

Hálózatban működő térfigyelő kamerák aszinkronitásai¹

Max Gyula

Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék
1521 Budapest, Pf. 91, e-mail: max@aut.bme.hu

Abstract: Közlekedési események megfigyelésekor nemcsak a vizsgált objektumok mozgása lehet fontos tényező, hanem az objektumot meghatározó más tulajdonság is. Real-time képfeldolgozás mellett az objektum pontos pozíciójának meghatározása igen fontos tényező a hagyományos objektum szintű azonosítás folyamatában. A valós idejű forgalom megfigyelő rendszerek leggyakrabban ún. területalapú referencia képet alkalmaznak az előtérben folyó objektumok azonosítására. A folytonosan változó környezet miatt az adatfeldolgozás, különösen többkamerás megfigyelő rendszerek esetében sok időt igényel, amely a gyors működés érdekében elosztott rendszerek létét tételezik fel. A cikk az automatikus képfeldolgozás során használt többkamerás eljárások alapvető tulajdonságait és problémáit foglalja össze, miközben rámutat az eljárások sebezhető pontjaira.

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedés nem az élet egyetlen területe, ahol szükségünk van egy pozíció pontos meghatározására. Úrhajók dokkolásánál, a több ezer m/s sebességgel mozgó objektumok érintkezését szeretnénk elérni úgy, hogy a manőverben résztvevők ne szenvedjenek tartós alaktani változást. Az ipar is egyre nagyobb figyelmet fordít arra, hogy az emberi vizuális érzékelés és értékelés képességei megjelenjenek gépjárművek biztonsági projektjeiben. A járművek közötti távolság mérése előfeltétele egy biztonságos vezetéstámogató rendszer kialakításának. A rendszer feladata, miközben figyelmezteti a vezetőt az esetleges balesetek elkerülésére, az ütközési helyzetek felismerése és elkerülése, vagy pl. csúcsforgalmi helyzetekben az ún. stop-and-go feladatok ellátása. A cikkben áttekintést adunk a járművek közötti távolságmérésről és az ehhez használt gépi látás funkcióiról, amely hagyományos módszerek felhasználásával próbálja megszerezni a háromdimenziós tér információit (Faugeras, 1993) két vagy több kamera segítségével. Agyunkban egy pont két irányból történő érzékelése alapján alakul ki a térhatású kép (Hartley et al., 2000). Megfigyelő rendszereinkben a pozíció meghatározás folyamatában a gépi látás során a folyamat kezdeti lépéseit tekinthetjük egy sztereó fényképezőgép által készített képek sorozatának. A sztereó fényképezőgép eredetileg a két külön objektíven keletkezett képet vetít a negatívokra. Ez teszi lehetővé, hogy a kamera szimulálja az emberi binokuláris látást, és ezzel megadja azt a képességet, hogy háromdimenziós térben láthassuk az eredményt. Legtöbb esetben a többkamerás közúti megfigyelő

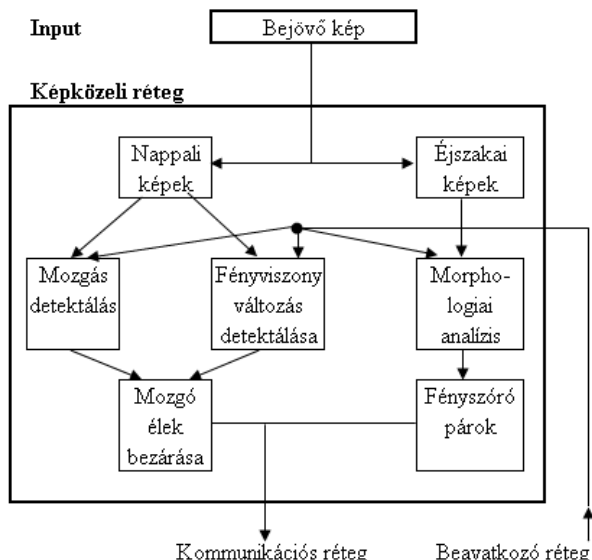
rendszerekben nem a háromdimenziós kép kialakítása a cél, hanem a megfigyelt események minél pontosabb követése. Az adatok feldolgozása sok időt vesz igénybe a kezdeti lépésektől a lehetséges beavatkozásig. Ezért az egyes kamerák képeit érdemes a felvétel helyén feldolgozni és lehetőleg csak a legfontosabb információkat továbbküldeni a rendszer központja felé. Bár a mai számítógép-hálózatok meglehetősen gyors adatátviteli sebességet tesznek lehetővé, a képfeldolgozás még mindig időigényes feladat. A feladatok szétbontásával és az adatforgalom csökkentésével időt nyerhetünk egy real-time rendszer működtetése számára, hogy rendszerünk minél inkább az elvégzendő feladatokra tudjon koncentrálni, az időigényes adatátviteli funkciók elvégzése helyett.

A cikk második fejezetében egy általános közúti megfigyelő rendszer kialakításához szükséges alapfogalmakat ismertetjük. A harmadik fejezet egy kétkamerás rendszer matematikai felépítését mutatja be, megadván azokat a matematikai összefüggéseket, amelyek a járművek közötti távolságmérés képi alapjait szolgáltatják. A negyedik fejezet a rendszer és a kamerák közötti aszinkronitásokat tárgyalja, bemutatva néhány lehetséges megelőzési vagy javítási lehetőséget. A cikket egy rövid összefoglalás zárja

2. ALAPFOGALMAK

A közúti megfigyelő rendszerek alapvető feladata a megfigyelés alá vont területen történő változások detektálása, a keletkező információk rendezése, feldolgozása és szükség esetén a beavatkozás. E feladat hármashoz a (Max, 2009) alapján felépített rendszermodellben a történésekhez legközelebb képközeli réteg áll, amelyet a kommunikációs réteg követ, végül, amennyiben létezik a beavatkozó réteg zár le. Az 1. ábrán látható rendszermodellben a képközeli réteg feladata a kamerák által felvett képeken a mozgó objektumok valamint a háttér szétválasztása illetve a változások detektálása.

¹ This work is connected to the scientific program of the "Development of quality-oriented and harmonized R+D+I strategy and functional model at BME" project. This project is supported by the New Hungary Development Plan (Project ID: TAMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002).



1. ábra Mozgásdetektálás eltérő fényviszonyok között

2.1 A háttér detektálása, szegmentálása

A kamerákkal felvett képek ismeretében, már a rendszer működésének inicializálásakor szükség van a háttér elkülönítésére. A háttér alatt, alapesetben a statikus, mozgásoktól mentes hátteret értjük. Az 1. ábrán a nappali és éjszakai fényviszonyok mellett elvégzendő feladatok sorát kísérelhetjük végig. Nappali fényviszonyok között a mozgásdetektálással egyidőben történik meg a statikus háttér meghatározása is. Ugyanezt éjszakai körülmények között már csak morfológiai analízis segítségével végezhetjük el.

A legegyszerűbb formában (1) szerint úgy alakíthatjuk ki a háttérünket, hogy időben egy-egy képet egymásután megvizsgálva megállapítjuk, hogy a kép melyik részén nem történt mozgás, majd ezeket a részeket átlagolva összeadjuk.

$$\text{háttér} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Felvétel}_k}{n} \quad (1)$$

ahol

$$|\text{Felvétel}_k - \text{Felvétel}_{k-1}| < \text{Küszöbérték}$$

A különbségeket követő háttér kezdetben egy üres képkocka. Az elképzelés az, hogy az egymás után érkező képek különbségét képezve azok a pontok fogják a háttér elemeit képezni, amelyeknél nem történt változás. A különbségképzéshez előző elemként használhatjuk a már meglévő háttérképét is, azokban az esetekben, amikor már van az adott képpontnak háttére. Többször megismételve a folyamatot előbb-utóbb eljutunk a háttér teljes kialakításához. Az eljárás alapvető lépéseit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az alapháttér elkészítését azonban több környezetfüggő elem nehezíti úgy, mint a fényerősség változás, a felhők mozgása, a szél erőssége. A háttérképzés részletes algoritmusát a 2. ábrán láthatjuk. Ez az eset azt mutatja, hogy ha minden a tervünk szerint történik, akkor véges időn belül eredményre juthatunk.

1. táblázat A háttér kialakításának algoritmusai

háttérkép = üres kép

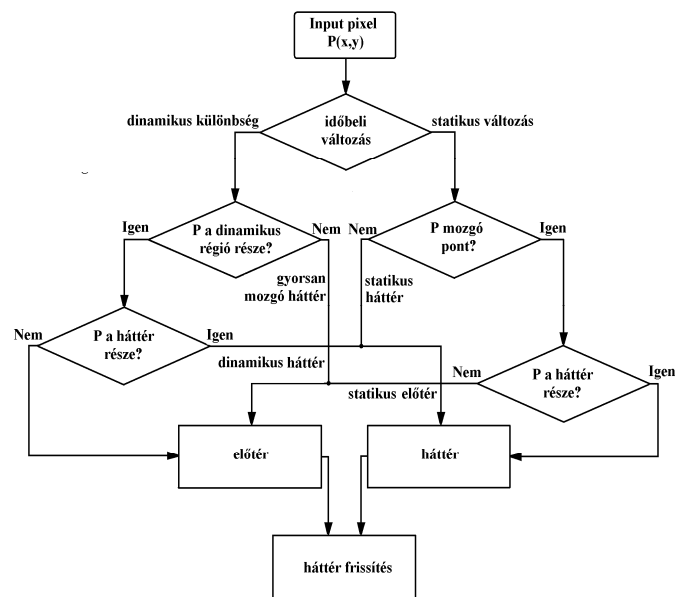
új kép = üres kép

ismétlés

- régi kép = új kép
- új kép beolvasása
- különbségképzés a régi vagy a meglévő háttér és az új kép között
- küszöbérték különbség a vizsgált képpontok között
- az új képpontok hozzáfűzése a háttérképhez
- a háttérkép mentése

amíg már nem kell több képpontot hozzáadni a háttérképhez

A feladat végrehajtásánál fontos tényező a küszöbérték meghatározása. Az (1)-ből ez az érték azt határozza meg, hogy milyen eltérés mellett tekintünk két képpontot egyformának.



2. ábra A háttér kialakításának lépései

2.2 Mozgó objektumok szegmentálása

Az objektumok szegmentálásánál feltételeztük, hogy nappal van, azaz a vizsgált színek valószínűségűek. A háttértől való elválasztás egy egyszerű kivonásos művelettel megvalósítható meg, amely során az aktuális kép adataiból levonjuk a statikus háttér elemeit. Az eredményt, a változó környezeti paraméterekből eredő zajok miatt, a legtöbb esetben még korrigálni kell. Az eredmények lényegesen megváltozhatnak, ha a kamerák, pl. az erős szél miatt mozognak. Ez a módszer a mozgó objektumok durva detektálására alkalmas. Ezzel a módszerrel nem lehet

elkülöníteni az egymás takarásában álló vagy mozgó objektumokat, de a vizsgálandó képterületeket jelentősen lehet csökkenteni. A finom szegmentálás során meg kell határozni az egyes objektumok éleit, körvonalait. Többféle finom élkeresési módszer létezik, hogy pl. csak a Sobel- (<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/sobel.htm>) vagy a (http://faculty.cs.tamu.edu/jchai/CPSC641/harris_detector.pdf) Harris-féle éldetektálási eljárásokat említsük. Más alapokon (pl. szín, forma, ...) működő szegmentálási eljárások is léteznek, amelyeket feladatainktól függően, önmagukban vagy egymással kombinálva is használhatunk. A mozgó objektumok szegmentálását helyzetük (irány, orientáció, sebesség, másik objektumtól mért távolság, ...) megállapítása miatt végezzük el. A feladat real-time megvalósítása jelentős számítási feladatot ró a rendszerre, amelyet csak erős számítási kapacitással vagy jól elosztott paraméterekkel rendelkező rendszer képes elvégezni. A feladatok delegálásánál mindig figyelembe kell vennünk az aktuális berendezés korlátait.

2.3 Többkamerás megfigyelő rendszerek

A már létező közúti megfigyelő rendszereket alapvető két nagy csoportba sorolhatjuk:

- egykamerás rendszerek
- két vagy többkamerás rendszerek

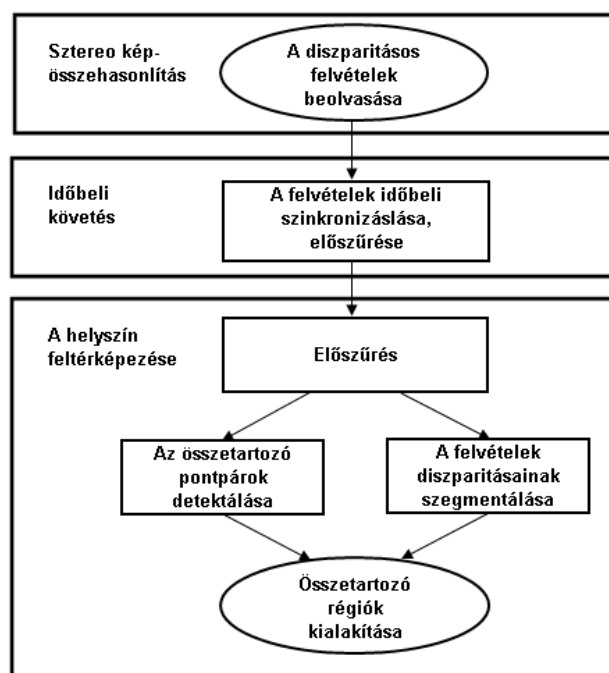
Az egykamerás képfeldolgozó rendszerek a kép egy vagy több meghatározott tulajdonságát, pl. éleket, árnyékokat, képmintákat, a kép bizonyos szimmetriáját használják fel az adatfeldolgozás során. Azonban ez az eljárás nem felel meg a járművek közötti távolságmérés módszerének, mert a rendszer nem biztosítja a teljes háromdimenziójú információkat. Ehhez legalább két kamerára van szükség. Két jól beállított kamerával megszerezhetők a vizsgált terület mélységi adatai és elkerülhetők olyan problémák, mint pl. a takarásból származó információvesztés. Több, független kutatócsoport is foglalkozik ezekkel a problémákkal, mint pl. (Nedeveschi et al., 2004), vagy (Broggi et al., 2005). A vizsgált objektum mélységi adatait a következő eljárás keretében nyerhetjük ki az elkészült felvételekből:

- 1, a kamerák elkészítik saját felvételeiket
- 2, egy vagy több viszonyítási pont alapján megtörténik az eltérések felmérése
- 3, a kiválasztott (szegmentált) tárgyak elkülönítése
- 4, mélységi adatok számítása

A felsorolt listából a 2. pont, a képek közötti vonatkoztatási rendszer, matematikailag az alap-, vagy fundamentális mátrix felállítása, majd az ehhez kapcsolódó képpont számítások sokasága a legfontosabb, de még inkább a legnehezebb és egyben a legidőigényesebb feladat. Ezt a feladatot nem csak rendszerindításnál, hanem a környezeti paraméterek változásainál is el kell végezni. A vonatkoztatási pontok megkeresését több momentum is gátolja. Csak néhányat felsorolva ezek közül:

- az összetartozó képekben fellépő zajok erősen csökkentik ezen képpontok közötti korreláció értékét
- ugyanazon pont különböző megvilágításából nyert adat szintén vezethet eltérésekhez
- a takarás gyakran vezet hibás egyezőségre
- a lencsék fizikai eltéréséből és
- a fókuszálásból is adódhatnak hibák

A rendszer ezen aszinkronitásai akkor lépnek fel, ha feltételezzük, hogy az összetartozó felvételeket ugyanabban az időpillanatban készítettük. A hibák másik típusa akkor lép fel, ha időbeli aszinkronitás történik, azaz a látzólag ugyanahhoz az időpillanatban készült felvételek valójában eltérő időpillanatokhoz tartoznak. Ez a probléma könnyen előfordulhat, ha mondjuk a kamerák mechanikai időállandója különbözik. Ebben az esetben az egyik kamera képkészítési ideje eltér a másiktól, ami előbb-utóbb időbeli elcsúszáshoz vezet. Ezért egy pontbeli egyezés felállítását bizonyítottan ki kell terjeszteni a képek olyan tulajdonságaira is, mint pl. az élek, vonalak vagy sarkok azonosítása (Lowe, 2004). Nem szükséges magyarázni, hogy ezek a számítások meglehetősen időigényesek. A kamerák képeinek összehangolásának számítási folyamatát a 3. ábrán foglaltuk össze. Az ábra részletesen bemutatja az egyes matematikai összetevők kialakításának mechanizmusát. A hibák elkerülése végett látható, hogy az adatfeldolgozást külön tér- és külön időbeli feldolgozásra bontottuk, ami egyúttal azt is jelenti, hogy az egyes felvételek közötti szinkronizálási számításokat is el kell végezni az adatfeldolgozás ideje alatt. Egyszerűbb szavakkal fogalmazva ez azt jelenti, hogy a pl. a bal kamera n. összehasonlító képkockájához lehet, hogy a jobb kamera n-2. képkockája tartozik.



3. ábra A vonatkoztatási rendszer kialakításának főbb lépései

2.4 Hálózatos megfigyelő rendszerek

A ma létező közúti megfigyelő rendszerek jelentős része csak az adatok begyűjtését és archiválását teszi lehetővé. A korszerűbb megoldások már nem csak továbbítják az adatokat egy diszpécser központ felé, hanem részben vagy egészben fel is dolgozzák azokat. A feldolgozási szintek igazodnak a készülékek lehetőségeihez. Ez lehet, pl. az elkészült képek jpeg tömörítése, de lehet elosztott számítási feladatok eredményeinek továbbítása is. Tipikus lokális feladat egy hálózatos közúti megfigyelő rendszerben a saját paraméterek karbantartása és jelentése a központi gép felé, amennyiben ez utóbbi létezik. Ugyancsak a helyszínen végezhető feladat a szegmentálás a durva vagy teljes elvégzése. Ezzel nem csak a központi gép feladatait, hanem a hálózat adatforgalmát is csökkentjük. A helyszíni feladatvégzés több esetben nem igényel bonyolult eszközöket, egy háttér kialakítás vagy durva szegmentálás akár egy FPGA-val kiegészített kamera segítségével is elvégezhető.

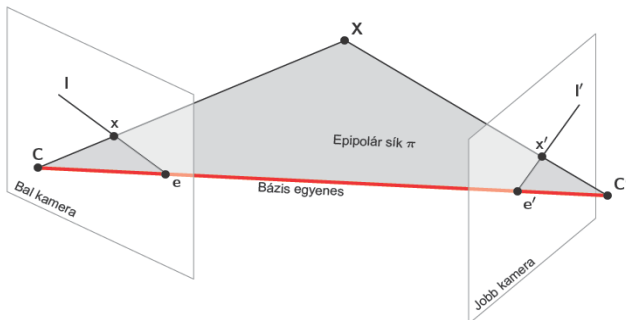
3. A RENDSZER MATEMATIKAI LEÍRÁSA

A rendszer bekapcsolásának pillanatában két vagy több kalibrálatlan kamera képét kell szinkronizálni. A szinkronizálást mind térben mind időben el kell végezni. A legtöbb esetben, első lépésben egy közös vonatkoztatási rendszer kialakítása történik meg.

3.1 A vonatkoztatási rendszer felállítása

Két kalibrálatlan kamera képe közötti vonatkoztatási rendszer alapjául szolgáló fundamentális mátrix meghatározását a 4. ábrából levezethető, alapvető epipolár geometriai összefüggések alapján (Kató et al., 2011) szerint vezetjük le. Az alap-, vagy fundamentális mátrixot viszonylag egyszerűen, néhány pontmegfeleltetés segítségével meghatározhatjuk, és abból azután megkaphatjuk a két kamera vonatkoztatási rendszerének kanonikus alakját, majd ezt követően akár a két kép projektív rekonstrukciót is elvégezhetjük.

Két kamera képe között a 4. ábrán látható epipolár geometria teremt kapcsolatot. A bal és jobb oldali kamera középpontok képei az e és e' epipólusok, míg az x és x' pontokhoz tartozó epipolár egyenesek rendre l és l' .



4. ábra Az epipolár geometria alapjai

Minden egyes x képponthoz tartozik egy l' epipolár egyenes a másik kamera képén, vagyis ez az epipolár geometriai összefüggés egy $l'=l'(x)$ leképezést definiál, ami lényegében a képpontok egyeneseknek történő projektív megfeleltetése lesz. Ezt a leképezést az F alapmátrix segítségével adhatjuk meg:

$$l'(x) = F * x \quad (2)$$

A háromdimenziós képpontok alapján kialakított 3×3 -as F mátrixot alap-, vagy fundamentális mátrixnak nevezünk. A kialakítás során látható, hogy az F mátrix rangja 2, ezért a mátrix nem invertálható. Ha veszünk egy $x = (x_1, x_2, x_3)$ és $x' = (x_1', x_2', x_3')$ pontpárt és tudjuk, hogy x' az l' epipolár egyenesen van, akkor az biztosan kielégíti az $x'^T * l' = 0$ egyenletet. Másrészt a (2) alapján, l' -t kifejezhetjük az alapmátrix segítségével, így megkapjuk egy képpár valamennyi $x \rightarrow x'$ pontmegfeleltetéseire vonatkozó legalapvetőbb összefüggést:

$$x'^T * F * x = 0 \quad (3)$$

Vegyünk azonban észre, hogy a (2) összefüggés lineáris egyenletrendszerének együtthatói könnyen nagyságrendekkel eltérhetnek egymástól, hiszen ezeket a pontok koordinátáiból kapjuk. Ez azonban kedvezőtlenül befolyásolhatja az egyenletrendszer megoldását, hiszen a nagyobb együtthatóval szereplő ismeretlenekben már egy kis hiba is jelentősen megnöveli az algebrai hibát, míg egy kisebb együtthatójú ismeretlen hibája eredendően kevésbé befolyásolja az algebrai hiba nagyságát. Ezért a pontok koordinátáit az egyenletrendszer létrehozása előtt érdemes normalizálni.

Az alapmátrix meghatározásához vegyünk egy tetszőleges, egyik kamera középpontra sem illeszkedő síkot. Majd ez egyik kamerából induló, x képponton áthaladó vetítősugár segítségével határozzuk meg x képét a felvett síkon. Ezt a P metszéspontot azután leképezzük a másik kamerában, ahol x' lesz a képe, tehát x és x' ugyanannak a pontnak a képei a két kamerában. Mivel P rajta van a x ponthoz tartozó vetítősugáron, ezért x' rajta lesz az l' epipolár egyenesen, hiszen az pontosan a vetítősugár képe a másik kamerában. Valamennyi ilyen x, x' pontpár ekvivalens lesz egymással. Ezek alapján egy x ponthoz tartozó l' epipolár egyenest megszerkeszthetünk úgy, mint az x' ponton és az e' epipóluson átmenő egyenes.

Az alapmátrix matematikai meghatározásához a legegyszerűbb megoldást a normalizált 8 pontos algoritmus szolgáltatja. Ehhez legalább 8 pontmegfeleltetésre van szükségünk, amelyekből létrehozzuk a (5) alapján felírható lineáris egyenletrendszert. Ne feledjük, hogy a megoldásnak két feltételt is ki kell elégítenie:

Először ismert képpontpárok adatait felhasználva meg kell oldanunk a (3) egyenletet. A megoldás során eljutunk a (4) egyenletre:

$$\begin{aligned} x_1' x_1 f_{11} + x_1' x_2 f_{12} + x_1' f_{13} + \\ x_2' x_1 f_{21} + x_2' x_2 f_{22} + x_2' f_{23} + \\ x_1 f_{31} + x_2 f_{32} + f_{33} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ahol $x = (x_1, x_2, 1)^T$, $x' = (x_1', x_2', 1)^T$ és F elemeit f_{ij} jelöli. Az ismeretleneket sorfolytonosan egy 9 elemű f vektorként írva, a fenti egyenletet az alábbi két vektor skaláris szorzataként írhatjuk:

$$(x_1'x_1, x_1'x_2, x_1', x_2'x_1, x_2'x_2, x_2', x_1, x_2, 1) * f = 0 \quad (5)$$

Tehát n pontmegfeleltetésből egy n egyenletből álló lineáris egyenletrendszert (6) kapunk f -re:

$$A * f = 0 \quad (6)$$

Ahol A sorai az egyes pontpárokból az (5) szerint állnak elő. Az egyenletrendszernek akkor van (egy skálafaktor erejéig) egyértelmű megoldása, ha A rangja 8. Mivel azonban A -nak 9 oszlopa van, ezért a rangja 9 is lehet. Ebben az esetben csak a legkisebb négyzetes hiba szerint lesz megoldás, ami minimalizálja az egyenletrendszer $\|Af\|$ algebrai hibáját és kielégíti a $\|f\|=1$ feltételt. A megoldást az A mátrix SVD felbontásából http://en.wikipedia.org/wiki/Singular_value_decomposition alapján kaphatjuk meg, ahol a legkisebb szinguláris értékhez tartozó szinguláris vektor lesz a megoldás. Másrészt viszont tudjuk, hogy az F mátrix rangja 2, vagyis $\det(F) = 0$. Ha ez nem teljesül, akkor az epipolár egyenesek nem fogják egy pontban metszeni egymást. A fenti egyenletrendszer megoldása általában nem elégíti ki ezt a feltételt, ezért ezt külön kell kezelni. A legegyszerűbb megoldás az egyenletrendszer megoldásaként kapott F' mátrixhoz legközelebbi, másodrangú mátrixot venni, vagyis azt az F mátrixot, amelyre a $\|F' - F\|$ Frobenius norma minimális, és $\det(F) = 0$. Ezt szintén SVD felbontással állíthatjuk elő. Legyen $F = U * \text{diag}(d_1, d_2, d_3) * V^T$, ahol az SVD felbontás tulajdonságából következően $d_1 \geq d_2 \geq d_3$. A legkisebb szinguláris értéket kinullázva megkapjuk azt az $F = U * \text{diag}(d_1, d_2, 0) * V^T$ mátrixot, amely kielégíti mindkét feltételt.

Mivel az alapmátrix szabadsági foka 7, ezért minimálisan 7 lineárisan független egyenletre van szükségünk, vagyis A egy 7×9 mátrix lesz, melynek rangja 7. Ebben az esetben azonban az egyenletrendszer megoldása 2 dimenziós lesz, amit $F1 + \alpha F2$ alakban írhatunk, ahol $F1$ és $F2$ az A nullterét kifeszítő két megoldás. A megoldásnak azonban szingulárisnak kell lennie, amit $\det(F1 + \alpha F2) = 0$ alakban fejezhetünk ki. Ebből α -ra egy harmadfokú polinom egyenletet kapunk, amelynek vagy 1, vagy 3 valós megoldása lesz, amit behelyettesítve az eredeti egyenletbe megkapjuk a keresett fundamentális mátrixot. Több megoldás esetén is csak egy lesz geometriailag helyes. Az α meghatározható az $F2^{-1} * F1$ valós sajátértékeiként is, hiszen $\det(F1 + \alpha F2) = \det(F2) \det(F2^{-1} * F1 + \alpha I) = 0$.

3.2 A vonatkoztatási rendszer meghatározása

Az előző alfejezetben végigkövettük az F alapmátrix létrehozásának elméleti lépéseit. Most, feltételezve a legegyszerűbb esetet nézzük át egy 8 pontos, normalizált F alapmátrix létrehozásának algoritmusát. Az alapmátrix meghatározásához szükségünk van 1 képre, amelyen kijelölünk 8 pontot, és az eredmények ellenőrzéséhez tovább 3 képre lesz szükségünk. Az alapmátrix pontosságát nemcsak az elkövetett számítási pontatlanságok, hanem a hibás mérési

értékek is rontják, ezért az ellenőrzéshez időben minél távolabbi képeket válasszunk. Érdeemes nagyságrendileg eltérő időpontokban készített felvételeket használni az ellenőrzésekhez (pl.: 1 sec, 10 sec, 100 sec), ami azt jelenti, hogy az alapmátrix meghatározásának időtartama akár perceket is vehet igénybe. Magát a folyamatot a 2. táblázatban foglaltuk össze, ahol a 8 bemenő képpontpár segítségével, kimenetként meghatározzuk az F alapmátrixot

2. táblázat: Az alapmátrix kialakításának algoritmus

A, Normalizáljuk az x_i és x'_i képpontokat.

B, A normalizált pont koordinátákból az (5) alapján konstruált $Af = 0$, $\|f\| = 1$ egyenletrendszer megoldását az A mátrix legkisebb szinguláris értékéhez tartozó egységnyi normájú szinguláris vektora adja, melyet egyszerűen megkaphatunk az A mátrix SVD felbontásából.

*C, Határozzuk meg SVD felbontás segítségével az előző lépésben kapott $F' = U * \text{diag}(d_1, d_2, d_3) * V^T$ megoldáshoz legközelebbi szinguláris $F'' = U * \text{diag}(d_1, d_2, 0) * V^T$ mátrixot. Ez lesz a normalizált képek között ható fundamentális mátrix.*

*D, Az előző lépésben kapott F'' megoldásból a keresett fundamentális mátrixot a $F = N^T * F'' * M$ szerinti denormalizálásával kapjuk.*

Tegyük fel, hogy az alapmátrix meghatározásához szükséges kétszer nyolc pont koordinátáit már előzőleg meghatároztuk pl.: a megfigyelt terület háttérleválasztása során. Vizsgáljuk meg, hogy a 2. táblázat adatai alapján mennyi idő van szükségünk az F alapmátrix előállításához. Ki kell emelni, hogy ezt a feladatot nem csak inicializáláskor, hanem minden nagyobb statikus környezeti változásnál el kell végezni. Kövessük végig a 2. táblázat pontjait és vizsgáljuk meg a számítási igényeket:

A1, Számoljuk ki a pontjaink középpontját (x_0), majd az így kapott vektorral toljunk el valamennyi pontot. Ezzel a pontok középpontja az origóba került. A művelet $P=2^n$ pont és egész számok esetén valódi osztást nem, csak shiftelést tartalmaz a műveletek végrehajtása során. Jelen esetben $n=3$, ekkor a középpont kiszámítása kétszer 8 összeadást és két shiftelést tartalmaz. A műveleti idő minimális.

A2, Ezután alkalmazzunk egy olyan skálázást, mellyel a pontok origótól vett átlagos távolsága a képpontok esetén $\sqrt{2}$ lesz $\lambda = \Sigma(\text{root}(x_i^2 + y_i^2))/8/\sqrt{2}$ és $x = \lambda(x-x_0)$ figyelembevételével. A művelet, az egyes változók memóriából történő beolvasásával együtt is néhány száz művelettel végrehajtható, mely műveletek időigénye még mindig minimális.

B1, A következő lépésben, a (5) alapján előállítjuk az A mátrixot és meghatározzuk a rangját:

- Amennyiben az A mátrix rangja 8 egyértelmű megoldás létezik.

- Ha a rangja 9, akkor az egyenletrendszert a legkisebb négyzetes hiba szerint kell megoldani, lesz megoldás, ami minimalizálja az egyenletrendszer $\|Af\|$ algebrai hibáját és kielégíti a $\|f\|=1$ feltételt.

B2, A mátrix kialakítása után, szükség esetén le kell választani egy 8x8-as mátrixot úgy, hogy el lehessen végezni a SVD felbontást. Egy általános (pl.: MATLAB) nem a feladathoz kialakított optimális számítási menet esetén akár több millió szorzást, összeadást és osztást is el kell végezni az eredmény eléréséhez, amelynek időtartama a mai gyors 2 – 3 GHz-es számítógépek esetében is ms nagyságrendű, nem beszélve arról az esetről, amikor nem egy menetben keletkezik a végeredmény, hanem iterációval kell azt meghatározni.

C, Az SVD felbontás segítségével az előző lépésben kapott $F' = U * \text{diag}(d_1, d_2, d_3) * V^T$ mátrix megoldáshoz a legközelebbi szinguláris $F'' = U * \text{diag}(d_1, d_2, 0) * V^T$ mátrix kialakításához szükséges néhány ezer művelet, a B. ponthoz képest, nem jelent lényeges időbeli megterhelést.

D, A denormalizálás folyamata csupán három mátrix összeszorzásából áll, amely időigénye a B. ponthoz képest szintén lényegtelen.

4. A RENDSZER ASZINKRONITÁSAINAK KEZELÉSE

Bár az aszinkronitásokat legtöbbször hibáknak nevezzük, ezeket az eseményeket valójában csak a normál működés határ- vagy szélsőeseteinek tekinthetjük. Az aszinkronitásokat úgy képzelhetjük el, mintha az előírt rutinfolyamatba különös zavaró tényezők lépnének be, amelyek jelentős többlet feladataikkal felborítják a hagyományos ütemezési feladatokat. A rendszerben felmerülő aszinkronitásokat, amelyek tehát többnyire nem a hibás működés következményei, három nagy csoportra oszthatjuk. Az első csoportba a rendszer működésétől független, általánosságban környezeti tényezők változásából származó aszinkronitásokat sorolhatjuk. A második és a harmadik csoportba a rendszer elemeinek, az aktuális állapottól jelentősebb mértékben eltérő aszinkronitásokat értjük rendre az egy kamerával is észlelhető illetve a többkamerás eseteket.

4.1 Rendszerfüggetlen anomáliák

A közúti megfigyelő rendszereket napi 24 órás működésre tervezik. Ez idő alatt számos időjárásbeli változás lép fel, amit egy jól kidolgozott rendszernek követnie kell. Az észlelésnek és a hibajavításnak számos módszerét dolgozták már ki. Nappali fényviszonyok között három jelentősebb probléma léphet fel a rendszer működése közben:

- **A szélerősödés** a környezeti problémák vizsgálatánál komoly gondot okozhat, még mereven rögzített kamerák esetén is. Ahhoz, hogy ez hasson a kamerára, nem kell feltétlenül erős szélnek lenni. Képzeljük el azt az esetet, amikor egy felüljáró alá rögzített kamera alatt egy kamion halad el. A jelentős légörvények megmozdíthatják a kamerákat. Ezeknek az elmozdulásoknak nem kell nagyméretűeknek, hiszen vegyük figyelembe, hogy egy-két képpont elmozdulása, a 30-50 méteres távolságra illesztett kamerák esetében csak a fok ezredrészében mérhető. Egy közepes, 50 km/h-s szél esetében készült képsorozat eredményét mutatja az 5. és 6. ábra.



5. ábra Számított statikus háttérkép

Az 5. ábrán a kialakított háttérét látjuk, míg a 6. ábrán egy, a kialakítás közben létrejövő átmeneti eredményt láthatunk. Látható, hogy ezek az elmozdulások nemcsak néhány, hanem akár 10-12 pixelnyi méretűek is lehetnek. A 6. ábrán azt is láthatjuk, hogy a kép egyes részein fehér pontok jelennek meg, amit a rendszer mozgó objektumoknak érzékel.



6. ábra Az eredeti és az aktuális háttérkép összehasonlítása

A hiba kiküszöbölésére különböző simítási eljárások adnak lehetőséget. A megfelelő környezetben végzett simítások nagyméretben csökkenthetik a háttér kialakítás hibáit. Másik lehetséges módszer a mozgó objektumok méretének korlátozása, amely során megadjuk a megfigyelendő objektumok méret korlátait.

- **Fényviszony változásokor** nem csak a nappali és az éjszakai fényerősség változásokra kell gondolnunk, hanem a napközi felhősödésből adódókra is. Szabadtéri felvételek esetében óhatatlanul felhők is megjelennek a képeinken, melyek mozgása zavaró tényező lehet. A felhők mozgásának kiszűrésére viszonylag egyszerű eszközökkel fel lehet készülni. Először is az esetek legtöbbszörében a felhők a létrejövő kép felső részében találhatók. Másodszor a felhőknek sincs egyetlen tartós egyenes vonalú kontúrja sem. Vagyis a kép felső részében található görbe vonalú és változó méretű kontúrokkal rendelkező mozgó objektumokat felhőknek tekinthetjük. Egy ilyen felhőmozgásból származó képet láthatunk a 7. ábrán, ahol azt is észrevehetjük, hogy az egyik jobboldali kis felhőcsomag felső kontúrja bizony közel egyenesnek tekinthető. A változásoknak az a következménye, hogy a statikus háttérképet korrigálni kell, ami a legtöbb esetben az alapmátrix korrekcióját is magával hozza.



7. ábra Felhőmozgások kontúrképe

A korrekció végrehajtása minden olyan esetben szükséges, mint amit a 6. ábrán láthatunk. Ekkor ugyanis a háttérkép jelentős része eltűnik, ami a mozgás azonosítás hibáját eredményezi.

- A **csapadékképződés** általában a fényviszonyok romlásával és az elkészített felvételek minőségének különböző mértékű romlását hozza magával. Csapadékképződés során a 6. ábrához hasonló képeket tapasztalhatunk, melynek minősége jelentősen függ a csapadék intenzitásától. A fellépő hibák korrigálására most is rövid időn belül többször kell a hátteret és az alaplámat korrigálni.

4.2 Egykamerás rendszerfüggő aszinkronitások

Az egykamerás rendszerfüggő aszinkronitások általában a megfigyelő eszköz vagy a hálózati kapcsolatok hibáira vezethetők vissza. Ez utóbbit részletesen tárgyaljuk a 4.3 alfejezetben.

- A **rálátási szög** megváltozása több esemény egyedi vagy együttes hatás okozhatja. Előfordul, hogy egy magas kamion megüti a kamerát vagy annak felfüggesztő rendszerét, amivel jelentős, akár több koordinátangyely irányába is ható 5-10 fokos eltérés állhat be az eredetileg beállított értékekhez képest. Ennek tipikus esete a kamera lebecsáklása. Kisebb, 10 fokot nem meghaladó változásokat a kamerák újrakonfigurálásával még ki lehet küszöbölni, de ennél nagyobb változások már azt jelentik, hogy az eredetileg megfigyelni kívánt terület már nem esik a kamerák által vett térbe.

- **Fókusz távolság** változás több esemény miatt is felléphet, de leggyakrabban a szél vagy a közúttól származó rezgések következménye. Ugyancsak többször előfordult, hogy a kamera lencséjére rákerül valami, ami eltakarja a kép egy részét. Mivel a fókusz távolság változás, az esemény fellépése után általában tartósan fennáll, így lényeges változásokat hoz a megfigyelt tér eseményeinek követésében.

Ebben az alfejezetben tárgyalt hibákat többnyire tényleges rendszerhibáknak kell tekinteni, amit ha a kamera nem rendelkezik távirányítható beállító rendszerrel, a helyes működés visszaállítása érdekében manuálisan kell kijavítani.

- Az **adatvesztés** tipikus egykamerás aszinkronitás. A 8. ábra azt az esetet mutatja be, amikor a vizsgált járművet egy másik jármű mérete vagy helyzete miatt letakarja. Egykamerás esetben ezekre az esetekre csak szimulációs követési megoldások léteznek, amelyek jelentősen lelassítják az adatfeldolgozást.



8. ábra A takarás és az időbeli aszinkronitás bemutatása

4.3 Többkamerás rendszerfüggő aszinkronitások

A többkamerás rendszerfüggő aszinkronitások szintén a megfigyelő eszköz vagy a hálózati kapcsolatok hibáira vezethetők vissza. Többkamerás rendszerek esetében is felléphetnek az egykamerás rendszerekben előforduló hibák.

- A **térbeli aszinkronitások** a 4.2 alfejezetben felsorolt hibák következményére vezethetők vissza többkamerás rendszerekben. Ezekben az esetekben kettéválik az egyes kamerák megfigyelt térrész. Nem lesz, vagy csak nagyon minimális átlapolódó térrész jelenik meg teljes rendszerben, így a kamerák nem tudják ellátni a működés alapjául szolgáló feladatokat. A hibák javítása a 4.2 alfejezetben megadottak alapján történhet.

- Az **időbeli aszinkronitások** tipikusan többkamerás rendszerekre jellemző probléma. A rendszer ezen aszinkronitásai akkor lépnek fel, ha a látszólag ugyanahhoz az időpillanatban készült felvételek valójában eltérő időpillanatokhoz tartoznak. Ez a probléma könnyen előfordulhat, ha mondjuk a kamerák egyik jellemzője, pl. a felvétel elkészítésének ideje, vagy valamilyen mechanikai időállandója különbözik. Ebben az esetben az egyik kamera képkészítési ideje eltér a másiktól, ami előbb-utóbb időbeli elcsúszáshoz vezet. A 8. ábra ezt az esetet is bemutatja, míg a 9 ábrán egyhelyesen szinkronizált felvétel párt láthatunk. A hálózatos eszközök nagy előnye, hogy a hálózat egyszerű eszközeivel átléphetünk ennek a hibának a megjelenésén.



9. ábra Helyesen beállított, szinkron működés kétkamerás megfigyelés esetén

A hálózat központi gépén található óra adatait felhasználva, időrendbe állíthatók az elkészített felvételek. Ennek azért van jelentősége, mert egy 72 km/h sebességgel haladó jármű 1 mp alatt 20 métert tesz meg, ami már egy képkocka eltérés esetén 0,8 m eltérést jelent a két kamera adatai között. A hiba kiszűrése azonban feltételezi, hogy a rendszer képes a kamerák képeit archiválni, hogy mindig a megfelelő felvételek összehasonlítása történhessen meg.

- **A hálózat önmaga** is hibaforrásnak tekinthető többkamerás rendszerekben. A hálózat hibáinak számos oka lehet, de általában a nem megfelelő hálózati kártyák, a helytelen kapcsoló-beállítások, a hibás hardver vagy az illesztőprogramproblémák okozzák a gondot. A hálózati kapcsolatok hibáinak néhány tünete csak időszakosan tapasztalható, így nem utal egyértelműen az említett okokra. A hálózati problémák leggyakrabban az alábbi okokra vezethetők vissza:

- A, A hálózati kártyák és a kapcsolóportok kétirányú adatátvitelre vonatkozó szintje eltérő vagy nem egyeznek az adatátviteli sebesség beállításai.
- B, A 10/100 Mb/s átviteli sebességű kártyák és kapcsolók helytelenül hajtják végre a váltást, mert az automatikus érzékelés bizonyos beállításai helytelen módon észlelik egyes hálózati kártyák adatátviteli sebességét.
- C, A hálózati kártya nem kompatibilis az alaplappal, esetleg egyéb hardver- vagy szoftverösszetevőkkel és illesztőprogramokkal.

Az alapvető műszaki problémák mellett természetesen más típusú aszinkronitások is felléphetnek a hálózatos üzemmódban, amire fel kell a rendszert készíteni. A real-time üzemmód nem csak azt tételezi fel, hogy az összetartozó

képkocka párok adatforgalma és feldolgozása 40 ms alatt megtörténik, hanem azt is, hogy erről a rendszerben résztvevő elemek értesítést is kapnak. A folyamatirányító hálózatokra jellemző garantált válaszidő betartása a mai rendszerekre még túlságosan nagy terhet ró. Legyen bármilyen rövid is egy feladatsorozat visszaigazolása, egyrészt időbe kerül, másrészt az egyébként is használt kommunikációs vonalakat veszi igénybe. Időhiány esetében tehát a rendszernek kell gondoskodnia a fellépő aszinkronitások kivédéséről.

- A **garantált válaszidő biztosítása** a folyamatirányító-hálózatok alapszolgáltatása. Ez a szolgáltatás real-time rendszerek esetén azt biztosítja, hogy a rendszerelemek működésének eredményéről a rendszer többi eleme meghatározott időn belül biztosan értesül. Egy általános, 25-30%-os hasznos adatforgalmi kitöltési tényezőjű 100 Mbit/s sebességgel rendelkező hálózatban, zavartalan működés esetében egyetlen jó minőségű, pl. 1600 x 1200 pixeles kép sem továbbítható 40 ms alatt. Mivel már két kamera esetén is, kialakítástól függően, kettőnél vagy négynél több képet kellene átlagosan a hálózaton továbbítani, a hagyományos soros adattovábbítási eljárások szóba sem jöhetnek. A hálózat teljes adatforgalmát, a 40 ms-os garantált válaszidő biztosításához 150 kbyte alá kell szorítani, ami négy tömörítetlen képfájl és néhány rövid, 1 kbyte alatti rendszerüzenet továbbítása esetén 30-35 kbyte méretű, kb. a 10. ábrán besatírozott 150x80 pixeles színes téglalap, vagy 240x150 pixeles fekete-fehér kép továbbítását teszi lehetővé.



10. ábra Egy 1600x1200 pixeles színes kép besatírozott része továbbítható egy 100 Mbit/s-os hálózaton 10 ms alatt

A képminőség fokozása és a garantált válaszidő biztosítása érdekében tehát mindenképpen tömörített képeket vagy képrészleteket kell a hálózatban továbbítani.

- **Adattorlódás** során a hálózat normál adatforgalma egy vagy több helyen kritikussá válik, amit egyszerűen a hasznos adatátviteli tényező jelentős romlásával szoktak jellemezni. Több tényező is befolyásolhatja ezt az értéket, amit vagy adatátviteli HW és/vagy SW hibákra, vagy a ténylegesen megnövekedett adatforgalomra vezethetünk vissza. A hálózat vagy a rendszer aktív vagy passzív elemeinek problémáit az előző részekben leírtak szerint tényleges hibáknak kell

tekintenünk, míg a légköri vagy elektromos zavarok, viharok vagy erős napsütés miattiakat aszinkronitási problémákat okoznak.

A probléma elhárítása során meg kell mérni, hogy tartós vagy csak alkalmoszerű hibáról beszélünk. Tartós hiba, pl. egy áramköri elem végleges meghibásodása esetén a szokások manuális javítással kell megoldani a hiba elhárítását. Alkalmoszerűen fellépő esetben, pl. egyszerre több hálózati elemnek van szüksége kommunikációra, megfontolhatjuk a hasznos adatforgalom csökkentését is. Ebben az esetben nem 40, hanem 80 vagy 120 ms-os garantált válaszidőt biztosítunk a hálózatban, ami egyrészt több idő biztosít egy periódus adatforgalmára, másrészt azonban biztosan aszinkronitást hoz a rendszerbe a lezáratlan periódusban létrejövő adatforgalomban bekövetkező adat aszinkronitások miatt.

- **Képvessztés vagy képmeghibásodás** során működnek a rendszer elemei, de a rendszer ellenőrző mechanizmusa valamilyen zavaróhatás, pl. erős elektromágneses sugárzás hatására hibát észlel a képek továbbítása során. A napsugárzás megváltozását egy hőszugárzó bekapcsolásával szimulálva, az 5. ábra képeinek továbbítása során azt a típusú hibajelenséget tapasztaljuk, mint korábban a 6- ábrán, azaz néhány pixel hibásan érkezik meg. Sok esetben a 6. ábra képe meg sem érkezik, mert a hálózati rétegek az adatvesztés miatt nem is továbbítják a képet a felhasználó felé. A meg nem érkezett képek sajátos aszinkronitást állítanak fel a rendszerben, mert ha mindkét kamerából származó kép elveszik, akkor a rendszer egy időszetele eltűnik, ami hibás működést eredményezhet, ha a rendszer precízen minden időszetele adatát fel akarja dolgozni. Másrészt viszont, ha csak az egyik kép tűnik el, akkor a rendszer ugyan tud az elvesző időszeteletről, de ugyancsak át kell tudnia lépni a kieső kép problémáját.

4.3 Néhány aszinkronitás kiküszöbölése

A problémát okozó aszinkronitásokat összehasonlítva egy és kétkamerás esetekre, kiténik, hogy a legtöbb aszinkronitás a hálózati elemek szűk keresztmetszetének köszönhető. A közúti megfigyelő rendszerekben tehát lényeges engedményeket kell tenni a hálózati adatforgalom miatti szűk keresztmetszet feloldására.

Ha rendszerünk csak megfigyel, és nem avatkozik be, akkor lényeges egyszerűsítéseket vezethetünk be. Az adatforgalom ezekben az esetekben a megfigyelő eszközök felől áramlik a központi adatfeldolgozó állomás(ok) felé. Ha töröljük a garantált válaszidőre vonatkozó előírásokat, akkor a központi állomások felé áramló adatfolyamok ellenőrzését is a beérkező adatokat fogadó állomásoknak kell elvégezni. Ha a megfigyelő eszközök bizonyos saját hibát képesek észlelni, akkor ezek bekövetkezése után értesíteni kell tudni a központi gépeket. Minden egyéb aszinkronitás lekezelése a központi gépek feladata lesz. Itt kell összepárosítani a beérkező felvételeket, itt kell eldobni a hibás vagy nem párosítható képeket, és itt kell a rendszer alapparamétereit, pl. statikus háttér, távolságmérés, ... kiszámítani. A feladatok jelentős része ezután a központi gépekre hárul. Néhány HW vagy SW kiegészítéssel azonban a perifériás eszközök is felokosíthatók. Ennek alapvető feltétele, hogy ezek az eszközök rendelkezzenek memóriával, ahol legalább a saját

maguk által készített felvételek egy részét tudják tárolni. Így legalább a saját háttér és az aktív mozgó objektumok szétválasztását, természetesen HW kiegészítéssel a helyszínen meg tudják oldani. Másrészt a háttér változása esetén lehetősége nyílik az eszköznek, hogy csak a változást továbbítsa a központi gép felé.

A feldolgozási idő növelése érdekében nagyobb időosztást is beállíthatunk. Ennek segítségével csak minden n. képet vagy annak részleteit továbbítjuk a központi gép felé. Ezt az eljárást, a minőség jelentős romlása miatt csak n=2, 3 vagy 4 esetre lehet alkalmazni, bár ezzel a feldolgozási időt akár 160 ms-ra is ki tudjuk tolni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben megadtuk a közúti megfigyelő rendszerek számítógép-hálózatos működtetéséhez szükséges alapvetőbb mozzanatokat és bemutattuk a rendszer használata során fellépő aszinkronitások néhány nagyobb csoportját. Az aszinkronitások kezelésére bemutattunk néhány jól bevált módszert. Egy adott kialakítást feltételezve felosztottuk a képfeldolgozási folyamatokat úgy, hogy ezzel csökkentsük a rendszert irányító központi számítógép terhelését.

Munkánk további folytatása során szeretnénk megkísérelni a feladat statikus megoldását még több vagy többféle kamera esetén. Az ismertett rendszerben statikus feladat megosztást alkalmaztunk, ami ugyan nem a legoptimálisabb megoldása a feladatnak, de jól követhető és mérhető a benne lejátszódó folyamatok, amit úgy értünk el, hogy az előzőleg két kamerával filmre vett adatokból, a kamerák sebességét szimulálva, többször lejátszhatóvá, megállíthatóvá, mérhetővé tettük a közlekedési helyzeteket.

IRODALOMJEGYZÉK

- Faugeras, O., (1993). Three Dimensional Computer Vision, *MIT Press*.
- Hartley, R. and Zisserman, A., (2000). Multiple View Geometry in Computer Vision, *Cambridge*.
- Nedevschi, S., Danescu, R., Frentiu, D., Marita, T., Oniga, F., Pocol, C., Schmidt, R., and Graf, T., (2004). High accuracy stereo vision system for far distance obstacle detection, *Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium*.
- Lowe, D. G., (2004). Distinctive image features from scaleinvariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, pp. 91-110.
- Broggi, A., Caraffi, C., Fedriga, R. I. and Grisleri, P., (2005) Obstacle detection with stereo vision for off-road vehicle navigation, *Proc. IEEE Workshops on Machine Vision for Intelligent Vehicles*.
- Max, G., (2009). Közlekedési események képi feldolgozása. *IFFK 2009*, Budapest, Hungary.
- Kató Z. and Czúni L., (2011) Számítógépes látás, Online egyetemi jegyzet.