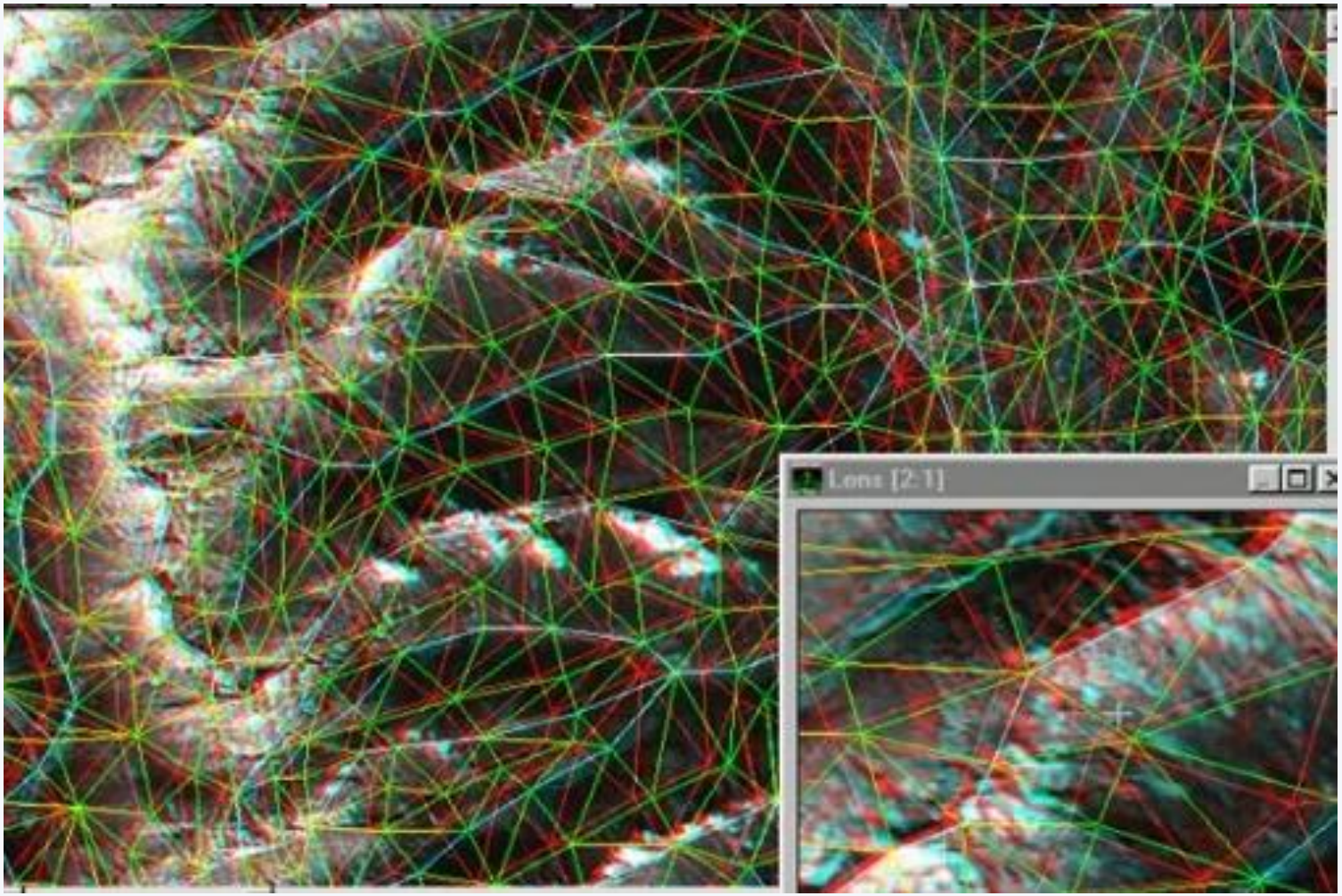
Л9. Сущность и классификация пространственной фототриангуляции



Сущность и классификация пространственной фототриангуляции

Фототриангуляция это камеральное сгущение сети опознаков, полученных в процессе полевых работ.

Сущность фототриангуляции в построении по снимкам модели, ее ориентировании и определении координат точек сгущения. Если определяют только плановые координаты точек, то фототриангуляцию называют плоскостной, а если все три координаты – пространственной.

Пространственная фототриангуляция позволяет определить по снимкам плановое положение и высоты опорных точек, необходимых для составления топографических карт, планов, фотопланов и других документов о местности.

Основная цель пространственной фототриангуляции — максимально сократить трудоемкие полевые геодезические работы, заменив их камеральными. Пространственная фототриангуляция применяется и для решения нетопографических задач, например для изучения траектории, скорости и других параметров, характеризующих поведение самолета и других летящих объектов.

Сущность пространственной фототриангуляции состоит в построении модели местности по снимкам, принадлежащим одному или нескольким маршрутам, и ориентировании ее относительно геодезической системы координат.

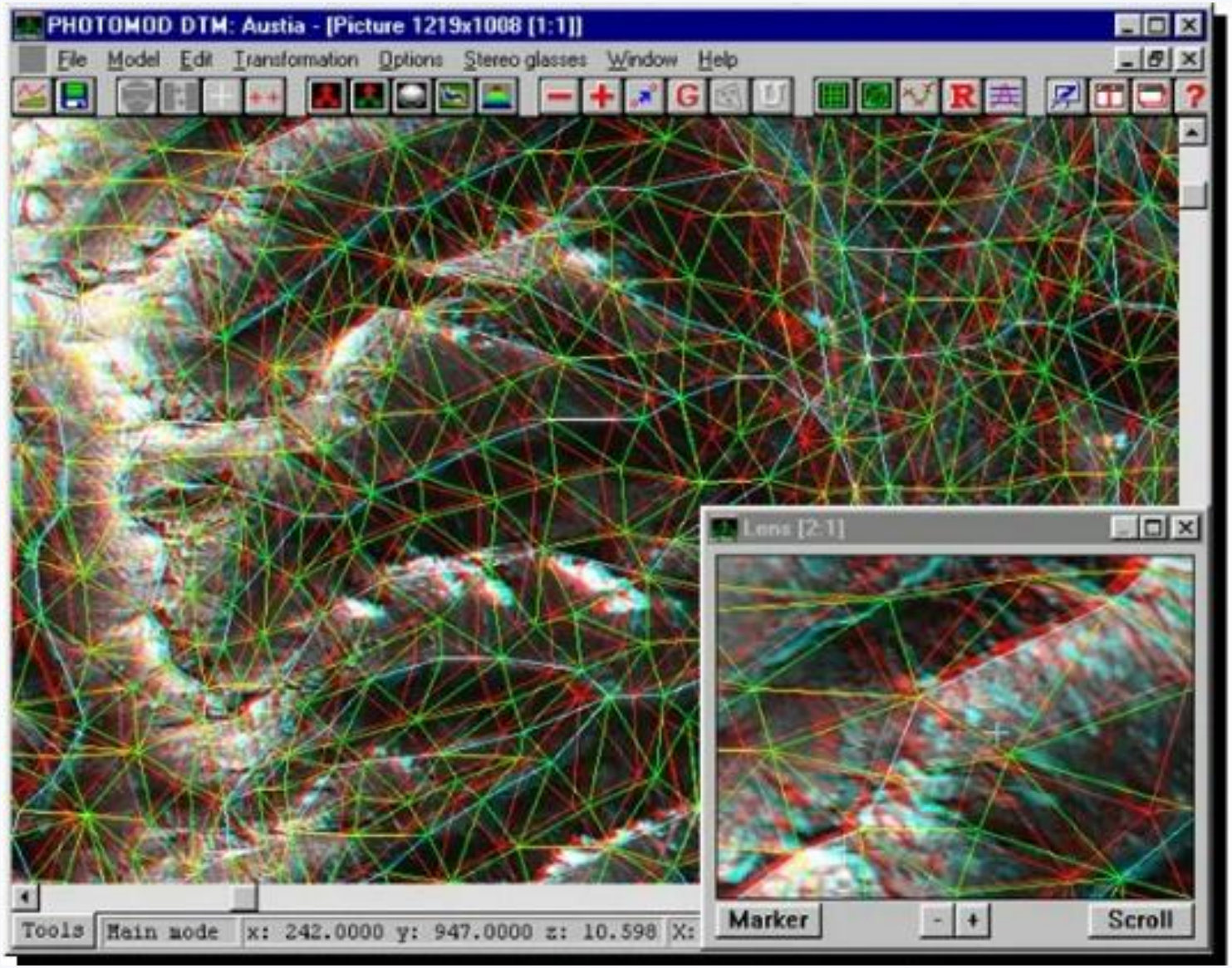
Классификация фототриангуляции



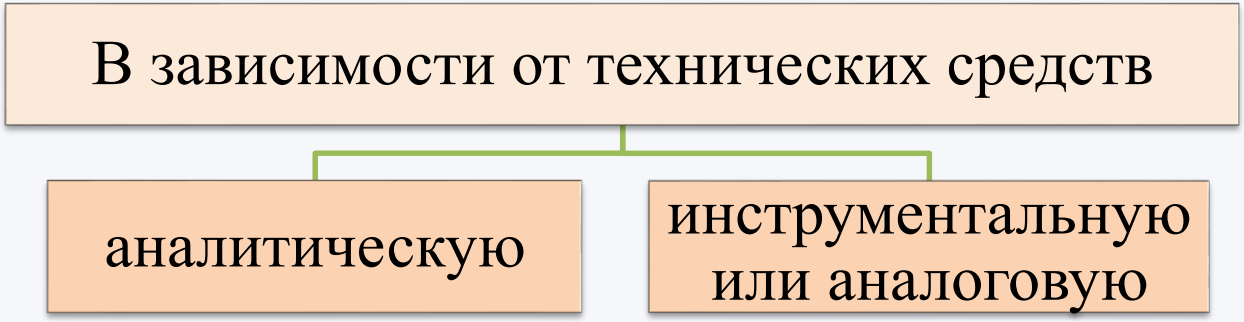
Маршрутная фототриангуляция строится по снимкам, принадлежащим одному маршруту. При этом маршрут должен иметь опорные точки, необходимые для ориентирования модели относительно геодезической системы координат.

Многомаршрутная или блочная фототриангуляция развивается по снимкам, принадлежащим двум маршрутам и более. Для построения ее нет необходимости обеспечивать опорными точками каждый маршрут, достаточно иметь несколько опорных точек на весь блок. Поэтому блочная фототриангуляция позволяет в большей степени сократить полевые геодезические работы, чем маршрутная, что имеет исключительно важное значение, особенно при картографировании труднодоступных и недоступных территорий.

Блочная фототриангуляция



Классификация фототриангуляции



Аналитическая фототриангуляция вычисляется по измеренным координатам точек каждой пары снимков. Современная аналитическая фототриангуляция основана на применении компьтерных программ.

В аналоговой фототриангуляции построение модели осуществляется на универсальных аналоговых стереофотограмметрических приборах. При этом можно строить как отдельные модели, так и общую модель для маршрута. Однако, поскольку эра таких приборов практически завершена, рассматривать аналоговую (и аналого-цифровую) фототриангуляцию смысла нет.

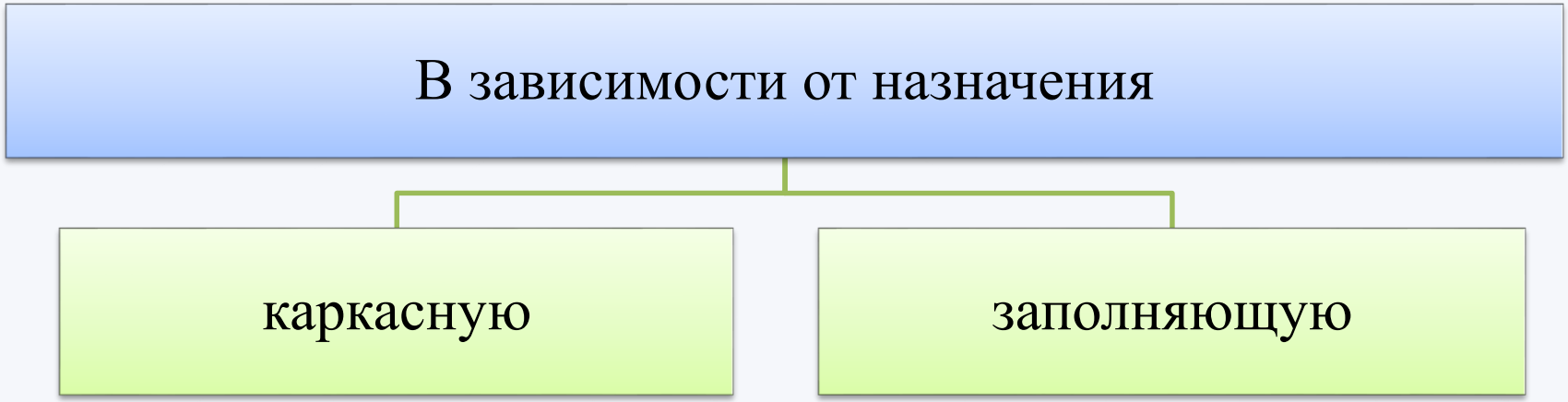
Классификация фототриангуляции

Различают фототриангуляцию

- без использования элементов внешнего ориентирования снимков
- с использованием элементов внешнего ориентирования снимков, зарегистрированных в полете

Использование в фототриангуляции элементов внешнего ориентирования снимков и других дополнительных данных, например разностей высот фотографирования и координат центров проекции, приводит к значительному сокращению полевых геодезических работ.

Классификация фототриангуляции



Каркасная фототриангуляция развивается обычно по маршрутам, проложенным перпендикулярно к направлению заполняющих маршрутов с целью обеспечения опорными точками, необходимыми для фототриангуляции по заполняющим маршрутам.

Заполняющая фототриангуляция обеспечивает опорными точками каждую стереопару для обработки ее при составлении топографической карты.

Преимущества аналитической фототриангуляции

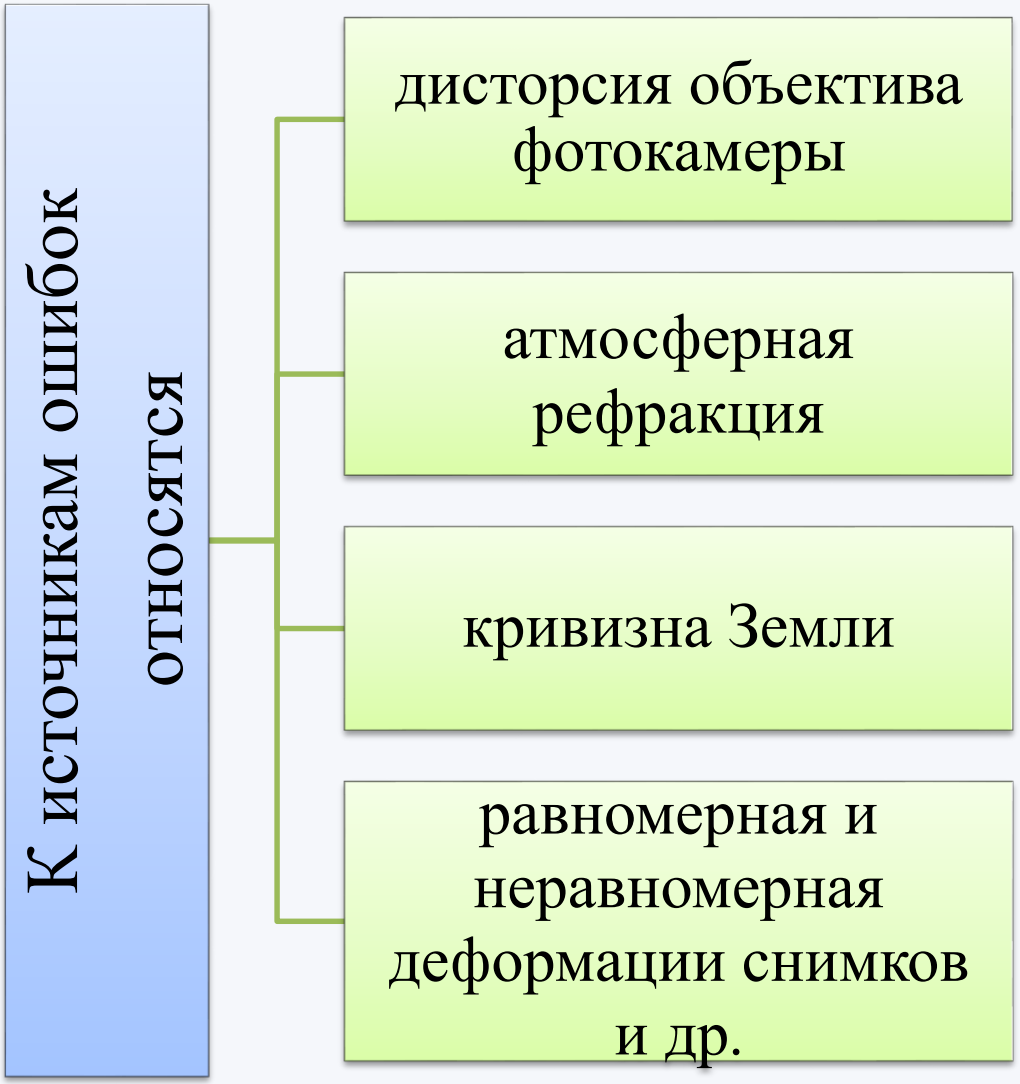
Существенными преимуществами аналитической фототриангуляции перед аналоговой являются:

- более высокая точность, обусловленная использованием прецизионного стереокомпаратора для измерения снимков и строгих методов обработки результатов измерений;

- большая производительность, достигаемая благодаря применению электронных вычислительных машин, автоматизирующих все вычислительные процессы;

- универсальность — не накладываются ограничения на значения элементов ориентирования снимков и формат их.

Аналитическая фототриангуляция позволяет учитывать все систематические ошибки, влияние которых можно выразить в математической форме.



В аналоговой фототриангуляции возможности учета систематических ошибок ограничены.

Например, почти все универсальные стереоприборы не позволяют исключить влияние неравномерной деформации снимков.

Аналитическая фототриангуляция

Следует сказать, что технологий ее выполнения довольно много. Рассмотрим те, что были предложенные в свое время Советскими фотограмметристами и хорошо раскрывают суть дела. Речь идет о способах частично зависимых моделей, независимых моделей и связок.

Сущность способа частично зависимых моделей в том, что вначале строится модель по первой стереопаре.

За начало фотограмметрической системы координат принимается центр проекции левого снимка. Его угловые элементы внешнего ориентирования и базис фотографирования устанавливаются произвольно. Затем строится модель по второй стереопаре. Но за угловые элементы внешнего ориентирования ее левого снимка принимаются величины, которые характеризуют его положение относительно фотограмметрической системы координат используемой для построения первой модели. Так поступают с третьей и всеми последующими моделями. Зависимость в результате состоит в том, что оси фотограмметрических координат всех моделей оказываются взаимно параллельными.

Аналитическая фототриангуляция

Алгоритм решения задачи может быть сконструирован следующим образом. Предположим, что построение любой модели в маршруте осуществляется поворотом, как левого, так и правого снимков. Тогда при решении задачи задействованы следующие величины:

- ✓ угловые элементы внешнего ориентирования левого снимка $\alpha_л$ $\omega_л$ $\kappa_{л,,}$ они известны;
- ✓ элементы взаимного ориентирования $\alpha_л'$ и $\kappa_л'$, характеризующие поворот левого снимка при построении модели, но с другой стороны, тоже являющиеся угловыми элементами внешнего ориентирования левого снимка, но относительно базисной системы координат. Они вычисляются в процессе взаимного ориентирования.
- ✓ элементы взаимного ориентирования $\alpha_п'$ $\omega'_п$ и $\kappa_п'$ характеризующие поворот правого снимка, но являющиеся и его угловыми элементами внешнего ориентирования в базисной системе координат;
- ✓ элементы внешнего ориентирования правого снимка $\alpha_п$ $\omega_п$ и $\kappa_{п.}$ относительно той же системы фотограмметрических координат, что и $\alpha_л$ $\omega_л$ $\kappa_л$. Их и нужно вычислить, для построения следующей модели.

Аналитическая фототриангуляция

Обозначим матрицы направляющих косинусов, соответствующие указанным выше системам угловых элементов внешнего ориентирования через $A_л$, $A_Л$, $A_П$ и A_n. Таким образом матрица A_n – искомая. Очевидно, что каждой системе угловых элементов внешнего ориентирования отвечает система уравнений связывающих фотокоординаты точек на снимке с их пространственными координатами. Эти уравнения известны. Они имеют вид:

$$\begin{pmatrix} x_л \\ y_л \\ -f \end{pmatrix} = A_л^T \begin{pmatrix} X'_Л \\ Y'_Л \\ Z'_Л \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_л \\ y_л \\ -f \end{pmatrix} = A_{Л'}^T \begin{pmatrix} X''_Л \\ Y''_Л \\ Z''_Л \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ -f \end{pmatrix} = A_n^T \begin{pmatrix} X'_П \\ Y'_П \\ Z'_П \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ -f \end{pmatrix} = A_Л^T \begin{pmatrix} X''_П \\ Y''_П \\ Z''_П \end{pmatrix}$$

Из этих соотношений сразу же следует, что

$$\begin{pmatrix} X'_Л \\ Y'_Л \\ Z'_Л \end{pmatrix} = A_л A_Л^T \begin{pmatrix} X''_Л \\ Y''_Л \\ Z''_Л \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad \begin{pmatrix} X'_П \\ Y'_П \\ Z'_П \end{pmatrix} = A_n A_П^T \begin{pmatrix} X''_П \\ Y''_П \\ Z''_П \end{pmatrix}$$

Аналитическая фототриангуляция

Координаты пары соответственных точек ($X_Л'\ Y_Л'\ Z_Л'$ и $X_П'\ Y_П'\ Z_П'$), а также ($X_Л''\ Y_Л''\ Z_Л''$ и $X_П''\ Y_П''\ Z_П''$) определяются в разных системах, но их оси параллельны, то есть преобразование происходит из параллельных систем в параллельные, поэтому $A_л A_Л^T = A_n A_П^T$, или $A_n = A_л A_Л^T A_П$

Возможно, формула будет понятнее, если поменять нижние индексы

$$A_{\alpha_П \omega_П \kappa_П} = A_{\alpha_Л \omega_Л \kappa_Л} A^T_{\alpha'_Л \kappa'_Л} A_{\alpha'_П \omega'_П \kappa'_П}$$

Для вычисления нужны, кроме того, углы наклона базиса ν и τ. Поскольку это углы, характеризующие поворот базисной системы координат относительно системы, используемой в дальнейшем для определения координат точек модели (т.е. которой соответствуют угловые элементы $\alpha_л\ \omega_л\ \kappa_{л)}$, можно сразу же написать:

$$A_{\tau\nu} = A_{\alpha_Л \omega_Л \kappa_Л} A^T_{\alpha'_Л \kappa'_Л}$$

Аналитическая фототриангуляция

Используя эти углы и произвольно выбранное значение базиса фотографирования, можно вычислить его составляющие и координаты центра проекции правого снимка (формулы известны).

Итак, алгоритм рассматриваемого способа можно представить следующим образом:

- Измерение стереопары;
- Определение элементов взаимного ориентирования;
- Вычисление углов ν и τ, базисных составляющих и координат центра проекции правого снимка;
- Аналитическое трансформирование снимков стереопары относительно плоскости $X_л' Y_л'$;
- Вычисление координат точек модели. При этом заметим, что $X_0=B_Z$, $Z_0=B_Z$, и после трансформирования снимков $X'=x^o$, $Y'=y^o$, $Z'=-f$, поэтому, скаляр N, используемый при решении прямой пространственной фотограмметрической засечки (при определении приращений координат точек модели) можно вычислять по формуле:

$$N = \frac{B_X + x_n^0 B_Z / f}{x_л^0 - x_n^0}$$

Аналитическая фототриангуляция

Все выше указанное выполняют с каждой стереопарой маршрута. Масштаб последующей модели приводят к масштабу предыдущей с помощью масштабного коэффициента, который определяют по расстояниям от центров проекций $S_П$ предыдущей стереопары и $S_Л$ - последующей до связующих точек (точек выбранных в процессе построения и измерения модели в зоне тройного перекрытия снимков). Обычно используют несколько расстояний, и коэффициент вычисляют, как среднее весовое.

Внешнее ориентирование построенной общей для всего маршрута модели.

В способе независимых моделей модели независимы между собой. Для их построения выбирают базисы произвольной длины, измеряют координаты соответственных точек, включенных в сеть, вычисляют элементы взаимного ориентирования в базисной системе координат и трансформируют снимки относительно плоскости, перпендикулярной к главной базисной плоскости левого снимка. В результате координаты точек модели можно вычислять по формулам нормального случая съемки. Как видим, данный вариант не требует вычисления элементов внешнего ориентирования снимков.

Для построения общей для всего маршрута модели выполняют операцию внешнего ориентирования второй модели по отношению к первой, третьей по отношению к первым двум и т.д. Затем выполняют внешнее ориентирование общей модели.

Преимущества аналитической фототриангуляции

В аналитической фототриангуляции удается уменьшить и **воздействие случайной деформации снимков.** Это достигается использованием в аэрофотоаппарате контрольной сетки, нанесенной с частотой 1—2 см на стеклянной пластинке, к которой прилегает светочувствительный слой фотопленки.

В момент экспозиции контрольная сетка впечатывается в снимок. Координаты перекрестий контрольной сетки известны с высокой точностью. На снимке измеряют приращения координат наблюдаемой точки относительно ближайшего перекрестия, т. е. малые отрезки, практически свободные от влияния случайной деформации.

В отдельных случаях аналоговую фототриангуляцию сочетают с аналитической. На универсальных стереоприборах создают независимые модели, а затем с помощью электронной вычислительной машины соединяют эти модели в общую модель и ориентируют ее внешне.

Составление проекта пространственной фототриангуляции

Начало работы по выполнению пространственной фототриангуляции начинают **с составления проекта**.

1. Составление проекта начинается с подбора материалов необходимых для выполнения работы.

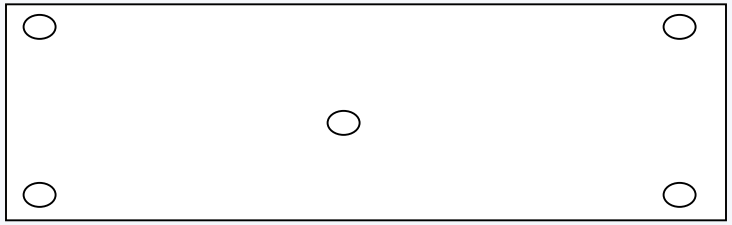
2. Выбирается способ каким будет выполнена фототриангуляция, исходя из имеющихся приборов и материалов.

Исходные материалы

- снимки и негативы, полученные при аэрофотосъемке данной местности
- материалы прошлых лет: старые карты, фотопланы, снимки и тд.

3. Затем на снимки наносят опорные точки, полученные геодезическим путем или фотограмметрическим сгущением, которые имеют плановые и высотные координаты.

Для выполнения пространственной фототриангуляции необходимо иметь не менее пяти опорных точек, которые должны располагаться по две вначале и в конце маршрута, а одна по середине.



Кроме опорных точек намечают места расположения **связующих и контрольных точек.** Связующие и контрольные точки **намечают в зоне перекрытия снимков** так, чтобы они удовлетворяли требованию размещения точек при составлении карты.

На планшете разбивают километровую сетку, куда по координатам наносят опорные точки.

Все точки на снимках и основе оформляют в соответствии с требованиями по оформлению.

Контрольные вопросы

1. Что такое пространственная фототриангуляция?
2. Для чего выполняется пространственная фототриангуляция?
3. Какие приборы используют для фототриангуляции?
4. По какому принципу делится пространственная фототриангуляция?
5. Когда применяется аналитическая фототриангуляция?
6. Для чего составляется проект пространственная фототриангуляция?
7. Какие опорные точки используют при составлении проекта пространственной фототриангуляции?