

**В.В. Гніліцький, к.т.н., доц.
С.В. Павлюк, аспір.**

Житомирський державний технологічний університет

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ЦЕНТРУ ЗІНИЦІ ОКА ПІД ЧАС ВІДЕОМОНІТОРИНГУ

Розглянуто бінокулярний головний пристрій як систему відеоспостереження за рухом очей, що використовує CMOS-камери, інфрачервоне підсвічування та технології обробки зображень. Сучасні системи спостереження за очима людини працюють на невеликих швидкостях, виконують процес обробки зображень не в реальному часі, або використовують спеціалізоване обладнання для підтримання високої продуктивності в режимі реального часу. Розроблена система спостереження за рухом очей використовує загальнодоступні ЕОМ та відеозахоплюючі пристрої. Запропоновано алгоритм симетричних центрів мас для більш точного розрахунку у випадку, коли ділянка зіниці частково перекрита повіками.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність. Стійкий та невибагливий у ресурсах засіб спостереження за очима людини є важливим фактором у багатьох випадках: інтерфейс спілкування людини з ЕОМ, віртуальна реальність, помічник водія, а також діагностика або попередження деяких проблем стану здоров'я людини.

Нестандартний рух зіниць може бути сигналом порушення вестибулярного апарату, ознакою діабету, склерозу, епілептичних приступів тощо. Відеосистема спостереження за зіницями є більш надійною, порівняно з іншими методами, в тому числі побудованих на пошуку зон білого тіла ока (склери) [4]. Пристрої, що розташовуються на голові в безпосередній близькості до очей є також більш достовірними, ніж дистанційні відеоспостережні системи, системи електроокулографії (ЕОГ) [8], системи відеображення радужки ока [3], та системи, які використовують так звану літаючу мітку лазера [5]. Роздільна здатність відеоспостережних систем до недавнього часу була обмежена швидкістю запису та потужністю обробки даних. Щодня все більш доступними і розвиненими є потужності та засоби обробки даних, розробка цифрових камер та засобів обробки зображень зробили можливим і доцільним розробку запропонованого алгоритму для максимального використання потенціалу системи відеоспостереження за очима людини.

Для захоплення високошвидкісного руху ока у реальному часі Clarke запропонував систему з частотою 400 Гц, в якій використовуються коштовні сенсори та спеціально-розроблена архітектура DSP/FPGA для попередньої обробки [1]. Система SMI досягає швидкості 500 Гц і так само використовує специфічне обладнання [7]. Розробка спеціалізованого обладнання підвищує загальну вартість розробки системи і витрачений час.

Даний рукопис описує систему відеоспостереження за допомогою головного бінокулярного пристрою, який був попередньо розроблений на кафедрі автоматики та управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету. Система використовує розсіяне інфрачервоне підсвічування та техніку чорної зіниці для того, щоб ділянку зіниці легко виділити. Для отримання координат центру зіниці в режимі реального часу система використовує механізм подвійного режиму роботи та двоетапний алгоритм. По-перше, приблизне положення зіниці знаходиться у зображенні меншого розміру, потім ділянка зображення навколо апроксимованого місцезнаходження зіниці обробляється для точного розрахунку центру зіниці. Було також помічено під час експериментів, що опускання повіки на частину зіниці трапляється дуже часто. Тому використано алгоритм симетричного центра мас, що базується на геометричних властивостях еліпса, і розроблений для більш точного розрахунку центра зіниці у випадку часткового опускання повік.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Визначення або виділення зіниці найбільш часто використовується для спостереження за вертикальним або горизонтальним положенням ока [2], [9], [10]. Нажаль, більшість з початкових систем виділення зіниці використовують занадто спрощуючи припущення, що зіниця являє собою коло і що його центр можна розраховувати як перетин відповідних горизонталі та вертикалі. На практиці навіть кругла зіниця приймає еліптичне відображення при нецентральному положенні ока. D.Zhu, S.T. Moore, та T.Raphan запропонували використовувати криволінійні характеристики контуру зіниці й намагалися умістити їх у еліпс [9]. Такий підхід дає більш точний і достовірний розрахунок центру зіниці. Існує система спостереження за оком Starburst, в якій використовується гібридний алгоритм, поєднуючи методи виділення точок контуру та вміщення еліпсу. Недоліком є сильне зниження продуктивності через значну потужність обробки, яку вимагає даний метод.

Підхід для знаходження центру зіниці, запропонований у цій роботі, є спробою удосконалення процесу обробки з простим алгоритмом центра мас. Алгоритм симетричного центра мас дає більш точний розрахунок положення ока. Підвищення швидкості обробки досягається завдяки відкиданню необхідності використання всього зображення. Виділяючи приблизне положення зіниці, у зображенні меншого розміру значно зменшує ділянку, на якій необхідно шукати центр зіниці. Даний алгоритм покращує простий алгоритм центра мас і підвищує швидкість роботи системи.

Метою роботи є розробка алгоритму пошуку центру зіниці ока під час відеоманіторингу.

Викладення основного матеріалу. *Описання системи.* Таблиця 1 відображає основні компоненти системи. Головні бінокляри являють собою спеціально підготовлені захисні окуляри, захищені фільтрами від проникнення будь-якого світла із зовнішнього середовища, з вмонтованими камерами та діодами інфрачервоного випромінювання, що розташовані перед камерами. Інфрачервоний спектр підсвічення обраний з міркувань комфорту об'єкта, що спостерігається. Також у середній частині окулярів вмонтована третя камера, для спостереження просторового переміщення об'єкта, проте розробляється варіант заміни третьої камери на гіроскопічні цифрові сенсори, які будуть передавати в системи координати положення голови та кінцівок людини.

Таблиця 1

Конфігурація Системи

Назва складової	Специфікація	Кількість
Персональна ЕОМ	Pentium IV 2,6 GHz CPU, 1G RAM	1
Операційна система, програмна платформа	Windows XP Pro, MATLAB 7.0, Спеціалізовані Програми Обробки Зображень	1
Інтерфейс	Відеокартка 512 Mb, 4 порти	1
Захоплюючий пристрій	Веб-камери роздільністю 640x480	3

Зображення, які отримуються камерами передаються до комп'ютера. Із зображення спеціальним алгоритмом виділяється зіниця і розраховується її геометричний центр. Маючи центр зіниці, розраховуються вертикальний (ϕ) та горизонтальний (θ) кут повороту ока згідно з формулами (1–3).

вертикальний кут повороту ϕ :

$$\sin(\phi) = \frac{-dy}{z}, \quad (1)$$

$$\cos(\phi) = \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

горизонтальний кут повороту θ :

$$\sin(\theta) = \frac{dx}{z \cos(\phi)}, \quad (2)$$

$$z = \sqrt{R_e^2 - r^2} \quad (3)$$

де r – радіус зіниці; R_e – радіус яблука ока (цей параметр можна отримати під час калібрування згідно з методом, описаним в [6]); dx , dy – відхилення від положення центру зіниці відносно початкового положення, коли око дивиться точно вперед.

На початку роботи програма працює у повільному режимі, використовується зображення повного розміру і вибирається ділянка інтересу (ДІ); після цього програму можна перевести в швидкий режим роботи, при якому обробляються тільки частина зображення, що знаходиться в ДІ. У швидкому режимі роботи двоетапний алгоритм обробки спочатку обробляє зображення у ДІ при малопіксельній щільності, визначаючи приблизне положення зіниці. На цьому етапі отримується маленьке вікно пошуку, в області якого безумовно знаходиться вся зіниця, тому подальша обробка зводиться до більш точного вміщення і розрахунку центру зіниці. Отже в такій системі спостереження очевидно значно зростає продуктивність і швидкість обробки поточкових даних, оскільки нівелюється велика частина зображень повного розміру.

Швидке виділення зіниці. Існуючий метод виділення зіниці. У типовій процедурі виділення зіниці, побудованій на алгоритмі знаходження центру мас, отримане зображення попередньо трансформується у двійкове зображення уставкою користувача. Все, що нижче уставки, маркується "1" (вважається пікселем об'єкта), а все інше маркується "0" (вважається фоном об'єкта). Після цього користувач може використати алгоритм точкового аналізу, наприклад Labview Virtual Instrument (VI), IMAQ Complex Particle, для знаходження положення об'єктів, що складаються з об'єктових ("1") пікселів. Програми вибирають найбільший об'єкт, яким дійсно буде зіниця, і розраховують геометричний центр об'єкта. Ділянка інтересу (ДІ) 320x240 пікселів частіше за все цілком охоплює повну динаміку можливого руху ока, якщо враховувати, що око, яке дивиться точно вперед, знаходиться в самому центрі ДІ. Проте не завжди легко встановити головний пристрій так, щоб око було прямо у центрі захоплюваних зображень.

Тому необхідно захопити більшу область зображення, і лише після цього зробити уставку ДІ для обробки. На додаток до часу обробки, час захоплення зображення, інтерфейс спостереження та паралельне відображення зображень сильно уповільнюють загальну частоту обробки.

Подвійний режим захоплення зображень та двокроковий алгоритм обробки. Для підвищення частоти обробки зроблено висновок, що необхідно поетапно змінювати розміри зображень, які захоплюємо та обробляємо. Зіниця сама по собі не дуже велика за розміром, зазвичай менше, ніж 120x120 пікселів, але вона рухається. Якщо можна на початку визначити приблизне розташування зіниці, тоді можна обробляти значно менші за розміром зображення, в той же час не менш точно знаходити положення центру зіниці. На початку захоплюється зображення ока повного розміру і повної щільності (640x480). ДІ прилаштовується у повільному режимі. Після цього можна перевести виконання програми у швидкий режим. У швидкому режимі система захоплює частину зображення, передбачену уставкою. Це дозволяє інтерфейсу відеокартки передавати зображення з більшою частотою, зменшуючи час обробки.

Для досягнення ще більшої швидкості було розроблено алгоритм, щоб спочатку приблизно знайти положення зіниці, а потім задати критичне віконце зображення, яке містить зіницю, для подальшої обробки. Після процедури наближеного розрахунку центра зіниці за відомими методами, розміри віконця, що містить зіницю, трохи збільшуються, щоб не втратити жодного пікселя. Обробка цього віконця проводиться при повній щільності пікселів, використовуючи алгоритм знаходження центру симетричних мас, описаний далі, для знаходження точного положення центру зіниці.

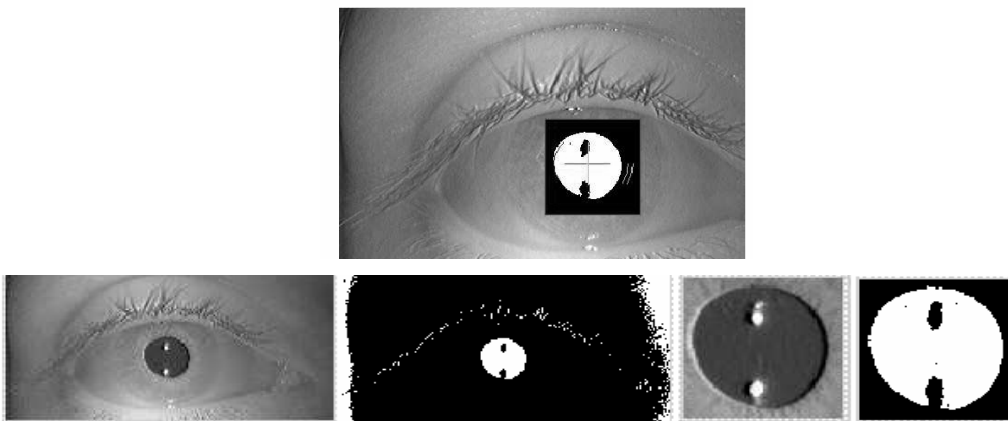


Рис. 1. Верхній ряд містить зображення максимальної щільності у відтінках сірого тону (часткове зображення ДІ). У нижньому ряді зображено: зліва – отримане зображення у відтінках сірого тону; посередині зліва – фонове зображення; посередині справа – віконце, що містить зіницю; справа – фонове зображення у тому ж віконці

Рис. 1 відображає зображення у відтінках сірого тону, а також фони у різних масштабах. “Об’єктові” пікселі, розташовані ближче до контуру, спричинені самою камерою і не несуть вагомий похибки до розрахунків центра зіниці. Обробляючи отримані зображення у подвійному режимі та двокроковим алгоритмом, описаним вище, можна отримувати зображення з достатньо великою частотою у бінокулярному режимі, включаючи відображення на дисплеї зображень, що отримуються в режимі реального часу.

Алгоритм знаходження симетричного центру мас. На другому етапі отримане зображення у віконці, що містить зіницю, проходить обробку за алгоритмом знаходження симетричного центра мас для визначення координат центра зіниці. Просте знаходження центра мас працює з припущенням, що зіниця кругла і повністю відкрита. Такий алгоритм не охоплює всю область зіниці, що призведе до значної похибки у розрахунках, якщо повіки будуть опущені. Алгоритм знаходження симетричного центра мас використовує лише неприкриту ділянку зіниці, визначаючи реальний центр фігури, тому точніше встановлює положення центру.

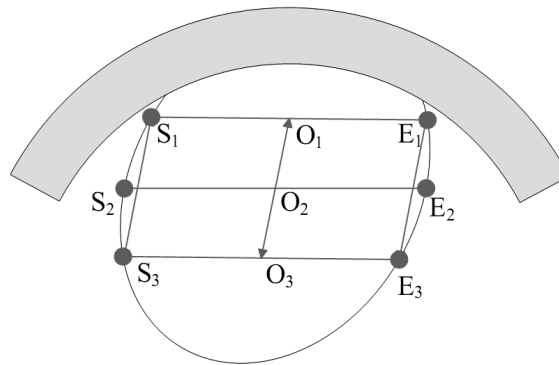
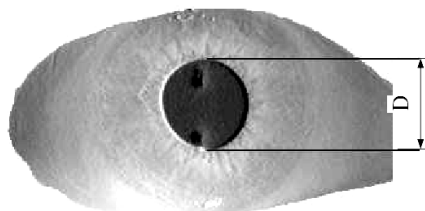


Рис. 2. Знаходження центру для частково перекритого еліпса

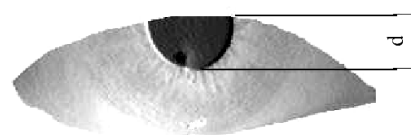
Припустимо, що еліпс частково перекритий, як зображено на рис. 2, центр мас для неприкритої ділянки не буде правильним центром даного еліпса. Виходячи з геометричних властивостей еліпсів, знаємо, що знайшовши максимальний паралелограм $S_1E_1S_3E_3$, центр мас, що знаходиться у фігурі, обмеженій дугами S_1S_3 та E_3E_1 , цілком відповідає центру еліпса.

Оцінка алгоритму симетричного центру мас. Було оцінено акуратність вимірювань положень ока переміщенням ока у центральне положення і навмисною зміною кутів повороту ока. Рис. 3, а показує повністю відкрите око з добре видимою зіницею зліва і частково перекрите справа. D – довжина вертикального діаметра і d величина неперекритої ділянки зіниці ока.

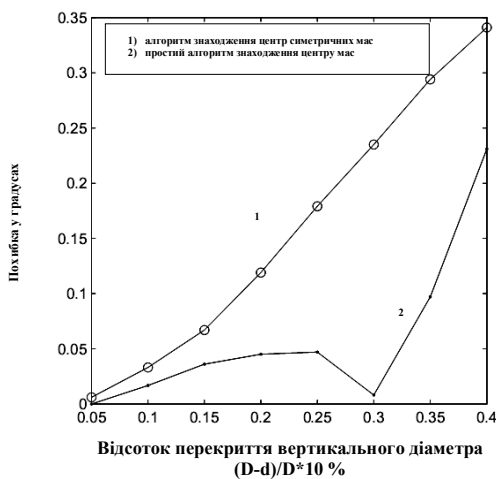
При оцінці ми змінюватимемо ступінь перекриття: $\frac{D-d}{D}$. При експерименті порівнюються два алгоритми знаходження центра мас: простий та симетричної маси. На рис. 3, а показані похибки вимірювань при центральному розташуванні ока, на рис. 5, б – при вертикальних або горизонтальних зміщеннях. Графіки показують, що при збільшенні перекриття похибка для обох алгоритмів зростає. Але в більшості випадків запропонований алгоритм дає кращі результати.



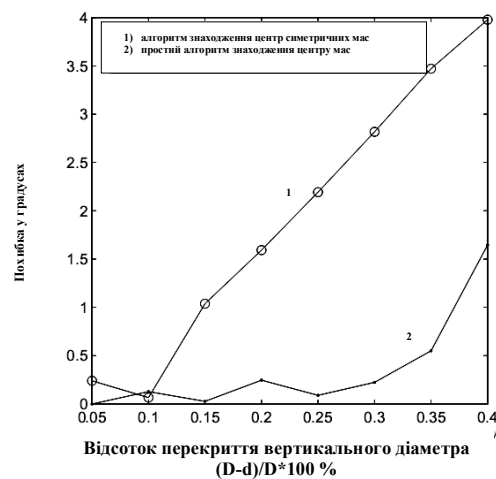
Похибка вимірювань при розташуванні ока точно по центру



Похибка вимірювань при вертикальному або горизонтальному зміщенні ока



а)



б)

Рис. 3. Оцінка результатів розрахунків різних алгоритмів

Висновки. Запропоновано комбіновану систему спостереження за рухом очей людини, яка може бути використана в медицині й інших науках. Система використовує подвійний режим отримання зображення, а для визначення центру зіниці (тобто положення ока) запропоновано двокроковий алгоритм, що призводить до збільшення частоти обробки даних при використанні загальнодоступної ПЕОМ та засобів цифрової зйомки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Clarke A.H., Steineke C. and Emanuel H.* High image rate eye movement measurement: A new generation of tracker using cmos image sensors and dedicated fpga processing, in Proceedings 3d VOG Workshop Tubingen. – Nov. 30–Dec. 2. – 1999. – Pp. 12–16.
2. *Dongheng L., Winfield D. and Parkhurst D. J.* Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches, in Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'2005). – Vol. 3. – San Diego, USA, June 2005. – Pp. 79.
3. *Duchowski A.* Eye-Based Interaction in Graphical Systems: Theory and Practice available at <http://vret.ces.clemson.edu/sigcourse/notes/c05-TOC.pdf>, Clemson University.
4. *Furman J.M., Collewijn H., Jansen T.C. and Van Den Berg A.V.* Human gaze stability in the horizontal, vertical and torsional direction during voluntary head movements, evaluated with a three-dimensional scleral induction coil technique, in Vision Research. – Vol. 27. – 1987. – Pp. 811–828.
5. *Irie K., Wilson B.A., Jones R.D., Bones P.J. and Anderson T.J.* laser-based eye-tracking system, in Behavior Research Methods, Instruments, & Computers. – Vol. 34. – Nov., 2002. – Pp. 561–572.
6. *Moore S.T., Haslwanter T., Curthoys I.S. and Smith S.T.* A geometric basis for measurement of three-dimensional eye position using image processing, in Vision research. – Vol. 36. – 1996. – Pp. 445–459.
7. Sensor Motoric Instruments, “Fastest Video-Based Eye Tracking”, available at <http://www.smi.de/>
8. *Shih S., Wu Y. and Liu J.* A calibration-free gaze tracking technique, in Proceedings of the 15th international conference on pattern recognition, Barcelona, Spain. – Vol. 4. – 2000. – Pp. 4201–4205.
9. *Zhu D., Moore S.T. and Raphan T.* Robust pupil center detection using a curvature algorithm, in Computer methods and programs in biomedicine. – Vol. 59. – 1999. – Pp. 145–57.
10. *Zhu Z., Fujimura K. and Ji Q.* Real-time eye detection and tracking under various light conditions, in Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research and applications, ACM Press. – 2002. – Pp. 139–144.

ГНІЛЦЬКИЙ Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів;

– інформаційні системи.

Тел.: 8 (0412) 37-84-82.

E-mail: gnil@ztu.edu.ua

ПАВЛЮК Сергій Валентинович – аспірант кафедри автоматизованого управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів;

– інформаційні системи.

Тел.: 8 (0412) 37-84-82.

E-mail: sergio_vp@ukr.net

Подано 12.11.2008

Гнілицький В.В., Павлюк С.В. Алгоритм пошуку центру зіниці ока під час відеомоніторингу
Гнилицкий В.В., Павлюк С.В. Алгоритм поиска центра зрачка глаза при видеомониторинге
Gnilitskiy V.V., Pavlyuk S.V. Algorithm of searching the centre of a pupil of an eye

УДК 612.766

Алгоритм поиска центра зрачка глаза при видеомониторинге / В.В. Гнилицкий, С.В.Павлюк

Рассмотрено бинокулярное головное устройство как систему видео наблюдения за движением глаз, которое использует CMOS-камеры, инфракрасное подсвечивание и технологии обработки изображений. Современные системы наблюдения за глазами человека работают на небольших скоростях, выполняют процесс обработки изображений не в реальном времени, или используют специализированное оборудование для поддержания высокой производительности в режиме реального времени. Разработанная система наблюдения за движением глаз использует общедоступные ЭВМ и видео захватывающие устройства. Предложен алгоритм симметричных центров масс для более точного расчета в случае, когда участок зрачка частично перекрыт веками.

УДК 612.766

Algorithm Of Searching The Centre Of A Pupil Of An Eye / V.V. Gnilitskiy, S.V. Pavlyuk

The binocular head device as system of video monitoring over movement of eyes which uses CMOS-cameras, infra-red lighting and technologies of processing of images is developed. Modern systems of monitoring over eyes of the person work at low speeds, processing of images is not held in real time mode, or uses the specialised equipment for high efficiency maintenance in a mode of real time. The developed system of monitoring over movement of eyes uses inexpensive PCs and video catching devices. The algorithm of the symmetric centres of masses for more exact calculation in a case when the pupil site is partially blocked by centuries is offered.