



УДК 528.067

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПУТЕМ СИНТЕЗИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С РАЗНОЙ ЭКСПОЗИЦИЕЙ

А.И. Алтухов^а, Е.И. Шабakov^а, Д.С. Коршунов^а^а Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

Адрес для переписки: Korshunov.Denis@rambler.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 23.11.16, принята к печати 30.12.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-24-30

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Алтухов А.И., Шабakov Е.И., Коршунов Д.С. Повышение качества изображений путем синтезирования космических снимков с разной экспозицией // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 1. С. 24–30. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-24-30

Аннотация

Предмет статьи. Предложен подход к повышению качества изображений подстилающей поверхности, полученных космическими средствами в видимом диапазоне спектра. В основу подхода положена идея синтеза изображений местности с разной экспозицией. Это позволяет увеличить динамический диапазон яркости изображения и отобразить на результирующем снимке яркие и слабоосвещенные объекты. Актуальность предложенного подхода подтверждается результатами моделирования качества изображений объектов в различных условиях освещенности. За показатель качества выбрано линейное разрешение на местности. **Основные результаты.** Проведен анализ возможных изменений условий освещенности подстилающей поверхности в пределах полосы захвата бортовой аппаратуры наблюдения космического аппарата. Выполнен расчет линейного разрешения на местности в узких спектральных диапазонах видимого излучения для фрагментов космического снимка подстилающей поверхности с различной освещенностью. Сделан вывод, что качество космических снимков ограничено, так как параметры работы бортовой аппаратуры наблюдения не выбираются индивидуально для каждого регистрируемого объекта в пределах полосы захвата. Предложен подход к повышению качества изображений. **Практическая значимость.** Предложенный подход к обработке данных дистанционного зондирования Земли позволяет получать пригодные для интерпретации снимки с учетом особенностей освещенности территории, а также повысить точность информационного обеспечения при выполнении работ топогеодезического обеспечения и картографирования территорий.

Ключевые слова

синтез изображений, экспозиция, качество космического снимка, тематическая обработка данных, дешифрирование.

INCREASED IMAGE QUALITY BY SYNTHESIZING SPACE PHOTOS WITH DIFFERENT EXPOSURES

A.I. Altuhov^а, E.I. Shabakov^а, D.S. Korshunov^а^а Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation

Corresponding author: Korshunov.Denis@rambler.ru

Article info

Received 23.11.16, accepted 30.12.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-24-30

Article in Russian

For citation: Altuhov A.I., Shabakov E.I., Korshunov D.S. Increased image quality by synthesizing space photos with different exposures. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 24–30. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-24-30

Abstract

Subject of Research. The paper deals with an approach to the image quality improvement of the underlying surface, obtained by space-based facilities in the visible spectrum. The approach is based on the idea of the region image synthesis with different exposures. This enables to increase the dynamic range of image brightness and display bright and poorly lighted places on the result picture. The relevance of the proposed approach is confirmed by simulation results of objects image quality under a variety of lighting conditions. Linear ground resolution is selected as the quality indicator. **Main Results.** We have carried out behavior analysis of possible changes in the lighting conditions of the underlying surface in the range of onboard equipment swath of spacecraft observation. We have performed calculation of the terrain linear resolution in narrow spectral ranges of visible light for the space image fragments of the underlying surface with different illumination. It was concluded that the quality of satellite images is limited, since the parameters of onboard equipment monitoring are not selected individually for each object detected within the swath. We have proposed an approach to improve the image quality.

Practical Relevance. The proposed approach to the processing of the Earth remote sensing data gives the possibility to obtain images suitable for interpretation with account for specific features of illumination area, as well as to improve the dataware accuracy during the survey support and mapping of areas.

Keywords

image synthesis, exposure, space image quality, thematic data processing, interpretation

Введение

Одним из факторов, влияющих на качество снимков, полученных космическими средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), является освещенность местности [1–3]. На рис. 1 приведены снимки одной и той же территории, полученные при различных условиях освещенности. Снимок выделенной области 1 получен в условиях прямой освещенности Солнцем. Здесь наблюдается высокий контраст между объектом (дорожная сеть) и фоном (растительный покров). На снимке выделенной области 2 контраст между объектом и фоном значительно хуже, что обусловлено наличием помех вследствие непрямого (переотраженного) освещения местности.

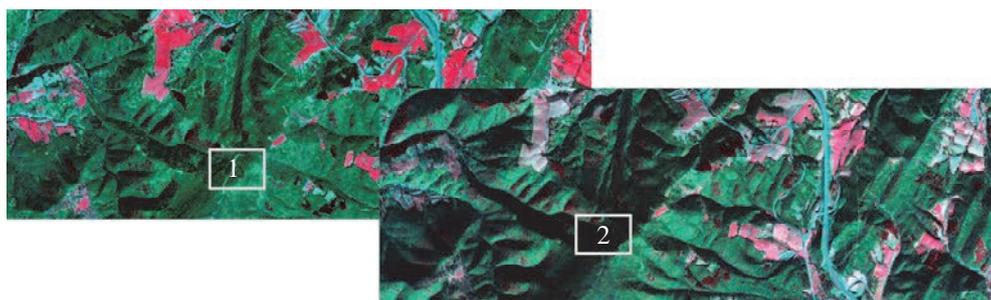


Рис. 1. Разновременные данные дистанционного зондирования Земли

Для получения изображений требуемого качества на этапе планирования применения средств ДЗЗ решается задача прогнозирования результатов космической съемки с учетом условий наблюдения и закономерностей их изменения [4–6]. Одним из показателей прогнозируемого качества космического снимка является линейное разрешение на местности (ЛРМ). Результаты априорной оценки ЛРМ используются для выбора наилучших параметров работы оптико-электронной системы (ОЭС) космического аппарата ДЗЗ [7–9]. Важно отметить, что выбрать параметры съемки, обеспечивающие получение изображения с максимальным значением ЛРМ в пределах всей полосы захвата, сложно. Это объясняется тем, что в пределах полосы захвата объекты расположены в разных условиях освещенности с различными отражательными характеристиками. Регистрация таких объектов требует индивидуальных настроек бортовой аппаратуры наблюдения. Это подтверждается результатами прогнозирования ЛРМ в условиях космической съемки.

Результаты прогнозирования качества изображений при ведении съемки из космоса

Одним из распространенных подходов к прогнозированию качества изображений, получаемых космическими средствами ДЗЗ, является расчет ЛРМ $L_{ЛРМ}$, численное значение которого характеризует минимальный размер объекта, отображенного на снимке. Значение данного показателя рассчитывается по формуле [4, 8, 9]

$$L_{ЛРМ}(\lambda) = \frac{D_H}{2v_{ОЭС}(\lambda)f}, \tag{1}$$

где D_H – наклонная дальность съемки; f – фокусное расстояние объектива; $v_{ОЭС}$ – разрешающая способность ОЭС; λ – длина волны излучения.

Формула (1) учитывает влияние параметров работы аппаратуры наблюдения на качество снимка. В работах [4, 5, 9, 10] предложены методы определения разрешающей способности, основанные на моделировании частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) звеньев информационного тракта ОЭС. Построить ЧКХ системы для случая космической съемки можно, используя выражение

$$T_{ОЭС}(v, \lambda) = T_A(v, \lambda) T_{Об}(v, \lambda) T_{Сф}(v) T_B(v) T_{ФПУ}(v) T_C(v), \tag{2}$$

где T_A – ЧКХ атмосферы; $T_{Об}$ – ЧКХ объектива; $T_{Сф}$ – ЧКХ системы фокусировки; T_B – ЧКХ вибрации оптико-электронной системы; $T_{ФПУ}$ – ЧКХ фотоприемного устройства; v – пространственная частота.

Разрешающая способность ОЭС с учетом условий освещенности объектов в разных спектральных поддиапазонах определяется выражением [7]

$$\Psi_{ОЭС}(L_{ЛРМ}, \lambda, k) = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{S T_{ОЭС}(v, \lambda)}{\sigma_{Ш}} \cdot \sqrt{\frac{5}{4v^2 a_{ПИ}^2}}, \tag{3}$$

где $\Psi_{\text{ОЭС}}$ – предельное воспринимаемое отношение сигнала к шуму; S – величина полезного сигнала в электронах; $\sigma_{\text{ш}}$ – среднеквадратичное отклонение шума; k – контраст между объектом и фоном в исследуемом спектральном диапазоне.

При прогнозировании значения ЛРМ выражение (3) решается относительно пространственной частоты ν при фиксированной величине контраста k . Результатом решения является предельное значение пространственной частоты $\nu_{\text{ОЭС}}$ (разрешающая способность), для которой выполняется условие

$$\Psi_{\text{ОЭС}}(L_{\text{ЛРМ}}, \lambda, k) = \Psi_{\text{р}}(L_{\text{ЛРМ}}, \lambda, k), \quad (4)$$

где $\Psi_{\text{р}}$ – предельное воспринимаемое отношение сигнала к шуму для вероятности распознавания простых объектов на изображении $P = 0,8$.

Результаты расчетов, полученные с использованием выражений (1)–(4), позволяют оценить влияние внешних условий наблюдения и параметров работы ОЭС на качество снимка. Для выполнения расчетов использовались параметры условно-реальной ОЭС, оптические характеристики объектов и условий наблюдения, приведенные в табл. 1–3. На рис. 2 приведены результаты прогнозирования ЛРМ, полученные для разных спектральных поддиапазонов. В качестве объектов наблюдения выбраны бетонная и асфальтовая дороги на фоне вегетирующей травы и суглинка.

Параметр оптико-электронной системы	Значение
Фокусное расстояние объектива f , м	4
Диаметр входного отверстия объектива $d_{\text{ВХ}}$, м	0,5
Погрешность фокусировки объектива Δf , м	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Среднеквадратичное отклонение вибрации фотоустановки $\sigma_{\text{в}}$, рад	10^{-7}
Размер элемента фотоприемного устройства $a_{\text{ПИ}}$, мкм	12
Высота съемки H , км	500
Коэффициент турбулентности атмосферы $\sigma_{\text{н}}$, рад	10^{-7}

Таблица 1. Исходные данные для расчетов линейного разрешения на местности

Спектральный диапазон, мкм	Середина спектрального диапазона, мкм	Спектральная облученность на входе в атмосферу, Вт/м ²
0,43–0,51	0,47	54,425
0,51–0,58	0,545	26,066
0,60–0,70	0,65	18,515
0,70–0,90	0,80	16,674
0,80–0,90	0,85	6,28

Таблица 2. Спектральные характеристики условий съемки

Середина спектрального диапазона, мкм	Спектральный коэффициент отражения			
	бетон	асфальт	суглинок	вегетирующая трава
0,47	0,1988	0,0569	0,0938	0,0429
0,545	0,2500	0,0708	0,1630	0,0938
0,65	0,3034	0,0862	0,2734	0,0594
0,80	0,3154	0,1012	0,3367	0,3879
0,85	0,3165	0,1097	0,3592	0,3770

Таблица 3. Характеристики объектов наблюдения

Полученные результаты показывают, что качество изображений объектов в пределах полосы захвата аппаратуры наблюдения отличается. При моделировании съемки бетонной дороги на фоне вегетирующей травы в случае прямого освещения Солнцем (синие столбцы диаграммы рис. 2, а) прогнозируемое значение ЛРМ составляет 1,5–2,5 м. Ослабление светового потока (тень от облаков, рельеф местности) ухудшает ЛРМ до значений 3–5 м. При моделировании съемки бетонной дороги на фоне суглинка (рис. 2, б) ЛРМ, в зависимости от спектрального поддиапазона и условий освещенности, изменяется в пределах 1,46–20 м. Подобный характер изменений наблюдается при прогнозировании ЛРМ в случае моделирования съемки асфальтовой дороги на фоне вегетирующей травы и суглинка (рис. 2, в, г).

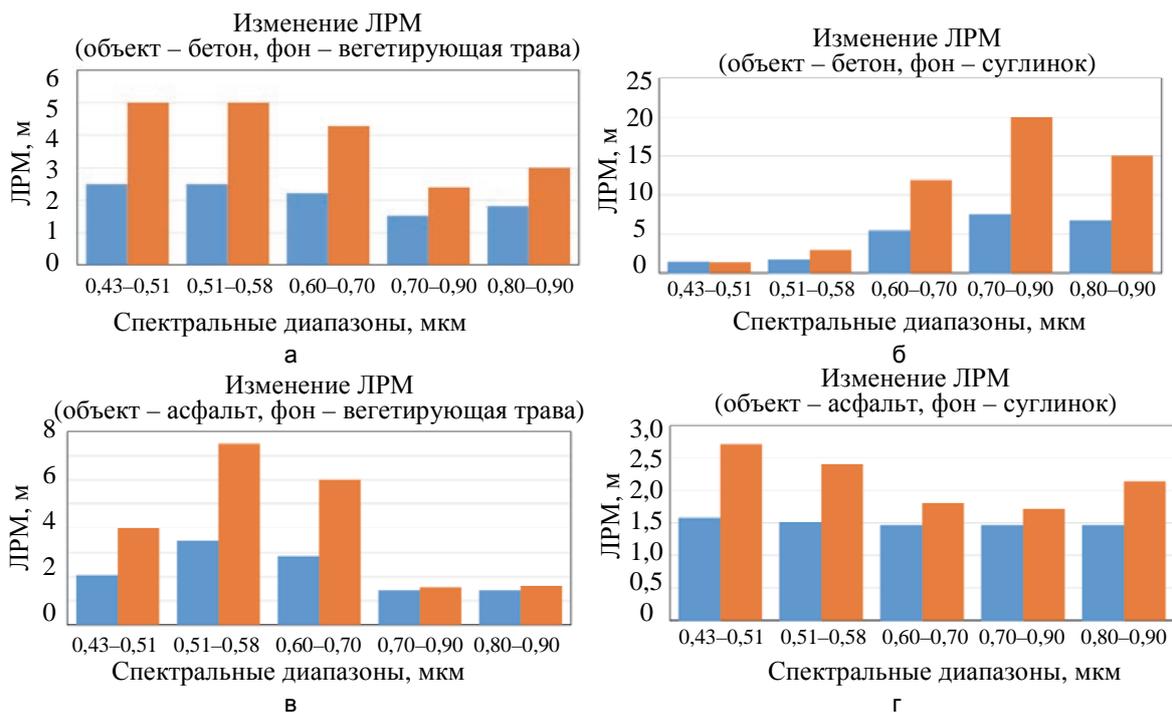


Рис. 2. Результаты прогнозирования линейного разрешения на местности: бетонная дорога на фоне вегетирующей травы (а); бетонная дорога на фоне суглинка (б); асфальтовая дорога на фоне вегетирующей травы (в); асфальтовая дорога на фоне суглинка (г).

Условия освещенности заданы наклоном Солнца 90° – прямое освещение объекта (синие столбцы диаграммы) и 10° – не прямое освещение объекта (коричневые столбцы диаграммы)

Результаты моделирования подтверждают вывод о том, что для получения изображений наилучшего качества параметры работы ОЭС должны выбираться индивидуально для каждого регистрируемого объекта, находящегося в пределах полосы захвата, с учетом спектрального поддиапазона и условий освещенности. Это предполагает динамическую коррекцию времени накопления заряда при регистрации отдельных фрагментов результирующего снимка [10–12], а также реализацию сложных алгоритмов считывания зарядовых пакетов с фотоприемного устройства, что современные средства ДЗЗ на сегодняшний день выполнить не позволяют. Решить задачу повышения качества результирующего снимка возможно путем совместной обработки изображений с различной экспозицией.

Повышение качества изображений путем совместной обработки космических снимков с различной экспозицией

Совместная обработка снимков с различной экспозицией позволяет увеличить динамический диапазон яркости результирующего изображения [13–15]. Реализация данного подхода предполагает получение средствами ДЗЗ нескольких снимков района подстилающей поверхности с различным временем накопления заряда. Для получения первого снимка, используя светосигнальную характеристику ОЭС, выбирается среднее время накопления заряда. Данное изображение предназначено для регистрации объектов, расположенных в пределах полосы захвата в нормальных условиях освещенности. Второй, «недоэкспонированный» снимок предназначен для регистрации объектов с высокими коэффициентами отражения. Третий снимок предназначен для регистрации объектов в плохих условиях освещенности. Для его получения выбирается максимально возможное время накопления заряда. Ограничением при съемке в космосе является возможный «смаз» изображения [5]. По этой причине за выбранное время накопления перемещение линии визирования местности не должно превышать проекцию одного фоточувствительного элемента на местности [7, 8]:

$$T_H \leq \frac{R}{V},$$

где R – проекция одного фоточувствительного элемента на местность; V – скорость подспутниковой точки на проекции Земли; T_H – время накопления заряда фотоприемным устройством ОЭС. Полученные различные значения яркости, измеренные по серии космических снимков с учетом характеристической кривой ОЭС, сопоставляются с истинными значениями реальной освещенности местности и комбинируются в одно изображение с широким динамическим диапазоном яркости. Концептуальная схема получения результирующего космического снимка с широким диапазоном яркости приведена на рис. 3.

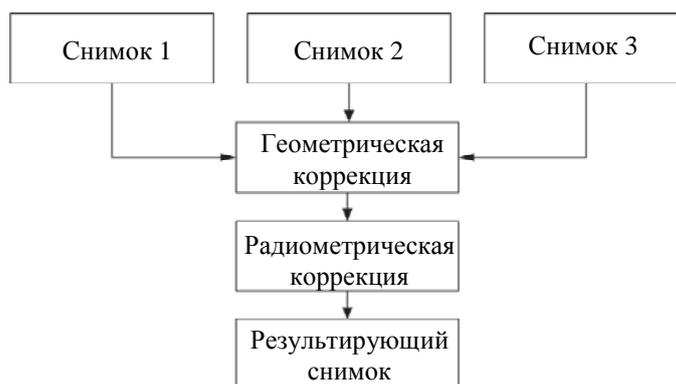


Рис. 3. Этапы получения изображения с широким динамическим диапазоном

Комбинирование нескольких изображений в одно предполагает выполнение промежуточных этапов обработки – геометрической и радиометрической коррекции снимков. В ходе геометрической коррекции, используя современные методы цифровой обработки изображений [16–18], выполняется ортотрансформирование снимка и его пространственная привязка. На данном этапе устраняются искажения, вызванные рельефом подстилающей поверхности и отклонением оптической оси камеры от направлением в надира. Выполняется выравнивание изображений относительно друг друга путем определения связующих точек и точек планово-высотного обоснования. Связующие точки устанавливаются в зонах перекрытия между соседними снимками, объединяя их в единую слоевую модель. Точки планово-высотного обоснования служат для привязки модели к местности. Исходными данными для выполнения геометрической коррекции служат элементы ориентирования снимков и планово-высотное обоснование.

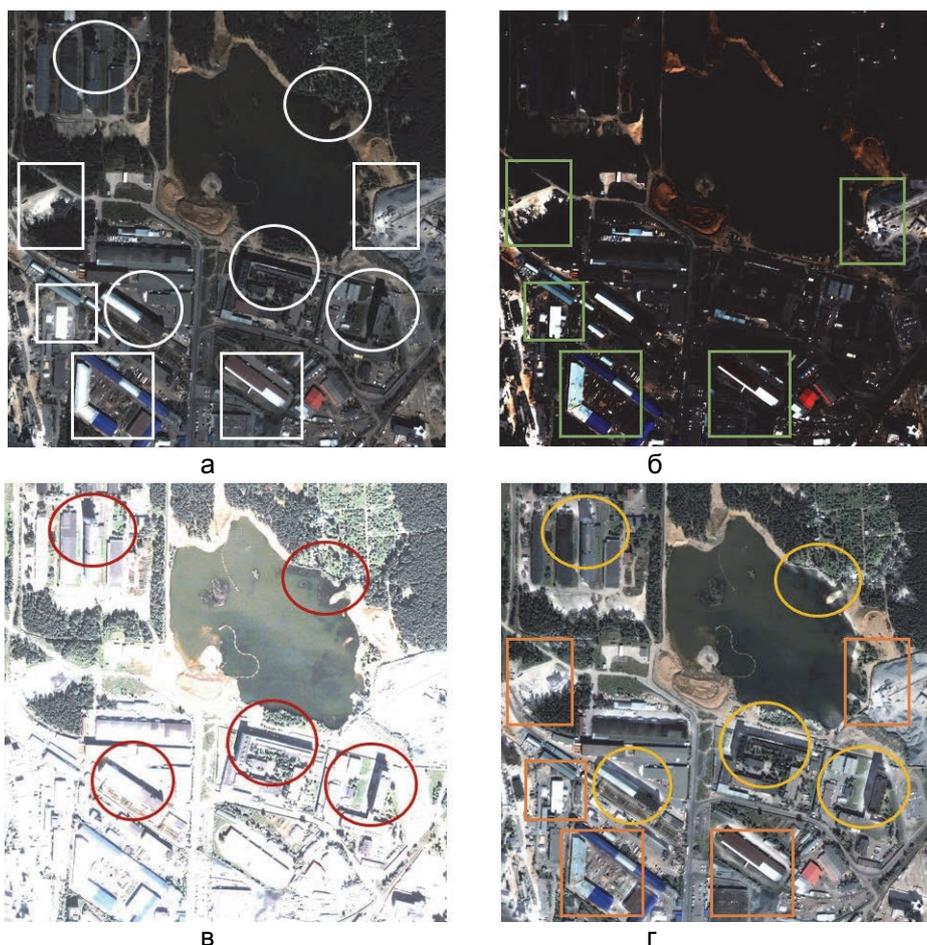


Рис. 4. Комбинирование изображений с различной экспозицией: изображение, полученное при средней экспозиции (а); изображение, полученное при низкой экспозиции (б); изображение, полученное при высокой экспозиции (в); результат синтеза изображений с разной экспозицией (г)

В ходе радиометрической коррекции устраняются искажения, обусловленные используемой камерой – например, модуляция изображения в направлениях, параллельно или перпендикулярно главной оси снимка. Также устраняются дефекты, наблюдаемые как сбойные пиксели изображения [7].

На заключительном этапе обработки выполняется комбинирование нескольких изображений в единый снимок. Результат обработки серии космических снимков, полученных с различным временем накопления заряда, приведен на рис. 4, г.

На рис. 4, а, представлен снимок, полученный при выборе среднего времени накопления заряда. Снимок содержит объекты, пригодные для интерпретации, засвеченные объекты (прямоугольные области) и объекты в тени от зданий (круглые области). Для исключения засветок и теней на результирующем изображении в ходе обработки используются фрагменты лучшего качества снимков (рис. 4, б, г). Результатом обработки является контрастное изображение (рис. 4, в), характеризующее максимальным линейным разрешением на местности в пределах кадра.

Обработка снимков с разной экспозицией может быть выполнена на борту космического аппарата с использованием современных алгоритмов цифровой обработки, основанных на синтезе цифровых изображений. Это позволит уменьшить объем передаваемой информации на пункты приема данных и оптимизировать работу космических систем ДЗЗ.

Заключение

Результаты моделирования линейного разрешения на местности демонстрируют, что получение космических снимков подстилающей поверхности максимального качества возможно, если параметры регистрации отдельных объектов в пределах поля зрения бортовой аппаратуры будут выбираться индивидуально с учетом различных условий освещенности. Решить эту задачу имеющимися современными средствами дистанционного зондирования Земли невозможно. Таким образом, можно сделать вывод, что качество изображений подстилающей поверхности в настоящее время ограничено. Повысить качество космических снимков можно путем комбинирования серии изображений с различной экспозицией, увеличив этим диапазон яркости результирующего снимка. Такой подход позволяет отобразить на снимке объекты в различных условиях освещенности и, как следствие, повысить достоверность результатов дешифрирования.

Важно отметить, что в работе предложен подход, развитие которого предполагает решение ряда частных задач, таких как выбор времени экспозиции с учетом текущих условий съемки и параметров оптико-электронной системы, определение необходимого числа снимков для получения изображения с максимальным линейным разрешением на местности, формулирование условий, в которых возможно применение данного подхода, а также реализация алгоритма синтеза изображений с разной экспозицией на борту космического аппарата.

Литература

1. Алтухов А.И., Дудин Е.А., Титков Б.В. Технология компрессии изображений больших размеров // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. Т. 1. № 72. С. 46–51.
2. Щербиков В.М., Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Воюц В.С. Технология составления микроклиматических карт с использованием данных дистанционного зондирования земли и моделирования тепловых полей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 2. С. 345–353. doi:10.17586/2226-1494-2016-16-2-345-353
3. Емельянов С.Г., Атакишев 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 (42). С. 58–62.
4. Григорьев А.Н., Коршунов Д.С., Беляев А.С. Прогнозирование качества космических снимков космических систем дистанционного зондирования // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2010. № 629. С. 143–147.
5. Алтухов А.И., Гнусарев Н.В., Коршунов Д.С. Прогнозирование качества изображений космических объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 3 (85). С. 36–41.
6. Гнусарев Н.В. Геодезическое и баллистическое обеспечение космических систем дистанционного зондирования. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2008. 220 с.
7. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга. М.: Бинум, 2014. 234 с.

References

1. Altukhov A.I., Dudin E.A., Titkov B.V. Fair-sized images compression technology. *Nauchno-Tekhnicheskie Vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*, 2009, vol. 1, no. 72, pp. 46–51. (In Russian)
2. Shcherbakov V.M., Altukhov A. I., Korshunov D.S., Voyuts V.S. Microclimate cartography using data from the Earth remote sensing and simulation of thermal fields. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 345–353. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-2-345-353
3. Emelyanov S.G., Atakishev O.I., Altuchov A.I., Gnusarev N.V., Korshunov D.S. On accounting lighting conditions to survey space objects photographic means. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2012, no. 3, pp. 58–62. (In Russian)
4. Grigor'ev A.N., Korshunov D.S., Belyaev A.S. Forecasting quality satellite images of space remote sensing systems. *Trudy Voenno-Kosmicheskoi Akademii im. A.F. Mozhaiskogo*, 2010, no. 629, pp. 143–147. (In Russian)
5. Altukhov A.I., Gnusarev N.V., Korshunov D.S. Image quality forecasting for space objects. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 3, pp. 36–41. (In Russian)
6. Gnusarev N.V. *Geodezicheskoe i Ballisticheskoe Obespechenie Kosmicheskikh Sistem Distantionnogo Zondirovaniya* [Geodetic and Ballistic Software of Remote Sensing Space Systems]. St. Petersburg, VKA n.a. A.F. Mozhaiskogo Publ., 2008, 220 p.
7. Baklanov A.I. *Sistemy Nablyudeniya i Monitoringa* [Observation and Monitoring Systems]. Moscow, Binom Publ.,

8. Хартов В.В., Ефанов В.В., Занин К.А. Основы проектирования орбитальных оптико-электронных комплексов: учебное пособие. М: МАИ, 2011. 127с.
9. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И., Красавин И.В. Оценка предельного разрешения цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования земли с использованием теории линейных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140). С. 84–89.
10. Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Шабakov Е.И. Метод повышения качества снимков космических объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. №4. С. 35–40.
11. Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Шабakov Е.И. Требования к качеству изображений аварийных космических аппаратов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. №3. С. 405–410.
12. Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Шабakov Е.И. Метод определения интервалов съемки аварийных космических аппаратов // Информация и космос. 2015. № 4. С. 130–136.
13. Chertov A.N., Gorbunova E.V., Korotaev V.V., Peretyagin V.S., Serikova M.G. Simulation of the multicomponent radiation source with the required irradiance and color distribution on the flat illuminated surface // Proceedings of SPIE. 2012. V. 8429. Art. 84290D. doi: 10.1117/12.922104
14. Korotaev V.V., Timofeev A.N., Ivanov A.G. Problems in the development of optoelectronic systems for monitoring displacements of large-sized objects // Journal of Optical Technology. 2000. V. 67. N 4. P. 336–339.
15. Занин К.А. Выбор параметров оптико-электронной космической системы наблюдения по качеству изображения // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2007. №11. С. 30–37.
16. Васильев А.С., Коротаев В.В., Краснящих А.В., Лашманов О.Ю., Ненарокомов О.Н. Совмещение тепловизионного и телевизионного изображений при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 4. С. 12–16.
17. Васильев А.С., Краснящих А.В., Коротаев В.В., Лашманов О.Ю., Лысенко Д.Ю., Ненарокомов О.Н., Широков А.С., Ярышев С.Н. Разработка программно-аппаратного комплекса обнаружения лесных пожаров методом совмещения изображений // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 12. С. 50–55.
18. Vasilev A.S., Korotaev V.V. Research of the fusion methods of the multispectral optoelectronic systems images // Proceedings of SPIE. 2015. V. 9530. Art. 953007. doi: 10.1117/12.2184554
- 2009, 234 p.
8. Khartov V.V., Efanov V.V., Zanin K.A. *Osnovy Proektirovaniya Orbital'nykh Optiko-Elektronnykh Kompleksov* [Basis of Design Orbital Optoelectronic Systems]. Moscow, MAI Publ., 2011, 127 p.
9. Veselov Yu.G., Ostrovskii A.S., Sel'vesyuk N.I., Krasavin I.V. Estimation of the limiting resolution of digital optoelectronic systems of remote sensing using the theory of linear systems. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie Nauki*, 2013, no. 3, pp. 84–89. (In Russian)
10. Altukhov A.I., Korshunov D.S., Shabakov E.I. Method of image quality enhancement for space objects. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 4, pp. 35–40. (In Russian)
11. Altukhov A.I., Korshunov D.S., Shabakov E.I. Requirements for image quality of emergency spacecrafts. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol.15, no. 3, pp. 405–410. (In Russian)
12. Altukhov A.I., Korshunov D.S., Shabakov E.I. Method for determining the photocapture intervals of emergency spacecrafts. *Informatsiya i Kosmos*, 2015, no. 4, pp. 130–136. (In Russian)
13. Chertov A.N., Gorbunova E.V., Korotaev V.V., Peretyagin V.S., Serikova M.G. Simulation of the multicomponent radiation source with the required irradiance and color distribution on the flat illuminated surface. *Proceedings of SPIE*, 2012, vol. 8429, art. 84290D. doi: 10.1117/12.922104
14. Korotaev V.V., Timofeev A.N., Ivanov A.G. Problems in the development of optoelectronic systems for monitoring displacements of large-sized objects. *Journal of Optical Technology*, 2000, vol. 67, no. 4, pp. 336–339.
15. Zanin K.A. Image quality based selection of parameters of optical-electronic space observation system. *Polet. Obshcherossiiskii Nauchno-Tekhnicheskii Zhurnal*, 2007, no. 11, pp. 30–37. (In Russian)
16. Vasil'ev A.S., Korotaev V.V., Krasnyashchikh A.V., Lashmanov O.Yu., Nenarokomov O.N. Superposition of thermal and television images in examination of building units and constructions. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, vol. 55, no. 4, pp. 12–16. (in Russian).
17. Vasil'ev A.S., Krasnyashchikh A.V., Korotaev V.V., Lashmanov O.Yu., Lysenko D.Yu., Nenarokomov O.N., Shirokov A.S., Yaryshev S.N. Unmanned aerial vehicle computer system for wildfire detection by image superimposing. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, vol. 55, no. 12, pp. 50–55. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, vol. 55, no. 4, pp. 12–16. (in Russian).
18. Vasilev A.S., Korotaev V.V. Research of the fusion methods of the multispectral optoelectronic systems images. *Proceedings of SPIE*, 2015, vol. 9530, art. 953007. doi: 10.1117/12.2184554

Авторы

Алтухов Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, aai_51@mail.ru
Шабakov Евгений Иванович – кандидат технических наук, доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, eish@br.ru
Коршунов Денис Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, Korshunov.Denis@rambler.ru

Authors

Alexander I. Altukhov – PhD, Associate professor, Head of chair, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, aai_51@mail.ru
Evgeniy I. Shabakov – PhD, Associate professor, Associate professor, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, E.Shabakov@mail.ru
Denis S. Korshunov – PhD, Senior lecturer, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, Korshunov.Denis@rambler.ru