

O.L. Dorozhynskyy,

R.A. Abdallah

**METHOD OF AUTOMATIC SELECTION OF ROADS ON THE
SATELLITE IMAGES**

Isolation of the road network on satellite images is an important step in updating topographic maps. Even partial automation of the present stage would allow to speed up the upgrade process and reduce its cost. The updating process of topographic maps is relevant to many areas due to the constant changes in the infrastructure area. Nowadays, digitizing existing topographic maps, and the advent of satellite imagery, reflecting the current state of the areas, there is a need to address the problem of automatic updating of topographic maps from satellite images. Automatic extraction of road networks in the aerospace images is one of the stages of solving the problem of updating topographic maps from satellite images. Road selection on satellite images is one of the stages of topographic map updating. In this paper the scheme of automatic map updating is described, the problem of road network elements localization on the satellite image is formulated, researches in this area are analyzed. Proposed by author modified algorithm for road network elements detection is described. The results of the experiments showed that 76% of road network are selected.

Keywords: *renovation of topographical maps, satellite image, automatic selection of the road network, the scanning algorithm, the segmentation of satellite image.*

Надійшла до редакції

09.11.2015

УДК 621.397.6

В.И. Кортунов, *д-р техн.наук, професор,*
А.А. Молчанов, *ассист.*
И.А. Гергель, *ассист.,*
Национальный аэрокосмический
университет им. Н.Е. Жуковского

**3D-РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ
БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ**

В статье представлены различные методы 3D-реконструкции объектов по снимкам стереосъемки или серии снимков, приведены преимущества и недостатки предложенных методов. Большое внимание в статье отведено факторам рассогласования стереокамер и методам их калибровки. Представлен также метод ускорения просчета карт глубины путем использования многопоточности графического процессора, что позволит выполнять 3D-реконструкцию в режиме реального времени с помощью видеопотока.

Ключевые слова: *3D-реконструкция, калибровка, карта глубины.*

Вступление. Задача восстановления трехмерных объектов в настоящее время интенсивно разрабатывается многими исследователями и фирмами (Autodesk, Eos Systems Inc, Image Master, Massachusetts Institute of technology, AgiSoft LLC, КБ «Панорама»). Методы 3D-реконструкции объектов в последнее время находят широкое применение также в аэрокосмической отрасли, робототехнике, ландшафтном дизайне, горной добыче, строительстве и других сферах. [1]. Большой спрос на эту технологию получения трехмерных моделей вызван доступностью фотокамер высокого разрешения, производительными вычислительными средствами в обработке и средствами аэрофотосъемки (малыми беспилотными системами - МБС) для охвата крупноразмерных или площадных объектов. В отличие от лазерных средств сканирования средства аэрофотосъемки с МБС дешевле, допускают возможность работы с крупными объектами (горные карьеры, протяженные линии электропередачи). Технология 3D-реконструкции в задачах постобработки и реального времени имеет некоторые различия, что рассмотрено далее.

Постановка задания. Целью статьи является анализ современных методов 3D-реконструкции объектов на основании стереоизображений, полученных с борта МБС, и их применение для решения конкретных задач.

Методы восстановления объекта или формы сцены на основании стереоизображений делятся на три класса: методы для геометрических особенностей, основанные на поиске характерных точек (feature-based approaches), методы для областей (area-based approaches) [2], а также смешанные методы (miscellaneous approaches) [3].

Методы, основанные на поиске характерных точек, состоят в поиске точки со значительными перепадами яркости или какого-либо признака изображения (например, текстуры или цветового тона) на стереопаре. Часто ищут не точки, а линии, в том числе те, которые могут получаться путем сегментации обоих изображений и выбора границ сегментов в качестве характерных линий. Между найденными на двух изображениях точками устанавливается взаимно однозначное соответствие путем вычисления корреляции фрагментов изображений в окрестности этих точек или, в случае сегментации, путем сравнения интегральных характеристик сегментов. Для точек, в которых взаимно однозначное соответствие установлено, вычисляют расстояние до них методом триангуляции. Расстояние до остальных точек объекта получают посредством интерполяции. Математически такие методы принадлежат к широкому классу алгоритмов формирования модели объекта по серии снимков (Shape from Motion) [2].

Алгоритмы для областей базируются на поиске расстояния до всех точек изображения. Существует несколько смешанных методов, таких как стохастический алгоритм Бернарда [3]. Этот метод плохо работает при недостатке пространственной структуры. Его суть заключается в вычислении карты смещений (disparity) для каждой точки изображения путем минимизации функционала, соответствующего критериям близких интенсивностей и гладкости:

$$E = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\| I_L(i, j) - I_R(i + D_i(i, j), j + D_j(i, j)) \| + \lambda \| \nabla D(i, j) \| \right),$$

где $I_L(i,j)$, $I_R(i,j)$ – значения пикселей левого и правого изображений; $D(i,j)$ – карта смещений; $D_i(i,j)$ – смещение в направлении i ; $D_j(i,j)$ – смещение в направлении j ; λ – константа; оператор ∇ вычисляет сумму абсолютных разностей между смещением $D(i,j)$ и его восемью ближайшими соседями.

Большинство алгоритмов формирования модели объекта по стереоснимкам (Shape from Stereo) находят только грубые детали формы объекта, особенно при недостатке пространственной структуры. В то же время, по сравнению с алгоритмом формирования модели объекта по серии снимков (Shape from Shading), пространственная локализация крупных деталей, особенно их ребер, и контрастных границ, происходит существенно точнее, а расстояния могут быть восстановлены в абсолютных величинах.

Разнообразие методов диктует необходимость выбора таких, которые стали бы результативными для фотоснимков с МБС. Далее представлены результаты применения рассмотренных методов для реконструкции одиночно стоящего объекта и рекомендации относительно как работы со стереокамерой, предварительной настройки, калибровки, отладки и компенсации оптических и механических искажений, так и особенностей, связанных с эксплуатацией устройства на борту.

Основная часть. Для практической реализации алгоритмов формирования 3D-изображения применяются стандартные программные средства. Одним из таких средств является библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом OpenCV [5], реализованная с помощью языков программирования C и C++ и способная работать со многими популярными операционными системами (Linux, Windows и Mac OS X). Эта библиотека содержит более 500 функций, охватывающих различные области визуализации, безопасности, пользовательских интерфейсов, калибровки камер, зрения для робототехники. В библиотеках OpenCV камера моделируется обычной камерой-обскура, а взаимосвязь между 3D-точкой с координатами $[X,Y,Z]$ и изображением ее проекции с координатами $[x_{screen}, y_{screen}]$ устанавливается следующим выражением:

$$s \cdot [x_{screen}, y_{screen}, 1]^T = A [R \ t] [X, Y, Z, 1]^T,$$

где s – произвольный масштабирующий коэффициент; $[R \ t]$ – внешние параметры, представляющие собой вращение и перенос, которые связывают систему координат сцены с системой координат камеры; A – матрица внутренних параметров камеры вида:

$$A = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где (c_x, c_y) – координаты главной точки; f – фокусное расстояние камеры; γ – параметр, описывающий асимметрию осей изображения.

Рассмотрим последовательно шаги реализации восстановления объекта с помощью модулей библиотеки OpenCV.

Калибровка стереокамеры. Процедура калибровки камеры (рис.1) основана на обработке серии снимков шахматной доски (ChessBoards) [6]. С помощью этой

процедуры оценивают внутренние параметры камеры, внешние параметры для каждого снимка, а также коэффициенты искажения радиальной и тангенциальной дисторсии. По внешним параметрам видеокамеры определяют преобразование координат, переводящее координаты точек сцены из системы координат сцены в систему координат, связанную с камерой. Результатом калибровки считается снижение искажений у изображений, которые получают с камер.

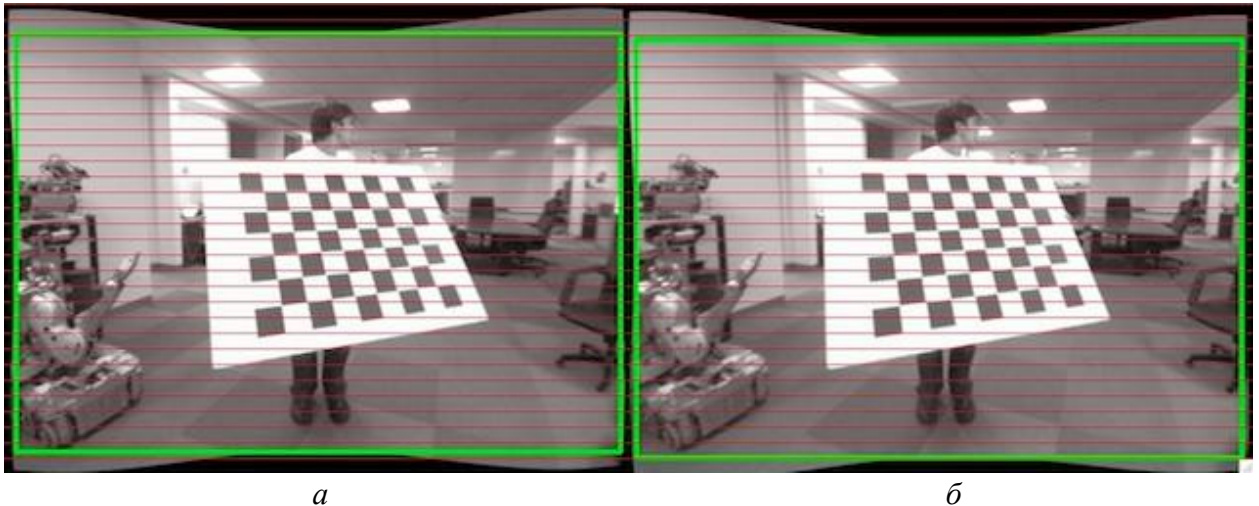


Рис. 1. Результат процедуры калибровки и ректификации изображений:
a – изображение с левой камеры; *б* – изображение с правой камеры

Процедура вычисления рассогласования каждого кадра стереокамеры (функция stereoRectify). С помощью этой функции вычисляют матрицы вращения для каждой камеры, выравнивают и перепроецируют к одной плоскости изображения стереосистемы. Изображения выравнивают так, что бы все эпиполярные линии были параллельны горизонтальным сторонам изображения [7]. Функция в качестве входных данных использует внутренние параметры камеры, полученные ранее. Результатом процедуры являются две матрицы вращения, а также две проекционные матрицы в новых координатах.

Пространственно-временная обработка кадров видеопоследовательности. Используется для подавления цифрового шума на видеопоследовательностях стереосистемы. Шумоподавление имеет решающее значение для общего функционирования системы стереозрения, так как наличие шумов в кадрах не только ухудшает качество изображения, но и влияет на последующие процессы обработки [8]. Такой шаг обработки позволяет получить качественное изображение в неблагоприятных условиях освещенности.

Вычисление карты смещений – disparity. Карта смещений строится по стереопаре изображений. Для каждой точки на одном изображении выполняется поиск соответствующей точки на другом изображении стереосистемы. Смещение точки на изображении соответствует расстоянию этой точки до камеры (третья координата). Существует несколько основных групп методов определения смещения: дифференциальные методы, метод фазовой корреляции, метод сопоставления блоков. Наиболее широко на практике применяются методы сопоставления блоков StereoBM и StereoSGBM [9]. Это обусловлено

универсальностью, невысокой вычислительной сложностью и высокой эффективностью. Каждому пикселю с координатами (i, j) соответствует смещение на другом изображении стереокамеры $D = D(i, j)$.

Стереорекострукция отдельных точек сцены. Визуальную интерпретацию стереорекострукции представлено на рис. 2. Оптические центры камер O' , O'' и наблюдаемая точка M образуют плоскость P , которая пересекает плоскости изображения камер по прямым $e'm'$ и $e''m''$.

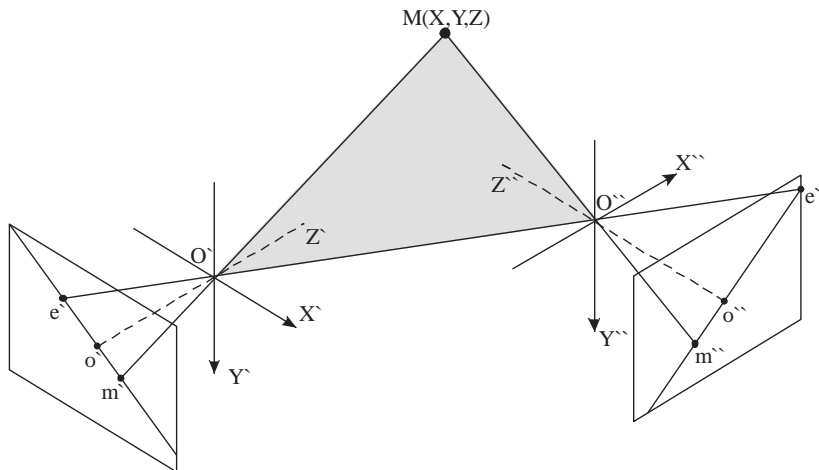


Рис. 2. Геометрическая интерпретация стереорекострукции

По паре соответствующих точек можно определить координаты образа в трехмерном пространстве:

$$[X \ Y \ Z \ W]^T = Q \cdot [x \ y \ D(i, j) \ 1]^T,$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & 0 & -c_y \\ 0 & 0 & 0 & f \\ 0 & 0 & -1/T & (cx - cx')/T \end{bmatrix},$$

где T – расстояние между камерами на оси X (камеры расположены горизонтально и координаты Y одинаковы).

Для этого используется функция вычисления карты глубины (ReprojectImageTo3D), а в качестве входных данных используется карта смещений, а также матрица Q перспективного преобразования [10].

Использование GPU в задаче стереозрения. Универсальные центральные процессоры (CPU) оптимизированы для исполнения одного потока последовательных задач, в то время как GPU оптимизированы для быстрого исполнения большого количества параллельно выполняемых потоков задач [11]. Модуль GPU в OpenCV содержит в себе несколько уровней функциональности. На нижнем уровне находятся реализации служебных операций, таких как инициализация и управление GPU, работа с памятью, механизм асинхронных вызовов. Уровнем выше реализован широкий набор базовых функций обработки изображений: различные методы фильтрации, поиск максимума, аффинные преобразования, вычисление разности изображений в различных нормах и др. Использование модуля GPU позволяет эффективно распараллеливать и выполнять с

высокой скоростью алгоритм формирования 3D-изображения сцены, что является основополагающим критерием для исполнения задач стереозрения в режиме реального времени [12].

Практическая реализация. В качестве практической реализации изложенного метода была использована серия из более чем ста фотографий карьера площадью 1 км², выполненных с борта МБС типа квадрокоптер с высоты 70 метров (рис. 3).

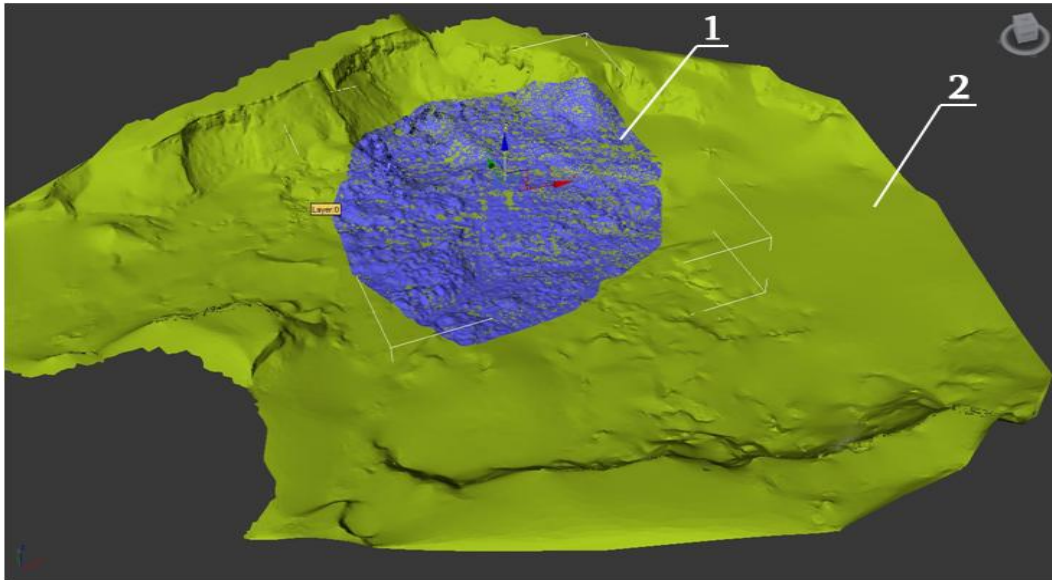


Рис. 3. Трехмерные модели карьера, реконструированные посредством лазерного сканирования (1) и с помощью методов 3D-реконструкции (2)

Перекрытие кадров колебалось от 50 до 70% на одном маршруте и от 20 до 30% между маршрутами. В качестве сравнительного образца была использована 3D-модель карьера, реконструированная с применением лазерного сканера, погрешность которого значительно превосходит даже разрешающую способность пикселя фотокамеры на поверхности объекта (GSD-ground sample distance) снимков. Занятая территория съемки составила приблизительно 1 км². Сравнение после совмещения двух моделей показало, что максимальное рассогласование по высоте между моделями не превышало 23 см.

Выводы. В статье проанализированы современные методы 3D-реконструкции объектов, в которых можно использовать снимки, полученные с борта МБС. Перед установкой стереокамеры на борт МБС требуется выполнение калибровочных работ, связанных с уточнением внутренних параметров камеры, определением оптических искажений изображений и их минимизацией, подавлением цифровых шумов. По полученным с МБС изображениям проводится вычисление карты смещений и 3D-реконструкция точек сцены. Практическая реализация показала, что с помощью камеры с разрешением 10 мегапикселей и фокусным расстоянием 60 мм при съемке с высоты 70 метров можно получить 3D-модель с максимально возможным отклонением реконструированных точек, не превышающим 23 см. Приведенные результаты аэрофотосъемки и их обработка свидетельствует о возможности применения технологии 3D-реконструкции с МБС для решения широкого круга практических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совместный* российско-американский проект РАМОС [Электронный ресурс] / В.А. Maxwell. – Режим доступа: <http://lenta.ru/russia/2004/>. – 2004.
2. *Experiments* with a new area-based stereo algorithm [Text]: In International Conference on Image Analysis 1997 Florence / V. Roberto A. Fusiello. – Florence, 1997. – 1123 p.
3. *A stochastic* approach to stereo vision [Text]: In Proc. 5th National Conference AI, August 1986 Philadelphia, Pennsylvania / S.T. Bernard – Pennsylvania: 1986. – pp. 676 – 680.
4. *Cryer J.E.* Integration of shape from shading and stereo [Text] / J. E. Cryer, Ping Sing Tsai and Mubarak Shah // Pattern Recognition. – 1995. – № 28(7). – pp. 1033—1043.
5. *Bradski G.* Learning OpenCV Computer. Vision with the OpenCV Library [Текст]: G. Bradski, A. Kaehler, - O'Reilly Media. 2008. - 580 p.
6. *Zhang Z.* A flexible new technique for camera calibration [Текст] / Z. Zhang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence – 2000. – Vol.22, No.11. – pp. 1330-1334.
7. *Geometry* of Vanishing Points and its Application to External Calibration and Realtime Pose [Текст]: Research Reports / Z. Kim – Estimation Institute of Transportation Studies, Paper UCB-ITS-RR-2006-5. – July 1, 2006. – 90 p.
8. *Грузман, И. С.* Цифровая обработка изображений в информационных системах [Текст]: учеб. пособие / И.С. Грузман – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
9. *Hirschmuller H.* Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information [Text] / H. Hirschmuller // PAMI(30) – 2008. - No. 2, – pp. 328-341.
10. *Computing* Euler angles from a rotation matrix [Электронный ресурс] / G.G. Slabaugh. – Режим доступа: <http://www soi.city.ac.uk/~> – Загл. с экрана.
11. *Using* mobile GPU for general-purpose computing-a case study of face recognition on smartphones [Text]: In International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT) / K.T. Cheng and Y. Wang - April 2011, - pp. 1-4.
12. *Pulli K.* Real-time computer vision with OpenCV [Текст] / K. Pulli, A. Baksheev, K. Korniyakov, and V. Eruhimov // Communications of the ACM – 2012. - Vol. 55, No. 6. pp. 61-69.

REFERENCES

1. Maxwell, B.A. (2004). Sovmestnyj Rossijsko–Amerikanskij proekt RAMOS [The joint Russian-American project]. [www.lenta.ru](http://lenta.ru/russia/2004/). Retrieved from <http://lenta.ru/russia/2004/>.
2. Roberto, V., & Fusiello, A. (1997). Experiments with a new area-based stereo algorithm. International Conference on Image Analysis, 1123-1128 [in Italy].
3. Bernard, S.T. (1986). A stochastic approach to stereo vision. National Conference AI, 5, 676-680.
4. Cryer, J.E. (1995). Integration of shape from shading and stereo. Pattern Recognition, 28(7), 1033—1043.
5. Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). Learning OpenCV Computer. Vision with the OpenCV Library. Sebastopol: O'Reilly Media.
6. Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11), 1330-1334.

7. Kim, Z. (2006). Geometry of Vanishing Points and its Application to External Calibration and Realtime Pose. Estimation Institute of Transportation Studies, 2006-5, 90.
8. Gruzman, I. S. (2002). Cifrovaja obrabotka izobrazhenij v informacionnyh sistemah [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk: NSTU [in Russian].
9. Hirschmuller, H. (2008). Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. PAMI(30), 2, 328-341.
10. Slabaugh, G.G. (2015). Computing Euler angles from a rotation matrix. www.soi.city.ac.uk. Retrieved from <http://www.city.ac.uk/mathematics-computer-science-engineering>
11. Cheng, K.T., & Wang Y. (2011). Using mobile GPU for general-purpose computing-a case study of face recognition on smartphones. In International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT), April 2011, 1-4.
12. Pulli, K., Baksheev, A., Korniyakov, K., & Eruhimov, V. (2012). Real-time computer vision with OpenCV. Communications of the ACM, 55(6), 61-69.

**В.І. Кортунів,
А.О. Молчанов,
І.А. Гергель**

3D-РЕКОНСТРУКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМ

У статті описано різноманітні методи 3D-реконструкції об'єктів за знімками стереознімання або серії знімків; наведено переваги та недоліки запропонованих методів. Велику увагу в статті приділено факторам неузгодженості стереокамер і методам їх калібрування. Представлено також метод прискорення прорахунку карт глибини шляхом використання багатопотоковості графічного процесора, що дасть змогу виконувати 3D-реконструкцію в режимі реального часу за допомогою відеопотоку.

Ключові слова: 3D-реконструкція, калібрування, карта глибини.

**V.I. Kortunov,
A.O. Molchanov,
I.A. Gergel**

3D-RECONSTRUCTION OF OBJECTS USING UNMANNED SYSTEMS

Currently, there are many methods to reconstruct a three-dimensional model of objects in proximity ways. The most common methods steel such as simulation by hand in various 3D-editors, 3D-laser scanning and 3D-reconstruction of objects using images. The article describes the various methods of 3D-reconstruction of objects from images or series of stereo images, advantages and disadvantages of the proposed methods. There are several stages of preparation of a stereo camera for shooting the object: stereo camera calibration (identify internal camera parameters, external parameters for each picture and

the distortion coefficients of radial and tangential distortion); rectification of images (the calculation of disagreement of each frame from stereo camera); spatio-temporal filtering of images (frames of a video sequence processing for digital noise suppression). Much attention is given to factors mismatch stereo cameras and methods of calibration. Also presented a method for accelerating the rendering of depth maps by using threading GPU, which enables the 3D-reconstruction in real time using the video stream.

Key words: 3D-reconstruction, calibration, depth map.

Надійшла до редакції

27.11.2015

UDC 528.7

BEZBORODOVA K.

*Student of the faculty of geoinformation systems and territory management,
Kyiv National University of Construction and Architecture*

THE USE OF UAVS FOR GEOSPATIAL DATA COLLECTION

In this article, the use of UAVs for geospatial data collection was analyzed. Nowadays, inexpensive UAVs equipped with high-resolution cameras, laser scanners, GNSS/RTK receivers and sensors are capable of making sophisticated and spatially correct maps of survey-grade accuracy with minimum human control. UAVs are bringing the revolution to cartography making it truly real-time. This article contains the information about the workflow, analysis of factors, which influence accuracy, accuracy assessment of one of the most popular drones, comparison of GPS ground topographic survey and aerial UAV topographic survey, suggested improvements to the modern civilian drones and skills that professionals in GIS, geodesy and cartography have to acquire nowadays.

Keywords: UAV, drone, accuracy, GIS, cartography, geodesy

Introduction. Nowadays, inexpensive UAVs equipped with high-resolution cameras, laser scanners, GNSS/RTK receivers and sensors are capable of making sophisticated and spatially correct maps of survey-grade accuracy with minimum human control. Mapmaking takes much less time than ever before. UAVs are bringing the revolution to cartography making it truly real-time.

The Analysis Of Recent Research And Publications. The most recent research and publications about UAV technology were analyzed in this article. The analysis shows that UAVs are already widely used in various fields. Their high accuracy was tested and proved not only by vendors, but also by companies that specialize in surveying. Their time- and cost-efficiency was proved by comparison of the ground topographic survey and UAV topographic survey of the same land parcel.

Statement of the problem. The aim of this article is to present the workflow, the accuracy assessment of one of the most popular UAVs and to show that the provided accuracy allows us to use UAVs for topographic surveys in Ukraine, which are regulated