

УДК 621.369.962

В.И. КОРТУНОВ, А.С. КРАВЧУК, В.В. БОНДАРЬ, А.А. АКУЛИНИЧЕВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Приведен аналитический обзор методов оценки параметров пространственной деформации изображений, применяемых в задачах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), фотограмметрии, 3D реконструкции изображений, навигации и визуализации. Проведен анализ источников пространственных деформаций изображений. Подробно рассмотрены методы сопоставления двух изображений на основе сопоставлений изображений целиком или их участков, с использованием аппарата особых точек и с использованием производных параметров движения. Проведен анализ методов оценки параметров модели пространственных деформаций. Отмечено, что общим недостатком рассмотренных методов являются их высокие вычислительные затраты.

Ключевые слова: *пространственные деформации, сопоставление изображений, сопряжённые точки, особые точки, оптический поток, вектора движения, ориентацией, перспективной проекции.*

Введение

Системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космического и авиационного базирования позволяют получать высококачественные изображения с разрешением в десятки сантиметров, что требует применения к получаемым изображениям эффективных методов коррекции пространственных деформаций (ПД) для достижения соответствующей точности их привязки к реальным объектам сцены.

В общем случае получаемое изображение в таких системах представляет собой случайное поле (СП) дискретизированное на некоторой пространственной сетке, искажение которой приводит к появлению ПД [1].

К основным причинам пространственных деформаций получаемых изображений следует отнести:

- несовершенство датчика и оптической системы;
- непараллельность датчика и сцены;
- нелинейные эффекты, возникающие в среде передачи сигналов между датчиками и сценой.

Нелинейные эффекты, возникающие в датчике и оптике, могут быть учтены с достаточной точностью на этапе калибровки датчика системы.

Нелинейные эффекты, возникающие в среде передачи, в большинстве случаев носят случайный характер и уменьшить их влияние можно на этапе фильтрации.

Пространственные деформации, вызванные геометрическим преобразованием центральной проекции можно разделить на два типа:

- ПД вызванные ориентацией датчика относительно сцены;
- ПД вызванные рельефом наблюдаемой поверхности (сцены).

Для устранения или учета ПД, вызванных ориентацией датчика, необходимо знать точное положение системы ДЗЗ относительно Земли, а ПД вызванные рельефом сцены могут быть учтены при помощи стерео обработки или заранее известного рельефа местности.

При решении задачи коррекции изображений ДЗЗ необходимо учитывать все причины искажений, а возможность выделить вклад каждого из них, позволяет более качественно и быстро провести коррекцию изображения. Для этого необходимо с максимальной точностью устранить внутренние искажения датчика на этапе калибровки, а также устранить влияние ПД, вызванных ориентацией датчика относительно наблюдаемой поверхности, путём определения их взаимного расположения.

Решение задачи компенсации ПД изображений является сложной и актуальной не только в задачах ДЗЗ, но и в задачах визуализации, навигации и т.д.

1. Анализ методов оценки ПД изображений

Методы оценки ПД изображений активно развиваются в нескольких приложениях:

- навигация по изображению с датчика физического поля [2];
- визуализация физического поля;
- фотограмметрия и 3D-реконструкция.

Методы оценки ПД при использовании в перечисленных приложениях, могут пересекаться либо полностью отличаться. Если рассмотреть классический алгоритм восстановления изображения, то он содержит следующие основные этапы: сопоставление изображений или определение сопряжённых точек, определение параметров модели ПД, применение модели геометрических преобразований с оценками ПД к исходному изображению.

На первом этапе находят одни и те же точки (сопряжённые точки) на двух последовательных изображениях, либо на полученном с датчика поля и эталонном изображении. В методах, использующих стереоэффект, определяют точки на изображениях, полученных от разных приёмников, либо по двум последовательно полученным изображениям находят параметры динамических изменений в последовательности изображений, например вектора движения в кадре.

На втором этапе задаются моделью пространственных деформаций [3,4], которая от сложности модели может содержать два и более параметра. Далее по полученным сопряжённым точкам определяют параметры модели ПД.

Третий этап заключается в восстановлении изображения по известной модели ПД. Отметим, что для задач навигации этот этап не имеет смысла, поэтому в задачах навигации присутствуют только первые два этапа.

Рассмотрим подробно методы, применяемые на первых двух этапах восстановления изображения. Ограничимся рассмотрением методов, которые могут работать в реальном масштабе времени и позволяют получать информацию о пространственном положении и которые используют кинематику датчика физического поля относительно наблюдаемой поверхности.

2. Методы определения сопряжённых точек

Существует несколько методик определения сопряжённых точек на двух и более изображениях [2,5,6]. Изображения могут различаться по времени, по типу датчика физического поля, либо полученные различными датчиками, находящимися на расстоянии друг от друга в одно и то же время. Задачей этого этапа обработки изображений является сопоставление двух изображений путём нахождения соответствия между двумя изображениями, либо определение координат одних и тех же объектов на двух изображениях, либо вычисление производных параметров от двух последовательно полученных изображений, определяющих динамические изменения в изображении.

2.1. Методы, использующие сопоставление изображений

Классическими методами этой группы являются те, которые основаны на использовании кросскорреляционной функции от двух изображений [7], исходной посылкой которых является предположение о высокой коррелированности характеристик изображений. Эти методы имеют высокую точность и очень низкое быстродействие [8, 9].

2.2. Методы, использующие особые точки

В их основе лежит использование аппарата так называемых особых точек [7, 8], обладающих некоторыми характерными признаками, которые позволяют отслеживать данную точку с высокой точностью. К таким признакам могут относиться участки изображений с высокой контрастностью, или другие, позволяющие выделить их уникальность на изображении. В качестве особых точек могут использоваться объекты векторизованного изображения, такие как линии, геометрические фигуры, углы, точки пересечения линий [9].

Отличительной особенностью этих методов является их высокая надёжность, поскольку особые точки на изображении выбираются таким образом, чтобы исключить возможность ложного нахождения точки на изображении. К недостаткам методов следует отнести высокие вычислительные затраты.

2.3. Методы, использующие производные параметры движения

В процессе последовательного получения изображений или вследствие движения камеры или объектов сцены, образуется различие между двумя кадрами. Это различие можно представить как набор векторов определяющих динамику каждой точки или участка изображения. Оптический поток определяется как векторное поле скоростей движения точек изображения или их характеристик в последовательности кадров, например яркости, контрастности, градиента и т.д. [10, 11]. Следует разделить понятие оптического потока, получаемого как характеристику пиксельного анализа изображений, и понятие вектора движения, которые могут определяться как движение некоторых участков изображения или объектов на нём.

Для дальнейшего анализа геометрических искажений используется не само изображение или его сопряжённые точки, а некоторое векторное поле, определяющее изменение изображения во времени.

Вектора движения получаются в результате определения смещений яркостных точек изображения или его сегментов. Сегментировать изображение может в произвольной форме, например с помощью равномерной сетки.

Оптический поток можно получить в результате решения уравнения:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial t}, \quad (1)$$

где $I=f(x,y,t)$ функция яркости изображения, x,y – координаты точки изображения, $\frac{\partial x}{\partial t} = u, \frac{\partial y}{\partial t} = v$ –

скорости движения точки изображения в направлении координатных осей x и y (оптический поток), $\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y}$ – градиент яркости в точке, $\frac{\partial I}{\partial t}$ – изменение яркости в точке с координатами (x,y) во времени.

Исходя из предположения, что яркость сцены остаётся неизменной полный дифференциал яркостной функции считается равным нулю и оптический поток получается в результате решения уравнения (1) относительно векторов u и v .

Существует несколько методов определения оптического потока базирующихся на решении уравнения (1) [10-13].

Методы определения векторов движения делятся на: использующие сегменты изображения [14], особые точки [15], объекты на изображении. Наиболее быстрым является алгоритм, использующий сегменты изображения, но его недостатком является наличие ложных векторов движения, полученных из-за малой дисперсии случайно выбранного сегмента изображения.

С целью устранения ложных векторов движения в некоторых работах применяется их фильтрация [14,16].

3. Методы определение параметров модели пространственных деформаций

Классическая постановка задачи определения параметров модели ПД состоит в нахождении минимума некоторого функционала :

$$Q = \operatorname{argmin} J[F(t-1)_{i,j}, T_Q(F(t)_{i,j})],$$

где Q - вектор параметров пространственных деформаций изображения;

T_Q -оператор преобразования изображения с параметрами Q ;

$F(t)$ - изображение в момент времени t ;

J – функционал подобия двух функций – изображений.

В качестве моделей пространственных деформаций определяющих оператор T_Q используют модели эвклидовых, подобных, проективных и полиномиальных преобразований [1, 14, 17, 18 – 21].

Необходимо отметить некоторые различия в моделях для задач навигации и визуализации изображений, суть которых заключается в их представлении. В общем случае в однородных координатах модель перспективных преобразований, описывающая преобразование точек сцены в точки изображения в оптической камере, можно записать как [3]:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & s & c_x \\ & f_y & c_y \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^T & -R^T t \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \\ = K \cdot I \cdot C^{-1} \cdot M,$$

где x, y – координаты проекции точки M в плоскости приёмника изображения, X, Y, Z - координаты проекции точки сцены M , R^T , t - матрица поворота и вектор смещения системы координат камеры, K – матрица внутренних параметров камеры, зависящих от геометрических размеров приемника и параметров оптики, I – матрица перспективной проекции, C – матрица, описывающая положение системы координат камеры относительно системы координат, в которой заданы координаты точки сцены M .

Неизвестными параметрами в данной постановке задачи являются три угла поворота и три координаты смещения – всего 6 параметров, определяющих ПД изображения. Такая модель применяется в задачах навигации. В задачах визуализации в основном применяется другая форма записи T_Q которая не рассматривает преобразование трёхмерной сцены в двумерное изображение, а преобразует двумерное изображение в однородных координатах:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix},$$

где T матрица преобразования изображения и содержит 9 неизвестных параметров преобразования.

В большинстве задач визуализации не требуется определение истинного положения камеры относительно сцены, здесь необходимо лишь исключить видимые изменения в последовательности кадров или устранить дрожание камеры [18]. В то же время в задачах фотограмметрии требуется как можно более точное определение всех видов деформаций, в

том числе и нелинейностей, вызванных неидеальностью приёмника изображения [1, 22, 23].

В общем случае пространственная деформация изображения должны описываться проективной моделью из 6 параметров преобразования 3D координат точки сцены в 2D координаты изображения, либо из 9 параметров матрицы преобразования 2D изображения. С учетом нелинейности оптики может использоваться полиномиальные преобразования, содержащие 12 и более параметров [4, 24].

Поскольку задача нахождения параметров модели ПД усложняется с увеличением их количества, то стараются уменьшить набор параметров модели.

Наиболее сложная модель ПД используется в задачах фотограмметрии, где необходимо получить точную привязку и коррекцию всех точек изображения.

В задачах стабилизации видео достаточно устранить видимые эффекты дрожания камеры [15, 20, 22, 23], и в некоторых случаях обходятся без определения параметров ПД [20], либо используют упрощенные модели подобных и аффинных [15] преобразований.

В полном наборе параметров ПД задача их оценивания является трудоёмкой и трудноразрешимой, в некоторых приложениях возможно использование только упрощённого набора параметров.

Так в задачах навигации могут использоваться как простые модели [24], так и сложные 6-ти параметровые модели ПД [21, 25 – 29]. Здесь в качестве искомым параметров используются параметры ориентации или движения, которые однозначно связаны с параметрами ПД изображения.

При комплексировании различных измерительных систем, например инерциально-навигационной системы или спутниковой навигационной системы с оптической системой также возможно использование не полной модели ПД (евклидовы, аффинные, подобные модели преобразования), но с обеспечением наблюдаемости ошибок этих систем.

Использование неполных моделей преобразования позволяет существенно упростить алгоритмы оценки параметров ПД, но в тоже время накладывает ограничения на динамику движения камеры, либо позволяет оценить неполный набор параметров движения и с некоторой ошибкой.

Задачу определения параметров ПД можно упростить, уменьшив диапазон их поиска. Для этих целей может использоваться дополнительное оборудование [28,30], например инерциальная система, или алгоритмы последовательного приближения с использованием изображений меньшего разрешения [31].

В основе большинства методов оценки ПД лежит метод наименьших квадратов или его модифи-

кации [32,33]. Эти методы используются во всех направлениях и могут оперировать с сопряжёнными точками, объектами сцены, оптическим потоком и векторами движения. Метод наименьших квадратов позволяет получать оценки ПД для любой модели, а недостатком метода является его быстродействие.

Метод оценки ПД на основе морфологического анализа изображений [34], использует векторизованное изображение и для оценки ПД анализируют форму объектов. Данный метод тоже требует большого объема вычислений, но в некоторых случаях даёт хороший результат. Например, морфологический анализ изображений имеет качественные преимущества при анализе изображений от разных датчиков или при анализе изображений сцены с быстро меняющейся яркостью [1].

Среди методов, использующих производные параметры движения на изображении, можно выделить методы, анализирующие оптический поток во всех точках изображения [10, 31], например, метод градиентного спуска и методы, работающие с векторами движения отдельных точек или сегментов изображения [14, 16, 35].

Методы, использующие оптический поток в некоторых случаях относят к методам, сопоставляющим изображения целиком.

Методы на основе векторов движения оперируют дифференциальными уравнениями движения датчика физического поля [36], а для оценки параметров движения и ориентации используется тот же метод наименьших квадратов. В некоторых работах, например [14], с использованием векторов движения проводят последовательный поиск параметров ПД. Преимуществом методов на основе оптического потока или векторов движения является возможность получения предварительной оценки некоторых параметров модели ПД, а недостатком - возможность работы только с последовательностью изображений и в динамике. Отметим, что наиболее быстродействующими из рассмотренных методов являются методы оценки ПД на основе векторов движения.

Заключение

Во всех рассмотренных направлениях: визуализации, навигации и фотограмметрии применяются схожие подходы к решению задачи оценки ПД изображений. Так в задачах навигации определяются первичные параметры движения и ориентации датчика физического поля, однозначно определяющие параметры ПД, а в задачах ДЗЗ в основном используется постобработка и первичные параметры ориентации датчика определяются инерциальной системой носителя.

ПД изображений содержат детерминированные и случайные составляющие и для более качественного устранения ПД необходимо с максимальной точностью устранить детерминированные составляющие искажений, в частности искажения вносимые датчиком и искажения, вызванные геометрическими преобразованиями центральной проекции.

Увеличение разрешающей способности датчиков ДЗЗ требует применения высокоточных инерциальных систем для определения взаимного расположения сцены и датчика. Использование быстрых методов оценки параметров движения и ориентации, на основе данных датчика системы ДЗЗ, позволит увеличить точность коррекции инерциальной системы, причём достигаемая точность будет однозначно связана с разрешающей способностью датчика системы ДЗЗ.

Перспективными методами оценки ПД в различных приложениях считаем сочетание двух методов – быстрых методов оценки ПД на основе векторов движения и методов сопоставления последовательности изображения. Причем первые методы могут иметь самостоятельное применение в задачах навигации или дополнением как внешние измерения корректируемых систем.

Литература

1. Таулинский А.Г. *Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений* / А.Г. Таулинский. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 240 с.
2. Francisco Bonin-Font. *Visual Navigation for Mobile Robots: A Survey* / Bonin-Font Francisco, Alberto Ortiz, Gabriel Oliver // *J Intell Robot Syst* 53. – 2008. – P. 263-296.
3. Luong Q.-T. *Canonical representations for the geometries of multiple projective views* / Q.-T. Luong, T. Vi'evill. Berlin: Springer Berlin – 2006. – P. 193-229.
4. *Цифровая обработка изображений в информационных системах. Учебное пособие* / И.С Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 352 с.
5. Richter H. *Real time global. motion estimation for an MPEG-4 video encoder* / H. Richter, A. Smolic, B. Stabernack, E. Müller // *In Proceedings PCS(Picture Coding Symposium)*. – 2001. – P. 401-404.
6. Bayoud Fadi Atef. *Photogrammetry-derived Navigation Parameters for INS Kalman Filter Updates. Istanbul* / Fadi Atef Bayoud, Jan Skaloud // *Merminod Bertrand: Proceedings of the XXth ISPRS Congress*. – 2004. – P. 14-23.
7. Bayoud F.A. *Integrating Photogrammetry and Inertial Sensors for Robotics Navigation and Mapping* / F.A. Bayoud, J.S. kaloud, B. Merminod // Vienna, Austria: *Proceedings of the 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*. – 2005. – P. 11-17.
8. Henrichsen A. *3D Reconstruction and Camera Calibration from 2D Images* / A. Henrichsen // *Master Thesis. University of Cape Town*. – Cape Town, 2000. – P. 133.
9. Медведев Г.А. *Вероятностные методы исследования экстремальных систем*. / Г.А. Медведев, В.П. Тарасенко. – М.: Наука. 1967. – 456 с.
10. Бочкарев А. *Корреляционно-экстремальные системы навигации* / А. Бочкарев // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1981. – Вып. 9. – С. 28 – 53.
11. Красовский А.А. *Теория корреляционно-экстремальных систем навигации* / А.А. Красовский, И.Н. Белоглазов, Г.П. Чигин. – М.: Наука. 1979. – 448 с.
12. Buchanan, A. *Combining local and global motion models for feature point tracking*. Buchanan / A. Buchanan A. Fitzgibbon // *AeronBuchanan Dept. Engineering Science University of Oxford*. – UK 2007. – P. 1-8.
13. Mej'ias Luis. *Visual servoing of an autonomous helicopter in urban areas using feature tracking* / Luis Mej'ias, Srikanth Saripalli, Pascual Campoy, Gaurav S. Sukhatme // *Special Issue on Uninhabited Aerial Vehicles*. – 2006. – Volume 23, Issue 3-4. – P. 185-199.
14. Rong Hu *Video Stabilization Using Scale-Invariant Features* / Hu Rong, Shi Rongjie, I-fan Shen, Wenbin Chen // *Washington: IEEE Computer Society, Proceedings of the 11th International Conference Information Visualization*. – 2007. – P. 871-877.
15. Roth S. *On the spatial statistics of optical flow* / S. Roth, M. Black // *In Proceedings of the International Conference on Computer Vision (ICCV)*. – 2007. – Vol. 74, Issue 1. – P. 33-50.
16. Florack Luc *The intrinsic structure of optic flow incorporating measurement duality* / Luc Florack, Wiro Niessen, Mads Nielsen // *International Journal of Computer Vision*. – 1998. – Vol. 27, Issue 3. – P. 263-286.
17. Michael J. Blac *Robust dynamic motion estimation over time* / J. Blac Michael, P. Anandan // *In International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Research Report YALEU-DCS-RR-923*. – 1991. – P. 296-302.
18. Dufaux F. *Efficient, robust, and fast global motion estimation for videocoding* / F. Dufaux, J. Konrad // *IEEE transactions on image processing ISSN*. – 2000. – Volume 9, Issue 3. – P. 1057-1069.
19. Shi J. *Good features to track* / J. Shi, C. Tomasi // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94)*. – 1994 – P. 593-600.
20. Солдатов С.А. *Быстрое и надежное определение глобального движения в видеопоследовательностях* / С.А. Солдатов, К.Н. Стрельников, Д.С. Ватолин // *Труды конференции Graphicon*. – Новосибирск, Июль 2006. – С. 430-437.
21. Farid H. *Estimating Planar Surface Orientation Using Bispectral Analysis* / H. Farid,

- J. Kosecka // *IEEE Trans Image Process.* – 2007. – Vol. 16, Issue 8. – P. 2154-2160.
22. Стрельников К. Новый метод подавления эффекта дрожания кадра в видео / К. Стрельников, Д. Ватолин, С. Солдатов // Десятый научно-практический семинар "Новые информационные технологии в автоматизированных системах". – М., 2007. – С. 3-10.
23. Kim Jonghyuk 6DoF SLAM aided GNSS/INS Navigation in GNSS Denied / Jonghyuk Kim, Sukkarieh Salah // *Journal of Global Positioning Systems.* – 2005. – Vol. 4, Issue 1-20. – P. 120-128.
24. Гельман Р.Н. Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией / Р.Н. Гельман, А.Л. Дуц // *Геодезия и картография.* – 2002. – Вып. 7. – С. 23-31.
25. Ertürk S. Real-Time Digital Image Stabilization Using Kalman Filters / S. Ertürk // *Real-Time.* – August 2002. – Volume 8, Issue 4. – P. 317-328.
26. Kim Eung Tae Fast and robust parameter estimation method for global motion compensation in the video coder. *Consumer Electronics* / Eung Tae Kim, Hyung-Myung Kim // *IEEE Transactions.* – 1999. – Volume 45, Issue 1. – P. 45.
27. Златопольский А. Определение сдвига одновременных изображений поверхности Земли методом «согласованного голосования» / А. Златопольский // Третья всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН. – М., 2005. – С. 99-101.
28. Vision-aided Inertial Navigation for Pin-Point Landing using Observations of Mapped Landmarks / Nikolas Trawny, Anastasios I. Mourikis, Stergios I. Roumeliotis, Andrew E. Johnson, James F. Montgomery // *Special Issue on Space Robotics, Part III.* – 2007. – Volume 24, Issue 5. – P. 357-378.
29. Bryson Mitch Bearing-Only SLAM for an Airborne Vehicle. *Robotics and Automation* / Mitch Bryson, Salah Sukkarieh // *IEEE International Conference.* – 2009. – Volume 55, Issue 2-3. – P. 4114-4119.
30. Wu Allen D. Vision-Aided Inertial Navigation for Flight Control / Allen D. Wu, Eric N. Johnson, Alison A. Proctorz // *San Francisco, California: Journal of Guidance Control and Dynamic.* – March, 2008. – Volume 31, Issue 2. – P. 358-370.
31. Adda Olivier A Tool for Global Motion Estimation and Compensation for Video Processing / Olivier Adda, Nicolas Cottineau, Mahmoud Kadoura // *Final Year Project ELEC/COEN 490 Final Report.* – May 2003. – P. 53.
32. Kim E.-T. Robust 3-D Camera Motion Parameter Estimation with Applications to Video Coding / E.-T. Kim // *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE International Conference.* – 2006. – Vol. 2. – P. 105.
33. Mak C.M. Global motion estimation using modified least median of square error / C.M. Mak, W.K. Cham // *International Symposium on Intelligent Multimedia, Video & Speech Processing.* – 2004. – P. 591-594.
34. Tournaire O. Towards a Sub-decimeter Georeferencing of Ground-based Mobile Mapping Systems in Urban Areas : Matching Ground-Based and Aerial-Based Imagery Using Roadmarks / O. Tournaire, B. Soheilian, N. Paparoditis // *Paris, France: ISPRS Commission I Symposium.* – 2006. – P. 353-358.
35. Black M. J. Robust Incremental Optical Flow / M. J. Black // *Yale University, Department of Computer Science. Research Report YALEU-DCS-RR.* – 1992. – P. 923.
36. Kehoe J. Joseph State Estimation using Optical Flow from Parallax-Weighted Feature Tracking / Joseph J. Kehoe, Adam S. Watkins, Ryan S. Causey // *Proceedings of the 2006 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference.* – 2006. – P. 281-297.
37. Kim J. Dual Optic-flow Integrated Navigation for Small-scale Flying Robots / J. Kim, G. Brambley // *ACRA'07.* – 2007. – P. 10-12.
38. Kim Jonghyuk Dual Optic-flow Integrated Inertial Navigation / Jonghyuk Kim Galen Brambley // *Department of Engineering, Australian National University. Canberra, ACT 020. – Australia, 2007. – P. 62-71.*
39. Roderick A. Vision-Based Navigation using Multi-Rate Feedback from optic flow and scene reconstruction / A. Roderick, J. Kehoe, R. Lind // *Proceedings of the 2005 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, San Francisco.* – August 2005. – P. 174-189.
40. Комплекс алгоритмов оценки и компенсации геометрических линейных искажений входной информации, полученной при неизвестных динамических изменениях системы координат наблюдателя. / А.Е. Колесса, В.Н. Лагуткин, А.П. Лукьянов, Ю.В. Слынько // *Вопросы радиоэлектроники, сер. РТ.* – 2004. – Вып. 1. – С. 58-72.

Поступила в редакцию 1.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов В.К. Волосюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**МЕТОДИ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ПРОСТОРОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗОБРАЖЕНЬ
В ЗАВДАННЯХ ДИСТАНЦІЙНИХ ЗОНДУВАНЬ ЗЕМЛІ***В.І. Кортунів, О.С. Кравчук, В.В. Бондар, А.А. Акуліничев*

Приведений аналітичний огляд методів оцінки параметрів просторової деформації зображень, вживаних в завданнях ДЗЗ, фотограмметрії, 3D реконструкцій зображень, навігації і візуалізації. Проведений аналіз джерел просторових деформації зображення. Детально розглянуті методи зіставлення двох зображень на основі зіставлень зображень цілком або їх ділянок, з використанням апарату особливих точок і з використанням похідних параметрів руху. Проведений аналіз методів оцінки параметрів моделі просторових деформацій. Відмічено, що загальним недоліком розглянутих методів є їх високі обчислювальні витрати.

Ключові слова: просторові деформації, зіставлення зображень, зв'язані точки, особливі точки оптичний потік, вектора руху, орієнтація, перспективна проекція.

**PARAMETER ESTIMATION METHODS OF SPATIAL DEFORMATIONS
OF IMAGES IN TASKS OF EARTH REMOTE SENSING***V.I. Kortunov, A.S. Kravchuk, V.V. Bondar, A.A. Akulynichev*

The analytical review of the parameter estimation methods of spatial deformations of images used in the tasks of ERS, photogrammetric, 3D reconstructions of images, navigation and visualization. The analysis of sources of spatial deformation of the image was made. The methods of comparison of two images are considered in detail on the basis of comparison of whole images or their areas, with the use of the tool of special points and with the use of obtained parameters of the motion. The analysis of parameter estimation methods of the model of spatial deformations is made. It is marked that the general fault of the considered methods is their high computing expenses.

Keywords: spatial deformations, comparison of images, conjugated points, special points, optical flow, and vector of motion, orientation, and perspective projection.

Кортунів Вячеслав Іванович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри приёма, передачі і обробки сигналів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: vkortunov@yandex.ru.

Кравчук Александр Сергеевич – ст. преподаватель кафедри приёма, передачі і обробки сигналів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: as_kravchuk@mail.ru.

Бондарь Василий Владимирович – инженер 1-й кат. кафедри приёма, передачі і обробки сигналів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: vasy.l.bondar@mail.ru.

Акуліничев Артем Аркадієвич – канд. техн. наук, доцент, кафедри приёма, передачі і обробки сигналів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.