

В.В. Багрій, Р.В. Волошин, О.О. Жульковський, Ю.В. Ульяновська

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ
ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ НЕВЕРБАЛЬНИХ
ЕКСТРАЛІНГВІСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Анотація. Під час розмови людина неоднаково сприймає невербальні сигнали. Одні – більш чутливі, інші – менш, що можна пов'язати зі сферою комунікації, досвіду з фіксацією та розшифровуванням невербальної комунікації. Невербальна комунікація та мовна комунікація передбачають зворотній зв'язок. Він може бути позитивним, що сприятливо впливає на взаємність між співрозмовниками, та негативний, що породжує деструктивні взаємини. Мова людини оператора є дуже нерозбірливою та містить у собі багато перешкод, для придушення яких необхідно використовувати адаптивну фільтрацію. Саме такі системи розглянуто в роботі.

Також проаналізовано фільтрацію на основі фільтру Вінера для розпізнавання, ідентифікації та контролю психофізіологічного стану (ПФС) оператора на основі невербальних екстралінгвістичних характеристик.

Ключові слова: імітаційне моделювання, людина оператор, невербальні екстралінгвістичні характеристики, фільтр Вінера, схема ідентифікації, адаптивна фільтрація.

Постановка проблеми. На теперішній час постійного діалогу людини та комп'ютера, коли створюються системи штучного інтелекту, існує значний попит на системи інтелектуального контролю та системи «людина-машина». Такі системи є дуже складними і потребують аналізу та дослідження. Публікації, присвячені імітаційному комп'ютерному моделюванню системи контролю ПФС людини, представлені головним чином у роботах [1-3].

Основа системи діалогового спілкування людини та комп'ютера це система перетворення «мова-текст». Використання цієї системи є базою для створення систем мовного керування комп'ютером. На відміну від систем, що працюють за принципом ідентифікації однократної відповіді користувача на запит та пропозицію або питання з бази паролів, необхідно розширити мовний інтерфейс комп'ютера. Доцільно, аби комп'ютер приймав команди від оператора та виконував їх тільки у випадку, коли голос та його тембр відповідає зареєстрованому в базі. Така система дозволить розмежувати доступ до

комп'ютера та забезпечити безпеку для користувача, зберегти його конфіденційність або зберегти його особисті данні. Провівши аналіз мовної активності оператора, стало зрозуміло, що необхідно розробити систему командного керування та перетворення «мова-текст» у потоці зливої мови. Це завдання вирішують за рахунок порівняння слів команд та є частиною проблеми автоматичного розпізнавання та розуміння мови людини-оператора [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши різні системи мовного діалогу «людина-машина», можливо прийти до висновку, що багато систем дозволяють оператору працювати без попереднього налаштування. Проте, такі системи налаштовані на поліпшення якості розпізнавання мови та голосу після навчання. Незалежність від оператора в таких системах досягається за рахунок використання звукових еталонів для найбільш використаних слів та тембрів голосів операторів. Для випадку частого та тривалого «спілкування» людини з персональним комп'ютером у БД накопичується статистика артикуляційної діяльності та особливості оператора на більших обсягах мовних даних. Для цих систем дуже важливим є значне скорочення кількості допущених помилок.

Проблема діалогу людини та комп'ютера є частиною загальної проблеми для систем штучного інтелекту. За основу таких систем діалогового спілкування людини та комп'ютера лягають системи перетворення «мова-текст». На базі таких систем може бути створена система мовного керування комп'ютером. Аналіз показав, що на відміну від текстоно-залежних систем ідентифікації, у системах із діалоговим методом реалізується не тільки однократна відповідь оператора на запит або питання з бази паролів, але і розширення його повноцінного мовного інтерфейсу. Комп'ютер приймає команди від оператора та виконує їх тільки в тому випадку, якщо голос співпадає з зареєстрованим у БД. Цей аналіз є ефективним в умовах реальної мовної активності оператора.

Літературний огляд показав, що для розробки систем командного керування й перетворення «мова-текст» у потоці зливої мови необхідно використовувати «механізми» автоматичного розпізнавання та розуміння мови оператора. Проте, ці «механізми» мають деякі недоліки, пов'язані з великою кількістю завад. Відмітимо, що для рішення таких задач необхідно використовувати в них фільтрації голосових даних [3, 4].

Мета дослідження. Метою роботи є вирішення задач фільтрації голосових даних у системах моделювання контролю «людина-оператор» на основі невербальних екстралінгвістичних характеристик для імітаційного моделювання

систем контролю ПФС людини.

Викладення основного матеріалу дослідження. Люди під час розмови неоднаково сприймають невербальні сигнали. Одні – більш чутливі, інші – менш. Сприйняття ще можна пов'язати зі сферою комунікації, досвіду з фіксацією та розшифровуванням невербальної комунікації. Невербальна комунікація та мовна комунікація передбачають зворотній зв'язок. Він може бути позитивним, який сприятливо впливає на взаємність між співрозмовниками, та негативний, який породжує деструктивні взаємини. Тоді партнери роздратовано спілкуються та подають негативні сигнали.

Одне і теж саме слово може бути вимовлене з використанням найрізноманітніших відтінків. Ці відтінки передаються за допомогою міміки, жестів та інтонацій. З використанням цього співрозмовники відображають найтонші переживи людського настрою та почуттів.

Дані дослідження проводилися в акустично ізольованій аудиторії, де були присутні два оператора – «експериментатор» та «диктор». При дослідженні було використано програмне забезпечення: Wavelab (Demo version), Goldwave (Demo version), Matlab (Demo version).

Під час проведення роботи виконано запис командних слів за допомогою мікрофону у програмному середовищі Wavelab із частотою дискретизації 16 кГц, моно, 16 біт.

Будь-який сигнал, який змінюється в часі, можна представити у вигляді вектору з кількістю відліків, рівним добутку його довжини на частоту дискретизації. Використавши це можливо провести статистичні дослідження, а саму роботу зручно виконувати для масивів однакової довжини.

Одержимо 10000 відліків сигналу. Довжина тимчасового інтервалу у 0,6 с команди – це максимум. В якості статистичних характеристик вибиралися точкові оцінки. Результат виміру будь-якої фізичної величини – струму, напруги, щільності, тиску й інших – можливо трактувати, як значення деякої випадкової величини x , яка характеризується щільністю розподілу ймовірностей $W(x)$.

Найчастіше виправдані припущення про цілком конкретний вид функції:

$$W(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - M(x))^2}{2\sigma^2}}$$

де $M(x)$ та σ – відповідно математичне очікування (МО) і стандартне відхилення (СВ) x .

При цьому природно оцінювати не функцію $W(x)$, а всього два її параметри – $M(x)$ і σ , які вдало її характеризують. Зрозуміло, якщо закон $W(x)$ не є нор-

мальним, тоді параметрів $M(x)$ і σ недостатньо для повного подання про властивості СВ x . Однак й у цьому випадку дані параметри по своїй важливості стоять на першому місці.

Позначимо спостережувані значення випадкової величини СВ:

$$X_1, X_2, \dots, X_N. \quad (1)$$

Їх можна розглядати як N «екземплярів» СВ x , тобто N незалежних СВ, кожна з яких розподілена по тим же законам, що й СВ x . Позначимо \tilde{a} оцінку параметра a . Будь-яка оцінка, що обчислює на основі матеріалу (1), представляє собою функцію величин X_1, X_2, X_N :

$$\tilde{a} = \tilde{a}(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

і, отже, сама є випадковою величиною. Таку оцінку часто називають точковою, оскільки на практиці вона являє собою єдине випадкове число.

Розглянемо формули для обчислення точкових оцінок параметрів.

Математичне очікування є зваженим середнім арифметичним усіх значень випадкової величини:

$$M(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Дисперсія служить для характеристики СВ від центра розподілу. Дисперсія дорівнює математичному очікуванню квадрата СВ від центра її математичного очікування:

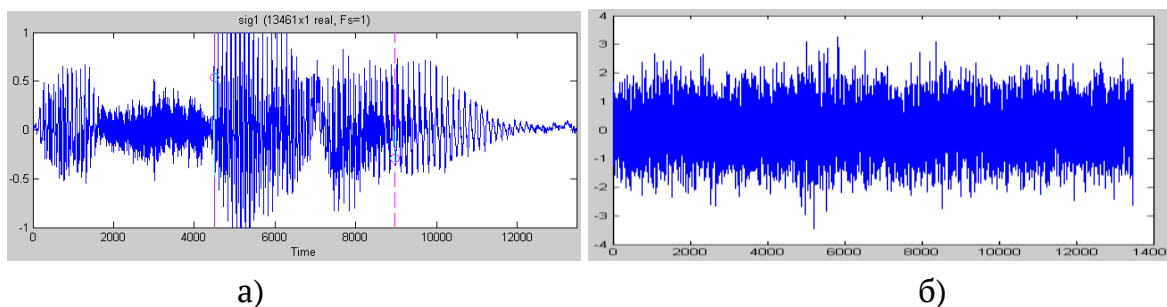
$$D(X) = M[X - M(X)]^2.$$

Також для оцінки відхилення СВ від центра розподілу використовується середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}.$$

У нашому випадку $N=1000$. Тоді обчислимо дані оцінки, використовуючи Matlab. Для підвищення перешкодозахищеності підсистеми розпізнавання голосових команд оператора використовуємо вінерівську фільтрацію сигналів. Для вихідного сигналу виконаємо накладення білого шуму.

На рис. 1 зображені порівняльні результати проведених експериментів.

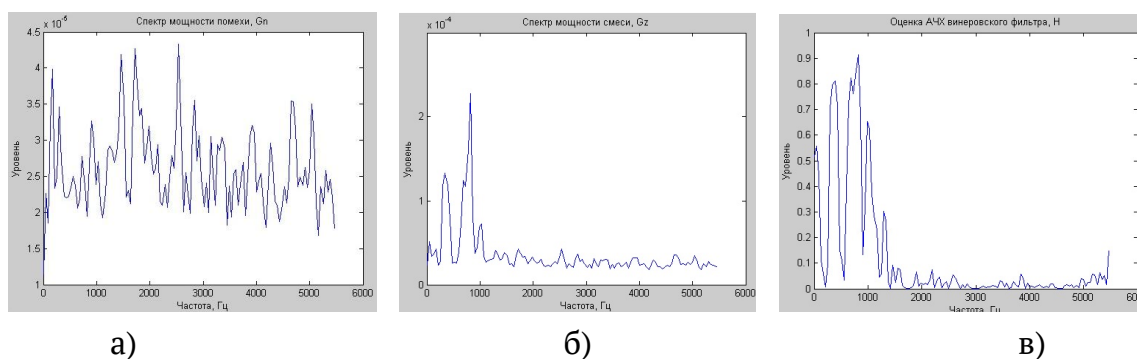


а) б)
Рисунок 1 – Порівняльні експериментальні дані:
а) – вихідний сигнал; б) – зашумлений сигнал

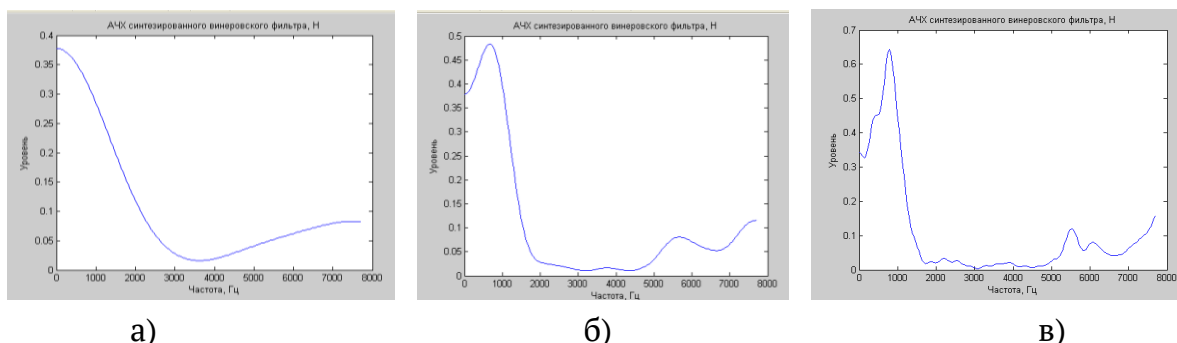
У подальшому розглянемо спектральні характеристики сигналу та обчислимо спектри суміші $G_z(f)$ й перешкоди $G_n(f)$ (рис. 2).

На рис. 3 представлено графіки апроксимації фільтру Вінера (34, 100, 250 порядків).

Як видно, найкраще наближення дає 250 порядок, для якого побудуємо графіки фільтрації (рис. 4).



а) б) в)
Рисунок 2 – Графіки оцінок суміші $G_z(f)$ й перешкоди $G_n(f)$.:
а) оцінка спектрів потужності перешкоди та суміші; б) оцінка АЧХ фільтру;
в) оцінка необхідної АЧХ фільтру Вінера



а) б) в)
Рисунок 3 – Залежність часу обчислень від розмірності матриці:
а) апроксимація АЧХ (34 порядок); б) апроксимація АЧХ (100 порядок);
в) апроксимація АЧХ (250 порядок)

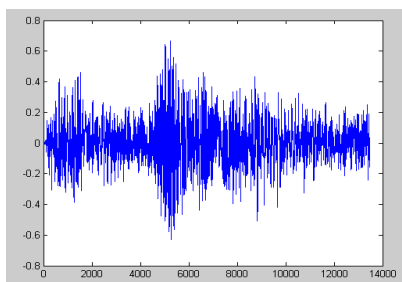


Рисунок 4 – Результат фільтрації

Результат далекий від ідеалу, тому що сигнал погано сприймається на слух [5]. Для того, аби покращити фільтрацію можна використати адаптивну фільтрацію. Вхідний сигнал є загальним для досліджуваної системи та для адаптивного фільтра. Він служить для адаптивного фільтру зразковим сигналом. Процес адаптації – тимчасовий, а частотні характеристики фільтру прагнуть до відповідних характеристик системи. Вихідний сигнал системи надходить на вхід адаптивного фільтру і є зразком для адаптивного фільтру.

Простежимо, як адаптивний фільтр використовує інформацію, для формування вихідних сигналів [6, 7].

Варіанти схем адаптивних фільтрів представлено на рис. 5.

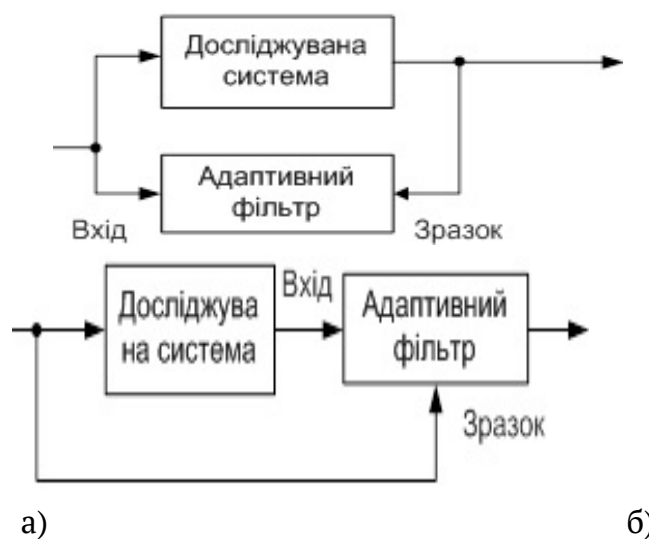


Рисунок 5 – Схеми адаптивних фільтрів:
а) прямий фільтр; б) зворотній фільтр

Адаптивний фільтр має два входи: на один вхід подається сигнал із входу досліджуваної системи, а на другий – з виходу. Таким чином, адаптивний фільтр має достатньо інформації щодо характеристик досліджуваної системи.

Далі простежимо, як адаптивний фільтр формує вихідний сигнал. Для цьо-

го забезпечимо оператора системою мовного зв'язку. Мікрофон сприймає мовний сигнал, який неминує є сильно зашумленим. Цей шум не можливо зняти з мовного сигналу, але можливо використовувати інший, контрольний мікрофон, як показано на загальній схемі (рис. 6). Ця схема фільтрує та перетворює різні спотворення [3, 5, 6].

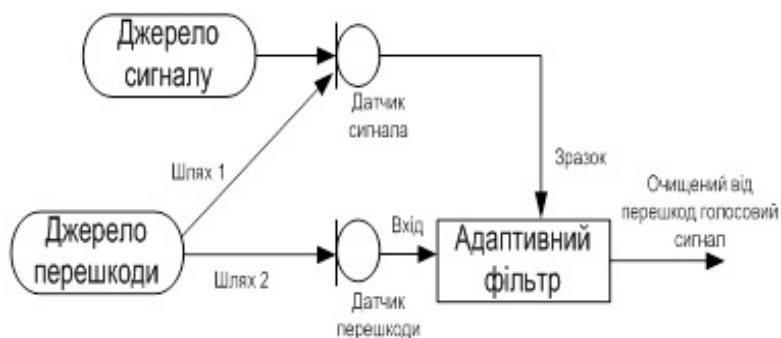


Рисунок 6 – Структурна схема придушення шуму з використанням адаптивного фільтру

Випадкові шумові процеси, які сприймають два мікрофони будуть корельованими. Вони виходять із загального джерела, а шумовий сигнал не корелюється з корисним мовним сигналом.

Проаналізувавши рис. 5 і рис. 6, приходимо до висновку, що за допомогою адаптивного фільтру можна вирішити завдання прямої ідентифікації «досліджуваної системи». Ця ідентифікація дає можливість перетворити шум на шляху від джерела шуму до датчику сигналу («шлях 1»).

«Головний» вхідний сигнал – це сигнально-шумова суміш з виходу основного мікрофона, а шум з виходу додаткового мікрофона – «допоміжний». Шумовий сигнал від додаткового мікрофона (рис. 6) можна назвати «вхідним» (input) По-іншому його називають «опорний», в американській літературі – reference.

Відмітимо, що адаптивний фільтр намагається перетворити вхідний сигнал якнайближче до зразка. Оскільки в вхідному сигналі фільтра корельована лише шумова складова зразкового сигналу у режимі, що встановився, то на виході фільтра буде виходити оцінка шуму, що присутня в зразковому сигналі. Цей вихідний сигнал, потрібний лише як допоміжний засіб для одержання другого вихідного сигналу, так званого сигналу «помилки». Він розраховується як різниця між зразковим сигналом та вихідним сигналом адаптивного фільтру.

«Помилка» – це очищений від шуму мовний сигнал. Таким чином, адаптивний фільтр, крім двох входів, повинен мати два виходи. За поставленим за-

вданням, «головним» вихідним сигналом є очищений від шумів мовний сигнал. Він є різницеvim (різниця між зразковим сигналом і другим вихідним сигналом адаптивного фільтра)

Другий вихідний сигнал адаптивного фільтра є «допоміжним». Він виконує роль оцінки шуму, який маскує мовний сигнал. Цей сигнал будемо називати «шумом, наведеним до входу головного мікрофона» $y(k)$, його знімають з виходу керованого фільтра, також цей сигнал можливо визначити як «вихідний сигнал» або, output.

Структурна схема адаптивного фільтра представлена на рис. 7. Сам фільтр складається з трьох компонентів: фільтр, що перебудовується, блок (алгоритм) адаптації, керуючий параметрами фільтра, а також блок розрахунку.

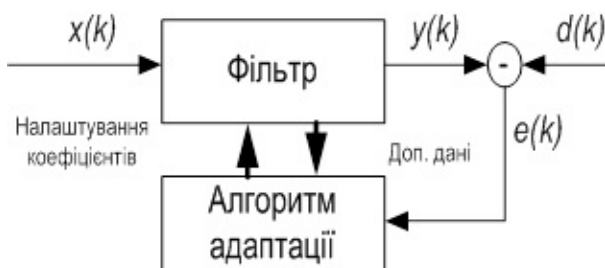


Рисунок 7 – Структура адаптивного фільтра

Опорний шумовий сигнал $x(k)$ обробляється фільтром. Після обробки в результаті виходить вихідний сигнал $y(k)$, який порівнюється зі зразковим сигналом $d(k)$. Різницю між ними утворює сигнал помилки $e(k)$. Основна задача адаптивного фільтра полягає у мінімізації помилок відтворення зразкового сигналу. Блок адаптації після обробки кожного відліку аналізує сигнал помилки. Додаткові дані, що надходять із фільтра, використовують як результати для аналізу та підстроювання параметрів (коефіцієнтів) фільтра.

Існує ще один варіант адаптації, при якому опорний шумовий сигнал не використовується. Цей режим роботи називається сліпою адаптацією (blind adaptation) або навчанням без вчителя (unsupervised learning). Тоді, у цьому випадку потрібно деяка інформація про структуру корисного вхідного сигналу (наприклад, знання типу й параметрів використовуваної модуляції). Сліпа адаптація є більш складним обчислювальним завданням, ніж адаптація з використанням зразкового сигналу.

Відмітимо, що фільтр, який показано на рис. 7, використовують найчастіше. Однією з переваг цього варіанта є стійкість при будь-яких значеннях коефіцієнтів. Проте алгоритм адаптації вносить до системи зворотний зв'язок. То-

ді адаптивна система в цілому може стати нестійкою.

Висновки. В роботі виконано вирішення задач фільтрації голосових даних системи моделювання контролю «людина-оператор» на основі невербальних екстралінгвістичних характеристик для імітаційного моделювання систем контролю ПФС людини. Проаналізовано методи фільтрації голосу оператора для оцінки ПФС людини на основі невербальних екстралінгвістичних характеристик.

Представлено фільтрацію на базі фільтру Вінера, розглянуто структурні схеми ідентифікації з використанням адаптивних фільтрів, схема придушення шуму з використанням адаптивного фільтру та схема для адаптивної фільтрації голосових команд оператора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корнацький В.М. Проблеми здоров'я суспільства та продовження життя / В.М.Корнацький. – К: Інститут кардіології ім. М.Д.Стражеска, 2006. – 46 с.
2. Шрюфер Е. Обробка сигналів. Цифрова обробка дискретизованих сигналів / Е.Шрюфер. – К: Либідь, 1992. – 294 с.
3. Бойко В.І. Стохастика електронних систем / В.І.Бойко. – К., 2007. – 380 с.
4. Бацевич Ф.С. Основи комунікативної лінгвістики: підручник / Ф.С.Бацевич. – К.: Вид. центр «Академія», 2004. – 344 с.
5. Мацько Л.І. Риторика: навч. пос. / Л.І.Мацько, О.М.Сидоренко, О.М.Мацько. – К.: Вища школа, 2003. – 311 с.
6. Chaudhari M. Study of Smart Sensors and their Applications / M.Chaudhari, S.Dharavath // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. – Vol.3, №1.
7. Antsiperov V.E. Multiscale correlation analysis of real medical and biological signals and their graphical-based representation / V.E.Antsiperov, Y.V.Obukhov // Proceedings of VIII International scientific conference «Physics and radioelectronics in medicine and ecology FREME'2008». – 2008. – Vol.1. – P.180-184.
8. Gupta V. A Study of Various Face Detection Methods / V.Gupta // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. – Vol.3, №5. – p.6694-6697.
9. Heikkilä M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects / M.Heikkilä, M.Pietikäinen // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2006. – №28(4). – C.657-662.
10. Heikkil M. Description of Interest Regions with Center-Symmetric Local Binary Patterns / M.Heikkil, M.Pietikainen, C.Schmid // ICVGIP 2006. – p.58-69.

REFERENCES

1. Kornatskyi V.M. Problemy zdorovia suspilstva ta prodovzhennia zhyttia / V.M.Kornatskyi. – K: Instytut kardiologii im. M.D.Strazheska, 2006. – 46 s.
2. Shriufer E. Obrobka syhnaliv. Tsyfrova obrobka dyskretyzovanykh syhnaliv / E.Shriufer. – K: Lybid, 1992. – 294 s.
3. Boiko V.I. Stokhastyka elektronnykh system / V.I.Boiko. – K., 2007. – 380 s.
4. Batsevych F.S. Osnovy komunikativnoi linhvistyky: pidruchnyk / F.S.Batsevych. – K.: Vyd. tsestr «Akademiia», 2004. – 344 s.
5. Matsko L.I. Rytoryka: navch. pos. / L.I.Matsko, O.M.Sydorenko, O.M.Matsko. – K.: Vyshcha shkola, 2003. – 311 s.
6. Chaudhari M. Study of Smart Sensors and their Applications / M.Chaudhari, S.Dharavath // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. – Vol.3, №1.
7. Antsiperov V.E. Multiscale correlation analysis of real medical and biological signals and their graphical-based representation / V.E.Antsiperov, Y.V.Obukhov // Proceedings of VIII International scientific conference «Physics and radioelectronics in medicine and ecology FREME'2008». – 2008. – Vol.1. – P.180-184.
8. Gupta V. A Study of Various Face Detection Methods / V.Gupta // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. – Vol.3, №5. – p.6694-6697.
9. Heikkilä M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects / M.Heikkilä, M.Pietikäinen // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2006. – №28(4). – C.657-662.
10. Heikkil M. Description of Interest Regions with Center-Symmetric Local Binary Patterns / M.Heikkil, M.Pietikainen, C.Schmid // ICVGIP 2006. – p.58-69.

Received 03.01.2024.

Accepted 08.01.2024.

Simulation modeling of the system of managing the psychophysiological state of a person based on non-verbal extralinguistic characteristics

Today, when artificial intelligence systems are being created, the time of constant dialogue between humans and computer, there is a great demand for intelligent control systems and human-machine systems. These systems are very complex and require analysis and research. The publication is devoted to the simulation computer modeling of control of the psychological and physical state of a person.

The basis of the human-computer dialogue system is the speech-to-text conversion system. The use of this system is the basis for the creation of computer language control systems. Unlike systems that work on the principle of identifying a single user response to a request and a proposal or a question from a password database, it is necessary to expand the language interface of the computer. It is necessary for the computer to accept

commands from the operator and execute them only if the voice and its timbre match those registered in the database. Such a system will allow you to differentiate access to the computer and ensure security for the user, preserve his privacy or save his personal data. After analyzing the speech activity of the operator, it became clear that it was necessary to develop a system of command control and «speech-to-text» conversion in the fused speech stream. This task is solved by comparing the words of the commands and is part of the problem of automatic recognition and understanding of the operator's human language.

On the basis of such systems, a computer language control system can be created. The analysis has shown that unlike text-dependent identification systems, systems with a dialog method implement not only a one-time operator response to a query or question from the password database, but also the extension of its full-fledged language interface.

The computer receives commands from the operator and executes them only if the voice matches the one registered in the database. This analysis is effective in the context of real-life speech activity of the operator. The literature review showed that for the development of systems of command control and "speech-to-text" transformation in a stream of fused speech, it is necessary to use "mechanisms" of automatic recognition and understanding of the operator's language.

Багрій Віктор Васильович – к.т.н., доцент кафедри електроніки та електронних комунікацій, Дніпровський державний технічний університет; vvbagry@ukr.net; ORCID 0000-0001-8817-9217.

Волошин Руслан Віталійович – старший викладач кафедри електроніки та електронних комунікацій, Дніпровський державний технічний університет; volosinruslan4276@gmail.com; ORCID 0009-0002-0567-8630.

Жульковський Олег Олександрович – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення систем, Дніпровський державний технічний університет; olalzh@ukr.net; ORCID 0000-0003-0910-1150.

Ульяновська Юлія Вікторівна – к.т.н., завідувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення, Університет митної справи та фінансів; yuliyauyv@gmail.com; ORCID 0000-0001-5945-5251.

Bagriy Viktor – PhD, Associate Professor of Department of Electronics and Electronic Communications, Dniprovsky State Technical University.

Voloshin Ruslan – Senior Lecturer of Department of Electronics and Electronic Communications, Dniprovsky State Technical University.

Zhulkovskyi Oleg – PhD, Associate Professor of Department of Software Systems, Dniprovsky State Technical University.

Ulianovska Yuliia – PhD, Head of Department of Computer Science and Software Engineering, University of Customs and Finance.