

УДК 004.67 : 004.82 : 004.93

Длужевський А.О.,  
Артамонов Є.Б., к.т.н.

## **МЕТОДИ ЗНАХОДЖЕННЯ ТОЧКИ ПОГЛЯДУ КОРИСТУВАЧА ПРИ ПЕРЕГЛЯДІ ЦИФРОВИХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Національний авіаційний університет

[dlandrew@ukr.net](mailto:dlandrew@ukr.net),  
[eart@ukr.net](mailto:eart@ukr.net)

*Описано метод визначення зіниці ока користувача в системі динамічного формування вмісту в навчальних матеріалах для збору статистичних даних про поведінку користувача та його звичок. Дана інформація є цінною з точки зору слідкування за станом користувача, передбачення рівня концентрації уваги, принципу формування вмісту навчальних матеріалів для конкретного користувача. Для отримання даної інформації використовується аналіз погляду користувача під час читання навчальних матеріалів в реальному часі*

**Ключові слова:** окулографія, ознаки Хаара, розпізнавання образів, визначення ока, ідентифікація об'єктів, метод Віоли-Джонса, динамічне формування вмісту

### **Вступ**

В добу цифрових технологій та розповсюдження Інтернету змінюється сам принцип того, як людина користується своїми знаннями. При відсутності Інтернету було важливо запам'ятовувати великі обсяги даних, але сьогодні більш важливим є вміння пам'ятати структуру і джерела інформації, а також вміння правильно використовувати отриману інформацію.

Процес навчання також набуває змін. Цьому певною мірою сприяє стрімкий розвиток технологій загалом та інформаційних технологій зокрема. Зараз більшість інформації отримується студентами з електронних джерел, що дає змогу залучити цифрові носії (персональні комп'ютери та мобільні пристрої) в процес навчання.

З'являється можливість формувати вміст сторінок за певною темою динамічно враховуючи потреби конкретного користувача. Для реалізації цієї можливості необхідно збирати різноманітні статистичні дані про користувача.

Нині існує окрема гілка в статистичних дослідженнях, що звертає увагу на те, яким чином людина переглядає веб-сторінки, шпальти газет, на що першим

звертається увага при відкритті книги, а також, як саме відбувається процес читання, тощо. Для цього використовується метод окулографії – знаходження точки перетину оптичної вісі ока та площини об'єкту, що спостерігається. Для отримання даних про розташування зіниці ока використовуються різні методи. Деякі з них вимагають фізичного контакту з оком, а деякі є неінвазивними.

Дослідження того, як саме людина читає з екрану, наскільки довго затримується на кожному слові, як часто починає відривати погляд від екрану і відволікатися, дає змогу зібрати статистичні дані про конкретного користувача.

Зараз результати подібних аналізів використовуються для привертання уваги до контенту веб-сайтів і реклами. Але також ці дані можна використовувати і для динамічного формування навчальних матеріалів безпосередньо для обраного користувача в автоматичному режимі.

### **Постановка проблеми**

На практиці, для отримання даних про рух очей, використовуються різні технічні засоби, в залежності від методу. Існують інвазивні і неінвазивні методи отримання таких даних.

Використання інвазивних методів збору інформації про рух очей користувача в комп'ютерних системах практично не використовуються, тому що вимагають фізичного контакту з оком досліджуваного та спричиняють дискомфорт, на що користувачі можуть піти лише у медичних системах.

Серед неінвазивних методів одним з відомих на даний час є метод візуального аналізу послідовності фотографій ока досліджуваного. Для здійснення фотографій можуть використовуватися як спеціалізоване обладнання, так і цифрові камери загального призначення. Варіант використання камер загального призначення більше підходить через відсутність необхідності використання додаткових периферійних пристроїв, хоча такий підхід і передбачає нижчу точність вимірів.

Для аналізу рівня уваги користувача під час читання навчальних матеріалів пропонується спиратися на певні параметри погляду [1, 2], такі як:

- направленість погляду на матеріал;
- час, витрачений на прочитання певної кількості слів;
- напрям руху зору навчальними матеріалами.

Для отримання цих параметрів необхідно отримати і проаналізувати ряд фотографій ока користувача в реальному часі, здійснити визначення ока користувача, а також зіниці ока з метою отримання даних про спрямування погляду.

Кінцева мета дослідження полягає в отриманні методики знаходження точки перетину оптичної вісі ока і площини з навчальним матеріалом без використання спеціалізованих технічних засобів.

Для створення алгоритму визначення зіниці ока доцільно розглянути кілька підходів знаходження об'єкту на зображенні.

### **Етапи виконання задачі**

Формально, можна розбити задачу визначення перетину зорової вісі ока та дисплею з навчальним матеріалом на такі частини:

- опис візуальних ознак ока на фотографії (класифікаторів);
- виділення об'єктів на фотографії, що відповідають визначеним ознакам;
- обчислення точки перетину лінії зору та площини об'єкту з матеріалом;
- запису отриманих даних в форматі, придатному для подальшого аналізу.

Визначення точки перетину буде залежати від того, наскільки чітко було визначено положення зіниці ока. Тому цій задачі приділяється особлива увага.

Пропонується така послідовність дій:

1) отримується вхідне зображення з камери (перед подальшою обробкою варто знизити рівень цифрового шуму на зображенні [3,4]. На ньому визначається обличчя яке виділяється як окреме зображення. Це зменшує кількість хибних спрацювань при подальшому аналізі, адже аналізуватиметься лише зона з потенційною наявністю очей);

2) зона обличчя перевіряється на наявність очей користувача з використанням класифікаторів чи шаблонних зображень;

3) знаходиться позиція зіниці ока по відношенню до самого ока.

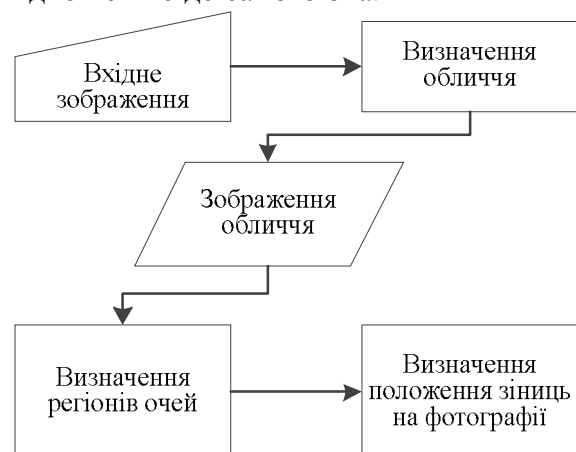


Рис. 1. Послідовність дій для визначення розташування зіниць очей користувача

### **Ознаки Хаара**

В залежності від камери, яка буде використовуватися для отримання фотографій очей користувача необхідно використовувати різні ознаки зіниць (рис. 1).

Використання камери з інфрачервоним джерелом світла полегшує визначення зіниці ока, через збільшення її контрастності по відношенню до рогівки ока на фотографії.

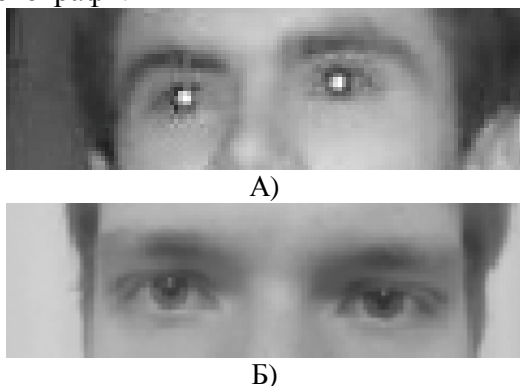


Рис. 1. Зображення очей користувача, що було отримано за допомогою цифрової камери: а) оснащеної джерелом інфрачервоного світла, б) при освітленні лампою розжарювання

Тому для знаходження зіниць ока за ознаками Хаара необхідно використовувати різні ознаки [5] в залежності від методу отримання зображень ока (рис 2).



Рис. 2. Центральні ознаки зіниці ока для фотографії зробленої цифровою камерою: а) з використанням інфрачервоного джерела світла, б) при денному світлі чи світлі лампи розжарювання

### Метод Віоли-Джонса

Ознаки, що використовуються методом Віоли-Джонса подібні на ознаки Хаара, які теж використовуються для пошуку об'єктів на зображенні. Однак ознаки, Віоли-Джонса містять більше однієї прямокутної області і складніші в реалізації [4]. Величина кожної ознаки визначається як сума пікселів в білих прямокутниках від якої віднімається сума пікселів в чорних областях. Для того, щоб можна було проводити дії з даними, використовується інтегральне представлення зображення. Таке ж представлення часто зустрічається

і в інших методах. Інтегральне представлення дозволяє швидко розраховувати сумарну яскравість довільного прямокутника на даному зображенні. Інтегральне представлення зображення є матрицею, що по розмірам співпадає з початковим зображенням. В кожному елементі матриці зберігається сума інтенсивностей всіх пікселів, що знаходяться лівіше і вище даного елемента. Елементи матриці розраховуються за формулою:

$$L(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(i, j),$$

де  $I(i, j)$  – яскравість пікселю початкового зображення.

Кожен елемент матриці  $L[x, y]$  представляє собою суму пікселів в прямокутнику від  $(0,0)$  до  $(x, y)$ , тобто значення кожного пікселю  $(x, y)$  рівне сумі значень всіх пікселів лівіше та вище даного пікселю  $(x, y)$ . Розрахунок матриці займає лінійний час, пропорційний кількості пікселів на зображенні. Тому інтегральне зображення прораховується в один прохід. Розрахунок матриці можливий за формулою:

$$L(x, y) = I(x, y) - L(x - 1, y - 1) + L(x, y - 1) + L(x - 1, y)$$

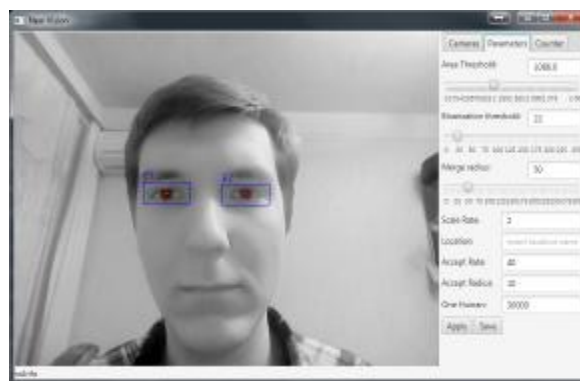


Рис. 3. Знімок інтерфейсу програми з визначеними зонами очей та зіниць користувача. Фотографія здійснена при освітленні лампою розжарювання.

### Використання результатів дослідження

На даному етапі дослідження створено програмну реалізацію алгоритмів визначення ока користувача на фотографії

та визначення зіниці ока (рис. 3). В залежності від цифрової камери, можуть з'являтися оптичні викривлення об'єктів на фотографії, в тому числі і очей, що може вплинути на побудову оптичних осей очей. Тому пропонується вважати, що оптичні вісі обох очей сфокусовані в одній точці та проводити обчислення точки перетину зорової вісі користувача та площини з матеріалами відносно лише одного ока. Проте, це може викликати певні труднощі при роботі з подібною системою у людей з вадами зору.

На даному етапі реалізації системи при обчисленні точки перетину розглядається лише ідеальний варіант розташування ока користувача по відношенню до площини носія, тобто коли центр ока лежить на одній вісі з центром площини

(рис. 3), точку перетину  $P_1$  можна вираховувати за допомогою обчислення зміщення точки  $P_1$  по відношенню до центру площини  $O_1$ .

Також необхідно пам'ятати про те що спостерігач (цифрова камера) розташована не в точці  $O_1$ , а поза межами  $A_2B_2C_2D_2$ . Це означає, що в дію вступає явище паралаксу, яке потрібно враховувати в обчисленнях. Тобто, при розташуванні спостерігача вище лінії  $A_2B_2$  погляд користувача буде направлено дещо вниз. На даному етапі дослідження також не враховується зміна положення голови користувача в горизонтальній чи вертикальній площинах, а також обертання голови користувача навколо своєї осі.

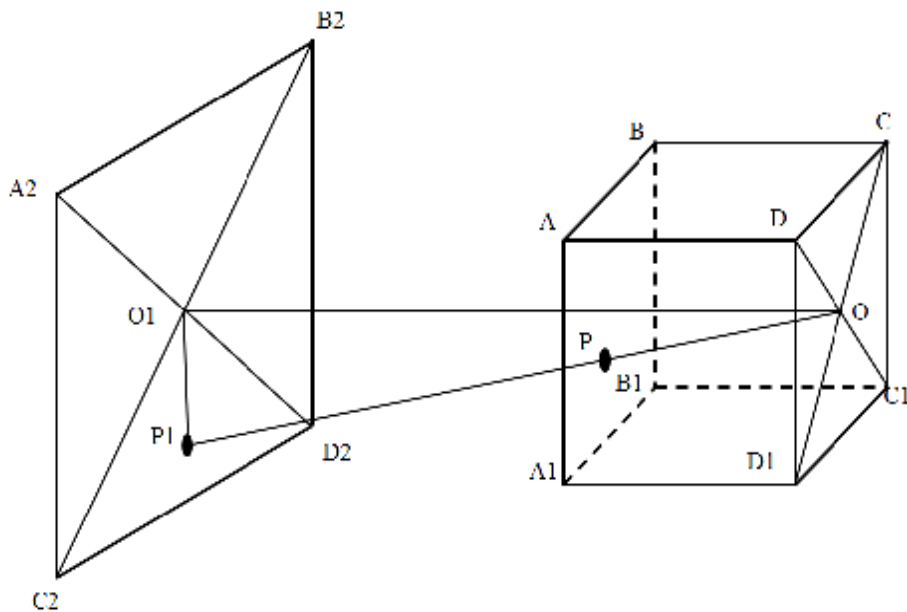


Рис. 4. Схематичне зображення ока користувача, що представлено прямокутним паралелепіпедом  $ABCD A_1 B_1 C_1 D_1$  та площини  $A_2 B_2 C_2 D_2$ , що представляє носій з навчальним матеріалом.  $P$  — положення зіниці на видимій частині ока  $ABA_1B_1$ .  $P_2$  — точка перетину площини носія інформації та оптичної вісі ока,  $P_1O$ , що проходить через зіницю  $P$ .

На даному етапі реалізації в програмній системі здійснено визначення точки перетину зору та площини носія навчальних матеріалів при ідеальному випадку розташування користувача по відношенню до носія.

Було проведено порівняльне дослідження розробленої системи і систем *Eye Express Tracker* [7] та *Tobii Pro Studiou* [8]

які на 10 різних тестуваннях показали середні результати, зазначені в табл. 1 (для порівняння використовувались 3 типи документів: текстові, з використанням табличних об'єктів, з використанням графічних елементів).

Вихідні дані були отримані на основі тестових таблиць для перевірки систем контролю за положенням очей.

Таблиця 1. Відсоток співпадіння отриманих областей з розрахованими показниками на цих документах

Система	Документ 1	Документ 2	Документ 3
Eye Express Tracker	83%	76%	85%
Tobii Pro Studio	86%	72%	81%
Власна система	78%	71%	79%

### Висновок

В результаті дослідження було виявлено, що в залежності від методу отримання фотографії ока користувача, необхідно використовувати відповідні класифікатори для визначення зіниці ока.

Метод Віоли-Джонса має дещо вищу складність ніж використання ознак Хаара, що відбивається на його швидкодії (часу на визначення зіниці затрачено більше на 10-15%), але він забезпечує на 5% вищу точність.

В даний момент формується збільшена тестова вибірка для перевірки результатів. На даному етапі реалізації системи не враховується можлива значна зміна позиції голови користувача по відношенню до спостерігача (цифрової камери). Подальше дослідження передбачає визначення та врахування такої ситуації при визначенні лінії зору.

Наступними етапами дослідження будуть:

1) проведення додаткового дослідження щодо ефективності роботи обраного алгоритму з використанням збільшеної тестової вибірки в 10 разів (близько 1000 фотографій), на момент написання статті було використано 100;

2) побудова математичної моделі системи. Аналіз отриманих статистичних даних та обчислення точки перетину зорової вісі з носієм інформації.

Отримані результати можуть бути використані для визначення зіниці ока

людини на фотографії та будуть залучені в подальшому дослідженні.

### Список літератури

1. Артамонов Є.Б., Масловський Б.Г. Вирішення проблеми використання якісної класифікації параметрів в інтелектуальних системах. // Електроніка і зв'язок: наук.-техн. збірник, тематичний випуск "Проблеми електроніки", 2007 – Ч.3. – С. 77-79.

2. Artamonov E.B. Concept of creating a software environment for automated text manipulation. // Artamonov E.B., Zholdakov O.O. – Scientific journal "Proceedings of the National Aviation University". – К.: NAU. – 2010. – Вип. 3 (44). – Р. 111 – 115.

3. Длужевський А.О., Артамонов Є.Б., Кременецький Г.М. Фільтрація вхідних даних в системах ідентифікації. // Проблеми інформатизації та управління. – 2016 – Вип. 1(53) – С. 34-37.

4. Оппенгейм А. Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. 2-е издание. – М.: Техносфера, 2007. – 856 с.

5. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072с.

6. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2003. – 352 с.

7. Eye express tracker (12/2016) [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: [sourceforge.net](https://sourceforge.net/projects/xpresstracker/); Режим доступу: <https://sourceforge.net/projects/xpresstracker/>, вільний.

8. Tobii Pro Studio (12/2016) [Інтернет-ресурс] / Web-сайт: [www.tobii.com](http://www.tobii.com/); Режим доступу: <http://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-studio/>, вільний.