

Fotogrammetria 9.

A térfotogrammetria alapjai, alapképletek

Balázsik, Valéria

Fotogrammetria 9.: A térfotogrammetria alapjai, alapképletek

Balázsik, Valéria

Lektor: Dr. Barsi , Árpád

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

Kivonat

A modul a térfotogrammetriában alkalmazott koordinátarendszereket és a sztereoképpárok térbeli helyzetét jellemző mennyiségeket mutatja be. Különböző felvételi elrendezések mellett megadja a térfotogrammetria matematikai alapösszefüggéseit. Ismerteti a természetes térlátás folyamatát és felsorolja a mesterséges térlátás feltételeit. Néhány példát ad a térfotogrammetriai kiértékeléseknél alkalmazott, térbeli szemlélet biztosító eszközökre és módszerekre.

Jelen szellemi terméket a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

Tartalom

9. A térfotogrammetria alapjai, alapképletek	1
1. 9.1 Bevezetés	1
2. 9.2 A térfotogrammetria geometriai alapjai	1
2.1. 9.2.1 Geometriai alapfogalmak	3
2.2. 9.2.2 Képpárok helyzete	3
2.3. 9.2.3 A képpárral kapcsolatos alapfogalmak	5
2.4. 9.2.4 Koordinátarendszerek és tájékozási szögek	5
2.5. 9.2.5 A térfotogrammetria alapösszefüggései	6
3. 9.3 Természetes és mesterséges térlátás	10
3.1. 9.3.1 Természetes térlátás	10
3.1.1. 9.3.1.1 A szem felépítése	11
3.2. 9.3.2 Mesterséges térlátás	13
3.2.1. 9.3.2.1 A szteroszópikus szemlélés eszközei, módszerei	14
4. 9.4 Összefoglalás	15

9. fejezet - A térfotogrammetria alapjai, alapképletek

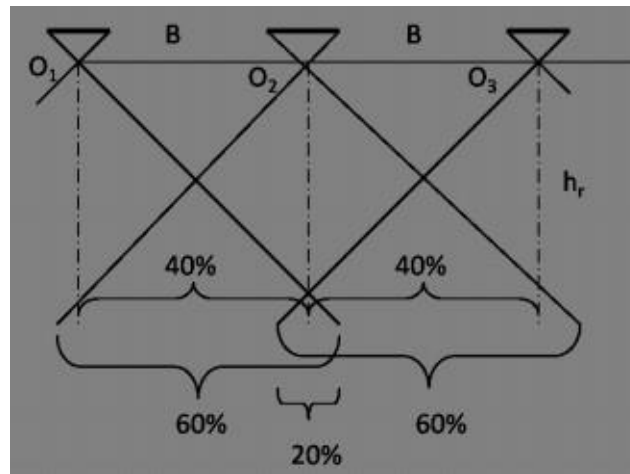
1. 9.1 Bevezetés

A **térfotogrammetriai** eljárások során a terepről, tereptárgyról /objektumról / különböző álláspontokról készült két síkfelvételt dolgozunk fel. A kiértékeléssel a terep, tereptárgy háromdimenziós modelljét határozzuk meg analóg, analitikus módon vagy digitális eljárással és így jutunk térbeli adatokhoz. Ezek lehetnek terepi koordináták, analóg grafikus termékek, térképek, metszetrajzok, digitális vektoros és raszteres állományok. A térbeli méréseinket két szemmel történő térbeli szemlélés mellett végezzük, mely segít a tájékozódásban és nagyobb pontosságot eredményez a kiértékelt numerikus adatokra, rajzi termékekre nézve.

Ebben a modulban a térfotogrammetriával vagy más elnevezéssel sztereofotogrammetriával kapcsolatos geometriai fogalmakat, összefüggéseket tárgyaljuk valamint a természetes és mesterséges térlátás ismerveit, feltételeit ismerhetjük meg.

2. 9.2 A térfotogrammetria geometriai alapjai

A térkiértékelés elvi megvalósítását, analóg, analitikus és digitális módszerét a légifényképezés jellemző elrendezésén keresztül mutatjuk be. A légifényképeket közel függőleges helyzetű kameratengely és soron belül a képek közötti 60 %-os átfedés jellemzi.



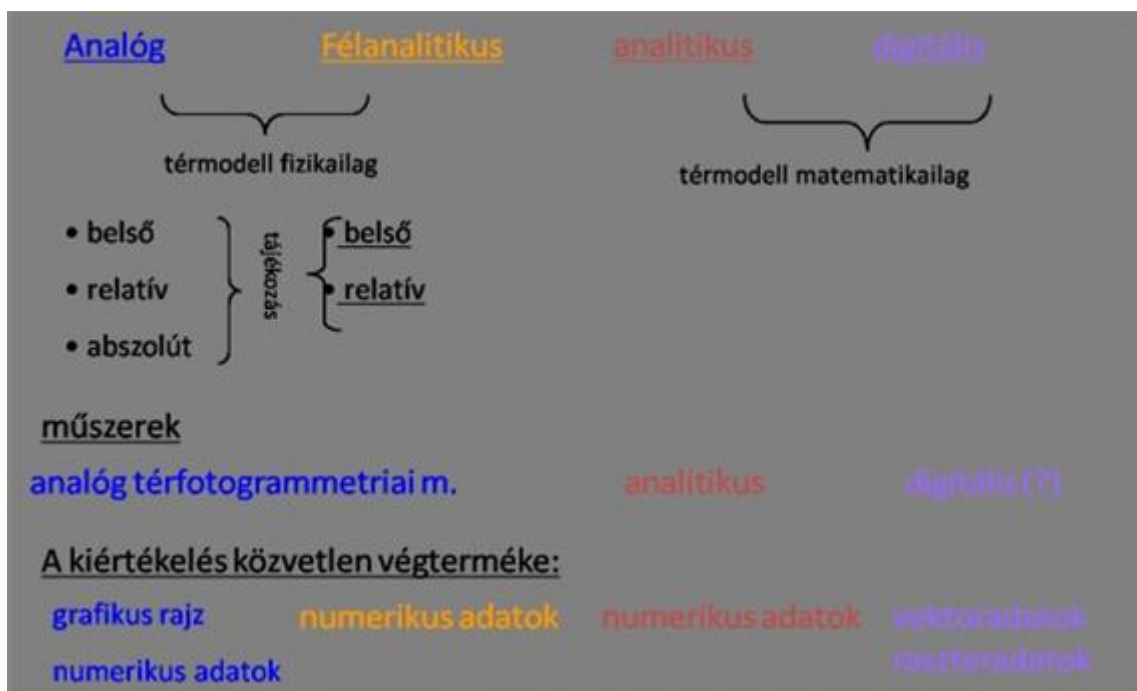
9-1. ábra Képek soron belüli átfedése

A modellt a soron belüli szomszédos felvételekből képezzük. Valamely képpár térkiértékelésekor a kiértékelés módja alapvetően a következőktől függ:

- ismertek-e a két kép külső tájékozási elemei vagy sem,
- a kiértékelés számítással (a mért képkoordináták felhasználásával) vagy optikai-mechanikai (analóg) műszerek felhasználásával történik-e.

A feladat megoldását jelentős mértékben megkönnyíti a képek belső tájékozási állandóinak ismerete. Ebben a fejezetben feltételezzük, hogy a belső tájékozási adatok ismertek.

A térfotogrammetriában a kiértékelési eljárásokat szintén három fő csoportba soroljuk: **analóg**, **analitikus** és **digitális** eljárások. A 9-2. ábrán az analóg és analitikus eljárások között találjuk az ún. **félanalitikus** kiértékelési módot. Elnevezését onnan kapta, hogy az eljárás első szakaszában az analóg eljárással megegyező, vagyis a képek alapján valódi térmodellt állítunk elő (analóg relatív tájékozással), ezt követően pedig a modellen mért pontok terepi koordinátáinak meghatározása az analitikus eljárásnál alkalmazott számítási összefüggések alkalmazásával történik.



9-2. ábra A térkiértékelési eljárások műszerei és közvetlen termékei

Mindhárom eljárásra (a félanalitikus eljárás egyes szakaszaiban az analóg és analitikus módszerekkel megegyező) jellemző, hogy a képpár képeinek felvételkori, egymáshoz és terephez viszonyított helyzetének ismerete illetve meghatározása szükséges ahhoz, hogy a képpárok alkotta modell alapján terepre vonatkoztatott adatokat határozzunk meg vagy a terepet, tereptárgyat ábrázoló analóg vagy digitális terméket állítsunk elő. A modell előállításának majd terepi rendszerbe illesztésének folyamatát tájékozásnak nevezzük. Bővebb tárgyalására a 10-es számú modulban kerül sor.

Analóg fotogrammetriai megoldásnál két fénykép alapján a terep kicsinyített mását, annak valódi optikai modelljét állítjuk elő egy optikai-mechanikai műszer segítségével, majd ezt követően vagy a modellt állítjuk be úgy a műszer koordináta-rendszerében, mint ahogy a tereprészlet helyezkedik el a geodéziai koordináta-rendszerben és a modellen méréseket végzünk, vagy a modellen térbeli mérőjelet vezetünk, és annak útját rögzítjük grafikusán egy „tájékozott alaplapon”. A modellen végzett mérések eredményeképpen **numerikus adatokhoz** jutunk, míg a mérőjel térbeli útjának rögzítésével térképet, alaprajzot, metszetet, vagyis **grafikus termékeket** hozunk létre.

Az **analitikus fotogrammetriai** eljárások során a szomszédos képek egymáshoz és a terepi rendszerhez viszonyított felvételkori helyzetét a képpontok - tereppontok között felírható matematikai összefüggések felhasználásával határozzuk meg. Ezeknél az eljárásoknál alkalmazott műszerekkel szemben fontos követelmény a képpontok helyének, koordinátáinak nagy pontossággal történő meghatározása, hiszen az összefüggések kiindulási adatai a képen végzett mérések eredményei, a képkoordináták. Ezek alapján jutunk az analitikus kiértékelés közvetlen termékéhez, a terepre vonatkoztatott térbeli geodéziai koordinátákhoz. Amennyiben az analitikus műszerünk saját számítógéppel rendelkezik, vagy ahhoz számítógépet csatlakoztatunk, a kiértékelés **numerikus adatai** alapján digitális térképet készíthetünk.

A **digitális térfotogrammetriai** feldolgozáskor a képek digitálisak, a tájékozás matematikai összefüggések alapján történik. Az analóg és analitikus eljárások során alkalmazott optikai, mechanikai elemekből felépülő klasszikus műszerrel ennél a megoldásnál nem találkozunk. Mivel a digitális képek nagy tárigényű adatállományok, a kiértékelés egy megfelelő tárcapacitású, nagyteljesítményű számítógépen történik, amely köré a kiértékeléshez nélkülözhetetlen, vagy azt nagymértékben támogató hardverelemeket csatlakoztatunk. A hardverelemek és a számítógépen futó fotogrammetriai kiértékelő programok együttesét nevezzük fotogrammetriai munkaállomásoknak. A fotogrammetriai munkaállomások kapacitásuk és a kiértékelési lehetőségek tekintetében rendkívül sokfélék, ennek megfelelően piaci árak is széles skálán mozog. A digitális térkiértékelések eredményeképpen szintén digitális termékekhez jutunk, amelyek lehetnek vektoros és raszteres állományok. Ezek tetszőleges méretarányban kinyomtathatóak, így azok analóg változatai előállíthatóak. A sztereoszkópikus szemlélés biztosítására a digitális térkiértékeléseknél számos megoldás létezik, ezek részletes tárgyalására a 12-es modulban kerül sor.

2.1. 9.2.1 Geometriai alapfogalmak

A térfotogrammetriai elrendezések részletes ismertetése előtt tekintsük át a témához kapcsolódó geometriai alapfogalmakat.

Alapsík: egy tetszőlegesen kiválasztott terepponton átmenő vízszintes sík (a vonatkozási rendszer X,Y síkja).

Képsík: a fotogrammetriai felvevőben a felvételkészítéskor rögzített kép síkja a terepi rendszerben, illetve kiértékeléskor a műszerben a képtartó síkja.

Vetítési középpont: a fotogrammetriai kiértékeléskor felírt összefüggésekben a felvétel helyének koordinátái a terepi koordináta-rendszerben, X_0 , Y_0 , Z_0 . Geometriai értelemben a fotogrammetriai felvevő objektívrendszerének tárgy felőli főtárcsájának középpontja.

Képalkotó sugárnyaláb: a fényképezett terep, tereptárgy pontjaira és a vetítési középpontra, mint sorozóra illesztett vetítősugarak összessége. A képalkotó sugárnyaláb képsíkkal való metszése eredményeképpen jön létre a fénykép.

Kameratengely: a vetítési középponton átmenő, képsíkra merőleges egyenes. A kameratengely dőléspontja a képsíkon a képfőpont. A légifelvételek esetében a kameratengely függőlegessel bezárt szöge (ν) a nadírszög. Ennek értékét alapul véve a felvételeket függőleges tengelyű, vagy nadírfelvételeknek ($\nu = 0^\circ$), vagy közel függőleges tengelyű felvételeknek ($\nu \leq 4^\circ$) nevezzük. Az ennél nagyobb dőlésszögű ún. perspektív felvételek kiértékelése analóg módon nem lehetséges, analitikus és digitális fotogrammetria esetében az általános megoldást igénylő matematikai alkalmazások mellett speciális képi interpretációt igényelnek.

Repülési magasság: értékét megadhatjuk a tengerszint feletti magassággal, ezt nevezzük *abszolút repülési magasságnak* (h_a). A *relatív repülési magasság* (h_r) értéke alatt a terepszint feletti repülési magasságot értjük.

Profil vetítősík (fővertikális sík): a fősugárra illeszkedő függőleges sík. A képsíkkal alkotott metszésvonala a fővonal, a terepsíkkal alkotott metszésvonala a felvételi irány.

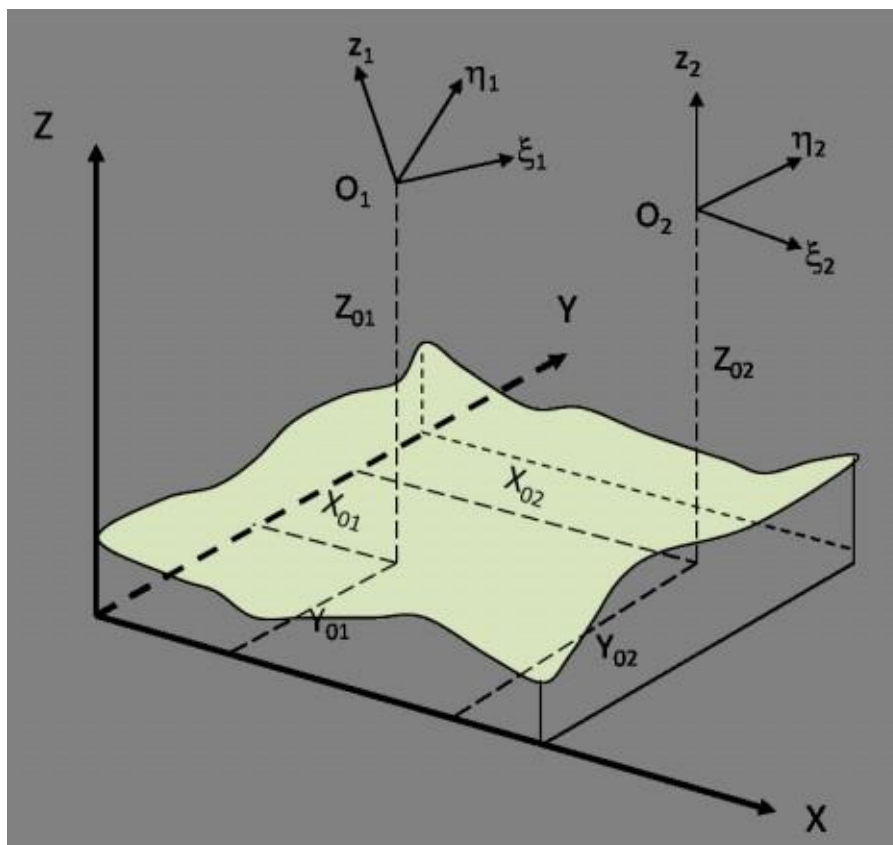
Horizontsík: a vetítési középpontra illeszkedő vízszintes sík, melynek képsíkkal alkotott metszésvonala a horizontvonal.

Belső tájékozási elemek: a vetítési középpont térbeli koordinátái a képkoordináta-rendszerben (C_k , ξ_0 , η_0). Igazított kamera esetén ξ_0 , η_0 értéke 0, vagyis a képfőpont a képközépponttal azonos.

Külső tájékozási elemek: 6 adat, amely a képalkotó sugárnyaláb térbeli helyzetét egyértelműen meghatározza a felvételkészítés pillanatában. X_0 , Y_0 , Z_0 a vetítési középpont koordinátái, κ a képsík elfordulási szöge, ϕ és ω szögek a képsíknak a vízszintes síkkal bezárt szögei x és y irányban. A ϕ és ω szögek a kameratengely dőlésszögének, a nadírszögnek (ν) a kétirányú komponensei.

2.2. 9.2.2 Képpárok helyzete

Szomszédos képek alkotta képpárok helyzete különböző módokon, mennyiségi jellemzők segítségével rögzíthető a térben, a terepi koordináta-rendszerben. Egyik módját a felvételi elrendezés vonatkozási rendszerben történő rögzítésének, vagyis valójában a külső tájékozási adatok megadásának, a 9-3. ábra mutatja. Ennél a megoldásnál a két kép egymáshoz viszonyított helyzetét, vagyis a képek által meghatározott modellt rögzítjük, majd megadjuk a modell térbeli helyzetét a terepi rendszerben. A modellt – a terep, tereptárgy kicsinyített mását - egyértelműen 5 adattal adhatjuk meg. A modellnek, mint térbeli alakzatnak egy másik térbeli rendszerben elfoglalt helyét és helyzetét 7 adattal írhatjuk le.



9-4. ábra Képpárok helyzete II.

2.3. 9.2.3 A képpárral kapcsolatos alapfogalmak

Az alapfogalmak és magyarázataik részben az előző modulok ábrái, részben a 9-3. és 9-4. ábrák jelöléseinek megfelelőek, követhetőek.

Képpár: olyan két kép, amely közös képterülettel rendelkezik, azonos részletpontokat tartalmaz. 50%-nál nagyobb átfedéssel készült képsorokban hármass átfedő képterületek keletkeznek. (9-1. ábra)

Fényképezési bázis (B): a két felvételi álláspont (vetítési középpontok) távolsága, egy térbeli egyenes. A B térbeli bázis három, a koordináta tengelyekkel párhuzamos komponensre bontható: B_x , B_y és B_z . B_x a bázis vízszintes vetülete. Légifelvételek készítésénél arra törekszünk, hogy a bázis lehetőleg vízszintes legyen a terepi rendszer X vagy Y tengelyével közel párhuzamosan történő repülés mellett, vagyis a B_y (vagy B_x) és B_z komponensek értékei a lehető legkisebbek legyenek. Ekkor $B \approx B_x$.

Képi bázis: a bal és a jobboldali képen leképződött nadírpontok (képi nadír) közötti távolság ugyanazon fénykép síkjában. Nadírfelvételek esetén megegyezik a képközéppontok, vagy főkép távolságaival.

Homológ sugárpár, homológ pontpár: A képpár közös területén lévő valamennyi ponthoz két vetítősugár tartozik, hiszen ugyanaz a tereppont leképződik a bal és a jobb képen is. Ezeket nevezzük homológ sugárpárnak. Az azonos tereppontoknak megfelelő bal képi P' és jobb képi P'' képpontok alkotják a homológ pontpárt. A hármass átfedési sávban lévő pontokhoz három homológ vetítősugár és három homológ pont tartozik.

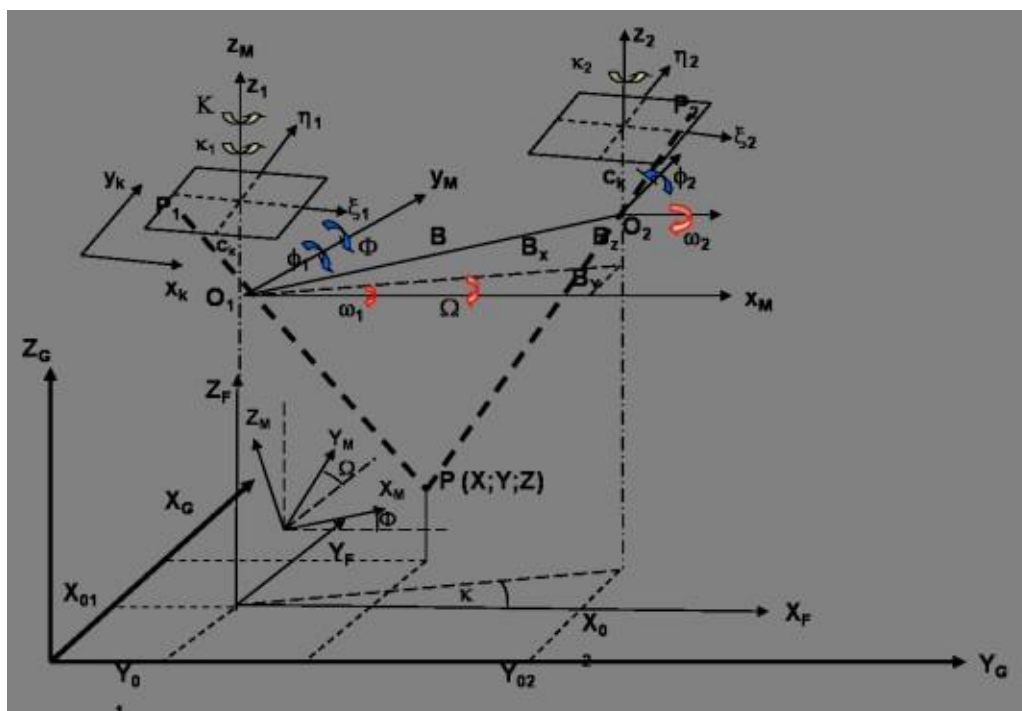
Soron belüli átfedések: a képpár repülési tengellyel megegyező irányú közös képterülete.

Hármass átfedési sáv: a szomszédos modellek soron belüli közös fedőterülete. Az elnevezés abból adódik, hogy ez a közös terület három egymást követő képen is rajta van.

Sorok közötti átfedés: a képek repülési tengelyre merőleges irányú közös képterülete.

2.4. 9.2.4 Koordinátarendszerek és tájékozási szögek

A 9-5. ábra egy sztereoképpár térbeli elhelyezkedését és az azt jellemző mennyiségeket mutatja, különböző koordináta-rendszereket ábrázol, amelyeket a felvételi elrendezés meghatározásakor (a tájékozási folyamat során) értelmezzünk. Az ábrán megjelenített koordináta-rendszerek egymáshoz kapcsolódnak. Ezekben a vonatkozási rendszerekben együttesen kell értelmeznünk a képpár belső és külső tájékozási adatait, a rendszerek egymáshoz való geometriai kapcsolódásának ismerete fontos a tájékozás folyamatában.



9-5. ábra Koordináta-rendszerek

O_1, O_2 vetítési középpontok

P, P_1, P_2 tereppont és képi megfelelői

$\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2$: a bal és jobb kép síkbeli képkoordináta-rendszere,

x_M, y_M, z_M modell koordináta-rendszer analitikus tájékozásnál,

$x', y', z', x'', y'', z''$ a bal és jobb képen értelmezett térbeli képkoordináták,

x_k, y_k komparátor síkkoordináta-rendszere

X_M, Y_M, Z_M relatív tájékozott modell koordináta-rendszere

X_F, Y_F, Z_F fotogrammetriai vagy tárgykoordináta-rendszer,

Y_G, X_G, Z_G geodéziai koordináta-rendszer, az illesztőpontok koordináta-rendszere.

$\kappa_1, \phi_1, \omega_1, \kappa_2, \phi_2, \omega_2$ relatív tájékozási szövelemek

K, Φ, Ω abszolút tájékozási szövelemek

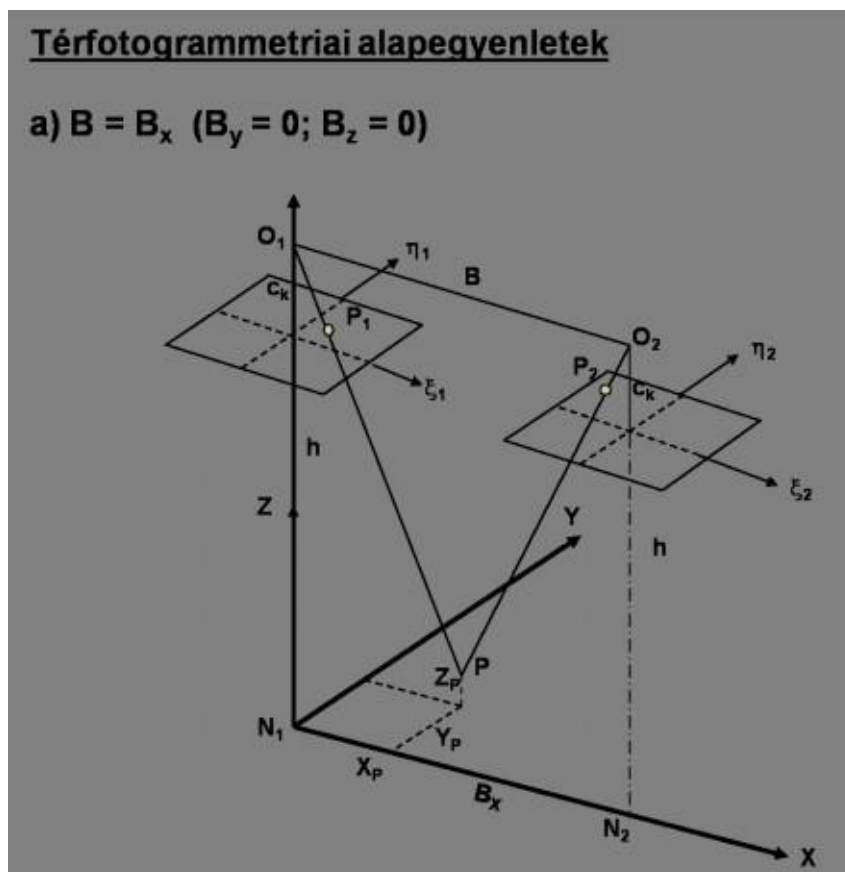
$B (B_x, B_y, B_z)$ felvételi bázis (báziskomponensek)

2.5. 9.2.5 A térfotogrammetria alapösszefüggései

A térfotogrammetriai kiértékelések során célunk a képeken vagy a belőlük előállított, matematikailag értelmezett modellen végzett méréseinkből a terepre vonatkoztatott méretek, térbeli adatok meghatározása vagy a terep, tereptárgy méretarányos ábrázolása. A képpont tereppont közötti összefüggéseknél alapvetően meghatározó körülmény, hogy a felvételek külön-külön milyen kameratengely helyzettel készültek, illetve a

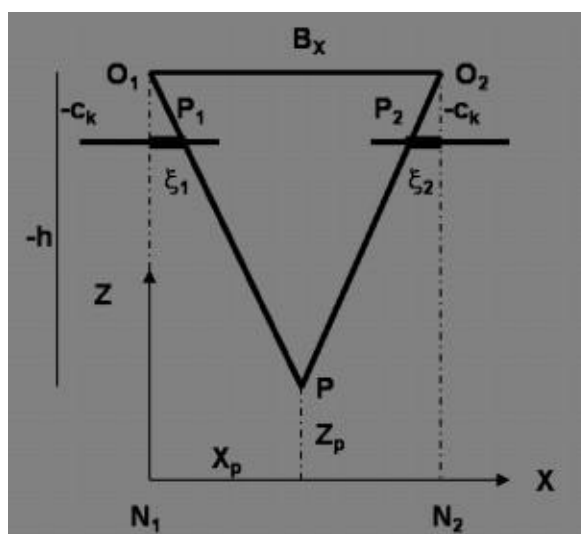
felvételek egymáshoz és a terepi koordináta-rendszerhez képest hogyan helyezkednek el. Ezek alapján többféle alapvető elrendezést vázolunk fel és írjuk fel az összefüggéseket.

- a. Elsőként azt a legegyszerűbb elrendezést mutatjuk be, amelynél a képpár mindkét felvétele nadírfelvétel, a repülés iránya a geodéziai koordináta-rendszer X tengelyének irányával megegyező, vagyis a felvételi B bázis csak B_x báziskomponenssel rendelkezik. (9-6. ábra)



9-6. ábra Nadírfelvételek, X tengely irányú repülés

A 9-7. ábra a 9-6. ábra szerinti elrendezés X,Z metszetét mutatja. A P tereppont bal és jobb képi megfelelői P_1 és P_2 képpontok, melyekhez ξ_1 és ξ_2 képkoordináta értékek tartoznak. Az ábrán lévő hasonló háromszögek alapján aránypárok írhatók fel, amelyekből ξ_1 és ξ_2 képkoordinátákat kifejezzük. Képezzük a ξ_1 - ξ_2 különbségként a parallaxis értékét, majd behelyettesítjük az előzőekben ξ_1 -re és ξ_2 -re kapott összefüggéseket.

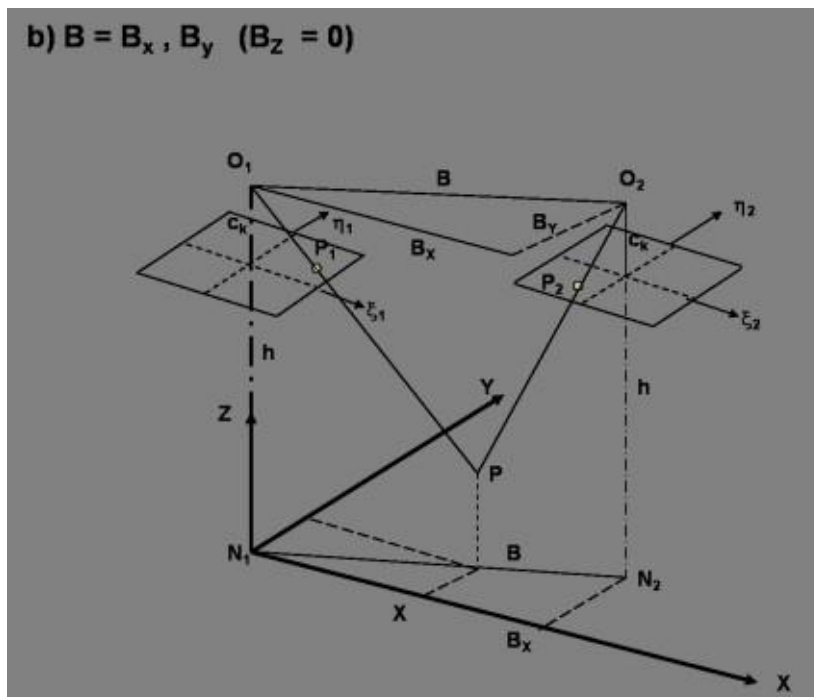


9-7. ábra Képkoordináták terepi koordináták összefüggése I.

Ezt az összefüggést egyszerűsítve kapjuk $p\xi$ -re :

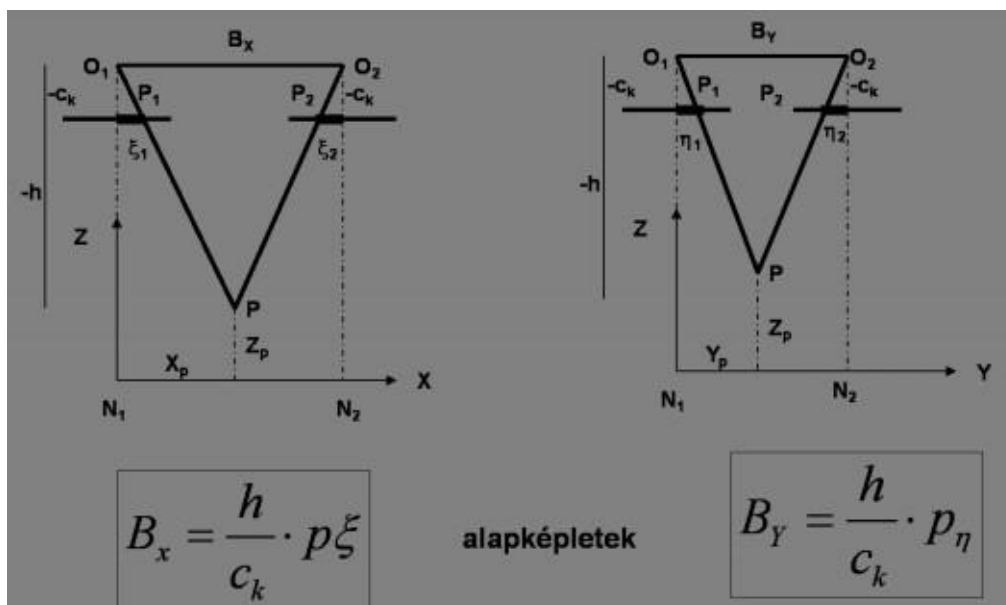
Ezt B_x -re rendezve jutunk a téréfotogrammetria egyik alapösszefüggéséhez:

- a. Nadírfelvételek, vízszintes, de X tengellyel szöget bezáró repülési irány esetén a bázis B_x és B_y báziskomponensekre bontható.



9-8. ábra Nadírfelvételek, X tengellyel szöget bezáró repülés

A 9-9. ábra a 9-8. ábra szerinti elrendezés két, egymásra merőleges irányú metszetét mutatja. Az XY metszet alapján felírható összefüggés megegyezik a 9-7. ábra alapján levezetett összefüggéssel. Az YZ metszet alapján hasonló módon jutunk alapösszefüggéshez. Ekkor az aránypárokból az η_1, η_2 képkoordináta értékeket fejezzük ki, majd ezek különbségként a p_η parallaxist írhatjuk fel.

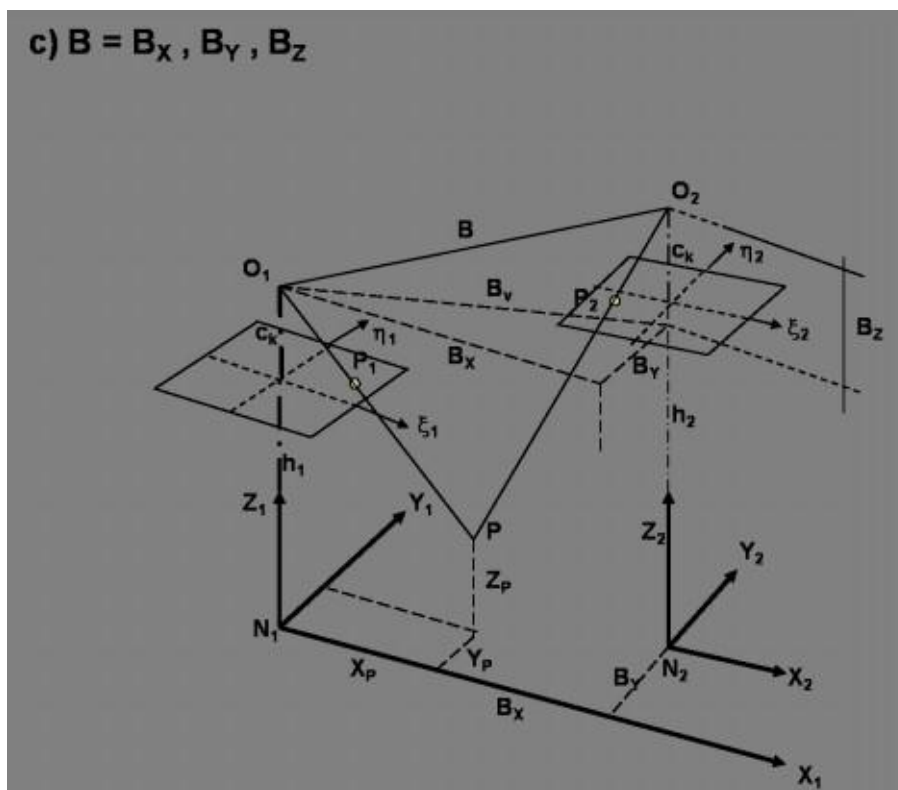


9-9. ábra Képkoordináták terepi koordináták összefüggése II.

A B_y báziskomponenst kifejezve a

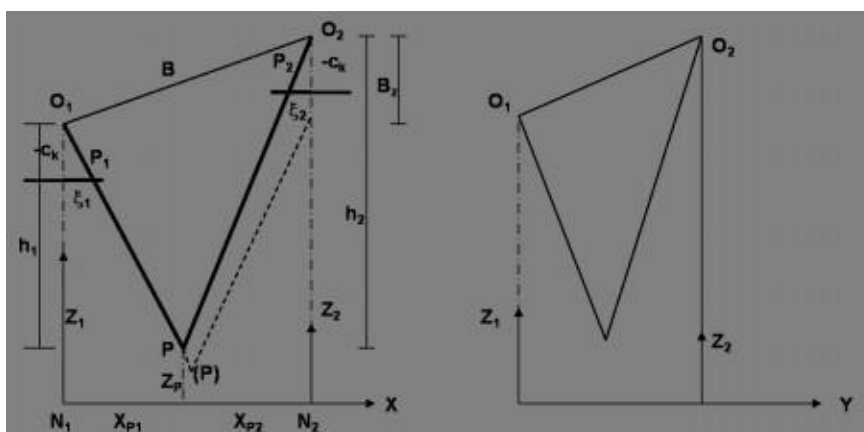
alapösszefüggést kapjuk.

- i. Harmadik esetként olyan sztereo felvételpárt ábrázolunk, amelyek képei nadírfelvételek és a repülési irány a terepi térbeli koordináta-rendszer mindhárom tengelyével valamilyen szöget zár be. Ekkor a B bázis három báziskomponensre bontható, B_x -re, B_y -ra és B_z -re. (9-10. ábra)



9-10. ábra Nadírfelvételek, általános helyzetű bázis

Ennél a felvételi elrendezésnél a levezetett alapösszefüggésekben megjelenik a B_z báziskomponens, így azok összetettebbek az előzőekben vázolt esetek alapján felírt összefüggéseknél.



9-11. ábra Képp koordináták terepi koordináták összefüggése III.

A téréfotogrammetria alapösszefüggéseit a repülési magasság vagy terepi magasságkülönbségek meghatározására felhasználhatjuk. Emellett az összefüggésekből egyéb következtetések vonhatók le.

és

1. Egy képpár esetén a megfelelő irányú **báziskomponens** (B_x vagy B_y) és a **kameraállandó szorzata állandó**, ebből következően a különböző magasságú tereppontokhoz tartozó fényképezési magasság és a megfelelő irányú parallaxis (p_x vagy p_y) szorzata is állandó ($h \cdot p_x = B_x \cdot c_k = \text{állandó}$). Egy képpárnál az 1, 2, ..., n pontokban a $h_{r1} \cdot p_{x1} = h_{r2} \cdot p_{x2} = \dots = h_{rn} \cdot p_{xn}$ szorzatok is állandók, mint ahogy a $B_y \cdot c_k$ érték is állandó

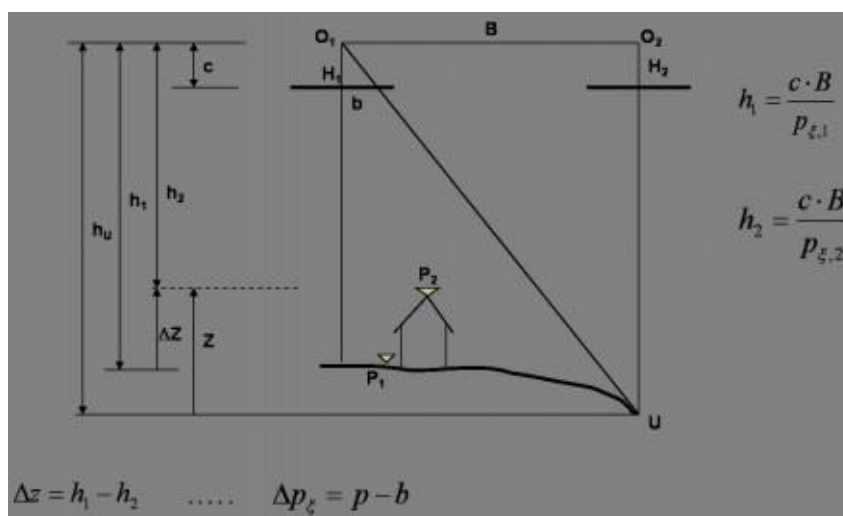
1. $\frac{Bx \cdot c_k}{h_f} = p_{x1} = p_{x2} = \dots = p_{xn}$ pontokhoz azonos parallaxis értékek tartoznak:

2. Mivel a h_f/c_k a mérőfénykép méretarányzáma, ezért a B_x és p_x alapján számítható a kép méretarányzáma a P pontban:

$$m = \frac{B_x}{p_x} = \frac{B_y}{p_y}$$

1. A parallaxis értékek és a fényképezési magasságok fordítottan arányosak egymással: (9-12. ábra)

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{p_{x2}}{p_{x1}}$$



9-12. ábra A fényképezési magasság és a parallaxis összefüggése

Nagyobb relatív repülési magassághoz (fényképezési magassághoz) kisebb parallaxisérték, kisebb képméretarány és kisebb relatív repülési magassághoz nagyobb parallaxisérték és nagyobb képméretarány tartozik.

3. 9.3 Természetes és mesterséges térlátás

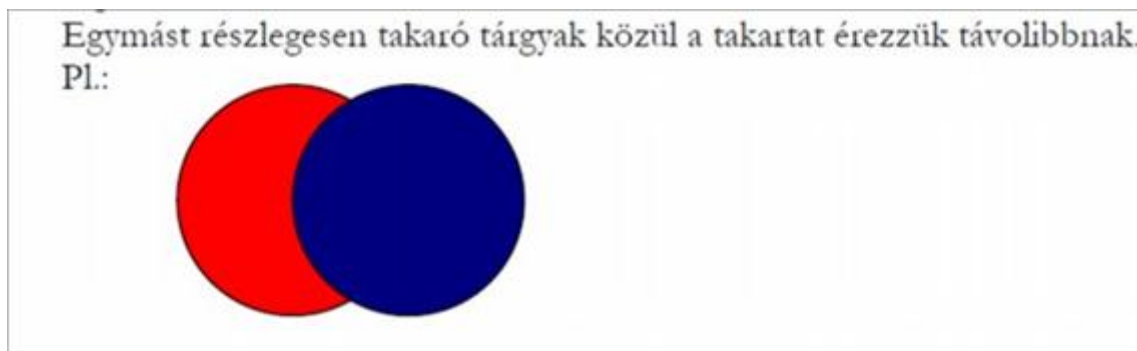
A térfotogrammetriai műszerek többnyire lehetővé teszik a kiértékelés közben a sztereoszkópikus szemléletet. Ezzel a homológ pontok azonosításának megbízhatósága nagymértékben nő, a képen való tájékozódás egyszerűsödik és nem utolsósorban a kiértékelési pontosság is javul. Ahhoz, hogy a sztereoképpár alapján térbeli látványt állítsunk elő, számos feltételt kell biztosítanunk. Ezek szoros kapcsolatban vannak azokkal a körülményekkel, amelyek a természetes látás során is biztosítják számunkra a térbeliséget.

3.1. 9.3.1 Természetes térlátás

A szem a látás szerve, a koponya szemüregében helyezkedik el. Az emberi szem és az agy látási központjának azt a képességét, hogy a szemlélt tárgyak térbeli alakját és egymáshoz viszonyított térbeli helyzetét két képből meg tudja állapítani, sztereoszkópikus látásnak vagy térlátásnak nevezzük. Ezzel a képességgel nem rendelkező emberek egy szemmel csak sikképet látnak, de így is vannak olyan tényezők, amelyek az ő térlátásukat segítik. Az egy szemmel történő látás a monokuláris látás. A ún. **monokuláris faktoroknak** köszönhetően meg tudják ítélni a tárgyak távolságát, ebből következően bizonyos mértékig térbeli elhelyezkedésüket is. Ezek:

- fény-árnyék viszony
- takarás

- tárgyak mérete
- kép perspektivitása
- vizuális kontraszt
- mozgási paraméter
- tárgy részletessége

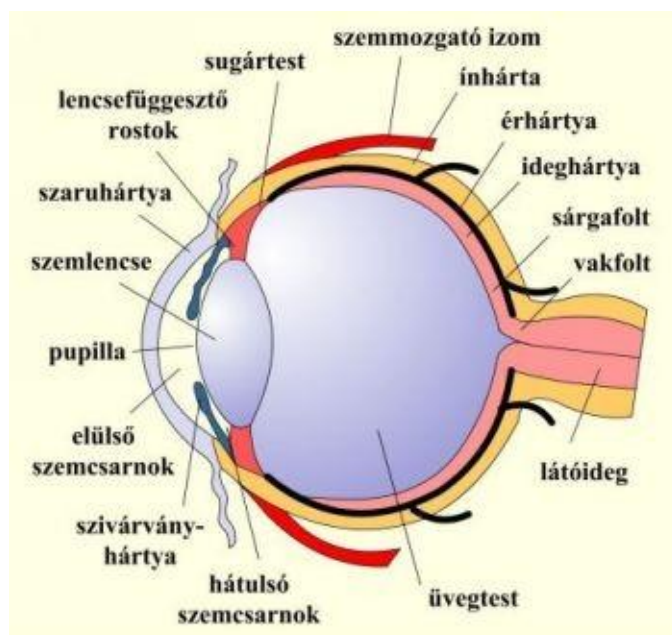


9-13. ábra Egymást részlegesen takaró tárgyak közül a takartat érezzük távolibbnak

A mozgási paraméter oly módon szolgáltat információt a mozgó tárgy távolságáról, hogy érzékeljük a tárgy követése közben a szemünk mozgását, ami közelebbi távolság esetén gyorsabb, távolabbi tárgy esetén lassabb.

3.1.1. 9.3.1.1 A szem felépítése

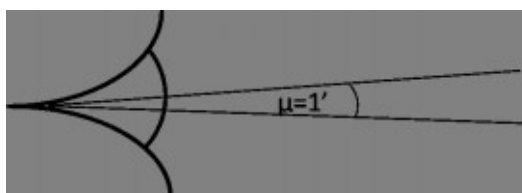
A látás folyamatában a szem, mint összetett lencserendszer működik. Az optikai képalkotásban a szem egyes részei fénytörő közegként vesznek részt. A bejutó fény mennyiségét a szivárványhártya, mint rekesz automatikusan szabályozza. A szem hátsó falán, az ideghártyán keletkező kép élessége attól függ, hogy annak melyik területén jön létre, az milyen sűrűn ellátott receptorokkal. A szemtengelyünket ösztönösen arra a részletre irányítjuk, amelyet élesen szeretnénk látni. Ehhez az éles képalkotást leginkább befolyásoló szemlencsét a tárgytávolságnak megfelelően fókuszáljuk. A szemizmok segítségével a szemlencse határoló felületének görbületét tudjuk változtatni. Szemünknek ezt az ösztönös tevékenységét **akkomodációnak** nevezzük. Azt a távolságot, amelyre elhelyezett tárgyat hosszabb időn át szemfáradás nélkül tudjuk figyelni, a tisztalátás távolságának nevezzük, értéke kb. 25 cm. A legkisebb távolság, amelyre még akkomodálni tudjuk szemünket kb. 14 cm. A sárgafolton keletkezett éles képet érzékeljük legnagyobb részletességgel, ugyanis a retinának ezen a részén találhatóak legnagyobb számban az említett receptorok. A látás folyamatának ez a szakasza az optikai szakasz.



9-14. ábra Az emberi szem felépítése

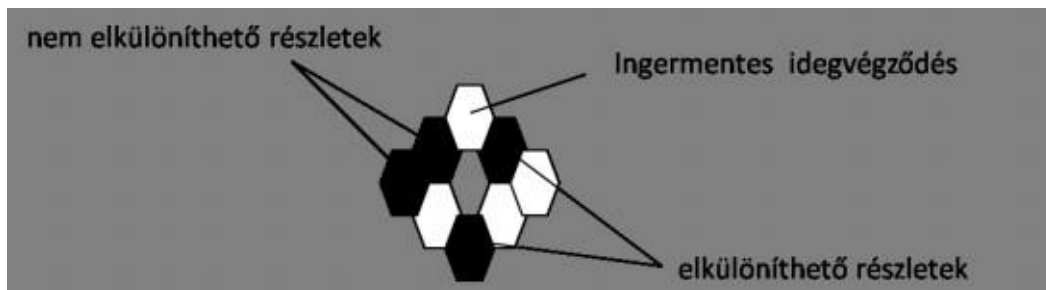
<http://bin.sulinet.hu/ikep/2007/12/adm.kep.m1023361616200.szemfelepites.JPG>

A retinán keletkező optikai kép jellemzői: valódi, kicsinyített, fordított állású, görbült és egyenetlen. A látási folyamat második szakaszában, a fiziológiai szakaszban ezt a képet az idegvégződéseken keltett ingerületek segítségével felfogjuk és az agy látásért felelős központjába továbbítjuk. A harmadik szakaszban, egy pszichikai folyamat során áll elő az a tudatunkkal „látott” kép, amely már egyenes állású, valódi nagyságú, egyenletes, sík kép. Ezt az egy szemmel látott sík képet jellemzi a monokuláris látásélesség (μ), vagyis az, hogy milyen finom részleteket vagyunk képesek elkülöníteni egy szemmel való szemléléskor. Ez az átlagos emberi szemre: $\mu = 1'$ (9-15. ábra)



9-15. ábra Monokuláris látásélesség

Legalább ekkora szöget kell bezárnia két pontszerű részletről érkező képalkotó sugárnak ahhoz, hogy azokat különállóként érzékeljük. Ekkor a sugarak által keltett ingerületek nem szomszédos idegvégződéseken keletkeznek, ami feltétele az elkülönítésnek. (9-16. ábra)



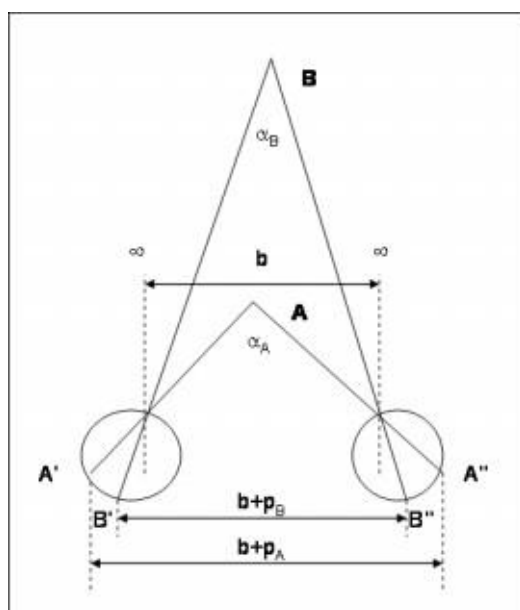
9-16. ábra Idegvégződéseken keltett ingerületek

A lineáris monokuláris látásélesség vagy más elnevezéssel monokuláris felbontóképesség alatt azt értjük, hogy adott távolságból szemlélve a részleteket, elkülönítésük a részletek mekkora lineáris távolsága mellett lehetséges. Értéke a tisztánlátás távolságában 0,073mm. Az optikai-fotográfiai felbontóképesség 0,02 – 0,03 mm, vagyis fényképezéssel kisebb részleteket tudunk rögzíteni, mint amit szabad szemmel képesek vagyunk

érezkelni. Azért, hogy a képek részletgazdagságát hasznosítani tudjuk, a fotogrammetriai kiértékelések során a képeket többnyire nagyítás mellett szemléljük.

A természetes sztereoszkópikus vagy binokuláris látáskor szemünkkel külön-külön sík képet érzékelünk, és ezekből tudati tevékenység eredményeképpen jön létre a térbeli kép. A térérzetet az ún. binokuláris faktorok okozzák. Ezek a 9-17. ábra jelölései szerint:

- konvergencia: a térbeli pontra menő irányok (látótengelyek) által bezárt szög (az ábrán α_A, α_B)
- szögparallaxis: a konvergencia szögek különbözősége ($\alpha_A \neq \alpha_B$)
- szem letapogató mozgása
- fiziológiai parallaxis (az A és B pontok képi megfelelőinek eltérő fiziológiai távolsága a bal és a jobb szemben)



9-17. ábra Természetes sztereoszkópikus látás

A sztereoszkópikus felbontóképesség jobb, mint a monokuláris felbontóképesség, 0,5', vagyis a térfotogrammetriai kiértékeléseknél a sztereoszkópikus szemlélési módot a jobb tájékozódás mellett a pontosabb mérés lehetősége is indokolja.

3.2. 9.3.2 Mesterséges térlátás

Annak feltételei, hogy egy térfotogrammetriai műszerben a természetes térlátás „mintájára” sík képek alapján térbeli látványt hozzunk létre a következők:

- Képpárt kell készíteni adott bázissal és átfedéssel.
- A bal képet a bal szemünkkel, a jobb képet jobb szemünkkel kell szemlélni.
- Szemléléskor a képek relatív helyzete egymáshoz és a bázishoz képest egyezzen meg a felvételtkori helyzettel, amelyben a szemlélési bázis a felvételi bázisnak felel meg.
- A bázisviszony (a bázis és a fényképezési távolság aránya) egyezzen meg a felvételtkori bázisviszonnyal. Törekedni kell az 1/4-es értékre, amely a tisztalátás távolsága és az átlagos szembázis arányának felel meg.
- A szemlélési sugárnyaláb egybevágó legyen a felvevő kamera sugárnyalábjával.

A feltételek teljesülésével a természetes térlátás szerinti két sík képet látunk külön-külön, amelyet a tudatunk állít össze egy térhatású látvánnyá (képpé). A térhatás fokozásának különböző módjai vannak, melyeket a sztereoszkópikus műszerekben alkalmaznak. Ilyenek a szembázis növelése és a nagyítás. A szembázis növelését

tükrök segítségével valósítják meg, a nagyítást a szemlélő-berendezésekben elhelyezett nagyítólencsék eredményezik. A két módszer együttes alkalmazásaképpen a totálplasztika vagy túlplasztika látványa jön létre.

3.2.1. 9.3.2.1 A sztereoszkópikus szemlélés eszközei, módszerei

A sztereoszkópikus eszközök és módszerek különböző módokon biztosítják a sztereoszkópikus látás feltételeinek teljesülését. Néhány példa a megvalósításra:

- *Sztereoszkópok*: képpár képeinek osztott szemlélésére alkalmas eszközök. Ilyenek például a lencsés- vagy zseb sztereoszkópok, a tükrös sztereoszkóp, binokuláris távcsövek és mikroszkópok, stb... A digitális fotogrammetriai munkaállomásoknál is találkozhatunk azzal a megoldással, ahol a képernyőn megjelenik a képpár mindkét képe, ezt egy képernyő elé lehajtható sztereoszkópon keresztül szemléljük, és így a valóságnak megfelelő térbeli látvány mellett végezhetjük a kiértékelést.
- *Anaglif eljárás*: különböző színnel egymás mellé nyomtatott képek színszűrős szemüvegen keresztül történő szemlélése. A nyomtatás színeinek megfelelőek a színszűrők a szemüveg lencséiben. A lencse a szűrő színével megegyező színt átengedi, a másik színt kiszűri. Ezzel megvalósítja a képek szétválasztását. A leggyakoribb a vörös-cián és a vörös-zöld színpáros. A módszer hátránya, hogy a valóságtól eltérő színeket kell alkalmaznunk, ami az interpretációt nehezítheti.



9-18. ábra Anaglif kép

Forrás: http://www.magyar-varak.hu/foto/Csesznek_3D_1.jpg



9-19. ábra Anaglif szemüveg

- Hasonlóan működik a ún. *polárszűrős szemlélés*. Ekkor a képpár képeit más-más síkba polarizáltan vetítik, amelyet a képek síkjának megfelelően polarizált szemüveggel tehetünk térhatásúvá.
- Digitális képek térbeli kiértékelésénél lehetséges megoldás a képek *különböző frekvencián történő vetítése* és ennek szemlélése egy folyadékkristályos szemüvegen keresztül, amelyet a számítógép vezérel a vetítés frekvenciájával szinkronban.

Az előzőekben ismertetett megoldásoktól egészen eltérő az a módszer a mesterséges térhatás elérésére, amikor egyetlen kép és egy speciális szemüveg segítségével idézhetünk elő térbeli látványt. Digitális képek esetén alkalmazható akkor, ha ismerjük a területet vagy objektumot leíró felületmodellt. A terület teljes magassági

kiterjedését a színek tartományai szerint felosztjuk és a pixeleket magasságuk szerint a színek egyes színeivel „színkódoljuk”, vagyis az azonos magassági tartományba tartozó képelemek azonos színt kapnak. Az eljárásnál alkalmazott szemüveg, amellyel a képet szemléljük, egy plánpáralel üveglemeznek felel meg, ami a fénysugarakat a színek vagyis a hullámhosszuk szerint különböző mértékben téríti el önmagával párhuzamosan. Ezzel az egyes magassági tartományok között a más-más mértékű eltérítés miatt a színek közötti fiziológiai parallaxist (9.3.1.1 fejezet) idéz elő mesterségesen. Ez az eljárás csupán a látvány előidézésére szolgál, ugyanis a térbeli kiértékelések egyik célja a magassági adatnyerés, itt viszont a magassági adatok ismerete feltétele a sztereó szemlélésnek.

A felsorolt példákon kívül számos más módja is létezik a mesterséges sztereoszkópikus szemlélésnek. Ezen a területen nemrég magyar diákok által kifejlesztett eszközök és módszerek részesültek rangos hazai és nemzetközi elismerésben. Emellett meg kell említenünk azokat a megoldásokat is, amelyek során több kép alapján történik a térbeli kiértékelés –akár automatikusan-, de eközben nincs mód térbeli szemlélésre. Másik esetben a lézerszkenneres térbeli adatnyerést és a fotogrammetriai képalapok kombinálják, és úgy jutunk képalapú (raszteres) térbeli végeredményhez, hogy közben klasszikus értelemben vett fotogrammetriai kiértékelés nem történik.

A számítástechnika fejlődése, a naponta újabb és újabb szoftverek megjelenése megújították a térfotogrammetriai kiértékelések hagyományos módszereit.

4. 9.4 Összefoglalás

A modul a térfotogrammetriai kiértékelések megértését elősegítő ismereteket tartalmaz. Bemutatja a sztereoképpár képeinek térbeli elhelyezkedését jellemző geometriai mennyiségek kapcsolatrendszerét. Ismerteti a fotogrammetriai kiértékelések során értelmezett koordináta-rendszereket, azok kapcsolódását egymáshoz. A fejezet a légifotogrammetriai felvételkedzésen és kiértékelésen keresztül adja meg a térfotogrammetria matematikai alapösszefüggéseit különböző felvételi elrendezések mellett. Röviden leírja a természetes sztereoszkópikus látás folyamatát és felsorolja a térkiértékelések során alkalmazott mesterséges sztereoszkópikus szemlélés feltételeit. Néhány példát ad a térbeli szemlélés megvalósítását biztosító eszközökre és módszerekre. A modul ismeretanyaga segít a tájékozások folyamatának és a térfotogrammetriai műszerek működési elvének megértésében.

Ellenőrző kérdések:

1. A térfotogrammetriai eljárások milyen módszereit ismeri, azok milyen közvetlen termékek előállítását eredményezik?
2. Egy sztereoképpár képei milyen adatokkal rögzíthetőek a terepi koordináta-rendszerben?
3. Milyen koordináta-rendszereket értelmezünk a térfotogrammetriában?
4. Melyek a térfotogrammetria alapösszefüggései?
5. Sorolja fel a mesterséges sztereoszkópikus látás feltételeit.

Irodalomjegyzék

Engler Péter: *Fotogrammetria II.*, FVM KSZI, 2007

Karl Kraus: *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998

beke.swap.hu/download/_friss_/.../a_sztereoszkopikus_latas.doc

http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3b_pdf/23.pdf

<http://www.wisageek.com/topics/photogrammetry>

http://www.wspgroup.com/upload/documents/PDF/Finland/modern_3d_photogrammetry_method.pdf

<http://www.slac.stanford.edu/econf/C9910183/papers/024.PDF>

[http://bmekommedia.freeblog.hu/files/A mozgás-észlelés és a térlátás.pdf](http://bmekommedia.freeblog.hu/files/A%20mozg%C3%A1s-%C3%A9szlel%C3%A9s%20%C3%A9s%20a%20t%C3%A9rl%C3%A1t%C3%A1s.pdf)

http://www.mozaweb.hu/course/feny/gif/p42_1.gif