

doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-2-245-251

УДК 535.2

Концепция регистрации изображений с использованием двухэлементного активного оптико-электронного комплекса

Александр Иванович Алтухов¹, Денис Сергеевич Коршунов²✉

^{1,2} Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

¹ aai_51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4105-0296>

² korshunov.denis@rambler.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-6344-2533>

Аннотация

Предмет исследования. Предложена концепция получения изображений, на основе которых возможно создание трехмерных моделей объектов. В частности, изображения содержат данные, необходимые для воссоздания объемной формы объекта. К таким данным относятся: длина и ширина моделируемого объекта, а также удлинение тени, отбрасываемой на базовую поверхность. **Метод.** В соответствии с концепцией, условием получения изображений, применимых для обработки, является использование разнесенной в пространстве генерирующей и регистрирующей оптической аппаратуры. Параметры ориентирования источника подсветки и камеры выбраны с учетом требований к фотограмметрическому качеству изображений. **Основные результаты.** Представлена характеристика геометрических искажений, возникающих при смене режима съемки с планового на перспективный, которая демонстрирует изменение соотношения сторон изображения в зависимости от угла наклона камеры. Рассмотрены особенности удлинения тени в зависимости от пространственного положения источника оптического излучения. Показано влияние параметров ориентирования средства оптической подсветки на протяженность тени, отбрасываемой на базовую поверхность. Обоснован выбор параметров взаимного ориентирования в пространстве источника оптической подсветки и регистрирующей оптической аппаратуры. **Практическая значимость.** Прогнозирование величины геометрических искажений изображений на этапе выбора параметров взаимного ориентирования аппаратуры двухэлементного активного оптико-электронного комплекса позволяет сохранить фотограмметрическое качество снимков и выполнить измерения длины и ширины объекта. Полученная величина удлинения тени в условиях искусственной оптической подсветки обеспечивает возможность передачи признаков на изображении для расчета аппликаты и воссоздания объемной формы объекта. Предложенная концепция регистрации изображений может найти применение при ведении топогеодезических и инженерных работ в условиях недостаточной естественной освещенности. Например, использование двухэлементного активного оптико-электронного комплекса обеспечит возможность получения трехмерных фотопланов местности географических районов с непродолжительным световым днем.

Ключевые слова

оптическая подсветка, регистрация изображений, двухэлементные активные оптико-электронные комплексы

Ссылка для цитирования: Алтухов А.И., Коршунов Д.С. Концепция регистрации изображений с использованием двухэлементного активного оптико-электронного комплекса // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 2. С. 245–251. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-2-245-251

The concept of aerial photography using a two-element active optoelectronic complex

Alexander I. Altuchov¹, Denis S. Korshunov²✉

^{1,2} Mozhaisky Military Aerospace Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation

¹ aai_51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4105-0296>

² korshunov.denis@rambler.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-6344-2533>

Abstract

The article proposes the concept of obtaining images on the basis of which it is possible to create three-dimensional models of objects. In particular, images contain the data necessary to recreate the three-dimensional form of an object.

© Алтухов А.И., Коршунов Д.С., 2023

Such data include: the length, width of the modeled object as well as the lengthening of the shadow cast on the base surface. In accordance with the proposed concept, an important condition for obtaining images suitable for interpretation is the use of spatially separated equipment generating and recording optical radiation. The orientation parameters of the illumination source and the camera are selected, taking into account the requirements for the photogrammetric quality of images. A characteristic of geometric distortions that occur when changing the shooting mode from plan to perspective is presented, which demonstrates the change in the aspect ratio of the image depending on the angle of the camera. A characteristic of the shadow elongation depending on the spatial position of the optical radiation source is presented, which shows the influence of the orientation parameters of the optical illumination means on the length of the shadow cast on the base surface. On the basis of these characteristics, the choice of parameters of relative orientation in space of the source of optical illumination and the equipment that detects optical radiation is substantiated. Predicting the value of geometric distortions of images at the stage of choosing the parameters of relative orientation of the equipment of a two-element active optoelectronic complex allows you to save the photogrammetric quality of images and, as a result, measure the length and width of an object. Predicting the magnitude of the shadow elongation under conditions of artificial optical illumination provides the possibility of transferring features in the image for calculating the applicate and, as a result, recreating the three-dimensional shape of the object. The proposed concept of image registration finds application in topographic and geodetic and engineering work in conditions of insufficient natural light. For example, the use of a two-element active optical-electronic complex makes it possible to obtain three-dimensional photo plans of the terrain of geographic regions with a short daylight hours.

Keywords

optical illumination, image registration, two-element active optical-electronic complexes

For citation: Altuchov A.I., Korshunov D.S. The concept of aerial photography using a two-element active optoelectronic complex. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2023, vol. 23, no. 2, pp. 245–251 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-2-245-251

Введение

Развитие оптико-электронных комплексов регистрации изображений обусловлено задачами непрерывного мониторинга территорий, состояние которых подвержено изменениям в ходе природных явлений и техногенных процессов [1–3]. Полученные изображения являются наглядным источником информации и служат основой для принятия взвешенных и обоснованных решений. Применение указанных комплексов возможно только в условиях достаточной освещенности снимаемого объекта, что не всегда обеспечивается естественными источниками оптического излучения [4].

Выполнить регистрацию изображений в условиях недостаточной освещенности можно путем применения активных оптико-электронных комплексов (АОЭК), оснащенных средствами искусственной подсветки [5–9]. Источник подсветки формирует световой пучок в направлении базовой поверхности. Рассеянное базовой поверхностью оптическое излучение регистрируется камерой и используется для построения изображений [6]. В зависимости от технических особенностей ис-

полнения АОЭК выделим два подхода к сканированию базовой поверхности (рис. 1).

При использовании АОЭК в первом подходе (рис. 1, *a*) изображение формируется в результате перемещения светового пятна по базовой поверхности в пределах поля зрения регистрирующей камеры. При этом диаметр светового пятна много меньше диаметра поля зрения камеры $D_{И} \ll D_{К}$. Для АОЭК во втором подходе (рис. 1, *b*) источник подсветки формирует световое пятно диаметром много шире диаметра поля зрения регистрирующей камеры $D_{И} \gg D_{К}$. Изображение образуется при последовательном перемещении поля зрения камеры внутри светового пятна.

Один из проблемных вопросов создания двухэлементных АОЭК — согласование параметров ориентирования источника подсветки и регистрирующей камеры для воспроизведения дешифровочных признаков. На основе данных параметров построена трехмерная модель снимаемого объекта, а также выполнено сохранение фотограмметрического качества изображения, что обеспечивает высокую локальную точность при измерениях.

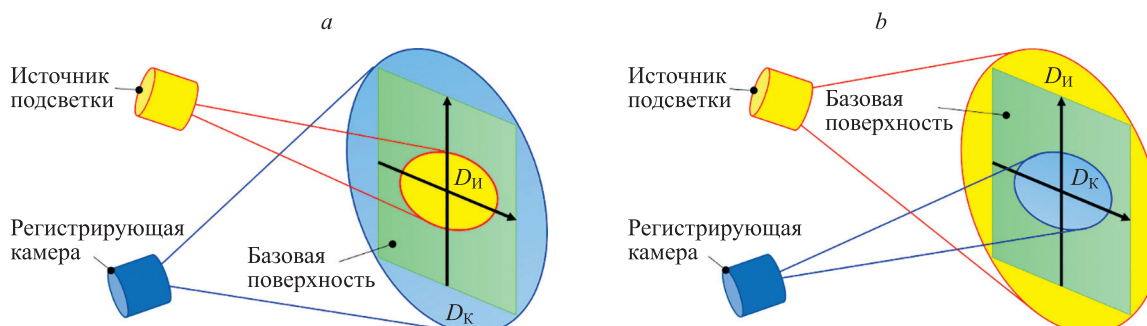


Рис. 1. Подходы к сканированию базовой поверхности с использованием двухэлементного активного оптико-электронного комплекса при перемещениях: светового пучка внутри поля зрения камеры (а); поля зрения камеры внутри светового пучка (б)

Fig. 1. Surface Scanning Approaches using a two-element active optical-electronic complex: the case of moving a light beam inside the field of view of the camera (a); the case of moving the camera field of view inside the light beam (b)

Цель работы — обоснование условий оптической подсветки и регистрации изображений для выбора параметров ориентирования источника подсветки и регистрирующей камеры относительно базовой поверхности.

Обоснование условий оптической подсветки базовой поверхности

Для отображения прямых и косвенных дешифровочных признаков снимаемого объекта источник оптического излучения и регистрирующую камеру предложено разнести относительно базовой поверхности [10, 11]. Результаты моделирования показали, что, согласно законам прямолинейного распространения света, в условиях прямой подсветки из положения 1 объекта оптическое излучение рассеивается в направлении камеры и используется для построения только планового изображения (рис. 2, а). Полученное изображение содержит данные для построения двумерной пространственной характеристики объекта на основе его ширины a и длины b . Измерение характеристики выполнено в системе координат базовой плоскости. В случае наклонной подсветки 2 снимаемого объекта образуется область тени (рис. 2, б). Удлинение тени h использовано при вычислении аппликаты с целью воссоздания объемной формы объекта по высоте или глубине.

В рамках моделирования условий наклонной подсветки из положения 2 (рис. 2, б) получены частные случаи рассеяния оптического излучения объектом на базовой поверхности. Излучение от источника, расположенного на расстоянии (H) от базовой поверхности, может быть зарегистрировано камерой и использовано для создания изображения. При рассеянии в направлении базовой поверхности (рис. 3, а, с), камерой регистрируется первично и вторично рассеянное оптическое излучение, на основе которого строится изображение фона. При рассеивании в направлении камеры (рис. 3, б) регистрируется первично рассеянное оптическое излучение, на основе которого строится изображение объекта. Оптическая тень (рис. 3, с),

под которой понимается часть пространства базовой поверхности, неосвещаемая источником подсветки, используется для построения изображения тени от снимаемого объекта. На основе рассмотренных частных случаев рассеяния оптического излучения построим упрощенную модель изображения подсвечиваемой сцены (рис. 3, д). В данном случае изображение состоит из фона (базовой поверхности), объекта и тени.

Частные случаи рассеяния оптического излучения описаны законами прямолинейного распространения света. В случае рассеяния излучения в направлении базовой поверхности (рис. 3, а), оптический луч A , падая на боковую грань объекта a , согласно условию $\alpha \approx \beta$, отражается в направлении базовой поверхности P . Вторичное отражение луча A в точке базовой поверхности a' изменяет его направление на регистрирующую аппаратуру. В случае рассеяния в направлении камеры (рис. 3, б) оптический луч B отражается верхним основанием объекта b непосредственно в направлении регистрирующей аппаратуры. Таким образом, луч B характеризует оптическое излучение, на основе которого строится плановое изображение объекта (рис. 3, д), несущее информацию о его длине и ширине. В случае формирования тени, оптический луч C (рис. 3, с), падая на грань объекта c , формирует область оптической тени на базовой поверхности P , проникновению оптического излучения в которую препятствует светонепроницаемая поверхность снимаемого объекта. Удлинение тени $c'c''$ используется для расчета аппликаты cc' . В частности, удлинение тени $c'c''$, угол наклона источника оптического излучения к базовой поверхности ϵ и аппликата cc' связаны выражениями:

$$c'c'' = cc'tg\epsilon$$

или

$$cc' = c'c''tg\epsilon.$$

В рамках моделирования построим график связи параметров ориентирования источника оптической подсветки и величины удлинения тени (N), отбрасываемой на базовую поверхность (рис. 4).

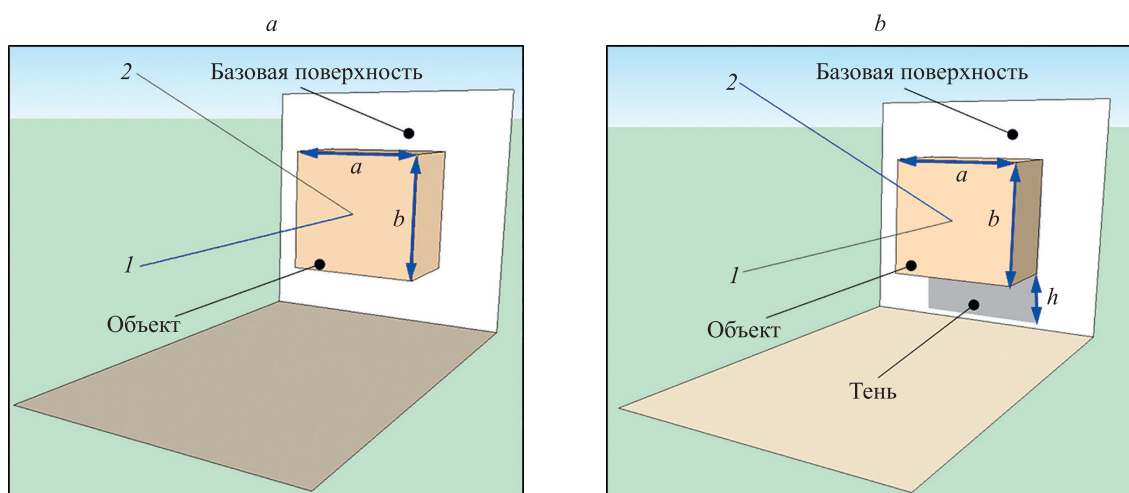


Рис. 2. Результаты моделирования условий при двух положениях подсветок: 1 — прямом (а) и 2 — наклонном (б)

Fig. 2. Illumination Simulation Results: case of direct illumination (a); tilt backlight case (b)

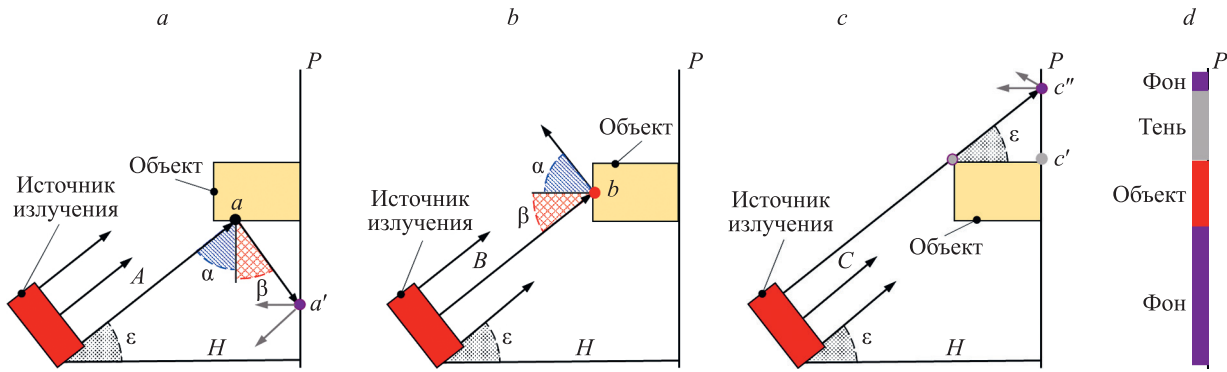


Рис. 3. Частные случаи рассеяния оптического излучения: в направлениях базовой поверхности (а) и камеры (b); оптической тени (с); изображение подсвечиваемой сцены (d)

Fig. 3. Cases of scattering of optical radiation: in the direction of the base surface (a); towards the camera (b); optical shadow (c); image of the illuminated scene (d)

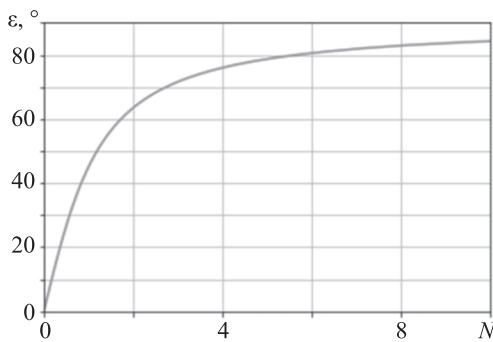


Рис. 4. Характеристика удлинения тени

Fig. 4. Characteristic of the elongation of the shadow

Из рис. 4 видно, что в случае прямой подсветки из положения 1 (рис. 2, а) $\epsilon = 0^\circ$, а тень, отбрасываемая на базовую поверхность, отсутствует, т. е. $N = 0$. По мере увеличения угла наклона линии визирования источника подсветки к базовой поверхности наблюдается формирование области тени и ее последующее удлинение. Например, для случая $\epsilon = 45^\circ$ удлинение тени сопоставимо с высотой снимаемого объекта $N = 1$, а для $\epsilon = 60^\circ$ — превышает высоту объекта на $N \approx 1,8$. Прогнозирование величины удлинения тени в условиях искусственной подсветки позволило обосновать выбор угла наклона источника подсветки к базовой поверхности при применении АОЭК. Полученный результат обеспечил формирование прямых и косвенных дешифровочных признаков, необходимых для воссоздания формы снимаемого объекта в трехмерном пространстве.

Обоснование условий регистрации изображений

На выбор параметров ориентирования регистрирующей аппаратуры существенное влияние оказывает фотограмметрическое качество изображений, под которым понимается наличие или отсутствие геометрических искажений, снижающих точность измерений по снимку [1]. Одна из причин формирования геометрических искажений — увеличение угла наклона линии визирования регистрирующей аппаратуры к базовой поверх-

ности α . Оценим влияние на фотограмметрическое качество изображений планового и перспективного режимов съемки [12]:

$$a_n = \frac{A_{1,2} \sin \beta \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\omega}{2} \right) \cos^2(\gamma)}}{\sin \left(\gamma + \frac{\omega}{2} \right) \sin \left(\gamma - \frac{\omega}{2} \right)}; \alpha = \arccos \left(\frac{A_1}{A_2} \right);$$

$$b_{n,1} = \frac{2A_{1,2} \cos \left(\frac{\omega}{2} \right) \operatorname{tg} \left(\frac{\omega}{2} \right)}{\sin \left(\gamma - \frac{\omega}{2} \right)}; b_{n,2} = \frac{2A_{1,2} \cos \left(\frac{\omega}{2} \right) \operatorname{tg} \left(\frac{\omega}{2} \right)}{\sin \left(\gamma + \frac{\omega}{2} \right)},$$

где a_n — длина изображения; $b_{n,1}$ и $b_{n,2}$ — ширина дальней и ближней границ изображений; γ — угол скольжения линии визирования; ω — угловое поле зрения объектива; A_1 и A_2 — прямая и наклонная дальности; n — положение подсветки (прямой (1) и наклонной (2)).

Результаты выполненных расчетов показали, что изменение режима регистрации изображения камерой S с планового на перспективный ведет к изменению формы кадра с квадратной на трапециевидную и образует геометрические искажения (рис. 5, а). На рис. 5, б представлена характеристика геометрических искажений, связывающая изменения соотношений сторон планового P_1 и перспективного P_2 изображений с изменением угла наклона камеры к базовой поверхности α . Из графика видно, что для случая $\alpha = 35^\circ$ длина перспективного изображения a_2 превышает длину планового изображения a_1 , что выражается через масштабный коэффициент $N = 1,5$. Стороны перспективного изображения $b_{2,1}$ и $b_{2,2}$ также подвержены удлинению. При $\alpha = 35^\circ$ удлинение стороны $b_{2,1}$ в сравнении со стороной b_1 составляет $N = 1,25$, а удлинение стороны $b_{2,2}$ — $N = 1,2$. Согласно графиком, с целью компенсации геометрических искажений, угол наклона камеры к базовой поверхности не должен превышать $\alpha \leq 5^\circ$.

Наличие геометрических искажений влияет на восприятие формы объекта и снижает точность измерений по изображению. Устранение геометрических искажений существующими апостериорными методами

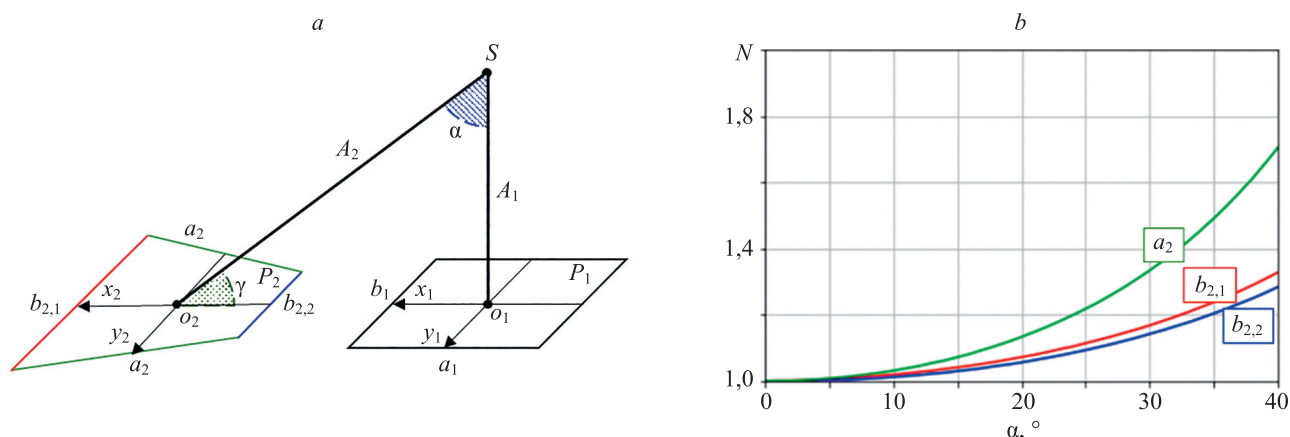


Рис. 5. Влияние угла наклона камеры на фотограмметрическое качество изображения: изменение формы изображения (а); характеристика удлинений сторон изображения (b)

Fig. 5. Effect of camera angle on photogrammetric image quality: changing the shape of the image (a); the elongation of the image sides (b)

подразумевает выполнение процедур геометрической коррекции, что усложняет общий процесс обработки изображений. В случае использования АОЭК геометрические искажения можно компенсировать априорным способом — используя плановый режим регистрации изображений.

Концепция регистрации изображений с использованием активного оптико-электронного комплекса

На основе результатов моделирования при условиях оптической подсветки объектов и регистрации изображений можно сделать следующий вывод. Для получения снимка с набором прямых и косвенных дешифровочных признаков, необходимых для воссоздания объемной формы снимаемого объекта и сохранения фотограмметрического качества изображений, требуется использовать режим наклонной подсветки базовой поверхности и плановый режим съемки, что возможно путем разнесения в пространстве источника излучения и регистрирующей аппаратуры. С учетом перечисленных ограничений сканирование базовой поверхности предложено выполнять совместно, перемещая в пространстве базовой поверхности световое пятно и поле зрения камеры. При этом углы наклона аппаратуры к базовой поверхности должны быть зафиксированы, а размеры светового пятна и поля зрения камеры согласованы. Например, диаметр поля зрения камеры D_K для случая плановой съемки определим по формуле [13–15]:

$$D_K = h \frac{l}{f},$$

где f — фокусное расстояние камеры; h_K — прямая дальность до камеры; l — линейный размер изображения.

Рассчитаем диаметр светового пятна D_{II} в условиях наклонной подсветки для согласования с полем зрения камеры D_K :

$$D_{II} = h_{II} \left(\tan \left(\varepsilon + \frac{\beta}{2} \right) - \tan \left(\varepsilon - \frac{\beta}{2} \right) \right),$$

где ε — угол наклона источника подсветки к базовой поверхности; h_{II} — прямая дальность до источника подсветки; β — угол сходимости светового пучка.

Наглядно подход к сканированию базовой поверхности, в рамках предложенной концепции регистрации изображений с использованием двухэлементного АОЭК, представлен на рис. 6.

Согласование углов наклона источника оптического излучения и регистрирующей аппаратуры, диаметров светового пятна и поля зрения камеры открывает возможность к получению изображений с высокими измерительными и изобразительными свойствами в условиях ограниченной освещенности базовой поверхности.

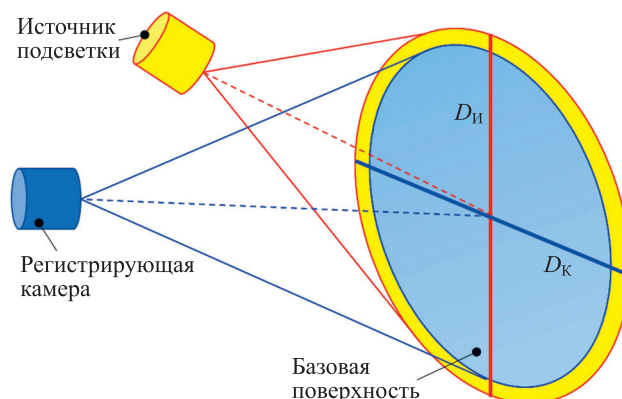


Рис. 6. Концепция сканирования базовой поверхности с использованием двухэлементного активного оптико-электронного комплекса

Fig. 6. Basic surface scanning concept using a two-element active optoelectronic complex

Заключение

В работе предложена концепция регистрации изображений с использованием двухэлементного активного оптико-электронного комплекса, применение которого целесообразно в условиях недостаточной естественной освещенности. Согласно концепции, формирование изображений выполнено в режиме одновременной подсветки и фотофиксации при условии разнесения источника оптического излучения и регистрирующей камеры относительно базовой поверх-

ности. Такое разнесение обосновано возможностью воспроизведения на изображении прямых и косвенных дешифровочных признаков объекта, а также сохранением фотограмметрического качества, что способствует высокоточным измерениям. Результаты исследований влияния угла подсветки на формирование теней, а также планового и перспективного режимов съемки на величину геометрических искажений формы изображения могут быть использованы для согласования параметров взаимного ориентирования элементов активного оптико-электронного комплекса.

Литература

1. Григорьев А.Н., Алтухов А.И., Коршунов Д.С. Подход к ведению аэросъемки местности с использованием компоновки оптико-электронных камер // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 3. С. 318–326. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-3-318-326>
2. Григорьев А.Н., Замарин А.И., Караваев М.Н. Метод формирования групповых объектов для космических средств дистанционного зондирования Земли // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 4. С. 587–594. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-4-587-594>
3. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений. М.: Физматлит, 2006. 288 с.
4. Юрченко В.И. Особенности проектирования аэрофотосъемочных работ с беспилотного воздушного судна // Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26. № 2. С. 65–81. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-65-81>
5. Карасик В.Е., Орлов В.М. Локационные лазерные системы видения. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 478 с.
6. Григорьев А.Н., Алтухов А.И., Коршунов Д.С. Подход к получению изображений объектов на основе данных непрямо лазерной локации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21. № 1. С. 31–39. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2021-21-1-31-39>
7. Garipey G., Krstajic N., Henderson R., Li C., Thomson R.R., Buller G.S., Heshmat B., Raskar R., Leach J., Faccio D. Single-photon sensitive light-in-flight imaging // Nature Communications. 2015. V. 6. N 1. P. 6021. <https://doi.org/10.1038/ncomms7021>
8. Korotaev V.V., Maraev A.A. Sources and detectors of optical radiation. Saint Petersburg: ITMO University, 2017. 104 p.
9. Маркушин Г.Н., Коротаев В.В., Кошелев А.В., Самохина А.И., Васильев А.С., Васильева А.В., Ярышев С.Н. Комплексирование изображений в двухдиапазонной сканирующей оптико-электронной системе поиска и обнаружения браконьерского промысла // Оптический журнал. 2020. Т. 87. № 6. С. 57–65. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-06-57-65>
10. Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Алтухов А.И., Гнусарев Н.В., Коршунов Д.С. К вопросу учета условий освещенности при съемке космических объектов фотографическими средствами // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 3-1(42). С. 58–62.
11. Хрущ Р.М. Аэрокосмические методы. Часть 1. Аэрокосмические съемки и теория одиночного фотоснимка: учебное пособие. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2009. 160 с.
12. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования», 2013. 768 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).
13. Молчанов А.С., Чаусов Е.В. Методика оценивания линейного разрешения авиационных цифровых оптико-электронных систем в процессе летных испытаний // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 2. С. 140–150.
14. Занин К.А. Методы проектирования оптико-электронных комплексов космических аппаратов // Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований. Т. 1. М.: МАИ, 2012. С. 261–335.

References

1. Grigor'ev A.N., Altukhov A.I., Korshunov D.S. Aerial mapping based on arrangement of optical electron cameras. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 318–326. (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-3-318-326>
2. Grigoriev A.N., Zamarin A.I., Karavaev M. N. Method of group objects forming for space-based remote sensing of the Earth. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 587–594. (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-4-587-594>
3. Zlobin V.K., Eremeev V.V. *Aerospace Imaging Processing*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006, 288 p. (in Russian)
4. Yurchenko V. Design peculiarities of the aerial photography from an unmanned aircraft. *Vestnik SSUGT*, 2021, vol. 26, no. 2, pp. 65–81. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-65-81>
5. Karasik V.E., Orlov V.M. *Location-Based Laser Vision Systems*. Moscow, BMSTU Publ., 2013, 478 p. (in Russian)
6. Grigor'ev A.N., Altuchov A.I., Korshunov D.S. Approach to getting images of objects based on indirect laser location data. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. 31–39. (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2021-21-1-31-39>
7. Garipey G., Krstajic N., Henderson R., Li C., Thomson R.R., Buller G.S., Heshmat B., Raskar R., Leach J., Faccio D. Single-photon sensitive light-in-flight imaging. *Nature Communications*, 2015, vol. 6, no. 1, pp. 6021. <https://doi.org/10.1038/ncomms7021>
8. Korotaev V.V., Maraev A.A. *Sources and detectors of optical radiation*. Saint Petersburg, ITMO University, 2017, 104 p.
9. Markushin G.N., Koshelev A.V., Samokhina I.A., Korotaev V.V., Vasil'ev A.S., Vasil'eva A.V., Yaryshev S.N. Image fusion in a dual-band scanning optoelectronic system for the search and detection of poaching activity. *Journal of Optical Technology*, 2020, vol. 87, no. 6, pp. 365–370. <https://doi.org/10.1364/jot.87.000365>
10. Emelyanov S.G., Atakishev O.I., Altuchov A.I., Gнусарев N.V., Korshunov D.S. On accounting lighting conditions to survey space objects photographic means. *Proceedings of Southwest State University*, 2012, no. 3-1(42), pp. 58–62. (in Russian)
11. Khrushch R.M. *Aerospace Methods. Part 1. Aerial and Satellite Surveys and a Single Still Photograph Theory*. St. Petersburg, Saint Petersburg State University Publ., 2009, 160 p. (in Russian)
12. Moiseev V.S. *Applied Command and Control Theory for Unmanned Aerial Vehicles*. Kazan, Republican center for monitoring the quality of education, 2013, 768 p. (in Russian)
13. Molchanov A.S., Chausov E.V. Method of estimating a linear solution aviation digital optico-electronic systems during flight testing process. *Proceedings of the TSU. Technical Sciences*, 2019, no. 2, pp. 140–150. (in Russian)
14. Zanin K.A. Methods for designing optical-electronic complexes of space vehicles. *Design of automatic space vehicles for fundamental scientific research*. Moscow, MAI Publ., 2012, pp. 261–335. (in Russian)
15. Grigorev A.N., Korshunov D.S., Beliaev A.S. Quality prediction of the hyperspectral images of remote sensing space systems. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*, 2010, no. 629, pp. 143–147. (in Russian)

15. Григорьев А.Н., Коршунов Д.С., Беляев А.С. Прогнозирование качества гиперспектральных снимков космических систем дистанционного зондирования // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2010. № 629. С. 143–147.

Авторы

Алтухов Александр Иванович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, [sc 57217053398](https://orcid.org/0000-0002-4105-0296), <https://orcid.org/0000-0002-4105-0296>, aai_51@mail.ru
Коршунов Денис Сергеевич — кандидат технических наук, доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, [sc 57195312804](https://orcid.org/0000-0001-6344-2533), <https://orcid.org/0000-0001-6344-2533>, korshunov.denis@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 10.01.2023
Одобрена после рецензирования 07.02.2023
Принята к печати 27.03.2023

Authors

Alexander I. Altuchov — PhD, Associate Professor, Head of Department, Mozhaisky Military Aerospace Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, [sc 57217053398](https://orcid.org/0000-0002-4105-0296), <https://orcid.org/0000-0002-4105-0296>, aai_51@mail.ru
Denis S. Korshunov — PhD, Associate Professor, Mozhaisky Military Aerospace Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, [sc 57195312804](https://orcid.org/0000-0001-6344-2533), <https://orcid.org/0000-0001-6344-2533>, korshunov.denis@rambler.ru

Received 10.01.2023
Approved after reviewing 07.02.2023
Accepted 27.03.2023



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»