

УДК 528.73

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-47-55

АНАЛИЗ МЕТОДИК СОЗДАНИЯ МАКЕТНЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТОЧНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ

Александр Владимирович Комиссаров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Валерия Вячеславовна Дедкова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: v.v.dedkova@sgugit.ru

Особенностью современного этапа развития фотограмметрии является использование специализированного фотограмметрического программного обеспечения (или цифровых фотограмметрических систем, ЦФС) для решения задач, связанных с обработкой материалов аэрокосмической съемки. Широкий спектр программ и их высокая стоимость ставят перед потребителем задачу выбора подходящего программного обеспечения, отвечающего требованиям точности обработки, объемам работ, времени исполнения и т. д. Целью работы является анализ существующих методик построения макетных снимков для проверки качества построений в фотограмметрическом программном обеспечении. В работе произведен анализ существующих методик построения макетных снимков, выполнена их классификация, осуществлен отбор типов макетных снимков, пригодных для тестирования ЦФС, обоснована необходимость проведения проверки качества обработки результатов аэро- и космической съемки в специализированных программах.

Ключевые слова: макетный снимок, фотограмметрическое программное обеспечение, точность построений, фотограмметрия, точность, снимок, обработка, беспилотный летательный аппарат

Введение

Развитие информационно-вычислительных технологий способствовало осуществлению разработки специализированных программных продуктов для решения фотограмметрических задач. Фотограмметрическое программное обеспечение или цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) внедрены на производственных предприятиях и используются в научных исследованиях. Следует отметить, что с совершенствованием аппаратной части вычислительной техники растет и производительность, так как технические характеристики компьютеров напрямую влияют как на объемы производимых вычислений, так и на скорость обработки и точность конечного продукта. Современное фотограмметрическое программное обеспечение разрабатывается и выпускается в России – ЦФС Photomod (ООО «Ракурс»), Agisoft Metashape (ГК «Геоскан») и иностранными фирмами-разработчиками – Autodesk

ReCap (Autodesk, Inc, США), ContextCapture (Bentley Systems, США), Pix4Dmapper (Pix4D SA, Швейцария), Geomatica (PCI Geomatics, Канада), PhotoModeler (Eos Systems Inc., Канада), Trimble Inpho (Trimble, Inc., США), 3DF Zephyr Pro (3DFlow, Италия) и др.

Фотограмметрическое программное обеспечение не только находит применение в профильных областях, но и используется для трехмерного моделирования объектов в медицине, трехмерного моделирования сцен и объектов в индустрии интерактивных развлечений и кинематографе, в архитектуре и градостроительстве, кадастре и др.

Если говорить о применении данных программ в области первичного предназначения – фотограмметрии и дистанционного зондирования, то в них предусмотрена обработка материалов аэрокосмической съемки (в том числе с беспилотных летательных аппаратов) от этапа импорта цифровых изображений до получения конечного продукта – трехмерной

модели и ортофотоплана, а в некоторых программах реализованы функции построения цифровых карт и планов.

Широкое распространение и внедрение ЦФС стало отправной точкой формирования актуального вопроса и постановки проблемы современного этапа развития цифровой фотограмметрии – в полной ли мере алгоритмы обработки цифровых изображений удовлетворяют нормативным точностям, предъявляемым к результатам камеральной фотограмметрической обработки и какие методы и средства позволяют проверить качество построений. Высокая стоимость фотограмметрического программного обеспечения мотивирует потенциального пользователя к всестороннему изучению функциональных возможностей и технических характеристик программного обеспечения перед приобретением. Основные критерии выбора – это точность обработки, минимально и максимально допустимые объемы обработки, соответствие характеристикам аппаратной части производства, время на обработку, эффективность и т. д. [1, 2]. Перечисленные аспекты формируют актуальность данного исследования.

В качестве одного из таких средств проверки ПО выступают макетные снимки. Целью работы является анализ существующих методик построения макетных снимков для проверки программного обеспечения. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- изучить и проанализировать существующие методики создания эталонных макетных снимков для проверки качества результатов фотограмметрической обработки;
- выделить группу эталонных макетных снимков, подходящих для работы с фотограмметрическими ПО;
- обосновать причины и необходимость контроля построений.

Методы и материалы

Для проведения исследования использованы работы российских и зарубежных ученых, посвященные вопросу создания макетных снимков, использования цифровых фотограмметрических систем для обработки результатов

аэрокосмической съемки, современного состояния отрасли фотограмметрии и дистанционного зондирования, применения беспилотных летательных аппаратов в целях аэрофото-съемки, индексируемых в наукометрических базах данных РИНЦ, Scopus, Web of Science.

Результаты

На ранних этапах развития фотограмметрического производства для создания картографических произведений по наземным и аэроснимкам применялись специальные механические и оптические приборы. В период аналоговой и аналитической фотограмметрии для исследования точностных характеристик фотограмметрических приборов использовался метод, названный условно-статистическим. На первом этапе, исходя из конструктивных особенностей прибора, составлялся исходный вид уравнений погрешностей прибора. После этого на основе экспериментальных исследований определялись погрешности прибора и на основании статистического анализа, полученных инструментальных погрешностей корректировался вид уравнений погрешностей, которые в свою очередь применялись для оценки инструментальной точности прибора. Для достижения лучшего результата устанавливался строгий порядок выполнения измерений на приборе и их математической обработки. На заключительном этапе экспериментально устанавливались допустимые величины систематических и случайных ошибок. В качестве математического аппарата для статистической оценки ошибок прибора в основном применялся метод наименьших квадратов [3].

В цифровом фотограмметрическом программном обеспечении процесс измерений и их последующая обработка реализованы как одно целое. Эту важную особенность следует учитывать в методике исследования точности фотограмметрических систем, так как при вычислениях может быть исключена часть систематических погрешностей.

Для оценки точности и сравнения характеристик цифровых фотограмметрических систем и алгоритмов обработки необходимо знать точные значения опорных и определяе-

мых данных. Поэтому для этих целей широко используются макетные снимки. Если в координаты точек макетных снимков ввести соответствующие искажения, то по ним можно изучать влияние атмосферной рефракции, дисторсии объектива съемочной камеры, погрешности измерений, а также влияние других систематических и случайных ошибок на различные фотограмметрические процессы при получении метрической продукции [3–5].

Исходные данные для формирования макетных снимков [4]:

- вид съемки (перспективная, плановая, вертикально-конвергентная), который задается значениями угловых элементов внешнего ориентирования снимков;
- линейные элементы внешнего ориентирования снимков;
- число и расположение точек на снимках;
- формат, масштаб и перекрытие снимков;
- элементы внутреннего ориентирования снимков (фокусное расстояние и координаты главной точки снимков);
- характер рельефа местности (равнинная, всхолмленная, горная, высокогорная).

До некоторого времени существовало два вида макетных снимков: физические в виде точек, замаркированных на стекле (Г. А. Ошурков), и аналитические дискретные (А. Н. Лобанов, И. Т. Антипов). В связи с развитием ЦФС в последнее время применяются цифровые макетные снимки в виде цифровых изображений [6, 7].

Все виды макетных снимков можно классифицировать по схеме, представленной на рис. 1 [7].



Рис. 1. Классификация макетных снимков для проверки точности фотограмметрических построений

Контрольные сетки были наиболее распространенным видом эталонов для исследования фотограмметрических приборов, так как позволяли решать широкий круг задач. Они использовались для определения инструментальных ошибок, выполнения проверок приборов и исследования геометрических параметров фотограмметрических сканеров. Контрольная сетка – это плоскопараллельная стеклянная пластина с системой штрихов в виде координатной сетки, размеры которой соответствовали размерам снимкодержателя [3, 5].

При исследовании инструментальной точности фотограмметрических приборов по контрольным сеткам не выявлялись ошибки, связанные с работой коррекционных механизмов для учета смещений точек снимков за их угол наклона, так как контрольные сетки соответствуют идеальному случаю съемки. Поэтому для выявления ошибок, связанных с работой коррекционных механизмов стереофотограмметрических приборов оптико-механического типа, были разработаны физические макетные снимки [8].

Макетные (контрольные) снимки использовались для определения инструментальной точности универсальных стереофотограмметрических приборов оптико-механического типа. В качестве контрольных снимков применялись реальные снимки в виде диапозитивов на стекле. Обычно из имеющихся реальных снимков хорошего фотографического качества подбиралась стереопара на реальный участок местности с четкими контурами. Углы наклона α и ω этих снимков должны были как можно больше отличаться друг от друга, но не превышать максимальных значений установок на приборе. На стереопаре осуществлялись проектирование и маркировка контрольных точек, в качестве которых выбирались четкие контуры. Затем многократно производились измерения координат запроектированных точек на прецизионном стереокомпараторе или с помощью цифровой фотограмметрической системы. Дальнейшая обработка измерений осуществлялась с помощью компьютера строгими аналитическими методами. Для внутреннего ориентирования снимков использовались паспортные данные аэрофотоаппарата или уточненные при уравнивании. Полученные

в результате обработки элементы внешнего ориентирования снимков и пространственные координаты контрольных точек использовались в качестве эталонных [3].

Снимки-макеты Ошуркова применялись в основном для определения инструментальных погрешностей стереофотограмметрических приборов оптико-механического типа. Снимки-макеты Ошуркова – это стеклянные пластины с награвированными штриховыми метками и прямыми линиями. Паспортными данными снимков-макетов Ошуркова являлись их элементы внешнего и внутреннего ориентирования, координаты точек самих снимков и истинные геодезические координаты точек. В зависимости от ориентации, снимки-макеты могли образовывать стереопары: пару снимков идеального случая съемки либо горного района, имитировавших плановую съемку горного района [5, 9].

Недостатком таких макетных снимков было наличие относительно малого количества точек, что не позволяло выявить систематические погрешности исследуемых приборов. Данный недостаток был исключен в структурных макетных снимках МИИГАиК (рис. 2), которые также применялись для исследования инструментальной точности стереофотограмметрических приборов [8].

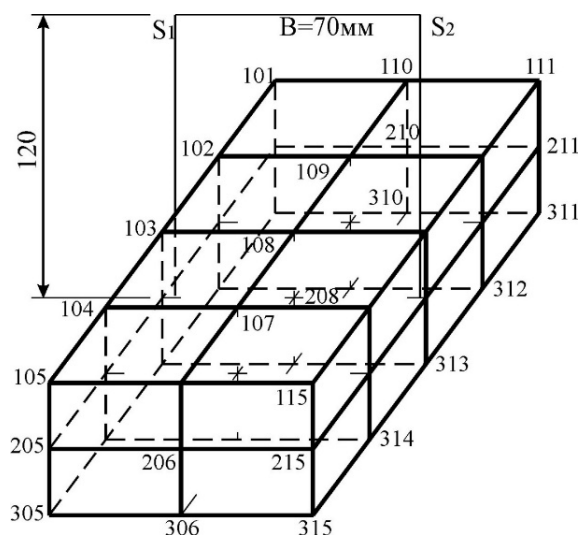


Рис. 2. Структурный макет МИИГАиК

Структурные (пространственные) макеты МИИГАиК имитируют снимки планового случая съемки пространственной модели в виде

прямоугольного параллелепипеда, рассеченного посередине плоскостью. Таким образом, на модели имеются три плоскости, каждая из которых разбита на 8 квадратов со стороной, равной $a = 40$ мм, что дает 15 точек на одной плоскости или 45 точек на модели. Отстояние верхней и нижней плоскостей от средней составляет $a = 20$ мм. Базис расположен только вдоль оси x и соответствует 60-процентному перекрытию, то есть равен 70 мм [10].

Измеренные координаты точек модели на стереофотограмметрическом приборе приводят к началу системы координат в точке, расположенной в центре тяжести прямоугольного параллелепипеда. Координаты, полученные на приборе, сравнивают с истинными координатами макета и получают погрешности измерений [10]. Данные снимки также можно использовать для исследования цифровых фотограмметрических систем.

Аналитические непрерывные снимки-макеты обладают непрерывным полем моделирования, что дает возможность практически в online-режиме изменять параметры снимков-макетов и точность измерений, что в свою очередь позволяет одновременно сравнивать корректность и качество работы различных алгоритмов обработки. В данных макетах изображение снимков не формируется. На экране монитора в процессе измерений в реальном времени выдается вся необходимая информация для оценки точности обработки [7]. Для того, чтобы создать аналитические макетные снимки, необходимо выбрать исходные данные, которые должны быть подчинены конкретной задаче исследований.

Битовые снимки имеют дискретные поля изображения в виде замаркированных точек и линий. При исследовании точности ЦФС измерения производятся только на замаркированные точки. Данные снимки представляют собой цифровые аналоги снимков-макетов Ошуркова. Точность изображения ограничена из-за вида представления координат точек. Так же, как и для снимков-макетов Ошуркова, для этих изображений характерно отсутствие восприятия человеком стереоэффекта [7]. Координаты точек макетного снимка вычисляются с использованием аналитических зависимостей между координатами то-

чек снимка и местности с последующим преобразованием в систему цифрового изображения.

Полутоновые реалистичные снимки представляют собой непрерывное изображение по всему полю моделирования. С помощью этих макетов возможна наиболее точная имитация наблюдений по реальным снимкам (стереопарам) [7].

Основой для моделирования полутоновых реалистичных снимков является трехмерная модель территории с указанием источника освещения, в данном случае под трехмерной моделью территории понимается математическая модель пространственных объектов и рельефа, описывающая геометрические и оптические свойства их поверхностей [11]. Если задать геометрическую модель поверхности объекта в виде цифровой модели рельефа (ЦМР), спектральные коэффициенты яркости элементов ландшафта, условия освещения и положение съемочной камеры, то можно построить изображение трехмерной сцены [7].

Представленные макетные снимки создаются на основе уравнений коллинеарности, т. е. идеальной центральной проекции. На следующем этапе в полученные изображения вносятся систематические погрешности за дисторсию объектива и случайные погрешности. Такой подход позволяет исследовать правильность и точность работы математических алгоритмов для фотограмметрической обработки снимков. Однако для исследования работы алгоритмов отождествления соответственных точек на снимках следует использовать реалистичные макетные снимки. Данные снимки представляют собой смоделированные снимки на основе следующих математических моделей:

- геометрической модели поверхности объекта, заданной в виде ЦМР, а также параметров, задающих оптические свойства поверхности (коэффициенты спектральной яркости объектов, индикатриса рассеяния и т. д.);
- модели съемочной системы с заданными геометрическими свойствами и параметрами съемки;
- модели источника освещения (Солнца);
- модели атмосферы.

Важным фактором формирования изображений является скорость работы алгоритма.

Большая часть времени расходуется на так называемое трассирование лучей [6]. В данной разработке используется метод, позволяющий исключить трассирование при формировании изображения, и тем самым значительно повысить скорость работы алгоритма. Его сущность заключается в построении ЦМР в системе координат снимка, что позволяет быстро находить положение точки на местности по ее координатам на снимке. При этом используется единый подход к формированию ЦМР на местности и на снимке с применением ортонормированных полиномов Чебышева.

Обсуждение

Поиск, разработка и тестирование средств контроля качества фотограмметрических построений в программном обеспечении является актуальной задачей, так как помимо развития программной разработки внедряются и используются новые способы осуществления летно-съемочных работ. До недавних пор беспилотные летательные аппараты использовались только в целях оборонной промышленности, но сегодня они широко применяются для решения гражданских задач различного рода.

В работах [12–16] приведены примеры использования аэрофотосъемки с БПЛА и интерпретации полученных результатов для решения инженерных задач – вычисления объема сыпучих материалов, проведения кадастровых работ, проведения аэрофотосъемочных работ площадных объектов и объектов культурного наследия. Результаты аэрофотосъемки с БПЛА зависят от выбора типа носителя – самолетного или мультироторного, планирования летно-съемочных работ, выбора съемочной аппаратуры и геодезического оборудования, монтируемых на борту БПЛА.

В качестве съемочного оборудования выступают метрические и неметрические цифровые RGB-камеры, камеры, оснащенные мульти- и гипер-спектральными, инфракрасными сенсорами, лидарами. Выбор съемочной аппаратуры зависит от грузоподъемности БПЛА и типа решаемой задачи. Геодезическое оборудование в составе беспилотной

авиационной системы – это многочастотные ГНСС-приемники, в работах [17–20] приведены исследования по их использованию.

Цифровые снимки, полученные в процессе аэрофотосъемки, подвержены влиянию дисторсии камеры, параллакса и других оптических искажений. Пригодность таких изображений для создания метрических материалов необходимо проверять и исследовать для подтверждения их соответствия установленным нормативным требованиям [21]. Применение неметрических камер, в первую очередь, требует высокоточной калибровки для устранения влияния искажений. Подробно вопрос выбора неметрической цифровой камеры и калибровки рассмотрен в работах [22, 23]. Выбор программного обеспечения для обработки результатов аэрофотосъемки с БПЛА и реализованный в ПО функционал должны обеспечивать максимальную точность итогового продукта, что может быть проверено только в процессе проведения испытаний и тестирования алгоритмов обработки с применением макетных снимков.

Заключение

В ходе исследования установлено, что проверка качества построений в цифровых фотограмметрических системах осуществима с применением в качестве тест-объектов циф-

ровых макетных снимков. Для этого подойдут аналитические непрерывные, битовые и полутоновые цифровые макетные снимки. При использовании цифровых макетных снимков у исполнителя есть возможность в режиме реального времени моделировать входные параметры с целью разносторонней проверки алгоритмов ЦФС.

В фотограмметрических программных продуктах реализованы функции автоматизированного измерения координат соответственных точек на снимках. Осуществление проверки методов и алгоритмов программного обеспечения необходимо проводить и на реальных снимках, которые были предварительно обработаны в зарекомендовавшем себя в производственной деятельности программном обеспечении, например, в ЦФС Photomod (ООО «Ракурс», Россия). При этом на территорию исследования по макетным снимкам должны быть созданы полноценные цифровая модель рельефа и цифровая модель объектов. Подобные макетные снимки необходимо моделировать на различные типы территорий – застроенную сельскую местность, застроенную (высотная застройка) городскую территорию, незастроенную равнинную местность, незастроенную горную или предгорную местность в целях повышения достоверности результатов проверок.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brach M., Cheung-Wai Chan J., Szymański P. Accuracy assessment of different photogrammetric software for processing data from low-cost UAV platforms in forest conditions [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.3832/ifer2986-012>.
2. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 119–131.
3. Калантаров Е. И. Фотограмметрическое инструментоведение : учеб. для вузов. – М. : Недра, 1986. – 126 с.: ил.
4. Лобанов А. Н., Дубиновский В. Б., Саранцев А. И. и др. Аналитические модели местности и снимков (макетные снимки). – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1989. – 140 с.: ил.
5. Воронков Н. Н., Плотников В. С., Калантаров Е. И. и др. Геодезия. Геодезические и фотограмметрические приборы : справ. пособие. – М. : Недра, 1991. – 429 с.: ил.
6. Комплекс программ для технологической обработки фотограмметрических измерений на 32-рядных персональных компьютерах (ФОТОКОМ-32, версия 1.0) : руководство пользователя. – Новосибирск, 1999. – 175 с.

7. Коркин В. С. Моделирование реалистических цифровых стереоизображений для тестирования фотограмметрического комплекса SDS // Тез. докл. междунар. научно-техн. конф. «Соврем. проблемы геодезии и оптики», посвящ. 65-летию СГГА – НИИГАиК. – Новосибирск : СГГА, 1998. – С. 150.
8. Краснопевцев Б. В. Анализ конструкции и исследование инструментальной точности стереографа СЦ-1 // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1981. – № 2. – С. 92–98.
9. Любвиная Л. С. Результаты аналитической фототриангуляции с использованием метода самокалибровки снимков // Сб. науч. тр. ЦНИИГАиК. Фотограмметрия в топографо-геодезическом производстве и инженерно-геодезической практике. – М. : ЦНИИГАиК, 1983. – Вып. 7. – С. 33–42.
10. Калантаров Е. И., Краснопевцев Б. В. Определение инструментальных ошибок универсальных стереофотограмметрических приборов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1971. – № 4. – С. 55–60.
11. Креков Г. М., Орлов И. М., Белов В. В. и др. Имитационное моделирование в задачах оптического дистанционного зондирования. – Новосибирск : Наука, 1988. – 165 с.
12. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. Monitoring and Computation of the Volumes of Stockpiles of Bulk Material by Means of UAV [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/rs11121471>.
13. Kurczynski Z., Bakula K., Karabin M., Kowalczyka M., Markiewicz J. S., Ostrowski W., Podlasiak P., Zawieska D. The possibility of using images obtained from the UAS in cadastral works. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-909-2016>.
14. Гергель И. А., Кортуннов В. И. Анализ полета малых беспилотных летательных аппаратов для выполнения аэрофотосъемки площадных объектов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 4 (121). – С. 38–42.
15. Templin T., Popielarczyk D. The Use of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicles in the Process of Building Models for Cultural Tourism, 3D Web and Augmented/Mixed Reality Applications [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/19/5457/htm>.
16. Kingsland K. Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157>.
17. Yao H., Qin R., Chen X. Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications – A Review [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/rs11121443>.
18. Pepe M., Fregonese L., Scaioni M. Planning airborne photogrammetry and remotesensing missions with modern platforms and sensors [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1444945>.
19. Štroner M., Urban R., Reindl T., Seidl J., Broucek J. Evaluation of the Georeferencing Accuracy of a Photogrammetric Model Using a Quadcopter with Onboard GNSS RTK [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/s20082318>.
20. Ichikawa K., Ebinuma T., Konda M., Yufu K. Low-Cost GNSS-R Altimetry on a UAV for Water-Level Measurements at Arbitrary Times and Locations [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/s19050998>.
21. ГКИНП (ГНТА)-02-036–02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.
22. Никитин В. Н., Раков Д. Н. Выбор цифрового неметрического фотоаппарата для беспилотного аэрофотосъемочного комплекса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : сб. молодых ученых СГГА (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 27–36.
23. Cramer M., Przybilla H.-J., Zurhorst A. UAV cameras: overview and geometric calibration benchmark [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-85-2017>.

Получено 18.01.2021

© А. В. Комиссаров, В. В. Дедкова, 2021

ANALYSIS OF CREATING BENCHMARK IMAGES METHODS TO TEST THE ACCURACY OF PHOTOGRAMMETRIC SOFTWARE

Alexander V. Komissarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Head of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Valeriya V. Dedkova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: v.v.dedkova@sgugit.ru

Digital photogrammetry is based on the use of specialized photogrammetric software (or digital photogrammetric systems) to solve problems related to the aerospace imagery processing. A wide range of programs and high price motivate consumers to choose the right software that responds to requirements of processing accuracy, amount of work, time of execution, etc. The main goal of this study is to analyze the existing methods of benchmark images creating to test photogrammetric programs. The article carries out the analysis of existing techniques of creating benchmark images, classification, selection of benchmark images types suitable for testing of photogrammetric software, and substantiates the necessity for checking of aerial survey results quality in specialized software.

Keywords: benchmark image, photogrammetric software, accuracy of result, photogrammetry, accuracy, image, processing, unmanned aerial vehicle

REFERENCES

1. Brach, M., Cheung-Wai Chan, J., & Szymański, P. (2019). Accuracy assessment of different photogrammetric software for processing data from low-cost UAV platforms in forest conditions. Retrieved from <https://doi.org/10.3832/ifer2986-012>.
2. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2017). Experimental studies of contemporary software for modeling geospatial. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), 119–131 [in Russian].
3. Kalantarov, E. I. (1986). *Fotogrammetricheskoe instrumentovedenie [Photogrammetric instrumentation]*. Moscow: Nedra Publ., 126 p. [in Russian].
4. Lobanov, A. N. Dubinovskij, V. B. Sarancev, A. I., & et al. (1989). *Analiticheskie modeli mestnosti i snimkov (maketnye snimki) [Analytical terrain and imagery models (layout images)]* (2nd ed.). Moscow: Nedra Publ., 140 p. [in Russian].
5. Voronkov, N. N., Plotnikov, V. S., Kalantarov, E. I., & et al. (1991). *Geodeziya. Geodezicheskie i fotogrammetricheskie pribory [Geodesy. Geodetic and photogrammetric instruments]*. Moscow: Nedra Publ., 429 p. [in Russian].
6. *Kompleks programm dlya tekhnologicheskoy obrabotki fotogrammetricheskikh izmerenij na 32-bit razryadnykh personalnykh kompyuterah (FOTOKOM-32, versiya 1.0) [Complex of programs for technological processing of photogrammetric measurements on 32-bit personal computers (FOTOKOM-32, version 1.0)]*. (1999). Novosibirsk, 175 p. [in Russian].
7. Korokin, V. S. (1998). Simulation of realistic digital stereo images for testing the SDS photogrammetric complex. In *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sovremennye problemy geodezii i optiki», posvyashchennoy 65-letiyu SSGA-NIIGAiK" [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Modern Problems of Geodesy and Optics" dedicated to the 65th anniversary of the SSGA-NIIGAiK]* (150 p.) [in Russian].
8. Krasnopevcev, B. V. (1981). Analysis of the design and study of the instrumental accuracy of the STs-1 stereograph. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2, 92–98 [in Russian].
9. Lyubivaya, L. S. (1983). Results of analytical phototriangulation using the self-calibration method of images. In *Sbornik nauchnykh trudov NIIPG: Vyp. 7. Fotogrammetriya v topografo-geodezicheskom proizvodstve i inzhenerno-geodezicheskoy praktike [Proceedings of NIIPG: Issue 7. Photogrammetry in Topographic and Geodetic Production and Engineering and Geodetic Practice]* (pp. 33–42). Moscow: CNIIGAiK Publ. [in Russian].
10. Kalantarov, E. I., & Krasnopevcev, B. V. (1971). Determination of instrumental errors of universal stereophotogrammetric devices. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 55–60 [in Russian].
11. Krekov, G. M., Orlov, I. M., Belov, V. V., & et al. (1988). *Imitacionnoe modelirovanie v zadachah opticheskogo distancionnogo zondirovaniya [Simulation in problems of optical remote sensing]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 165 p. [in Russian].

12. Tucci, G., Gebbia, A., Conti, A., Fiorini, L., & Lubello, C. (2019). Monitoring and Computation of the Volumes of Stockpiles of Bulk Material by Means of UAV. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs11121471>.
13. Kurczynski, Z., Bakula, K., Karabin, M., Kowalczyka, M., Markiewicz, J. S., Ostrowski, W., Podlasiak, P., & Zawieska, D. (2016). The possibility of using images obtained from the UAS in cadastral works. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-909-2016>.
14. Gergel', I. A., & Kortunov, V. I. (2015). Analysis of the flight of small unmanned aerial vehicles to perform aerial photography of area objects. *Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya [Aerospace Engineering and Technology]*, 4, 38–42 [in Russian]
15. Templin, T., & Popielarczyk, D. (2020). The Use of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicles in the Process of Building Models for Cultural Tourism, 3D Web and Augmented/Mixed Reality Applications. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/19/5457/htm>.
16. Kingsland, K. (2020) Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157>.
17. Yao, H., Qin, R., & Chen, X. (2019). Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications – A Review. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs11121443>.
18. Pepe, M., Fregonese, L., & Scaioni, M. (2018). Planning airborne photogrammetry and remotesensing missions with modern platforms and sensors. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1444945>
19. Štroner, M., Urban, R., Reindl, T., Seidl, J., & Broucek, J. (2020). Evaluation of the Georeferencing Accuracy of a Photogrammetric Model Using a Quadcopter with Onboard GNSS RTK. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s20082318>.
20. Ichikawa, K., Ebinuma, T., Konda, M., & Yufu, K. (2019). Low-Cost GNSS-R Altimetry on a UAV for Water-Level Measurements at Arbitrary Times and Locations. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s19050998>.
21. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. (2002). GKINP (GNTA)-02-036-02. Instruction for photogrammetric works to create digital topographic maps and plans]. Moscow: CNIIGAiK Publ., 100 p. [in Russian].
22. Rakov, D. N., & Nikitin V. N. (2012). Choosing a digital camera for non-metric unmanned aerial complex. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 7. [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 7]* (pp. 27–36). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
23. Cramer M., Przybilla H.-J., & Zurhorst A. (n. d.). UAV cameras: overview and geometric calibration benchmark. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-85-2017>.

Received 18.01.2021

© A. V. Komissarov, V. V. Dedkova, 2021