

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра комп'ютерних наук

# Інформаційна технологія розпізнавання органу управління в контексті побудови людино-машинного інтерфейсу

**Виконав:** студент групи 1КН-14мі  
Зимогляд А.С.

**Керівник:** д.т.н., професор  
Яровий А.А

Вінниця 2015

Вступ

# Вступ

Магістерську кваліфікаційну роботу присвячено розробці інформаційної технології розпізнавання органу управління в контексті побудови людино-машинного інтерфейсу.

Під органом управління розуміється рука оператора, а під його розпізнаванням – визначення координат центра долоні та кінцівок пальців.

Побудова людино-машинного інтерфейсу заключається в програмному управлінні вказівником та кнопками маніпулятора “Миша” на основі отриманої від розпізнавання інформації.

# Мета і завдання досліджень

**Метою** роботи є підвищення точності розпізнавання органу управління, що сприятиме покращенню ефективності роботи користувача в ході людино-машинної взаємодії.

Для досягнення мети розробки необхідно виконати такі **завдання**:

- аналіз предметної області розробки людино-машинних інтерфейсів;
- побудова математичних моделей та алгоритмів роботи систем в межах інформаційної технології розпізнавання органу управління в контексті побудови людино-машинного інтерфейсу;
- вибір програмного інструментарію для реалізації інформаційної технології розпізнавання органу управління та його обґрунтування;
- розробка системи розпізнавання органу управління в контексті побудови людино-машинного інтерфейсу та його відлагодження.

# Об'єкт, предмет і методи дослідження

**Об'єкт дослідження** — процес розпізнавання органу управління для побудови людино-машинного інтерфейсу.

**Предмет дослідження** — моделі та засоби побудови людино-машинного інтерфейсу на основі розпізнавання органу управління.

**Методи дослідження**, що застосовувалися процесі дослідження: методи бінаризації зображень; методи детектування границь та сегментації контурів на зображеннях; методи детектування долоні та інші методи комп'ютерного зору та обробки зображень.

# Демонстрація роботи програмного забезпечення

# Методи та моделі розпізнавання органу управління

# Основні етапи розпізнавання органу управління

Розпізнавання органу управління передбачає виконання таких етапів:

- 1) Відокремлення органу управління від фону;
- 2) Визначення контуру органу управління;
- 3) Визначення опуклої оболонки (convex hull) навколо контуру органу управління;
- 4) Визначення дефектів опуклості контура органу управління;
- 5) Обчислення координат кінцівок пальців;
- 6) Обчислення координат центра долоні;
- 7) Перевірка достовірності ідентифікації органу управління.

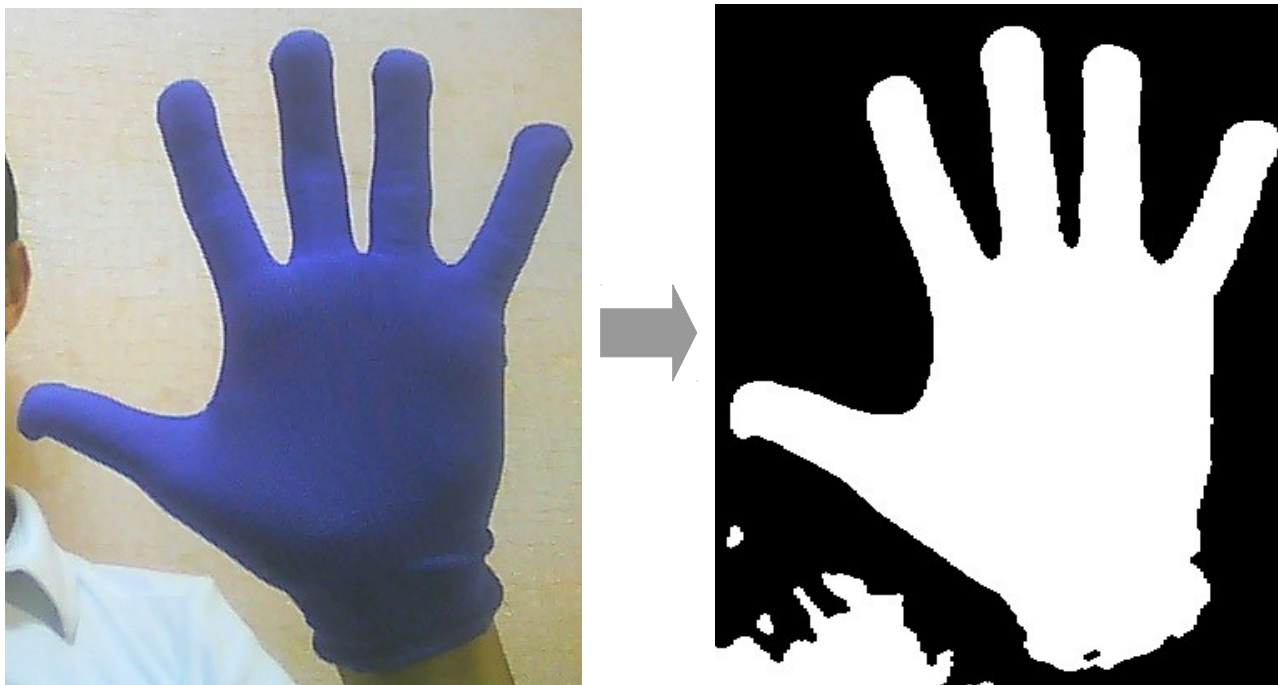


1. Відокремлення органу  
управління від фону

# Бінаризація зображення

Відокремлення органу управління від фону відбувається за допомогою переведення вхідного RGB-зображення в бінарне. Для бінаризації зображення можуть бути використані наступні методи:

- Порогова бінаризація
- Бінаризація за кольоровим діапазоном



# Порогова бінаризація

$$v'_{ij} = \begin{cases} v_{max}, & \text{якщо } v_{ij} \geq t \\ v_{min}, & \text{інакше} \end{cases} \quad i = \overline{1, h} \quad m = \overline{1, w}$$

де  $v_{ij}$  – значення  $ij$ -того пікселя вхідного зображення;

$v'_{ij}$  – значення  $ij$ -того пікселя вихідного зображення;

$v_{max}$  – максимальне значення внаслідок бінаризації, зазвичай 255;

$v_{min}$  – мінімальне значення внаслідок бінаризації, зазвичай 0;

$t$  – порогове значення;

$h, w$  – висота і ширина зображення в пікселях відповідно.

# Бінаризація за кольоровим діапазоном

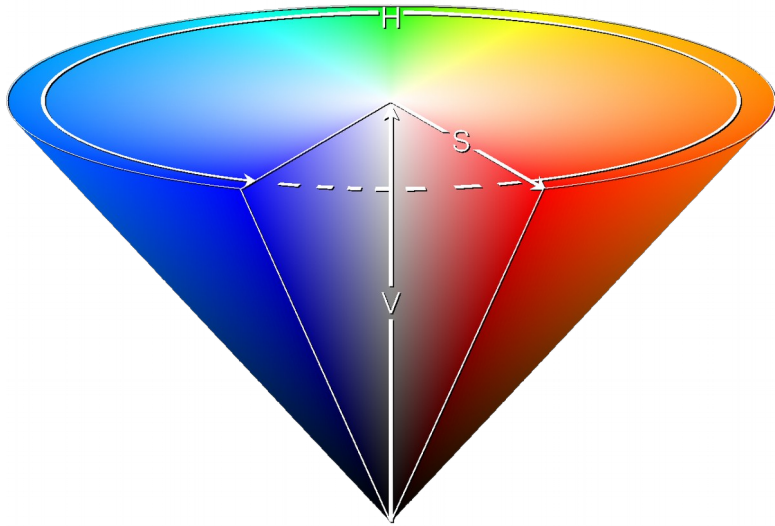
$$v'_{ij} = \begin{cases} v_{max}, & \text{якщо } H_L \leq H_{ij} \leq H_U \text{ і } S_L \leq S_{ij} \leq S_U \text{ і } V_L \leq V_{ij} \leq V_U \text{ і } i = \overline{1, h} \text{ і } m = \overline{1, w} \\ v_{min}, & \text{інакше} \end{cases}$$

де  $H_L$ ,  $S_L$ ,  $V_L$  – нижні межі тону, насиченості і значення колірної моделі HSV відповідно;

$H_U$ ,  $S_U$ ,  $V_U$  – верхні межі тону, насиченості і значення колірної моделі HSV відповідно;

$H_{ij}$ ,  $S_{ij}$ ,  $V_{ij}$  – поточні значення тону, насиченості і значення колірної моделі HSV відповідно;

# Приведення до кольорової моделі HSV



$$V = \max(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & \text{якщо } V \neq 0 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} 60(G - B) / (V - \min(R, G, B)), & \text{якщо } V = R \\ 120 + 60(B - R) / (V - \min(R, G, B)), & \text{якщо } V = G \\ 240 + 60(R - G) / (V - \min(R, G, B)), & \text{якщо } V = B \end{cases}$$

$$H \in [0; 360], S \in [0; 1], V \in [0; 1]$$

якщо  $H < 0$ , то  $H = H + 360$

де **H**, **S**, **V** – тон (hue), насиченість (saturation) і значення (value) кольору відповідно в колірній моделі HSV;

**R**, **G**, **B** – значення червоного (red), зеленого (green) і синього (blue) каналу кольору відповідно в колірній моделі RGB.

# Застосування операторів математичної морфології

Ерозія (erosion)

$$v'_{ij} = \min_{\substack{n=i-r \\ m=j-r}}^{i+r, j+r} v_{nm}, \quad i = \overline{1, h}, \quad j = \overline{1, w}$$

Поширення (dilation)

$$v'_{ij} = \max_{\substack{n=i-r \\ m=j-r}}^{i+r, j+r} v_{nm}, \quad i = \overline{1, h}, \quad j = \overline{1, w}$$

де  $r$  – радіус структурного елемента математичної морфології.



Вхід

Ерозія

Поширення



**Вхідне зображення**



**Результат бінаризації за кольоровим діапазоном**





**Результат дії морфологічного відкриття на попереднє зображення**



**Результат дії морфологічного закриття на попереднє зображення**

# Результуючий алгоритм відокремлення органу управління від фону

Отже для якісного відокремлення долоні від фону необхідно виконати наступну обробку вхідного зображення:

- 1) приведення до колірної моделі HSV;
- 2) бінаризація за заданим діапазоном кольорів;
- 3) морфологічне відкриття;
- 4) морфологічне закриття.

## 2. Визначення контуру органу управління

# Детектори границь на основі першої похідної

Детектор Робертса:

$$\delta_1(i, j) = f(i, j) - f(i+1, j+1)$$

$$\delta_2(i, j) = f(i, j) - f(i-1, j-1)$$

$$i = \overline{1, h}, \quad j = \overline{1, w}$$

де  $f(i, j)$  – значення функції яскравості  $ij$ -го пікселя ( $v_{ij}$ );

$\delta_1(i, j)$ ,  $\delta_2(i, j)$  – частинні похідні функції яскравості  $ij$ -го пікселя.

Ядра згортки Робертса:

$$k_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad k_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

# Детектори границь на основі першої похідної

Ядра згортки Превітта:

$$k_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad k_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ядра згортки Собеля:

$$k_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad k_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Обчислення значення та орієнтації градієнту

**Значення градієнту** обчислюється, середньоквадратичне значення або як абсолютна сума частинних похідних

$$\Delta_{ij} = \sqrt{\delta_1^2(i, j) + \delta_2^2(i, j)}$$

$$\Delta_{ij} = |\delta_1(i, j)| + |\delta_2(i, j)|$$

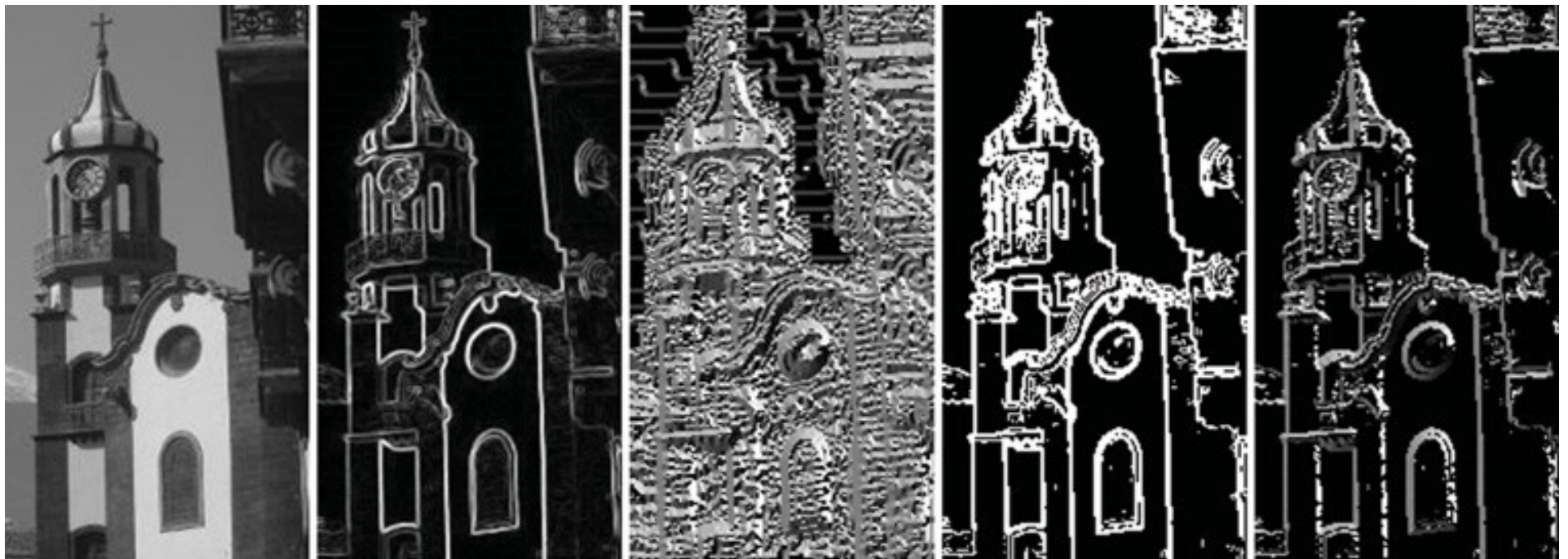
де  $\Delta_{ij}$  – значення градієнту в точці  $i, j$ .

**Орієнтація градієнту:**

$$\varphi(i, j) = \arctan(\delta_1(i, j) + \delta_2(i, j))$$

де  $\varphi(i, j)$  – орієнтація градієнту в точці  $i, j$ .

# Приклад роботи детектора границь на основі першої похідної



а

б

в

г

д

*а – оригінальне зображення, б – значення градієнтів, в – орієнтації градієнтів,  
г – бінаризовані значення градієнтів за певним порогом, д – результат  
детектування*



# Результуючий алгоритм визначення контурів

Отже загальний алгоритм детектора границь на основі першої похідної наступний:

- 1) обчислення частинних похідних зображення;
- 2) обчислення загальних градієнтів для кожного пікселя;
- 3) обчислення орієнтацій градієнтів;
- 4) придушення немаксимальних значень градієнтів поперек границь;
- 5) порогова бінаризація.

Іншими методами детектування границь є детектори на основі другої похідної (фільтр Лапласа, фільтр Кенні) та мультиспектральні детектори.

Після детектування границь виконується сегментація контурів.



**Результат визначення контуру**

3. Визначення опуклої оболонки  
(convex hull) навколо контуру  
органу управління



**Результат визначення опуклої оболонки (convex hull) навколо контура долоні**

## 4. Визначення дефектів опуклості конттуру органу управління

# Визначення дефектів опуклості

Дефекти опуклості – проміжки контура долоні, де він не сходиться з опуклою оболонкою. Ці дефекти зручно представляти трьома точками: початок дефектного проміжку, кінець дефектного проміжку і найвіддаленіша точка від опуклої оболонки. Найбільші з них відповідатимуть проміжкам між пальцями. Умови для визнання дефекту опуклості проміжком між пальцями можуть бути наступними:

- Відстань від найвіддаленішої точки дефекту до описаного опуклого многокутника (глибина проміжку між пальцями) – не менше певного порогу. Пропонується взяти експериментально визначений поріг в  $1/20$  від периметра описаного прямокутника.
- Кут між відрізками від початку дефектного проміжка до найвіддаленішої точки і від найвіддаленішої точки до кінця дефектного проміжка (кут між пальцями) – не більше певного порогового значення. Пропонується прийняти порогове значення кута в  $100^\circ$ .



**Результат визначення дефектів опуклості контуру органу управління**

# 5. Обчислення координат кінцівок пальців



# Обчислення координат кінцівок пальців

Маючи масив дефектів опуклості, відфільтрованих за вищеописаними умовами, кількість і точки кінцівок розігнутих пальців визначити досить просто. Точка початку 1-го дефекта буде відповідати кінцівці 1-го пальця, точка кінця 1-го дефекта або точка початку 2-го дефекта відповідатимуть кінцівці 2-го пальця і так далі. Точка кінця останнього дефекта відповідатиме кінцівці останнього пальця. Таким чином, кількість пальців буде на один більше, ніж кількість дефектів опуклості.

# Проблема ідентифікації одного пальця

Проте, якщо дефектів опуклості немає, то може бути розігнутим один палець, а може не бути жодного. В даній магістерській роботі пропонується наступний алгоритм вирішення цієї проблеми:

- 1) Якщо кількість дефектів більша від 0, то визначити кінцівки пальців на основі точок дефектів (вищеописаний метод) і завершити, інакше – на крок 2;
- 2) Якщо співвідношення сторін описаного навколо контура руки прямокутника менше 1.5 (експериментально отримане значення), то прийняти кількість пальців рівну 0 і завершити, інакше – на крок 3;
- 3) Кількість пальців прийняти рівну 1. Точку кінцівки пальця визначити, як найгостріший кут описаного опуклого багатокутника.

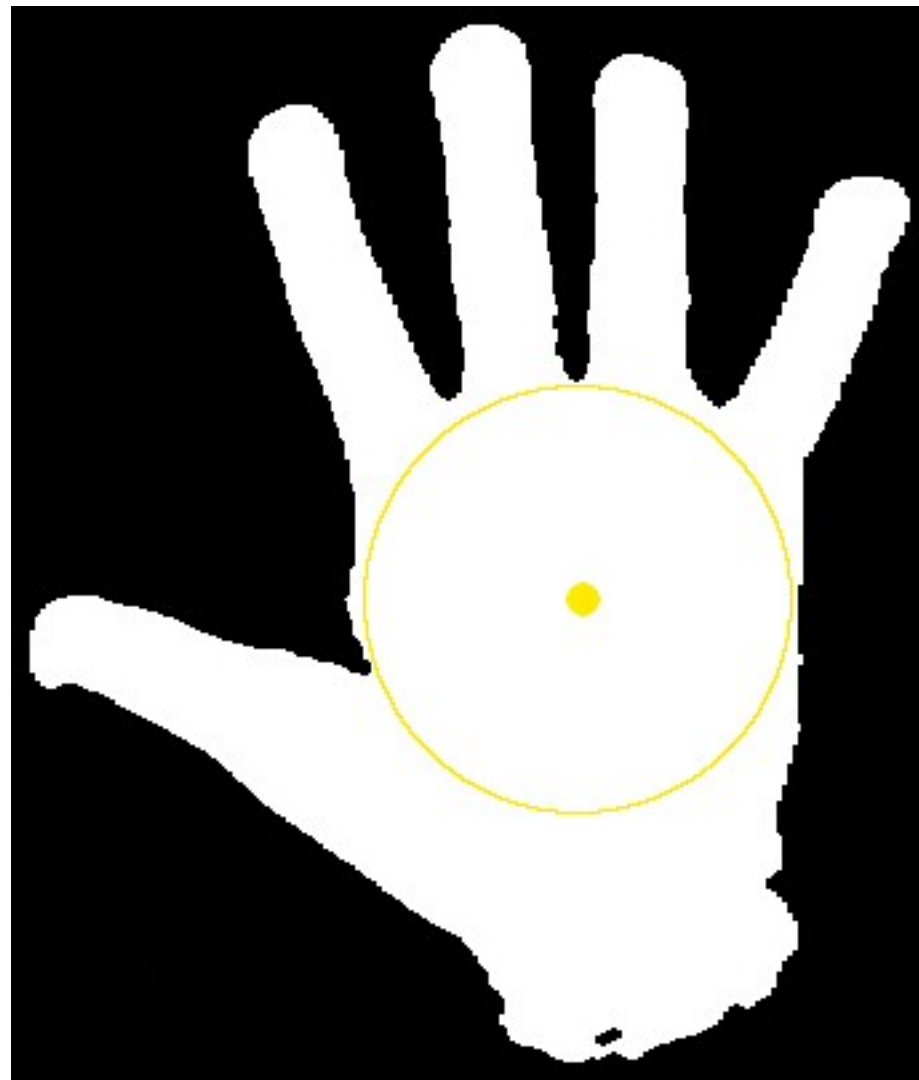
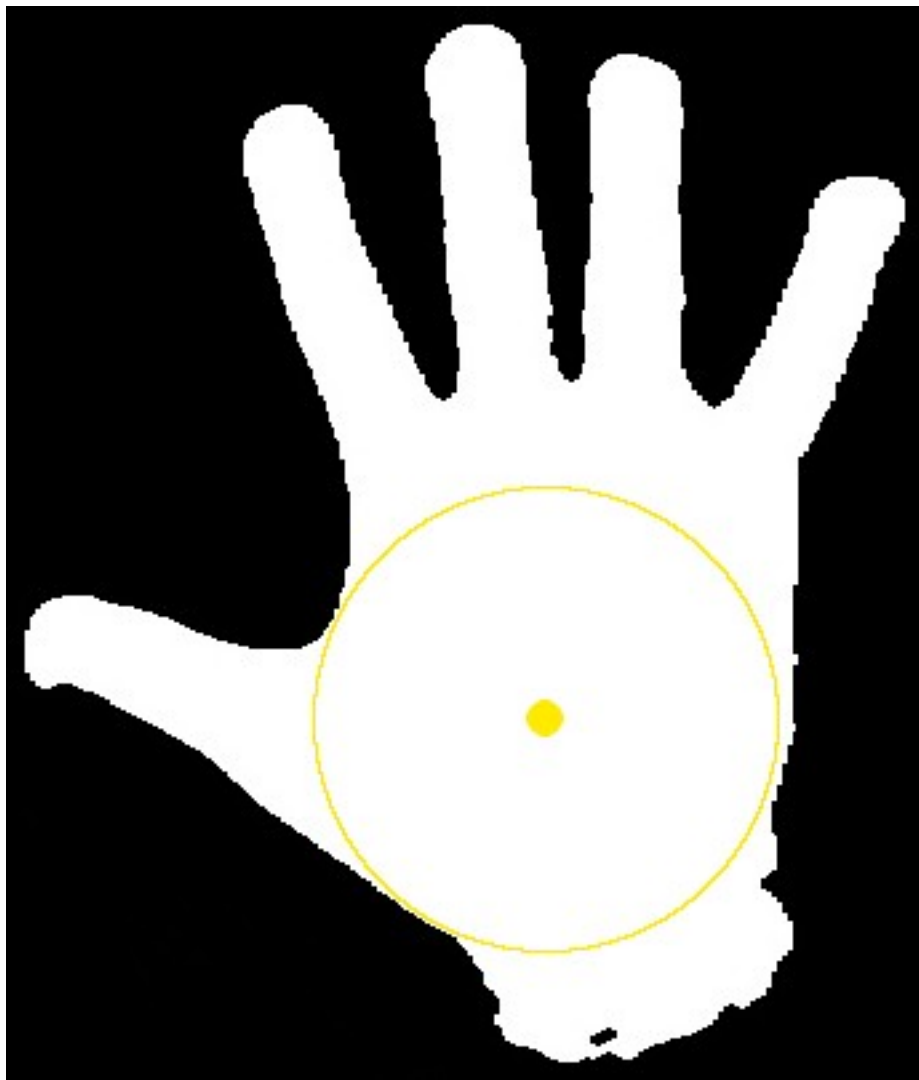
## 6. Обчислення координат центра долоні

# Обчислення координат центру органу управління за допомогою вписаного кола

Найпростіший спосіб визначення координат центру долоні полягає в визначенні координат центру описаного прямокутника. Більш точніший спосіб – визначення центра маси бінарного зображення долоні (детально описано нижче). Проте при побудові людино-машинного інтерфейсу, якщо відповідно до цих координат виставляти позицію вказівника миші, то великий вплив на позицію вказівника матимуть згинання-розгинання пальців.

Для того, щоб позбутись цього впливу пропонується обчислювати координати центру долоні без урахування пальців. Інтуїтивний спосіб це зробити – визначити параметри вписаного кола, а центр вписаного кола прийняти за центр долоні.

# Обчислення координат центру органу управління за допомогою вписаного кола



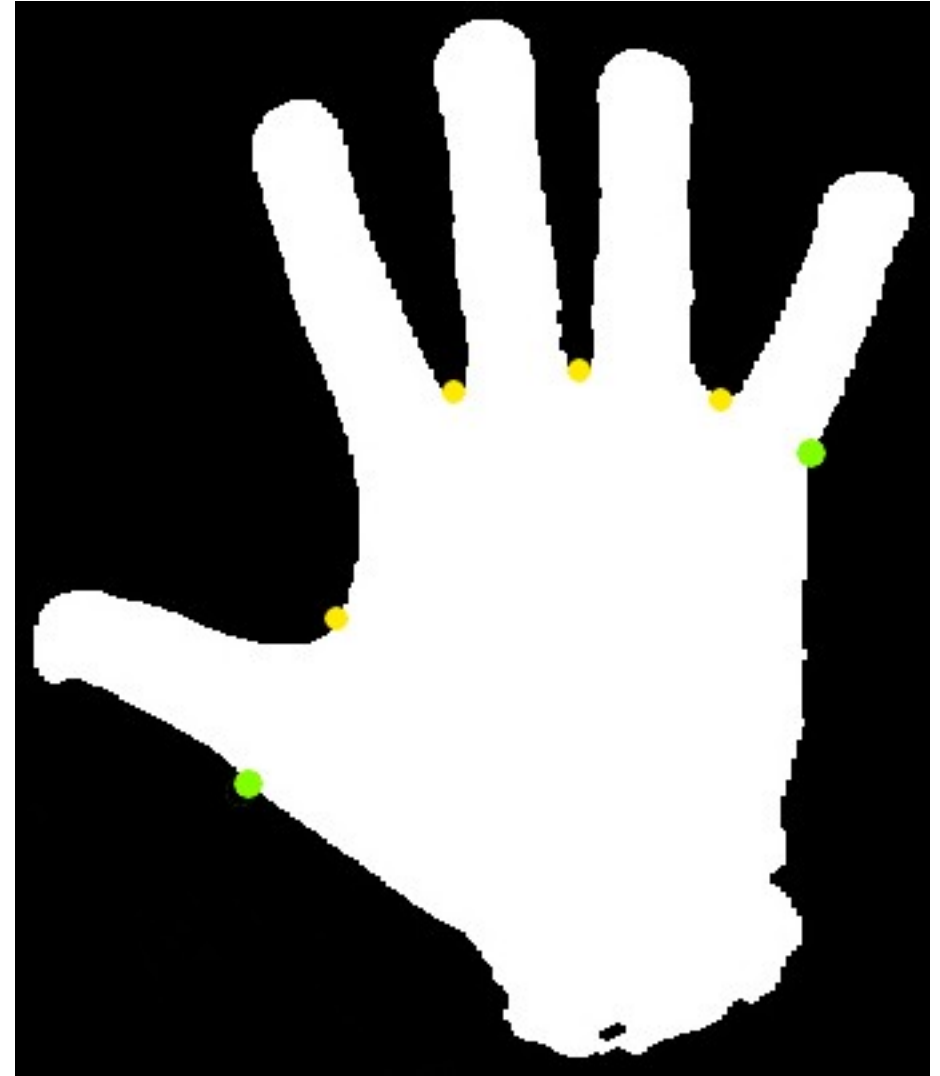
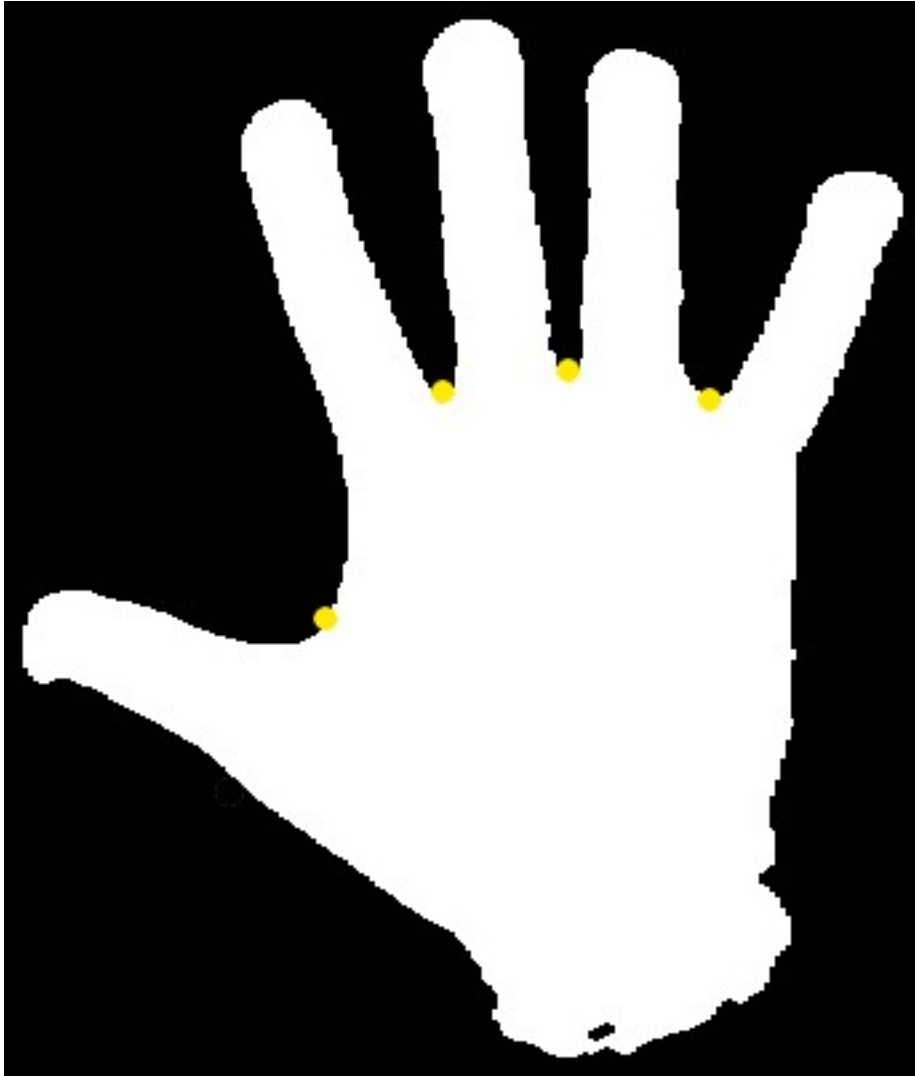
# Запропонований метод обчислення координат центру органу управління

- 1) Використовуючи найвіддаленіші точки відфільтрованих дефектів опуклості (найглибші точки проміжків між пальцями) відсікти пальці від контура долоні;
- 2) Визначити центр маси новоутвореного контура.

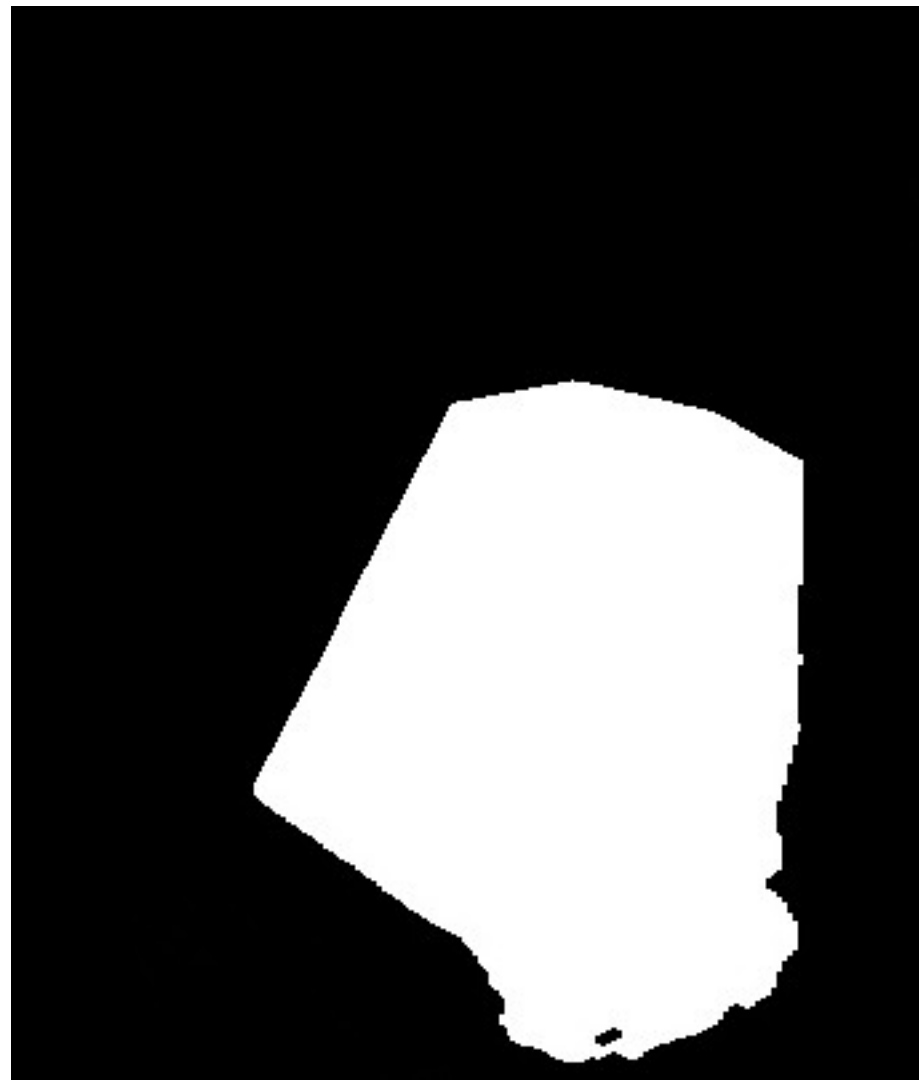
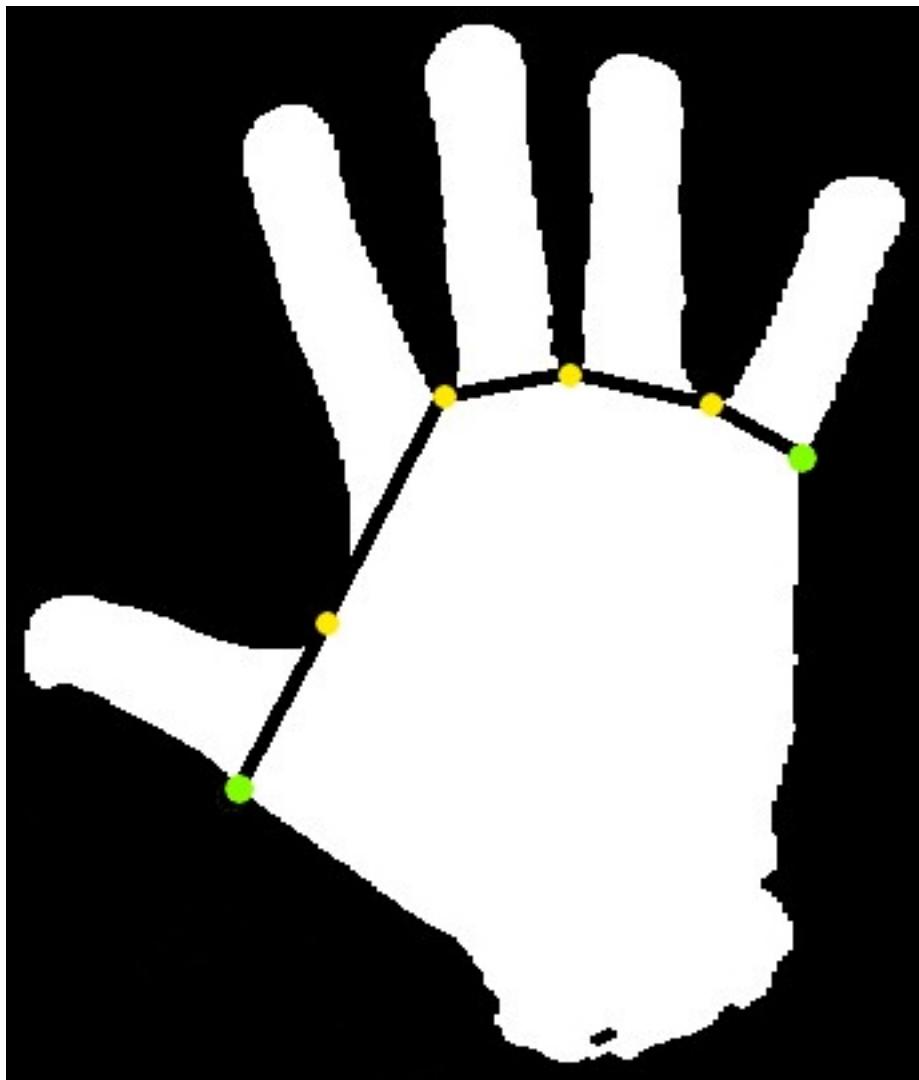
$$x = \frac{\sum_{i,j} v_{ij} \cdot i}{\sum_{i,j} v_{ij}}, \quad y = \frac{\sum_{i,j} v_{ij} \cdot j}{\sum_{i,j} v_{ij}}$$

де  $x, y$  – координати центра маси бінарного зображення.

# Запропонований метод обчислення координат центру органу управління



# Запропонований метод обчислення координат центру органу управління

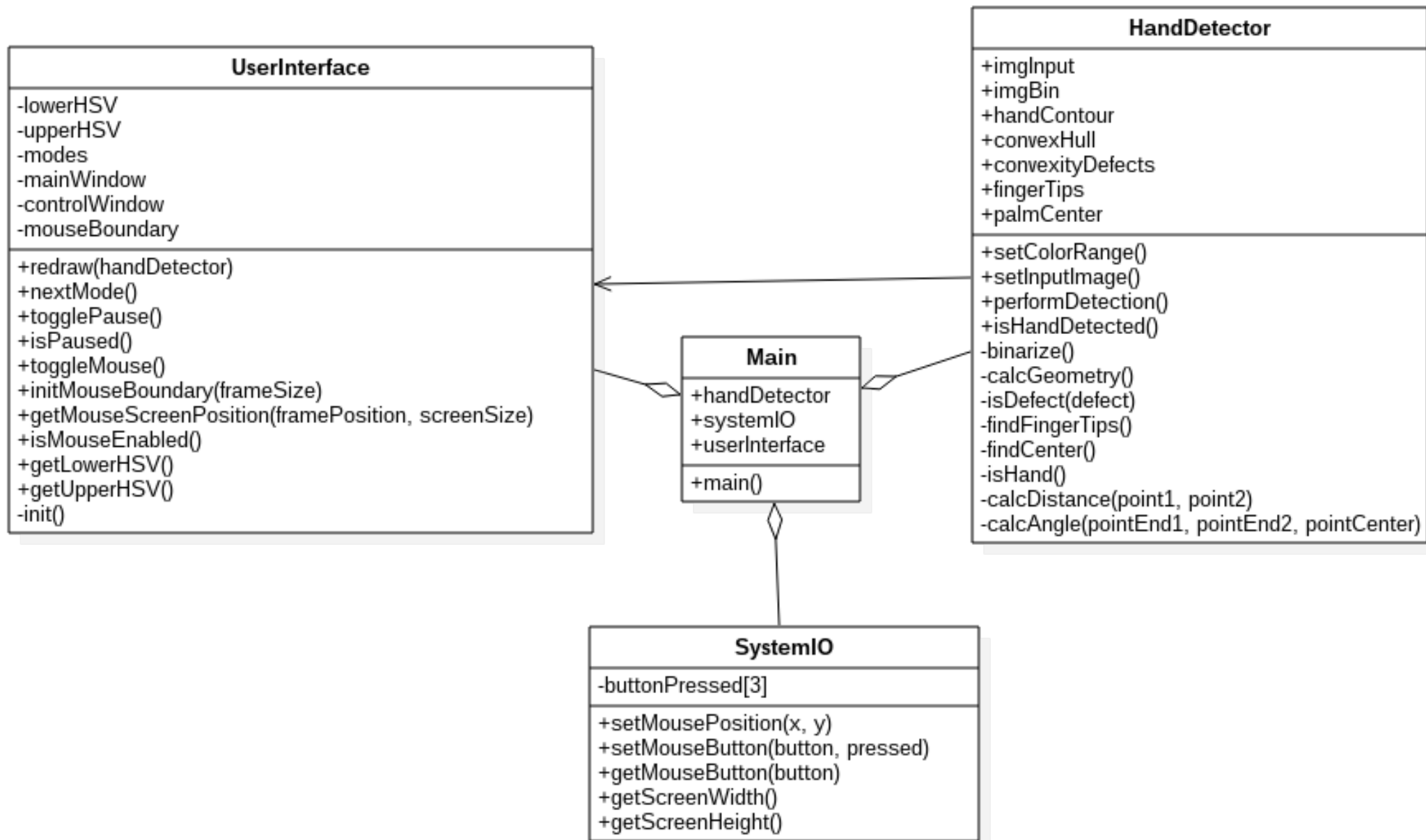




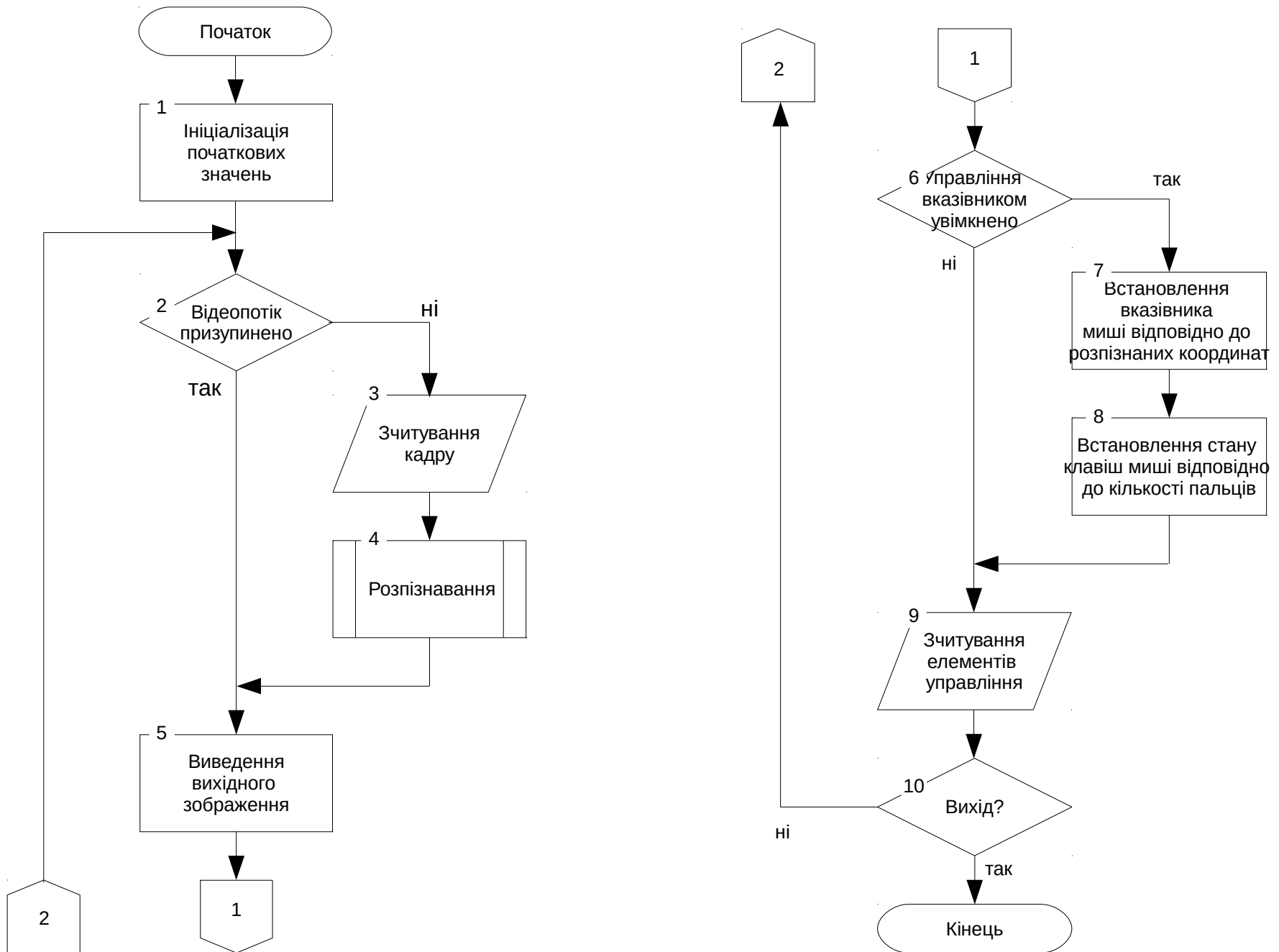
# 7. Перевірка достовірності ідентифікації органу управління

Програмна реалізація  
інформаційної технології  
розпізнавання органу  
управління

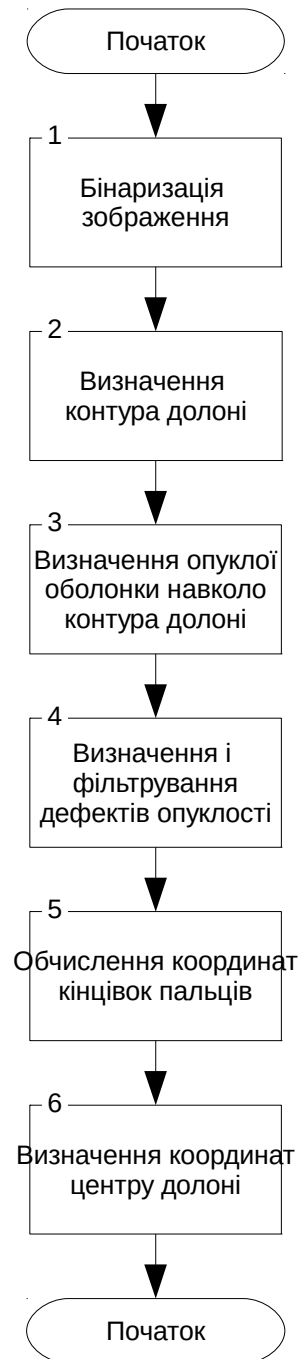
# UML-діаграма класів



# Алгоритм роботи програмного продукту



# Алгоритм розпізнавання органу управління

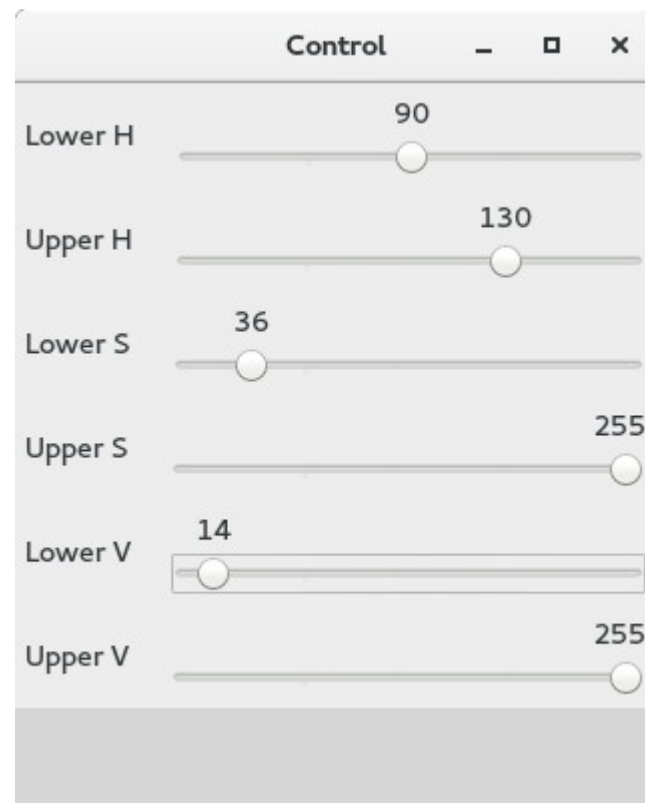
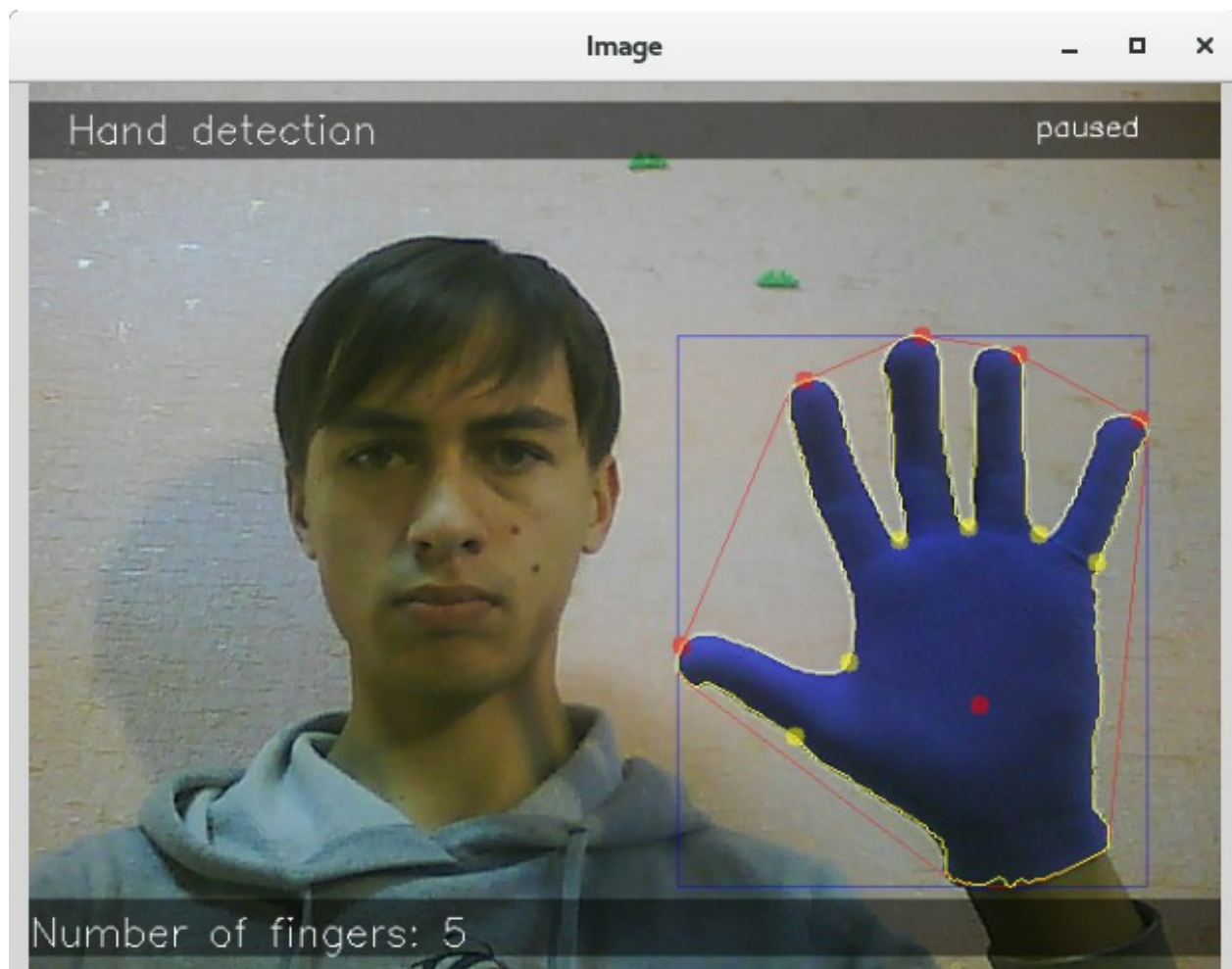


# Бібліотека OpenCV

**OpenCV** (англ. Open Source Computer Vision Library, бібліотека комп'ютерного зору з відкритим кодом) — бібліотека функцій та алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень і чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом. Бібліотека надає засоби для обробки і аналізу вмісту зображень, у тому числі розпізнавання об'єктів на фотографіях (наприклад, осіб і фігур людей, тексту тощо), відстежування руху об'єктів, перетворення зображень, застосування методів машинного навчання і виявлення загальних елементів на різних зображеннях



# Результати тестування



# Результати тестування

Проведено тестування програмної реалізації та аналіз результатів роботи. При гарному освітленні програма дає високу якість розпізнавання, безпомилково визначає координати положення долоні та кінцівок пальців. Управління вказівником клавішами миші працює коректно.

Основним недоліком даної розробки являється значне погіршення точності розпізнавання координат положення руки при гіршому освітленні. Це спричинено тим, що розмір об'єкта, координати положення якого визначаються – досить великий відносно розмірів кадру. Тому навіть мінімальний зсув контура значно впливає на положення центра маси об'єкта. Запропоновано варіанти вирішення цієї проблеми.

Загалом програма працює досить якісно, програмну реалізацію інформаційної технології розпізнавання органу управління в контексті побудови людино-машинного інтерфейсу виконано успішно.



# Висновки

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено інформаційну технологію розпізнавання органу управління в контексті побудови людино-машинного інтерфейсу.

Проаналізовано методи та системи побудови людино машинного інтерфейсу.

Досліджено методи розпізнавання органу управління. Запропоновано удосконалення методів обчислення координат центру долоні, бінаризації зображення при відокремленні органу управління від фону та перевірки достовірності органу управління на вхідному зображення.

Спроектовано та розроблено програмне забезпечення для розпізнавання органу управління в контексті побудови ЛМІ. Результати тестування задовільні, програма працює коректно.

Виконано економічне обґрунтування доцільності розробки.

# Висновки

Результати досліджень обговорювалися на XLIII та XLIV науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області.

За результатами досліджень подано заявку на реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму) “Інформаційна технологія розпізнавання органу управління в контексті побудови людинно-машинного інтерфейсу”, а також опубліковано двоє тез доповідей науково-технічних конференцій.

Дякую за увагу!