



Robosztus becslések használata web alapú fotogrammetriai kiértékeléshez

Molnár Bence

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Bevezetés

A fotogrammetria fejlődését nagymértékben segítette a digitális világ fejlődése, kezdve a digitális képkoordináta-méréssel, a digitális kiértékelésen át a digitális kamerákig, amelyek a könnyebb felhasználhatóságot, gyorsabb végeredményt szolgálták. A szükséges eszközök árának csökkenésével lehetőség nyílik a fotogrammetria felhasználói táborának bővítésére. A digitális fotogrammetria térnyerésében jelentős lépés lehet, ha az eszközökön túl egy könnyen elérhető, olcsó feloldozó szoftver is hozzáférhető válik. A kibővült felhasználói kör következménye, hogy a felhasználók kevesebb szaktudással és tapasztalattal rendelkeznek.

Napjainkban talán egyértelmű a válasz arra, hogyan lehet egy könnyen elérhető, olcsó alkalmazást létrehozni. A hétköznapi használatú számítógépes programok egyre nagyobb része érhető el interneten keresztül, egy böngésző segítségével. Ezen irányvonalat látva jelent meg egy új, web alapú fotogrammetriai kiértékelő szoftver. Korábban készült internet alapú fotogrammetriai alkalmazás (Grussenmeyer és Drap, 2001), amelynek fejlesztése megakadt, és főként oktatási célra használható.

A felhasználói tábor növekedésével együtt jár a felhasználói szakértelem és tapasztaltság hiánya. Erre mind a felhasználói felület, mind a háttérben megbúvó számító modul tervezésénél figyelemmel kell lenni. A számítások egyik kritikus pontja, hogy nagyobb számban fordulhatnak elő durva hibák a képkoordináta mérés közben.

Fotogrammetria egy lehetséges jövője

A jelenkor új technológiai – mint például a lézerszkennerek – komoly vetélytársai a fotogrammetriának, akár a szélső pontosságú mérések terén is (Berényi et al, 2009). A fotogrammetria fejlődésének szintén a digitális technikai adott újabb lendületet. A fotogrammetria számára a számítástechnika továbblépési lehetőséget nyújt a szé-

lesebb körben való elterjedésre. A számítógépek és digitális fényképezőgépek a legtöbb háztartásban elérhetők, ami a potenciális felhasználók körének bővítését eredményezheti.

Napjainkban a fotogrammetriai eszközök fejlesztésével szűk csoportok, cégek foglalkoznak. Saját modellező eszközöket fejlesztenek ki, saját számítási algoritmusokkal. A kidolgozott eszközöket egyben lehet megvásárolni, és használatukhoz a végfelhasználóktól egyre kevésbé szükséges bármilyen szakmai ismeret. A fotogrammetria fejlődésének ez az egyik lehetséges előre lépési iránya. A tömeges felhasználás a költségek csökkenéséhez vezet, amely az alternatív technológiákkal való versengésben nagy előny lehet.

Web alapú megvalósítás

Korunk tendenciái azt mutatják, hogy sok számítógépes alkalmazás az internetet használja, sőt teljes mértékben csak az internetre épül. Egyre több irodai alkalmazás (Office, levelezés stb.) érhető el egy egyszerű böngészőből, mindenféle egyéb program telepítése nélkül. Az ilyen alkalmazások sok előnnyel rendelkeznek, mint például a számítógép függetlenség, a központi adattárolás, és az is nagy előnye, hogy mindig a legújabb verzióval dolgozhat a felhasználó. A program használatának feltétele, hogy legyen a számítógépen egy szélessávú internet kapcsolat, és egy tetszőleges internet böngésző alkalmazás (Internet Explorer, Firefox, Opera stb.).

Egy ilyen alkalmazás további előnyökkel is jár. A program jelentős részét elég csak a központi számítógépre megírni, optimalizálni, hisz a műveletek jelentős része itt történik. Ha a kiszolgáló oldali programtervezés és megvalósítás költségeit csökkenteni tudjuk, akkor a teljes szolgáltatási költséget jelentős mértékben csökkenteni lehet, ezzel is növelve a versenyképességet.

A központi számítógéppel egységesített protokollon keresztül (http) kommunikálnak a felhasználók, így a kiszolgáló gép tetszőleges rendszert is futtathat. A szolgáltatás üzemeltetéséhez szük-

séges alkalmazások mindegyike létezik szabad, nyílt forráskódú változatban is. A szabad szoftverek jelentős mértékben csökkenthetik egy adott alkalmazás fejlesztési költségét amellett, hogy az elterjedt szabványok szerint használhatók. A szabványok alkalmazása teszi lehetővé, hogy a felhasználók észre se vegyék, hogy a megszo- kottól eltérő program segít feladatuk elvégzé- sében. A kiszolgáló linux operációs rendszeren Apache webszervert, MySQL adatbázisszervert, PHP oldalfeldolgozó alkalmazást futtat. Felhasz- nálói oldalon HTML oldalba ágyazott JavaScript, CSS és SVG tartalmak jelennek meg egy tetsző- leges böngészőben.

A web alapú alkalmazások nagy előnye, hogy a felhasználónak nem kell semmilyen progra- mot telepítenie, így nem igényel rendszergazdai jogkört sem. A programban előforduló hibák javítá- sa, illetve az új lehetőségek hozzáadása is könnyebben megvalósítható, mint hagyományos programok esetén. Elég a legújabb verzió alkalmazása a kiszolgáló gépen, onnantól minden fel- használói beavatkozás nélkül a legújabb verzió érhető el (*l. táblázatot*).

Fontos előnye a web alapú alkalmazásoknak, hogy bárhol használhatja az ember, nincs az iro- dájához kötve. Mivel az adatok a központi számító- gépen tárolódnak, a félbehagyott munkát bár- hol lehet folytatni, nem kell hozzá ugyanaz a gép, akár másfajta böngésző is használható, ha ott csak az elérhető. Megvalósul a teljes mobilitás.

A web alapú megvalósításnak két kritikus pont- ja van. Először is a felhasználói gépeken különbö- ző típusú böngészők találhatóak, melyek az oldala- kat nem azonosan jelenítik meg, az objektumszer- kezetük jelentősen különbözik. Ez komoly többlet- feladatot eredményez a megvalósítás során. Továb- bi nehézségként jelentkezik az internetkapcsolat, illetve annak sebessége. Az alkalmazás jellegé- ből fakadóan nagyméretű, kis tömörítettségű ké- pek áramlása a hálózaton elkerülhetetlen, mely a felhasználás során várakozási időként jelentkezik. Éppen ezért kiemelt fontosságú a hálózati forga- lom gondos tervezése, és csak a feltétlenül szüksé- ges adatok szállítása a kliens és a szerver között. A feltöltött képeket célszerű kis darabokra vágni, így csökkentve a várakozási időt. A pillanatnyilag nem szükséges képrészletek letöltése történhet a háttérben, így az újabb munkafázisnál várakozás nélkül elérhetőek lesznek. A letöltött képrészlete- ket a böngésző saját gyorsítótárában (cache) tárol- ja, az egyszer letöltött képrészleteket nem szüksé- ges újra és újra letölteni.

Napjainkban az adatvédelem nem elhanyagol- ható szempont, az emberek a fényképeiket teljes joggal bizalmas adatnak tekintik. Az adatvédel- met két lépésben lehet megvalósítani. Első lépés- ben a felhasználó és a kiszolgáló közti adatkom- munikációt szükséges titkosítani, hogy harmadik fél ne férhessen az adatokhoz. Második lépésben a kiszolgálón tárolt adatokat is titkosítani kell, hogy csak a felhasználók férhessenek hozzá, úgy hogy még a rendszer üzemeltetői számára se le- hessen visszanyerni az információt.

A Web alapú alkalmazások előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Operációs rendszertől független	Szélessávú internet kapcsolat szükséges
Nincs szükség programtelepítésre	Nagy képek nagy adat- forgalmat eredményeznek
Nem igényel rendszer- gazdai jogokat	Korlátozások a böngésző miatt
Nincs szükség szoftver frissítésre	Adatvédelmi aggályok
Hely és idő független	
Mindig megszokott felhasználói felület	
Gazdaságos	

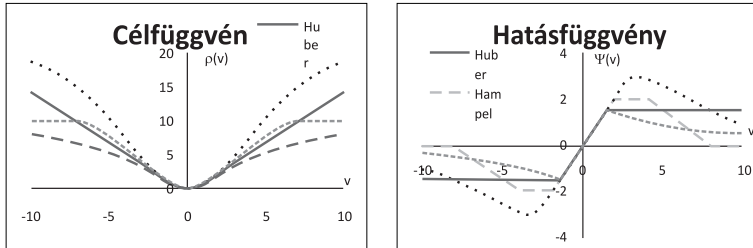
Robosztus becslések

A kitűzött cél, hogy a fotogrammetriát szélesebb körben használhassák, magában hordozza hogy a felhasználók nem gyakorlott fotogramméterek. A szaktudás hiányát a háttérben futó ellenőrző al- goritmussal kell pótolni, a program tervezés- kor ezekre figyelemmel kell lenni, és általánosítá- sok helyett többszámítást szükséges elvégezni. Például a kevésbé gyakorlott felhasználók esetén a durva hibás mérések valószínűsége megnő, a hibák eloszlása nem normál eloszlást követ. A durva hi- bás mérések hatását természetesen minimalizálni kell, az ilyen eljárásokat nevezzük robusztus becsléseknek. A robusztus kiegyenlítés során a mérések eloszlásának normalitása nem szükséges feltétel.

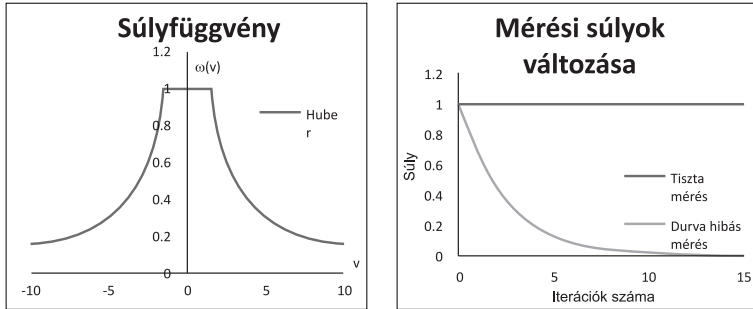
Gauss szerint az ismeretlenek várható értékét a hibák eloszlásfüggvényének ismeretében lehetsé- ges meghatározni. Az eloszlásfüggvény ismerete csak feltételezések után lehetséges, az eloszlás- modell a következő alakban írható fel (Detrekői, 1991):

$$F = (1 - \epsilon)\Phi + \epsilon H$$

ahol F a hibák eloszlásfüggvénye, Φ a normális- eloszlás eloszlásfüggvénye, H a durva hibák ismeretlen eloszlásának eloszlásfüggvénye és ϵ az a valószínűség, amellyel a durva hibák fellépnek.



1. ábra Robosztus becslések cél- és hatásfüggvényei



2. ábra Huber módszer súlyfüggvénye és a súlyok változása az iterációs lépések során

A fotogrammetriában gyakran használt legkisebb négyzetek szerinti kiegyenlítés nagyon érzékeny a durva hibákra. Éppen ezért a mérési eredményeket a kiegyenlítés előtt durvahiba szűrésnek vetik alá. Azonban létezik egy másik járható út, amely a kiegyenlítést iterációs lépésekben hajtja végre úgy, hogy a lépések során a javítások alapján új súlymátrixot vesz fel. Ezzel a durva hibás mérések súlya a számítás során csökken, így a becslés robusztussá válik. Az új súlymátrixok meghatározása az eloszlásfüggvény alapján történik. Az így kapott eljárás tulajdonképpen egy Maximum Likelihood (M-becslés).

$$\sum_i \rho(y_i; x) \rightarrow \min$$

A robusztus becslésekhez többfajta célfüggvényt dolgoztak ki az eloszlás függvényében (Závoti, 1999). A célfüggvények x szerinti deriváltjait hatásfüggvényeknek nevezzük, melyek jól szemléltetik a robusztus becslők jellegzetességeit. Normál eloszlás esetén a hatásfüggvény nem korlátos, ezért nem tekinthető robusztus becslésnek, a Huber által javasolt hatásfüggvény korlátos, és a célfüggvénye konvex. A Ψ hatásfüggvény meghatározásakor az a paraméter értékét gyakran a középhiba alapján veszik fel, a 3σ szabály értelmében annak 3 szorosára. Az a paraméter értéke tulajdonképpen az a küszöbszám, amelynél nagyobb javítás esetén durva hibával terhelt-

nek tekinthető a mérés, így az a kiegyenlítés során kisebb súllyal szerepel.

$$\psi(x) = \begin{cases} x, & |x| \leq a \\ a \frac{x}{|x|}, & |x| > a \end{cases}$$

A Huber által javasolt eljárás minden mérési eredményt figyelembe vesz, azaz nem levágó jellegű. További eljárásokat ismerünk, mint például a Hampel, Dán és a Soproni módszer, melyek célfüggvénye nem konvex (1. ábra). A nem konvex célfüggvények hátránya, hogy nem feltétlenül konvergensek a becslés.

A fejlesztett web alapú alkalmazás célkitűzéseit figyelembe véve a Huber által javasolt célfüggvény használata célravezető. Széles körben

használatos alkalmazás esetében nem szerencsés, ha a felhasználó olyan esettel találkozik, mikor a kért művelet egy esetleges divergencia miatt nem végezhető el. Továbbá a felhasználók vélhetően kevés pontot szeretnének digitalizálni. Amennyiben az illesztőpontok képkkoordinátái durva hibával terhelt, és egy levágó célfüggvényt alkalmazunk, akkor az egyenletrendszer alulhatározottá válhat, nem számítható ki. A Huber módszere szerinti eljárás további előnye, hogy számítástechnikailag jól kivitelezhető, hiszen a legkisebb négyzetek módszerére kidolgozott algoritmusokat hasznosíthatjuk. Az alkalmazásban használt számítási módszer egy iterációk során újrasúlyozott ismételt legkisebb négyzetek szerinti kiegyenlítés (2. ábra).

A kiegyenlítés tehát iterációs lépések segítségével valósul meg. A legkisebb négyzetek módszere lineáris egyenletrendszerek megoldására használható, amennyiben a feltételek egyenletek nem lineárisak, azokat linearizálni kell, és a kiegyenlítést többször ismételve elvégezni. Ha tehát Huber módszert alkalmazunk, és a feltételek egyenletek se lineárisak, az iterációs lépések száma exponenciálisan nő. A sugárnyaláb kiegyenlítés, mint hagyományos fotogrammetriai eljárás nem lineáris feltételek egyenletek eredményez. Ezzel szemben a Direkt Lineáris Transzformáció (DLT) fotogrammetriai számítási eljárás line-

áris egyenletek segítségével írja le a kapcsolatot a képkoordináták és a tárgydali koordináták között (Karara, 1989):

$$\begin{aligned} L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4 - xL_9X - xL_{10}Y - xL_{11}Z - x &= 0 \\ L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8 - yL_9X - yL_{10}Y - yL_{11}Z - y &= 0 \end{aligned}$$

ahol L_i a DLT paraméterek, X, Y, Z a tárgydali koordináták és x, y a képkoordináták. A DLT további előnye, hogy nem szükséges a kamera belső kalibrációs adatainak ismerete a számítás elvégzéséhez. A web alapú fotogrammetriai alkalmazáshoz ezen két ok miatt a számításokat DLT alapján végzi, hiszen az iterációs lépések száma így jelentősen csökkenthető, ami előnyös, mivel a potenciális felhasználók közül kevesen rendelkeznek kalibrált kamerával.

A számításokat Octave matematikai program végzi, amely a kezdeti célkitűzésnek megfelelően szabad és nyílt forráskódú alkalmazás. A program azonos szintaktikát használ, mint a Matlab kereskedelmi szoftver, a számításokat azonos hatékonysággal képes végezni, főként mátrix műveletekre optimalizált. Az Octave program a kiszolgáló számítógépen fut, a felhasználói adatokta PHP-n keresztül kapja, s azon keresztül is adja vissza az eredményeket a felhasználónak.

Tapasztalatok

Egy web alapú fotogrammetriai alkalmazás a kitűzött céloknak megfelelően, minimális befektetéssel, szabad szoftverek segítségével megvalósítható. Az elkészült alkalmazás használatához nincs a felhasználónak másra szüksége, csak a digitális képeire, egy tetszőleges architektúrájú és operációs rendszert futtató számítógépre, illetőleg egy tetszőleges grafikus böngészőre.

Az alkalmazás segítségével bárki végezhet térbeli méréseket, például egy ingatlan vásárlása előtt. Az ingatlan megtekintésekor elegendő az ingatlan alapos körbefényképezése, ezt a befektetők a legtöbbször egyéb okokból is megteszik. A távolság mérések otthon, ismételt helyszíni látogatás nélkül elvégezhetőek, alaprajz készíthető, sőt a tervezési folyamat is elindulhat.

Az eredményül kapott pontok pontossága a fotogrammetriában megszokott tényezőktől függ, a web alapú alkalmazás általánosítások nélkül, a szélső pontosság szem előtt tartásával készült. Eből következően a gyakorlott fotogrammetriai mérőkamerák segítségével a fotogrammetriában megszokott pontosságot érhetik el.

Jövőbeni célok között szerepel az alkalmazás számításokat végző moduljának kibővítése, úgy hogy kalibrált kamerák esetén a DLT helyett a sugárnyaláb kiegyenlítéssel is használható legyen.

IRODALOM

- Abdel-Aziz Y. I., Karara H. M.* (1971): Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates, ASP Symposium on Close-Range Photogrammetry.
- Berényi A., Lovas T., Barsi A., Dunai L.* (2009): Potential of Terrestrial Laserscanning in Load Test Measurements of Bridges, Periodica Polytechnica-Civil Engineering 53. 1., 25–33.
- Detrekői, Á.* (1991): Kiegyenlítő Számítások Tankönyvkiadó, Budapest
- Grussenmeyer P., Drap P.* (2001): Possibilities and limits of Web photogrammetry – Experiences with the ARPEUR web based tool. Heidelberg, Photogrammetric Week 01, Wichmann Verlag.
- Huber P. J.* (1981): Robust Statistics, John Wiley & Sons, New York.
- Závoti J.* (1996): Robosztus becslési módszerek a geodéziában, Dr Habil disszertáció, p. 1–35.

Using robust estimates to a web based photogrammetry measurement system

Molnár B.

Summary

3D photogrammetric processing of images taken by commercial digital cameras would be remarkably beneficial for the wide public. Equipment and techniques are available; the only missing component is an affordable software that can be widely accessed. To fulfill this demand, a web-based photogrammetry suit was developed that runs in a web browser. In order to keep development costs on low level, all the software components are open source and free to use. Since commercial cameras are not calibrated, the conventional bundle adjustment cannot be used, therefore direct linear transformation was applied. Other important issue is handling the gross errors caused by inexperienced users. These errors are eliminated by the Huber-method in the web-based application.