

Обоснование возможности создания цифрового ортофотоплана с использованием современных информационных технологий

Justification for the possibility of creating a digital orthophotoplane using modern information technologies

Козин / Kozin Y.

Евгений Вячеславович
(ekozin1970@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент.
ФГКОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
МВД РФ», профессор кафедры деятельности ОВД
в особых условиях.
г. Санкт-Петербург

Карманов / Karmanov A.

Андрей Геннадиевич
(karmanov.nip@gmail.com)

кандидат технических наук, доцент.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет информационных
технологий, механики и оптики»
(Университет ИТМО),
доцент факультета инфокоммуникационных
технологий (ФИКТ).
г. Санкт-Петербург

Карманова / Karmanova N.

Наталья Андреевна
(natali.karmano@gmail.com)

Университет ИТМО,
инженер научно-технического отдела.
г. Санкт-Петербург

Аванесов / Avanesov M.

Михаил Юрьевич
(avanesov@itain.ru)

кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
научный секретарь.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: компьютерные технологии – computer technology; цифровой ортофотоплан – digital orthophotos; среднеквадратическая погрешность – mid-square error; исследование – research; снимок – image; точность – accuracy.

Прогресс научных достижений в области фотограмметрии и картографии, особенно с появлением современных компьютеров и стремительным ростом компьютерных технологий, позволяет создавать высокоинформативные цифровые ортофотопланы. В настоящей статье кратко рассматриваются основы создания цифрового ортофотоплана с использованием современных информационных технологий.

Advances in scientific advances in photogrammetry and cartography, especially with the advent of modern computers and the rapid growth of computer technology, allow the creation of highly informative digital orthophotos. This article summarizes the basics behind the creation of a digital orthophotoplane using modern information technology.

Научные исследования, проведенные в последнее время показали, что применение современных средств (приборов, приспособлений) и информационных технологий значительно упростило, ускорило и удеше-

вило процесс создания цифровых ортофотопланов¹ при сохранении и улучшении качества.

В настоящей работе авторы предлагают показать применение современных компьютерных технологий в создании цифрового ортофотоплана масштаба 1:25 000. В представленной статье предлагаются результаты исследований в период проведения практических занятий по фотограмметрической обработке снимков (изображений) с применением современной цифровой фотограмметрической системы «ФОТОМОД» и материалов аэрокосмической съёмки.

Возможность создания цифровых информационных документов местности, различных геовидеопродуктов с заданной точностью зависит от многих разнородных факторов, к основным из которых относятся: точность исходных материалов, точность их привязки и точность внесения изменений. Для достижения максимальной оперативности наиболее целесообразно выполнять привязку цифровых снимков к твердым контурам, выбранным непосредственно на исходной цифровой картографической информации (ЦКИ). В этом случае погрешность, влияющая на точность создания цифрового ортофотоплана (ЦОФП) будет складываться из трех основных составляющих [1]:

¹ Цифровой ортофотоплан – это цифровое трансформированное изображение местности (объекта), созданное по перекрывающимся исходным фотоснимкам

- погрешности измерения координат точек в системе координат снимка;
- погрешности измерения координат опорных точек по ЦКИ;
- погрешности внесения изменений в ЦКИ.

Погрешности первых двух видов можно объединить в одно целое и, в данном случае, рассматривать как результирующую погрешность привязки снимка к исходной ЦКИ.

Далее авторы предлагают рассмотреть каждую из перечисленных погрешностей. Среднеквадратическая погрешность (СКП) определения координат точек в системе координат снимка складывается из погрешностей остаточных (неучтенных) искажений исходного снимка, методической погрешности дискретизации и погрешности средства измерения (т.е. динамической ошибки сканирования в случае, если оцифровывается аналоговый снимок).

В качестве получения экспериментальных данных в работе предлагается оценить точность определения координат точек, измеренных по снимку, полученного разработанным в настоящее время АФА АТ-204, который пришел на смену устаревшим АФА. Топографический аэрофотоаппарат "АТ-204" предназначен для планового фотографирования местности с целью получения высокоточных аэрофотоснимков. АФА АТ-204 может быть использован для исследования природных ресурсов Земли и кадастровой съемки.

АФА АТ-204 содержит системы:

- автоматического регулирования экспозиции с измерителем контрастности;
- автоматического вычисления интервалов съемки с заданным продольным перекрытием от 0 до 99%;
- компенсации сдвига изображения;
- автоматической стабилизации по крену, тангажу и сносу;
- автоматического определения отношения скорости самолета к высоте (V/H) и углу сноса;
- приема данных от навигационной системы NAVSTAR;

- смены светофильтров;
- впечатывания фотометрического клина;
- индикации снимаемого ландшафта на мониторе одновременно с двух аэрофотоаппаратов;
- впечатывания навигационных данных.

Аэрофотоаппарат "АТ-204" имеет два сменных объектива. Управляющий командный прибор управляет двумя аэрофотоаппаратами одновременно.

Этот АФА имеет следующие основные тактико-технические характеристики (табл. 1):

Как правило, экспериментальные метрологические исследования показывают, что погрешность сканирования для современных профессиональных фотограмметрических сканеров не превышает 10 мкм.

В качестве примера авторы приводят отечественный сканер ProfScan Photo, разработанный по заказу Министерства обороны РФ, который, в том числе, применяется во многих областях народного хозяйства. Этот сканер имеет минимальный размер пикселя 5 мкм и СКП сканирования, не превышающую 10 мкм.

Значение методической погрешности дискретизации m_δ может быть оценено по следующей формуле (1.1):

$$m_\delta = \Delta / \sqrt{3}, \tag{1}$$

где Δ – шаг сканирования.

Суммарная СКП измерения координат точек в системе координат снимка $m_{x,y}$ может быть вычислена по формуле (2):

$$m_{x,y} = \sqrt{m_{иск}^2 + m_\delta^2 + m_{ск}^2} \tag{2}$$

где: $m_{иск}$ – СКП остаточных искажений снимка;

m_δ – СКП дискретизации;

$m_{ск}$ – СКП сканирования.

Ниже авторы приводят процесс оценивания величины $m_{x,y}$, вычисленную по формуле (1.2), для следующих исходных данных:

- $m_{иск} = 40$ мкм;

Таблица 1

Характеристика	Значение
формат кадра	180 мм
фокусное расстояние	150; 300 мм
относительное отверстие	1:4 и 1:16
высота съемки	5000 м
емкость кассеты	200 м
ширина пленки	190 мм
габаритные размеры	630x630x680 мм
среднеквадратическая погрешность остаточных искажений в системе координат снимка	40 мкм

- $m_d = 10 \text{ мкм}$;
- $m_{ск} = 10 \text{ мкм}$.

В результате аналитических вычислений m_{xy} не будет превышать 42,5 мкм.

Далее рассмотрим, с какой точностью могут быть измерены по ЦКИ координаты опорных точек. Основным масштабом ЦКИ, который будет использоваться в настоящее время и в ближайшей перспективе, будет являться масштаб 1:25000.

В соответствии с руководящими документами, средние погрешности определения координат точек местности по топографическим картам не превышают 0,5 мм в масштабе карты для всех районов, кроме горных [2]. Соответственно, для карт масштаба 1:25000 средние ошибки не превышают 12,5 м на местности, а средние квадратические – 15,3 м. Если ЦКИ создается картометрическим методом, то в результате цифрования в положение контуров вносится дополнительная погрешность, не превышающая 0,5 мм в масштабе карты. Следовательно, суммарная СКП взаимного планового положения контуров в общеземной системе координат не должна превысить 40 м.

Исследования показали, что в том случае, если ЦКИ создается фотограмметрическим методом по космическим снимкам, СКП взаимного планового положения оцифрованных контуров в СК 1942 года составляют не более 45 м, СКП съемки рельефа – 10 м. А при перекрытии обрабатываемых топографических снимков, равном 60%, и для всех районов кроме горного (степень расчлененности рельефа $\delta h \leq 50 \text{ м}$). Следовательно, если в качестве опорных точек выбирать твердые контура на исходной ЦКИ масштаба 1:50000 (на топографической карте более мелкого масштаба), то их координаты могут быть измерены с СКП, не превышающими 45 м в плане и 10 м по высоте независимо от метода создания ЦКИ.

Для оценки точности привязки снимка воспользуемся зависимостями (1.3):

$$m_{оп} = m_{xy} + \frac{N}{2n} + m_e \frac{2n-N}{2n},$$

$$m_e = \sqrt{\frac{l}{f} \cdot m_q^2 - m^2}, \quad (3)$$

где: m – СКП определения координат опорных точек;
 m_{xy} – СКП измерения координат точек снимка, вычисленная по формуле (1.9);
 l – "полуформат" снимка;
 f – фокусное расстояние;
 N – количество определяемых ЭВО;
 n – количество опорных точек.

Для приведенных исходных данных величина СКП планового положения точек снимка $m_{оп}$ не превысит 31,9 м при количестве опорных точек $n=6$ и 22,8 м при $n=12$.

Между тем стоит отметить, что дальнейшее увеличение количества опорных точек нецелесообразно по следующим причинам:

Во-первых, при этом будет снижена оперативность ориентирования снимков.

Во-вторых, если местность значительно изменилась в результате мирной деятельности человека или боевых действий, выбор избыточного количества опорных точек на крупномасштабных снимках может быть затруднен [3].

На исходной ЦКИ наиболее оптимальным является измерение изменившихся объектов местности непосредственно на экране монитора цифровой фотограмметрической станции (ЦФС), входящей в состав технологического оборудования. В этом случае достигается универсальность обработки снимков в любой форме их представления. Поэтому для определения точности внесения изменений необходимо определить СКП измерения дискретных и линейных объектов местности на экране монитора. Под дискретными понимаются точечные объекты, расположенные только в одной точке пространства. Примером таких объектов могут быть деревья, дома, перекрестки дорог и многие другие. То есть такие объекты могут занимать в любой момент времени только определенную точку пространства. К линейным объектам относятся такие сооружения капитального характера, как линии электропередач, связи, трубопроводы и другие коммуникационные элементы. Линейные объекты диктуют собственные правила, которые нужно соблюдать при проведении топографической съемки для получения наиболее эффективного результата.

Многочисленные исследования, проведенные с целью определения погрешностей оператора (пользователя) на различных технических средствах измерения снимков показали, что с наибольшей погрешностью оператор выполняет измерения в динамическом режиме (т.е. при прослеживании линий). В таком режиме выполняются измерения линейных и границ площадных объектов местности [4, 5]. При измерениях в статическом режиме (т.е. при измерении точек) величина погрешности составляет значительно (в несколько раз) меньшую величину. Как показали результаты проведенных экспериментов, величина динамической СКП оператора при цифровании линий на экране ЦФС при оптимальной скорости цифрования не будет превышать 2,5п в масштабе измеряемого снимка.

Для определения величины СКП внесения изменений в ЦКИ $m_{ин}$ полученную динамическую ошибку необходимо умножить на средний масштаб обрабатываемого фотоснимка. Тогда величину ошибки внесения изменений можно определить по следующей формуле (1.4):

$$m_{ин} = \frac{H_s}{f} \cdot 2,5n, \quad (4)$$

где: H_s – высота съемки;
 f – фокусное расстояние АФА;
 n – шаг цифрования (размер пикселя).

Для снимков, полученных АФА АТ-204, при оцифровке их на сканере ProfScan Photo с размером пикселя равным 10 мкм (что соответствует разрешению исходного снимка 50 лин./мм.), СКП внесения изменений в ЦКИ составит от 0,42 м до 3,34 м.

Таким образом, следует определенно отметить, что основные виды рассмотренных погрешностей оказывают существенное влияние на точность создания ЦОФП по материалам аэросъемок местности.

На основании выполненного анализа следующим этапом предлагается оценить теоретическую возможность создания цифрового ортофотоплана масштаба 1:25 000 с заданной точностью.

Как следует из формулы (3), суммарная СКП взаимного планового положения твердых контуров в пределах номенклатурного листа (НЛ) карты для ЦОФП масштаба 1:25000 не должна превышать 15–25 м.

Суммарную СКП планового положения точек и объектов на ортофотоплане можно оценить с использованием следующей формулы (1.5):

$$m_{x,y} = \sqrt{m_{np}^2 + m_{ви}^2} \quad (5)$$

где: m_{np} – СКП привязки снимка к ЦКИ;
 $m_{ви}$ – СКП внесения изменений в ЦКИ.

Для приведенных параметров съемочной и сканирующей аппаратуры величина СКП планового положения точек изменившихся объектов $m_{x,y}$ не будет превышать 32 м. Это теоретически подтверждает возможность создания цифрового ортофотоплана масштаба 1:25000 подвижными фототопографическими средствами по материалам аэрокосмических съемок местности. Расчет величины СКП в данном случае выполнялся для исходных снимков, полученных АФА АТ-204 и отсканированных с размером пикселя 10 мкм.

Результаты исследований показывают, что по космическим фотоснимкам, получаемым камерой ТК-350, возможно определение координат точек с СКП, не превышающей 30 м в плане и 7 м по высоте. Погрешность $m_{ви}$ составит 17,5 м при цифровании с шагом 12,5 мкм. Следовательно, суммарная СКП цифрования линейных и границ площадных объектов по этим снимкам не превысит 35 м. Таким образом, полученные результаты аналитических вычислений теоретически подтверждают возможность создания ЦОФП масштаба 1:25000 по космическим снимкам.

Заключение

В заключение авторы отмечают, что в реальных условиях при непосредственной подготовке и в ходе выполнения различного круга специальных задач народно-хозяйственного и оборонного значения для достижения максимальной эффективности создания ЦОФП возможно использование широкого спектра

разнородных исходных материалов аэрокосмических съемок участков местности.

В этом случае стоит полагать, что в каждом конкретном случае требуется выполнять априорную оценку ожидаемой точности создания ЦОФП, а также при необходимости подбирать оптимальные геометрические условия съемки, применяемую аппаратуру сканирования (съемки), включая варианты программного сканирования.

Литература

1. Козин, Е. В. Фотограмметрия / Е.В. Козин, А.Г. Карманов, Н.А. Карманова. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 142 с.
2. Влияние случайных параметров на точность определения геодезических координат точек местности / А.Г. Карманов [и др.] // Информация и Космос. – 2019. – № 4. – С. 133–136.
3. Лимонов, А. Н. Прикладная фотограмметрия / А.Н. Лимонов. – М.: Академический проект, 2016. – 255 с.
4. Писецкая, О. Н. Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли / О.Н. Писецкая, Т.В. Шулякова, А.С. Ярмоленко. – Горки: БГСХА, 2020. – 174 с.
5. Гнусарев, Н. В. Алгоритм оценивания точности определения геодезических координат объекта наблюдения по двум разнородным изображениям / Н.В. Гнусарев, Е.В. Козин // Труды третьей военно-научной конференции Космических войск. – 2007. – С. 279–284.
6. Бужурин, А. М. Подготовительные работы при создании цифровых и топографических карт о помощью системы информационного поиска / А.М. Бужурин, В.М. Васькин, М.А. Селюх // Геодезия и картография. – 1996. – № 10. – С. 37–40.
7. Собчук, В. Г. Координатная привязка видеoinформации по опорным точкам. Сборник: Аэрокосмические исследования Земли. Обработка изображений на ЭВМ / В.Г. Собчук. – М.: Наука, 1978. – 57 с.
8. Морозов, В. П. Курс сфероидической геодезии / В.П. Морозов. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
9. Сравнительный анализ создания цифрового ортофотоплана с использованием программного комплекса AGISOFT PHOTOSCAN и цифровой фотограмметрической станции ФОТОМОД / Е.М. Дворецкий [и др.] // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. – 2013. – № 639. – С. 124–128.
10. Владимиров, В. М. Дистанционное зондирование Земли / В.М. Владимиров. – М.: ИНФРА, 2017. – 196 с.
11. Савиных, В. П. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования / В.П. Савиных, В.А. Соломатин. – М.: Машиностроение, 2014. – 432 с.
12. Шовенгердт, Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2013. – 582 с.
13. Гиперспектральное дистанционное зондирование в геологическом картировании / Г.Г. Райкунов [и др.]. – М.: Физматлит, 2014. – 136 с.
14. Кондратьев, К. Я. Оптические свойства природных вод и дистанционное зондирование фитопланктона / К.Я. Кондратьев, Д.В. Поздняков. – Л.: Наука, 1988. – 184 с.