

Gépjárműre szerelt omnidirekcionális kamerarendszerek

Kátai-Urbán Gábor¹, Koszna Ferenc¹, Megyesi Zoltán¹

¹Informatika Tanszék, GAMF Kar, Kecskeméti Főiskola

Összefoglalás: A megbízható vezetést segítő rendszerek iránti igény növekedésével az autóra szerelt kamera rendszerek kutatása is előtérbe kerül. Ezen rendszerek fő célja, hogy vizuális információt felhasználva detektálják a veszélyes helyzeteket és figyelmeztessék a vezetőt, illetve segítség a baleset elkerülését. Ahhoz, hogy a gépjármű körül megbízhatóan detektálhassuk a veszélyes szituációkat, a rendszerünkben több 360°-os látószögű (omnidirekcionális) és hagyományos perspektív kamerát alkalmazunk. Ebben a cikkben bemutatjuk az autóra szerelt 3D-s kamera rendszer fő tervezési lépéseit és összefoglaljuk az omnidirekcionális kamerák vetítési modelljét.

Abstract: With the increasing need for reliable driver assistant systems, the car mounted camera systems become more and more studied. The main goal of these systems is to use visual information to detect dangerous situations and warn the driver. To reliably detect dangers in all direction around the car we apply multiple cameras with 360 degrees viewing angles (omnidirectional cameras) together with conventional cameras. In this article we describe the main steps of the planning of a car mounted 3D camera system and we summarize the projection models of the omnidirectional cameras.

Kulcsszavak: Képfeldolgozás, Omnidirekcionális kamera, Vizuális vezetőt segítő rendszer

Keywords: Image processing, Omnidirectional camera, Visual driver assistance

1. Bevezetés

Számos modern autógyártó alkalmaz olyan rendszereket, amelyek ellátják a vezetőt többletinformációkkal a környezetéről (például parkolást segítő rendszerek: IPAS, APGS), figyelmeztetik a lehetséges problémákról (pl.: sávelhagyás) vagy akár aktívan beavatkozik a jármű irányításába egy hirtelen veszély észlelése esetében. Jelenleg a fő kutatási irányok a vezetőt segítő rendszerek esetén főként a jobb és sokkal megbízhatóbb rendszerek fejlesztését célozzák. Ezen rendszerek folyamatosan figyelik a jármű környezetét, hogy még kezdeti fázisban érzékeljék a potenciálisan veszélyes szituációkat. Kritikus helyzetekben ezen rendszerek figyelmeztetik a vezetőt, hogy segítsék elkerülni a balesetet vagy hogy csökkentsék az esetleges károkat. Ezek a rendszerek szenzorok széles skáláját alkalmazzák, amelyek gyakran tartalmaznak egy vagy több autóra szerelt kamerát is. A megvalósított rendszerek esetén a fő különbség az alkalmazott szenzorok típusában és a megcélzott veszélyes események megválasztásában van.

Ebben a cikkben bemutatunk egy olyan vezetést segítő rendszert, amely egy 3D-s kamerarendszerből származó képi információn alapul. Ahhoz hogy egy veszélyes helyzet lehetősége felismerhető legyen, képi információkat kell elemeznünk és felismernünk lényeges objektumokat. A felismerés szempontjából a következő feladatokat különböztethetünk meg:

- útburkolati jelek detektálása
- statikus objektumok felismerése
- mozgó objektumok követése
- holtterben lévő jelenetek rekonstruálása

Ezekkel az esetekkel külön-külön foglalkozunk. A fő feladata az **útburkolati jel feldolgozó** rendszernek az, hogy detektálja a közlekedési jelzéseket az útburkolaton a jármű előtt 2 - 100 méteres távolságban. A legfontosabb feladat a zebrák felismerése és a sávelhagyás érzékelése, de más lehetőségek, feladatok is megfogalmazhatók. A rendszernek képesnek kell lennie arra, hogy a képeken meghatározza a veszélyes zónákat, amelyek az autó útvonala körül találhatóak.

A **statikus objektum detektor** feladata, hogy észlelje az autó előtt 2 - 50 méteres zónában megtalálható statikus objektumokat. Ezen objektumok lehetnek zebránál álló gyalogosok, vagy közlekedési táblák.

Az autó körüli 3D-s térben levő mozgó objektumok elemzése a **mozgó objektum detektor** feladata. A mozgó objektumok bármely irányból veszélyt jelenthetnek a járműre, ezért 360°-ban kell képi információkat gyűjteni. A detektor 1 - 50 méteres zónában számítja ki a mozgó objektumok pályáit.

A **holtér csökkentő** rendszer célja a karosszéria által okozott kitakarások csökkentése. Ehhez a kitakart fénysugarakat fel kell ismerni és fel kell dolgozni.

A vizuális vezetést segítő rendszer fő komponense a kamera rendszer. Ahhoz, hogy elérjük a rendszer céljait, hibrid kamerarendszert alkalmazunk. A jármű előtti 2 - 100 méteres zónában elvégzett detekciós feladatokhoz hagyományos perspektív kamerákat alkalmazunk, kisebb látószöggel és nagyobb nagyítással. A jármű teljes környezetében (1 - 50 méteres zónában) elvégzett objektumkövetési feladatokhoz 360°-os látószögű omnidirekcionális kamerák szükségesek.

2. Omnidirekcionális kamerák

Az omnidirekcionális kamera egy olyan optikai eszköz, amely egy kamerából, lencséből és/vagy tükrökből áll, amelyek egy 360°-os vízszintes látómezővel rendelkező optikai rendszert alkotnak. Mi most csak azon rendszereket vizsgáljuk, ahol a fénysugarak egy pontba metszik egymást, ezeket középpontos vetítési rendszereknek nevezzük.

Középpontos omnidirekcionális kamerarendszerek két fő kategóriába csoportosíthatóak: dioptrikus és katadioptrikus rendszerek.

Dioptrikus kamerák csak lencsét tartalmaznak, például a halszem optikák vízszintesen és függőlegesen 180° vagy annál nagyobb látószögűek.

Katadioptrikus rendszereket tükrök és lencsék kombinációjából alakíthatunk ki. (lásd még: [2]).

Mi egy hiperbolikus tükröt is tartalmazó rendszert valósítunk meg. A hiperbolikus tükör külső fényvisszaverő felülete a külső fókuszpontba gyűjti a fénysugarakat. Ebben a pontba egy perspektív kamerát helyezve érzékelhetjük a sugarakat. Ezzel az egyszerű konfigurációval egy 180°-nál nagyobb látószöggel rendelkező omnidirekcionális kamera készíthető.

3. Hiperbolikus tükörrel kialakított omnidirekcionális kamerák vetítési modellje

Normál perspektív kamera a színtér X pontját az optikai középponton áthaladó egyenessel az x képpontra képzi le. Az a vetítés leírható

$$\exists \lambda \neq 0 : \lambda x = PX \quad (1)$$

, ahol $P \in R^{3 \times 4}$ a projekciós mátrix, $X \in R^4$ a színtér egy pontja, $x \in R^3$ a levetített képpontot reprezentálja (lásd: [4][5]). Ebben a modellben a színtér pontja a vetítő sugáron

bárhol lehet, még a kamera mögött is. Ez az eset a perspektív kamera modellezésekor ki van zárva.

Az igazi 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. Ezért a perspektív kameramodell nem használható omnidirekcionális kameráknál. Ebben az esetben egy képpont reprezentál minden színtérbeli pontot, amelyek a az optikai középponttól kiinduló félegyenesen fekszik. A félegyenesek irányát egy-egy egységvektor írja le, amelyek egy egységgömböt alkotnak. Ez a gömbi vetítési modell a következőképpen írható le:

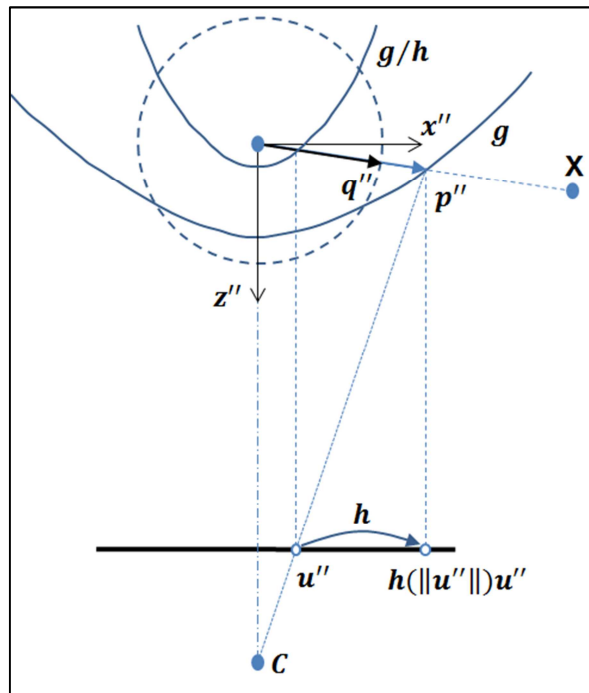
$$\exists \lambda > 0 : \lambda q = P\mathbf{X} \quad (2)$$

, ahol q egy 3D-s egységvektor, mely egy képpontot reprezentál (lásd [1]).

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 $p'' = (x''^T, z'')^T$ 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:

$$p'' = \begin{pmatrix} h(\|u''\|, a'')u'' \\ g(\|u''\|, a'') \end{pmatrix} \quad (3)$$

, ahol g és h függvények $R \times R^N \rightarrow R$, melyek ugyanazon paraméterektől függnek: $a'' \in R^N$, 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.

Esetünkben mi terveztük a hiperbolikus tükört, így pontosan tudjuk a tükör alakját és a g függvényt. Csak a h függvényt kell meghatározni.

4. Autóra szerelt 3D kamerarendszer tervezése

Ahhoz, hogy elérjük a vizuális vezetést segítő rendszer céljait, egy autóra szerelt kamerarendszert tervezünk. Ezen rendszer a jármű mozgása közben működik, és az autó körüli színteret figyeli. Különböző részfeladatok más és más képi információt igényelnek a jármű körüli térből.

Az első lépés a kamera rendszer tervezésében, hogy meghatározzuk a megfelelő kamera konfigurációt: milyen típusú lencsét, tükröt és kamerákat kell használnunk [3]. A fő paraméterek a látószög és a felbontás.

Az első két feladathoz (útburkolati jel és statikus objektumok detektor) a kameráknak az autó előtt elhelyezkedő 2 - 100 méteres teret kell megfigyelniük. A normál perspektív kamerák látószögét derékszögű háromszögek segítségével határozhatjuk meg.

A számítás a következőképpen formalizálható:

$$\alpha = 2 * \arctg \left(\frac{pix * res}{2 * dist} \right) \quad (4)$$

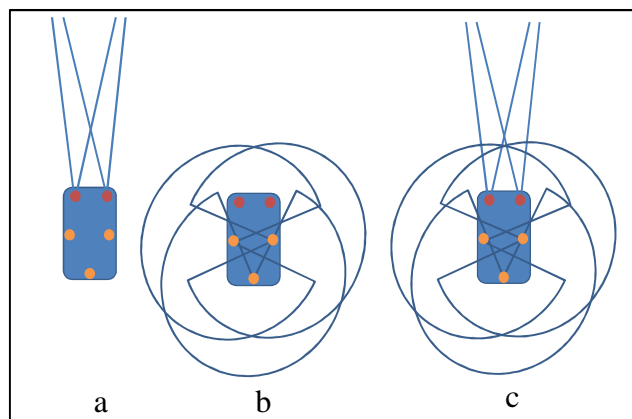
, ahol $dist$ a kamera középpontjától mért távolság, pix a CCD kamera megfelelő irányú pixelszáma, res a felbontás, amely megadja egy pixel szélességét ebben a távolságban.

Ha 5 megapixeles (2560x1920) kamerákat használunk és a célfelbontás 100 méteres távolságban 2 cm/pixel, akkor a vízszintes látó szög:

$$\alpha = 2 * \arctg \left(\frac{2560 \text{ pix} * 2 \frac{\text{cm}}{\text{pix}}}{2 * 100\text{m}} \right) = 28.71^\circ \quad (5)$$

Ahhoz, hogy a teret 30°-os látószögben figyelhessük meg 12 mm-es fókusztávolságú lencsét kell használni.

Ebben a részfeladatban az érzékelt objektum távolságát is felhasználtjuk, ezért a távolság becsléséhez minimum két kamerára (szereo látásra) van szükségünk. Ez a két kamera az autó elején lesznek elhelyezve (lásd 2/a ábra).



2. ábra: Az autóra szerelt kamerarendszer

A következő két feladathoz (mozgó objektum detektálás, és holtér csökkentés) az egész teret rögzítenünk kell az autó körül. Fontos, hogy több kamerából figyeljük a kritikus régiókat a megbízható távolság- és sebességbecslés érdekében. A rendszerünkben három omnidirekcionális kamerát helyeztünk el az autó tetejére (lásd 2/b ábra). Egy kamera hátulról, kettő oldalról készít felvételeket, így a teljes teret felveszik 2-50m távolságban az autó körül. 150 mm átmérőjű hiperboloid tükrökből álló omnidirekcionális kamerát használunk.

A pontok a tükör felületén a következő összefüggéssel adható meg:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (6)$$

Az a és b paraméterek a mi tükrünkkel szemben 107 és 90 mm.

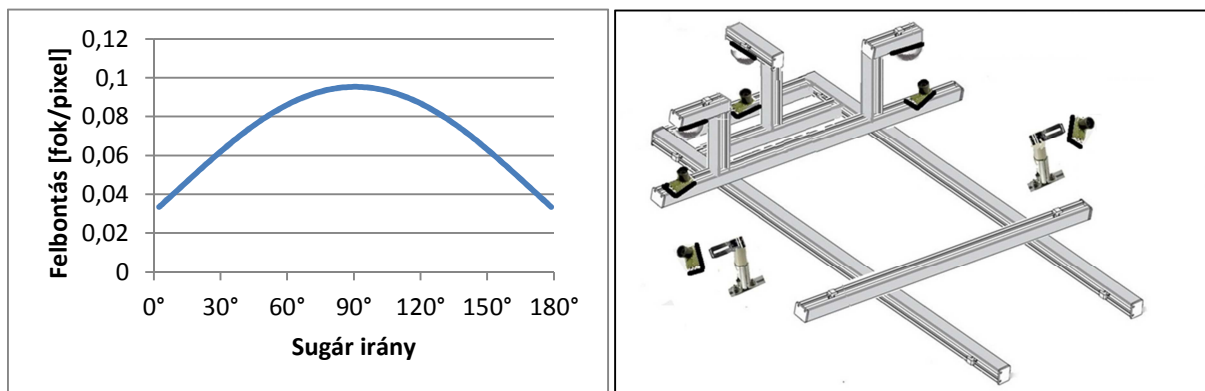
A perspektív kamera mely a tükröt figyeli, a tükörrel szemben kell elhelyezni. A hiperboloid tengelyének és a kamera vetítési középpontjának egy egyenesen kell esnie. A kamera középpont és a hiperboloid fókuszpontja közötti távolság a hiperboloid fókusz távolságának a kétszerese. A mi esetünkben a fókusz távolság $f = \sqrt{a^2 + b^2} = 139.82 \text{ mm}$, így a két pont közötti távolság 279,64 mm.

A standard perspektív kamera látószögét is ki kell számolni. Hasonlóan a (4) egyenlethez:

$$\alpha = 2 * \arctg\left(\frac{150 \text{ mm}}{2 * 279.64 \text{ mm}}\right) = 30.03^\circ \quad (7)$$

A tükör megfigyeléséhez 30 fokos látószögű, 12mm-es lencse szükséges.

Egy 10 megapixeles (3840x2748) kamerát feltételezve, a felbontás a tükör felületén $150 \text{ mm}/2748 \text{ pix} = 0.05 \text{ mm}/\text{pix}$. De a tükör által leképezett tér felbontását nem ilyen egyszerű kiszámolni. A felbontás függ a visszavert pont sugarától. A tükör közepénél ez nagyobb, mint a széleken (lásd 3/a. ábra).



3. ábra: a, A színtér felbontása **b,** Az autóra szerelt kameraállvány

Mindkét optikai rendszer típus esetén normál perspektív kamerákkal készítünk képeket. Az IDS UEye UI-5490SE 10 megapixeles ipari kamerákat használunk az omnidirekcionális rendszerekhez és UI-5480SE 5 megapixeles kamerákat az elülső nézetekhez.

A tervezett optikai rendszert az autó tetejére kell felszerelni. Egy állványt terveztünk, amelyet a tetőcsomagtartóra lehet rögzíteni (lásd 3/b. ábra).

Az állvány alumínium profilokból áll, egyszerűen állítható csatlakozókkal, így a kamera pozíciókat könnyen meg lehet változtatni, hogy a legjobb beállítást tudjuk elérni.

5. Következtetések és jövőbeni munkák

Ebben a cikkben bemutatottuk egy olyan autóra szerelhető hibrid kamera rendszer kezdeti tervezéslépéseit, mely omnidirekcionális kamerákat is használ. A célunk ezzel a konfigurációval az, hogy 360°-ban sztereóvizuális információkat kapjunk a környezetről, míg jó felbontású sztereo képeket nyerünk az autó előtti térről is.

Tárgyaltuk az omnidirekcionális kamera rendszerek különböző típusait, és összefoglaltuk az omnidirekcionális kamerák vetítési modelljét hiperboloid tükörrel. Részletesen leírtuk a

kamera és lencseválasztás kritériumait.

Tárgyaltuk, a kialakítandó szoftverek funkcióit, amelyek mind a sztereo rekonstrukcióval függenek össze. A sztereo rekonstrukciós algoritmus valódi 3D információt készít a jármű sebességétől függetlenül. Ezen 3D információt használjuk majd, hogy elérjük a céljainkat: detektáljuk az útburkolati jeleket, statikus vagy dinamikus objektumokat észleljünk és a holtteret csökkentsük.

Irodalomjegyzék

- [1] 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.
- [2] S. Baker and S. Nayar, "A theory of single-viewpoint catadioptric image formation," International Journal of Computer Vision (IJCV), vol. 35, no. 2, pp. 175–196, 1999.
- [3] Z. Zivkovic and O. Booiij, „How did we built our hyperbolic mirror omnidirectional camera - practical issues and basic geometry“ , Technical Report IAS-UVA-05-04, Informatics Institute, University of Amsterdam, 2005.
- [4] R. Hartley and A. Zisserman. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, second edition, 2004.
- [5] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson-Engineering, 2007.
- [6] Sato, T.; Pajdla, T.; Yokoya, N., "Epipolar geometry estimation for wide-baseline omnidirectional street view images," Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.56,63, 6-13 Nov. 2011

Szerzők

Kátai-Urbán Gábor, Koszna Ferenc, Megyesi Zoltán: Informatikai Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. 6000 Kecskemét, Izsáki út 10., Magyarország. E-mail: katai-urban.gabor@gamf.kefo.hu, koszna.ferenc@gamf.kefo.hu, megyesi.zoltan@gamf.kefo.hu.

Köszönetnyilvánítás

Ezen kutatást a TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012: „Smarter Transport” – Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatása projekt támogatásával jött létre. A Projekt a Magyar állam finanszírozásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával jött létre.