

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА ЗІНИЦІ ОКА ДЛЯ ВІДЕОМОНІТОРИНГУ

(Представлено к.т.н., доц. Гніліцьким В.В.)

Розглянуто та досліджено методи пошуку центра зіниці ока та похибки, що впливають на дані, отримані бінокулярним головним пристроєм (системою відеоспостереження за рухом очей), що використовує CMOS-камери, інфрачервоне підсвічування та технології обробки зображень. Було досліджено похибки алгоритмів, що використовуються під час відеомоніторингу для визначення центра зіниці ока. Досліджені алгоритми для фільтрації центра та контуру зіниці ока.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність. У Житомирському державному технологічному університеті на кафедрі автоматики та управління в технічних системах проводиться розробка апаратно-програмного комплексу дослідження кореляції руху очей та функціонування нервової системи людини. Нестандартне переміщення погляду (рух зіниць) може бути сигналом порушення вестибулярного апарату, ознакою діабету, склерозу, епілептичних приступів тощо. Дані, отримані в результаті досліджень, допоможуть в діагностуванні та попередженні відхилень нервової системи людини. При використанні апаратно-програмного комплексу для відеомоніторингу людина, яка проходить діагностику, не відчуває дискомфорту.

Основні функції комплексу: реєстрація (збереження) зображень очей людини та ідентифікація окремих параметрів самого ока та його рухів. На етапі реєстрації фіксується зображення ока, проводиться обробка, кодування та занесення в базу даних отриманих зображень. Одним із найважливіших етапів обробки є виділення центра зіниці ока, оскільки досліджується саме траєкторія руху центра зіниці. Виділення центра зіниці ока може бути виконане некоректно з наступних причин:

- різні умови освітлення при реєстрації різними системами;
- повіки, вії, що прикривають або закривають око;
- дефекти зіниці;
- лінзи і т. п.

В даній роботі описуються похибки, що впливають на отримані результати визначення траєкторії руху ока під час відеомоніторингу. Запропоновано параметр, що характеризує похибки цих методів. Цей параметр характеризує похибки алгоритмів точніше, ніж середньоквадратичне відхилення.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Визначення або виділення зіниці найбільш часто використовується для спостереження за вертикальним або горизонтальним положенням ока [7–10]. Більшість з початкових систем виділення зіниці використовують занадто спрощуючі 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 і умістити їх у еліпс [8]. Більшість із запропонованих на сьогоднішній день методів дослідження руху очей [1–6] не передбачають використання завадостійких алгоритмів, тому відповідно розробка таких алгоритмів має велике значення для прогресу досліджень в даному напрямку.

Викладення основного матеріалу. *Алгоритми фільтрації контуру та центра зіниці ока.* Зіниця є найбільшою темною ділянкою в зображенні ока та відрізняється від райдужки, що її оточує, граничним рівнем яскравості. Контрольні точки зіниці ока на межі з райдужкою отримуємо, скануючи зображення в горизонтальному та вертикальному напрямках. В умовах низького шуму без завад ці контрольні точки точно належать контуру зіниці ока.

Для виключення хибних результатів, точок, які точно не належать контуру ока, використовуємо два методи фільтрації: по лінії та по колу.

Точки, отримані методом усереднення координати по кожній сканованій лінії [11], можна представити у вигляді вертикальної лінії, використовуючи лінійне наближення або перетворення Хафа (Hough) [12]. Метод перетворення Хафа широко використовується в обробці зображень для визначення нормальних кривих таких, як лінія, коло, еліпс. Точність перетворення Хафа обмежена суматором, який працює в двовимірному просторі.

Так як метою дослідження є розробка методу з найбільшою точністю, не варто обмежуватись використанням перетворення Хафа. Проте перетворення Хафа зручно використовувати саме для фільтрації контуру зіниці ока. Як показано на рисунку 1, лінія, отримана шляхом перетворення Хафа,

проходить точно через точки, що належать лінії контуру, на відміну від результатів лінійної апроксимації. Дослідження були проведені на статичних зображеннях ока, проте перехід до дослідження роботи алгоритмів у динаміці, для відеомоніторингу, вносить похибки в досконалу роботу алгоритмів пошуку центра зіниці ока.

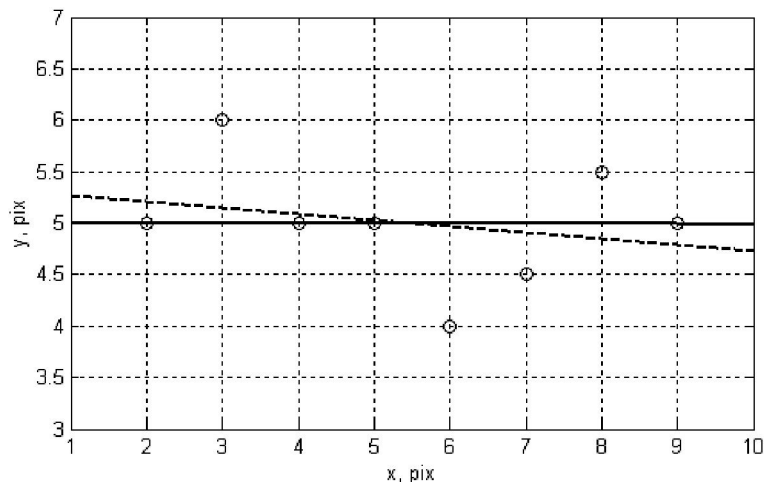


Рис. 1. Контрольні точки центра зіниці ока при використанні перетворення Хафа ('—') та лінійної апроксимації ('- - -')

Для фільтрації контуру та центра зіниці ока контрольні точки, які точно не належать лінії, що отримана перетворенням Хафа, виключаються як хибні для подальшої лінійної апроксимації.

Аналогічна процедура виконується для точок, отриманих після сканування зображення у вертикальному напрямку.

Точки, отримані при горизонтальному і вертикальному скануванні при фільтрації контуру зіниці ока, апроксимуються колом. Розраховуються координати центра кола x_0, y_0 та радіус R . Якщо відстань між точкою (x_i, y_i) та центром встановленого кола перевищує d , ця точка виключається. Таким чином, критерій виключення:

$$\left| \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - R \right| > d . \tag{1}$$

В ході аналізу було помічено, що метод апроксимації по колу в умовах великої кількості завад дає результати з великою відносною похибкою. Отже, фільтрація також не дає необхідних результатів. Для уникнення такої ситуації ці точки у відповідних кадрах помічаються окремим колом; для помічання хибних точок використовується перетворення Хафа [12].

Для порівняння похибки різних алгоритмів зазвичай використовують значення середньоквадратичного відхилення, проте це значення корисне для визначення похибки, якщо сигнал має флуктуацію відносно стабільного сигналу.

Низькочастотні фільтри часто використовуються для виділення необхідного контуру в зображенні. Проте дослідження показали, що низькочастотний фільтр деформує часові діаграми результатів руху очей при обробці зображень під час відеомоніторингу.

Послідовності зображень при обробці алгоритмами розглядалися в окремих часових інтервалах, в яких око практично не переміщується.

Піксель зображення може бути представлений у 8-бітному або у 10-бітному вигляді. 8-бітна інтерпретація зображення в сірих тонах дає значення в межах 0..250, а 10-бітна – від 0 до 1023. При використанні 8-бітного представлення пікселя на кожний піксель необхідно виділити 1 байт пам'яті, при 10-бітному представленні – 2 байти. Експеримент було проведено із збереженням статичних даних (окремих кадрів) в 10-бітному форматі. Послідовності кадрів у динаміці під час відеомоніторингу були конвертовані у 8-бітний формат.

Запропоновано визначення похибки алгоритму наступним параметром, який не має недоліків, перелічених вище [11]. Цей параметр розраховується за формулою (2):

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} , \tag{2}$$

де:

$$N_x = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_{i+1})^2}{n-1} , \tag{3}$$

$$N_y = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (y_i - y_{i+1})^2}{n-1}, \tag{4}$$

n – кількість кадрів, x_i, y_i – горизонтальні та вертикальні координати.

Результати досліджень. Кожну послідовність зображень ока, отриманих під час відеомоніторингу, було проаналізовано за допомогою чотирьох різних методів пошуку центра зіниці ока:

- 1) усереднення координат;
- 2) апроксимації до кола;
- 3) усереднення координат лінійною фільтрацією Хафа;
- 4) усереднення координат фільтрацією по колу.

Параметр похибки алгоритму був розрахований у фіксованих часових інтервалах. Цей параметр, очевидно, залежить як від обраних інтервалів, так і від шумів алгоритму, який використовується для знаходження центра зіниці ока. Так як аналіз було проведено для ідентичних фіксованих інтервалів, результати дають пряме порівняння алгоритмів.

На рисунках 2–4 показано параметри похибки алгоритмів, розрахованих у різних інтервалах. Крайня колонка зліва для кожного з інтервалів відповідає алгоритму усереднення координат, друга – апроксимації до кола, третя – усереднення координат лінійною фільтрацією Хафа, нарешті, крайня праворуч – усереднення координат фільтрацією по колу.

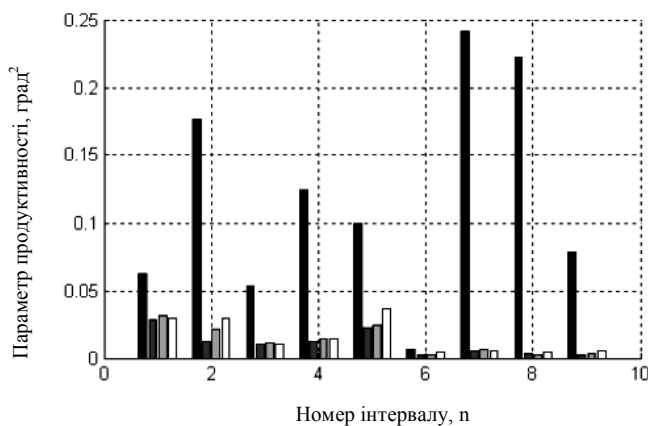


Рис. 2. Параметр похибки горизонтальних переміщень

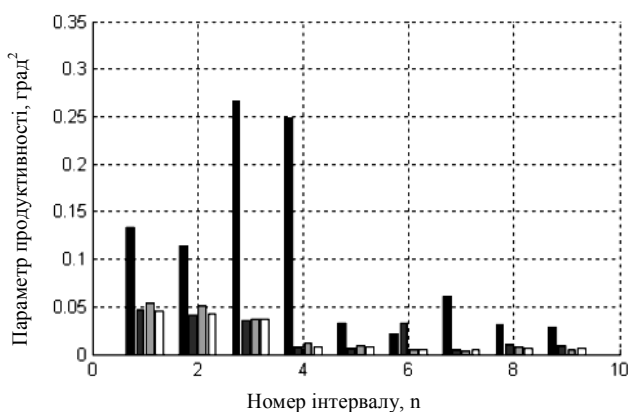


Рис. 3. Параметр похибки вертикальних переміщень

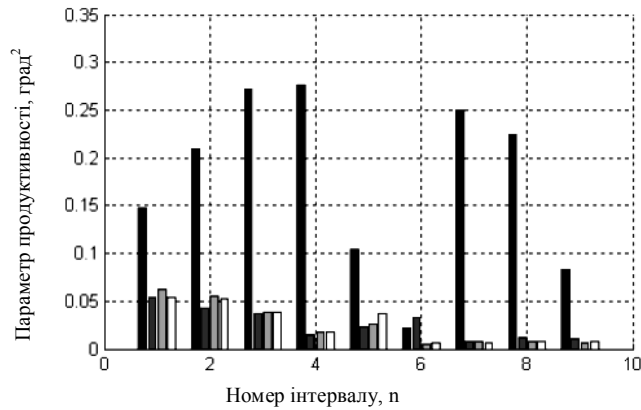


Рис. 4. Загальний параметр похибки

Результати для інтервалу 7 вказані на рисунку 5 для алгоритму усереднення координат та на рисунку 6 для усереднення координат фільтрацією по колу.

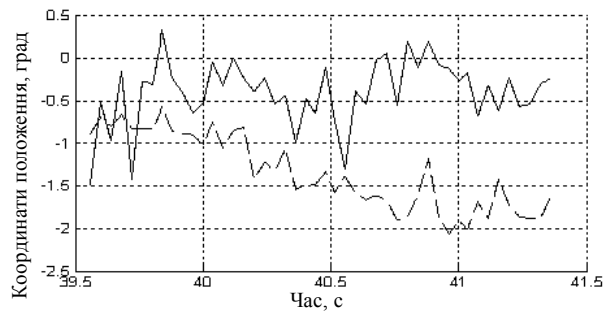


Рис. 5. Результати усереднення координат. Горизонтального положення ('—') та вертикального ('---')

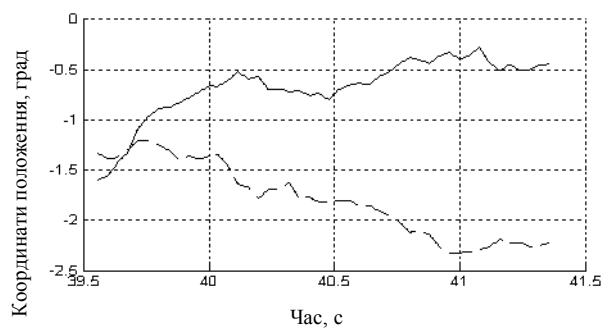


Рис. 6. Результати усереднення координат фільтрацією по колу. Горизонтального положення ('—') та вертикального ('---')

Для визначення різниці між алгоритмами, було проведено аналіз дисперсії. Результати зведені до таблиці 1 для, відповідно, парних порівнянь методів.

Таблиця 1

Результати аналізу дисперсії

№ з/п	Алгоритми, що порівнюються	F (розподіл Фішера)	p, ймовірність
1	1,2; 1,3; 1,4	21,72	$7,36 \cdot 10^{-8}$
2	3,4	23,79	0,0002
3	2,3; 2,4	0,01	0,995

Значення, що наведені в таблиці 1 для порівняння № 1 та 2, мають дуже низьку ймовірність, отже методом апроксимації по колу неможливо визначити центр зіниці ока в умовах великої кількості завад і

не можна сказати про достовірність отриманих таким чином даних. Параметр похибки для інтервалів, на яких дає збій метод апроксимації по колу, показано на рисунку 7.

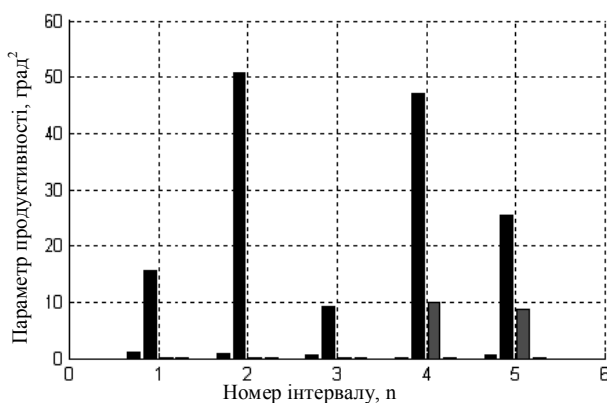


Рис. 7. Параметр похибки на інтервалах, на яких дає збій алгоритм апроксимації по колу

Виявлені переміщення ока на п'ятому інтервалі за допомогою алгоритму апроксимації по колу показані на рисунку 8. На рисунку 9 показані переміщення ока при фільтрації по колу усередненням координат.

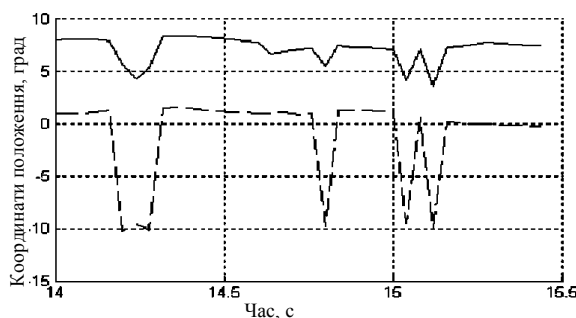


Рис. 8. Переміщення ока на п'ятому інтервалі, метод апроксимації по колу.
Горизонтальне положення ('—') та вертикальне ('- -')

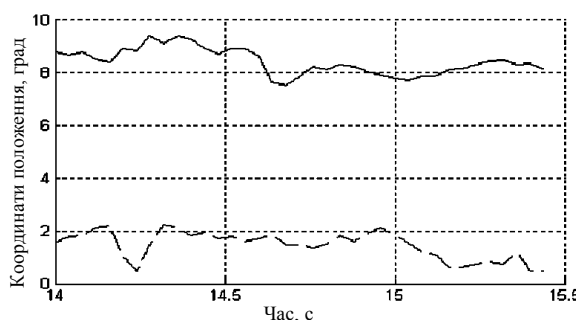


Рис. 9. Переміщення ока на п'ятому інтервалі, метод усереднення координат фільтрацією по колу.
Горизонтальне положення ('—') та вертикальне ('- -')

Був розрахований загальний параметр в однакових інтервалах фіксації для 8-бітного та 10-бітного кодування (рис. 10). Чорні колонки вказують на кодування 8 біт, білі – 10 біт.

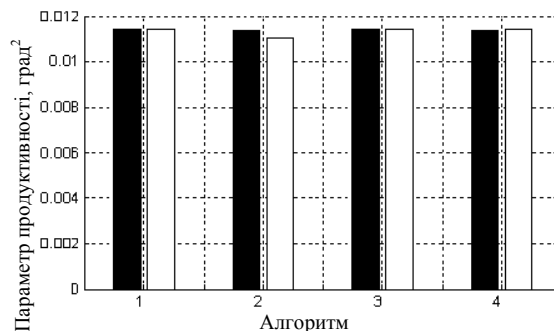


Рис. 10. Загальний параметр похибки для 8- та 10-бітного формату пікселів

У таблиці 2 показано ймовірність, що нульову гіпотезу (рівність обох варіантів кодування) неможливо відкинути при дуже значному рівні $\alpha = 0,05$. Це також підтверджується з рис. 10. Отже, пропонується використовувати 8-бітний формат зберігання пікселів.

Таблиця 2

Ймовірність нульової гіпотези

Алгоритм	Ймовірність
1) усереднення координат	0,9855
2) апроксимації до кола	0,8201
3) усереднення координат лінійною фільтрацією Хафа	0,9758
4) усереднення координат фільтрацією по колу	0,9289

Оцінка результатів роботи. Аналіз результатів дослідження показав, що метод усереднення координат має найбільший рівень шуму. Не існує суттєвої різниці в значенні параметра похибки (характеристики завадостійкості алгоритму) для алгоритмів апроксимації до кола, усереднення координат лінійною фільтрацією Хафа або усереднення координат фільтрацією по колу. Проте в умовах високого рівня шуму алгоритм апроксимація по колу дає збій при пошуку центра зіниці ока (рис. 7).

Не виявлено суттєвих відмінностей між 8-бітним та 10-бітним кодуванням пікселів (рис. 10). Так як 10-бітний формат потребує вдвічі більше пам'яті, пропонується використовувати 8-бітний формат збереження (кодування) пікселів.

Висновки. Було досліджено способи визначення центра зіниці ока та похибки при роботі з різними алгоритмами. При пошуку контуру та центра зіниці ока метод усереднення координат має суттєву перевагу над методом апроксимації по колу. Кодування у 10-бітному форматі замість 8-бітного, для збільшення роздільної здатності, не має впливу на рівень шуму. Досліджено алгоритми для фільтрації контуру зіниці ока: фільтрація по лінії та по колу. Алгоритм усереднення координат має найбільшу похибку. Комбінація наведеного алгоритму з алгоритмами фільтрації контуру зіниці ока зменшує величину похибки. Алгоритм апроксимації точок по колу є менш стійким для визначення центра зіниці ока при критичному рівні шуму.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Furman J.M., Collewyn 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*. – 1987. – Vol. 27. – № 5. – Pp. 811–828.
2. *Duchowski A.* Eye-Based Interaction in Graphical Systems: Theory and Practice // <http://vret.ces.clemson.edu/sigcourse/notes/c05-TOC.pdf>, Clemson University.
3. *Shih S., Wu Y. and Liu J.* A calibration-free gaze tracking technique // *Proceedings of the 15th international conference on pattern recognition, Barcelona, Spain*. – 2000. – Vol. 4. – Pp. 4201–4205.
4. *Irie K., Wilson B.A., Jones R.D., Bones P.J. and Anderson T.J.* laser-based eye-tracking system // *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. – 2002. – Vol. 34. – № 4. – Pp. 561–572.
5. *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 // *Proceedings 3d VOG Workshop Tubingen, Nov. 30-Dec. 2.* – 1999. – Pp. 12–16.

6. Sensor Motoric Instruments, "Fastest Video-Based Eye Tracking", available at <http://www.smi.de/>.
7. *Zhu Z., Fujimura K. and Ji Q.* Real-time eye detection and tracking under various light conditions // Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research and applications, ACM Press. – 2002. – Pp. 139–144.
8. *Zhu D., Moore S.T. and Raphan T.* Robust pupil center detection using a curvature algorithm // Computer methods and programs in biomedicine. – 1999. – Vol. 59. – № 3. – Pp. 145–57.
9. *Dongheng L., Winfield D. and Parkhurst D.J.* Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches // Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'2005). – San Diego, USA, June 2005. – Vol. 3. – Pp. 79.
10. *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 // Vision research. – 1996. – Vol. 36. – Pp. 445–459.
11. *Ramanauskas N., Daunys G.* The investigation of eye tracking accuracy using synthetic images // Electronics and Electrical Engineering. – 2003. – Vol. 4 (46). – Pp. 17–20.
12. *Fisher R.* Hough Transform // <http://www.dai.ed.ac.uk/HIPR2/hough.htm>. – 2000.

ПАВЛЮК Сергій Валентинович – аспірант кафедри автоматичного 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 16.12.2009

Павлюк С.В. Порівняння методів визначення центра зіниці ока для відеомоніторингу
Павлюк С.В. Сравнение методов определения центра зрачка глаза при видеомониторинге
Pavlyuk S.V. Methods and its error for pupil center detection in videomonitoring

УДК 612.766

Сравнение методов определения центра зрачка глаза при видеомониторинге / С.В. Павлюк

Рассмотрены и исследованы методы поиска центра зрачка, а также погрешности, которые влияют на данные, полученные бинокулярным головным устройством (системой видеонаблюдения за движением глаз), в котором используются CMOS-камеры, инфракрасное подсвечивание и технологии обработки изображений. Были исследованы шумы алгоритмов, которые используются при видеомониторинге для определения центра зрачка глаза. Исследованы алгоритмы фильтрации центра и контура зрачка глаза. Основной задачей является исследование траектории движения центра зрачка глаза, поэтому важным этапом является разработка помехоустойчивых алгоритмов.

УДК 612.766

Methods and its error for pupil center detection in videomonitoring / S.V. Pavlyuk

The noise of pupil center detection algorithms in videomonitoring was investigated. Videomonitoring is done by head-binocular apparatus (eye gaze monitoring system), in which CMOS-cameras, infrared lighting and imaging technologies are used. The algorithms of line and circle filtering were investigated as well as methods for searching contour and center of the eye pupil. The main goal is to track movement of the center of the pupil, thus low-noise and stable algorithm is needed to be developed.