

УДОСКОНАЛЕНИЙ ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

Ауθενфікація людини поза всяких сумнівів є актуальним завданням, практичним вирішенням якого зайняті тисячі і мільйони людей по всьому світу. Найбільш ефективними на сьогодні методами ідентифікації та ауθενфікації є біометричні, які дозволяють вирішити проблеми втрати паролів та особистих ідентифікаторів. Серед біометричних технологій однією із найперспективніших є біометрія з використанням райдужної оболонки ока, яка має специфічну структуру і містить багато текстурної інформації. Просторові структури, які спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда, а індивідуальні відмінності з'являються в процесі анатомічного розвитку. Обмежуючим фактором для поширення систем ідентифікації по райдужній оболонці ока завжди була їх висока вартість, але постійні дослідження та розробки дозволять знизити витрати, а розширення сфери використання - дозволить технології ауθενфікації по райдужній оболонці ока зайняти помітний сегмент на ринку систем контролю доступу.

В роботі здійснено аналіз найбільш поширених методів виділення контурів зображення. Детально розглянуто інтегрально-диференціальний метод суть роботи якого полягає у виділенні меж шляхом максимізації суми градієнтів яскравості в напрямку перпендикулярному до границі райдужки та визначені недоліки які необхідно усунути. В роботі використовується той факт, що перехід від райдужної оболонки до склери є різка зміна яскравості пікселя і в якості міри такого перепаду можна взяти першу або другу похідну від функції зміни яскравості, яка однозначно буде характеризувати межі переходів, які виділяються фільтром високих частот, однак якщо застосувати фільтр ВЧ до всього зображення ока в області райдужки з'являться високочастотні шуми викликані фільтрацією зображення, в яких також є різкі яскравісні перепади. Тому для виділення контурів райдужки і зіниці на зображенні ока потрібно згладити по яскравості, тобто виділити тільки нижні частоти в зображенні.

Ключові слова: біометрична ідентифікація, фільтрація зображення, виділення контурів, градієнт яскравості.

Оксиук А. Г., Фесенко А.А., Вялкова В.И., Бригадир С.П. Усовершенствованный интегрально-дифференциальный алгоритм определения границ радужной оболочки глаза. Ауθενфікація человека вне всяких сомнений является актуальной задачей, практическим решением которой заняты тысячи и миллионы людей по всему миру. Наиболее эффективными на сегодня методами идентификации и ауθενфікации является биометрические, которые позволяют решить проблемы потери паролей и личных идентификаторов. Среди биометрических технологий одной из самых перспективных является биометрия с использованием радужной оболочки глаза, которая имеет специфическую структуру и содержит много текстурной информации. Пространственные структуры, наблюдаемые в радужке, уникальные для каждого индивида, а индивидуальные различия появляются в процессе анатомического развития. Ограничивающим фактором для распространения систем идентификации по радужной оболочке глаза всегда была их высокая стоимость но постоянные исследования и разработки позволяют снизить расходы, а расширение сферы использования - позволит технологии ауθενфікации по радужной оболочке глаза занять значительный сегмент на рынке систем контроля доступа.

В работе проведен анализ наиболее распространенных методов выделения контуров изображения. Детально рассмотрен интегрально-дифференциальный метод суть работы которого заключается в выделении границ путем максимизации суммы градиентов яркости в направлении перпендикулярном к границе радужки, также определены недостатки, которые необходимо устранить. В работе используется тот факт, что переход от радужной оболочки к склере является резким изменением яркости пикселя и в качестве меры такого перепада можно взять первую или вторую производную от функции изменения яркости, которая однозначно будет характеризовать пределы переходов, которые выделяются фильтром высоких частот, однако если применить фильтр ВЧ ко всему изображению глаза в области радужки появятся высокочастотные шумы вызваны фильтрацией изображения, в которых также резкие перепады яркости. Поэтому для выделения контуров радужки и зрачка на изображении глаза, необходимо сгладить по яркости, то есть выделить только нижние частоты в изображении.

Ключевые слова: биометрическая идентификация, фильтрация изображения, выделение контуров, градиент яркости.

O.Oksiuik, A.Fesenko, V.Vialkova, S.Brigadir Improved integral-differential algorithm for determining the iris boundaries. Undoubtedly, human authentication is an urgent task, a practical solution that employs thousands and millions of people around the world. The most effective methods of identification and authentication today are

biometrics, which allow to solve the problems of losing passwords and personal identifiers. Among biometric technologies, one of the most promising is biometrics with the use of the iris, which has a specific structure and contains a lot of textural information. Spatial structures observed in the iris are unique to each individual, and individual differences appear in the process of anatomical development. The limiting factor for the proliferation of Iris systems has always been their high cost, but ongoing research and development will reduce costs, and expanding the scope will allow authentication technology for Iris to occupy a prominent segment in the access control market.

The most common methods of image contour selection are analyzed. The integral-differential method is considered in detail. The essence of the work of which is to isolate the boundaries by maximizing the sum of the brightness gradients in the direction perpendicular to the iris boundary. The paper takes into account the fact that the transition from the iris to the sclera is a sharp change in the brightness of the pixel, and as a measure of such a difference, we can take the first or second derivative of the function of change of brightness, which will uniquely characterize the transition limits, which are distinguished by a high-pass filter, but if to apply an RF filter to the entire eye image in the iris region, high frequency noise will be caused by image filtering, in which there are also sharp differences in brightness. Therefore, to highlight the contours of the iris and pupil in the image of the eye, it is necessary to smooth out the brightness, that is, to select only the lower frequencies in the image.

Keywords: *biometric identification, image filtering, contour selection, brightness gradient.*

Постановка проблеми та актуальність дослідження

У сучасному світі надзвичайно гостро стоїть проблема захисту інформації. Автоматизація процесу ідентифікації користувача важлива складова розвитку сучасного суспільства. На сьогоднішній день використання парольних системи ідентифікації вже не задовольняє вимогам безпеки. Завдання аутентифікації і ідентифікації людини тепер вирішуються за допомогою автоматичних біометричних систем. При біометричній ідентифікації використовуються унікальні характеристики окремо взятої людини. Це можуть бути як вроджені ознаки (відбитки пальців, райдужна оболонка ока), так і набуті характеристики (почерк, голос або хода).

Серед біометричних технологій однією із найперспективніших є біометрія з використанням райдужної оболонки ока (РОО), яка має специфічну структуру і містить багато текстурної інформації. Просторові структури, які спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда, а індивідуальні відмінності з'являються в процесі анатомічного розвитку. Вважається, що підробити ідентифікаційні дані при використанні цього методу - неможливо. Слід зауважити, що крім індивідуального малюнка райдужної оболонки, людське око володіє унікальними світло відбиваючими характеристиками (за рахунок стану тканин і природного зволоження), які враховуються в процесі зчитування інформації, що також може бути використано для додаткового підвищення рівня безпеки. Деякі автоматизовані системи контролю доступу також фіксують мимовільні рухи очного яблука, властиві живій людині. Дослідники з Варшавського політехнічного університету стверджують, що розроблений ними алгоритм машинного навчання, здатний відрізнити райдужні оболонки живих і мертвих людей з точністю в 99 %. В своїх дослідженнях вони використовують фізіологічну особливість людського організму, а саме: після смерті зіниця розширюється, роблячи область райдужки занадто вузькою, що робить її непридатною для сканування. Ще однією перевагою методу є те, що носіння контактних лінз, навіть кольорових, не є проблемою. Це робить застосування подібних систем ідентифікації та верифікації ще більш привабливим. Крім того, у порівнянні з іншими біометричними методами, ідентифікація по райдужці є стабільнішою і надійною [1 – 5].

Обмежуючим фактором для поширення систем ідентифікації по райдужній оболонці ока завжди була їх висока вартість. Але згідно з дослідженнями агентства MarketsandMarkets розмір ринку розпізнавання райдужної оболонки досягне \$ 3,6 млрд до 2020 року[6]. Також стрімкий розвиток даної технології підтверджують дослідження компанії Frost&Sullivan та TechNavio.

Схема обробки зображення ока в системі ідентифікації особистості по зображенню райдужки приведена на рис. 1.

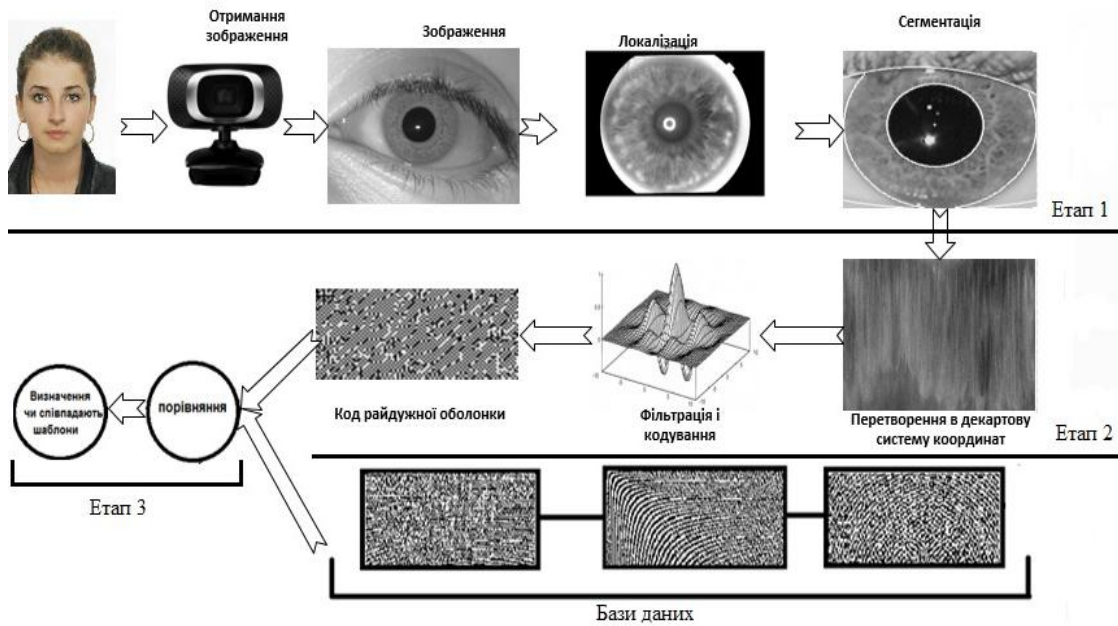


Рис. 1. Біометрична система заснована на райдужці ока

Отже, актуальні є дослідження в області розробки нових методів аналізу і розпізнавання зображення райдужної оболонки, що будуть стійкі до різних видів перешкод які виникають при зйомці і які дозволили б поліпшити характеристики системи, а також знизити вимоги до апаратури, зменшивши її вартість [7].

У представлений роботі не будуть розглядатися методи реєстрації зображень, обчислення інформативних ознак, оцінки якості зображення, а тільки напрямок по виділенню області інтересу райдужної оболонки ока.

Аналіз публікацій

Для забезпечення достатньої для розпізнавання деталізації зображення райдужної оболонки система введення зображення повинна забезпечувати розширення не менше 50 пікселів на радіус райдужки.

В даний час, в основному використовуються системи введення зображення з роздільною здатністю 100 – 140 пікселів на радіус райдужки.

Деякі пристрої введення зображення мають ширококутову камеру для грубої локалізації ока і камеру з малим кутом зору, яка налаштовується за результатами локалізації ока і забезпечує введення зображення райдужної оболонки з високою роздільною здатністю. Існує безліч різних методів отримання зображення райдужної оболонки.

Більшість пристроїв для зйомки райдужки не мають пристрою наведення, але замість цього використовується візуальний зворотний зв'язок, яка базується на використанні дзеркала або відеозображення.

Зворотний зв'язок дозволяє користувачеві правильно помістити око в поле зору камери з малим кутом зору. Фокус встановлюється в реальному часі (швидше, ніж інтервал між кадрами) шляхом вимірювання сумарної енергії високочастотної частини двовимірного спектра Фур'є для кожного з кадрів, і максимізації цієї енергії шляхом переміщення лінз об'єктива або шляхом звуковий зворотного зв'язку з суб'єктом [8, 9].

Одержувані зображення райдужної оболонки, крім областей які становлять інтерес, містять „непотрібні” частини (тобто повіку, зіниця і т.д.) Тому зображення не може бути використано безпосередньо.

Більш того, зміна відстані між камерою і райдужкою може привести до зміни розміру однієї і тієї ж райдужки. Крім того, райдужка освітлюється нерівномірно.

Для ефективного розпізнавання, на оригінальному зображенні необхідно локалізувати райдужку, порівняння методів виділення контурів наведено в табл.1, нормалізувати її зображення, і знизити вплив вищезгаданих факторів.

Таблиця 1

Порівняння методів виділення контурів

Метод	Недоліки	Застосування
Робертса	Низька точність із-за використання маски 2x2. Розриви контурів зображення.	Чутливий до шуму
Собеля	Оснований на методі Робертса. Використовує маску 3x3. Розриви контурів. Використовуються попередньо визначені вагові коефіцієнти	Грубе наближення градієнта яскравості
Канні	Оснований на методі Робертса. Використовуються два порога. Використовує маску 3x3. Розрив контурів.	Межі мають деяку кінцеву товщину. Тому необхідно виконати потоншення ліній придушенням немаксимальних точок в перпендикулярному до межі напрямку, тобто в напрямку градієнта.
Превіта	Передбачено 8 ядер, що відповідають різним напрямкам, що підвищує точність визначення меж.	Велика складність обчислень (в 8 разів більше, ніж при Собелі).
Градієнтний інтегрально-деференціальний	Травалість обчислень. Використовує градієнт яскравості.	Широке застосування на практиці в СКУД, в біології та медицині
DoG	Збільшується чіткість країв і дрібних деталей на зображенні	Дуже неточно позначаються межі гострих кутів. Компоненти фільтра схильні реагувати на шум, а не тільки на край.

Як внутрішня, так і зовнішня межа райдужки можуть бути апроксимовані колами. Однак ці кола зазвичай не є концентричними. Метод локалізації, описаний в [10, 11], включає в себе просту фільтрацію, виділення перепадів яскравості і перетворення Хоха. Перетворення Хоха дозволяє перейти від радіальної системи координат, на якій базується об'єкт зображення райдужної оболонки, так як вона апроксимується колом, в декартову систему координат. Інший метод визначення меж райдужної оболонки [9 – 12] полягає у виділенні меж шляхом максимізації суми градієнтів яскравості в напрямку перпендикулярному до границі райдужки:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|, \quad (1)$$

де $I(x, y)$ – зображення ока, r – радіус кола по якій виконується інтегрування, (x_0, y_0) – координати центра, ds – елементарна дуга, $G_{\sigma}(r)$ – гаусів фільтр з масштабним параметром σ , * – операція згортки. Оператор є детектором розмитих кругових перепадів з параметром розмиття σ . Оператор здійснює ітеративний пошук максимуму контурного інтеграла градієнта в напрямку радіусу кола в просторі трьох параметрів (x_0, y_0, r) що визначають шлях інтегрування.

Для обрахування виразу 1 на комп'ютері, його потрібно перетворити в дискретний вигляд. Де в якості дискретних значень використовується приріст радіуса по контуру і дискретні координати зображення, сам градієнт може бути апроксимований в дискретне значення виразом:

$$\frac{\partial G_0(r)}{\partial r} \approx G_{\sigma}^1(n) = \frac{1}{\Delta r} (g_{\sigma}(n\Delta r) - \frac{1}{\Delta r} G_{\sigma}((n-1)\Delta r)), \quad (2)$$

де Δr мінімальний приріст радіуса, а $n = \frac{r}{\Delta r}$. Контурний інтеграл і згортка в виразі 1 замінюються знаком суми з приростом по куту $\Delta\theta$, тоді кінцевий вираз для дискретних величин буде мати наступний вигляд:

$$\max_{(n\Delta r, x_0, y_0)} \left| \sum_k \left\{ \frac{G_\sigma((n-k)\Delta r) - G_\sigma((n-k-1)\Delta r)}{\Delta r \sum_m I[(k-2)\Delta r \cos(m\Delta\theta) + x_0], [(k-2)\Delta r \sin(m\Delta\theta) + y_0]} \sum_m I[k\Delta r \cos(m\Delta\theta) + x_0], [k\Delta r \sin(m\Delta\theta) + y_0]} \right\} \right| \quad (3)$$

Також недоліком цього методу є те, що межа РОО може мати дуже велику помилку за рахунок того, що вираз 3 припиняє розрахунок при досягненні меж зображення ока, де межа РОО не співпадає з межами зображення ока.

Мета статті

Метою статті є удосконалення інтегрально-диференціального алгоритму визначення меж райдужної оболонки ока з послідовним уточненням. Розроблений алгоритм повинен вимагати менших обчислювальних витрат при збереженні високої точності.

Викладення основного матеріалу

Дуже часто центр зіниці зміщений вниз і в бік носа по відношенню до центра райдужки. Радіус зіниці становить 0,1 – 0,8 радіуса райдужки. Тому всі параметри кола, що описує зіницю, оцінюються окремо. Оператор (1) дозволяє виявити межу зіниці і зовнішню межу райдужної оболонки. Однак, для визначення початкового наближення при пошуку зовнішньої межі необхідно використовувати інформацію про межу зіниці, оскільки зовнішня межа має менший контраст при зйомці в ближньому інфрачервоному світлі. Після того, як межі райдужки виділені з точністю до одного пікселя, схожий спосіб використовується для визначення криволінійної кордону між райдужкою і повіками. Описаний метод досить ефективний, проте при пошуку глобального максимуму вимагає великих обчислювальних витрат. Проаналізувавши велику кількість зображень ока з БД Casia [13] можна зробити висновок, що перехід від райдужної оболонки до склери є різка зміна яскравості пікселя і в якості міри такого перепаду можна взяти першу або другу похідну від функції зміни яскравості, яка однозначно буде характеризувати нам межі переходів [14 – 17], які виділяються фільтром високих частот, однак якщо застосувати фільтр ВЧ до всього зображення ока в області РОО з'явиться високочастотні шуми викликані фільтрацією зображення РОО, в яких також є різкі яскравісні перепади. Тому для виділення контурів РОО і зіниці на зображенні ока потрібно згладити по яскравості, тобто виділити тільки нижні частоти в зображенні.

З двох вище перерахованих задач:

- виділення меж РОО і зіниці, тобто ВЧ-фільтрація;
- згладжування по яскравості, тобто НЧ-фільтрація.

Впливають вимоги до фільтра, який зможе виділяти межі РОО і зіниці – це буде фільтр з АЧХ наведено на рис 2.

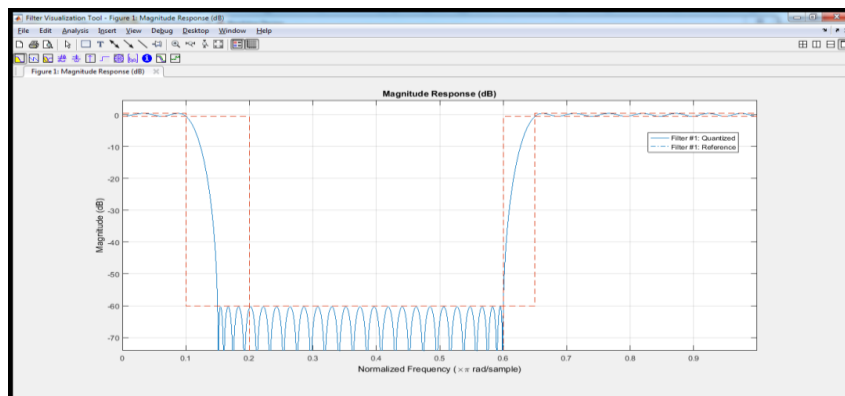


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика фільтра

АЧХ на рис 2 це характеристика загороджувального фільтра, де ширина полоси затримки буде характеризувати якість виділення меж РОО і зіниці.

Чим менша частота ω_1 тим більше буде згладжування, тобто яскравість пікселелів буде більш рівномірна, чим більша частота ω_2 – тим краще будуть виділятися межі РОО і зіниці, де $\omega_1 < \omega_2$. Користуючись інструментом digital signal processing toolbox пакета matlab [14] по заданій АЧХ отримаємо двомірну імпульсну характеристику (маска фільтра) фільтра яка представлена на рис 3.

3	4	-1
4	4	-1
-1	-1	-1

Маска 3x3

1	-8	0	8	-1
-8	-8	0	8	-1
0	0	0	8	-1
8	8	8	8	-1
-1	-1	-1	-1	-1

Маска 5x5

Рис. 3. Маска режекторного фільтра

Райдужки різних людей можуть мати різний розмір. Навіть розмір райдужки однієї і тієї ж людини може змінюватися через зміни умов зйомки. Деформація текстури райдужки впливає на розпізнавання. Для забезпечення більш ефективного розпізнавання необхідно компенсувати ці деформації. Для цього, кільце райдужки відображається в прямокутник розміром (320×640). Реалізація запропонованого методу відбувається при почерговому виконанні наступних кроків:

1. Отримуємо зображення обличчя людини $I(x, y)$, де $x = [1, M]$, $y = [1, N]$, N і M розмірність вхідного зображення, зазначимо, що розмірність має бути кратною 2.
2. Виділяємо зону розташування ока, згідно біометричних особливостей. $I'(x, y)$, де $x' = [1, \frac{M}{2}]$, $y' = [1, fix \frac{2N}{3}]$.
- 3: Вираховуємо зміни яскравості

$$dI_{x''} = \begin{cases} I'_{x''} < rift; dI_{x''} = dI_{x''}; \\ I'_{x''} > rift; dI_{x''} + 1. \end{cases},$$

$$dI_{y''} = \begin{cases} I'_{y''} < rift; dI_{y''} = dI_{y''}; \\ I'_{y''} > rift; dI_{y''} + 1. \end{cases}$$

4. Визначення області ока, використовуючи особливості зміни яскравості на зображенні $I'\{x', y'\} = \{\min(dI_{x''})\} \cap \{\min(dI_{y''})\}$.

5. Сегментація зображення зіниці та РОО. В результаті отримуємо матрицю $I''(x, y) = I'(x, y) * H(x, y)$, де $H(x, y)$ двомірна імпульсна характеристика (маска) режекторного фільтра.

6. В результаті локалізації райдужки на зображенні внутрішня і зовнішня межа, що мають форму кіл, визначають кільцеву область, що підлягає аналізу. Перетворення декартової системи координат в полярну дозволяє отримати еквівалентне представлення області аналізу у вигляді прямокутної області інтересу.

Висновки

В даній роботі розглянуто основи та алгоритми попередньої обробки зображення райдужної оболонки ока. Вона складається з чотирьох етапів: локалізація райдужки, геометрична нормалізація зображення райдужної оболонки, нормалізація яскравості і подавлення шумів. Існуючі алгоритми локалізації райдужної оболонки мають ряд недоліків, що знижує експлуатаційні характеристики біометричних систем. Пропонується удосконалений інтегрально-диференціальний алгоритм визначення меж райдужної оболонки

з послідовним уточненням. Розроблений алгоритм вимагає менших обчислювальних витрат при збереженні високої точності.

Подальший дослідження будуть полягати в поєднанні алгоритмів обчислення інформативних ознак та оцінки якості зображення з запропонованим в даній роботі удосконаленим інтегрально-диференціальний алгоритмом визначення меж райдужної оболонки з послідовним уточненням для створення єдиного програмного модуля біометричної ідентифікації по райдужній оболонці ока.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мороз А. О. Біометричні технології ідентифікації людини. Огляд систем. Мат. машини і системи. – 2011. – № 1. – С. 39 – 45.
2. Фесенко А. О. Швець В.А. Основні біометричні характеристики, сучасні системи та технології біометричної аутентифікації. Безпека інформації. – 2013. – № 2. – С. 99 – 111.
3. Фенюк М. В. Аналіз недоліків систем автоматизованого захисту інформації та методів біометричної автентифікації, які в них використовуються. Мат. машини і системи. – 2012. – №3. – С. 116 – 123.
4. Кухарев Г.А. Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека – Санкт-Петербург: Политехника, 2001. – 240 с.
5. Біометрична автентифікація та криптографічний захист: монографія / Русин Б. П., Варецький Я. Ю.. – НАН України, Фіз.-мех. ін.-т ім. Г.В.Карпенка. – Львів: Коло. – 2007. – 287 с.
6. Iris Recognition Market by Component (Hardware & Software), Product (Scanner & Others), Application (Access Control & Others), Industry (Travel & Immigration, Military & Defense, & Others) & Geography Global – Forecast to 2020 [Електронний ресурс] // marketsandmarkets.com. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: marketsandmarkets.com/Market-Reports/iris-recognition-market-141994093.html.
7. Фесенко А.О., Оксіюк О.Г., Фесенко В.О. Цифрові фільтри зображень. ITSEC: матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції. – 16-18 трав. 2017р.: тези доп. – К.: НАУ, 2017. – С. 36.
8. Collins K. Iris Identification [Електронний ресурс] / Katie Collins – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nei.nih.gov/>.
9. Geruso M. An Analysis of the Use of Iris Recognition Systems in U.S. Travel Document Applications [Електронний ресурс] / M. Geruso, V. Tech – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gao.gov/assets/160/157314.html>.
10. J. Asmuth, G. Green, S. Hsu, R. Kolczynski, J. Matey and S. McBride, A system for automated iris recognition, Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 121–128, 1994.
11. Marcia B. Constitutional Classification Via the Eye [Електронний ресурс] / Bryan K Marcia. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://iridology-research.com/wp-content/uploads/2018/07/Constitutional_Classification_Via_the_Eye_Bryan_Marcia.pdf
12. Pearson H. Iris patterns prove their unique credentials [Електронний ресурс] / Helen Pearson. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nature.com/news/2001/010808/full/news010809-8.html>.
13. CASIA Iris Subject Ageing Version [Електронний ресурс] // biometrics.idealtest.org. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://biometrics.idealtest.org/findDownloadDbByMode.do?mode=Iris>.
14. Цифровая обработка изображений в среде МАТЛАВ: підручник / Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.. – М.: Изд-во „Техносфера”, 2006. – 616 с.
15. Комп’ютерні методи обробки сигналів і зображень : підручник / К. Х. Зеленський, В. В. Поліновський, Н. В. Ігнатенко. – Київ: Університет „Україна”, 2013. – 350 с.