



## Лекция 11: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ

**Вопросы: 11.1 Основные характеристики цифрового изображения. Фотометрические и геометрические преобразования.**

**11.2 Цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) и их основные характеристики.**

**11.3 Требования к ЦФС. Преобразование цифровых изображений.**

**11.4 Цифровая фотограмметрическая система «Photomod» (структура, основные модули).**

**11.5 Фотограмметрическая обработка цифровых изображений (внутреннее ориентирование, взаимное ориентирование, внешнее ориентирование).**

**11.6 Построение и уравнивание фототриангуляционной сети.**

**11.7 Цифровые модели рельефа (ЦМР). Способы представления цифровых моделей рельефа.**

**11.9 Принцип цифрового трансформирования.**

**11.10 Построение ортофотоизображения в ЦФС «Photomod».**

### Литература

1. Назаров, А.С. Средства получения цифровых снимков и методы их фотограмметрической обработки / Назаров А.С. – Минск: учеб. центр повышения квалификации и переподготовки кадров землеустроительной и картографо-геодезической службы. 2009. – 263 с.

2. Система Photomod 5.0. Создание проекта: Руководство пользователя. – М.: Ракурс, 2009, 91с.

3. Система Photomod 5.0. Измерение сети: Руководство пользователя. – М.: Ракурс, 2009, 126 с.

4. Система Photomod 5.0. Уравнивание сети: Руководство пользователя. – М.: Ракурс, 2009, 82 с.

5 Система Photomod 5.0. Обработка проекта: Руководство пользователя. – М.: Ракурс, 2009, 208 с.

6. Система Photomod 5.0. Создание ортофото: Руководство пользователя. – М.: Ракурс, 2009, 108 с.

### Вопрос 11.1 Основные характеристики цифрового изображения. Фотометрические и геометрические преобразования

Растровое изображение характеризует его геометрическое и радиометрическое разрешение.

**Геометрическое разрешение** цифрового изображения определяет линейный размер пиксела и представляется либо его линейной величиной (в метрах, если размер отнесен к местности, или в мкм, если речь идет о снимке), или числом точек на дюйм (*dpi*).

Величина геометрического разрешения определяет качество изображения, точность вычислительной обработки, возможности увеличения и др. В соответствии с требованиями действующей инструкции по фотограмметрическим работам размер элемента геометрического разрешения определяют в зависимости от назначения цифровых снимков, с учетом нескольких критериев, в частности:

- ✓ требуемой точности определения плановых координат точек

$$P_{xy} = 0,5V_S M/m = 0.5V_S/K_t ; \quad (11.1)$$

- ✓ требуемой точности определения высот точек

$$P_z = 0,5f V_z/(bm) ; \quad (11.2)$$

- ✓ сохранения разрешающей способности исходного снимка (изображения):

$$P_R = 0,4/R ; \quad (11.3)$$

- ✓ обеспечения требуемого разрешения графических фотопланов (ортофотопланов)

$$P_p = 70M/m = 70/K_t , \quad (11.4)$$

где  $M$ ,  $m$  – знаменатели масштабов создаваемого плана и аэроснимка;

$V_S$ ,  $V_z$  – требуемая точность определения плановых координат (порядка 0,2 мм в масштабе плана) и высот точек (1/5 сечения рельефа) в метрах;

$R$  – разрешающая способность исходного снимка (линий на мм);

$f$ ,  $b$  – фокусное расстояние съемочной камеры и базис фотографирования в масштабе снимка (мм).

Если цифровые снимки создаются для фотограмметрического сгущения в плане и по высоте, изготовления ортофотопланов и при этом нужно сохранить разрешающую способность исходных материалов, то сканировать нужно с разрешением 10 мкм или  $25600/10=2600$  dpi.

Заметим, что разрешающая способность современных как аэронегативов, так и объективов достигает 350–400 линий на миллиметр (порядка 1,5–2,0 мкм), что соответствует суммарной разрешающей способности изображения порядка 4–5 мкм. Эта величина соответствует рекомендациям Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (МОФДЗ) и рассматривается как минимальная.

**Радиометрическая характеристика** определяет число уровней квантования яркости исходного изображения (бинарное, многоградиентное) и фотометрическое содержание элемента изображения (одноцветное, полутоновое, цветное, спектрзональное).

Для обозначения плотности (степени потемнения) элемента изображения весь диапазон полутонов от белого до черного делится на  $2^n$  частей (2, 4, 8, ..., 256, ...), называемых *уровнями квантования*. Радиометрическое разрешение изображения обозначают числом бит на пиксел (т. е. показателем степени  $n$ ).

При формировании бинарного (черно-белого) изображения используется всего два уровня квантования, и в нем представлены только белый и черный цвета.

В полутоновом изображении используется 256 уровней квантования, для представления которых в описании элемента изображения резервируется 8 бит (1 байт).

Черному цвету всегда соответствует уровень 0, а белому – уровень 1 бинарного изображения и уровень 255 полутонового.

Цветное изображение формируется с использованием той или иной палитры (RGB, CMYK и др.), в которых цвет создается путем смешивания основных цветов в пропорциях, соответствующих уровням их квантования.

*Палитра RGB* – наиболее распространенная. При ее использовании цвета и их оттенки передаются путем смешивания трех основных цветов различной интенсивности: красного (**Red**), зеленого (**Green**) и синего (**Blue**). Так, сочетание красного цвета с зеленым дает желтый цвет; зеленого с синим – голубой; синего с красным – оранжевый, а всех трех цветов – белый.

*Палитра CMYK* обеспечивает более качественную передачу оттенков при смешивании четырех цветов: голубого (**Cyan**), сиреневого (**Magenta**), желтого (**Yellow**) и черного (**black**). Палитра CMYK находит широкое применение в издательских системах.

В связи с этим для представления одного элемента бинарного изображения необходим 1 бит; полутонового с 256 уровнями квантования – 8 бит (1 байт), а цветного с тем же числом уровней квантования по каждому каналу – 24 бита (3 байта) при использовании палитры RGB или 32 бита (4 байта) палитры CMYK. Требуемый для хранения цифрового снимка объем памяти, в зависимости от формата кадра ( $l$ ), геометрического ( $P$ ) и радиометрического разрешения изображения можно подсчитать по формуле

$$O_p = (l/P)^2 R, \quad (11.5)$$

где  $R$  – число байтов для записи радиометрической характеристики (1, 2, 3 или 4 байта).

**Фотометрические и геометрические преобразования цифровых снимков.** В процессе фотометрической обработки снимков возникает необходимость различного рода их преобразований, связанных как с улучшением читаемости, так и с изменением размеров изображения (например, при уменьшении или увеличении снимков в процессе их трансформирования). В первом случае говорят о фотометрической коррекции (оптических преобразованиях) цифрового изображения, а во втором – об изменении его геометрического разрешения или о геометрических преобразованиях.

**Фотометрическая коррекция изображения**, или оптические его преобразования, основаны на использовании связи между его компонентами, описываемой уравнением

$$\rho_i = a\rho_{i,\text{исх}} + b, \quad (11.6)$$

где  $\rho_{i,\text{исх}}$ ,  $\rho_i$  – оптические плотности элемента изображения до и после фотометрической коррекции;

$a$  – функция, определяющая соотношение между оптическими плотностями исходного и преобразованного изображений;

$b$  – параметр яркости.

Преобразования, описываемые уравнением (11.6), можно представить в виде графика (рис. 11.1), отражающего связь оптических плотностей элементов изображения до их коррекции (вертикальная ось) и после коррекции (горизонтальная ось).

Фотометрическая коррекция выполняется путем изменения яркости изображения, его контрастности и характера соотношений между оптическими плотностями до и после их преобразования.

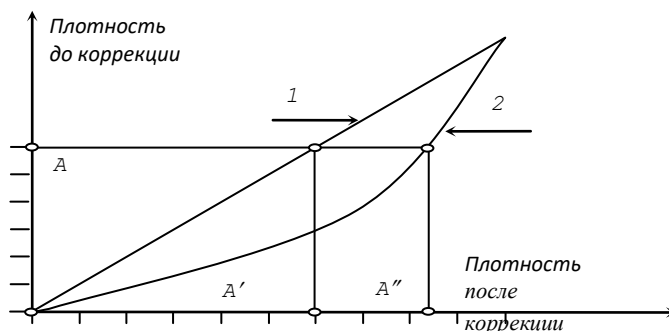


Рис. 11.1. График фотометрической коррекции изображения

*Изменение яркости* выполняется путем уменьшения или увеличения параметра  $b$  каждого пиксела на одну и ту же величину, что приводит к тому, что все элементы корректируемого изображения становятся более светлыми или более темными. Изменение яркости группирует плотности к какому-либо одному (светлому или темному) краю спектра. На графике (рис. 11.1) это иллюстрируется смещением прямой 1 (или кривой 2) вдоль горизонтальной оси.

*Изменение контрастности* изображения выполняется с целью изменения различий между плотностями смежных элементов и улучшения таким образом читаемости границы между ними. Увеличение контрастности изображения выполняется следующим образом. Если оптическая плотность  $\rho_{\text{исх}}$  некоторого элемента превышает среднее значение, то она увеличивается пропорционально уровню квантования, а если она менее среднего, то уменьшается. При этом значения плотностей пикселей как бы смещаются к краям спектра: темные тона становятся еще темнее, светлые – светлее, некоторые их значения исчезают, но границы между элементами изображения становятся более четкими. При уменьшении контрастности большие плотности уменьшаются, а малые – увеличиваются; при этом плотности группируются вблизи центра. Чрезмерное увеличение контрастности преобразует полутоновое изображение в бинарное, а чрезмерное уменьшение – ведет к его исчезновению.

На графике (рис. 11.1) рассмотренные преобразования соответствуют вращению прямой 1 (кривой 2) вокруг центральной точки.

*Гамма-коррекция* (тональная коррекция) изображения выполняется с целью увеличения или уменьшения его детальности, что достигается изменением передаточной функции  $a$  уравнения (11.6), определяющей характер преобразования. На графике (рис. 11.1) гамма-коррекция соответствует изменению кривизны и общего наклона линии 1 (или 2).

При равномерной передаче оптической плотности (прямая 1 под углом  $45^\circ$  к координатным осям) их значения, соответствующие точкам  $A$  и  $A'$ , одинаковы. Изменим передаточную функцию  $a$  уравнения (11.6) так, чтобы ей соответствовало уравнение кривой 2. Теперь плотности исходного изображения (точка  $A$ ) будет соответствовать плотность скорректированного изображения  $A''$ , причем  $A \neq A''$ .

Заметим, что неправильное использование гамма-коррекции может привести к уменьшению числа полутонов и преобладанию областей одного тона.

При обработке цветных изображений можно выполнить не только изменение яркости, контрастности или гамма-коррекцию, но и, меняя соотношение цветов, получить нужные оттенки.

*Геометрические преобразования* растрового изображения изменяют его геометрическое разрешение и корректируют радиометрические характеристики. Необходимость таких преобразований возникает, например, при трансформировании цифрового снимка по элементам внешнего ориентирования, в процессе которого изменяется масштаб изображения и положение его элементов относительно координатных осей. Сходная по характеру задача возникает при внутреннем ориентировании цифрового изображения.

В общем случае геометрические преобразования можно условно разделить на простые, требующие изменения только геометрического разрешения, и сложные, в результате которого выполняется изменение масштаба и поворот изображения.

*Простые преобразования* выполняются при изменении масштаба изображения путем соответствующего изменения геометрического разрешения, когда каждому пикселу исходного изображения соответствует пиксел преобразованного с тем же или иным геометрическим разрешением. При этом формируется новая матрица, элементам которой присваивается радиометрическое разрешение соответствующего ему исходного изображения (рис. 11.2).

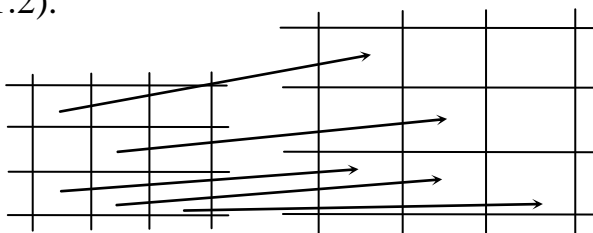


Рис. 11.2 Простые геометрические преобразования

*Сложные преобразования* выполняются при трансформировании изображения, когда коэффициент увеличения различных его частей неодинаков или когда выполняется разворот на некоторый угол. Первая ситуация возникает при восстановлении, например, сетки квадратов по ее перспективе, а вторая – при внутреннем ориентировании снимка. В обоих случаях (рис. 11.3) каждому пикселу формируемого изображения соответствует несколько пикселов или их частей исходного изображения, или наоборот.

Сущность выполняемых при этом геометрических оптических преобразований можно видеть на рис. 11.3, где элементы строк и столбцов исходного изображения обозначены цифрами 1, 2, 3 и буквами a, b, c. Соответствующие элементы формируемого изображения обозначены – цифрами 1', 2', 3' и буквами a', b', c'.

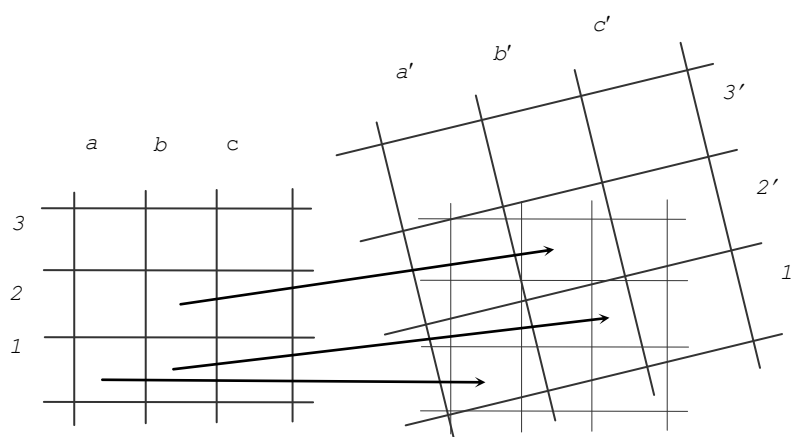


Рис. 11.3. Сложные геометрические преобразования

Совместим левые нижние углы изображений и положим, что элементу 1'a' соответствуют фрагменты четырех элементов исходного растра: 1a (45%), 1b(35%), 2a (15%) и 2b(5%). В этом случае оптическая плотность  $\rho'$  формируемого элемента 1'a' зависит от оптических плотностей  $\rho_{1a}$ ,  $\rho_{1b}$ ,  $\rho_{2a}$ ,  $\rho_{2b}$  элементов 1a, 1b, 2a и 2b, причем

$$\rho' = 0,45\rho_{1a} + 0,35\rho_{1b} + 0,15\rho_{2a} + 0,05\rho_{2b},$$

Координаты элемента формируемого изображения находят по координатам соответствующего ему элемента исходного изображения, подставляя их в нужную формулу преобразования – трансформирования координат точек наклонного снимка, связи координат точек снимка и местности, внутреннего ориентирования снимка или иную.

**Источники цифровых изображений.** Цифровые изображения получают двумя способами, один из которых предполагает сканирование аналоговых фотоснимков (аэронегативов), полученных в процессе аэрофото-съемки, а второй – использование цифровых съемочных систем (сенсоров)

непосредственно в процессе съемки. В обоих случаях цифровое изображение формируется с помощью либо *фотодиодов*, либо *приемников с зарядовой связью* (ПЗС) в форме ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки с примерно одинаковыми техническими возможностями. Применение ПЗС-матрицы предполагает формирование всего кадра изображения по схеме, аналогичной фотокамере, где в фокальной плоскости вместо фотопленки располагается ПЗС-матрица. Применение ПЗС-линейки предполагает сканирование местности или изображения параллельными маршрутами с шагом, равным размеру элемента геометрического разрешения.

*Сканирование фотоснимков* выполняется с помощью оптико-электронных приборов – сканеров, которые по принципу исполнения можно разделить на роликовые, планшетные и барабанные, а по точности и назначению – на офисные и фотограмметрические.

*Роликовые* сканеры имеют малый формат, неподвижную считывающую головку и низкую точность. *Планшетные* сканеры – более точные, но низкоскоростные; столбцы и строки изображения задаются перемещениями источника света и считывающей головки. *Барабанные* сканеры не без оснований считаются наиболее точными; строки формируемого изображения задаются вращением барабана, а столбцы – перемещением считывающей головки.

*Офисные сканеры* характеризуются относительно низким геометрическим разрешением (от 10 мкм с использованием фотодиодов до 100 мкм на основе ПЗС-линеек), существенными геометрическими ошибками положения элементов растра и используются для сканирования фотоснимков только в исключительных случаях.

*Фотограмметрические сканеры* характеризуются высоким геометрическим разрешением (не менее 10 мкм при использовании ПЗС-матриц и ПЗС-линеек) и высокой геометрической точностью, определяемой величиной ошибки сканирования и повторяемостью (изменением ошибки в десяти сканированиях). С их помощью можно сканировать черно-белые (штриховые) или цветные снимки.

Некоторые фотограмметрические сканеры (например, «Дельта» и др.) предусматривают возможность сканирования аэронегативов с неразрезанного аэрофильма, как это практикуется в фотограмметрическом производстве.

Затраты времени на сканирование характеризуются следующими данными для сканера «Дельта» (рис. 11.4): черно-белый снимок формата 23×23 см с геометрическим разрешением 8 мкм сканируется за 12 минут, а с геометрическим разрешением 30 мкм – за 4 минуты. Для получения цветного растрового изображения того же формата и с той же геометрической точностью требуется 30 и 9 минут соответственно.

Важнейшим элементом формирования цифрового изображения является *эталонирование сканера*, особенно в случае, если он не является фотограмметрическим. Сущность эталонирования заключается в сканировании контрольной сетки с нанесенными на нее горизонтальными и

вертикальными штрихами, расстояния между которыми известны с точностью 1–2 мкм. На полученном изображении измеряют «пиксельные» координаты  $x_p, y_p$  крестов контрольной сетки в системе  $O_p x_p y_p$ , преобразуют их в линейную меру с учетом заданного геометрического разрешения и сравнивают полученные значения с точными координатами, отсчитанными по контрольной сетке. По найденным разностям координат соответствующих точек строят *поле искажений*, характеризующее все виды геометрических искажений, вносимых сканером в той или иной точке поля сканирования.



Рис. 11.4. Фотограмметрический сканер «Дельта»  
(Украина)

В последующем изображения, полученные с помощью этого сканера, могут быть исправлены в соответствии с параметрами поля искажений. Имеющиеся публикации свидетельствуют, что искажения фотограмметрического сканера можно уменьшить до 1 мкм.

*Цифровые съемочные системы (сенсоры)* появились только на рубеже веков. К этому времени было достигнуто сопоставимое с фотоснимками геометрическое разрешение (5–6 мкм), появились средства хранения громадных объемов информации (порядка 1 Гб на каждый снимок), создана аппаратура стабилизации съемочной камеры в полете и высокоточного определения координат центров фотографирования.

В настоящее время успешно эксплуатируются несколько цифровых камер, в частности: ADS40 (фирм LH-System, Швейцария), DMC2001 (фирма Z/Imaging (США, Германия), HRSC (центр космических исследований Германии DLR) и др., обеспечивающие возможность получения изображений

как в видимой части спектра, так и в инфракрасном диапазоне. Имеются данные о Российских цифровых съемочных комплексах ЦТК-140 и ЦТК-70. Некоторые характеристики этих камер приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1 Технические характеристики цифровых камер

Наименование характеристики	Характеристика камеры				
	ADS40	DMC	HRSC	ЦТК-140	ЦТК-70
Фокусное расстояние, мм	62,5	120	47÷175	140	70
Размер пиксела, мкм	6,5	6	6÷7	7	7
Число спектральных каналов	6	12	5	1	4
Радиометрическое разрешение, бит	8	8	8 ÷ 12	8	10/8
Светочувствительный ПЗС-элемент	линейка	матрица	линейка	линейка	линейка

С точки зрения фотограмметрической обработки цифровых изображений, получаемых с помощью цифровых съемочных систем на ПЗС-линейках, чрезвычайно важны два обстоятельства:

1. Изображения формируются в результате сканирования местности в направлении, перпендикулярном направлению полета. Поэтому результатом съемки являются не кадровые снимки, а полосы изображений, так что стереоскопические наблюдения и измерения возможны только по полосе перекрытия со смежным маршрутом (рис. 11.5, *а*).

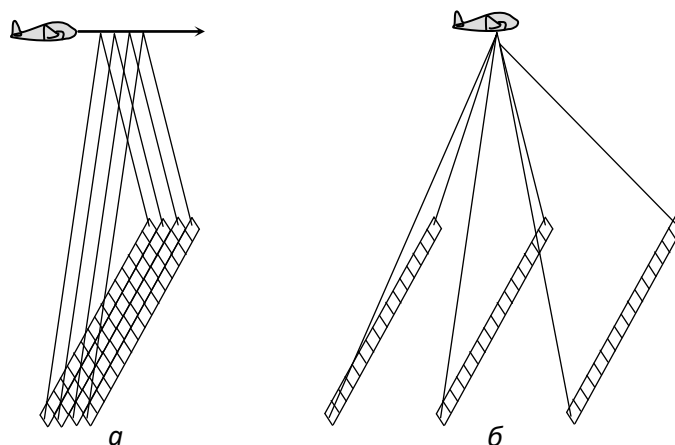


Рис. 11.5. Сканирование местности с записью результатов на одну (*а*) и три (*б*) ПЗС-линейки

2. Геометрия сканерных снимков не соответствует центральной проекции, поскольку каждая их строка формируется из собственного центра. Фотограмметрической обработке таких изображений предшествует преобразование их в форму, соответствующую законам построения изображений при центральном проектировании.

Отсутствие продольных перекрытий сканерных снимков и невозможность создания по ним стереопар существенно снижают точность их фотограмметрической обработки, поэтому современные съемочные сис-

темы предусматривают одновременное применение нескольких ПЗС-линеек, каждая из которых формирует изображение по определенному направлению (рис. 11.5, б).

Так, цифровая система ASD40 имеет в фокальной плоскости три ПЗС-линейки, одна из которых обеспечивает съемку полосы по направлению «вперед», вторая – полосы в направлении точки надира («вниз»), а третья – полосы «назад». Совместная обработка трех полос изображений позволяет получить продольные перекрытия и выполнить стереоскопические наблюдения.

Цифровая съемочная система HRSC (HighResolutionStereoCamera) с помощью девяти линеек ПЗС в фокальной плоскости объектива выполняет съемку одновременно девяти перекрывающихся полос, пять из которых используется для стереообработки, а остальные четыре обеспечивают получение изображения в том или ином оптическом диапазоне.

## **Вопрос 11.2 Цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) и их основные характеристики**

Применение цифровых методов фотограмметрии в практике топографических, кадастровых и других съемок, как и картографического обеспечения геоинформационных и кадастровых систем, стало реальностью сегодняшнего дня. И нет никаких сомнений в том, что вытеснение классических аналоговых методов обработки материалов аэрофотосъемки – задача уже ближайшего будущего. Это обстоятельство и послужило основанием для того, чтобы в действующих инструкциях по фотограмметрическим работам были обозначены как основные задачи, решаемые цифровыми методами, так и критерии их эффективности.

Под цифровой *фотограмметрической системой* понимается совокупность программных и технических средств, связанных общей функцией и обеспечивающих выполнение комплекса технологических процессов и операций, необходимых для получения продукции аэрофототопографической съемки в цифровом виде по цифровым изображениям.

Под продукцией понимают цифровой ортофотоплан (или фотоплан в картографической проекции) и цифровую карту.

Цифровая карта является результатом выполнения всех процессов аэрофототопографического производства, а не только фотограмметрической обработки, так как для ее создания по данным непосредственно собранным на фотограмметрической станции требуется достаточно кропотливая работа по обработке цифровой картографической информации. Таким образом, под продукцией, получаемой непосредственно от цифровой фотограмметрической системы, будем понимать *цифровой ортофотоплан и векторную модель контуров снятых объектов*. При этом векторные данные могут обладать, а могут и не обладать некоторыми графическими атрибутами

(слой, стили линий, цвет, значок), могут иметь, а могут и не иметь соответствующих семантических атрибутов (данные, указывающие на тип объекта, которому принадлежит данный контур или точка). Таким образом, в качестве системы далее будут рассматриваться средства, которые позволяют выполнить все или почти все необходимые процессы и операции, с целью получения по исходным цифровым изображениям указанных результатов или хотя бы одного из них. Для анализа необходимы критерии или система характеристик, с помощью которых можно оценить систему.

Опыт работы по тестированию, приемке и практическому применению цифровых фотограмметрических систем позволяет предложить следующее:

*-характеристика технических средств*, включающая требования к вычислительной платформе, ее минимальной конфигурации, используемые средства для стереонаблюдений и управления измерительной маркой, операционную систему;

*-интеграционные свойства*– входные и выходные форматы растровых и векторных данных, совместимость с ГИС и другими фотограмметрическими пакетами с возможностью экспорта-импорта элементов внешнего ориентирования, результатов измерений координат точек, возможности ввода исходных данных из файлов, открытость форматов, используемые графические пакеты (используется оригинальная графическая среда для работы с векторными данными или какой-либо коммерческий программный продукт);

*-общие технологические характеристики*– модульность (возможность конфигурации состава программного обеспечения рабочего места по функциональному признаку), возможности обработки цветных изображений, компрессии и декомпрессии изображения или работы с компрессированными форматами непосредственно, число обрабатываемых снимков (оперирует система стереопарой, маршрутом, блоком), возможности пакетной обработки на рутинных процессах, работы с изображениями нецентральной проекции, обработки блоков из изображений, полученных различными камерами, производительность на рутинных процессах, необходимость построения эпиполярных изображений как отдельного процесса;

*-функциональность*– наличие основных технологических компонентов: управление проектом, измерения для фототриангуляции, уравнивание фототриангуляции, создание ЦМР, ортофототрансформирование, монтаж ортофотоплана, стереоскопическая съемка, съемка в монорежиме, а также развитость функций каждого технологического компонента и уровень автоматизации; *системы, обеспечивающие все перечисленные технологические процессы, далее будут называться полнофункциональными;*

*-эргономичность интерфейса*– удобства и богатство возможностей манипуляции с изображениями на экране: автоматический скроллинг, оконное увеличение изображения, расположение окон, а также удобства с точки зрения минимизации нажатий кнопок и очевидности их функционального значения;

-*точность*– погрешности положения пикселей изображения, вносимые в процессе обработки, а также определения (измерения) координат точек;

-*надежность*– устойчивость к сбоям программы, развитость системы диагностических сообщений при некорректных действиях оператора и удобство их обработки, наличие средств контроля качества;

- возможность развития пользовательских приложений.

Следует заметить, что такая характеристика, как функциональность, является одной из важнейших и сложных и содержит иерархическую систему характеристик функциональных компонент.

### **Вопрос 11.3 Требования к ЦФС. Преобразование цифровых изображений**

Требования к цифровым фотограмметрическим системам (ЦФС) делятся на *общие, технические и технологические*.

*Общие требования к ЦФС* включают такие условия как строгость алгоритма, максимальная автоматизация процессов обработки, гарантированное решение задачи при наличии теоретической возможности, использование всей геометрической точности исходных изображений, насыщенность алгоритмов логическими операциями контроля полноты и корректности данных, авторская поддержка программных средств и др.

*Технические требования* определяют главные условия функционирования цифровых систем и в частности – возможность обработки черно-белых и цветных снимков в сжатых и несжатых форматах, отсутствие ограничений на объем памяти и быстродействие ПЭВМ, реализация оптических и электронных средств стереоизмерений и ряд других.

*Технологические требования* к цифровым системам определяют перечень функциональных возможностей систем, наличие которых обеспечивает их эффективную эксплуатацию, в частности:

- автоматическое распознавание и измерение изображений координатных меток и выполнение внутреннего ориентирования;
- автоматическое стереоотождествление и измерение идентичных опорных и фотограмметрических точек перекрывающихся снимков;
- автоматическое построение по стереопарам цифровых моделей рельефа;
- ортотрансформирование изображений с использованием информации о рельефе, представленной в виде горизонталей, отдельных точек (пикетов), регулярной или нерегулярной ЦМР, формирование выходного ортоизображения с заданным геометрическим разрешением и автоматическое выравнивание его плотности;
- внутреннее, взаимное и внешнее ориентирование снимков и моделей (маршрутов) по произвольному числу исходных точек (меток, крестов);
- сбор цифровой информации об объектах местности в процессе стереоскопической (по эпиполярным снимкам) и моно (по ортоизображению)

векторизации с использованием настраиваемого классификатора, а также редактирование этой информации с использованием автоматизированных процедур и представление ее в распространенных форматах.

В настоящее время имеется достаточно большое число цифровых фотограмметрических систем, из которых наибольшее распространение в специализированных предприятиях Республики Беларусь получили системы Photomod , ТАЛКА, и RealisticMap.

В первую очередь предлагается рассмотреть наиболее известные зарубежные системы, нашедшие практическое применение в России. При этом целесообразно ограничиться анализом продуктов, работающих на РС, т. е. в операционной среде Windows. В качестве известных следует перечислить продукты следующих фирм: Intergraph Corporation, LH-systems LLC, ISM, ERDAS Inc., Voxel Imaging Corporation.

Фотограмметрические системы корпорации Intergraph достаточно широко распространены в мире. В России системами ImageStation на базе платформ с операционной системой CLIX оснащены два предприятия “Госземкадастръемка”: в Перми и в Нижнем Новгороде, где с их использованием выполняется большой объем производственных работ. В настоящее время системы на CLIX-платформе больше не выпускаются, им на смену пришли ImageStation Z, ZII, ZIII, ZIV, ImageStation SSC, SSC Pro для ОС Windows NT. Фотограмметрическими системами этого поколения оснащено предприятие “Госземкадастръемка” в Москве. ImageStation Z являются полнофункциональными системами, т. е. обеспечивают выполнение всего комплекса работ по фотограмметрической обработке. Следует отметить, что системы в полном смысле слова, т. е. в их комплект входят и средства вычислительной техники, включая графический ускоритель, монитор (до 28”), жесткий диск от 27,3 Гб, сетевой контроллер Ethernet, 10-кнопочное устройство управления 3D-курсором со специальным дигитайзером, стереочки, управляемые инфракрасным излучателем. ImageStation SSC, SSC Pro имеет те же функции, что и ImageStation Z, но отличается комплектностью поставки, менее жесткими требованиями к вычислительной платформе, но обладает той же функциональностью. Система характеризуется высокой производительностью, уровнем автоматизации, большим ассортиментом форматов экспорта–импорта данных, интегрируемостью с другими пакетами; в качестве графической среды используется MicroStation.

Интересной особенностью ее является наличие компонента ImageServer – средства централизованного сетевого управления проектом с централизованным хранением изображений.

Продукция фирмы LH-systems LLC также известна в России. Цифровые фотограмметрические станции DPW 770 на платформе Sun Solaris (Unix) успешно эксплуатируются в институте “Госземкадастръемка” в Москве. В настоящее время программная система SO CET SET выпускается как для платформы Sun Solaris, так и для Windows NT. Эта система также характеризуется высоким уровнем автоматизации, большим ассортиментом

форматов экспорта-импорта данных, интегрируемостью с другими пакетами и аналитическими приборами, и в качестве графической среды при стереосъемке используется MicroStation GeoGraphics. Система обладает многими дополнительными возможностями такими, как проектирование аэрофотосъемки, виртуальная реальность, обработка короткобазисной съемки, фототриангуляция по снимкам, полученным различными датчиками и др.

Система DiAP канадской фирмы ISM, хотя достаточно давно известна в нашей стране, но, может быть, не столь широко используется. Это система обладает почти всеми функциональными возможностями (за исключением уравнивания фототриангуляции, с этой целью необходимо использовать сторонний продукт), очень неприхотлива к вычислительной платформе при весьма высокой производительности на рутинных процессах. В качестве средств управления измерительной маркой снабжается ручными штурвалами и ножным диском и педалью. При сборе векторных данных (съемке) также используется MicroStation GeoGraphics.

IMAGINE OrthoBASE фирмы ERDAS является дополнительным модулем расширения для пакета ERDAS Imagine Advantage для Windows NT. Следует отметить, что эти программные продукты не обеспечивают полнофункциональность системы, а именно процесс стереосъемки. Этот вопрос будет закрыт с появлением коммерческой версии модуля StereoAnalist. IMAGINE OrthoBASE позволяет выполнять фототриангуляцию и создавать ортофотопланы для многих типов изображений. В системе используется обобщенная модель цифровых сенсоров (средств получения изображения). Модели сенсоров в виде соответствующих DLL могут дополняться пользователем. Система характеризуется высоким уровнем интегрируемости в смысле совместимости с другими фотограмметрическими пакетами и аналитическими приборами (обмен элементами внешнего ориентирования). Минимальные требования к вычислительной платформе также невысоки. Кроме того, Imagine Advantage обеспечивает большие возможности по анализу и интерпретации изображений, которые не являются предметом настоящего рассмотрения. Система интегрируется с ARC/INFO.

Цифровая фотограмметрическая система VirtuozO в России известна сравнительно недавно, но на мировом рынке получила достаточно широкое распространение. Эта система, работающая в операционной среде UNIX IRIX, появилась около 5 лет назад, а затем была полностью интегрирована в среду Windows NT. Модулями системы реализованы почти все необходимые процессы (за исключением уравнивания фототриангуляции, с этой целью необходимо использовать сторонний продукт). Ей свойственна высокая производительность на рутинных процессах (ЦМР, ортофототрансформирование). В качестве графической среды используется MicroStation.

В России также проводились разработки в области цифровой фотограмметрии, в результате сейчас отечественные цифровые фотограмметрические системы во многом конкурируют с зарубежными, тем

более что они существенно дешевле. Ниже рассматриваются системы: PHOTOMOD v. 2.0, "Талка", Z-space, ЦФС ЦНИИГАиК, Цифровой стереоплоттер SDS v.3.1. как наиболее известные и имеющие свойства полнофункциональной системы.

Система Z-space – разработка ГосНИИАС – имеет все компоненты полнофункциональной системы. На процессах измерений для фототриангуляции, построения ЦМР, а также при внутреннем ориентировании по сетке крестов используется корреляция. Главной особенностью системы являются ее развитые возможности по созданию, анализу и редактированию ЦМР. Ее отличает исключительно высокая производительность при автоматическом создании ЦМР и богатый выбор вариантов манипуляций с точками ЦМР. Следует отметить также очень высокую технологичность, обеспечиваемую при монтаже ортофотопланов. Наличие средств виртуальной реальности расширяет ее функциональные возможности в сравнении с обычным набором. Ограничениями являются: отсутствие возможности работы с цветными снимками, ограниченность ОС Windows 95/98, недостаточная модульность, отсутствие классификатора объектов.

**ЦФС ТАЛКА** разработана ИПУ РАН под руководством доктора физико-математических наук Д. В. Тюкавкина. Она отвечает производственным требованиям, технологична и изначально хорошо приспособлена для работы с большими объемами данных. К особенности системы можно отнести:

- использование «сжатых» изображений, состоящих из точных фрагментов («фотоабрисов») с изображениями точек и пространств между ними с 10-кратным прореживанием;
- возможность обработки больших изображений объемом до 4 Гб;
- возможность полной автоматизации стереоизмерений, включая нанесение необходимых точек с использованием четырех режимов отождествления: «грубого» (аффинного), «стандартного» (с обычной корреляцией), «быстрого» (с малой областью поиска) и «надежного» (с поконтурной обработкой);
- построение маршрутных сетей по перекрывающимся триплетам, их объединение в блок в свободной системе координат с последующим уточнением, ориентирование блока маршрутов по опорным точкам и уравнивание связок проектирующих лучей.
- ортотрансформирование снимков по фрагментам (максимум 128×128), полученным делением рабочей площади на заданное число элементов в зависимости от уклона местности;
- возможность выполнения фотометрической коррекции изображения путем локального выравнивания яркостей между фрагментами, глобального выравнивания всего изображения и межпиксельного выравнивания плотности.

К недостаткам системы можно отнести скромные графические возможности при векторизации, отсутствие классификатора объектов (что

важно при последующем создании оригинала карты или плана) и невозможность построения и измерения анаглифических изображений исходных снимков.

**ЦФС *Realistic Map*** разработана ОАО «Пеленг» и НПП «Медиаскан» (Минск) под руководством Н. И. Киркорова и применяется в военно-топографических службах МО Украины, Республики Беларусь, а также в некоторых предприятиях республики. К особенностям системы можно отнести:

- сочетание с аналитическими фотограмметрическими приборами SD2000, SD3000, Стереонаграф;
- создание ЦМР по результатам полуавтоматической векторизации структурных линий, горизонталей и подписанных на карте отметок;
- построение фототриангуляционного блока путем объединения независимых моделей;
- импорт уравненных координат точек фототриангуляционной сети;
- экспорт 3D-векторов с атрибутами в формате DXFиз других систем;
- расчет и формирование карт уклонов и профилей по заданным направлениям.

Система технологична, легко вписывается в производственный процесс, обеспечивает получение высококачественных ортофотопланов. Хорошо проработана фотометрическая коррекция. К недостаткам системы можно отнести полное отсутствие средств автоматизации стереоизмерений и наличие жестких требований к ПЭВМ ( Pentium III, RAM 128 Мб, HDD 40 Гб, монитор с частотой кадров 120–160 Гц, видеокарта ASUSAGPV7700).

Цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) **ЦНИИГАuK** имеет почти все функциональные компоненты полной системы, кроме фототриангуляции. Для взаимного ориентирования и создания ЦМР используется корреляция. Система имеет ряд особенностей: в качестве средств управления измерительной маркой поставляются ручные штурвалы и ножной диск, что выделяет ее из других отечественных систем; в качестве некой логической единицы, которой в системе соответствует понятие “проект”, служит лист карты (плана), что скорее следовало бы отнести к ограничениям. Весьма существенным положительным моментом является отсутствие необходимости построения эпиполярных изображений — используется режим *on-the-fly*. Монтаж ортофотоплана осуществляется одновременно с ортофототрансформированием, а линии монтажа задаются заранее на нетрансформированном изображении. Съемка в монорежиме осуществляется на нетрансформированном изображении с автоматической корреляцией, при этом трансформируются (вычисляются) векторные данные. Система интегрируется с аналитическими плоттерами SD20, Стереонаграф. Отсутствие фототриангуляции в системе обуславливает необходимость внешнего ориентирования каждой стереопары по опорным точкам. Очевидно, что организация проекта в рамках листа карты может стать неудобством при обработке больших блоков снимков. К ограничениям

можно также отнести отсутствие возможности группового редактирования точек ЦМР.

**Цифровой стереоплоттер SDS** (полное название “Сибирский цифровой стереоплоттер”) разработан (Новосибирске) на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА около 5 лет назад. Сейчас распространяется версия 3.1. Система эксплуатировалась в производственных условиях при составлении топографических и кадастровых карт, в том числе в ПО “Инжгеодезия”. К сожалению, подробная информация о системе отсутствует. Можно отметить, что **SDS** обладает почти всеми компонентами полнофункциональной системы.

Перечисленными отечественными системами, очевидно, не исчерпывается весь сегодняшний потенциал. Следовало бы назвать также интересные разработки МИИГАиК, однако, сейчас мы ограничились рассмотрением тех, которые уже оформились как коммерческий продукт или имеют все свойства полных систем.

Отечественные разработки приближаются по своим функциональным возможностям к зарубежным, а по производительности могут даже конкурировать с ними. По этой причине, а также ввиду их сравнительной дешевизны они находят более широкое применение в производстве. С их помощью вполне можно решать конкретные задачи созданию и обновлению топографических и кадастровых карт и ортофотопланов. Во всех системах такие процессы, как измерения для фототриангуляции и построение ЦМР, выполняются с использованием корреляции. Однако средний уровень отечественных продуктов в отличие от зарубежных определяется следующим:

- зарубежные системы не ограничиваются обработкой аэрофотоснимков центральной проекции, а как правило, предоставляют возможность обработки достаточно большого набора изображений, в том числе и космических;

- отечественные системы как правило имеют существенно меньшие интеграционные возможности. Это выражается в том, что набор форматов экспорта/импорта как растровых, так и векторных данных более ограниченный; меньше выражена совместимость с другими фотограмметрическими пакетами или аналитическими приборами; практически отсутствует интеграция с распространенными ГИС-продуктами (в лучшем случае обеспечивается конвертирование данных);

- в качестве графической среды в зарубежных системах обычно используется сторонний коммерческий продукт. Очень большое распространение получил пакет MicroStation, который задействован в большинстве систем. Российские системы, как правило, базируются на использовании оригинальной графической среды, при этом можно выделить следующие разновидности подходов: оригинальными графическими средствами решить задачу-максимум, т. е. получить на фотограмметрическом рабочем месте практически законченный продукт – карту, в том числе и оформленную в условных знаках; оригинальными средствами обеспечить

минимально необходимое для сбора векторных данных, а затем передать их в другую конкретную (например, “Талка”) специализированную картографическую среду для последующей обработки; оригинальными графическими средствами обеспечить минимально необходимое для сбора и конвертировать данные в формат, позволяющий проводить дальнейшую обработку с помощью распространенного коммерческого пакета (пример – Z-space);

- отсутствие JPEG компрессии/декомпрессии изображений в отечественных системах;

- в российских системах отсутствует как правило пакетная обработка (исключение – “Талка”);

- в лучших зарубежных фотограмметрических системах на процессе переноса точек в фототриангуляции оператору предоставляется возможность работы одновременно с шестью снимками (по три снимка смежных маршрутов), в российских системах эта возможность, как правило, ограничивается двумя снимками;

- в зарубежных системах, как правило, используются специальные средства управления 3D-курсором (измерительной маркой), в отечественных – “мышь” (исключение – ЦФС);

- в качестве средства стереонаблюдений в зарубежных системах используются очки активные или с ИК-эмиттером или пассивные с поляризационным экраном. В отечественных системах наиболее распространено применение поляризационных очков с кабелем.

Представленный обзор охватил только самые известные системы и самые основные их характеристики. Для дальнейшего более детального анализа необходимо тщательнее отработать систему критериев, детальнее изучить и исследовать свойства систем.

#### **Вопрос 11.4 Цифровая фотограмметрическая система «Photomod» (структура, основные модули)**

*ЦФС Photomod* разработана ОАО «Ракурс» в содружестве с ведущими специалистами России. Система создана в 1993 г. и ныне используется более чем в 40 странах мира (в том числе около 40 инсталляций в предприятиях и организациях республики), а также в ведущих учебных заведениях России и Республики Беларусь.

*Photomod* – полнофункциональная система, с богатейшими возможностями и оригинальным графическим интерфейсом. Используемые системой математические модели позволяют обрабатывать не только наземные и воздушные снимки, полученные по законам центрального проектирования, но и сканерные, радиолокационные изображения, а также снимки, полученные неметрическими камерами. Это одна из немногих фотограмметрических систем на рынке СНГ, позволяющая обрабатывать

космические и иные цифровые изображения, полученные с помощью различных сенсоров.

Широкое распространение и профессиональное признание системы обеспечили ее богатейшие технологические возможности, основные из которых сводятся к следующему:

- оригинальная графическая среда и доступный интерфейс;
- поддержка наиболее распространенных форматов сканерных спутниковых изображений, включая «точную» модель ASTER, ICONOS, QuickBird;
- возможность использования при построении и уравнивании фотограмметрических измерений полного набора систем координат, картографических проекций и данных GPS-измерений;
- наличие эффективных средств калибровки планшетных полиграфических сканеров;
- наличие настраиваемого классификатора картографических объектов.
- возможность формирования ЦМР на регулярной сетке (DEM) с переменным разрешением и использования ее при ортотрансформировании;
- наличие эффективных средств редактирования графической (векторной) информации, оцифровки в монокулярном и стереоскопическом режимах;
- применения графических и статистических методов оценки достоверности данных;
- наличие интерфейса, обеспечивающего эксплуатацию системы в среде ГИС «Карта 2000» (ГИС «Панорама»), MicroStation/95/SE/J (модуль StereoLink), экспорта данных в геоинформационные и картографические системы и др.

ЦФС *Photomod* имеет модульную структуру, функционирует в локальной сети и совместно с другими фотограмметрическими системами. Структура системы и основные функции ее компонентов показаны на рис. 11.6.

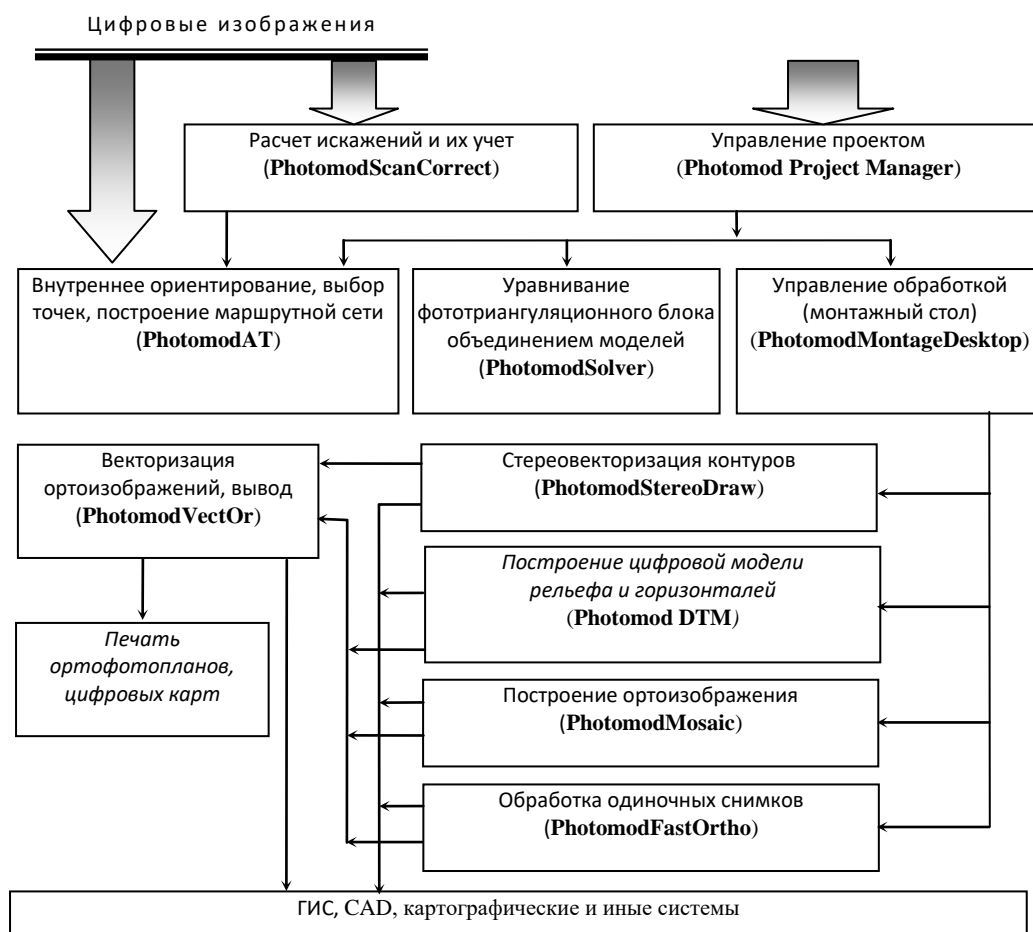


Рис. 11.6 Взаимодействие программных компонентов ЦФС Photomod

Система постоянно совершенствуется (в год появляется 2-3 новых версии), пополняется новыми инструментальными средствами и технологическими возможностями.

### Вопрос 11.5 Фотограмметрическая обработка цифровых изображений (внутреннее ориентирование, взаимное ориентирование, внешнее ориентирование)

Важнейшей особенностью цифровой обработки снимков является объединение вычислительной обработки (внутреннее, взаимное, внешнее ориентирование и т. п.) со сбором нужной для этого информации – измерением координат необходимых точек и автоматической их идентификацией на смежных снимках. Это обстоятельство в сочетании с максимальной автоматизацией технологических процессов делают цифровую фотограмметрическую обработку высокоэффективной и технологичной, не требующей высокой квалификации исполнителей.

Ниже рассмотрены некоторые элементы вычислительной обработки цифровых снимков, аналогичные процессам аналитической обработки данных

**1. Внутреннее ориентирование снимков.** Внутреннее ориентирование цифровых изображений (снимков) выполняется с целью установления соответствия между координатной системой снимка  $oxy$  (рис. 11.7), в которой должны быть представлены результаты измерений для их последующей обработки, и системой растрового изображения  $O_P X_P Y_P$ , в которой представлены точки.

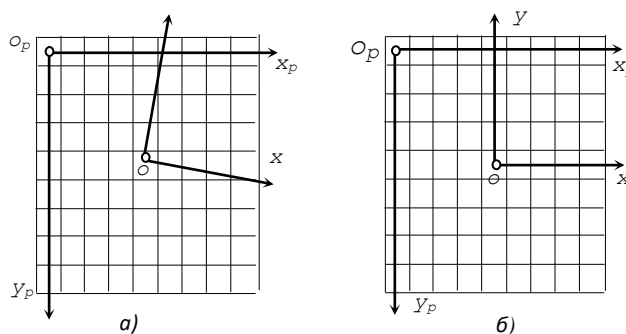


Рис. 11.7. Изображение исходное (а) и идеальное (б)

Математическая модель внутреннего ориентирования цифрового изображения аналогична той, которая применяется при аналитическом построении сетей фототриангуляции. Применяемое для этого решение заключается в определении параметров ортогонального, аффинного или проективного преобразования по избыточному числу измерений, методом наименьших квадратов. Однако в цифровых фотограмметрических системах технология обработки имеет некоторые особенности в связи с возможностями автоматизации измерений и заключается в следующем.

Оператор выполняет идентификацию первых двух координатных меток (крестов), для чего наводит на них измерительную марку и выполняет регистрацию координат в системе  $O_P X_P Y_P$ . После этого программа выполняет расчет положения последующих координатных меток (крестов) и подводит к ним измерительную марку, а оператор выполняет необходимые уточнения и регистрацию координат точки. По завершению измерений всех меток программа запрашивает метод преобразований, выполняет расчет параметров и выводит расхождения между эталонными и вычисленными координатами меток (крестов). В случае несоответствия полученных расхождений требуемым нормативными документами (4-5 пикселей) оператор может повторить все выполненные измерения или их часть.

Внутреннее ориентирование остальных снимков выполняется в автоматическом режиме, для чего оператор определяет прямоугольную область метки, область ее поиска, допустимый коэффициент корреляции и величину расхождения эталонных и вычисленных координат.

Снимки, для которых автоматическое внутреннее ориентирование завершилось неудовлетворительно, обрабатываются оператором вручную.

Полученное в результате такой обработки изображение иногда называют *идеальным*, так как координатные оси его внутренней координатной системы  $орхрур$  параллельны осям системы  $оху$  плоскости прикладной рамки съемочной камеры (рис. 11.7, б).

## **2. Выбор точек и построение фотограмметрических моделей.**

Последующая фотограмметрическая обработка внутренне ориентированных снимков включает:

- перенос на изображения **опорных точек** с известными координатами  $X, Y, Z$  в системе местности;
- ввод элементов внешнего ориентирования снимков  $X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \chi$  (при их наличии);
- выбор **связующих точек в зоне поперечного перекрытия**, необходимых для связи смежных маршрутов;
- выбор **связующих точек в зоне тройного продольного перекрытия**, используемых для связи смежных моделей маршрута;
- выбор точек для подписи на карте высот, урезов вод и др., в соответствии с требованиями действующих нормативных документов;
- выбор дополнительных точек в шести стандартных зонах для повышения точности взаимного ориентирования и соединения смежных моделей.

Все точки, положение которых не может быть произвольным (опорные, связующие, урезы вод и др.), наносят только на один снимок; перенос их на другие снимки того же или смежного маршрута выполняют либо в стереорежиме, либо с помощью коррелятора.

Точки, положение которых на снимке не является жестким (например, дополнительные точки в стандартных зонах для определения элементов взаимного ориентирования, или в зонах тройного продольного перекрытия для связи смежных моделей) могут быть нанесены на снимки автоматически, по заданному размеру стандартной зоны и число точек в ней.

Координаты всех нанесенных на снимки точек автоматически переычисляются в систему координат плоскости прикладной рамки аэрокамеры по найденным параметрам ортогонального, аффинного или проективного преобразования и исправляются поправками, учитывающими влияние:

- кривизны Земли и атмосферной рефракции.
- дисторсии объектива съемочной камеры путем интерполяции соответствующих величин по точкам ее определения или применением соответствующего полинома
- искажений сканера интерполяцией поправок по данным поля его искажений или по полиномам;

После выбора точек выполняют *взаимное ориентирование* снимков строгим способом, с применением метода наименьших квадратов.

Критерием качества отождествления точек на смежных снимках является среднее квадратическое значение остаточного поперечного параллакса, величина которого не может превышать 10 мкм. Более значительные расхождения свидетельствуют о наличии ошибок прежде всего в отождествлении точек. Их устранение требует проверки качества отождествления и измерения точек в стереорежиме. Менее вероятны ошибки внутреннего ориентирования изображений и паспортных данных съемочной камеры (фокусного расстояния, координат главной точки и др.).

Для повышения точности взаимного ориентирования и надежности определения неизвестных в каждой стандартной зоне намечают по две-четыре точки (желательно контурных, надежность измерения которых несколько выше); часть таких точек должна располагаться в зонах тройного продольного и поперечного перекрытий. Важным условием достижения оптимальной точности взаимного ориентирования является одинаковое число точек в стандартных зонах.

Перечисленные операции завершаются *построением одиночной модели и подориентированием ее к предыдущей* или к последующей). Полученные при этом разности координат связующих точек смежных моделей маршрута позволяют судить о качестве их измерения и отождествления. Величины таких расхождений не должны превышать 15 мкм в плане и  $15 (f/b)$  мкм по высоте.

### **Вопрос 11.6 Построение и уравнивание фототриангуляционной сети**

Построение фототриангуляционной сети в пределах маршрута или блока выполняется в автоматическом режиме с использованием различных методов. Задача оператора на этом этапе фотограмметрической обработки сводится к выбору метода уравнивания (независимые или полузависимые модели, уравнивание маршрутов, подблоков, связок проектирующих лучей и т. п.), а также определению критериев для подготавливаемого программой отчета. Критерием качества построения и уравнивания фотограмметрической сети служат величины расхождений исходных и найденных по результатам уравнивания координат, которые не должны превышать:

- для опорных точек, по которым выполнено внешнее ориентирование – 0,2 мм в масштабе карты в плановом положении и 0,15 сечения рельефа по высоте;
- для контрольных опорных точек – не более 0,3 мм в масштабе создаваемого плана и 0,1-0,25 м по высоте при сечении рельефа 0,5-1,0 м;
- связующих точек смежных маршрутов – не более 0,5 мм в масштабе создаваемого плана (карты).

Надежность уравнивания фотограмметрического блока повышается, если число использованных опорных точек в полтора - два раза превышает минимально необходимое.

При этом наиболее достоверную оценку получают по **контрольным опорным точкам**, координаты которых использовались при уравнивании. Важно, чтобы эти точки располагались в наиболее слабых местах фототриангуляционной сети, примерно посередине между опорными точками, по которым выполнялось уравнивание.

Окончательное уравнивание фототриангуляционных сетей часто выполняют с помощью специализированных программ типа ORIMA, в которых реализованы более строгие алгоритмы обработки, а также имеются широкие графические и статистические возможности диагностики ошибок. Поэтому обработка аэроснимков средствами цифровых фотограмметрических систем зачастую ограничивается измерением координат и параллаксов точек, исключением грубых ошибок и экспортом результатов измерений снимков в эти специализированные программы.

### **Вопрос 11.7 Цифровые модели рельефа (ЦМР). Способы представления цифровых моделей рельефа**

Известно, что топографическая поверхность в общем случае может быть представлена как в аналоговой форме, так и в цифровой. В первом случае имеют в виду изображение поверхности горизонталями или отмывками, а во втором – в виде каталога координат определенным образом упорядоченных точек, описания связей между ними и алгоритма определения высот точек в зависимости от их местоположения. С учетом этого можно дать следующее определение цифровой модели рельефа (поверхности):

*Цифровая модель рельефа (ЦМР) представляет собой математическое описание земной поверхности с помощью совокупности расположенных на ней точек, связей между ними, а также метода определения высот произвольных точек, принадлежащих области моделирования, по их плановым координатам.*

Применяемые в настоящее время способы построения цифровой модели рельефа, в зависимости от принятой схемы размещения точек и типа математической модели, можно условно разделить на две группы.

*Первая группа* объединяет способы, основанные на нелинейной интерполяции высот с использованием полиномов, сплайнов, корреляционных функций и т. п., различающиеся видом используемой функции, способом отбора исходных пунктов и пр.

Параметры применяемой математической модели вычисляют по исходным точкам, а затем используют для интерполяции высот произвольных точек области моделирования по их плановым координатам.

*Полиномиальные способы* предполагают представление моделируемой поверхности в виде полинома второй или третьей степени вида

$$A_i = Z_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i Y_i + a_4 X_i^2 + a_5 Y_i^2 + \dots \quad (11.7)$$

Для отыскания неизвестных коэффициентов полинома для каждой опорной точки составляют уравнение поправок, в котором в качестве неизвестных приняты коэффициенты полинома  $a_0...a_5$ . Коэффициенты при неизвестных определяют как функции координат в соответствии с уравнением (11.7), а свободные члены находят как разности между отметками опорных точек и их вычисленными значениями при начальных значениях неизвестных. Полученную систему решают последовательными приближениями, в каждом из которых неизвестные находят методом наименьших квадратов, под условием  $[pv^2]=min$ . Найденные таким образом коэффициенты  $a_0...a_5$  используют для интерполяции высот произвольных точек области моделирования в соответствии с уравнением (11.8).

*Кусочно-полиномиальные способы* предполагают деление области моделирования на участки, подбор для каждого участка своего локального полинома вида (11.8) и последующую связь локальных полиномов с помощью переходных уравнений. Во всех случаях возникают переопределенные системы, решение которых выполняют методом наименьших квадратов, под условием минимума суммы квадратов расхождений высот точек реальной и аппроксимирующей поверхностей.

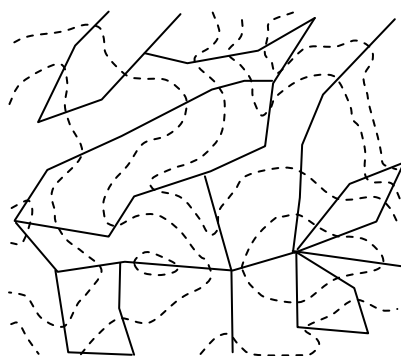


Рис. 11.8. Структурная модель рельефа

Сходные по характеру решения используют способы, основанные на применении *рядов Фурье* (разложения по сферическим гармоникам), различного рода *сплайнов* (кубические, бикубические, на многообразиях и др.) и т.п.

*Вторая группа* объединяет способы, основанные на построении геометрически упорядоченной (регулярной или нерегулярной) модели, элементами которой являются либо определенным образом упорядоченные линии, либо поверхности многогранников (треугольников, четырехугольников или иных фигур). Во втором случае поверхность задается точками в вершинах геометрически правильных фигур (треугольников, квадратов и др.) исходя из предположения, что ограничиваемая ими поверхность имеет одинаковый и однообразный уклон.

В зависимости от схемы расположения исходных точек и характером связей между ними выделяют следующие типы ЦМР:

**1. Структурная модель** местности представляется отметками точек, размещенных в характерных точках рельефа – на линиях водоразделов, тальвегов, в точках локального экстремума. Такая модель наиболее точно отражает поверхность минимальным числом точек, однако ее использование затруднено. Такая модель называется структурно-цифровой моделью или структурно-лингвистической моделью.

**2. Нерегулярная ЦМР.** Известна как *модель TIN* (Triangulated Irregular Network) или модель на нерегулярной сетке.

В своем пространственном выражении это сеть треугольников-элементов триангуляции Делоне. Сеть треугольников с высотными отметками в узлах позволяют представить моделируемую поверхность как многогранную.

Теоретические основы и алгоритмы решения задачи построения триангуляции Делоне связаны с задачей построения полигонов Тиссена (диаграмм Вороного).

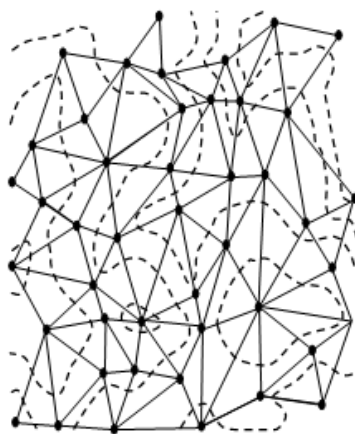


Рис. 11.9. Модель TIN

Использование модели TIN для получения высот новых точек не вполне удобно, поскольку для этого необходимо не только определить принадлежность точки конкретному треугольнику, но и, что особенно важно, выполнить линейную интерполяцию высот по отметкам его вершин. Недостатком данной модели также является «эффект террас» – появление плоских участков в заведомо невозможных местах (морфологических артефакт). Для устранения этого недостатка модель TIN расширяют путем ее структурирования, т.е. введение в нее сети тальвегов водоразделов и линий разрывов.

**3. Модель на регулярной сетке.** Более удобна для практического использования. Модель на регулярной сетке (обычно квадратной) представляет собой сеть высотных отметок в ее узлах, расстояние между которыми (шаг) определяет ее пространственное разрешение. Такая модель известна как модель DEM (Digital Elevation Model), или матрица высот.

Регулярная модель к представлению рельефа называется «гридом».

Эта модель не может быть построена непосредственно по точкам с известными отметками. Для ее получения модели другого типа (TIN,

горизонтали) преобразуются с использованием интерполяции, аппроксимации полиномиальное сглаживание. Операция по пересчету нерегулярных данных в узлы регулярной модели называют «гридингом».

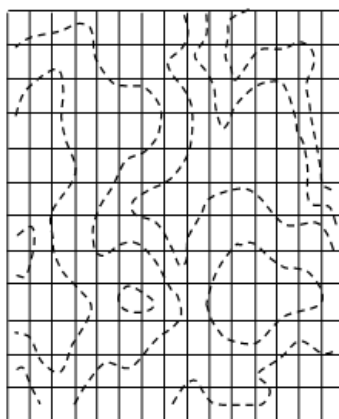


Рис. 11.10. Модель DEM

### ***Создание цифровой модели рельефа в ЦФС (для ЦФС Photomod).***

Фотограмметрические методы цифрового моделирования рельефа основаны на использовании полиномов, нерегулярной сети треугольников TIN и регулярной сети DEM. Причем непосредственно по аэроснимкам строится модель рельефа на треугольниках, а для ортотрансформирования, проведения горизонталей, стереовекторизации и других операций она преобразуется в регулярную модель DEM. Обязательным условием создания ЦМР является наличие элементов взаимного и внешнего ориентирования снимков, получаемых в процессе предварительного построения фототриангуляционной сети.

Некоторое представление о размере сторон нерегулярной сети треугольников TIN и шаге регулярной сети DEM могут дать следующие данные, имеющиеся в специальной литературе: для правильного отображения рельефа на плане масштаба 1:2000 путем линейной интерполяции между точками с известными высотами необходимо, чтобы среднее расстояния между ними были не менее:

20 м – для плоскоравнинной местности со слабой расчлененностью;

10 м – для волнообразной поверхности с гладкими формами;

5 м – для сильно расчлененной местности с большим числом оврагов и промоин.

Один из возможных вариантов построения цифровой модели рельефа по растровым изображениям основан на последовательном выполнении следующих операций:

1. Определение по каждой стереопаре границ области моделирования (глобальных областей).

2. Определение границ подобластей моделирования (локальных областей), различающихся характером рельефа местности и возможностями применения того или иного метода построения ЦМР

3. Построение регулярной сети с шагом, зависящим от наличия исходных точек, характера местности, рельефа и др.

4. Построение сети неперекрывающихся треугольников с вершинами в узлах регулярной сетки на основе алгоритма Делоне.

5. Присвоение всем узлам высот, равных отметке средней плоскости снимка, и вычисление их координат  $x_n$ ,  $y_n$  на левом снимке по формулам связи координат точек наклонного снимка и местности.

6. Идентификация узлов сети треугольников с помощью коррелятора, определение их координат  $x_n$ ,  $y_n$  на правом снимке и вычисление пространственных координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  точек по формулам прямой фотограмметрической засечки.

Операции 4–6 выполняются в автоматическом режиме, без участия оператора.

Границы подобластей моделирования определяют, главным образом, в зависимости от характера рельефа и наличия опорных точек. В пределах рабочей площади стереопары можно выбрать несколько таких локальных зон. Для последующей их увязки в границах глобальной зоны и объединения последних в область, покрывающую всю обрабатываемую территорию, зоны должны перекрываться между собой, или по крайней мере между ними не должно быть разрывов.

При построении цифровой модели узлы регулярной сетки и совпадающие с ними вершины сети треугольников намечаются автоматически, без учета характера местности, и могут оказаться на крышах домов, на крутых склонах, на водной поверхности и т. д. Это предопределяет необходимость корректировки построенной сети треугольников путем изменения положения ее вершин в процессе стереоскопических наблюдений *эпиполярных изображений*, полученных путем трансформирования левого и правого снимков на плоскость  $SXY$  базисной системы координат по формулам связи координат точек наклонного и горизонтального снимков. Особенностью таких изображений является отсутствие на них поперечных параллаксов, что создает несомненные удобства для ее наблюдений и измерений и повышает надежность работы коррелятора.

Современные средства построения ЦМР по цифровым изображениям обладают достаточно мощными технологическими средствами ее визуального и статистического контроля. Это могут быть и преобразование сети в 3D-объекты с последующим их вращением и визуальной оценкой, и расчет уклонов с их анализом, и анализ экстремальных высот, и, наконец, оценка точности моделирования по уклонениям высот контрольных точек от аппроксимирующей поверхности.

Построение цифровой модели завершается увязкой локальных моделей TIN по границам локальных областей, общей модели в границах обработки, интерполированием горизонталей с заданным шагом и редактированием их положения по стереомодели, наблюдаемой по эпиполярным изображениям.

Модуль PHOTOMOD DTM предназначен для создания и редактирования (в том числе в стереорежиме) цифровых моделей рельефа (ЦМР).

- построения и визуализации ЦМР исследуемого объекта в виде пространственной сети триангуляции TIN (Triangulated Irregular Network);
- Возможность работы с ЦМР в различных видах (пикеты, структурные линии, TIN, DEM, горизонталы),
- анализа и редактирования модели в режимах моно- и стереоскопического отображения;
- формирования в автоматическом режиме ортофототрансформированных изображений;
- расчета и визуализации горизонталей;
- использования импортируемых векторных объектов (точек и полилиний) в качестве линий разрыва при создании моделей рельефа.

Основным представлением ЦМР в системе PHOTOMOD является нерегулярная триангуляционная сеть TIN, представляющая собой кусочно-линейную интерполяционную модель поверхности.

При необходимости возможно преобразование TIN в регулярную матрицу высот DEM.

TIN строится по набору точечных объектов (пикетов), которые используются в качестве узлов триангуляционной сети, и структурных линий – 3D векторных линий вдоль характерных вытянутых форм рельефа, таких, например, как хребты и тальвеги. По TIN или DEM возможно построение горизонталей, которые являются выходным продуктом, а также могут использоваться для контроля качества TIN и DEM.

Определение типа модели рельефа и ее построение производится при выборе команды **Создать модель** меню **Модель**. Вы можете выбрать четыре способа построения модели:

- **Регулярная;**
- **Адаптивная;**
- **Гладкая;**
- **Оптимизация.**

Независимо от способа построения, модель представляет собой TIN, полученную с помощью вычисления реальных пространственных координат точек изображения, расположенных в узлах (или в некоторой их окрестности) регулярной сетки, заданной в растровом окне. Во всех вариантах, кроме варианта, соответствующего опции **Гладкая**, вычисление пространственных координат всех вершин производится с помощью, полученной в результате абсолютного ориентирования пространственной модели и корреляционного алгоритма. При использовании опции **Гладкая** корреляционный алгоритм и пространственная модель используются только для получения реальных координат небольшого числа “характерных” точек (пикетов), используемых для построения интерполяционной функции.

Координаты точек изображения в узлах регулярной сетки в этом случае вычисляются с помощью полученной интерполяционной функции.

### **Типы моделей.**

**“Регулярная” модель.** Выбор пункта **Регулярная** предусматривает определение искомым трехмерных координат рельефа (объекта) во всех заданных точках координатной сетки. При этом, в точках, где невозможно определение трехмерных координат поверхности в автоматическом режиме, значение третьей координаты определяется интерполированием по соседним точкам с автоматически рассчитанными координатами. Возникающие при этом ошибки могут быть скорректированы впоследствии в режиме редактирования модели. Результатом построения модели является TIN, вычисленная по узлам пространственной координатной сетки. Данный вариант построения модели рекомендуется при работе с сильно неоднородными изображениями, характеризующимися мелкозернистой текстурой или высокой специфичностью.

**“Адаптивная” модель.** Выбор варианта **Адаптивная** рекомендуется использовать при обработке изображений со значительными однородными областями или достаточно гладкими поверхностями. Этот вариант также хорош при решении задач ближней или прикладной фотограмметрии.

Опция **Тип границы** конкретизирует работу алгоритма с граничными вершинами и может принимать следующие два значения:

- **Выпуклая** – этот выбор означает, что программа при обработке граничных узлов стремится сохранить выпуклость TIN;

- **Прямоугольная** – в этом случае программа при обработке граничных узлов стремится сохранить прямоугольную форму области модели. Если программа не может определить пространственные координаты в углах прямоугольной области, она получает их путем интерполяции по соседним граничным вершинам.

Опция **Узлы** определяет, какие точки изображения используются для вычисления пространственных координат вершин TIN. Возможны следующие два значения этой опции:

- **Фиксированные** – означает, что программа использует для определения пространственных координат только узлы сетки. Если вычисление пространственных координат в каком-либо узле невозможно, узел пропускается;

- **Подвижные** – означает, что программа использует для определения пространственных координат наиболее характерную точку изображения в окрестности каждого узла размером  $1/3$  от шага сетки.

Пространственная триангуляция поверхности осуществляется только по точкам с рассчитанными координатами согласно модифицированному алгоритму Делоне.

**“Гладкая” модель.** Вариант **Гладкая** предусматривает построение интерполяционной поверхности по набору точек (пикетов), заданных на растровом изображении. Этот вариант удобен для работы с относительно гладкими поверхностями, которые могут быть описаны сравнительно небольшим числом “характерных” точек.

Для построения “гладкой” модели необходимо задать в растровом окне набор пикетов (не более 1000), по которым будет производиться интерполяция. Пикеты могут задаваться на всем изображении как в моно-, так и в стереорежиме;

**Оптимизация модели.** Вариант **Оптимизация** рекомендуется использовать в качестве дополнительного при внесении значительных изменений в модель при ручном ее редактировании. В случае выбора этого пункта программа проведет дополнительную оптимальную пространственную триангуляцию по пространственным точкам, предварительно рассчитанным или определенным в ручном режиме.

### **Вопрос 11.9. Принцип цифрового трансформирования**

**Фотоплан** представляет собой одномасштабное фотографическое изображение местности, изготовленное в избранной единой системе координат и с точностью, предъявляемой к топографическим планам (картам). При его изготовлении влияние угла наклона снимков  $\delta_\alpha$  устранено полностью, а влияние рельефа местности уменьшено до допустимых пределов: величины остаточного искажения  $\delta_h$  не превышают 0,4 мм.

**Ортофотоплан** отличается от фотоплана только способом его формирования. Если он является результатом дифференциального трансформирования, то форма представления ортофотоплана – аналоговая; в случае применения современных компьютерных технологий ортоизображение может быть представлено как в аналоговом, так и цифровом виде. Точностные характеристики ортофотоплана – те же, что и фотоплана: ортофотопланы полностью свободны от перспективных искажений  $\delta_\alpha$ , а остаточное влияние рельефа местности  $\delta_h$  не превышает 0,3 мм в масштабе плана.

Современные технологии изготовления цифровых ортофотопланов предполагают возможность получения их с заданным размером элемента геометрического разрешения. Если целью цифрового ортотрансформирования является получение результатов в аналоговом виде, то установленный нормативными документами размер элемента геометрического разрешения составляет 70 мкм, что допускает не более чем 2-кратное увеличение.

Применяемый в фотограмметрии принцип учета влияния рельефа местности при изготовлении плана (фотоплана) местности остается неизблемым уже около 100 лет, и заключается в делении изображения на отдельные участки, называемые зонами трансформирования, в соответствии

с их положением по высоте, и последующим установлении для каждой такой зоны своего индивидуального масштаба проектирования. Причем колебание рельефа в пределах такой зоны не может превышать расчетного при заданных масштабе  $M$  создаваемого плана, фокусном расстоянии съемочной камеры  $f$ , допустимом искажении точек под влиянием рельефа  $\delta_h=0,3$  мм на плане и расстоянии от центра снимка до угла рабочей площади  $r_{\text{сн}}$ :

$$Q = 2h = \frac{2\delta_h f M}{1000 r_{\text{сн}}}. \quad (11.8)$$

До 1970-х гг. понятие «зона трансформирования» отождествлялось с фрагментами изображения, которым соответствовали участки местности между расчетными горизонталями. Преобразование таких зон выполнялось фотомеханическим способом с помощью фототрансформаторов. Для изменения масштаба проектирования зон использовалась информация о рельефе местности, представленная в виде горизонталей.

С 1973 г., с серийным выпуском ортофотопроекторов, зону трансформирования стали отождествлять со щелью, через которую проектируются фрагменты изображения снимка в масштабе, согласованном с профилем местности. Такое трансформирование, называемое дифференциальным (ортогональным), требовало наличия косвенной информации о рельефе местности – ориентированной в плане и по высоте модели местности, стереоскопическое наблюдение которой обеспечивало возможность изменения высоты щели.

С середины 1980-х гг., с появлением и массовым внедрением цифровых фотограмметрических систем (ЦФС), зону трансформирования стали отождествлять с фрагментом изображения, трансформируемым как единое целое – с пикселом или группой пикселов. Размер такого фрагмента устанавливается так же, как и ширина щели при дифференциальном трансформировании. Такое преобразование изображения, называемое ортотрансформированием, подразумевает наличие цифровой модели рельефа, как правило, на регулярной сетке.

Сущность ортотрансформирования заключается в следующем.

На рис. 11.11 изображены точки местности  $A$  и  $B$ , профиль цифровой модели рельефа по линии  $AB$ , снимок  $P$  и изображения  $a, b$  точек местности  $A$  и  $B$  соответствующие центрам фрагментов исходного изображения. Пусть также известны элементы внешнего ориентирования снимка в той же системе координат, что и ЦМР.



$$K_u = Mf / (Z_S - Z_A), \quad (11.10)$$

Где  $Z_S$ – абсолютная высота фотографирования (элемент внешнего ориентирования снимка);

$M$ – знаменатель масштаба ортоизображения.

По координатам  $X_A, Y_A$  трансформируемый фрагмент переносится на растровую сетку (рис. 11.12), предназначенную для формирования ортоизображения в границах обрабатываемого участка, и разворачивается на угол  $\chi$ . При этом влияние угла наклона снимка преобразует квадратный фрагмент в трапецию, что легко прогнозировать на основе анализа перспективы сетки квадратов.

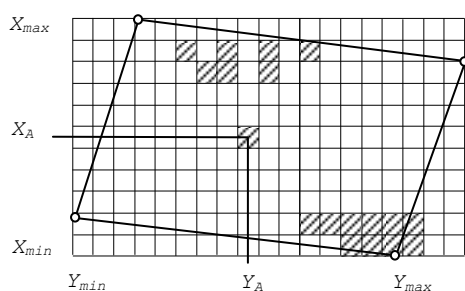


Рис. 11.12. Фрагменты по координатам их центров переносятся на растр заданного

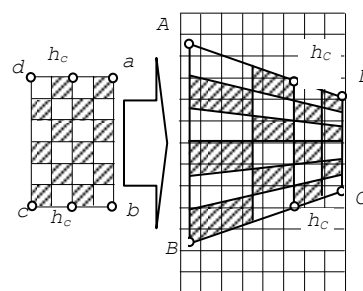


Рис. 11.13. Преобразование рабочей площади снимка при ортотрансформировании

Наиболее известными алгоритмами при получении трансформированного изображения являются:

1. Метод ближайшего соседа, при котором значение пиксела трансформированного растра приравнивается значению ближайшего пиксела исходного растра;

2. Метод билинейной интерполяции-значение пиксела растра вычисляется с помощью билинейной функции как взвешенное от четырех ближайших к нему пикселов исходного снимка.

3. Метод кубической свертки- значение пиксела растра вычисляется с помощью полиноматретьего порядка как взвешенное среднее от четырех ближайших к нему пикселов исходного растра.

Таким образом, ортоизображение формируется в результате несложных вычислений с использованием зависимостей (11.9) и последующих геометрических и фотометрических преобразований исходного растра, в том числе и определение оптической плотности отдельных пикселов, на которые «не попадают» элементы исходного изображения. Фотометрические преобразования существенно упрощаются, если фрагмент исходного изображения соответствует одному пикселу. При этом возрастает объем вычислений по определению координат и высот центра каждого пиксела.

Как и при фототрансформировании, из каждого снимка преобразуется в ортоизображение только его центральная часть – рабочая площадь, ограниченная средними линиями продольного и поперечного перекрытий. Границы этой площади в принципе могут быть установлены автоматически, однако в этом случае «порезы» могут пройти через постройки, по осевым линиям дорог и т. п., что нежелательно.

### Вопрос 11.10 Построение ортофотоизображения в ЦФС «Photomod»

На основе изложенного можно наметить такую последовательность выполнения технологических операций по изготовлению ортофотоплана.

1. Построение и уравнивание фотограмметрической сети.
2. Определение элементов внешнего ориентирования снимков фотограмметрической сети на основе формул.
3. Построение цифровой модели рельефа TIN в границах локальных и глобальных зон и объединение их в единую модель в границах ортотрансформирования.
4. Преобразование нерегулярной модели рельефа TIN в регулярную модель DEM.
5. Разметка на снимках границ формируемых по ним ортоизображений, соответствующих рабочим площадям этих снимков.
6. Определение размера одновременно трансформируемого фрагмента цифрового изображения исходя из фактических углов наклона реальных снимков и уклона местности (аналогично расчету ширины щели при ортотрансформировании).

Размер фрагмента изображения местности с уклоном  $v$  при заданном перспективном искажении  $\delta_{\text{орто}}$ :

$$l \leq \frac{2f\delta_{\text{орто}}}{\text{rtgv}} . \quad (9.5)$$

7. Выделение на исходном изображении фрагмента расчетного размера  $n \times n$  пикселей, определение его геометрического центра.
8. Определение пространственных координат  $X, Y, Z$  центров фрагментов (каждого пикселя) с учетом цифровой модели рельефа DEM и формирование из них ортоизображения с заданным геометрическим разрешением на всю территорию.
9. Фотометрическая коррекция сформированного ортоизображения по границам снимков.
10. Нарезка ортоизображений по планшетам заданного масштаба по координатам их углов и зарамочное оформление.

Все операции, за исключением размещения точек, определения границ локальных и глобальных зон моделирования, выполняются в автоматическом режиме, по заданным параметрам обработки.

Модуль PHOTOMOD Mosaic предназначен для построения непрерывных ортофотопланов из отдельных растровых изображений. В

процессе построения корректируются геометрические и фотометрические искажения. Результат ортотрансформирования в виде единого кадра или набора листов представляется в заданной картографической проекции.

В качестве модели рельефа могут быть использованы:

- Постоянная высота (значение задается пользователем).
- Точки сгущения сети фототриангуляции (может быть построена как гладкая поверхность, так и TIN).
- Множество XYZ-точек в текстовом формате.
- Регулярная матрица высот в одном из следующих форматов: Surfer ASCII grid, ArcInfo ASCII grid, GeoTIFF DEM, USGS DEM, VectOr MTW, BCGIS DEM

Для повышения точности ортотрансформирования в существующую модель рельефа могут быть встроены вектора, описывающие рельеф местности и возвышающиеся объекты (мосты, здания). При этом могут быть использованы пикеты, структурные линии и вектора, созданные (импортированные) в PHOTOMOD DTM и PHOTOMOD StereoDraw.

Параметры создаваемого ортофотоплана:

- Размер элемента (пиксела).
- Масштаб создаваемой карты. При этом в заголовок файла записывается требуемое разрешение для вывода на печатающее устройство.
- Коэффициент сжатия результирующего растра с целью снижения объема занятой дисковой памяти (доступно только для форматов TIFF, GeoTIFF, JPEG).
- Произвольный цвет фона (рекомендуется для просмотра в электронном виде использовать черный, а для вывода на печатающее устройство – белый)

Для устранения различий между исходными снимками и получения визуально непрерывного растра предусмотрена возможность как глобального, так и локального выравнивания яркостных и цветовых характеристик. В первом случае производится преобразование снимка в целом, а во втором цвет и яркость выравниваются внутри каждого снимка. Кроме того, для окончательного устранения различий может быть использовано локальное сглаживание вдоль линий совмещения отдельных снимков. Процесс выравнивания яркости является полностью автоматическим и лишь в отдельных случаях требует дополнительной настройки параметров.

Окончательно ортофотоплан представляется в виде единого растра либо в виде набора листов. При разбивке на листы может быть задан как регулярный блок листов с заданными параметрами (размеры, количество, величина взаимного перекрытия), так и каждый лист в отдельности. Во втором случае форма листов задается произвольным замкнутым многоугольником, т. е. может отличаться от прямоугольной.

По умолчанию в качестве областей трансформирования задаются центральные части снимков с регулируемым отступом от краев.

Пользователь может редактировать области на каждом снимке и задавать порядок их нанесения на результирующий ортофотоплан.

В связи с тем, что области трансформирования жестко привязываются к исходным растрам, то их построение можно вести до того, как получена окончательная модель рельефа.

Для отображения и экспорта, области трансформирования могут быть преобразованы в множество непересекающихся порезов, определяющих, с какого исходного снимка взята та или иная часть ортофотоплана. Это значительно облегчает последующий визуальный контроль качества совмещения.

На любой стадии пользователь может сохранить результаты работы в виде проекта мозаики, а затем продолжить работу с того же самого места при последующем запуске.

Для численной оценки качества геометрического совмещения используется пересчет точек триангуляции, измеренных на отдельных снимках, в геодезическую систему координат и сравнение результата с известными координатами на местности. Затем на основе множества расхождений строится статистика и выдается отчет.

На построенный ортофотоплан могут быть наложены векторные объекты с целью контроля геометрической точности. Для количественной оценки расхождения существует инструмент, позволяющий измерять расстояния в окне ортофотоплана.

### ***Особенности фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования***

Цифровые снимки, полученные с помощью съемочных систем, поступают в центры приема информации, где и проходят первичную обработку, содержание которой зависит от типа съемочной системы, качества данных.

Требований к составу и содержанию предварительной обработки материалов дистанционного зондирования пока не стандартизированы, и каждая фирма, владеющая данными, устанавливает исходя из специфики получения изображений и своих собственных представлений об уровнях ее обработки.

Предварительная обработка данных дистанционного зондирования заключается в том, чтобы освободить пользователя от необходимости учета тонкостей конструкции съемочной системы, исправления дефектов изображения, возникающих из-за ее локальных отказов или неисправностей.

В содержании предварительной обработки выделено геометрическая и радиометрическая коррекции.

Геометрическая коррекция изображения выполняется с целью преобразования его к виду, позволяющему выполнять измерительные действия и последующую фотограмметрическую обработку. К числу таких операций относятся:

- формирование участка местности из отдельных строк или матриц панорамы с учетом их перекрытия;

- восстановление отдельных пикселей изображения при случайном «выпадении» отдельным детекторов;
- восстановление по какой-либо причине пропущенных строк изображения;

- преобразование изображения с целью устранения ошибок, вызванных перемещением носителя в процессе формирования строки, изменения углового положения сенсора.

Формирование участка местности выполняется с учетом конструктивных особенностей съемочной аппаратуры, зачастую формирующей перекрывающиеся на заданную величину изображения.

Восстановление отдельных пикселей или целых строк изображения выполняется при их утрате при съемке или передаче изображения и сводится к присвоению пропущенным пикселям яркостей либо соседних пикселей, либо каким –либо образом вычисленных с учетом яркостей окружающих пекселей.

Преобразование изображения с целью устранения космических снимков выполняется с целью придания изображенным на нем объектам местности правильной формы, искаженной в следствии перемещения спутника во время экспонирования строки, вращения Земли, ее сферичности.

Радиометрическая коррекция изображения выполняется с целью улучшения их изобразительных свойств и в общем случае включает изменение яркостей пикселей с целью:

- учета параметров калибровки радиометра  $K_\lambda$  и  $C_\lambda$ ;
- устранения оптических последствий влияния атмосферы и воздушной дымки;
- исправления последствий сбоев, неисправленностей или неправильной калибровки детекторов.

Устранение влияния атмосферы выполняется на основе априорных данных о ее состоянии на момент получения изображений. Применяемые для этой цели модели атмосферы требуют данных о высоте объекта наблюдения, давлении, температуре, наличии водяных паров, озона, аэрозолей и другое.

Исправления последствий сбоев проявляются в виде «выпадения» в цифровой записи отдельных строк или полосчатости изображения.

Центры приема данных дистанционного зондирования представляют пользователям различные виды продукции, различающиеся ее уровнями и включающими как результаты той или иной коррекции изображений.