

УДК 004.932

doi:10.20998/2413-4295.2021.02.09

МЕТОД КОНТУРІВ ДЛЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В МОБІЛЬНИХ СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

С. Б. КОНДРАТЬЄВ¹, В. Л. КОСТЕНКО^{2*}, М. В. ЯДРОВА³

¹ кафедра проектного навчання в інформаційних технологіях, Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, УКРАЇНА

² кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, УКРАЇНА

³ кафедра інформаційних систем, Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, УКРАЇНА

*e-mail: kvl777@ukr.net

АНОТАЦІЯ В роботі розглянута можливість підвищення якості технічного зору за допомогою методу контурів, який використовується для позиціонування об'єктів в мобільних системах комп'ютерного зору. Апаратна частина системи позиціонування об'єктів включає дві відеокамери, мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3, екран контурної карти глибин, блок управління двигунами. Наведено коди програм на основі бібліотеки OpenCV, алгоритм роботи системи і приклади реалізації методу контурів. Алгоритм розробленої методики позиціонування включає виділення контурів об'єктів на кадрах стереопари, видалення всіх незамкнених контурів, обчислення моменту (центру мас) кожного замкнутого контуру, визначення зміщення по осі x моментів відповідних контурів, заливку кожного замкнутого контуру точками з яскравістю, прямо пропорційній зміщенню моментів. Наявність двох відеокамер, мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3, екрану контурної карти глибин забезпечує стереоскопічність і панорамність «зору», тобто можливість визначити наявність об'єктів і їх віддаленість, а також отримати загальну картину в полі «зору» системи. Наявність блоку управління двигунами дозволяє забезпечити обхід перешкод мобільними пристроями. На підставі аналізу результатів досліджень встановлено, що запропонована система забезпечує підвищення якості позиціонування об'єктів і зниження необхідного обчислювального ресурсу, що дає значне зменшення споживаної потужності і забезпечує автономність системи.

Ключові слова: метод контурів; карта глибин; комп'ютерний зір; відеокамера; позиціонування об'єктів; центр мас; бібліотека OpenCV

CONTOUR METHOD FOR POSITIONING OBJECTS IN MOBILE COMPUTER VISION SYSTEMS

S. KONDRATYEV¹, V. KOSTENKO², M. YADROVA³

¹ department of Project Training in Information Technology, Odessa Polytechnic State University, Odessa, UKRAINE

² department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Odessa Polytechnic State University, Odessa, UKRAINE

³ department of Information Systems, Odessa Polytechnic State University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The paper considers the possibility of solving the problem of improving the quality of technical vision using the contour method, which is used to position objects in mobile computer vision systems. The hardware part of the object positioning system includes two video cameras, a Raspberry Pi 3 microcomputer, a depth contour map screen, and a motor control unit. The codes of programs based on the OpenCV library, the algorithm of the system and examples of the implementation of the contour method are given. The algorithm of the developed positioning technique includes the selection of the contours of objects on the frames of a stereopair, removal of all open contours, calculation of the moment (center of mass) of each closed contour, determination of the displacement along the x-axis of the moments of the corresponding contours, filling each closed contour with points with a brightness inversely proportional to the displacement of the moments. The presence of two video cameras, a Raspberry Pi 3 microcomputer, a contour depth map screen provides stereoscopic and panoramic "vision", that is, the ability to determine the presence of objects and their distance, as well as to get an overall picture in the "field of view" of the system. The engine control unit allows mobile devices to avoid obstacles. Based on the analysis of the research results, it was found that the proposed system provides an increase in the quality of positioning of objects and a decrease in the required computing resource, which gives a significant decrease in power consumption and ensures the autonomy of the system.

Keywords: contour method; depth map; computer vision; video camera; object positioning; center of mass; OpenCV library

Вступ

Системам технічного зору, виявлення, розпізнавання і відстеження перешкод приділено в літературі багато уваги [1,2]. Використання сучасних комп'ютерних технологій, мікропроцесорних систем

спостереження за об'єктами, включаючи збір і первинну обробку даних, істотно активізувало впровадження систем комп'ютерного зору для мобільних пристроїв [3,4], а також систем виявлення об'єкта з його візуалізацією і розпізнаванням, отримання вимірювальної і діагностичної інформації

про характеристики об'єкта [5,6]. Разом з тим, рішення широкого кола сучасних виробничих та соціально-побутових завдань за допомогою мобільних стереоскопічних систем комп'ютерного зору часто ускладнюється отриманням недостатньо якісного об'ємного зображення об'єкта, тому дослідження проблеми підвищення якості та інформативності позиціонування об'єктів є актуальними.

Аналіз існуючих наукових досліджень і публікацій

На даний момент для обходу перешкод мобільними технічними засобами, позиціонування об'єктів в просторі і визначення відстані до них широко використовується метод стереоскопічного зору двох відеокамер [7], або, в разі ультразвукового зору, ультразвукових датчиків [8], розташованих на мобільному носії і рознесених по горизонталі. Аналіз отриманого зображення проводиться за допомогою методу карти глибин [9-11] за алгоритмом, що включає вимір зсуву по осі x кожної точки правого кадру і кореляційно відповідної такої ж точки лівого кадру.

При цьому зміщення по координаті x між пікселями правої і лівої камер корелює з відстанню до об'єкта. На відстані більше 10 м зсув по осі x практично дорівнює нулю і координати точок по осі x збігаються.

Пошук відповідної кореляційної точки відбувається строго уздовж лінії горизонтального рядка кожного кадру, тому для правильного визначення відстані до об'єктів під час калібрування по вертикалі (осі y на зображенні) позиція камер встановлюється таким чином, щоб горизонтальні рядки обох камер збігалися. Калібрування по горизонталі (осі x на зображенні) проводиться за допомогою повороту камер одна щодо іншої на такий кут, коли координати точок по осі x на відстані більше 10 м збігаються, тобто даний метод вимагає позиціонування камер з точністю до пікселя як по горизонталі, так і по вертикалі, що створює проблеми при юстуванні і знижує якість позиціонування об'єктів.

Для вирішення цієї проблеми застосовують цифрове калібрування підгону положення кадру однієї з камер для поєднання об'єктів і виконання, таким чином, описаних вище вимог [12]. Отримана карта глибин надалі використовується для управління мобільними об'єктами шляхом аналізу області точок, що знаходяться ближче певної відстані. При виявленні такої області в кадрі проводиться запуск алгоритму об'їзду або зупинки мобільної системи. Даний метод хороший тим, що не вимагає навчання і перенавчання нейромереж. Комп'ютер з карти глибин отримує відстань до перешкоди, і цю перешкоду не потрібно розпізнавати, що дає можливість знизити відсоток помилок.

Однак, навіть для ідеально точного позиціонування камер, карти глибин виходять недостатньо ефективними для застосування в

мобільних системах при об'їзді перешкод. Отримані зовнішні кордони об'єктів можуть мати край складної форми, що може привести до утрудненню при їх обході.

З метою підвищення якості опису, зберігання, розпізнавання, порівняння та пошуку об'єктів, використовують також методи виділення і аналізу контурів [13,14], які включають попередню обробку зображення, бінаризацію зображення, первинну фільтрацію, забезпечують інваріантність до масштабу, сортування, а також застосування спеціальних алгоритмів [15]. Простота і швидкодія контурного аналізу дозволяють цілком успішно застосовувати даний підхід при чітко вираженому об'єкті на контрастному фоні і відсутності перешкод.

До недоліків контурного аналізу можна віднести наступні його особливості: в разі однакової яскравості з фоном об'єкт може не мати чіткої межі, або може бути зашумлений перешкодами, що призводить до неможливості виділення контуру, а перекриття об'єктів або їх угруповання призводить до того, що контур виділяється неправильно і не відповідає межі об'єкта. Контурний аналіз має досить слабку стійкість до перешкод і будь-який перетин або лише часткова видимість об'єкта призводить або до неможливості детектування, або до помилкових спрацьовувань.

Формулювання мети досліджень

Дослідження, проведені в даній статті мають на меті підвищення якості позиціонування об'єктів в просторі за рахунок підвищення чіткості їх контурів і зниження обчислювальних ресурсів при визначенні відстані до об'єкта. Впровадження результатів досліджень дозволяє забезпечити впевнене виявлення об'єктів і їх позиціонування, обхід перешкод мобільними пристроями при використанні системи комп'ютерного стереозору, а також отримувати достовірну інформацію про об'єкти для інших систем, що використовують в своєму функціонуванні технічний зір.

При досягненні мети досліджень були поставлені наступні завдання:

- визначення основних етапів побудови контурів для визначення відстані до об'єктів;
- розробка програмно-апаратної частини підсистеми позиціонування об'єкту;
- експериментальна перевірка макету системи комп'ютерного стереозору.

Виклад основного матеріалу досліджень

Для реалізації поставлених цілей була розроблена система комп'ютерного зору, структурна схема апаратної частини якої приведена на рис.1 а. Плата *Raspberry Pi 3* з підключеними відеокамерами приведена на рис.1 б, мобільна платформа – на рис. 1 в.

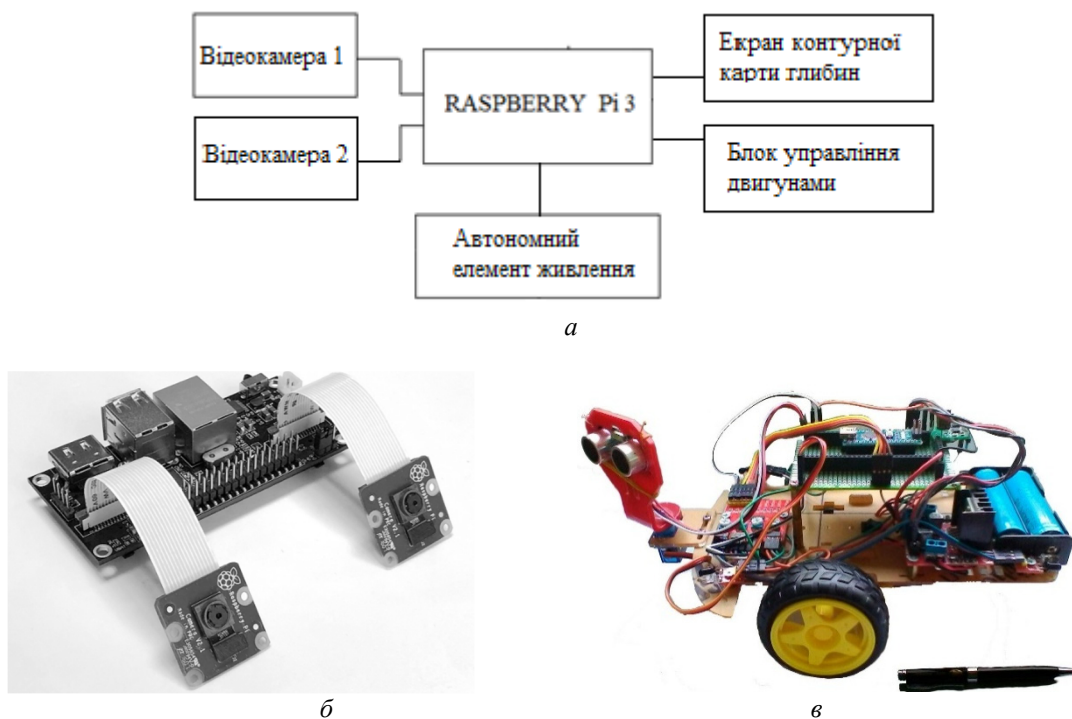


Рис. 1 – Система комп'ютерного зору: а – структурна схема апаратної частини системи; б – плата Raspberry Pi 3 з підключеними відеокамерами; в – мобільна платформа

Апаратна частина підсистеми позиціонування об'єктів включає дві відеокамери, мікрокомп'ютер, екран контурної карти глибин, блок керування двигунами (рис. 1 а). Мобільна система розроблена на базі мобільної платформи, яка описана в [16]. З урахуванням оптимального співвідношення ціни і експлуатаційних характеристик, в системі використовується одноплатний комп'ютер *Raspberry Pi 3* і *Stereo Pi* відеокамери з характеристиками: 8 Мп, 1080 п / 720 п. [17,18]. Система отримує напругу від автономного елемента живлення. Алгоритм роботи системи наведено на рис. 2.

На підставі наведеного алгоритму було виділено п'ять основних операцій:

1. Виділення контурів об'єктів на кадрах стереопари.

При цьому виділяються не тільки окремі об'єкти, але і фон цих об'єктів (рис. 3).

2. Після отримання картини контурів кожен контур перевіряється на замкнутість за допомогою флага *CV_SEQ_FLAG_CLOSED*.

Слід зазначити, що алгоритм виділення контурів не завжди розпізнає тільки замкнуті контури, і це може стати причиною зникнення цілих об'єктів з поля зору. Розробка сталого методу виділення зовнішніх контурів об'єктів теоретично не вирішена для всіх випадків, і розробники творчо підходять до цього рішення, наприклад, можна ітеративно змінювати поріг фільтра *Canny* та виконувати морфологічне закриття до тих пір, поки не буде знайдено замкнутий контур.

Вид отриманих кадрів наведено на рис. 4.

Після побудови всіх знайдених контурів незамкнуті контури видаляються (рис. 4 а) так як їх неможливо заповнити точками з рівнем яскравості, обернено пропорційним відстані - заливка «розтікається» на весь кадр.

3. У решти замкнутих контурів визначають «центри мас» за допомогою функції *cv2.moments (cnt)*. На рис. 4 б «центри мас» позначені точками.

Вид кадру на етапі зміщення по осі *x* між центрами мас однакових контурів в лівому і правому кадрі відеокамер системи представлено на рис. 4 в.

4. Вид кадру отриманого зображення на етапі заповнення точками, яскравість яких прямо пропорційна зсуву між центрами мас контурів і обернено пропорційна відстані до об'єкта представлено на рис. 4 г.

Для реалізації алгоритму використана бібліотека *OpenCV* [19].

Для пошуку контурів використана функція *cvFindContours ()*, при цьому функція *cvFindContours ()* може знаходити зовнішні і вкладені контури і визначати їх ієрархію вкладення, а відобразити знайдені контури можна за допомогою функції *cvDrawContours ()*.

Якщо задати параметром функції метод *CV_CHAIN_CODE*, то *cvFindContours ()* поверне ланцюговий код Фрімана, працювати з яким можна з використанням методів:

```
CVAPI(void) cvStartReadChainPoints(CvChain* chain, CvChainPtReader* reader);
```

```
CVAPI(CvPoint) cvReadChainPoint(CvChainPtReader* reader).
```

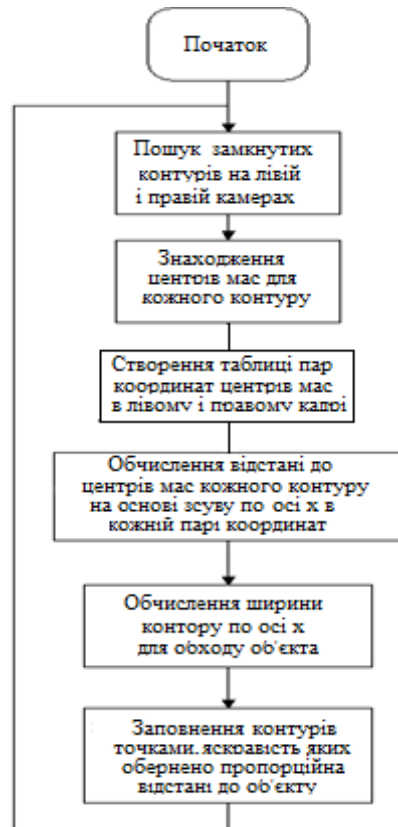


Рис. 2 – Алгоритм роботи системи

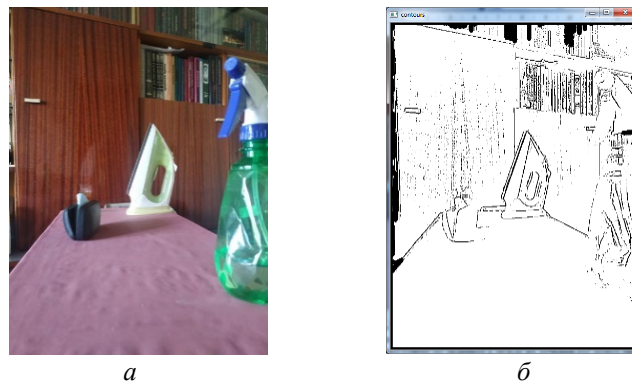


Рис. 3 – Кадри стереопари: а – реальний кадр; б – кадр у вигляді виділених контурів

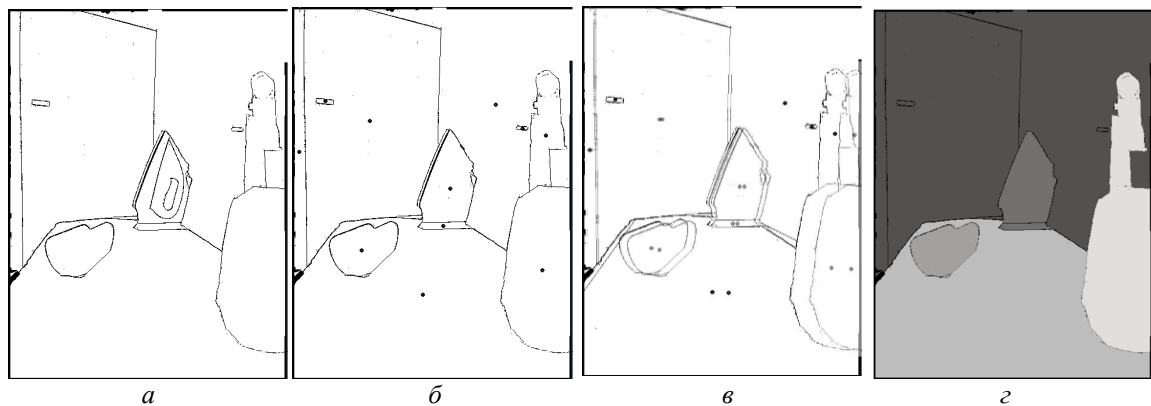


Рис. 4 – Кадри зображення: а – після видалення незамкнутих контурів; б – з «центрами мас»; в – визначення зміщення по осі x між центрами мас однакових контурів в лівому і правому кадрі; г) – заповнення контурів точками, яскравість яких обернено пропорційна відстані до об'єкту

Для отримання вихідного 8-бітного одноканального зображення (ненульові пікселі обробляються як логічна одиниця, а нульові як логічний нуль) з градацій сірого можна, наприклад, використовувати функції `cvThreshold ()` або `cvCanny ()`. Слід зазначити, що функція `cvFindContours ()` може знаходити зовнішні і вкладені контури і визначати їх ієрархію вкладення. При цьому відобразити знайдені контури можна за допомогою функції `cvDrawContours ()`:

```
VAPI(void) cvDrawContours( CvArr *img,
CvSeq* contour;
CvScalarexternal_color, CvScalarhole_color;
intmax_level, int thickness CV_DEFAULT(1);
intline_type CV_DEFAULT(8);
CvPoint offset CV_DEFAULT(cvPoint(0,0))).
```

Основна частина програми виділення контурів і їх прорисовка в кадрі має наступний вигляд:

```
#-----
# права камера
#-----
# find contours in the thresholded image
cnts = cv.findContours(threshRight.copy(), cv.RETR_EXTERNAL, cv.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cnts = imutils.grab_contours(cnts)
# loop over the contours
for c in cnts:
moments = cv.moments(c)# compute the center of the contour
dM01 = moments['m01']
dM10 = moments['m10']
dArea = moments['m00']

# виділяємо моменти, які містять контури з площею більше 400 пікселів
if dArea > 400:
x = int(dM10 / dArea)
y = int(dM01 / dArea)
cv.circle(imgRight, (x, y), 5, (0, 255, 0), -1) # точка центру мас контура наimgRight
cv.circle(imgLeft, (x, y), 5, (0, 255, 0), -1) #точка центру мас на imgLeft
cv.drawContours(imgRight, [c], -1, (0, 255, 0), 1) #контур наimgRight
cv.drawContours(imgLeft, [c], -1, (0, 255, 0), 1) #контур наimgLeft
cv.imshow("contoursRight", imgRight) # виводимо підсумкове зображення у вікно
```

Для лівої камери все робиться аналогічно, тільки в картинку для лівої камери вже прорисовані контури і центри мас з правого камери для контролю розбіжності центрів мас. Розбіжність центрів мас використовується для обчислення відстані до контуру.

Слід зазначити, що запропонований метод дозволяє огинати об'єкти при використанні системи

стереозору на пересувних платформах (мобільних пристроях). Робота з картою контурів при об'їзді відбувається наступним чином: в зображенні карти контурів виділяється область (рис. 5), яка відповідає зовнішнім розмірам пересувної платформи, її правим і лівим краям (бортам). Можна назвати її «областю бортів платформи».

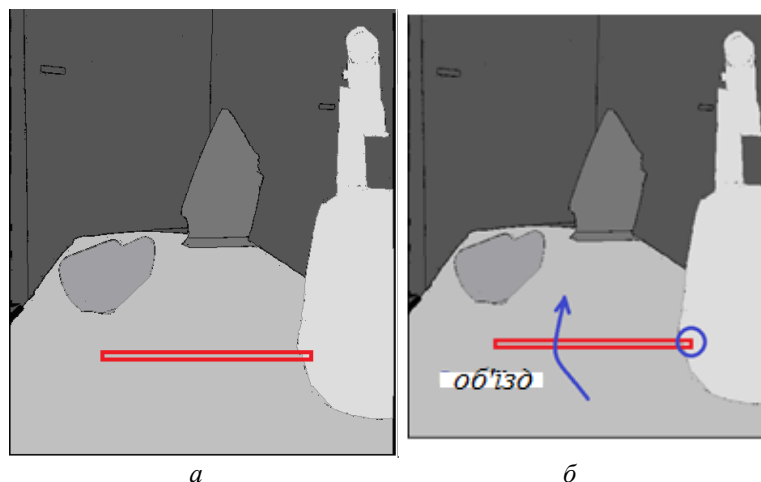


Рис. 5 – Вид контурів, що пояснює об'їзд об'єктів при використанні системи стереозору на мобільних пристроях: а – визначення відстані до перешкоди; б – формування шляхів об'їзду

Всередині прямокутника перевіряється рівень яскравості всіх його точок, що визначають відстань до перешкоди (рис 5 а), кількість яких невелика, що знижує навантаження на обчислювальні ресурси. У програмі перевірки рівня яскравості встановлено поріг яскравості, при перевищенні якого робиться висновок, що об'єкт знаходиться надто близько (чим яскравіше об'єкт, тим ближче). Далі, в залежності від координат небезпечного контуру в області бортів платформи – справа, зліва, по центру, формується рішення про шляхи об'їзду перешкоди (контуру) – об'їзд справа, зліва тощо. На рис. 5 б формується об'їзд перешкоди зліва.

З метою зменшення завантаження процесора за рахунок зменшення площі оброблюваної картини, запропоновано обмеження кадру по вертикалі і обмеження області виділення контурів.

Код програми обмеження для правої камери має наступний вигляд:

```
# Camerasettings
```

```
camWidth = 1280 # розмір кадру по горизонталі
```

```
camHeight = 240 # зменшений розмір кадру по вертикалі
```

Висновки

Розглянуто проблему підвищення якості комп'ютерного стереозору. Розроблено систему позиціонування об'єктів в просторі, що дозволяє підвищити точність позиціонування. Запропонована система позиціонування об'єктів за своїми функціональними можливостями займає проміжне положення між далекоміром, тобто покажчиком відстані до виділеного одного об'єкта і картою глибин, визначення для якої дано, як «карта відстаней для кожної точки».

Дана система виділяє безліч об'єктів і формує карту глибин до кожного з них, при цьому запропонований контурний метод обробки стереозображень реалізує карту відстаней (глибин) до виділених об'єктів, а не точок зображення. Для обходу перешкод мобільним пристроєм, з запропонованою системою технічного зору, такої інформації достатньо.

Зниження навантаження на процесор при контурному методі має місце тому, що основна робота йде не з кожною точкою зображення, а з набором контурів, тобто об'єктів, кількість яких значно менше обсягу масиву точок зображення. При цьому контури не кодують масивом всіх точок, з яких вони складаються, а апроксимуються ламаними лініями, і зберігаються не всі точки ліній, а тільки точки перегинів. Контур зберігається як багатокутник, при цьому запам'ятовуються лише координати його кутів, а лінії, що з'єднують між собою кути, добуваються при виведенні контуру на екран.

Різке (в 2–3 рази) зниження обчислювальної навантаження при роботі з контурами дає значне зниження (на 30–50%) споживаної потужності, що дає

можливість роботи з автономним джерелом живлення в мобільних системах з комп'ютерним стереозором.

Розроблено алгоритм роботи системи. Програмна частина підсистеми позиціонування об'єктів реалізована на основі бібліотеки *OpenCV* і забезпечує досягнення поставленої в роботі мети. Програмним шляхом формується спільна робота двох відеокамер з метою отримання інформації про відстань до об'єкта і його габаритах.

На основі даних досліджень був зібраний і випробуваний макет пристрою з автономним елементом живлення 5 В, в якості якого може бути використаний, на розсуд користувача, стандартний *PowerBank*, портативний блок живлення, зовнішній акумулятор. Струм споживання системи, в залежності від складності, знаходиться в межах 500–800 мА, тобто споживана потужність становить 2,5–4 Вт.

Наявність двох відеокамер, мікрокомп'ютера *Raspberry Pi 3*, екрану контурної карти глибин забезпечує стереоскопічність і панорамності «зору», тобто можливість визначити наявність об'єктів і їх віддаленість, а також отримати загальну картину в полі «зору» системи. Наявність блоку управління двигунами дозволяє забезпечити обхід перешкод мобільними пристроями.

На підставі аналізу результатів досліджень встановлено, що запропонована система забезпечує підвищення якості позиціонування об'єктів і зниження необхідного обчислювального ресурсу, що дає значне зменшення споживаної потужності і забезпечує автономність системи.

Впровадження результатів досліджень дозволяє забезпечити впевнене виявлення об'єктів і їх позиціонування, об'їзд перешкод мобільними пристроями, а також дає можливість отримувати достовірну інформацію про об'єкти для інших систем, що використовують в своєму функціонуванні технічний зір.

Список літератури

1. Vinh Dinh Nguyen, Hau Van Nguyen, Dinh Thi Tran, Sang Jun Lee, Jae Wook Jeon. Learning framework for robust obstacle detection, recognition, and tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2016. 18 (6). P. 1633-1646. doi: 10.1109/TITS.2016.2614818.
2. Костенко В. Л., Кондратьев С. Б., Ядрова М. В., Стельмах Д. Е. Квазистереоскопическая система обнаружения препятствий для слепых на базе RASPBERRY PI 3 и STM8L. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 2 (4). С. 64–75. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.09.
3. Sergeeva O., Lusenko V., Dubovick T. & Patalakha M. 2020. Development of a Wi-Fi controlled mobile video device on the Arduino NANO basis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 3. 9 (105). P. 55–60. doi: 10.15587/1729-4061.2020.206558.
4. Костенко В. Л., Кондратьев С. Б., Ядрова М. В., Попов Д. О. Энергоэффективная система панорамного ультразвукового обнаружения препятствий для слепых.

- Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». 2018. №16 (1292). С. 47–56. doi:10.20998/2413-4295.2018.16.07
5. Cuong Cao Pham, Jae Wook Jeon. Robust object proposals re-ranking for object detection in autonomous driving using convolutional neural networks. *Signal Processing: Image Communication*. 2017. 53. P. 110–122. doi: 10.1016/j.image.2017.02.007.
 6. Udovenko S. & Sorokin A. Локалізація і навігація мобільних роботів в середі з змінюваними властивостями. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 2. 9 (98). P. 29–36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.164337.
 7. Смирнов А. В., Беззубцев А. Ю. Обход препятствий подвижными техническими средствами с использованием стереозрения. *Программные системы: теория и приложения*. 2016. №4 (31). С. 331–346.
 8. Попов Д. А., Костенко В. Л., Ядрова М. В., Кондратьев С. Б. Разработка мультисенсорного сонара для слепых на основе микроконтроллера stm8L. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2018. № 30–31. С. 126–131.
 9. Sebastiano Battiato, Salvatore Curti, Marco La Cascia, Marcello Tortora and Emiliano Scordato. Depth map generation by image classification. *In Proceedings of SPIE*. 2004. Vol. 5302. P. 95–104. doi: 10.1117/12.526634.
 10. Asra Aslam, Mohd. Samar Ansari. Depth-Map Generation using Pixel Matching in Stereoscopic Pair of Images. arXiv:1902.03471v3 [cs.CV]. 15 May 2019.
 11. Fahmy A. A., Ismail O and Al-Janabi A. K. Stereovision based depth estimational gorithminun calibrated rectification. *International Journal of Video & Image Processing & Network Security*. 2013. 13(2).
 12. Учет влияния дестабилизирующих факторов для повышения точности измерений дальномера на основе стереоизображений. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-vliyaniya-destabiliziruyuschih-faktorov-dlya-povysheniya-tochnosti-izmereniy-dalnomera-na-osnove-sterеоizobrazheniy> (дата звернення 05.02.2021).
 13. Поиск области контура OpenCV. URL: <https://www.rupython.com/opencv-22-34417.html> (дата звернення 06.02.2021).
 14. Ruban I., Khudov N., Makoveichuk O., Chomik M., Khudov V., Khizhnyak I., Podlipaiev V., Sheviakov Y., Baranik O., & Irkha A. Разработка методов определения контуров объектов на тоновых аэрокосмических изображениях на основе муравьиных алгоритмов. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 5. 9 (101). P. 25–34. doi: 10.15587/1729-4061.2019.177817.
 15. Как отобразить контуры изображения с помощью Open CV Python? URL: <https://overcoder.net/q/1003887/как-отобразить-контуры-изображения-с-помощью-оренсв-python> (дата звернення 05.02.2021).
 16. Інформаційні технології діагностування та вдосконалення енергетичного обладнання і умов його експлуатації: монографія / О. О. Арсірій та ін.; за ред. О. О. Арсірій: монографія – Одеса: Бондаренко М. О. 2019. 158 с. ISBN 978-617-7613-45-8.
 17. Installation – Raspberry Pi Documentation. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/> (дата звернення 05.02.2021).
 18. Best Raspberry Pi Accessories of 2021. URL: <https://www.tomshardware.com/best-picks/best-raspberry-pi-accessories> (дата звернення 05.02.2021).
 19. Open Source Computer Vision Library. GitHub. URL: <https://github.com/opencv/opencv> (дата звернення 03.02.2021).

References (transliterated)

1. Vinh Dinh Nguyen, Hau Van Nguyen, Dinh Thi Tran, Sang Jun Lee, Jae Wook Jeon. Learning framework for robust obstacle detection, recognition, and tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 18 (6), pp. 1633-1646, doi: 10.1109/TITS.2016.2614818.
2. Kostenko, V., Kondratyev, S., Yadrova, M., Stelmakh, D. Quasistereoscopic obstacle detection system for the blind on the basis RASPBERRY PI 3 and STM8L. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 2 (4), pp. 64–75, doi:10.20998/2413-4295.2020.02.09.
3. Sergejeva O., Lusenko V., Dubovick T. & Patalakha M. 2020. Development of a Wi-Fi controlled mobile video device on the Arduino NANO basis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 3, 9 (105), pp. 55–60, doi: 10.15587/1729-4061.2020.206558.
4. Kostenko, V., Kondratyev, S., Yadrova, M., Popov, D. Energy efficient system of panoramic ultrasonic obstruction obstacles for the blind. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 16 (1292), pp. 47–56, doi:10.20998/2413-4295.2018.16.07.
5. Cuong Cao Pham, Jae Wook Jeon. Robust object proposals re-ranking for object detection in autonomous driving using convolutional neural networks. *Signal Processing: Image Communication*, 2017, 53, pp. 110–122, doi: 10.1016/j.image.2017.02.007.
6. Udovenko S. & Sorokin A. 2019. Lokalizaciya i navigaciya mobil'nyh robotov v srede s izmenyaemyimi svojstvami. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 2, 9 (98), pp. 29–36, doi: 10.15587/1729-4061.2019.164337.
7. Smirnov A. V., Bezzubcev A. Yu. Obhod prepyatstvij podvizhnymi tekhnicheskimi sredstvami s ispol'zovaniem stereozreniya. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*, 2016, 4 (31), pp. 331–346.
8. Popov D. A., Kostenko V. L., Yadrova M. V., Kondrat'ev S. B. Razrabotka mul'tisensornogo sonara dlya slepyh na osnove mikrokontrollera stm8L. *Komp'yuterno-integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobnictvo*, 2018, 30–31, pp. 126–131.
9. Sebastiano Battiato, Salvatore Curti, Marco La Cascia, Marcello Tortora and Emiliano Scordato. Depth map generation by image classification. *In Proceedings of SPIE*, 2004, 5302, pp. 95–104, doi: 10.1117/12.526634.
10. Asra Aslam, Mohd. Samar Ansari. Depth-Map Generation using Pixel Matching in Stereoscopic Pair of Images. arXiv:1902.03471v3 [cs.CV] 15 May 2019.
11. Fahmy A. A., Ismail O and Al-Janabi A. K. Stereovision based depth estimational gorithminun calibrated rectification. *International Journal of Video & Image Processing & Network Security*, 2013, 13(2).
12. Uchet vliyaniya dnestabiliziruyuschih faktorov dlya povysheniya tochnosti izmerenij dal'nomera na osnove stereoisobrazhenij. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-vliyaniya-destabiliziruyuschih-faktorov-dlya->

- povysheniya-tochnosti-izmereniy-dalnomera-na-osnove-stereoizobrazheniy (accessed 05.02.2021).
13. Poisk oblasti kontura OpenCV. Available at: <https://www.rupython.com/opencv-22-34417.html> (accessed 06.02.2021).
 14. Ruban I., Khudov H., Makoveichuk O., Chomik M., Khudov V., Khizhnyak I., Podlipaiev V., Sheviakov Y., Baranik O., & Irkha A. 2019. Razrabotka metodov opredeleniya konturov ob'ektov na tonovyh aerokosmicheskikh izobrazheniyah na osnove murav'inyh algoritmov. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 5, 9 (101), pp. 25–34, doi: 10.15587/1729-4061.2019.177817.
 15. Kak otobrazit' kontury izobrazheniya s pomoshch'yu Open CV Python? Available at: <https://overcoder.net/q/1003887/>
 16. Informacijni tekhnologii diagnostuvannya ta vdoskonalennya energetichnogo obladnannya i umov jogo ekspluatatsii: monografiya. O. O. Arsirij ta in.; za red. O. O. Arsirij: monografiya. Odessa. Bondarenko M. O. 2019. 158 s.
 17. Installation – Raspberry Pi Documentation. Available at: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/> (accessed 05.02.2021).
 18. Best Raspberry Pi Accessories of 2021. Available at: <https://www.tomshardware.com/best-picks/best-raspberry-pi-accessories> (accessed 05.02.2021).
 19. Open Source Computer Vision Library. GitHub. Available at: <https://github.com/opencv/opencv> (accessed 03.02.2021).

Відомості про авторів (About authors)

Кондратьев Сергей Борисович – старший викладач, кафедра проектного навчання в інформаційних технологіях, Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна; ORCID: 0000-0003-4975-5757; e-mail: kondratiev@opu.ua

Sergey Kondratyev – Senior Lecturer, Odessa Polytechnic State University, department of Project Training in Information Technology, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4975-5757; e-mail: kondratiev@opu.ua

Костенко Віталій Леонідович – доктор технічних наук, професор, Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна; професор кафедри металорізальних верстатів, метрології та сертифікації; Одеса, Україна; ORCID: 0000-0002-8922-4232; e-mail: kv1777@ukr.net

Vitaliy Kostenko – doctor of Technical Sciences, Professor, Odessa Polytechnic State University, department of Metal-cutting machines Metrology and Certification; Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8922-4232; e-mail: kv1777@ukr.net

Ядрова Марина Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Державний університет «Одеська політехніка», доцент кафедри інформаційних систем, Одеса, Україна; ORCID: 0000-0001-7517-496X; e-mail: yadrova@opu.ua

Marina Yadrova – Associate Professor, Odessa Polytechnic State University, department of Information Systems, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7517-496X; e-mail: yadrova@opu.ua

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кондратьев С. Б., Костенко В. Л., Ядрова М. В. Метод контурів для позиціонування об'єктів в мобільних системах комп'ютерного зору. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 2 (8). С. 62-69. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.09.

Please cite this article as:

Kondratyev S., Kostenko V., Yadrova M. Contour method for positioning objects in mobile computer vision systems. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 2 (8), pp. 62-69, doi:10.20998/2413-4295.2021.02.09.

Пожадується, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кондратьев С. Б., Костенко В. Л., Ядрова М. В. Метод контуров для позиционирования объектов в мобильных системах компьютерного зрения. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 2 (8). С. 62-69. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.09.

АННОТАЦИЯ В работе рассмотрена возможность повышения качества технического зрения с помощью метода контуров, который используется для позиционирования объектов в мобильных системах компьютерного зрения. Аппаратная часть системы позиционирования объектов включает две видеокамеры, микрокомпьютер Raspberry Pi 3, экран контурной карты глубин, блок управления двигателями. Приведены коды программ на основе библиотеки OpenCV, алгоритм работы системы и примеры реализации метода контуров. Алгоритм разработанной методики позиционирования включает выделение контуров объектов на кадрах стереопары, удаление всех незамкнутых контуров, вычисление момента (центра масс) каждого замкнутого контура, определение смещения по оси x моментов соответствующих контуров, заливку каждого замкнутого контура точками с яркостью, прямо пропорциональной смещению моментов. Наличие двух видеокамер, микрокомпьютера Raspberry Pi 3, экрана контурной карты глубин обеспечивает стереоскопичность и панорамность «зрения», т. е. возможность определить наличие объектов и их удаленность, а также получить общую картину в поле «зрения» системы. Наличие блока управления двигателями позволяет обеспечить обход препятствий мобильными устройствами. На основании анализа результатов исследований установлено, что предложенная система обеспечивает повышение качества позиционирования объектов и снижение необходимого вычислительного ресурса, что дает значительное уменьшение потребляемой мощности и обеспечивает автономность системы.

Ключевые слова: метод контуров; карта глубин; компьютерное зрение; видеокамера; позиционирование объектов; центр масс; библиотека OpenCV

Надійшла (received) 29.04.2021