

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

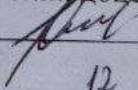
«Інформаційна технологія формування інваріантних ознак
динаміки підпису»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 2КН-21м
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Гречкосій Д. П.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. КН



Колесницький О.К.
(прізвище та ініціали)

« 15 » 12 2022 р.

Опонець: к.т.н., професор каф. КСУ



Биков М. М.
(прізвище та ініціали)

« 15 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КН

д.т.н., проф. Яровий А.А.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2022 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та
автоматизації
Кафедра комп'ютерних наук
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 12 «Інформаційні технології»
Спеціальність – 122 «Комп'ютерні науки»
Освітньо-професійна програма – «Системи штучного інтелекту»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри КН
Д.т.н., проф. Яровий А.А.**

15.09 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гречкосію Давиду Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису

керівник роботи к.т.н., доцент кафедри КН Колесницький О. К.

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" 09 2022 року №203

2. Строк подання студентом роботи 18 листопада 2022 року

3. Вихідні дані до роботи:

Вхідні дані – формат вхідних файлів – .txt, кількість нових ознак підпису – не менше 2, кількість аналізованих ознак підпису – не менше 4, кількість аналізованих авторів підпису – не менше 50, використання об'єктно-орієнтованої мови програмування.

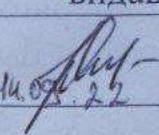
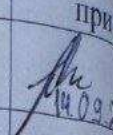
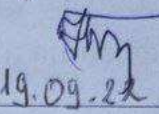

4. Зміст текстової частини:

Вступ, аналіз предметної області динамічної ідентифікації підпису, розробка інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису, програмна реалізація інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису, тестування та аналіз результатів роботи програми, економічна частина, висновки, перелік використаних джерел, додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Структура інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису, UML діаграма класів програми формування інваріантних ознак динаміки підпису, результати роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису, чисельні результати роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконаний прий
1-4	Колесницький О.К., к.т.н., доц. каф. КН	 14.09.22	 14.09.22
5	Буреннікова Н. В., д. с. н., проф. каф. ЕПВМ	 19.09.22	 19.09.22



7. Дата видачі завдання 14.09 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Аналіз сучасного рівня інформаційних технологій формування інваріантних ознак динаміки підпису. Постановка задач дослідження	14.09.22р - 01.10.22р
2	Побудова моделей формування інваріантних ознак динаміки підпису	02.10.22р - 16.10.22р
3	Практичне застосування та оцінка ефективності розроблених моделей	17.10.22р - 07.11.22р
4	Підготовка економічної частини	08.11.22р - 21.11.22р
5	Апробація та/або впровадження результатів дослідження	23.11.22р - 01.12.22р
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	02.12.22р - 14.12.22р

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Гречкосій Д. П.

Колесницький О. К.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.8

Гречкосій Д. П. Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 122 – комп'ютерні науки, освітня програма - комп'ютерні науки. Вінниця: ВНТУ, 2022. 103 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назв; рис. 23; табл. 15.

У даній магістерській кваліфікаційній роботі на основі проведеного аналізу розроблено та досліджено нові похідні динамічні ознаки підпису, що мають вищу інваріантність до геометричної мінливості підпису. Запропоновано підхід, що обчислює нові динамічні параметри підпису на основі таких первинних параметрів як координати X та Y руху пера. Було розроблено структуру інформаційної технології та алгоритм роботи програмного забезпечення формування інваріантних ознак динаміки підпису, на основі чого була проведена програмна реалізація запропонованого підходу на мові програмування Python у середовищі Visual Studio Code з використанням фреймворку Matplotlib. Програмний засіб будує графіки динамічних параметрів підпису, кількісно оцінює їх інваріантність до геометричної мінливості. Розроблений динамічний параметр підпису $l(t)$ має в 1,34-1,5 рази (або на 34-50%) більшу інваріантність, ніж параметри $X(t)$ та $Y(t)$.

Графічна частина складається з 5 плакатів.

У економічному розділі при оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, визначено, що науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,91 рази. Також термін окупності становить 0,85 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки.

Ключові слова: розпізнавання підпису, динамічні ознаки підпису, інваріантність, геометрична варіабельність підпису.

ABSTRACT

Grechkosiy D.P. Information technology for the signature dynamic invariant features formation. Master's thesis in the speciality 122 - Computer Sciences, educational program - Computer Sciences. Vinnytsia: VNTU, 2022. 103 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : 21 titles; fig. 23; table 15.

In this master's thesis, new dynamic signature features with higher invariance to the geometric variability of the signature were developed and investigated based on the analysis performed. An approach is proposed that calculates new dynamic parameters of the signature based on such primary parameters as the X and Y coordinates of the pen movement. The structure of information technology and the algorithm of software support for the formation of invariant features of signature dynamics were developed, on the basis of which the software implementation of the proposed approach was carried out in the Python programming language in the Visual Studio Code environment using the Matplotlib framework. The software constructs graphs of dynamic parameters of the signature, quantitatively evaluates their invariance to geometric variability. The developed dynamic signature parameter $l(t)$ has 1.34-1.5 times (or 34-50%) greater invariance than the $X(t)$ and $Y(t)$ parameters.

The graphic part consists of 5 posters.

In the economic section, when evaluating according to technical parameters, according to the generalized coefficient of development quality, it was determined that scientific and technical development prevails over existing analogues by approximately 1.91 times. Also, the payback period is 0.85 years, which is less than 3 years, which indicates the commercial attractiveness of scientific and technical development.

Keywords: signature recognition, dynamic signature features, invariance, geometric signature variability.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДИНАМІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПІДПISУ ОСОБИ	10
1.1 Співвідношення понять верифікація та ідентифікація	10
1.2 Процес динамічної ідентифікації підпису особи	12
1.3 Процес отримання первинних динамічних ознак підпису	15
1.4 Методи динамічної ідентифікації підпису особи та формування ознак....	17
1.5 База даних підписів DeepSignDB	19
1.6 Постановка задач дослідження	22
1.7 Висновок до розділу 1	24
2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПISУ	25
2.1 Аналіз внутрішньоперсональної варіабельності підпису	26
2.2 Вимоги до визначення оптимального набору динамічних ознак підпису	29
2.3 Розробка моделі формування інваріантних ознак динаміки підпису	30
2.4 Нормалізація динамічних параметрів підпису	34
2.5 Показник інваріантності динамічних параметрів підпису до геометричної мінливості.....	35
2.6 Структура інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису	37
2.7 Висновок до розділу 2	38
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПISУ.....	39
3.1 Обґрунтування вибору мови та середовища програмування	39

3.2 Розробка алгоритму роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису	42
3.3 Програмна реалізація інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису.....	43
3.4 Висновок до розділу 3	46
4 ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ПРОГРАМИ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПISУ.....	47
4.1 Тестування програми формування інваріантних ознак динаміки підпису.....	47
4.2 Аналіз результатів роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису	53
4.3 Висновок до розділу 4	59
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	60
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	60
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	64
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	66
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	78
5.5 Висновок до розділу 5	83
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86
Додаток А (обов'язковий) Результат перевірки на плагіат в онлайн-системі UNICHECK.....	90
Додаток Б (обов'язковий) Лістинг програми	91
Додаток В (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	Ошибка! Закладка не определена
Додаток Г (довідниковий) Інструкція користувача	102

ВСТУП

Актуальність. Аутентифікація користувачів набуває все більшого значення для ведення бізнесу, транзакцій, доступу до даних і для цілей безпеки. Багато різних технологій застосовуються для цілей аутентифікації: ідентифікатори користувачів і паролі, PIN-коди, банківська карта - це безліч способів, які поширені сьогодні, але проблема таких систем в тому, що вони повинні пам'ятати різні ПІН або паролі, носити такі предмети і тримати їх в секреті від інших.

Підпис - це поведінкова біометрика. Автоматична аутентифікація підпису стає популярною в дослідницьких областях завдяки її визнанню в правовій і соціальній сферах і її широкого використання для цілей встановлення автентичності.

Оскільки підпис для різних індивідуумів варіюється в залежності від індивідуума, то це дуже надійна біометрична система для аутентифікації користувача. Перевірка підпису є дуже складною проблемою розпізнавання образів. Оскільки всередині класу відбуваються відмінності, навіть експертам важко розпізнати підроблений підпис. І також не дуже важко підробити підпис. Вважається, що підпис є рефлексивною дією, яка створює його динамічні властивості підсвідомо.

Динамічне (або on-line) розпізнавання підпису передбачає обробку не тільки його статичного зображення, а динамічних параметрів процесу його написання: динаміка зміни координат пера, тиск на планшет, нахил пера та ін. Ці динамічні параметри зараз легко отримуються за допомогою планшетів та інших мобільних гаджетів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету 22 К1 «Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних

інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій» та плану наукової та навчально-методичної роботи кафедри.

Мета і завдання досліджень. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення інваріантності динамічних ознак підпису особи до зсуву, масштабу та повороту підпису за допомогою розробки нової інформаційної технології аутентифікації користувача.

Для досягнення мети розробки необхідно виконати такі задачі:

- провести аналіз предметної області формування динамічних ознак підпису особи та обрати напрямок досліджень;
- розглянути існуючі методи формування динамічних ознак підпису особи та обрати й обґрунтувати вибір методу, який задовольняє мету даної магістерської кваліфікаційної роботи;
- проаналізувати модель формування динамічних ознак підпису особи;
- сформулювати стадії інформаційної технології, розробити структуру та алгоритм роботи програмного засобу;
- виконати програмну реалізацію запропонованої інформаційної технології;
- провести тестування програмного продукту та виконати аналіз отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процес формування інваріантних динамічних ознак підпису особи.

Предмет дослідження – інформаційна технологія та програмні засоби формування інваріантних динамічних ознак підпису особи.

Методи дослідження. У роботі використані наступні методи наукових досліджень: системного аналізу, теорії штучних нейронних мереж для реалізації інформаційної технології, методи математичної статистики для розробки процесу розв'язання задачі формування інваріантних динамічних ознак підпису особи та обрахунків результатів експериментів із програмним засобом, об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів.

Набула подальшого розвитку інформаційна технологія формування динамічних ознак підпису особи, яка відрізняється використанням методу модифікації динамічних ознак підпису, що дозволило підвищити інваріантність програмних засобів розпізнавання підписів до зсуву, масштабу та повороту підпису.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених досліджень розроблено програмне забезпечення формування динамічних ознак підпису.

Запропонована інформаційна технологія сприяє підвищенню інваріантності динамічних ознак підпису особи до зсуву, масштабу та повороту підпису, зокрема:

- розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення формування динамічних ознак підпису;
- розроблено програмні засоби для формування динамічних ознак підпису.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується коректністю постановки завдання, коректністю використання математичного апарату методів дослідження, експериментальними дослідженнями тестування програмної реалізації інформаційної технології формування динамічних ознак підпису. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджується результатами експериментальних досліджень.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно. У працях, написаних у співавторстві, здобувачу належать: аналіз процесу формування динамічних ознак підпису та методів підвищення інваріантності програмних засобів формування динамічних ознак підпису [1].

Апробація результатів роботи. Результати роботи були апробовані на конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 15 листопада 2022 року - 12 травня 2023 року

Публікації. За результатами досліджень опубліковано одні тези доповіді на науково-технічній конференції [1].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДИНАМІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПІДПISУ ОСОБИ

1.1 Співвідношення понять верифікація та ідентифікація

Ідентифікація (розпізнавання) – це загальний процес виявлення власника підпису, яка є багатокласовим завданням класифікації. Етапи роботи системи ідентифікації показані на рис. 1.1. Спочатку вхідні підписи знімаються та попередньо обробляються, потім добуваються та зберігаються в базі знань специфічні ознаки підпису. На останньому етапі (етап класифікації) добуті ознаки «порівнюються» із шаблонними підписами, збереженими у базі знань, і визначається до якого класу належить досліджуваний підпис [2].

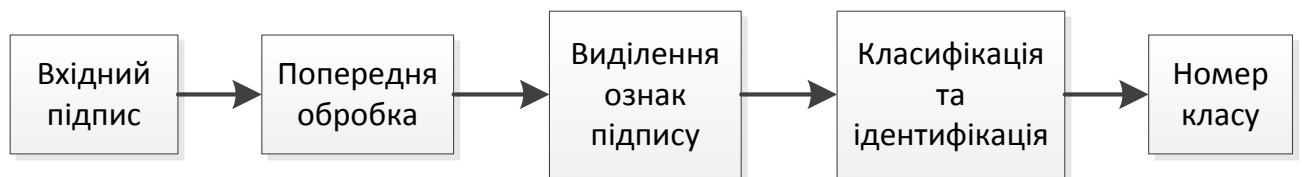


Рисунок 1.1 – Система ідентифікації підпису

Верифікація – це загальний процес прийняття рішення щодо підпису, в результаті чого визначається чи справжній підпис, чи підроблений. Тому це двокласове завдання класифікації. Етапи роботи системи верифікації показані на рис. 1.2. Етапи роботи системи верифікації підпису такі ж, як і системи ідентифікації, але вона відрізняється на етапі класифікації, оскільки ми наперед знаємо клас досліджуваного підпису та перевіряємо належність підпису до цього класу [2].

Простими словами, верифікація – це коли відома особа підписанта, тобто це пошук «один на один» (1:1), тоді як ідентифікація – це коли не відома особа підписанта, тобто це пошук «один на N» (1:N) [2].



Рисунок 1.2 – Система верифікації підпису

Хоча процеси верифікації та ідентифікації трохи відрізняються, алгоритми формування ознак підпису та алгоритми їх класифікації часто однакові що для верифікації, що для ідентифікації. Дана робота більше присвячена ідентифікації (розпізнаванню) підпису, оскільки це більш універсальний процес і він може застосовуватись не тільки для розпізнавання підписів, а і, наприклад, для розпізнавання особи по написанню парольного слова у системах з обмеженим доступом [3].

Існує два основних типи ідентифікації та верифікації підписів: офлайн (статична) та онлайн (динамічна) [2], [4,5]. В офлайн-системах аналізується статичне зображення підпису, яке вже зафіксоване на якомусь документі, зазвичай паперовому (банківські чеки, розписки, угоди і т.п.). У цьому випадку система повинна зчитувати (сканувати) та витягувати ознаки із зображення підпису. Це відрізняється від онлайн-систем, де використовуються для написання підпису такі пристрої, як планшети та смартфони. Ці пристрої дозволяють збирати додаткову інформацію про сам процес формування підпису, наприклад, залежність зміни координат пера від часу, тиск пера на планшет, кількість рухів вгору-вниз, азимут пера під час підписання користувачем та ін., що дозволяє отримати більше можливостей для точнішої ідентифікації та верифікації підписів [2], [4, 5]. Очевидно, що онлайн (динамічна) ідентифікація та верифікація підписів є більш перспективною, ніж офлайн (статична). Тому дана робота присвячена саме динамічній ідентифікації підписів.

1.2 Процес динамічної ідентифікації підпису особи

Усі методи ідентифікації підпису можна поділити на 2 типи: статична (Off-line) ідентифікація підпису та динамічна (On-line) ідентифікація підпису [2, 5] – див. рис. 1.3.

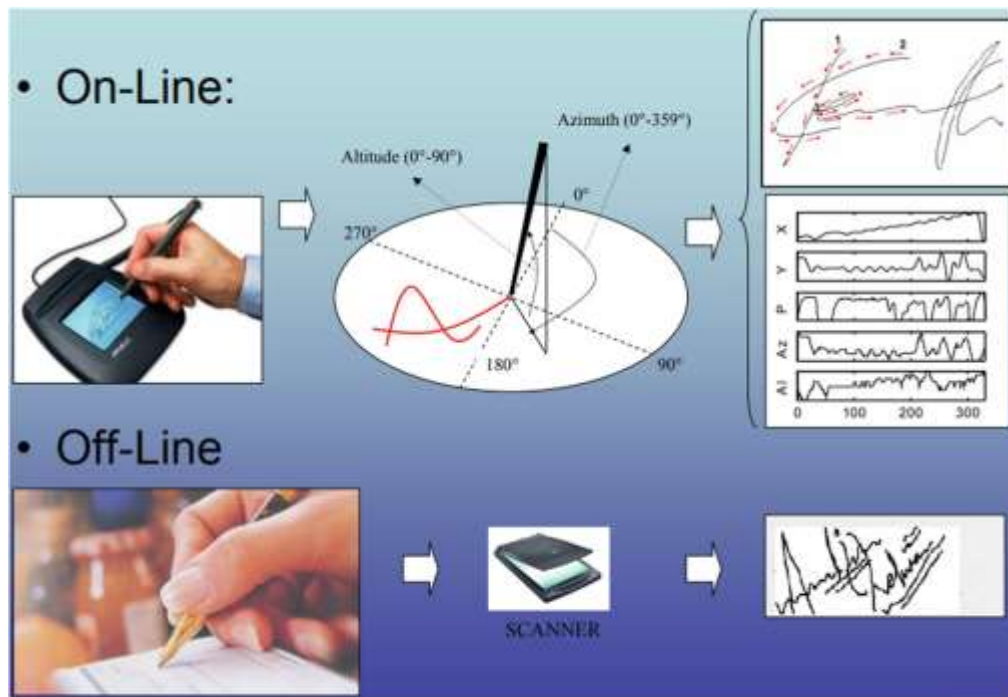


Рисунок 1.3 - Статична (Off-line) та динамічна (On-line) ідентифікація підпису

Статична ідентифікація підпису основана на аналізі самого зображення підпису і використовує різноманітні методи розпізнавання графічних образів. Вона є малонадійною, тому що зображення підпису легко підробити обведенням наявного оригіналу за допомогою копіювального паперу, на просвічення або зробивши сканкопію чи фотокопію. Більш надійною є динамічна ідентифікація підпису, оскільки вона передбачає аналіз параметрів руху пера автора при виконанні їм підпису. У найпростішому випадку такими параметрами динаміки відтворення підпису можуть бути три функції від часу: дві функції зміни координати $X(t)$ та координати $Y(t)$ пера в площині графічного планшету і ще одна функція - зміна тиску пера на графічний

планшет $Z(t)$. Навіть якщо зловмисник навчиться відтворювати графічно схожий на оригінал підпис, то навряд чи він зможе точно відтворити динаміку рухів автора підпису, тому що вона є індивідуальною для кожної людини. Тому найбільш перспективною є динамічна (On-line) ідентифікація підпису. До того ж вона максимально придатна до реалізації сучасними засобами інформаційних технологій і перевищує можливості людини-оператора в цьому процесі.

Етапи системи ідентифікації підпису.

Традиційні етапи ідентифікації підпису включають: збір даних, попередню обробку, вилучення та класифікація ознак. Основні етапи систем ідентифікації підпису графічно проілюстровано на рис. 1.4.

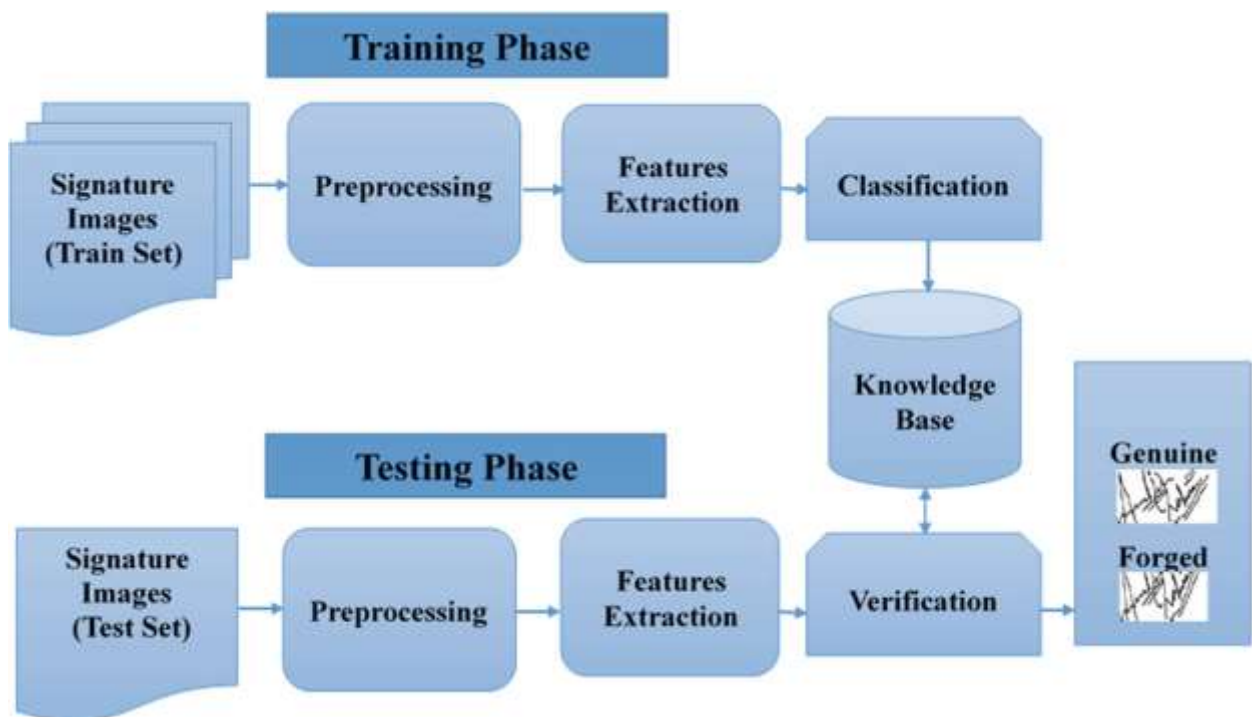


Рисунок 1.4 - Етапи процесу ідентифікації підпису

Збір даних.

Збір даних означає захоплення зображень підписів. Збір даних є головним кроком для будь-якого методу перевірки. У системах онлайн-ідентифікації для отримання даних підпису використовуються планшети із

ручками, графічні планшети та сенсорні мобільні телефони. Найбільш часто використовуваними пристроями збору даних є екрани для оцифровки. Ці конкретні пристрої створюють електронні сигнали, характеристики трасування підпису та загальний процес написання. Звичайні генеровані сигнали - це координати X та Y , сигнали тиску, прискорення, швидкості та сили. Після отримання підписів його не можна розглядати для подальшої обробки, як є. Для цього потрібна попередня обробка.

Попередня обробка.

Попередня обробка означає спрощення певних операцій без втрати даних [2]. Попередня обробка є елементарним кроком для покращення вхідних даних або для сортування зразків необроблених даних у стандартній формі, яка підходить для фази вилучення ознак. У разі онлайн-перевірки підпису зображення можуть містити декілька типів варіацій та ривків, які потрібно усунути на етапі попередньої обробки. Процедура попередньої обробки може бути виконана за допомогою фільтрації, зменшення шуму та алгоритмів згладжування.

Особливості вилучення ознак.

Вилучення ознак - це метод вилучення репрезентативних характеристик підписів які використовуються для дискримінації різних класів підпису [2]. Оптимальний вибір домінуючого набору ознак є ключем до ефективної системи.

Ідентифікація підпису.

Система вимірюється з багатьох різних точок зору, даючи кілька альтернатив для вилучення особливостей. Онлайн / динамічні функції намагаються витягти динамічну інформацію з підпису процес виконання, такий як положення, тиск, прискорення, швидкість тощо. Залежно від онлайн методів існує три широкі категорії ознак: статистичні ознаки, структурні особливості, особливості, що базуються на моделі, або автоматичні функції [5]. Статистичними ознаками є математичні або статистичні вимірювання для класифікації відповідної інформації для скорочення розриву серед класів.

Ще однією широкою категорією ознак є глобальні та локальні ознаки [2]. Глобальні особливості стосуються цілого підпису або представника цілого підпису. Загальними рисами є кількість злетів / падінь пера, загальна кількість компонентів, коефіцієнти, отримані за допомогою математичних перетворень, тривалість часу і т. д. При локальному вилученні об'єкта підпису ділиться на число одиниць або розділів, а особливості витягуються з певного розділу підпису. Локальні функції можна розділити на два параметри, такі як компонентно-орієнтовані функції та піксельно-орієнтовані функції.

Класифікація.

Класифікація - це процес оцінки справжності підпису. Ціль класифікації полягає у порівнянні ознак запиту із заздалегідь збереженими ознаками бази знань задля перевірки з використанням великої кількості екземплярів. Після навчання підпис запиту класифікується як справжній або підроблений. Типові методи класифікації в області перевірки підпису включають підхід, заснований на правилах узгодження шаблонів, машини опорних векторів (SVM), нейронних мережах (NN) тощо.

1.3 Процес отримання первинних динамічних ознак підпису

Для отримання первинних динамічних ознак підпису може використовуватись велика кількість можливих пристроїв, наприклад, цифровий планшет, мобільний телефон та ін.

Частіше всього використовують графічні планшети, які видають такі первинні динамічні параметри підпису [2], [4, 5] (див. рис.1.5):

- 1) координата пера $X(t)$;
- 2) координата пера $Y(t)$,
- 3) тиск пера на графічний планшет $Z(t)$;
- 4) кут нахилу пера до площини планшету $\gamma(t)$;

5) азимут руху пера $\alpha(t)$.

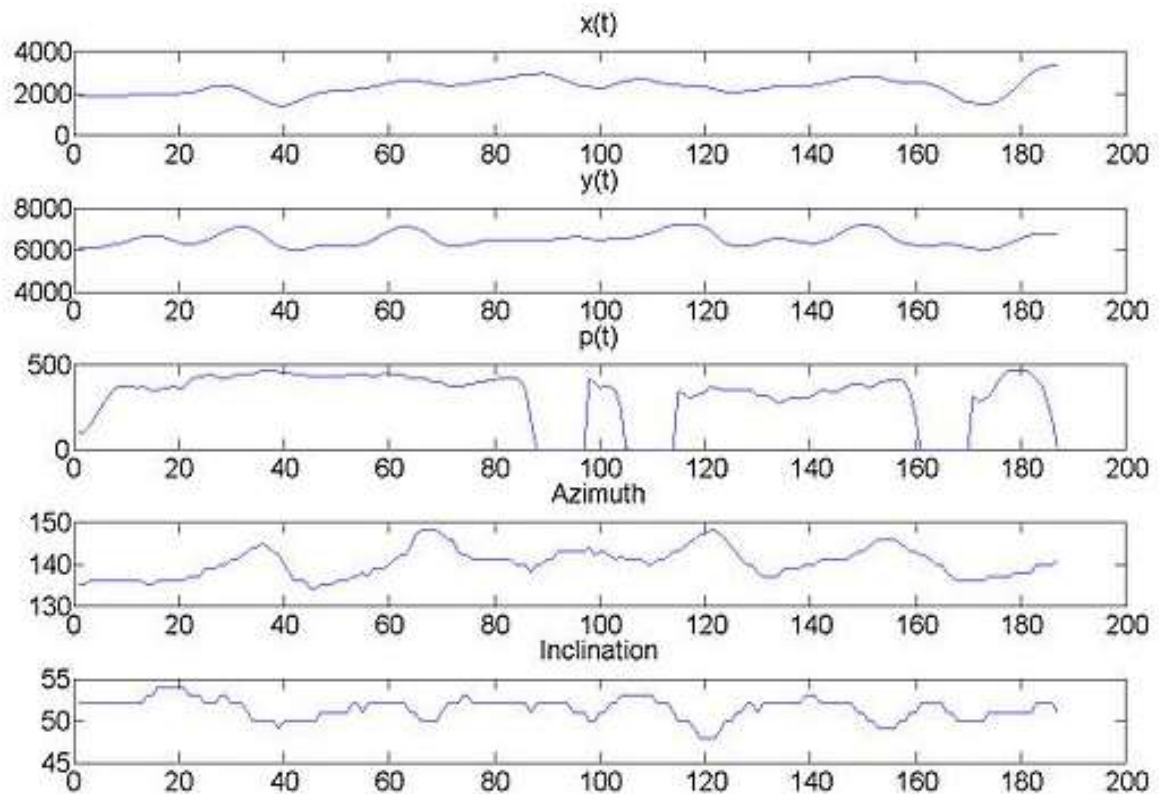


Рисунок 1.5 – Приклад первинних динамічних параметрів підпису, які видають графічні планшети

Але отримувані первинні динамічні параметри підпису не є стабільними, тобто однозначно повторюваними для підпису однієї особи, тому що на них впливають фактори збурень, які можна розділити на два типи [5]:

1) зовнішні фактори (засоби, якими здійснюється підпис, інструментальні похибки процесу оцифрування, включно роздільну здатність та частоту дискретизації, фоновий шум, наявність на руках підписанта ювелірних виробів і т.п.);

2) внутрішньоперсональна варіабельність.

Внутрішньоперсональна варіабельність означає несхожість між підписами, виконаними одним і тим самим підписантом. На

внутрішньоперсональну варіабельність може впливати:

- 1) емоціональний стан,
- 2) стрес,
- 3) втома,
- 4) вплив алкоголю чи наркотиків,
- 5) нейро-моторні стани,
- 6) ефекти біологічного старіння,
- 7) когнітивно-моторні порушення

та інші фактори, які є наслідками настрою людини, часу, доступного для написання підпису або готовності до співпраці.

Також підписант може змінювати масштаб підпису, зсувати початок підпису відносно початку координат планшету, міняти нахил написання підпису відносно сторін планшету, Це представляється як зміни масштабу, зсуву і повороту підпису. Тому ми можемо описати вимірний підпис як суму корисного сигналу із зовнішніми та внутрішніми збуреннями.

1.4 Методи динамічної ідентифікації підпису особи та формування ознак

У науковій літературі наведено детальний аналіз методів і засобів ідентифікації підписів [2, 5]. Динамічну (Online) ідентифікацію підпису можна класифікувати за такими ознаками:

1) *Динамічні параметри підпису*. Взагалі, більшість графічних планшетів видає такі динамічні параметри підпису як координати $X(t)$ та $Y(t)$, тиск пера на графічний планшет $Z(t)$, кут нахилу пера до площини планшету $\gamma(t)$, азимут руху пера $\alpha(t)$. Із цих основних динамічних параметрів часто пропонують отримувати похідні параметри. Такими похідними параметрами пропонується обирати швидкості зміни координат, прискорення зміни координат, а також різноманітні дискретні ознаки, такі як кількість максимумів, мінімумів,

опуклих та увігнутих ділянок та ін.. Беруться не всі динамічні параметри одночасно, а їх певні набори. Навіть проводяться дослідження щодо порівняння інформативності різних динамічних параметрів та їх стійкості до інтраперсональної мінливості підписів [4].

2) *Тип параметрів підпису.* У більшості робіт застосовують глобальні динамічні параметри підпису, тобто часові ряди обраних параметрів за всю тривалість підпису. У деяких роботах застосовують локальні фрагменти динамічних параметрів у певному часовому інтервалі, або на певних виділених характерних ділянках підпису[4].

3) *Вид перетворення параметрів.* Динамічні параметри підпису є функціями від часу, тому у такому вигляді їх важко класифікувати. Легше процес класифікації здійснювати над векторами чисел, тому із динамічних параметрів виділяють певні «ознаки», які є числами і заміняють функції від часу (часові ряди) набором чисел (числовим вектором). Для переходу від функцій часу до числових векторів ознак використовують різні види перетворень: Уолша [2], Хаара [2], Фур'є [5], дискретне вейвлет-перетворення (DWT) [2], виділення головних компонент (Principal Component Analysis – PCA [5]), сплайни [2] і т.і.

4) *Вид класифікатора.* Після того як процес підписування оцифровано у вигляді числового вектора ознак, його можна класифікувати будь-яким із відомих методів класифікації. Найпростішим є метод порівняння з еталоном, при якому обчислюються певні міри схожості векторів [6] (Махалонобіса, Евклідова та ін.). Більше переваг мають методи на основі машин опорних векторів (support vector machine - SVM) [6], прихованих марковських моделей [7] та штучних нейронних мереж (ШНМ) [8, 9]. Останні все частіше використовуються у процесі Online верифікації підпису. В останні роки спостерігається перехід від традиційних ШНМ (багатошаровий персептрон – БШП, нейро-нечіткі та РБФ мережі [8, 9]) до сучасних парадигм ШНМ (рекурентні [10], згорткові [5], спайкінгові [11,12,13,14]). Найперспективнішими є спайкінгові та рекурентні нейронні мережі, оскільки

вони дозволяють класифікувати функції часу (часові ряди) як вони є без перетворення у вектори статичних ознак.

1.5 База даних підписів DeepSignDB

База даних DeepSignDB [10] налічує 1526 користувачів з чотирьох різних популярних баз даних (а саме: МСУТ [7], BiosecurID, Biosecure DS2 та e-BioSign DS1) та нової бази даних підписів e-BioSign DS2. Рис.1.6 графічно узагальнює структуру, пристрої отримання підпису та засоби написання, розглянуті в базі даних DeepSignDB.

У таблиці 1.1 узагальнено основні технічні характеристики пристроїв збору динамічних параметрів підпису, що використані в кожному наборі даних DeepSignDB. Важливо підкреслити, що для пристроїв загального призначення (у цьому випадку пристрої Samsung), інформація про роздільну здатність пристрою та частоту дискретизації недоступні. Фактично, частота дискретизації пристроїв загального призначення становить нижче 100 Гц і вона нерівномірна [2].

МСУТ.

База даних МСУТ [7] містить загалом по 25 справжніх підписів та 25 кваліфікованих підробок на кожного користувача, отриманих за один сеанс блоками по 5 підписів. Всього нараховується 330 користувачів, а підписів отримувались в умовах офісу. Користувачі підписувались на аркуші паперу, всередині сітки, яка позначала місце для підпису, використовуючи чорнильну ручку. Папір розміщували на планшеті Wacom Intuos A6 USB, який фіксував такі часові сигнали пера: просторові координати X та Y, тиск, кутові орієнтації (тобто азимут руху та кут нахилу до площини) та мітки часу.

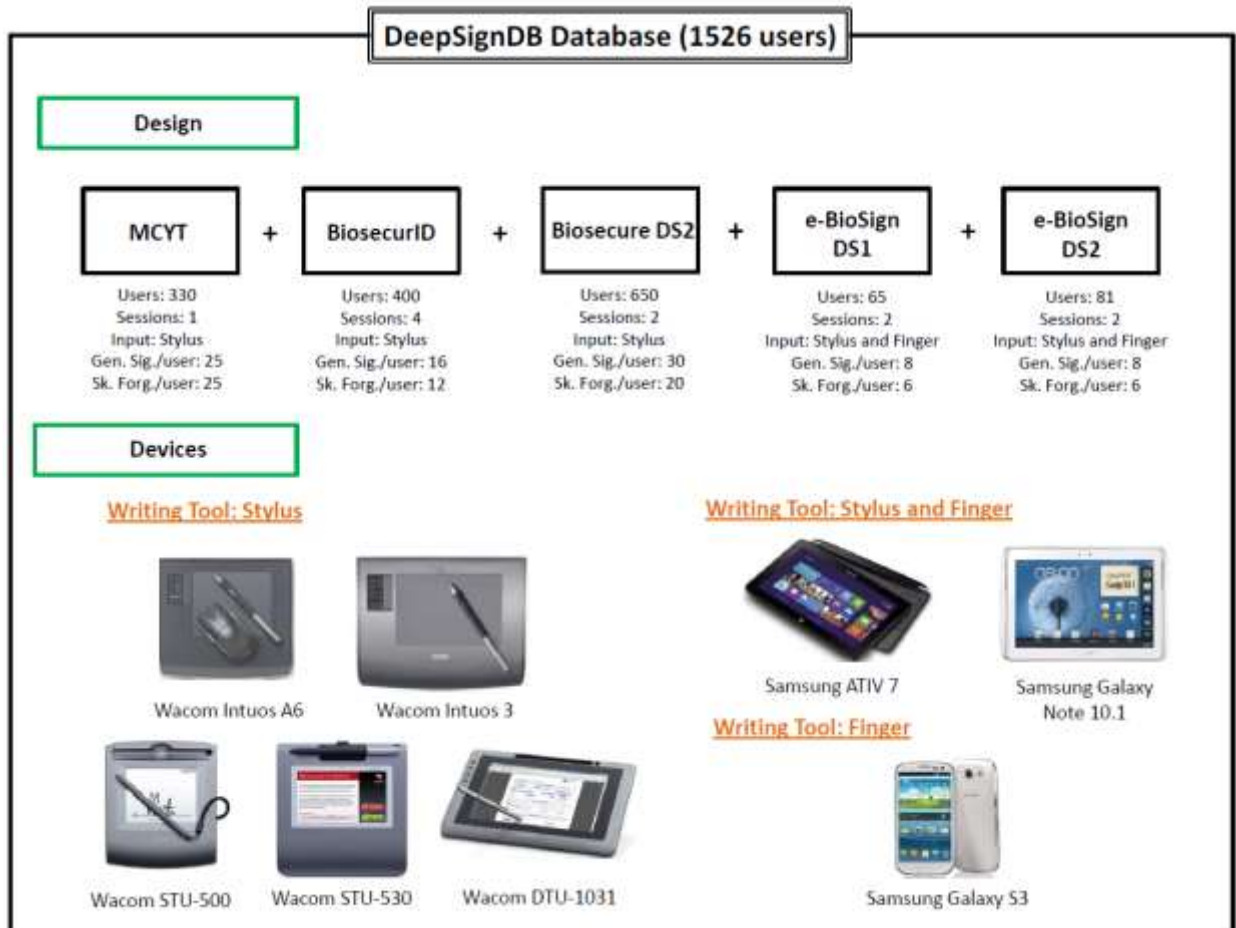


Рисунок 1.6 – Структура, пристрої отримання підпису та засоби написання, розглянуті в базі даних DeepSignDB

BiosecurID.

База даних BiosecurID [10] налічує по 16 справжніх підписів та по 12 кваліфікованих підробок на кожного користувача, отримані у 4 окремих сеансах із двомісячним інтервалом між ними. Всього є 400 користувачів, підписи яких були отримані в умовах офісу. Користувачів попросили підписати на аркуші паперу, всередині сітки, яка позначала дозволений простір для підпису, використовуючи чорнильну ручку. Папір розміщували на планшеті Wacom Intuos 3, який фіксував такі часові сигнали: просторові координати X та Y, тиск, кутові орієнтації пера (тобто азимут та кут нахилу) та мітки часу.

Таблиця.1.1 – Технічні характеристики пристроїв збору, розглянуті в кожному наборі даних DeepSignDB

БД	Пристрій	Вхід	Екран (діагональ)	Роздільна здатність	Частота дискретизації
МСУТ	Wacom Intuos A6	Stylus	6.4 inches	2,540 lpi	100 Hz
BiosecurID	Wacom Intuos 3	Stylus	12.5 inches	5,080 lpi	100 Hz
Biosecure DS2	Wacom Intuos 3	Stylus	12.5 inches	5,080 lpi	100 Hz
e-BioSign DS1	Wacom STU-500	Stylus	5 inches(640x480 pixels)	2,540 lpi	200 Hz
	Wacom STU-530	Stylus	5 inches (640x480 pixels)	2,540 lpi	200 Hz
	Wacom DTU-1031	Stylus	10.1 inches (1280x800 pixels)	2,540 lpi	200 Hz
	Samsung ATIV 7	Stylus/ Finger	11.6 inches (1920x1080 pixels)	-	-
	Samsung Galaxy Note 10.1	Stylus/ Finger	10.1 inches (1280x800 pixels)	-	-

Biosecure DS2.

База даних Biosecure DS2 [10] налічує по 30 справжніх підписів та по 20 кваліфікованих підробок на кожного користувача, отримані під час 2 окремих сеансів із тримісячним інтервалом між ними. Всього є 650 користувачів і їх підписів, які були отримані в умовах офісу. Користувачів просили сидячи підписати аркуш паперу, розміщений поверх пристрою Wacom Intuos 3. Умови отримання підписів аналогічні, як для бази даних BiosecurID. Щодо типу підробок, то лише динамічні підробки були розглянуті.

E-BioSign DS1.

База даних e-BioSign DS1 [10] формувалася з використанням п'яти різних пристроїв. Три з них спеціально розроблені для збору рукописних даних (наприклад, Wacom STU-500, STU-530, та DTU-1031), тоді як інші два - планшети загального призначення, не розроблені для цього конкретного

завдання (Samsung ATIV 7 і Galaxy Note 10.1). Варто зазначити, що всі п'ять пристроїв використовувались із власним пером-стилусом. Крім того, два пристрої Samsung використовувались для написання підпису пальцем, що дозволяє проводити аналіз продуктивності введення даних у систему. Для всіх п'яти пристроїв використовувався один і той самий протокол отримання підпису: пристрої розміщувались на робочому столі та підписанти могли повертати їх як завгодно, щоб почувати себе комфортно при підписуванні. Підписи були зібрані за дві сесії з розривом у часі між сесіями 3 тижнів. Для кожного користувача загалом є 8 справжніх підписів та 6 кваліфікованих підробок. Для випадку використання стилуса знімалась інформація, що стосується просторових координат X та Y , тиску і мітка часу для всіх пристроїв. Крім того, траєкторії відриву пера також доступні. Однак інформація про тиск і траєкторії відриву пера не реєструвалися для випадків, коли для написання підпису використовувався палець. Щодо типу підробок, то під час першої сесії розглядалися динамічні підробки, під час другої сесії - статичні підробки.

Деякі невідповідності можуть спостерігатися у частоті дискретизації. Хоча дані планшета для оцифровки можуть вказувати, що частота дискретизації становить, наприклад, 100 Гц, мітка часу, яка зазвичай використовується, може не відображати таку частоту дискретизації протягом усього збору підпису. Профіль швидкості іноді показує розриви під час переходу від перо вниз до перо вгору. Такі розриви можуть бути пов'язані з невідповідностями використовуваного пристрою, наприклад, коли ручка втрачає контакт із планшетом.

1.6 Постановка задач дослідження

Отже, можна виділити такі основні недоліки процесу ДПІ та задачі дослідження, які ними викликані.

Недолік 1.

Отримувані первинні динамічні параметри підпису не є стабільними, тобто однозначно повторюваними для різних реалізацій підпису однієї особи. Кожна реалізація підпису відрізняється масштабом, зсувом (початок підпису на планшеті), поворотом (нахил підпису) та часом написання. Дещо компенсувати вплив масштабу та зсуву вдається амплітудною нормалізацією параметрів, вплив часового масштабу – часовою нормалізацією параметрів. Вплив повороту вже важче компенсувати. Але слід зауважити, що навіть нормалізовані динамічні параметри все-одно мають велику внутрішньоперсональну варіабельність.

Задача 1.

Потрібно обирати (або формувати) такі динамічні параметри підпису, які будуть мати мінімальну варіабельність, викликану зміною масштабу, зсуву та повороту. Іншими словами – запропонувати набір параметрів, які є інваріантними до масштабу, зсуву та повороту підпису відносно планшету, що дозволить збільшити достовірність ідентифікації підпису

Недолік 2.

Нестабільність (варіабельність) первинних та вторинних динамічних параметрів підпису також викликана нестабільністю почерку людини, її емоційним станом, втомою та іншими факторами. Це також збільшує внутрішньоперсональну варіабельність підпису і зменшує достовірність ідентифікації.

Задача 2.

Дослідити внутрішньоперсональну варіабельність різних динамічних параметрів підпису і обрати такі динамічні параметри підпису, які будуть мати мінімальну внутрішньоперсональну варіабельність, а іншими словами – параметри, робастні (стійкі) до внутрішньоперсональної варіабельності.

1.7 Висновок до розділу 1

Розглянуто співвідношення понять верифікація та ідентифікація підписів. Описано загальну схему динамічної ідентифікації підпису. Проаналізовано процес отримання первинних динамічних ознак підпису та такі їх властивості як внутрішньоперсональна та міжперсональна варіабельність. Проведено класифікацію відомих методів та засобів динамічної ідентифікації підписів та сформульовано перспективи їх вдосконалення, Проведено аналіз баз даних підписів Виділено недоліки існуючих систем динамічної ідентифікації підписів та сформульовано задачі досліджень.

2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПISУ

Незважаючи на великий обсяг досліджень за цією тематикою [2], [4, 5], створення систем динамічної (Online) ідентифікації підпису (ДП) з потрібною достовірністю і якістю роботи лишається проблематичним. Складності практичного застосування різних інформаційних технологій динамічної (Online) ідентифікації підпису викликані недоліками самого явища формування підпису, як об'єкту інформаційного процесу. Так, підпис однієї і тієї ж людини є нестабільно відтворюваним процесом. Причини нестабільності підпису можна розділити на 3 групи [4]:

- 1) природня варіабельність почерку людини (відмінність у написанні окремих літер, вензелів та ін.);
- 2) варіабельність геометричних параметрів підпису, а саме:
 - варіабельність геометричних розмірів (просторового масштабу) різних реалізацій підпису,
 - варіабельність точки початку підпису відносно сторін планшету (зсуву) різних реалізацій підпису,
 - варіабельність кута нахилу підпису відносно сторін планшету (повороту) різних реалізацій підпису;
- 3) варіабельність часу написання (часового масштабу) різних реалізацій підпису.

Геометричну та часову варіабельність компенсують шляхом амплітудної та часової нормалізації динамічних параметрів підпису. Природню варіабельність підпису важко подолати технічними засобами, але можна трохи компенсувати шляхом правильного підбору чи синтезу похідних динамічних параметрів підпису. Саме тому потрібно обирати або синтезувати такі похідні динамічні параметри підпису, які забезпечували б найменшу внутрішньоперсональну варіабельність підпису.

З іншого боку, ці динамічні параметри підпису повинні бути чутливі до підрібнок підпису, тобто до міжперсональної варіабельності. Саме тому метою досліджень, відображених у цьому розділі є кількісна оцінка внутрішньоперсональної та міжперсональної варіабельності різних динамічних параметрів підпису з тим, щоб обґрунтувати для подальшої обробки саме ті з них, які мають мінімальну внутрішньоперсональну варіабельність та максимальну міжперсональну варіабельність. Це дозволить збільшити достовірність динамічної ідентифікації підписів.

Крім цього, динамічні параметри підпису (координати $X(t)$ та $Y(t)$, тиск пера на графічний планшет $Z(t)$ та ін.) часто перетворюють у вектор статичних ознак, які потім використовують у класифікаторах різних типів для отримання результату ідентифікації. При такому перетворенні динамічних параметрів у статичні часто втрачається корисна інформація, що зменшує розбіжність між справжнім та підробленим підписом і тим самим знижує достовірність ідентифікації.

2.1 Аналіз внутрішньоперсональної варіабельності підпису

На рис. 2.1 зображено приклад підпису.

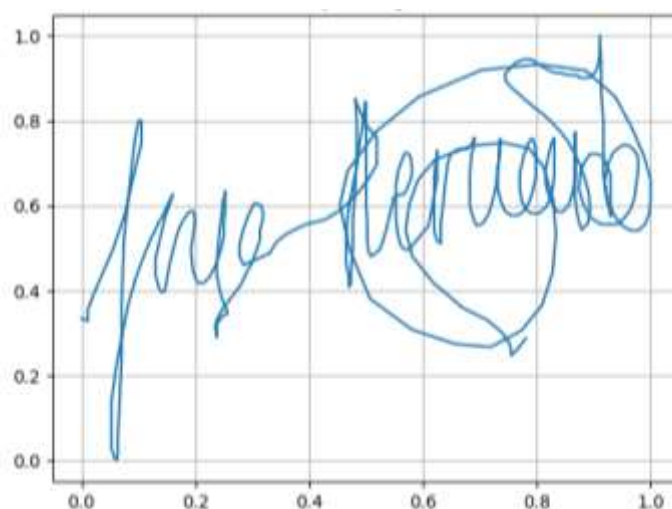


Рисунок 2.1 – Приклад зображення підпису із бази даних Deep SignBD

На рис.2.2 показано графік зміни координати $X(t)$ пера під час формування підпису для 5 різних реалізацій підпису однією особою. Із рис.2.2 добре видно, що ці 5 динамічних характеристик $X(t)$ відрізняються як по тривалості написання, так і по характеру залежності від часу. Цей факт якраз і підтверджує внутрішньоперсональну варіабельність підпису.

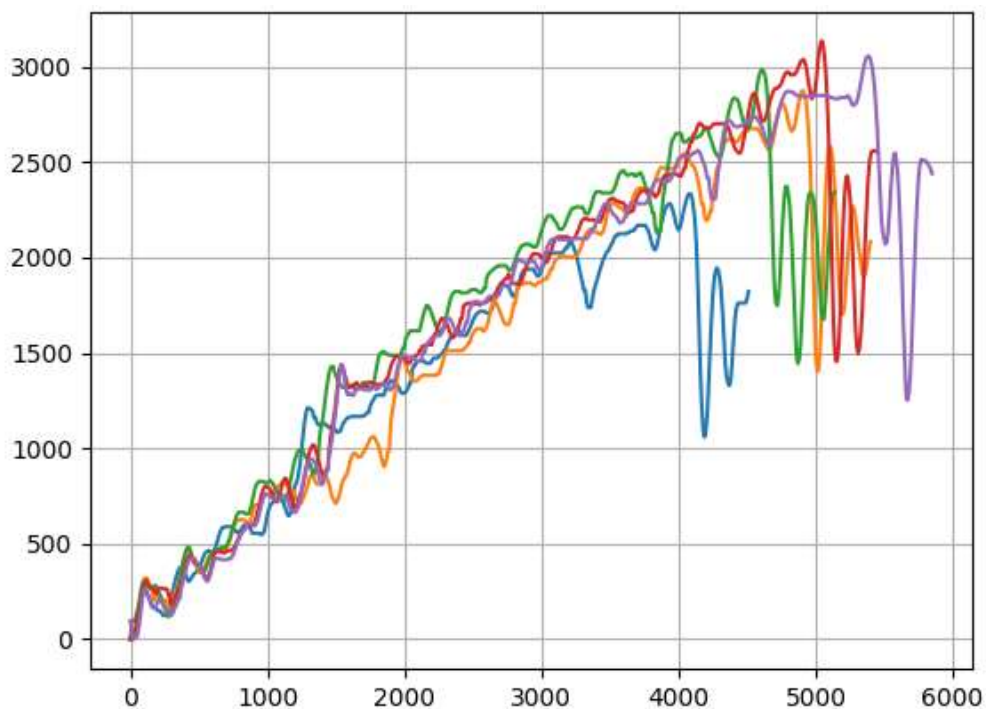


Рисунок 2.2 – Графіки зміни координати $X(t)$ пера під час формування 5 різних реалізацій підпису однієї особи

Для прикладу представлена тільки залежність $X(t)$, хоча для залежностей $Y(t)$, тиску пера на графічний планшет $P(t)$, куту нахилу пера до площини планшету $\gamma(t)$ та азимуту руху пера $\alpha(t)$ залежності будуть аналогічні. Для зменшення внутрішньоперсональної варіабельності первинні динамічні параметри підпису нормалізують як по тривалості, так і по амплітуді. На рис. 2.3 показано вже нормалізовані графіки зміни координати $X(t)$ пера під час формування підпису для 5 різних реалізацій підпису однією особою. Із рис. 2.3 добре видно, що ці 5 динамічних характеристик $X(t)$ вже

менше відрізняються по характеру залежності від часу, а по тривалості написання всі приведені до одного діапазону.

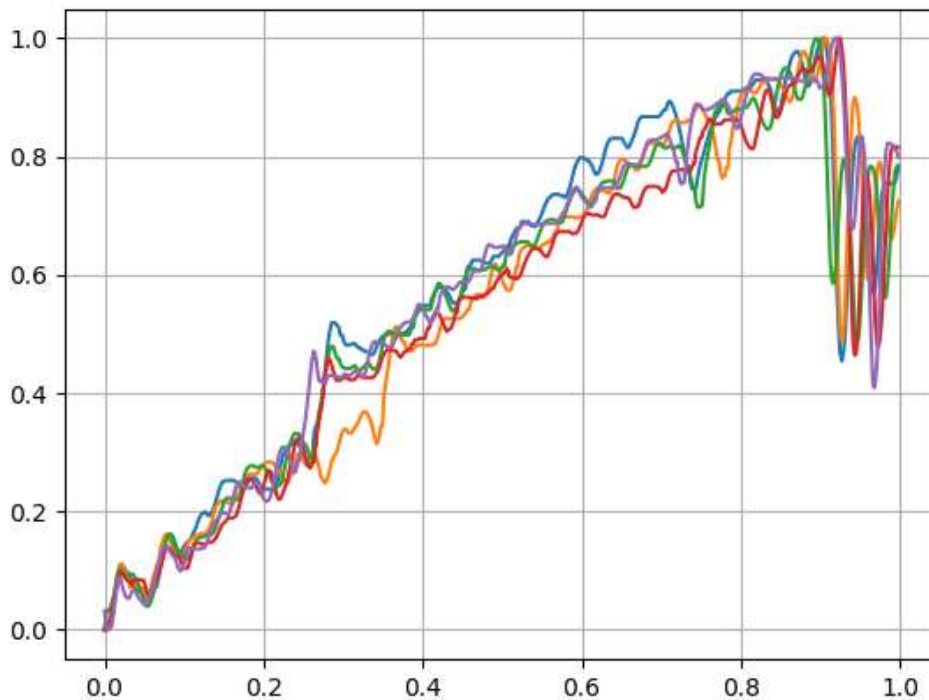


Рисунок 2.3 – Нормалізовані графіки зміни координати $X(t)$ пера під час формування 5 різних реалізацій підпису однієї особи

Але слід зауважити, що навіть нормалізовані динамічні параметри все-одно мають велику внутрішньоперсональну варіабельність. Звідси виникає наукове завдання – обирати (або формувати) такі динамічні параметри підпису, які будуть мати мінімальну внутрішньоперсональну варіабельність, а іншими словами – параметри, робастні (стійкі) до внутрішньоперсональної варіабельності.

Таким чином, для побудови високодостовірних систем ідентифікації підпису потрібно використовувати динамічні параметри, робастні (стійкі) до внутрішньоперсональної варіабельності.

2.2 Вимоги до визначення оптимального набору динамічних ознак підпису

Огляд літератури показав, що різні розробки ДПП використовують різні набори динамічних ознак підпису. Так наприклад у [15] використовують всього 3 параметри: координата пера $X(t)$, $Y(t)$, азимут руху пера $\alpha(t)$. А в [16] використовують 23 параметри, представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Набір функцій часу, розглянутих у роботі [16].

#	Динамічний параметр
1	X-координата: x_n
2	Y-координата: y_n
3	Тиск пера (ручки): z_n
4	Кут дотичної до траєкторії: θ_n
5	Швидкість руху пера: v_n
6	Радіус кривизни ділянки: p_n
7	Загальна величина прискорення: a_n
8-14	Похідна функцій першого порядку від параметрів 1-7: $x'_n, y'_n, z'_n, \theta'_n, v'_n, p'_n, a'_n$
15-16	Похідна функцій другого порядку від параметрів 1-2: x''_n, y''_n
17	Співвідношення мінімальної до максимальної швидкості у вікні з 5 зразками: v_n^f
18-19	Кут послідовних зразків та різниця першого порядку: a_n, a'_n
20	Синус: s_n
21	Косинус: c_n
22	Відношення довжини штриху до ширини у вікні з 5 зразками: r_n^5
23	Відношення довжини штриху до ширини у вікні з 7 зразками: r_n^7

Виникає запитання: а скільки оптимально потрібно обирати динамічних параметрів і які саме, щоб досягти максимальної достовірності динамічної ідентифікації підписів при мінімумі витрат? З одного боку, чим більше взяти параметрів, тим точніше має бути робота системи. Але, з іншого боку, обробка великої кількості параметрів вимагає більших обчислювальних ресурсів і більше часу на прийняття рішення. Також не зрозуміло чи виправдано обирати велику кількість параметрів, адже всі вони не є незалежними, оскільки обчислюються по чотирьох первинних параметрах ($x(t)$, $y(t)$, $p(t)$ та $\gamma(t)$). Тобто це питання також потребує додаткового дослідження з метою виявлення інформативності окремих параметрів та ступеню їх впливу на загальну достовірність процесу ідентифікації підпису.

2.3 Розробка моделі формування інваріантних ознак динаміки підпису

Не дивлячись на значний обсяг досліджень цієї тематики, розробка систем динамічної (Online) ідентифікації підпису (ДІП) з потрібною достовірністю і якістю роботи лишається проблематичною. Проблеми практичного застосування різних інформаційних технологій динамічної (Online) ідентифікації підпису викликані недоліками самого процесу формування підпису. Підпис однієї і тієї ж особи є нестабільно відтворюваним процесом. Причини нестабільності підпису можна розділити на 3 групи [6]:

- 1) природня мінливість почерку людини (відмінність у написанні окремих літер, вензелів та ін.);
- 2) мінливість геометричних параметрів, а саме:
 - мінливість геометричних розмірів (просторового масштабу) різних реалізацій підпису,

- мінливість точки початку підпису відносно сторін планшету (зсуву) різних реалізацій підпису,
- мінливість кута нахилу підпису відносно сторін планшету (повороту) різних реалізацій підпису;
- 3) мінливість часу написання (часового масштабу) різних реалізацій підпису.

Природню мінливість підпису важко подолати технічними засобами, але можна дещо компенсувати правильним підбором чи синтезом похідних динамічних параметрів підпису. Мінливість просторового масштабу та часову мінливість компенсують шляхом амплітудної та часової нормалізації динамічних параметрів підпису. А от мінливість зсуву та повороту різних реалізацій підпису (див. рис.2.4) можна подолати двома шляхами:

- 1) виконанням складних перерахунків координат підпису за формулами афінних перетворень;
- 2) обранням таких похідних динамічних параметрів підпису (які обраховуються на основі первинних параметрів X та Y), які були б інваріантні до (незалежні від) зсуву та повороту різних реалізацій підпису.

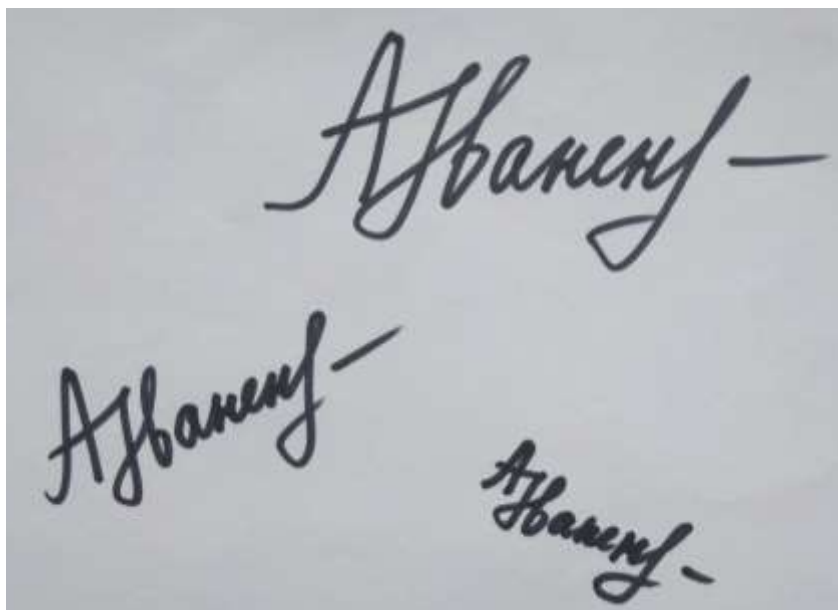


Рисунок 2.4 – Мінливість геометричних параметрів підпису (масштаб, зсув та поворот)

Перший шлях вимагає великого обсягу комп'ютерних обчислень, тому буде потребувати багато ресурсів комп'ютера і мати невисоку швидкодію. Другий шлях представляється більш простим. Саме тому в цій роботі пропонуються такі параметри підпису як l та $\Delta\alpha$, які є інваріантними до зсуву та повороту різних реалізацій підпису.

Використання таких параметрів у подальшому процесі класифікації підпису дозволить збільшити загальну точність динамічної ідентифікації підписів незалежно від використовуваних класифікаторів.

Такі динамічні параметри підпису як координати $X(t)$ та $Y(t)$ не є інваріантними до просторового та часового масштабу підпису, а також до нахилу написання. Тому пропонується використовувати відстань від поточного часового відліку координат пера (x_i, y_i) до наступного (x_{i+1}, y_{i+1}) [6] (див. рис. 2.5). Тобто, згідно теореми Піфагора:

$$l_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (2.1)$$

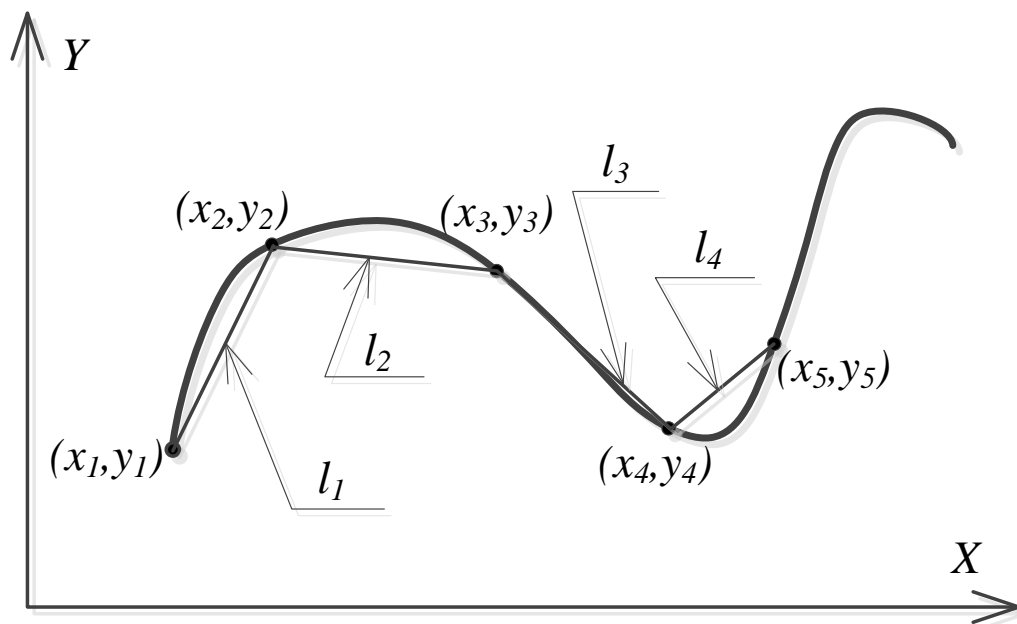


Рисунок 2.5 – Отримання динамічного параметру підпису $l(t)$

Якщо координати $X(t)$ та $Y(t)$ знімаються з часовим кроком Δt і під час написання підпису їх буде N , то значень l_i буде отримано $(N-1)$. Залежність $l(t)$ буде інваріантна до кута нахилу підпису. Інваріантність залежності $l(t)$ до просторового та часового масштабів можна забезпечити її подальшою нормалізацією. Якщо взяти відношення $l_i/\Delta t$, то це буде швидкість пера на відрізьку між точками (x_i, y_i) та (x_{i+1}, y_{i+1}) . А поскільки всі Δt однакові, то l_i є пропорційною швидкості пера на відрізьку $[(x_i, y_i); (x_{i+1}, y_{i+1})]$. При $\Delta t \rightarrow 0$ величина l_i пропорційна миттєвій швидкості пера у точці (x_i, y_i) . Якщо миттєву швидкість пера розглядати як вектор (який однозначно визначається довжиною та кутом нахилу до осі абсцисс), то залежність його довжини $l(t)$ та залежність кута нахилу $\alpha(t)$ до осі абсцисс будуть однозначно визначати намальований графічний образ з урахуванням динаміки його написання [6]. Іншими словами, динаміка лінійної та кутової швидкості пера однозначно визначає не тільки намальовану фігуру, але і «особливості» її написання. Але залежність $\alpha(t)$ не буде інваріантна до нахилу всього підпису відносно осі абсцисс. Саме тому краще брати різницю $\Delta\alpha_i$ сусідніх кутів α_{i+1} і α_i .

На основі вищесказаного другим динамічним параметром підпису оберемо різницю кутів $\Delta\alpha_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$ нахилу двох сусідніх відрізків, що з'єднують дискретні точки (просторові відліки) підпису (див. рис. 2.6). Кут α_i знаходиться із прямокутного трикутника, катетами якого є різниці координат точок (x_{i+1}, y_{i+1}) та (x_i, y_i) .

Якщо координати $X(t)$ та $Y(t)$ знімаються з часовим кроком Δt та під час написання підпису їх буде N , то значень α_i буде отримано $(N-1)$, а значень $\Delta\alpha_i$ - $(N-2)$. Залежність $\Delta\alpha(t)$ буде інваріантна до кута нахилу підпису, але деякі неточності будуть мати місце через квадратну координатну сітку. Інваріантність залежності $\Delta\alpha(t)$ до просторового та часового масштабу можна забезпечити її подальшою нормалізацією.

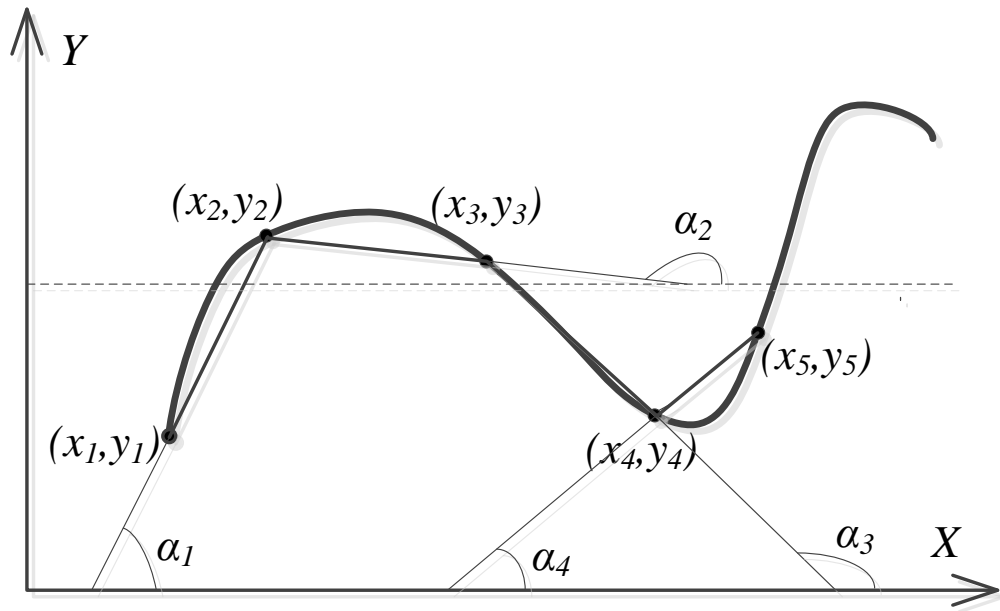


Рисунок 2.6 – Отримання динамічного параметру підпису $\Delta\alpha(t)$

Третім динамічним параметром підпису оберемо тиск пера на графічний планшет $Z(t)$. Залежність $Z(t)$ є інваріантною до зсуву та повороту підпису. Інваріантність залежності $Z(t)$ до часового масштабу можна забезпечити її подальшою нормалізацією.

Таким чином, обрано три динамічних параметри: 1) $l(t)$ - відстань між сусідніми дискретними точками підпису, 2) $\Delta\alpha(t)$ - різниця кутів нахилу двох сусідніх відрізків, що з'єднують дискретні точки підпису, 3) $Z(t)$ - тиск пера на графічний планшет. Ці динамічні параметри характеризують підпис як багатопараметричний процес, який буде розпізнаватися в подальшому будь-яким класифікатором. Розглянемо як здійснюється нормалізація цих динамічних параметрів.

2.4 Нормалізація динамічних параметрів підпису

Нормалізація динамічних параметрів підпису має здійснюватись як по амплітуді, так і по часу. Точніше, по часу має відбуватись приведення до єдиного часового інтервалу. Якщо конкретна реалізація підпису тривала час

T , а необхідно приводити всі підписи до єдиного інтервалу T_0 , то потрібно відліки конкретного динамічного параметру подавати на вхід спайкінгової нейронної мережі не з кроком Δt дискретизації сигналів у планшеті, а з новим часовим кроком:

$$\Delta t_0 = \frac{T_0}{T} \cdot \Delta t, \quad (2.2)$$

Нормалізація двох із обраних динамічних параметрів $l(t)$ та $z(t)$ по амплітуді буде здійснюватись за формулами:

$$\bar{l}_i = (l_i - l_{min}) / (l_{max} - l_{min}). \quad (2.3)$$

$$\bar{z}_i = (z_i - z_{min}) / (z_{max} - z_{min}). \quad (2.4)$$

де \bar{l}_i та \bar{z}_i - нормалізовані значення l_i та z_i ; l_{min} та z_{min} - мінімальні значення l_i та z_i ; l_{max} та z_{max} - максимальні значення l_i та z_i відповідно.

Динамічний параметр $\Delta\alpha(t)$ не потребує нормалізації по амплітуді, тому що він вже нормалізований (є кутом) і завжди міняється в діапазоні $[-\pi, +\pi]$ радіан.

2.5 Показник інваріантності динамічних параметрів підпису до геометричної мінливості

Для доведення більшої інваріантності обраних параметрів $l(t)$ та $\Delta\alpha(t)$, ніж первинних параметрів $X(t)$ та $Y(t)$, проведемо дослідження їх інтраперсональної мінливості. Для цього скористаємось базою даних підписів МСУТ-330 [7], яка є частиною бази даних підписів DeepSignDB [10]. У базі даних підписів МСУТ-330 є 330 користувачів, для кожного з яких є 25 його оригінальних підписів та 25 майстерно підроблених підписів.

Інваріантність до зсуву та повороту будемо оцінювати для нормалізованих по амплітуді і по часу динамічних параметрів підпису, оскільки саме вони підлягають подальшому процесу класифікації.

Кожен із початкових параметрів, наприклад, $X(t)$ є нічим іншим, як часовим рядом. Тобто може бути представлений вектором, що складається із окремих відліків залежності: $X=(x_1, x_2, \dots, x_{1i}, \dots, x_n)$. Довжина вектора n і вона не однакова для всіх реалізацій підпису. Відліки знімаються із часовим кроком Δt , який зазвичай дорівнює 10 мс (частота дискретизації 100 Гц). Коли здійснюється амплітудна та часова нормалізація динамічного параметру, то просто коригується часовий крок Δt за формулою (2.2), а амплітуда за формулою (2.3). Але все одно ми маємо вектор $\bar{X}=(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{1i}, \dots, \bar{x}_n)$ довжиною n , яка не однакова для всіх реалізацій підпису. Тобто, коли ми шукаємо усереднений часовий ряд \bar{X} , то нам потрібно усереднювати вектори різної довжини. Тому приведемо всі вектори \bar{X}^j окремих реалізацій підпису ($j=1\dots 25$) до довжини $N=1000$ шляхом знаходження елементів цих нових векторів \bar{X}^j за допомогою кусочно-лінійної апроксимації [6]. Далі для кількісного оцінювання інваріантності (до зсуву та повороту) динамічних параметрів підпису, спочатку знайдемо усереднений часовий ряд кожного із параметрів по 25 (для МСҮТ) відомим рядам справжніх підписів кожного користувача за формулою:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_i^j, i = 1 \dots N, N = 1000 \quad (2.4)$$

Для прикладу, на рис. 4.3в та 4.4в показано графіки усередненої залежності відповідно $\bar{X}(t)$ та $\bar{Y}(t)$ і огинаючі максимальних та мінімальних значень залежностей $X(t)$ та $Y(t)$ для 25 оригінальних підписів одного користувача. На рис. 4.5б та 4.6б показано графіки

усереднених залежностей $\%q(t)$ та $\Delta\%a(t)$ та огинаючи їх максимальних та мінімальних значень для 25 оригінальних підписів одного користувача.

Для кількісної оцінки відмінності реального параметра конкретної реалізації підпису від усередненого застосуємо середнє відносне значення відхилення по всім $N=1000$ точкам X^j ($j=1\dots m$):

$$\Delta x^j = 100\% \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_i^j - \%q_i|}{\%q_i}, \quad (2.5)$$

Числові дані для оцінки інтраперсональної мінливості параметрів $X(t)$, $l(t)$ та $\Delta a(t)$ для 1 користувача наведено у табл. 4.1

2.6 Структура інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису

Структура інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису представлена на рис. 2.7.

Блок читання поточного каталогу вибирає імена файлів з розширенням txt, отримує список імен файлів підписів.

Блоки зчитування координати X (Y) підпису завантажують 25 підписів з файлів та проводять зчитування даних поточного підпису.

Блоки побудови графіків X (Y) будують 25 нормалізованих залежностей X (Y) на одному графіку для порівняння та аналізу.

Блоки обчислення параметрів $\%q(t)$ та $\Delta\%a(t)$ обчислюють, апроксимують та нормалізують ці параметри.

Блоки побудови графіків $\%q(t)$ та $\Delta\%a(t)$ будують на одному полі 25 нормалізованих залежностей для порівняння та аналізу

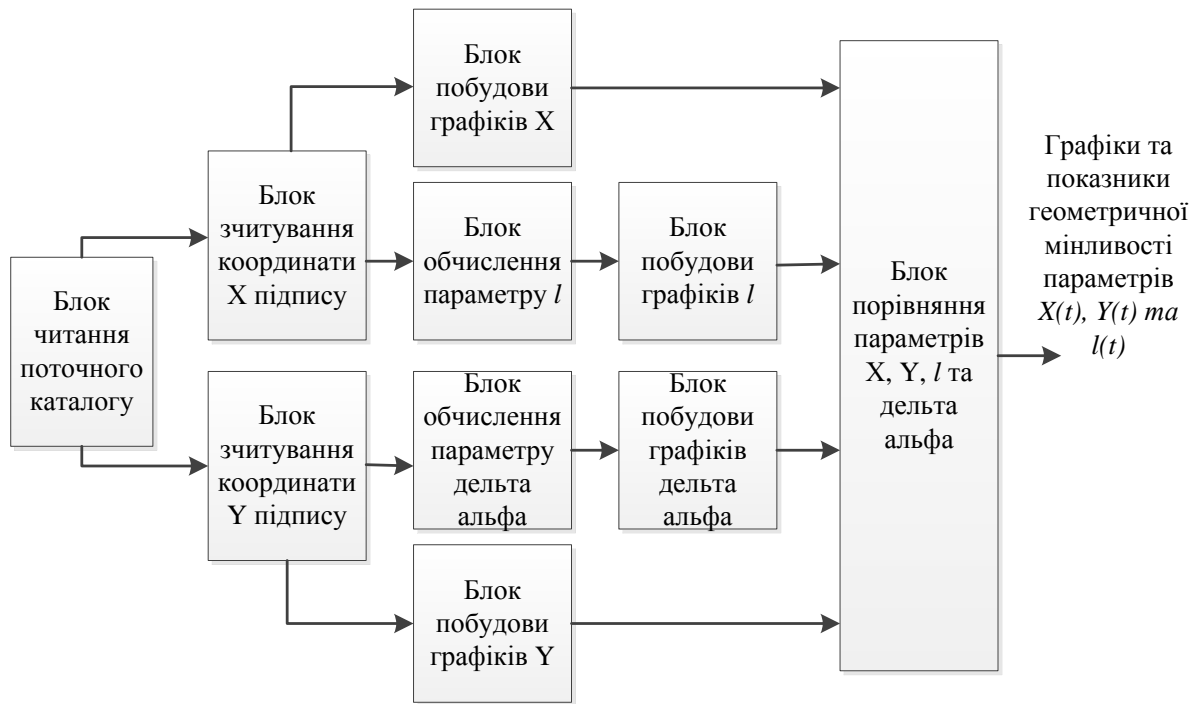


Рисунок 2.7 - Структура інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису

Блок порівняння параметрів X , Y , $l(t)$ та $\Delta\alpha(t)$ альфа оцінює кількісно показники геометричної мінливості параметрів.

На виході програми отримуються графіки та показники геометричної мінливості параметрів $X(t)$, $Y(t)$ та $l(t)$.

2.7 Висновок до розділу 2

У розділі було проведено аналіз внутрішньоперсональної варіабельності підпису, сформульовано вимоги до визначення оптимального набору динамічних ознак підпису, розроблено модель формування інваріантних ознак динаміки підпису, описано нормалізацію динамічних параметрів підпису, проаналізовано показники інваріантності динамічних параметрів підпису до геометричної мінливості, розроблено структуру інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПИСУ

3.1 Обґрунтування вибору мови та середовища програмування

Існує велика кількість мов програмування, що підтримують ООП. Кожна мова програмування виконує певні задачі краще за інші, відповідно, маючи свої переваги та недоліки. Все більше набирають оберти та використовуються такі мови як Java, C#, JavaScript, Python.

Програма буде розроблена на мові програмування Python 3.6. Python [17] було обрано так як він надає широкий спектр потужних інструментів та бібліотек для розробки програм, обробки графіків, роботи з великим обсягом даних, навчання, роботи з багатовимірними матрицями та використання моделей машинного навчання. Також Python дозволяє працювати з файловою системою, що необхідно в даній предметній області.

Python – інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією. Структури даних високого рівня разом із динамічною семантикою та динамічним зв'язуванням роблять її привабливою для швидкої розробки програм, а також як засіб поєднання наявних компонентів. Python підтримує модулі та пакети модулів, що сприяє модульності та повторному використанню коду.

Серед основних переваг можливо назвати такі:

- чистий синтаксис;
- переносність програм (що властиве більшості інтерпретованих мов) тощо.

Python має ефективні структури даних високого рівня та простий, але ефективний підхід до об'єктно-орієнтованого програмування. Елегантний синтаксис Python, динамічна обробка типів, а також те, що це інтерпретована мова, роблять її ідеальною для написання скриптів та швидкої розробки прикладних програм у багатьох галузях на більшості платформ.

Саме на базі цієї мови реалізована велика кількість бібліотек, які надають у зручному виді більшість доступних алгоритмів. Більшість із цих бібліотек використовують бібліотеку NumPy. Це бібліотека, яка дозволяє швидко і ефективно працювати з числовими даними, матрицями, таблицями чисел в різних форматах, проводити велику кількість типових операцій, що потрібні в процесі вирішення прикладних задач машинного навчання (МН).

Загалом для машинного навчання існує декілька базових бібліотек на Python, які мають досить велику перевагу у порівнянні з бібліотеками інших мов програмування. І основна з них: дуже детальна і якісна документація. Досить часто бувають ситуації, коли ми маємо хороші алгоритми, але не маємо документації. І потрібно витратити багато часу на розуміння, як працювати з даною реалізацією, що роблять методи тощо.

Одна з бібліотек з чудовою документацією, яка реалізує більшість типових методів машинного навчання є Scikit-Learn. В даній бібліотеці реалізовані десятки алгоритмів для задач кластеризації, регресії, класифікації, методу опорних векторів, лінійної та логістичної регресія та десятків інших.

В кожному із доступних алгоритмів є велика кількість параметрів, які ми можемо налаштувати під свою задачу.

Однією із дуже зручних бібліотек всередині мови Python, які допомагають працювати з великою кількістю табличних даних (досить часто тренувальні і тестувальні вибірки виглядають, як .csv-таблиці з сотнями тисяч і мільйонами рядків і колонок параметрів) є бібліотека Pandas. Вона дозволяє дуже швидко завантажувати дані, препроцесити їх (готувати у відповідний формат), щоб у зручному вигляді відправляти на опрацювання нашим алгоритмом, який ми, наприклад, вибрали з бібліотеки Scikit-Learn.

Одна із досить поширених бібліотек низькорівневих операцій для реалізації алгоритмів нейронних мереж – бібліотека Theano. Вона реалізує комплексні матричні мультиплікації, швидкі методи згортки з множенням, вичленуванням, методи регресії і всю backend-логіку роботи нейронних мереж.

Одним із ключових бонусів таких бібліотек є те, що окрім CPU реалізації (тобто реалізації роботи алгоритму на процесорі), бібліотеки типу Theano або TensorFlow (від Google) є Open Source, тобто з відкритим кодом (можна його подивитися чи дописати модулі, яких Вам не вистачає).

Це тільки дві з найпопулярніших бібліотек з реалізації backend-логіки НМ і це «конструктор», з якого ми можемо зібрати нейронну мережу будь-якої архітектури або складності, модифікувати або скомбінувати методи навчання чи оптимізації.

Один із ключових бонусів – в них реалізована підтримка обчислень на відеокартах. Процес роботи або тренування нейронної мережі пришвидшується у 70-300 разів у порівнянні із швидкістю роботи на процесорі, оскільки він виконує операції послідовно, по черзі. При виконанні обчислень на відеокарті, що являє собою систему з великої кількості маленьких процесорів, одна складна задача розбивається на велику кількість маленьких задач і вони виконуються паралельно. І саме бібліотеки Theano, TensorFlow досить ефективно використовують можливості GPU-обчислень (обчислення на відеокартах).

Для розробки програми було обрано середовище Visual Studio Code [18]. Visual Studio Code забезпечує інтелектуальне завершення та підказки при написанні коду, перевірку коду, оперативне виділення помилок та підказки для виправлення помилок, а також автоматичний рефакторинг коду і широкі можливості навігації. Колекція інструментів Visual Studio Code з коробки включає вбудований відладчик і тестовий прогін; Профілювальник Python; вбудований термінал; інтеграція з основними VCS і вбудованими інструментами бази даних; можливості віддаленої розробки з віддаленими інтерпретаторами. На додаток до Python, Visual Studio Code забезпечує першокласну підтримку різних середовищ веб-розробки Python, визначених мов шаблонів, JavaScript, CoffeeScript, TypeScript, HTML / CSS, Angular, Node.js і багатьох інших. Visual Studio Code розповсюджується безкоштовно і доступний у версіях для платформ Windows, Linux і OS X.

Через вище вказані характеристики Visual Studio Code є одним із провідних середовищ програмування на мові Python.

3.2 Розробка алгоритму роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

На основі результатів дослідження, описаних у 2 розділі, було розроблено алгоритм роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису. Алгоритм доволі простий, тому було прийнято рішення не розробляти його гаф-схему, а сформулювати його словесно:

- 1) Читання поточного каталогу і вибір імен файлів з розширенням txt,
- 2) Отримання списку імен файлів підписів,
- 3) Завантаження 25 підписів з файлів,
- 4) Зчитування файлів поточного підпису,
- 5) Задання розміру рисунку в см,
- 6) Побудова підписів на одному рисунку,
- 7) Побудова суміщеного графіку залежності координат X від часу,
- 8) Побудова суміщеного графіку залежності координат Y від часу,
- 9) Побудова суміщеного графіку нормалізованої залежності координат X від часу,
- 10) Побудова суміщеного графіку нормалізованої залежності координат Y від часу,
- 11) Побудова суміщеного графіку залежності L від часу,
- 12) Побудова суміщеного графіку нормалізованої залежності L від часу,
- 13) Побудова суміщеного графіку залежності різниці кутів від часу,
- 14) Побудова суміщеного графіку нормалізованої залежності різниці кутів від часу,
- 15) Обчислення середнього відносного значення відхилення для параметрів X, Y, L, дельта альфа від усередненої залежності.

UML діаграма класів програми представлена на рис. 3.1

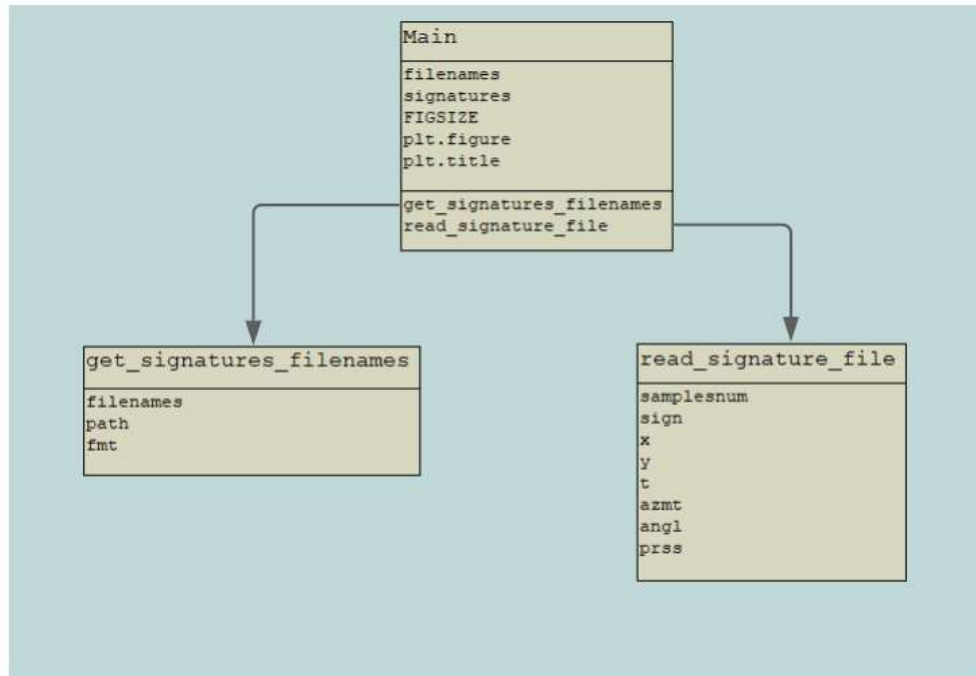


Рисунок 3.1 – UML діаграма класів програмни

Таким чином, на основі розробленого алгоритму та діаграми класів у наступному розділі описано програмну реалізацію програми формування інваріантних ознак динаміки підпису.

3.3 Програмна реалізація інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису

При програмній реалізації основних компонентів інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису крім стандартних засобів Python також використовувались можливості бібліотеки Matplotlib [19]. Matplotlib — бібліотека на мові програмування Python для візуалізації даних двовимірною 2D графікою. Отримувані зображення можуть

бути використані як ілюстрації в публікаціях. Matplotlib написана і підтримується в основному Джоном Хантером і поширюється на умовах BSD-подібної ліцензії.

Фрагмент коду для обчислення кута

```
def get_angle(xy):
    dx = xy[1][0] - xy[0][0]
    dy = xy[1][1] - xy[0][1]
    if dx != 0:
        angle = math.atan(dy / dx)
    elif dy > 0:
        angle = math.pi / 2
    elif dy < 0:
        angle = - math.pi / 2
    else:
        angle = 0
    return angle
```

Фрагмент коду для обчислення різниці кутів

```
def get_delta_angle(xy):
    return get_angle(xy[1:3]) - get_angle(xy[0:2])
```

Фрагмент коду для відображення підписів на одному рисунку

```
# розмір рисунка в см
FIGSIZE = cm2inch([10, 20])
plt.figure(figsize = FIGSIZE)
plt.title('1. f = y(x); signatures')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
```

```

#
x = samples['x']
y = samples['y']
#
plt.plot(x, y)

plt.grid(True)
plt.savefig('signatures.png')

#
FIGSIZE = cm2inch([18, 9])

```

Фрагмент коду для побудови суміщеного графіку залежності координати X від часу

```

fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('2. f = X(t); raw')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
    #
    min_x = sign['min_x']
    x = [val - min_x for val in samples['x']]
    #
    plt.plot(samples['t'], x)

plt.grid(True)
plt.savefig('X(t).png')

```

Фрагмент коду для побудови суміщеного графіку нормалізованої залежності координати X від часу

```
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('5. f = X(t); normalized')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smp1']
    #
    min_x = sign['min_x']
    dim_x = sign['max_x'] - sign['min_x']
    dim_t = len(samples['t'])
    #
    t = [val / dim_t for val in range(dim_t)]
    x = [(val - min_x) / dim_x for val in samples['x']]
    #
    plt.plot(t, x)

plt.grid(True)
plt.savefig('X(t)-norm.png')
```

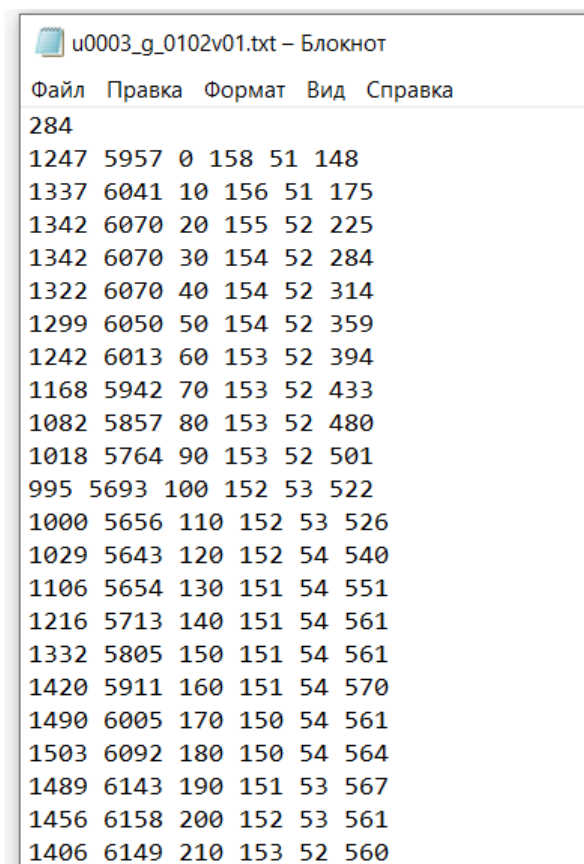
3.4 Висновок до розділу 3

У третьому розділі було обґрунтовано вибір мови та середовища програмування, які будуть використовуватися при розробці програми та наведено їх основні переваги. В результаті порівняльного аналізу було обрано середовище розробки Visual Studio Code, та мову програмування Python. Було розроблено алгоритм роботи та UML діаграму програми формування інваріантних ознак динаміки підпису. Було проведено програмна реалізація інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису.

4 ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ПРОГРАМИ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПISУ

4.1 Тестування програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

Для використання розробленої програми формування інваріантних ознак динаміки підпису необхідно, щоб у поточний каталог були завантажені файли різних реалізацій підпису, отримані з бази даних МСУТ-300. Для кожного користувача у БД є по 25 справжніх підписів та по 25 майстерно підроблених підписів. Але нам потрібно досліджувати тільки справжні підписи. Файл підпису зберігається у БД в txt форматі і представляє собою набір колонок із цифрами – див. рис. 4.1.



```
u0003_g_0102v01.txt - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
284
1247 5957 0 158 51 148
1337 6041 10 156 51 175
1342 6070 20 155 52 225
1342 6070 30 154 52 284
1322 6070 40 154 52 314
1299 6050 50 154 52 359
1242 6013 60 153 52 394
1168 5942 70 153 52 433
1082 5857 80 153 52 480
1018 5764 90 153 52 501
995 5693 100 152 53 522
1000 5656 110 152 53 526
1029 5643 120 152 54 540
1106 5654 130 151 54 551
1216 5713 140 151 54 561
1332 5805 150 151 54 561
1420 5911 160 151 54 570
1490 6005 170 150 54 561
1503 6092 180 150 54 564
1489 6143 190 151 53 567
1456 6158 200 152 53 561
1406 6149 210 153 52 560
```

Рисунок 4.1 - Фрагмент файлу підпису з БД в txt форматі

Цифра на початку (284) - це загальна кількість цифрових відліків підпису, цифри у 1-й колонці – це координати X відліків підпису, цифри у 2-й колонці – це координати Y відліків підпису, цифри у 3-й колонці – це часовий крок (10 мс) відліків підпису і т.д..

Після запуску програма спочатку будує всі підписи користувача. Для прикладу на рис. 4.2 показано фрагмент із 5 різних реалізацій підпису одного користувача.

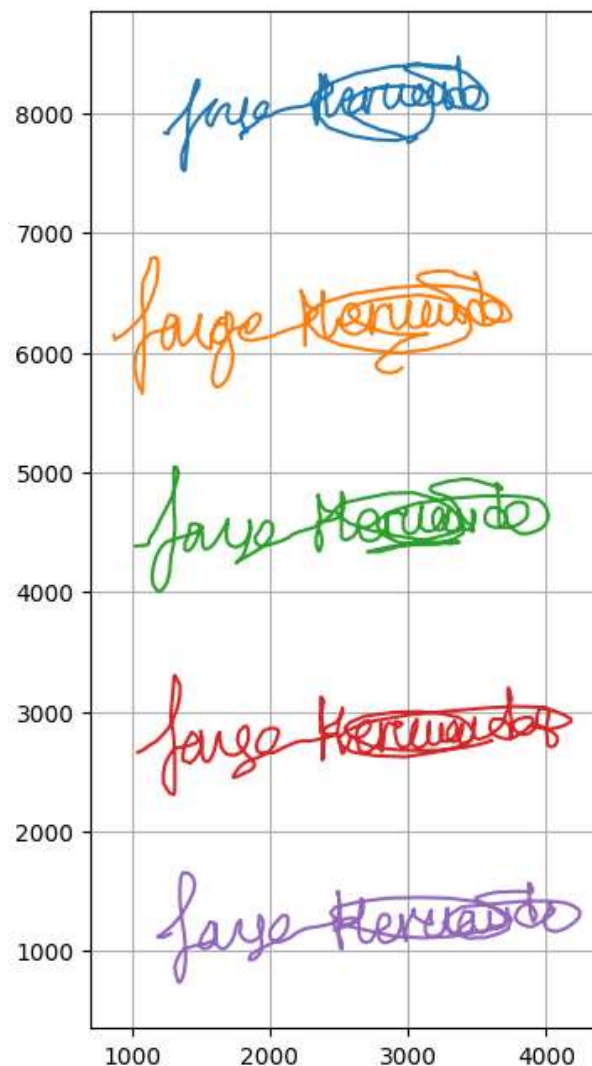


Рисунок 4.2 - Фрагмент із 5 різних реалізацій підпису одного користувача

Далі програма будує суміщений графік залежності координат X від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.3а. Потім програма будує суміщений графік нормалізованої залежності координат X від

часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.3б. А також буде графік усередненої залежності координат X від часу та мінімальну та максимальну огинаючі для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.3в.

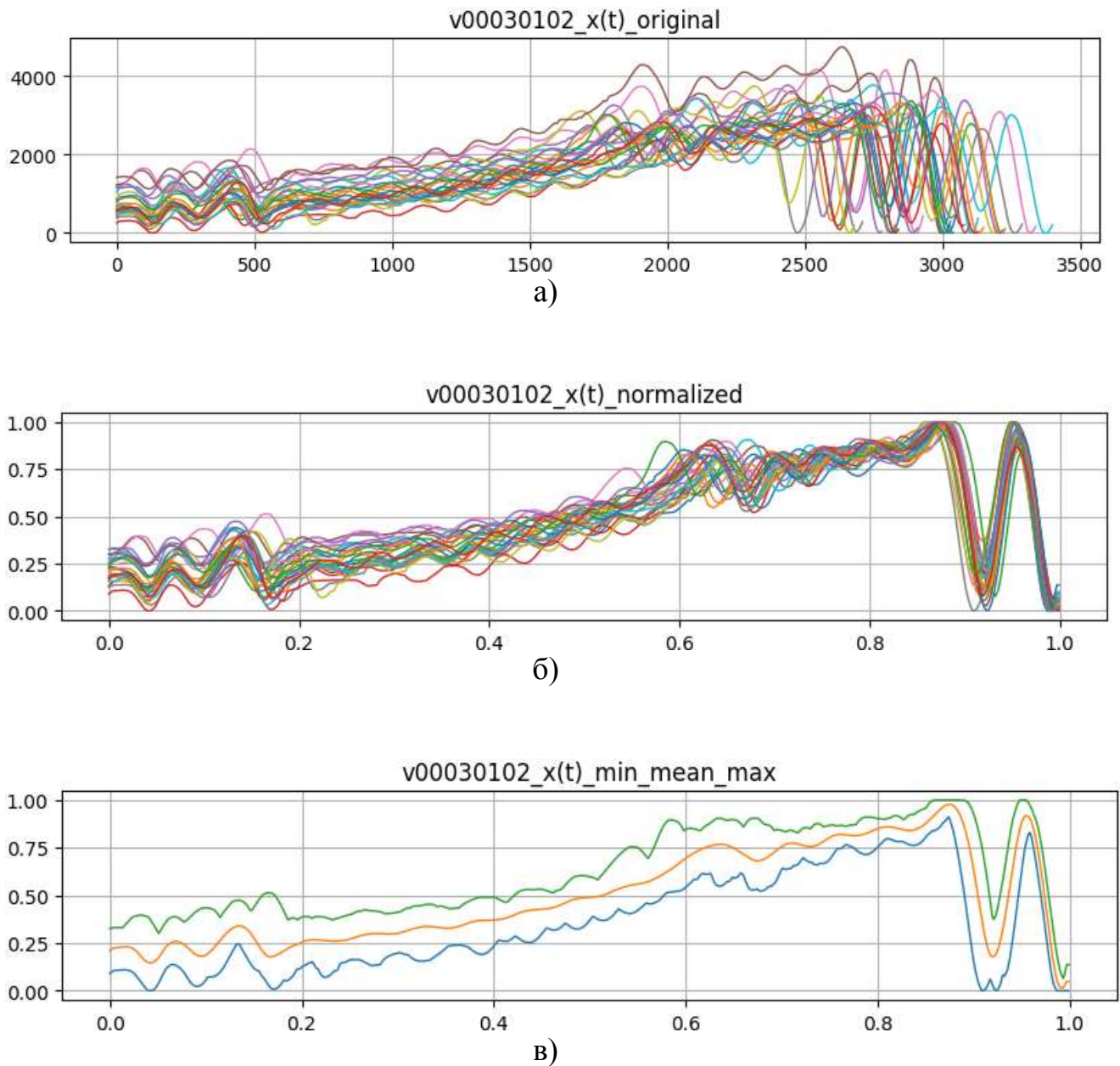


Рисунок 4.3 - Суміщений графік залежності координат X від часу для 25 справжніх підписів одного користувача: а) первинні залежності, б) нормалізовані залежності, в) усереднена залежність та огинаючі

Також програма будує суміщений графік залежності координат Y від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.4а.

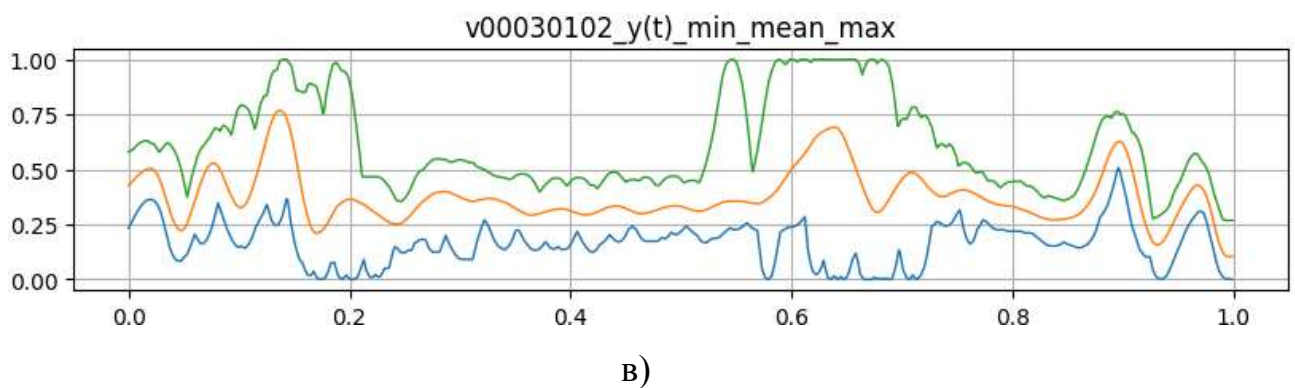
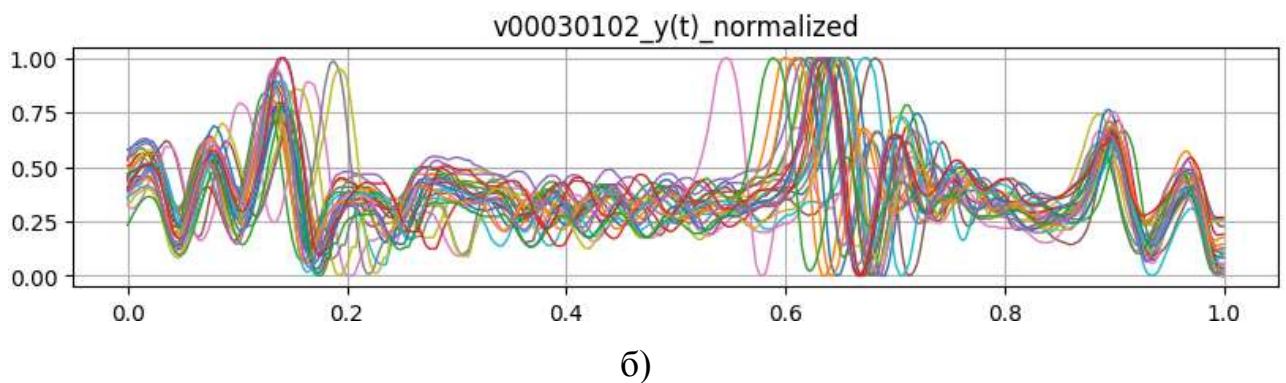
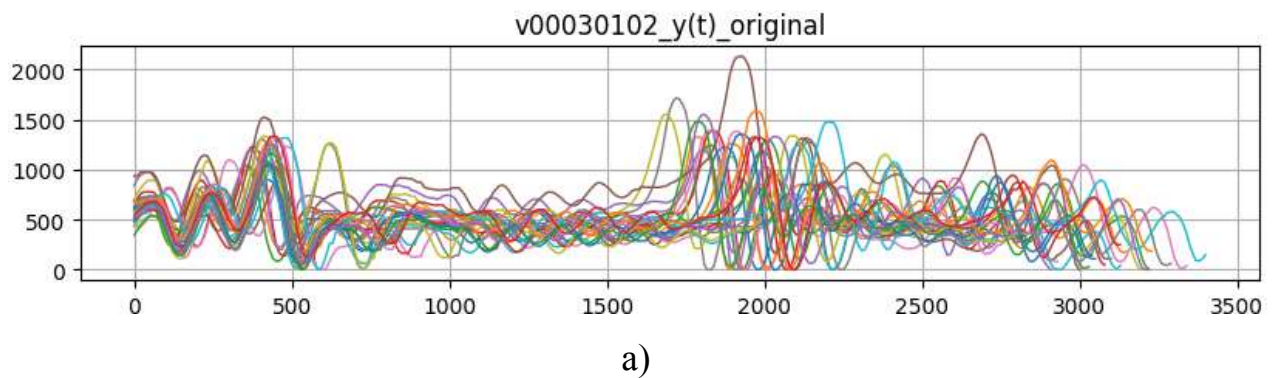


Рисунок 4.4 - Суміщений графік залежності координат Y від часу для 25 справжніх підписів одного користувача: а) первинні залежності, б) нормалізовані залежності, в) усереднена залежність та огибаючі

Потім програма будує суміщений графік нормалізованої залежності координат Y від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див.

рис. 4.4б. А також буде графік усередненої залежності координат Y від часу та мінімальну та максимальну огинаючі для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.4в. Огинаючи на рис. 4.3в та 4.4в дозволяють візуально оцінити ступінь інтраперсональної мінливості підпису, викликаної, зокрема, і мінливістю геометричних параметрів (зсуву, масштабу та повороту).

Далі програма буде суміщений графік нормалізованої залежності введеного нами параметру l від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.5а.

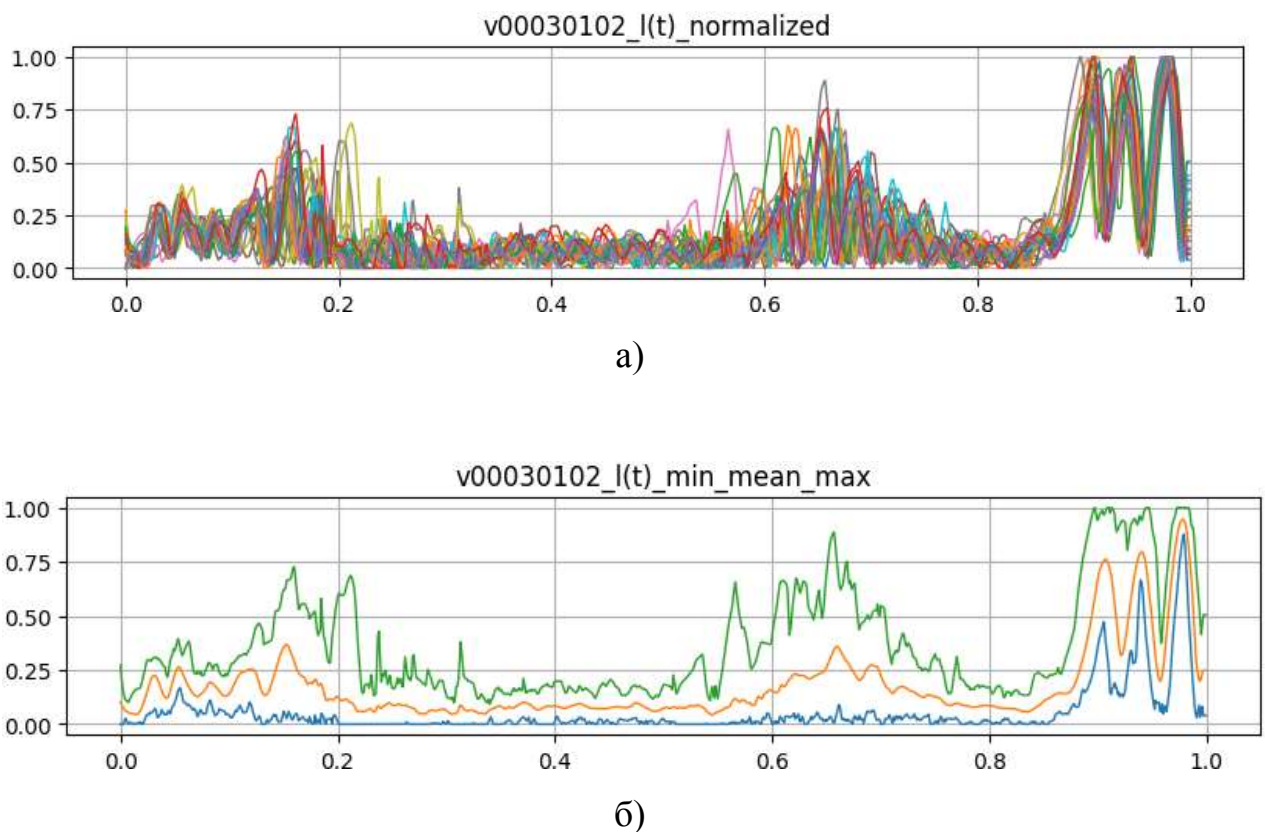
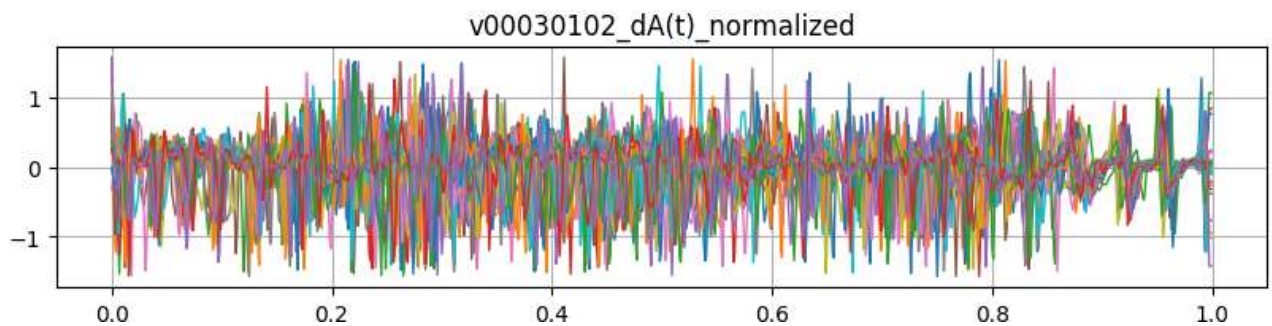


Рисунок 4.5 - Суміщений графік залежності введеного нами параметру l від часу для 25 справжніх підписів одного користувача: а) нормалізовані залежності, б) усереднена залежність та огинаючі

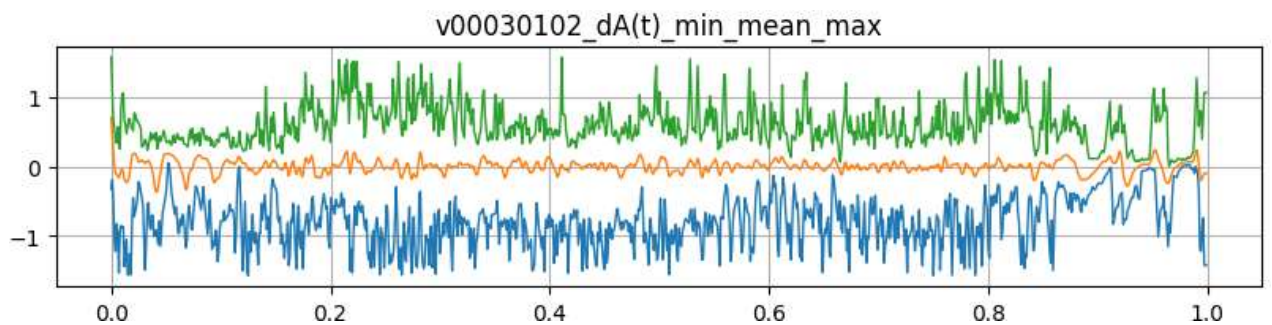
Потім програма буде графік усередненої залежності введеного нами параметру l від часу та мінімальну та максимальну огинаючі для 25 справжніх

підписів одного користувача – див. рис. 4.5б. Якщо порівняти зображення на рис. 4.3в, 4.4в та 4.5б, то візуально помітно, що діапазон між верхньою та нижньою огинаючими є мінімальним на рис. 4.5б. Це свідчить про те, що введений нами параметр l є в більшій мірі інваріантним до геометричних параметрів підпису порівняно з координатами X та Y . Кількісно це буде оцінено в п.4.2.

Потім програма буде суміщений графік нормалізованої залежності введеного нами параметру $\Delta\alpha$ від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.6а.



а)



б)

Рисунок 4.6 - Суміщений графік залежності введеного нами параметру $\Delta\alpha$ від часу для 25 справжніх підписів одного користувача: а) нормалізовані залежності, б) усереднена залежність та огинаючі

Далі програма буде графік усередненої залежності введеного нами параметру $\Delta\alpha$ від часу та мінімальну та максимальну огинаючі для 25

справжніх підписів одного користувача – див. рис. 4.6б. Якщо порівняти зображення на рис. 4.3в, 4.4в та 4.6б, то візуально помітно, що діапазон між верхньою та нижньою огиначаючими не є мінімальним на рис. 4.6б. Це свідчить про те, що введений нами параметр $\Delta\alpha$, всупереч очікуванням, виявився в меншій мірі інваріантним до геометричних параметрів підпису порівняно з координатами X та Y . Кількісно це буде оцінено в п.4.2.

Потім програма обчислює середнє відносне значення відхилення для параметрів X , Y , l , $\Delta\alpha$ від усередненої залежності, яке буде наведене в п.4.2.

4.2 Аналіз результатів роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

Кількісно інваріантність динамічних параметрів підпису до зсуву масштабу та повороту будемо оцінювати для нормалізованих по амплітуді і по часу параметрів, оскільки саме вони підлягають подальшому процесу класифікації. Для цього будемо використовувати формулу (2.5), яка знаходить середнє відносне відхилення (СВВ) конкретної реалізації підпису від усередненої залежності.

Із табл. 4.1 видно, що для конкретного користувача мінливість (включно із геометричною мінливістю) параметрів $X(t)$ та $Y(t)$ складає відповідно 5,92% та 7,02%, а для параметру $l(t)$ є мінімальною і складає 3,13%. Тобто параметр $l(t)$ є найбільш інваріантним до геометричної мінливості підпису. А для параметру $\Delta\alpha(t)$, всупереч очікуванням, мінливість кількісно є великою і складає 29,39%. Це кількісно свідчить про те, що параметр $\Delta\alpha(t)$ не є інваріантним (стійким) до геометричної мінливості підпису, тому його не варто використовувати для ідентифікації підписів.

Таблиця 4.1 – Числові показники інваріантності (СВВ) параметрів $X(t)$, $Y(t)$, $l(t)$ та $\Delta\alpha(t)$ для користувача 1 БД МСУТ-330/

№ підпису	Середнє відносне відхилення (СВВ) реалізації підпису, %			
	Для $X(t)$	Для $Y(t)$	Для $l(t)$	Для $\Delta\alpha(t)$
1	5,59	7,83	4,59	29,29
2	5,47	6,49	3,96	29,63
3	7,00	8,47	3,26	27,76
4	5,73	5,89	3,02	28,11
5	7,02	6,26	3,55	30,12
6	6,13	7,67	3,88	29,91
7	5,10	8,63	2,42	28,65
8	5,45	5,89	2,32	28,60
9	6,13	6,28	2,54	30,05
10	7,00	8,04	3,72	28,53
11	6,57	7,93	4,57	32,02
12	5,83	5,83	3,07	27,72
13	5,78	5,59	2,99	29,54
14	4,83	6,47	2,35	29,25
15	5,49	8,02	2,60	30,08
16	6,47	6,73	3,35	29,93
17	4,89	7,02	2,64	28,75
18	5,26	6,13	2,43	30,13
19	7,67	6,1	3,49	30,48
20	6,63	7,45	2,38	28,79
21	4,89	6,13	2,42	27,75
22	6,28	7,55	2,58	30,23
23	5,04	9,57	2,18	28,80
24	5,93	5,83	2,93	29,35
25	5,83	7,78	4,94	31,27
СВВ усіх підписів користувача 1, %	5,92	7,02	3,13	29,39

Справедливість такого висновку для всіх користувачів підтверджується даними табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Числові показники геометричної мінливості параметрів $X(t)$, $Y(t)$ та $l(t)$ для 50 користувачів БД МСУТ-330

№ користувача	$X(t)$		$Y(t)$		$l(t)$	
	МС середнього відхилення, %	МС діапазону відхилення, %	МС середнього відхилення, %	МС діапазону відхилення, %	МС середнього відхилення, %	МС діапазону відхилення, %
1	5,92	4,83-7,67	8,15	5,59-13,37	3,13	2,18-4,94
2	7,58	5,12-12,01	6,28	3,95-9,12	6,31	2,77-9,27
3	6,55	5,11-9,78	4,74	3,68-7,34	5,66	3,29-9,46
...						
48	6,21	4,97-9,12	7,92	5,91-12,01	5,14	3,03-9,12
49	5,64	4,17-7,21	9,23	5,47-11,78	3,71	2,67-5,31
50	7,12	5,01-11,89	7,12	5,26-10,89	6,23	2,45-9,11
Середнє значення	6,54	4,81-9,73	7,28	4,95-10,96	4,87	2,71-7,92

Дані табл. 4.2 можна проілюструвати рис. 4.7–4.9, з яких видно, що параметри $X(t)$ та $l(t)$ мають невеликий діапазон розкиду відносно середньої залежності відповідно $X(t)$ та $l(t)$.

Це свідчить про те, що параметр $l(t)$ є робастним (стійким) до внутрішньоперсональної варіабельності, тому його слід використовувати для ідентифікації підписів. А параметр $\Delta\alpha(t)$, всупереч очікуванню, має великий діапазон розкиду відносно середньої залежності $\Delta\alpha(t)$. Це свідчить про те, що параметр $\Delta\alpha(t)$ не є робастним (стійким) до внутрішньоперсональної варіабельності, тому його не варто використовувати для ідентифікації підписів.

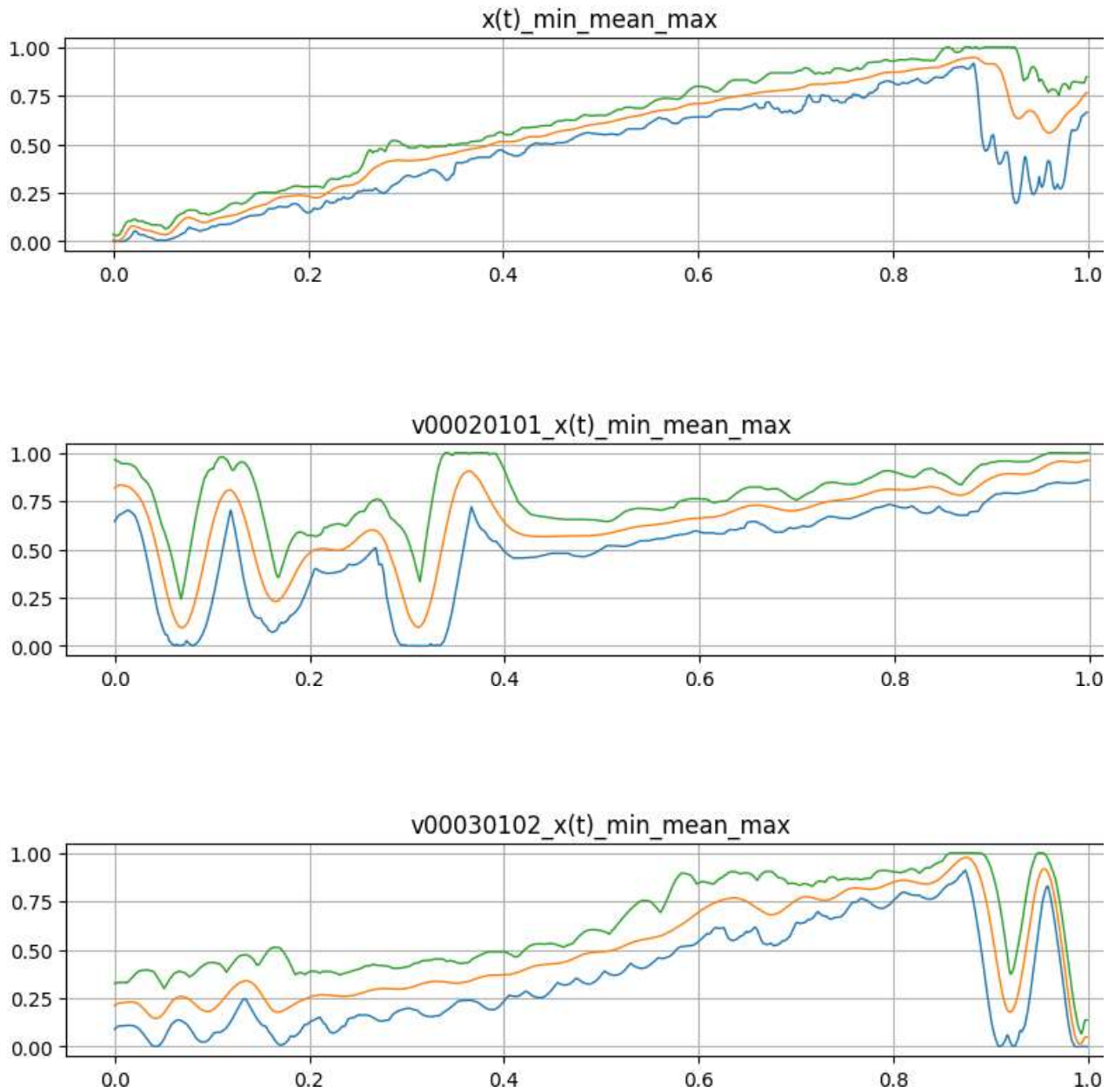


Рисунок 4.7 – Графіки залежності огинаючих параметрів $\hat{X}(t)$ та усередненого параметру $\bar{X}(t)$ для $m=25$ оригінальних підписів трьох осіб

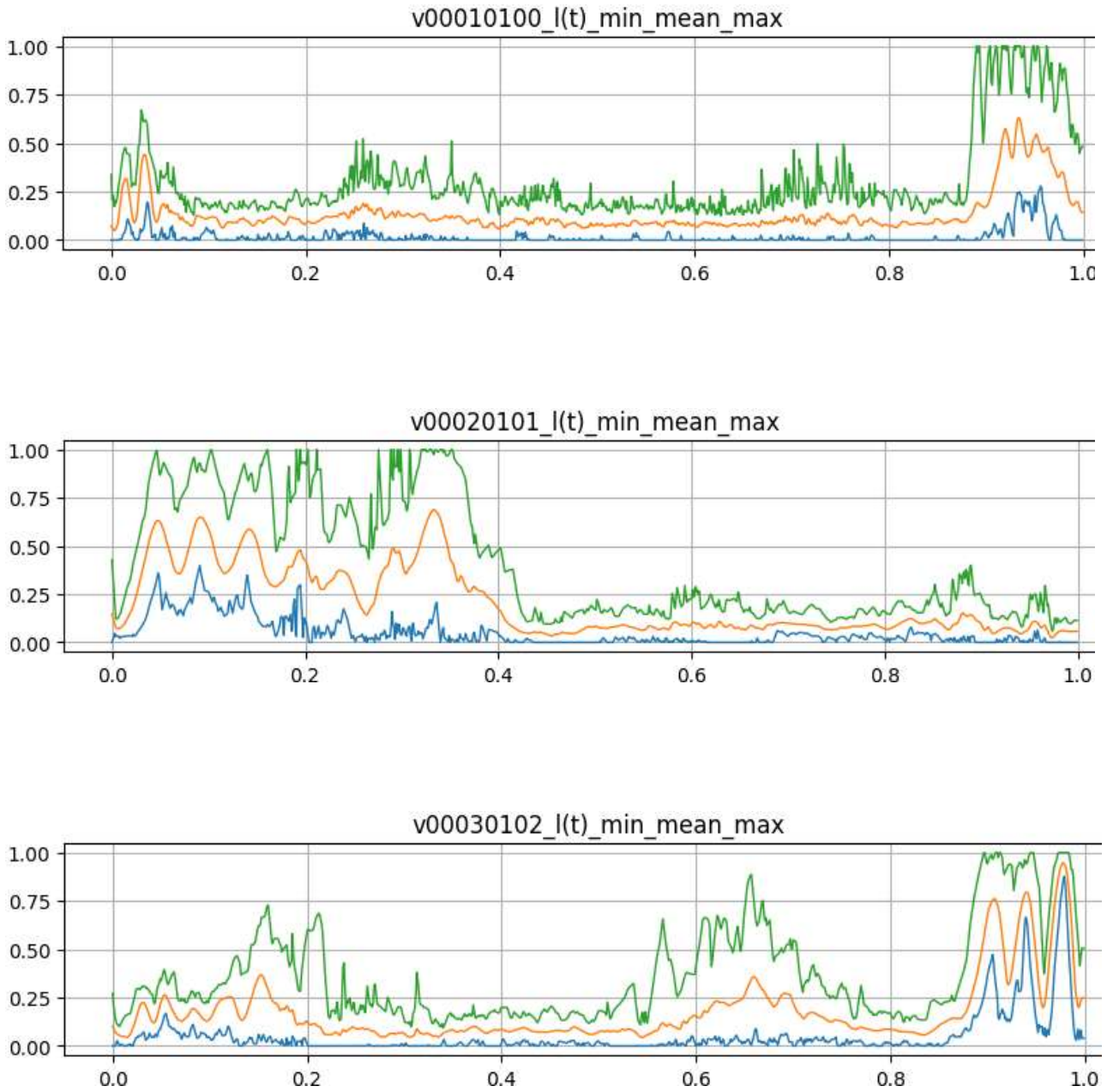


Рисунок 4.8 – Графіки залежності огинаючих параметрів $l(t)$ та усередненого параметру $\bar{l}(t)$ для $m=25$ оригінальних підписів трьох осіб

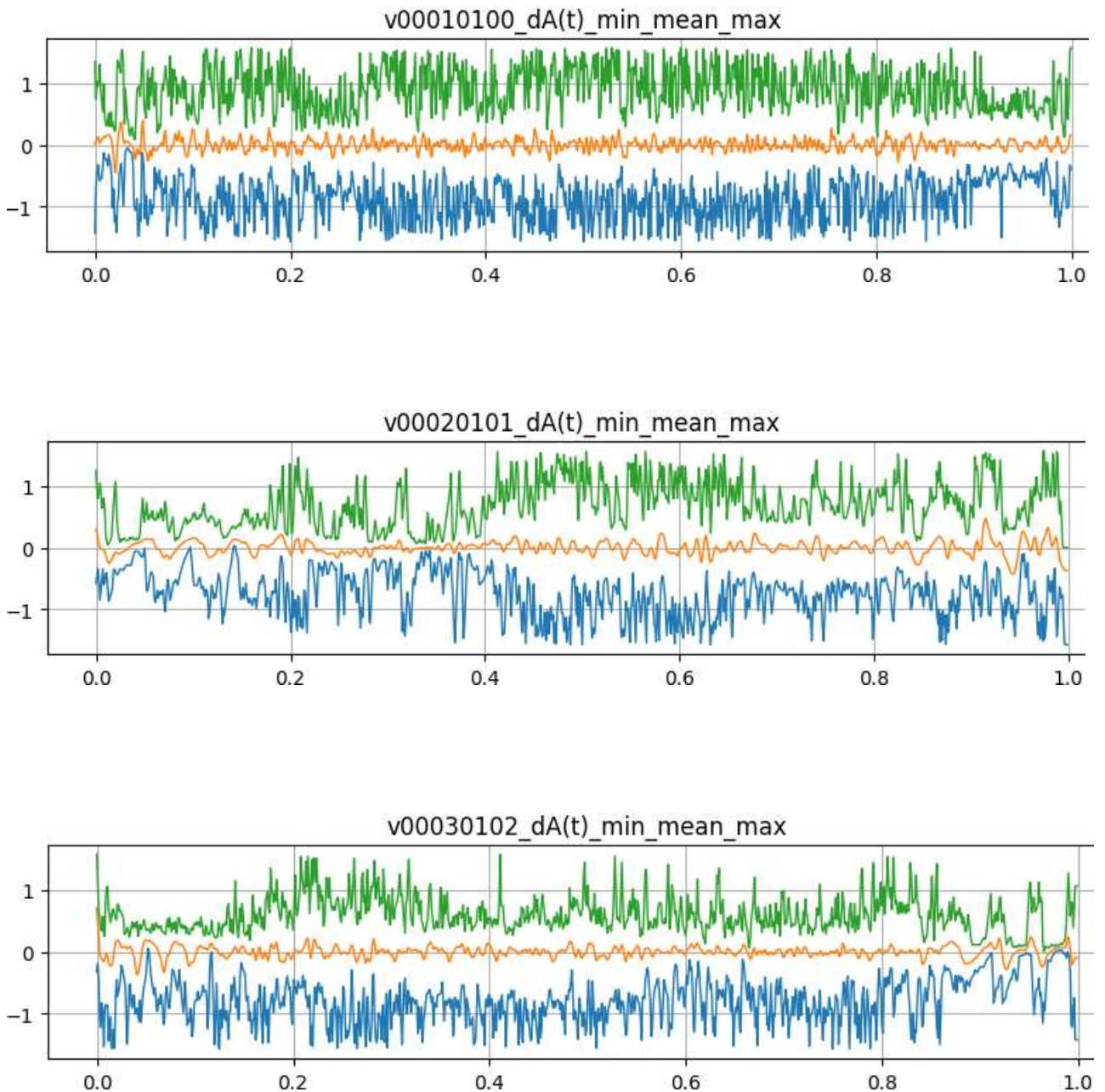


Рисунок 4.9 – Графіки залежності огинаючих параметрів $\Delta\alpha(t)$ та усередненого параметру $\Delta\alpha(t)$ для $m=25$ оригінальних підписів трьох осіб

Із табл. 4.2 можна побачити, що середнє значення геометричної мінливості параметру $l(t)$ є мінімальним і складає 4,87%. А середнє значення геометричної мінливості параметрів $X(t)$ та $Y(t)$ складає відповідно 6,54% та 7,28%. Знайшовши відношення $6,54/4,87=1,34$, можна стверджувати, що параметр $l(t)$ має в 1,34 рази (або на 34%) більшу інваріантність ніж параметр

$X(t)$. А знайшовши відношення $7,28/4,87=1,50$, можна стверджувати, що параметр $l(t)$ має в 1,5 рази (або на 50%) більшу інваріантність ніж параметр $Y(t)$. Таким чином, дані табл. 4.2 доводять те, що параметр $l(t)$ має в 1,34-1,5 рази (або на 34-50%) більшу інваріантність ніж параметри $X(t)$ та $Y(t)$.

Таким чином, мета роботи досягнута, інваріантність динамічних ознак підпису особи до зсуву, масштабу та повороту підпису підвищена.

Тестування розробленої програми розпізнавання об'єктів на зображеннях з використанням згорткової нейронної мережі показало його надійну роботу. Програма повністю відповідає завданню.

Деякий ілюстративний матеріал до програми (у т.ч. скріншоти) подано в додатку В. Інструкцію користування розробленою програмою наведено у додатку Г.

4.3 Висновок до розділу 4

Були наведені основні результати тестування розробленого програмного засобу, побудовано графіки динамічних параметрів підпису, проаналізовано та кількісно оцінено інваріантність динамічних параметрів підпису до геометричної мінливості. Розроблений динамічний параметр підпису $l(t)$ має в 1,34-1,5 рази (або на 34-50%) більшу інваріантність ніж параметри $X(t)$ та $Y(t)$. Таким чином, мета роботи досягнута, інваріантність динамічних ознак підпису особи до зсуву, масштабу та повороту підпису підвищена.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота з розробки та дослідження «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки

підпису» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Біометричні методи аутентифікації стають все більш популярними для широкого діапазону практичних застосувань. Верифікація підпису має особливо важливе значення, оскільки вона є загальноприйнятим методом схвалення фінансових операцій. Важлива перевага підпису над іншими біометричними показниками - це давня стійка традиція його використання у багатьох розповсюджених завданнях верифікації.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [20].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	5	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	5	4
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	4	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	4	5
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	1	1	1
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	2	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	3
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	4	4
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	5
Сума балів	43	44	45
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	44,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [20].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ$ розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» становить 44,0 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий). Предбачається наявність наступних переваг можливого продукту досліджень: 1) відсутність конкурентів у відкритому доступі; 2) підвищення інваріантності динамічних ознак підпису особи до зсуву, масштабу та повороту підпису; 3) запропоновано нові параметри підпису які зберігають інваріантність; 4) обмежено виконанням складних перерахунків координат підпису за формулами афінних перетворень; 5) підвищення швидкодії обчислень і економія ресурсів комп'ютера.

Використані програмні засоби: IDE - Visual Studio Code, мова програмування Python, база даних МСУТ-330, що є частиною бази DeepSignDB.

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [21]:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і

при цьому має виконуватись умова
$$\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$$
 ;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}} ; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2 \cdot 0,15 + 1,6 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,3 + 1,29 \cdot 0,25 + 1,14 \cdot 0,2 = 1,91.$$

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Аналіз координат підпису	-	1	2	2	0,15
Швидкодія	бал	5	8	1,6	0,1
Кількість аналізованих динамічних параметрів підпису	шт.	3	9	3	0,3
Точність обробки прогнозу	%	71	92	1,29	0,25
Функціональність	бал	7	8	1,14	0,2

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,91 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам,

аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [20]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$$Z_o = 15000,00 \cdot 24 / 24 = 15000,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	15000,00	625,00	24	15000,00
Ст. науковий співробітник	14500,00	604,17	24	14500,00
Інженер-програміст	13800,00	575,00	20	11500,00
Аналітик систем обробки графічних даних	14500,00	604,17	10	6041,67
Технік 1-ї категорії	7500,00	312,50	15	4687,50
Консультант-аналітик обробки біометричних даних	14500,00	604,17	10	6041,67
Всього				57770,83

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{zm}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [20];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

t_{zm} – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,7 / (24 \cdot 8) = 65,26 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 65,26 \cdot 10,00 = 652,55 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення допоміжного обладнання	10,00	2	1,10	65,26	652,55
Інсталяція програмного забезпечення	7,50	4	1,50	88,98	667,38
Встановлення цифрових обчислювальних систем	4,00	5	1,70	100,85	403,40
Відлагодження інтерполяційних модулів графічної системи	2,00	5	1,70	100,85	201,70
Підготовка цифрової експериментальної моделі	6,00	4	1,50	88,98	533,91
Формування бази даних підсистеми	12,00	3	1,35	80,09	961,03
Формування бази даних для підсистеми аналізу	12,00	3	1,35	80,09	961,03
Узгодження параметрів системи комп'ютерного аналізу параметрів підпису	4,00	5	1,70	100,85	403,40
Тренування системи	3,50	4	1,50	88,98	311,45
Всього					5095,84

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (57770,83 + 5095,84) \cdot 11 / 100\% = 6915,33 \text{ грн.}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.8)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (57770,83 + 5095,84 + 6915,33) \cdot 22 / 100\% = 15352,04 \text{ грн.}$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 3,0 \cdot 290,00 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 957,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний (A4)	290,00	3,0	-	-	957,00
Папір для заміток (A5)	170,00	4,0	-	-	748,00
Папір креслярський (A1)	32,00	3,0	-	-	105,60
Папір креслярський (A3)	16,00	3,0	-	-	52,80
Начиння канцелярське	245,00	4,0	-	-	1078,00
Органайзер офісний	165,00	4,0	-	-	726,00
Картридж для плотера (HP-2106)	890,00	3,0	-	-	2937,00
Картридж для принтера (HP-2002)	2450,00	2,0	-	-	5388,00
Диск оптичний (CD-R)	25,00	3,0	-	-	82,50
Диск оптичний (CD-RW)	25,00	3,0	-	-	80,50
FLASH-пам'ять (64 ГБ)	620,00	1,0	-	-	682,00
Всього					12837,10

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» відсутні.

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 46200,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 51282,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Лазерна проєкційна система Multi-GRAF1000	1	46200,00	51282,00
Всього			51282,00

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inpz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де C_{inpz} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 8415,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 9256,50 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
ОС Windows	1	8415,00	9256,50
Прикладний пакет Microsoft Office	1	7810,00	8591,00
Програмний засіб IDE - Visual Studio Code	1	9830,00	10813,00
база даних МСУТ-330	1	10400,00	11440,00
Всього			40100,50

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б.}}{T_e} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.12)$$

де $Ц_{б.}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (28300,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 786,11 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс	28300,00	3	1	786,11
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	26400,00	3	1	733,33
Програмні засоби реалізації Python	16200,00	3	1	450,00
Обладнання виводу графічної інформації	10250,00	4	1	213,54
Місце оператора спеціалізоване	9100,00	5	1	151,67
Офісна оргтехніка	9600,00	5	1	160,00
Дослідницька лабораторія	300000,00	20	1	1250,00
Всього				3744,65

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.13)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт; t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 6,20$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,28 \cdot 160,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 277,76 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-аналітичний комплекс	0,28	160,0	277,76
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	0,32	160,0	317,44
Лазерна проекційна система Multi-GRAF1000	0,32	80,0	158,72
Обладнання виводу графічної інформації	0,35	10,0	21,70
Місце оператора спеціалізоване	0,46	140,0	399,28
Офісна оргтехніка	0,80	10,0	49,60
Всього			1224,50

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cb} = 20\%$.

$$B_{cb} = (57770,83 + 5095,84) \cdot 20 / 100\% = 12573,33 \text{ грн.}$$

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (57770,83 + 5095,84) \cdot 30 / 100\% = 18860,00 \text{ грн.}$$

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{iv}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{iv} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{iv} = 50\%$.

$$I_e = (57770,83 + 5095,84) \cdot 50 / 100\% = 31433,34 \text{ грн.}$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (57770,83 + 5095,84) \cdot 100 / 100\% = 62866,67 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.18)$$

$$B_{заг} = 57770,83 + 5095,84 + 6915,33 + 15352,04127 + 12837,10 + 0,00 + 51282,00 + 40100,50 + 3744,65 + 1224,50 + 12573,33 + 18860,00 + 31433,34 + 62866,67 = 320056,14 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.19)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,9$.

$$ZB = 320056,14 / 0,9 = 355617,94 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів продукту, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	420	800	920	700

N – кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 750 осіб;

C_o – вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 8400,00 грн;

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості програмного продукту від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 7438,20 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [20]:

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (5.20)$$

Де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2022 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 35\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2022 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (7438,20 \cdot 750,00 + 15838,20 \cdot 420) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2913473,62 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (7438,20 \cdot 750,00 + 15838,20 \cdot 1220) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5931727,72$$

грн.

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (7438,20 \cdot 750,00 + 15838,20 \cdot 2140) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 9402719,93$$

грн.

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (7438,20 \cdot 750,00 + 15838,20 \cdot 2840) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 12043692,26$$

грн.

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.21)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,25$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 2913473,62/(1+0,25)^1 + 5931727,72/(1+0,25)^2 + 9402719,93/(1+0,25)^3 + \\ &+ 12043692,26/(1+0,25)^4 = 2330778,89 + 3796305,74 + 4814192,60 + 4933096,35 = \\ &= 15874373,59 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.22)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 355617,94 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 355617,94 = 711235,87 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.23)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 15874373,59 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 711235,87 грн.

$$E_{абс} = III - PV = 15874373,59 - 711235,87 = 15163137,71 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_6 , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (5.24)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 15163137,71 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 711235,87 грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 15163137,71/711235,87)^{1/4} - 1 = 1,17.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$:

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (5.25)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні $d = 0,2$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,5.

$\tau_{мін} = 0,2 + 0,5 = 0,7 < 1,17$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}, \quad (5.26)$$

де E_e – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,17 = 0,85 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.5 Висновок до розділу 5

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису» становить 44,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий). При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,91 рази. Також термін окупності становить 0,85 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок. Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису».

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи був досліджений процес формування ознак динаміки підпису, виявлені проблеми та недоліки, пов'язані із мінливістю ознак динаміки підпису в залежності від масштабу, зсуву та повороту конкретної реалізації підпису. Була визначена актуальність проблем та запропонований підхід до їх розв'язання – розробка нових похідних динамічних параметрів підпису, що дозволить підвищити їх інваріантність до геометричної мінливості підпису..

У першому розділі було розглянуто співвідношення понять верифікація та ідентифікація підписів. Описано загальну схему динамічної ідентифікації підпису. Проаналізовано процес отримання первинних динамічних ознак підпису та такі їх властивості як внутрішньоперсональна та міжперсональна варіабельність. Проведено класифікацію відомих методів та засобів динамічної ідентифікації підписів та сформульовано перспективи їх вдосконалення, Проведено аналіз баз даних підписів Виділено недоліки існуючих систем динамічної ідентифікації підписів та сформульовано задачі досліджень

У другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено аналіз внутрішньоперсональної варіабельності підпису, сформульовано вимоги до визначення оптимального набору динамічних ознак підпису, розроблено модель формування інваріантних ознак динаміки підпису, описано нормалізацію динамічних параметрів підпису, запропонований підхід, що обчислює нові динамічні параметри підпису на основі таких первинних параметрів як координати X та Y руху пера.. В подальшому ці нові параметри порівнюються з первинними і кількісно оцінюється їх інваріантність. Проаналізовано показники інваріантності динамічних параметрів підпису до геометричної мінливості, розроблено структуру інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису.

У третьому розділі було обґрунтовано вибір мови та середовища програмування, які будуть використовуватися при розробці програми та наведено їх основні переваги. В результаті порівняльного аналізу було обрано середовище розробки Visual Studio Code та мову програмування Python. Було розроблено алгоритм роботи та UML діаграму програми формування інваріантних ознак динаміки підпису. Було проведено програмну реалізацію інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису.

У четвертому розділі були наведені основні результати тестування розробленого програмного засобу, побудовано графіки динамічних параметрів підпису, проаналізовано та кількісно оцінено інваріантність динамічних параметрів підпису до геометричної мінливості. Розроблений динамічний параметр підпису $l(t)$ має в 1,34-1,5 рази (або на 34-50%) більшу інваріантність ніж параметри $X(t)$ та $Y(t)$. Таким чином, мета роботи досягнута, інваріантність динамічних ознак підпису особи до зсуву, масштабу та повороту підпису підвищена.

У п'ятому розділі було визначено рівень комерційного потенціалу розробки, який становить 44,0 бала, що є високим і свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень. При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,91 рази. Також термін окупності становить 0,85 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок. Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Інформаційна технологія формування інваріантних ознак динаміки підпису»..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Д. П. Гречкосій, Ю. А. Кучевський, О. К. Колесницький «Метод формування інваріантних ознак динаміки підпису», в Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 2023, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/viewFile/16833/14044>.
2. Al-banhawy N. H., Mohsen H., Ghali N. I. (2020) "Signature identification and verification systems: a comparative study on the online and offline techniques", *Future Computing and Informatics Journal*: Vol. 5 : Iss. 1 , Article 3.
3. A. Rehman, S. Naz, and M. Razzak, «Writer identification using machine learning approaches: a comprehensive review», *Multimedia Tools and Applications*, pp 1–43, 2018.
4. I.M. El-Henawy, M. Z. Rashad, O. Nomir, and K. Ahmed, “Online Signature Verification: State of the art”, *International Journal of Computers & Technology*, Volume 4, No. 2, March-April, 2013.
5. M. Diaz, M. A. Ferrer, D. Impedovo, M. I. Malik, G. Pirlo, and R. Plamondon, “A Perspective Analysis of Handwritten Signature Technology”, *ACM Comput. Surv.*, Vol. 51, No. 6, Article 117, January 2019.
6. В. В. Куцман і О. К. Колесницький, «Верифікація та розпізнавання підпису як багатопараметричного процесу на основі спайкінгової нейронної мережі», *ІТКІ*, том 50, № 1, с. 36–44, Квіт 2021.
7. J. Ortega-Garcia, J. Fierrez-Aguilar, and et al., “MCYT Baseline Corpus: A Bimodal Biometric Database,” *Proc. IEEE Vision, Image and Signal Processing, Special Issue on Biometrics on the Internet*, vol. 150, no. 6, pp. 395–401, 2003.
8. Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети / О.Г. Руденко, Е.В. Бодянский – Харьков, 2005. – 407с.
9. Круг П. Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: учебное пособие / П. Г. Круг. — М. : Издательство МЭИ, 2002. — 176 с.

10.R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez, J. Fierrez, and J. Ortega-Garcia, “DeepSign: Deep On-Line Signature Verification”, Preprint in IEEE Transactions on Biometrics Behavior and Identity Science, January 2021.

11.W. Maass, “Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models”, Neural Networks, 10:1659-1671, 1997.

12.О. К. Колесницкий, and Самра Муавия Хассан Хамо, “Метод распознавания многомерных временных рядов при помощи импульсных нейронных сетей”, Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія, 2006, №2(6), с. 86-93.

13.Maass W. Real-time computing without stable states: A new framework for neural computation based on perturbations / W. Maass, T. Natschläger, H. Markram // Neural Computation. — 2002. — Vol. 14(11). — P. 2531—2560.

14.T. Natschläger. The «liquid computer»: A novel strategy for real-time computing on time series / T. Natschläger, W. Maass, and H. Markram // Special Issue on Foundations of Information Processing of TELEMATIK. — 2002. — Vol. 8(1). — P. 39—43.

15. M. Fahmy, «Online handwritten signature verification system based on DWT features extraction and neural network classification», Ain Shams Engineering Journal, 1, pp. 59–70, 2010

16. R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez, J. Fierrez, and J. Ortega-Garcia, «Exploring Recurrent Neural Networks for On-Line Handwritten Signature Biometrics». IEEE Access, 6, 5128–5138, 2018. doi:10.1109/access.2018.2793966

17.Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.python.org/>.

18.Visual Studio Лучшие в своем классе средства для разработчиков [Електронний ресурс] // Visual Studio – Режим доступу до ресурсу: <https://visualstudio.microsoft.com/en/>.

19.Matplotlib: Visualization with Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://matplotlib.org/>

20.Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

21.Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

ДОДАТКИ

Додаток А (обов'язковий)

Результат перевірки на плагіат в онлайн-системі UNICHECK



Имя пользователя:
Озеранський В.С. КН

ID проверки:
1013184726

Дата проверки:
05.12.2022 11:40:35 EET

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
06.12.2022 17:18:53 EET

ID пользователя:
62038

Название файла: 122МКР-ГречкосийДП2022

Количество страниц: 56 Количество слов: 9139 Количество символов: 66957 Размер файла: 1.38 MB ID файла: 1012948978

13.6% Совпадения

Наибольшее совпадение: 13.6% с Интернет-источником (<https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/5...>)

13.6% Источники из Интернета 1 Страница 58

Не найдены источники из Библиотеки

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

63.7% Исключений

Некоторые источники исключены автоматически (фильтры исключения: количество найденных слов меньш...

8.17% Исключений из Интернета 116 Страница 59

61.7% Исключенного текста из Библиотеки 219 Страница 60

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 397

Додаток Б (обов'язковий)

Лістинг програми

```

#
# SignView -
#

import os
import math
import matplotlib.pyplot as plt

# Ф-ция читает текущий каталог и выбирает имена файлов соответствующих расширению fmt
def get_signatures_filenames(path='./', fmt='txt'):
    filenames = []
    if os.path.exists(path):
        #
        pos = 0
        if len(fmt) > 0:
            ext = '.' + fmt
            pos -= len(ext)
        else:
            ext = ''
        #
        filenames = [
            fn for fn in os.listdir(path)
            if (pos == 0) or (fn[pos:] == ext)
        ]

    return filenames

# Ф-ция чтения файла подписи
def read_signature_file(filename):
    with open(filename, "r") as f:
        #
        samplesnum = int(f.readline())
        #
        sign = {'fn': filename}
        #
        samples = {}
        #
        x = []
        y = []
        t = []
        azmt = []
        angl = []
        prss = []
        #
        for line in f:
            #
            sample = [int(val) for val in line.split(" ")]
            # sample[0] -> x, ...
            x.append(sample[0])
            y.append(sample[1])
            t.append(sample[2])
            azmt.append(sample[3])
            angl.append(sample[4])
            prss.append(sample[5])

        #
        samples['x'] = x
        samples['y'] = y
        samples['t'] = t
        samples['azmt'] = azmt
        samples['angl'] = angl
        samples['prss'] = prss

    sign['smpl'] = samples

    sign['min_x'] = min(x)
    sign['max_x'] = max(x)
    sign['min_y'] = min(y)
    sign['max_y'] = max(y)
    sign['min_p'] = min(prss)
    sign['max_p'] = max(prss)

```

```

    #if samplesnum != len(samples):
    #    print("Invalid samples number: declared:", samplesnum, "; real: ", len(samples))

    return sign

# ф-ция вычисления угла
def get_angle(xy):
    dx = xy[1][0] - xy[0][0]
    dy = xy[1][1] - xy[0][1]
    if dx != 0:
        angle = math.atan(dy / dx)
    elif dy > 0:
        angle = math.pi / 2
    elif dy < 0:
        angle = - math.pi / 2
    else:
        angle = 0
    return angle

# ф-ция вычисления разницы углов
def get_delta_angle(xy):
    return get_angle(xy[1:3]) - get_angle(xy[0:2])

#
def cm2inch(figsize):
    return [v / 2.54 for v in figsize]

#####
#
# Main
#

# получим список имен файлов подписей
filenames = get_signatures_filenames()

# загрузим подписи из файлов
signatures = [read_signature_file(fn) for fn in filenames]

#####
#
# Signatures
#

# нарисуем подписи на одном рисунке

# размер рисунка в см
FIGSIZE = cm2inch([10, 20])
plt.figure(figsize = FIGSIZE)
plt.title('1. f = y(x); signatures')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
    #
    x = samples['x']
    y = samples['y']
    #
    plt.plot(x, y)

plt.grid(True)
plt.savefig('signatures.png')

#
FIGSIZE = cm2inch([18, 9])

# нарисуем подписи на отдельных рисунках
for sign in signatures:
    #
    plt.figure(figsize = FIGSIZE)
    plt.title('1. f = y(x); signature: {}'.format(sign['fn']))
    #
    samples = sign['smpl']
    #
    min_x = sign['min_x']
    min_y = sign['min_y']
    dim_x = sign['max_x'] - sign['min_x']
    dim_y = sign['max_y'] - sign['min_y']
    #
    x = [(val - min_x) / dim_x for val in samples['x']]

```

```

    y = [(val - min_y) / dim_y for val in samples['y']]
    #
    plt.plot(x, y)

    plt.grid(True)
    plt.savefig('signature({}).png'.format(sign['fn']))

#####
#
# Raw data
#

# нарисуем совмещенный график зависимости коорд. X от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('2. f = X(t); raw')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smp1']
    #
    min_x = sign['min_x']
    x = [val - min_x for val in samples['x']]
    #
    plt.plot(samples['t'], x)

plt.grid(True)
plt.savefig('X(t).png')

# нарисуем совмещенный график зависимости коорд. Y от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('3. f = Y(t); raw')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smp1']
    #
    min_y = sign['min_y']
    y = [val - min_y for val in samples['y']]
    #
    plt.plot(samples['t'], y)

plt.grid(True)
plt.savefig('Y(t).png')

#plt.show()
#os._exit(0)

#####
#
# Normalized data
#

# нарисуем совмещенный график нормализованной зависимости коорд. X от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('5. f = X(t); normalized')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smp1']
    #
    min_x = sign['min_x']
    dim_x = sign['max_x'] - sign['min_x']
    dim_t = len(samples['t'])
    #
    t = [val / dim_t for val in range(dim_t)]
    x = [(val - min_x) / dim_x for val in samples['x']]
    #
    plt.plot(t, x)

plt.grid(True)
plt.savefig('X(t)-norm.png')

# нарисуем совмещенный график нормализованной зависимости коорд. Y от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('6. f = Y(t); normalized')

```

```

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
    #
    min_y = sign['min_y']
    dim_y = sign['max_y'] - sign['min_y']
    dim_t = len(samples['t'])
    #
    t = [val / dim_t for val in range(dim_t)]
    y = [(val - min_y) / dim_y for val in samples['y']]
    #
    plt.plot(t, y)

plt.grid(True)
plt.savefig('Y(t)-norm.png')

# нарисуем совмещенный график нормализованной зависимости давления от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('6. f = P(t); normalized')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
    #
    min_p = sign['min_p']
    dim_p = sign['max_p'] - sign['min_p']
    dim_t = len(samples['t'])
    #
    t = [val / dim_t for val in range(dim_t)]
    p = [(val - min_p) / dim_p for val in samples['prss']]
    #
    plt.plot(t, p)

plt.grid(True)
plt.savefig('P(t)-norm.png')

# нарисуем совмещенный график нормализованной зависимости L от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('7. f = l(t); normalized')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
    #
    dim_t = len(samples['t'])
    min_x = sign['min_x']
    min_y = sign['min_y']
    #
    x = [(val - min_x) for val in samples['x']]
    y = [(val - min_y) for val in samples['y']]
    #
    dim_t -= 1
    t = [val / dim_t for val in range(dim_t)]
    #
    l = [math.sqrt((x[i + 1] - x[i]) ** 2 + (y[i + 1] - y[i]) ** 2) for i in range(dim_t)]

    min_l = min(l)
    max_l = max(l)
    dim_l = max_l - min_l
    #
    l_norm = [val / dim_l for val in l]

    plt.plot(t, l_norm)

plt.grid(True)
plt.savefig('L(t)-norm.png')

# нарисуем совмещенный график нормализованной зависимости разности углов от времени
fig = plt.figure(figsize = FIGSIZE)

plt.title('8. f = Δα(t)')

for sign in signatures:
    #
    samples = sign['smpl']
    #

```



```
dim_t = len(samples['t'])
min_x = sign['min_x']
min_y = sign['min_y']
dim_x = sign['max_x'] - sign['min_x']
dim_y = sign['max_y'] - sign['min_y']
#
x = [(val - min_x) / dim_x for val in samples['x']]
y = [(val - min_y) / dim_y for val in samples['y']]
xy = [val for val in zip(x, y)]
#
dim_t -= 2
t = [val / dim_t for val in range(dim_t)]
#
da = [get_delta_angle(xy[i:i+3]) for i in range(dim_t)]
#
plt.plot(t, da)


plt.grid(True)
plt.savefig('deltaAngle(t)-norm.png')

plt.show()
```

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ ОЗНАК ДИНАМІКИ ПІДПISУ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи 2КН-21м
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»
(шифр / назва напрямку підготовки, спеціальності)


Гречкосій Д. П.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н. доцент каф. КН
Колесницький О.К.
(прізвище та ініціали)

« 15 » 12 2022 р.

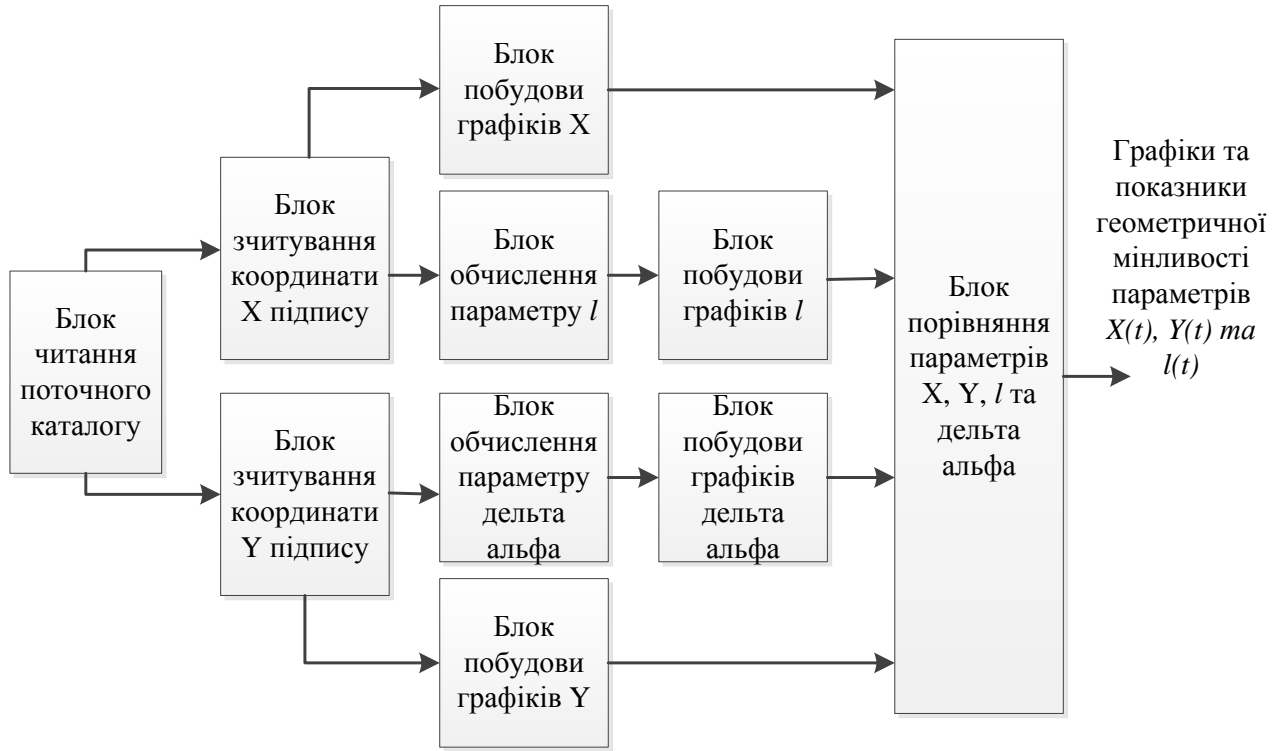


Рисунок В.1 – Структура інформаційної технології формування інваріантних ознак динаміки підпису



Рисунок В.2 – UML діаграма класів програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

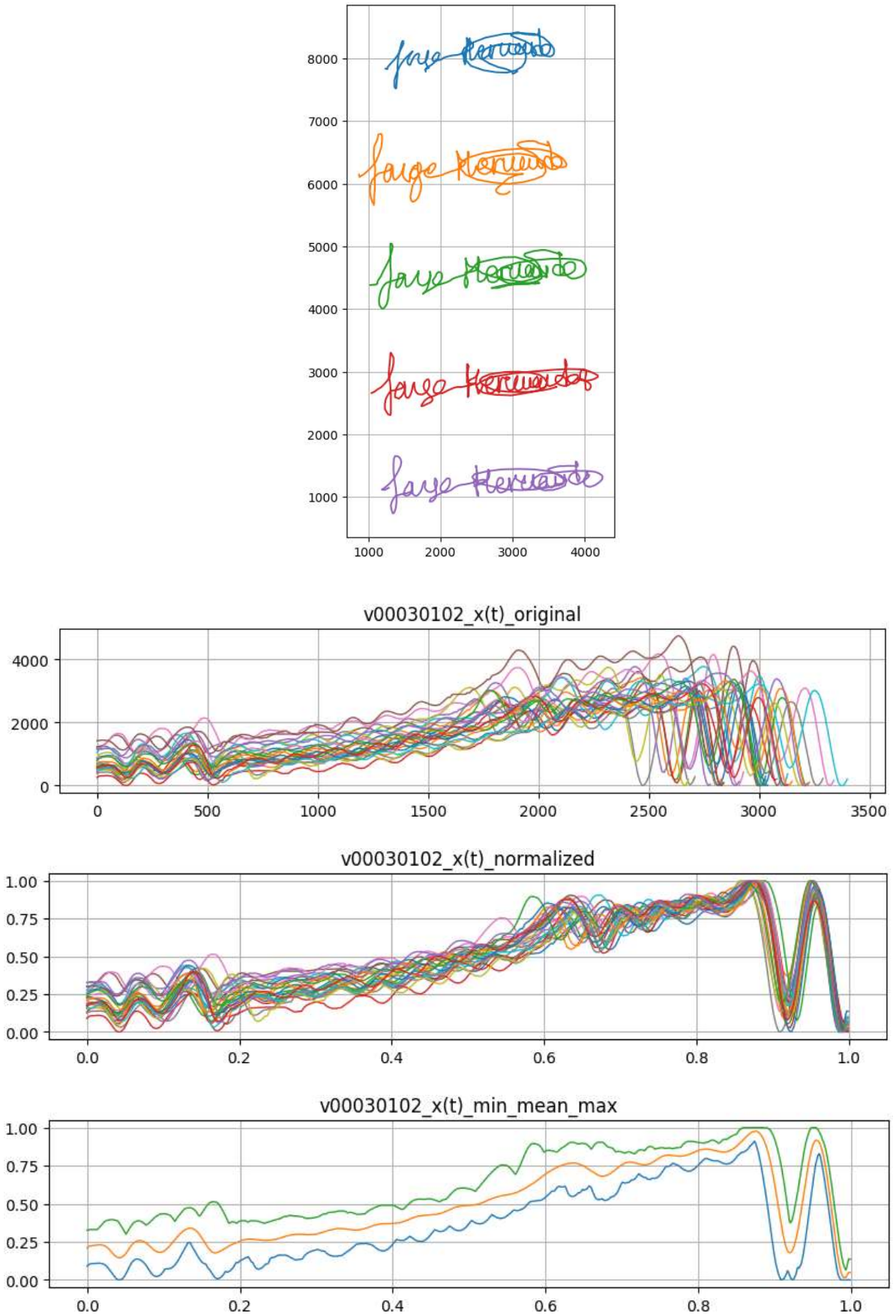


Рисунок В.3 – Результати роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

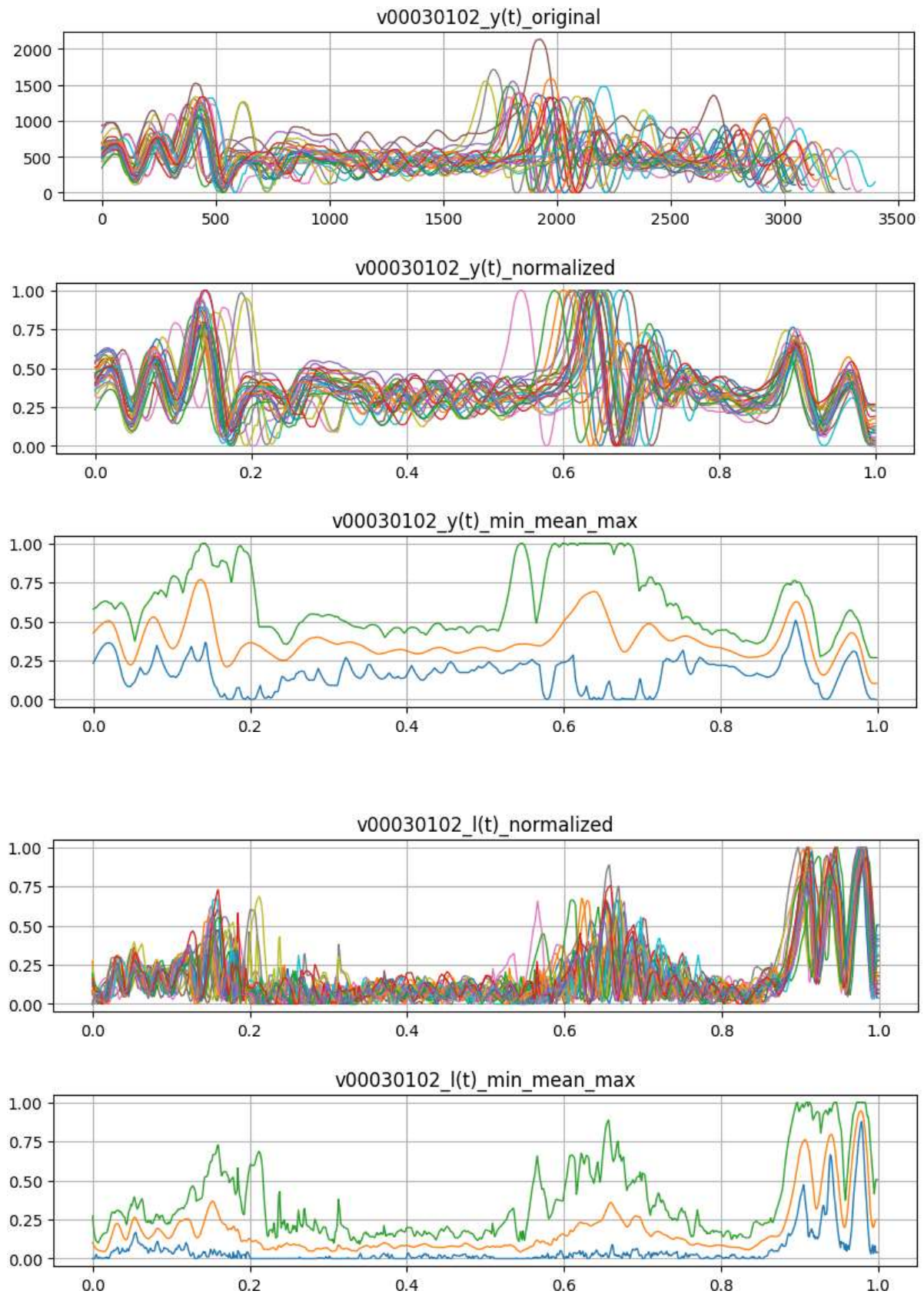


Рисунок В.4 – Результати роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

№ підпису	Середнє відносне відхилення (СВВ) реалізації підпису, %			
	Для $X(t)$	Для $Y(t)$	Для $l(t)$	Для $\Delta\alpha(t)$
1)	5,59	7,83	4,59	29,29
2)	5,47	6,49	3,96	29,63
3)	7,00	8,47	3,26	27,76
4)	5,73	5,89	3,02	28,11
5)	7,02	6,26	3,55	30,12
6)	6,13	7,67	3,88	29,91
7)	5,10	8,63	2,42	28,65
8)	5,45	5,89	2,32	28,60
9)	6,13	6,28	2,54	30,05
10)	7,00	8,04	3,72	28,53
11)	6,57	7,93	4,57	32,02
12)	5,83	5,83	3,07	27,72
13)	5,78	5,59	2,99	29,54
14)	4,83	6,47	2,35	29,25
15)	5,49	8,02	2,60	30,08
16)	6,47	6,73	3,35	29,93
17)	4,89	7,02	2,64	28,75
18)	5,26	6,13	2,43	30,13
19)	7,67	6,1	3,49	30,48
20)	6,63	7,45	2,38	28,79
21)	4,89	6,13	2,42	27,75
22)	6,28	7,55	2,58	30,23
23)	5,04	9,57	2,18	28,80
24)	5,93	5,83	2,93	29,35
25)	5,83	7,78	4,94	31,27
СВВ усіх підписів користувача 1, %	5,92	7,02	3,13	29,39

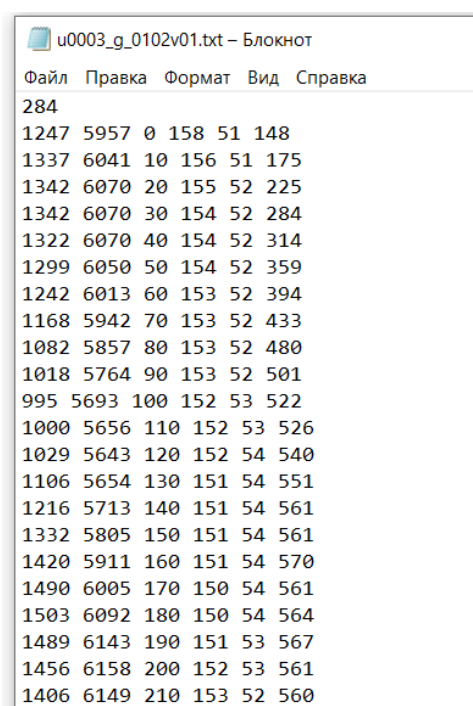
№ користувача	$X(t)$		$Y(t)$		$l(t)$	
	МС середнього відхилення, %	МС діапазону відхилення, %	МС середнього відхилення, %	МС діапазону відхилення, %	МС середнього відхилення, %	МС діапазону відхилення, %
4	5,92	4,83-7,67	8,15	5,59-13,37	3,13	2,18-4,94
5	7,58	5,12-12,01	6,28	3,95-9,12	6,31	2,77-9,27
6	6,55	5,11-9,78	4,74	3,68-7,34	5,66	3,29-9,46
...						
48	6,21	4,97-9,12	7,92	5,91-12,01	5,14	3,03-9,12
49	5,64	4,17-7,21	9,23	5,47-11,78	3,71	2,67-5,31
50	7,12	5,01-11,89	7,12	5,26-10,89	6,23	2,45-9,11
Середнє значення	6,54	4,81-9,73	7,28	4,95-10,96	4,87	2,71-7,92

Рисунок В.5 – Кількісні результати роботи програми формування інваріантних ознак динаміки підпису

Додаток Г (довідниковий)

Інструкція користувача

Для використання розробленої програми формування інваріантних ознак динаміки підпису необхідно, щоб у поточний каталог були завантажені файли різних реалізацій підпису, отримані з бази даних МСУТ-300. Для кожного користувача у БД є по 25 справжніх підписів та по 25 майстерно підроблених підписів. Але нам потрібно досліджувати тільки справжні підписи. Файл підпису зберігається у БД в txt форматі і представляє собою набір колонок із цифрами – див. рис. Г.1. Цифра на початку (284) це загальна кількість цифрових відліків підпису, цифри у 1-й колонці – це координати X відліків підпису, цифри у 2-й колонці – це координати У відліків підпису, цифри у 3-й колонці – це часовий крок (10 мс) відліків підпису і т.д..



```
u0003_g_0102v01.txt – Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
284
1247 5957 0 158 51 148
1337 6041 10 156 51 175
1342 6070 20 155 52 225
1342 6070 30 154 52 284
1322 6070 40 154 52 314
1299 6050 50 154 52 359
1242 6013 60 153 52 394
1168 5942 70 153 52 433
1082 5857 80 153 52 480
1018 5764 90 153 52 501
995 5693 100 152 53 522
1000 5656 110 152 53 526
1029 5643 120 152 54 540
1106 5654 130 151 54 551
1216 5713 140 151 54 561
1332 5805 150 151 54 561
1420 5911 160 151 54 570
1490 6005 170 150 54 561
1503 6092 180 150 54 564
1489 6143 190 151 53 567
1456 6158 200 152 53 561
1406 6149 210 153 52 560
```

Рисунок Г.1 - Фрагмент файлу підпису з БД в txt форматі

Після запуску програма спочатку буде всі підписи користувача.

Далі програма буде суміщений графік залежності координат X від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. Г.2а. Потім програма

будує суміщений графік нормалізованої залежності координат X від часу для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. Г.2б. А також будує графік усередненої залежності координат X від часу та мінімальну та максимальну огинаючі для 25 справжніх підписів одного користувача – див. рис. Г.2в.

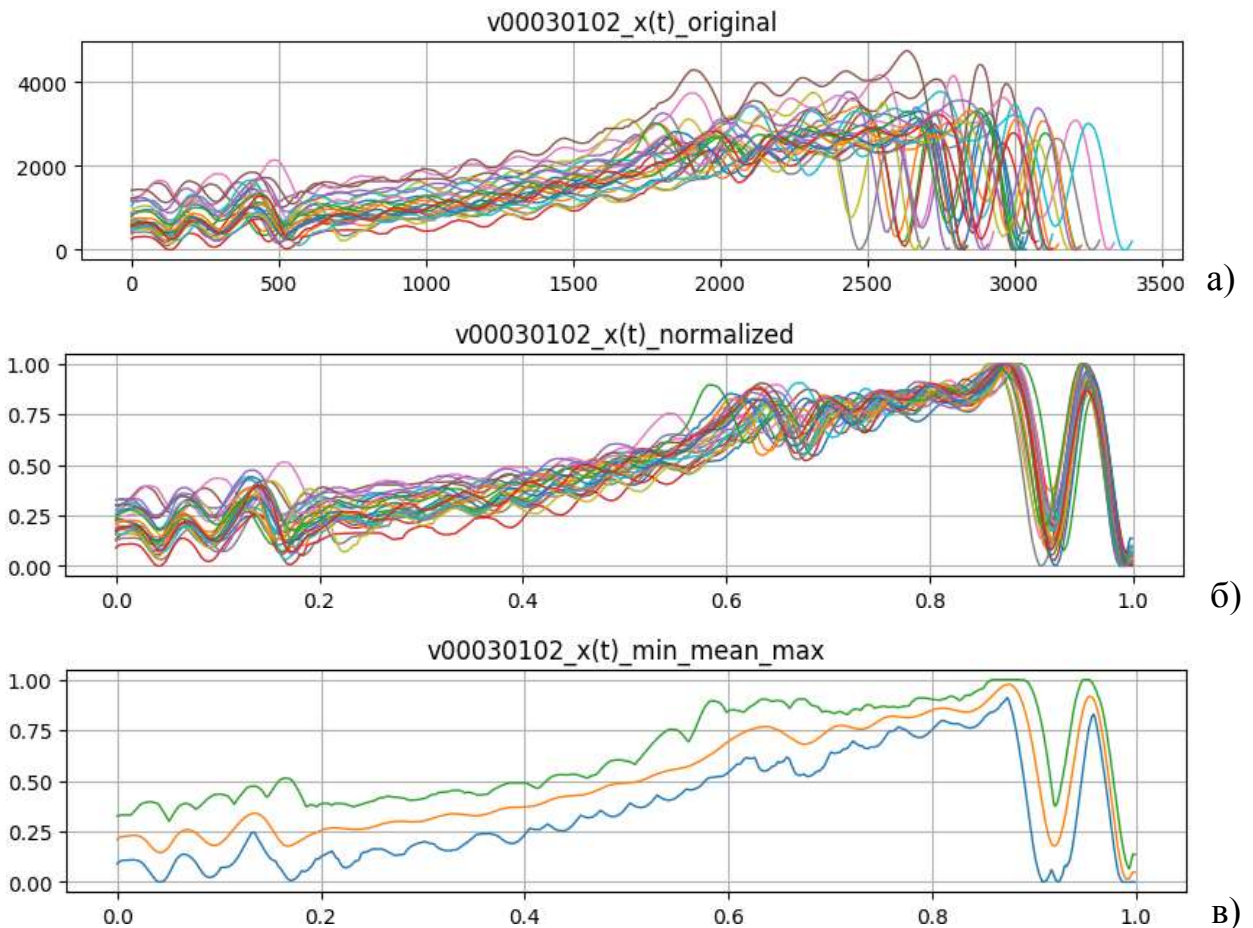


Рисунок Г.2 - Суміщений графік залежності координат X від часу для 25 справжніх підписів одного користувача: а) первинні залежності, б) нормалізовані залежності, в) усереднена залежність та огинаючі

Аналогічно програма будує суміщені графіки і всіх інших динамічних параметрів підпису: Y , l , $\Delta\alpha$ для 25 справжніх підписів одного користувача.

Потім програма обчислює середнє відносне значення відхилення для параметрів X , Y , l , $\Delta\alpha$ від усередненої залежності.