

Matula Györgyi

A fotogrammetriai alapjai



A követelménymodul megnevezése:
A fotogrammetriai alapjai

A követelménymodul száma: 2241-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-012-50



A FOTOGRAMMETRIA ALAPJAI

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön egy geodéziával és fotogrammetriával foglalkozó vállalkozás alkalmazottja.

Feladata egy analitikus belső tájékozás elvégzése, ahol adottak a kamerakalibrációs jegyzőkönyvből a keretjelek képkoordinátái és a műszerkoordináták – sztereokomparátorral mért koordináták. A kép mérete 23x23-as és jelen esetben a két koordinátarendszer közel párhuzamos, mert a képeket így kell betenni a képtartóba. A méretarány tényező közel 1 lesz, mert minimális a kép méretváltozása. Határozza meg a paramétereket, transzformációs tényezőket és számolja ki a keresett pontok képkoordinátáit!

A kiinduló adatokat a következő táblázatok tartalmazzák:

	Képkoordináták		Műszerkoordináták	
1	106,00	-106,009	300,008	300,000
2	-106,003	-106,006	88,082	299,630
3	-106,011	105,996	87,605	511,430
4	106,000	105,991	299,492	511,850

	Új pontok koordinátái	
A	100,372	343,576
B	189,688	475,253
C	262,228	410,328
D	211,174	384,583

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A FOTOGRAMMETRIA FOGALMA

A fotogrammetria egy olyan korszerű tudományterület, mely a méréseinek alapjául az információkat nem közvetlenül a terepről szerzi, hanem az arról készített felvételtől. A fotogrammetria lehetőséget ad a tér átfogóbb vizsgálatára, mérésére.

A fotogrammetria szó szerinti értelmezésben fényképmérést jelent (fotos = fény, gramma = kép, metron = mérés). Felhasználásával a tárgyak alakját és méreteit fényképekről lehet mérni, meghatározni. A folyamat során az információt indirekt módon nem az eredeti objektumról, hanem annak optikai vetítéssel készített fényképéről (mérőfényképéről) nyerjük, amely a tárgy centrális vetülete. A fotogrammetria információ hordozója a fénykép. A fotogrammetria meghatározását tömören a Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság fogalmazta meg:

„A fotogrammetria a tárgyakról és környezetünkről származó hiteles információk beszerzésének tudománya és technológiája oly módon, hogy rögzítjük, mérjük és értelmezzük a fényképeket, valamint az elektromágneses spektrum egyéb jeleit.”

A definícióból az is kiderül, hogy a fotogrammetriai eljárás két, határozottan elkülönülő lépésből áll: az információszerzésből (fényképezés) és az információ feldolgozásából.

A FOTOGRAMMETRIA FELOSZTÁSA

1. Geometriai és tematikus információk

Az információhordozó maga a fénykép. Az egy *objektumra vonatkozó információkat* két nagy csoportra oszthatjuk: **geometriai** és **tematikus** információk.

A **geometriai**, vagy más néven mennyiségi (quantitatív) információk körébe tartoznak az alak, térfogat, terület, távolság, szög, koordináta. A geometriai adatok meghatározása mellett gyakran szükséges a képtartalom értelmezése is. Egyrészt az értelmezés a mérési folyamat megelőzi, hiszen tudnunk kell, mit mérünk, másrészt, hogy a tárgyak állapotáról, változásairól adatokat gyűjtünk. Azokat az információkat, amelyek a tárgyak állapotát, színét, anyagát határozzák meg **tematikus**, vagy minőségi (qualitatív) információknak nevezzük. A képtartalom értelmezésével a fotogrammetria egyik ága, a fotointerpretáció foglalkozik. A fényképen való mérést természetesen a fotointerpretáció sem nélkülözi, de itt a mérés valamelyest alárendelt szerepet játszik.

2. Földi, légi és űr fotogrammetria

A fotogrammetria felosztására sok más lehetőség is adódik, a *felvétel helye* szerint beszélhetünk:

- földi,
- légi
- űr fotogrammetriáról.

Földi fotogrammetriáról akkor beszélünk, ha a felvétel földi álláspontról, jellemzően földi tárgyról, objektumról készül. Speciális feladatként előfordulhat, hogy éjszaka az égboltról, a csillagokról készítünk felvételt. A földi fotogrammetriát a felvétel távolsága szerint tovább oszthatjuk *mikro* (mikroszkópon keresztül készítjük a fényképet), *makro* (a felvétel távolsága néhány centiméter) és *közel* fotogrammetriára (a felvétel távolsága 1 m-től legfeljebb 200 m-ig). Hegyvidéki területek topográfiai térképezésénél a felvétel távolsága az 1000–1500 m-t is elérheti.

Légi fotogrammetriában a felvételek valamilyen légi járműről (repülőgép, motoros sárkány, hőlégballon) készülnek. A légi fotogrammetriát is tovább osztjuk *kis*, *közepes* és *nagy* magasságú fényképezésre. A kis magasságból (100 m-től 3000 m-ig) készített felvételeket elsősorban a nagyméretarányú térképek készítésére, pontsűrítésre használhatjuk. A közepes magasságú (3000 m-től 5000 m-ig) felvételeket főként kisebb méretarányú térképek, pl. topográfiai térképek készítésére alkalmazhatjuk. A nagy magasságban történő felvételezés (5000 m-től 15000 m-ig) célja főként a felderítés, vagy a kis méretarányú térképezés.

Az **űrből**, illetve a 150 kilométernél nagyobb magasságból ritka a fényképezéssel történő felvételezés. Ezeket a felvételeket kisméretarányú térképek készítésére használhatjuk.

3. Síkfotogrammetria és térfotogrammetria

Aszerint, hogy a *kiértékeléshez* egyetlen képet, vagy megfelelő átfedéssel készített képpárt használunk, beszélünk egyképes, vagy **síkfotogrammetriáról** és kétképes, vagy **térfotogrammetriáról**. A síkfotogrammetrával csak kétdimenziós meghatározást végezhetünk, innen ered a síkfotogrammetria elnevezés. Ma több szakirodalom használja az ortofoszkópia elnevezést is, mely magában foglalja a hagyományos képátalakító eljárásokat és az *ortofó* előállítását is. Az ortofotó eljárás lehetővé teszi dombvidéki területről is olyan átalakított kép előállítását, amely már nem tartalmaz magassági torzulásokat, így az előállított kép a terep ortogonális vetülete lesz. A térfotogrammetriát hívjuk még sztereo- vagy modell fotogrammetriának is, ahol a két kép együttes szemlélésével létrehozható térhatást használjuk fel a háromdimenziós, azaz térbeli meghatározásra.

4. Analóg, analitikus és digitális eljárások

A *kiértékelés módja* szerint megkülönböztetünk **analóg**, **analitikus** és **digitális** eljárásokat.

Az **analóg** fotogrammetriai kiértékeléseknél az „eredeti” analóg kép felhasználásával valamilyen optikai, vagy mechanikai módszerrel visszaállítjuk az eredeti felvételi sugárnyalábo(ka)t, azt elhelyezzük a térben a felvételi helyzettel megegyező módon. Másikféleképpen fogalmazva visszaállítjuk a kép(ek) felvételkori helyzetét és a méréseinket ezen optikai sugarak, sugárnyalábok segítségével végezzük, határozzuk meg a mérendő pontok adatait.

Az **analitikus** eljárásoknál ugyancsak az „eredeti” analóg képet használjuk mérésre, de ebben az esetben a fényképen mért képi pontok képkoordinátái és a terepi pontok geodéziai koordinátái közötti kapcsolat tisztán matematikai úgy, hogy minden vetítősugar egyenletét felírjuk, és matematikai módszerekkel biztosítjuk a megfelelő sugarak metszését. A legnagyobb pontosságot biztosító eljárások az analitikus kiértékelési módszerek.

A **digitális** fotogrammetriai kiértékeléseknél a mérés alapjául szolgáló kép itt már raszteresen digitális formában áll rendelkezésünkre, a képelemek és a terepi pontok közötti kapcsolat szintén matematikai. További különbség az analitikus eljárásokhoz képest, hogy itt nem képkoordinátákról, hanem pixel (képelem) koordinátákról beszélünk.

A fotogrammetriai kiértékelések *kimenő adatait*, végtermékeit három csoportba soroljuk:

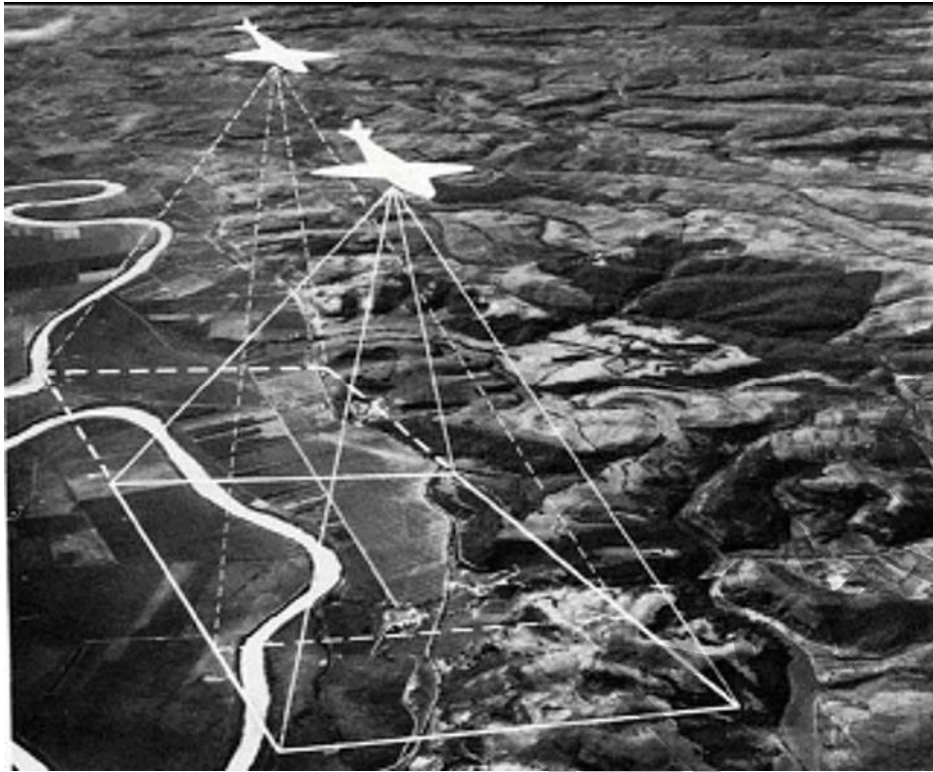
- tónusos képek (átalakított, transzformált képek, ortofotók, nagyítások, stb.)
- grafikus rajzok (vonalas térképek, szintvonalrajzok, metszetek, stb.)
- számszerű adatok (két- vagy háromdimenziós koordináta, terület, hossz, DTM - Digitális Terep Modell, stb.)

A tónusos képeket a síkfotogrammetriai kiértékeléssel, analóg vagy digitális módszerekkel állíthatjuk elő. A grafikus rajzokat és a számszerű adatokat közvetlenül elsősorban a térfotogrammetriai kiértékelésekkel készíthetjük, illetve határozhatjuk meg. A grafikus eljárások fokozatosan fejlődtek a numerikus megoldások felé. Ezért ma rajzi és részben számszerű adatokat biztosító eljárásokról beszélhetünk. Grafikus rajzokat és számszerű adatokat analóg, analitikus és digitális kiértékeléssel egyaránt előállíthatunk.

A FOTOGRAMMETRIA FELADATA

A fotogrammetria feladata egyszerűen így fogalmazható meg: olyan mérési adatok, eredmények szolgáltatása, amelyek kielégítik a legkülönbözőbb szakterületek (térképezés, építészet, műemlékvédelem, régészet, vonalas létesítmények felmérése, vízgazdálkodás, geológia, talajtan, mezőgazdaság, környezetvédelem, mérnökgeodézia, orvostudomány, stb.) igényeit.

A fotogrammetria kezdettől fogva legnagyobb felhasználója a földmérés és a térképkészítés. Főként a légifényképezés útján lett a földmérés egyik leggyorsabb és bizonyos mértékig egyik leggazdaságosabb térképező és pontmeghatározó eljárása. A fotogrammetria a topográfiai térképek előállítása terén gyakorlatilag teljes egészében kiszorította a hagyományos földi eljárásokat. Leginkább a digitális ortofotó előállítása révén a fotogrammetria a nagyméretarányú felmérések terén is polgárjogot nyert.



1. ábra. Légifényképezés

A térfotogrammetriai kiértékelések sokoldalúan felhasználható „mellékterméke” a digitális terepmodell, vagy domborzatmodell.

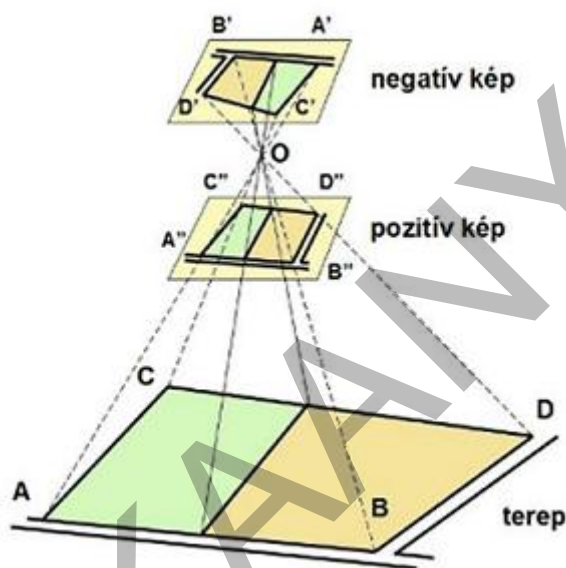
A fotogrammetriai eljárások jelentős részben irodai, kényelmes munkavégzéssel gyors, hatékony és megfelelő pontosságú felmérési lehetőséget biztosítanak, azonban felhívjuk a figyelmet arra, hogy a fényképezés sajátosságaiból eredően mindig szükséges kiegészítő, terepi ellenőrzés, felmérés a teljes körű eredmény eléréséhez.

A FOTOGRAMMETRIA ALAPJAI

A fotogrammetria széleskörű ismeretanyagot használ fel. A képalkotás (fényképezés) során a terepi pontok vetítése a képre, illetve a kiértékeléseknél a képi pontok vetítése a tárgysíkra geometriai és matematikai törvényszerűségeket felhasználva történik. A képeket fotografiai úton rögzítjük, a vetítéshez optikai eszközöket használunk. Emiatt a téma megértéséhez szükség van a geometriai, matematikai, fizikai (fénytan) és fotografiai (fotokémiai) alapok ismertetésére.

1. A fotogrammetria geometriai alapjai

A fénykép geometriai értelemben a leképezett tárgy pontszerűnek tekintett vetítési középpont segítségével létrehozott centrális vetülete. A kép egyes pontjait a tárgypontra és a vetítési középpontra illeszkedő vetítési sugár metszi ki a képsíkból. A vetítési sugarak összessége a **képalkotó sugárnyaláb**. Az esetben, ha a vetítési középpont a tárgy (terep) és a képsík között helyezkedik el (ami a felvételek elkészítésénél kizárólagos eset) geometriai értelemben **negatív kép** keletkezik. Geometriai értelemben **pozitív kép**ről akkor beszélünk, ha a képsík a vetítési középpont és a tárgysík között van. A geometriailag pozitív állású képet a levezetések könnyebb megértése érdekében használjuk.



2. ábra. Centrális vetítés

A vetítés a vetített alakzat méretes tulajdonságait megváltoztatja, torzítja. Egy fényképről csak akkor tudunk méreteket lemérni, ha ismerjük a vetítés tulajdonságait, a geometriai egyértelműség kritériumait. A projektív geometria törvényei alapján szerkesztéssel és számítással egyaránt meghatározható, hogy az adott térbeli alakzat valamely pontjának mely pont felel meg az alakzat centrális vetítésű képén.

A mérőkamerával készített fénykép, a lefényképezett tárgy centrális vetülete. A folyamatot fotogrammetriai centrális vetítésnek nevezzük. hasonlítsuk össze az ideális és a fotogrammetriai centrális vetítést!

Ideális vetítés	Fotogrammetriai vetítés
(matematikai folyamat)	(fizikai folyamat)
vetítősugár (egyenes)	fénysugár, sugárnyaláb (a torzulások miatt görbe)
egy vetítési középpont	objektív két – tárgyoldali és képoldali – vetítési középponttal

képsík (sík)	fényérzékeny emulzió (síktól eltérő behajlás)
tárgysík, tárgyponatok	terepi pontok (csak ritkán alkotnak síkot)

Mint az összehasonlításból is kiderül, a fotogrammetria leképezésénél számos probléma merülhet fel, amelyek a kiértékelések során „kezelnünk” kell. Olyan kiértékelő műszereket és módszereket kell választanunk, amelyekkel a fotogrammetriai centrális vetítésnél fellépő hibákat ki tudjuk küszöbölni, vagy hatásukat a lehetséges mértékig csökkenteni tudjuk.

2. A fotogrammetria matematikai alapjai

A különböző fotogrammetriai kiértékelések során gyakran van szükség arra, hogy két koordináta-rendszer között matematikai kapcsolatot teremtsünk. A matematikai kapcsolat esetünkben tulajdonképpen síkbeli vagy térbeli koordináta transzformáció, valamint ismernünk kell ezeken felül a kép és terepi pontok kapcsolatát leíró egyenleteket.

Síkbeli transzformációk

Síkbeli transzformációkkal a fotogrammetriában az analóg, az analitikus és a digitális eljárásoknál egyaránt találkozhatunk, akár a kép és a műszer koordináta-rendszere között, akár a fotogrammetriai és geodéziai koordináta-rendszerek közötti átszámításoknál.

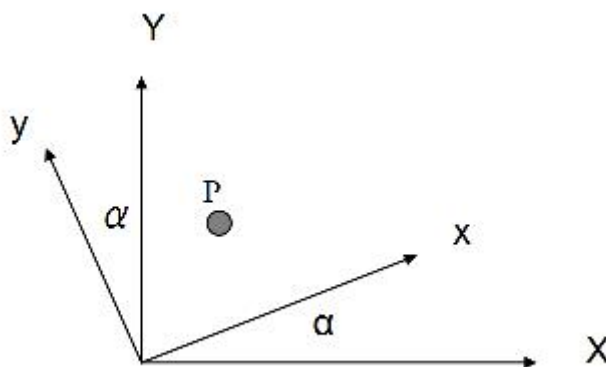
A síkon történő transzformációk alapesete, mikor két olyan koordináta-rendszer között kell átszámításokat végeznünk, ahol a két rendszer kezdőpontja azonos és nincs méretkülönbség.

Ebben az esetben csupán forgatás történik a következő egyenletek segítségével:

$$X = x \cos\alpha - y \sin\alpha$$

$$Y = x \sin\alpha + y \cos\alpha$$

Az ismeretlenek száma csak 1, az α forgatási szög.



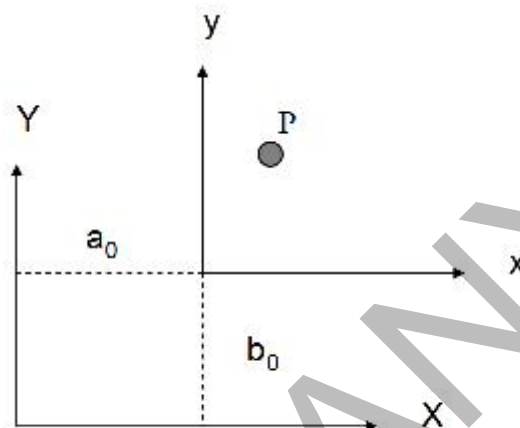
3. ábra. Síkbeli transzformáció alapesete

A második eset az, amikor a koordináta-rendszerek kezdőpontja már nem egyezik meg, ugyanakkor a két rendszer tengelyei egymással párhuzamosak, és közöttük nincs méretkülönbség. Ekkor az egyenletek a következőképpen alakulnak:

$$X = a_0 + x$$

$$Y = b_0 + y$$

Itt tulajdonképpen kétirányú eltolásról beszélhetünk, ahol az ismeretlenek száma 2.



4. ábra. Síkbeli transzformációk

A következő az az eset, amikor a koordináta-rendszerek kezdőpontja nem egyezik meg, a két rendszer koordináta tengelyei nem párhuzamosak, és közöttük nincs méretkülönbség. Ekkor az egyenletek a következőképpen alakulnak:

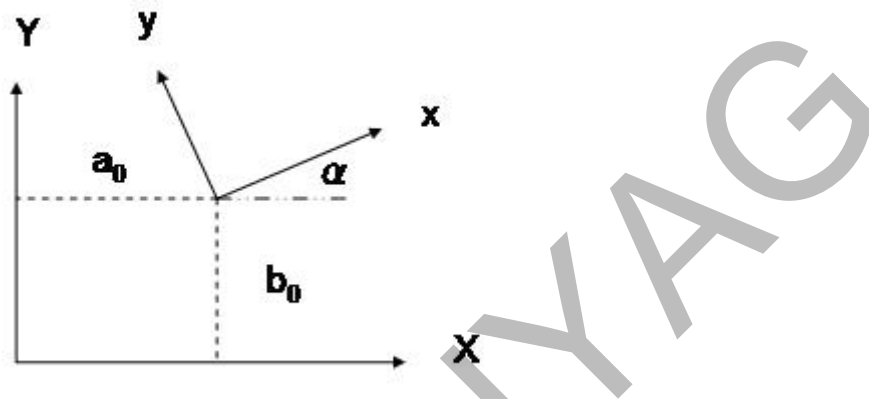
$$X = a_0 + x \cos\alpha - y \sin\alpha$$

$$Y = b_0 + x \sin\alpha + y \cos\alpha$$

ahol az a_0 és b_0 értékek a kezdőpontok x illetve y irányú eltolási értékei. Az ismeretlenek száma ebben az esetben 3.

Az első három alapeset ritkán, csupán valamilyen speciális esetben fordul elő, mivel azok feltételeit (közös kezdőpont, párhuzamoság, azonos méret) nehezen tudjuk biztosítani.

A legáltalánosabb síkbeli transzformáció az, amikor két olyan koordináta-rendszer között kell átszámításokat végeznünk, ahol a két rendszer kezdőpontja nem egyezik meg, a tengelyek nem párhuzamosak egymással és a két rendszer között méretkülönbség van. Erre az esetre a szakirodalomban nagyon sok megoldást ismer. A következőkben a két leggyakrabban alkalmazott transzformációt, a Helmert és az affin transzformációt ismertetjük.



5. ábra. Síkbeli transzformáció általános esete

A Helmert transzformáció alapképletei a következők:

$$X = a_0 + a x - b y = a_0 + m (x \cos\alpha - y \sin\alpha)$$

$$Y = b_0 + b x + a y = b_0 + m (x \sin\alpha + y \cos\alpha)$$

ahol az $a = m \cos\alpha$ és $b = m \sin\alpha$. Az a_0 és b_0 értékek az ún. *eltolási értékek*, m a *méretarány* tényező, α az *elforgatási érték*. A négy ismeretlen meghatározásához két olyan pontra van szükség, amelyek koordinátáit mindkét rendszerben ismerjük. A transzformációs együtthatók meghatározása után bármely x, y koordinátájú pontot átszámíthatunk az XY rendszerbe. A gyakorlatban a transzformációs együtthatók kiszámításához minimálisan szükséges 2 két pontnál több közös pont áll rendelkezésünkre, akkor az ún. *súlyponti Helmert transzformációt* alkalmazzuk. Előnye, hogy az együtthatók meghatározása mellett, a közös pontokon számítható maradék ellentmondások alapján pontossági mérőszámot is kapunk, illetve lehetőségünk van a rossz pontok kiszűrésére.

Gyakran olyan rendszerek között kell transzformációt elvégeznünk, ahol nem elegendő az egy méretarány tényező, mert a két irányban más mértékű a torzulás – ezt *affin torzulásnak* nevezzük –, továbbá feltételezzük, hogy a koordinátatengelyek nem merőlegesek egymásra. Ez a jelenség főként a képkoordináta rendszerek esetén (pl. a filmek hívás, szárítás, nyújtás stb. hatására bekövetkező méretváltozása) jelentkezik. Ekkor alkalmazzuk az **affin transzformációt**, melynek képletei a következők:

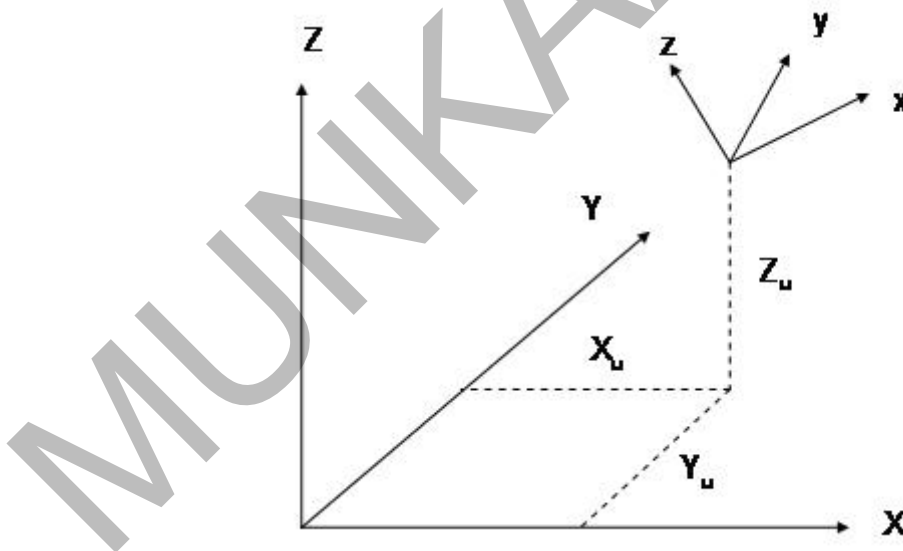
$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y = a_0 + k_x ((x \cos\alpha - y \sin(\alpha + \delta)))$$

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y = b_0 + k_y ((x \sin\alpha + y \cos\alpha + \delta))$$

ahol az $a_1 = k_x \cos\alpha$, $a_2 = k_x \sin(\alpha + \delta)$, $b_1 = k_y \sin\alpha$ és $b_2 = k_y \cos(\alpha + \delta)$. Az a_0 és b_0 értékek az *eltolási értékek*, a k_x és k_y értékek, pedig a két koordináta tengely mentén a torzulás hatására fellépő *különböző méretarány tényezők*, és δ , a *koordinátarendszerek merőlegességi hibája*. Az összesen 6 transzformációs paraméter meghatározásához minimálisan 3 közös pontra van szükség. Ha háromnál több a közös pontok száma, ebben az esetben egy ún. *súlyponti affin transzformációt* végzünk. Ebben az esetben itt is lehetőségünk van hibaszűrésre és pontossági mérőszámok meghatározására.

3. Térbeli transzformációk

A térifotogrammetriai eljárásoknál a síkbeli transzformációk szerepe kisebb, inkább természetesen a térbeli transzformációk a jellemzőek. A térbeli transzformációk közül csak az általános esettel foglalkozunk, bár meg kell jegyezni, hogy itt is lehet speciális elrendezésű térbeli koordináta-rendszerek közötti transzformáció. Az általános esetből az egyszerűbb, bizonyos speciális feltételeket kielégítő (pl. párhuzamos koordináta tengelyek) esetek könnyen levezethetők. Általános esetben a két térbeli koordináta rendszer kezdőpontjai egymásnak nem azonosan megfelelő pontok, a tengelyek három, különböző szögértékkel elfordulnak, továbbá a két rendszer között méretkülönbség van. Ilyen lehet például a modellkoordináta-rendszer és a geodéziai koordináta-rendszer közötti transzformáció.



6. ábra. Térbeli transzformáció

Egy P pont x , y , és z koordinátáinak transzformálása az XYZ fölérendelt koordináta rendszerbe a két koordináta rendszer tengelyei által bezárt szögek koszinuszainak felhasználásával, az alábbi képlet segítségével végezhető el:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} + m \cdot \begin{bmatrix} \cos(xX) \cos(yY) \cos(zZ) \\ \cos(xX) \cos(yY) \cos(zZ) \\ \cos(xX) \cos(yY) \cos(zZ) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

mátrixos formában $X=X_u+m \cdot R \cdot x$, ahol X az új koordináták mátrixa, X_u eltolási értékek mátrixa, m a méretarány tényező, R az irány-koszinuszokat tartalmazó forgatási mátrix, x az áttorzformálódó koordináták mátrixa. Az R forgatási mátrix elemei valójában 3 szög (K , Φ és Ω) szögfüggvényeinek különböző szorzataiból számított 9 (3x3) értékek. A K a Z tengely körüli forgatási szög, a Φ az Y , az Ω az X tengely körüli forgatási szögek. Az R forgatási mátrix levezetésére a tárgy keretében belül nem térünk ki.

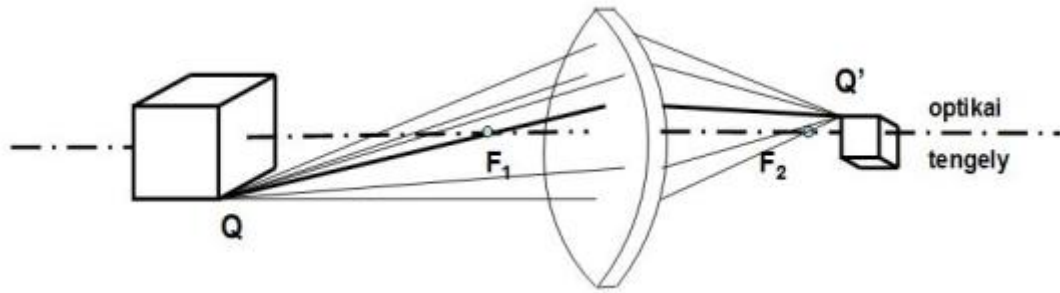
A legjellemzőbb speciális eset, ha nincs elfordulás a két rendszer között, azaz a koordináta tengelyek párhuzamosak. Ekkor az R forgatási mátrixot elhagyhatjuk.

A FOTOGRAMMETRIA OPTIKAI ALAPJAI

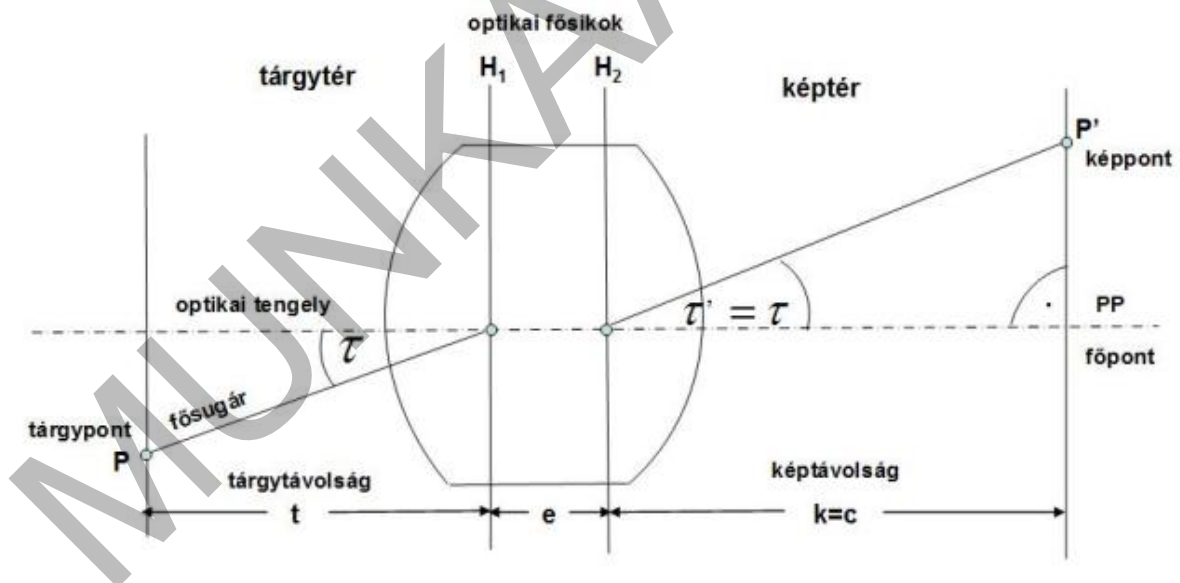
A fotogrammetriában a centrális vetítést objektívek valósítják meg a felvevőkamerákban és a kiértékelő műszerekben egyaránt, emiatt fontos ismerni az optikai képalkotás alapjait, törvényszerűségeit.

1. A lencsék képalkotása

A gömbfelülettel határolt üvegtestek, a lencsék olyan fénytörő tulajdonságúak, hogy az egyik oldalukon egy pontból kiinduló, a lencse felületére eső fénysugarakat úgy törí meg, hogy azok a másik oldalon újból egy pontban egyesülnek, azaz létrehozzák a pont képét. Ezek a sugarak egy sugárnyalábot alkotnak, amit a képi pontot létrehozó sugárnyalábnak, vagy sugárkúpnek nevezünk. Az egy pontból kiinduló végtelen sok sugár közül azt az egy sugár, amelyik a lencse ún. fókuszjára illeszkedik, a fókuszgár. A fókuszgárak összessége a képalkotó sugárnyaláb.

7. ábra. Képképző sugárnyaláb¹

A lencsét alkotó gömbfelületek görbületi sugaraitól függ, hogy a lencséknek egy, vagy két fókuszja, illetve fókuszja van. Abban az esetben, ha a lencse két fókuszja közötti K_1K_2 távolság a geometriai optika szempontjából elhanyagolhatóan kicsi, akkor a két fókusz egybeesik az optikai középponttal. Ezek az ideális lencsék a vékony lencsék. Azokat a lencsét, melyeknél a két fókusz távolsága nem elhanyagolható, vastag lencséknek nevezzük. Tudnunk kell azt, hogy a különböző lencsetagokból összeállított objektívek a vastag lencsék leképezési törvényszerűségei szerint hozzák létre a képeket. Vastag lencsék esetében megkülönböztetünk tárgyfelőli és képfelőli fókuszot, a köztük lévő távolságot e -vel jelöljük. Ebből adódik, hogy a fotogrammetriai vetítésnél két vetítési középpontról beszélünk. A K_1 fókusz a tárgyfelőli, a K_2 a képfelőli vetítési középpontnak felel meg.

8. ábra. Idealizált geometriai optikai vetítés²

¹ Dr. Engler Péter: Fotogrammetria I., FVM Képzési és Szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2007.

Mint az ábra is mutatja, idealizált optikai vetítésnél a belépő és a kilépő fősugár az optikai tengellyel egyaránt τ szöget zár be, tehát törés nélkül haladnak át az optikán.

Az az összefüggés, ami a tárgy- és képpontnak a lencse fókuszjától mért távolságai, azaz tárgy- és képtávolság között fennáll, az optika alapegyenlete:

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t}$$

Az f fókusz távolságnak a reciproka vékony lencsék esetében $1/f = (n-1) (1/r_1 + 1/r_2)$, ahol az n a lencse törésmutatója, az r_1 és r_2 értékek a lencse felületének görbületi sugarai. Vastag lencsék esetében viszont az $1/f = (n-1) ((1/r_1 + 1/r_2 - (n-1/n) (e/r_1 r_2))$ bonyolultabb összefüggést kapjuk.

A FOTOGRAMMETRIA FÉNYKÉPI ALAPJAI

A légi és földi felvételek többsége a mai gyakorlatban is hagyományos fotografiai eljárással készül, bár napjainkban a digitális kamerák és a digitális képek egyre nagyobb teret nyernek a fotogrammetriában.

A légifelvételek gyors repülőgépekről, részben nagy repülési magasságból, változó légköri viszonyok mellett, légrétegen keresztül készülnek. Mivel csak rövid megvilágítási idővel dolgozhatunk, csak kevés fény áll rendelkezésünkre. A légréteg nagyban csökkenti az a terep felszínén egyébként is viszonylag csekély részletkontrasztot, és megváltoztatja a színeket.

1. Fekete–fehér fényképezés

A fényképezésre alkalmas fotokémiai folyamatnak két követelményt kell kielégítenie:

1. A fotokémiai folyamat legyen érzékeny, vagyis már kis fénymennyiségek hatására leképezésre használható kémiai változás történjen.
2. A folyamat a rögzítendő tárgy, kép árnyalatait (tónusait) azonos árnyalatokban adja vissza.

Az első feltétel kielégítésére a reakciót kiváltó fénnel nem végezhetjük el a képalkotást, hanem csak egy változást indítunk be, amely már utólagos kémiai reakció megindulását teszi lehetővé. Ez az utólagos reakció az előhívás.

A második követelmény kielégítésére olyan fényérzékeny rendszert kell választani, amelynek elemei a rásugárzott fény mennyiséggel arányos elosztás szerint szenvednek fotokémiai változást.

² Dr. Engler Péter: Fotogrammetria I., FVM Képzési és Szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2007.

Mind a két feltételt kielégíti az ezüsthalogén, leggyakrabban (AgBr, AgCl, AgI) kristályokból álló diszperzió. Az ezüsthalogén vegyületeknek azt a tulajdonságát használjuk fel a fényképezésre, hogy fény hatására színezüstre és kémiailag megköthető halogenidre bomlik.

Fotográfiai folyamatnak, vagy fényképezésnek nevezzük a sugárzások hatására bekövetkező olyan kémiai változásokat, amelyek vonalakból és árnyalatokból álló képek kialakítására alkalmasak. A megvilágítás hatására a fényérzékeny rétegben (ezüst halogenid kristályokban), melyeket zselatinba ágyaznak, egy látens kép keletkezik, amely a negatív előhívás során (pl. hidrokinon, alkáliák és kálium-bromid) láthatóvá válik.

Ennek során az ezüstöt a halogenidtól szétválasztjuk. Ez a folyamat a **hívás**. A nem megvilágított ezüst-halogenid kristályokat rögzítőfürdőben (nátrium-tioszulfát = fixírnátron) egy vízben könnyen oldódó ezüstsóvá alakítjuk át és kioldjuk. Ez a folyamat a **fixálás**. A megmaradó kb. 5 %-ot ezt követően egy vizes fürdőben távolítjuk el. Ez a folyamat a **mosás**. Az így kapott kép fotográfiai értelemben **negatív**, vagyis a tónusok fordítottjai a valóságosnak. A negatív képekből kontakt-másolással állíthatunk elő fotográfiai értelemben **pozitív** képet, amely a tárgy eredeti tónusú, árnyalat eloszlású képe.

Az eredeti, megvilágított fényérzékeny anyagról közvetlenül is készíthetünk pozitív képet. Az ún. fordítós eljárás esetén az előzetes előhívás során kioldjuk a megvilágított ezüst-halogén kristályokat. A nem megvilágított ezüst-halogén megmarad. Ezt újból megvilágítjuk, majd mint pozitív képet előhívjuk, rögzítjük és mossuk (33. ábra). A fényérzékeny anyagot, emulziót vékony rétegben egy hordozóra viszik fel. A hordozó réteg lehet üveg, film, vagy papír.

2. A színes fényképezés

A csak szürkeségi értékeket rögzítő fekete-fehér filmekkel szemben, a színes filmek az információátvitel további és jelentős dimenzióját tárják elénk. A színes filmek három fényérzékeny rétegből állnak, amelyek az előhívási folyamat során úgy színeződnek el, hogy mindegyik réteg egy színszűrő lesz.

A fotogrammetriai gyakorlatban használunk színes képanyagokat. A látható fény tartományban érzékeny filmeket **hagyományos színes**, vagy színhelyes színes filmeknek, míg az infravörös tartományban érzékeny színes képanyagokat **színes infra**, vagy hamisszínes (fals color) filmeknek nevezzük. Ez utóbbinak különösen nagy szerepe van a növényzettel kapcsolatos interpretációs feladatoknál, mert ez a klorofil tartalom 8–900 nm-en erős visszaverődési tartományára van érzékenyítve, ebből adódóan jobban elkülöníthetők a növényzetfajták, meghatározhatók a növényzet betegségei.

A színes filmek három fényérzékeny rétegből állnak. A három réteg mindegyike egy másik spektrális tartományra érzékeny, de a kékre mindegyike. Ezért a felső és a középső réteg közé egy sárga szűrő található, amelyik a kék fényt az alsóbb rétegektől távol tartja, és az előhívás során kioldódik.

Mindegyik színérzékeny réteg a kiegészítő színének megfelelő színezőanyagot tartalmaz, amely a negatív színes film esetén a réteg megvilágított, pozitív színes filmnél a réteg meg nem világított részét beszínezi. A kodachrom eljárásnál a színezőanyagokat csak az előhívóhoz adják hozzá.

Az un. színes infra (colour infrared) film, vagy hamis színes (false colour) az infravörös, a zöld és vörös érzékenységgű rétegeket tartalmaz, amelyek a cián, a sárga és a bíbor színekkel vannak kapcsolatban úgy, hogy fehér fényel átvilágítva a vörös, kék és zöld színekben látszanak. Ezek nem felelnek meg a természetes színekben, és ezért is nevezzük hamis színes filmeknek.

Mivel mind a három réteg a kék színre is érzékeny, a fényképezéskor az objektív elé sárga szűrőt kell helyezni. Ezért a filmben nem szükséges sárga szűrő réteget alkalmazni.

3. A digitális kép fogalma, jellemzői

A képérzékelésben (digitális képek készítésében) és tárolásban, valamint a feldolgozásban új lehetőségeket teremtett a digitális technika megjelenése. A kamera képsíkján megjelenő képet nem filmre, hanem számítástechnikai eljárás segítségével, „számszerű” adatokként rögzítjük.

Digitális képnek nevezzük azt az adatállományt, ahol a képi pontok helye és a hozzá tartozó képi információk digitális formában állnak rendelkezésünkre.

A digitális kép előállításának legfontosabb kelléke a szenzor, **CCD** (Charge Coupled Device = töltéscsatolt eszköz. A fém-oxid félvezető alapú kondenzátorokat felhasználva az analóg jelek, különböző nagyságú töltéscsomagokként tárolhatók digitális formában. A CCD érzékelők alapját az egyes képpontokban elhelyezett, néhány μm méretű kis tárolók képezik, amelyeket egy sorban, vagy egy felületen helyeznek el.

A **digitális kép előállítása** két módon lehetséges: közvetve **digitalizálással**, vagy közvetlenül **digitális kamerával**.

Ha a digitális fotogrammetriával megoldandó feladat pontossági igénye nagy, akkor a feladathoz hagyományos mérőfényképet készítünk, majd a film előhívása után digitalizáljuk. Akkor is ezt az utat választjuk, ha nem rendelkezünk digitális képek előállítására alkalmas digitális fényképező kamerával.

A **digitalizálás** eszköze, műszere a szkennerek. A szkennerek alapeleme a CCD elem. A szkennerekben a CCD elemek elrendezése lehet:

- egyes detektor, ahol egy sor letapogatása képelemenként történik,
- soros detektorok, ahol az egyes sorok elemeit egyidejűleg tapogatjuk le,
- felületi detektorok, amely a kép egy bizonyos részét, felületét érzékeli.

Annak érdekében, hogy a digitalizáláskor ne veszítsünk információt, a digitalizálás intervallumát a képek feloldóképességének megfelelően kell megválasztani. A film feloldóképességét R – mint ismeretes – vonalpár/mm mértékegységben adják meg. Ebből kiindulva a ΔD digitalizálási intervallumra igaznak kell lennie a következő kifejezésnek:

$$- \Delta D [\text{mm}] < 1 / 2 * R$$

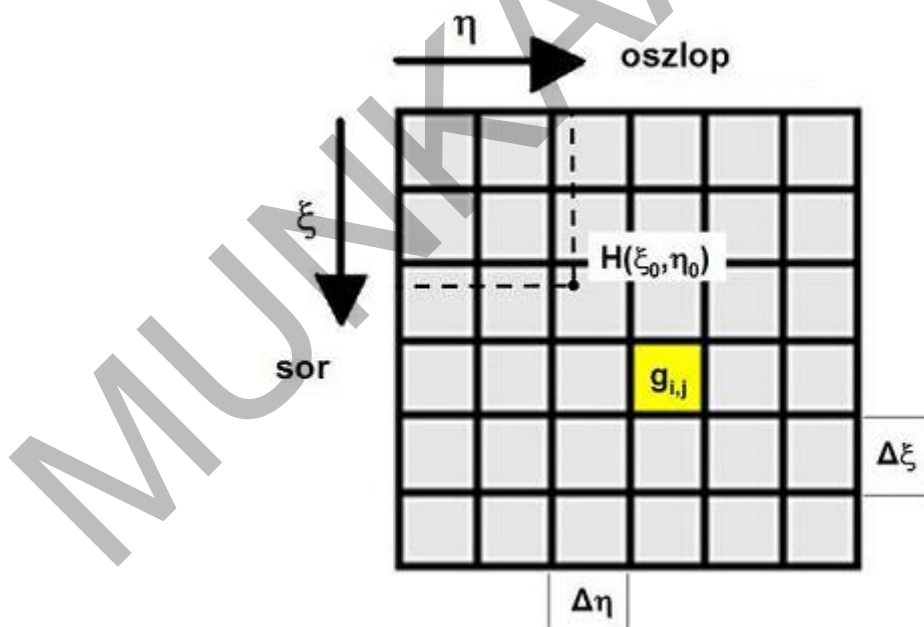
A gyakorlatban a számláló értéke 0,7.

Az ideális, kiszámított digitalizálási intervallumot nem lehet minden szkennelével biztosítani, mivel a szkennelerszenzorelemének mérete többnyire ennél nagyobb. A nagy pontosságú fotogrammetriai szkennerekben a szenzorelem mérete változtatható, míg az asztali szkennerekben nem. Ha nagyobb a szkennelerszenzorelemének mérete, mint a kívánatos digitalizálási intervallum, akkor egymást átfedő pixelek keletkeznek, ami pedig jelentősen csökkentheti az eredeti fénykép információtartalmát.

Nagyméretű fényképek digitalizálása jelentős adatmennyiséget eredményez. Például egy 23x23 cm-es fekete-fehér légi felvétel $7,5 \times 7,5 \mu\text{m}^2$ pixelmérettel történő digitalizálásakor 940 megabájt adat keletkezik. Színes felvétel esetén ennek háromszorosa.

A digitális kép előállításának másik módja, hogy **digitális kamerával készítjük** a felvételeket.

A digitális kép felfogható egy g_{ij} elemekből álló kétdimenziós G mátrixként.



9. ábra. Digitális fotogrammetriai kép³

³ Dr. Engler Péter: Fotogrammetria I., FVM Képzési és Szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2007.

Mint az ábrán is látható, itt nem képi pontokról, hanem $\Delta\xi$ és $\Delta\eta$ méretű képelemokről, az un. pixelekről (**p**icture **x** **e**lement) beszélhetünk. A mátrix minden egyes eleme egy felület. A képelemek helyzetét a képkoordináta-rendszerben csak egy pontjával, a középpontjával adhatjuk meg. Megadjuk, hányadik sorban és hányadik oszlopban van, majd ebből a képelem középpontjának koordinátáját úgy kapjuk meg, hogy a sor (i) illetve oszlopszámot (j) megszorozzuk $\Delta\xi$, illetve $\Delta\eta$ értékkel. Annak érdekében, hogy ez a tényleges és jó képkoordinátát adja, a digitális képeknél a képkoordináta-rendszert a képen kívül, attól $\Delta\xi/2$ és $\Delta\eta/2$ értékkel eltolva helyezték el. A digitális fotogrammetriában a szokásos mérést az egyes pixelek azonosítása helyettesíti, ami jórészt automatizálható.

A digitális képeken az információhordozó a képelem. Harmadik értéként hozzá rendelünk egy intenzitásértéket, amely megadja, hogy a képelemhez milyen árnyalat, vagy szín tartozik. A képelemek értékészlete, amelyet kvantumszintnek is neveznek, a felhasznált képrögzítő-berendezéstől és a számítógéptől függ. A leggyakoribb értékészlet a 0 - 255 közötti, ahol a 0 a fekete, a 255 a fehér színnek megfelelő érték. A 256 fokozat valamivel jobb, mint az emberi szemmel érzékelhető tónus, vagy árnyalat (kb. 200). A fekete-fehér képeknél a pixelekhez tartozó értékeket szürkeségi foknak nevezik. A színes képekhez három spektrális tartomány tartozik, ilyenkor mindhárom tartományhoz tartozó képmátrixot rögzíteni kell. Ilyenkor gyakorlatilag háromszor nagyobb adatmennyiséget kell tárolni.

A digitális kép egyik nagyon fontos jellemzője, hogy **mekkora képelemekből épül fel**. A képen néhány μm -es képelemhez kiszámítható, hogy ahhoz – a méretaránytól függően – a terep felszínén mekkora felület tartozik, ez pedig a kép terepi felbontását adja meg. Minél kisebb a képelem mérete, annál jobb a felbontása, ugyanakkor lényegesen nagyobb adatmennyiséget kell tárolni és kezelni.

A digitális képeket a centrális vetítésből, az optikai leképezésből eredő torzulások továbbra is terhelik. Sajátos hibaforrás leképezésnél:

- a CCD érzékelő elemeknek elhelyezkedése (geometriailag szabályosan kell elhelyezkedniük),
- a szilíciumlapkák hőtágulása.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A "Szakmai információtartalom" (tananyag) részben leírt ismeretek alapján értelmezzük az "Esetfelvetés – munkahelyzet" fejezetben megfogalmazott feladatot. Lapozzon vissza és olvassa el ismét az adott feladathoz tartozó kérdést!

Érdeemes a tananyagban használt képleteket a feladat feldolgozása során is folyamatosan használni illetve a megoldás menetét lejegyzetelni.

Feladata egy analitikus belső tájékozás elvégzése, ahol adottak a kamerakalibrációs jegyzőkönyvből a keretjелек képkoordinátái és a műszerkoordináták – sztereokomparátorral mért koordináták. A kép mérete 23x23-as és jelen esetben a két koordinátarendszer közel párhuzamos, mert a képeket így kell betenni a képtartóba. A méretarány tényező közel 1 lesz, mert minimális a kép méretváltozása. Határozza meg a paramétereket, transzformációs tényezőket és számolja ki a keresett pontok képkoordinátáit!

A kiinduló adatokat a következő táblázatok tartalmazzák:

	Képkoordináták X,Y		Műszerkoordináták x,y	
1	106,00	-106,009	300,008	300,000
2	-106,003	-106,006	88,082	299,630
3	-106,011	105,996	87,605	511,430
4	106,000	105,991	299,492	511,850

	Új pontok koordinátái	
A	100,372	343,576
B	189,688	475,253
C	262,228	410,328
D	211,174	384,583

Első lépésben határozzuk meg a súlypontokat!

	x	y	X	Y
1	300,008	300,000	106,000	-106,009
2	88,082	299,630	-106,003	-106,006
3	87,605	511,430	-106,011	105,996
4	299,492	511,850	106,000	105,991
Összeg				
Súlypont				

$$X_s = \frac{\sum X}{n} =$$

$$Y_s = \frac{\sum Y}{n} =$$

$$x_s = \frac{\sum x}{n} =$$

$$y_s = \frac{\sum y}{n} =$$

Második lépésben képezzük a súlypont és az egyes értékek különbségét!

$$Y_{1,2 \dots} = Y_{1,2 \dots} - Y_s$$

$$X_{1,2 \dots} = X_{1,2 \dots} - X_s$$

$$y_{1,2 \dots} = y_{1,2 \dots} - y_s$$

$$x_{1,2 \dots} = x_{1,2 \dots} - x_s$$

	Δx	Δy	ΔX	ΔY
1.				
2.				
3.				
4.				

Harmadik lépésben számítsuk ki a következő kettős szorzatokat, összegüket, az A, B, N tényezőket:

$$A = (\Delta Y * \Delta y) + (\Delta X * \Delta x)$$

$$B = (\Delta X * \Delta y) - (\Delta Y * \Delta x)$$

$$N = (\Delta y^2) + (\Delta x^2)$$

	deltax*deltaX	deltay*deltaY	deltaY*deltax	deltaX*deltay	deltaxnégyzet	deltaynégyzet
1.						
2.						
3.						
4.						
Szum.						

Ezekből a transzformációs tényezők:

$$a = \frac{A}{N}$$

$$b = \frac{B}{N}$$

A FOTOGRAMMETRIA ALAPJAI

$$cy_{(1)} = Y_s - ay_s + bx_s$$

$$cx_{(2)} = X_a - by_s + ax_s$$

A	
B	
N	
a	
b	

A Helmert transzformáció alapképletei a következők:

$$X = a_0 + a x - b y = a_0 + m (x \cos\alpha - y \sin\alpha)$$

$$Y = b_0 + b x + a y = b_0 + m (x \sin\alpha + y \cos\alpha)$$

A keresett 4 pont koordinátájának meghatározása:

deltax=x-x _{súlyponti}	deltay=y-y _{súlyponti}	X=X _{sg} +adeltax-bdeltay	Y=Y _{sg} +bdeltax+adeltay

MEGOLDÁS

Feladata egy analitikus belső tájékozás elvégzése, ahol adottak a kamerakalibrációs jegyzőkönyvből a keretjelek képkoordinátái és a műszerkoordináták – sztereokomparátorral mért koordináták. A kép mérete 23x23-as és jelen esetben a két koordinátarendszer közel párhuzamos, mert a képeket így kell betenni a képtartóba. A méretarány tényező közel 1 lesz, mert minimális a kép méretváltozása. Határozza meg a paramétereket, transzformációs tényezőket és számolja ki a keresett pontok képkoordinátáit!

A kiinduló adatokat a következő táblázatok tartalmazzák:

	Képkoordináták X,Y		Műszerkoordináták x,y	
1	106,00	-106,009	300,008	300,000
2	-106,003	-106,006	88,082	299,630
3	-106,011	105,996	87,605	511,430
4	106,000	105,991	299,492	511,850

	Új pontok koordinátái
--	-----------------------

A	100,372	343,576
B	189,688	475,253
C	262,228	410,328
D	211,174	384,583

Első lépésben határozzuk meg a súlypontokat!

	x	y	X	Y
1	300,008	300,000	106,000	-106,009
2	88,082	299,630	-106,003	-106,006
3	87,605	511,430	-106,011	105,996
4	299,492	511,850	106,000	105,991
Összeg	775,187	1 622,910	-0,014	-0,028
Súlypont	193,797	405,728	-0,003	-0,007

$$X_s = \frac{\sum X}{n} = -0,003$$

$$Y_s = \frac{\sum Y}{n} = -0,007$$

$$x_s = \frac{\sum x}{n} = 193,797$$

$$y_s = \frac{\sum y}{n} = 405,728$$

Második lépésben képezzük a súlypont és az egyes értékek különbségét!

$$Y_{1,2 \dots} = Y_{1,2 \dots} - Y_s$$

$$X_{1,2 \dots} = X_{1,2 \dots} - X_s$$

$$y_{1,2 \dots} = y_{1,2 \dots} - y_s$$

$$x_{1,2 \dots} = x_{1,2 \dots} - x_s$$

	Δx	Δy	ΔX	ΔY
1.	106,211	-105,728	106,004	-106,002
2.	-105,715	-106,098	-106,000	-105,999
3.	-106,192	105,703	-106,008	106,003

A FOTOGRAMMETRIA ALAPJAI

4.	105,695	106,123	106,004	105,998
----	---------	---------	---------	---------

Harmadik lépésben számítsuk ki a következő kettős szorzatokat, összegüket, az A, B, N tényezőket:

$$A=(\Delta Y * \Delta y) + (\Delta X * \Delta x)$$

$$B=(\Delta X * \Delta y) - (\Delta Y * \Delta x)$$

$$N=(\Delta y^2) + (\Delta x^2)$$

	deltax*deltaX	deltay*deltaY	deltay*deltax	deltax*deltay	deltaxnégyzet	deltaynégyzet
1.	11258,764	11207,326	-11258,605	-11207,485	11280,830	11178,304
2.	11205,711	11246,229	11205,658	11246,282	11175,608	11256,680
3.	11257,122	11204,782	-11256,644	-11205,258	11276,688	11173,019
4.	11204,066	11248,773	11203,485	11249,356	11171,486	11261,985
Szum.	44925,663	44907,110	-106,106	82,896	44904,612	44869,987

Ezekből a transzformációs tényezők:

$$a = \frac{A}{N}$$

$$b = \frac{B}{N}$$

$$cy_{(1)} = Y_s - ay_s + bx_s$$

$$cx_{(2)} = X_a - by_s + ax_s$$

A	89832,773
B	-189,002
N	89774,599
a	1,001
b	-0,002

A Helmert transzformáció alapképletei a következők:

$$X = a_0 + a x - b y = a_0 + m (x \cos\alpha - y \sin\alpha)$$

$$Y = b_0 + b x + a y = b_0 + m (x \sin\alpha + y \cos\alpha)$$

A keresett 4 pont koordinátájának meghatározása:

deltax=x-xsúlyponti	deltay=y-ysúlyponti	X=Xsg+adeltax-bdeltay	Y=Ysg+bdeltax+adeltay
-93,425	-62,151	-93,620	-62,002

-4,109	69,526	-3,969	69,572
68,431	4,601	68,482	4,452
17,377	-21,144	17,340	-21,202

MUNKKANYAG

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Mi a fotogrammetria lényege?

2. feladat

Jellemezze a fotogrammetria feladatát!

3. feladat

Sorolja fel, milyen transzformációkat használ a fotogrammetria!

MEGOLDÁSOK

1. feladat

Mi a fotogrammetria lényege?

A fotogrammetria egy olyan korszerű tudományterület, mely a méréseinek alapjául az információkat nem közvetlenül a terepről szerzi, hanem az arról készített felvételtől. A fotogrammetria lehetőséget ad a tér átfogóbb vizsgálatára, mérésére.

2. feladat

Jellemezze a fotogrammetria feladatát!

A fotogrammetria feladata egyszerűen így fogalmazható meg: olyan mérési adatok, eredmények szolgáltatása, amelyek kielégítik a legkülönbözőbb szakterületek (térképezés, építészet, műemlékvédelem, régészet, vonalas létesítmények felmérése, vízgazdálkodás, geológia, talajtan, mezőgazdaság, környezetvédelem, mérnökgeodézia, orvostudomány, stb.) igényeit.

3. feladat

Sorolja fel, milyen transzformációkat használ a fotogrammetria!

1. Síkbeli transzformáció: – Helmert transzformáció, affin transzformáció
2. Térbeli transzformáció

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Dr. Engler Péter: Fotogrammetria I., FVM Képzési és Szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2007.

Dr. Nagy Jenő: Fotogrammetria I., Agrárszakoktatási Intézet, Budapest, 1998.

<http://www.epito.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf> (2010. 06. 09.)

AJÁNLOTT IRODALOM

K.Kraus: Fotogrammetria, 1994, Budapest, Tertia kiadó

A(z) 2241-06 modul 012-es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 581 01 0100 51 02	Fotogrammetriai kiértékelő
54 581 01 0010 54 01	Földmérő és térinformatikai technikus
54 581 01 0010 54 02	Térképésztechnikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
10 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.
Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató