

Тема 22. Дистанционни изследвания – същност и основни понятия.

22.1. Основни понятия. Характерни особености и основни задачи

22.2. Развитие и връзка с други дисциплини.

22.3. Основни радиометрични принципи.

2.22.1. Основни понятия. Характерни особености и основни задачи

Дистанционните изследвания са наука и изкуство за получаване на информация за обектите, областите и явленията чрез анализ на данните, получавани от прибори, които не са в пряк контакт с обектите, областите или явленията, които са обект на изследване.

В широк смисъл дори нашите очи функционират като сензори, които реагират на светлината отразена от страницата, която четем. Данните, получавани от човешките очи са импулси ,съответстващи на количеството светлина, отразена от тъмните и светли места от страницата. Получаваните данни се анализират или интерпретират от компютъра на нашето съзнание, което позволява тъмните места да се възприемат като букви, формиращи думите. Ние разпознаваме как думите формират изречения и интерпретираме информацията, която тези изречения съдържат.

Дистанционните изследвания могат да се третират като процес на четене. Използвайки различни сензори ние можем да набираме данни, които могат да бъдат анализирани за да се получи информация относно изследваните обекти, области и явления. Формата на набираните данни може да бъде различна: разпределение на напрежения, акустични вълни или електромагнитни вълни. Така например гравиметърът набира данни относно изменението и разпределението на силата на тежестта. Сонарът, като навигационен прибор измерва изменението и разпределението на акустичните вълни. Нашите очи улавят данните за изменението на електромагнитната енергия.

В тесен смисъл системите за дистанционни изследвания се основават на използването на сензори, регистриращи електромагнитна енергия от различни диапазони на спектъра, които са разположени на въздушни или космически носители, за да обслужват описанието, картирането и следенето на земните ресурси. Тези сензори получават данни въз основа на начина, по който характеристиките на (подстилящата) земната покривка излъчва или отразява електромагнитната енергия (в различни спектрални диапазони) и тези данни се анализират за да се осигури информацията относно изследваните ресурси.

На фиг. 11.1 са представен генерализирано процесите на и елементите при електромагнитното дистанционно изследване на земната повърхност. Двата основни процеса, които се обособяват са събиране на данни и анализ на данните.

Елементите на процеса на набиране на данни са източниците на енергия, преминаването (пропускането) на тази енергия през атмосферата, взаимодействието на енергията с характеристиките на елементите върху земната повърхност, обратното преминаване на енергията през атмосферата, въздушните или космически датчици, генериращи данни от сензора в цифрова форма или фото регистрация на изображението.

Същност на двата основни етапа:

1. Сензорите регистрират вариациите в начина, по който характерните елементи от земната повърхност отразяват или излъчват електромагнитната енергия.

2. Процесът на анализ на данните включва изследване на данните, използвайки различни устройства за визуално наблюдение и анализ на изображенията или компютърна обработка за анализ на цифровите данни.

Помощни компоненти на системата за обработка са справочните данни под формата на почвени карти, статистики на добивите и данни от полски наблюдения, които се включват за подпомагане на процеса на анализ. С помощта на справочните данни анализаторът извлича информацията относно типа, разпространението, нахождението и състоянието на различните ресурси за които сензорът събира информация. Тази информация тогава се преобразува основно във форма на хартиени копия на карти и таблици, или под формата на компютърни данни в слоевете от информацията на географска информационна система (ГИС). Окончателно тази информация се предоставя на различните потребители, за да обслужи процеса на вземане на решение в различни области на приложение.

Основните принципи лежащи в основата на процеса на дистанционните изследвания включват:

- основи на излъчването, разпространението и отражението на електромагнитната енергия;
- взаимодействието на тази енергия с характерните компоненти на земната повърхност;
- ролята на справочните данни в процеса на анализ.

Тези принципи оформят характеристиките на идеалната система за дистанционни изследвания. Наред с това се разглеждат ограниченията и модификациите, дължащи се на неидеалността на една реална система за дистанционни изследвания.

Окончателно се формулират основните концепции и сфери на приложение на данните при дистанционните изследвания.

2.22.2. Развитие и връзка с други дисциплини.

Исторически развитието на дистанционните изследвания започва от фотографската интерпретация, която е част от традиционната фотограмметрия. При нея дешифрирането се извършва върху монохроматични изображения, които са единични или стереоскопични. Методите на това дешифриране остават практически непроменени от откриването на фотографията от Нипс и Дагер и първите въздушни снимки през 1858г. до средата на 50-те години. При визуалното дешифриране основно се ползват дешифровъчните ключове. Дешифровъчните ключове представляват изображения на характерни участъци от земната повърхност с определен тип покривка, които са обозначени на снимките. Наред с фотографското представяне се ползва и таблично представяне на ключовите участъци, което съдържа описание на типа покривка, светлотата на тона, текстурата и други характеристики.

Действителното развитие на дистанционните изследвания започва през 50-те години и е свързано с изстрелването на първите изкуствени спътници на земята. Развитието в тази област се основава на три основни предпоставки:

използването на набори от изображения (много канални изображения (получавани в различни диапазони на електромагнитния спектър, изображения,

получени през определени интервали от време), основаващи се на използването на различни системи за регистрация на изображенията – различни сензори;

използването на различни носители на апаратурата – нисколетящи самолети, високолетящи самолети и космически летателни апарати;

прилагането на компютърни методи за обработка и анализ на получаваната информация.

Основна същност на интерпретацията при дистанционните изследвания е използването на принципа на мултиплицирането. Той се проявява по различен начин.

По отношение на източниците на информация:

снимки от различни станции – мозайка от изображения и стерео изображения;

многоканални изображения в различни диапазони на видимия и инфрачервена зона на спектъра;

изображения, получавани от друг тип сензори – активни каквито са лазерните и радиолокационните, радиолокатори със страничен обзор, със синтезируема апертура, термични и инфрачервени сензори;

изображения, получавани през определени интервали от време и включително през различни сезони;

изображения, получавани от носители, летящи на различна височина, респективно с различно разрешение и обхват;

изображения с различна поляризация на електромагнитните вълни и с различно направление на заснемане, респективно различен аспект спрямо обекта;

По отношение на обработката мултипликационният ефект се изразява в различни методи на обработка и анализ:

оптическа и фотографска обработка и подобряване;

визуална интерпретация и различни методи на визуализация;

компютърни методи за обработка – като подобряване, промяна на цветния тон, формиране на цветни изображения в различни цветове от естествените, формиране на псевдоцветени изображения, при които диапазони на различна градация се заменят с различни контрастни цветове;

компютърни методи за сегментация и класификация на изображенията.

По отношение на областите на приложение имаме мултидисциплинарно анализиране и използване на данните от дистанционните изследвания, което съществено повишава както качеството, а така също и икономическата ефективност на приложенията.

- комплексен анализ на основата на съчетаване на анализа на специалисти от различни области – като горско, селко-стопанско, геоложко, хидроложко, почвен и земеползване;
- мултитематично представяне на резултатите от анализа – аналогично на горните области – гори, хидрология, геология, почви, земеползване
- Различна употреба на една и съща тематична карта – видимост за откриване на пожари, оптимални трасета на пътища, оптимални трасета за пресичане на пожари, оптимални трасета за стрелба за военни цели или на видимост за телекомуникации.

2.28.3. Връзка с други научни направления

Съгласно ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing)

Фотограмметрия – изкуство, наука и технология за получаване на надеждна информация за физическите обекти и околната среда чрез процесите на запис, измерване и интерпретация на изображения и образи чрез електромагнитна енергия и други явления. За специфичните направления на фотограмметрията виж – аналитична фотограмметрия, близкообхватна фотограмметрия.

Дистанционни изследвания в широк смисъл е измерването и получаването на информация за някои свойства на обектите и явленията, чрез устройство, което не е в пряк физически контакт с обекта на изследване. Приложение от разстояние самолет, кораб, спътник, чрез получаване на специфична енергия от обекта – силово поле, електромагнитна енергия, акустична енергия. Технически такива устройства са технически приемни устройства са камера, лазер, радиоприемник, радарна система, сонар, сеизмометър, гражиметър, магнитометър, сцинтилационен брояч.

RS в тесен смисъл техника на събиране на данни в диапазона на електромагнитния спектър от ултравиолетовия до радио диапазона. В ограничен смисъл това покрива и въздушната фотография. В широк смисъл се покрива и област, която съответства на традиционната геофизика.

Термини на други езици:

Remote Sensing

Teledetection - френски

Fernerkundung - немски,

sensoriamento remoto – португалски

perception remota - spanish

дистанционное зондирование – руски.

Космическа – (Satellite Photogrammetry) – се различава от традиционната въздушна фотограмметрия по това че теорията и техниката на измерване се отнася до сензори, които се носят от космически носители като изхода е обикновено под формата на изображения и се ползват за определяне на координати на обекти на земята, луната и другите небесни тела. Тя бива двумерна и тримерна. Бива за изучаване на земята и за изучаване на планетите и спътниците

Фотограмметрия – фокусирана на геометрията

ДИ – фокусирана на интерпретацията визуална и компютърна

Фотограмметрия – геометрични и математически закони

ДИ – основава се на физически закони.

Връзка с други дисциплини

От фотограмметрична гледна точка дистанционните изследвания произхождат от дешифрирането. При дистанционните изследвания се разширява обхвата и видът на обработваната информация, което издига дешифрирането на качествено нов етап. Друго направление, с което ДИ са тясно свързани, е космическата фотограмметрия, но докато космическата фотограмметрия решава координатни задачи и задачи по набиране на метрична информация, то ДИ се занимават с получаването и обработката на качествена информация за обектите.

Теоретичните основи, на които почиват ДИ са: физика на атмосферата и отражателни характеристики на обектите, компютърно зрение, разпознаване на образи и обработка на изображения.

2.22.3. Основни радиометрични принципи.

Диапазони на електромагнитния спектър

0,1-0,4 мкм ултравиолетови

0,4-0,7 мкм вивдими

0,7-3,0 мкм блиака инфрачервена зона

7,0-30,0 далечна инфрачервена зона

Теория на излъчването

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \text{ мкм}$$

Атмосферно влияние

разсейване, поглъщане

Атмосферни прозорци

0 0,3-1,3

1 – 1,5-1,8

2 – 2,0-2,6

3 – 3,0-3,6

4 – 4,2-5,0

6 – 7,0 – 15,0

Отражателна способност на природните образувания

Коефициент на отражение

Направление на отражение

Коефициент на поглъщане

Тема 23. Носители на апаратура, координатни системи и орбити на космическите летателни апарати.

23.1. Носители на апаратура за регистриране на космически изображения.

23.2. Координатни системи, използвани при обработка на космическите изображения.

23.3. Видове орбити на космическите летателни апарати и връзката им с предназначението на носителите.

23.4. Космическа фототриангулация. Определяне на положението на КЛА по данни от космически снимки

23.1. Носители на апаратура за регистриране на космически изображения.

Техническите средства за Дистанционно изследване на Земята от Космоса осигуряват първата степен от процеса на Дистанционни изследвания. Те представляват съвкупност от следните системи:

- системи, регистриращи информацията за изучавания обект в определен вид и предаващи я на приемната станция;
- носители на съответната апаратура;
- средства за обработка на получаваната информация.

Системите, регистриращи информацията в определен вид могат да се подразделят на фотографащи и нефотографащи. Фотографащите системи формират на изхода си изображения независимо от вида на регистрираната постъпваща енергия. Нефотографащите системи не формират изображения.

Техническите средства се състоят от две компоненти:

- подсистема за регистриране на информацията;
- подсистема за първична обработка на информацията.

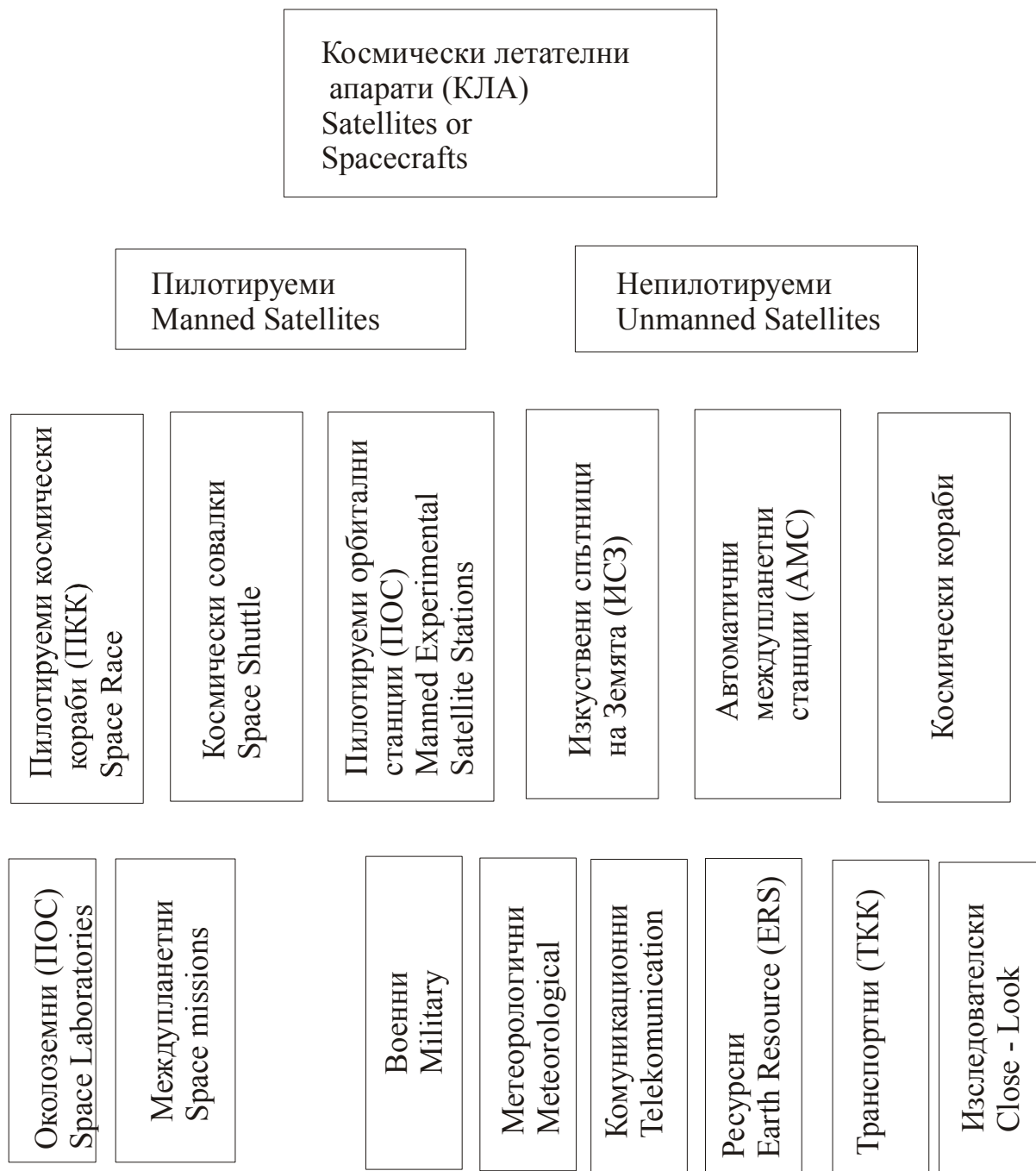
Подсистемата за получаване на информацията се състои от две части:

- носители на апаратурата - космически летателни апарати (КЛА);
- апаратура за регистриране на информацията.

23.1.1. Класификация на носителите на апаратурата

Носителите на апаратурата могат да се класифицират по различни показатели. При класификация по режима на функциониране те се подразделят на възвращаеми и невъзвращаеми. Възвращаемите могат да бъдат пилотируеми и непилотируеми, а пилотируемите биват за еднократно и многократно използване (космически кораби и космически совалки). Невъзвращаемите биват непилотируеми и пилотируеми. Непилотируемите биват изкуствени спътници на Земята (ИСЗ – Satellites), транспортни космически кораби (ТКК) и автоматични междупланетни станции (АМС). Пилотируемите са пилотируеми орбитални станции (ПОС). Космическите кораби (ПКК) според обхвата на действие се подразделят на околосемни и междупланетни (засега само до Луната).

Схемата на космическите летателни апарати е показана на фиг. 12.1



Фиг 23.1

Според своето предназначение ИСЗ се делят на военни, метеорологични, комуникационни и за изследване на природните ресурси. В някои случаи те са комбинирани. Това се отнася в най-голяма степен до пилотируемите КЛА. Друга класификация на КЛА е според траекторията на полета им. Те ще бъдат разгледани при класификацията на орбитите.

23.1.2. Преглед на някои основни космически програми

Космическите програми се развиват след изстрелването на първия ИСЗ на 4.10.1957г. Това са съветските ПМК “Восток” и “Союз”, американските “Меркурий” и “Джемини”. Междупланетна програма за изучаване на Луната е ПМК “Аполо”. Следващ етап са пилотируемите космически станции. Това са американските “SkyLab” и съветските “Салют”, които се обслужват от транспортните кораби “Прогрес”. Корабите за многократна употреба са американските “Space Shuttle” и руските “Буран”.

Автоматичните изкуствени спътници за изучаването на земните ресурси са от серията ERTS (Earth Resource Technology Satellite), които в последствие са преименувани на Landsat. Първото поколение са Landsat 1, 2, и 3, а второто поколение са 4 и 5, които носят сензора Thematic mapper (TM). Друга програма за изучаване на Земята е серията SPOT (Systeme Probatoire de l’Observation de la Terre). Японската програма MOS (Marine Observation Satellite) и ERS (Earth Resource Satellite). Друга програма това е Heat Capacity Mapping Mission (HCMM), която е част от серията AEM (Application Explorer Mission). Спътниците, които са оборудвани с радиолокационни сензори са Seasat на НАСА и ERS-1 (Earth Resource Satellite) на ESA (European Space Agency). Друг спътник е RadarSat на Канада.

Метеорологичните спътници са от сериите TIROS (Television and Infrared Satellite) на NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Друга група спътници са на геостационарна орбита от серията GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites). Други спътници са Meteosat на ESA. Друг геостационарен спътник е японският спътник Himawari. Съветските метеоролични спътници са от серията Космос и Метеор.

23.1.3. Системи за ориентация и стабилизация

- инерционна система (въртящо се колело);
- магнитни системи за ориентация;
- ориентация по местната вертикала – жирокопични, жироинерционни, гравитационни и аналитични системи.

Системи за стабилизация:

- течностни;
- електрореактивни.

Системи за ориентация:

- едноосна ориентация в системата $X_0Y_0Z_0$

- едноосна ориентация в системата $X*Y*Z*$

- триосна ориентация в системата $X_0Y_0Z_0$

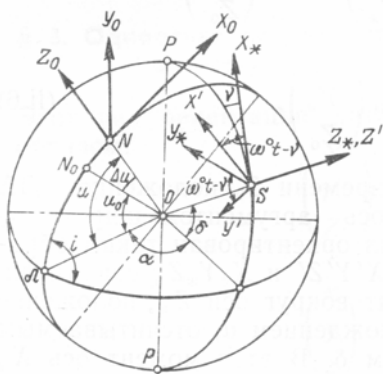
- триосна ориентация в системата $X*Y*Z*$

Видове орбити:

23.2. Координатни системи, използвани при обработка на космическите изображения.

23.2.1. Планетоцентрична координатна система

В общ случай геодезическата координатна система се дели на планетоцентрична сферична и планетоцентрична правоъгълна.



За да се премине от координатната система в орбитната равнина $\xi\eta\zeta$ и начало в точката O към геоцентричните координати се ползват зависимостите:

$$\xi = r \cdot \cos \vartheta$$

$$\eta = r \cdot \sin \vartheta$$

Координатите ξ, η са свързани с координатите X_0, Y_0, Z_0 чрез зависимостта

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \\ A_5 & A_6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}$$

където

$$A_1 = \cos \omega; \quad A_3 = \sin \omega \cdot \cos i; \quad A_5 = \sin \omega \cdot \sin i$$

$$A_2 = -\sin \omega; \quad A_4 = \cos \omega \cdot \cos i; \quad A_6 = \cos \omega \cdot \sin i$$

Планетоцентричната сферична координатна система се дефинира от дължина λ , ширина φ планетоцентричен радиус вектор R_p . Правоъгълните координати за същата точка са съответно X, Y, Z. Връзката между сферичните и правоъгълните координати са съответно:

$$X = R_p \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = R_p \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = R_p \cdot \sin \varphi$$

Приемайки Земята за сфера, то радиуса R не влияе на ширината φ .

$$\varphi = \arcsin[\sin(\omega + \vartheta) \cdot \sin i]$$

Отчитайки собственото въртене на Земята имаме

$$\lambda = \lambda_0 + \arctan[\tan(\omega + \vartheta) \cos i] - \omega_E \cdot (t - t_0)$$

където t_0 е моментът на преминаване през възходящия възел.

Ако се приеме, че движението е равномерно по кръгова орбита

$$\omega + \vartheta = (2\pi / T) \cdot (t - t_0)$$

Преходът от планетоцентрични координати за стандартна епоха OX1Y1Z1 за стандартна епоха към планетоцентрични координати OXYZ се осъществява по формулите:

$$\bar{R} = A_W \cdot A_\delta \cdot A_\alpha \cdot \bar{R}_1$$

или

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos W & \sin W & 0 \\ -\sin W & \cos W & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90^\circ - \delta) & \sin(90^\circ - \delta) \\ 0 & -\sin(90^\circ - \delta) & \cos(90^\circ - \delta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\alpha + 90^\circ) & \sin(\alpha + 90^\circ) & 0 \\ -\sin(\alpha + 90^\circ) & \cos(\alpha + 90^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

Ъглите за момента t се получават по следните зависимости:

$$\alpha = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot \sin(a_3 + a_4 \cdot T) + \dots$$

$$\delta = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot \cos(b_3 + b_4 \cdot T) + \dots$$

$$W = W_0 + \dot{W} + c_2 \cdot \sin(c_3 + c_4 \cdot T) + \dots$$

\dot{W} - ъглова скорост на въртене на планетата или спътника

където времето T се определя по юлианското ефемеридно време (дата)

$$T = \frac{JEDt - JEDT_j}{36525,0}$$

$$d = JEDt - JEDT_j$$

T – интервал от време в юлиански столетия от епохата T_j до датата t

d – интервал от време в ефемеридни денонощия от епохата T_j до датата t

В планетографична координатна система ширината φ' и дължината λ' и височината H .

$$\operatorname{tg} \varphi = \left(\frac{c}{a} \right)^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi' = (1 - e)^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi'$$

където $e = \frac{a-b}{a}$ полярно свиване (ексцентрицитет)

За дължините са в сила следните зависимости:

$$\lambda = 360^\circ - \lambda' \quad - \text{право въртене}$$

$$\lambda = \lambda' \quad - \text{обратно въртене}$$

23.2.2. Геоцентрична правоъгълна координатна система и географски координати

Преходът от географски в геоцентрични координати се извършва по известните зависимости:

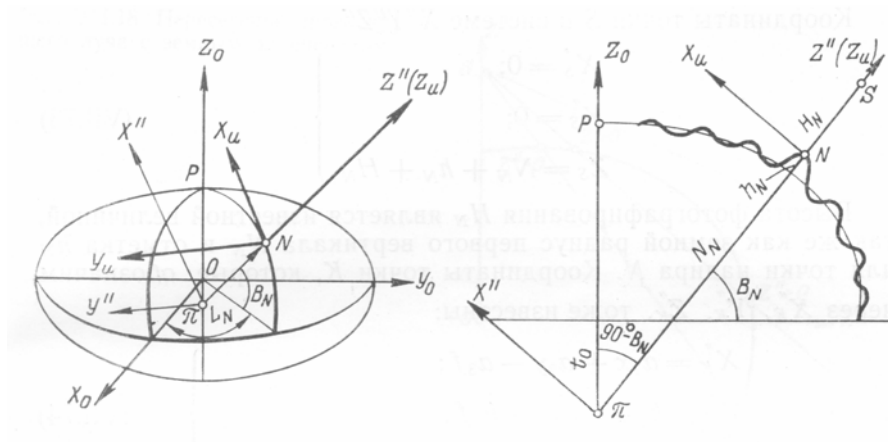
$$X_0 = (N + h) \cdot \cos B \cdot \cos L$$

$$Y_0 = (N + h) \cdot \cos B \cdot \sin L$$

$$Z_0 = [N(1 - e^2) + h] \cdot \sin B$$

където радиусът на кривина на първия вертикал се определя от зависимостта:

$$N = a(1 - e^2 \sin^2 B)^{-1/2}$$



Обратното решение от геоцентрични към полярни геодезически координати не е директно, а изисква итерации. Първоначално се намира дължината на радиус-вектора d .

$$d = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Дължината се определя от израза:

$$L = \arcsin \frac{Y}{d} = \arccos \frac{X}{d} = \arctan \frac{Y}{X}$$

За B и h първо се определя апроксимацията на $\tan B$

$$\tan B^{(0)} \approx \frac{Z}{d}$$

Извършва се итеративен цикъл за определяне на B по зависимостта:

$$\tan B^{(n+1)} = \frac{Z + Ne^2 \sin B^{(n)}}{d}$$

където N се определя от зависимостта:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B^{(n)}}}$$

Итерациите продължават докато B спре да се променя ($B^{(n+1)} = B^{(n)}$).

Стойността на h се определя от зависимостта:

$$h = \frac{d}{\cos B} - N$$

Преходът към топоцентрична координатна система с начало в надирната точка N се осъществява по зависимостта

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 + N_N e^2 \sin B_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ N_N \end{bmatrix}$$

При азимут u на оста X_i по отношение на меридиана през началото на топоцентричната система за коефициентите на трансформационната матрица се получават зависимостите

$$\begin{aligned}
r_{11} &= -\sin B_N \cos L_N \cos u - \sin L_N \sin u \\
r_{12} &= -\sin B_N \cos L_N \sin u + \sin L_N \cos u \\
r_{13} &= \cos B_N \cos L_N \\
r_{21} &= -\sin B_N \sin L_N \cos u + \cos L_N \sin u \\
r_{22} &= -\sin B_N \sin L_N \sin u + \cos L_N \cos u \\
r_{23} &= \cos B_N \sin L_N \\
r_{31} &= \cos B_N \cos u \\
r_{32} &= \cos B_N \sin u \\
r_{33} &= \sin B_N
\end{aligned}$$

Друга форма на представяне на тази трансформация е зависимостта:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = R \cdot \left\{ \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{bmatrix} \right\}$$

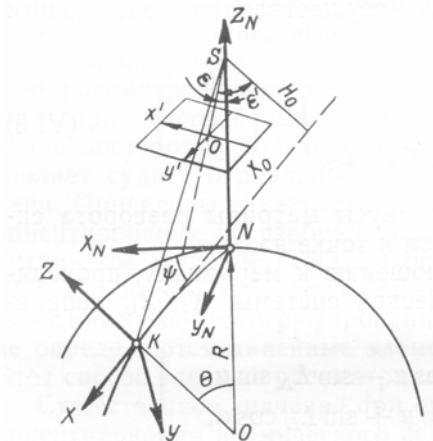
където матрицата R се дава от зависимостта:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin L & \cos L & 0 \\ -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix}$$

23.2.3. Геоцентрична полярна координатна система

23.2.4. Топоцентрична координатна система

Допирателната равнина на топоцентричната координатна система се определя от геоцентричното разстояние Θ , отчитано от местната вертикала, преминаваща през пръз надирната точка N и азимута ψ на вертикалата по отношение на равнината на главната вертикала. Оста X лежи в равнината на тази вертикала (KN) и е насочена в направление към N. Тази координатна система се попува уа iyîsleniq w okolnostta na to^kata K. Въвежда се топоцентрична координатна система, чието начало лежи в надирната точка N $X_N Y_N Z_N$.



Оста Z е насочена по направление на местната вертикала, оста XN лежи в равнината на главната вертикала. Елементите на ориентиране на снимката са определени в тази координатна система. Ако се приеме координатната система на космическата снимка $x'y'z'$, където x' лежи в равнината на главната вертикала. Матрицата на трансформация Π_N , която свързва $x'y'z' \Leftrightarrow X_N Y_N Z_N \Leftrightarrow XYZ$ има коефициенти

$$a_{11} = \cos \varepsilon \cos \psi \cos \theta - \sin \varepsilon \sin \theta$$

$$a_{12} = \sin \psi \cos \theta$$

$$a_{13} = -\sin \varepsilon \cos \psi \cos \theta - \cos \varepsilon \sin \theta$$

$$a_{21} = -\cos \varepsilon \sin \psi$$

$$a_{22} = \cos \psi$$

$$a_{23} = \sin \varepsilon \sin \psi$$

$$a_{31} = \cos \varepsilon \cos \psi \sin \theta + \sin \varepsilon \cos \theta$$

$$a_{32} = \sin \psi \sin \theta$$

$$a_{33} = -\sin \varepsilon \cos \psi \sin \theta + \cos \varepsilon \cos \theta$$

Ъгловите елементи на космическата снимка в координатната система XYZ се определят по зависимостите:

$$\cos \varepsilon' = -\sin \varepsilon \cos \psi \sin \theta + \cos \varepsilon \cos \theta$$

$$\operatorname{tg} \gamma' = -\frac{\sin \varepsilon \sin \psi}{\sin \varepsilon \cos \psi \cos \theta + \cos \varepsilon \sin \theta}$$

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{\sin \psi \sin \theta}{\cos \varepsilon \cos \psi \sin \theta + \sin \varepsilon \cos \theta}$$

или чрез зависимостите

$$\operatorname{tg} \alpha' = -\frac{\sin \varepsilon \cos \psi \cos \theta + \cos \varepsilon \sin \theta}{-\sin \varepsilon \cos \psi \sin \theta + \cos \varepsilon \cos \theta}$$

$$\sin \omega' = -\sin \varepsilon \sin \psi$$

$$\operatorname{tg} \chi' = -\operatorname{tg} \psi \cos \varepsilon$$

В системата XYZ линейните елементи на външното ориентиране се дават от зависимостите:

$$X_{(0)} = -(R + H) \sin \theta$$

$$Y_{(0)} = 0$$

$$Z_{(0)} = H_0 = (R + H) \cos \theta - R$$

където средният радиус на кривина се определя от меридианния радиус M и радиуса на главната вертикала N по зависимостта

$$R = \sqrt{M \cdot N}$$

Сферичните координати на точката K се определят по зависимостите

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{y' \cos \varepsilon}{x' + f \cdot \operatorname{tg} \varepsilon}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{(x' \cdot \cos \varepsilon + f \cdot \sin \varepsilon)^2 + y'^2}}{-x' \sin \varepsilon + f \cdot \cos \varepsilon}$$

$$\theta = \arcsin\left[\left(1 + \frac{H}{R}\right) \sin \beta\right] - \beta$$

Решението на обратната фотограметрична засечка в топоцентричната координатна система $X_u Y_u Z_u$ с начало в надирната точка N и ос X_u насочена по меридиана на север се извършва по зависимостите:

$$x = -f \frac{a_{11} X_u + a_{21} Y_u + a_{31} (Z_u - H)}{a_{13} X_u + a_{23} Y_u + a_{33} (Z_u - H)}$$

$$y = -f \frac{a_{12} X_u + a_{22} Y_u + a_{32} (Z_u - H)}{a_{13} X_u + a_{23} Y_u + a_{33} (Z_u - H)}$$

За топоцентричната система $u=0$, така че коефициентите на трансформационната матрица се опростяват.

$$r_{11} = -\sin B_N \cos L_N$$

$$r_{12} = \sin L_N$$

$$r_{13} = \cos B_N \cos L_N$$

$$r_{21} = -\sin B_N \sin L_N$$

$$r_{22} = \cos L_N$$

$$r_{23} = \cos B_N \sin L_N$$

$$r_{31} = \cos B_N$$

$$r_{32} = 0$$

$$r_{33} = \sin B_N$$

23.3. Видове орбити на космическите летателни апарати и връзката им с предназначението на носителите.

Под трасе на КЛА се разбира проекцията на неговата орбита върху повърхността на въртящата се Земя с указание за времето на преминаване над определени пунктове.

Орбитите биват затворени и отворени. Затворените биват кръгови и елиптически. Отворените биват параболнически и хиперболически.

Орбитално движение на КЛА

Орбиталното движение на спътниците и космическите кораби може да се разгледа в първо приближение като несмутено движение.

Несмутеното или кеплеровско движение се нарича движение на материална точка, което се извършва под действието на само на една централна сила на притегляне, чиято величина е пропорционална на квадрата на разстоянието до притеглящия център. Кеплеровското движение се описва уравнението на орбитата, което се дефинира от шестте елемента на орбитата.

Положението на орбитата може да се отчита спрямо екваториална координатна система xuz , за която x оста съвпада с точката на пролетното равноденствие γ . В този случай положението на равнината на орбитата се определя от дължината Ω на възходящия възел η и от наклона на орбитата i . За решение на практически задачи се ползва геоцентричната координатна система $X_0Y_0Z_0$, която също е екваториална, но с ос X_0 , която преминава през Гринуичкия меридиан, който има дължина λ_G . В тази координатна система положението на възходящия възел се определя от дължината му λ_0 , а наклонът на орбитата също е i . Между дължините Ω и λ_0 съществува следната връзка:

$$\lambda_0 = \Omega - S_0 - \omega_s \cdot t_G$$

където S_0 е звездното време;

ω_s – ъгловата скорост на Земята спрямо звездите ($\omega_s = 0.72921 \cdot 10^{-4}$ rad/sec);

t_G - Гривичко време.

Преходът от координатите xuz към $X_0Y_0Z_0$ се извършва по зависимостите:

$$X_0 = x \cdot \cos[S_0 + \omega_s \cdot t] + y \cdot \sin[S_0 + \omega_s \cdot t]$$

$$Y_0 = -x \cdot \sin[S_0 + \omega_s \cdot t] + y \cdot \cos[S_0 + \omega_s \cdot t]$$

$$Z_0 = z$$

Кеплеровското движение се извършва по крива от втори ред, за която центърът на Земята се явява един от фокусите. Трети параметър се явява разстоянието до перигея r_p спрямо възходящия възел η . Другите два параметъра са голямата полуос a и ексцентрицитета e на орбитата.

Под трасе на КЛА се разбира проекцията на неговата орбита на повърхността на въртящата се Земя с указване на времето на преминаване над определени пунктове. Орбитите итрасето на КЛА могат да се класифицират, изхождайки от това каква крива представлява орбитата – затворена или отворена. Връзката между ексцентрицитета и типа на орбитата е следната.

В зависимост от ексцентрицитета орбитите биват 4 типа:

$$\text{Тип на орбитата} \left\{ \begin{array}{l} e = 0 - \text{кръгова} \\ e < 1 - \text{елиптична} \end{array} \right\} \text{затворени}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} e = 1 - \text{параболна} \\ e > 1 - \text{хиперболична} \end{array} \right\} \text{отворени}$$

Понякога се ползва фокалният параметър p , зависещ от a и e .

Целесъобразно е разглеждането и на почти кръговите орбити, за които е изпълнено условието:

$$e \leq \varepsilon$$

където стойността на ε зависи от типа на конкретната задача.

Кръговите и близките до кръгови орбити е прието да се считат за идентични.

Кръговите и елиптичните орбити е по-удобно да се класифицират според наклона си i и периода си T . Според наклона си орбитите се разделят на:

прави ($0 \leq i < \pi/2$);

полярни ($i = \pi/2$);

възвратни ($\pi/2 < i \leq \pi$).

Периодът T заедно с наклона i определят изменение на дължината $\Delta\Omega$ на възходящия възел и трасето на полета. За една обиколка изменението на дължината в географски координати се дава от израза:

$$\Delta\lambda = 2\pi T / P_E + \Omega = vT + \Omega = 2\pi K_T + \Omega$$

където

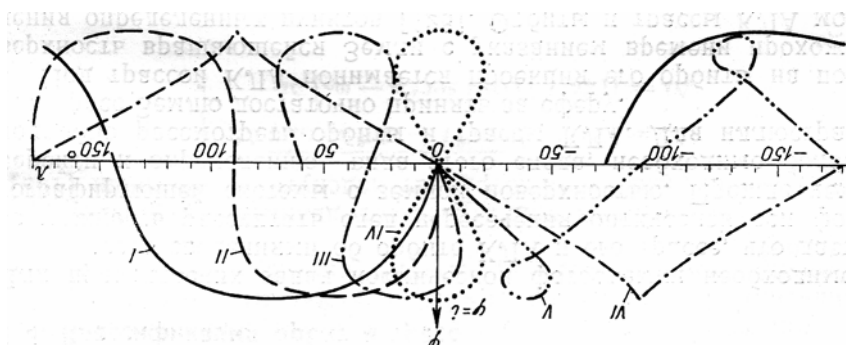
$$K_T = T / P_E$$

P_E е продължителността на звездното денонощие, което е равно на 23h и 56min (при класификацията на трасетата се приема за 24h).

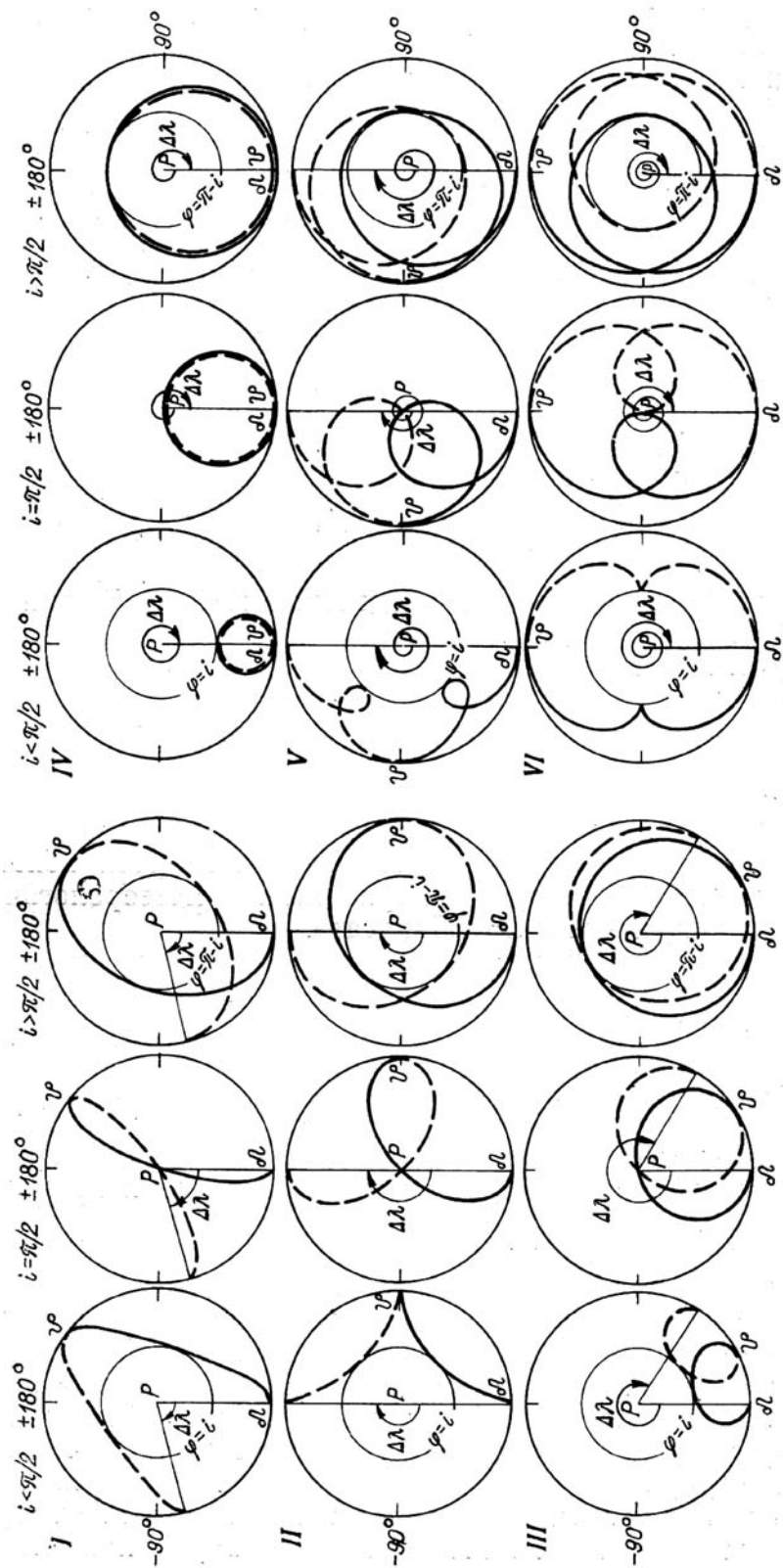
В зависимост от коефициента K_T могат да се класифицират 6 типа кръгови орбити.

Тип на трасето	K_T	$\Delta\lambda$	T [h]	H [km]
I	$<1/2$	$<\pi$	<12	<20245
II	$1/2$	π	12	20245
III	$>1/2 : <1$	$>\pi : <2\pi$	$>12 : <24$	$>20245 : <35880$
IV	1	2π	24	35880
V	$>1 : <2$	$>2\pi : <4\pi$	$>24 : <48$	$>35880 : <61565$
VI	2	4π	48	61565

Трасетата на орбитите имат следният вид.



Трасе I е подобно на синусоида. Трасето от тип II също има синусоидална форма, но има повече части перпендикулярни на екватора. Трасето от тип III е поизпъкнало, но близо до екватора е под ъгъл по-голям от $\pi/2$. Трасето от тип IV има вид на затворена осморка – синхронно или денонощно трасе. Трасето от тип V има вид на примка. Трасето от тип VI е подобно, но в точката с пределна ширина се превръща в точка.



По отношение на синхронността орбитите се делят на асинхронни – това са I, II, III и V. Синхронни са орбитите IV и VI. Орбитите от тип IV са денонощни и според I се поделят на нестационарни ($0 < i < \pi$) и стационарни ($i = 0$). За некръговите орбити при $e \neq 0$ стационарните орбити са люлеещи се, а при $e = 0$ - се отнасят към нелюлеещите се (стоят над точка от Екватора). Орбитите от тип VI се явяват многоденонощни.

По синхронност на въртене на плоскостта на орбитата и КЛА спрямо слънцето орбитите се поделят на слънчево-синхронни и несинхронни.

23.4. Космическа фототриангулация. Определяне на положението на КЛА по данни от космически снимки

23.4.1. Космическа фототриангулация.

При класическата аналитична въздушна фототриангулация се ползват условията за колинеарност от вида:

$$x = x_0 - f_c \frac{a_{11}(X_j - X_S) + a_{21}(Y_j - Y_S) + a_{31}(Z_j - Z_S)}{a_{13}(X_j - X_S) + a_{23}(Y_j - Y_S) + a_{33}(Z_j - Z_S)}$$

$$y = x_0 - f_c \frac{a_{12}(X_j - X_S) + a_{22}(Y_j - Y_S) + a_{32}(Z_j - Z_S)}{a_{13}(X_j - X_S) + a_{23}(Y_j - Y_S) + a_{33}(Z_j - Z_S)}$$

Зависимостите може да се представят във вида на векторна функция:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \mathbf{F}(x_0, y_0, f_c, \phi, \omega, \kappa, X_S, Y_S, Z_S, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{F}(\mathbf{r}_l, \Phi_r, \mathbf{P}_S, \mathbf{P}_i)$$

При това разглеждане проективните зависимости са независими от движението на носителя, респективно координатите на проекционните центрове и ъгловите елементи на ориентиране са случайно разпределени, без да се отчита движението на носителя по трасето.

2.36.1.1. Уравнения на измерването, включващи орбиталните елементи

Орбиталната версия на уравненията за колинеарност се получава от факта, че космическите средства за регистрация са разположени на носителя и техните проекционни центрове лежат върху орбитата. В този случай j-та станция върху k-та орбита се описва от зависимостта:

$$\begin{bmatrix} X_{ik}^S \\ Y_{ik}^S \\ Z_{ik}^S \end{bmatrix} = \mathbf{G}(t_{ik}, X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}, \dot{X}_{0k}, \dot{Y}_{0k}, \dot{Z}_{0k})$$

където векторът на проекционния център зависи от векора на състоянието и неговите скорости и момента от време на експонация t_{ik} спрямо някаква епоха t_{0k} , което съответства на k -та витка на орбитата.

Замествайки зависимостта за положението на проекционния център в уравненията за колинеарност се достига до модифицирана функционална зависимост на условията за колинеарност, която отчита и орбитните елементи:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \mathbf{Q}[(x_0, y_0, f_c), (\phi, \omega, \kappa), (t, X_0, Y_0, Z_0, \dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{Z}_0), X_j, Y_j, Z_j]$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{Q}(\mathbf{r}_I, \Phi_r, t, \mathbf{P}_0, \dot{\mathbf{P}}_0, \mathbf{P}_j)$$

В съответствие с горните разглеждания могат да се формулират следните уравнения на измерванията за k -та ивица, съответстваща на k -та витка от орбитата.

Използвани означения:

k - обиколка

i_k - i снимка в k ивица

j - обектна точка

$i_k j$ - образ на j точка в i снимка на k ивица

s - брой ивици

m_k - брой снимки в k ивица

$m = \sum_{k=1}^s m_k$ - общ брой снимки

n - общ брой теренни точки

(l) - индекс на поредна итерация.

$$x_{ikj} = x_{0ik} - f_{cik} \frac{a_{11(ik)}(X_j - X_{ik}^S) + a_{21(ik)}(Y_j - Y_{ik}^S) + a_{31(ik)}(Z_j - Z_{ik}^S)}{a_{13(ik)}(X_j - X_{ik}^S) + a_{23(ik)}(Y_j - Y_{ik}^S) + a_{33(ik)}(Z_j - Z_{ik}^S)}$$

$$y_{ikj} = x_{0ik} - f_{cik} \frac{a_{12(ik)}(X_j - X_{ik}^S) + a_{22(ik)}(Y_j - Y_{ik}^S) + a_{32(ik)}(Z_j - Z_{ik}^S)}{a_{13(ik)}(X_j - X_{ik}^S) + a_{23(ik)}(Y_j - Y_{ik}^S) + a_{33(ik)}(Z_j - Z_{ik}^S)}$$

Линеаризираната форма на уравненията на поправките има вида:

$$v_{ikj} + \hat{b}_{ikj}^{(1)} \hat{\delta}_{ik}^{(1)} + \hat{b}_{ikj}^{(2)} \hat{\delta}_{ik}^{(2)} + b_{ikj}^g \delta_j^g = f_{ik}$$

където векторът на поправките е

$$v_{ikj} = \begin{bmatrix} v_{x_{ikj}} \\ v_{y_{ikj}} \end{bmatrix}$$

а векторът на свободните членове (несъвпаденията се формира от измерванията x, y и стойностите на текущата итерация

$$f_{ikj} = \begin{bmatrix} x_{ikj} - x_{ikj}^{(l)} \\ y_{ikj} - y_{ikj}^{(l)} \end{bmatrix}$$

Коефициентите от уравненията на поправките се формират по зависимостите:

$$\hat{b}_{ikj}^{(1)} = \frac{\partial(x_{ikj}, y_{ikj})}{\partial(\varphi_{ik}, \omega_{ik}, \kappa_{ik})} \Big|_{(l)} \quad , \quad \hat{\delta}_{ikj}^{(1)} = (\delta\varphi_{ik}, \delta\omega_{ik}, \delta\kappa_{ik})^t \quad (2,3) \quad (3,1)$$

коэффициенти за ъгловите елементи,

$$\hat{\mathbf{b}}_{ikj}^{(2)} = \frac{\partial(x_{ikj}, y_{ikj})}{\partial(X_{ik}^S, Y_{ik}^S, Z_{ik}^S)} \Big|_{(l)}, \quad \hat{\boldsymbol{\delta}}_{ikj}^{(2)} = (X_{ik}^S, Y_{ik}^S, Z_{ik}^S)^t \quad (3,1)$$

са коэффициенти за координатите на проекционния център. Коэффициентите за новоопределяемите координати на точките се дефинират от зависимостите:

$$\mathbf{b}_{ikj}^g = \frac{\partial(x_{ikj}, y_{ikj})}{\partial(X_j, Y_j, Z_j)} \Big|_{(l)}, \quad \boldsymbol{\delta}_j^g = (X_j, Y_j, Z_j)^t \quad (3,1)$$

При тази формулировка не се отчита функционалната зависимост на координатите на проекционните центрове, а те се приемат като неизвестни за всяка снимка. Ако те се представят като функции на вектора на състоянието и времето t_{ik} , то зависимостта за координатите на проекционните центрове се дава от матричното уравнение:

$$\begin{bmatrix} X_{ik}^S \\ Y_{ik}^S \\ Z_{ik}^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}, \dot{X}_{0k}, \dot{Y}_{0k}, \dot{Z}_{0k}, t_{ik} - t_{0k}) \\ g_2(X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}, \dot{X}_{0k}, \dot{Y}_{0k}, \dot{Z}_{0k}, t_{ik} - t_{0k}) \\ g_3(X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}, \dot{X}_{0k}, \dot{Y}_{0k}, \dot{Z}_{0k}, t_{ik} - t_{0k}) \end{bmatrix}$$

В съответствие с това линеаризираният вектор за поправките към координатите на проекционния център добива вида:

$$\boldsymbol{\delta}_{ik}^{(2)} = \begin{bmatrix} \delta X_{ik}^S \\ \delta Y_{ik}^S \\ \delta Z_{ik}^S \end{bmatrix} = \underset{(3,6)}{\tilde{\mathbf{b}}_{ik}^0} \cdot \underset{(6,1)}{\tilde{\boldsymbol{\delta}}_{ik}^0} + \underset{(3,1)}{\tilde{\mathbf{b}}_{ik}^t} \cdot \underset{(1,1)}{\tilde{\boldsymbol{\delta}}_{ik}^t} \quad (3,1)$$

като времето е отделено от вектора на състоянието. Видът на съответните коэффициенти е както следва:

$$\tilde{\mathbf{b}}_{ik}^t = \frac{\partial(X_{ik}^S, Y_{ik}^S, Z_{ik}^S)}{\partial(t_{ik})} \Big|_{(l)}, \quad \tilde{\boldsymbol{\delta}}_{ik}^t = (\delta t_{ik})$$

за параметъра време и

$$\tilde{\mathbf{b}}_{ik}^0 = \frac{\partial(X_{ik}^S, Y_{ik}^S, Z_{ik}^S)}{\partial(X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}, \dot{X}_{0k}, \dot{Y}_{0k}, \dot{Z}_{0k})} \Big|_{(l)},$$

$$\boldsymbol{\delta}_{ik}^0 = (\delta X_{0k}, \delta Y_{0k}, \delta Z_{0k}, \delta \dot{X}_{0k}, \delta \dot{Y}_{0k}, \delta \dot{Z}_{0k})^t$$

Действителното получаване на коэффициенти за координатите изисква числено интегриране на орбитата.

Въвеждането на орбитните параметри чрез зависимостта за координатите на проекционния център води следния модифициран вид на уравнението на поправките:

$$v_{ikj} + \underset{(2,4)}{b_{ikj}^{\alpha t}} \cdot \underset{(4,1)}{\boldsymbol{\delta}_{ik}^{\alpha t}} + \underset{(2,6)}{b_{ikj}^0} \cdot \underset{(6,1)}{\boldsymbol{\delta}_{ik}^0} + \underset{(2,3)}{b_{ikj}^g} \cdot \underset{(3,1)}{\boldsymbol{\delta}_j^g} = \underset{(2,1)}{f_{ik}}$$

където коэффициенти са представени във вида:

$$b_{ikj}^{\alpha t} = \begin{bmatrix} b_{ikj}^{(1)} & & \\ (2,4) & b_{ikj}^{(2)} & \ddot{b}_{ik} \\ & (2,3) & (3,1) \end{bmatrix}, \quad \delta_{ik}^{\alpha t} = \begin{bmatrix} \hat{\delta}_{ik}^{(1)} \\ (3,1) \\ \tilde{\delta}_{ik}^t \\ (1,1) \end{bmatrix}$$

и съответно

$$b_{ikj}^0 = \hat{b}_{ikj}^{(2)} \cdot \tilde{b}_{ik}^0 \\ (2,6) \quad (2,3) \quad (3,6)$$

Този начин на групиране на параметрите съответства на тяхната промяна. Така например орбитните елементи са еднакви за цялата ивица, докато ъгловите елементи и времето на експониране са независими за всяка снимка. По такъв начин за ивица с m_k снимки имаме по $3 \cdot m_k$ ъгли неизвестни, докато координатите се редуцират до 6 елемента, които са еднакви за цялата ивица.

2.36.1.2. Допълнителни уравнения, генерирани от външни данни

Допълнителните величини, за които им данни от измерването включват ъгловите елементи на ориентиране, определяни от звездни камери, точното регистрирано време на заснемане:

$(\varphi_{ik}, \omega_{ik}, \kappa_{ik})$ - ъгови елементи на ориентиране;

(t_{ik}) - момента на всяка експонация;

$(X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}, \dot{X}_{0k}, \dot{Y}_{0k}, \dot{Z}_{0k})$ - координатите на вектора на състоянието;

(X_{gj}, Y_{gj}, Z_{gj}) - координати на опорните точки.

Изрванените стойности на ъглите елементи и момента на заснемане се представят във вида:

$$\varphi_{ik} = \varphi_{ik}^m + v_{\varphi_{ik}}$$

$$\omega_{ik} = \omega_{ik}^m + v_{\omega_{ik}}$$

$$\kappa_{ik} = \kappa_{ik}^m + v_{\kappa_{ik}}$$

$$t_{ik} = t_{ik}^m + v_{t_{ik}}$$

като индексът m означава изходни измервания.

Стойностите на тези параметри на всяка стъпка от итерациите се представят във вида:

$$\varphi_{ik} = \varphi_{ik}^{(l)} + \delta\varphi_{ik}$$

$$\omega_{ik} = \omega_{ik}^{(l)} + \delta\omega_{ik}$$

$$\kappa_{ik} = \kappa_{ik}^{(l)} + \delta\kappa_{ik}$$

$$t_{ik} = t_{ik}^{(l)} + \delta t_{ik}$$

Съответните уравнения на измерванията имат вида:

$$\varphi_{ik}^{(l)} + \delta\varphi_{ik} = \varphi_{ik}^m + v_{\varphi_{ik}}$$

$$\omega_{ik}^{(l)} + \delta\omega_{ik} = \omega_{ik}^m + v_{\omega_{ik}}$$

$$\kappa_{ik}^{(l)} + \delta\kappa_{ik} = \kappa_{ik}^m + v_{\kappa_{ik}}$$

$$t_{ik}^{(l)} + \delta t_{ik} = t_{ik}^m + v_{t_{ik}}$$

Във векторна форма тези уравнения се представя в следната форма:

$$\mathbf{v}_{ik}^\alpha - \delta_{ik}^\alpha = \boldsymbol{\varepsilon}_{ik}^\alpha ;$$

(4,1) (4,1) (4,1)

където съответните вектори имат вида:

$$\mathbf{v}_{ik}^\alpha = \begin{bmatrix} v_\varphi \\ v_\omega \\ v_\kappa \\ v_t \end{bmatrix}, \quad \delta_{ik}^\alpha = \begin{bmatrix} \delta_\varphi \\ \delta_\omega \\ \delta_\kappa \\ \delta_t \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_{ik}^\alpha = \begin{bmatrix} \varphi_{ik}^{(l)} - \varphi_{ik}^m \\ \omega_{ik}^{(l)} - \omega_{ik}^m \\ \kappa_{ik}^{(l)} - \kappa_{ik}^m \\ t_{ik}^{(l)} - t_{ik}^m \end{bmatrix}.$$

Поради независимостта на ъгловите елементи и момента на заснемане ковариационната матрица на поправките има вида:

$$\Lambda_{ik} = \begin{bmatrix} \sigma_{\varphi\varphi} & \sigma_{\varphi\omega} & \sigma_{\varphi\kappa} & 0 \\ \sigma_{\omega\varphi} & \sigma_{\omega\omega} & \sigma_{\omega\kappa} & 0 \\ \sigma_{\kappa\varphi} & \sigma_{\kappa\omega} & \sigma_{\kappa\kappa} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{tt} \end{bmatrix}_{ik}.$$

(4,4)

Съответната тежестна матрица може да се формулира във вида:

$$W_{ik}^\alpha = \Lambda_{ik}^{\alpha-1}.$$

(4,4) (4,4)

Аналогично могат да се формулират уравненията за компонентите на вектора на състоянието.

$$X_{0k}^m + \delta X_{0k} = X_{0k}^m + v_{X_{0k}}$$

$$Y_{0k}^m + \delta Y_{0k} = Y_{0k}^m + v_{Y_{0k}}$$

$$Z_{0k}^m + \delta Z_{0k} = Z_{0k}^m + v_{Z_{0k}}$$

$$\dot{X}_{0k}^m + \delta \dot{X}_{0k} = \dot{X}_{0k}^m + v_{\dot{X}_{0k}}$$

$$\dot{Y}_{0k}^m + \delta \dot{Y}_{0k} = \dot{Y}_{0k}^m + v_{\dot{Y}_{0k}}$$

$$\dot{Z}_{0k}^m + \delta \dot{Z}_{0k} = \dot{Z}_{0k}^m + v_{\dot{Z}_{0k}}$$

Векторната форма на уравненията на поправките има вида:

$$\mathbf{v}_k^0 - \delta_k^0 = \boldsymbol{\varepsilon}_k^0$$

(6,1) (6,1) (6,1)

Съответстващата тежестна матрица се представя във вида:

$$W_k^0 = \Lambda_k^{0-1}.$$

Стойностите на ковариационната матрица се определят от редукцията на измерванията на положението на носителя.

Подсистемата, състояща се от уравненията на координатите на опорните точки се представя в аналогична форма.

$$X_j^{(l)} + \delta X_j = X_j^g + v_{X_j}$$

$$Y_j^{(l)} + \delta Y_j = Y_j^g + v_{Y_j}$$

$$Z_j^{(l)} + \delta Z_j = Z_j^g + v_{Z_j}$$

Векторната форма на горните зависимости приема вида:

$$\mathbf{v}_j^g - \boldsymbol{\delta}_j^g = \boldsymbol{\varepsilon}_j^g$$

(3,1) (3,1) (3,1)

Ковариационната матрица за всяка точка е с размерност (3,3), но ако се приеме предположението за независимост на измерванията на опорните точки (GCP), съответните матрици имат диагонален вид с клетъчна структура с размерност на подматриците (3,3).

$$\Lambda_j^g = \begin{bmatrix} \sigma_{XX} & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} \\ \sigma_{XY} & \sigma_{YY} & \sigma_{YZ} \\ \sigma_{XZ} & \sigma_{YZ} & \sigma_{ZZ} \end{bmatrix}, \quad W_j^g = \Lambda_j^{g^{-1}}$$

(3,3) (3,3) (3,3)

Матриците за набора от всички n опорни точки са във вида:

$$\Lambda^g = \text{diag}(\Lambda_1^g, \Lambda_2^g, \dots, \Lambda_n^g)$$

(3n,3n) (3,3) (3,3) (3,3)

$$W^g = \text{diag}(W_1^g, W_2^g, \dots, W_n^g)$$

(3n,3n) (3,3) (3,3) (3,3)

В съответствие с това за ковариационната матрица на сноповете лъчи през опорните точки се получава зависимостта:

$$q = [X_j - X_j^g, Y_j - Y_j^g, Z_j - Z_j^g] \cdot \Lambda_j^{g^{-1}} \cdot [X_j - X_j^g, Y_j - Y_j^g, Z_j - Z_j^g]^t.$$

2.26.1.3. Обобщена форма на уравненията на колинеарност с включване на орбиталните параметри

Уравненията на поправките, включващи орбиталните параметри, могат да се представят във вида:

$$v_{ikj} + B_{ikj} \cdot \delta_{ikj} = \varepsilon_{ikj}$$

(2,1) (2,13) (13,1) (2,1)

където матрицата на конфигурацията и вектора на корекциите имат вида:

$$B_{ikj} = \begin{bmatrix} B_{ikj}^\alpha & B_{ikj}^0 & B_{ikj}^g \\ (2,4) & (2,6) & (2,3) \end{bmatrix}$$

$$\delta_{ikj} = \begin{bmatrix} \delta_{ikj}^{\alpha t} & \delta_k^{0 t} & \delta_j^{g t} \\ (4,1) & (6,1) & (3,1) \end{bmatrix}^t.$$

Ковариационната матрица на измеренните образни координати за вектор на несъвпадение v_{ikj} се записва във вида:

$$\Lambda_{ikj} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} \end{bmatrix}_{ikj}$$

Съответната тежестна матрица се записва като:

$$W_{ikj} = \Lambda_{ikj}^{-1}$$

Нормалната система се генерира във вида:

$$(B_{ikj}^t \cdot W_{ikj} \cdot B_{ikj}) \cdot \delta_{ikj} = B_{ikj}^t \cdot W_{ikj} \cdot \varepsilon_{ikj}$$

(13,2) (2,2) (2,13) (13,1) (13,2) (2,2) (2,1)

За всички измервания от k-та ивица получаваме тежестната матрица:

$$W_k = \text{diag}(W_{ik1}, W_{ik2}, \dots, W_{ikn}, \dots, W_{mkn})$$

(2m_k,n, 2m_k,n) (2,2) (2,2)

$$W_k^\alpha = \text{diag}(W_{1k}^\alpha, W_{2k}^\alpha, \dots, W_{mk}^\alpha)$$

(4.m_k, 4.m_k) (4,4) (4,4) (4,4)

$$W^g = \text{diag}(W_1^g, W_2^g, \dots, W_n^g)$$

(3.n, 3.n) (3,3) (3,3) (3,3)

В това представяне се предполага, че всички точки се появяват във всички снимки. Това не е така и поради тази причина матрицата W има клетъчна структура, която съответства на онези точки, които се явяват в няколко съседни снимки.

2.36.2. Определяне на положението на КЛА по данни от космически снимки

2.36.2.1. Определяне на елементите на външно ориентиране по звезди

Заснемането на звезди позволява да се определят следните елементи на външно и вътрешно ориентиране: направлението на главния лъч, ъгълът на завъртане на снимката, елементите на вътрешно ориентиране.

Началото на координатната система съвпада с центъра S на небесната сфера, а оста Z съвпада със световната ос, а равнината XZ да съвпада с равнината на равноденстващите точки. Ако главната оптична ос на камерата е насочена по световната ос, то в този случай равнината на снимката P₀ е успоредна на равнината XY.

Координатите на звездата σ₀ изобразени на снимката P₀ се означават с x⁰, y⁰. Връзката между екуаториалните и правоъгълните координати се дава от зависимостите:

$$\text{tg} \delta = \frac{f}{\sqrt{x^{02} + y^{02}}} \quad \text{tg} \alpha = -\frac{y^0}{x^0}$$

При общо положение на снимката P, между координатите на звездата върху нея и случая на ориентация по световната ос съществува зависимостта:

$$x^0 = -f \frac{x'}{z'}$$

$$y^0 = -f \frac{y'}{z'}$$

координатите на точката при наклонена и завъртяна снимка се дават от зависимостите:

$$x' = a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f$$

$$y' = b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f$$

$$z' = c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f$$

където x_0 y_0 са координатите на главната точка, а направляващите косинуси са функция на екваториалните координати на главния лъч – δ_0 и α_0 и ъгъла на завъртане на снимката χ_0 .

$$a_1 = -\cos \chi_0 \sin \delta_0 \cos \alpha_0 + \sin \chi_0 \sin \alpha_0$$

$$a_2 = -\sin \chi_0 \sin \delta_0 \cos \alpha_0 - \cos \chi_0 \sin \alpha_0$$

$$a_3 = -\cos \delta_0 \cos \alpha_0$$

$$b_1 = -\cos \chi_0 \sin \delta_0 \sin \alpha_0 - \sin \chi_0 \cos \alpha_0$$

$$b_2 = -\sin \chi_0 \sin \delta_0 \sin \alpha_0 + \cos \chi_0 \cos \alpha_0$$

$$b_3 = -\cos \delta_0 \sin \alpha_0$$

$$c_1 = \cos \chi_0 \cos \delta_0$$

$$c_2 = \sin \chi_0 \cos \delta_0$$

$$c_3 = \sin \delta_0$$

Изразяваме екваториалните координати чрез координатите на образа на точката x' , y' .

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \quad \operatorname{tg} \alpha = -\frac{y'}{x'}$$

При решението на нормалната система изходни величини са астрономическите координати на звездата по астрономическия ежегодник. Неизвестни величини са елементите на вътрешно ориентиране на камерата f , x_0 , y_0 и елементите на ъглово ориентиране на снимката – δ_0 , α_0 , χ_0 . За определяне на елементите на ориентиране са необходими ъгловите елементи поне на три звезди, а за да имаме изравнение поне на четири.

За определяне на грешките се ползват зависимостите за грешката за единица тежест

$$\mu = \sqrt{\frac{pv^2 + p'v'^2}{2n - 6}}$$

където n е броят използвани звезди.

Разглежданият метод може да се ползва освен за определяне на ъгловото положение на камерата и за калибриране на камерата.

2.36.2.2. Определяне на ъглите на наклона на снимката по линията на хоризонта

Методът за определяне на ъглите на наклона на снимката по линията на хоризонта се основава на използването на допълнителна камера, твърдо свързана с основната, която заснема линията на хоризонта. Такава камера се нарича хоризонтна камера. За планови снимки ъглите на наклона α и ω се определят по формулите:

$$\alpha = \frac{\Delta a' + \Delta a}{2f'} \quad \omega = \frac{\Delta a' - \Delta a}{l}$$

където $\Delta a'$ и Δa са отклоненията на линията на хоризонта от крайните точки на снимката спрямо оста x . Грешката е положителна, ако линията на хоризонта се намира над образната ос x .

Определянето на ъгъла ω по горните снимки е непосредствено напречният наклон на основната снимка, а в ъгъла α трябва да се внесат поправки за сметка на наклона на видимия хоризонт поради рефракцията и грешката от кривината на Земята.

$$\tau = \tau_0 - \gamma$$

Ъгълът τ_0 ще напишем

$$\operatorname{tg} \tau_0 = \frac{SB}{OB} = \frac{\sqrt{(R+H)^2 - R^2}}{R} = \sqrt{\frac{2H}{R} + \left(\frac{H}{R}\right)^2}$$

където $R=6370\text{km}$ – средният радиус на Земята.

Ъгълът γ се получава от непосредствени наблюдения

$$\gamma = k\tau_0$$

където k е коефициентът на рефракция.

За ъгъла τ се получава изразът:

$$\tau = \tau_0 - k\tau_0 = (1-k)\tau_0$$

За случаите, когато височината на летене е малка в сравнение с радиуса на Земята се получава приблизителната формула:

$$\tau_0 = \sqrt{\frac{2H}{R}}$$

Нейното заместване води до следната зависимост за τ :

$$\tau = (1-k)\sqrt{\frac{2H}{R}}$$

Влиянието на кривината на Земята се отрзва по следния начин. Линията се изобразява като дъга. Вместо допирателната към дъгата се мери секущата, която минава през крайните точки. Ъгловата грешка σ се определя от израза:

$$\sigma = \frac{h}{D}$$

където h е височината на дъгвия сегмент, а D е отдалечението на видимия хоризонт.

$$h = R - R \cos \delta \approx 2R \sin^2 \frac{1}{2} \delta \approx \frac{1}{2} R \delta^2$$

където δ е централният ъгъл.

Означавайки чрез β ъгълът на зрение на хоризонтната камера може да се напише

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{H'}{R} = \frac{D}{R} \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta$$

Следователно

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{D}{R} \operatorname{tg}^2 \frac{1}{2} \beta$$

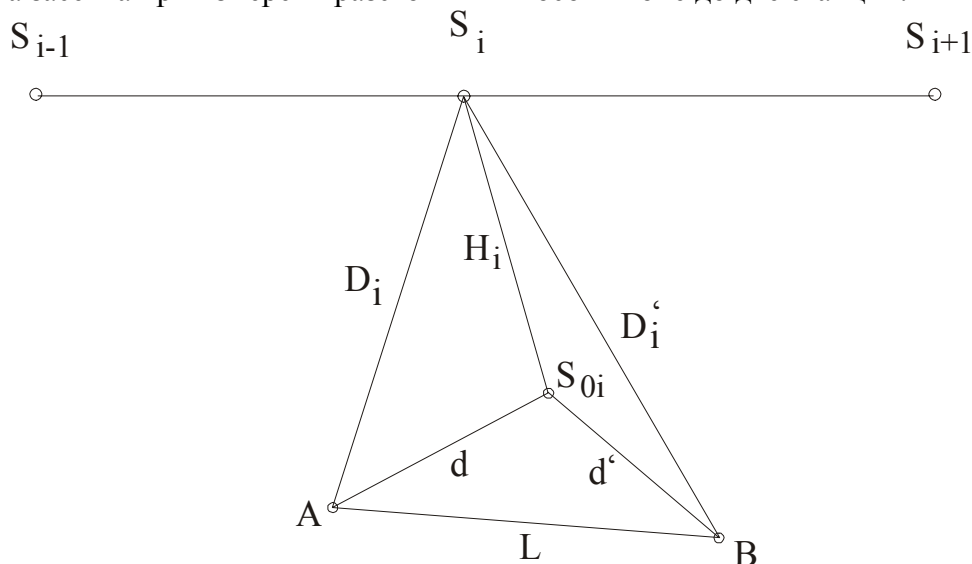
Отдалечението на видимия хоризонт е

$$D = 3,80 \sqrt{H[m]} \quad [\text{km}]$$

Тъй като наклонът на видимия хоризонт не се явява постоянна величина за всички направления, то е необходимо да се извършва заснемане в две взаимно перпендикулярни направления.

2.36.2.5. Определяне на координатите на точките на фотографиране

Координатите се определят с помощта на радиогодезически системи, които позволяват измерването на разстоянията до земните станции. Извършва се обратна дължинна засечка при измерени разстояния и посоки поне до две станции.



Фиг.2.2.37.6

Плановите координати на точката на заснемане се определят от триъгълника $AS_{0i}B$ по зависимостите:

$$X_i = X_A + \frac{1}{2L}(d^2 + L^2 - d'^2) \cos \alpha$$

$$+ \frac{1}{2L} \sqrt{2d^2 d'^2 + 2d^2 L^2 + 2d'^2 L^2 - d^4 - d'^4 - L^4} \sin \alpha$$

$$Y_i = Y_A + \frac{1}{2L}(d^2 + L^2 - d'^2) \sin \alpha$$

$$+ \frac{1}{2L} \sqrt{2d^2 d'^2 + 2d^2 L^2 + 2d'^2 L^2 - d^4 - d'^4 - L^4} \cos \alpha$$

където координатите на станция А са X_A , Y_A , а посочният ъгъл на правата AB е α .

В съвременните системи са за навигация с успех се ползват GPS системи за координиране на положението на проекционните центрове.

Определянето на координатите и височините на проекционните центрове както и на ъгловото положение подобрява началното приближение на елементите на външно ориентиране и ускорява процеса на ориентиране при блоковата аеротриангулация.

Тема 24. Компоненти на системите за регистриране на изображения при дистанционните изследвания.

24.1. Подсистеми за формиране, предаване, приемане, регистриране и обработка на изображенията.

24.2. Класификация на апаратурата за регистриране на изображения.

24.2. Класификация на апаратурата за регистриране на изображения.

24.2.1. Видове снимки при дистанционните изследвания.

Получаваната информация при дистанционните изследвания се характеризира с голямо разнообразие. В съответствие с това получаваната информация може да се класифицира по различни показатели. В зависимост от геометричната размерност на получаваната информация системите за регистрация се разделят на фотографиращи и нефотографиращи. При фотографиращите системи се получава двумерно изображение, докато при нефотографиращите се получава набор от дискретни данни. Към класа на нефотографиращите системи се отнася широк набор от спектрофотометри (спектрорадиометри). Те работят на различни принципи на разделяне на спектралните канали: интерферометър, диспергираща призма, дифракционна решетка, интерференционен филтър. Различните системи се различават по чувствителност и спектрално разрешение и механична стабилност. Те намират широко приложение за различни геофизични изследвания.

Фотографиращите системи се използват основно при получаване както на качествени характеристики на обектите, а така също и при извличане на геометрична информация. Те намират приложение както в дистанционните изследвания, а така също и в космическата фотограмметрия. Фотографиращите системи могат да се класифицират по различни показатели.

1. Основен признак е **последователността на формиране** на отделните елементи, съставлящи изображението. В зависимост от това системите се делят на системи с паралелно формиране (кадрови системи), които се подчиняват на законите на централното проектиране., системи с последователно формиране, при които всеки елемент се регистрира последователно във времето като сканирането в едното направление (по редове се осъществява за сметка на механична развивка, а в другото направление за сметка на движение на носителя. Типичен пример за такива системи са оптико-механичните сканери. В последно време все по-голямо приложение намират смесените системи (паралелно – последователни) . При тях формирането на елементите в реда става паралелно, а отделните редове се формират последователно . Типичен представител са сканерите със CCD елемент (“push-broom”) ли от фотографските системи панорамната снимка. Системите с различен начин на формиране се различават съществено по своите геометрични характеристики.

2. Друг признак е областта, в която се извършва развивката на изображението. Според това системите се делят на системи с развиване в пространството на обекта

(сканерни), с развиване в пространството на изображението (телевизионни) и без развиване – фотографски.

3. Според източника на получаваната енергия системите биват: активни и пасивни. Към активните се отнасят радиолокационните и лазерните системи, а към пасивните спадат цветни и многозонални снимки и сканерни изображения.

4. Според физическия принцип на регистрацията биват:

- фотохимични (фотографски);
- електронни;
- оптико-механични;
- комбинирани.

5. По начина на преобразуване (регистрация) на постъпващата енергия системите биват:

- фотографски – на базата на фотохимични процеси.
- посредством полупроводников преобразуване – CCD;
- посредством фотоелектронно преобразуване – видиконна камера, фотодетектор;
- с вторично – двойно преобразуване – фотогично, оптико-механично.

6. Според спектралния диапазон системите се разделят на многоканални (лентови) и едноканални (широколентови).

7. Според начина на разделяне на каналите биват:

- с пространствено разделяне (сканери), фотокамери с отделни снимачни модули;

- с разделяне чрез филтриране (цветни снимки);
- комбинирани.

Всяка конкретна система за регистрация се явява комбинация от горните характеристики. Например фотографска снимка – панорамна и кадрова.

телевизионна – оптическа и оптико-механична;

- радиометрични – многоспектрални сканери и радиолокационни или лазерни системи).

8. Според ориентацията спрямо земната повърхност

- в надирно направление;
- отклонени спрямо направлението на полета – напречно;
- наклонение по направление на полета.

24.2.2. Апаратура за регистриране на изображения

Таблица 1

Сензор	MSS	RBV (1)	TM	HRV	HRV	LRV	Visible MSU	IR-MSU	MSU-SK	MSU-E
Мисия	Landsat 1-5 (3*)	Landsat 1-2 (3*)	Landsat 4-5	SPOT 1-2 (3-4*)	SPOT 3-4	SPOT 3-4	Алмаз	Алмаз	Гамма-Био	Гамма-Био
Държава	САЩ	САЩ	САЩ	Франция	Франция	Франция	Русия	Русия	Русия	Русия
Тип	сканер мулти-спектрален	видикон с обратен лъч	сканер	CCD - 3x6000 линейен сензор	CCD - 6000 ел. линейен сензор	сканер	сканер многоканален	сканер инфра-червен	TV-камера средно разрешение	TV-камера високо разрешение
Разрешение [m]	79 240*	80 30*	30 120*	20	10	1000	20	170	120 300*	14

Обхват [km]	185	183x98		60	60	2200	1000	600	350	30
панхроматичен		0.505-0.750*			0.51-0.73		0.5-0.75			
1 канал		0.475-0.575	0.45-0.52			0.43-0.47	0.43-0.45		0.45-0.55	
2 канал	0.5-0.6		0.52-0.60	0.50-0.59		0.50-0.59	0.49-0.51			0.5-0.6
3 канал	0.6-0.7	0.58-0.68	0.63-0.69	0.61-0.68		0.61-0.68	0.54-0.56		0.6-0.7	0.6-0.7
4 канал	0.7-0.8	0.69-0.83	0.76-0.90	0.79-0.89		0.79-0.89	0.66-0.68		0.7-0.8	0.7-0.9
5 канал	0.8-1.1						0.74-0.76		0.8-1.0	
6 канал			1.55-1.75	1,58-1.75*		1,58-1.75	0.39-0.41	1.5-1.7		
7 канал			2.08-2.35				0.55-0.57	3.5-3.9		
8 канал							0.63-0.65	8.25-8.75		
9 канал	10.4-12.6*		10.4-12.5*				0.62-0.64	10.3-11.3	10.4-12.6*	
10 канал							0.77-0.80	11.5-12.5		
11 канал							0.995-1.005			