

5. Міхеєнко Л.А., Микитенко В.І. Методи, засоби та метрологічне забезпечення калібрування еталонних випромінювачів // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2008. – №6. – С. 94-99.
6. Міхеєнко Л.А., Боровицкий В.Н. Излучатель переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – №6(66). – С. 61-64.
7. Міхеєнко Л.А., Шишкін В.А. Дифузний випромінювач змінної яскравості для калібрування прецизійних цифрових відеосистем // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2009. – №1. – С. 114-120.
8. Столяревская Р.И. Методы исследования метрологических характеристик. Приборы для измерения световых величин // Светотехника. – 1988. – №6. – С. 21-26.
9. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.

<p>Міхеєнко Л.А., Генсіцький А.І. <b>Непрямі методи радіометричного калібрування дифузних випромінювачів</b></p> <p>Розглянуті методи прямого та непрямого калібрування еталонних випромінювальних установок для виміру енергетичних характеристик прецизійних ЦВС. Представлена інженерна методика розрахунку СГЕЯ вихідної апертури випромінювача і аналіз основних погрішностей непрямого калібрування.</p> <p><b>Ключові слова:</b> методи калібрування, випромінювачі</p>	<p>Mikheenko L.A., Gensitskiy A.I. <b>Indirect methods of radiometric calibration diffuse of radiators</b></p> <p>Methods of direct and indirect calibration of reference radiating installations for measurement of power characteristics precision DVS are considered. Engineering design procedure SDPB of the target aperture of a radiator and the analysis of the basic errors of indirect calibration is submitted.</p> <p><b>Keywords:</b> methods of calibration, radiators</p>
--	--

*Надійшло до редакції  
20 березня 2010 року*

УДК 681.3.07 : 681.784

## ВИДІЛЕННЯ КРАЙОВИХ ТОЧОК ЗІНИЦІ НА ІРИДОДІАГНОСТИЧНОМУ ЗОБРАЖЕННІ ОКА

*Можарська К.В., Сокурєнко В.М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

*Запропоновано спеціалізований алгоритм виділення крайових точок на іридодіагностичних зображеннях ока. Його переваги та ефективність підтверджені результатами чисельного моделювання*

**Ключові слова:** іридодіагностичне зображення, алгоритм

### **Вступ. Постановка проблеми**

Іридодіагностика, яка базується на оцінці адаптаційно-трофічних змін райдужної оболонки ока, грає важливу роль для виявлення придбаних і спадкових захворювань людини. Для комп'ютерної іридодіагностики характерні оперативність одержання результату, простота й нешкідливість дослідження, висока інформативність, комфортність для пацієнта та лікаря, раннє виявлення багатьох патологічних зсувів.

Зазвичай автоматизація процесу іридодіагностики полягає в комп'ютерному аналізі зображення ока, при якому одним з основних завдань є виділення зіниці ока. Ця задача є актуальною як при класичній іридодіагностиці (коли ми повинні виділити на зображенні райдужну оболонку та окремо її сектори), так й

при специфічних методах діагностування захворювання по зіниці (децентрація зіниці, зінична облямівка, зіничні деформації, зіничні сплющення та ін.) [1].

Першим кроком при виділенні форми зіниці ока є визначення її сукупності крайових точок. Фундаментальний огляд універсальних методів визначення країв зображень наведений в [2]. Низку поширених алгоритмів визначення країв описано в [3] та [4].

На жаль, специфіка іридодіагностичних зображень (наявність відблисків, тіней від вій тощо) не дозволяє застосовувати універсальні методи виділення країв. До того ж, проблемою є знаходження великої кількості точок, які не належать краю зіниці. Тому метою даної роботи є розробка удосконаленого алгоритму визначення крайових точок зіниці.

### Обґрунтування методу досліджень

Більшість відомих алгоритмів [2] базується на оцінці зміни яскравості зображення, яка виникає на границях об'єктів: це може бути зображення світлого предмета на темному тлі або темного предмета на світлому тлі. Такі різкі зміни яскравості часто бувають наслідком зміни відбивної здатності на досить характерних структурах (наприклад, смугах). Нарешті, до різких змін яскравості зображення також часто призводять різкі зміни орієнтації поверхні.

Точки зображення, у яких яскравість змінюється особливо сильно, прийнято називати краями або крайовими точками. Амплітуду зміни кольору при переході від одного пікселя до іншого будемо характеризувати вектором градієнта. У класичному розумінні градієнт – це вектор, компонентами якого є значення частинних похідних у напрямку координатних ліній. У дискретному випадку частинну похідну можна замінити симетричною скінченою різницею:

$$\frac{\partial h}{\partial x} \approx h_{i+1,j} - h_{i-1,j} \quad (1)$$

Тоді вектор  $\left( \frac{\partial f}{\partial x}; \frac{\partial f}{\partial y} \right)$  – градієнт зміни кольору на пікселі з координатами

$(i, j)$ . Квадрат модуля цього вектора  $\left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2$  буде характеризувати швидкість зміни кольору на пікселі з координатами  $(i, j)$ , а точки країв матимуть більші значення модуля градієнта.

Однак, така скінчена різниця є надзвичайно чутливою до шуму, наявного в зображенні. Детектори країв, побудовані лише на безпосередньому використанні скінчених різниць, призводять до незадовільних результатів.

Для подолання проблеми шуму рекомендується використовувати процедуру згладжування [2], при якій застосовуються зважені суми значень пікселів та використовуються різні набори вагових коефіцієнтів. Якщо на вході дано зображення  $F$ , то на виході отримаємо відфільтроване зображення  $R$ :

$$R_{ij} = \sum_{u=i-k}^{u=i+k} \sum_{v=j-k}^{v=j+k} H_{i-u,j-v} F_{uv}, \quad (2)$$

де  $H_{i-u,j-v}$  – вагові коефіцієнти.

Одним з найбільш ефективних видів згладжування є згладжування за допомогою гаусіана [2], коли значення вагових коефіцієнтів розраховуються за формулою:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{((i-k-1)^2 + (j-k-1)^2)}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення.

### Перевірка універсального алгоритму чисельним моделюванням

Для кольорового зображення, що містить три кольорових складові (RGB), потрібно знайти частинну похідну для кожного шару, а потім оцінити одночасну зміну похідної для всіх трьох складових. Найбільш раціонально це зробити, склавши квадрати симетричних різниць для кожного кольору. Квадрати значень беремо тому, що важливою є величина зміни яскравості кожного кольору, а не її знак. Тому результат зміни кольору будемо оцінювати величиною:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = (R_{i+1,j} - R_{i-1,j})^2 + (G_{i+1,j} - G_{i-1,j})^2 + (B_{i+1,j} - B_{i-1,j})^2 \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = (R_{i,j+1} - R_{i,j-1})^2 + (G_{i,j+1} - G_{i,j-1})^2 + (B_{i,j+1} - B_{i,j-1})^2 \quad (5)$$

Для прикладу обчислені коефіцієнти гаусіана розмірністю 7x7 за умови  $\sigma=1$  (розсіювання гаусіана становить 1 піксель). Результати представлено в таблиці №1. Як видно, сума всіх коефіцієнтів (0.999459) є близькою до 1.

Таблиця 1 - Матриця числових коефіцієнтів гаусіана розмірністю 7x7

1,96E-05	2,39E-04	1,07E-03	1,77E-03	1,07E-03	2,39E-04	1,96E-05
2,39E-04	2,92E-03	1,31E-02	2,15E-02	1,31E-02	2,92E-03	2,39E-04
1,07E-03	1,31E-02	5,85E-02	9,65E-02	5,85E-02	1,31E-02	1,07E-03
1,77E-03	2,15E-02	9,65E-02	1,59E-01	9,65E-02	2,15E-02	1,77E-03
1,07E-03	1,31E-02	5,85E-02	9,65E-02	5,85E-02	1,31E-02	1,07E-03
2,39E-04	2,92E-03	1,31E-02	2,15E-02	1,31E-02	2,92E-03	2,39E-04
1,96E-05	2,39E-04	1,07E-03	1,77E-03	1,07E-03	2,39E-04	1,96E-05

З метою проведення чисельного моделювання було розроблено спеціальну комп'ютерну програму, що реалізує універсальний алгоритм відповідно до [2], [3] та [4]. Результати роботи цього алгоритму є задовільними для неспеціалізованих зображеннях (див. результат обробки на рис.1).

Наведені результати експерименту підтверджують теоретичні положення про те, що згладжування поліпшує виділення країв зображень [2], [3]. Однак, використання даного методу для визначення краю зіниці (рис.2) не є цілком задовільним, оскільки:

- області високого градієнта досить широкі;
- виділяється досить велика кількість крайових точок на рогиці;
- наявність відблисків.

Всі ці обставини суттєво ускладнюють автоматичне визначення крайових точок.

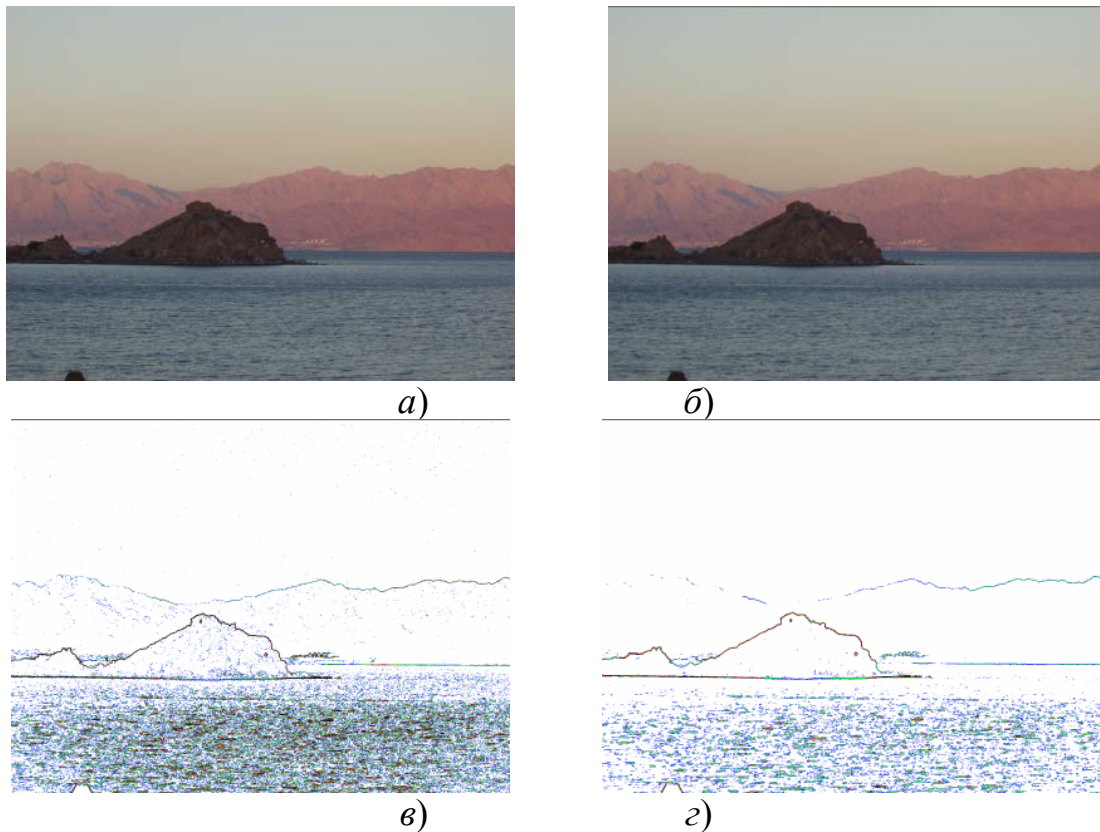


Рис.1. Зображення, отримані із застосуванням універсального методу, де: *а* – вихідне; *б* – згладжене; *в* – з виділеними краями; *г* – з виділеними краями при накладеному фільтрі

Для подальших досліджень використаємо іридодіагностичне зображення з [5]. Результати дії універсального алгоритму [2], [3] та [4] для цього випадку представлено на рис.2.

З огляду на вищенаведене, можна зробити висновок: з урахуванням специфіки зображення ока для визначення краю зіниці потрібне вдосконалення існуючих універсальних методів визначення країв.

### Опис створеного спеціалізованого алгоритму

Специфічною особливістю зображення ока є те, що в області зіниці (за винятком відблисків) колір зображення змінюється поступово, тобто значення градієнта в точках зіниці досить низьке.

Спроба виділити області низького градієнта на зображенні ока ілюструється рис.3, б. Як видно, область зіниці відділена від інших частин зображення з низьким градієнтом кільцем точок радужки, у яких виділяється значна кількість крайових точок (чорний колір) та точок із середніми значеннями градієнта (білий колір). Зважаючи на те, що зіницю можна розглядати як абсолютно чорне тіло, можна також спробувати виділити області точок чорного кольору.

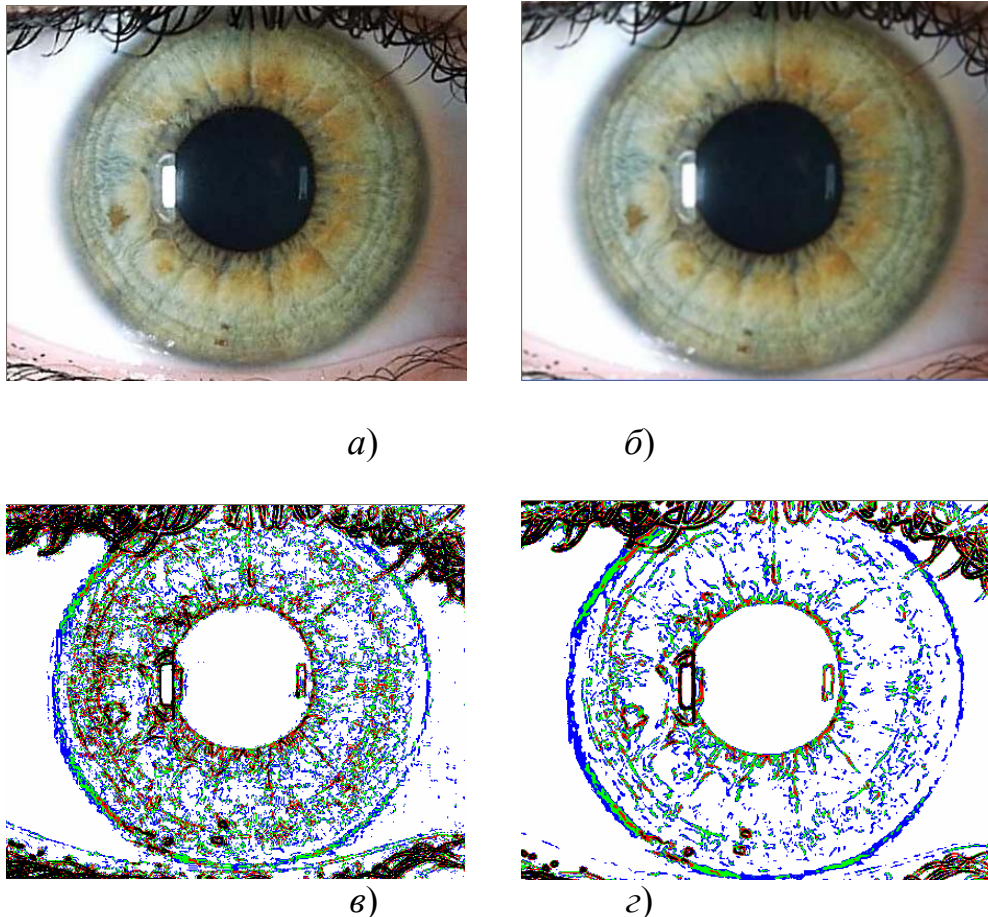


Рис.2. Зображення, отримані із застосуванням універсального методу, де: *a* – вихідне; *б* – згладжене; *в* – з виділеними краями; *г* – з виділеними краями та накладеному фільтрі

Чисельним моделюванням встановлено, що точки зіниці практично завжди є світлішими за абсолютно чорні точки (у яких всі три параметри кольору RGB дорівнюють нулю). У зв'язку з цим, доцільно встановити граничне значення для визначення точок, колір яких близький до чорного: колір точки вважаємо близьким до чорного, якщо сума всіх її кольорних компонентів не перевищує заданого порогу. Результат визначення точок кольору, близького до чорного, наведений на рис.3, в. Як і вище, чітко виділяється область зіниці, відділена від інших областей чорного кольору кільцем радужки.

Отже, для удосконалення універсального алгоритму [2] визначення країв, віднесемо до точок краю зіниці лише ті крайові точки (точки високого значення градієнта), в околиці яких є точки, колір яких близький до чорного кольору. Фотографія ока, оброблена відповідно до цього алгоритму, наведена на рис.3, г.

Наведені результати свідчать про те, що крім краю зіниці даний алгоритм виділяє ще й інші крайові точки (вії, тіні в куточках очей та ін.). У зв'язку з цим, скористаємося додатковою особливістю зображення ока, відзначеною вище: зіницю, як правило, можна відокремити від іншого зображення певною областю, що не містить точок, специфічних для зіниці. Для цього можна знайти прямокутник, що охоплює зіницю та не містить крайових точок і точок чорного кольору. Для побудови такого прямокутника доцільно починати рухатися від центра фотографії

(попередньо перевіривши, що центр є точкою, колір якої близький до чорного). Якщо це не так, то фахівцеві надається можливість вибрати початкову точку відліку вручну. Охопивши цю початкову точку мінімальним прямокутником, розсовуємо сторони прямокутника доти, доки на його сторонах будуть залишатися чорні або крайові точки. Побудований у такий спосіб прямокутник дозволяє залишити крайові точки, що належать лише зіниці (рис.3,з).

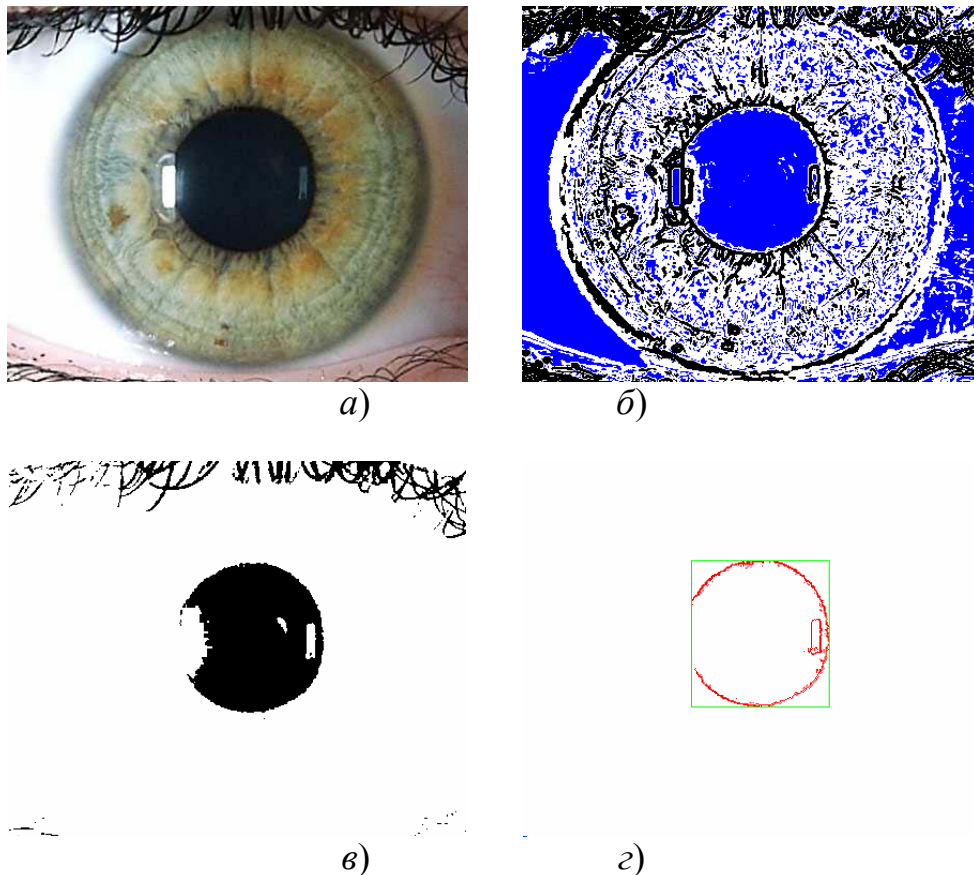


Рис.3. Зображення, отримані із застосуванням спеціалізованого алгоритму, де: *a* – вихідне; *б* – з виділенням областей високого й низького градієнта; *в* – з виділенням точок кольору, близького до чорного; *г* – з комбінацією випадків *б* і *в* та з вилученими крайовими точками, які не відносяться до краю зіниці

Експеримент показав, що у більшості випадків побудова даного прямокутника можлива в автоматичному режимі. У тих випадках, коли це неможливо, фахівець повинен зробити це вручну. Для виключення країв відблисків необхідно провести додаткове дослідження, хоча частково ця проблема вирішується наведеним алгоритмом (краї великого відблиску в лівій частині зіниці усунуті автоматично, тому що поблизу цього відблиску колір точок виявився вище встановленого порога чорного кольору). Схема, представлена на рис.4, ілюструє запропонований спеціалізований алгоритм визначення крайових точок зіниці.

### **Висновки**

1. Представлено результати чисельного моделювання універсального алгоритму для виділення країв зображень. Результати експерименту свідчать про те, що

згладжування дійсно поліпшує виділення країв зображень. Однак, використання такого алгоритму для визначення краю зіниці дає недостатньо задовільний результат.

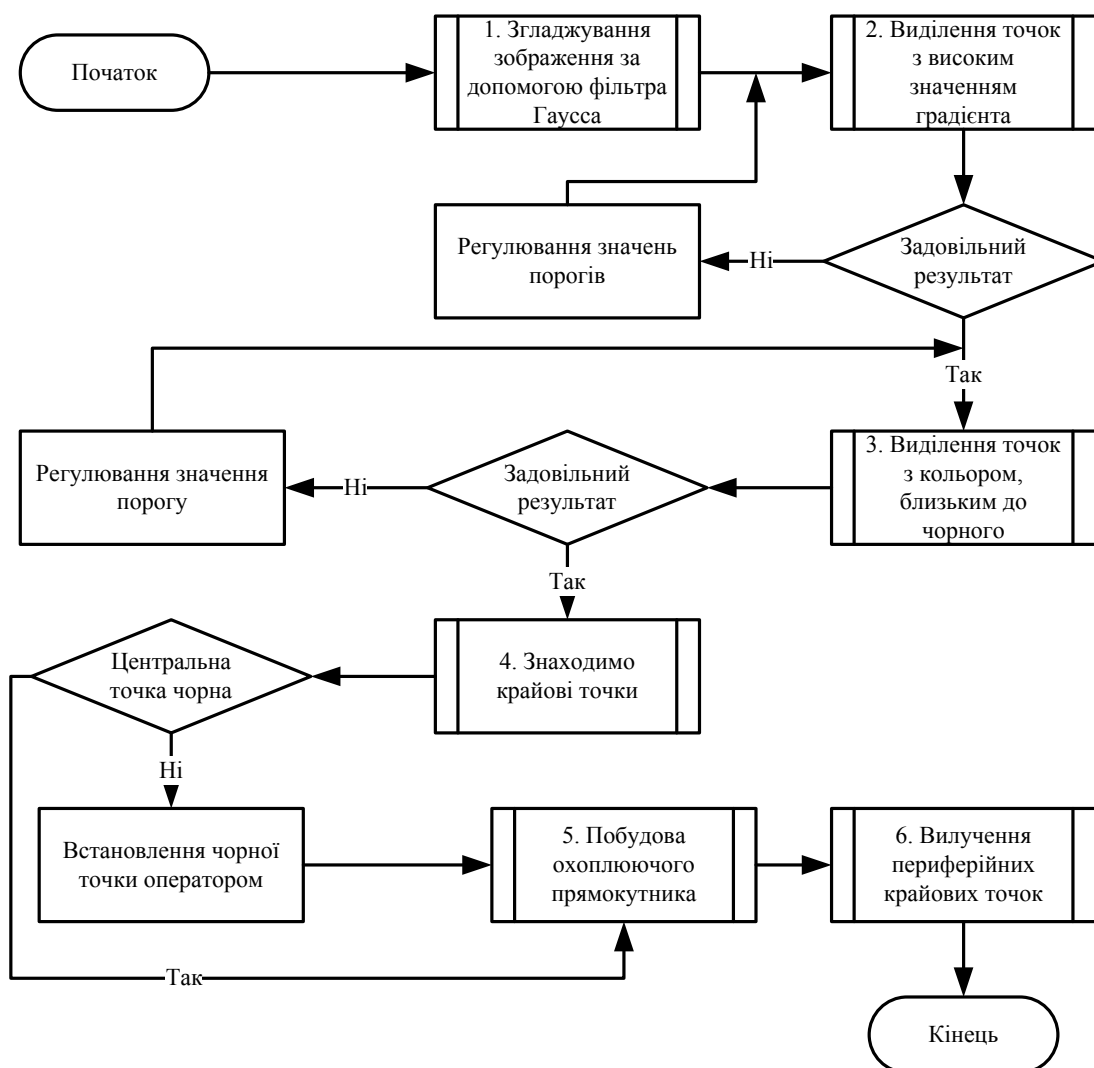


Рис.4. Блок-схема спеціалізованого алгоритму знаходження крайових точок зіниці на іридіагностичному зображенні ока

2. Розроблено новий, спеціалізований алгоритм по виділенню краю зіниці на зображенні ока. У спеціалізованому алгоритмі до точок краю зіниці віднесено лише ті крайові точки, які мають високе значення градієнта та містять у своїй околиці точки, колір яких є близьким до чорного.

3. Особливістю іридіагностичного зображення ока є те, що зіниця, як правило, може бути відокремлена від іншого зображення певною областю, що не містить точок, специфічних для зіниці. Тому при обробці зображень запропонована методика визначення прямокутника, що охоплює зіницю, та дозволяє залишити зображення, яке містить крайові точки, що належать лише зіниці.

4. Представлені матеріали можуть бути використані при подальшій апроксимації форми зіниці, що дозволить визначити параметри відхилення викривлених зіниць та діагностувати захворювання [1].

#### Література

1. Кривенко В. В. и др. Иридодиагностика. Справочник. – К.: Украинская Советская Энциклопедия, 1991. – 142 с.
2. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
3. Canny J. A computation approach to edge detection. – IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), pp.679 – 698.
4. Faugeras O. Three-Dimensional Computer Vision. – MIT Press, 1993. – 695 p.
5. Продеус А. Н. Компьютерная иридодиагностика в Украине. – <http://aprodeus.narod.ru/>

<p>Можарская Е.В., Сокуренок В.М. <b>Выделение краевых точек зрачка на иридодиагностическом изображении глаза</b> Предложен специализированный алгоритм выделения краевых точек на иридодиагностическом изображении глаза. Его преимущества и эффективность подтверждены результатами численного моделирования. <b>Ключові слова:</b> иридодиагностическое изображение, алгоритм</p>	<p>Mozharska K.V., Sokurenko V. M. <b>Pupil's edge detection on the iridological image of eye</b> Specialized algorithm of pupil's edge detection on the iridological image of eye was offered. Its advantages and efficiency were confirmed by results of the numerical experiment. <b>Key words:</b> iridological image, algorithm</p>
--	--

*Надійшло до редакції  
28 січня 2010 року*

УДК 528.7:621.382

## ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ДИФРАКЦІЙНИХ ЯВИЩ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКАХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ З ТЕЛЕВІЗІЙНИМИ КАМЕРАМИ

*Демченко Л.І., Русняк І.М., Стефанович В.Т., Державне підприємство “НДІ “Квант”,  
м. Київ, Україна*

*Розглянуто вплив дифракційних явищ в енергетичних розрахунках систем спостереження з телевізійними камерами, визначено умови, за яких їх необхідно враховувати. Отримано формулу для розрахунку сигналу на виході телевізійної камери, що враховує дифракційний характер зображення об'єкта*

**Ключові слова:** *телевізійна камера, енергетичний розрахунок, дифракційне зображення*

### Вступ. Постановка задачі

Оптично-електронні системи спостереження (ОЕС), до складу яких входять телевізійні камери (ТВК), знайшли широке використання. Енергетичний розрахунок таких ОЕС передбачає встановлення залежності між їх основними тактико-технічними характеристиками і конструктивними параметрами для заданих умов спостереження. Зазвичай енергетичні розрахунки проводяться за методиками, розробленими для ОЕС і викладеними, зокрема, в [1-3]. Їх перевагою є відносна простота, що робить можливим їх використання при інженерних роз