

3. Отримано результати, які можна застосувати при розроблені нових оптичних приладів, встановлюваних на рухомих носіях для вимірювання координат об'єктів у СПК або в інших системах координат.

#### Література

1. Малков, М. А. Танковые прицелы и приборы наблюдения [Текст] / М. А. Малков. — М.: Военное издательство МО СССР, 1961. — 274 с.
2. Малышев, В. В. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов [Текст] / В. В. Малышев и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 311 с.
3. Безвесільна, О. М. Системи керування навігаційних систем рухомих об'єктів [Текст] / О. М. Безвесільна, Ю. В. Киричук, С. С. Ткаченко. — Житомир: ЖДТУ, 2010. — 174 с.
4. Мясоєдов, Г. Б. Проектирование навигационных систем управляющих комплексов [Текст] / Г. Б. Мясоєдов, В. М. Тимофеев. — Л., 1990. — 53 с.
5. Хомченко, А. Я. Система индикации положения линии визирования панорамного прибора наблюдения [Текст] / А. Я. Хомченко, И. В. Мазурин, В. И. Гордиенко, В. Н. Замосенчук // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2005. — № 1(14). — С. 42–45.
6. Гусев, Д. И. Оценка параметров системы определения взаимных координат перспективных самолетов при реализации режима группового самолетовождения [Электронный ресурс] / Д. И. Гусев // Электронный журнал «Труды МАИ». — М.: МАИ, 2011. — № 44. — Режим доступа: \www/URL: http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=24996
7. Биньковская, А. Б. Измерение координат подвижного объекта с помощью инерциальной навигационной системы [Текст] / А. Б. Биньковская // XIII міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика-2006). — Вінниця: ВНТУ, 2006. — С. 265.
8. Петров, Н. Н. Системы и комплексы технических средств местоопределения подвижных объектов [Текст] / Н. Н. Петров // Специальная техника. — М., 1998. — № 3. — С. 7–11.
9. Бурга, А. В. Сравнительный анализ пассивных методов измерения дальности для малого беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] / А. В. Бурга, В. М. Костю-

ков // Электронный журнал «Труды МАИ». — М.: МАИ, 2012. — Вып. № 53. — Режим доступа: \www/URL: http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29624

10. Прохорцов, А. В. Методы определения координат и скорости подвижных объектов с помощью спутниковых радионавигационных систем [Текст] / А. В. Прохорцов, В. В. Савельев // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2011. — № 2. — С. 264–274.
11. Roller, D. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes [Text] / D. Roller, Daniilidis Kostas, Nagel Hans-Hellmut // International Journal of Computer. — 1993. — Vision 10.3. — P. 257–281.

#### СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Предложен оригинальный метод определения координат объектов до нанесения их на топографические карты в прямоугольной системе координат путем визирования углового положения объекта навигационной системой (комплексом) с подвижного носителя и получены математические выражения для расчета координат объекта в системе прямоугольных координат на основе многократного измерения только одной координаты курса.

**Ключевые слова:** координата, объект поиска, носитель, визирование, математическая модель, среднеквадратичная погрешность, система управления.

*Киричук Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», Україна, e-mail: kirichuky@email.ua.*

*Киричук Юрій Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра приборостроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический университет», Украина.*

*Kyrychuk Yuri, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: kirichuky@email.ua*

УДК 53.088.6:681.7.014.7:57.034(045)

Оникієнко Ю. Ю.

## МЕТОД КАЛІБРУВАННЯ ВІДЕОКАМЕРИ ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ КООРДИНАТ РУХУ БІООБ'ЄКТУ

*Представлено аналіз результатів визначення внутрішніх та зовнішніх параметрів відеокамери для кефалографічної системи. Виявлено критичний параметр, що впливає на безпосереднє визначення центру координат досліджуваного об'єкта. Розроблена методика калібрування відеокамер для кефалографічної системи, що базується на використанні плоского калібрувального об'єкта у вигляді шахової дошки.*

**Ключові слова:** кефалографічна система, процедура калібрування, сумарна дисторсія, модель камери, калібрувальний об'єкт.

### 1. Вступ

Сучасні системи технічного зору та відео датчики являються одним з найбільш ефективних інструментів в задачах безконтактного вимірювання біометричних параметрів тіла людини, геометричних розмірів об'єктів в просторі, виявлення різноманітних дефектів продукції тощо. При чому для вирішення таких задач можуть ви-

користуватись відносно недорогі цифрові відеокамери. Зазвичай, такі відеокамери по точності результатів не в змозі конкурувати зі спеціалізованою апаратурою, як наприклад для фотограмметрії, та незважаючи на це існує велике коло задач, де вони можуть успішно використовуватись.

Однією з таких задач є модифікація методики дослідження позних рефлексів людини — кефалографії [1].

В основі даної методики лежить застосування відеореєстрації інтегрального показника результуючої роботи статокінетичної функції — переміщення вертексу в просторі, що позначається маркером прямокутної форми [2].

Однією з основних задач при обробленні вихідної послідовності зображень кефалографічної системи є визначення координат центру заданого маркера. Отримані координати для кожного моменту часу зберігаються в пам'яті. На основі цих координат будується траєкторія руху вертексу.

Необхідно звернути увагу на два достатньо складних моменти, а саме на процес перетворення реальних координат положення вертексу в координати пристрою та розпізнавання границь маркера. Опис графічного об'єкту — маркера — подається в вигляді значень координат в зовнішній системі відліку, яке представляє собою координати точки. Однак, коли відбувається перетворення стандартів розгортки в буфері кадрів, вхідний опис трансформується в координати пікселів, що займають кінцеву площу екрана, тому отримане растрове зображення відповідає заданому об'єкту з деякою похибкою.

Таким чином можна зробити висновок, що зведення даної похибки до мінімуму дозволить підвищити точність відтворення переміщення вертексу в просторі і як наслідок покращити якість оцінювання статокінетичної функції людини.

Цим обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Одним із шляхів зменшення та врахування похибки графічного перетворення координат об'єкту дослідження в координати пристрою є процедура калібрування відеокамери та отримання так званої моделі відеокамери, що приблизно описує її параметри [3].

Існує декілька підходів для проведення процедури калібрування. Серед них можна виокремити наступні:

а) алгоритм Roger Y. Tsai [4]. Він складається з двох етапів, на першому з яких визначаються параметри зовнішнього калібрування (це параметри, що зв'язують систему координат камери з фіксованою реальною (світловою) системою координат, а також описують її положення й орієнтацію в просторі), на другому — внутрішнього калібрування (це параметри, які пов'язують систему координат камери з ідеальною системою координат, що визначають оптичні властивості камери, такі як: фокусна відстань, розміри пікселів, і положення центру зображення, де оптична вісь перетинає площину зображення та дисторсії);

б) «нова гнучка технологія калібрування камери» [5], що заснована на використанні плоского калібрувального об'єкта у вигляді шахової дошки;

в) автокалібрування — отримання калібрувальних даних безпосередньо по зображеннях, причому в сцені не потрібна присутність спеціальних калібрувальних об'єктів. Основними кроками даного методу є:

- пошук особливих точок на всіх зображеннях;
- пошук точкових відповідностей між зображеннями;
- пошук параметрів калібрування з використанням алгоритму Bundle Adjustment [6].

Серед зазначених підходів найбільш поширеним є алгоритм Roger Y. Tsai. Даний алгоритм використо-

вується в більшості програмних продуктів, призначених для калібрування відеокамер. При цьому суттєвим недоліком є, повна автоматизація процесу калібрування без можливості коригування положення контрольних точок зображення.

Тому метою проведених досліджень є підвищення точності побудови траєкторії руху вертексу біооб'єкту шляхом розробки методу визначення внутрішніх та зовнішніх параметрів відеокамер з можливістю коригування впливу сумарної дисторсії на вихідне зображення кефалографічної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі:

1. Проаналізувати переваги та недоліки існуючих підходів калібрування відеокамер та вибрати оптимальний.
2. Визначити вплив сумарної дисторсії на вихідне зображення.
3. Визначити основні кроки процедури калібрування відеокамер для кефалографічної системи.

## 3. Результати досліджень процедури калібрування

Об'єктом досліджень була обрана проста точкова модель камери [7, 8], що повертає просту геометрію, за допомогою якої об'єкт дослідження (маркер) буде проектуватися на площину зображення. Ця ідеальна модель часто використовується в комп'ютерній графіці для отримання геометрії зображення.

Основними кроками процедури калібрування є:

- отримання серії тестових зображень з використанням плоского калібрувального об'єкта у вигляді шахової дошки;
- знаходження ключових точок в ручному та автоматичному режимах;
- коригування впливу сумарної дисторсії;
- обчислення внутрішніх та зовнішніх параметрів відеокамери.

Для реалізації процедури калібрування використувалися:

- відкритий (open source) програмний пакет Matlab Calibration Toolbox;
- калібрувальний об'єкт у вигляді шахової дошки;
- відеокамера Logitech quickcam for notebooks pro.

Співвідношення для розрахунку внутрішніх та зовнішніх параметрів відеокамери має вигляд [7, 9]:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 1 \\ 0 & f_y & v_0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = A[Rt] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $(X, Y, Z)$  — координати центру досліджуваного маркера у світовій системі координат;  $(u, v)$  — координати проекції маркера в пікселях;  $A$  — матриця камери або матриця внутрішніх параметрів;  $(u_0, v_0)$  — головна точка (центр зображення);  $f_x$  і  $f_y$  — фокусна відстань, виражена в пікселях.

Об'єднана матриця обернення — переміщення  $[Rt]$  або матриця зовнішніх параметрів ( $R$  — обернення,  $t$  — зсув між світовою системою координат і системою координат відеокамери). Вона використовується для опису руху відеокамери навколо статичної сцени, або руху об'єкту перед нерухомою відеокамерою. Тобто  $[Rt]$

переводить координати точки  $(X, Y, Z)$  в деяку систему координат, фіксовану щодо відеокамери. Окрім цих параметрів розраховуються значення радіальної та тангенціальної дисторсії, що об'єднуючись утворюють так звану сумарну дисторсію [10].

Результати калібрування відеокамери Logitech quickcam for notebooks pro наведено в табл. 1.

Порівняльна характеристика результатів калібрування відеокамери Logitech quickcam for notebooks pro

Показники (піксель)	Режими виявлення ключових точок під час калібрування			
	Автоматичний		Ручний	
	вісь $X$	вісь $Y$	вісь $X$	вісь $Y$
Фокусна відстань	562,7	559,9	563,4	557,03
Головна точка	324,2	252,4	314,01	213,56
Дисторсія	[0,0572 -0,2153]	[0,0083 -0,0018]	[0,1851 -0,4708]	[0 -0,004]
Матриця камери	$\begin{bmatrix} 562,7 & 0 & 324,2 \\ 0 & 559,9 & 252,4 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} 563,4 & 0 & 314,01 \\ 0 & 557,03 & 213,56 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
Похибка вимірювання	12,3	17,86	1,128	1,133

Як видно з отриманих результатів (табл. 1) проведення процедури калібрування відеокамери для кефалографічної системи в ручному режимі дозволяє значно зменшити кінцеву похибку вимірювання координат центру маркера і тим самим підвищити точність побудови траєкторії руху вертексу.

#### 4. Висновки

1. Проведений аналіз існуючих підходів калібрування відеокамер показав доцільність використання плоского калібрувального об'єкта у вигляді шахової дошки.

2. Одночасне застосування автоматичного та ручного визначення ключових точок під час калібрування відеокамери дозволяє підвищити точність побудови траєкторії руху вертексу в кефалографічній системі.

#### Література

1. Бабияк, В. И. Клиническая вестибулология: Руководство для врачей [Текст] / В. И. Бабияк, А. А. Ланцов, В. Г. Базаров. — Ст-Петербург: Гиппократ. — 1996. — 336 с.
2. Кузовик, В. Д. Особливості програмного забезпечення експериментальних досліджень біооб'єкту [Текст] / В. Д. Кузовик, В. Г. Гамов, Ю. Ю. Оникєнко // Інженерія програмного забезпечення. — 2010. — № 2. — С. 68–75.
3. Лунев, А. А. Выбор оптимальных параметров калибровки цифровой камеры [Электронный ресурс] / А. А. Лунев. — Режим доступа: \www/URL: http://www.info.donntu.edu.ua/el\_izdan/geolog/sborniki/ggf11t2.pdf

4. Tsai, R. Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [Text] / R. Y. Tsai // IEEE Int. Journal Robotics and Automation. — 1987. — Vol. 3(4). — P. 323–344.
5. Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration [Text] / Z. Zhang // IEEE Trans. on PAMI. — 2000. — Vol. 22(11). — P. 1330–1334.

Таблиця 1

6. Triggs, B. Bundle Adjustment — A Modern Synthesis [Text] / B. Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley, A. Fitzgibbon // ICCV 99: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms. Springer-Verlag. — 1999. — P. 298–372.
7. Malek, S. Calibration Method for an Augmented Reality System [Text] / S. Malek, N. Zenati-Henda, M. Belhocine, S. Benbelkacem // Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology. — 2008. — Vol. 47. — P. 310–315.
8. Zhang, Z. Determining the epipolar geometry and its uncertainty: A review [Text] / Z. Zhang // International Journal of Computer Vision. — 1998. — Vol. 27(2). — P. 161–195.

9. Heikkila, J. Geometric Camera Calibration Using Circular Control Points [Text] / J. Heikkila // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2000. — Vol. 22, No. 10. — P. 1066–1077.
10. Жимбуева, Л. Д. Метод определения суммарной дисторсии цифровых изображений [Электронный ресурс] / Л. Д. Жимбуева. — Режим доступа: \www/URL: http://www.computeroptics.smr.ru/KO/PDF/KO35-3/350309.pdf

#### МЕТОД КАЛІБРОВКИ ВІДЕОКАМЕРИ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕННЯ КООРДИНАТ ДВИЖЕННЯ БІОБ'ЄКТА

Представлен аналіз результатів визначення внутрішніх і зовнішніх параметрів відеокамер для кефалографічної системи. Обнаружен критический параметр, влияющий на непосредственное определение центра координат исследуемого объекта. Разработана методика калибровки видеокамер для кефалографической системы, базирующейся на использовании плоского калибровочного объекта в виде шахматной доски.

**Ключевые слова:** кефалографическая система, процедура калибровки, суммарная дисторсия, модель камеры, калибровочный объект.

*Оникєнко Юрій Юрійович, асистент, кафедра біокибернетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: yuriy.onikienko@gmail.com.*

*Оникєнко Юрій Юрьевич, асистент, кафедра биокibernетики и аэрокосмической медицины, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.*

*Onyukienko Yuriy, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: yuriy.onikienko@gmail.com*