

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ СКАНЕРЫ

С.В. Олейник (НПП «Геосистема», Винница, Украина)

В 1991 г. окончил Винницкий политехнический институт по специальности «автоматика и информационно-измерительная техника». С 1991 г. по 1994 г. работал в ПО «Аэрогеоприбор», с 1994 г. по настоящее время — заместитель директора НПП «Геосистема».

▼ История возникновения

Первые модели фотограмметрических сканеров для коммерческого использования появились в начале 1990-х гг., когда развитие компьютерной техники создало предпосылки для перехода от аналитической фотограмметрии к цифровой. Зародившись в недрах университетских лабораторий, цифровая фотограмметрия в течение нескольких лет поднялась до промышленного уровня, поставив во главу угла вопрос обеспечения высокой точности при сканировании материалов аэро съемки.

Первые модели сканеров позволяли выполнять лишь черно-белое или трехпроходное цветное сканирование одиночных снимков, и имели довольно скромные радиометрические характеристики. Тем не менее, именно фотограмметрические сканеры ведущих производителей, таких как Leica Geosystems (Швейцария) и Zeiss (Германия), обеспечивая высокую геометрическую точность в 2–3 мкм, позволили цифровой фотограмметрии выйти из лабораторий в реальное производство. И это притом, что стоимость таких сканеров достигала нескольких сотен тысяч долларов.

Именно высокая стоимость специализированных сканеров породила в свое время массу дискуссий о возможности применения менее дорогостоящих полиграфических и даже «бытовых» сканеров в фотограмметрическом производстве. Принципиальная возможность такого использования в настоящее время очевидна, и технологии про-

граммной калибровки действительно позволяют устранять систематическую составляющую погрешности сканирования. Тем не менее, случайные остаточные погрешности принципиально не дают добиться на таких сканерах геометрической точности выше, чем 10 мкм. Да и стоимость профессиональных полиграфических сканеров часто оказывается соизмерима со стоимостью младших моделей фотограмметрических сканеров. Реальная точность сканеров стоимостью до 10 тыс. дол. обычно лежит в пределах 20–50 мкм, несмотря на все программные ухищрения.

Часто даже такой точности оказывается достаточно для некоторых применений, например, при съемке небольших территорий. Но в общем случае каждый микрон потерянной точности влечет за собой финансовые издержки, связанные с неизбежной необходимостью увеличения масштаба залета. Более крупный масштаб не только увеличивает стоимость залета, но также повышает трудоемкость и стоимость последующей обработки за счет увеличения количества снимков и требуемой полевой подготовки на единицу площади.

▼ Точность и еще раз точность

За счет чего же достигается такая существенная разница в точности между фотограмметрическими и обычными сканерами? Дело в том, что фотограмметрические сканеры используют высокоточные датчики линейных перемещений и сервоприводы с обратной связью. Датчик

линейных перемещений имеет разрешение 0,5–1,0 мкм и гарантированную точность в 2,0–3,0 мкм. Сервопривод использует прецизионный двигатель постоянного тока с микропроцессорным контроллером, позволяющим отслеживать и отрабатывать микронные отклонения в перемещении.

Именно применение таких дорогостоящих компонентов и дает разницу в точности (а также в стоимости) по сравнению с обычными сканерами, использующими более дешевые шаговые двигатели без датчиков обратной связи.

Однако определяющим фактором точности является технология изготовления. Конструктивно фотограмметрический сканер обязательно имеет массивное основание, направляющие из специальной стали, обработанные и выставленные с высокой точностью, прецизионные подшипники и т. д.

Отдельного упоминания заслуживает оптика, ведь показатели дисторсии у стандартных «бытовых» объективов исчисляются десятками микрон. Поэтому в фотограмметрических сканерах используются дорогостоящие объективы с малой дисторсией, чаще всего — зеркальные.

▼ Становление

Уже к середине 1990-х гг. на рынке фотограмметрических сканеров появляются новые производители, многие из которых опускают планку цены значительно ниже 100 тыс. дол. Это такие компании как Vexcel (Австрия-США), Wehrli and Assoc,

Инс. (США), НПП «Геосистема» и др. К концу 1990-х гг. сканеры практически всех вышеназванных производителей обеспечивают однопроходное цветное сканирование и возможность сканирования фильмов с ручной или автоматической перемоткой. Геометрическая точность таких сканеров, как правило, не ниже чем ± 3 мкм, а разрешающая способность не хуже 10 мкм. Появление сканеров с автоматической перемоткой позволило еще более повысить эффективность и оперативность обработки и дало серьезное дополнительное преимущество по сравнению с полиграфическими сканерами. Практически, все крупные компании, выполняющие большие объемы аэросъемочных работ, используют такие сканеры. Небольшие фирмы, занимающиеся в основном фотограмметрической обработкой и заказывающие залеты на стороне, часто предпочитают менее дорогостоящие сканеры с ручной перемоткой.

▼ Ситуация в настоящее время

Несмотря на повсеместное развитие цифровой фотограмметрии, наблюдаемое в последние годы, серийных производителей фотограмметрических сканеров можно сосчитать по пальцам одной руки. В отличие от цифровых фотограмметрических станций, которых в мире существуют десятки. В настоящее время на рынке представлены всего несколько коммерческих моделей фотограмметрических сканеров, различающихся по стоимости и основным характеристикам. Наиболее известные из них приведены в таблице.

Рассмотрим более подробно параметры, изложенные в таблице, и их влияние на потребительские свойства сканеров.

▼ Тип сенсора

Большинство сканеров используют линейный светочувствительный датчик (цветную ПЗС-линейку), состоящий из не-

скольких тысяч элементов (пикселей), размером 5–10 мкм каждый. Ширина ПЗС-линейки определяет полосу на снимке, которую сканер способен отсканировать за один проход. Использование площадного фотоприемного элемента (ПЗС-матрицы) позволяет существенно ускорить процесс сканирования, однако требует более мощного осветителя и повышает требования к его калибровке.

▼ Формат

Стандартным для сканеров является формат кадра, размером 230x230 мм (ширина фильма 240 мм). Некоторые модели позволяют сканировать снимки большего формата, вплоть до 320x470 мм, например, сканер DeltaScan-470 (НПП «Геосистема»). Данный сканер специально предназначен для широкоформатных космических снимков.

▼ Сканирование фильма

Автоматическое сканирование фильма является крайне по-

Характеристики основных моделей фотограмметрических сканеров

Производитель	Leica Geosystems	Z/I Imaging	Vexcel	НПП «Геосистема»
Модель	DSW600	PhotoScan	UltraScan 5000	DeltaScan-5
Тип сенсора	ПЗС-матрица 2000x3000x10μm	ПЗС-линейка 3x5632x7μm	ПЗС-линейка 3x6000x12μm	ПЗС-линейка 3x5120x8μm
Формат, мм	260x260	275x250	265x252	260x260
Сканирование фильма	автомат	автомат	автомат	автомат
Максимальный диаметр фильма, мм	194	194	194	168
Геометрическая точность (СКО), мкм	<2	<2	2	2
Минимальный размер пикселя, мкм	4,5–22 (с шагом 3 мкм)	7	5	8
Радиометрическое разрешение, бит	12	10	12	12
Диапазон плотностей, D	>2,5	2,5	3,5	2,7
Осветитель	ксеноновая стробоскопическая лампа	галогенная лампа	люминисцентная лампа	мощные светодиоды
Объектив	линзовый Schneider 120 mm	зеркальный Carl Zeiss	линзовый	зеркальный «Арсенал»
Скорость сканирования (ч/б)	2 мин при 12,5 мкм	<6 мин при 14 мкм	16 мин при 10 мкм	6 мин при 16 мкм
Скорость сканирования (цвет)	5 мин при 12,5 мкм	<6 мин при 14 мкм	8 мин при 15 мкм	15 мин при 16 мкм
Информация в Интернет	www.dataplus.ru	imgs.intergraph.com	www.vexscan.ru	www.vingeo.com

лезной возможностью при значительных объемах сканирования. Поскольку расстояние между кадрами фильма не постоянно, то система автоматической перемотки должна иметь функцию поиска края снимка, определения пропусков и т. д. Цифровые снимки, отсканированные на сканере-автомате, имеют одинаковые отступы, что значительно ускоряет последующую процедуру автоматического внутреннего ориентирования. Кроме того, сканер-автомат может автоматически выполнить выборочное предварительное сканирование всего фильма или его части для определения оптимальных параметров сканирования.

Фотограмметрический сканер-автомат способен за 20–30 ч без вмешательства оператора отсканировать фильм, содержащий около 300 снимков, размером 240x240 мм.

▼ **Максимальный диаметр фильма**

Стандартный фильм, шириной 240 мм, имеет длину 76 м и диаметр 132 мм. Такой фильм содержит около 300 снимков. Фильм удвоенной длины имеет диаметр 194 мм и длину 152 м. В зависимости от толщины пленки эти показатели могут изменяться.

▼ **Геометрическая точность**

Является основным параметром сканера, который определяется при помощи специальной контрольной сетки, нанесенной с микронной точностью на стеклянную пластину. В результате измерения (обычно автоматического) нескольких десятков крестов на отсканированном изображении сетки определяется среднеквадратическая погрешность сканирования. У современных сканеров эта погрешность не превышает ± 2 мкм для каждой координатной оси.

▼ **Минимальный размер пикселя**

При использовании зеркаль-

ного объектива, обычно имеющего увеличение 1:1, минимальный пиксель совпадает с размером пикселя ПЗС-сенсора. Например, 7 мкм у PhotoScan или 8 мкм у DeltaScan. Другие размеры, кратные минимальному, получаются с помощью цифрового сложения и усреднения исходных пикселей. Так, четыре 8-микронных пикселя (2x2) дадут в результате один 16-микронный.

При этом не происходит потери качества изображения, так как вместо интерполяции (вставки новых пикселей) выполняется обратная операция (усреднение), которая помимо всего прочего снижает шум изображения.

Другие размеры, не кратные минимальному, могут быть получены только в результате программного пересчета (ресэмплинга). При этом всегда происходит определенная потеря качества исходного изображения. Для устранения данной проблемы некоторые сканеры имеют оптическую систему с изменяемым увеличением, которая позволяет настроить сканер на любой «базовый» пиксель.

Недостатком такого метода является необходимость использования линзовых объективов вместо зеркальных, что вносит дополнительные искажения (дисторсия, абберация), и снижает реальную разрешающую способность системы на малых контрастах.

В практической работе крайне редко используется сканирование с минимальным размером пикселя. Обычное значение пикселя сканирования для черно-белых снимков составляет 12–24 мкм, а для цветных — 16–32 мкм. Среднеквадратическая ошибка, вносимая в последующие измерения за счет дискретизации, составляет 1/4 размера пикселя, так что для вышеуказанных пикселей она соизмерима с ошибкой наведения и опознавания оператором (4–6 мкм).

▼ **Радиометрическое разрешение**

Помимо геометрической дискретизации (размер пикселя) сканер также выполняет радиометрическое квантование, т. е. измеряет и переводит в цифровой вид яркость в каждой точке изображения.

Чем больше бит используется при переводе в цифровой вид, тем больше градаций яркости (или цвета) способен различить сканер. Так 12-битное разрешение соответствует 4096 градациям, 10-битное — 1024 и т. д. Высокое разрешение позволяет без потерь сканировать мало-контрастные снимки, вытягивать информацию в тенях и др. Однако чрезмерное увеличение радиометрического разрешения не дает желаемого эффекта, так как динамический диапазон ПЗС-сенсоров (отношение полезного сигнала к шуму) обычно не превышает нескольких тысяч. Для снижения уровня шумов некоторые производители, например, Vexcel, используют принудительное охлаждение ПЗС-линейки.

Следует отметить, что собственные шумы пленки (зерно) обычно намного превышают шумы видеосистемы сканера и поэтому часто оказываются решающим фактором качества.

▼ **Диапазон плотностей**

Данный параметр напрямую связан с радиометрическим разрешением, однако также зависит от других параметров, например, мощности осветителя. Чем шире диапазон воспринимаемых плотностей, тем с большей детальностью будут передаваться все мало-контрастные детали снимка.

Типичный оптический диапазон снимка лежит в пределах 0,1–2,5 D.

▼ **Осветитель**

В качестве осветителя в фотограмметрических сканерах используют специальные лампы

или линейки мощных светодиодов. К достоинствам ламп следует отнести большой запас яркости, позволяющий «просвечивать» более плотные снимки. К недостаткам — значительное выделение тепла и спектральную нестабильность (изменение цветового баланса с течением времени).

Светодиоды обладают исключительной стабильностью и малой потребляемой мощностью. Кроме того, срок их службы в десятки, а то и в сотни раз превышает срок службы ламп. К недостаткам светодиодов относится несколько меньший запас яркости.

▼ Объектив

Зеркальные объективы хорошо передают контраст мелких деталей и вносят в изображение минимальные геометрические и спектральные искажения, однако имеют фиксированное увеличение 1:1.

Преимуществом линзовых объективов является перемен-

ное увеличение, позволяющее плавно изменять минимальный размер пикселя.

▼ Скорость сканирования

Является важным параметром сканера, особенно критичным для предприятий, выполняющих большие объемы работ по аэросъемке и поставляющих заказчиком информацию в цифровом виде.

Рассмотренные выше сканеры обеспечивают требуемую точность и производительность, достаточную для их применения в практическом фотограмметрическом производстве. Собственно эти сканеры уже долгие годы широко используются во всем мире.

Можно сказать, что развитие фотограмметрических сканеров достигло своего апогея и поэтому сложно ожидать от производителей революционных изменений в конструкции и технологии сканирования. Основные силы разработчиков сейчас на-

правлены на создание и развитие цифровых камер для аэросъемки. Первые модели таких камер уже появились, но процесс их развития до полного ухода от традиционной пленочной технологии займет еще не одно десятилетие.

В настоящее время использование для аэросъемки относительно недорогих традиционных камер формата 230x230 мм с последующим сканированием фильма на высокоточном фотограмметрическом сканере является наиболее эффективной и хорошо изученной технологией.

RESUME

A historical information is presented on photogrammetric scanners together with the review of the status of these scanners' market. A comparative description is given for the photogrammetric scanners presented by the leading manufacturers. Their main specifications are also presented.

Цветной фотограмметрический сканер DeltaScan

Сканеры данной серии, разработанные НПП «Геосистема», хорошо известны на российском рынке. Первая модель для черно-белого сканирования с размером пикселя 14 мкм была запущена в серийное производство в 1995 г. За ним последовал почти десятилетний период смены моделей с постоянным развитием и совершенствованием технологий сканирования. Последняя модель DeltaScan-5 имеет параметры, не уступающие ведущим зарубежным аналогам, сохраняя при этом доступную стоимость.

Несколько сотен сканеров установлены за эти годы и работают по всему миру, включая десятки инсталляций в США, Канаде и странах Западной Европы.

Именно выгодное сочетание цены и производительности сделало этот сканер популярным в России и странах СНГ. Так, даже при минимальных расценках на услуги сканирования, сканер DeltaScan полностью окупает себя уже после сканирования 20–30 (!) фильмов. На многих крупных российских предприятиях уже установлено несколько таких сканеров.

Не последнюю роль в популярности сканера играет географическая близость производителя, позволяющая оперативно решать вопросы гарантийного и послегарантийного обслуживания.

НПП «Геосистема»:

Украина, 21027, Винница, ул. 600-летия, 25

Тел: (0432) 46-47-71

Факс: (0432) 46-65-19

E-mail: info@vingeo.com

Интернет: www.vingeo.com

Кроме того, сканер можно приобрести в российском представительстве.

ООО «Геомэп»:

Россия, 125040, Москва, ул. Правды, 7/9, стр. 1А

Тел: (095) 456-91-47, факс: (095) 455-79-72, e-mail: zotov@geod.ru

