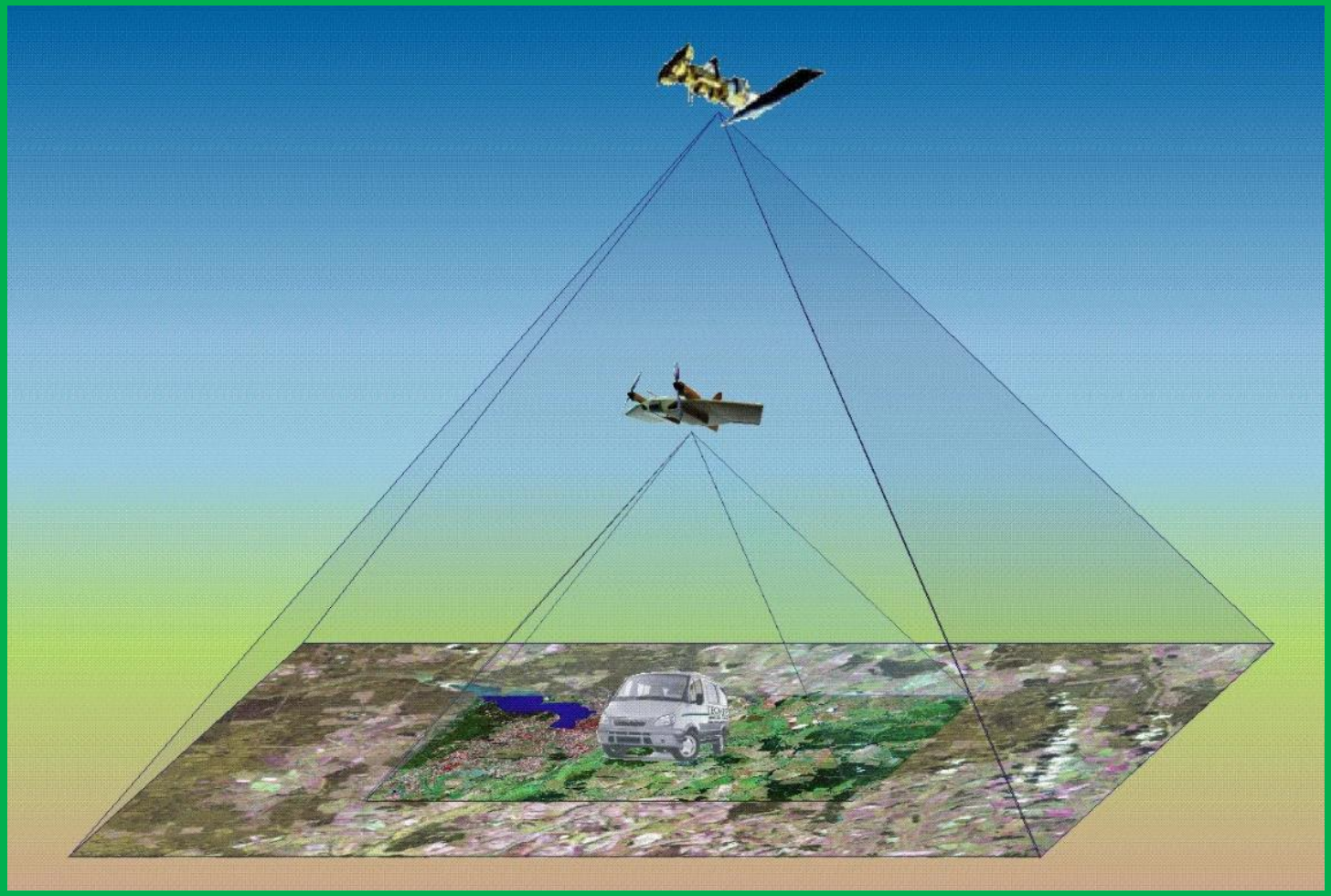
Л2. Геометрические и оптические основы фотограмметрии



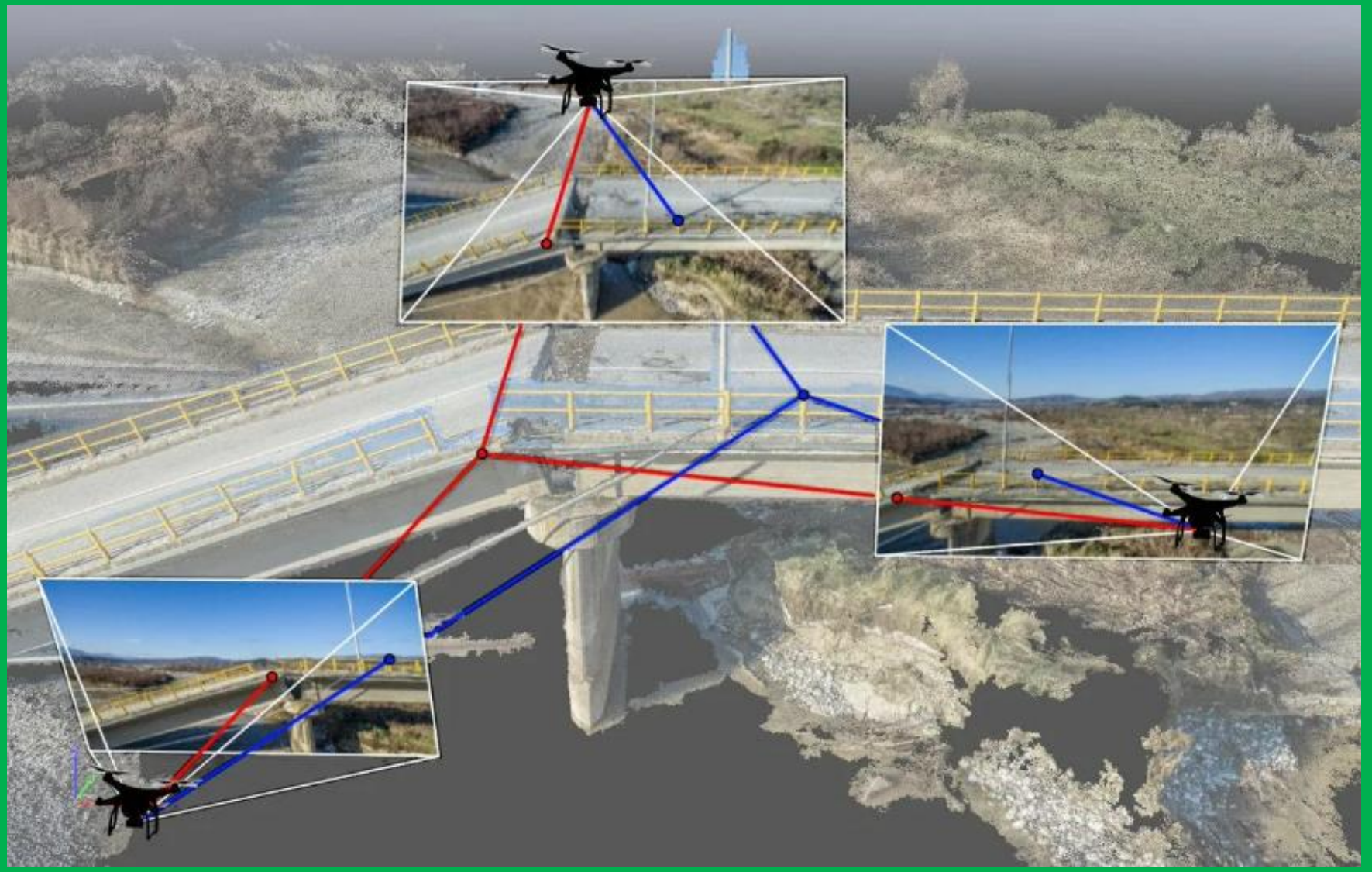
Сферы применения фотограмметрии

- Для изысканий и проектирования различного рода линейных сооружений (автомобильных и железных дорог, трубопроводов, каналов, линий электропередачи).
- В этих случаях составляют изыскательские планы, которые могут иметь меньшую точность и условную систему координат, фотосхему полосы местности и профиль местности, построенный по измерениям снимков;
- В строительстве при определении качества строительства, повышении надежности и долговечности промышленных и гражданских сооружений и т.д.;
- В геологоразведочных работах. Аэро и космические снимки позволяют по данным дешифрирования более рационально подойти к выбору территорий, перспективных для поиска и разведке полезных ископаемых, наметить точки для бурения скважин и определить их координаты;
- В геофизике для получения координат и высот заданных точек местности и определения топографических поправок в измеренные значения силы тяжести;

Аэрофотосъемка открытого карьера



Аэрофотосъемка обрушенного моста



Аэрофотосъемка для архитектурных целей



Сферы применения фотограмметрии

- В архитектуре при производстве обмеров, составлении планов фасадов, изготовлении объемных моделей, съемке и воспроизведении архитектурных памятников, изучении и измерении архитектурных композиций, скульптур и т.д.
- В горном деле для съемки открытых горных разработок с составлением маркшейдерских планов карьеров, бульдозерных полигонов, складов готовой продукции и т.д.;
- В географических исследованиях (изучение ледников, селей, оползней и др.);
- При картировании дна и получении глубин шельфа, изучении морского волнения, определении скорости и направления течения в открытом море;
- В медицине и хирургии для диагностики и лечении заболеваний отдельных органов человека, а также для обнаружения в организме посторонних предметов и опухолей;
- В военном деле и т.д.

Построение изображения в фотокамере

Для фотограмметрической съемки местности или исследуемых объектов применяются оптические системы – фотокамеры. Их называют метрическими камерами, так как по полученным снимкам можно определять координаты точек (существует система прямоугольных координат в плоскости снимка).

Искажение изображения на снимке сведено к минимуму. Обычные любительские фотоаппараты такими свойствами не обладают, так как для них главное - художественное качество полученных изображений.

Фотокамеры, используемые для фотографирования местности с летательного аппарата, называются аэрофотоаппаратами (или АФА) а, для фотографирования ее с точек земной поверхности - фототеодолитами.

Изображение в фотокамере строится на плоскости (пленке или пластинке со светочувствительным слоем, или ПЗС матрице) с помощью объектива, представляющего собой сложную оптическую систему собирательных и рассеивающих линз, центры кривизны сферических поверхностей которых расположены на одной прямой линии, называемой ***главной оптической осью.***

Дисторсия объектива

Дисторсия (от distorsio *лат.* — искривление) — это оптическое искажение пространства. Наиболее характерно дисторсия проявляется при использовании широкоугольных объективов. Бывает дисторсия трех видов: **бочкообразная (выпуклая), подушкообразная (вогнутая) и перспективная.**



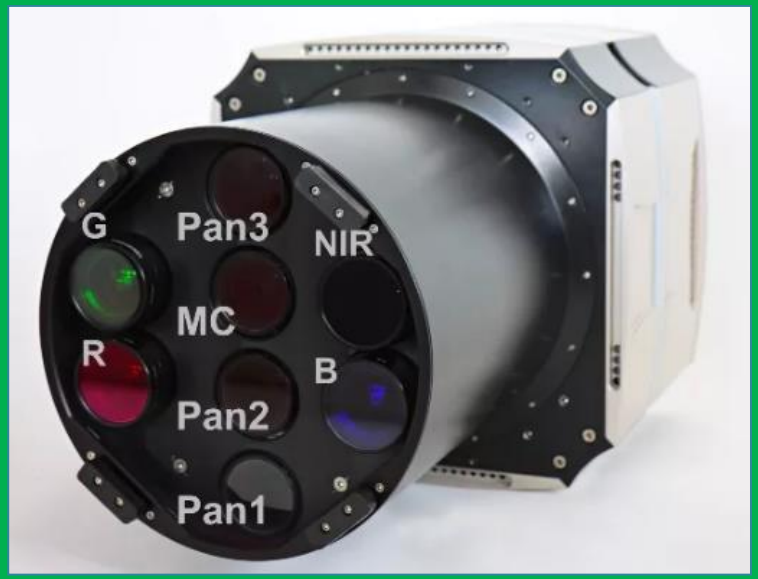
Причина дисторсии— особенности оптической системы фотоаппарата. Лучи света, которые проходят через линзу, по-разному фокусируются на ней. Центральные проходят в одном направлении, крайние — в другом. Образуется отклонение от реальной геометрии. Искривление часто появляется при использовании дешёвой техники или съёмке высоких зданий с низкой точки.



Аэрофотоаппараты



Аэрофотоаппарат АФА-39, 1950-е годы. Металл, стекло, промышленное производство. Красногорский завод им. С.А. Зверева



UitraCam Lp.
Formato 11,704 * 7,920 pixels

Построение изображения в фотокамере

Особенности построения изображения объекта идеальным объективом основаны на следующих законах геометрической оптики:

- ✓ прямолинейности распространения световых лучей в однородной среде;
- ✓ независимости распространения отдельных световых лучей и пучков;
- ✓ обратимости лучей света;
- ✓ отражении и преломлении световых лучей на границе двух сред.

Законы геометрической оптики позволяют сложную оптическую систему идеального объектива заменить упрощенной моделью (линзой), сечение которой плоскостью, проходящей через главную оптическую ось, показано на рис. 1.

Где:

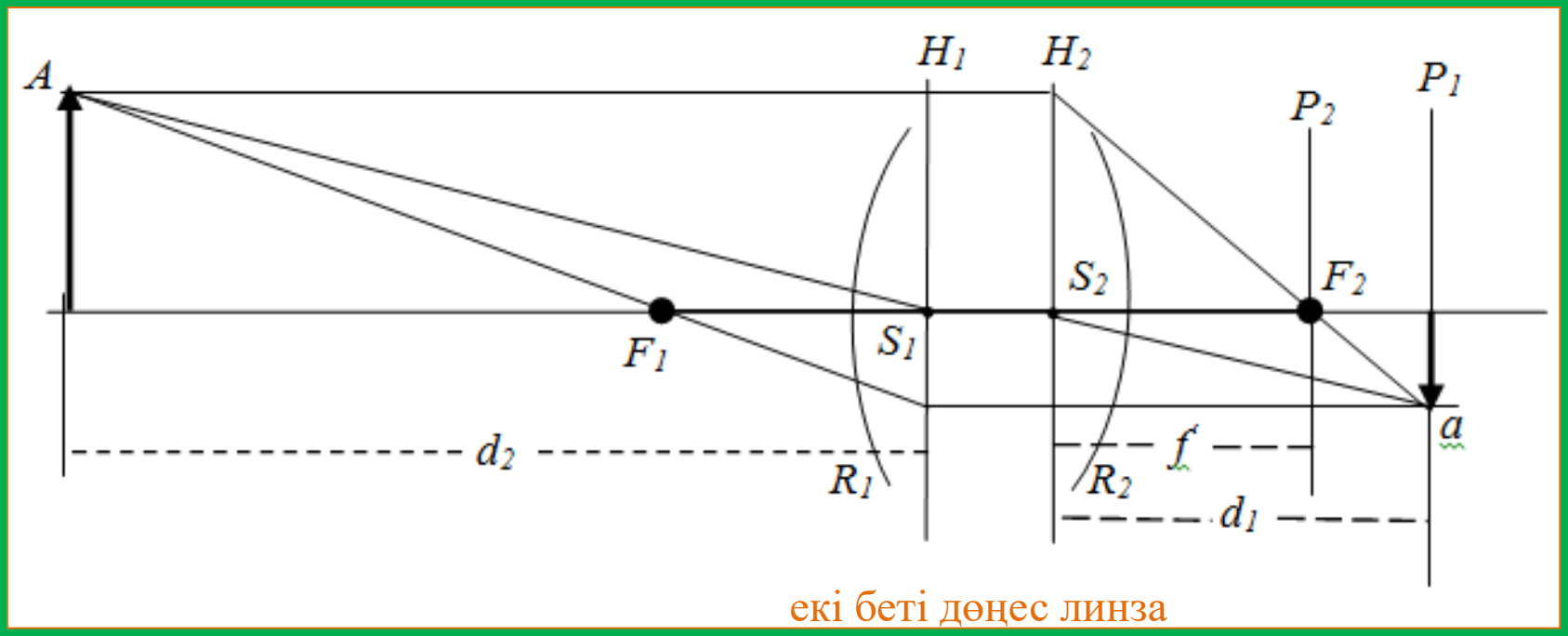
- R_1 и R_2 – передняя и задняя поверхности объектива;
- S_1 и S_2 – его передняя и задняя узловые точки;
- F_1 и F_2 – передний и задний главные фокусы;
- H_1 и H_2 – главные плоскости объектива (они проходят через точки S_1 и S_2 перпендикулярно главной оптической оси).

Идеальный объектив — это *теоретическая (воображаемая) модель объектива*, которая: передаёт изображение абсолютно без искажений и потерь качества.

Построение изображения линзой

Передняя узловая точка S_1 относится к пространству предметов местности и является точкой фотографирования. Задняя узловая точка S_2 относится к пространству изображения и является центром проекции.

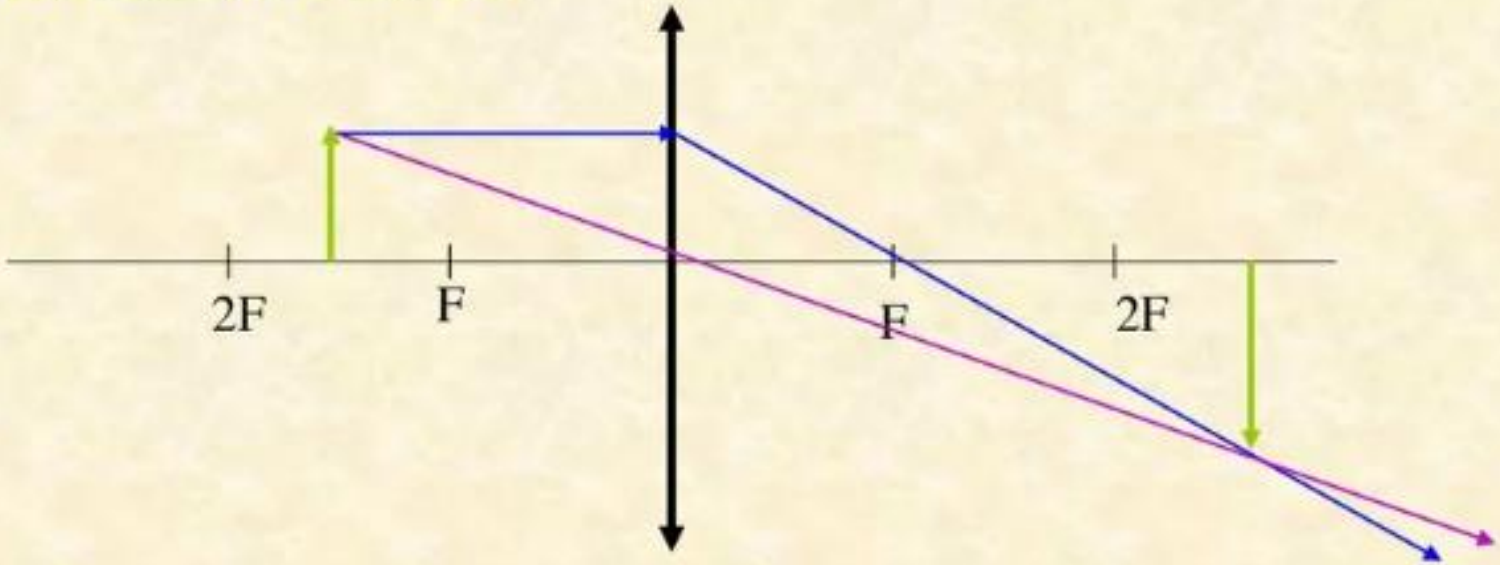
Главным фокусом объектива (линзы) называется точка схода лучей идущих от бесконечно удаленного предмета, параллельно главной оптической оси. Их два. Плоскости, проходящие через главные фокусы перпендикулярно к главной оптической оси, называются фокальными плоскостями.



екі беті дөңес линза

Построение изображения линзой

Чтобы построить изображение светящейся точки нужно из всего многообразия лучей, испускаемых ею, выбрать два, ход которых известен и найти их пересечение после преломления в линзе.



- луч, параллельный оптической оси линзы, пройдя сквозь линзу, пересечет её оптическую ось в фокусе.
- луч, проходящий через центр линзы, не меняет своего направления.

Построение изображения в фотокамере

Изображение любой точки, например, A, фотографируемого объекта местности строится следующим образом.

Луч идущий параллельно главной оптической оси, преломляется на главной задней плоскости H_2 и проходит через задний фокус F_2.

Луч, проходящий через передний фокус F_1, после преломления на передней главной плоскости H_1 пойдет параллельно оптической оси.

В соответствии с законами геометрической оптики центральный луч AS входит в переднюю узловую точку S_1 под углом β к оптической оси и выходит из задней узловой точки S_2 под тем же углом к ней.

В результате таких построений все три луча пересекутся в точке a на плоскости P_1. При этом для точек A и a будет выполняться условие оптического сопряжения

$$\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}=\frac{1}{f'}$$

d_1 – расстояние от плоскости H_2 до плоскости изображения P_1;
d_2 – расстояние от плоскости H_1 до точки фотографируемого объекта;
f' – фокусное расстояние объектива.

Геометрические и физические основы фотограмметрии

При фотографировании в целях картографирования, когда расстояние d_1 значительно меньше расстояния d_2 (то есть можно считать, что d_2 равно бесконечности) $d_1 = f'$, все точки фотографируемого объекта достаточно резко изображаются на плоскости P_2 (главной фокальной плоскости), которая расположена перпендикулярно оптической оси и проходит через главный задний фокус F_2.

По этой причине в АФА и фототеодолитах плоскость изображения P, как правило, располагается вблизи главного фокуса объектива F_2 на расстоянии чуть меньше фокусного.

Плоскость изображения P называют плоскостью снимка, а само изображение – снимком.

Центральные лучи AS_1 и BS_1 принято называть проектирующими лучами, так как они проектируют точки объекта на снимок.

Поскольку расстояние между узловыми точками мало, можно считать, что они совпадают, и рассматривать одну точку S (рис. 2). Называют ее центром проекции.

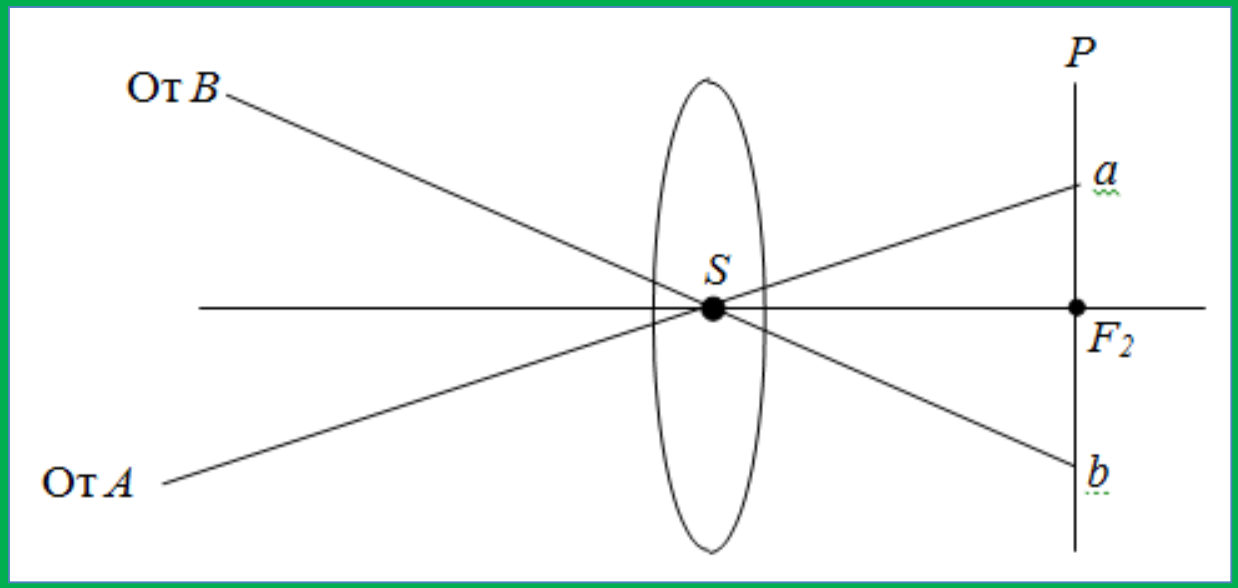
Построение изображения линзой

Таким образом, изображение на снимке строится проектирующими лучами, проходящими через общий центр проекции, поэтому можно считать, что снимок – центральная проекция сфотографированного объекта.

Совокупность центральных проектирующих лучей образует две связки:

- ✓ переднюю (входящие лучи) с вершиной в передней узловой точке объектива;
- ✓ заднюю (выходящие лучи) с вершиной в задней узловой точке объектива.

Так как в идеальном случае каждый выходящий центральный луч параллелен соответствующему входящему лучу, то обе связки можно считать совершенно одинаковыми (конгруэнтными).



ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ

Фотографические объективы характеризуются фокусным расстоянием, относительным отверстием, глубиной резкости, углами поля зрения и изображения, разрешающей способностью и аберрациями.

Относительное отверстие характеризует количество света, которое может проходить через объектив, или способность объектива передавать изображение на фотопленку или фотопластинку с определенной степенью яркости.

Величина относительного отверстия зависит от диаметра d входного зрачка (действующего отверстия) объектива и его фокусного расстояния и находится из выражения

$$\frac{1}{k} = \frac{d}{f'} = \frac{1}{f'/d}$$

Способность объектива давать изображение большей или меньшей яркости называется светосилой. Светосила объектива прямо пропорциональна квадрату диаметра его отверстия и обратно пропорциональна квадрату фокусного расстояния.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ

$$E = d^2 / f'^2 = 1/k^2$$

Величина относительного отверстия объектива устанавливается с помощью диафрагмы. Диафрагма состоит из тонких серповидных металлических лепестков. При вращении специального кольца или рычажка, имеющегося на оправе объектива, лепестки уменьшают или увеличивают входное отверстие объектива.

Указатель установки диафрагмы, нанесенный на кольце или рычажке, передвигается вдоль шкалы диафрагмы.

Деления шкалы градуируются так, чтобы каждое из них требовало увеличения или уменьшения выдержки вдвое по сравнению с предыдущим, например 4, 5.6, 8, 11 и т.д.

Указатель установки диафрагмы, нанесенный на кольце или рычажке, передвигается вдоль шкалы диафрагмы.

Деления шкалы градуируются так, чтобы каждое из них требовало увеличения или уменьшения выдержки вдвое по сравнению с предыдущим, например 4, 5.6, 8, 11 и т.д.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ

Глубиной резкости (глубиной изображения) называется способность объектива передавать одинаково резко изображения предметов, находящихся на различных от него расстояниях.

Глубина резкости тем больше, чем меньше фокусное расстояние, больше расстояние от объектива до снимаемого предмета и чем меньше относительное отверстие.

Угол изображения связан с фокусным расстоянием и диагональю кадра соотношением:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sqrt{l_x^2 + l_y^2}}{f'}$$

где l_x и l_y – размеры сторон снимка, вписываемого в поле изображения.

В зависимости от величины угла изображения различают объективы узкоугольные ($2\beta < 45°$), *нормальноугольные* ($45 – 75°$), *широкоугольные* ($75 – 100°$) и *сверхширокоугольные* (*более* $100°$).

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ

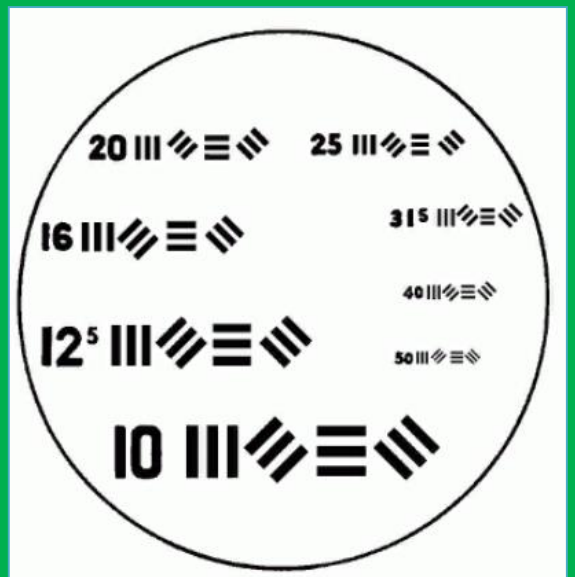
Разрешающая способность объектива характеризует его возможность воспроизводить раздельно в оптическом изображении мелкие объекты.

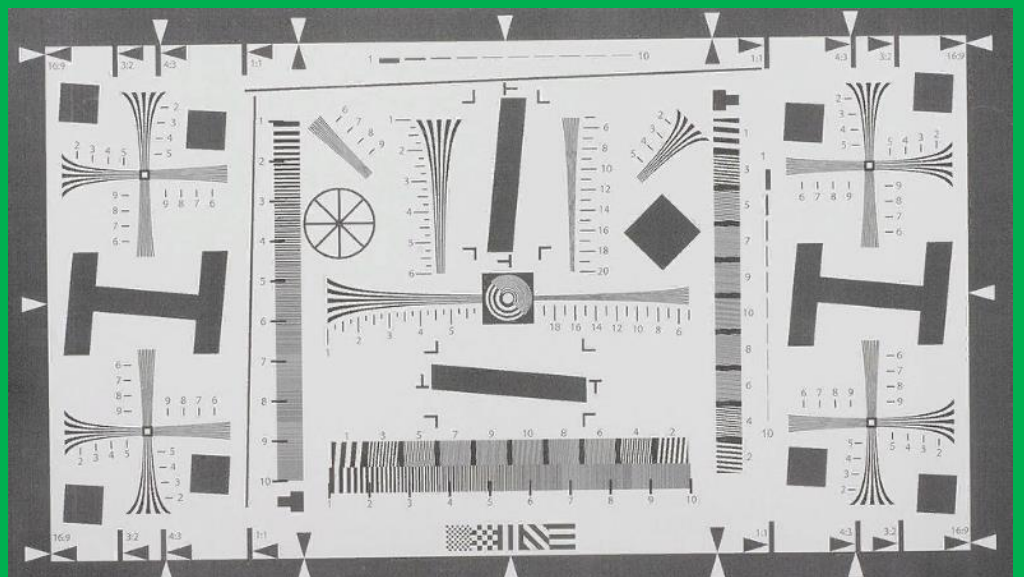
Она выражается самым большим числом линий на 1 мм, раздельно передаваемых объективом, причём ширина линий и промежутки между ними должна быть одинаковы.

В оптике указывается общее число черных и белых штрихов, а в аэрофотографии – число пар штрихов.

Измерения разрешающей способности проводят с помощью специальных мир.

Ми́ра — испытательная пластинка с нанесённым на неё стандартным рисунком в виде полос или секторов.





ПРИНЦИП ПОЛУЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СНИМКОВ

В настоящее время фотографируют цифровыми камерами.

Изображение сформированное посредством объектива, (Рис. 7) попадает не на пленку, а на светочувствительный сенсор (матрицу).

Свет улавливается множеством крошечных элементов сенсора (пикселов), каждый их которых формирует электрический заряд, в соответствии с количеством попавшего на него света, а затем заряд преобразуется в код и запоминается в цифровой форме.

Pixel от англ. picture element - элемент изображения.

В производстве сенсоров применяются две технологии: ПЗС (прибор с зарядовой связью, английский вариант названия - CCD — charge-coupled device) и КМОП (комплиментарный металлоксидный полупроводниковый прибор, английский вариант - CMOS).

Первая технология старше второй, а потому и сенсоры ПЗС лучше.

ПЗС это монолитный чип представляющий собой совокупность мельчайших датчиков-фотоэлементов, тем или иным способом собранных в единую матрицу.

ПРИБОР С ЗАРЯДОВОЙ СИСТЕМОЙ (ПЗС)

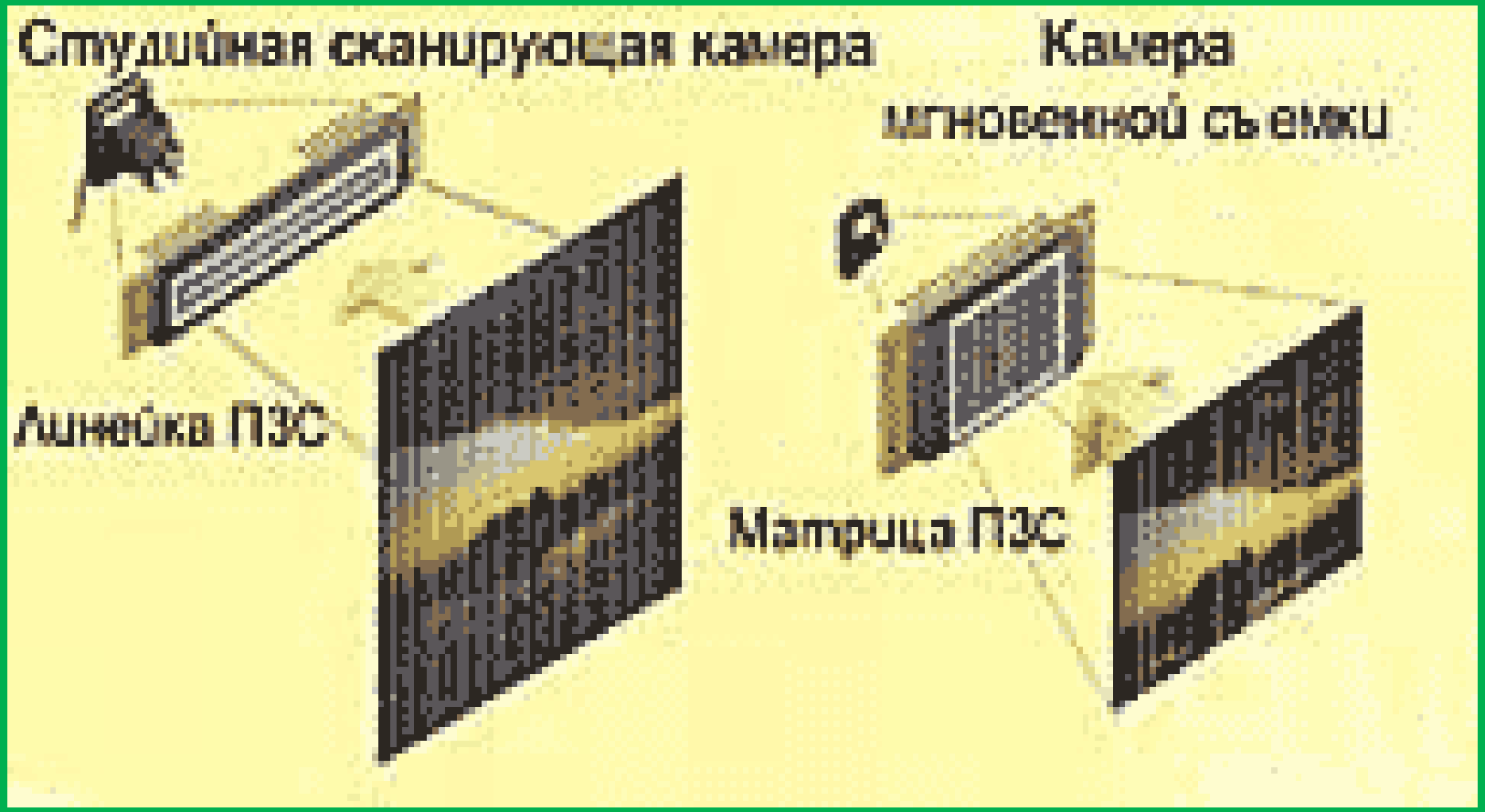


Рис. 7 ПЗС матрица

Появление ПЗС в какой то степени связано с попыткой в начале 60-х годов прошлого века заменить вакуумную передающую трубку твердотельным приемником изображения.

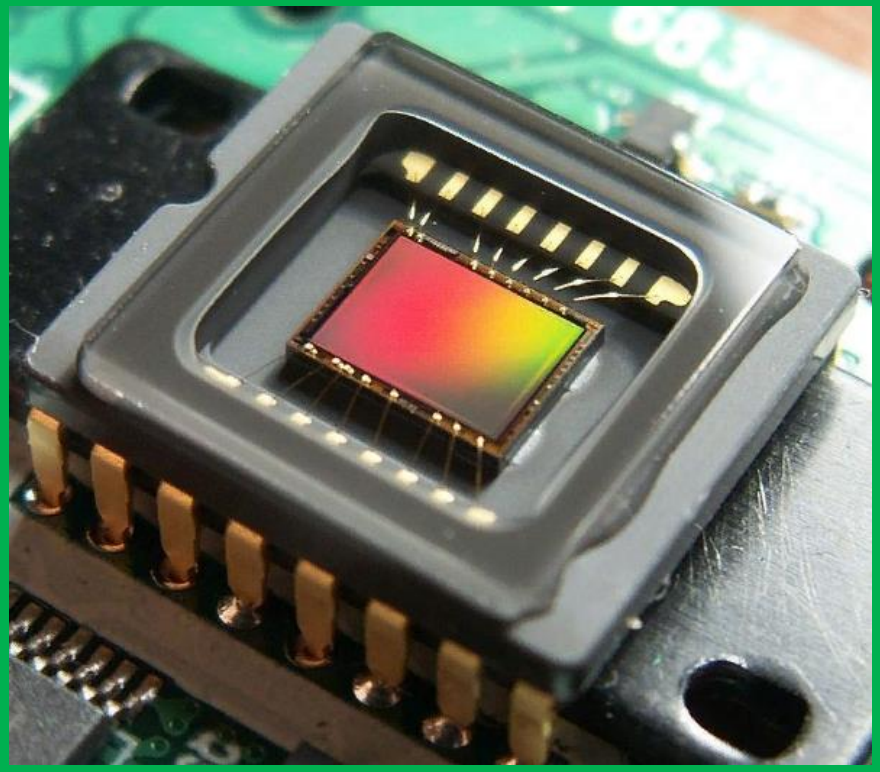
ПРИБОР С ЗАРЯДОВОЙ СИСТЕМОЙ (ПЗС)

Принцип зарядовой связи продемонстрировали экспериментально в 1970 году сотрудники фирмы Bell Laboratories У. Бойл и Дж.Смит, а уже в середине 70-х появились первые коммерческие матрицы производства фирм Fairchild, Bell и RCA в США, а также Phillips в Европе, совместимые с ТВ стандартом (т.е. имеющие разрешение по вертикали 476 и 576 строк – соответственно для американского и европейского стандартов разложения).

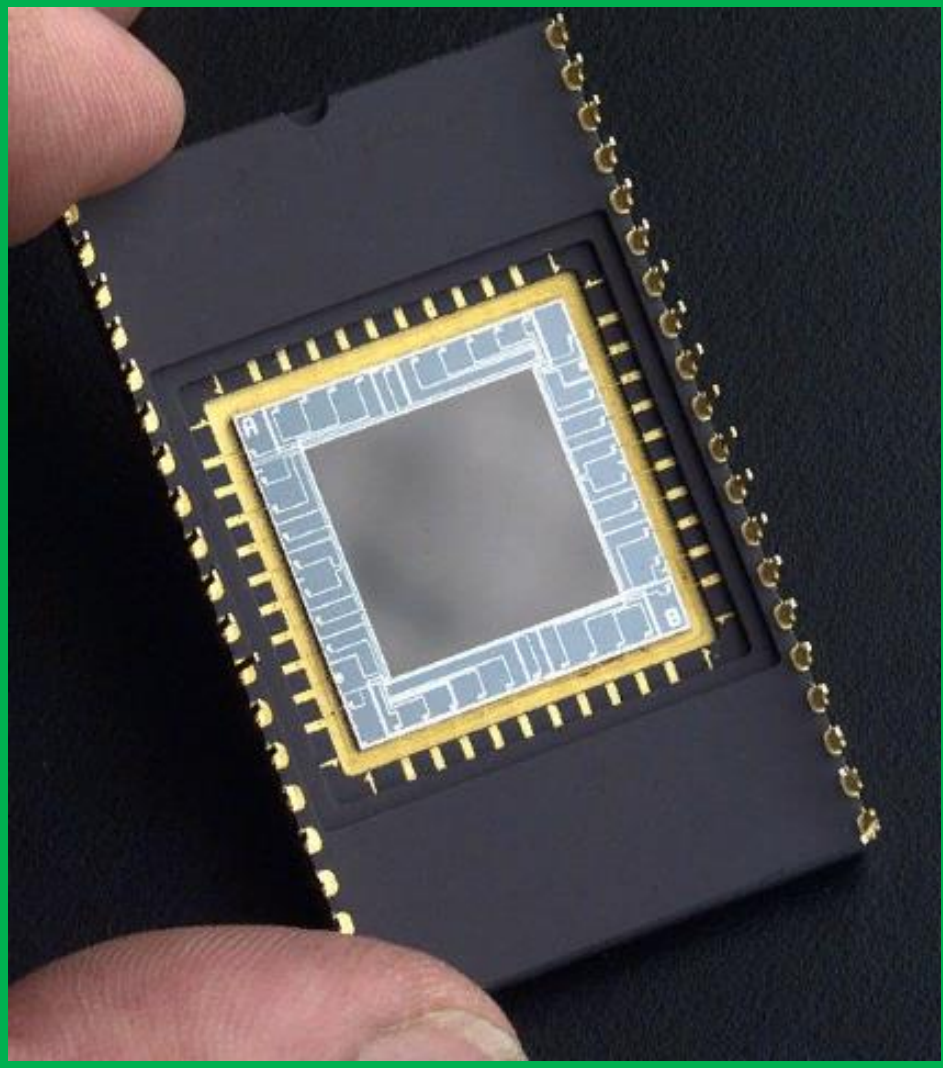
Вскоре в Японии было налажено массовое производство недорогих ПЗС приемлемого качества для бытовой электроники, и на смену кинокамерам пришли видеокамеры.
Революционное воздействие оказали ПЗС на астрономию, где их появление по степени влияния сравнимо разве что с тем, которое оказало применение фотопластинок в качестве средств регистрации вместо человеческого глаза.

Ну и, наконец, микроскопия в медицине и биологии, компьютерное зрение и видеоконференции, системы ориентации космических аппаратов и считыватели штрих-кода, телефакс и сканер…- все это стало возможным и доступны благодаря ПЗС.

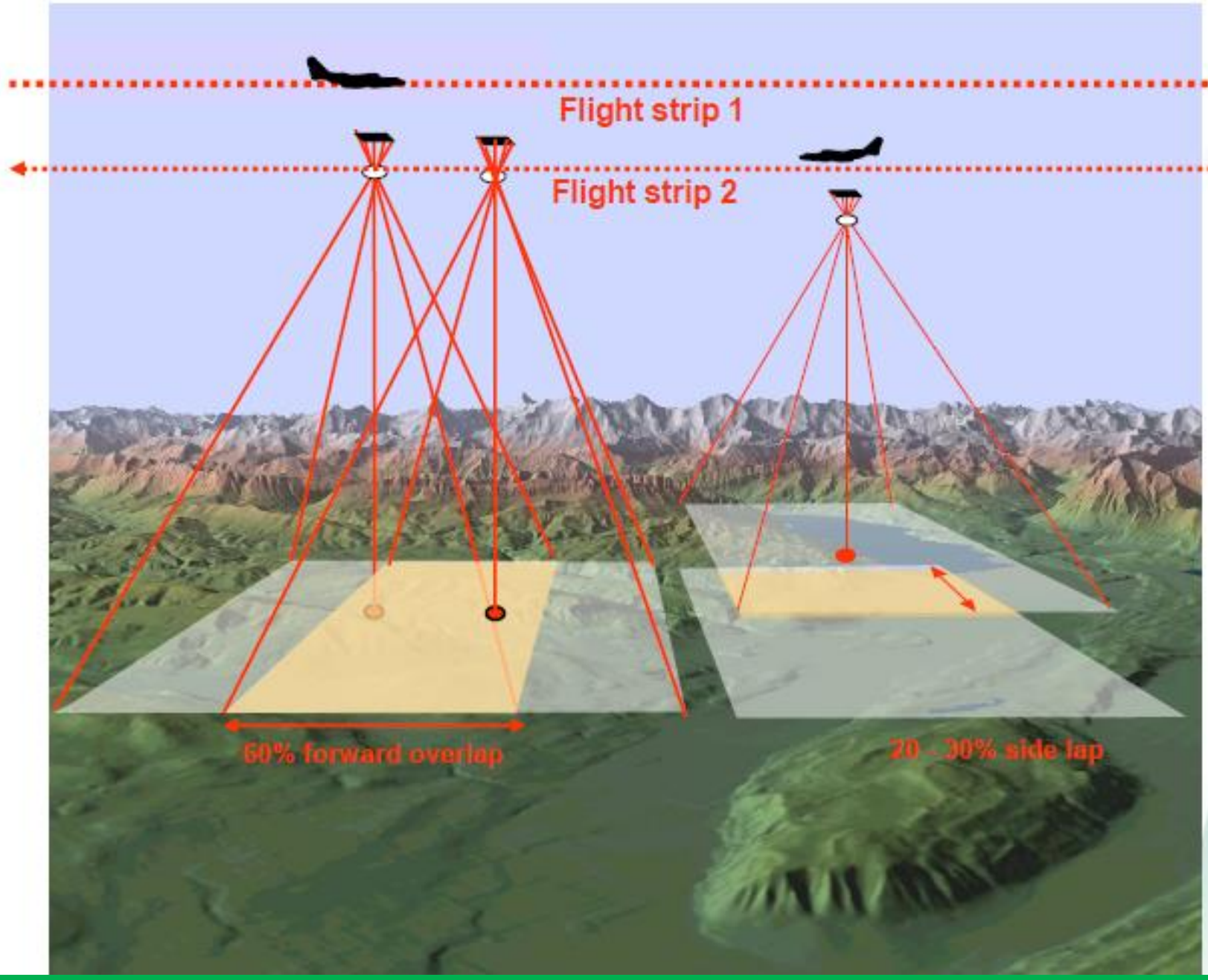
ПРИБОР С ЗАРЯДОВОЙ СИСТЕМОЙ (ПЗС)



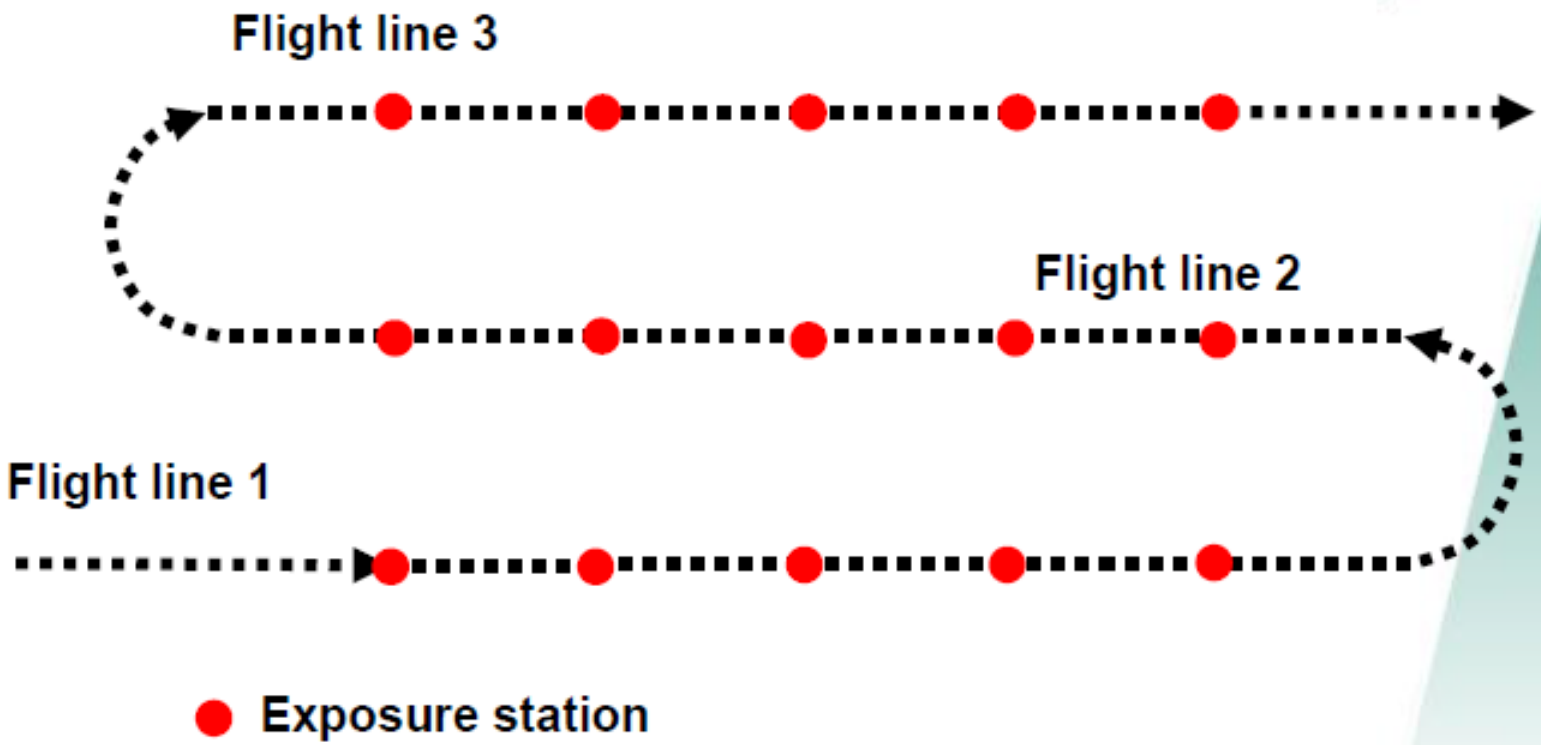
ПЗС матрица 2Мп в фотоаппарате RoverShot rs-2120.



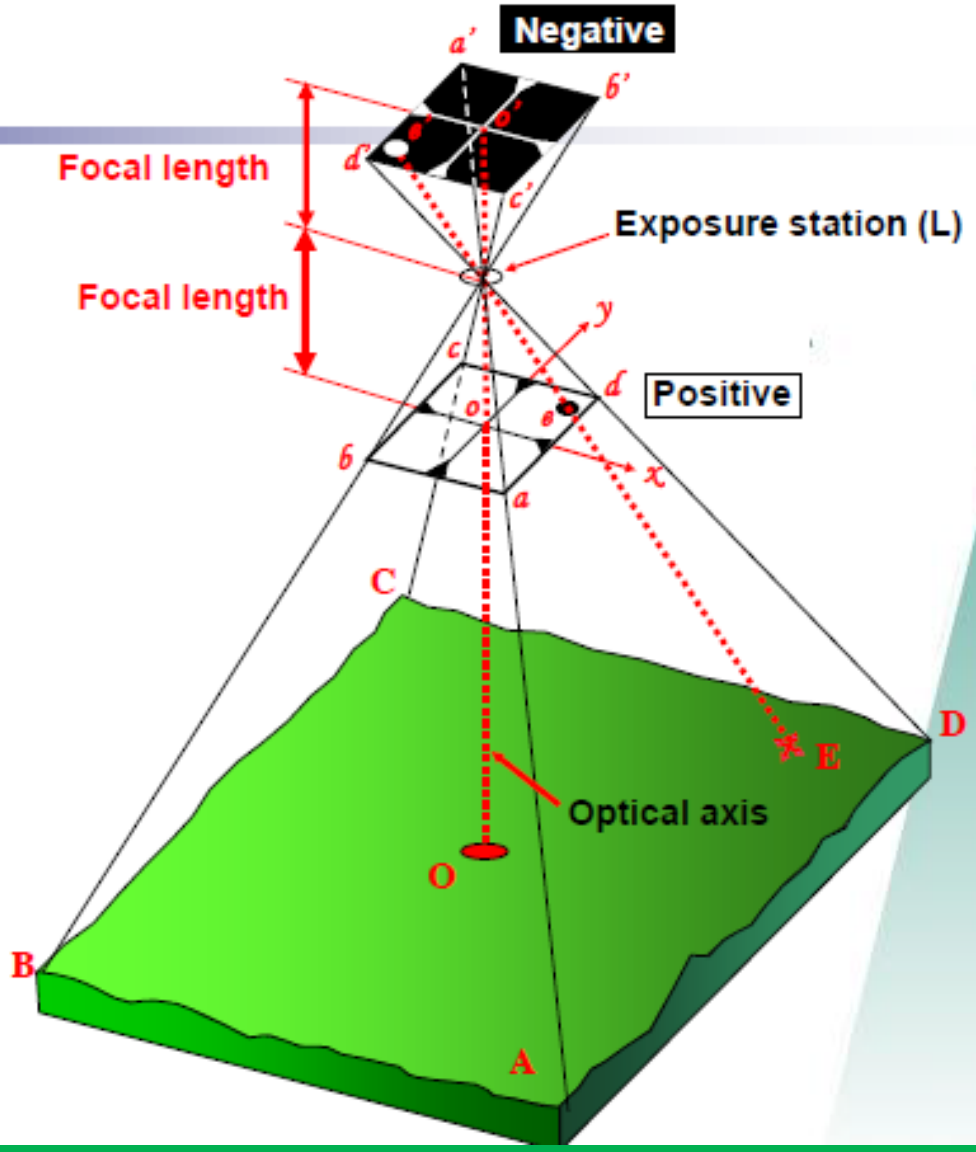
ПЗС-матрица для ультрафиолетового и видимого диапазонов


Flight strip 1
Flight strip 2
60% forward overlap
20 - 30% side lap

Flight paths (Photo run)

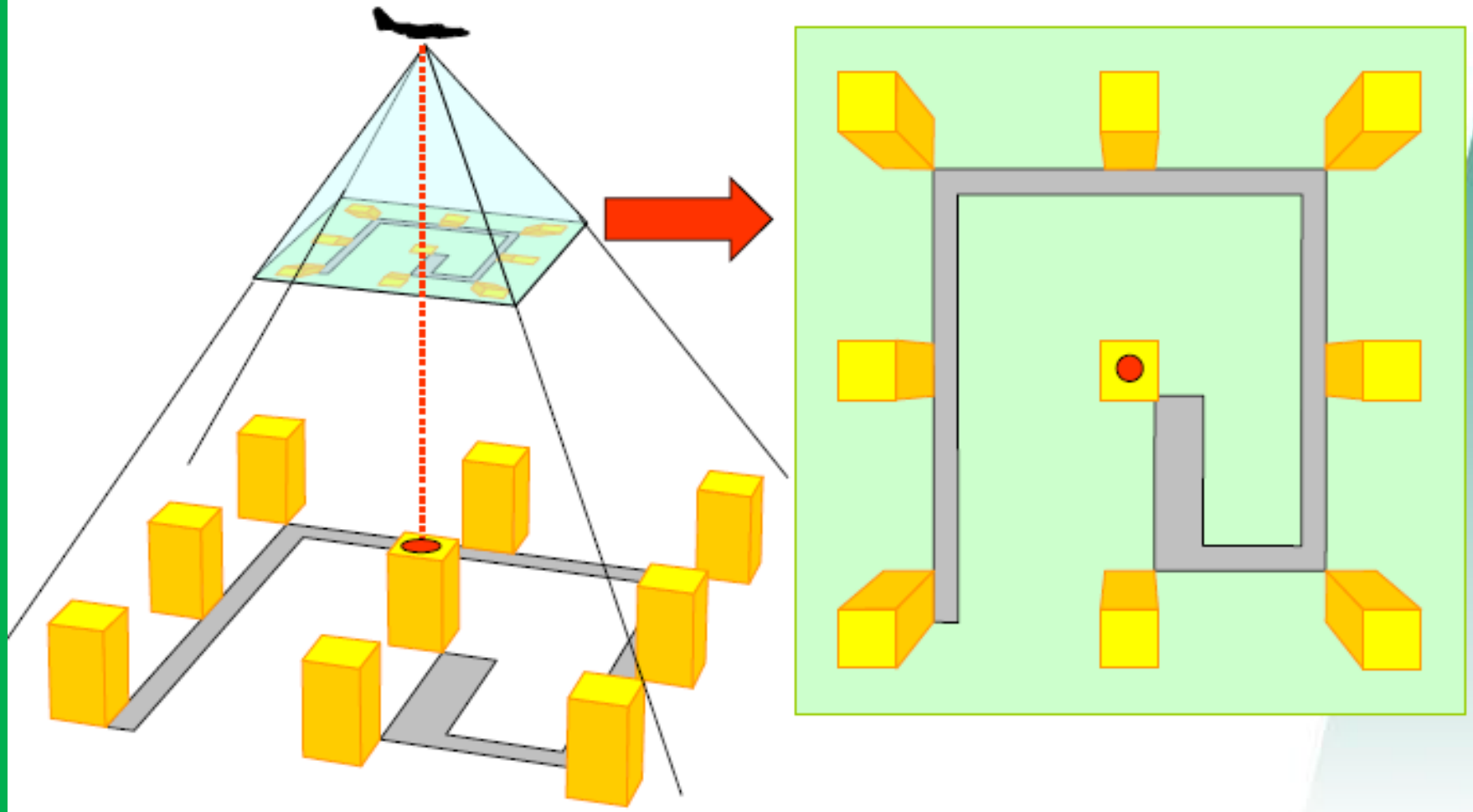


Geometric elements of an aerial photo

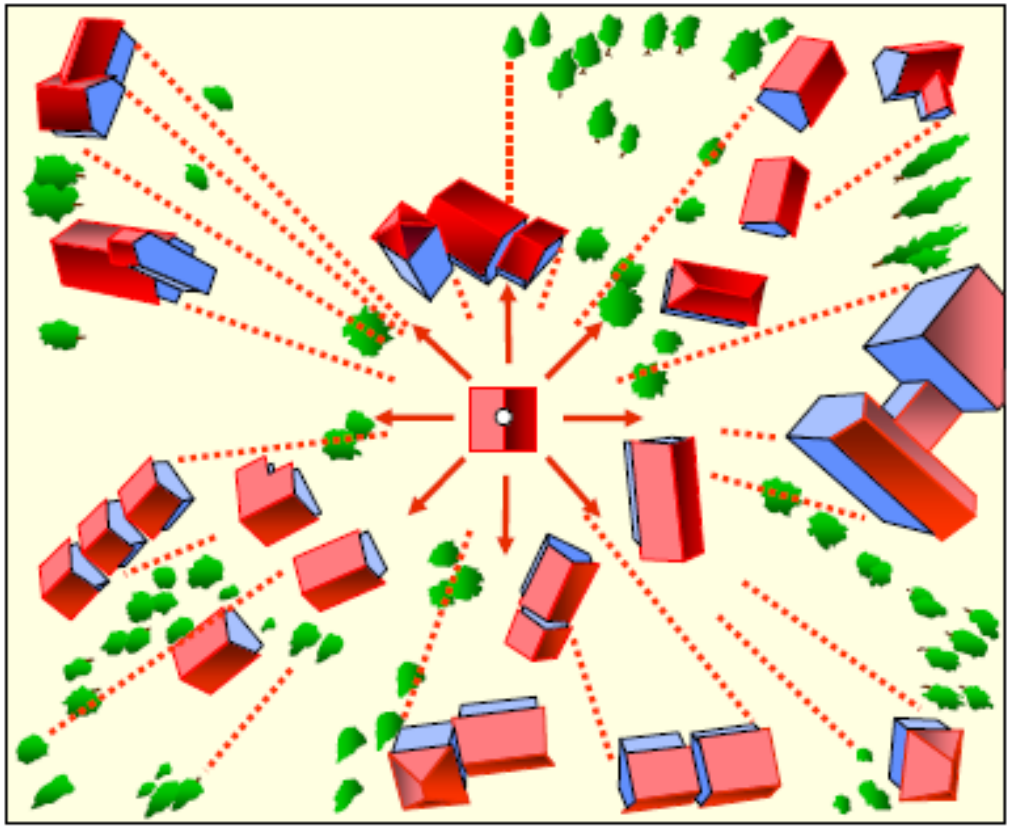


Photography

- central projection



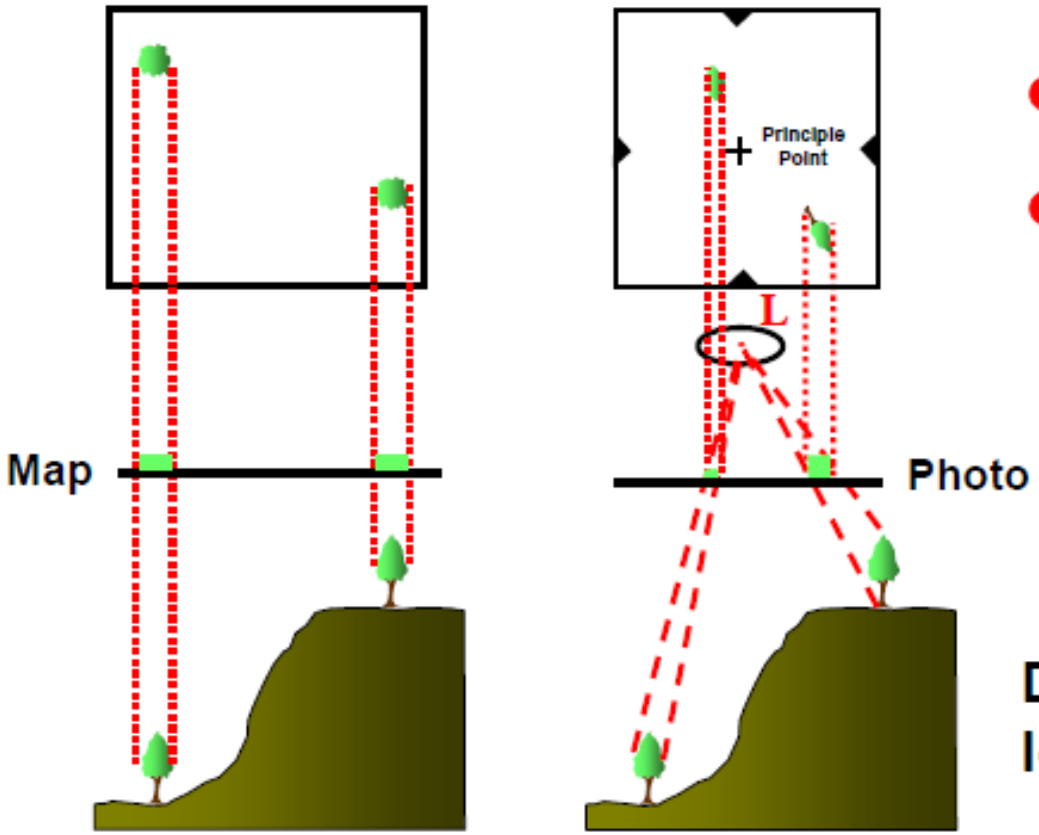
Central perspective



Geometry of Map and Photo

Orthogonal projection

Central Perspective projection



- Varied scale
- Relief displacement

Result in:

Different size, shape and location of static objects

Спасибо за внимание!

