

**Віртуальна клавіатура, керована оком, для людей з обмеженими фізичними
можливостями**

***Анотація.** Здійснено опис можливостей використання технологій відстеження руху очей (eye-tracking) для створення віртуальної клавіатури, призначеної для людей з обмеженими фізичними можливостями. Розроблено прототип програмного забезпечення, який перетворює координати погляду у вибір клавіш на екрані з використанням алгоритмів фільтрації та механізму dwell-time. Проведено аналіз існуючих рішень, окреслено їхні переваги та недоліки, а також обґрунтовано актуальність створення доступного й локалізованого інструменту, що не потребує спеціалізованого обладнання.*

***Ключові слова** – eye-tracking, віртуальна клавіатура, комп'ютерний зір, доступність, dwell-time, UX.*

Вступ. Сучасне суспільство прагне до інклюзивності, де кожна людина має право на повноцінне життя незалежно від своїх фізичних можливостей. Особливої уваги потребують люди з обмеженими фізичними властивостями, які через втрату можливості користування руками не можуть ефективно взаємодіяти з комп'ютером або мобільними пристроями. Одним із найбільш перспективних напрямків у галузі розробки доступних інтерфейсів є використання технологій відстеження руху очей (eye-tracking).

Розвиток комп'ютерного зору, штучного інтелекту та апаратних засобів дає можливість створювати нові інтерфейси, які не потребують фізичного контакту. Віртуальна клавіатура, керована поглядом, є одним із таких інноваційних рішень. Вона дозволяє користувачам вводити текст, здійснювати базову навігацію та управляти пристроями, використовуючи лише рухи очей. Це може значно покращити якість життя людей з порушеннями опорно-рухового апарату, травмами хребта, ДЦП, а також людей похилого віку.

Математична модель. Побудова віртуальної клавіатури, керованої очима, вимагає чіткого формулювання задачі відстеження погляду у математичній формі. Основна мета полягає у тому, щоб перетворити послідовність зображень обличчя, отриманих із веб камери, у координати на екрані, які однозначно відповідають певним елементам інтерфейсу (клавішам).

Вхідні дані. Формально система отримує на вході потік зображень $I(t)$, де кожен кадр являє собою матрицю пікселів:

$$I(t) = [p_{ij}(t)], i = 1..M, j = 1..N, \quad (1)$$

де M і N – розміри кадру, а $p_{ij}(t)$ – інтенсивність яскравості у точці (i, j) у момент часу t .

Основні операції:

Детекція обличчя – функція F :

$$I(t) \rightarrow Rf, \quad (2)$$

де Rf – область кадру, що відповідає обличчю.

Виділення очей – функція E :

$$Rf \rightarrow (ReyeL, ReyeR), \quad (3)$$

яка повертає прямокутні області для лівого та правого ока.

Локалізація зіниць – знаходження центрів $CL(xL, yL)$, $CR(xR, yR)$ у кожному оці.

Визначення координат погляду. На основі положення зіниць розраховуються координати погляду на екрані

$$G(x,y) = H(CL, CR, P), \quad (4)$$

де P – матриця параметрів калібрування, що враховує індивідуальні особливості користувача (відстань до камери, нахил голови, розмір очей).

Зони інтересу

Екран розбивається на області AOIk (Areas of Interest), кожна з яких відповідає певній клавіші. Для координат погляду $G(x,y)$ визначається функція належності:

$$K = f(G(x, y)) \in \{K1, K2, \dots, Km\}, \quad (5)$$

де m – кількість клавіш на екрані.

Параметри взаємодії

Dwell-time (T_d) – час, протягом якого погляд утримується на одній зоні, щоб зафіксувати вибір: $K_{select} = K$, якщо $T_{fix} \geq T_d$.

Поріг точності (ϵ) – максимальне допустиме відхилення координат погляду від центру клавіші.

Таким чином, задача відстеження погляду формалізується як послідовність перетворень: від зображення очей до координат погляду, які потім зіставляються із зонами клавіатури. Введення параметрів dwell-time та точності дозволяє інтерпретувати погляд користувача як натискання на клавішу, що є основою роботи системи.

Робота з координатами погляду потребує спеціальних алгоритмів, які дозволяють компенсувати шум, нестабільність і випадкові відхилення, притаманні відеопотоку. У цьому підрозділі описано основні методи, що використовуються для забезпечення точності та стабільності введення.

Згладжування координат за допомогою фільтра Калмана. Координати погляду $G(x, y)$, отримані з відеопотоку, містять випадкові флуктуації. Для їх усунення застосовується фільтр Калмана – рекурсивний алгоритм оцінки стану системи:

$$X_k = AX_{k-1} + Bu_k + w_k, Z_k = HX_k + v_k \quad (6)$$

де: $X_k = [x, y, v_x, v_y]$ – вектор стану (координати та швидкості);

A – матриця переходу;

H – матриця спостереження;

w_k, v_k – шуми процесу й вимірювання.

Цей метод дозволяє прогнозувати положення погляду та зменшувати вплив випадкових коливань.

Експоненційне згладжування. Для спрощених реалізацій може використовуватися метод експоненційного згладжування:

$$G'_t = \alpha G_t + (1 - \alpha)G'_{t-1}, \quad (7)$$

де α – коефіцієнт згладжування ($0 < \alpha < 1$).

Цей підхід простіший у реалізації та менш вимогливий до ресурсів, але менш точний у прогнозуванні.

Алгоритм dwell-time. Вибір клавіші реалізується через dwell-алгоритм, який базується на часовій фіксації погляду:

- Якщо координати погляду потрапили у зону клавіші K, запускається таймер.
- Якщо погляд затримується довше за поріг T_d (наприклад, 500 мс), клавіша вважається натиснутою.
- Якщо погляд відведено раніше – вибір скасовується.

Програмна реалізація. Здійснимо практичну реалізацію віртуальної клавіатури з використанням мови програмування Python. Після запуску програми, вгорі екрану з'явиться клавіатура а збоку буде додаткове вікно з потоком відео з веб-камери. Використаємо віртуальну клавіатуру щоб відкрити блокнот і набрати текст. Після набору тексту використовуємо комбінацію клавіш win + print screen щоб зробити скріншот виконання. рис.1.

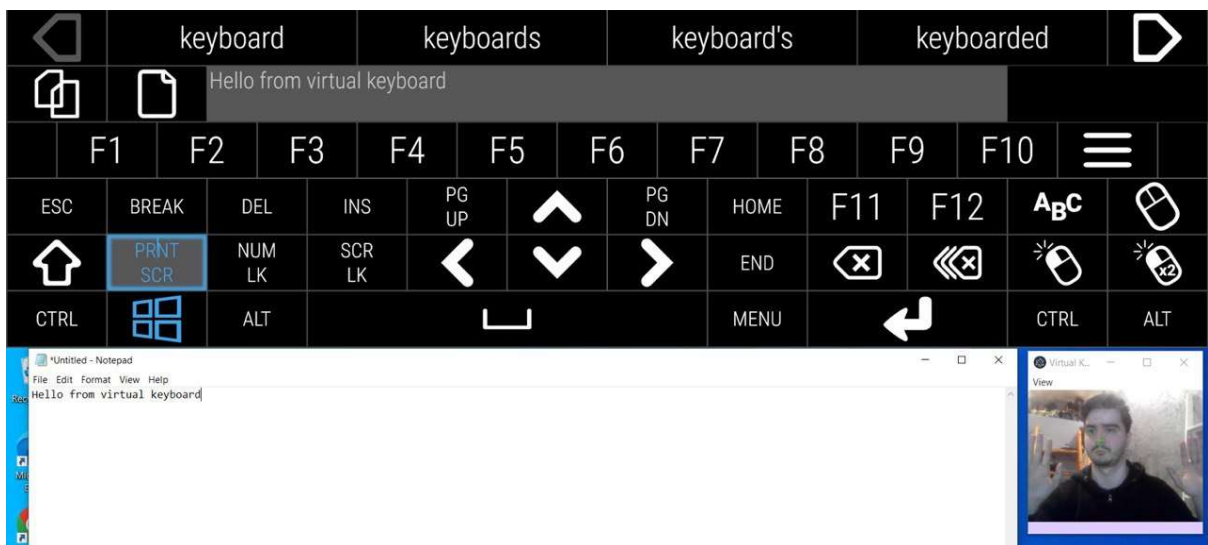


Рисунок 1. Набраний текст в блокноті



Рисунок 2. Віртуальна клавіатура

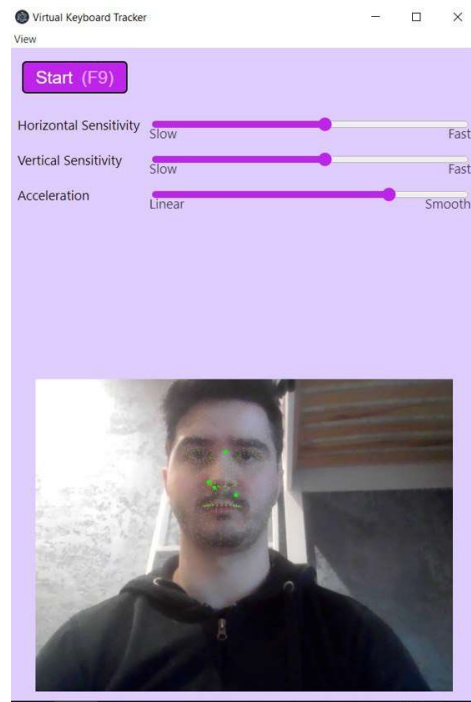


Рисунок 3. Панель налаштування чутливості

Висновок. Отримані результати свідчать, що поєднання доступних технологій комп'ютерного зору (OpenCV, MediaPipe), математичних моделей (фільтр Калмана, dwell-алгоритм) і простих інтерфейсних рішень дозволяє створити функціональний прототип без потреби у дорогому обладнанні. Це забезпечує доступність системи для широкого кола користувачів, зокрема в умовах обмеженого бюджету.

Розроблена система може бути застосована не лише для особистого користування людьми з обмеженими можливостями, а й у реабілітаційних центрах, навчальних закладах та лікарнях.

Підсумовуючи, запропоноване рішення є актуальним і перспективним напрямом розвитку асистивних технологій, сприяє інклюзивності цифрового середовища та підвищує якість життя людей із фізичними обмеженнями.

Список використаних літературних джерел

- [1] Duchowski, A. T. Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. – Springer, 2017. – 366 p.

- [2] Hansen, D. W., Ji, Q. In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – Vol. 32, № 3. – P. 478–500.
- [3] Chauhan, J., Raman, R. Eye-Controlled Virtual Keyboard for Physically Disabled People. // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2019. – Vol. 10, № 5. – P. 112–119.
- [4] Хороз А., Яцишин С. Інтелектуальна система синтезу текстів. // Матеріали п'ятої науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Львів, 19-21 жовтня 2023 р.). – Львів: ННІ КНІТ НЛТУ України, 2023. – С.106-109.

Eye-controlled virtual keyboard for people with disabilities

Oleh Shcherban, Svitlana Yatsyshyn

A description of the possibility of using eye-tracking technologies to create a virtual keyboard intended for people with physical disabilities. A software prototype has been developed that converts gaze coordinates into on-screen key selection using filtering algorithms and a dwell-time mechanism. An analysis of existing solutions has been conducted, their advantages and disadvantages have been outlined, and the relevance of creating an accessible and localized tool that does not require specialized equipment has been substantiated.