

4. gyakorlat: Fotogrammetriai alkalmazás bemutatása

A szerkezetek geodéziája fotogrammetriával foglalkozó négy órája két kiméretében egyenlő részből áll, egy elméleti bevezető részt követ egy gyakorlati bemutató. Az elméleti részben a szerkezetes mérnökök számára összefoglalásra kerül a mérnöki fotogrammetria néhány legfontosabb alapelve mellett a fotogrammetria bemutatása és legfontosabb felhasználói területeinek az ismertetése.

A fotogrammetria **végtermékei** közül bemutatásra és ismertetésre kerül a digitális ortofoto térkép, valamint egy épület fotogrammetriai felmérésének a grafikus megjelenítése.

A **fotogrammetria definiálásakor** a képfogalom meghatározása az első feladatunk. A kép egy háromdimenziós térrészlet kétdimenziós vetülete. Ebben a meghatározásban nem térünk ki sem az alkalmazott fizikai eljárásra, sem a képkötés geometriájára. Így definiálhatjuk a fotogrammetriát, mint a képekből nyerhető geometriai információk feldolgozásának a tudományát.

A **fotogrammetria csoportosítása** sokféle lehet. A feldolgozás módja szerint beszélünk analóg, analitikus és digitális fotogrammetriáról. Analóg, mikor a képeket különböző műszerekbe (analóg számológépekbe) helyezve, a műszerekkel végzett műveletek végeredménye képen nyerjük a geometriai információkat. Az analitikus megoldás esetén a kiinduló adat a képkoordináta. A kiinduló adatból számítási eljárással nyerjük a végeredményt. A digitális megoldás esetén a különböző digitális állományok feldolgozásával jutunk a geometriai információkhoz. A felvételi hely alapján beszélünk űr-, légi- és földi fotogrammetriáról. Fenti csoportosítás szerint a szerkezetek geodéziája témaköre a földi digitális fotogrammetria témakörébe sorolható.

A fotogrammetriában alkalmazott **matematikai modell** a centrális projekció. Értelmében a tereppont, a vetítési középpont és a képpont egy egyenesen fekszenek, kollinearitások. Ennek a térbeli egyenesnek az egyenletét általában a következő formában adják meg:

$$\begin{vmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{vmatrix} = M \mathbf{R} \begin{vmatrix} x_k \\ y_k \\ -c \end{vmatrix} \quad [1]$$

ahol:

- x_k, y_k képkoordináták a kép koordináta-rendszerében, igazított kamerát feltételezve,
- X, Y, Z a tereppont koordinátái a tárgyoldali koordináta-rendszerben,
- X_0, Y_0, Z_0 a vetítési középpont koordinátái a tárgyoldali koordináta-rendszerben,
- M a méretarányszám,
- \mathbf{R} a képi ill. tárgyoldali koordináta-rendszer közötti forgatási mátrix,
- c a kameraállandó.

Az [1] egyenletből a képkoordinátákat kifejezve kapjuk az ún. kollinearitási egyenleteket:

$$x_k = -c \frac{(X - X_0)r_{11} + (Y - Y_0)r_{21} + (Z - Z_0)r_{31}}{(X - X_0)r_{13} + (Y - Y_0)r_{23} + (Z - Z_0)r_{33}} + \xi \quad [2]$$

$$y_k = -c \frac{(X - X_0)r_{12} + (Y - Y_0)r_{22} + (Z - Z_0)r_{32}}{(X - X_0)r_{13} + (Y - Y_0)r_{23} + (Z - Z_0)r_{33}} + \eta$$

ahol:

- r_{ij} a forgatási mátrix elemei,
- ξ, η a főpont koordinátái a kép koordináta-rendszerében, amelynek értékét 1.-ben nullának vettük.

A [2] egyenletek bal oldalán a képkoordináták szerepelnek a kép koordináta rendszerében. A fotogrammetriában ezek a mérési eredmények. Nem metrikus kamerák felhasználása esetén ezeket a koordinátákat nem a képi koordináta rendszerben ismerjük, hanem a kiértékelés (pl. monitor) koordináta rendszerében, viszont helyettesíthetjük őket valamelyik síkbeli transzformáltjukkal:

$$a_1 + a_3 x_m + a_5 y_m = -c \frac{(X - X_0)r_{11} + (Y - Y_0)r_{21} + (Z - Z_0)r_{31}}{(X - X_0)r_{13} + (Y - Y_0)r_{23} + (Z - Z_0)r_{33}} \quad [3]$$

$$a_2 + a_4 x_m + a_6 y_m = -c \frac{(X - X_0)r_{12} + (Y - Y_0)r_{22} + (Z - Z_0)r_{32}}{(X - X_0)r_{13} + (Y - Y_0)r_{23} + (Z - Z_0)r_{33}}$$

ahol:

- a_i a síkbeli affin transzformáció paraméterei,
- x_m, y_m képkoordináták a kiértékelés (műszer) koordináta-rendszerében.

A [3] összefüggés adja meg a lehetőségét annak, hogy fotogrammetriát nem metrikus kamerákkal, hanem például egy viszonylag egyszerű digitális fényképezőgéppel műveljük. A gyakorlatban ugyanakkor nem metrikus kamerák által készített felvételek feldolgozására az ún. direkt lineáris transzformációt (DLT) használják. A DLT alapelve hasonló a most bemutatott összefüggésekéhez, nem is kerül bemutatásra, de említése fontos, mert a piacon kapható szoftverek közül az ezen az elven működők oldják meg a fotogrammetria alapfeladatát, nevezetesen a 2D-s képekből a 3D-s rekonstrukciót, helyesen.

Miután az elméleti részben a hallgatók megkapták annak bizonyítását, hogy a fotogrammetriát ma mindenki számára könnyen elérhető eszközökkel, egy digitális fényképezőgéppel és egy PC-vel művelni lehet, a gyakorlati részben a fő hangsúly a fotogrammetriai mérések, elsősorban a digitális mérések bemutatására kerül.

A mérnöki fotogrammetriában az adatokat 2D és 3D mérésekkel nyerjük. A **digitális állományok 2D mérése** többnyire számítógépes képernyőn történik. A mérési technológiák lehetővé teszik, hogy a mérés ne legyen egyenértékű a pixel indexeinek a meghatározásával. A pixel alatti pontosságú mérés úgy érhető el, hogy a képet zoom funkcióval megjelenítjük, miközben az eredeti egyedi pixelt a számítógép úgy jeleníti meg, mint a hozzárendelt pixelek számosságát, azaz egy képpixel a monitoron több pixelen jelenik meg. A monitoron megjelenített pixelek szürkességi fokát vagy színét a számítógép matematikai eljárással számítja ki. A mérést hozzá kell rendelni az eredeti pixelhez, mint valós számhoz. Az automata illesztéssel ugyanezt a hatást lehet elérni, amikor a legjobb illesztés nem egész helyzettel érhető el. A szakirodalom szerint fenti megoldásokkal 0,1

pixel alatti pontosságot lehet elérni. Ugyanezek a szakirodalmak a mérés ilyen mértékű pontosságának az elérése érdekében, elsősorban az automatikus kiértékelésnél kiemelik a pontjelölések fontosságát. Leginkább a több pixelre leképződő, kör alakú, fényvisszaverő anyagból készült pontjeleket javasolják.

A **fotogrammetriai 3D mérések** képpárok felhasználásával történnek. A digitális képpárok térbeli szemlélésére és mérésére a leggyakrabban alkalmazott képválasztási megoldások a következők:

- A két kép megjelenítése osztott, vagy külön képernyőn és szemlélése tükrös sztereoszkóp felhasználásával. Ebben az esetben a képpár normalizált alakjával dolgozunk.
- Anaglif eljárás, ami egy kétszínű kevert kép megjelenítését jelenti az egész képernyőn, miközben a szemlélés a kiegészítő színekkel történik.
- A két kép váltakozó megjelenítése az egész képernyőn, miközben a szemlélés egy szinkronizált szemüvegen keresztül történik.
- A két kép polarizálása és ezek váltakozó megjelenítése mellett a szemlélés egy polarizált szemüvegen keresztül.

A mérnöki fotogrammetriában elsősorban a több álláspontú konvergens fotogrammetriai hálózatok kerülnek kialakításra. Ehhez a hálózattípushoz elsősorban, de nem kizárólag a 2D mérések tartoznak. A **képkoordináták előfeldolgozása** az esetlegesen előforduló durva hibák kimutatásával kezdődik. Ha számításainkat a legkisebb négyzetek módszerével végeztük, akkor a kiegyenlítésből kapott eredmények utólagos elemzéséből vonhatunk le következtetéseket a méréseinket terhelő durva hibákkal kapcsolatban. A durva hibák kimutatása történhet valamennyi mért mennyiség együttes vizsgálatával, vagy a mérések egyenkénti vizsgálatával, esetleg a mérési eredmények csoportonkénti vizsgálatával. A vizsgálatot célszerű valamennyi mérési eredmény együttes vizsgálatával kezdeni. Amennyiben a vizsgálat alapján arra a következtetésre jutunk, hogy méréseinket durva hiba terheli, akkor indokolt elvégezni a mérések egyenkénti vizsgálatát. A hibaszűrés eljárások tématerületében számos különböző eljárást tárgyal a fotogrammetriai szakirodalom.