

АДАПТАЦІЯ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ЗРАЗКА КЛАВІАТУРНОГО ПОЧЕРКУ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ І СЕНСОРНИХ ЕКРАНІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто задачу адаптації параметрів моделі надійності зразка клавіатурного почерку до умов мобільних пристроїв та сенсорних екранів. Запропоновано чотири адаптації ключових параметрів — порогу варіативності CV_max , порогу фінгерпринту θ_fp , ознаки детекції автозаповнення та мінімального стандартного відхилення σ_min , — що враховують фізичні особливості сенсорного введення. Показано, що платформи-специфічна параметризація дозволяє коректно оцінювати надійність поведінкового зразка у мобільному середовищі та зберегти ефективність якісно-керованого злиття скорингу.

Ключові слова: клавіатурний почерк, мобільна автентифікація, сенсорний екран, модель надійності зразка, ризик-орієнтована автентифікація, fat-finger ефект, фінгерпринт пристрою.

Abstract

The paper addresses the problem of adapting the keystroke sample reliability model parameters to mobile devices and touchscreen environments. Four adaptations of key parameters — variability threshold CV_max , fingerprint threshold θ_fp , autofill detection feature, and minimum standard deviation σ_min — are proposed to account for specific physical characteristics of touchscreen input. It is demonstrated that platform-specific parameterization enables correct assessment of behavioral sample reliability in mobile environments and preserves the informativeness of quality-gated score fusion.

Key words: keystroke dynamics, mobile authentication, touchscreen, sample reliability model, risk-based authentication, fat-finger effect, device fingerprint.

Мета

Метою дослідження є розробка та обґрунтування підходу до адаптації параметрів моделі надійності зразка клавіатурного почерку для мобільних пристроїв і сенсорних екранів, що забезпечує коректне оцінювання якості поведінкового сигналу в умовах підвищеної природної варіабельності сенсорного введення та специфічних апаратних обмежень мобільних платформ.

Вступ

Клавіатурний почерк є одним із найдоступніших поведінкових біометричних ознак у вебзастосунках: сигнал реєструється через стандартний JavaScript API браузера без спеціалізованого обладнання і не вимагає активних дій від користувача. У ризик-орієнтованій автентифікації (Risk-Based Authentication, RBA) клавіатурний почерк формує поведінковий канал, ефективний внесок якого у підсумкову оцінку ризику пропорційний надійності конкретного зразка — показнику $q \in [0,1]$.

Мобільні пристрої з сенсорними екранами формують принципово інше фізичне середовище для реєстрації клавіатурного почерку порівняно з фізичними клавіатурами. Ефект «товстого пальця» (fat-finger) та природне тремтіння руки при введенні з телефону збільшують природне стандартне відхилення часових інтервалів. TypeNet — Siamese LSTM, навчена на даних 168 000 користувачів, — демонструє EER = 9,2 % для сенсорних екранів проти 2,2 % для фізичних клавіатур [1], що свідчить про суттєво вищу природну варіабельність сенсорного введення, а не про нижчу дискримінаційну здатність почерку як такого.

Якщо параметри моделі надійності q розроблено лише для фізичних клавіатур і не адаптовано до мобільного середовища, система систематично занижуватиме q для мобільних входів — що призводить до двох небажаних ефектів: надмірної кількості STEP-UP запитів для легітимних мобільних користувачів або ігнорування поведінкового сигналу через занадто низький q . Це обумовлює практичну значущість розробки

платформо-специфічних адаптацій параметрів моделі надійності.[2][3]

Адаптація параметрів моделі надійності для мобільного середовища

Модель надійності зразка q включає компоненти: повнота профілю c , ефективна довжина r , нормальність варіативності v , гарантія профілю m , детектор автозаповнення $(1-a)$ та узгодженість пристрою δ . Мультиплікативна структура $q = c^w_c \cdot r^w_r \cdot v^w_v \cdot m^w_m \cdot (1-a) \cdot \delta$ забезпечує обнулення надійності при виявленні автозаповнення ($a = 1$) або невідомого пристрою ($\delta = 0$). Чотири компоненти цієї моделі потребують адаптації параметрів для мобільного середовища.

Перша адаптація стосується ознаки $v = \max(0, 1 - CV_sample / CV_max)$, що оцінює нормальність варіативності зразка. На фізичній клавіатурі $CV_max = 0,60$, тоді як для мобільних пристроїв встановлюється $CV_max_mobile = 0,85$. Ця різниця відображає реальні фізичні діапазони: Hold Time (HT) на мобільних пристроях складає 80–200 мс (проти 60–120 мс на фізичній клавіатурі), а Down-Down (DD) — 150–350 мс (проти 100–200 мс); варіативність CV суттєво збільшується через ефект fat-finger і природне тремтіння. Підвищення CV_max запобігає хибному скиданню $v = 0$ для зразків із нормальним мобільним ритмом введення.

Друга адаптація стосується ознаки δ (узгодженість пристрою), що перевіряє косинусну схожість поточного фінгерпринту з профільними відбитками пристрою. На мобільних платформах canvas- та WebGL-фінгерпринти є менш унікальними через стандартизовані GPU: схожість для одного й того самого пристрою зазвичай не перевищує 0,90, тоді як стандартний поріг $\theta_fr = 0,95$. Для мобільного середовища поріг знижується до $\theta_fr_mobile = 0,85$, а до вектора фінгерпринту включаються специфічні мобільні ознаки: Battery Status API (профіль зарядки), сигнатура Gyroscope/Accelerometer (орієнтація пристрою) та Touch Pressure API (середній тиск пальця) [4].

Третя адаптація стосується детектора автозаповнення a . На мобільних платформах автозаповнення реалізується системою iOS Keychain або Android Smart Lock через системний UI, що генерує keydown-події з нетиповими патернами — зокрема, без ознаки рівномірності DD-інтервалів, характерної для скрипт-підстановки. Для мобільних браузерів додається перевірка на Input Method Editor (IME) події: вони характерні для системних клавіатур із передбаченням слів і відрізняються від ручного введення наявністю compositionstart/compositionend подій, що є сигналом для встановлення $a = 1$.

Четверта адаптація пов'язана з мінімальним стандартним відхиленням σ_min , яке при $\sigma_{\{u,i\}} < \sigma_min$ підставляється замість фактичного значення для чисельної стабільності нормалізації ознак. Тремтіння руки при введенні на телефоні (phone tremor) додає до HT систематичний шум ± 10 –30 мс, що перевищує $\sigma_min = 10$ мс, встановлений для фізичних клавіатур, — тому для мобільних пристроїв встановлюється $\sigma_min_mobile = 20$ мс. Паралельно поріг детектора автозаповнення τ_DD (нижче якого медіана DD-інтервалів свідчить про механічне введення) підвищується з 15 до 20 мс, оскільки фізично можливі мінімальні DD на мобільних сенсорних клавіатурах є вищими [5].

Таблиця 1 — Адаптовані параметри моделі надійності для різних платформ

Параметр	Фізична клавіатура	Сенсорний екран (мобільний)
σ_min (мс)	10	20
τ_DD (мс)	15	20
CV_max	0,60	0,85
θ_fr (поріг фінгерпринту)	0,95	0,85
HT діапазон (мс)	60–120	80–200
DD діапазон (мс)	100–200	150–350

Визначення типу пристрою виконується автоматично через User-Agent парсинг та перевірку $navigator.maxTouchPoints > 0$ (Touch Events API). Для користувачів, що регулярно входять як з мобільного, так і з десктопного пристрою, система зберігає окремі підпрофілі — q_mobile та $q_desktop$ — і звіряє ознаку δ окремо для кожного підпрофілю. Один і той самий користувач може мати $q_mobile = 0,6$ і $q_desktop = 0,85$, що коректно відображає різний рівень діагностичної надійності в різних умовах введення, без взаємного забруднення профілів [5]

Висновки

Запропоновані чотири адаптації параметрів моделі надійності зразка клавіатурного почерку — підвищення CV_max з 0,60 до 0,85, зниження θ_fr з 0,95 до 0,85 з розширенням вектора фінгерпринту мобільно-специфічними ознаками, додавання детекції ІМЕ-подій для виявлення системного автозаповнення та збільшення σ_min з 10 до 20 мс — дозволяють коректно оцінювати надійність поведінкового зразка в умовах мобільного введення без зниження захищеності системи.

Встановлення платформи-специфічних порогів запобігає систематичному заниженню показника q для мобільних користувачів, що зберігає ефективність якісно-керованого злиття контекстного і поведінкового скорингу в мобільних сценаріях. Механізм роздільних підпрофілів $q_mobile / q_desktop$ забезпечує порівняння зразків у гомогенних умовах і усуває систематичну похибку, що виникає при змішуванні мобільних та десктопних зразків в одному профілі.

У подальшому доцільно провести емпіричну перевірку запропонованих порогів на репрезентативних наборах мобільного клавіатурного почерку, а також розглянути можливість персоналізованого підбору CV_max_mobile на основі індивідуальної коваріаційної структури мобільних зразків конкретного користувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Д.П. Курніцький, Р.Н. Кветний Порогова оптимізація risk-based автентифікації під вартісні регуляторні обмеження PSD2. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2025. Т. 50, № 2. С. 79–87.
2. Acien A., Morales A., Monaco J. V., Fierrez J. TypeNet: Deep Learning Keystroke Biometrics. IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science. 2022. Vol. 4, No. 1. PP. 57–70.
3. Shadman R., Wahab A. A., Manno M., Lukaszewski M., Hou D., Hussain F. Keystroke Dynamics: Concepts, Techniques, and Applications. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3733103>
4. Pisani P. H., Lorena A. C., de Leon Ferreira de Carvalho A. C. P. Enhanced template update for keystroke dynamics. Computers & Security. 2018. Vol. 77. PP. 473–490.
5. Yang L., Li C., You R., Li L. TKCA: A Timely Keystroke-based Continuous Authentication. Computers & Security. 2022. Vol. 120. Article 102813.

Курніцький Дмитро Петрович – аспірант кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, dmytro.kurnitskiy@gmail.com

Софіна Ольга Юрївна – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, olsofina@gmail.com

Kurnitsky Dmytro P. – post-graduate student of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, dmytro.kurnitskiy@gmail.com

Sofina Olga Yu. - Cand. Sc. (Eng), Docent of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olsofina@gmail.com