

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ СТВОРЕННЯ ПАНОРАМНОГО ВІДЕО****О.Ю. Лебедєва, Д.О. Золотарьова, В.М. Ситник**

Одеський національний політехнічний університет,  
пр. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: o.y.lebedieva@opu.ua, allacia.gilbert@gmail.com,  
apeorin@gmail.com

У роботі розглядається алгоритм створення панорамного відео з декількох відеопослідовностей. Алгоритм розроблено для систем відеоспостереження. За останні роки системи відеоспостереження стали основою надійної системи безпеки. Системи відеоспостереження дозволяють отримати інформацію про поточний стан об'єкту, що охороняється, шляхом збору, обробки, архівування, зберігання, відображення та аналізу цієї інформації. Розроблений алгоритм обробляє відеопослідовності з декількох камер та створює єдину відеопослідовність, яка містить всю інформацію з оброблених відеопослідовностей, базується на алгоритмах пошуку особливої точки на зображеннях. Особливі точки – це такі точки, за якими можна класифікувати зображення, розпізнати його. Вони визначають особливість зображення, його унікальність. У роботі розглядаються найбільш відомі і широко використовуванні алгоритми пошуку особливої точки – як SIFT (Scale Invariant Feature Transform) та SURF (Speeded Up Robust Features). Метод SIFT шукає особливі точки за допомогою піраміди гауссіанів та різниці гауссіанів. Дескриптори будуються за допомогою обчислення гістограми орієнтованих градієнтів в околі особливої точки. Для пошуку особливих точок метод SURF використовує матрицю Гессе. Розглядаються основні кроки розробленого алгоритму: пошук особливих точок, відбір однієї або декількох особливих точок за критерієм, зшивання кадрів відео. Наведено приклади роботи розробленого алгоритму створення панорамного відео для перших кадрів. Проведено дослідження методів SIFT та SURF в ситуаціях, коли зображення масштабується, обертається, затемняється та розмивається і наводиться порівняння методів SURF та SIFT. У роботі надаються висновки про використання методів SURF та SIFT у розробленому алгоритмі створення панорамного відео.

**Ключові слова:** відео, панорамне відео, зображення, особливі точки на зображенні, пошук особливої точки, SIFT, SURF, зшивання кадрів.

**Вступ**

На сьогоднішній день відеоспостереження можна зустріти майже усюди: на маленькому чи великому підприємстві, у магазинах, на залізничних вокзалах та навіть на вулиці. Адже головне призначення системи відеоспостереження – отримання інформації про поточний стан об'єкту, що охороняється, шляхом збору, обробки, архівування, зберігання, відображення та аналіз цієї інформації.

Метою установки системи відеоспостереження зазвичай є перегляд місць, які важливо контролювати з точки зору збереження матеріальних цінностей (автостоянки, полиці супермаркетів, склади тощо), контролю за проникненням на об'єкт (прохідні, паркани, двері, ворота та інше), стеження за переміщенням об'єктів (вокзали, офіси, підприємства тощо). Відеоспостереження в сучасному світі, в тому числі в Україні, успішно використовується для моніторингу та управління технологічними процесами на виробництві, у сфері послуг.

На жаль, на підприємствах досі використовуються стандартні камери, які добре себе зарекомендували раніше. Але їх головний недолік – маленький кут огляду, тому підприємству потрібно налаштувати багато камер для огляду усєї території. Крім того, потрібно багато моніторів для перегляду інформації з цих камер, або об'єднати

відеоінформацію з камер на одному моніторі. Це призводить до виникнення труднощів в спостереженні у служби охорони.

Один з варіантів вирішення цієї проблеми – створення панорамного відео, яке б об'єднувало у собі кадри з декількох камер, а на екран монітору служби охорони виводилися лише одне відео.

## Мета роботи

*Метою* роботи є розробка забезпечення систем відеоспостереження шляхом розробки алгоритму створення панорамного відео з використанням методів пошуку особливих точок на зображенні.

Для досягнення мети в роботі були вирішені наступні *задачі*:

- вибір методів пошуку особливих точок на зображенні;
- розробка алгоритму створення панорамного відео з використанням обраного методу;
- програмна реалізація розробленого алгоритму створення панорамного відео з використанням обраного методу.

## Основна частина

Створення панорам, стереопари, розпізнавання зображень і знаходження на них об'єктів потребують співставлення декількох зображень. Для цього необхідно застосувати методи пошуку точок, які є загальними на обох зображеннях, а також пошук дескрипторів (описів) цих точок.

Особливі точки – такі точки, за якими можна класифікувати зображення, розпізнати його, які визначають якусь особливість зображення, унікальність. Як правило – це кутові точки, або ті, де різко змінюється колір, яскравість тощо. Потрібно вибирати такі точки, які вносять певний вклад в характеристику зображення, також необхідно вважати особливими такі точки, які з великою ймовірністю будуть знайдені на іншому зображенні. Кожен метод виявлення особливих точок повинен гарантувати інваріантність щодо будь-яких перетворень зображення [1].

Існує багато методів для пошуку особливих точок на зображенні. Вони відрізняються алгоритмом пошуку, побудовою дескрипторів та інваріантністю до масштабу чи повороту. Найбільш відомими і широко використовуваними алгоритмами пошуку особливих точок є метод SIFT (Scale Invariant Feature Transform) та метод SURF (Speeded Up Robust Features).

Метод SIFT (Scale Invariant Feature Transform) шукає особливі точки за допомогою піраміди гауссіанів та різниці гауссіанів. Дескриптори будуються за допомогою обчислення гістограми орієнтованих градієнтів в околі особливої точки [2]. Цей метод інваріантний до масштабу та повороту. Дескриптори також стабільні до змін у висвітленні, шумів і невеликих змін точки спостереження.

Під гауссіаном розуміється зображення, яке було розмите за допомогою фільтра Гаусса (1):

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y), \quad (1)$$

де  $L(x, y, \sigma)$  – значення гауссіанів у точці з координатами  $(x, y)$  та радіусом розмиття  $\sigma$ ;  $G(x, y, \sigma)$  – гауссове ядро;  $I(x, y)$  – значення вихідного зображення.

Під різницею гауссіанів розуміється зображення, яке отримується попіксельним відніманням гауссіана початкового зображення з гауссіана, у якого інший радіус розмиття  $k\sigma$  (2):

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma), \quad (2)$$

де  $D(x, y, \sigma)$  – значення різниці гауссіанів у точці з координатами  $(x, y)$  та радіусом розмиття  $\sigma$ ;  $L(x, y, k\sigma)$  – значення гауссіанів у точці з координатами  $(x, y)$  та радіусом розмиття  $k\sigma$ ;  $L(x, y, \sigma)$  – значення гауссіанів у точці з координатами  $(x, y)$  та радіусом розмиття  $\sigma$ .

Інваріантність щодо масштабу зображень в дескрипторах SIFT досягається за рахунок знаходження характерних точок на оригінальному зображенні, взятому в різних масштабах [2]. Саме для цього потрібна піраміда гауссіанів. Всі масштабовані простори (набори різних варіацій вихідного зображення, згладжених будь-яким фільтром) діляться на ділянки, які називаються октавами. При переході від однієї октави до наступної розміри зображення в два рази зменшуються. Далі добудовуються ще два гауссіана, що виходять за межі октави.

Одночасно з пірамідою гауссіанів будується і піраміда різниць гауссіанів, кількість зображень в якій буде на одне менше, ніж в першій.

Після побудови пірамід визначаються особливі точки. Точка вважається особливою, якщо вона є локальним екстремумом різниці гауссіанів. Кожна точка поточного зображення різниці гауссіанів порівнюється зі своїми вісьмома сусідніми точками і з дев'ятьма сусідніми точками, розташованими на рівень старше і молодше в піраміді.

Далі проводиться перевірка, яка визначає координати особливої точки з підвищеною точністю. Для цього треба апроксимувати функції різниць гауссіанів многочленом Тейлора другого порядку. Екстремум многочлена Тейлора обчислюється за допомогою прирівнювання похідної до нуля.

Коли визначено точки екстремуму, то проводиться перевірка на малість величини різниці гауссіанів в цій точці. Якщо ця перевірка точкою не буде пройдена, то вона теж виключається зі списку особливих.

Після попередніх двох перевірок проводиться остання. Якщо особлива точка лежить на контурі об'єкта, або ж ця точка погано освітлена, то її теж слід виключити.

У методі SIFT дескриптором є вектор. Як і напрямком особливої точки, дескриптор визначається на гауссіані, максимально наближеному за масштабом до особливої точки, і виходячи з градієнтів в деякій області особливої точки. Для початку ця область повертається на певний кут напрямку особливої точки, чим домагається інваріантності щодо операції повороту.

Метод SURF вирішує одночасно два завдання: пошук особливих точок зображення та створення їх дескрипторів, інваріантних до масштабування та обертання. Це означає, що дескриптор (опис) ключової точки завжди буде однаковим, навіть якщо зразок змінить свій розмір та/або буде повернений (тут і далі мова йде про обертання в площині зображення). Окрім того, сам пошук ключових точок також є інваріантним, у тому сенсі, що повернутий об'єкт сцени має той же набір ключових точок, що й зразок [2].

Для пошуку особливих точок метод використовує матрицю Гессе (3). Детермінант матриці Гессе досягає екстремуму в точках максимальної зміни градієнта яскравості. Завдяки цьому алгоритм добре виявляє плями, кути і края ліній [4].

$$H(f(x, y)) = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{vmatrix}, \quad \det(H) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2,$$

де  $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$ ,  $\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$ ,  $\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$  – похідні другого порядку.

Гессіан є інваріативним відносно обертання, але не є інваріативним масштабу. З цієї причини SURF використовує різномасштабні фільтри для знаходження гессіанів.

Для кожної ключової точки розраховує напрям максимальної зміни градієнту яскравості і масштаб, що береться з scale-коефіцієнта матриці Гессе. Градієнт в точці розраховується за допомогою фільтрів Хаара.

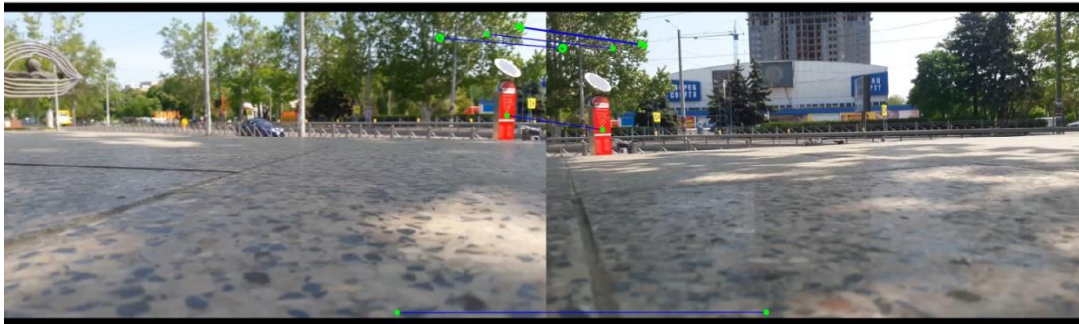
Для ефективного розрахунку фільтрів Гессе і Хаара використовується інтегральне представлення зображень. Інтегральне представлення – це матриця, розмірність якої співпадає з вимірністю початкового зображення, а елементи розраховуються за формулою

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

де  $I(i, j)$  – яскравість пікселя вихідного зображення.

Після знаходження ключових точок SURF формує їх дескриптори. Дескриптор представляє собою набір з 64 (або 128) чисел для кожної ключової точки. Ці числа відображають напрям градієнта навколо ключової точки. Оскільки ключова точка представляє собою максимум гессіана, то це гарантує, що в околі точки мають бути ділянки з різними градієнтами. Таким чином, забезпечується дисперсія (відмінність) дескрипторів для різних ключових точок.

Напрямок градієнта околів ключової точки розраховується відносно напрямку градієнта навколо точки в цілому (по всьому околу ключової точки). Таким чином, досягається інваріантність дескриптора відносно обертання. Одночасно з цим, розмір ділянки, на котрій розраховується дескриптор, визначається масштабом матриці Гессе, що забезпечує інваріантність відносно масштабу. Напрямок градієнту також розраховується за допомогою фільтра Хаара.



а



б

**Рис. 1.** Результат роботи методів пошуку ключових точок: а – результат роботи методу SIFT; б – результат роботи методу SURF

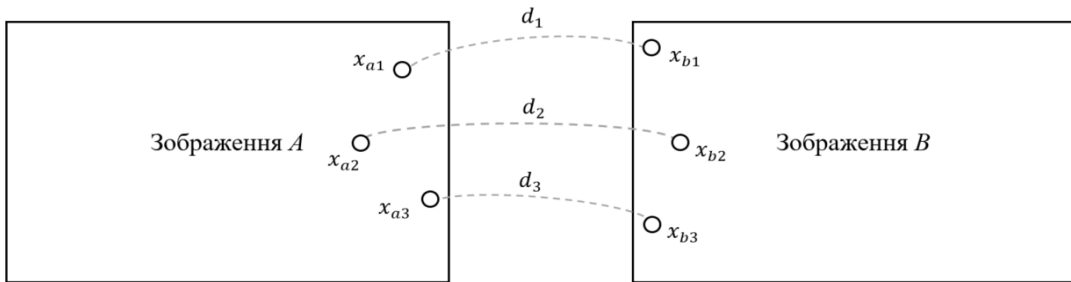
Алгоритм створення панорамного відео складається з таких трьох основних етапів:

- пошук особливих точок;
- відбір однієї або декількох особливих точок за критерієм;
- зшивання кадрів відео.

Для створення панорамного відео потрібно мати два та більше відео. Відео, що використовується, повинно мати області перехрестя друг з другом. Пошук особливих точок виконується на перших кадрах вхідних відео (рис. 1).

В результаті роботи методів SIFT або SURF маємо пари дескрипторів. Необхідно вибрати одну або декілька пар для подальшого зшивання кадрів.

Панорамне зображення буде зшиватися по одній точці. Але у результаті роботи алгоритму SIFT ми отримуємо декілька особливих точок. Для вибору однієї з них використовуємо певний критерій (рис. 2).



**Рис. 2.** Критерій відбору особливої точки

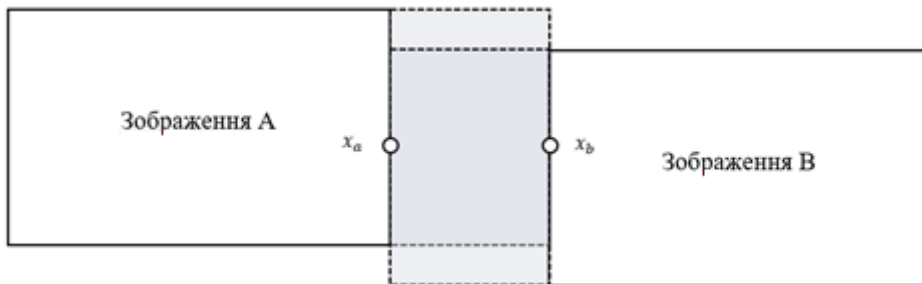
Для кожної пари  $\{x_{a1}, x_{b1}\}, \{x_{a2}, x_{b2}\} \dots \{x_{an}, x_{bn}\}$  дескрипторів знаходимо відстань  $d_i$ :

$$d_i = |(x_{ai} + m) - x_{bi}|, i = 1, \dots, n,$$

де  $a$  – зображення  $A$ ;  $b$  – зображення  $B$ ;  $n$  – номер пари  $\{x_a, x_b\}$ ;  $x_{an}$  – значення координати  $x$  на зображенні  $A$ ;  $x_{bn}$  – значення координати  $x$  на зображенні  $B$ ;  $m$  – довжина зображення.

Серед отриманих відстаней  $d_i$  знаходимо найменшу відстань, позначимо її  $d_j$ . Відповідна їй пара  $\{x_{aj}, x_{bj}\}$  буде потрібною особливою точкою.

Маємо особливі точки на зображеннях  $\{x_{aj}, y_{aj}\}$  та  $\{x_{bj}, y_{bj}\}$ . Тепер переходимо до зшивання кадрів. Ми будемо зшивати їх по горизонталі. Але для цього потрібно позбутися області, яка дублюється на обох зображеннях.



**Рис. 3.** Зшивання кадрів по обраній точці

Розглянемо основні кроки алгоритму створення панорамного відео:

**Крок 1.** Маємо два відео  $A = \{a^1, \dots, a^l\}$  та  $B = \{b^1, \dots, b^l\}$ , де  $l$  – кількість кадрів в відео.

**Крок 2.** Маємо два перших кадра  $a^1$  та  $b^1$ , розміру  $m \times k$ .

**Крок 3.** Для зображень  $a^1$  та  $b^1$  використовуємо метод SIFT для пошуку особливих точок. Нехай знайдені особливі точки є пари  $\{x_{a_1}, x_{b_1}\}, \{x_{a_2}, x_{b_2}\} \dots \{x_{a_n}, x_{b_n}\}$ , де  $x_{a_i}$  – координата  $x$  особливої точки на зображенні  $a^1$ ,  $x_{b_i}$  – координата  $x$  особливої точки на зображенні  $b^1$ .

**Крок 4.** Для кожної пари особливих точок, знайдених на кроці 2 обчислюємо відстані  $d_i = |(x_{a_i} + m) - x_{b_i}|, i = 1, \dots, n$ .

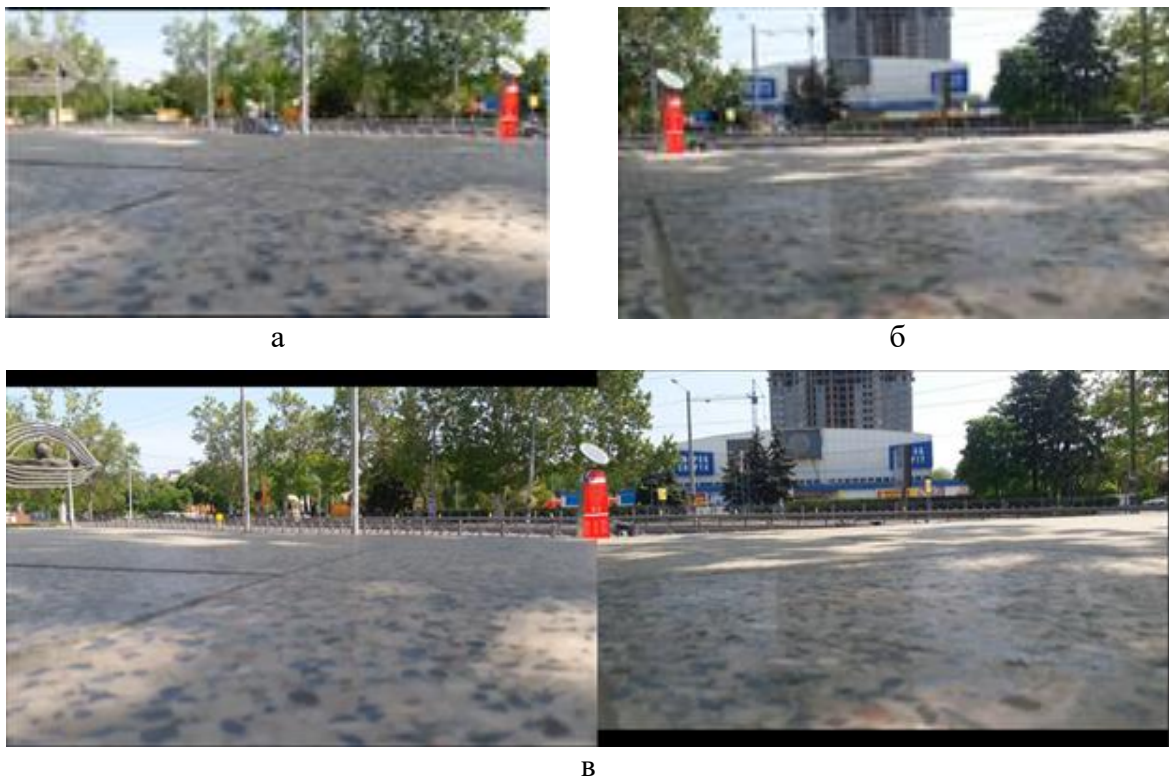
**Крок 5.** Серед знайдених відстаней  $d_i$  знаходимо найменшу відстань, позначимо її  $d_j$ , якій відповідає особлива точка  $\{x_{a_j}, x_{b_j}\}$ .

**Крок 6.** Для кожної пари кадрів з відео  $A = \{a^1, \dots, a^l\}$  та  $B = \{b^1, \dots, b^l\}$  виконуємо:

- об'єднуємо зображення  $a^f$  та  $b^f$  у точках  $x_{a_j}$  та  $x_{b_j}$  відповідно;
- маємо новий кадр  $c^f$ ;

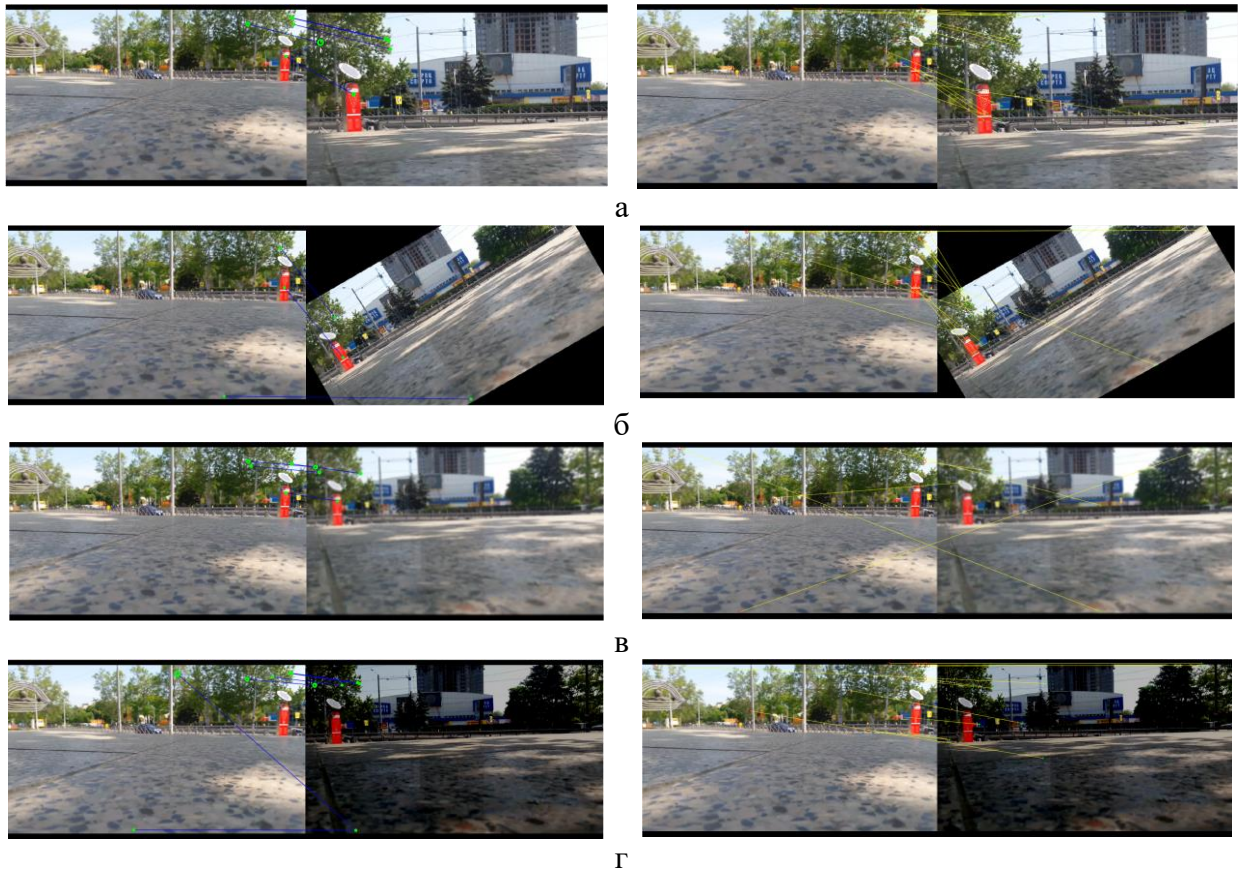
**Крок 7.** Маємо панорамне відео  $C = \{c^1, \dots, c^l\}$ .

Результат роботи розробленого алгоритму продемонстровано на рисунку 4.



**Рис. 4.** Результат зшивання перших кадрів з двох відео: а – перший кадр першого відео; б – перший кадр другого відео; в – панорамний кадр з перших кадрів

Для того щоб оцінити роботу методів SIFT та SURF проведемо дослідження та розглянемо ситуації, коли зображення масштабується, обертається, затемняється та розмивається. Також розглянемо, за який час впораються методи, якщо зображень буде 1, 50 чи навіть 100. Для цього візьмемо перші кадри відео, що досліджується. Результати досліджень представлені на рисунку 5 та в таблиці 1.



**Рис. 5.** Результат роботи методу SIFT (ліво) та методу SURF (право) при: а – масштабуванні; б – повороті; в – розмитті; г – зміні яскравості

**Таблиця 1.**

Порівняння методів SURF та SIFT

Кількість особливих точок		
Критерій	Метод SURF	Метод SIFT
Звичайні зображення	22	6
Масштаб	17	5
Поворот	13	4
Розмиття	5	5
Затемнення	15	6
Час роботи		
Кількість зображень	Метод SURF	Метод SIFT
1	0.33 секунди	0.95 секунд
50	18 секунд	56 секунд
100	40 секунд	1 хвилина 51 секунда

Таким чином, два методи працюють швидко, але метод SURF виявився швидше методу SIFT. Тому для використання цих методів у реальному часі рекомендується використовувати саме метод SURF. Також він знаходить більше особливих точок. Але з розмиттям краще справиться метод SIFT.

## Список літератури

1. Ивашечкин А. П. Методы нахождения особых точек изображения и их дескрипторов / А. П. Ивашечкин, А. Ю. Василенко, Б. Д. Гончаров // Молодой ученый. – 2016. – №15. – С. 138-140.
2. Золотых Н.Ю., Кустикова В.Д., Мееров И.Б. Обзор методов поиска и сопровождения транспортных средств на потоке видеоданных / Н.Ю. Золотых, В.Д. Кустикова, И.Б. Мееров // Вестник ННГУ – 2012. – №5-2. – С. 348-358.
3. Афиногенов Е.И. Метод автоматизированного формирования цифровой модели рельефа / Е.И. Афиногенов // Машиностроение и компьютерные технологии – 2013. – №12. – С. 375-400.
4. Джгаркава Г.М., Лавров Д.Н. Использование метода Surf для обнаружения устойчивых признаков изображения при создании сферических панорамных снимков / Г.М. Джгаркава, Д.Н. Лавров // МСiМ. – 2011. – №1 (22). – С. 95-99.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ ПАНОРАМНОГО ВИДЕО

Е.Ю. Лебедева, Д.О. Золотарева, В.М. Ситник

Одесский национальный политехнический университет,  
пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: o.y.lebedieva@onu.ua,  
allacia.gilbert@gmail.com, apeorin@gmail.com

В работе рассматривается алгоритм создания панорамного видео с нескольких видеопоследовательностей. Алгоритм разработано для систем видеонаблюдения. За последние годы системы видеонаблюдения стали основой надежной системы безопасности. Системы видеонаблюдения позволяют получить информацию о текущем состоянии охраняемого объекта, путем сбора, обработки, архивирования, хранения, отображения и анализа этой информации. Разработанный алгоритм обрабатывает видеопоследовательность из нескольких камер и создает единую видеопоследовательность, которая содержит всю информацию из обработанных видеопоследовательностей, базируется на алгоритмах поиска особой точки на изображениях. Особые точки — это такие точки, по которым можно классифицировать изображения, распознать его. Они определяют особенность изображения, его уникальность. В работе рассматриваются наиболее известные и широко использованные алгоритмы поиска особой точки. SIFT (Scale Invariant Feature Transform) и SURF (Speeded Up Robust Features). Метод SIFT ищет особые точки с помощью пирамиды гауссианов и разницы гауссианов. Дескрипторы строятся с помощью вычисления гистограммы ориентированных градиентов в окрестности особой точки. Для поиска особых точек метод SURF использует матрицу Гессе. Рассматриваются основные шаги разработанного алгоритма: поиск особых точек, отбор одной или нескольких особых точек по критерию, сшивания кадров видео. Приведены примеры работы разработанного алгоритма создания панорамного видео первых кадров видео. Проведено исследование методов SIFT и SURF в ситуациях, когда изображение масштабируется, вращается, затемняется и размывается, и приводится сравнение методов SURF и SIFT. В работе приводятся выводы об использовании методов SURF и SIFT в разработанном алгоритме создания панорамного видео.

**Ключевые слова:** видео, панорамное видео, изображения, особые точки на изображении, поиск особой точки, SIFT, SURF, сшивания кадров.



**DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CREATING PANORAMIC VIDEO**

E.Y. Lebedeva, D.O. Zolotareva, V.M. Sytnik

Odessa National Polytechnic University,  
Shevchenko Ave., 1, Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: o.y.lebedieva@opu.ua,  
allacia.gilbert@gmail.com, apeorin@gmail.com

This paper discusses the developed algorithm for creating a panoramic video of several video sequences. The algorithm was developed for video surveillance systems. In recent years, CCTV systems have become the basis of a robust security system. CCTV systems allow you to obtain information about the current status of a protected object by collecting, processing, archiving, storing, displaying, and analyzing this information. The developed algorithm processes a video sequence of several cameras and creates a single video sequence, which contains all the information from the processed video sequences, based on the search algorithms for a singular point in the images. Special points are those points by which you can classify images, recognize it. They determine the peculiarity of the image, its uniqueness. The paper considers the most well-known and widely used algorithms for finding a singular point. The SIFT (Scale Invariant Feature Transform) and SURF (Speeded Up Robust Features). The SIFT method looks for special points using the Gaussian pyramid and the Gaussian difference. Descriptors are constructed by computing a histogram of oriented gradients in the vicinity of a singular point. To find special points, the SURF method uses the Hessian matrix. The basic steps of the developed algorithm are considered: search of special points, selection of one or more special points by criterion, stitching of video frames. Here are some examples of how to create a panoramic video algorithm for the first video frames. SIFT and SURF methods have been investigated in situations where the image is scaled, rotated, dimmed and blurred and a comparison of SURF and SIFT methods is made. The paper presents conclusions about the use of SURF and SIFT methods in the developed algorithm for creating panoramic video.

**Keywords:** video, panoramic video, images, special points in the image, special point search, SIFT, SURF, frame stitching.