РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 362 973** (13) **C2**

(51) МПК
G01C 11/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2007121225/28, 06.06.2007**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.06.2007

(43) Дата публикации заявки: **20.12.2008**

(45) Опубликовано: **27.07.2009** Бюл. № **21**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2272254 C1, 20.03.2006. RU 2243504 C1, 27.12.2004. WO 00/46751 A2, 10.08.2000. US 2005/0031197 A1, 10.02.2005.**

Адрес для переписки:
197082, Санкт-Петербург, П-082, ул. Красного курсанта, 16, Военно-космическая академия им.А.Ф.Можайского

(72) Автор(ы):
Баушев Сергей Валентинович (RU),
Козин Евгений Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (RU)

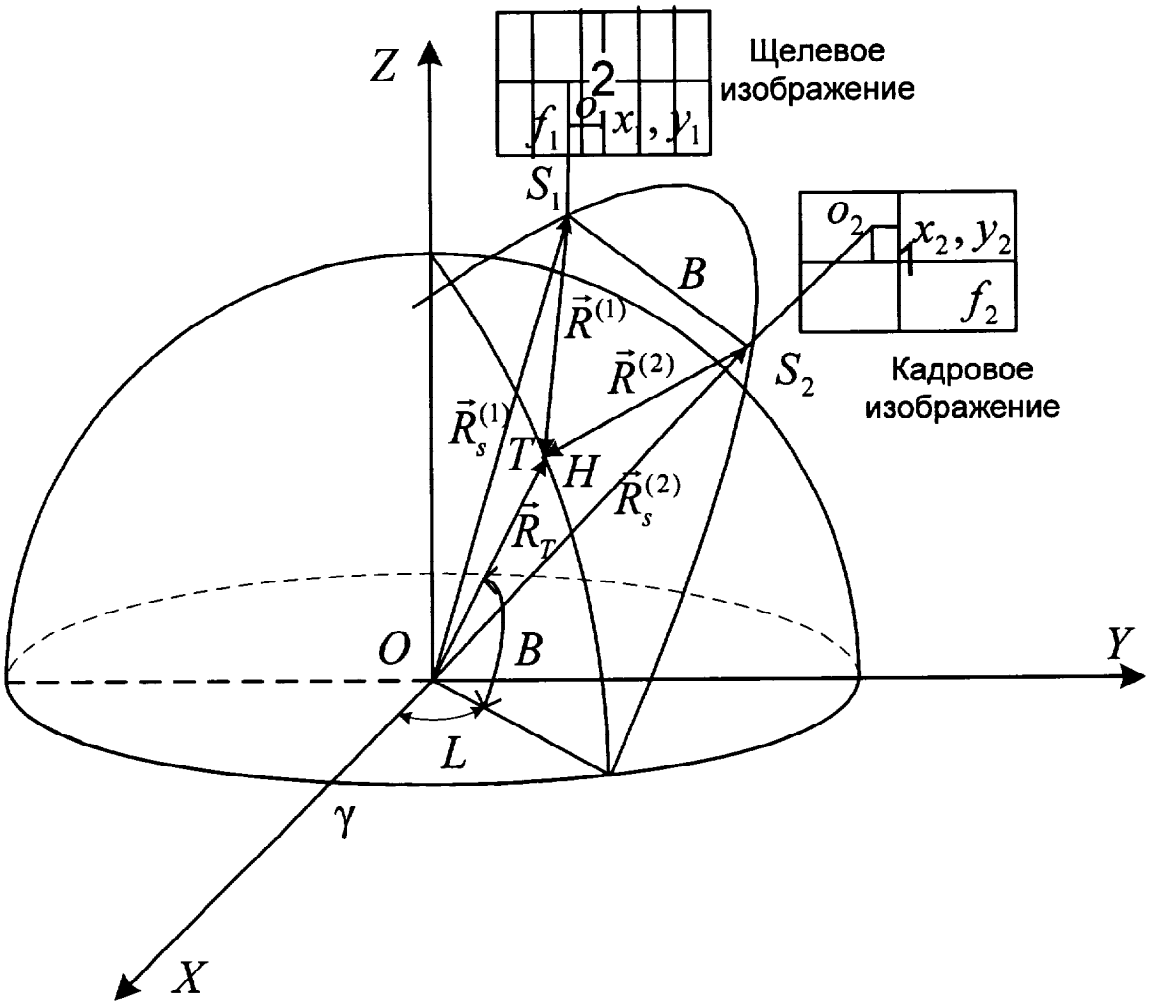
(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УГЛОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области фотограмметрии и может быть использовано для топографической съемки местности путем сравнения двух и более изображений одного и того же участка. Согласно изобретению геодезические координаты точек местности определяют по результатам угломерных измерений на разнородных космических изображениях. Особенность изобретения заключается в том, что угломерные фотограмметрические измерения проводят на двух разнородных изображениях, полученных средствами видового космического наблюдения. При этом геодезические координаты точек местности определяются с единых методологических позиций, причем математические преобразования проводят в угловых величинах через направляющие косинусы векторов лучей визирования без использования информации о рельефе местности. Изобретение позволяет обеспечить потребителя цифровыми моделями рельефа на интересующую территорию. 1 ил.

RU 2362973 C2

RU 2362973 C2



RU 2362973 C2

RU 2362973 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 362 973** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
G01C 11/06 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007121225/28, 06.06.2007**

(24) Effective date for property rights:
06.06.2007

(43) Application published: **20.12.2008**

(45) Date of publication: **27.07.2009 Bull. 21**

Mail address:
197082, Sankt-Peterburg, P-082, ul. Krasnogo kursanta, 16, Voenno-kosmicheskaja akademija im.A.F.Mozhajskogo

(72) Inventor(s):
Baushev Sergej Valentinovich (RU),
Kozin Evgenij Vjacheslavovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Voenno-kosmicheskaja akademija imeni A.F. Mozhajskogo (RU)

(54) METHOD OF DETERMINING GEODESIC COORDINATES OF POINTS OF DETAIL FROM RESULTS OF GONIOMETRIC MEASUREMENTS ON SPACE IMAGES

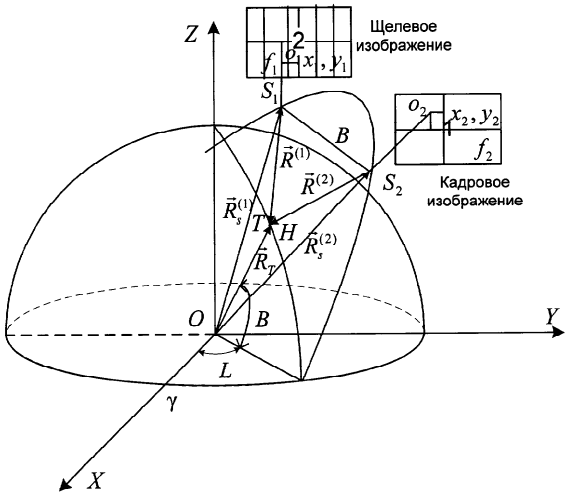
(57) Abstract:

FIELD: photogrammetry.

SUBSTANCE: invention relates to photogrammetry and can be used for ordinance survey by comparing two or more images of the same section. According to the invention, geodesic coordinates to points of detail are determined from results of goniometric measurements on different space images. The distinctive feature of the invention is that, goniometric photogrammetric measurements are taken on two different images, obtained using satellite-borne observation systems. The geodesic coordinates of points of detail are determined from unified methodological positions. Mathematical transformations are done in angular values through directional cosines of vectors of viewing beams without using information on topographical relief.

EFFECT: invention provides the user with digital models of relief on territory of interest.

1 dwg



RU 2362973 C2

RU 2362973 C2

Изобретение относится к области фотограмметрии; топографической съемки местности с помощью фотографирования (путем сравнения двух и более изображений одного и того же участка).

Известен ряд способов определения геодезических координат точек местности. Одним из них является графический фототриангуляционный способ определения геодезических координат точек местности [1, с.129-133].

Рассматриваемый способ обладает рядом достоинств, таких как простота реализации, высокая надежность и автономность, высокая точность.

Недостатками графического способа аналога являются ограниченные возможности повышения оперативности из-за большой трудоемкости и принципиальных ограничений на степень автоматизации операций совмещения изображения и измерительной основы, а также вследствие необходимости в большинстве случаев предварительного трансформирования изображений, зависимость точности графических способов от масштаба измерительной основы и от степени обеспеченности картографическими материалами на недоступную территорию.

Известен топогеодезический способ определения геодезических координат точек местности [2, с.167-171]. Способ использует математическую модель, описывающую положение искомой точки на снимках и на местности как функцию измеренных на снимках координат опорных точек, выбираемых определенным образом. Исходными данными при этом являются: координаты опорных точек на местности, измеренные на снимке плоские координаты соответствующих им точек; плоские координаты искомых точек на снимке, а также их высоты на местности, определяемые обычно по измерительной основе или по цифровой модели рельефа.

Недостатком данного способа является необходимость использования крупномасштабных измерительных основ, резкое снижение точности в условиях обработки малоконтуристых участков местности, необходимость увеличения числа опорных точек при обработке перспективных изображений, а также снижение точности при удалении опорных точек от искомой точки снятия координат. При этом возможности повышения оперативности определения геодезических координат точек местности ограничены необходимостью визуального отождествления 3-4 опорных точек вблизи каждой из определяемых точек, что требует проведения работ вручную. Возможности повышения точности определения геодезических координат топогеодезическими методами ограничены точностью изготовления измерительной основы и необходимостью наличия нескольких опорных точек в непосредственной близости от определяемых точек.

Известен также полиномиальный способ определения геодезических координат точек местности [3, с.124-130]. Указанный способ основан на использовании математической модели связи координат точек изображения и местности в виде аппроксимирующих полиномов различных порядков.

Недостатком способа является низкая оперативность, связанная с необходимостью визуального отождествления и измерения координат большого количества опорных точек на обрабатываемом изображении и на измерительной основе, вследствие этого возможности повышения оперативности полиномиальных методов весьма ограничены.

Широко применяется аналитический фототриангуляционный способ определения геодезических координат точек местности [1, с.123-128]. Преимуществом данного способа является:

- высокая точность получения плановых координат и высот точек местности путем

графического совмещения изображений;

- высокая точность получаемых результатов, достигаемая применением высокоточных измерительных приборов для измерения плоских прямоугольных координат точек местности с возможностью учета всех видов систематических ошибок снимков, которые можно описать математически (деформация, дисторсия, атмосферная рефракция, неточность ориентирования снимков на стереокомпораторе);

- высокая производительность, которая достигается применением автоматизированных стереокомпораторов, позволяющих в автоматизированном режиме фиксировать результаты измерений снимков на носители информации;

- универсальность - возможность обрабатывать снимки с производными параметрами.

Существенным недостатком данного метода являются большие временные затраты на обработку результатов (до нескольких часов для условного кадра), составляющие более половины общего времени геокодирования.

В отдельных случаях аналоговую фототриангуляцию сочетают с аналитической. Для этого на универсальных стереоприборах создают независимые модели, а затем с помощью электронной вычислительной машины соединяют эти модели в общую модель и ориентируют ее внешне.

Из известных способов наиболее близким по своей сущности является орбитальный способ определения геодезических координат точек местности по космическим изображениям [4, с.64-66]. Отличительной особенностью орбитального способа является возможность моделирования процессов формирования изображения от одной независимой переменной, а именно относительно времени фиксации элементарного участка земной поверхности. Способ позволяет без использования опорных точек практически мгновенно рассчитывать координаты точек местности по космическим изображениям.

Недостатком способа-прототипа является то, что для определения геодезических координат точек местности необходима информация о рельефе местности.

Технической задачей предлагаемого изобретения является обеспечение потребителя цифровыми моделями рельефа на интересующую территорию.

На чертеже представлено получение с двух космических аппаратов разнородных изображений одного участка местности.

Решение поставленной задачи заключается в решении классической прямой фотограмметрической засечки по разнородным космическим изображениям. В качестве исходных данных применяются определенные с высокой точностью специальной навигационной аппаратурой и обработанные на наземном автоматизированном комплексе управления геоцентрические координаты векторов положения $\vec{R}_S^{(1)}\left(X_S^{(1)}, Y_S^{(1)}, Z_S^{(1)}\right)$, $\vec{R}_S^{(2)}\left(X_S^{(2)}, Y_S^{(2)}, Z_S^{(2)}\right)$ и векторов скорости $\vec{V}_s^{(1)}\left(V_{X_s}^{(1)}, V_{Y_s}^{(1)}, V_{Z_s}^{(1)}\right)$, $\vec{V}_s^{(2)}\left(V_{X_s}^{(2)}, V_{Y_s}^{(2)}, V_{Z_s}^{(2)}\right)$, угловые элементы внешнего $\theta^{(1)}$, $\gamma^{(1)}$, $\psi^{(1)}$, $\theta^{(2)}$, $\gamma^{(2)}$, $\psi^{(2)}$ космических аппаратов в любой момент времени $t^{(l)}$, $t^{(2)}$, элементы внутреннего ориентирования $x_0^{(1)}$, $y_0^{(1)}$, $f^{(1)}$ съемочной камеры, установленной на КА 1, и $x_0^{(2)}$, $y_0^{(2)}$, $f^{(2)}$ съемочной камеры, установленной на КА 2; опознанные и определенные с высокой точностью на изображениях оператором-дешифровщиком плоские прямоугольные (пиксельные) координаты изображений точек местности $x^{(1)}$, $y^{(1)}$ и $x^{(2)}$, $y^{(2)}$, параметры общеземного эллипсоида.

Рассмотрим более подробно шаги способа определения геодезических координат по результатам угломерных измерений на космических изображениях.

1. Первый шаг. В обработку берут пару разнородных по геометрии построения изображений. В качестве примера рассматривают кадровое и щелевое оптико-электронное изображения. Данные изображения должны быть приблизительно одинаковыми по линейному разрешению на местности (качество изображений).

2. Второй шаг. Выбранные изображения преобразовывают в электронный вид.

3. Третий шаг. На разнородных изображениях определяют плоские прямоугольные (пиксельные) координаты $x^{(1)}$, $y^{(1)}$ и $x^{(2)}$, $y^{(2)}$ общей точки.

4. Четвертый шаг Для определенных моментов времени $t^{(1)}$, $t^{(2)}$ определяют линейные и угловые элементы внешнего ориентирования космических аппаратов $\vec{R}_s^{(1)}\left(X_s^{(1)}, Y_s^{(1)}, Z_s^{(1)}\right)$, $\vec{V}_s^{(1)}\left(V_{X_s}^{(1)}, V_{Y_s}^{(1)}, V_{Z_s}^{(1)}\right)$, $\vec{R}_s^{(2)}\left(X_s^{(2)}, Y_s^{(2)}, Z_s^{(2)}\right)$, $\vec{V}_s^{(2)}\left(V_{X_s}^{(2)}, V_{Y_s}^{(2)}, V_{Z_s}^{(2)}\right)$,

$\theta^{(1)}$, $\gamma^{(1)}$, $\psi^{(1)}$, $\theta^{(2)}$, $\gamma^{(2)}$, $\psi^{(2)}$.

5. Пятый шаг. По координатам точки местности на изображениях определяют моменты времени фиксации элементарного участка (щели) или целого кадра $t^{(1)}$, $t^{(2)}$.

6. Шестой шаг. Плоские координаты изображений точек местности преобразуют в сферические $\beta^{(1)}$ и $\alpha^{(2)}$, $\beta^{(2)}$:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{x - x_0}{f_k}, \qquad (1)$$

$$\beta = \operatorname{arctg}\frac{(y - y_0)\cdot\cos\alpha_k}{f_k}. \qquad (2)$$

7. Седьмой шаг. Определение направляющих косинусов векторов лучей визирования в системах координат кадровой и оптико-электронной камеры производят по формулам:

$$\vec{g}_k = \begin{pmatrix} \cos\beta_k \times \sin\alpha_k \\ \sin\beta_k \\ -\cos\alpha_k \times \cos\beta_k \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

$$\vec{g}_щ = \begin{pmatrix} c \\ d \\ l \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta_щ & -\sin\beta_щ \\ 0 & \sin\beta_щ & \cos\beta_щ \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sin\beta_щ \\ -\cos\beta_щ \end{bmatrix}. \qquad (4)$$

8. Восьмой шаг. Определение направляющих косинусов векторов лучей визирования в геоцентрической системе координат производят в соответствии с выражением:

$$\begin{bmatrix} c' \\ d' \\ l' \end{bmatrix} = [A] \times [B] \times [C] \times \begin{bmatrix} c \\ d \\ l \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

9. Девятый шаг. Определение модулей векторов лучей визирования производят по формулам:

$$D^{(1)'} = \frac{B_y \cdot l_2' - B_z \cdot d_2'}{d_1' \cdot l_2' - d_2' \cdot l_1'}; \quad D^{(1)''} = \frac{B_x \cdot l_2' - B_z \cdot c_2'}{c_1' \cdot l_2' - c_2' \cdot l_1'}; \quad D^{(1)'''} = \frac{B_x \cdot d_2' - B_y \cdot c_2'}{c_1' \cdot d_2' - c_2' \cdot d_1'}. \qquad (6)$$

$$D^{(2)'} = \frac{B_y \cdot c_1' - B_x \cdot d_1'}{c_2' \cdot d_1' - c_1' \cdot d_2'}; \quad D^{(2)''} = \frac{B_z \cdot c_1' - B_x \cdot l_1'}{c_2' \cdot l_1' - c_1' \cdot l_2'}; \quad D^{(2)'''} = \frac{B_z \cdot d_1' - B_y \cdot l_1'}{d_2' \cdot l_1' - d_1' \cdot l_2'}. \qquad (7)$$

$$D^{(1)} = \frac{D^{(1)'} + D^{(1)''} + D^{(1)'''}}{3}; \quad D^{(2)} = \frac{D^{(2)'} + D^{(2)''} + D^{(2)'''}}{3}, \qquad (8)$$

где (B_x, B_y, B_z) - составляющие «временного» базиса съемки B. Для каждой точки местности, изображенной на разнородных изображениях, существует свой базис.

$$B_x = X_s^{(2)} - X_s^{(1)}, \; B_y = Y_s^{(2)} - Y_s^{(1)}, \; B_z = Z_s^{(2)} - Z_s^{(1)}. \qquad (9)$$

10. Десятый шаг. Определение пространственных координат точек местности в геоцентрической системе координат производят по формулам:

$$R_T' = \begin{bmatrix} X_s^{(1)} + c_1' \cdot D^{(1)} \\ Y_s^{(1)} + d_1' \cdot D^{(1)} \\ Z_s^{(1)} + l_1' \cdot D^{(1)} \end{bmatrix}, \quad R_T'' = \begin{bmatrix} X_s^{(2)} + c_2' \cdot D^{(2)} \\ Y_s^{(2)} + d_2' \cdot D^{(2)} \\ Z_s^{(2)} + l_2' \cdot D^{(2)} \end{bmatrix}. \qquad (10)$$

Построенные по плоским (пиксельным) координатам векторы лучей визирования $\vec{R}^{(1)}$ и $\vec{R}^{(2)}$ (см. чертеж), вообще говоря, скрещиваются в пространстве, и середину их общего перпендикуляра можно считать определенным положением точки местности.

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}. \qquad (11)$$

Данные выражения выражают зависимость между координатами точек местности (на Земном эллипсоиде) в инерциальной геоцентрической системе координат и ее изображением на паре снимков (аналоговых или цифровых). Эти зависимости в координатной форме описывают геометрическую модель местности, построенную по паре снимков.

11. Одиннадцатый шаг. Определение пространственных координат точек местности в геоцентрической гринвичской системе координат производят по формулам (12-14).

Для преобразования из геоцентрической инерциальной системы координат в геоцентрическую гринвичскую систему координат применяют соотношения:

$$\begin{bmatrix} X_\Gamma \\ Y_\Gamma \\ Z_\Gamma \end{bmatrix} = [S] \times \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix}, \qquad (12)$$

$$\vec{S} = \begin{bmatrix} \cos(s) & \sin(s) & 0 \\ -\sin(s) & \cos(s) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \qquad (13)$$

где s - звездный угол на Гринвиче в юлианский день на момент съемки.

$$S = \mathrm{mod}\left[\frac{G + 86400 \cdot 1,00273790934 \cdot (JED + 0,5 - h)}{86400}\right], \qquad (14)$$

где G=24110,54841+T·(8640184,812866+T·(0,093104-T·6,2·10^{-6})),

JED - юлианская дата,

h - целая часть от суммы (JED+0,5),

T - интервал времени в юлианских столетиях от эпохи T_i до даты t.

12. Двенадцатый шаг. Определение пространственных координат точек местности в геодезической системе координат производят по формулам (15-17).

1. Определение геодезической долготы точки местности

$L = \mathrm{arctg}\frac{Y_\Gamma}{X_\Gamma}$, если X>0 и Y>0;

$$L = \left(\operatorname{arctg}\frac{Y_Г}{X_Г} + \pi\right)$$, если X<0 и Y>0;

$$L = \left(\operatorname{arctg}\frac{Y_Г}{X_Г} + \pi\right)$$, если X<0 и Y<0;

$$L = \left(\operatorname{arctg}\frac{Y_Г}{X_Г} + 2 \cdot \pi\right), \text{ если } X > 0 \text{ и } Y < 0. \qquad (15)$$

2. Определение геодезической широты точки местности

$$B = \operatorname{arctg}\left(\frac{Z_Г + e \cdot e^1 \cdot a \cdot \sin(\phi)^3}{\sqrt{X_Г^2 + Y_Г^2} - e^2 \cdot a \cdot \cos(\phi)^3}\right); \qquad (16)$$

где

$$\phi = \operatorname{arctg}\left(\frac{Z_Г}{\sqrt{X_Г^2 + Y_Г^2} \cdot \sqrt{1 - e^2}}\right).$$

3. Определение геодезической высоты точки местности

$$H = \frac{Z_Г}{\sin B} - N_B\left(1 - e^2\right); \qquad (17)$$

где $N_B = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$.

Новым в заявляемом методе является то, что большую часть математических преобразований осуществляют в угловых величинах с использованием разнородных по геоетрии построения изображений. Также новым является то, что, в отличии от орбитального метода, для определения геодезических координат точек местности не требуется информация о рельефе.

Источники информации

1 Лобанов А.Н. Фотограмметрия: Учебник для вузов. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Недра, 1984. - 552 с.

2 Тюфлин Ю.С. Космическая фотограмметрия при изучении планет и спутников. - М.: Недра, 1986.

3 Родионов Б.Н. Динамическая фотограмметрия. - М.: Недра, 1983. - 311 с.

4 Желаннов С.А. Теория одиночного снимка: Учебное пособие. - Л.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 1985.

5 Козин Е.В., ктн Сквазников М.А. Алгоритм определения расстояний от космических аппаратов до объекта наблюдения в геоцентрической инерциальной системе координат по двум изображениям: Сборник типовых алгоритмов и программ. Вып.25. - Спб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2006.

Формула изобретения

Способ определения геодезических координат точек местности, использующий известные параметры движения и вращения космических аппаратов в любой момент времени, параметры общеземного эллипсоида, измеренные плоские прямоугольные координаты общей точки местности, известные элементы внутреннего ориентирования бортовой аппаратуры наблюдения, отличающийся тем, что используют два разнородных по геометрии построения космических изображения, соответственно, кадровое и щелевое, полученные средствами космического наблюдения без использования информации о рельефе местности, измеренные по упомянутым изображениям плоские прямоугольные координаты общей точки местности преобразуют в сферические координаты, при этом геодезические

координаты определяют путем решения прямой фотограмметрической задачи по двум упомянутым изображениям, через направляющие косинусы векторов лучей визирования, определенные в сферических координатах соответствующих систем координат используемых камер, которые преобразуют в направляющие косинусы векторов лучей визирования в геоцентрической инерциальной системе координат, по которым производят определение модулей векторов лучей визирования в геоцентрической инерциальной системе координат; по известным значениям модулей векторов лучей визирования определяют координаты точек местности в геоцентрической системе координат, а затем в геодезической системе координат.