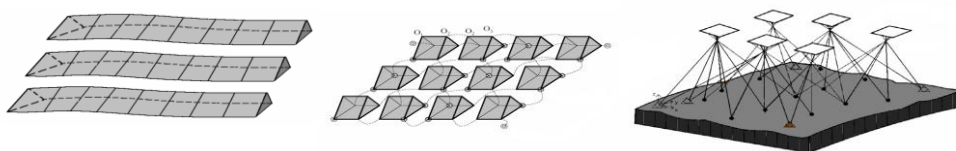


فتوگرامتری ۴ مثلت بندی هوایی

Roya Esmaili, PhD student of GIS
University of Tehran
Email: roya.esmaili@gmail.com
2016



منابع

- ▶ فتوگرامتری تحلیلی دکتر امینی
- ▶ Elements of photogrammetry, wolf edition 2000 (eBook)- ترجمه دکتر همراه
- ▶ Introduction to modern photogrammetry, M. Mikhail

نحوه ارزیابی

- ▶ حضور در کلاس ۱ نمره
- ▶ کوئیز کلاسی ۴ نمره
- ▶ پایان ترم ۱۵ نمره
- ▶ در صورت برگزار نشدن کوئیز کلاسی نمره آن به پایان ترم اضافه میشود.

▶ 3

هدف فتوگرامتری

- ▶ هدف اصلی فتوگرامتری بدست آوردن مختصات سه بعدی زمینی نقاط از فضای تصویر برای تهیه نقشه های سه بعدی

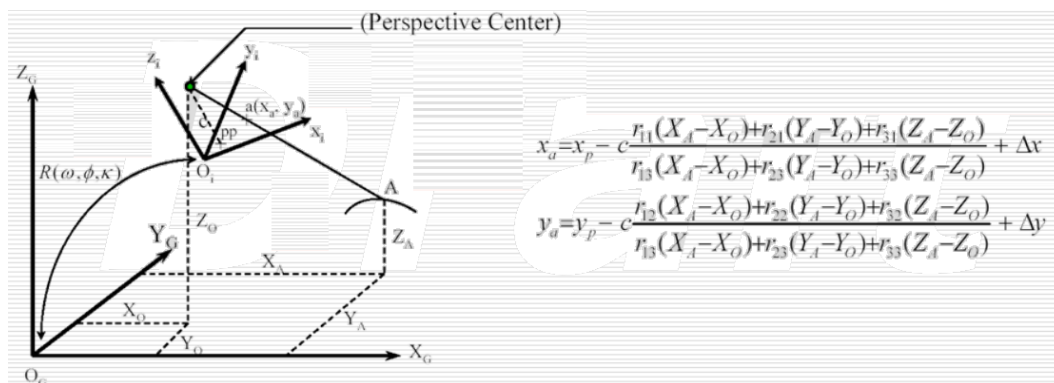
- ▶ بازسازی فضای شی از فضای تصویر با استفاده از:

- ▶ تک عکس
- ▶ زوج عکس
- ▶ یک نوار عکسبرداری (سرشکنی نوار)
- ▶ چند عکسی (بلوک عکسی)

▶ 4

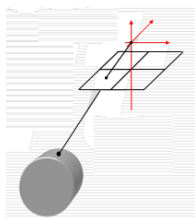
فرآیند بازسازی

- فرایند بازسازی یا بدست آوردن مختصات زمینی با استفاده از عکس با استفاده از معادلاتی انجام میشود که مهمترین آنها معادلات شرط هم خطی بود



5

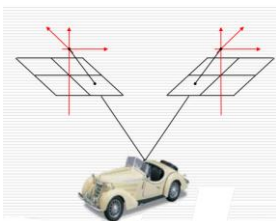
فرآیند بازسازی مختصات زمینی



► تک عکس

- توجیه داخلی
- دو معادله
- سه مجهول

❖ با داشتن DEM منطقه میتوان مختصات زمینی را محاسبه کرد



► زوج عکس

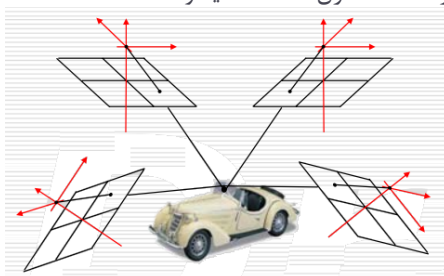
- توجیه داخلی، توجیه نسبی، توجیه مطلق
- توجیه داخلی، ترفیع فضایی، تقاطع فضایی
- ۴ معادله و ۳ مجهول

6

فرآیند بازسازی مختصات زمینی

چند عکس

- تهیه نقشه از یک منطقه وسیع به عنوان مثال تهیه نقشه های پوششی برای پروژه های عمرانی
- برای هر دو عکس متوالی باید توجیه داخلی، توجیه نسبی و توجیه مطلق حل شود.
- حداقل ۳ نقطه کنترل زمینی برای توجیه مطلق نیاز داریم.
- اگر قرار باشد برای هر دو عکس متوالی ۳ نقطه کنترل تهیه کنیم هزینه پروژه بالا می رود.
- از **مثلث بندی هوایی** برای تکثیر نقاط کنترل استفاده میشود.



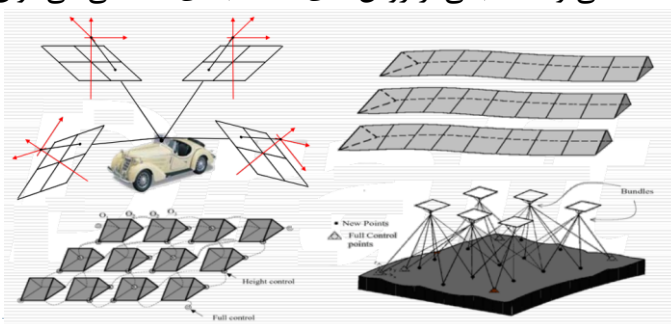
7

مثلث بندی هوایی (Aerial Triangulation) AT

- تکثیر نقاط محدود کنترل زمینی به منظور تعیین مختصات زمینی نقاط عکسی نظیر نقاط گرهي که در حل مسائل فتوگرامتری نظیر ترفیع فضایی، ترمیم تحلیلی، توجیه مطلق و غیره مورد استفاده قرار می گیرد.

مثلث بندی اساسا یک روش انترپله است.

- با توجه به امکانات دستگاهی و محاسباتی از روش های مثلث بندی مختلفی می توان استفاده کرد.



8

مفاهیم پایه

► مدل، نوار، بلوک



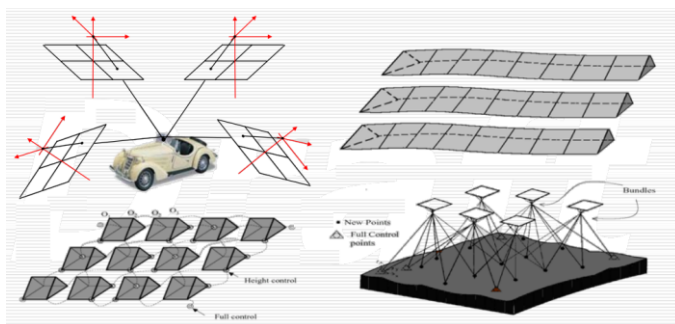
► ایده آل ترین حالت هم پوشانی بین عکس ها

► 9

روش های مثلث بندی هوایی

► روش های بر مبنای عکس (Photo based)

► روش های بر مبنای مدل (Model based)



► 10

روش های مثلث بندی هوایی

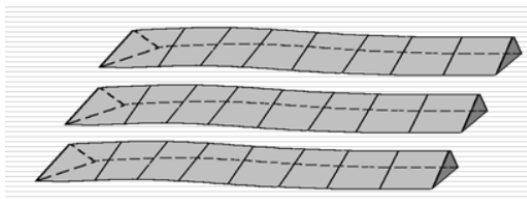
روش های بر مبنای عکس (Photo based)

۱. روش اتصال تدریجی ← تشکیل تدریجی نوار و سپس تشکیل و تعدیل بلوک (block)

❖ اتصال نوارها به یکدیگر تشکیل بلوک

❖ اتصال نوارها به زمین تعدیل بلوک

❖ توجیه داخلی و نسبی برای عکس ها در هر نوار انجام میشود.



11

روش های مثلث بندی هوایی

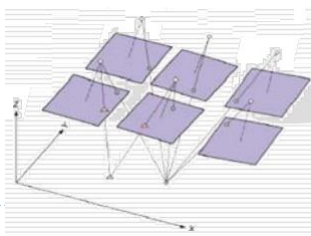
روش های بر مبنای عکس (Photo based)

۲. روش یکجا ← تشکیل و تعدیل همزمان بلوک

❖ دقیق ترین روش مثلث بندی هوایی است و به آن **bundle adjustment** یا تعدیل دسته اشعه می گویند.

❖ عکس ها همزمان به هم و به زمین متصل میشوند.

❖ در این روش فقط برای هر عکس توجیه داخلی انجام می شود و توجیه نسبی حل نمیشود.



12

روش های مثلث بندی هوایی

روش های بر مبنای مدل (Model based)

- ❖ به جای عکس بر مبنای مدل کار میکند.
- ❖ عکس ها توجیه داخلی شده و دو بدو توجیه نسبی میشوند مختصات مدل محاسبه میشود.
- ❖ از اتصال مدل ها نوار تشکیل شده و از اتصال نوارها بلوک تشکیل میشود.

۱. روش تدریجی ← تشکیل تدریجی نوار و سپس تشکیل و تعدیل آن
۲. روش یکجا ← تشکیل و تعدیل همزمان انجام میشود. (حجم حافظه بالایی از کامپیوتر را اشغال میکند)

روش های مثلث بندی هوایی

روش های بر مبنای عکس (Photo based)

- روش یکجا
- روش تدریجی

روش های بر مبنای مدل (Model based)

- روش یکجا
- روش تدریجی

- ❖ ورودی روش های عکس مبنا **مختصات عکسی** است.
- ❖ ورودی روش های مدل مبنا **مختصات مدل** است.
- ❖ روش های تدریجی دقت بالاتری دارند و برنامه نویسی راحت تری دارند و همچنین برای تعیین مقادیر اولیه روش های یکجا از آنها استفاده میشود.

برنامه ریزی پروژه فتوگرامتری

برنامه ریزی پروژه (project planning)

► برنامه ریزی پروژه به طور کامل در صفحات ۴۰۴ تا ۴۲۷ از کتاب elements of photogrammetry توضیح داده شده است.

► مراحل اجرای یک پروژه از ابتدا تا انتها به روش فتوگرامتری عبارتند از:

۱. برنامه ریزی
۲. پرواز و عکسبرداری
۳. تهیه اندکس عکسی و نقاط گرهی (تهیه)
۴. تهیه کروکی و طراحی نقاط کنترل زمینی
۵. عملیات زمینی و محاسبه نقاط کنترل
۶. مثلث بندی و محاسبات
۷. تبدیل
۸. کارتوگرافی و چاپ

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۱. برنامه ریزی

در این مرحله باید موارد زیر آنالیز و مشخص شوند:

- ▶ آنالیز مقیاس نقشه
- ▶ نوع دوربین
- ▶ ارتفاع پرواز
- ▶ محدوده و طرح پرواز
- ▶ زمان و فصل عکسبرداری

▶ 17

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۱. برنامه ریزی

۱.۱. آنالیز مقیاس

- تصمیم گیری در مورد مقیاس نقشه ای که قرار است تهیه شود.
- مقیاس نقشه تابعی از دقت مختصات x ، y و z نقاط روی زمین است. که با تبادل نظر بین کارفرما و نقشه بردار مقیاس مورد نظر تعیین میشود.
- تعیین دقت بیشتر از حد مورد نیاز خسارت های مالی و اتلاف وقت زیادی خواهد داشت.
- در کارهای فتوگرامتری ممکن است از قبل مقیاس مشخص باشد مثلاً نقشه های ۱/۲۰۰۰ برای شهرها موجود است و سپس سازمان نقشه برداری تصمیم میگیرد برای برخی شهرهای بزرگ نقشه ۱/۵۰۰ را تولید کند.
- دستورالعمل تجربی: مقیاس عکسبرداری ۴ تا ۵ برابر از مقیاس نقشه کوچکتر است.

▶ 18

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۱. برنامه ریزی

۱.۲. تعیین نوع دوربین عکسبرداری

- دوربین W.A، N.A یا S.W.A
- نسبت بازه‌وایی به ارتفاع پرواز هرچه بیشتر باشد بهتر است (تا ۹۰ درجه)
- معمولاً دوربین W.A استفاده می شود.
- در مورد دوربین S.W.A مناطق مخفی افزایش پیدا میکند.
- در صورت عکسبرداری از شهر با ساختمان های بلند از دوربین N.A استفاده می شود.

ابعاد فرم دوربین

$$\frac{B}{H} = \frac{d(1 - \text{overlap \%})}{f}$$

W.A 0.6
 N.A 0.3
 S.W.A 1

► 19

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۱. برنامه ریزی

۱.۳. ارتفاع پرواز

دقت ارتفاعی

$$\sigma_z = \frac{H}{B} \left(\frac{H}{f} \right) \sqrt{2} \sigma_x$$

با معلوم بودن فاصله کانونی و باز هواپی ارتفاع پرواز مشخص میشود

- H ارتفاع پرواز
- f فاصله کانونی
- B باز عکسبرداری
- σ_x دقت اندازه گیری نقاط عکسی در دستگاه تبدیل
- σ_z دقت ارتفاعی

- c-factor مربوط به دقت دستگاه تبدیل میشود و به صورت تجربی محاسبه میشود
مثلا برای دستگاه B8 برابر ۱۸۰۰ میباشد.

$$c - factor = \frac{H(\text{height of flight})}{C.I(\text{contour interval})}$$

- هرچه دستگاه دقیق تر باشد مقدار c-factor آن بیشتر است.
- C.I دو برابر دقت ارتفاعی است.

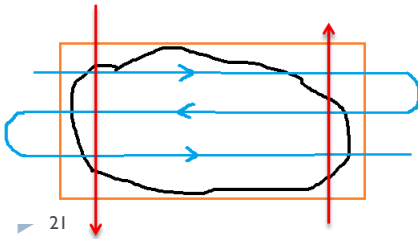
► 20

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۱. برنامه ریزی

۱.۴. محدوده و طرح پرواز

- برای طراحی پرواز به یک نقشه متوسط مقیاس نیاز است.
- به منطقه مورد نظر یک مستطیل برازش می‌دهیم.
- جهت پرواز باید در امتداد طول ها باشد (گاهی برای ثابت ماندن مقیاس در خط پرواز مجبوریم در عرض پرواز کنیم)
- خطوط پرواز باید طوری انتخاب شوند که run های پرواز کاهش یابند.
- برای افزایش دقت از پروازهای **cross-strip** استفاده میشود.



برنامه ریزی پروژه (project planning)

۱. برنامه ریزی

۱.۵. زمان و فصل عکسبرداری

- بهترین زمان برای عکسبرداری زمانی است که سایه ها کوتاهترین باشند.
- ساعت ۱۱ و ۱۲ ظهر مناسب است.
- زمانی که درختان کمترین پوشش گیاهی را دارند مناسب است.
- فصل زمستان

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۲. پرواز و عکسبرداری

- به هنگام پرواز باید مراقب بود هواپیما بر روی مسیر مشخص شده در حال پرواز است.
- روش قدیمی: اپراتور با استفاده از View finder به خلبان کمک میکند تا در مسیر مشخص شده پرواز کند.
- روش جدید: مشخص کردن مختصاتی که هواپیما باید در هر عکس در آن حضور داشته باشد و کنترل مختصات هواپیما با استفاده از GPS

► 23

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۳. تهیه

پس از انجام عکسبرداری، چاپ عکس ها و دیاپوزیتیوها اولین مرحله، تهیه است که دو وظیفه زیر را برعهده دارد:

۱. بررسی شرایط پرواز و عکسبرداری انجام شده و تهیه راهنما یا اندکس عکسی
۲. انتخاب، نشانه گذاری و شماره گذاری نقاط کنترل عکسی یا گرهی

► 24

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۳. تهیه

۳.۱. بررسی شرایط پرواز و عکسبرداری انجام شده و تهیه راهنما یا اندکس عکسی

- a. تعیین مرکز هر عکس، نشانه گذاری و شماره گذاری آن
- علامت گذاری مرکز عکس با دایره ای به قطر ۷-۱۰ میلیمتر با قلم روغنی
- b. انتقال مرکز هر عکس بر عکس های مورد نیاز
- برای مثلث بندی به روش دسته اشعه نیاز است.
- با ایجاد دیدسه بعدی مرکز یک عکس در عکس های دیگر که قبل رویت است سوزن زده می شود.
- c. تهیه موزاییک عکسی از هر باند
- میزان پوشش عکس های یک در میان چک میشود تا در صورت نیاز عکسبرداری تکرار شود.
- d. تهیه موزاییک عکسی بلوک
- با در نظر گرفتن پوشش عرضی باندهای مجاور بلوک عکسبرداری تهیه میشود.
- e. ترسیم راهنمای (اندکس) عکسی
- مشخص کردن مسیر پرواز و محل هر عکس بر روی نقشه ای با مقیاس $\frac{1}{4}$ یا $\frac{1}{5}$ مقیاس عکسبرداری (دقت زیادی نیاز نیست)

► 25

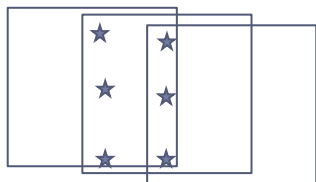
برنامه ریزی پروژه (project planning)

۳. تهیه

۳.۲. انتخاب، نشانه گذاری و شماره گذاری نقاط کنترل عکسی یا گرهی

هدف از مثلث بندی هوایی تعیین مختصات زمینی نقاط کنترل عکسی است لذا این نقاط باید دارای شرایط زیر باشند:

- a. نقاط مناسب برای انجام توجیه مطلق یا توجیه خارجی باشند.
 - ii. امکان اتصال مدل های مجاور را فراهم سازند.
- برای اتصال کامل دو مدل به هم باید ۷ پارامتر (۴ مسطحاتی و ۳ ارتفاعی) حل شود در نتیجه در قسمت مشترک دو مدل به دو نقطه مسطحاتی و سه نقطه ارتفاعی نیاز داریم.
- برای اتصال مسطحاتی دو مدل به ۲ نقطه مسطحاتی نیاز داریم.



► 26

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۳. تهیه

۳.۲. انتخاب، نشانه گذاری و شماره گذاری نقاط کنترل عکسی یا گرهی
مراحل اجرای کار برای تعیین محدوده مناسب برای انتخاب نقطه کنترل

۱. کادربندی

۲. انتخاب نقاط گرهی، نشانه گذاری و شماره گذاری آنها

۳. انتقال نقاط عکسی بر روی تصاویر مورد نیاز

۴. تکمیل راهنمای عکسی

► 27

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۳. تهیه

۳.۲. انتخاب، نشانه گذاری و شماره گذاری نقاط عکسی یا گرهی

۱. کادربندی

• محدوده کلی نقاط گرهی مشخص میشود.

• عکس های هر باند پشت سر هم پوشش داده می شود و انتهای تصویر هر عکس، بر روی عکس مجاور با قلم روغنی خط کشیده می شود.

۲. انتخاب نقاط عکسی، نشانه گذاری و شماره گذاری آنها

• با ایجاد دید سه بعدی بین دو عکس مجاور نقاط گرهی انتخاب و prick (سوراخ) میشوند

• نقطه ایده آل نقطه ای با فرکانس ۶ است.

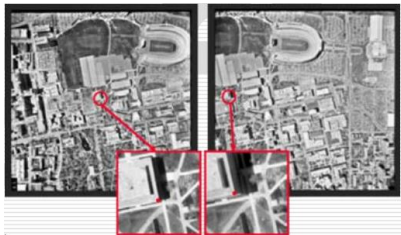
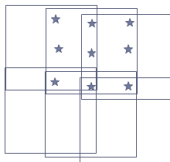
• نقطه حتی الامکان در مرکز کادر انتخاب شده باشد.

• نقطه گرهی طبیعی (گوشه خیابان) یا نقاط گرهی مصنوعی

۳. انتقال نقاط عکسی بر روی تصاویر مورد نیاز

۴. تکمیل راهنمای عکسی

• هر نقطه گرهی را با شماره خاص که شامل شماره نوار آن میباشد مشخص میکنند.



► 28

برنامه ریزی پروژه (project planning)

۴. تهیه کروکی و طراحی نقاط کنترل زمینی

- محل تقریبی نقاط کنترل بر روی راهنمای عکس تعیین میشود.
- برای هر ۴ تا ۶ عکس یک گروه نقطه کنترل در نظر میگیرند.
- نقاط کنترل مسطحاتی
 - در اطراف بلوک باشند
 - در محل شکستگی ها نقطه گرفته شود
- نقاط کنترل ارتفاعی
 - در داخل بلوک باشند
 - محل شکستگی ها نقطه گرفته شود
- ❖ نقاط کنترل ارتفاعی باید در یک منطقه تراز باشد
- ✓ نقاط کنترل زمینی میتوانند طبیعی یا premarked باشند.

۵. عملیات زمینی

- ❖ بعد از تهیه کروکی نقاط کنترل زمینی با عملیات نقشه برداری زمینی مختصات زمینی آنها محاسبه میشود.

► 29

مدارک ارسالی به بخش مثلث بندی

- پس از انجام مرحله تهیه و مشخص شدن محل نقاط گرهی بر روی عکس ها و پس از مشخص شدن نقاط کنترل زمینی و عملیات نقشه برداری مدارک زیر برای انجام مثلث بندی به بخش مربوطه ارسال میشوند:
- یک سری عکس هایی که از عملیات زمین برگشته و محل نقاط کنترل مسطحاتی و ارتفاعی روی آنها مشخص شده است.

□ یک سری عکس، شامل محل نقاط عکسی (گرهی) که در قسمت تهیه کامل گردیده است

□ راهنمای عکس ها که در مرحله تهیه آماده شده است.

□ جدولی از نقاط عکسی و مختصات دستگاهی آنها و مختصات زمینی آنها و فرکانس آنها تهیه میشود (نقش مهمی در مثلث بندی دارد)

❖ پس از تهیه نوبت مثلث بندی هوایی است که خروجی آن عبارت است از مختصات زمینی Z, Y, X برای نقاط گرهی خواهد بود.

❖ از این مرحله به بعد تبدیل انجام میشود (تبدیل عکس به نقشه). در واقع بدون عملیات زمینی میتوان کلیه توجیهات نسبی و مطلق را انجام داد.

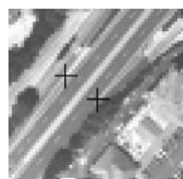
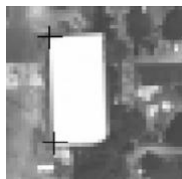
► 30

طبقه بندی نقاط

❖ نقاط علامت زده شده (premarked یا signalized point)



❖ نقاط طبیعی (Natural Point)



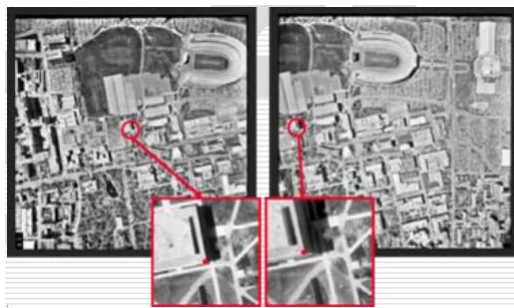
❖ نقاط مارک شده مصنوعی یا prick شده

▶ 31

طبقه بندی نقاط

❖ نقاط کنترل (control point) – نقاطی که مختصات زمینی آنها به روش های ژئودزی مشخص است (مثلا با استفاده از GPS) و برای تعیین سطح مبنا در مثلث بندی از آنها استفاده می شود.

❖ نقاط گرهی (tie point) – نقاطی که حداقل باید در ۲ عکس ظاهر شوند. هدف آنها دوختن و اتصال دو عکس پوشش دار به یکدیگر میباشد. موقعیت آنها باید به خوبی بر روی عکسها مشخص باشد و مختصات زمینی آنها به کمک سرشکنی های فتوگرامتری بدست می آید.



▶ 32