

О ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

И.С. Кацарский («ГИС-София», Болгария)

В 1956 г. окончил Университет архитектуры, строительства и геодезии (София, Болгария) по специальности «магистр-инженер по геодезии, фотограмметрии и картографии», а в 1978 г. получил ученую степень доктора. Стажировался в Германии (Дрезден, Лейпциг, Йена, Оберкохен) и СССР (Москва). Занимал различные производственные и административные должности, в том числе, был научным сотрудником Болгарской Академии Наук, экспертом ООН в Индии, научным секретарем и руководителем секции в Научно-исследовательском институте по геодезии и фотограмметрии (София), начальником Главного управления «Кадастр и геодезия» (София). Избирался Генеральным секретарем (1982–1984) и вице-президентом (1985–1988) Международной федерации геодезистов (FIG), а также вице-президентом (1988–1992) Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ISPRS). Автор более 270 публикаций в изданиях Болгарии и других стран, в том числе трех учебников. В настоящее время — консультант муниципального предприятия «ГИС-София».

Исторические этапы развития фотограмметрии как науки охватывают несколько периодов. Согласно классификации почетного профессора Ганноверского университета (Германия) и президента Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ISPRS) в 1984–1988 гг. Г. Конечного (Gottfried Konecný), эти периоды (в приблизительных границах) можно обозначить следующим образом:

— **мензуральная фотограмметрия** (1850–1900), часто называемая «Метод Лосседа», по имени топографа, инженер-майора Корпуса инженеров французской армии Эме Лосседа (Aime Laussedat, 1819–1907), первого в мире использовавшего фотокамеру для составления топографических планов местности;

— **аналоговая фотограмметрия** (1900–1960), которая характеризуется началом использования стереоскопии при фотосъемке с летательных аппаратов;

— **аналитическая фотограмметрия**, которая началась в 1960 г. с изобретения ЭВМ и широкого практического использования аналитических методов;

— **цифровая фотограмметрия** (с 1980 г. по настоящее время). Этому периоду предшествовал запуск первого искусствен-

ного спутника Земли (1957 г.), а позже — спутников дистанционного зондирования Земли из космоса (Landsat, 1972 г.).

▼ Основы цифровой фотограмметрии

Современное развитие компьютерных технологий, а также теоретические исследования в области обработки изображений сделали возможным применение цифровых методов. Сформировалась цифровая фотограмметрия, где фотограмметрические процессы полностью автоматизированы за счет использования цифровых изображений, получаемых путем сканирования фотоснимков или непосредственно с помощью цифровых метрических камер.

В общем виде цифровая фотограмметрия понимается как новое направление в фотограмметрии, которое основывается на цифровых изображениях, в отличие от общеизвестной фотограмметрии, базирующейся на фотоснимках.

В отличие от аналоговой и аналитической фотограмметрии в цифровой фотограмметрии метрическая и семантическая информация для сфотографированного объекта выводится не по фотографическому изображению при помощи измерений аналоговой или аналитической

аппаратурой, а по цифровому изображению, введенному в компьютер и полученному непосредственно цифровой камерой или путем сканирования снимка, полученного фотокамерой.

Системы (оборудование и программное обеспечение), применяемые в цифровой фотограмметрии, обеспечивают не только измерительные процессы, но и могут заменить традиционное фотограмметрическое оборудование, такое как, например:

— устройство для маркировки и перенесения опорных точек на фотоснимки;

— моно- или стереокомпараторы;

— аналоговые или аналитические стереоаппараты;

— ортофотосистемы.

Системы, применяемые в цифровой фотограмметрии, позволяют полностью выполнять или обеспечивать автоматизацию ряда фотограмметрических процессов, включая:

— фототриангуляцию;

— создание модели рельефа или местности (DEM/DTM);

— составление элементов ситуации;

— ортофотоскопию;

— картографические и репродукционные задачи;

— издание карт.

Таким образом, цифровые системы позволяют выполнять все

процессы создания карт после проведения соответствующих предварительных работ (аэро- съемка и определение координат опорных пунктов). Кроме того, в изображения, получаемые с помощью цифровых систем, можно вводить коррекцию по данным спутниковых измерений, выполненных как в воздухе, так и на земле.

При использовании цифровых методов в фотограмметрии, для получения метрической и семантической информации о сфотографированном объекте, т. е. для создания его цифрового изображения, применяются следующие способы.

1. Фотографирование объекта цифровой метрической камерой. В этом случае световые лучи, идущие от объекта съемки, попадают на фокальную плоскость цифровой камеры и регистрируются с помощью датчиков камеры.

2. Сканирование фотоснимков, полученных с помощью метрических фотокамер. Пока этот способ более распространен из-за наличия на производстве большого количества аэрофотокамер, высококачественных фотографических материалов, а также высокой стоимости цифровых метрических камер.

Полученная одним из этих способов исходная информация вводится в компьютер и обрабатывается специальными программными средствами, с помощью которых генерируется цифровое моно- или стереоизображение, доступное для распознавания человеческим глазом.

Черно-белое цифровое изображение можно представить в виде двумерной матрицы G с элементами $g(m, n)$, которые меняются одновременно с изменением координат изображения

x, y . Число пикселей и соответствующее им число пар координат, конечно, а не непрерывно, как на снимке. Поэтому координаты в цифровом изображении могут быть только дискретными. Место каждого элемента в матрице G определяется по координатам изображения:

$$x = x_0 + m\Delta x, y = y_0 + n\Delta y,$$

где $m = 0, 1, 2, \dots, M$;

$$n = 0, 1, 2, \dots, N;$$

Δx и Δy — интервалы между соседними точками изображения (размер пикселя).

На практике принимается $\Delta x = \Delta y$ и $N = M$. Для элементов $g(m, n)$, соответствующих одному пикселю матрицы G , применимы только дискретные величины.

Матрицу G , элементами которой являются значения $g(m, n)$, можно представить так, как показано на рисунке.

Матрица G является точным цифровым изображением снимаемого объекта. Каждому ее элементу соответствует один пиксель. Величина $g(m, n)$, отнесенная к конкретному пикселю, обозначает его положение в матрице G .

В цифровой фотограмметрии носителем информации является пиксель (pixel — PICTure Element). Размер пикселя зависит от характеристик регистрирующей аппаратуры (разрешения цифровой камеры или фотограмметрического сканера, применяемого для сканирования фотоснимка). При черно-белых съемках изображение пикселя имеет серый цвет. При цветных съемках создаются три матрицы изображения G , полученные в разных спектральных диапазонах с одним и тем же размером, т. е. существует блок из трех слоев изображения. При наложении трех изображений создается такое цветное изображение, какое привык видеть человеческий глаз. Цветное изображение занимает в 3 раза больше памяти компьютера, чем черно-белое изображение.

При использовании цифровых изображений в фотограмме-

три следует иметь в виду, что для получения точности измерения по цифровому изображению, соответствующей аналитической фотограмметрии, размер пикселя должен составлять несколько микрон. Когда задача требует высокой точности, а получение результата существенно не зависит от временных затрат, начальным носителем информации для цифровой фотограмметрии во многих случаях все еще остаются аэрофотоснимки.

▼ **Технические средства для цифровой фотограмметрии**

Для использования цифровых изображений в фотограмметрии необходимо специальное техническое оборудование и программное обеспечение, а также соответствующая технология.

Технические средства, используемые при цифровой фотограмметрии следующие:

- цифровая метрическая камера;
- фотограмметрический сканер;
- цифровая фотограмметрическая рабочая станция.

Цифровая метрическая камера служит для регистрации пространственных объектов в двумерном поле датчиками камеры. По сравнению с метрическими фотокамерами, применение цифровых метрических камер позволяет:

- достичь более высокого радиометрического разрешения;
- получить цветное изображение;
- снизить затраты на получение цифрового изображения по сравнению со снимком;
- сократить время, затрачиваемое на сканирование снимка (негативного фильма или диапозитивов);
- быстро получить цифровое изображение (без сканирования снимка).

Датчиками цифровых метрических камер преимущественно являются матрицы типа CCD (Charge Coupled Device). Они имеют маленькие размеры, на-

$$G = \begin{vmatrix} g(0, 0) & g(0, 1) & \dots & g(0, N-1) \\ g(1, 0) & g(1, 1) & \dots & g(1, N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g(M-1, 0) & g(M-1, 1) & \dots & g(M-1, N-1) \end{vmatrix}.$$

дежны и стабильны при эксплуатации. Цифровые метрические камеры с такими датчиками называются CCD-матрицами (ПЗС-матрицами. — *Прим. ред.*).

Если на XIX Конгрессе ISPRS в 2000 г., проходившем в Амстердаме (Голландия), полноформатные цифровые камеры представляли только фирмы Zeiss/Intergraph Imaging (Германия/США) и Leica Helava Systems (США), то на XX Конгрессе ISPRS в 2004 г. в Стамбуле (Турция) к ним добавились Vexcel Imaging (Австрия/США), Rollei Fototechnik (Германия), Wehrli and Associates (США) и НПП «Геосистема» (Geosystems, Украина). В настоящее время более 20 компаний из различных стран разработали и предлагают цифровые аэрокамеры.

Фотограмметрические сканеры предназначены для преобразования фотографического изображения снимка (негатив, диапозитив) в цифровое изображение. Существенным конструктивным элементом любого сканера является CCD-матрица. Датчик представляет собой прецизионную подвижную CCD-матрицу, которая перемещается по полю снимка, размером, например, 23x23 см. Чаще всего в фотограмметрическом сканере осуществляется прецизионное передвижение фильма. В этом случае, перед CCD-матрицей зафиксирован каждый последовательный кадр. Таким образом, в сканере можно сканировать как отдельный снимок, так и фильм, благодаря чему нет необходимости копировать диапозитивы или «нарезать» фильм на отдельные кадры.

Первые фотограмметрические сканеры PS 1 (Zeiss/Intergraph Imaging) и VA 3000 (Vexcel Imaging) появились в 1989 г. В настоящее время можно перечислить около шести наименований фотограмметрических сканеров, которые используются в цифровой фотограмметрии.

Цифровые фотограмметрические рабочие станции явля-

ются новой продукцией из фотограмметрических средств для вывода метрической и семантической информации и предназначены для формирования цифрового изображения сфотографированного объекта. Их основой являются аналитические фотограмметрические алгоритмы. В отличие от аналитических систем у цифровых фотограмметрических рабочих станций нет оптических и механических элементов, так как все действия осуществляются посредством компьютерной обработки цифровых изображений.

Цифровая фотограмметрическая станция представляет собой процессор с периферийным оборудованием, таким как, например:

- монитор с высокой разрешающей способностью;
- устройство для стереонаблюдения;
- измерительные устройства различного типа: трэк-бол, роллер, специальная мышь, ручные колеса и педали.

Для представления цифровых стереоизображений на мониторе цифровой рабочей станции применяются следующие способы.

1. Показ одновременно двух изображений на экране, разделенном на две части, и их наблюдение при помощи стереоскопа.

2. Показ двух совмещенных цветных изображений на весь экран и их стереоскопическое наблюдение при помощи анаглифических очков.

3. Одновременный показ двух изображений на весь экран при частоте 100 Гц и их стереоскопическое наблюдение с помощью специальных очков, одновременно пропускающих и блокирующих свет. Для синхронизации работы между экраном и очками необходима связь. Механическая версия работы с такими очками заменена очками с жидкокристаллическим затвором.

4. Одновременное генерирование двух изображений и их синхронизированный показ на поля-

ризованном экране. Чтобы достичь стереоэффекта оператор должен смотреть на экран при помощи поляризационных очков.

Первые цифровые фотограмметрические рабочие станции были разработаны и изготовлены следующими компаниями: Leica Helava Systems, Zeiss/Intergraph Imaging и Supresoft (Китай). В настоящее время количество таких станций, разработанных различными компаниями, насчитывает несколько десятков.

▼ **Итоги 48-й, 49-й и 50-й фотограмметрических недель**

Рассмотрение и обсуждение разнообразных вопросов во время 48-й (2001 г.), 49-й (2003 г.) и 50-й (2005 г.) фотограмметрических недель, проходивших в Штутгарте (Германия), позволяет сделать следующие выводы.

Подчеркнуто, что будущее, несомненно, за цифровой фотограмметрией, которая во многих странах полностью заменила аналоговую, а в некотором смысле и аналитическую фотограмметрию. Цифровая фотограмметрия утвердилась как производственная технология.

Расширилась номенклатура цифровых метрических камер. В 2005 г. в производстве находилось примерно 100 цифровых камер с различными возможностями и областями применения, тогда как в 2002 г. их количество составляло только семь.

Несмотря на сравнительно широкое распространение цифровых камер, некоторые вопросы все еще остаются открытыми. Одним из них, например, является проблема калибровки цифровых камер. Калибровка фотокамер выполняется согласно утвержденным международным стандартам, сертификаты о калибровке унифицированы, что дает возможность сравнивать параметры разных фотокамер. Что касается калибровки цифровых камер, то в настоящее время нет установленного стандарта, и каждая фирма выполняет калиб-

ровку собственным способом. В результате фирмы представляют такие технические характеристики камер, которые не позволяют сравнить цифровые камеры различных производителей. Пока надежным способом сравнения цифровых камер остается оценка точности по результатам съемки экспериментальных участков.

Использование фотокамер остается значительным.

Продолжает совершенствоваться качество фотопленок их ведущими производителями, из-за чего на производстве сохраняется использование фильмо-вых камер.

Современная аэросъемка выполняется исключительно в цветном режиме.

Ожидается параллельное использование аналоговых и цифровых камер еще примерно 10 лет (как это было в любительской фотографии).

Значительно возросла производительность работ, выполняемых с помощью цифровой фотограмметрии.

Расширяется применение метода воздушного лазерного сканирования (лазерной локации) для получения трехмерной информации о местности.

Усиливается совместное (интегрированное) использование лазерного сканирования и стереофотограмметрии (при воздушной и наземной съемках).

Появились новые направления в развитии аэротриангуляции, в частности, программные модули космической триангуляции. Например, компания Intergraph (США), кроме существующего модуля для аэротриангуляции ImageStation Automatic Triangulation, создала отдельный модуль ImageStation Satellite Triangulation.

Все чаще на практике при аэросъемках продольное перекрытие увеличивается с 60% до 80%, а в некоторых случаях увеличивается и поперечное перекрытие с 30% до 60%. С увеличением перекрытия достигается более

эффективное использование центральных частей аэроснимков, что имеет существенное значение при изготовлении карт и ортофотопланов населенных пунктов со сравнительно высокими зданиями.

Утверждается мнение, что окончательным результатом цифровой фотограмметрии является преимущественно ортофотоплан. Это, по всей вероятности, происходит потому, что он изготавливается в значительной степени быстрее, чем топографическая карта и является более дешевым по сравнению с ней. Следует иметь в виду, что объем семантической информации цветного ортофотоплана значителен, но его метрические качества ниже, чем на карте.

Продолжает расширяться применение трехмерной визуализации при отображении городской среды, архитектурных и археологических памятников.

Увеличивается использование космических снимков преимущественно для обновления мелкомасштабных и среднемасштабных топографических карт.

Начинается применение мелких и средних систем для аэросъемки, состоящих из комбинации нестандартного летательного аппарата и видеокамеры. Примером тому является система DigiFLY компании IGI (Германия), подходящая для фотографирования линейных объектов. Уже есть первый многообещающий опыт использования этих систем.

▼ Перспективы внедрения цифровой фотограмметрии

При решении вопроса о внедрении цифровой фотограмметрии в производство следует уточнить следующее:

— ожидаемый объем и вид фотограмметрической продукции;

— фактическое наличие фотограмметрической съемочной и измерительной аппаратуры;

— состояние существующей нормативно-технической базы

для цифровой фотограмметрии; — технические характеристики и стоимость предлагаемых цифровых съемочных и обрабатывающих систем;

— готовность специалистов заниматься организацией и выполнением работ методом цифровой фотограмметрии.

В связи с этим хотелось бы дать некоторые рекомендации.

1. Внедрение цифровой фотограмметрии в производство необходимо начинать, прежде всего, с приобретения цифровой фотограмметрической рабочей станции.

2. Затем нужно определиться со способом съемки объектов: с помощью фотокамеры или цифровой камеры.

Съемка с помощью цифровой камеры является предпочтительнее из-за ряда технических и экономических причин. С другой стороны, этот способ съемки предполагает, что в производстве будут использоваться только цифровые фотограмметрические рабочие станции.

Съемка с помощью фотокамеры дает возможность при значительном объеме продукции часть ее обработать с использованием аналогового оборудования, но для цифровой обработки потребуется наличие фотограмметрического сканера.

Нельзя исключать возможность привлечения сторонней (например, иностранной) компании для съемки цифровой камерой или фотокамерой, для чего будет необходимо решить ряд организационно-правовых вопросов.

3. При выборе аппаратуры для цифровой фотограмметрии (камеры, сканера, фотограмметрической рабочей станции) нельзя опираться только на объявленные производителями и дистрибьюторами номинальные качества. Нужно учитывать отзывы, публикуемые в профессиональных международных изданиях.

4. Для государства со сравнительно небольшой площадью и ограниченными экономически-

ми возможностями достаточно иметь цифровую фотограмметрическую рабочую станцию. Затем необходимо приобрести фотограмметрический сканер (из-за его высокой производительности), а потом и цифровую метрическую камеру.

При подготовке статьи автором использовалась следующая литература:

1. Аванесов Г.А., Ю.П. Киенко. Цифровые аэросъемочные комплексы // Геопрофи. — 2004. — № 1. — С. 8–12.

2. Кацарский И.С. Цифровая фотограмметрия и ее состояние в Болгарии // Геодезия, картография, землеустройство. — 2004. — №3–4.

3. Олейник С.В., Гайда В.Б. Цифровые камеры для аэрофотосъемки. // Геопрофи. — 2006. — № 4. — С. 45–51.

4. Fritsch / Spiller (Eds.). Photogrammetric Week'01. Heidelberg, Herbert Wichmann

Verlag, 2001.

5. Fritsch, D. (Ed.). Photogrammetric Week'03.

6. Fritsch, D. (Ed.). Photogrammetric Week'05. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag, 2003. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag, 2005.

7. Graham, R., A. Koh. Digital aerial survey. Theory and practice. Caithness (U. K.), Whittles Publishing, 2002.

8. Katzarsky, I. Digital photogrammetry, but how? International symposium on Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields, Papers, Sofia, 2004.

9. Konecny, G. Geoinformation – Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems. London and New York, Taylor & Francis, 2003.

10. Petrie, G. Airborne Digital Frame Cameras. Emmelord (The Netherlands), Geoinformatics, 7, 2003.

11. Schenk, T. Digital

Photogrammetry, Vol. 1. Laurelville (Ohio), Terra Science, 1999.

12. The Fundamentals of Digital Photogrammetry. Vancouver, I.S.M. International System Corporation, 1996–2000.

RESUME

A short review of the development of photogrammetry is followed by an outline of the fundamentals of digital photogrammetry. Among the issues considered in this article are digital systems, manners of approach, digital photogrammetric images and their creation, information carriers, technical means. Conclusions related to the 48th, 49th and 50th Photogrammetric Weeks in Stuttgart (2001, 2003 and 2005) are drawn. Circumstances to be taken into account prior to implementation of digital photogrammetry in production are examined as well as how this implementation should be materialized in the practice.