

# Egy közelfotogrammetriai 3D rendszer és felhasználása emberi érhálózat ábrázolására

*Dr. Alhusain Othman<sup>a,b</sup>, dr. Detrekői Ákos<sup>a</sup>, dr. Fekete Károly<sup>a</sup>, Juhász Attila<sup>b</sup>,  
Rakusz Ádám<sup>a</sup>, dr. Stuber István<sup>c</sup>, Tóth Zoltán<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék;

<sup>b</sup>MTA TKI Geoinformatikai kutatócsoport;

<sup>c</sup>Semmelweis Egyetem, Testnevelés és Sporttudományi Kar,  
Háromdimenziós Morfológiai és Mozgáselemzési Laboratórium

## 1. Bevezetés

Az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) Bizottság az 1998. január 13-i döntésével, 2001. december 31-ei határidővel elfogadta a BME Fotogrammetria Tanszék oktatói és kutatói által benyújtott, *dr. Detrekői Ákos* által vezetett „Közelfotogrammetriai 3D multispektrális rendszer matematikai modellezése” című pályázatot. Jelen publikációban beszámolunk az elvégzett munka legfontosabb fázisairól, különös tekintettel a létrehozott rendszer alkalmazási lehetőségeire emberi érhálózat felmérésére és ábrázolására.

„A fotogrammetria a tárgyak vagy jelenségek geometriai viszonyainak, helyzetének a meghatározásával foglalkozik a tárgyról vagy a jelenségről készült fénykép alapján” – szól a klasszikus meghatározás (*Homoródi* 1975). A fotogrammetria kifejezés (képmérés) maga is a fényképhez mint a tárgyak optikai eljárással készült centrális vetületehez köti ezt a tudományterületet.

A képek – általánosabban fogalmazva – a valóságos 3D világ bizonyos térrészeiről készült kétdimenziós vetületek. A készítés módja szerint különböző fizikai jelenségeken alapszanak. Ezek közül a legismertebb a látható fény, de számos más megoldás is, mint például a radar vagy a röntgen is létezik. Ezeketől a fizikai jelenségektől függetlenül csoportosíthatjuk a képek információ tartalmát radiometriai, tartalmi és geometriai információkra. A fotogrammetriát a továbbiakban a képekből az általánosított képfogalom szerint nyerhető geometriai információk feldolgozása tudományának tekintjük.

A fotogrammetria csoportosítása többféle lehet. A tárgyátvolság, de inkább az ebből adódó jellegbeni eltérés szerint beszélünk űr-, légi- és közelfo-

togrammetriáról. Pályázatunkkal egy rugalmas közelfotogrammetriai rendszer felépítésére vállalkoztunk. Rugalmasság alatt értve, hogy a rendszer a különböző optikai tulajdonságokkal rendelkező leképző rendszerek által készített felvételeket tudja kezelni. A különböző optikai tulajdonságokba beleértettük a látható fény tartományán kívül működő berendezéseket is. Feladatunknak tekintettük továbbá egy olyan a tárgyoldali rekonstrukciót megvalósító szoftver kifejlesztését, amely mindezen felvevőkkel készített képek feldolgozására alkalmas, és a kapott eredmények 3D megjelenítését is megoldja.

A téma szakirodalmának áttekintésekor megállapítható volt, hogy a szerzők nem a módszertan teljes feldolgozásán keresztül jutnak el a feladat megoldásáig, hanem – hangsúlyozva a téma egységét –, nagy súlyt adnak a tapasztalatnak és a megismerő eljárásoknak.

A közelfotogrammetriai információs rendszerek, mint a többi más információs rendszerek három fő elemből állnak: a hardver, a szoftver és az adatok. Könnyen megállapítható, hogy az adatgyűjtés fázisa kiemelkedően fontos szerepet játszik ezekben a rendszerekben. Ha figyelembe vesszük a közelfotogrammetria különböző alkalmazási területeit, mint a deformáció mérés, az orvosi, biológiai mérések, a robottechnika, az építészet stb., világossá válik, hogy a közelfotogrammetriára alapozott információs rendszerek egy rendkívül fontos csomópontját képezik ezeknek az alkalmazási területeknek. Ilyen csomópont azonban csak akkor funkcionálhat, ha a rajta jellemző térbeliség és multispektrális tulajdonságok, valamint a leíró adatok ezen módszerekkel való gyűjtése az információs rendszer fogalmával megfelelő szinten működik.

## 2. Adatnyerés és a tárgyoldali rekonstrukció

Az adatgyűjtés a közelfotogrammetriai információs rendszerekben általában különböző olyan kamerákon keresztül történik, amelyek a különböző alkalmazási területeken igen széles körben változnak. Ilyen alapon egy kamera, amely alkalmazható az építészetben teljesen más struktúrájú lehet, mint például amely felhasználásra kerül egy orvosi-biológiai feladat esetén. Ez a strukturális eltérés a különböző formátumú képek feldolgozásában logikai eltéréshez vezethet. Ezen kívül egy alkalmazási területen is sok faktor változhat egyik projektről a másikra. Ilyen változó faktor például a képalkotó eszközök tulajdonsága: a kamera típusa, kameraállandó, ill. ennek minimuma és maximuma, a kép nagysága, a koordináta-rendszer és kapcsolata a kép geometriájához és a különböző torzítási tulajdonságok, amelyek egy-egy felvevő rendszer adott tulajdonságai.

Fenti okok miatt a 3D tárgyoldali rekonstrukcióra olyan szoftver kifejlesztése jöhet szóba, amely a változó paraméterű felvételi berendezések széles körében alkalmazható. Céljainknak a direkt lineáris transzformáció (DLT) felelt meg, mert itt a transzformációs állandók nem a kamerák faktoraitól függenek (*Abdel Aziz and Karara*, 1971). Ezáltal azt a problémát, hogy egy közelfotogrammetriai adatbázisban a faktorok gazdag választékát szerepeltessük, megkerülhettük a matematikai modell sajátos megválasztásával. Ugyanakkor a DLT paraméterek és az esetlegesen jól ismert kamera paraméterek közötti összefüggéseket (*Bopp and Krauss*, 1978) felhasználva, lehetővé tettük metrikus kamerák pontos fizikai paramétereinek a felhasználását is.

A DLT módszer alapelve, hogy a képpontokat a komparátor koordináta rendszeréből közvetlenül a tárgyterbe transzformálja, amivel kihagyja a hagyományos kiértékelésnél szokásos közbenső lépést, amely a képkoordináták transzformálását jelenti a komparátor koordináta-rendszeréből a fénykép koordináta-rendszerébe. A megoldás elve a magyar szakirodalomban is megtalálható (*Fekete*, 1986).

Munkánk során a *Wong* által javasolt (*Wong*, 1975) közvetlen megoldást Turbo Pascal 7.0 programnyelven DOS-os környezetben fejlesztett szoftverrel oldottuk meg. A programcsomag három alprogramot és ezeket irányító vezérprogramot tartalmaz. Az első alprogram a DLT transzformációs paramétereit számítja a legkisebb négyzetek módszerével. A második alprogram az egyes



1. kép Az alkalmazott tesz-terület

képekhez tartozó koordináta listákat egyesíti, és számításra alkalmas formátumra hozza. A harmadik alprogram végzi el a tulajdonképpeni tárgyoldali rekonstrukciót. A program tesztelése egyrészt számítógépes szimulációval, másrészt tesz-területről készült digitális és analóg képek feldolgozásával történt. Az alkalmazott tesz-területet és az illesztőpontok elhelyezkedését az 1. kép szemlélteti.

Számításainkhoz felhasznált mérési eredményeinket digitális képek esetén általános célú képfeldolgozó szoftver felhasználásával kaptuk meg. A szakirodalom által közölt a képtérre vonatkozó elérhető pixel alatti pontosságot régebbi fejlesztéseink során már tudtuk biztosítani (*Fekete*, 1996). Analóg képeink képkoordinátáit analitikus plotteren, komparátor üzemmódban történt mérések feldolgozásából kaptuk.

## 3. A kapott eredmények ábrázolása

### 3.1. Ábrázolás osztott képernyőn

A digitális fotogrammetria legegyszerűbb ábrázolási formája az osztott képernyős megjelenítés. Egyszerűsége mellett számos más előnnyel is rendelkezik. Ezen ábrázolási mód választása esetén nem szükséges nagy értékű új beszerzést eszközölni, alkalmas a térbeli szemlélés, a térbeli mérés megoldására, valamint számos egyéb alkalmazás lehetőségét hordozza magában a képek más optikai eszközbe való vetítésének lehetőségével. Ilyen lehetőség lehet például röntgen felvételpár mik-

roszkópba való vetítése bizonyos műtéti körülmények között. A geometriailag helyes ábrázolás akkor lehetséges, ha a földi fotogrammetriából ismert kétképes kiértékelés normálesetének megfelelő elrendezésűek a felvételeink. A digitális fotogrammetria azonban magában hordozza a lehetőséget, hogy általános elrendezésű képpárból normál elrendezésűt alkossunk (Krauss, 1998). A normálképpár előállításának feltétele a képek tájékozási elemeinek az ismerete. A normalizálást az előzőekben bemutatott teszt-terület egyik képpárján mutatjuk be. A tájékozást DLT programmal elvégezve, szükséges definiálnunk egy lokális tárgykoordináta rendszert, majd mindkét kép és az új tárgykoordináta rendszer között meghatározni az ún. báziscsere mátrixot. A kapott térbeli forgatási mátrixok előállításával megteremtettük a normalizált képek előállításának a feltételét. A normalizált kép új képmátrixát pixelenkénti transzformációval oldottuk meg (Tóth, 2001). Az eredeti és a normalizált képpárat a 2. kép mutatja be.

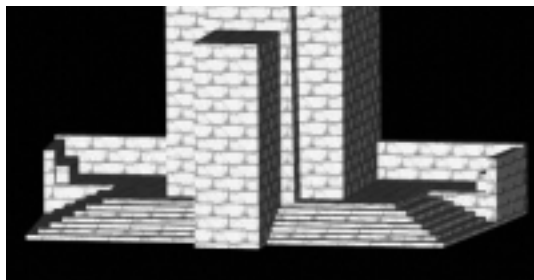


2. kép Az eredeti és a normalizált képpár

A normálképpár geometriai helyességének ellenőrzésére kiszámítottuk az illesztőpontok képkoordinátáit a normalizált képeken, majd a tárgyoldali rekonstrukció alkalmat adott a normálképpár geometriájának, illetve az alkalmazott matematikai modell helyességének a vizsgálatára.

### 3.2. Számítógépes megjelenítés

Az ábrázolás 3.1. pontban leírt módja sok felhasználó számára, mint például néhány orvosi alkalmazásnál, a legjobb megoldás, de sok esetben szükséges előállítani a 3D számítógépes modellt is. Erre különösképpen akkor lehet szükség, ha végeredményként nem numerikus adatok előállítása, hanem az összefüggések, arányok, viszonylatok megjelenítése a cél. Bemutatott példánkban

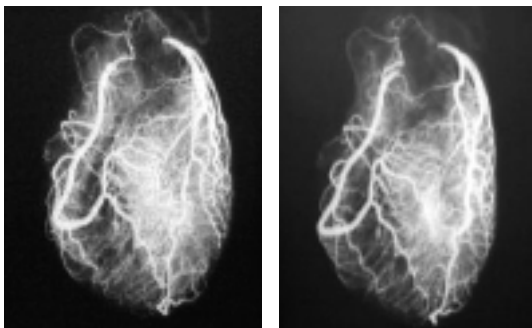


3. kép A teszt-terület idealizált, szerkesztett képe

viszonylag kevés számú mérési eredmény birtokában idealizált teszt-modellt hoztunk létre, ahol a valósághú megjelenítést anyagmodell hozzárendelésével biztosítottuk.

## 4. Emberi érhálózat topológiájának megalkotására

Különböző betegségeknel, műtéti beavatkozásoknál, mint például agyműtéteknél az orvos számára fontos, sok esetben életmentő az ember különböző szervei érhálózatának, annak struktúrájának, méreteinek az ismerete. A feladatot általánosítani nem lehet, mert ezek az értékek személyenként olyan mértékben változóak, hogy azok ezt a megoldást lehetetlenné teszik. Kutatásaink során a lehetséges elképzelhető megoldások közül – mint

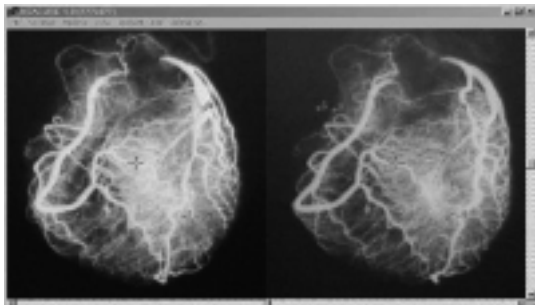


4. kép Az emberi szív érhálózatáról készült röntgen képpár

például a lágygamma sugaras kamerák alkalmazása, CT vagy MR képek feldolgozása – a klasszikus röntgen alkalmazása mellett döntöttünk, elsősorban azért, mert annak ellenére, hogy alkalmazása a beteg számára bizonyos kellemetlenséggel jár, de ez az a felvevő, ami a gyakorló orvos számára is elérhető, olcsó megoldás.

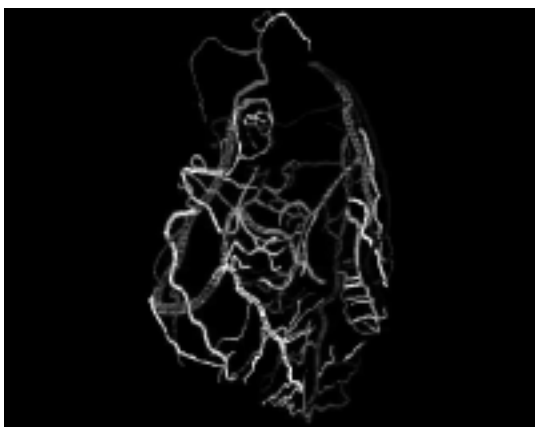
A feladat első megoldásaként és a létrehozott rendszer alkalmazási lehetőségének felméréseként emberi érhálózat topológiájának a vizsgálatára

val foglalkoztunk. A mérés tárgya az emberi szív érrendszerének prezentálását szolgáló preparátum volt, amelyről két álláspontonról készült röntgen sztereopár. Jelen kísérletben a képek készítésénél nem volt szükséges az illesztőpontok fényképezéssel, azaz a röntgenfelvételezéssel egyidejű rögzítése, mivel preparátumon folyt a kísérlet, amely a képek elkészülte után is mérhető. A röntgen képpárt a 4. kép mutatja. Mivel a DLT paraméterek közvetlenül nem tartalmaznak fizikai jelentést,



5. kép A röntgen képpár kiértékelés közbeni állománya

ezért az egyes felvételek belső és külső tájékozása alatt azt értettük, hogy képenként meghatároztuk a DLT paramétereit. Ennek során nem foglalkoz-



6. kép A szív érhálózatának szerkesztett modellje

tunk a röntgen képeknél fellépő különböző degradációkkal, hanem úgy tekintettük, hogy azok a transzformáció paramétereit módosítják valamilyen, de a pontmeghatározásoknál ezek a különbségek egyrészt kiesnek, másrészt megítélésünk szerint jelen feladat megoldásánál elsősorban nem a pontossági igények magas szintű kielégítése a cél, hanem a megbízhatósági kérdések a döntőek.

A 2. pontban említett mérési technikákat nem helyettesítő, de kiegészítő mérési eljárás, mikor a normalizált képpárt osztott képernyőn sztereoszkópiusan szemlélve, a két kép megfelelő pontjainak azonosítását és mérését is el tudjuk végezni megfelelő szoftver felhasználásával. A röntgen sztereoképpár kiértékelését a SOTE erre a célra fejlesztett Measure nevű szoftverével oldottuk meg. A kiértékelés közbeni képi állományt szemlélteti az 5. kép.

A Measure program lényeges tulajdonsága, hogy támogatja az Autodesk cég CAD rendszerek terén világszabványnak számító DXF szöveges fájlcsere formátumát. Ezzel megnyílik az út a kiértékelte modellek CAD, illetve egyéb 3D modellező programok további felhasználása előtt. A 6. kép a szív 3D kiértékelte modelljét mutatja AutoCAD 2000 alatt.

## 5. Összefoglalás

Jelen publikációnkban egy kutatás eredményeiről számoltunk be. Bemutattuk a közelfotogrammetriai mérések feldolgozására kifejlesztett DLT elvén működő szoftvert, bemutattunk különböző ábrázolási lehetőségeket. A rendszer kísérleti teszteléséhez a röntgen felvételeket halott emberi szervekről készült felvételek felhasználásával végeztük, tehát kidolgozandó a megfelelő technológia élő szervezetek esetén is. Ebben az esetben a pontossági követelmények mellett a megbízhatósági kérdések is felmerülnek. Ugyanis fontosabb lehet egyes részletek egymáshoz viszonyított helyzetének a kérdése az abszolút pontosságnál. Másrészt, ugyan jelen állapotában is segítség az orvos számára az érhalózat geometriájának az ismerete, de sokkal nagyobb biztonságot jelentene bizonyos esetekben, ha az orvosi eszközt, a beteg és az érhalózat képét egyszerre tudná szemlélni az orvos.

## IRODALOM

- Abdel Aziz, Y.–Karara, H. M. (1971): Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry, Papers from the American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois. pp. 1–18.
- Atkinson, K. B. (1996): Close Range Photogrammetry and Machine Vision, Whittles Publishing, Caithness, Scotland, UK.

Bopp, H.–Krauss, H. (1978): An orientation and calibration method for non-topographic applications, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 44, no. 9, pp.1191–1196.

Detrekői, Á. (1990): Kiegészítő számítások (egyetemi tankönyv), Tankönyvkiadó; Budapest.

Detrekői, Á.–Fekete, K.–Tóth, Z.–Alhussain, O.–Juhász, A.–Stuber, I.–Rakusz, Á. (2002): Representing the Human Vascular System with the Use of X-ray Pictures, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. XXXII. Part B5 Commission V, Corfu, Greece

Fekete, K. (1986): Amatőr kamerákkal készült felvételek pontossági vizsgálata, Geodézia és Kartográfia, 2. sz., 115–117. old.

Fekete, K. (1996): Developing of the surface modell of human gums, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI. Part B5 Commission V, Vienna, pp. 160–166.

Homoródi, L. (1975): Fotogrammetria II. (kézirat), Tankönyvkiadó, Budapest

Karara, H. M. (1989): Non Topographic Photogrammetry, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

Karl, K. (1998): Fotogrammetria (egyetemi tankönyv), Tetria Kiadó; Budapest

Tóth, Z. (2001): Az emberi szív érrendszerének felmérése, BME Tudományos Diákköri Dolgozat, Budapest

Wong, K. W. (1975): Mathematical Formulation and Digital Analysis in Close Range Photogrammetry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 41, no. 11, pp. 1355–1375.

## A close-range 3D system and its usage in representing the human vascular system

O. Alhussain–Á. Detrekői–K. Fekete–  
A. Juhász–Á. Rakusz–I. Stuber–Z. Tóth

### Summary

In this paper, the determination of the measurements, shape and state of the human vascular system will be presented in detail. The determination process is done through creating and plotting the topology of the human vascular system. The images used in this project were, either collected by X-ray instrumentation or prepared by the correction of other imaging systems data. For the displaying process, the split screen method was chosen to display the normalized stereo pair photos. This procedure was chosen because it satisfies the medical applications requirements for the need of displaying the plotting results onto various output instrumentation, and to assure wide range applicability for the system.

Az FVM FTF 2002. március 18-i hatállyal kiadta „az állami földmérési alaptérképek felhasználásával készülő egyes sajátos célú földmérési munkák végzéséről és az ezekkel kapcsolatos hatósági eljárások lefolytatásáról, valamint a földügyi szakigazgatásban működő adatszolgáltatás intézményi háttéréről és rendjéről” szóló 13.692/2002. számú

## új F2 Szabályzatot.

A Szabályzat és mellékletei (word formátumban) ingyenesen letölthetők a [www.fomi.hu](http://www.fomi.hu) címről, illetve beszerezhető a Földmérési és Távérzékelési Intézetnél.