

МЕТОД ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ЗА ДАНИМИ АЙТРЕКІНГУ**Т.В. Шаманіна, В.Д. Павленко**

Державний університет «Одеська політехніка»,
пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: tatanatv8@gmail.com
pavlenko_vittalij@ukr.net

Управління та розмежування доступу до комп'ютерних систем і до їх ресурсів є одним з важливих аспектів інформаційної безпеки, що може бути реалізовано за рахунок ідентифікації користувачів. Останнім часом все більшого поширення набувають системи ідентифікації, які використовують біометричні характеристики людини при вирішенні задачі доступу до інформаційних систем. В роботі пропонується новий метод біометричної ідентифікації користувачів комп'ютерних систем на основі визначення інтегральних моделей Вольтерри окуло-моторної системи (ОМС) людини за даними експериментальних досліджень «вхід-вихід» із застосуванням інноваційної технології айтрекінга. *Метою* роботи є підвищення ефективності (надійності) захисту інформації в комп'ютерних системах за рахунок розробки апаратно-програмних засобів ідентифікації ОМС людини на основі нелінійної динамічної моделі та експериментальних даних айтрекінгу з використанням тестових візуальних стимулів. *Об'єкт дослідження* – процес біометричної ідентифікації користувача комп'ютерної системи на основі даних відстеження руху очей в динаміці – відгуків на задані тестові візуальні стимули (процес айтрекінгу). *Предмет дослідження* – інструментальні алгоритмічні та програмні засоби побудови моделі Вольтерри – оцінки багатовимірних перехідних функцій ОМС за даними айтрекінгу. Розроблено в середовищі програмування PythonIDLE програмні засоби ідентифікації ОМС. Використовуються тестові візуальні стимули у вигляді яскравих точок, які послідовно відображаються на екрані дисплея на різних відстанях від стартової позиції, що формально відповідає різним амплітудам тестових ступінчатих сигналів. Здійснено експериментальні дослідження ОМС у двох індивідів. На основі даних, отриманих за допомогою айтрекера TOBIPROTX300, визначено перехідні функції першого, другого та третього порядків ОМС. Виявлено значну відмінність у двох індивідів діагональних перетинів перехідних функцій другого та третього порядків. Таким чином, їх можна використовувати для формування простору інформативних ознак і побудови за допомогою засобів машинного навчання статистичних класифікаторів особистостей, що реалізують запропонований метод захисту інформації в комп'ютерних системах на основі біометричної ідентифікації користувачів за даними айтрекінга. Запропонований метод біометричної ідентифікації і розглянуті засоби впровадження механізмів захисту в комп'ютерних інформаційних системах мають можливість гнучкого управління безпекою в залежності від висунутих вимог, допустимого ризику та оптимальних витрат ресурсів.

Ключові слова: захист комп'ютерної інформації, біометрична ідентифікація, окуло-моторна система людини, модель Вольтерри, багатовимірні перехідні функції, тестові візуальні стимули, айтрекінг.

Вступ

Управління та розмежування доступу до комп'ютерних систем і до їх ресурсів є одним з важливих аспектів інформаційної безпеки, що може бути реалізовано за рахунок ідентифікації користувачів. Про це свідчить значне збільшення досліджень та публікацій, які присвячені цій проблемі [1-6]. Але значна більшість наукових статей

присвячується докладному розгляданню лише одного з можливих способів ідентифікації користувачів – паролній ідентифікації [7-10].

Останнім часом все більшого поширення набувають системи ідентифікації, які використовують біометричні характеристики людини при вирішенні задачі доступу до інформаційних систем [6]. На практиці використовуються такі біометричні методи: розпізнавання за відбитком пальця, за зображенням людини, по райдужній оболонці, по сітківці ока. Біометричні технології високонадійні і зручні. Але найчастіше розглядаються лише окремі біометричні ознаки, що використовуються для визначення особи користувача. Відбиток пальця, райдужна оболонка ока – всього цього може виявитися недостатньо для надійного захисту. Тому запропоновано біометричну технологію яка ідентифікує людину за індивідуальними рухами ока[11-13].

При відстеженні рухів ока пропонується знімати дві характеристики ока. Перша - фіксація ока на певній точці дисплея. Друга – момент руху ока при переміщенні погляду з однієї точки на іншу. Комп'ютер оцінює отримані дані, і визначає унікальні характеристики для кожного випадку, тобто для кожної людини, включаючи роботу м'язів очного яблука. Система ідентифікації на основі оцінки руху очного яблука має великий відсоток помилок, але об'єднаний комплекс з недорогим сканером райдужки працює вже набагато більш точно, з 5% -ою вірогідністю появи помилки [14, 15].

Таким чином, можна стверджувати, що надійність та стійкість існуючих систем біометричного захисту доступу до ресурсів інформаційних систем недостатня для сьогоденних потреб. Наразі системи безпеки стають все більш складними, і біометричні системи безпеки, що засновані на біометричній ідентифікації, повинні постійно еволюціонувати та ставатимуть більш надійними [16, 17].

В даній роботі пропонується новий метод біометричної ідентифікації користувачів комп'ютерних систем на основі визначення інтегральних моделей Вольтерри окуло-моторної системи (ОМС) людини за даними експериментальних досліджень «вхід-вихід» із застосуванням інноваційної технології айтрекінга [18]. Отримані при цьому багатовимірні перехідні функції (БПФ) використовуються для побудови системи біометричної ідентифікації фізичних осіб [19].

Метою роботи є підвищення ефективності (надійності) захисту інформації в комп'ютерних системах за рахунок розробки апаратно-програмних засобів ідентифікації окуло-моторної системи людини на основі нелінійної динамічної моделі та даних айтрекінгу.

Об'єкт дослідження – процес біометричної ідентифікації користувача комп'ютерної системи на основі даних відстеження руху очей в динаміці – відгуків на задані тестові візуальні стимули (процес айтрекінгу).

Предмет дослідження – інструментальні алгоритмічні та програмні засоби побудови моделі Вольтерри – оцінки багатовимірних перехідних функцій ОМС за даними айтрекінгу.

Модель Вольтерри

Для опису об'єктів невідомої структури (типу «чорний ящик») доцільно використовувати найбільш універсальні нелінійні непараметричні динамічні моделі – моделі Вольтерри [20, 21]. При цьому нелінійні і динамічні властивості досліджуваного об'єкта однозначно описуються послідовністю інваріантних щодо виду вхідного сигналу багатовимірних вагових функцій.

Для неперервної нелінійної динамічної системи (НДС) зв'язок між вхідним (стимулом) $x(t)$ і вихідним (відгуком) $y(t)$ сигналами при нульових початкових умовах може бути представлена рядом Вольтерри у вигляді

$$y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} y_n(t) = \int_0^t w_1(\tau)x(t-\tau)d\tau + \int_0^t \int_0^t w_2(\tau_1, \tau_2)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2 + \\ + \int_0^t \int_0^t \int_0^t w_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)x(t-\tau_3)d\tau_1 d\tau_2 d\tau_3 + \dots \quad (1)$$

де

$$y_n[x(t)] = \int_0^t \dots \int_0^t w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t-\tau_i) d\tau_i, \quad (2)$$

$y_n(t)$ – n -на парціальна складова (ПС) відгуку НДС (n -вимірний інтеграл згортки); $w_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$ – вагова функція (ядро Вольтерри) n -го порядку – симетрична функція щодо дійсних змінних τ_1, \dots, τ_n ; t – поточний час.

На практиці як правило обмежуються кількома першими членами ряду (1). Ряд замінюється поліномом Вольтерри ступеня N . В даному дослідженні обмежилися першими трьома членами ряду (вибрали ступінь поліноміальної моделі Вольтерри $N=3$). Структурна схема моделі Вольтерри наведена на рис. 1.

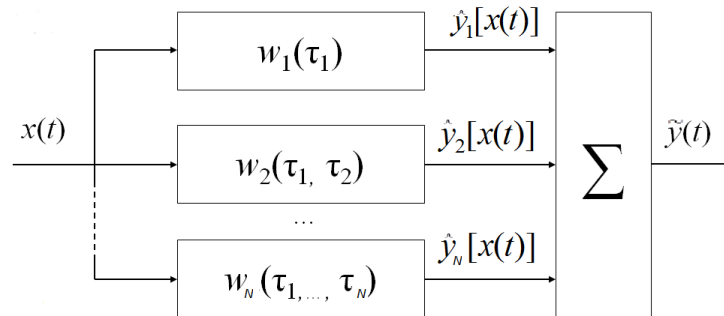


Рис. 1. Структурна схема моделі Вольтерри.

Побудова моделі Вольтерри ОМС на основі даних експериментів «вхід-вихід»

Задача ідентифікації (побудови моделі) у вигляді ряду (1) полягає у визначенні ядер Вольтерри на основі експериментальних даних «вхід-вихід» ОМС. Побудова моделі – це вибір тестових сигналів $x(t)$ і розробка алгоритму, який дозволяє по вимірюваному відгуку $y(t)$ визначати парціальні компоненти $y_n(t)$, що знаходяться на основі ядер Вольтерри $w_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$. При цьому обмежуємось значеннями $n=1, 2, 3$ ($N=3$) [19].

З урахуванням специфіки досліджуваного об'єкта ОМС для ідентифікації використовуються тестові багатоступінчасті сигнали [21]. Якщо тестовий сигнал $x(t)$ являє собою одиничну функцію (функцію Гевісайда) – $\theta(t)$, то результатом ідентифікації є ПС $\hat{y}_n(t)$, причому при $n=1$: $\hat{y}_1(t) = \hat{h}_1(t)$ – оцінка перехідної функції першого порядку $h_1(t)$, а при $2 \leq n \leq N$: $\hat{y}_n(t) = \hat{h}_n(t, \dots, t)$ – оцінки діагональних перетинів перехідних функцій n -го порядку $h_n(t_1, \dots, t_n)$, які представляють собою n -вимірні інтеграли від ядер n -го порядку $w_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$:

$$h_n(t, \dots, t) = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty w_n(t - \tau_1, \dots, t - \tau_n) d\tau_1 \dots d\tau_n. \quad (3)$$

Для $n=1, 2, 3$, відповідно, маємо

$$\begin{aligned} h_1(t) &= \int_0^\infty w_1(t - \tau) d\tau. \\ h_2(t, t) &= \int_0^\infty \int_0^\infty w_2(t - \tau_1, t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2. \\ h_3(t, t, t) &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty w_3(t - \tau_1, t - \tau_2, t - \tau_3) d\tau_1 d\tau_2 d\tau_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Відгуки поліноміальної моделі Вольтерри ОМС ступеня N на вхідну ступінчасту функцію амплітудою a обчислюються за формулою:

$$\tilde{y}(t) = a\hat{y}_1(t) + a^2\hat{y}_2(t) + a^3\hat{y}_3(t), \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

де $\hat{y}_1(t) = \hat{h}_1(t)$, $\hat{y}_2(t) = \hat{h}_2(t, t)$, $\hat{y}_3(t) = \hat{h}_3(t, t, t)$ – отримані оцінки ПС 1-го, 2-го та 3-го порядку відгуку моделі ОМС.

В даному дослідженні використовується апроксимаційний метод ідентифікації [21]. Апроксимаційний метод ідентифікації НДС у часовій області ґрунтується на виділенні з відгуку НДС n -ої ПС за допомогою побудови лінійних комбінацій відгуків на тестові сигнали с різними амплітудами [21].

Справедливе наступне твердження, доведення якого дається в [22].

Нехай на вхід системи по черзі подаються тестові сигнали $a_1x(t)$, $a_2x(t), \dots, a_Nx(t)$ (N – порядок апроксимаційної моделі; a_1, a_2, \dots, a_N – різні дійсні числа, які задовольняють умові $|a_i| \leq 1$ для $\forall i=1, 2, \dots, N$; $x(t)$ – довільна функція), тоді лінійна комбінація відгуків НДС на ці впливи дорівнює n -ої ПС відгуку на вхідний сигнал $x(t)$. При цьому виникає методична похибка через ПС відгуку ОМС вищих порядків $n > N$:

$$\sum_{i=1}^N c_i y[a_i x(t)] = y_n[x(t)] + \sum_{i=1}^N c_i \sum_{n=N+1}^{\infty} y_n[a_i x(t)], \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} y_n[x(t)] &= y_n(t); \\ y[a_i x(t)] &= \sum_{n=1}^{\infty} a_i^n \int_0^t \dots \int_0^t w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i) d\tau_1 \dots d\tau_n. \end{aligned}$$

Якщо c_j – дійсні коефіцієнти, такі що

$$A_N c = b, \quad (7)$$

Де

$$A_N = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_N \\ a_1^2 & a_2^2 & \dots & a_N^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1^N & a_2^N & \dots & a_N^N \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_N \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_N \end{bmatrix},$$

та $b_l = 1$ при $l = n$, $b_l = 0$ при $l \neq n$, $\forall l \in \{1, 2, \dots, N\}$.

В окремих випадках, маємо:

для $N=2$

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_1^2 & a_2^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1^{(1)} \\ c_2^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_1^2 & a_2^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1^{(2)} \\ c_2^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

для $N=3$

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1^2 & a_2^2 & a_3^2 \\ a_1^3 & a_2^3 & a_3^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1^{(1)} \\ c_2^{(1)} \\ c_3^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1^2 & a_2^2 & a_3^2 \\ a_1^3 & a_2^3 & a_3^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1^{(2)} \\ c_2^{(2)} \\ c_3^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1^2 & a_2^2 & a_3^2 \\ a_1^3 & a_2^3 & a_3^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1^{(3)} \\ c_2^{(3)} \\ c_3^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Система (7) завжди має розв'язок, причому єдиний, оскільки її детермінант тільки множником $a_1 a_2 \dots a_N$ відрізняється від детермінанта Вандермонда. Таким чином, при будь-яких дійсних числах a_i , відмінних від нуля и попарно різних, можна знайти числа c_i , за яких лінійна комбінація (6) з відгуків НДС дорівнює n -му члену ряду Вольтерри з точністю до відкинутих членів ряду порядку $N+1$ й вище. При виконанні вказаних умов формування СЛАР (7), отримуємо співвідношення (6).

Оцінки перехідних функцій отримуємо наступним чином:

$$\begin{aligned} \hat{h}_n^{(N)}(t, \dots, t) &= \hat{y}_n(t) = \sum_{i=1}^N c_i^{(n)} y[a_i \theta(t)] = \\ &= c_1^{(n)} y_{a_1}(t) + c_2^{(n)} y_{a_2}(t) + \dots + c_N^{(n)} y_{a_N}(t), \quad n = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (8)$$

де $y_{a_i}(t) = y[a_i \theta(t)]$ – відгук ОМС на тестовий ступінчастий сигнал з амплітудою a_i .

В окремих випадках маємо:

для $N=2$

$$\hat{h}_1^{(2)}(t) = \hat{y}_1(t) = \sum_{i=1}^2 c_i^{(1)} y[a_i \theta(t)] = c_1^{(1)} y_{a_1}(t) + c_2^{(1)} y_{a_2}(t), \quad (9)$$

$$\hat{h}_2^{(2)}(t, t) = \hat{y}_2(t) = \sum_{i=1}^2 c_i^{(2)} y[a_i \theta(t)] = c_1^{(2)} y_{a_1}(t) + c_2^{(2)} y_{a_2}(t), \quad (10)$$

ля $N=3$

$$\hat{h}_1^{(3)}(t) = \hat{y}_1(t) = \sum_{i=1}^3 c_i^{(1)} y[a_i \theta(t)] = c_1^{(1)} y_{a_1}(t) + c_2^{(1)} y_{a_2}(t) + c_3^{(1)} y_{a_3}(t), \quad (11)$$

$$\hat{h}_2^{(3)}(t, t) = \hat{y}_2(t) = \sum_{i=1}^3 c_i^{(2)} y[a_i \theta(t)] = c_1^{(2)} y_{a_1}(t) + c_2^{(2)} y_{a_2}(t) + c_3^{(2)} y_{a_3}(t), \quad (12)$$

$$\hat{h}_1^{(3)}(t, t, t) = \hat{y}_3(t) = \sum_{i=1}^3 c_i^{(3)} y[a_i \theta(t)] = c_1^{(3)} y_{a_1}(t) + c_2^{(3)} y_{a_2}(t) + c_3^{(3)} y_{a_3}(t). \quad (13)$$

Результати досліджень

Питання організації та методика експериментальних досліджень із застосуванням технології айтрекінгу детально описані у [23].

Експерименти було організовано з метою виявити мінливість БПФ для різних індивідів. Дані для побудови моделі – відгуки ОМС на однакові тестові стимул–ступінчасті сигнали з різними амплітудами a_1 , a_2 і a_3 для кожного з двох індивідів було отримано за допомогою айтрекера ТОВІПРОТХ300 (300 Hz) в Лабораторії аналізу руху та ергономіки інтерфейсів Люблінського технологічного університету (Люблін, Польща) [23].

У дослідженні кожного індивіда реалізовано цикли «Вправо по горизонталі». У кожному циклі послідовно виконуються 3 незалежних експериментів з амплітудами тестових сигналів $a_1=0.33$, $a_2=0.66$, $a_3=1.0$ (у відносних одиницях від ширини екрану монітора). Таким чином, реалізується наступна послідовність вхідних візуальних сигналів, координати яких (у відносних одиницях): експеримент #1: $(x=0, y=0.5)$ та $(x=0.33, y=0.5)$; експеримент #2: $(x=0, y=0.5)$ та $(x=0.66, y=0.5)$; експеримент #3: $(x=0, y=0.5)$ та $(x=1.0, y=0.5)$. Експериментальні дослідження індивідів проводились в різний час і в різні дні.

На рис. 2 представлено схему процесу айтрекінга.

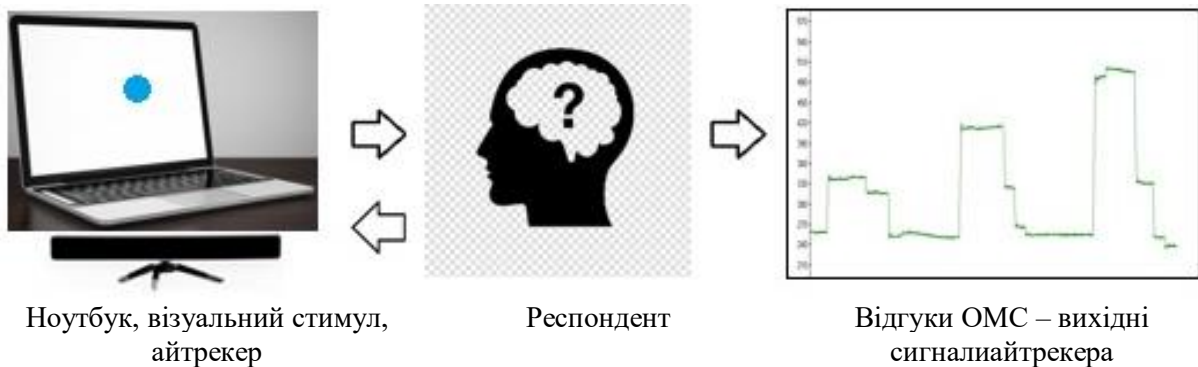


Рис. 2. Схема процесу айтрекінга.

Графіки відгуків ОМС, отриманих при різних амплітудах тестових сигналів для індивіда № 1 та індивіда № 2, наведені на рис. 3 і 4, відповідно.

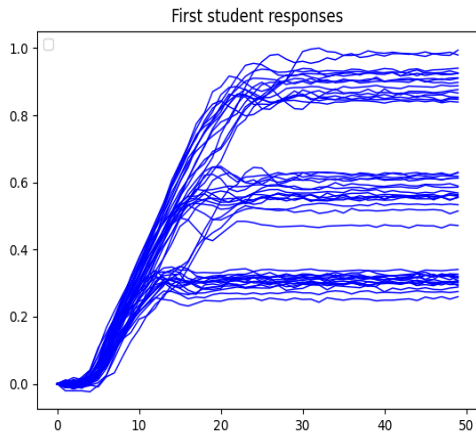


Рис. 3. Відгуки ОМС індивіда #1 на візуальні стимули з амплітудами a_1, a_2, a_3 .

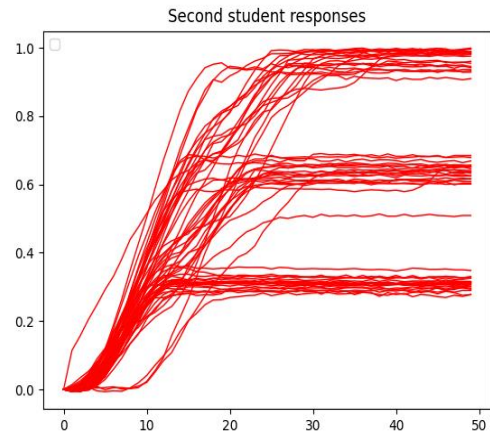


Рис. 4. Відгуки ОМС індивіда #2 на візуальні стимули з амплітудами a_1, a_2, a_3 .

За усередненими даними відгуків ОМС на візуальні стимули з різною відстанню від стартової позиції (формально це відповідає тестовим сигналам різної амплітуди), графіки яких наведено рис. 5, визначено перехідні функції ОМС при використанні апроксимаційних моделей різного ступеня N ($N = 1, 2, 3$). Графіки перехідних функцій для індивіда № 1 та індивіда № 2 при $N=1$ наведено на рис. 6; при $N = 2$ – на рис. 7 і при $N = 3$ – на рис. 8.

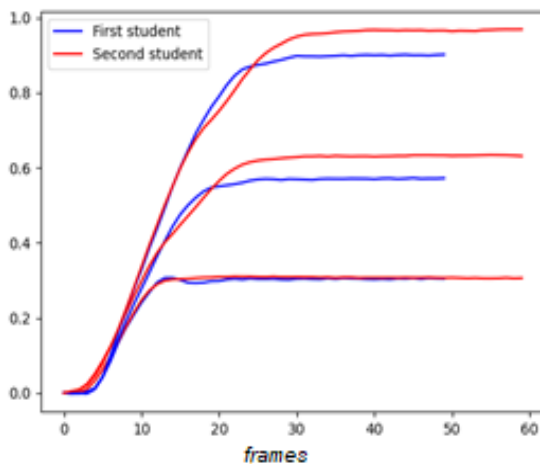


Рис. 5. Усереднені відгуки ОМС двох індивідів.

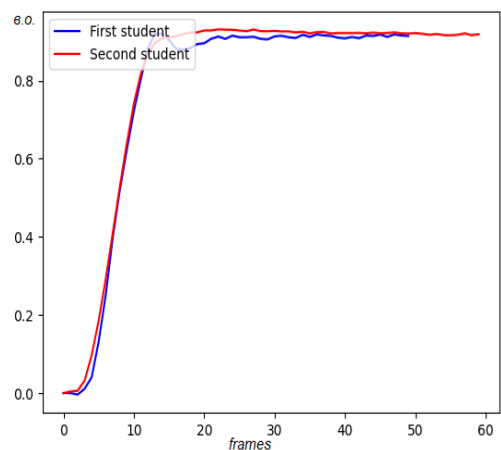


Рис. 6. Перехідні функції 1-го порядку двох індивідів.

Визначено відгуки за допомогою розрахунків на моделях за формулою (5) при різних амплітудах тестових сигналів для індивіда № 1 та індивіда № 2, графіки яких наводяться у порівнянні з подібними відгуками ОМС, на рис. 9, 10 – при $N = 2$ і на рис. 11, 12 – при $N = 3$.

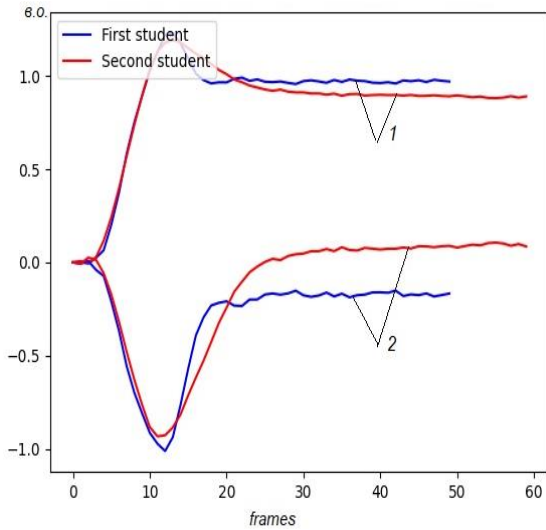


Рис. 7. Перехідні функції при $N=2$: 1 – 1-го; 2 – 2-го порядку двох індивідів.

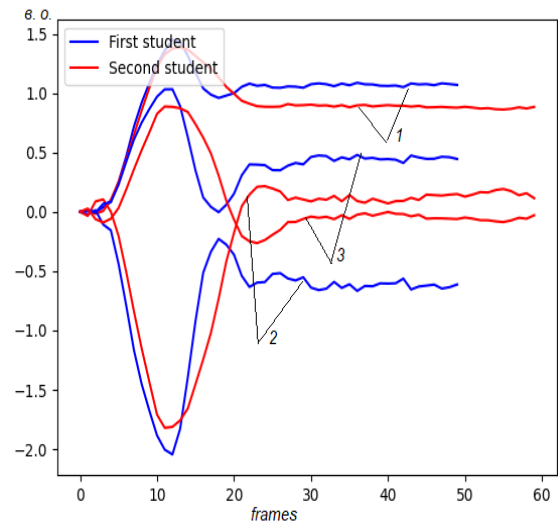


Рис. 8. Перехідні функції при $N=3$: 1 – 1-го; 2 – 2-го; 3 – 3-го порядку двох індивідів.

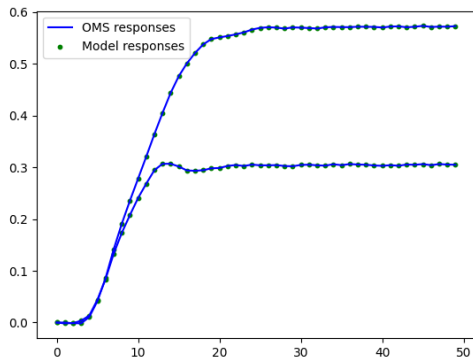


Рис. 9. Відгуки ОМС індивіда № 1 та моделі при $N=2$ на тестові сигнали з амплітудами a_1 , a_2 .

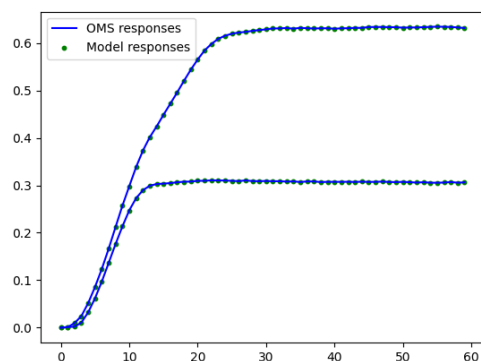


Рис. 10. Відгуки ОМС індивіда № 2 та моделі при $N=2$ на тестові сигнали з амплітудами a_1 , a_2 .

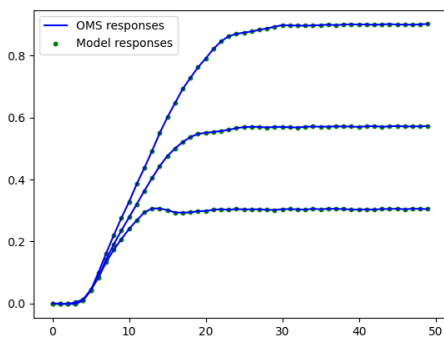


Рис. 11. Відгуки ОМС індивіда № 1 та моделі при $N=3$ на тестові сигнали з амплітудами a_1 , a_2 і a_3 .

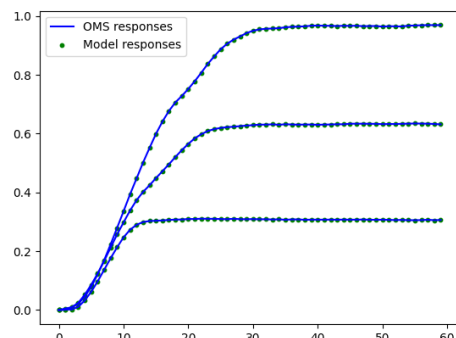


Рис. 12. Відгуки ОМС індивіда № 2 та моделі при $N=3$ на тестові сигнали з амплітудами a_1 , a_2 і a_3 .

Аналіз варіативності перехідних функцій

Аналіз мінливості (варіативності) перехідних функцій ОМС різних порядків, отриманих на основі обробки усереднених даних відгуків для двох

інформантів: індивіда № 1 – $\hat{y}_n^{(1)}(t)$ та індивіда № 2 – $\hat{y}_n^{(2)}(t)$, заснований на розрахунку наступних показників:

$$\sigma_{nN} = \max_{t \in [0, T]} |\hat{y}_n^{(1)}(t) - \hat{y}_n^{(2)}(t)|, \quad (14)$$

$$\varepsilon_{nN} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T (\hat{y}_n^{(1)}(t) - \hat{y}_n^{(2)}(t))^2 dt \right)^{1/2}, \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (15)$$

де σ_{nN} , ε_{nN} - максимальне та стандартне відхилення відгуків ОМС, відповідно; T – час спостереження.

Результати розрахунку цих показників наведені в таблиці 1 і представлені діаграмами рис. 13 та 14.

Таблиця 1.

Показники варіативності перехідних функцій

N	ε_1	σ_1	ε_2	σ_2	ε_3	σ_3
1	0,025	0,056	-	-	-	-
2	0,066	0,118	0,489	0,264	-	-
3	0,158	0,22	0,83	0,808	1,182	0,66

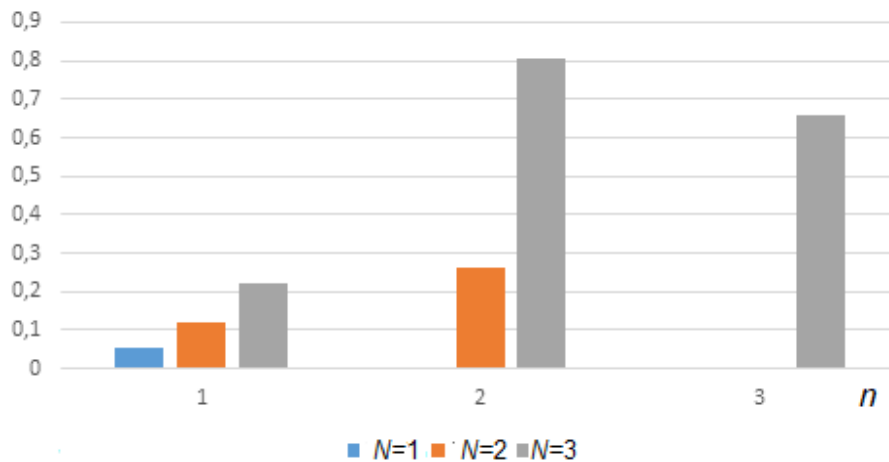


Рис. 13. Діаграма відхилень БПФ для двох індивідів за показником σ_{nN} .

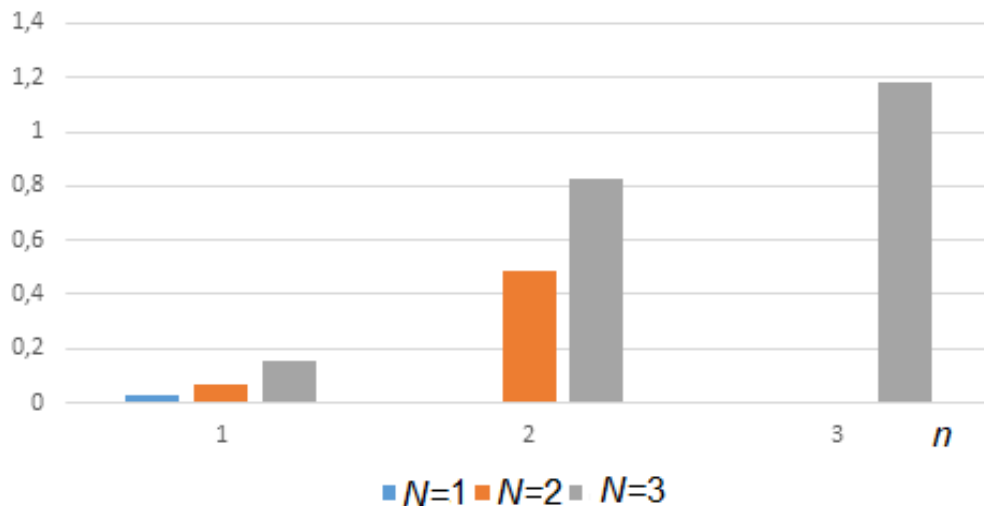


Рис. 14. Діаграма відхилень БПФ для двох індивідів за показником ε_{nN} .

Як можна бачити з рис.6-8, отримані перехідні функції першого порядку для індивідів № 1 та № 2 не суттєво змінюються. Проте, діагональні перетини перехідних функцій другого (рис. 7, 8) та третього (рис. 8) порядків істотно змінюються за величиною, отже, в подальшому можуть ефективно використовуватися, як джерело первинних даних, для побудови апаратно-програмних засобів біометричної ідентифікації користувачів комп'ютерних систем.

Висновки

Запропоновано новий метод біометричної ідентифікації користувачів інформаційних комп'ютерних систем на основі інтегральних динамічних моделей Вольтерри окуло-моторної системи, що визначаються на основі даних айтрекінга. Розроблено методику експериментальних досліджень ОМС «вхід-вихід» із застосуванням тестових візуальних стимулів і технології айтрекінгу та інструментальні програмні засоби побудови нелінійної динамічної моделі ОМС людини на основі отриманих експериментальних даних.

Здійснено експериментальні дослідження ОМС у двох індивідів. На основі даних, отриманих за допомогою айтрекера, визначено перехідні функції першого, другого та третього порядків ОМС. Виявлено значну відмінність у двох індивідів діагональних перетинів перехідних функцій другого та третього порядків. Таким чином, їх можна використовувати для формування простору інформативних ознак і побудови за допомогою засобів машинного навчання статистичних класифікаторів особистостей, що реалізують запропонований метод захисту інформації в комп'ютерних системах на основі біометричної ідентифікації користувачів за даними айтрекінга.

Запропонований метод біометричної ідентифікації і розглянуті засоби впровадження механізмів захисту в комп'ютерних інформаційних системах мають можливість гнучкого управління безпекою в залежності від висунутих вимог, допустимого ризику та оптимальних витрат ресурсів.

Список літератури

1. Кошева Н.А., Мазниченко Н.І. Ідентифікація користувачів інформаційно-комп'ютерних систем: аналіз і прогнозування підходів // Системи обробки інформації. –2013. – Вип. 6 (113). – С. 215-223.

2. Иванов В.Г., Кошева Н.А., Мазниченко Н.І. Биометричні технології в задачах ідентифікації користувачів інформаційних комп'ютерних систем // Системи обробки інформації. – 2012. – Том 1. – Вип. 4 (102).
3. Кухарев Г.А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека – СПб.: Политехника, 2001. – 240 с.
4. Бекмурзин М.С., Захаров В.П., Зачек О.И. Биометрические технологии в антитеррористической деятельности правоохранительных органов: перспективы и проблемы использования // Вестник Московского университета МВД России. – 2014. – №10. – С. 44-49.
5. Десятчиков А.А., Лобанцов В.В., Матвеев И.А., Мурынин А.Б. Об объединении дистанционных биометрических методов распознавания человека // Современный экстремизм в Российской Федерации: особенности проявления и средства противодействия: Материалы Всероссийской научно-практической конференции в Академии Управления МВД России. – М.: Академия управления МВД РФ, 2006. – С. 374-379
6. Суомалайнен А. Биометрическая защита: обзор технологии. – ДМК-Пресс, 2019. – 99 с.
7. Воронова В.А., Тихонов В.А. Системы контроля и управления доступом – М.: «Горячая линия – Телеком», 2010. – 272 с.
8. Щеглов А.Ю. Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа – СПб.: Наука и техника, 2004. – 384 с.
9. Хорошко В.А. Методы и средства защиты информации / В.А. Хорошко, А.А. Чекатков. – К.: Изд-во Юниор, 2003. – 504 с.
10. Ленков С.В., Перегудов Д.А., Хорошко В.А. Методы и средств азашиты информации. В 2-х томах. Том 2. Информационная безопасность. – К.: Арий, 2008. – 344 с.
11. Quaia C., Optican L M. Dynamic Eye Plant Models and the Control of Eye Movements // Strabismus. – 2003. – Vol. 11. – P. 17-31, 2003.
12. Kasprowski P. And Ober J. Eye Movementsin Biometrics // European Conferenceon Computer Vision, Prague, Czech Republic, 2004. – P. 248-258.
13. Silver D.L., Biggs A.J. Keystroke and EyeTracking Biometrics for User Identification // International Conference on Artificial Intelligence (ICAI), Las Vegas, NV, USA, 2006. – P. 344-348.
14. Holland C., Komogortsev O.V. Complex Eye Movement Pattern Biometrics: The Effects of Environment and Stimulus // IEEE Transactions on Information Forensicsand Security. – 2013. – 8(12), – P. 2115-2126.
15. Komogortsev O.V., Holland C., Jayarathna S., Karpov A. 2D Linear Oculomotor Plant Mathematical Model: Verification and Biometric Applications // ACM Transactions on Applied Perception. – 2013. – 10 (4) – P. 1-18.
16. Komogortsev O.V., Holland C.D., Karpov A., Price L.R. Biometricsvia Oculomotor Plant Characteristics: Impact of Parametersin Oculomotor Plant Model // ACM Transactions on Applied Perception. – 2015.– P. 1-14.
17. Rigas I., Komogortsev O., Shadmehr R. Biometric recognition via the complex eye movement behavior and the incorporation of saccadic vigor and acceleration cues // ACM Trans. On Applied Perception. – 2016. – Vol. 13 (2). – P. 1-21.
18. Pavlenko V., Salata D., Dombrovskiy M. and Maksymenko Yu. Estimation of the Multidimensional Transient Functions Oculo-Motor System of Human // MathematicalMethodsandComputationalTechniquesinScienceandEngineering: AIP Conf. Proc. MMCTSE'2017, Cambridge, UK. – 2017. – 1872. – Melville, NewYork. Publishedby AIP Publishing. – P. 110-117.
19. Pavlenko V., Salata D., Chaikovskiy H. Identificationof a oculo-moto rsystem human based on Voltterrakernels // International Journal of Biologyand

- Biomedical Engineering. – 2017. – 11. – P. 121-126.
20. Doyle F.J., Pearson R.K., Ogunnaike B.A. Identification and control using Volterra models. – Germany: Springer Publ. – 2002. – 314 p.
 21. Pavlenko V., Pavlenko S. Deterministic identification methods for nonlinear dynamical systems based on the Volterra model // Applied Aspects of Information Technology. – 2018. – Vol.01. – №01. – P. 9-29.
 22. Павленко С.В., Павленко В.Д., Положаєнко С.А. Вычислительные методы идентификации моделей Вольтерра: [монография]. – Одесса: Экология, 2017. – 124 с.
 23. Pavlenko V., Milosz M., Dzienkowski M. Identification of the oculomotor system based on the Volterra model using eye tracking technology // 4th Int. Conf. on Applied Physics, Simulation and Computing (APSAC 2020) 23-25 May, Rome, Italy. Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1603. – IOP Publishing, 2020. – P. 1-8.

METHOD FOR THE PROTECTION OF INFORMATION IN COMPUTER SYSTEMS ON THE EYE TRACKING DATA

T.V. Shamanina, V.D. Pavlenko

State University "Odessa Polytechnic",
Av. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine; E-mail: tatanatv8@gmail.com,
pavlenko_vittalij@ukr.net

Management and differentiation of access to computer systems and their resources is one of the important aspects of information security, which can be implemented by identifying users. Recently, identification systems that use biometric characteristics of a person to solve the problem of access to information systems are becoming more and more widespread. The paper proposes a new method for biometric identification of users of computer systems based on the definition of the Volterra integral model of the human oculo-motor system (OMS) based on the data of experimental "input-output" studies using innovative eye tracking technology. *The aim of the work* is to increase the efficiency (reliability) of information protection in computer systems through the development of hardware and software tools for identifying human OMS based on a nonlinear dynamic model and experimental eye tracking data using test visual stimuli. *The object of the research* is the process of biometric identification of a computer system user based on eye tracking data in dynamics – responses to given test visual stimuli. *The subject of the research* is instrumental algorithmic and software tools for constructing the Volterra model – assessing the multidimensional transition functions of the OMS based on eye tracking data. OMS identification software was developed in the Python IDLE programming environment. Test visual stimuli are used in the form of bright dots, which are sequentially displayed on the display screen at different distances from the starting position, which formally corresponds to different amplitudes of test step signals. Experimental studies of OMS were carried out in two individuals. Based on the data obtained using the TOBII PRO TX300 eye tracker, the transition functions of the first, second and third orders of the OMS are determined. A significant difference in the diagonal sections of the transition functions of the second and third orders was revealed in two individuals. Consequently, they can be used to form a space of informative features and build statistical classifiers of individuals using machine learning tools that implement the proposed method for protecting information in computer systems based on biometric identification of users based on eye tracking data. The proposed method of biometric identification and the developed means of introducing information protection mechanisms in computer information systems have the ability to flexibly control security, depending on the requirements put forward, the permissible risks and optimal resource costs.

Keywords: protection of computer information, biometric identification, human oculo-motor system, Volterra model, multi-dimensional transient functions, test visual stimuli, eye tracking.