 4а) предусматривает загрузку в печь только одного образца, что исключает как температурное воздействие при его обработке на последующие образцы, так и заклинивания, перекосы в процессе сбрасывания подложки с образцом в закалочную ванну (см. рис. 4б и 4в) в отличие от прежней версии установки, когда образцы в количестве нескольких штук располагались один за другим.



а)



б)



в)

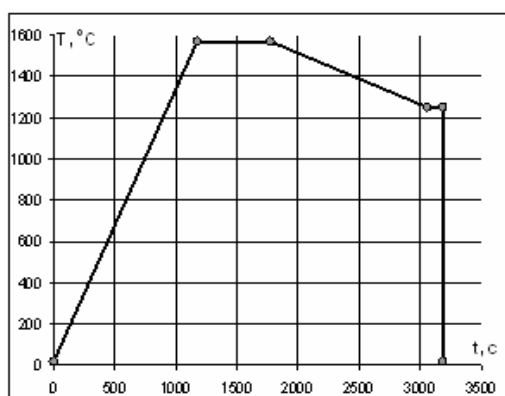
Рисунок 4 - Узел сбрасывателя подложки и образца (а - толкатель до (вверху) и после (внизу) модернизации, положение тигля-подложки для образца до (б) и после (в) сбрасывания)

На сбрасывателе подложки и образца установлена дополнительная термопара (см. рис. 4б и 4в) с целью более точного

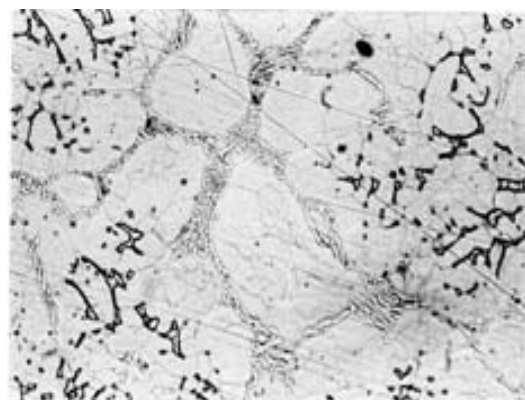
отслеживания температурных параметров процесса выплавки. Увеличено количество тепловых экранов, препятствующих теплоотводу по каналу продвижения толкателя тигля-подложки с образцом, что позволило исключить коробление толкателя во время обратного хода.

В конструкцию толкателя введено подвижное соединение двух его частей (см. рис. 4а внизу), выполненное с применением вольфрамовой проволоки, что позволило сформировать дополнительную степень свободы для обоймы, в которой находится тигель, и обеспечить беспрепятственность перемещения тигля-подложки для образца от места выплавки при разных температурах в камере. С целью уменьшения инерционности температурных измерений максимально сокращено расстояние между образцом и термопарами, закрепленными на сбрасывателе тигля-подложки и образца.

Пробные плавки стали на модернизированной установке проводились в среде проточного аргона высокой чистоты, который напускался в рабочий объем печи после откачки из него воздуха. Скорость охлаждения образца при закалке в 10%-м растворе поваренной соли составляла 2500-6000 К/с [1].



а)



б)

Рисунок 5 - Пример временной зависимости (а) термообработки стали Р6М5 и ее структура (б) при увеличении X 250

На рис. 5 в качестве примера представлены график режима нагрева с последующей закалкой от температуры 1260 °С образца стали Р6М5 и его микроструктура. Из анализа микроструктуры стали, приведенной на рис. 5б, следует, что процесс ее формирования

подчиняется общим принципам многофазного затвердевания с учетом специфики структурообразования в быстрорежущих сталях.

Выводы

На базе модернизированной установки “стоп-закалки” стали создан предназначенный для обеспечения проведения на современном уровне экспериментальных исследований и получения широкой базы экспериментальных данных о высокотемпературном структурообразовании в легированных сталях программно-аппаратный комплекс с автоматизированной системой сбора данных и управления периферийными устройствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинушкин Е.П. Перитектическая кристаллизация легированных сплавов на основе железа. – Днепропетровск: Пороги, 2007. – 172 с.
2. Ніколенко А.М., Кіндрачук В.М. Мезоскопічні аспекти проблематики структурної інженерії матеріалів // Фізика і хімія твердого тіла. – Т.3, № 1(2002) . – С. 76-80.
3. Дяченко С.С. Спадковість і її роль при термічній обробці сталі (огляд) // Металознавство та обробка металів. – 2004. – №2. – С. 3–13.
4. Шулаев В.М. 7-я международная научно-техническая конференция "Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов" // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – №7. – С. 67–68.
5. Корнеев А.Е., Степанова И.А., Ярополова Е.И. Анализ фазового состава сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – №7. – С. 60–66.
6. Кондратюк С.Є., Таранов Є.Д., Нурадінов А.С., Ельдарханов А.С. Вплив температурно-часових параметрів на кристалізацію розплавів у нерівноважному стані // Металознавство та обробка металів. – 2003. – №4. – С. 3–7.
7. Калинушкин Е.П. Исследование механизма и кинетики фазовых превращений при кристаллизации быстрорежущих сталей с целью повышения их технологической пластичности и стойкости готового инструмента: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / НМетАУ, Дніпропетровськ. – 1983. – 21 с.

8. Денисенко А.И., Калинушкин Е.П. Автоматическое управление программно-аппаратным комплексом для синтеза наноструктур // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006). – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 186-189.
9. Денисенко А.И., Калинушкин Е.П. Система автоматизации установки инжекционного формирования металлокомпозиата // Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2007). – Ч.1., Севастополь, 2007, СНУЯЄтаП, – С. 136-138.
10. Патент України № 83073, МПК (2006) G05 D 23/19; G 05 D 23/20. Спосіб програмного визначення стану електронагрівача / О.І. Денисенко (Україна), С.О. Денисенко (Україна), Є.П. Калинушкін (Україна). – № а200604659; Заявлено 26.04.2006; Опубл. 10.06.2008; Бюл. № 11, 2008 р.
11. Патент на корисну модель України № 28430, МПК (2006) G05D 23/00. Спосіб програмного визначення стану електронагрівача / О.І. Денисенко (Україна) . – № u200708443; Заявлено 23.07.2007; Опубл. 10.12.2007.
12. Денисенко О.І. Оперативна діагностика стану електротермічних пристроїв програмно-апаратного комплексу // Системные технологии Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 1 (54). – Днепропетровск, 2008. – С. 79–92.
13. Фомин В.М., Слободской А.Б. Вакуумные электрические печи сопротивления с экранной теплоизоляцией. – Москва, «Энергия». – 1970. – 96 с.

Принято 20.12.2008г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.С. Хандецький, С.Г. Лебедєв, Д.П. Сівцов</i> Створення комплексних алгоритмів ідентифікації дефектів з використанням нейромережних технологій	3
<i>О.О. Дробахин, А.В. Доронин, В.Г. Короткая</i> Об оптимальной структуре нейронной сети для оценки толщины подповерхностного воздушного слоя	13
<i>Н.О. Матвеева</i> Цифрова обробка сигналів із залученням обмеженої інформаційної надмірності	19
<i>Н.О. Иванова</i> Порівняння ефективності програмних реалізацій алгоритму стискання зображень за допомогою мережі кохонена в середовищі matlab і мовою С	24
<i>Л.Г. Ахметшина, И.М. Мацюк</i> Выделение скрытых областей изображений методом модуляционного градиентно-фазового преобразования	29
<i>А.А. Егоров</i> Использование топологической информации при визуализации результатов нечеткой кластеризации изображений	36
<i>Т.М. Буланая, В.В. Подлесняк</i> Моделирование гибкого программного комплекса для обработки данных	44
<i>Ю.М. Рибка</i> Консоль керування контентом сайту	51
<i>О.А. Литвинов</i> Використання метаінформації для реалізації гнучкого інтерфейсу користувача госпітальної системи	56
<i>В.М. Григорьев</i> Критерий устойчивости в терминах вход-выход линейного нестационарного дифференциального уравнения	65
<i>И.В. Кмитина</i> Обоснование выбора структуры сети для обеспечения мониторинга в угольной шахте с применением сап контроллера	70
<i>А.П. Пеньков</i> Система знаний по структурированным кабельным системам при формировании инженерного мышления	76
<i>Н.И. Твердоступ</i> Умножитель индуктивности	82

<i>А.И. Ивон, А.А. Андреев, Л.А. Можаровский</i>	
Использование критических терморезисторов для аппаратной реализации режима троттлинга центрального процессора	87
<i>А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин</i>	
Управление кулером с помощью критических терморезисторов	93
<i>Д.А. Крушинський</i>	
Оптимізація поведінки пішохода у клітинно-автоматних моделях руху натовпу	99
<i>С.И. Юрков</i>	
Особенности трехмерного компьютерного моделирования растений...	117
<i>А.А. Шумейко, С.Л. Сотник, М.В. Лысак</i>	
Использование генетических алгоритмов в задачах классификации текстов	125
<i>Р.М. Гоменюк, С.М. Іщераков</i>	
Архітектура формувачів базисних часових інтервалів спецпроцесора подвійного згортання сигналів	139
<i>И.В. Новицкий, А.А. Саганенко</i>	
Оптимизация процесса функционирования отдела технической поддержки через интернет коммерческого банка.....	145
<i>А.И. Песчанский</i>	
Календарное техническое обслуживание элементов монотонной системы	150
<i>Е.Н. Ватченко, А.И. Деревянко</i>	
Возбуждение хаотических колебаний в диссипативной системе	161
<i>С.М. Гриша, О.А. Іотко, Є.О. Роздольський</i>	
Еквівалентність задач вибору оптимальної функціональної конфігурації систем класу ERP/MRP та задач бульового програмування з обмеженнями особливого вигляду	166
<i>А.А. Балакин, А.И. Денисенко</i>	
Программно-аппаратный комплекс на базе модернизированной установки для исследования сталей методом “стоп-заковки”	173

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.3

Хандецкий В.С., Лебедев С.Г Сивцов Д.П. **Создание комплексных алгоритмов идентификации дефектов с использованием нейросетевых технологий**// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.3 – 12.

Проведено сравнительное исследование нейронных сетей с обратным распространением ошибки и Элмана с сетью прямого распространения и сетью встречного распространения. При этом для выбранного класса изображений дефектов оптимизация топологических параметров всех сетей.

Библ.6, табл.7.

УДК 621.396 : 681.3.07

Дробахін О. О., Доронін А. В., Коротка В. Г. **Про оптимальну структуру нейронної мережі для оцінки товщини підповерхневого повітряного шару** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.13 – 18.

Досліджена можливість оцінювання товщини підповерхневого повітряного включення за даними про частотну залежність комплексного коефіцієнта відбиття структури з використанням нейромережевих технологій. Застосування нейронних мереж із двома та більше схованими шарами забезпечує більшу точність оцінювання в порівнянні з випадком одного прихованого шару. Отримано оптимальне співвідношення числа нейронів у схованих шарах.

Библ. 5, табл. 1

УДК 621.3

Матвеева Н.А. **Цифровая обработка сигналов с привлечением ограниченной информационной избыточности.** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.19 – 23.

Рассмотрены особенности представления адаптивно-разностных слов бинарными последовательностями из цифр $\{\pm 1\}$ при увеличении частоты дискретизации.

Библ. 5, ил. 1.

УДК 004.932.2

Иванова Н. А. **Сравнение эффективности программных реализаций алгоритма сжатия изображений с помощью сети Кохонена в среде MATLAB и на языке С** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.24 – 28.

Проведен сравнительный анализ реализаций алгоритма сжатия изображений с помощью нейронных сетей, написанных на языке С, и с помощью функций пакета Matlab. Реализация на языке С является более эффективной, поскольку в этом случае обеспечивается более быстрая кодировка (в 4 - 10 раз для оптимального количества нейронов), а качество восстановленного сжатого изображения более высокое.

Библ. 2, рис. 2.

УДК 004.93

Ахметшина Л.Г., Мацюк И.М.. **Вилучення прихованих ділянок зображень методом модуляційного градієнтно-фазового перетворення** // Системні технології.

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60). – Дніпропетровськ, 2009. – С.29 – 35.

Описано новий метод підвищення чутливості візуального аналізу слабконтрастних зображень. Наведено результати чисельного моделювання та реальної перевірки ефективності методу.

Бібл. 7, іл. 6.

УДК 004.93

Егоров А.О. **Використання топологічної інформації при візуалізації результатів нечіткої кластеризації зображень**// Системні технології; Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60). – Дніпропетровськ, 2009.- С.36 – 43.

У статті описаний новий метод візуалізації результатів нечіткої кластеризації, який базується на використанні топологічної інформації про вихідні данні та розглянуті результати застосування цього метода на прикладі модельного зображення, маммограмми та інфрачервоного знімка інтегральної мікросхеми. Виконано порівняння рівня деталізації отриманих в результаті візуалізації запропонованим методом зображень з відомими методами.

Бібл. 4, рис.3

УДК 004.415.28

Булана Т.М., Подлісник В.В. **Моделювання гнучкого програмного комплексу для обробки даних** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60). – Дніпропетровськ, 2009. – С.44-50.

Розглянуто процес моделювання гнучкого програмного комплексу для обробки даних з гетерогенною архітектурою. Представлені основні етапи проектування розробки успішного комплексного програмного продукту.

Бібл. 8, іл. 4.

УДК 681.3.06

Рыбка Ю.М. **Консоль управления контентом сайта** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Випуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.51 - 55.

Описана консоль управления контентом сайта, которая предоставляет возможности удобного управления им, администрирования и изменения его наполнения.

Библ. 2, рис. 1.

УДК 574/578+004.38

Литвинов А.А. **Семантико-синтаксическая модель классификации клинических диагнозов.** //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Випуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.56 – 64.

В работе рассмотрен вариант построения элементов гибкого интерфейса пользователя с использованием мета-информации. В основе представления метаинформации лежит фреймовая модель представления знаний. Мета-информация отображается на различные оси системы. В результате представлена информационная модель отображения метаинформации на компоненту интерфейса, рассмотрены особенности ее реализации.

Библ. 10. ил.5. табл.1.

УДК 62-50:519.49

Григор'єв В.М. **Критерій стійкості в термінах вхід-вихід лінійного нестационарного диференціального рівняння** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60). – Дніпропетровськ, 2009. – С.65 – 69.

У роботі показано, що якщо коефіцієнти лінійного нестационарного диференціального рівняння прагнуть до стійкого з деяким ступенем стационарного рівняння, то нестационарне рівняння буде стійко з тим же ступенем у термінах вхід-вихід. Доказ базується на першому методі Ляпунова.

Бібл. 3.

УДК 681.52

Кмітіна І.В. **Обґрунтування вибору структури мережі для забезпечення моніторингу у вугільній шахті з застосуванням CAN контролеру** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60). – Дніпропетровськ, 2009. – С.70 – 75.

Розглянуто використання відеоінформації про стан місць пересипу конвеєрної лінії вугільної шахти як додаткових даних при контролі. Здійснено аналіз технічних компонентів та розроблена структурна схема системи відеоконтролю місць пересипу конвеєрної лінії на базі CAN технології.

Бібл. 7.

УДК 656.283.8УДК 656.283.8

Пеньков А.П. **Система знань по структурованим кабельним системам при формуванні інженерного мислення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60). – Дніпропетровськ, 2009. – С.76 – 81.

Розглянуто етапи формування інженерного мислення по структурованим кабельним системам. Представлені шляхи вирішення проблеми підготовки спеціалістів по СКС із врахуванням Болонського процесу.

Бібл. 8, іл.2.

УДК 62 – 52 : 621.317

Твердоступ М.І. **Помножувач індуктивності** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60). Дніпропетровськ, 2009. – С.82 – 86.

Приведена методика побудови пристрою для масштабування індуктивності. Помножувач індуктивності реалізовано як окремий випадок лінійної комбінованої операційної схеми.

Бібл.6, іл.3.

УДК 519.6: 536.764

Івон О.І., Андрєєв А.О., Можаровський Л.А. **Використання критичних терморезисторів для апаратної реалізації режиму троттлінгу центрального процесора** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.87 – 92.

Показана можливість використання критичних терморезисторів на основі діоксиду ванадію для боротьби з перегрівом центрального процесора комп'ютера шляхом його переведення у режим троттлінгу. Запропоновані прості схемотехнічні рішення, які

дозволяють апаратним шляхом, без залучення програмних засобів, забезпечити ефективний захист процесора від перегріву.

Бібл.6, іл. 3.

УДК 519.6 : 536.764

Івон О.І., Істушкин В.Ф. **Керування кулером за допомогою критичних терморезисторів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.93 – 98.

Обґрунтовано використання критичних терморезисторів на основі діоксиду ванадію для керування кулером. Показана можливість організації економічного режиму роботи кулера для охолодження центрального процесора комп'ютера.

Бібл. 7, іл. 2, табл. 1

УДК 519.7

Крушинський Д.А. **Оптимизация поведения пешехода в клеточно-автоматных моделях движения толпы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Випуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.99 - 116.

Рассмотрена задача построения правил движения пешехода в рамках клеточно-автоматной (КА) модели движения толпы которые бы обеспечили более оптимальное его поведение в смысле минимизации времени эвакуации из помещения произвольной конфигурации. Особое внимание было уделено введению в модель ментальных свойств пешехода, особенно свойства антисипации, которое состоит в способности прогнозировать развитие ситуации в некоторой окрестности и корректировать свое поведение соответственным образом. Приведены результаты вычислительных экспериментов, которые подтверждают адекватность предложенного подхода, и перспективы дальнейших исследований.

Бібл. 5, іл. 7, табл. 0

УДК 629.4.016.12

Юрков С.І. **Особенности тривимірного комп'ютерного моделювання відстаней** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.117 – 124.

Бібл. 28, іл. 1, табл. 0

УДК 681.3

Шумейко О.О., Сотник С.Л., Лисак М.В. **Використання генетичних алгоритмів в задачах класифікації текстів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.125 – 138.

В роботі розглянута задача розмежування класів текстових документів за допомогою діаграм Вороного на багатовимірній сфері. Для скорочення розміру векторів класу документів запропоновано використовувати генетичні алгоритми з хромосомами довжина яких дорівнює числу ненульових координат центрального вектора та бінарними генами. Мінімізація генотипу проводиться із умови найменшого впливу на клас при забезпеченні даної ступені локалізації класу.

Бібл.4, іл.6.

УДК:681.5.015

Гуменюк Р.М., Ищеряков С.М. **Архитектура формирователей базисных временных интервалов спецпроцессора двойного свертывания** // Системные технологии.

Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(60). – Днепропетровск, 2009. – С.139 – 144.

В данной статье разработаны формирователи частотных сигналов вычислительной среды спецпроцессора двойной свертки сигналов с использованием функции оценки знака производной первого порядка, которые реализованы на базе ПЛИС и внедрены в промышленность в виде системы спектрального анализа сигналов диагностирования.

Бібл.3, іл.3.

УДК 519.872:519.876.5

Новицький І.В., Саганенко Г.О. **Оптимізація процесу функціонування відділу технічної підтримки через Інтернет комерційного банку** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.145 – 149.

Запропонований підхід, заснований на імітаційному моделюванні і проведенні обчислювального експерименту, дозволяє оптимізувати процес функціонування підрозділів банку, що представляються як СМО. При такому універсальному підході рішення може бути отримане для виробничих структур системи і потоків подій, що не задовольняють умовам стаціонарності і відсутності післядії.

Бібл.2, іл.2.

УДК 519-873

Песчанський О.І. **Календарне технічне обслуговування елементів монотонної системи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.150 – 160.

Побудована напівмарківська модель функціонування монотонної системи з урахуванням календарного технічного обслуговування її елементів. Знайдені стаціонарні характеристики надійності та економічні показники якості функціонування розглянутої системи.

Бібл.1, іл.6.

УДК 621.396 : 681.3.07

Ватченко Е.Н., Деревянко А.И. **Збудження хаотичних коливань в дисипативній системі** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.161 – 165.

Визначені закономірності змін внутрішньої енергії коливальної системи при переході до хаотичних коливань. Напрям досліджень зв'язаний з моделюванням процесів дисоціації молекулярних систем методами нелінійної молекулярної динаміки.

Бібл. 4, рис. 3

УДК 004.4'22

Гриша С.Н., Иотко А.А., Роздольский Е.О. **Эквивалентность задач выбора оптимальной функциональной конфигурации систем класса ERP/MRP и задач булева программирования с ограничениями особого вида.** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.166 - 172.

В статье приводится модель задачи выбора оптимальной функциональной конфигурации систем класса ERP/MRP с отношением замещения на ациклическом орграфе. Показано эквивалентность моделей задачи выбора оптимальной

функциональной конфигурации систем класса ERP/MRP и задач булевого программирования с ограничениями и целевой функцией особого вида.

Полученные результаты имеют большое практическое значение поскольку позволяют решать задачи булевого программирования с ограничениями и целевой функцией особого вида значительно большей размерности, чем при использовании классических алгоритмов.

Библ. 5

УДК 669.017.3:669.15

Балакін О.А., Денисенко О.І. **Програмно-апаратний комплекс на базі модернізованої установки для дослідження сталей методом “стоп-загартування”** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60) – Дніпропетровськ, 2009. – С.173 - 181.

Розглянуто особливості організації створеного на базі модернізованої установки “стоп-загартування” сталі спеціалізованого програмно-апаратного комплексу, призначеного для забезпечення проведення на сучасному рівні експериментальних досліджень і одержання широкої бази даних про високотемпературне структуроутворення в легованих сталях.

Бібл. 13, іл. 5.

UDC 621.3

Khandetsky V.S., Lebedev S.G., Sivtsov D.P. **Creation of the complex algorithms of the defects identification using neural- nets technologies** // System technologies. N 1(60) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.3 – 12.

Comparison investigation of neural networks of back errors diffusion and Elman with direct diffusion network and cross diffusion network are realized. At that the optimization of topological parameters of networks is performed for chosen class of direct images.

Bibl. 6, tabl. 7.

UDC 621.396 : 681.3.07

Drobakhin O.O., Doronin A.V., Korotkaya V.G. **Optimal neural network structure for the estimation of the thickness of subsurface air layer** // System technologies. – N 1(60). – Dnipropetrovsk, 2009. – P. 13 – 18.

Effective estimation of subsurface air layer thickness using data of complex reflection coefficient of multilayer structure in frequency domain and neural network technologies were investigated by mathematical simulation. It was shown, that the neural network with two and more hidden layers provided more accurate estimation in comparison with a network with one hidden layer. The optimum ratio of number of neurons in hidden layers was obtained.

Bibl. 5, tabl. 1.

UDC 621.3

Matveyeva N.A. **Digital processing of signals with bringing of the limited informative redundancy** // System technologies. – N.1 (60). – Dnipropetrovsk, 2009. – P.19 – 23.

The singularities of representation of the adaptive-differential signals by binary sequences from numbers $\{\pm 1\}$ with the increase of frequency discretization are considered.

Bibl. 5, il. 1.

UDC 004.932.2

Ivanova N.A. **Efficiency's comparison of program realizations of image compression with the help of a Kohonen network in environment MATLAB and in language C** // System technologies. – N 1(60). – Dnepropetrovsk, 2009. – P.24 – 28.

The comparative analysis of algorithm realizations of image compression with the help of neural networks written in language C, and with the help of Matlab functions is carried out. The realization in language C is more effective, as the faster coding (in 4 - 10 times for optimum amount of neurons) and higher quality of the restored compressed image is provided.

Bibl. 2, ill. 2.

UDC 004.93

Akhmetshina L.G., Matsuk I.M. // **Selection hidden area of images based on modulated gradient-phase transformation method** // System technologies. – N 1(60). – Dnipropetrovsk, 2009. – P.29 – 35.

A new method increasing sensitivity of loosely contrast images are considered. Results of digital simulation and real testing of the method efficiency are presented.

Bibl. 7, il. 6.

UDC 004.93

Yegorov A.A. **The usage of topological information for visualization of fuzzy clustering results of image.** // System Technologies; Regional multi-university collection of scientific works. – N 1(60). – Dnepropetrovsk, 2009. – P.36 – 43.

This article describes the new method of fuzzy clustering results visualization based on using topological information about initial data and shows results of application this method to model image, mammogram and infrared snap of integrated circuit. This article also contains the comparison of detailing level of results, received by using of proposed method, with the results of known methods.

Bibl. 4, fig. 3

UDC 004.415.28

Bulanaja T.M., Podlesnjak V.V. **Modelling of a flexible program complex for data processing**//System technologies. - N 1 (60). – Dnepropetrovsk, 2009. – P.44 – 50.

Process modelling of a flexible program complex for data processing with heterogeneous architecture is considered. The basic design stages of working out of successful complex software product are presented.

Bibl. 8, ill. 4.

UDK 681.3.06

Rybka Yu.M. **Cantilever of management by content of site of** // Systems technologies. // System technologies. – N.1 (60). – Dnipropetrovs'k, 2009. – P.51 – 55.

The consol for control by content of site is described, which gives possibilities of comfortable management to them, administrations and changes of its filling.

Bibl. 2, ill. 1.

UDC 574/578+004.38

Litvinov A.A.**Using of meta-information for hospital system flexible user interface design** // System technologies. – N.1(60). – Dnepropetrovsk, 2009. – P.56 – 64.

The given work is devoted to a variant of solution for the problem of getting balance between flexibility and reducing design costs in case of creation, adaptation, and maintenance of hospital system user interface elements connected to data domain. The solution is based on using frame-based knowledge representation paradigm for meta-information representation. The same model (meta-information) is mapped on different components of application and used to aid different task solution: database creation, information analysis, user interface. As a result of work, the informational model for “meta-information – user interface elements” mapping is suggested, and specific features of the realization are discussed.

Bibl. 10, il. 5, tabl.1.

UDC 62-50:519.49

Grigor'yev V.M. **Criterion of input-output stability of linear time-varying differential equation** // System technologies. - N 1(60). – Dnepropetrovsk, 2009. – P.65 – 69.

It is shown in work, that if the coefficients of linear time-varying differential equation trend to stable with some degree stationary equation, time-varying equation will be stable with a same degree in terms input-output. Proof based on first Lyapunov method.

Bibl. 3.

UDC 681.52

Kmitina I.V. **The validation of choice network structure with application of CAN controller for monitoring in coal mine** // System technologies. – N 1(60). – Dnipropetrovs'k, 2009. – P.70 – 75.

Use of video information about state of pouring places on conveyor line in coal mine as additional information in control was considered. Technical components of network were analyzed. Structure chart of video control system of pouring places on conveyor line with application CAN technologies was developed.

Bibl. 7.

UDC 656.283.8

Penkov A.P. **System of knowledge on the structured cable systems at formation of engineering thinking** // System technologies. – N 1 (60). – Dnipropetrovs'k, 2009. –P.76 - 81.

Stages of formation of engineering thinking on the structured cable systems are considered. Ways of the decision of a problem of preparation of experts on SCS taking into account Bolonsky process are presented.

Bibl. 8, ill. 6.

UDC 62 - 52: 621.317

Tverdostup N.I. **The multiplexer of inductance** // System technologies. – N 1(60). – Dnipropetrovs'k, 2009. – P.82 – 86.

The technique of construction of the system (device) for process of scaling of inductance is reduced. The multiplexer of inductance is realized as a special case of the linear combined operational circuit (scheme).

Bibl. 6, ill. 3

UDC 519.6: 536.764

Ivon A.I., Andreev A.A., Mozharovsky L.A. **Use of the critical thermistors for a hardware support of the throttling mode for CPU** // System technologies.–N 1 (60) – Dnepropetrovsk, 2009. – P.87 – 92.

The capability for use of the critical thermistors on basis of vanadium dioxide for CPU overheating protection by means of its transfer to the throttling mode is shown. The simple circuit decisions, which allow by a hardware way to realize the effective overheating protection of CPU are offered.

Bibl. 6, ill. 3

UDC 519.6: 536.764

Ivon A.I., Istushkin V.F. **Cooler control by means of the critical termistors** // System technologies.–N 1 (60) –Dnepropetrovsk, 2009.–P.93 – 98.

Use of the critical termistors on a base of vanadium dioxide for the cooler control is substantiated. The capability for realization of efficient operation mode at cooling of CPU by means of cooler is shown.

Bibl. 7, ill. 2, tab. 1

UDC 519.7

Krushinsky D.A. **Optimization of pedestrian behaviour in cellular automata models of crowd movement** // System technologies.–N 1 (60) –Dnepropetrovsk, 2009.–P.99 – 116.

The problem under consideration is construction of such rules determining movement behaviour of the pedestrian within cellular automata (CA) models of crowd movement that will ensure more optimal behaviour in a sense of minimal evacuation time from premises of arbitrary configuration. Special attention was paid to introduction of mental properties into the model. In particular, anticipation property, that implies ability of forecasting the situation in some vicinity and correcting further behaviour in appropriate way, was considered. Computational experiments results that verify consistency of the proposed approach are given. Prospects of further research are provided.

Bibl. 5, ill. 7, tab. 0

UDC 629.4.016.12

Yrkov S. **Characteristics of three-dimensional computer modeling of trees** // System technologies.–N 1 (60) –Dnepropetrovsk, 2009.–P.117 – 124.

A survey of algorithms for building of three-dimensional computer tree models was done. A method of texture receipt that helps to avoid billboard-effects during visualization of big number of leaves is shown.

Bibl.28, im.1.

UDC 681.3

Shumeiko A., Sotnik S., Lysak M. **Use genetic algorithm in problem of the classification texts** // System technologies.–N 1 (60) –Dnepropetrovsk, 2009.–P.125 – 138.

In papers is offered for division of the classes text document to use the Voronoy diagrams on multivariate sphere. Genetic algorithms are used for reduction of dimensionality vector classes document with chromosome by length equal amount nonzero coordinates of the central vector and binary gene. Minimization the genotype is conducted from condition minimization of influences on class when ensuring given degree to localizations of the class.

Bibl.4, im.6.

UDC 681.5.015

Gumenuk R., Ischeryakov S. **Architecture generators basic timeslots special processor dual exit** // System technologies.–N 1 (60) –Dnepropetrovsk, 2009. – P.139 – 144.

There have been processed the architectures of double convolution special processors by function of first-order derivative signed evaluation, realized on base of FPGA and introduced in industry as system of spectral analysis of oil-production objects diagnostic signal.

Bibl.3, im.3.

UDC 519.872:519.876.5

Novitskij I.V., Saganenko A.A. **Optimization of process of functioning of department of technical support through the Internet of commercial bank** // System technologies.–N 1 (60) –Dnepropetrovsk, 2009. – P.145 – 149.

Offered approach, based on an imitation design and implementation of calculable experiment, allows to optimize the process of functioning of subdivisions of bank, presented as SMO. At such universal approach a decision can be got for the production structures of the system and streams of events, dissatisfying the terms of stationarity and absence of aftereffect.

Bibl.2, im.2.

UDC 519-873

Peschansky A.I. **Calendar maintenance for elements of a monotonous system** // System technologies. – N 1 (60) – Dnepropetrovsk, 2009. – P.150 – 160.

The semi-markov model of monotonous system with allowance for calendar technical service is formulated. The reliability and economical stationary indexes of quality of system functioning are received.

Bibl.6, im.1.

UDC 621.396 : 681.3.07

Vatchenko E.N., Derevjankio A.I. **Simulation of chaotic oscillations in dissipation system** // System technologies. – N 1(60). – Dnipropetrovs'k, 2009 . – P.161 – 165.

Objective laws of internal energy of oscillating system during transition to chaotic oscillation were determined. Investigations directions are connected with modeling of dissociation processes of molecular system by methods on nonlinear molecular dynamics.

Bibl. 4, il.3.

UDC 004.4'22

Grysha S.M., Iotko O.A., Rozdolsky E.O. **Eequivalence of tasks of choosing optimal functional configuration of ERP/MRP system and boolean programming tasks with specific restrictions** // System technologies. – N 1(60). – Dnipropetrovs'k, 2009 . – P.166 – 172.

The paper states a model for task of choosing optimal functional configuration of ERP/MRP system with substitution relation defined on an acyclic directed graph. It is shown that task of choosing optimal functional configuration of ERP/MRP system is equivalent to boolean programming task with specific restrictions and target function.

Obtained results are practically significant as they allow to solve boolean programming tasks with specific restrictions and target function with much greater dimensionality than is usually feasible for classical algorithms.

Bibl. 5 titles.

UDC 669.017.3:669.15

Balakin O.A., Denysenko O.I. **A hardware-software complex on the basis of the advanced unit for steel testing using the method of stop hardening** // System technologies. – № 1(60). – Dnepropetrovsk, 2008. – P.173 – 181.

The organizational characteristics of the specialized hardware-software complex created on the basis of advanced unit for steel stop hardening were examined. The complex is intended for carrying out experimental investigations on the state-of-the-art level and receiving a wide database about high-temperature structure formation in alloy steels.

Libr. 13, ill. 5.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Андреев Анатолий Александрович** – к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Ахметшина Людмила Георгиевна** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Буланая Татьяна Михайловна** – ассистент кафедры математического обеспечения ЭВМ, ДНУ.
- Ватченко Елена Николаевна** – ассистент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Григорьев Виктор Михайлович** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Деревянко Александр Иванович** – к.т.н., доцент кафедры АСОИ, ДНУ.
- Доронин Алексей Владимирович** – м.н.с. Института Технической Механики НАНУ.
- Дробахин Олег Олегович** – д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной и компьютерной радиофизики, ДНУ.
- Егоров Артем Александрович** – старший преподаватель кафедры АСОИ, ДНУ.
- Иванова Наталья Александровна** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Ивон Александр Иванович** – д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Истушкин Валерий Федорович** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Кмитина И. В.** – аспирант кафедры автоматизации и компьютерных систем НГУ.
- Короткая Валентина Григорьевна** – старший преподаватель кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Лебедев С.Г.** – студент гр. КИ-03-2, ДНУ.
- Литвинов Александр Анатолиевич** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Матвеева Наталья Александровна** – ассистент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Мацюк И.М.** – ассистент кафедры программного обеспечения ЭВМ, НГУ.
- Можаровский Леонид Андреевич** – к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Пеньков Анатолий Павлович** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Подлесняк В.В.** – Java программист компании «DEVOLER».
- Рыбка Юрий Михайлович** – старший преподаватель кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Сивцов Дмитрий Павлович** – старший преподаватель кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Твердоступ Николай Иванович** – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Хандецкий Владимир Сергеевич** – д.т.н., профессор кафедры ЭВМ, ДНУ.
- Гриша Сергій Миколайович** - д.т.н., професор кафедри АСОІУ, заслужений діяч науки і техніки України.
- Іотко Олександр Анатолійович** - аспірант кафедри АСОІУ ФІОТ НТУУ «КПІ».
- Роздольський Єгор Олегович** - студент кафедри АСОІУ ФІОТ НТУУ «КПІ».
- Денисенко Александр Иванович** - кандидат технических наук, научный руководитель научно-исследовательской лаборатории материаловедения и

технологии тонкопленочных процессов (НИЛМ и ТТП) им. Е.П. Калинушкина, доцент кафедры физики, НМетАУ.

Балакин Александр Анатольевич – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории материаловедения и технологии тонкопленочных процессов (НИЛМ и ТТП) им. Е.П. Калинушкина, НМетАУ.

Песчанский Алексей Иванович - к.ф.-м.н., доцент кафедры высшей математики Севастопольского национального технического университета.

Юрков Сергей Игоревич – аспирант кафедры компьютерных информационных технологий; Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. ак. В. Лазаряна.

Гуменюк Р.М. - Івано-Франківський інститут менеджменту та економіки «Галицька академія».

Ищеряков С.М. – к.т.н., доцент Івано-Франківський інститут менеджменту та економіки «Галицька академія».

Крушинський Дмитро Андрійович - аспірант, НТУУ «КПІ», ННК «ІПСА».

Новицкий Игорь Валерьевич – д.т.н., профессор кафедры системного анализа и управления, Национальный горный университет.

Саганенко Анна Александровна – студентка кафедры системного анализа и управления, Национальный горный университет.

Шумейко Алесандр Алексеевич – д.т.н., профессор ДГТУ.

Сотник С.Л. – научный сотрудник ДГТУ.

Лысак М.В. – научный сотрудник ДГТУ.