

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Issued since 2013.
 E-ISSN: 2413-7499
 2025. 11(1): 34-41

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.34
<https://rjar.cherkasgu.press>



Projective Methods of Processing Space Images

Viktor Ya. Tsvetkov^{a, *}

^a Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation

Abstract

This article explores new methods for processing satellite images. The methods are based on the application of projective geometry and offer an alternative to photogrammetry. Aerial photography is an analogue of satellite imagery. It utilizes photogrammetric methods. Photogrammetry imposes a number of restrictions on images. It methodically processes images obtained using the laws of central projection. This is expressed in the requirement for equal focal lengths along both coordinate axes. Projective methods allow for the processing of images with impaired focal lengths. This makes it possible to process anamorphic images with different focal lengths for both coordinate axes. Photogrammetry solves resection using the method of successive approximations. This requires an a priori specification of nine orientation elements of the image. The initial equations are nonlinear equations with respect to the orientation elements, which do not have a strict solution. They are solved by the approximation method. The a priori specified values are refined using the coordinates of control points on the image and the terrain. The approximations yield precise parameter values. A limitation of the method is the requirement for preliminary determination of the photogrammetric survey parameters. Aerial photography typically utilizes cameras with identical characteristics. Space imaging of planets utilizes cameras of different types and parameters. Projective methods remove limitations on the conditions for photogrammetric image processing. They allow for the combined processing of images with different parameters. Photogrammetric methods only process stereo pairs and only images with identical parameters. Projective methods allow for the simultaneous processing of any number of images and allow for both identical and different image parameters. When imaging planetary surfaces from space, photogrammetric conditions are not always feasible. Therefore, projective methods provide a tool for image processing under these conditions.

Keywords: space exploration, space photography, planetary surface imaging, direct and inverse problems, images with disrupted ligaments, anamorphic images.

1. Введение

Космическая съемка применяется при мониторинге поверхности земли (Savinych, 2017, Kudzh, 2022) и изучении поверхности планет (Бармин et al., 2013). Аналогом космической съемки является аэрофотосъемка (Завгородняя, 2017). Классическая аэрофотосъемка ориентирована на использовании одной камеры для получения серии снимков. Снимки, полученные одной камерой, имеют одинаковые элементы внутреннего ориентирования и это заложено в методику фотограмметрической обработки. При этом высота съемки не превышает 20 км. Космические носители имеют одновременном от трех камер наблюдения

* Corresponding author

E-mail addresses: cvj7@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov)

(Савиных, Цветков, 2001). Длиннофокусная камера с узкой зоной наблюдения, но с высокой точностью определения координат. Широко фокусная обзорная камера. Иногда ставят спектрзональные камеры в четырех спектральных диапазонах, для лучшего опознавания ареальных объектов. Высота съемки составляет сотни и тысячи километров.

2. Обсуждение и результаты

При обработке космических снимков и построении пространственных моделей широко применяют методы геометрии и методы воздушной фотограмметрии и даже когнитивную логику (Savnykh, Tsvetkov, 2021). Методы геометрии допускают применение методов проективной геометрии, которые задают специальный проективный подход. В ходе пространственного моделирования на основе космических снимков необходимо решать прямую задачу «снимок – поверхность» и обратную задачу «поверхность – снимок». Первоначально решают обратную задачу, которая заключается в нахождении параметров космической съемки. Для определения реальных координат на поверхности планеты решают прямую задачу.

В физике, математике, фотограмметрии и геодезии применяют прямые и обратные задачи. В фотограмметрии обратная задача или обратная засечка предшествует прямой задаче. Для определения координат по снимкам необходимо определить параметры снимков и параметры съемки. Для этой цели используют математические зависимости, связывающие координаты местности с координатами снимка. В приведенных ниже формулах (1), (2) показаны базовые уравнения фотограмметрии, описывающие такие пространственные связи. Их используют как для определения параметров фотосъемки, так и в последующем для вычисления координат местности. Эти уравнения описывают законы центрального проектирования для получения изображений на снимке по координатам местности. При разрешении этих двух уравнений относительно параметров съемки получают два нелинейных уравнения относительно 9 неизвестных параметров. Каждая опорная точка дает пару уравнений. Следовательно, для определения 9 параметров необходимо не менее 5 опорных точек. Трехмерные координаты этих точек на местности должны быть известны, а двумерные координаты изображений этих же точек на снимке должны быть измерены. На практике из-за нелинейности уравнений 5 точек не хватает и используют большее количество точек. Также применяют искусственный прием специального расположения опорных точек на местности, что упрощает процедуру обработки, но усложняет полевые работы. Это искусственные условия, налагаемые на определение параметров съемки.

Кроме измерений координат точек в фотограмметрических задачах задают параметры установки фотокамеры. Это также является дополнительным условием выполнения фотосъемки и условием решения обратной засечки. При аэрофотосъемке для этой цели применяют специальную аппаратуру и специальные фотокамеры. Космические фотокамеры и аэрофотокамеры предварительно калибруют и задают паспортное значение фокусного расстояния, которое в процессах обработки считается заданным. Все это накладывает ограничения на выполнение съемки и решение обратной задачи фотограмметрии.

При съемке на фотопленку применяют вакуумные или иные выравнивающие устройства. При использовании цифровых камер необходимость в таких устройствах отпадает. Но может появиться анаморфотность за счет сканирования линейкой ПЗС. Уменьшение этого эффекта достигают увеличением высоты съемки.

В настоящее время применяют цифровые камеры высокого разрешения для получения цифровых снимков. Эти же камеры используют при космических исследованиях. Цифровая камера исключает процедуру доставки фото носителя на землю для его обработки и печати снимков. Она сразу формирует фотоснимок и передает его по каналу связи в центр управления полетом.

Решение задачи с использованием фотограмметрических построений.

Фотосъемка реализует процедуру информационного морфизма, при которой теряется одна координата. Можно констатировать, что в фотограмметрических построениях модель изображения менее информативная, чем модель снимка. Это требует в дальнейшем восстановления информативности в модели местности.

Обратная задача представляет собой преобразование вида

$$XO, YO, ZO, x_0, y_0, dP \rightarrow P \text{ (a)}$$

В выражении (a) XO, YO, ZO – координаты опорных точек на местности; x_0, y_0 – координаты опорных точек на снимке dP – приближенные значения параметров съемки перед началом съемки; P – точные значения параметров съемки после завершения обработки.

Прямая задача представляет собой комплексное преобразование вида

$$[m1(x, y), P1] \wedge [m2(x, y)P2] \rightarrow M(X, Y, Z) \text{ (b)}$$

В выражении (b) X, Y, Z – координаты вычисляемых точек на местности; x, y – координаты изображений этих точек на снимках; $m1$ – точка изображения на первом снимке, соответствующая определяемой точке на местности; $m2$ – точка изображения на втором снимке, соответствующая той же определяемой точке на местности; $P1$ – параметры съемки первого снимка; P – параметры съемки второго снимка; \wedge – символ конъюнкции, обозначающий обязательность обработки двух снимков совместно. С позиций информатики это означает восстановление информативности о пространственной трехмерной ситуации.

Для сравнения рассмотрим фотограмметрический подход решения задачи. В этом подходе параметры съемки формируются в технических характеристиках камеры. Камера имеет одно фокусное расстояние по разным осям и соответственно равный масштаб съемки по обеим осям.

На [Рисунке 1](#) дана геометрическая основа фотограмметрического метода. На [Рисунке 1](#) показана главная точка снимка O с координатами x_0, y_0 , которые не следует путать с координатами опорных точек x_0, y_0 .

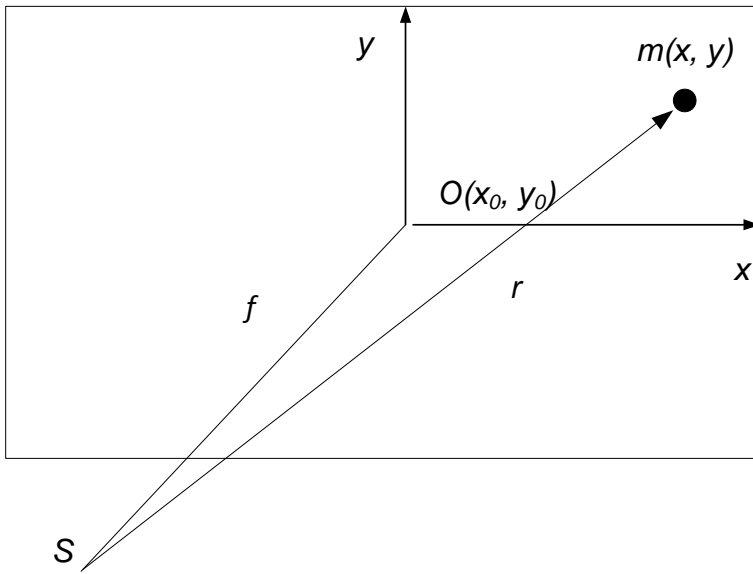


Рис.1. Параметры одиночного снимка

На основе этого подхода применяют геометрические построения, реализующие пространственную центральную засечку. Эти построения описаны формулами (1), (2).

$$x = x_0 - f \frac{a_{11}(X - X_s) + a_{21}(Y - Y_s) + a_{31}(Z - Z_s)}{a_{12}(X - X_s) + a_{23}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \quad (1)$$

$$y = y_0 - f \frac{a_{12}(X - X_s) + a_{22}(Y - Y_s) + a_{32}(Z - Z_s)}{a_{12}(X - X_s) + a_{23}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \quad (2)$$

Параметр f расстояние от точки фотографирования по нормали до плоскости снимка. Величина r обозначает радиус вектор из точки фотографирования до изображения точки на снимке. Выражения (1, 2) описывают информационный морфизм ([Дышленко, 2018](#))

преобразования трех координат точек местности и в две координаты снимка

Выражения (1, 2) применяют для разных целей. При заданных параметрах съемки и координатах местности они служат для получения макетных снимков, то есть макетов координат точек снимка. При известных координатах точек местности и их изображениях на снимке они позволяют получать параметры съемки (элементы ориентирования снимка). Выражения (1, 2) могут применяться для получения координат точек местности, если измерены координатам точек не менее двух снимков, известны параметрах съемки двух снимков или существуют некие дополнительные геометрические условия.

Формулы (1, 2) предполагают одинаковую масштабность по осям координат. В силу это f в формулах (1, 2) одинаково для осей координат снимка x, y . При движении и относительно близком расстоянии такое условие нарушается и наблюдается размытие или «смаз» изображения по оси вдоль которой происходит движение носителя фотокамеры. Для уменьшения этого эффект аэрофотосъемку ведут с большой высоты

На практике возможны случаи динамической фотосъемки, которая создает смаз изображения и разность масштабов по направлению движения и по нормали к нему. Разность масштабов приводит к появлению двух значений f_x и f_y вместо общего одного f .

Формулы (1), (2) основаны на центральном проектировании, что выражается одинаковым масштабом для обеих осей координат.

Применение проективных построений.

Использование методов проективной геометрии создает линейную связь (Цветков, 1979) при определении параметров съемки. Она исключает нелинейность, присущую фотограмметрическим построениям. Обозначения координат те же, что и в фотограмметрических построениях, в формулах, приведенных выше.

В предлагаемом ниже варианте формул используется воздушная система координат, в которой координата Z соответствует вертикали, координата X соответствует горизонтальным линиям, координата Y соответствует условно вертикальным линиям.

При переходе к воздушной или космической съемке координата Z определяет расстояние по вертикали до объекта от точки съемки. Основные базовые уравнения связи имеют вид:

$$x = \frac{A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (3)$$

$$y = \frac{A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (4)$$

Выражения (3), (4) являются альтернативой выражениям (1, 2). В выражениях (3), (4) x, y – координаты точек m , изображенных на снимке, X, Y, Z – координаты этих же точек M на местности. В этом случае также используют опорные точки

Формулы (3), (4) отражают проективную зависимость, допускающую разность масштабов. Они содержат постоянные коэффициенты, которые не имеют прямого физического или геометрического смысла. Это означает переход

$$PPh (9) \rightarrow APA (11)$$

Данное выражение есть переход, а не морфизм. Оно обозначает переход из пространства физических параметров съемки PPh в абстрактное пространство проективных факторов APA . Количество проективных факторов равно 11, то есть на два больше, чем фотограмметрических параметров фотосъемки. Это, естественно, влечет применение на одну опорную точку больше, чем при фотограмметрических построениях. Но нелинейность фотограмметрических построения приводит к необходимости использования не минимального числа опорных точек (5), а их избыточное количество (>5) для подавления погрешностей и лучшейходимости нелинейного решения.

Следует отметить, что более 100 лет существования фотограмметрии никто сходимостью данного решения не исследовал. То есть не определены точные математические условия,

при которых уравнения (1), (2) дают устойчивое решение относительно PPh.

В отличие от этого выражения (3), (4) раскрываются линейно относительно АРА (11). Линейность не только исключает необходимость последовательных приближений, но и позволяет напрямую применять методы наименьших квадратов. Большее число параметров АРА (11). обусловлено наличием двух возможных масштабов по осям и двух фокусных расстояний. Для центральной связки эти величины не различаются. Для разрушенной связки они характеризуют меру анаморфотности.

Проективный подход исключает требование предварительного определения элементов ориентирования снимка. Расчеты координат производят по коэффициентам A_i , в которые параметры съемки входят неявно. Если возникнет необходимость, то элементы ориентирования могут быть вычислены по коэффициентам A_i .

Формулы (3), (4) позволяют формировать линейную систему уравнений для параметров АРА (11). Минимальное количество пар уравнений для нахождения АРА (11). равно 6. С учетом измерений точек на местности и на снимке с погрешностями их выбирают от 8 до 10. Любая точка дает пару линейных уравнений.

$$A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4 - A_9 xX - A_{10} xY - A_{11} xZ = x \quad (5)$$

$$A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8 - A_9 yX - A_{10} yY - A_{11} yZ = y \quad (6)$$

Выражения (5), (6) составлены для воздушной или для космической съемки. В них координатами снимка являются x, y .

Исходные уравнения (5) (6) дают возможность построить матрицу решения с показом ее структуры.

Матрица								Неизвестн ые			Свобод ч	
X ₁	Y ₁	Z ₁	1					-xX ₁	-xY ₁	-xZ ₁ A ₁		x ₁ i
				X ₁	Y ₁	Z ₁	1	-Yx ₁	-yY ₁	-yZ ₁ A ₂		y ₁
X ₂	Y ₂	Z ₂	1					-xX ₂	-xY ₁	-xZ ₁ A ₃		x ₁ i
				X ₂	Y _i	Z _i	1	-yX	-yY ₂	-yZ ₂ A ₄		y ₁
X ₃	Y ₃	Z ₃	1					-xX ₁₃	-xY ₃	-xZ ₁₃ A ₅		x ₁ i
				X _i	Y _i	Z _i	1	-yX _i	-yY ₁	-yZ ₁ A ₆	=	y ₁
X ₄	Y ₁	Z ₁	1					-xX ₄	-xY ₄	-xZ ₄ A ₇		x ₁ i
				X _i	Y _i	Z _i	1	-yX _i	-yY ₁	-yZ ₁ A ₈		y ₁
X ₅	Y ₁	Z ₁	1					-xX ₁	-xY ₁	-xZ ₁ A ₉		x ₁ i
				X _i	Y _i	Z _i	1	-yX _i	-yY ₁	-yZ ₁ A ₁₀		y ₁
X ₆	Y ₁	Z ₁	1					-xX ₁	-xY ₁	-xZ ₁ A ₁₁		x ₁ i
				X _i	Y _i	Z _i	1	-yX _i	-yY ₁	-yZ ₁		y ₁

В матричной форме имеем

$$M A = C \quad (7)$$

В выражении (7) M есть прямоугольная матрица 12 x 11. Она имеет избыточную строку., Вектор C – вектор свободных членов. Столбец A столбец неизвестных параметров. Итоговая формула нахождения проективных факторов такова

$$A = [M^T M]^{-1} [M^T B] \quad (8)$$

Выражение (8) линейно вычисляет АРА (11). При необходимости параметры PPh (9) вычисляют по формулам (9-13)

Координаты главной точки снимка определяют по формулам (9) (10).

$$x_o = (A_1 A_9 + A_2 A_{10} + A_3 A_{11}) \gamma \quad (9)$$

$$y_o = (A_5 A_9 + A_6 A_{10} + A_7 A_{11}) \gamma \quad (10)$$

Где

$$\gamma = (A_9 A_9 + A_{10} A_{10} + A_{11} A_{11})^{-1} \quad (11)$$

Значения фокусных расстояний по осям определяют по формулам

$$f_x = (A_1 A_1 + A_2 A_2 + A_3 A_3) \gamma - x_0^2)^{1/2} \quad (12)$$

$$f_y = (A_5 A_5 + A_6 A_6 + A_7 A_7) \gamma - y_0^2)^{1/2} \quad (13)$$

Выражение (12) определяет фокусное расстояние по оси ОХ. Выражение (13) определяет фокусное расстояние по оси ОУ. Это является принципиальным отличием от фотограмметрических вычислений. Оно означает, что проективная засечка допускает возможность разных масштабов по разным осям координат. На практике это имеет место при съемке с подвижных носителей камеры. В обычной фотограмметрии используют только одно фокусное расстояние как среднее арифметическое между f_x и f_y .

Одно фокусное расстояние в (1) и (2) как среднее арифметическое между f_x и f_y дает заведомо ошибочные расчеты по обеим координатам при анаморфотных снимках. Углы наклона плоскости фотоснимка определены в работе (Цветков, 1979).

Важнейший параметр внешнего ориентирования точка центра проектирования. Ее координаты X_s, Y_s, Z_s определяют по формуле (14).

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_5 & A_6 & A_7 \\ A_9 & A_{10} & A_{11} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_4 \\ -A_8 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

В выражении (14) коэффициенты A_i – известные величины, полученные на основе решения обратной проективной засечки по выражениям (5), (6). Параметры X_s, Y_s, Z_s – параметры точки фотографирования, требующие определения. Выражение (14) является линейным и не требует итеративной процедуры. Выражение (14) не требует предварительного определения приближенных значений X_s, Y_s, Z_s .

Снимки при решении проективной засечки могут иметь одинаковые или разные фокусные расстояния. Это обусловлено тем, что они в формулах эти параметры в явном виде не присутствуют. Проективная засечка расширяет возможности космической съемки и исключает ограничения, которые накладывает фотограмметрия.

Решение прямой проективной задачи возможно по уравнениям (5) (6), если считать коэффициенты A_i заданными. В этом случае выражения (5) (6) можно разрешить относительно координат точек местности X, Y, Z

$$X(A_1 - A_9 x) + Y(A_2 - A_{10} x) + Z(A_3 - A_{11} x) = x - A_4 \quad (15)$$

$$X(A_5 - A_9 y) + Y(A_6 - A_{10} y) + Z(A_7 - A_{11} y) = y - A_8 \quad (16)$$

$$X(A'_1 - A'_9 x') + Y(A'_2 - A'_{10} x') + Z(A'_3 - A'_{11} x') = x' - A'_4 \quad (17)$$

$$X(A'_5 - A'_9 y') + Y(A'_6 - A'_{10} y') + Z(A'_7 - A'_{11} y') = y' - A'_8 \quad (18)$$

Четыре линейных уравнения (15-18) позволяют определять три неизвестные координаты точек местности (планеты) X, Y, Z по параметрам съемки первого A_i и второго A'_i снимка и по измерениями координат этих точек на первом x, y и втором x', y' снимках.

Особенностью выражений (15-18) является их линейность и возможность дополнения координатами третьего, четвертого и прочих снимков. При этом снимки могут иметь разные фокусные расстояния (Цветков, Ходорович, 1986), что неприемлемо для фотограмметрической засечки.

3. Заключение

Методы проективной геометрии являются хорошей альтернативой фотограмметрическим методам. Они особенно полезны в условиях, когда ограничения на фотограмметрическую съемку выполнить нельзя. Их применение затруднено плохим знанием фотограмметристами математики. Это подтверждается опытом преподавания в

МИИГАиК. Большинство из них, даже доктора наук, с трудом допускает мысль о наличии двух фокусных расстояний. По точности метод превосходит фотограмметрические определения. На проведенных экспериментах удалось определить координаты тела, движущегося со скоростью 600-60 м/сек, на расстоянии 3км от точки съемки с погрешностью 3см и 14 см по двум осям.

Литература

- Бармин и др., 2013** – Бармин И.В., Савиных В.П., Цветков, В.Я. Дистанционный метод определения координат точек на поверхности планеты // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2013. (3): 26-29.
- Дышленко, 2018** – Дышленко С.Г. Информационный морфизм пространственных преобразований // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2018. № 6 (10). С. 21-26.
- Завгородняя, 2017** – Завгородняя Д.В. Преимущества аэрофотосъемки над наземными видами съемки // *European research*. 2017. Рр. 291-293.
- Савиных, Цветков, 2001** – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картоцентр-Геодиздат. 2001. 224 с.
- Цветков, 1979** – Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск, 1979. С. 56-63.
- Цветков, Ходорович, 1986** – Цветков В.Я., Ходорович Е.А. Составление обмерных чертежей архитектурных памятников с использованием архивных фотоснимков. М.: МК РСФСР, Ростревация. 1986. 52 с.
- Kudzh, 2022** – Kudzh S.A. Development of space monitoring // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2022. 8(1): 12-22.
- Savinych, 2017** – Savinych, V.P. Evolution of Space Monitoring // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2017. 3(1): 33-40.
- Savinych, 2018** – Savinych V.P. Evolution of the Salyut Space Research Program // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 19-33
- Savnykh, Tsvetkov, 2021** – Savnykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Cognitive Logic's Principles / *Artificial Intelligence in Intelligent Systems: Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021*. 2: 288-296. Springer International Publishing, 2021.

References

- Barmin i dr., 2013** – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Distantionnyi metod opredeleniya koordinat tochek na poverkhnosti planet [Remote sensing method for determining the coordinates of points on the planet's surface]. *Vestnik NPO im. SA Lavochkina*. (3): 26-29. [in Russian]
- Dyshlenko, 2018** – Dyshlenko, S.G. (2018). Informatsionnyi morfizm prostranstvennykh preobrazovaniy [Information morphism of spatial transformations]. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 6(10): 21-26. [in Russian]
- Kudzh, 2022** – Kudzh, S.A. (2022). Development of space monitoring. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 8(1): 12-22.
- Savinych, 2017** – Savinych, V.P. (2017). Evolution of Space Monitoring. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 3(1): 33-40.
- Savinych, 2018** – Savinych, V.P. (2018). Evolution of the Salyut Space Research Program. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 19-33
- Savnykh, Tsvetkov, 2001** – Savnykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. М.: Kartotsentr-Geodezizdat. 224 p. [in Russian]
- Savnykh, Tsvetkov, 2021** – Savnykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2021). Cognitive Logic's Principles. *Artificial Intelligence in Intelligent Systems: Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021*. 2: 288-296. Springer International Publishing.
- Tsvetkov, 1979** – Tsvetkov, V.Ya. (1979). Metodika obrabotki snimkov nepravil'noi formy. Razvitie i ispol'zovanie aerokosmicheskikh metodov izucheniya prirodnikh yavlenii i resursov [Methodology for processing irregularly shaped images. development and use of aerospace

methods for studying natural phenomena and resources]. Novosibirsk. Pp. 56-63. [in Russian]

Tsvetkov, Khodorovich, 1986 – *Tsvetkov, V.Ya., Khodorovich, E.A. (1986). Sostavlenie obmernykh chertezhei arkhitekturnykh pamyatnikov s ispol'zovaniem arkhivnykh fotosnimkov* [Preparation of dimensional drawings of architectural monuments using archival photographs]. M.: MK RSFSR, Rosrestavratsiya. 52 p. [in Russian]

Zavgorodnyaya, 2017 – *Zavgorodnyaya, D.V. (2017). Preimushchestva aerofotos"emki nad nazemnymi vidami s"emki* [Advantages of aerial photography over ground-based surveys]. *European research*. Pp. 291-293. [in Russian]

Проективные методы обработки космических снимков

Виктор Яковлевич Цветков^{a, *}

^a Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует новые методы обработки космических снимков. Методы основаны на применении проективной геометрии и являются альтернативой методам фотограмметрии. Аналогом космической съемки является аэрофотосъемка. Она использует фотограмметрические методы. Фотограмметрия требует ряд ограничений на снимки. Методически она обрабатывает снимки, полученные по законам центрального проектирования. Это выражается в требовании равного фокусного расстояния по двум осям координат. Проективные методы позволяют обрабатывать снимки с нарушенными связками. Это создает возможность обработки анаморфотных снимков с разными фокусными расстояниями для двух осей координат. Фотограмметрия решает обратную засечку методом последовательных приближений. Для этого она требует априорного задания девяти элементов ориентирования снимка. Исходными являются нелинейные уравнения относительно элементов ориентирования, которые не имеют строго решения, а решаются методом приближений. Априорно заданные значения уточняются с использованием координат опорных точек на снимке и местности. Приближения получают точные значения параметров. Ограничением метода является условие предварительного определения параметров фотограмметрической съемки. Для аэрофотосъемки применяют камеры одинаковых характеристик. Для космической съемки планет применяют камеры разных типов и разных параметров. Проективные методы снимают ограничения на условия фотограмметрической обработки снимков. Они позволяют обрабатывать совместно снимки с разными параметрами. Фотограмметрические методы позволяют обрабатывать только стереопары и только снимков с одинаковыми параметрами. Проективные методы позволяют обрабатывать любое количество снимков одновременно и допускают как одинаковые, так и разные параметры снимком. При космической съемке поверхностей планет условия фотограмметрической съемки не всегда выполнимы. Поэтому проективные методы дают инструмент обработки снимков в этих условиях

Ключевые слова: космические исследования, космические фотоснимки, съемка поверхностей планет, прямая и обратная задача, снимки с нарушенными связками, анаморфотные снимки

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: cvj7@mail.ru (В.Я. Цветков)