

УДК 004.9-519.6

**Н. Загородна, канд. техн. наук; С. Лупенко, докт. техн. наук;
А. Луцків, канд. техн. наук; Ю. Наботов**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ДИНАМІЧНОГО ПІДПISУ ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ КУТА НАХИЛУ

***Резюме.** Удосконалено метод попередньої обробки динамічного підпису шляхом урахування кута його нахилу та побудовано уточнену математичну модель нормованого підпису для задач аутентифікації особи у комп'ютерних інформаційних системах. Проведено статистичний аналіз серії динамічних підписів на базі уточненої математичної моделі. Здійснено верифікацію запропонованих методів та показано, що врахування повороту кута динамічного підпису дає змогу сформувати однорідніші у статистичному сенсі нормовані підписи і, як наслідок, підвищити точність обробки динамічних підписів. Розроблені методи впроваджено в програмний комплекс. На основі запропонованих підходів сформульовано рекомендації щодо реалізації систем аутентифікації.*

***Ключові слова:** динамічний підпис особи, нормування, динамічна біометрична аутентифікація особи.*

N. Zagorodna, S. Lupenko, A. Lutskiv, Y. Nabotov

IMPROVEMENT OF PREPROCESSING METHODS OF ON-LINE SIGNATURE BY ACCOUNTING OF SIGNATURE ANGLE

***The summary.** Methods of preprocessing of the on-line signature are improved in the article by accounting of signature angle. Mathematical model of the normalized signature is precise for tasks of person authentication in computer information systems. According to the developed mathematical model statistical analyze of the on-line signature series is carried out. Verification of improved methods is realized here. Accounting of the on-line signature angle and its rotation allows to form more uniform preprocessed signatures, as result to increase an accuracy of on-line signature processing. Offered methods are implemented in programming. Based on proposed approaches recommendations for authentication system creation are formulated here.*

***Key words:** on-line signature, preprocessing, dynamic biometry authentication of person.*

Постановка проблеми. Підпис є класичним способом підтвердження аутентичності особи, а засоби сучасних інформаційних технологій дають змогу реєструвати не лише так званий статичний підпис, але й фіксувати сам процес відтворення цього підпису у часі, тобто отримувати процес, який у спеціалізованих літературних джерелах відомий як динамічно введений підпис або динамічний підпис особи. Збільшення кількості пристроїв з рукописним введенням інформації [1] зумовлює актуальність створення й використання систем аутентифікації за динамічним підписом і підвищує вимоги до точності їх роботи. Удосконалення таких систем можна проводити як на апаратному, так і програмному рівнях, однак точність аутентифікації, насамперед, залежить від алгоритмів роботи системи, покладених в основу її програмного забезпечення.

Аналіз наявних систем аутентифікації за динамічним підписом, наведений у роботі [2], вказує на те, що основною проблемою, яка виникає в процесі їх розроблення є підвищення точності та достовірності їх роботи, а розв'язати її можливо шляхом

використання точніших методів обробки, зокрема шляхом урахування кута повороту підпису.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динамічно введений підпис людини, що отриманий за допомогою графічного планшета або інших пристроїв рукописного введення інформації в ЕОМ, можна розглядати як траєкторію руху пера вздовж осей x і y у часі, яку автор роботи [2] запропонував описувати відповідно функціями $f(t)$ і $g(t)$, де $t \in [0, T]$, T – тривалість даного підпису. На рис. 1 графічно зображені три динамічно введені підписи однієї особи. Одиниці вимірювання часу t – мілісекунди (мс), одиниці вимірювання значень координат $f(t)$ та $g(t)$ – екранні точки (пікселі, pt).

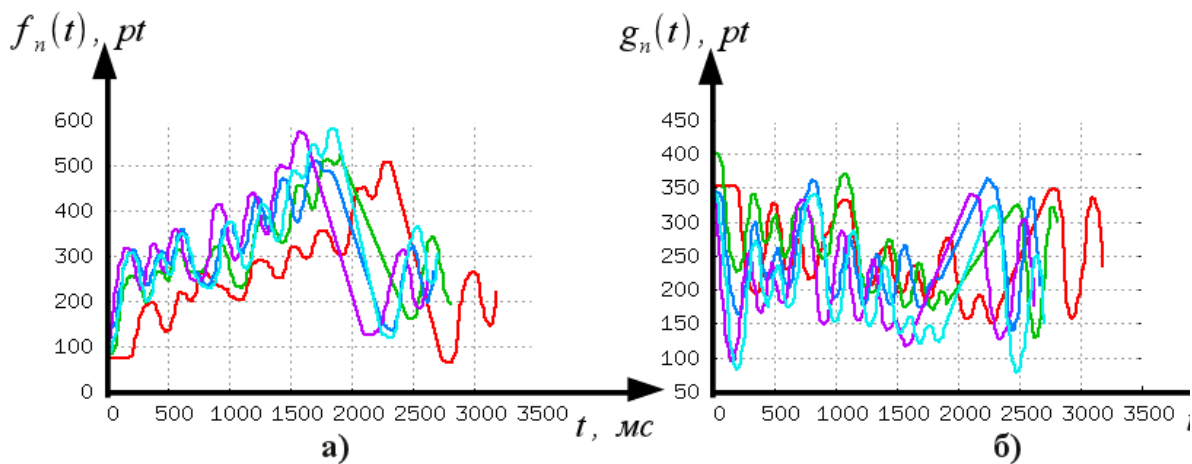


Рисунок 1. Графіки п'яти зображень компонент динамічного підпису (а) – $f(t)$, (б) – $g(t)$

За допомогою пристрою зчитування (графічного планшета) система біометричної аутентифікації отримує координати x , y і t : траєкторії руху пера вздовж осей x , y і відліки часу відповідно.

Візуальний аналіз графіків (рис.1 а і б) компонент динамічного підпису особи вказує на подібність їх форми, подібність у розташуванні їх певних зон. Однак у зв'язку з тим, що особа кожного разу починає підписуватися у різних позиціях на планшеті, може вводити підпис із різним розмахом, певними відмінностями в тривалості написання і різним кутом нахилу осі підпису відносно осі Ox , то графічні зображення підписів однієї й тієї ж особи відрізняються.

У роботі [2] системи функцій (1) і (2) відображають часову структуру траєкторії руху пера вздовж осей x та y , що відповідають N підписам однієї особи.

$$\begin{cases} f_1(t), t \in [0, T_1], \\ f_2(t), t \in [0, T_2], \\ \dots \\ f_N(t), t \in [0, T_N], \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} g_1(t), t \in [0, T_1], \\ g_2(t), t \in [0, T_2], \\ \dots \\ g_N(t), t \in [0, T_N]. \end{cases} \quad (2)$$

У загальному випадку $T_{n_1} \neq T_{n_2}$, коли $n_1 \neq n_2$, $n_1, n_2 = \overline{1, N}$, $\{T_n \mid n = \overline{1, N}\}$ – це множина тривалостей динамічних підписів.

Як відомо, передумовою розроблення адекватних методів обробки будь-якого сигналу є розроблення його математичної моделі. Тому, враховуючи мінливість компонент динамічного підпису однієї особи при його багатократному відтворенні, природно було б використовувати стохастичний підхід до математичного моделювання динамічного підпису. У такому випадку елементи (1), (2) можна було б трактувати як реалізації деяких нестационарних випадкових процесів $\xi(t)$ та $\eta(t)$. Відомо, що статистичний аналіз нестационарних випадкових процесів можна проводити за ансамблем реалізацій. Однак існує низка причин, які ускладнюють проведення статистичного аналізу динамічного підпису, насамперед, це різна тривалість його реалізацій. Саме тому автор [2] запропонував методи попередньої обробки отриманих реалізацій динамічного підпису, основні етапи якого описано нижче.

Зрозуміло, що значення початкових координат різних реалізацій компонент динамічного підпису відрізняються між собою, тобто кожна реалізація має своє зміщення відносно початку координат. З метою врахування початкового зміщення підпису у [2] вводяться коефіцієнти $B_{n_f} = f_n(0)$, $B_{n_g} = g_n(0)$, за допомогою яких здійснюють такі перетворення:

$$\begin{aligned} \bar{f}_n(t) &= f_n(t) - B_{n_f} = f_n(t) - f_n(0), \quad \bar{g}_n(t) = g_n(t) - B_{n_g} = g_n(t) - g_n(0), \\ t &\in [0, T_n], \quad B_{n_f}, B_{n_g} \in \mathbf{R}. \end{aligned} \quad (3)$$

Вище ми зазначали, що для можливості проведення статистичного аналізу необхідно насамперед усунути різну тривалість реалізацій динамічного підпису особи. Оскільки функції $f_n(t)$ і $g_n(t)$, $n = \overline{1, N}$ мають різні області визначення, то необхідно їх змасштабувати в одиничний інтервал $[0;1]$. Для цього здійснимо такі масштабні перетворення:

$$\begin{cases} \hat{t} = t \cdot \alpha_n = t \cdot \frac{1}{T_n}, \quad t \in [0, T_n], \hat{t} \in [0, 1], n = \overline{1, N}, \alpha_n \in \mathbf{R}_+, \\ \hat{f}_n(\hat{t}) = \bar{f}_n(t \cdot \alpha_n), \\ \hat{g}_n(\hat{t}) = \bar{g}_n(t \cdot \alpha_n). \end{cases} \quad (4)$$

Зазначимо, що коефіцієнт α_n буде однаковим для функцій $\hat{f}_n(\hat{t})$, $\hat{g}_n(\hat{t})$, оскільки тривалість відтворення T_n компонент n -ого динамічного підпису однакова. У результаті застосування перетворень (3) отримано функції $\hat{f}_n(\hat{t})$, $\hat{g}_n(\hat{t})$, у яких одна і та ж область визначення – $[0;1]$.

Здійснюємо нормування діапазону зміни значень функцій $\hat{f}_n(\hat{t})$ і $\hat{g}_n(\hat{t})$ шляхом проведення масштабування за діапазоном варіації значень компонент динамічного підпису, що дасть змогу вмістити всі його значення в діапазон $[-1;1]$. Введемо

масштабні коефіцієнти $A_{n_f} = \max_{\hat{f}_n(\hat{t})} - \min_{\hat{f}_n(\hat{t})}$ та $A_{n_g} = \max_{\hat{g}_n(\hat{t})} - \min_{\hat{g}_n(\hat{t})}$ і виконаємо такі перетворення:

$$\begin{aligned}\tilde{f}_n(\hat{t}) &= \frac{\hat{f}_n(\hat{t})}{A_{n_f}}, \hat{t} \in [0,1], A_{n_f} \in \mathbf{R}_+, \\ \tilde{g}_n(\hat{t}) &= \frac{\hat{g}_n(\hat{t})}{A_{n_g}}, \hat{t} \in [0,1], A_{n_g} \in \mathbf{R}_+.\end{aligned}\tag{5}$$

Таким чином, отримаємо набір з N функцій, які відповідатимуть N динамічним підписам: $\{\tilde{f}_n(\hat{t}), n = \overline{1, N}\}$ та $\{\tilde{g}_n(\hat{t}), n = \overline{1, N}\}$.

Автор роботи [2] на даному етапі завершує обробку первинних зображень динамічного підпису і надалі кожен детерміновану функцію $\tilde{f}_n(\hat{t})$ вважає n -ою реалізацією деякого випадкового процесу $\xi_0(\omega, t)$, а кожен детерміновану функцію $\tilde{g}_n(\hat{t})$ – n -ою реалізацією деякого випадкового процесу $\eta_0(\omega, t)$. Здійснивши статистичну обробку ансамблю засинхронізованих і нормованих за амплітудою та тривалістю компонент підпису $\tilde{f}_n(\hat{t})$ та $\tilde{g}_n(\hat{t})$, можна отримати відповідні статистичні оцінки основних характеристик випадкових процесів, зокрема оцінки математичного сподівання (див. рис. 3б і 4б) та дисперсії (див. рис. 5б і 6б).

У роботі [2] описано підходи до математичного опису динамічно введеного підпису та методів його обробки, запропоновано аутентифікаційні ознаки особи в системах аутентифікації за динамічним підписом. Розроблену математичну модель та методи обробки втілено в алгоритми роботи програмного забезпечення [3, 4] для аутентифікації особи за динамічним підписом. Автор роботи [2] математичний опис набору з N динамічних підписів, відтворених однією особою, здійснює за допомогою n функцій $f_n(t)$ і $g_n(t)$, де $t \in [0, T_n]$, T_n – тривалість n -го підпису, $n = \overline{1, N}$ – номер підпису відтвореного особою. У загальному випадку $T_{n_1} \neq T_{n_2}$, коли $n_1 \neq n_2$, $n_1, n_2 = \overline{1, N}$.

Порівняльний аналіз відомих підходів до моделювання й обробки динамічного підпису здійснено в роботі [2]. На основі проведеного аналізу в цій роботі також запропоновано новий підхід до моделювання динамічного підпису в рамках стохастичного підходу як вектора двох випадкових процесів нормованого підпису і обробки підписів за ансамблем попередньо узгоджених і засинхронізованих реалізацій нормованих підписів. Водночас робота [5] пропонує серії підписів однієї особи досліджувати в рамках циклічних випадкових функцій. Представлення підпису в рамках детермінованого підходу, а також методика повороту наведена в роботі [6]. Тому методи нормування, запропоновані у роботах [2, 5, 6], доцільно доповнити шляхом урахування кута нахилу підпису.

Метою роботи є підвищення точності проведення статистичного аналізу шляхом урахування додаткових факторів на етапі попередньої обробки динамічних підписів – урахування кута повороту.

Постановка завдання. З метою підвищення точності роботи систем аутентифікації за динамічним підписом необхідно:

- 1) розробити методи повороту динамічного підпису на певний кут;
- 2) удосконалити подані в роботі [2] методи обробки динамічного підпису шляхом урахування кута нахилу підпису;

- 3) здійснити верифікацію запропонованих методів;
- 4) модифікувати програмне забезпечення [3,4] з метою впровадження методики врахування кута нахилу підпису та його повороту на необхідний кут.

Результати дослідження. У даній роботі для врахування кута відтворення підпису на етапі попередньої обробки пропонуємо здійснювати поворот підпису особи на деякий кут ϕ після нормування компонент динамічного підпису за початковим зміщенням згідно з формулою (3). В роботі [6] запропоновано визначати кут ϕ як кут між уявною віссю динамічного підпису і віссю Ox . Для цього рекомендується знайти координати $(f^{C_1}; g^{C_1})$ та $(f^{C_2}; g^{C_2})$ двох точок центрів мас C_1 і C_2 підпису, через які проводиться шукана вісь.

Здійснимо нормування підпису за кутом відтворення. Для цього перш за все визначимо координати точок центрів мас n -ого підпису, як $f_n^{C_1} = \bar{f}_n(t_1); g_n^{C_1} = \bar{g}_n(t_1)$ та $f_n^{C_2} = \bar{f}_n(t_2); g_n^{C_2} = \bar{g}_n(t_2)$, де t_1 – середина відрізка $[0, \frac{T_n}{2}]$ та t_2 – середина відрізка $[\frac{T_n}{2}, T_n]$. Кут між даною віссю та віссю Ox у декартовій системі координат визначаємо за формулою [7]

$$\phi_n = \arccos \frac{(f_n^{C_2} - f_n^{C_1})^2}{\sqrt{(f_n^{C_2} - f_n^{C_1})^2} * \sqrt{(f_n^{C_2} - f_n^{C_1})^2 + (g_n^{C_2} - g_n^{C_1})^2}}. \quad (6)$$

Знайшовши кут ϕ_n для n -го підпису, здійснюємо поворот відповідного динамічного підпису на основі перетворень

$$\begin{aligned} f'_n(t) &= \bar{g}_n(t) \cdot \sin(-\phi_n) + \bar{f}_n(t) \cdot \cos(-\phi_n), \\ g'_n(t) &= \bar{g}_n(t) \cdot \cos(-\phi_n) - \bar{f}_n(t) \cdot \sin(-\phi_n), \end{aligned} \quad (7)$$

де $f'_n(t)$ і $g'_n(t)$ – скориговані значення координат підпису; ϕ_n – кут нахилу підпису відносно заданої системи координат, який визначається згідно з (6). Знак кута ϕ_n визначає напрям повороту: додатне значення вказує на поворот у додатному напрямку (проти годинникової стрілки), від'ємне – за годинниковою стрілкою. Одиниці вимірювання кута – радіани.

Після проведення процедури повороту підпису, очевидно необхідно здійснити масштабні перетворення отриманих функцій $f'_n(t)$ і $g'_n(t)$ згідно з формулами (4) та (5), у результаті виконання яких отримаємо деякі функції $\tilde{f}'_n(t)$ і $\tilde{g}'_n(t)$ відповідно. Таким чином, враховуючи перетворення (3)-(7), можна встановити безпосередній зв'язок між початковими функціями $f_n(t)$ (1) і $g_n(t)$ (2) та функціями $\tilde{f}'_n(\hat{t})$ і $\tilde{g}'_n(\hat{t})$, які репрезентують компоненти нормованого підпису з урахуванням кута нахилу підпису:

$$\begin{aligned} \tilde{f}'_n(\hat{t}) &= \tilde{f}'_n(\alpha_n \cdot t), \\ \tilde{f}'_n(\hat{t}) &= \frac{1}{A_{n_f}} \cdot \left((g_n(t) - B_{n_g}) \sin(-\phi_n) + (f_n(t) - B_{n_f}) \cdot \cos(-\phi_n) \right), \end{aligned} \quad (8)$$

$$t \in [0, T_n], \hat{t} \in [0, 1], B_{n_f} \in \mathbf{R}, A_{n_f} \in \mathbf{R}_+, \alpha_n \in \mathbf{R}_+, \phi_n \in \left(\frac{-\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right),$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}'_n(\hat{t}) &= \tilde{g}'_n(\alpha_n \cdot t), \\ \tilde{g}'_n(t) &= \frac{1}{A_{n_g}} \cdot \left((g_n(t) - B_{n_g}) \cos(-\phi_n) - (f_n(t) - B_{n_f}) \cdot \sin(-\phi_n) \right), \\ t \in [0, T_n], \hat{t} \in [0, 1], B_{n_g} \in \mathbf{R}, A'_{n_g} \in \mathbf{R}_+, \alpha_n \in \mathbf{R}_+, \phi_n \in \left(\frac{-\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right), \end{aligned} \quad (9)$$

де $A_{n_f} = \max_{f'_n(t)} - \min_{f'_n(t)}$, $A_{n_g} = \max_{g'_n(t)} - \min_{g'_n(t)}$ – коефіцієнти, які враховують варіацію значень компонент підпису;

$\alpha_n = \frac{1}{T_n}$ – коефіцієнт, що враховує тривалість написання динамічного підпису;

ϕ_n – кут нахилу динамічного підпису відносно заданої системи координат, що визначається за формулою (6);

$B_{n_f} = f_n(0)$, $B_{n_g} = g_n(0)$ – коефіцієнти, які враховують постійну складову компонент динамічного підпису (зміщення відносно початку координат) і дорівнюють координатам динамічного підпису в початковий момент часу.

На основі запропонованих перетворень отримаємо нормований підпис, який є нечутливим до впливу основних суб'єктивних факторів, що мають місце під час відтворення підпису. Вищенаведені перетворення обґрунтовуються ще й тим, що для розв'язання задачі аутентифікації особи необхідним етапом є порівняння підписів однієї і тієї ж особи та підписів різних осіб, а це можливо здійснити лише шляхом їх уніфікації. Така уніфікація і буде наслідком проведених вище перетворень (3)-(7) компонент динамічного підпису. Отже, **нормований підпис** згідно з [2] можна подати як вектор $\Theta = \{ \tilde{f}'_n(\hat{t}), \tilde{g}'_n(\hat{t}), n = \overline{1, N} \}$ функцій, які характеризують підпис особи, незалежно від того, в якому місці на планшеті вона почала підписуватися, з яким розмахом (варіацією) виконаний підпис, протягом якого часу тривав підпис, а також під яким кутом було його відтворено. Ці функції задані на інтервалі $(0, 1]$, а їх область значень $[-1, 1]$.

Функції, які відповідають компонентам нормованого підпису $\tilde{f}'_n(\hat{t})$, $\tilde{g}'_n(\hat{t})$ і описують траєкторії руху пера вздовж осей x та y , можна інтерпретувати як реалізації випадкових процесів $\{ \zeta(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in [0, 1] \}$ та $\{ \eta(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in [0, 1] \}$:

$$\zeta_n^\omega(t) = \tilde{f}'_n(\hat{t}), \eta_n^\omega(t) = \tilde{g}'_n(\hat{t}), \hat{t} \in [0, 1], n = \overline{1, N}. \quad (10)$$

Розглянутий вище процес нормування динамічного підпису дає змогу застосовувати стохастичний підхід до аналізу нормованого підпису як сукупності випадкових процесів $\zeta(\omega, t)$, $\eta(\omega, t)$, оскільки вони мають однакову область визначення $\Omega \times [0, 1]$ та однакову область значень $[-1, 1]$.

Таким чином, нормований підпис містить репрезентативні ознаки особи, які не залежать від тривалості введення, розмаху, кута повороту і початкової точки введення динамічного підпису. Оскільки відтворюваним динамічним підписам однієї і тієї ж особи при тих же умовах притаманна мінливість, а коефіцієнти: A_{n_f} , A_{n_g} і A_{n_p} , B_{n_f} , B_{n_g} і B_{n_p} та α_n , ϕ_n набувають різних значень, то коефіцієнти трактуються як реалізації таких випадкових величин:

$A_\xi(\omega)$, $A_\eta(\omega)$ – випадкові величини, реалізації яких відповідають значенням коефіцієнтів $\{A_{n_f}, n = \overline{1, N}\}$ та $\{A_{n_g}, n = \overline{1, N}\}$;

$\alpha(\omega)$ – випадкова величина, реалізації якої дорівнюють значенням коефіцієнтів $\{\alpha_n, n = \overline{1, N}\}$;

$B_\xi(\omega)$, $B_\eta(\omega)$ – випадкові величини, реалізації яких відповідають значенням коефіцієнтів $\{B_{n_f}, n = \overline{1, N}\}$ і $\{B_{n_g}, n = \overline{1, N}\}$;

$\phi(\omega)$ – випадкова величина, реалізаціями якої є $\{\phi_n, n = \overline{1, N}\}$.

Слушно вважати, що випадковий процес $\xi(\omega, t)$ та випадкові величини $A_\xi(\omega)$, $\alpha(\omega)$, $\phi(\omega)$, $B_\xi(\omega)$ є стохастично незалежними, аналогічно стохастично незалежними вважатимемо випадковий процес $\eta(\omega, t)$ й випадкові величини $A_\eta(\omega)$, $\alpha(\omega)$, $\phi(\omega)$, $B_\eta(\omega)$.

Таким чином, нормований підпис особи можна подати як вектор, компонентами якого є випадкові процеси $\xi(\omega, t)$, $\eta(\omega, t)$,

$$\Theta_0 = \{\xi(\omega, t), \eta(\omega, t)\}, \omega \in \Omega, t \in [0, 1], \quad (11)$$

та вектор випадкових величин $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega), \phi(\omega)\}$, а наведені вище співвідношення лежать в основі методів попередньої обробки динамічного підпису.

Нормований підпис відображає інформативну складову динамічного підпису особи і має визначальне значення для задачі аутентифікації, оскільки не залежить від того, з яким розмахом, з якою тривалістю, з яким кутом нахилу і з якої початкової точки відтворений динамічний підпис.

Проведемо нормування динамічних підписів особи (рис.1) за формулами (8)-(9) і отримаємо нормовані підписи (рис.2). Після виконання попередньої обробки вважаємо компоненти нормованого підпису реалізаціями випадкових процесів та проводимо статистичну обробку нормованого підпису.

Статистичні характеристики нормованого підпису є ключовими і репрезентують особу. Згідно з роботою [2] аутентифікаційними ознаками особи за динамічним підписом є математичне сподівання і дисперсія нормованого підпису.

На рисунках 3–4 наведено результати оцінювання математичного сподівання випадкових процесів, що описують компоненти нормованого підпису з урахуванням кута нахилу підпису $\xi(\omega, t)$ та $\eta(\omega, t)$ та без його урахування $\xi_0(\omega, t)$ та $\eta_0(\omega, t)$.

На рисунках 5–6 наведено результати оцінювання дисперсії випадкових процесів, що описують компоненти нормованого підпису з урахуванням кута нахилу підпису $\xi(\omega, t)$ та $\eta(\omega, t)$, а також без його урахування $\xi_0(\omega, t)$ та $\eta_0(\omega, t)$.

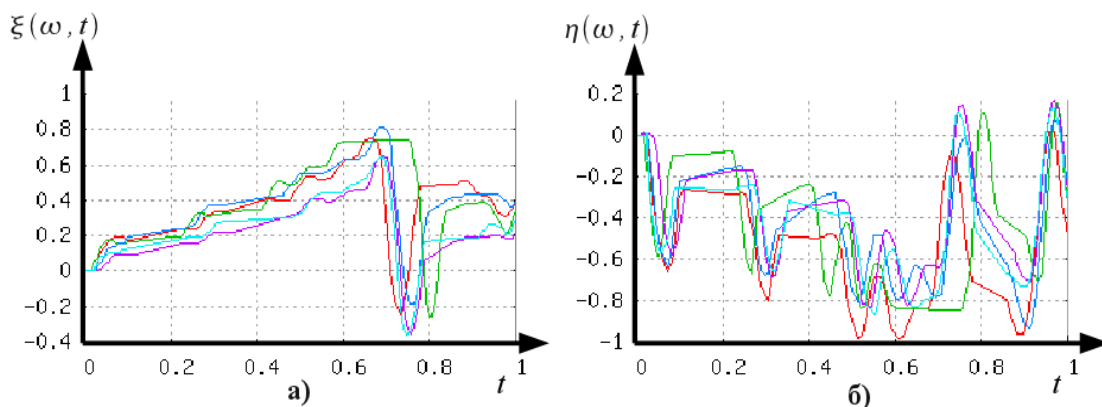


Рисунок 2. Реалізації процесів $\xi(\omega, t)$ (а), $\eta(\omega, t)$ (б) – компонент нормованого підпису

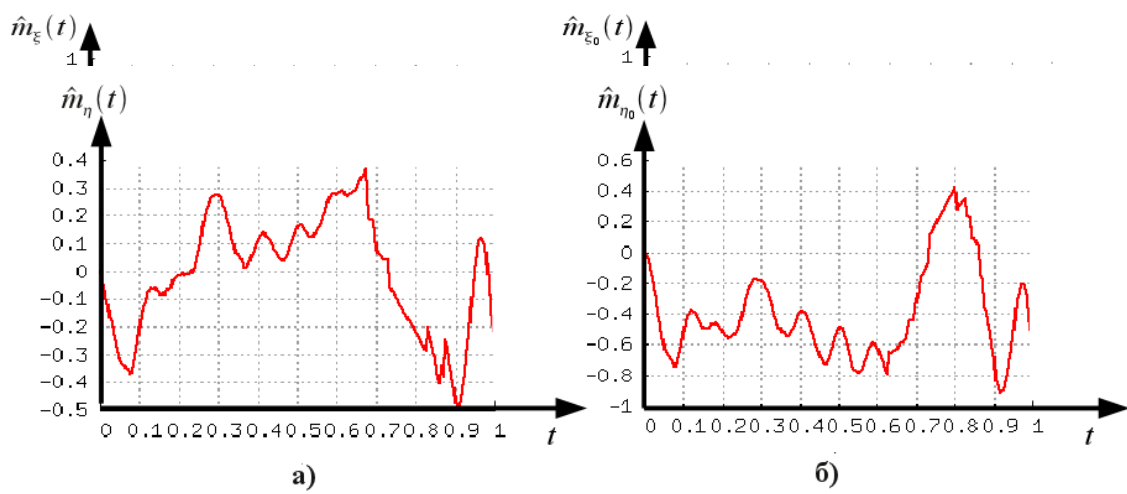
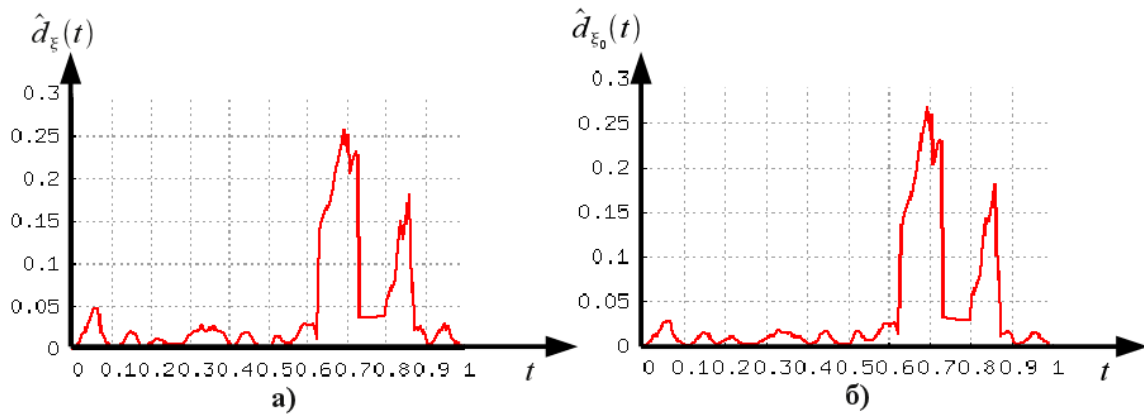


Рисунок 4. Реалізації оцінок математичного сподівання процесу $\eta(\omega, t)$ – з урахуванням кута нахилу підпису особи (а) та процесу $\eta_0(\omega, t)$ – без урахування кута нахилу(б)

Здійснено верифікацію методів попередньої обробки динамічно введеного підпису шляхом оцінювання максимальних ($\hat{d}_{max_{\zeta}}$ і $\hat{d}_{max_{\eta}}$) та середніх ($\hat{d}_{C_{\zeta}}$ і $\hat{d}_{C_{\eta}}$) значень реалізацій оцінок дисперсії з урахуванням та без урахування кута повороту. Результати верифікації методів попередньої обробки (нормування) наведено у табл. 1, вони вказують на зростання ступеня однорідності нормованих даних (нормованого підпису) з урахуванням кута повороту.

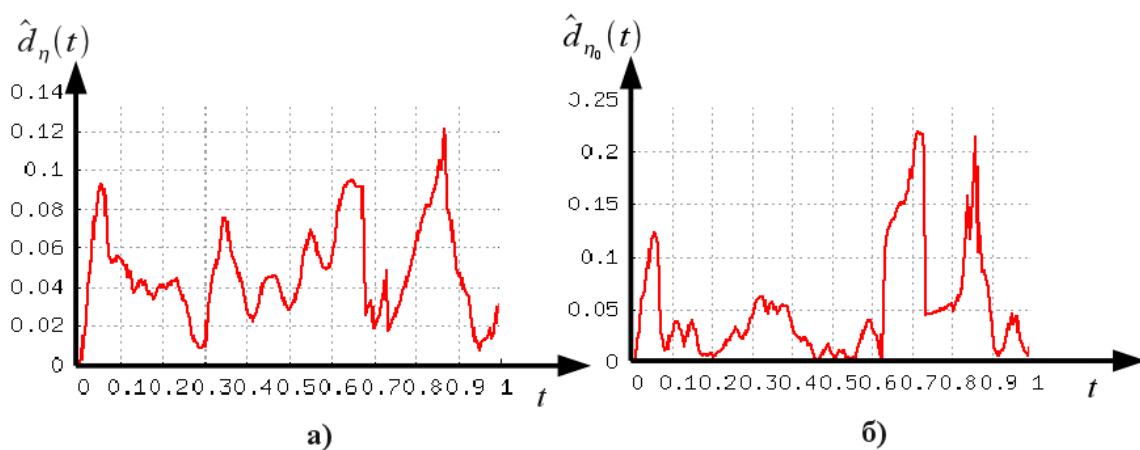
Таблиця 1. Результати верифікації методів попередньої обробки

| | $\hat{d}_{max_{\zeta}}$ | $\hat{d}_{max_{\eta}}$ | $\hat{d}_{C_{\zeta}}$ | $\hat{d}_{C_{\eta}}$ |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| З урахуванням кута повороту | 0,2598 | 0,0964 | 0,0405 | 0,0392 |
| Без урахування кута повороту | 0,2685 | 0,2184 | 0,0380 | 0,0505 |



Рисун

ок 5. Реалізація оцінки дисперсії процесу $\zeta(\omega, t)$ – з урахуванням кута нахилу підпису особи (а) та процесу $\zeta_0(\omega, t)$ і без урахування кута нахилу(б)



Рисун

ок 6. Реалізація оцінки дисперсії процесу $\eta(\omega, t)$ – з урахуванням кута нахилу підпису особи (а) та процесу $\eta_0(\omega, t)$ – без урахування кута нахилу(б)

Таким чином, уточнення методів попередньої обробки динамічного підпису та його математичної моделі дали змогу підвищити точність оцінювання ймовірнісних характеристик динамічного підпису та адекватніше здійснити уніфікацію всіх підписів з метою їх подальшого використання в системі аутентифікації.

На основі запропонованих моделей та методів модифіковано програмні продукти [3] і [4], які були реалізовані засобами технології JAVA. Поворот динамічного підпису можна реалізувати власними методами або стандартними засобами JAVA, зокрема, методами `rotate(double angle)`, `rotate(double angle, double x, double y)`, `translate(double x, double y)` класу `Graphics2D` [8], дані методи реалізують залежність (7).

Відбір динамічних підписів здійснено за допомогою графічних планшетів `Wacom PenPartner2` [9] та `Genius WizardPen` [10,11]. При деякій модифікації вихідного коду і з урахуванням особливостей пристроїв введення, дане програмне забезпечення можна адаптувати для використання в планшетних ПК та смартфонах на базі платформи `Android` [1].

Висновки. Вдосконалено методи попередньої обробки компонент динамічного підпису та побудовано уточнену математичну модель нормованого підпису. Отримані результати статистичного аналізу підтвердили ефективність розробленого методу врахування кута нахилу підпису, що дозволило підвищити точність роботи системи аутентифікації особи в інформаційних системах шляхом усунення факторів, які мають несистематичний характер, і збільшити кількість інформативних аутентифікаційних ознак.

Наступними напрямками для дослідження є подальше підвищення точності оцінювання характеристик динамічного підпису з метою вдосконалення системи аутентифікації користувачів за динамічним підписом. Для досягнення даної мети необхідно розв'язати ряд наукових задач, зокрема, покращити якість статистичного аналізу компонент динамічного підпису шляхом урахуванням його сегментної структури [12]. Очевидно, що врахування додаткових аутентифікаційних ознак в інформаційній системі під час реєстрації та аутентифікації особи дасть змогу підвищити ефективність її роботи. У процесі реєстрації необхідно забезпечити можливість відбраковування підписів, які особа ввела некоректно, з метою унеможливлення генерування нерепрезентативного еталона підпису. Система аутентифікації має враховувати деякі незначні зміни в підписі, які можуть виникати у зареєстрованої в системі особи з плином часу та інформувати особу про необхідність генерації нового еталона або самостійно підлаштовуватися під змінений підпис користувача. Для реалізації таких задач можна скористатись теоретичними підходами, викладеними в [5].

Література

1. `Android Developers Blog: Android 2.3 Platform and Updated SDK Tools` [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://android-developers.blogspot.com/2010/12/android-23-platform-and-updated-sdk.html> – Назва з екрану.
2. Луцків, А.М. Математичне моделювання і обробка динамічно введеного підпису для задачі аутентифікації особи у інформаційних системах [Текст]: дис. ...кандидата техн.наук: 01.05.02; захищ. 03.06.2008; затверджена 03.12.2008 / А.М. Луцків. – Тернопіль, 2008. – 276с.
3. А. с. № 32556 Україна. Комп'ютерна програма "Облік робочого часу осіб на основі біометричної аутентифікації за динамічним підписом" / А. М. Луцків, С. А. Лупенко ; заявл. 28.01.10 ; опубл. 26.03.10.
4. А. с. № 33526 Україна. Комп'ютерна програма "Дослідження динамічного підпису особи" [Текст]/ А. М. Луцків, С. А. Лупенко ; заявл. 28.01.10 ; опубл. 31.05.10.
5. Лупенко, С.А. Розвиток теорії моделювання та обробки циклічних сигналів в інформаційних системах [Текст]: дис. ...доктора техн.наук: 01.05.02; захищ. 29.09.2010; затверджена 26.01.2011. – Львів, 2010. – 479с.

6. Сорокин, И.А. Компенсация искажений вызванных нестабильностью угла наклона подписи в биометрических системах аутентификации [Текст] / И.А. Сорокин // Безопасность информационных технологий. Труды научно-технической конференции. – Пенза: НИКИРЭТ, 2002. – Т.3. – С. 96–98.
7. Ильин, В.А. Аналитическая геометрия: учеб. для вузов / В.А. Ильин, Э.Г. Позняк. – 5-е изд. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 224с.
8. Java Platform Standard Ed. 6 Class Graphics2D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://download.oracle.com/javase/6/docs/api/java/awt/Graphics2D.html> – Назва з екрану.
9. Wacom PenPartner2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.wacom-europe.com/int/products/penpartner2/index2.asp?lang=en>. – Назва з екрану.
10. Genius WizardPen 4x3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.genius.ru/Product.aspx?ProductID=3113&archive=0>. – Назва з екрану.
11. Genius WizardPen 5x4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.genius.ru/Product.aspx?ProductID=2357>. – Назва з екрану.
12. Бойко, І.Ф. Математична модель динамічного підпису з урахуванням його сегментної структури [Текст] / І.Ф. Бойко, С.А. Лупенко, А.М. Луцків // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – Т.11, №3. – С.152–162.

Отримано 24.03.2011