

Beszámoló

a **Fotogrammetriai úton végzett humán morfológiai mérések számítógépes támogatása** című, **K73251** nyilvántartási számú OTKA pályázat keretében végzett szakmai tevékenységről

2008.04.01. – 2012.03.31.

A fenti címen elvégzett kutatásról több mint húsz publikáció jelentettünk meg, köztük több a Nemzetközi Fotogrammetriai és Térinformatikai Társaság (ISPRS) két rendes kongresszusán is elhangzott.[3][9][21][22] A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktori Iskola a témához kötődő két doktori cselekmény megindítását engedélyezte (Schrott Péter: Fotogrammetriai úton végzett humán morfológiai mérések; Molnár Bence: Térbeli modellalkotás humán morfológiai alkalmazása). Jelen dokumentumban a kutatásainknak az összefoglalóját szeretnénk bemutatni, a részletesebb eredmények a publikációkban megtalálhatóak.

Kutatásunk megkezdésekor kutatásaink legfontosabb céljának tekintettük a humán körülmények között végzett fotogrammetriai adatnyerési eljárás standardizálását és a fotogrammetriai mérések és feldolgozások automatizálási lehetőségeinek a vizsgálatát, amely munkatapasztalatait természetesen a nem humán körülmények között végzett felmérések kapcsán is fel kívántuk használni.

A pályázat fő célkitűzését a következő hat részfeladat megoldásán keresztül kívántuk megoldani:

1. A digitális felvevő berendezések tömegpiaci alkalmazása a kedvező piaci folyamatok mellett kedvezőtlen mellékhatásokkal is jár. Az elsősorban nem professzionális felhasználók számára kifejlesztett berendezések kvázi automatizmusa jelentősen degradálja a műszaki felhasználók számára fontos részletinformációkat. Ezért a kutatás keretein belül szükségesnek láttuk a fizikai képalkotási folyamat teljes körű kézben tartását a szabatos geometriai és radiometriai paraméterek korrekt előállítása céljából.
2. A 2D-s fotogrammetriai mérés automatizálási lehetőségeinek a vizsgálatát kívántuk elvégezni két különböző (esetlegesen egymást kiegészítő) elképzelés kapcsán: Amennyiben elő tudunk állítani egy egyszínű olyan struktúrát, ahol biztosítani és bizonyítani lehet, hogy a struktúrán belül ne legyen két azonos környezeti struktúrájú pont, akkor ezt a struktúrát a felveendő tárgyra rávetítve az első kép valamelyik pixelének a kijelölése után egydimenziós korreláció számítás segítségével lehetőség nyílik ugyanennek a tárgypontnak a felkeresésére a további képeken. A felkeresés jelenti ebben az esetben magát a mérést, amely megítélésünk szerint pixel alatti pontosságú mérésnek felelhet meg. Színes képek feldolgozásánál a kivetített struktúra elhagyásával meg kívánjuk találni a képi pixelhez rendelhető értékkészletet (pl. színkoordináta hármast), amely helyettesítheti az egyszínű struktúrát. Ebben az esetben háromdimenziós korreláció számítással érhetünk célt.
3. A fotogrammetriai megoldás keretén belül a 2D-s képkoordinátákból 3D-s tárgyoldali koordinátákat nyerünk. A témavezető 1999-es OTKA (T 025106) pályázatának keretében elkészült egy ezt a feladatot megoldó, a Direkt Lineáris Transzformáció alapelvét alkalmazó program, amely alkalmas nem-metrikus kamerákkal készült felvételek feldolgozására. A pályázat kapcsán el kívántuk végezni a program korszerűsítését, nevezetesen az implementált algoritmus optimalizálását, a felhasználói

interface megfelelő szintű kialakítását, a program felhasználóbaráttá tételét, amelybe beleértettük a felhasználói dokumentáció elkészítését is.

4. A 3D modellből anatómiai modell előállítására emberi arcreekonstrukciós felhasználásra. Az arcreekonstrukció a mimikai izmoknak a koponyacsontok alaki és felszíni struktúrái alapján történő rekonstrukciója. Mivel az izmok életünk során a mindenkori igénybevételnek megfelelően alakulnak, a csontok sajátosságaiból következtetni lehet az izmok fejlettségére, alakjára, lefutási irányára. Az arc körvonalának megközelítése az átlagos lágyszövet-vastagsági méretek hozzáadásával valósul meg. A továbblépéshez a csont- és lágyszövet-variációk összefüggéseinek megállapításában olyan alapvizsgálat szükséges, amely lehetővé teszi nagyszámú adat statisztikai elemzését. A fotogrammetriai eljárással történő morfometriai adatgyűjtés előnye, hogy az arc felszínéről tetszőleges számú adat felvehető, az idő korlátozó tényezője nélkül, kiküszöbölve a klasszikus antropometriai vizsgálatok során a lágyszövetek összenyomásával járó mérési hibákat. A mérések ismételhetők, a vizsgálni kívánt adatok száma utólag is bővíthető. Az arc komplexitása és bonyolultsága olyan adatgyűjtési eljárást tesz szükségessé, amely - a hagyományos morfológiai kategóriák kvalitatív jellemzésén és osztályozásán túl - lehetővé teszi a formák kvantitatív leírását és statisztikai elemzését. A szakirodalomban ismert 3D adatgyűjtési módszerek – az anatómiai mérőpont távolságok elemzése és az arc különböző nézetű körvonalainak elemzése (forma analízis) – önmagukban nem alkalmasak a bonyolult formák egzakt leírására. Ezért a pályázat keretében a 3D adatgyűjtési módszerek előnyeit ötvözve, fotogrammetriai eljárással kívántuk létrehozni az arc biológiailag értelmes modelljét.
5. A feladat elvégzéséhez néhány speciális funkciót is támogató számítógépre volt szükség. A kétdimenziós, pixel alatti pontosságú mérés végzésére alkalmas munkaállomáshoz nagyfelbontású színhű kalibrált monitor (illetve a kalibráláshoz spektrofotométer) szükséges. A feldolgozandó képek igen nagy mennyisége miatt a rendszermemóriának minimum 4GB-nak kellett lennie, a használni kívánt képfeldolgozó algoritmusok számításigényessége miatt a processzor számítási kapacitását sem volt célszerű alultervezni.
6. A humán körülmények között elvégzett fotogrammetriai adatgyűjtési eljárás standardizálását elsősorban az emberi fej digitális modelljének előállítására kívántuk fókuszálni, kapcsolódva a több intézménnyel (BME Biomechanikai Kooperációs Kutatási Központ, MTM Embertani Tára, SOTE Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézete, MTA SZTAKI) közösen végzett arcreekonstrukciós kutatásokhoz.

A kutatási időszakban végzett kutatási tevékenység alapvetően a kutatási tervben megfogalmazottak szerint alakult.

Az adatgyűjtés területén végzett előzetes vizsgálatok során kapott kutatási eredményekről elsősorban a III. Magyar Biomechanikai Kongresszuson számoltunk be, ahol a téma jelentőségének megfelelően külön szekcióban szerepelt az arcreekonstrukció. A szekcióban több mint tíz előadás volt meghallgatható, és amelyek végleges konklúziója volt a fotogrammetriai megoldás kiválasztása. A vizsgált egyéb lehetőségek voltak az optikai és lézer szkennelés, a CT és a röntgen felvételezés.[1][2][4][7][8][10][19][20][21]

A fotogrammetriai adatgyűjtő berendezés megfelelő működésének alapvető feltétele, hogy a rendszer a speciális feladatnak megfelelő paraméterekkel rendelkező kamerából álljon. Éppen ezért ezek kiválasztása, a piacon kapható berendezések katalógus adatokon túli faktorainak a megismerése és a megfelelő döntés meghozatala különösen sok odafigyelést és aprólékos munkát követelt. Számos teszt és szimuláció elvégzése és természetesen az ár figyelembe vétele után választottuk ki a felhasználásra szánt kamerákat, amelyek adatai a következők:

- PicSight GigE P202B-GigE-AR színes kamera, (1/1.8" CCD, 1624x1236)
- N.E. Technology L-SV2514MP objektív (c=25mm F:1.4) [11]

A kamerák egyéb, gyári adatként nem ismert paramétereinek vizsgálatához tesztkörnyezetet terveztünk, a kamerákat bevizsgáltuk. A kamerák optikai tulajdonságai szempontjából az elrajzolási függvényeket és az optikai átviteli függvények paramétereinek a meghatározását végeztük el. Hardver oldalon vizsgáltuk a kamerák adatátviteli sebességét, az adatátvitel biztonságát, a kamerák szinkronizálási lehetőségét. A kamerák vezérléséhez szükséges volt külön szoftver fejlesztése.

A vizsgálati eredmények figyelembe vételével elkészült a digitális fotogrammetriai arcreekonstrukciós célú adatnyerő berendezés kialakításának a végleges terve. A felvevő berendezés megtervezésének alapvető munkafázisa a fotogrammetriai hálózattervezés elvégzése. Gyakorlatilag minden közelfotogrammetriai feladat egyik legjelentősebb sajátossága az egyediség, ezért a feladat megoldása is egyedi hálózati tervezést tesz szükségessé.[13][17][18][22] Az élő személyeken végzett humán morfológiai mérések is számos, máshol nem jelentkező kérdést és megoldandó problémát vetnek fel. A tapasztalati úton végzett közelfotogrammetriai hálózattervezés szakirodalmában kényszereknek nevezett szempontok vizsgálatával határoztuk meg a fotogrammetriai hálózat paramétereit. Kiemelt jelentőségű a kényszerek vizsgálata közül a láthatósági vizsgálat, amelyre külön láthatósági modellezés készült. A végleges terv tartalmazta a kamerák és a tárgyter kialakításának a részleteit, az illesztőpontok számának és elrendezésének a tervét az illesztőpontok szükséges pontossági adatait, a rendszer hitelesítési tervét, a megvilágítási igényeket. A terv alapján elkészült a felvevő berendezés és megtörtént a vezérlő és adatgyűjtő számítógéppel való összekapcsolása is.

Terveink szerint a tárgyterí 3D rekonstrukció egyik lehetséges megoldására a direkt lineáris transzformáció nyújtotta lehetőségeket használtuk ki. Ezen elv szerint működő, szintén OTKA (1999, T 025106) támogatással készült saját fejlesztésű szoftverrel rendelkezünk már a kutatási feladat megkezdésekor, viszont szükséges volt a szoftver további fejlesztése, valamint a kamerák vezérlőszoftverével való kompatibilitás biztosítása. Szükséges volt a fejlesztés elsősorban a felhasználók magasabb szinten történő támogatásának a megoldása végett, valamint szükséges volt a megoldások általánosítása terén való előrelépés. A fejlesztési célok megfogalmazása után a fejlesztés maga fejlesztési terv szerint történt meg.[14][15][16]

A direkt lineáris transzformáció bemeneti adatai (a mérési eredmények) a képkoordináták. A digitális fotogrammetriában első közelítésben a képkoordináta mérés a pixel azonosítását, azaz az oszlop- és sorszám meghatározását jelenti. A digitális képalkotó szenzorok felbontása ugyan napról napra növekszik – ezáltal a pixelméret csökken, azonban a fizika törvényszerűségei miatt a miniatürizálás egy bizonyos határon túl nem lehetséges. A jelenlegi (és a közeljövőben várható) digitális szenzorok pixelmérete a hagyományos analóg film szemcseméreténél hozzávetőleg egy nagyságrenddel nagyobbak, szigorúan véve a felbontásuk ennyivel rosszabb. Ugyanakkor kihasználva azt, hogy a digitális szenzoron a pixelek szabályos struktúrában (jellemzően négyzettrácsosan) helyezkednek el, különböző matematikai és optikai módszerekkel elérhető olyan pontosság, ami a képtérbe visszavetítve a pixelek oldalhosszánál kisebb hibát ad – ezt nevezik pixel alatti pontosságú mérésnek. Kutatásainkban megvizsgáltuk, hogy a szóba jöhető módszerek közül melyiket és hogyan tudjuk a méréseink során alkalmazni.

A digitális képek azonos pontjainak identifikációja a fotogrammetria egyik dinamikus fejlődő területe, amely alapvető fontosságú a mérések automatizálása miatt is. A referenciapontok egyeztetése mint a több nézetből elkészült fotók 3D-s képfeldolgozásának részfeladata, nélkülözhetetlen lépés. A geometriai analízisen alapuló képegyeztetésen túl, a képek RGB színinformációit felhasználva szoftveres szintűrés analízáló módszert dolgoztunk

ki.[5] A módszer segítségével a színhelyes korrigált képeken lehetőség nyílt olyan azonosító (matching) algoritmus kidolgozására, amely a szokásos kontrasztelemezésen túl a pixelek színinformációit is figyelembe veszi. Az algoritmus alapján elkészült szoftver segítségével szignifikánsan nagyobb pontossággal azonosíthatók a nézeti képek referenciapontjai.

A mérőképek feldolgozásának eredménye a számított pontokból nyert 3D adatokból előállított pontfelhő. A pontfelhők feldolgozására a szakirodalom számos bevált módszert tárgyal, de a legáltalánosabban használt módszer a térbeli Delaunay-háromszögelés – a különböző háromdimenziós szkennerek terjedésével párhuzamosan számos pontfelhő-kezelésre felkészített modellező szoftver is elérhető, mely ezt az eljárást használja a térbeli irreguláris háromszögháló elkészítéséhez.

A fotogrammetriai mérés során számos téves pontazonosítás miatt a mérési eredményeket durva hibaszűrésnek kell alávetni. A mért pontok eloszlása az arcon nem feltétlenül illeszkedik annak geometriai jellegéből fakadó szükséges és elégséges pontsűrűséghez, emiatt a mért pontok utófeldolgozására is szükség van.[12] Az mi méréseink során kapott 3D adatokból hibaszűrt és igazított sűrűségű pontfelhőt készítettünk, majd Delaunay-háromszögeléssel előállítottuk a TIM modellt. A modellre a mérőképeket (vagy egyéb textúra-felvételre használt fotókat) visszavetítve élethű 3D modellt nyertünk.

A kutatás eredményeinek felhasználásával jelenleg a Honvédkórház, Állami Egészségügyi Központ Fül- Orr- Gége és Fej-Nyaksebészeti Osztályával közösen dolgozunk anotia/microtia eseteinél a fülkagylóképzés rekonstrukciós műtéteinél az egymást követő műtétek számának redukálásában. A redukciót az ép fül 3D modelljéből tervezett inplantátum segítségével lehetséges elérni.

Mindemellett az alapkutatásunk továbbvitele is zajlik, jelenleg vizsgáljuk, hogy az általános modellalkotásra használt algoritmus helyett úgynevezett deformálható modell alkalmazásával (mikor egy matematikailag szerkesztett és a mintázandó alakzatot, itt arcot formáló módosítható háromszögstruktúrát a mért anatómiai jellegpontokra igazítunk) elérhető-e még nagyobb pontosság.

Publikációs jegyzék:

1. B. Molnár, P. Schrott, K. Fekete: Comparative Accuracy Survey of 3D Medical Digital Models Made by Photogrammetric, CT and Scanning Methods, pp. 211- 216 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
2. K. Fekete, L. Borbás, R.M. Kiss, P. Schrott, G. Balog: X-ray Image processing by Direct Linear Transformation, pp. 75-81 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
3. K. Fekete, P. Schrott: Qualification of Close Range Photogrammetry Cameras by Average Image Coordinates RMS Error vs. Object Distance Function, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVII, Part B5, Beijing pp. 149 - 152, 2008
4. K. Fekete, P. Schrott: Qualification of Optical Capturing Devices for Data Gathering Phase of the Face Reconstruction Process, pp. 83-88 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
5. Krisztián Samu: Match of the Image Reference Points with the Use of the Chromatic Information, pp. 293-300 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
6. Lilla Alida Kristóf, Géza Tóth, Erika Riedl, Zsófia Végvári, László Pohárnok, Ágnes Kustár: Mummies and Face Reconstruction. The Skull CT Examination and 3D

- Printing of Baroness Antonia Tauber's and the Archbishop of Kalocsa, Pál Széchényi's Mummies, pp. 133-138 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
7. Molnár Bence: Optikai szkener építése arcreekonstrukciós célokra., Doktori kutatások a BME Építőmérnöki karán. Budapest, Magyarország, 2008.11.28. pp. 1-7., 2008
 8. P. Schrott: Geometric Data Gathering from Cadaver Human Head, pp. 301-307 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
 9. P. Schrott, Gy. Szabó, K. Fekete: Data Acquisition Possibilities for face Reconstruction Purpose, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVII, Part B5, Beijing pp. 817 -821, 2008
 10. P. Schrott, K. Fekete: Subpixel Accuracy Photogrammetric Evaluation Methods for Face Reconstruction Purpose, pp. 309-314 in Proceedings of the Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, 2008
 11. Peter Schrott: Investigation of Measurement Methods for Facial Reconstruction Purposes, in 7th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics. May, 14-17 2008. Wojcieszycze, Poland, 2008
 12. Varga E, Hegedűs I, Földváry L, Fekete K: Mérési pontok optimalizációja egy arc fotogrammetriai kiértékelése számára., Geomatikai Közlemények XII: pp. 265-272., 2009
 13. Fekete Károly: Fotogrammetriai hálózatok súlykoefficiens mátrixai, pp. 35- 38 in Geomatikai közlemények XIII/1. Sopron, 2010
 14. Molnár Bence: Robosztus becslést és DLT-t alkalmazó web-alapú fotogrammetriai alkalmazás fejlesztése, pp. 91-95. in Geomatikai közlemények XIII/1. Sopron, 2010
 15. Molnár Bence: Robosztus becslések használata web alapú fotogrammetriai kiértékeléshez, Geodézia és Kartográfia LXII. évfolyam, 2010/1: pp. 24-27. Paper 4., 2010
 16. Molnár Bence: Developing a web based photogrammetry software using DLT., Pollack Periodica Volume 5, Number 2/Aug 2010: pp. 49-56. Paper 16., 2010
 17. Molnár Bence, Fekete Károly, Schrott Péter: Human morphologic measurements by photogrammetry, Biomechanica Hungarica III:(1) pp. 159-163. Paper 135., 2010
 18. Schrott Péter: Emberi arc fotogrammetriai felmérésének hálózat tervezési kérdései, pp. 39-43. in Geomatikai közlemények XIII/1. Sopron, 2010
 19. Fekete Károly, Borbás Lajos, Balog Gergő, Schrott Péter, Plachtovics Márk: Accuracy Survey of a Cone Beam CT Device., 28th Danubia - Adria - Symposium on Advances in Experimental Mechanics. Siófok, Magyarország, 2011.09.28-2011.10.01. pp. 27-28. Paper 2. (ISBN: 978-963-9058-32-3), 2011
 20. Schrott Péter, Fekete Károly: Photogrammetric Evaluation of Human Faces for Face Reconstruction Purpose., 28th Danubia - Adria - Symposium on Advances in Experimental Mechanics. Siófok, Magyarország, 2011.09.28-2011.10.01. pp. 31-32. Paper 4. (ISBN: 978-963-9058-32-3), 2011
 21. B. Molnár, C. K. Toth, Á. Detrekői: Accuracy Test of Microsoft Kinect for Human Morphologic Measurements., International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX:(B3) pp. 543-547., 2012
 22. P. Schrott, Á. Detrekői, K. Fekete: Photogrammetric Network For Evaluation of Human Faces for Face Reconstruction Purpose., International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX:(B3) Pp. 549-552., 2012