

В. М. Заяць*, М.М. Заяць

*Львівський державний інститут новітніх технологій та управління імені В. Чорновола, кафедра інформаційно-комп'ютерних технологій та систем, Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційних систем і мереж

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ КОЛИВНИХ СИСТЕМ

© Заяць В.М., Заяць М.М., 2008

Описано побудовану систему розпізнавання користувачів комп'ютера за допомогою дискретної моделі, що зв'язує часові затримки при введенні інформації з клавіатури комп'ютера у дискретні відліки часу. Це підвищило ефективність розпізнавання майже в 1,5 рази та автоматизувало процедуру ідентифікації користувачів. Зазначено основні напрямки розвитку та застосування систем розпізнавання та ідентифікації, створених на основі дискретних моделей.

In the article the description of the built system of computer users recognition is offered by means discrete model, that relations the sentinel delays at entered information from a keyboard in the to discrete moment of time. It allowed to increase efficiency of recognition almost in 1,5 time and automates procedure of authentication of users. The main directions of development and application of the systems of recognition and identification created on the basis of discrete models are marked.

Постановка проблеми

Виникненню і розвитку теорії неперервних та дискретних моделей коливних систем значною мірою сприяли відомі роботи Ван-дер-Поля, А.А. Андропова, С.Е. Хайкіна [1–3], які ґрунтуються на методі повільнозмінних амплітуд [3]. Оскільки отримані при такому підході рівняння наближені, то ряд для таких ефектів, як генерація на квазігармоніках, хаотичні рухи біфуркаційних значень параметрів, при яких відбувається зміна динаміки системи, не було виявлено. В роботах [5 – 7, 9 – 10] розроблено підхід до побудови універсальної дискретної моделі для дослідження цих явищ. Зазначимо, що модель побудовано так, щоб мати можливість знайти точний розв'язок як для амплітуди, так і для частоти коливань у вигляді гармонійного сигналу, оскільки вихід за межі гармонійного процесу приводить до надмірно громіздких перетворень [2] навіть у найпростіших випадках [4]. При цьому у таких моделях (при виборі різних нелінійних функцій при формуванні матриці переходу станів) можуть виникати та існувати динамічні режими різного порядку складності, що підтверджено результатами комп'ютерного моделювання. Для запропонованого класу моделей проведено аналіз та комп'ютерне моделювання гармонічних, квазігармонічних коливань та рухів, близьких до хаотичних, і досліджено умови стійкості цих режимів [4, 8].

При створенні реальних пристроїв, дослідженні фізичних явищ чи процесів, побудові систем розпізнавання та ідентифікації, що мають бажані характеристики інформаційного сигналу, доцільно провести їх аналіз та комп'ютерне моделювання шляхом створення математичної моделі об'єкта, що розробляється. Такий підхід вимагає значно менших часових і технічних засобів порівняно з фізичним експериментом, особливо на попередній стадії розробки, коли пристрій, що розробляється, відсутній.

Останнім часом в нелінійній динаміці широко застосовують дискретні моделі систем [5–9], для яких дискретність закладено в природі самого об'єкта досліджень, а не є наслідком дискретизації неперервної системи. Доцільність використання дискретних за своєю природою моделей пояснюється такими їх особливостями:

- простотою математичного опису порівняно з неперервними моделями;
- наявністю суттєво ширшого спектра динамічних режимів, порівняно з відомими моделями;
- нескінченною вимірністю, що дає змогу моделювати кожен нову гармоніку шляхом її введення у вектор змінних стану, тоді як для неперервних систем для розв'язання цієї задачі необхідно підвищувати розмірність системи;
- відсутністю необхідності визначення оптимального кроку дискретизації, оцінки локальної і глобальної похибки чисельних методів, дослідження областей стійкості та синхронізації;
- адаптованістю до постановки комп'ютерного експерименту.

Власне моделі, дискретні за своєю природою, є застосовні як до побудови пристроїв, що мають бажані режими, так і до розпізнавання та ідентифікації таких режимів у системах зі складною динамікою і поведінкою, що дасть змогу підвищити ефективність їх роботи.

Цілі статті

Метою статті є застосування дискретних моделей до опису автоматизованої комп'ютерної системи розпізнавання та достовірної ідентифікації користувача комп'ютера, алгоритм побудови якої наведено у статті [11], з метою підвищення точності розпізнавання та забезпечення автоматизації процесу ідентифікації користувачів. У роботі також визначено перспективні напрямки розвитку систем розпізнавання складних динамічних процесів на основі дискретних моделей та напрямки їх доцільного застосування.

Виклад основного матеріалу

Аналіз основних результатів. При створенні систем розпізнавання об'єктів та їх достовірної ідентифікації необхідний системний підхід, суть якого полягає у формуванні первинних ознак про об'єкт розпізнавання, встановленню їх пріоритету та визначенню, вибору або розробленню та реалізації надійних критеріїв розпізнавання та достовірної ідентифікації об'єктів та процесів.

Перші дослідження у галузі розпізнавання в нашій країні проводилися А.А. Харкевичем [14] – одним з основоположників та фундаторів теорії інформації та сигналів. Значний внесок у розвиток теорії розпізнавання зробили В.М. Глушков, В.С. Міхалевич, О.Г. Івахненко, Ю.І. Журавльов, Я.З. Ципкін, В.І. Васильєв. Серед іноземних вчених треба згадати Ф. Розенблатта, який у 1957 р. запропонував машину, яка навчалася розпізнавати образи і називалася перцептроном (в перекладі з англійської мови “to perccept” – сприймати). Це була найпростіша модель діяльності людського мозку. Значний вклад у подальший розвиток теорії розпізнавання образів зробили У. Гарднер, Р. Дуда, Г. Себастьян, Дж. Ту, К. Фу, П. Харт, С. Ватанабе та інші.

Перші роботи з розпізнавання образів було присвячено теорії і практиці побудови читальних автоматів (під образом розумівся знак, зображення, буква або цифра). Математичним апаратом для розв'язання задач розпізнавання з моменту їх виникнення була теорія статистичних розв'язків [15].

Сьогодні результати теорії статистичних розв'язків стали базою для побудови алгоритмів розпізнавання, які забезпечували віднесення об'єкта до його класу на підставі експериментальних апостеріорних даних – ознак, що характеризують об'єкт та апріорних даних, що описують класи об'єктів. Пізніше математичний апарат розширився за рахунок використання методів алгебри логіки і деяких розділів прикладної математики, теорії інформації, математичного програмування і системотехніки [16–17].

Незважаючи на те, що методи і алгоритми розпізнавання все більшою мірою стають невід'ємною складовою таких прикладних галузей природознавства, як медична і технічна діагностика, ідентифікація складних коливних процесів, екологічний моніторинг та соціальна інформатика, метеорологічне прогнозування і геологічна розвідка, локаційні засоби спостереження та системи введення і виведення текстової, графічної та мовної інформації в комп'ютер [9],

інтелектуальні системи прийняття рішень в літературі – як у вітчизняній, так і в іноземній – системний підхід до задач розпізнавання поки що відсутній.

Сьогодні, як і 50 років тому, проблема розпізнавання значною мірою ототожнюється з побудовою оптимальних алгоритмів розпізнавання та дослідженням умов, які дають змогу реалізувати такий алгоритм. Дослідження теоретиків орієнтуються на розв'язання хоча й важливих, але часткових задач. До таких задач у першу чергу треба віднести задачі достовірного розпізнавання, суть яких зводиться до поділу простору ознак, мовою яких описуються об'єкти чи процеси розпізнавання, на області, що відповідають класам цих об'єктів, тобто до вибору найкращих границь (правил) розділення класів. Але розв'язання цих задач можливе тоді, коли апріорі відомі класи об'єктів і ознаки, мовою яких описуються розпізнавані об'єкти та їх класи. Однак розробник системи розпізнавання, як правило, не володіє цією інформацією. Навіть в найпростіших випадках розпізнавання букв алфавіту, відбитків пальців, слів мови, екстремумів та особливих точок функцій (де не виникає питання про класи), їхні інформативні ознаки та апаратура для визначення не є відомими – це є предметом нетрадиційних досліджень.

Чому ж тоді задачам опису класів мовою ознак і побудови оптимальних алгоритмів розпізнавання приділяється стільки уваги?

По-перше, тому, що ці задачі порівняно легко піддаються формальному і аналітичному розв'язанню, що й визначає їх привабливість для дослідників. По-друге, значна частина дослідників обмежує свою діяльність лише теоретичними дослідженнями. По-третє, традиційно вважається, що системи розпізнавання є автономними. У деяких часткових задачах це виправдано, хоча в загальному випадку таке формулювання питання не є правомірним. Адже і в системах технічної та медичної діагностики, в автоматизованих системах управління виробництвом, розпізнавання дефектів механізмів і машин, визначення діагнозу пацієнта, розпізнавання складних коливних режимів класифікація виробничих ситуацій не є самоціллю. Їх розпізнавання необхідне для отримання вихідної інформації для управлінської системи з метою прийняття керівних рішень, адекватних результатам розпізнавання невідомих об'єктів, явищ, ситуацій, станів.

Можна стверджувати, що достовірне розпізнавання ситуацій не є достатньою умовою потенційно можливої ефективності системи управління. Але це є необхідна умова. Важко уявити, що лікар, який поставив неправильний діагноз, знайде правильний метод лікування чи невиявлення нестійких коливних режимів забезпечить надійну роботу технічного пристрою.

Під час розроблення будь-яких систем розпізнавання необхідний системний підхід, суть якого полягає в тому, щоб в умовах неминучих фінансових і технічних обмежень система розпізнавання забезпечила системі управління потенційно можливу ефективність. Вибору чи створенню критеріїв розпізнавання повинна передувати процедура вимірювання первинних ознак про процес розпізнавання, встановлення пріоритету цих ознак та їх впливу на інтегральні характеристики досліджуваного процесу чи об'єкта. З математичного погляду опис такої системи має забезпечувати мінімальну похибку розпізнавання та достовірну ідентифікацію об'єкта розпізнавання за певними ознаками та критеріями прийняття рішення.

Метод ідентифікації користувача шляхом виділення дискретних інформативних ознак. Суть методу полягає у тому, щоб забезпечити процедуру розпізнавання конкретного користувача під час його роботи за клавіатурою комп'ютера. Деякі загальні міркування щодо створення такої системи подані в роботі [17].

Очевидно, для організації процесу розпізнавання у пам'ять комп'ютера необхідно ввести текст (зразок) кожного із об'єктів розпізнавання. За відсутності зразка об'єкт не розпізнається або пропонується створити новий клас об'єктів шляхом задання зразка почерку (це можна використати для забезпечення санкціонованого доступу до ресурсів комп'ютера). Паралельно при створенні зразка за рукомоторними ознаками об'єкта формується інформаційна модель об'єкта шляхом визначення функцій розподілу часових затримок при введенні інформації в комп'ютер. Як первинні ознаки об'єкта використано різні часові затримки під час роботи об'єкта за клавіатурою комп'ютера. Встановити пріоритет кожної із первинних ознак можна експериментально, що

запропоновано в роботі [19]. При ідентифікації об'єкта знову реалізуємо процедуру вибору або розроблення критеріїв прийняття рішення і на основі цих критеріїв [15] і приймаємо рішення про віднесення об'єкта до певного класу. У випадку неоднозначного рішення можна застосувати функції відстані (детермінований підхід) і однозначно обрати клас (з найменшим середньо-квадратичним відхиленням ознак). Зазначимо, що різні інформаційні ознаки можуть мати різний пріоритет, який також можна встановити експериментально. З метою підвищення ефективності системи доцільно відсікати недетерміновані хаотичні рухи руки особи шляхом попередньої фільтрації інформації, що вводиться користувачем в режимі реального часу, створюючи тим самим неперервні послідовності (набори) символів.

У роботах [11–13] сформульовано і проаналізовано велику кількість характеристик. Наведемо лише найбільш інформативні та доступні для швидкого формування. Отже, для побудови системи розпізнавання особи за її рукомоторними реакціями було обрано такі характеристики:

1) відносна девіація паузи перед клавішем – розподіл відносних відхилень паузи перед певним клавішем до середнього значення паузи перед всіма клавішами у певній неперервній послідовності набору

$$DevB = \frac{t_i - t_{cp}}{t_{cp}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де t_i – тривалість паузи перед i -м клавішем, t_{cp} – середня тривалість паузи перед клавішами у послідовності набраного тексту.

2) відносна девіація утримання клавіша – розподіл відносних відхилень тривалості утримання натиснутим цього клавіша до середньої тривалості утримання клавіша у цій неперервній послідовності

$$DevP = \frac{t_i - t_{cp}}{t_{cp}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Приклад такого розподілу зображено на рис. 1. На осі абсцис відкладено відносні відхилення у відсотках, а на осі ординат – відносну частоту потраплянь до відповідного інтервалу відхилень.

3) відносна девіація паузи після клавіша аналогічна попередній характеристиці:

$$DevA = \frac{t_i - t_{cp}}{t_{cp}} \cdot 100\% . \quad (3)$$

- 4) відношення величини паузи перед клавішем до тривалості утримання клавіша;
- 5) відношення величини паузи перед клавішем до величини паузи після клавіша;
- 6) відношення величини паузи після клавіша до тривалості утримання клавіша;
- 7) розподіл частот використання клавіш зміни регістру.

Загалом у роботі [11] розглянуто 18 характеристик, але найінформативнішими є вищенаведені.

Характеристики 1–6 формуються для кожного клавіша, що був задіяний у наборі. Щоби спростити балансування важливості характеристик, при побудові системи прийнято рішення об'єднати перші шість характеристик у групи, оскільки це значно зменшує їх кількість (а в межах групи можна розгадати їх як еквівалентні). На спосіб групування характеристик безпосередньо впливає обраний метод їх зіставлення.

У першому варіанті побудови системи розпізнавання для реалізації процедури ідентифікації було використано функції відстані. Оскільки вага характеристик кожної групи могла бути різною, то відстані обчислювались окремо за кожною з групою характеристик. Відстань між класами Ω і Z у межах кожної групи характеристик обчислюється за формулою середньоквадратичного відхилення:

$$Dist(\lambda) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (m_i^{\Omega} - m_i^Z)^2} \quad (4)$$

де m_i – середнє значення вибірки i -ї характеристики цієї групи класу Ω , $Dist(\lambda)$ – відстань між класами за групою характеристик λ .



Рис. 1. Розподіл відносних відхилень тривалості утримання клавiша натиснутим

Відстані вимірюються між середніми значеннями, оскільки середнє можна оцінити вже після відносно невеликої кількості дослідів (10–20), що є важливим для зменшення обсягу тексту, що набирається об'єктами розпізнавання.

Групи характеристик 1–6 не еквівалентні за якістю рішень, що приймаються на їх основі. Перед об'єднанням результатів для прийняття рішення щодо розпізнавання необхідно збалансувати ваги груп між собою. Баланс характеристик здійснений обернено пропорційно ймовірностям допустити помилку другого роду (коли два об'єкти різних класів розпізнаються як такі, що належать до одного класу) за кожною з груп характеристик зокрема: $1/p_1: 1/p_2: 1/p_3: 1/p_4: 1/p_5: 1/p_6: 1/p_7$. Експериментально було отримано відношення ваг груп 1–7 як 4:12:8:6:5:2:6 відповідно. Недоліком системи на основі функцій відстані є те, що вона принципово не може визначити ймовірність правильності або неправильності рішення щодо розпізнавання. Кожний сторонній користувач буде схожий на того чи іншого зареєстрованого користувача системи.

Розроблений другий варіант побудови системи розпізнавання ґрунтується на використанні методу довірчих інтервалів. Для перевірки гіпотези про приналежність пари об'єктів одному класу перевіряються гіпотези про рівність середніх значень розподілів [17] всіх характеристик кожної групи. Для цього обчислюються значення середнього a та вибіркового стандарту s за формулами:

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2} \quad (6)$$

Для розрахунку довірчих інтервалів враховується закон розподілу середнього значення:

$$f(x_{cp}) = \frac{\sqrt{n}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-n(x_{cp} - x_0)/(2\sigma^2)} \quad (7)$$

Для вибірок малого обсягу оцінка середнього значення уточнюється за допомогою розподілу Стьюдента [18], за яким розподілена величина $u = \frac{a - m}{s_{cp}}$. Його густина розподілу задається формулою:

$$S(u, n) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \sqrt{\pi \cdot n}} \cdot \left(1 + \frac{u^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}. \quad (8)$$

Нехай при порівнянні пари відповідних розподілів ми припускаємо помилку першого роду P_α , а всього порівнюємо N таких пар. Отже, логічно припустити, що інтегральна характеристика групи класу і об'єкта збігається з ймовірністю $\geq 1 - P_\alpha$, якщо кількість непідтверджених гіпотез N_α не перевищує числа $P_\alpha \cdot N$; у іншому випадку вважаємо, що об'єкт не належить класу. Такого типу (так/ні) результат ми отримуємо для кожної з шести груп характеристик. Як і у випадку системи на основі функції відстані, ці групи не еквівалентні за якістю рішень, що приймаються на їх основі. Кожна з них має свою ймовірність помилки другого роду.

На основі практичних експериментів з розпізнавання з кожною групою характеристик досліджувалися помилки другого роду. Окремі гіпотези система перевіряла з рівнем значущості $\alpha = 0,05$. Так було отримано ймовірності помилок другого роду 35%, 13%, 20%, 27%, 32%, 78%. Отримані ймовірності помилок були отримані для порівняно невеликої кількості експериментів з ідентифікації (105 експериментів). Для великої групи людей ймовірності помилок можуть дещо відрізнятись від наведених.

При тестуванні розробленої системи на досліджуваних об'єктах було припущено лише одну помилку на 22 проведені розпізнавання (запропоновано два схожі на об'єкт класи, один серед яких був правильний).

Комп'ютерна система розпізнавання користувача за його рукомоторними реакціями. У розробленій комп'ютерній системі передбачено роботу у режимі користувача та адміністратора. Робота з системою починається з входження в головне меню. У ньому можна вибрати режим адміністратора, користувача або завершити роботу.

У режимі користувача відкривається нове діалогове вікно. Користувачу пропонується виконати набір декількох речень завдання. Якщо користувач зареєстрований у системі, то після набору 5–8 речень завдання система розпізнає його і виведе на екран відповідне повідомлення з прізвищем та ім'ям користувача. Інакше йому доведеться набрати 15–20 речень, після чого система (без повідомлень) автоматично зареєструє користувача як стороннього і повідомить його, що він не має права входу в систему і мусить звернутися до адміністратора для реєстрації. Для зручності система дозволяє за бажанням користувача введення довільного тексту. Користувач також може увімкнути режим прихованого тексту для захисту вхідної інформації від стороннього спостерігача. У режимі адміністратора адміністратор входить в систему за допомогою звичайного паролю. Цей режим передбачає контроль за роботою користувачів.

Система веде журнал (рис. 2) із записами дати і часу запуску системи, входу і виходу користувачів, також протоколює важливі дії адміністратора (вхід, реєстрація, редагування, видалення користувачів). За бажанням адміністратор може очистити журнал.

На сторінці «Список користувачів» адміністратор може реєструвати/редагувати (виправляти, змінювати, видаляти, додавати) користувачів. Сторінка "Перегляд характеристик" (рис. 3) створена для першого знайомства, візуального контролю і аналізу та вивчення рукомоторних характеристик.

На ній можемо вибрати користувача, тип характеристики, клавіш і подивитись одну з гістограм. На сторінці «Додаткові параметри» можна отримати числові значення математичного сподівання, дисперсії, середнього квадратичного та моди для кожної неперервної послідовності літер, що вводяться у комп'ютер у реальному режимі часу.

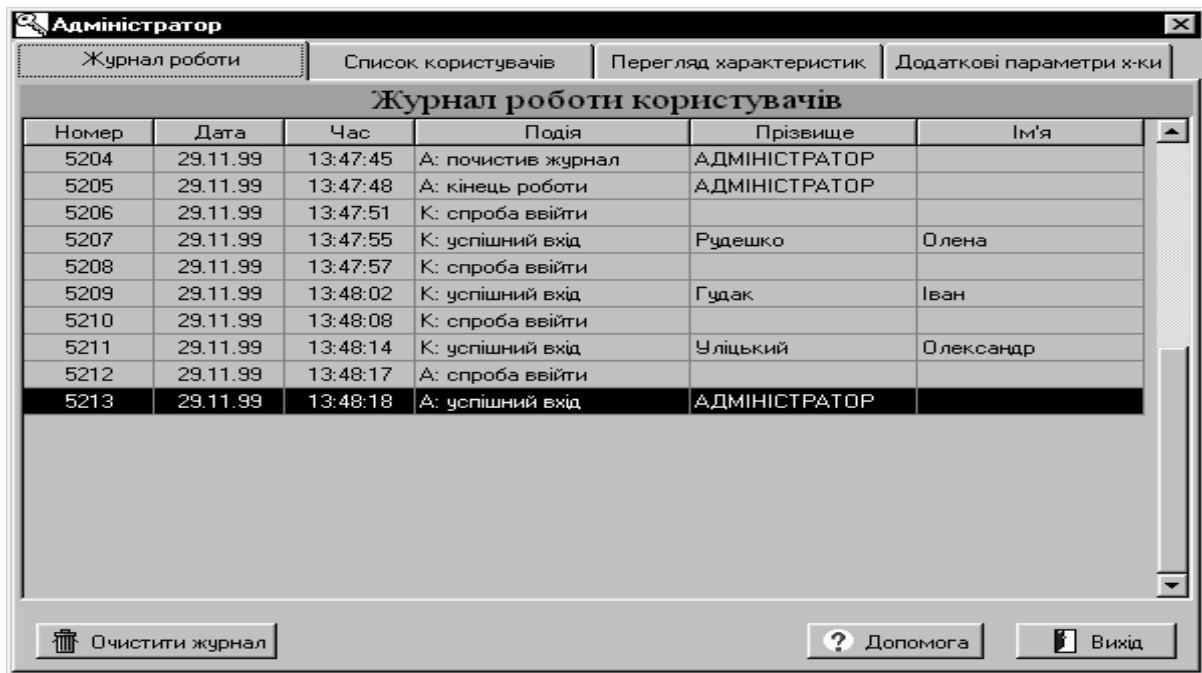


Рис. 2. Журнал роботи адміністратора



Рис. 3. Перегляд характеристик при введенні літер користувачем

Експериментальну версію системи написано мовою програмування Delphi 7.0. Схему роботи системи розпізнавання наведено на рис. 4.

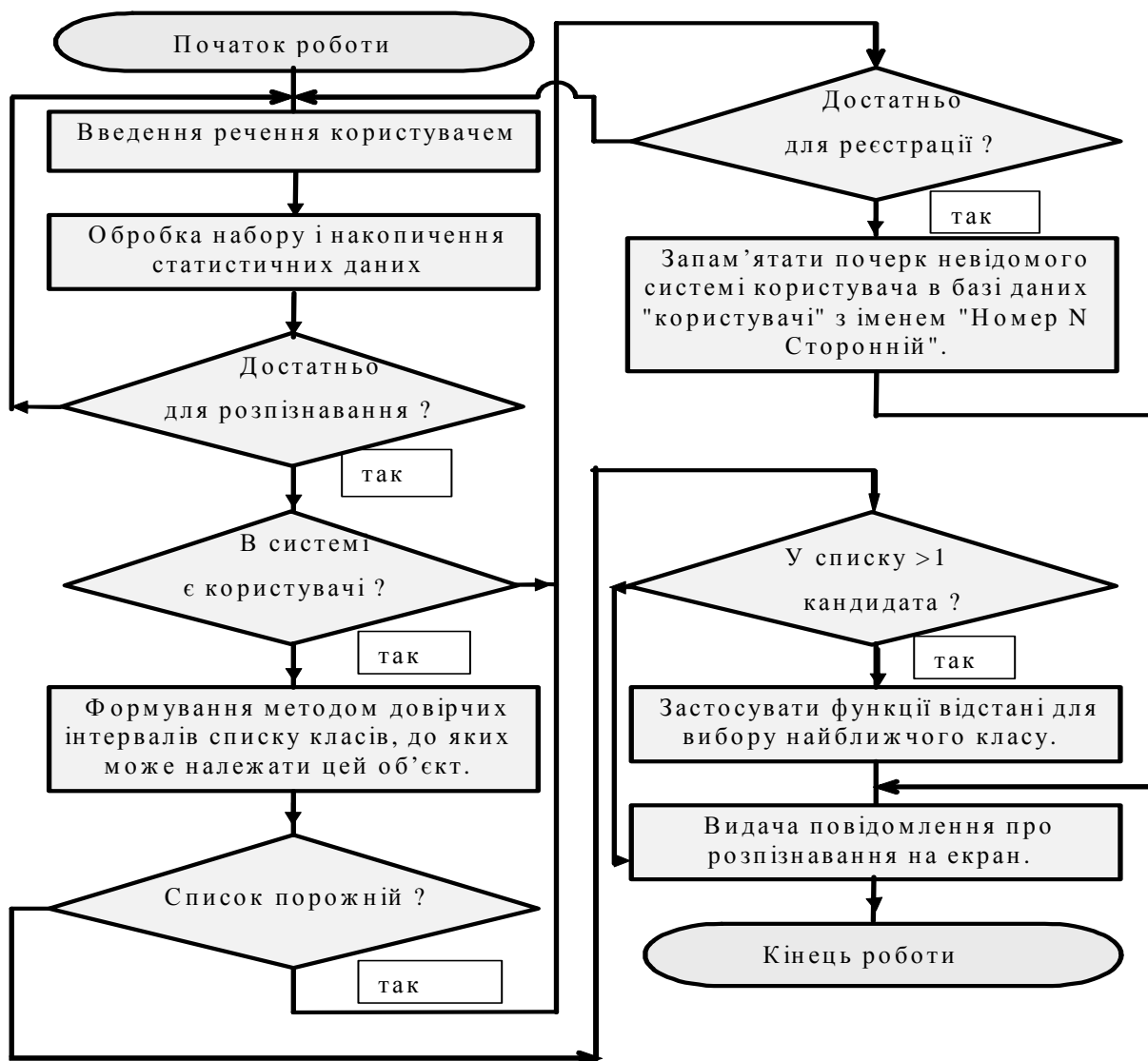


Рис. 4. Схема роботи автоматизованої системи розпізнавання користувача комп'ютера

Наближена оцінка помилки прийняти об'єкт одного класу за об'єкт іншого не перевищує 35% за наявності 112-ти зареєстрованих у системі класів.

Система розпізнає зареєстрованого користувача після набору ним 5–8 речень по 60 знаків кожне, тобто після введення 300–500 знаків. При достатній кваліфікації користувача (швидкість набору тексту 200 знаків за хвилину) система розпізнає користувача, який набирає замість завдання довільний текст. У ряді випадків зареєстровано розпізнавання особи при наборі тексту англійською мовою. Це характерно для висококваліфікованого користувача (швидкість набору тексту понад 300 символів за хвилину), коли ймовірність хаотичних рухів руки від усталеного часового режиму є малоімовірною.

Підхід до опису системи розпізнавання користувача комп'ютера на основі дискретної моделі. Запропонований підхід для побудови дискретних моделей коливних процесів зі складною структурою, запропонований в роботах [6–8], можна застосувати до опису коливної системи будь-якої природи за умови, що її стани характеризуються дискретними ознаками. Для довільної кількості ознак N маємо N -вимірний вектор змінних стану, а матрицю переходу станів A будемо так, щоб її визначник дорівнював одиниці. Найпростіше це можна зробити, якщо $N - 2$ рядки

матриці мають одиниці на головній діагоналі, а позадіагональні елементи дорівнюють нулю. При цьому останні два рядки цієї матриці є комбінацією гармонічних функцій початкової фази φ

$$A(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Тоді амплітуді коливань відповідатиме середньоквадратичне значення N -вимірного вектора змінних стану, яке може бути обчислене із завданням конкретного набору функцій f . Як засвідчує аналіз дискретної моделі в роботі [20], з введенням в матрицю переходу станів (9) N -мірного вектора станів період при цьому знову може бути оцінений на основі формули (10). Ефективність такого підходу до опису наведеної в попередньому розділі комп'ютерної системи розпізнавання користувача комп'ютера за його рукомоторними реакціями, які визначаються різними часовими інтервалами (час утримання клавіші, тривалість паузи перед натисканням клавіші, тривалість паузи після натисканням клавіші) як абсолютних так і віднесених до їх середнього значення, або одного часового інтервалу до іншого підтверджена результатами комп'ютерного моделювання.

На основі запропонованого підходу реалізована в середовищі DELPHI комп'ютерна система розпізнавання користувача комп'ютера за його рукомоторними діями. У реальному режимі часу в процесі набору користувачем заданого тексту відбувається формування функцій розподілу різних часових затримок, які апроксимуються нормальним законом розподілу. На основі зіставлення поточних значень математичних сподівань і дисперсій для кожного із сформованих розподілів з апріорі заданими зразками ідентифікується той чи інший користувач. Ефективність такої системи не перевищує 65 % при реєстрації всіх часових ознак.

Для підвищення ефективності розробленої системи запропоновано описувати її у вигляді системи дискретних рівнянь шостого порядку відповідно до сформованих значень дискретних ознак (часових затримок). Вибір базових функцій для опису такої системи розпізнавання є проблематичним, оскільки це мають бути імовірнісні функції розподілу, які відповідно до рукомоторних дій користувача мають передбачати появу тієї чи іншої літери на клавіатурі комп'ютера і прогнозувати величину часової затримки при її натисканні чи величину паузи до і після натискання. Але незалежно від вигляду цих базових функцій у випадку опису процесу у вигляді дискретної моделі, коли за ознаки вибрати відношення дев'ятих часу утримання до паузи перед клавішею та відношення дев'ятих паузи до часу утримання клавіші, максимальна інформативність яких підтверджена результатами комп'ютерного моделювання, оцінку періоду повторення слідування літер на клавіатурі можна отримати за формулою:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\varphi}. \quad (10)$$

Якщо виходити з реального середнього часу утримання клавіші 0,3 с, то з урахуванням пауз до і після утримання клавіші період набору літер не перевищуватиме 1 с, що відповідає початковій фазі коливань 2π . Отже, при введенні в алгоритм розпізнавання блоку формування неперервної послідовності літер, коли в реальному режимі часу відсікаються будь-які хаотичні рухи (випадкова неуважність, механічна затримка, натискання кількох клавіш, вимушена пауза тощо), ефективність такої системи ідентифікації користувача значно зростає. Як показали результати статистичних випробувань, за наявності 200 користувачів в базі даних похибка розпізнавання не перевищувала 5%.

Перспективи розвитку та застосування дискретних моделей коливних систем до аналізу динаміки складних об'єктів. Результати проведеного аналізу комп'ютерної системи ідентифікації користувача комп'ютера підтверджують доцільність використання дискретних моделей до розв'язання широкого класу прикладних проблем, пов'язаних з розпізнаванням складних динамічних режимів, що існують в об'єктах коливної природи. Завжди, коли з апіорних міркувань можна визначити елементи матриці переходу станів для двох змінних, то коливну систему будь-якого порядку можна подати у дискретному вигляді [7], використовуючи для запису матриці станів подання (9) Застосування цього підходу до опису системи ідентифікації користувача комп'ютера підвищило достовірність розпізнавання в 1,4 рази. Вдалий вибір для функцій зміни амплітуд часових затримок дає змогу не лише ефективно реалізовувати процедуру розпізнавання, але й аналізувати психофізіологічний стан користувача комп'ютера і передбачати появу того чи іншого слова на екрані монітора. Отже, ця система може бути ефективно застосована і до розв'язання задач медичної діагностики при створенні біометричних вимірювальних систем.

Видається доцільним застосування описаного підходу до побудови системи розпізнавання рукописних літер, алгоритм та архітектура якої на основі структурного підходу описані в роботах [21, 22, 23, 24]. Очевидно, тут треба виходити не зі структури написання літери, а будувати систему розпізнавання, враховуючи напрямок руху руки (рух згори донизу і в зворотному напрямку, рух зліва направо і в зворотному напрямку) та час написання літери. Оцінивши математичне сподівання часу написання кожної літери, характерне для кожного користувача, можна реалізувати процедуру розпізнавання. З математичного погляду, з врахуванням напрямку руху руки, це буде дискретна система 12-го порядку. За (10), можна стверджувати, що при формуванні неперервних послідовностей літер час написання має бути кратний цілому числу.

Цей інтервально-часовий підхід до формування первинних інформативних ознак про об'єкт чи процес дослідження, орієнтований на використання дискретних моделей, з успіхом може бути застосований до побудови систем захисту інформації, медичної діагностики, біометричних систем, розв'язання транспортних задач, опрацювання потоків даних та створення інтелектуальних баз знань.

Висновки

Описано метод формування первинних ознак при побудові комп'ютерної системи розпізнавання користувачів комп'ютера, запропоновано алгоритм та наведено схему реалізації такої системи, зазначено особливості її функціонування та запропоновані шляхи підвищення точності розпізнавання та забезпечення достовірності ідентифікації користувачів на основі використання дискретних моделей, що фактично зв'язують тривалості пауз з часом утримання клавіш при введенні інформації з клавіатури комп'ютера. Зазначено основні напрямки розвитку автоматизованих систем розпізнавання об'єктів та процесів, побудованих на основі дискретних моделей, та вказано сфери їх доцільного застосування.

1. Андронов А.А., Вит А.А., Хайкин С.Е. *Теория колебаний.* – М.: Наука, 1981. – 400 с.
2. Бутенин Н.В., Неймарк И., Фуфаев Н.А. *Введение в теорию нелинейных колебаний.* – М.: Наука, 1976. – 354 с.
3. Ван – дер – Поль. *Нелинейная теория электрических цепей.* – М.: Связь, 1935. – 186 с.
4. Видаль П. *Нелинейные импульсные системы.* – М.: Энергия, 1974. – 336 с.
5. *Динамика одномерных отображений / А.Н. Шарковский, С.Ф. Коляда, А.Г. Сивак, В.В. Федоренко.* – Киев: Наук. думка, 1989. – 216 с.
6. Заяць В.М. *Построение и анализ модели дискретной колебательной системы // Кибернетика и системный анализ.* – 2000. – С. 161 – 165.
7. Заяць В.М. *Моделі дискретних коливних систем // Комп'ютерні технології друкарства.* – 1998. – С. 37 – 38.
8. Заяць В.М. *Аналіз динаміки та умов стійкості дискретних моделей коливних систем / Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка” "Інформаційні технології та мережі".* – 2004. – № 519. – С. 132 – 142.
9. Шустер Г. *Детерминированный хаос: Введение: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1988. – 240 с.
- 10.

Zayats V. Chaos searching algorithm for second order oscillatory system // Proc. International Conf. "TCSET – 2002". – Lviv – Slavsk. – 2002. – P. 97 – 98. 11. Заяць В.М., Уліцький О.О. Алгоритмічне та програмне забезпечення системи розпізнавання людини за її рукомоторними реакціями // Вісник Держ. ун-ту „Львівська політехніка” "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології". – 2000. – № 392. – С.73 – 76. 12. Заяць В.М. Підхід до опису системи розпізнавання користувача комп'ютера // Комп'ютерні технології друкарства. – 2006. – С. 46 – 53. 13. Заяць В.М., Заяць М.М. Математичний опис системи розпізнавання користувача комп'ютера // Зб. "Фізико – математичне моделювання та інформаційні технології". – Львів. – 2005. – Вип. 1. – С. 146 – 152. 14. Харкевич А.А. Опознание образов // Радиотехника. – 1959. – Т. 14. – С. 15 – 19. 15. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания. – М.: Наука, 1979. – 512 С. 16. Горелик А.Л., Скрипник В.А. Методы распознавания. – М.: Высшая школа, 1989. – 232 с. 17. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. – 512 с. 18. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. М.: Физматиздат, 1962. – 639 с. 19. Заяць В.М., Шокира О. Визначення пріоритету детермінованих ознак при побудові системи розпізнавання об'єктів // Зб. праць науково – практичної конф. ЛДІНТУ імені В. Чорновола "Математичне моделювання складних систем". – 2007. – С.135 – 137. 20. Заяць В.М. Приведення неперервної автоколивної системи до дискретної моделі та спрощення її аналізу // Відбір і обробка інформації. – 2005. – Вип. 23 (99). – С. 35 – 39. 21. Алексеев А., Заяць В., Иванов Д. Алгоритм розпізнавання символів на основі структурного підходу // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – 2002. – № 468. – С.129 – 133. 22. Заяць В.М., Иванов Д.О. Проект системи розпізнавання рукописного тексту // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – 2003. – № 481. – С. 78 – 83. 23. Заяць В.М., Иванов Д.О. Архітектура подіє – орієнтованих систем на прикладі системи розпізнавання рукописного тексту // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – 2004. – № 530. – С. 78 – 83. 25. Zayats V., Ivanov D. Structural method of hand – written text recognition // Pros. International Conf. "The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics". – Lviv – Polyana. – 2005. – P. 493 – 494.