

3D REKONSTRUKCIÓ OMNIDIREKCIONÁLIS KAMERÁKBÓL SZFÉRIKUS MODELL HASZNÁLATÁVAL

3D RECONSTRUCTION FROM OMNIDIRECTIONAL CAMERAS USING SPHERICAL MODEL

Kátai-Urbán Gábor^{1*}, Koszna Ferenc¹, Megyesi Zoltán¹

¹ Informatika Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

3D rekonstrukció
Omnidirekcionális kamera
Szférikus modell
Szférikus rektifikáció

Keywords:

3D reconstruction
Omnidirectional camera
Spherical model
Spherical rectification

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 21.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A 3D rekonstrukció jól ismert kutatási terület a számítógépes látás világában. Mivel ez a feladat függ az alkalmazástól, a színtértől és sok esetben az alkalmazott kamera rendszertől, az elmúlt 20 évben számos különböző rekonstrukciós algoritmus született. Ezek az algoritmusok és megoldások azonban javarészt keskeny bázistávolságú perspektív sztereó kamera rendszerekhez készültek. A mi célunk meghatározni azt a kamera geometriai modellt, amely omnidirekcionális kamerák esetén legjobban támogatja a hagyományos rekonstrukciós eljárásokat. Bemutatjuk a szférikus kameramodellt, és hozzá kapcsolódóan a szférikus rektifikációt, mint egy lehetséges változatot. A rekonstrukciós eljárás menetének tárgyalása mellett eredményeket is mutatunk többkamerás rendszerből származó valós képek esetén.

Abstract

3D reconstruction is a well-known research area of Computer Vision. Since this task depends on the application, on the scene and in many cases on the applied camera system; many different reconstruction algorithms were created in the past two decades. However, these algorithms were mainly developed for narrow baseline perspective stereo camera systems. Our goal is to determine the best camera model which supports the traditional reconstruction algorithms in case of omnidirectional cameras. In this article the spherical camera model and the spherical rectification will be presented as one of the possible solution. In addition to the discussion of the reconstruction algorithm results are presented on real images from a multi-view camera system.

1. Bevezetés

A színterek 3D modellezése a Számítógépes Látás egyik jelentős területe. Az alap probléma arra keres megoldást, hogyan lehet eltérő pozícióban elhelyezett kamerák képei alapján visszaállítani a képeken látható színtér 3D modelljét. Bár ez a technika számos hasznos

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 76 516 300
E-mail cím: katai-urban.gabor@gamf.kefo.hu

alkalmazást tesz lehetővé, az alkalmazások sokszor eltérő geometriai és képfeldolgozási kihívást jelentenek. Az általunk választott alkalmazás azt igényli, hogy a kamerarendszer minden irányban képes legyen a színtér mérésére. Ehhez omnidirekcionális (körbelátó) kamera megoldást választottunk, amely azonban jóval összetettebb kamera modellt igényel. A megfelelő modell kiválasztása a kalibráció és a rekonstrukciós lépés szempontjából is fontos. Ebben a cikkben bemutatjuk azokat a modelleket, amelyek előnyösek az omnidirekcionális kamerákból végzett rekonstrukció esetén.

2. Omnidirekcionális kamera modellek

Ahhoz, hogy a 3D színteret rekonstruálni tudjuk, ismernünk kell a színteret leképező kamerák vetítési modelljét. Normál perspektív kamerák vetítési modelljei régóta kutatottak és széles körben elterjedtek. Azonban a mi kamera rendszerünkben a speciális kamerák miatt speciális vetítési modelleket kell alkalmaznunk.

2.1. Omnidirekcionális kamera hiperboloid tükörrel

A körbelátó (omnidirekcionális) kamerákra jellemző a 360°-os horizontális és 100-200°-os vertikális látószög. Ilyen speciális optikát lencserendszerek alkalmazásával is elő lehet állítani (például: halszem optika), viszont az általunk alkalmazott optikai rendszer egy hiperboloid alakú tükörből és egy normál perspektív kamerából lett kialakítva.

Az ilyen omnidirekcionális kamerák, amelyek 180° feletti látószöggel rendelkeznek, a kamera előtti pontokat a képsík egy pontjára képezik le, míg a kamera mögül érkező fénysugarakat egy másik pontba vetíti. Ilyen fénysugarak a normál perspektív kamerák esetén nem fordulnak elő, így ez a modell nincs is felkészítve ezek kezelésére. Ezért más vetítési modellt kell alkalmazni.

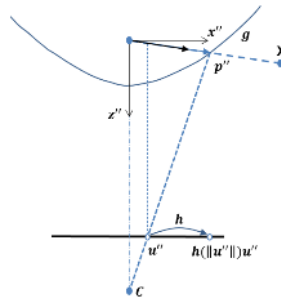
Omnidirekcionális kamerák esetén egy képpont reprezentál minden színtérbeli pontot, amelyek az optikai középponttól kiinduló félegyenesen fekszenek. A félegyenesek irányát egy-egy egységvektor írja le, amelyek egy egységgömböt alkotnak. Ez a gömbi vetítési modell a következőképpen írható le:

$$\exists \lambda > 0 : \lambda q = PX \quad (1)$$

, ahol X egy színtérbeli 3D pont, P a vetítési mátrix és q egy 3D-s egységvektor, mely egy képpontot reprezentál (lásd: [7]). Tegyük fel, hogy a színtér egy X pontját omnidirekcionális kamerából vesszük (lásd 1. ábra). Az X pont vetületét az egység gömbön egy q'' egységvektorral reprezentáljuk. A $p'' = (x'', z'')^T$ vektor, melynek iránya megegyezik a q'' -vel, az X pontot vetíti le a szenzor síkjának u'' pontjára. Ezért az u'' párhuzamos az x'' -vel. A p'' vektor megadható a következőképpen:

$$p'' = \begin{bmatrix} h(\|u''\|, a'')u'' \\ g(\|u''\|, a'') \end{bmatrix} \quad (2)$$

, ahol g és h függvények $R \times R^3 \rightarrow R$, melyek ugyanazon paramétereiktől függnek: $a'' \in R^3$, valamint $\|u''\|$, ami a képpont és a kép középpontja közötti távolság.



1. ábra. Hiperbolikus tükörrel kialakított omnidirekcionális kamera

Különbféle omnidirekcionális kamera típusok esetében eltérőek a g , h függvények. A g függvény leírja a tükör alakját, míg a h a kamera vetítését reprezentálja. Ezen paraméterek

meghatározása több problémát is felvet [1], így egy robusztus és megbízható Taylor modellt alkalmaztunk a vetítések leírására.

2.2. Taylor modell

A Taylor modellt Scaramuzza és társai [3] fejlesztették ki 2006-ban. A modellben a h és g függvények külön kezelése helyett csak egy g/h függvényt alkalmaznak. Így a $h = 1$ átírással a vetítés a következőképpen adható meg:

$$\lambda p'' = \lambda \left[\frac{u''}{g(\|u''\|)} \right] = P\mathbf{X} \quad (3)$$

A g általános leírásához a 4. egyenletben megadott Taylor polinomot javasolták

$$g(\|u''\|) = a_0 + a_1 \|u''\| + a_2 \|u''\|^2 + \dots + a_N \|u''\|^N \quad (4)$$

, ahol a_0, a_1, \dots, a_N együtthatók és az N polinom foka a kalibrációs paraméterek.

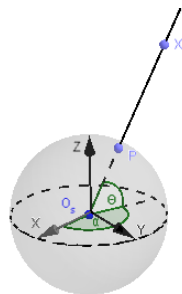
Ennek a modellnek a nagy előnye, hogy képes kompenzálni a kamera középpont és a külső fókuszpont helyzetének eltérését és még a nem teljesen középpontos vetítésű optikai rendszerek hibáját is.

2.3. Szférikus kamera modell

A rekonstrukció alkalmazásához szükséges egy egységesített kamera modell, amely képes normál perspektív és omnidirekcionális kamerák képeit is kezelni [4].

A szférikus vetítési modell az egység gömb felszínére mutató egység vektorokkal írja le a vetítést (lásd: 2. ábra).

A színtérbeli X_s pontot és az O_s vetítési középpontot összekötő vektor normalizálásával az egységgömb P pontját kapjuk. Ez az egység vektor $P = \begin{bmatrix} \theta \\ \alpha \end{bmatrix}$ θ és α polárkoordinátákkal megadható.



2. ábra. Szférikus kamera modell

3. 3D rekonstrukció omnidirekcionális kameraképekből

A projektív geometriának megfelelően [4] egy kameranézet nem elegendő a rekonstruálni kívánt objektumról érkező fénysugár azonosításához. Legalább két külön nézet szükséges, amelyekhez tartozó fénysugarakat meg kell feleltetni egymásnak a rekonstrukciós eljárás során. Ha ezt a műveletet a 3D térben kellene elvégezni, túl nagy számítási kapacitást igényelne a feldolgozás. Ezért a kameraképeket transzformáljuk úgy, hogy a megfeleltetés egy vonal menti kereséssel megvalósítható legyen. A kamerák vetítési paramétereit felhasználva rektifikált képpárokat hozhatunk létre, amelyekre jellemző, hogy az azonos objektumok ugyanazon epipoláris vonalon helyezkednek el. Így a mintaillesztést csak egy egyenes mentén kell elvégezni. A szférikus modell alkalmazásával ezek a rektifikált képek egyszerű transzformációval előállíthatóak.

A rektifikált kép elkészítése előtt viszont az omnidirekcionális modellből át kell térnünk a szférikus modellre.

A rekonstrukciós algoritmus lépései:

1. Modell transzformáció (leképezés szférikus modellre)
2. Rektifikáció

3. Illesztés
4. Trianguláció

Az alábbi alfejezetekben ezeket a lépéseket részletezzük.

3.1. Omnidirekcionális kamera modell leképezése szférikus modellre

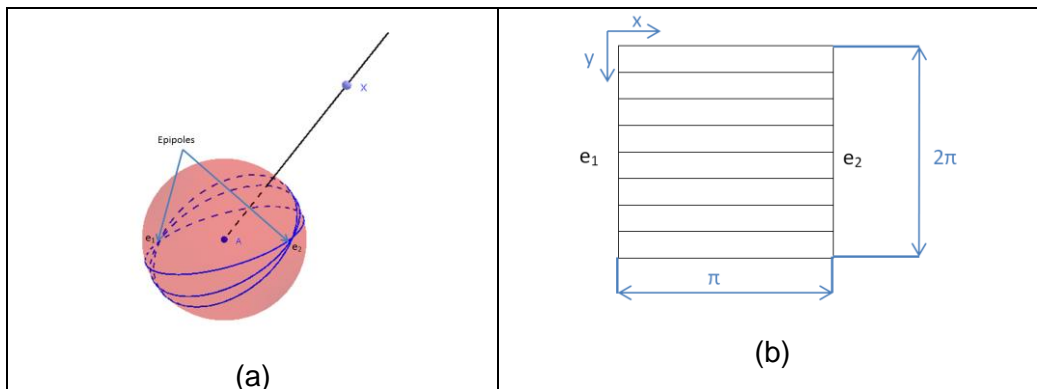
Az omnidirekcionális kamera modell alkalmazásakor a 1. ábrán látható módon minden X pontnak megfeleltethető egy p'' vektor, amely a vetítési középpontból mutat az X pont felé. Ha a szférikus modell vetítési középpontját az omnidirekcionális modell középpontjában vesszük fel, akkor a p'' normalizálásával megkapjuk az egység gömbön elhelyezkedő P pontot. Ezzel a megfeleltetéssel közvetlenül meg tudjuk adni az omnidirekcionális modell pontjainak megfelelőjét a szférikus modellben.

Ha ebbe a megfeleltetésben még a Taylor modellt is alkalmazzuk, akkor az omnidirekcionális kamerák képeit közvetlenül le tudjuk képezni a szférikus modellre.

3.2. Szférikus rektifikáció

A szférikus rektifikáció során a cél az, hogy a szférikus modellből rektifikált képet hozzunk létre. Ezzel lehetővé téve a rekonstrukciót olyan kamerák esetén is, amelyek vetítési modellje eltér az általánosan használt perspektív kamerákétól.

A szférikus modell is alkalmazható az epipoláris geometria [5]. A két kamera középpontját összekötő bázisvonal e_1 és e_2 pontban metszi az egység gömb felszínét (lásd: 3.a. ábra). Ezek az epipólusok, amelyeken átmenő egység körök felelnek meg az epipoláris vonaloknak. Így bármely P pontnak megfeleltethető egy epipoláris vonal, amely a θ szöggel azonosítható.



3. ábra. Szférikus rektifikáció

A rektifikált kép előállításához nem kell mást tennünk, mint az epipoláris vonalakon végigmenni az egyik epipólustól a másikig azonos szögosztásokkal és a P pontokhoz tartozó színinformációval feltölteni a rektifikált képet (3.b. ábra). A kép y koordinátái felelnek meg az egyes epipoláris egyeneseknek, míg az x koordináták az egyenesen való szöghelyzetnek.

3.3. Illesztés szférikus rektifikáció esetén

A 3D pontok meghatározásához a pontokból a kamerákba jutó fénysugarakat kell azonosítanunk. A képpárokban kell keresnünk hasonló részleteket, melyek azonos térbeli objektumhoz tartoznak. Ezt a feladatot rektifikált képeken csak egy egyenes mentén kell elvégezni, amely nagyban gyorsítja az eljárást.

Mivel a szférikus modell felhasználásával el tudjuk készíteni a rektifikált képpárokat, a jól bevált sűrű vagy ritka mintaillesztő algoritmusok is alkalmazhatóak.

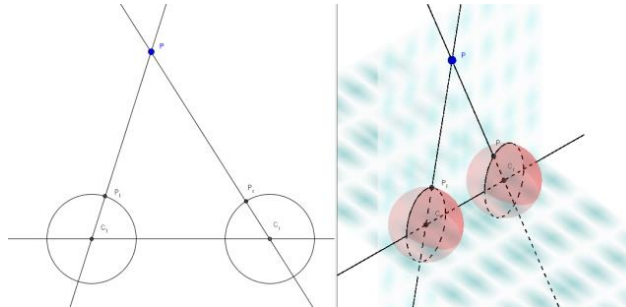
3.4. Trianguláció szférikus rekonstrukció esetén

A trianguláció célja, hogy térbeli pontokat rendeljen az illesztés során meghatározott pontpárokhoz. Ebből a ponthalmazból áll össze a rekonstrukció végeredménye a rekonstruált 3D pontfelhő [3].

A triangulációs eljárás során a rektifikált képpáron - az illesztés eredményeként - keletkező egymásnak megfelelő képpontokhoz fénysugarakat rendelünk, és ezek térbeli metszéspontja adja meg a 3D pontot. A szférikus modell alkalmazásával ez a művelet egyszerűbben elvégezhető, mint normál perspektív modell alkalmazása esetén.

A 4. ábrán egy kétkamerás rendszer szférikus vetítése látható. A P térbeli pont vetülete a P_l és P_r pontok az egységömbök felszínén.

A rektifikált képen detektált pontok a - rektifikáció során használt összefüggések segítségével - visszaalakíthatók az egységömbön értelmezhető polárkoordinátákra. Az így megkapott θ és α szögekből és a kamerák közti távolságokból a 4. ábrán látható PC_lC_r háromszög felhasználásával kiszámíthatók a P pont 3D koordinátái.

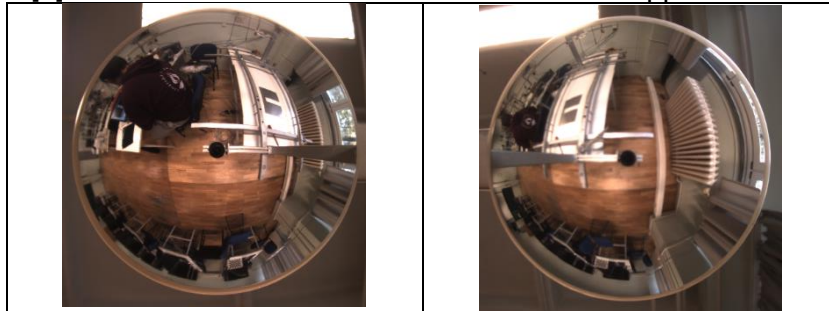


4. ábra. Szférikus trianguláció

A fent bemutatott eljárásból látható, hogy a szférikus modell alkalmazásával a trianguláció megoldható egyszerűen trigonometrikus függvények alkalmazásával.

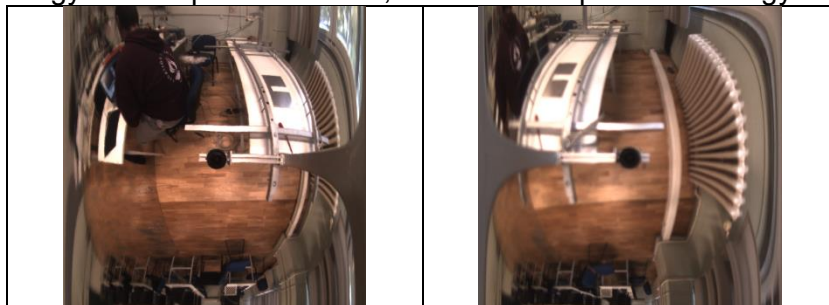
4. Eredmények

Az előző fejezetben bemutatott rekonstrukciós eljárást valós kameraképeken alkalmaztuk. A kamerarendszer két saját tervezésű omnidirekcionális kamerából áll, amelyek hiperboloid tükörrel vannak felszerelve [1]. Az 5. ábrán a kamerarendszerrel készült képpár látható.



5. ábra. Eredeti képpár

A 3.2 fejezetben leírt rektifikációs eljárást alkalmazva az eredeti képekre a 6. ábrán látható rektifikált képeket kaptuk. Jól látható, hogy az eredeti képeken látható görbék, amelyek a két kamerát összekötő egyenessel párhuzamosak, a rektifikált képeken ismét egyenesnek látszanak.

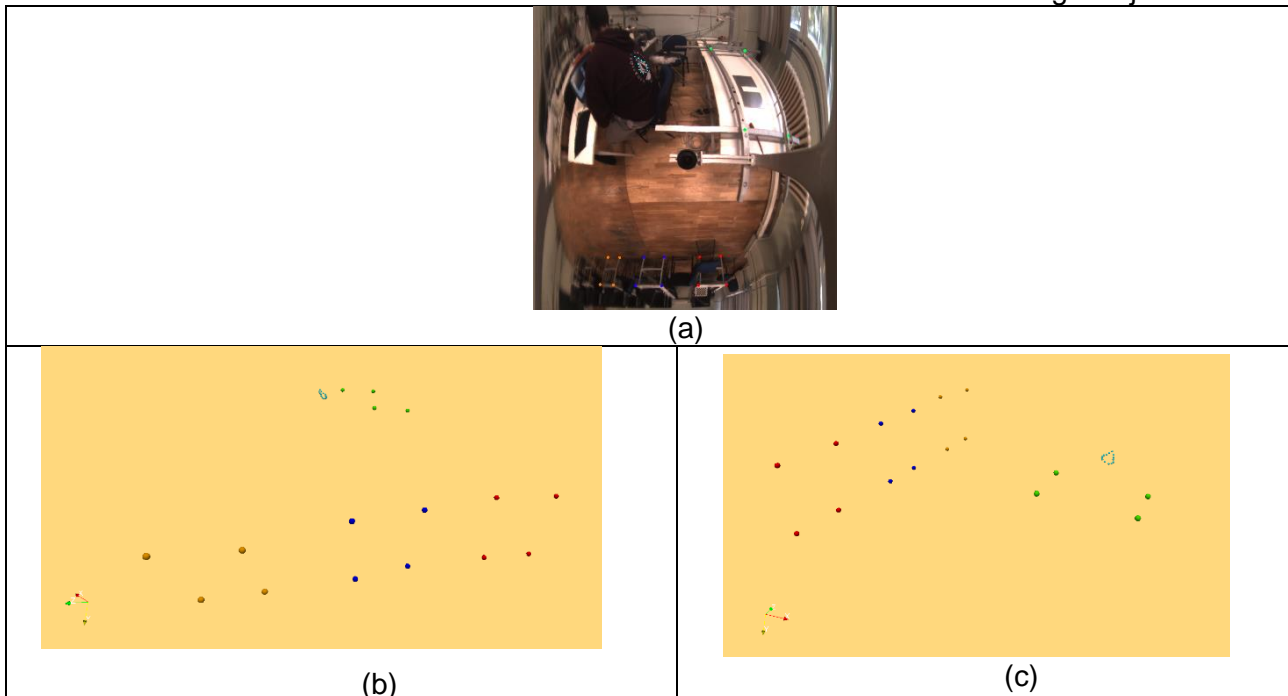


6. ábra. Rektifikált képpár

A szférikus rekonstrukció alkalmazásához pontpárokat detektáltunk a rektifikált képeken (lásd: 7.a. ábra színes pontok). A 7. b. és c. ábrán a trianguláció eredményeként kiszámolt pontokat láthatjuk - a különböző objektumokat különböző színnel megjelenítve.

5. Összegzés

A cikkben bemutattunk egy rekonstrukciós eljárást, amely képes az omnidirekcionális kamerákból származó képeken is működni. Ennek megvalósításához a szférikus modellt és a szférikus rektifikációt alkalmaztuk, melyeket részletesen tárgyaltunk. Az elméleti eredmények alkalmazásaként valós omnidirekcionális kamerarendszerekből származó képek objektumpontjait rekonstruáltuk. Az így kapott ponthalmaz alapján megállapítható, hogy a rekonstrukciós eljárás alkalmazható erre a speciális vetítési modellre. Az eredmények rámutatnak, hogy a perspektív kamerák esetén előforduló elmozdulások és torzulások szférikus modell esetén markánsabban jelentkeznek. Ezért a jól bevált sűrű illesztő algoritmusokat nem tudjuk majd alkalmazni a rekonstrukció során. Ezen tapasztalatok alapján tervezzük, hogy a rekonstrukciós eljárást az omnidirekcionális kamerák esetén is alkalmazható sűrű illesztő alkalmazással egészítjük ki.



7. ábra. Rekonstruált pontok

Köszönetnyilvánítás

A cikk a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0012 "A tudományos képzés műhelyeinek támogatása - A tudomány művelői és műhelyei a Kecskeméti Főiskolán" pályázat támogatásával jött létre.

Irodalomjegyzék

- [1] Gábor Kátai-Urbán, Ferenc Koszna and Zoltán Megyesi. Composition and Calibration of a Custom Made Omnidirectional Camera, 13th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY2015), Subotica, Serbia, 2015
- [2] Gábor Kátai-Urbán, Zoltán Megyesi. Omnidirectional cameras in car mounted camera systems, 5th International Scientific and Expert Conference TEAM 2013, Prešov, Slovakia, 2013
- [3] Scaramuzza, D., Martinelli, A., Siegwart, R.. "A toolbox for easy calibrating omnidirectional cameras" IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems 2006
- [4] Hartley, R.; Zisserman. A.; 2000. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.

- [5] Li, S.;2008. Binocular Spherical Stereo. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 9, no. 4, 2008
- [6] Sonka, M.; Hlavac, V.; Boyle, R.; 2007. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson-Engineering, 2007.
- [7] C. Geyer and K. Daniilidis, "A unifying theory for central panoramic systems and practical applications," in European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 445–461, jun 2000.