www.Engclubs.net

a site for all Engineers

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

نئودولیت پیشرفته

دکتر عباری

تفاوت های تئودولیت با نقشه برداری زمینی:

1) بدون تماس با object به تولید نقشه می پردازد

2) امکان بزرگ نمایی وجود دارد. یعنی مثلاً شما $\frac{1}{5000}$ تهیه می‌کنید ولی می‌توانید آن را به $\frac{1}{2000}$ تبدیل کنید.

3) مقیاس های متداولی را در اختیار می‌گیرد، بسته به نیاز می‌تواند $\frac{1}{2000}$ ، $\frac{1}{5000}$ و ... باشد.

4) دقت کمتری دارد ولی سریع‌تر و ارزان‌تر است.

نئودولیت در ابتدا با نام تئودولیت دستگاهی بود که عملاً کل کار به صورت فیزیکی و از طریق دستگاه ها و بدون هیچ عملیات ریاضی شناخته شده بود که در زمان خودش خوب بود و کاربردی نظامی داشت.

اولین نوع دستگاه Multiplex بود که به جای میله های فلزی، اشعه های نورانی داشت و به صورت اپتیکی بود. سپس میله های ماهواره ای جایگزین شدند.

شکل تئودولیت تحلیلی (دستگاهی)

1) اپراتور و نیروی انسانی دخالت زیادی دارد.

2) محدودیت در معرفی المان های توجیه داخلی که ممکن بود سطانی یا دیجیتال شود. مثلاً

DATA

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

فاصله کانونی دستگاه $150mm \pm 5^{mm}$ است و آنرا دوربینی گرا استفاده می کردند (برای فاصله کانونی $300mm$ بود، دستگاه غیرقابل استفاده می بود) دستگاه باید پرتره - پرتره، منظره ی سند و اسناد استفاده ی مناسب

3) امکان تصحیح خطاهای سیستماتیک وجود ندارد

4) باید مدل فیزیکی زمین را تشکیل داد.

همینی که فوتوگرامتری به وجود آمد، در دهه ی 1970-1975 فوتوگرامتری تحلیلی بود

تفاوت اصلی فوتوگرامتری آنالوگ و تحلیلی، در مدل ریاضی است که مدل ریاضی در واقع تشکیل

نقطه به نقطه است ولی در مدل فیزیکی کل منطقه ی پوشش دار منطقه ی مورد نظر را به صورت

مدل در نظر می گیرد که فوتوگرامتری آنالوگ با مدل فیزیکی و فوتوگرامتری تحلیلی با مدل ریاضی

سروکار دارد یعنی در دستگاه های تحلیلی دیگر میله های فضایی فکری وجود ندارند و حذف

شده است، در حالی که در آنالوگ وجود دارند پس با حذف میله های فضایی محدودیت ها

در آنالوگ داشتیم از بین می رود هم چنین وقتی مدل ریاضی شد، دیگر امکان تصحیح خطاهای

سیستماتیک وجود ندارد و با توجه به رفتار خطا، می توان خطا را مدل بندی کرد یعنی عملگر

را در شرط هم خطی ترکیب می نمیم که عاری از خطاهای سیستماتیک است.

عیب فوتوگرامتری تحلیلی، نهایتاً خروجی ما یک نقشه خواهد بود یعنی یک محصول است و

نقشه به صورت برداری است (نقطه - خط - پلی گون)

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

اپراتور انسانی با استفاده از چشم و بینش و هوشمندی مغز تشخیص می‌دهد که نقطه‌ای که با چشم سمت چپ می‌بیند، با نقطه‌ای که با چشم راست می‌بیند، یکسان است.

فوتوگرامتری رقومی:

مهم‌ترین کار در فوتوگرامتری تناظر (یا همان تکنولوژی matching) است که این کار در فوتوگرامتری آنالوگ و فوتوگرامتری تحلیلی توسط انسان و در فوتوگرامتری رقومی توسط کامپیوتر می‌باشد. که این هدف اپراتور خیلی سخت است و زمان زیادی توسط کامپیوتر لازم است تا بتواند آن دو را match کرده و تناظر را پیدا کند. (مغز انسان به جداسازی برسد)

در فوتوگرامتری رقومی مدل ریاضی زمین تغییر می‌کند اما تفاوتی که با فوتو تحلیلی دارد در ورودی آن است. هم چنین[2] نرم افزارهایی برای انجام عملیات های فوتوگرامتری مثل توجیه داخلی و ... مهیا[3] شده است. 3) مهم‌ترین تفاوت در خروجی است که در فوتو تحلیلی به صورت یک محصول و تهیه نقشه بود، در حالی که فوتو رقومی امکان تولید محصولات مختلف نظیر نقشه عکسی، نقشه برداری، DEM و وجود دارد و هم[4] زمان سرعت افزایش یافته.

فوتوگرامتری آنی (Real Time Photogrammetry):

تولید اطلاعات در لحظه اخذ داده به کمک ایستگاه های فوتوگرامتری رقومی

یعنی مثلاً وقتی به صورت تقاطع می‌خواهی عمل کنی، پارامترهای توجیه خارجی را می‌دهند و

DATA

YEAR: MONTH: DATE:

لازم نیست با نقاط کنترل به دست آوری.

ortho image : برای تولید تصاویر ortho image 1) باید خطای تیلت را با استفاده از نقاط کنترل برطرف کنیم تا تصویر مایل نداشته باشیم، 2) خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاع را با استفاده از ارتفاع در هر پیکسل به پیکسل حذف کنیم تا مثلاً ساختمان بلند کج نشان داده نشود زیرا علت این که مثلاً یک ساختمان بلند کج نشان داده می‌شود این است که چون ما از سیستم مختصات مرکزی استفاده می‌کنیم و اشعه از تمام نقاط باید از مرکز لنز و عدسی بگذرد، پس بالا و پایین ساختمان در برای یک مختصات سطحاتی نیست.

Course Outlines

1) معرفی

2) خط تولید نقشه به روش فتوگرامتری

3) تشابه بندی مواردی به روش های مختلف (تحلیلی و رقومی) برای محاسبه‌ی مختصات
نقیه تحلیلی و دستی

4) GPS

5) نقاط کنترل، توزیعشان، نحوه‌ی انتخاب آن‌ها

6) طراحی و برنامه ریزی پروژه های فتوگرامتری

7) کاربردهای فتوگرامتری (صنعت، پزشکی، ساختمان و ...)

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

18 فوتوگرامتری دیجیتال (ترمی)

منابع و مآخذ،

جزوه استاد Server 3 \ ebadi \ Advanced Photo un: free pw: free

Final → 50٪ (۱۰ نمره) midterm → 20٪ (۶ نمره) quiz & Project → 30٪ (۶ نمره)

فوتوگرامتری، علم و هنر رسیدن به ابعاد فیزیکی اشیاء از اندازه گیری روی عکس ها

علم و هنر به دست آوردن اطلاعات قابل اعتماد در ارتباط با یک شیء از طریق پردازش و آنالیز یک عکس توسط یک سنجنده بدون تماس هستیم

اطلاعات قابل اندازه‌گیری: → اطلاعات کمی (Quantitative)
→ اطلاعات کیفی (Qualitative)

Quantitative: the geometric relationship between the image and object space at the time of imaging should be established.

ارتباط هندسی بین فضای تصویر و شیء در زمان عکسبرداری ایجاد می‌کنیم. دوربین یک هندسی خاص شروع به تصویربرداری می‌کند. اصطلاحاً دوربین frame type است. (دوربینی)

YEAR: MONTH: DATE:

نوری که از دوربین ثبت کرده، دارای خطاهایی است، به دلیل اثرات مختلفی مثل اعوجاج

کروی زمین، انکسار و ... که برای حذف از روابط ریاضی تصویر استفاده می‌کنیم.

حذف خطاهای سیستماتیک ← یا قبل از محاسبات آن را حذف کنیم

← یا آن را مدل‌بندی کرده و در محاسبات کنیم.

حذف خطاهای اتفاقی، به طور عملی نمی‌توانیم کاری انجام دهیم چون ربط ماهیتی ولی

می‌توان با افزایش تعداد مشاهدات به کاهش خطا و سرشکن کردن آن پرداخت.

Real world (Earth) → Sensor (Camera) → Data Source (Images)

Data Source (Images) → Image Refinement & measurment

Image Refinement & measurment → Refined Image Observation

Refined Image Observation → Data Analysis (Mathematical Models)

Data Analysis (Mathematical Models) → Products
- Maps
- DEM
- Orthophoto

Products → Decision Making → Real world (Earth)

این سیکل مدام در حال تکرار است و تغییرات روی آن اعمال می‌شود

به طور کلی توابع عمومی فتوگرامتری:

۱) اخذ داده ← سنجنده / دوربین

← تصویر / عکس

2) اندازه گیری سطوح و پلانیمتری

3)

4) تولید محصول

فوتوگرامتری هوایی برای تهیه نقشه، تحت تأثیر هندسه ی خاصی قرار می گیرد که مسیر را تعیین کرده که ما مجموعه ای از این مسیرها را بلوک می نامیم.

انواع فوتوگرامتری از نظر فاصله ی دوربین تا شی (d)

- فوتوگرامتری برد کوتاه $d<10m$ Close Range

در پزشکی، مدل سازی اشیاء، تعیین شکل آنتن ماهواره

- فوتوگرامتری زمینی $10m<d<500m$ Terrestrial

- فوتوگرامتری هوایی $500m<d<10km$ Aerial

- فوتوگرامتری فضایی $500km<d$ Space

باید با توجه به نیاز و کاربرد از آن ها استفاده کنیم.

نکته: پوششی که برای عکس ها در نظر می گیرند (پوشش طولی) معمولا 60٪ است. چرا 60٪؟ ما باید نقاط اصلی در عکس را کاملا ببینیم. زیرا عکس ها دوربینی است ولی آنچه را که واقعیت احتیاج داریم مختصات سه بعدی است، پس از زوج عکس

DATA

YEAR: DATE:

استفاده می کنیم که ما می لازم است در برخی شرایط مثل مناطق سرد سیری که پوشش طولی نیاز

استفاده کنیم

دوربین های موتوژنراستری دو نوع

1) static Imaging (Frame type) → Single lens
                                → Multi lens

2) Dynamic Imaging → Strip
                   → Panomoric

برای هر عکس 6 پارامتر توجیه خارجی و برای هر نقطه 3 پارامتر در نظر می گیرند پس برای

1000 نقطه و 36000 پارامتر خواهیم داشت.

قسمت های اصلی دوربین های Frame یک لنزی:

- Magazine
- Camera Body
- Lens Cone Assembly

نکته: فاصله ی کانونی به لنز بستگی دارد (نور لنز) نهایت تابید در نقطه ی متمرکز شود

فاصله ی اصلی: جایی که تصویر ایجاد می شود

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

تنظیمات عکس در Frame Type :

- سیستم تصویر پرسپکتیو
- F : فاصله‌ی کانونی
- ارتفاع پرواز
- زاویه اید.
-
-
-

چنان چه تصویر قائم باشد، تلیت صفر است.

محل تقاطع سه دسته شعاع متناظر یک نقطه، نقطه‌ی اصلی را می‌دهد.

نکته: همان طور که گفتیم در فتوگرامتری اسکان بزرگ نمایی وجود دارد. مثلاً شما می‌خواهید نقشه‌ی $\frac{1}{2000}$ تولید کنید، اگر عکسبرداری شما $\frac{1}{2000}$ باشد که در حقیقت همان کار زمینی را انجام می‌دهید، در حالیکه عکسبرداری مثلاً می‌تواند $\frac{1}{8000}$ باشد.

در تولید نقشه نقاطی که مختصات سطحی آن‌ها یکسان است باید یک نقطه را نشان دهد یعنی بالا و پایین یک ساختمان یک نقطه باشد.

سعی در حذف جابجایی‌ها داریم تا ساختمان کج نشان داده نشود.

DATA

اندازه گیری و آنالیز تصویر

توجیه داخلی، اولین مرحله است: منطبق کردن وضعیت لحظه‌ی عکسبرداری با محیط آزمایشگاه

منطبق کردن فاصله‌ی کانونی با فاصله‌ی کانونی دستگاه و Centring.

فیدوشال مارک‌ها: هر عکس حداقل ۴ نقطه‌ی فیدوشال مارک دارد که مختصات آن‌ها معلوم است. این مختصات از کالیبراسیون به دست می‌آیند.

اگر فیدوشال مارک نداشته باشیم، دوربین غیرمتریک می‌شود، مثل دوربین‌های خانگی

ارتباط بین سیستم مختصات عکس و سیستم مختصات تصویر، کار فیدوشال مارک‌هاست. چون نقاط مشترک بین آن‌ها تنها نقاط فیدوشال مارک است. چون برای هر فیدوشال مارک مختصات کالیبراسیون و اندازه‌گیری شده را داریم.

کمپیراتورها: دستگاه‌هایی هستند که با دقت تعیین مختصات عکسی را تعیین می‌کنند. (در حدود ۱۰-۵ میکرون) به فوتو تحلیلی و آنالوگ از آن‌ها استفاده می‌کنیم.

سیستم مختصات Screen: در فوتو رقومی استفاده می‌شود و با پیکسل‌ها کار می‌کند.

شرط هم خطی: مهم‌ترین تبدیلی که در فوتو استفاده کردیم.

این شرط می‌گوید نقطه‌ی زمینی، نقطه‌ی عکسی متناظر و مرکز تصویر عملی روی یک خط راست هستند. ← لسان سال‌های ریاضی فوتوگرامتری

DATA

برای عکس متداول $\frac{f_0}{1000}$ اگر دقت پیداکردن ۱۰ میکرون باشد دقت روی زمین $= \frac{f_0}{1000} \times 10$

YEAR: MONTH: DATE:

به دلیل یک سری خطاهای هندسی این خطاها به واقعیت وجود ندارند. مثلاً عیوب نورلنز

تحت های مختلف هر، اعوجاجات عدسی و ...

Image Motion : حرکت platform در حال حرکت است، تصویر مقداری حرکت خواهد داشت.

Scaled Velocity $v = \frac{f}{H} V$

Film/Photo Deformation : کشیدگی تصویر یا فیلم.

تصحیحات بدین گونه است که ما فاصله‌ی بین دو فیدوشال مارک ها را در زمان عکسبرداری

دگامبره شده مقایسه کنیم، یا با استفاده از زمان در نظر بگیریم. اگر بخواهیم خیلی

دقیق بررسی کنیم، یک شبکه‌ای از فیدوشال مارک ها را در نظر می‌گیریم.

Lens Distortion : شعاعی ← مماسی

حذف خطای اعوجاج شعاعی لنز به سه صورت است:

www.Engclubs.net

DATA

MONTH: DATE:

Atmospher مرجع در تر با شیم، بین تر است. با توجه به فاصله‌ی کانونی

$= K\left(1 + \frac{\quad}{\quad}\right)$

$dr =$ Earth Curvate

اگر تحقیقات سه بعدی داشته باشیم و محاسبات در فضای سه بعدی انجام شود نیازی به تقسیم اعتای زمین نیست. لقا اگر محاسبات فوتوگرامتری در سیستم 2 بعدی باشد و صفحه‌ای باید اثر کرویت زمین را در نظر گرفت.

عناصر توجیه خارجی، در حقیقت ارتباط بین فضای تصویر و فضای زمین را برقرار می کند. که در 6 پارامتر احتیاج است.

توجیه داخلی: ویژگی های یک دوربین یا سنجنده برای بازسازی تحفه‌ی عکسبرداری

f و x_0 و y_0 این اطلاعات در فایل دوربین موجود است.

هر object در فضا 6 درجه‌ی آزادی برای حرکت دارد حول یک نقطه‌ی مرکزی

(x_0, y_0, z_0) مختصات مرکز تصویر K و φ و ω برای دوران

Space Resection (ترفیع فضایی): محاسبه‌ی پارامترهای توجیه خارجی با سه نقطه‌ی کنترل غیر واقع بر یک خط راست، هر نقطه 2 معادله می دهد.

Intersection (تقاطع): بدست آوردن مختصات یک نقطه روی زمین با داشتن 2 تصویر.

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

ترجمه باید پارامترهای توجیه خارجی باید معلوم باشند.

توجیه نسبی: توجیه نسبی یک عکس نسبت به عکس دیگر با 5 پارامتر، بنابراین وقتی توجیه نسبی را انجام می‌دهید، باید stereo برقرار شده و پارالاکس y از بین می‌رود. شرطی که برای آن استفاده می‌شود، شرط هم صفحه‌ای بود.

توجیه مطلق: ارتباط بین فضای مدل با فضای زمین با 7 پارامتر. (چون مقیاس در ارتباط

در نظر می‌گیریم از 7 پارامتر به 7 پارامتر کاهش می‌یابد، سه دوران، سه انتقال و یک مقیاس)

یکی از کاربردهای فوتوگرامتری تولید نقشه

اولین چیزی که با توجه به نقشه و درخواست کارفرما در نظر می‌گیریم، دقت نقشه است. هرچه

مقیاس بزرگتر باشد، دقت نیز بیشتر است.

برای به دست آوردن دقت نقشه: عدد متقابل 0.2 یا $0.3\ mm$ x

پس اگر دقت $20\ cm$ را خواهیم، باید مقیاس نقشه $\frac{1}{1000}$ باشد. $S_{\text{نقشه}} = \frac{1}{2000}$

پس ابتدا باید مقیاس Fix شود، بعد از آن دقت Fix کردن مقیاس عکسبرداری است.

به دلیل خاصیت فوتوگرامتری و سیستم‌های آن، مقیاس عکسبرداری می‌تواند 4 تا 5 برابر کوچکتر

از مقیاس نقشه باشد. پس باید نوع دوربین را مشخص کنیم. $S_{\text{عکسبرداری}} = \frac{1}{8000}$

narrow angle - normal angle - wide angle - Superwide angle

DATE:

هرچه زاویه دوربین بیشتر، فاصله‌ی کانونی کمتر باشد.

در مناطق شهری هرچه فاصله‌ی کانونی بیشتر باشد بهتر است، چون اختلاف ارتفاع در

$f = 300^{mm}$ مناطق شهری

این مناطق زیاد است.

$f = 150^{mm}$ مناطق غیر شهری

سپس با استفاده از رابطه‌ی $S = \frac{f}{H-h}$ می‌توان ارتفاع پرواز را به دست آورد

ارتفاع پرواز ← H

h → ارتفاع متوسط منطقه

$S = \frac{f}{H-h}$ ← نقشه‌ی کوچک مقیاس

این نقشه به ناوبری پرواز کمک می‌کند (نقشه شکل بعد)

عکسبرداری طی چند سال اخیر تغییرات بسیار خوبی داشته است و آن هم دلیل عمده GPS است. یعنی GPS به ناوبری دقیق پرواز کمک می‌کند برای رسیدن به پوشش‌های طولی 60٪ و عرضی 25٪. چون با توجه به تکرار نده در هواپیما می‌توانیم زمانی که به نقاط تقریبی نزدیک می‌شود بگوییم شاتر باز شود.

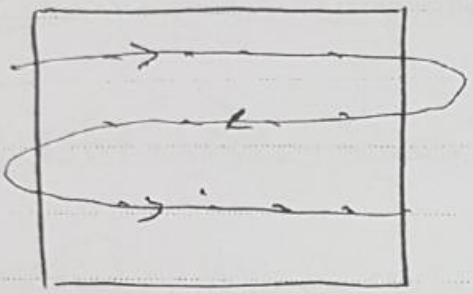
بهترین زمان برای عکسبرداری اوایل دی ماه است. زیرا در بهار و تابستان بیشتر مناطق شهری پوشیده از درخت خواهند بود و باید کمترین سایه را هم داشته باشیم.

مرحله‌ی بعدی تهیه‌ی لندکس پرواز است.

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

در مناطق شهری ممکن است پوشش برای رفع خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاع به ۸۰٪ برسد.

سپس باید به طراحی نقاط کنترل بپردازیم که برای این کار به یک تبدیل از سیستم مختصات نیاز تصویری به سیستم مختصات زمینی داریم.



به طور مثال برای انتقال از فضای مدلی که داریم به فضای زمینی به توجیه مطلق نیاز است که با دو نقطه‌ی کنترل مسطحاتی و سه نقطه کنترل ارتفاعی حل می‌شود.

کاربردهای فوتوگرامتری: ← تولید نقشه

← مثلث‌بندی هوایی ← به طور خاص

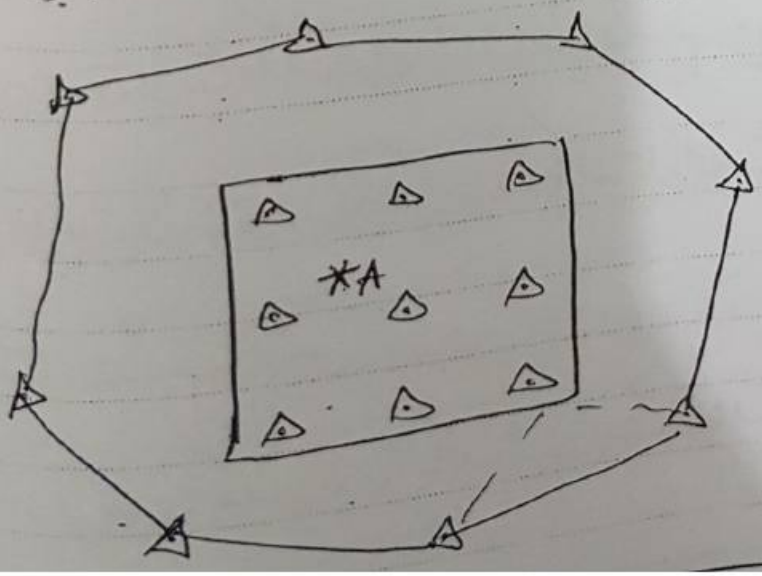
به مثلث‌بندی هوایی در مدل ابتدایی و انتهایی (یا عکس اول و آخر یک نوار) نقاط کنترل داشته باشیم، می‌توان با استفاده از شاهداد عکسی (یا در فضای مدل با استفاده از شاهداد مدل) تعداد نقاط کنترل را افزایش دهیم. این فرآیند مثلث‌بندی هوایی توسعه دهنده نقاط کنترل با توجه به تعداد کمی نقاط کنترل است و نخواهیم از همه‌ی عکس‌ها و یا مدل‌ها، نقاط کنترل داشته باشیم.

اگر از همه‌ی عکس‌ها نقاط کنترل داشته باشیم، وقت فراتر از حد انتظار ما خواهد داد.

DATA

MONTH:
DATE:

و آنرجعی نقاط در مدل ۲ را با تبدیلات Transformasion ۲ به مدل اول میبریم و درنهایت
از مدل اول یک مدل کلی تکمیل میکنیم و آن را به مدل زمینی میبریم، بدین ترتیب دقت را خواهیم
داشت. ما باید یک مدل optiman پیدا کنیم و آن طراحی نقاط کنترل است.
به طور مثال) فرض کنید یک سری نقاط کنترل روی عکس در نظر می گیریم. چون این نقاط
خاصیت فیزیکی دارند باید روی زمین قابل پیاده سازی باشند. شما یک پیمایش می بندید و
در یک حلقه ی اصلی نقشه برداری پیاده می کنید. سپس با استفاده از آن، مختصات
نقاط کنترل مشخص شده را به روش نقشه برداری زمینی پیدا می کنید (با استفاده از
نقاط کنترل مجاور و تقاطع یا ترفیع و ...) علت این که شبکه را روی همان نقاط کنترل
می بندیم این است که این نقاط عکسی هستند و ممکن است روی زمین مکان مناسبی نداشته
باشند و ثابت و Fix نباشند. هم چنین ممکن است بین دو نقطه دید نباشد و ...
روش دوم این است که در نقطه ای مثل A، یک GPS گذاشته و مختصات نقاط را برداشت
کنید.



YEAR: MONTH: DATE:

سرشکن بلوک فوتوگرامتری به روش بسته افقی، به دست آوردن مختصات نقطه با استفاده از تقاطع در جلو برای آن نقطه. پس ترفیع و تقاطع تمام دسته افقی ها برای نقاط کنترل به طور همزمان همان سرشکنی به این روش است.

پس قبل از شکل گیری هوایی ما برای برخی مدل ها نقاط کنترل داشتیم ولی با شکل گیری هوایی بدون انجام عملیات زمینی و تنها با استفاده از فوتوگرامتری می توان برای تمام مدل ها نقاط کنترل ایجاد کرد.

کاربردی ترین اندکس نقشه به روش شیت نقشه است که باید تقسیم این مدل در کدام شیت است و مدل های موجود در آن شیت را تبدیل کنیم. با توجه به مقیاس و استخراج عوارض قابل استخراج با توجه به مقیاس نقشه (مثلاً در مقیاس $\frac{1}{2000}$)، 170 نوع عارضه می توان استخراج نمود.

مدلی که به کاربر داده می شود، یک نقشه ی رقومی است. که سیستم های اطلاعات مکانی GIS تحلیل ها و آنالیز ها را به خوبی انجام می دهد و RS و فوتوگرامتری و سنجش از دور تولید داده را به خوبی انجام می دهند.

GIS برای تجزیه و تحلیل همه نوع اطلاعاتی را دریافت نمی کند. پس برای ورود به GIS (GIS Ready) باید یک سری ویرایش ها روی داده ها انجام شود تا برای آن آماده شود.

DATA

YEAR: MONTH: DATE:

مثل حذف GAP، تقاطع خطوط، منقطع بودن خطوط مسیر

سپس باید گویا کردن و تلفیق مدل های کارتوگرافی مورد بررسی قرار می گیرد یعنی به نقشه

text و ... اضافه می کند تا کاربر متوجه شود، مثلا اینجا خیابان یا معبر است.

کار بعدی کارتوگرافی روی نقشه است. که برای تفسیر راحت تر نقشه برای کاربر است.

مثلا در کارتوگرافی یک legend (راهنما) تعریف می کنند. یا شبکه ی مختصات را تعریف

می کنید و ...

سپس یک کنترل نهایی انجام می دهید و در انتها یک نقشه ی برداری به صورت نقطه،

خط و پلی گون تولید می کنید.

مثلث بندی هوایی، دسته اشعه ای مهم است نه زاویه، هرچند تقاطع دسته اشعه ای

یک زاویه را تولید می کند.

مهم ترین وظیفه ی مثلث بندی هوایی تکثیر نقاط کنترل زمینی است.

مثلث بندی فقط در تهیه و تولید نقشه نیست، بلکه در رفتار سنجی سازه های عظیم مثل سد،

پل و ... دیدن تونل ها در کارخانه های سیمان سازی، در تصادفات و ...

مثلث بندی هوایی تحلیلی

Photogram

• برای ایجاد یک مدل سه بعدی حداکثر یک سری نقاط کنترل سطحی و ارتفاعی

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

احتیاج است.

- کارهای زمینی باید انجام شوند که هزینه‌ی زیادی دارند
- کاهش نقاط کنترل (اجازه می‌دهد نقاط کنترل از تقاطعی و سطحهایی با استفاده از نقاط محدودی به دست آیند.

نقاط کنترل سطحهایی △ در اطراف بلوک قرار می‌گیرند و نقاط کنترل از تقاطعی ○ در داخل بلوک

نوار (strip): مجموعه‌ای از عکس‌هایی که پوشش دارند و در یک استاد پرواز برای تولید مدل سه‌بعدی ایجاد می‌شوند (پوشش طولی ۶۰٪ دارند)

نقاط گرهی (Pass point)(2) انتقالی است مشترک بین نقاط دیگر در یک نوار (در مدل ۲)

مدل فوتوگرامتری: نقاطی پوشش دارند سرجم که تشکیل یک مدل سه‌بعدی می‌دهند.

بلوک فوتوگرامتری: یک سری نوارهای فوتوگرامتری پوشش دارکه باهم دارای پوشش عرضی هستند (مثلاً 25٪)

نقاط گرهی (Tie Point)(2): نقاط مشترک نوارها در یک بلوک.

هر یک Pass Point است Tie Point ولی عکس آن برقرار نیست:
pass point ⊂ tie point است

DATA

YEAR: MONTH: DATE:

نقاط کنترل، نقاطی هستند که هم مختصات زمینی معلوم دهم مختصات عکسی معلوم دارند و در عکس دیده می‌شوند. نقاط گرهی، نقاطی هستند که مختصات عکسی معلوم دارند و در عکس دیده می‌شوند ولی مختصات زمینی معلوم ندارند.

ما 18 عکس داریم و 15 مدل

معمولاً در هر عکس 6 نقطه داریم، به جز عکس اول و آخر که 6 نقطه دارند.

اشتراک نقاط، وقتی یک نقطه را در نظر می‌گیریم، در عکس دیگر نیز باشد و مختصات هر را اشتراک دهیم.

www.Engclubs.net

نقاط گرهی، طبیعی (Natural Points)

Signalized Points علامت

زمانی که نقطه طبیعی نباشد، دقت را در اندازه‌گیری خیلی بالا می‌برد. علامت‌هایی که قبل از عکسبرداری طراحی می‌شوند و بعد در عکس ثبت می‌گردد، پس برای دقت بیش‌تری است. مثلث‌بندی: در این روش گفته می‌شود، ابتدا بعد از تشکیل مدل، اگر تعدادی نقطه‌ی کنترل داشته باشیم با عملیات ممکن در فتوگرامتری می‌توان برای تمام نقاط مدل به مختصات زمینی رسید. در واقع برای تعداد محدودی از نقاط مثلاً در عکس اول، تعدادی نقاط کنترل زمینی (شامل گره‌ای ۱، کنترل و ...) در نظر می‌گیریم.

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

تشکیل شبکه بندی هوایی در تهیه نقشه، توجیه مطلق، پیدا کردن مختصات نقاط گرهی و استفاده از آن‌ها به عنوان نقاط کنترل

انواع شبکه بندی: ← راستای الحاقی: مستقیم از عکس به زمین برسیم.
← مدل مستقل: از عکس به مدل و از مدل به زمین برسیم.

نکته: نقاط کنترل نقاطی هستند که مختصات زمینی معلوم دارند و از نظر عارضه‌ای روی زمین مشخص هستند.

اثر در نقاط گرهی نقطه طبیعی است یعنی از قبل روی زمین مشخص است ولی خطا دارد چون باید این نقطه‌ای زمینی روی تمام تصاویر پوشش دار پیاده شود و خطای انتقال را داریم ولی نقطه‌ای مصنوعی در عکس‌ها مشخص است و ما آن را روی زمین پیاده می‌کنیم، در نتیجه خطای انتقال نداریم و دقت بالاتر است.

شبکه بندی هوایی: روشی متداول‌تر برای تعیین مختصات زمینی با استفاده از عکس‌های هوایی پوشش دار

انواع روش‌های شبکه بندی هوایی: ← دستگاهی (آنالوگ) Analogue
← تحلیلی Independent
← رقومی Analytical

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

نرم افزارهای عکسبرداری هوایی
- Universal
- آنالوگ

تفاوت نقشه توپوگرافی و توپولوژی است، چرا که نقشه توپوگرافی مدل و نقشه توپولوژی عکس است

دسته لنزهایی که منشأ آن از مرکز تصویر است و از نقاط تصویری عبور می‌کند و به صفحه‌ی تصویر می‌رسد (همان شرط هم خطی)

اساس واحد محاسباتی مثلث بندی هوایی دسته لنزها هستند. این دسته لنزها از نقاط در محاسبات سرشکنی جابه‌جا می‌شوند تا به بهترین حالت برسند.

ترفیع و تقاطع فضایی عام دسته لنزها در تمام عکس‌ها کاری است که در شکل دسته لنزها انجام می‌شود

دو مرحله اساسی مثلث بندی هوایی
- آماده سازی
- محاسبات سرشکنی

آماده سازی:
- اخذ داده: در ابتدا با استفاده از عکسبرداری هوایی
- تشکیل بلوک
- طراحی ساختار نقاط کنترل زمینی (جمع آوری داده‌های GCPs با استفاده از GPS، نقشه‌های موجود نقشه برداری)

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

مشاهدات عکسی نقاط دهدتصاویر ← نقاط کنترل زمینی

نقاط گرهی ← Tie points / pass points

فقط مختصات عکسی را داریم.

مرحله‌ی آماده سازی قبل از سرشکنی بلوک:

۱- کار زمینی برای طراحی نقاط کنترل و آماده سازی آن ها

۲- کار عکسی برای رسیدن به مختصات نقاط گرهی روی عکس و مختصات عکسی نقاط کنترل

سرشکنی بلوک به روش دسته ای که: لازم به تذکر است که در اینجا مختصات عکسی قبل از ورود

به محاسبات سرشکنی باید پالایش شوند و فقط خطای تصادفی داشته باشند.

پالایش تصویر از رفع خطاهای سیستماتیک (که دارای اندازه و جهت اند)

برای کاهش خطاهای تصادفی لازم به تکرار اندازه گیری هاست و تکرار مشاهدات و میانگین

گرفتن از آن ها داریم و محاسبات سرشکنی کنیم.

Blunder detection and Correction

اگر مشاهده ای از 3σ خارج بود یا باید حذف شود یا دوباره اندازه گیری شود، پس

تصحیح اشتباهات و خطاها را داریم.

Accuracy assessment: ارزیابی دقت

YEAR: MONTH: DATE:

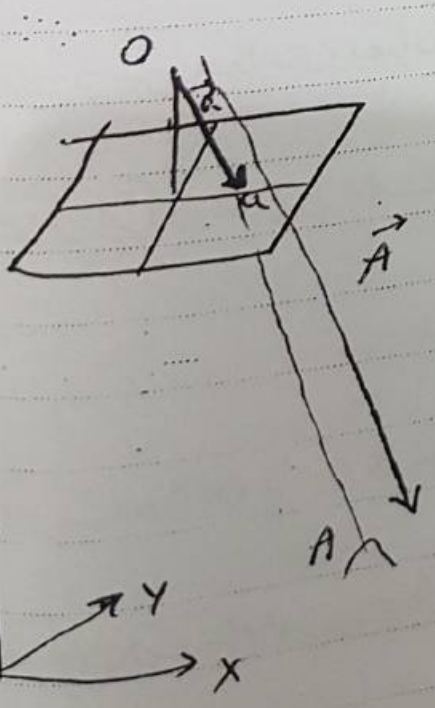
با استفاده از ماتریس دوران می‌توان کوارپانس نقاط پس از دوران را محاسبه کرد و سپس ترفیق از آن را بدست آورد.

راه دوم استفاده از نقاط چک است که این نقاط مختصات زمینی و عکسی معلوم دارند و چون در محاسبات سرشکنی دخالت می‌کنند، با استفاده از نقاط کنترل دوباره برای آن‌ها مختصات زمینی به دست می‌آوریم و اختلاف بین این دو rmse را محاسبه می‌کنیم.

سرشکنی به روش دسته اشعه: سرشکنی به روش کمترین مربعات تمام دسته اشعه‌ها به تمام مراکز تصویر منفرد با بازیابی همزمان عناصر توجیه خارجی تمام عکس‌ها و مختصات زمینی تمام عکس‌ها می‌گوید.

در این روش مهم‌ترین معادله‌ای که داریم، معادله‌ی شرط هم‌خطی است که اساس سرشکنی به روش دسته اشعه است.

$$\vec{a} = \lambda \vec{A}$$



$$\vec{a} = \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{pmatrix} \qquad \vec{A} = \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}$$

In Image Space — In object space

یعنی مرکز تصویر، نقطه‌ی عکسی و نقطه‌ی زمینی روی یک خط راست واقع‌اند.

در تعریف این بردارها در سیستم دورانی،

$$\begin{pmatrix} x-x_0 \\ y-y_0 \\ -c \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ & & \\ & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X-X_0 \\ Y-Y_0 \\ Z-Z_0 \end{pmatrix} \qquad r_{ij} = r_{ij}(\omega, \varphi, \kappa)$$

با ماتریس Rodrigues را در نظر گرفته که به ω و φ و κ وابسته باشد.

برای حذف λ، عبارت اول و دوم را تقسیم بر عبارت سوم می کنند.

$$F_x = x - x_0 + c\,\frac{r_{11}(X-X_0) + r_{12}(Y-Y_0) + r_{13}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0) + r_{32}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} = 0$$

$$F_y = y - y_0 + c\,\frac{r_{21}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{23}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0) + r_{32}(Y-Y_0) + r_{13}(Z-Z_0)} = 0$$

انواع عنصر یا در این خطا: 1) عناصر توجیه داخلی (x_0 و y_0 و c)

این نا به دو روش قبیه می شوند: ← مقادیر آزمایشگاهی: به صورت کالیبره شده می دهند.

2) عناصر توجیه خارجی (X_0 و Y_0 و Z_0 و ω و φ و κ)

3) X و Y و Z: مختصات زمینی نقطه مورد نظر

4) x و y: مختصات عکسی که مشاهدات هستند و با دقت شخصی اندازه گیری می شوند

5) K_y: در دوربین های رقومی Scanning در دو جهت x و y یکسان انجام می شود و فاصله c کانونی در دو جهت فرق می کند، بنابراین K_y برابر یک نیست ولی در دوربین های

DATA

YEAR: MONTH: DATE:

کاملاً برابر صفر است. x_0 را جزء عناصر توجیه داخلی در نظر بگیرید

* این معادلات کاملاً برابر صفر نیستند و یک تفاوت کمی دارند که منجر به حل و سرشکنی آن ها می‌شود.

* شکل معادلات شرط هم خطی: این معادلات به دلیل وجود پارامترهای دورانی ($\sin\varphi$ $\cos\omega$ و ...) غیرخطی اند و باید به کمک تیلور خطی سازی شوند

ترفیع فضایی (Space Resection)، اطلاعاتی که داریم. (ساده‌ترین کار در فوتو)

1- مختصات عکسی تماما، 2) مختصات زمینی نقاط معلوم، 3) به دنبال عناصر توجیه خارجی هستیم

هرجا شاهد داشته باشیم، معادله مشاهده خواهیم داشت.

در اینجا معادله مشاهده همان شرط هم خطی است که خطی شده است.

$$w_p = (-F_x, -F_y)^T$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial \omega} & \frac{\partial F_x}{\partial \varphi} & \cdots & \frac{\partial F_x}{\partial Z} \\ \frac{\partial F_y}{\partial \omega} & \cdots & \cdots & \frac{\partial F_y}{\partial Z} \end{bmatrix}$$

w_p ← بردار اختلافات برای نقاط عکسی

A_{EO} ← ماتریس طراحی برای عناصر توجیه خارجی

δ_{EO} ← بردار تصحیحات مجهولات

$$\delta_{EO} = (\delta\omega \ \delta\varphi \ \delta\kappa \ \delta X_0 \ \delta Y_0 \ \delta Z_0)^T$$

$$\delta_{EO} = (A_{EO}^T P_p A_{EO})^{-1} A_{EO}^T P_p w_p \qquad X_{EO}^n = X_{EO}^{n-1} + \delta_{EO}^{n-1}$$

با تکرار به جواب می‌رسید (چون غیرخطی است)

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

از دستگاه های سوتوگرافی و یا تحلیلی استفاده می کنیم تا وقت حدود 5-10 میگیرد

برای ماتریس دزن بریم. ماتریس A_{EO} برای هر نقطه 2x6

Cas II :

ترفیع فضایی و تقاطع به طور همزمان

1) مشاهدات عکسی (مختصات نقاط)، 2) مختصات معلوم یک سری نقاط (نقاط کنترل) 3) مختصات زمینی نقاط گرهی به عنوان مجهول، 4) عناصر توجیه خارجی.

از نظر تعداد ستون های ماتریس در حال تغییر است. (مشاهده شرط هم خطی تغییر نکرده)

A_s برای هر نقطه 2x3 (نقطه گرهی)

$$w_p = (A_{EO} \quad A_s)\begin{pmatrix}\delta_{EO}\\ \delta_s\end{pmatrix}$$

پس کلاً A برای هر نقطه 2x9 خواهد شد.

$$\begin{bmatrix}\delta_{EO}\\ \delta_s\end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix}A_{EO}^T\\ A_s^T\end{bmatrix} P_p \begin{bmatrix}A_{EO} & A_s\end{bmatrix}\right)^{-1}\begin{bmatrix}A_{EO}^T\\ A_s^T\end{bmatrix} P_p w_p$$

$$\begin{bmatrix}\delta_{EO}\\ \delta_s\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}A_{EO}^T P_p A_{EO} & A_{EO}^T P_p A_s\\ A_s^T P_p A_{EO} & A_s^T P_p A_s\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}A_{EO}^T\\ A_s^T\end{bmatrix} P_p w_p$$

Cas III :

باید توجه داشته باشیم نقاط کنترل ثابت و Fix نیستند و برای خطاهایی در محاسبه هستند

چون به هر حال این نقاط با استفاده از روش های نقشه برداری زمینی، GPS و ... به دست آمده و مختصات دارند و باید این خطاها را تاثیر دهد. یعنی نقاط کنترل دارای خطاهای

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

وزن دارهستند و تفاوت اصلی Case II با Case III در این است که نقاط کنترل به صورت مشاهده در نظر گرفته نمی‌شوند. بنابراین چون نقاط کنترل برای مشاهده‌ی اولیه و معادله اولیه با دقت خوبی هستند، معادلات مشاهدات آن‌ها به صورت پارامتریک خواهد بود $L=AX$ و چون A در اینجا برابر I می‌شود، خواهیم داشت $L=X$، پس برای هر نقطه سه معادله اضافه می‌شود.

$$f(X_i) = X_i^{observed} - X_i^{Unknown} = 0$$

$$f(Y_i) = Y_i^{observed} - Y_i^{Unknown} = 0$$

$$f(Z_i) = Z_i^{observed} - Z_i^{unknown} = 0$$

عناصر توجیه داخلی معلوم است.

چون معادله مشاهده اضافه می‌کنیم، نسبت به Case II سطر تغییر می‌کند.

$$\begin{pmatrix} A_{EO} & A_S \\ 0 & -I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_{EO} \\ \delta_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_p \\ w_s \end{pmatrix}$$

بردار اختلافات مربوط به نقاط کنترل

در اینجا مشتق نسبت به نقاط کنترل صفر شد.

$$\begin{bmatrix} \delta_{EO} \\ \delta_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{EO}^T P_p A_{EO} & A_{EO}^T P_p A_S \\ A_S^T P_p A_{EO} & A_S^T P_p A_S + P_S \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{EO}^T P_p w_p \\ A_S^T P_p w_p - P_S w_S \end{bmatrix}$$

اگر دقت نقاط کنترل بسیار خوب است، ماتریس وزن نقاط کنترل (P_S) را عدد بزرگی قرار می‌دهید اگر می‌خواهید آن را P_{ix} کنید، عدد بسیار بزرگی قرار می‌دهید و اگر دقت خوبی ندارید، وزن آن را کم می‌کنید و مثل نقاط گرهی برخورد می‌کنید.

YEAR: MONTH: DATE:

اگر در یک بلوک نقاط کنترل زیادی دارید و می خواهید یک سری از آن ها را به عنوان نقاط چک در نظر بگیرید و از آن ها برای ارزیابی دقت استفاده کنید، باید دقت نقاط چک را بسیار کم در نظر بگیرید تا تأثیری در محاسبات و ارزیابی دقت نداشته باشد.

مثال) فرض کنید مدل ما 60٪ پوشش و نوارها 25٪ پوشش داشته باشند در Case II که

عناصر ترجیح داخلی معلوم اند

△ نقطه کنترل زمینی کامل

X نقطه گره ای

مدل 2

مدل 2

مشاهدات عکسی: $(6+9+6) \times 2 \times 2 = 84$

مشاهدات زمینی: $4 \times 3 = 12$

مشاهدات = 96

مجهولات: $6 \times 6 + 15 \times 3 = 81$

$df = 96 - 81 = 15$

Case#4:

تحول عظیمی در این Case اتفاق افتاد و آن هم پردازش ورود GPS بود.

ما معمولاً شبکه های triangulation را در جاده ها و شبکه های سطحاتی را در منطقه کوه ها در نظر می گرفتیم (تا دید داشته باشیم) ولی حسن GPS در این است که هزینه محاسبات سربندی را می دهد.

(برشرط آن که منطقه قابلیت رؤیت توسط ماهواره را داشته باشد، مثلاً در داخل تونل نمی توانیم از

MONTH: DATE:

GPS استفاده کنیم.

در Case های قبلی ما به دنبال عناصر توجیه خارجی بودیم. در اینجا با در نظر گرفتن یک نقطه‌ی فضایی به عنوان مرکز تصویر و برقراری ارتباط بین تصویر و عکس در نظر گرفته و زمان بازسازی شاتر را هم در نظر بگیریم، X_0 و Y_0 و Z_0 را می‌دهد، و با قرار دادن آنتن ۲ دوم بال های هواپیما (۶ آنتن در کناری دو بال و یکی ته و یکی نوک هواپیما قرار دهیم) ω و φ و κ به دست می‌آیند، پس 6 معادله‌ی مشاهده خواهیم داشت.

$$g(X_0) = X_0^{observed} - X_0^{unknown} = 0$$

$$g(Y_0) = Y_0^{observed} - Y_0^{unknown} = 0$$

$$g(Z_0) = Z_0^{observed} - Z_0^{unknown} = 0$$

$$g(\omega) = \omega^{observed} - \omega^{unknown} = 0$$

$$g(\varphi) = \varphi^{observed} - \varphi^{unknown} = 0$$

$$g(\kappa) = \kappa^{observed} - \kappa^{unknown} = 0$$

نکته: مختصات آنتن مختصات مرکز تصویر نیست. دو شکل پیش می‌آید: یکی این که مثلاً GPS هر یک ثانیه یک بار یک ثانیه مختصات می‌دهد و در این حالت هواپیما (و یا آنتن) تغییر کرده و از مرکز تصویر چیزی بین این دو باشد، به زمان GPS ای بازسازی شاتر احتیاج داریم.

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

شکل دوم این است که بین آنتن و مرکز تصویر یک بردار ثابت وجود دارد که باید از بین برود

یعنی این دو برهم منطبق شوند.

نکته: GPS مختصات X_0 و Y_0 و Z_0 را با دقت خوبی می دهد، برای دانستن ω و φ و κ با دقت

بالا از INS استفاده می کنیم.

در این حالت حاکمین دزل عناصر توجیه خارجی اضافه می شود که اگر نباشد یعنی اشعه ها دارند

مرکز تصویر X_0 و Y_0 و Z_0 را مشخص می کنند و کاملاً مجهول است ولی اگر باشد یعنی یک

محدوده ای از مرکز تصویر داریم.

$$\begin{bmatrix} \delta_{EO} \\ \delta_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{EO}^T P_p A_{EO} + P_{EO} & A_{EO}^T P_p A_S \\ A_S^T P_p A_{EO} & A_S^T P_p A_S + P_S \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{EO}^T P_p w_p - P_{EO} w_{EO} \\ A_S^T P_p w_p - P_S w_S \end{bmatrix}$$

زمانی که مختصات یک نقطه ای کنترل دارای خطا شود، نباید به تمام شاهدهایی که با آن نقطه بسته شده اند

به آن دست بزنیم و شک کنیم، شاید تنها یک شاهده مثلاً طول اشتباه است. پس به جای این که شاهدات را با یک درصد آزادی سرشکن کرده و به مختصات تبدیل

کنیم، پس این مختصات را به مختصات دوربینی که غیر تأثیرگذاری ببریم، خود شاهدات را به

مشکل غیر تأثیرگذاری ببریم. یعنی شاهدات مربوط یک طول، زاویه، اختلاف ارتفاع و...

را از شبکه ی سطحاتی مختصاتی به شبکه ای غیر تأثیرگذاری ببریم که باعث ایجاد Case#5 می شود.

DATA

DATE:

Introducing Geodetic Measurments

Case#5

اضافه کردن دیران مشاهدات به مشاهدات متوجه ابتدای که توضیح داده شد

$$f = d_{ij} - \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 + (Z_j - Z_i)^2} \simeq 0$$

$$\begin{pmatrix} A_{EO} & A_S \\ 0 & -I \\ -I & 0 \\ 0 & A_G \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_{EO} \\ \delta_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_p \\ w_S \\ w_{EO} \\ w_G \end{pmatrix}$$

بردار اختلافات مشاهدات تقریبی

$$A_G = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial X_j} & \frac{\partial f}{\partial Y_j} & \frac{\partial f}{\partial Z_j} & \frac{\partial f}{\partial X_i} & \frac{\partial f}{\partial Y_i} & \frac{\partial f}{\partial Z_i} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta_{EO} \\ \delta_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{EO}^T P_p A_{EO} + P_{EO} & A_{EO}^T P_p A_S \\ A_S^T P_p A_{EO} & A_S^T P_p A_S + P_S + A_G^T P_G A_G \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{EO}^T P_p w_p - P_{EO} w_{EO} \\ A_S^T P_p w_p - P_S w_S - A_G^T P_G w_G \end{bmatrix}$$

Case#6

در Case های قبلی عناصر توجیه داخلی معلوم و Fix بودند. درحالیکه همیشه این طور نیست و در شرایط جوی مختلف و خاص این مقادیر صحیح نیستند. می توانیم مقادیری که برای x_p و y_p و f در فایل کالیبراسیون دوربین موجود است را به عنوان مقادیر اولیه در نظر گرفته و دوباره این δ را حساب کنیم، پس هم مجهول فرض می شود و هم مشاهده، یعنی هم افزایش ستون داریم و هم افزایش سطر. چون دوباره مقادیر توجیه داخلی محاسبه می شوند، اصطلاحاً به این سیستم می گویند Self-Calibration یعنی نرم افزار دوباره کالیبره می کند. این Case کامل ترین Case است.

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

تغییر اندکی در f باعث تغییر در بعد سوم (Z) می‌شود (با توجه به مقیاس)

پارامترهایی مثل انکسار، اعوجاجات، کروماتیسیته و ... به عنوان Additional Parameters در نظر گرفته می‌شوند.

$$\begin{bmatrix} A_{E0} & A_S & A_{I0} \\ 0 & -I & 0 \\ -I & 0 & 0 \\ 0 & A_G & 0 \\ 0 & 0 & -I \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \delta_{E0} \\ \delta_S \\ \delta_{I0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_P \\ w_S \\ w_{E0} \\ w_G \\ w_{I0} \end{pmatrix}$$

بردار اختلافات عناصر توجیه داخلی

www.Engclubs.net

اگر دوربین متریک باشد، برای کل عکس یک سری عناصر توجیه داخلی به عنوان مجهول داریم ولی

اگر غیر متریک باشد، برای هر عکس یک سری عناصر توجیه داخلی مجهول‌اند.

طراحی نقاط کنترل: مدلی در فضا به صورت خلق داریم، برای این که این مدل (که قبلاً توجیه نسبی شده) به سیستم زمینی آورده شود، به 7 پارامتر نیاز داریم (3 انتقال، 3 دوران، 1 مقیاس)

مدل متوتراتری مدلی است که در دستگاه دلخواهی به هر روشی توجیه شده است. اولین کار منطبق کردن مرکز عکس است. اگر 2 نقطه‌ی کنترل کامل سطحاتی یک کرتزامی داشته باشیم، می‌توانیم سر شکنی کنیم. حتماً باید با 2 سطحاتی و 3 کرتزامی باشد برای یک مدل.

بلوک متوتراتری تشکیل شده از n مدل که با هم پوشش دارند.

اگر n مدل داشته باشیم، 3n نقطه‌ی کنترل داریم و بهترین تست را برای پروژه اجبار کردیم و این تست فراتر از حد نیاز است. پس باید تعدادی نقطه‌ی کنترل طراحی کنیم که تست

DATA

YEAR: MONTH: DATE:

مناسب به ما بدهد، باید بدانیم چه تعداد نقطه‌ی کنترل و بر اساس چه معیاری ایجاد کنیم.
یعنی نقاط کنترل زیاد، دقت اضافی و کار زیادی می‌برد و کار زمینی هزینه بر است. لذا از
مثلث‌بندی هوایی استفاده می‌کنیم. مثلث‌بندی هوایی با تعداد محدود نقاط کنترل برای کلیه
مدل‌ها نقطه کنترل ایجاد کنیم.

نقاط کنترل سه‌دنیاز برای سه هدف زیر ایجاد می‌شوند:

1) ارتباط بین سیستم مختصات عکس و زمینی

2) شبکه از نظر هندسی ثابت باشد (برای ایجاد یک ثبات هندسی در بلوک فتوگرامتری)

3) کنترل کردن انتشار خطاها در داخل بلوک (مثلاً در پیمایش باز شبکه کنترل نمی‌شود مگر
این که در فاصله‌ای خاص GCP در نظر بگیریم / باید شبکه صحیح باشد، گاه زمین لغزش
می‌شود مثلاً به جای اصفهان به پست سمنان می‌رود)

برای ثبات هندسی در بلوک: شبکه باید مستوله و پایدار باشد و به راحتی جابجا نشود
تعداد عکس پرواز ← نوار، پروژه، دقت و کیفیت نقاط کنترل که در داخل بلوک
در نظر می‌گیریم.

** نقطه کنترل سطحاتی: اطراف بلوک؟

نقطه کنترل ارتفاعی: در داخل بلوک؟ (متراکم در داخل بلوک)

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

زیرا شکل‌ها در متوگرامتری نقاط ارتفاعی است، نه داخل بلوک. به کنترل سطحاتی نیاز نداریم

زیرا نقاط ترمی شکله را می‌بندند و کار کنترل سطحاتی را انجام می‌دهند.

طراحی نقاط کنترل: 1) برای نقشه‌های کوچک و متوسط مقیاس

2) برای نقشه‌های بزرگ مقیاس و تعیین نقطه (مقیاس 1:1)

نقشه‌های کوچک مقیاس: $\frac{1}{250000}$ ، $\frac{1}{100000}$ و $\frac{1}{50000}$ (25000 به بالا)

" متوسط " : $\frac{1}{25000}$ ، $\frac{1}{10000}$

تمت تعیین نقطه در عکاسی هوایی ها استفاده می شود. (با مقیاس 1:1)

طراحی روی مقیاس نقشه خواهد بود و مقیاس نقشه در بالا ذکر شد.

برای نقاط سطحاتی: طراحی براساس B (باز عکسی: فاصله‌ی بین دو مرکز تصویر) صورت می‌گیرد.

برای نقشه‌های کوچک مقیاس 10-8 باز عکسی در نظر می‌گیرند. (مثلاً اگر این جا نقطه‌ای کنترل گرفتیم، 10-8 تا باز می‌ری جلو تا به کنترل بعدی برسی)

برای نقاط ارتفاعی دو نکته مهم است:

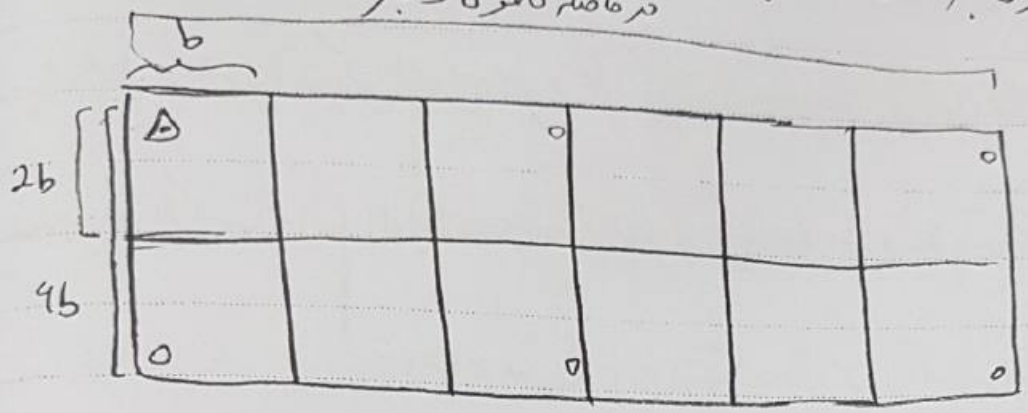
1) فاصله در مسیر پرواز: فاصله‌ی 8-6 باز عکسی (8-6 طول در عرض)

2) در مسیر عمود بر مسیر پرواز: فاصله‌ی 6 باز عکسی کلاً از نخیره اول و آخر در طول باز هستند.

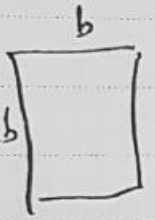
DATA

YEAR: MONTH: DATE:

در حالت عادی یعنی پوشش طولی کنار و عرض 30٪ در فاصله ی طولی ط باز



نکته: 1) چون در توپوشر ی بلوک حتماً باید نقطه ی کنترل بگیری، حتی اگر تا آخر 2b مانده بود هم در توپوشر یک نقطه ی کنترل می گیریم. برای مرحله (با فرض پوشش 30, 60)



2) در شکستگی ها حتماً باید نقطه ی کنترل بگیریم.

مواردی که گفته شد برای نقشه های کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس.

نقشه های بزرگ مقیاس: $\frac{1}{500}$ ، $\frac{1}{2000}$ ، $\frac{1}{5000}$

** $\frac{1}{10000}$ می تواند بزرگ مقیاس شود، اما بیشتر در متوسط مقیاس است.

** کارهای اجرایی روی نقشه های بزرگ مقیاس.

در تقاطعی: برای هر 2 طول باز یک نقطه ی کنترل سطحی

در تقاطع: در جهت پرواز: 1 طول باز

عمود بر مسیر پرواز: 2 طول باز

* در نقشه های کوچک و متوسط مقیاس در حالت Vertical ذخیره ی ابتدایی و انتهایی 2

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

طول باز در نظر گرفته می شود برای استحکام. یعنی زغیره ۵ اول و آخر مانند بزرگ سیاس عمل می شود

برای کاهش تعداد نقاط کنترل کرتفاعی :

۱) تغییر پارامترهای پرولز: مثلاً افزایش پوشش عرضی از 30 به 60 که باعث می شود نقاط کنترلی زیاد شود و نقاط مراکز تصویر هم در عکس ها جزو منطقه ی پوشش داده باشند.

دقت ی آزادی بالایی برد کرد می توانیم ٪25 مقیاس عکسبرداری مثلاً از $\frac{1}{5000}$ به جای $\frac{1}{4000}$ استفاده شود یعنی چون تولرهای بیشتری در منطقه ایجاد می کند، حدود ٪25 دقت بیشتر می شود. این ٪25 دقت اضافه را می توان به دقت مقیاس منتقل کرد.

هرچه کرتفاع پرولز را بیشتر می کنیم، مقیاس ↓، طول باز ↑ و چون طول باز ↑ تعداد نقاط کنترل کرتفاعی که حالا مثلاً 2b بوده ↓ می شود

۲) پوشش جلو و عانز منطقه از نظر عکسبرداری ۱ عکسبرداری را چند بار کز منطقه انجام دهیم دقت ی آزادی 2 برابر دقت ٪40 افزایش می یابد: بنابراین می توان مقیاس عکسبرداری را ٪40 کوچک کرد. تغییر مقیاس 2 باید تا حدی باشد که حداقل در تشخیص نقطه ایجاد نکند یعنی باید دقت کنیم اثر کرتفاع پرولز را تغییر دهیم تا مقیاس کوچک شود، تا حدی باشد که نقطه ی زمینی دیده شود. بنابراین اگر می توانیم مثلاً 4 بار عکسبرداری می کنیم، می شود

DATA

YEAR: MONTH: DATE:

گفت بهتر است، با افزایش دقت، میانگین ↓، ارتفاع ↑، باز ↑ ← تعداد ↓

3) اندازه گیری عناصر توجیه خارجی در لحظه‌ای پرواز و استفاده از آن به عنوان نقاط کنترل.

برای به دست آوردن مقادیر EOP

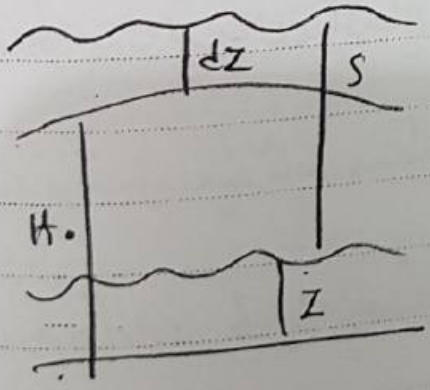
روش های ایجاد شده جهت اندازه‌گیری عناصر توجیه خارجی (EOP):

1) استاتوسکوپ: اولین دستگاه استاتوسکوپ (statoscope) بوده که مختصات ارتفاعی ایستگاه (Z مرکز تصویر) را اندازه‌گیری می‌کرد $Z_{\text{مرکز تصویر}} = H_0 + dz$

(H_0 را داشت، dz را اندازه می‌گرفت و Z را به دست می‌آورد)

در واقع نقاط کنترل ارتفاعی به مرکز تصویر منتقل می‌شوند. Isobaric Surface

2) تلفیق استاتوسکوپ با دستگاهی که دوم لحظه‌ای می‌توانست فاصله را با زمین اندازه‌گیری کند (فاصله‌ی S)، (APR) Airborn Profiler Recorder



$Z = H_0 + dz - S$

یک پروفیل ارتفاعی در مسیر حرکت در پرواز هوایی ترسیم می‌شد.

باید نقطه‌ای روی پروفیل را به نقطه‌ای روی عکس منتقل می‌کردیم.

و Z کنترل زمینی ایجاد می‌شود

اما دقت این دستگاه کافی نبود

3) اطلاعات رادیوها: بسیار مفید بود. نقاط در ارتفاع پرواز طرای ارتفاع ثابتی هستند

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

(Z ثابت دارند) یعنی بین دو نقطه اطراف دریا هیچ اختلاف ارتفاع صفر است ($\Delta h = 0$)

و آب‌های آزاد بودکه (Z_{ss} = ارتفاع زمینی)

۶) سیستم GPS : هدف از سیستم تعیین موقعیت مکانی امور نظامی بود که نقشه برداری نیز

استفاده‌ی بسیاری از آن کرد. ناوبری پرواز را دقیق کرد، شبکه‌بندی را بهبود بخشید و

موقعیت زمینی مرکز ثقل زمین به دست می‌آید، یعنی 3 عنصر EOP حل می‌شود، حال باید دوران‌ها

هم اندازه‌گیری شوند که با IMU و ژیروسکوپ و GPS و INS تعیین می‌شوند (INS

دوران‌ها را محاسبه می‌کند.

معادله حرکت را که می‌آورد از ژیروسکوپ و شتاب‌سنج تشکیل شده) که چون هزینه‌ی این

روش‌ها بالاست معمولاً ترجیح داده می‌شود که از خود محاسبات، ω و φ و κ را به دست آورد.

* اگر به مرحله‌ای برسیم که سیستم‌های IMU و INS با هزینه‌ی مناسب موقعیت عناصر

دوران را در اختیار ما بگذارند، نیازی به نقطه‌ی کنترل نخواهیم داشت.

* اگر بخواهیم شبکه‌بندی حذف شود، می‌توانیم عناصر دوران را با ژیروسکوپ، INS و

IMU به دست آوریم که در مقایسه با GPS بسیار گران قیمت است.

* پس اگر IMU و GPS عناصر را با دقت خوبی در اختیار ما بگذارند، دیگر نیازی به نقطه‌ی کنترل

نداریم.

* یعنی ما از GPS فقط برای محاسبه‌ی X و Y و Z مرکز تصویر استفاده می‌کنیم.

Subject
YEAR: MONTH: DATE:

سرشکنی به روش دسته ای (سلف کالیبراسیون) Bundle Block Adjustment (Self-Calibration)

کامل ترین case 6 ، case می باشد که قبلاً بررسی کردیم. برای رعایت سینی جابجایی پل صاف عوارض و جابجایی آنتن ها عوارض.

آخرین که اهمیت دارد، دوربینی مورد استفاده می باشد که دوربین متریکی نیست و باید در محاسبات سرشکنی هزینه ی بیش تری در نظر بگیریم (case سلف کالیبراسیون)، یعنی سیستم خودش را کالیبره می کند، یعنی پارامترهای دوربین به دست می آید. درصورتی که در case های قبل ثابت در نظر گرفته می شد. مورد بعد؟ حداقل نقاط و می نیمم نقاط کنترل. در این case به تمام پارامترهای شرط هم خطی عدم اطمینان داریم و تمام پارامترها باید محاسبه شوند. برای یک دوربین عناصر توجیه داخلی و پارامترهای اضافی تعریف می شود.

قبلاً اثر ناشی از اعوجاجات لنز، انکسار، کرویت، تغییر بعد فیلم و ... را عنوان خطای سیستماتیک در کرده و حذف می کردیم. ممکن است براساس استفاده از فرمول های تجربی باز هم خطا داشته باشیم، باقی مانده ی خطاها (مانند انکسار و ...) ممکن است وجود داشته باشد در Self-Calibration علاوه بر پارامترهای توجیه داخلی، پارامترهای اضافی یعنی خطاهای باقی مانده را نیز حذف می کنیم. به این ترتیب خطاهای باقی مانده روی مشاهدات حذف می شوند. پارامترهای شرط هم خطی به مدل شرط هم خطی اعمال می شود.

Subject:..... Date:.....

$$x_i - x_0 + \Delta x_p = -c \frac{m_{11}(X_i - X_0) + m_{12}(Y_i - Y_0) + m_{13}(Z_i - Z_0)}{}$$

$$y_i - y_0 + \Delta y_p = -c K_y$$

Δy_p, Δx_p به دلیل پارامترهای اضافی، دچار تغییر می شوند، در حالی که در حالت های قبل

هیچ دچار تغییر می شدند. و بیش تر زمانی سراغ آن است که فتوگرامتری برد کوتاه و دقت بین

غیر متریک باشد.

برای مدل کردن دو حالت داریم:

۱) تعداد پارامترها می تواند زیاد باشد، اگر بیش از حد باشد دچار مشکل محاسباتی می شویم.

پارامترها طوری باید انتخاب شوند که وابستگی کم و اندک باشند. چون اگر وابستگی زیاد

باشد، ماتریس Singular می شود (یعنی ترمال سطر و ستون ضریبی از سطر و ستون

دیگر باشند)

روش برای مدل کردن این پارامترها:

۱) مدل فیزیکی: رفتار تک تک خطاها را می دانیم. مثلاً خطای شعاعی لنز دیستورشن

Subject: Date:

Polynomial تبعیت می کند. یعنی در مدل فیزیکی می دانیم، رفتار خطا به صورت است.

و هر بخش از خطای کل سیستماتیکی که داریم، مربوط به هر خطایی است.

$$\Delta x_p = dr_x + dp_x + dj_x$$

مثلاً در اعوجاجات شعاعی متقارن داریم:

$$dr = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7$$

$$dr_x = \frac{(x-x_0)}{r} dr = (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)(x-x_0)$$

$$dr_y = \frac{(y-y_0)}{r} dr = (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)(y-y_0)$$

K_0 به علت وابستگی به پارامترهای توجیه داخلی (مخصوصاً فاصله کانونی f) حذف شده است.

هر چه به مرکز عکس نزدیکتر شویم (r کمتر شود)، خطا کمتر می شود.

- اگر دو بین غیر متحرک باشد، به ازای هر عکسی که می گیریم و Param ای که داریم، 7 پارامتر مجهول به مجهولات اضافه می شوند، علاوه بر پارامترهای توجیه داخلی.

- اگر از دو بین متحرک استفاده شود، از پارامترهای اضافی صرف نظر شده و فقط پارامترهای توجیه داخلی را خواهیم داشت.

Subject:

۲- مدل ریاضی: در این مدل چند جمله‌ای که استفاده می‌کنیم، معادلات نمی‌توانند به صورت خطی

بگویند، این قسمت مربوط به ارتفاع، این قسمت برای کوپله و ... است. یعنی در این روش، مقدار

خطاها را به صورت جزء به جزء نداریم و یک رابطه برای کل خطاهای سیستماتیک در نظر گرفته می‌شود

$$T = a_{00} + a_{11}\cos\lambda + b_{11}\sin\lambda + a_{20}r + a_{22}r\cos^2\lambda + b_{22}r\sin 2\lambda + a_{31}r^2\cos\lambda$$

$$+ b_{31}r^2\sin\lambda + a_{33}\cos 3\lambda + b_{33}\sin 3\lambda + \cdots$$ نمونه‌ای از یک چند جمله‌ای

اگر در مدل فیزیکی می‌توان رفتار خطا را به صورت جزء به جزء و مجزا بررسی کرد

در واقع در مدل ریاضی یک چند جمله‌ای را به کل خطاهای سیستماتیک برازش می‌دهیم.

از نقطه نظر کاربردی:

مهم‌ترین کاربرد عکس‌برداری تولید نقشه است و از عکس‌برداری هوایی برای آن بیش‌تر استفاده

می‌شود

Date:

در کاربرد اول معمولاً دوربین ثابت و متحرک بوده (رنگی یا غیر رنگی) بنابراین فاصله‌ی کانونی کالیبره

شده و نیازی به آن نداریم. برای حذف کردن عناصر توجیه داخلی (فاصله کانونی و ---) از

سلف کالیبراسیون (self calibration) استفاده می‌کنیم. بنابراین برای تمام عکس‌ها یک سیستم مختصات

در نظر می‌گیریم. (block invariant)

در فتوگرامتری نزدیک و نیز دوربین متحرک غیر متریک چون گران قیمت اند. می‌توانند کاربردهای

متفاوتی داشته باشند، مثل صنعت، عمرانی، باستان شناسی، پزشکی و ... در این حالت

بلوک نسبت به پارامترهای توجیه داخلی متغیری شود (block variant).

در این حالت هندسی شکل و مدل عکسبرداری بسیار مهم است. اگر شرایط را نرمال در نظر بگیریم

و ... علاوه بر این که وابستگی پارامترهای اضافی را شامل می‌شود، هندسی عکسبرداری به هم

می‌ریزد و نیاز است در اطراف نقاط کنترل بیش‌تر شود. برای حل آن می‌توانیم دوربین را به گونه‌ای

در نظر بگیریم که به صورت همزاد عکسبرداری کند، تا پوشش‌ها بیش‌تر شود.

چون دوربین در این حالت غیر متریک است، نیاز به شبکه‌های قوی در این حالت داریم.

Subject:

یعنی در این حالت دیگر w_1 و w_2 صفر نباشند.

تمام Case هایی که داشتیم برابری شامل شرط هم خطی بود و کل کیس بندی کلیلی را شامل می شد. یعنی اثر عکس به زمین می رویم (حالت اول)

حالت دوم: ابتدا اثر عکس به مدل و سپس از مدل به زمین برویم، یعنی شامل برهمای مدل شود که اصطلاحاً به آن Camera Pose می گوییم. (مبنا: مدل است)

مراحل: در ابتدا باید توجیه نسبی کنیم (خطای پارالاکس ها از بین رود)، سپس شامل مدل را در هر نقطه ای تنها ده کنیم. توجیه نسبی هر مدل به طور مستقل انجام می شود و مختصات نقاط برای هر مدل به صورت مستقل به دست می آید. مثلاً عکس اول و دوم ← مدل 1، سپس عکس دوم و سوم ← مدل 2.

دو روش برای توجیه نسبی:

1) استاکی: در این روش ما دو عکس را نظر می گیریم و فاصله ی کانونی معرفی می کنیم (تقاطع اشعه ها) و با برخاندن پیچ ها هر کدام نقطه پارالاکس را برطرف می کنیم و یا نقطه ی آن را چک می کنیم.

Date:

12 تکمیلی، یعنی به صورت راضی باشد و لا با استفاده از شرط مم صفحه‌ای،

3D conformal : بهترین مدلی که برای انتقال مختصات در فضای مدل به فضای زمین استفاده

می‌کنیم کانفرمال سه بعدی است که دارای 7 پارامتر است. $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa, \lambda$

$$\begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}_{model}$$

(مختصات زمینی نقطه) (مرکز سیستم مدل (نه مرکز تصویر)) (دوران) (مقیاس)

به این دلیل تبدیل تکمیلی است که مدل را به صورت فیزیکی تشکیل می‌دهیم.

Special case : Anblock-Adjustment

در این حالت ارتفاع را در نظر نمی‌گیریم و هدف آن تولید مختصات سطحی دو بعدی است

و جایی کاربرد دارد که نیاز به مختصات ارتفاعی دقت ارتفاعی ندارید. از حالت سه بعدی مدل بالا

Z را کنار می‌گذاریم، به حالت دو بعدی زیر می‌رسیم:

$$\begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\kappa & \sin\kappa \\ -\sin\kappa & \cos\kappa \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} X_i - X_0 = \lambda\cos\kappa x_i - \lambda\sin\kappa y_i \\ Y_i - Y_0 = \lambda\sin\kappa x_i + \lambda\cos\kappa y_i \end{cases} \quad \begin{cases} \lambda\cos\kappa = a \\ \lambda\sin\kappa = b \end{cases} (*)$$

R فقط به κ بستگی دارد.

Subject:..... Date:.....

می‌توان با در نظر گرفتن رابطه‌ی ⊛ رابطه را حفظ کرد.

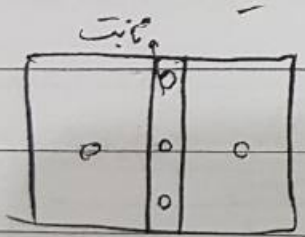
بنابراین ما در مدل این پارامترها را داریم.

ویژگی‌ها:

1) 7 parameters ⟶ 4 parameters (X_0, Y_0, θ, a, b)

نقاط همسایی در مقابل تبدیل بردن مدل مستقل هستند، یعنی این نقاط همان مراکز تصویر اند.

ما در این مدل‌ها با هم ۲۰٪ پوشش داریم. اگر در مدل را کنار هم داشته باشیم و حول محور y (که همان دوران ۶ است) دوران دهیم، نقاط مشترک در مدل تغییر نمی‌کند و ثابت اند ولی نقاط دیگر در مدل تغییر می‌کند، برای این که آن را Fix کنیم باید از یک نقطه استفاده کنیم، که آن نقطه مرکز تصویر است. پس علت استفاده از آن به دلیل خطایی است که ۵۶ ایجاد می‌کند.



توجیه نبی در طرفه، فقط از همان های دورانی استفاده می‌کنیم $(\omega_1, \varphi_1, K_1, \omega_2, \varphi_2, K_2)$ پس مراکز تصویر تغییر نمی‌کند و فقط مرکز تصویر ثابت است، یعنی یک بار گرایت مرکز تصویر برای تمام مدل‌ها کافیست.

Subject:.....

Date:.....

توجیه نمی تیم طرفه از اتصالات های w، g، k، bz، by استفاده می کنند که این by

ثابت نیت و باعث می شود مرتبا برای مرکز تقویر تراشت داشته باشیم.

* دلیل استفاده از نقاط کنترل ارتفاعی به دلیل خطای sw است.

از نقاط کنترل ارتفاعی نیز نوارها و نقاط مراکز تقویر نیز مثل آ استفاده می کنیم.

روش های تشخیص فعالیات مرکز تقویر:

1) مشاهده ی ستیم میله های فضایی: میله ی فضایی سمت چپ را عدد گرفته. xyz را

که تراشت می کنید، برای مرکز تقویر است، برای I هم با توجه به سلکت مشخص روی دستگاه

حساب می کنید. همین کار را برای میله ی فضایی سمت راست انجام می دهید. (به صورت manual)

2) مشاهدات یک دستگاه از نقاط: این دستگاه کالیبره شده و ما می دانیم فاصله ی بین نقاط

آن چقدر است، روی یک شیشه دستگاه بندی شده. این دستگاه ی شبکه را داخل دستگاه

گذاشتم، z را ثابت می کنید و فعالیات x را تراشت می کنید، فعالیاتی که تراشت می کنید مربوط

به میله است، فعالیات سطحاتی تغییر می کند ولی I برای همه ی نقاط ثابت است. شکل همان

Date:

Subject:

شرط هم خطی را در نظر می‌گیریم ولی به جای مختصات نرمالیزه نقاط، مختصات مدلی را جایگذاری می‌کنیم. در واقع مختصات عکسی را اندازه می‌گیریم و مختصات سطحی و Z ثابت را هم به عنوان مختصات مدلی در نظر می‌گیریم. در واقع فرض ما مختصات مدلی است چون سه بعدی است می‌توان از آن در شرط هم خطی استفاده کرد.

* نکته: در این حالت $\omega = \varphi = \kappa = 0$ استخراج برابر صفر است.

مختصات مدل با استفاده از روش حداقل و مختصات عکسی با استفاده از شبکه اندازه‌گیری می‌شوند.

* یک بار استفاده می‌کنیم برای هدی مدل که به شرطی که توجیه نسبی در حافظه باشد. (در هدی روش ها)

۳) روش ΔZ (اندازه‌گیری grid در دو صفحه):

مختصات سطحی یک نقطه را در صفحه B و Z ثابت (Z_B) در نظر می‌گیریم.

صفحه‌ی A با Z ثابت (Z_A) می‌خوانیم.

و با استفاده از تقاطع حل می‌کنیم.