FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2003. március 21-22.

KÉTKAMERÁS TÉRBELI MÉRÉSTECHNIKA

Dr. Dudás Illés, Felhő Csaba, Szentesi Attila, Tóth Gábor

1. Bevezetés

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén 1998 évtől kezdődően folynak a kutatások az OTKA (nyilvántartási szám: T026566) keretében az egy illetve kétkamerás méréstechnika alkalmazásának területein Dr. Dudás Illés professzor vezetésével. A kutatási téma címe: „CCD kamerás mérési rendszerek kifejlesztése a gépipari minőségbiztosítás területén”.

A köszörűkorong egykamerás folyamatos kopásvizsgálata után a tavalyi évtől kezdve a kétkamerás térbeli méréstechnika továbbfejlesztésén fáradozunk. Ezen dolgozat keretében szeretnénk bemutatni az eddig elért eredmények egy szegmensét.

2. Számítógépes képfeldolgozás

Számítógépes képfeldolgozó rendszereket először az 1960-as években használtak az űrkutatásban és a föld felszínéről készített felvételek kiértékelésében. A számítógépek kapacitásának növekedése lehetővé tette a számítógépes képfeldolgozás egyre szélesebb körben történő elterjedését. A számítógépes képfeldolgozás célja és lényege, hogy a környezetünkben nyerhető képi információkat a számítógép alkalmazásával oly módon feldolgozzuk és kiértékeljük, hogy az eredményeknek megfelelően be tudjunk avatkozni bizonyos folyamatokba.

Széles körben alkalmazzák a képfeldolgozás módszereit az ipar területén is. Ipari alkalmazásnak tekinthetnénk az anyagvizsgáló laboratóriumokban alkalmazott mikroszkópi képelemző rendszerek használatát, vagy a távérzékelési módszerekkel végzett geológiai törésvonal vizsgálatokat is, amelyek az ásványi kincs lelőhelyek felkutatásához nyújtanak értékes segítséget, de általában ipari képfeldolgozó rendszerek alatt a gyártás során végzett minőségellenőrzést, folyamatvezérlést végző rendszereket értünk.

Az alábbiakban röviden ismertetjük a Tsai-féle kamera kalibrációs modellt alkalmazó Calib, kétkamerás térbeli mérőprogram használatát [13].

3. Tsai-féle kamera modell

A digitalizálás során a valós világ képeinek a számítógép memóriájába való bevitele számos eszköz közreműködése révén alapvetően két lépésben valósul meg. Az első lépésben (az objektív közreműködésével) egy kép jön létre a kamera CCD mátrixán [6], [7]. A CCD mátrix kiolvasása, majd a digitalizálás során a kép a számítógép memóriájába kerül. Mindkét lépés a kép torzulását eredményezi, amelyet a kép feldolgozása során figyelembe kell venni. Az esetek egy részében a torzulás a feldolgozás szempontjából legalábbis elhanyagolható hibát okoz, de néhány feladatban megkerülhetetlen a figyelembe vétele. Tipikusan ilyenek a három dimenziós mérés, látás témakörébe tartozó feladatok. Az alábbiakban ismertetjük a Roger Y. Tsai által kidolgozott modell elvi alapjait. Ezt a modellt, illetve ennek egyszerűsített változatait használják a feladatkörbe tartozó legtöbb eljárásban. A koordináta-transzformáció 4 lépése az 1. ábrán látható.

1. ábra. A valós koordináták transzformációja feldolgozható gépi koordinátákká

4. A „Calib” programcsomag alkalmazása

A program két fő funkciócsoporttal rendelkezik [1], a kalibrálás és a mérés funkcióival. A kalibrálás funkciócsoportban a program a két kamera egy-egy képe alapján megállapítja a saját térbeli helyzetét, továbbá a kamerák belső paramétereit. A mérés funkciói során a már kalibrált rendszert alkalmazzuk pontok térbeli helyzetének meghatározására. A teljes munkafolyamatot egy feladatazonosítóval egységként kezeljük. A feladatazonosító megadása után a képek, kalibrálási, mérési adatok valamennyien automatikusan elmentődnek.

4.1. Kalibrálás a „Calib” programmal

A kalibrálás egy előre elkészített ábra segítségével történik. Esetünkben az 2. ábrán is látható módon egy síkbeli sakktábla jellegű nyomtatvány, amelyen a szabályosan felrajzolt fekete négyzetek sarokpontjai szolgálnak kalibrációs alappontokként. Az ábra 4 sorban 6-6 négyzetet tartalmaz. A pontos kalibrálás érdekében a kiválasztott sarokpontokat a kívánt pontossággal be kell mérni. (Természetesen számolni kell az eljárás saját hibájával is, így a kívánt pontossághoz kell megválasztani a kalibrációs pontok bemérési pontosságát. Általában azt lehet mondani, hogy az eljárás a mérési hibát mintegy 3-szorosára növeli.)

2.ábra. 7 kalibráló-pont felvétele a négyzethálón

A program indulásakor, ha már korábban elkezdett feladatot kívánunk folytatni, akkor meg kell adni a feladatazonosítót. Az azonosító megadása a „Feladat kiválasztása” gombbal történik. Amennyiben új feladatot kezdünk, akkor az azonosítót csak a feladat mentésekor kell megadni. (Új feladat az „Új” gombbal kezdhető. Ilyenkor az előző feladat adatai átmásolódnak az új feladatba is.) a mentés a program lezárásakor automatikusan történik, vagy a „Feladat mentése” gombbal kezdeményezhető.

A kalibrálás első lépéseként rögzíteni kell a kalibráló ábra képét mindkét kamerával. A mellékelt két kép ugyanazon kalibrálóábrának két kamera által rögzített képe. (3., 4. ábrák)

3. ábra. Az egyik kamera képe

4. ábra. A másik kamera képe

Feladat:

☒ 1. kamera ☐ 2. kamera

Feladat kiválasztása

Feladat mentése

Élőkép

Kalibrálás

Mintapontok

Pontok száma

Azonosítópontok finomítása

Képi X:

Képi Y:

Sor,oszlop:

Sarok: ☐ bf ☐ jt ☐ ba ☐ ja

Térbeli X:

Térbeli Y:

Térbeli Z:

5. ábra. Kalibrálás menüábra

A kamera kiválasztására a kamera gombsor elemei szolgálnak. (5. ábra) Ha digitalizálni kívánunk képet, akkor az élőkép gomb benyomásával, majd felengedésével oldhatjuk meg. A digitalizált képek a feladat mentésekor automatikusan elmentődnek. A mentett képek neve a feladat névéhez fűzött „0”, illetve „1” karakterrel bővítve alakul ki. A típusa BMP. Az eddig felsorolt funkciók valamennyien a főképernyő kartotékjai közül a „Kalibrálás” funkcióval választhatók ki. (Nem tévesztendő össze az ezen a kartotékon szereplő „Kalibrálás gombbal.”). A kalibráláshoz meg kell adnunk a bemért sarokpontok pontos koordinátáit. Ezt a „Rácspontok pozíciói” funkció választása segítségével lehet elérni. (6. ábra)

	1. oszlop - bal	1. oszlop - jobb	2. oszlop - bal	2. oszlop - jobb	3. oszlop - bal	3. oszlop - jobb	4. oszlop - bal	4. oszlop - jobb	5. oszlop - bal	5. oszlop - jobb	6. oszlop - bal	6. oszlop - jobb
1. sor - felső												
1. sor - alsó					-33.94							
2. sor - felső				15.01		14.86						
2. sor - alsó		88.64								65.92		
3. sor - felső				114.89		115.90	114.66					
3. sor - alsó			165.75		164.16							
4. sor - felső												
4. sor - alsó												

	1. oszlop - bal	1. oszlop - jobb	2. oszlop - bal	2. oszlop - jobb	3. oszlop - bal	3. oszlop - jobb	4. oszlop - bal	4. oszlop - jobb	5. oszlop - bal	5. oszlop - jobb	6. oszlop - bal	6. oszlop - jobb
1. sor - felső												
1. sor - alsó					-144.70							
2. sor - felső				-192.57		-92.38						
2. sor - alsó		-293.01								107.61		
3. sor - felső				-192.42		-92.40	-41.09					
3. sor - alsó			-244.05		-144.31							
4. sor - felső												
4. sor - alsó												

6. ábra. A rács sarokpont-koordinátáinak megadása, hogy a számítógép „megtanulja” pozíciójukat

Megjelenik két táblázat, amely a kalibrációs ábrához hasonlóan van szervezve. A bemért sarokpontok X koordinátáit a felső táblázat, Y koordinátáit az alsó táblázat megfelelő rovatába kell beírni. A továbbiakban feltesszük, hogy a kalibrációs ábra pontjainak a Z koordinátája mindig 0. A rácspon-adatok megadása után ki kell választani a kalibráláshoz használandó pontokat. (A két kamerára egymástól függetlenül, külön-külön el kell végezni.) A kalibrációs pontok megadása két lépésből áll. Egyrészt meg kell adni, hogy melyik négyzetről van szó (sor, oszlop), és annak melyik sarokpontjáról. Az előbbi a megfelelő editor-boksza történő beírással, az utóbbit a megfelelő nyomógomb benyomásával lehet megtenni. Másrészt meg kell adni e pont képi megfelelőjét. A „Kijelölés” gomb lenyomása után rá kell mutatni a kép megfelelő pontjára. (A kijelölő kurzor egérrel és nyilakkal vezérelhető. A kijelölés az egér bal gombjával, vagy az Enter gombbal tehető meg.) Ha egy régi pontot akarunk módosítani, akkor a „Sorszám” mezőben kell a megfelelőt előzetesen beállítani. Ha újat hoznánk létre, a Sorszámot a „pontok száma”+1-re kell állítani. A kalibráló pontok képi pozíciója javítható

Az „Azonosítópontok” finomítása” gomb segítségével. Ha minden adatot megadtunk, akkor érdemes a kamerák néhány paraméterét is beállítani. Ez a „Kalibrálás eredménye” lapon az alább látható táblázatba kell beírni. E paraméterek közül a CCD mátrix fizikai méretének van jelentősége. Ha a paramétereket hibásan adjuk meg, a térbeli számolások továbbra is jól működnek, csupán a kamera belső paramétereinek egy részét számolja a program hibásan. Mindezen adatok megadása után a program kalibrálható.

A kalibrálás a „Kalibrálás” lapon található megfelelő gombbal indul. Ellenőrzésként a kép felett megjelennek a kalibráló pontok képi pozícióit jelölő keresztek piros színben. A kalibrálás végén a program ellenőrzi a tanulópontok visszaállítási pontosságát. A megjelenő zöld keresztek a tanulópontoknak a kalibrációs modell alapján visszaszámolt képi megfelelőit jelölik. Jó betanítás esetén a piros és zöld keresztek középpontjai fedik egymást. A program automatikusan mindkét kamera képét kalibrálja. A kalibrációs eredmények az alábbi táblázatban íródnak ki. A kiírt paraméterek közül az f az ún. effektív fókusz távolság. Ennek értéke, ha a kalibráló adatok megfelelőek, és a kamera adatok is helyesek, akkor lényegében megegyezik az objektív tényleges fókusz távolságával. A kappal, az optika torzítására jellemző paraméter. A továbbiak a térbeli transzformációt írják le. A kalibrálás után a kalibrációs képekre tulajdonképpen nincs szükség, a kamerák kalibrálásához szükséges adatokat a program más módon őrzi meg. Emiatt szükség esetén újabb képet lehet digitalizálni, ami a mérendő tárgyat ábrázolja.

4.2. A „Calib” program segítségével történő mérés

A kalibrálás után a program alkalmas mérésre. (7. ábra) A „Mérés” funkciócsoport kiválasztása után a mellékelt ábrán látható képernyő jelenik meg. A méréshez mindkét képen ki kell jelölni a térbeli pont képi megfelelőjét. Ezt az „Azonosítandó pont” gomb lenyomása után lehet megtenni. A program automatikusan mindkét képen „kijelölteti” a pontot, ezután kiszámolja a térbeli pozíciót. Az

eredmény a megfelelő sorba kiíródik. A kiírt hiba a közelítés hibája. Az „Előző” sorban az előző mérés adatai íródnak ki, míg a távolság rovatban az előző és az utolsó pont térbeli távolsága.

7. ábra. A mérés elvégzése a Calib segítségével

A program megjegyzi az összes mérést, és bejegyzí a képernyőre a kijelölési pozíciókat. A mérési adatok egyesével vagy együttesen törölhetők. A program számára egy, a mérendő alkatrészhez kötött koordináta-rendszert lehet megadni. A koordináta-rendszert az origóval, az x és y tengelyek irányával lehet definiálni. A z tengely az x és y tengelyekkel együtt jobbforgású rendszert alkot. A koordináta-rendszer kirajzolódik a képernyőre.

Kalibrációs paraméterek (számított)	1. kamera	2. kamera
Effektív fókusztávolság	69.34035	56.12030
Etolás vektor (Tx,Ty,Tz)	-356.7250 -88.81201 1948.9294	-354.3633 -202.9082 1510.8931
Forgatási szögek (Rx,Ry,Rz)	-1.000702 -0.025702 -0.015031	-0.875494 -0.262715 0.276836
Transzformációs mátrix (r1,r2,r3)	0.988557 0.028738 0.001467	0.928918 0.016734 -0.368801
(r4,r5,r6)	-0.015031 0.461486 0.987030	0.263936 0.870730 0.893150
(r7,r8,r9)	0.025702 -0.888659 0.461710	0.259707 -0.741512 0.818837
Lencse radiális torzítása (kappa1)	0.000378	-0.000415

8. ábra. A koordináta transzformáció adatainak kiértékelő táblázata

A mérési eredményeket a program a feladat nevéből származtatott Lst kiterjesztésű fájlba is kiírja. A fájl egy sora egy mérési eredményt tartalmaz. A sorban az egyes elemek a következők:

- A mérés sorszáma (egész, 1 -től indulva.)
- A mért pont képi koordinátái az első képen. (X és Y egész számok.)
- A mért pont képi koordinátái a második képen. (X és Y egész számok.)
- A pont térbeli koordinátái a rendszer saját (a kalibráló ábrából származó) koordináta rendszerében.
- A pont térbeli koordinátái az alkatrészhez felvett koordináta rendszerben.

5. Mérési kísérletek

A program segítségével a legkülönbözőbb alkatrészek mérésére van lehetőség. Könnyen ellenőrizhetünk vele méret-, és helyzetpontosságot. A mérés pontosságát jelenleg csupán a CCD-kamerák felbontása korlátozza. Megfelelő körülmények között elérhető a 0,05...0,1 mm-es mérési pontosság.

9. ábra. A prizmatikus alkatrész mérésének elvi vázlata

A 9. ábrán látható alkatrészen elvégzett mérés során meghatároztuk a darab hossz méreteit, és a furatának átmérőjét. Az átmérő meghatározásához három pont felvételére volt szükség. A mérési pontosság 0,08...0,1 mm volt.

10. ábra. A „Calib” program segítségével megállapított méretek

A program által generált mért értékek segítségével gyorsan elkészíthető a test alkatrészt rajza, vagy ellenőrizhetők a méretei (10.ábra).

6. Összefoglalás

A T026566 számú OTKA kutatás keretében, melynek címe a „CCD kamerás mérési rendszerek kifejlesztése a gépipari minőségbiztosítás területén” Dr. Dudás Illés professzor vezetésével mára eljutottunk a kutatómunka ama fázisára, hogy alkalmazni tudjuk a kétkamerás méréstechnikát különböző térbeli alakzatok, különféle felületeinek mérésére, térbeli helyzetének meghatározására.

A rendszer jól használható bonyolultabb geometriai alakzatok térbeli pontjainak gyors és pontos meghatározására. A módszerrel egyszerű a testprimitívek számítható méreteinek meghatározása, például hengeres felületek átmérőjének pontos megadása. A dolgozat során bemutattuk, a módszer elméletét, a korábbi cikkekben részletesen ismertetett Tsai-féle kamera modell rövid felvillantása által. Ezen rövid bemutatás során a különböző koordináta rendszerek egymáshoz való viszonyát ismertettük. A dolgozat nagyobb részében a mérés során alkalmazott „Calib” programcsomag működését mutattuk be, különös tekintettel a kalibrálásra és az effektív mérési tevékenységre. Fontos felhívni a figyelmet arra, hogy a program használata során különösen nagy odafigyelés szükséges mind a kalibrálás, mind a mérés során, hogy az elérhető (elméleti) mérési pontosságot megközelítsük. Az utolsó részben egy konkrét példán mutattunk be a program működését, a felhasználás lehetőségeit.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. Tankönyv. Pictron Kft. Budapest 1996.
- [2] Illés Dudás: Theory and Partice of Worm Drives, Penton Press, London, 2000. pp. 314.
- [3] Dudás I., Varga Gy., Banyai K. (2001) Grinding Wheel Profilé Measurement by CCD Camera, 12* International DAAAM Symposium Jena, Germany, Oct. 24-27, pp. 117-118
- [4] Illés Dudás , Gyula Varga: The use of CCD cameras in production engeneering of sophisticated engineering surfaces, The 28th Israel Conference on Mechanical Engineering, Ben-Gurion University of Negev Beér Sheva, Israel, 14-15 June, 2000.
- [5] Dudás Illés: Számjegyevezérlésű köszörűkorong profilozó berendezés és eljárás, annak szakaszos, illetve köszörülés közbeni folyamatos vezérlése Találmány lajstromszáma: 207 963, 1988. szeptember 21. (OTH)
- [6] Roger Y. Tsai: An efficient and accurate camera calibration technique for 3D Machine Vision, IBM Technical Journal
- [7] Roger Y. Tsai : A Versatile Camera Calibration Technique for High -Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No 4
- [8] Álló G. - Főglein J. - Hegedűs Gy. - Szabó J. : Bevezetés a számítógépes képfel-dolgozásba. Kézirat, Budapest 1993. PP- 33.
- [9] Nagy Z.: Szerelőrobotok intelligenciájának növelése erőméréssel és képfeldolgozással. Egyetemi doktori értekezés, Budapest 1994. pp. 24-29.
- [10] Stanley L. Lyons: Exterior Lighting for Industry and Security
Applied Science Publishers, Ltd., London 1980
- [11] Dudás I., Sztermenné Németh H., A CCD kamera alkalmazása a gépgyártástechnológiában microCAD'2000. pp. 13-18
- [12] I. Dudás, Attila Szentesi, Gábor Tóth - Continuous monitoring of wearing of grinding wheels, FMTÜ, Kolozsvár 2002. III., pp. 167-172.
- [13] Dudás I., Bányai K., Varga Gy., Sztermenné N. H., Szentesi A., Tóth G., Felhő Cs. : CCD kamerás mérési rendszerek kifejlesztése a gépipari minőségbiztosítás területén. OTKA zárójelentés, Miskolc, 2002.

DSc. Dr. h.c. *Dudás Illés*, tszv. egyetemi tanár, a műszaki tudomány doktora

Felhő Csaba, tanszéki mérnök

Szentesi Attila, egyetemi tanársegéd

Tóth Gábor, egyetemi tanársegéd

Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék; 3515 Miskolc-Egyetemváros
0036 (46) 565-160, E-mail: ggytfc@gold.uni-miskolc.hu