

Képfelismerésen alapuló technológiák gyakorlati felhasználása a közúti közlekedés vizsgálatában

Bécsi Tamás, Dr. Péter Tamás
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésautomatikai Tanszék
1111 Budapest, Bertalan L. u. 2. Z. épület 401.
becsi.tamas@mail.bme.hu;
peter@kozlek.bme.hu

Tartalmi összefoglaló

Jelen cikk a videó alapú rendszerek felhasználási lehetőségeit ismerteti a közúti közlekedési mérések területén. Elsősorban a forgalmi jellemzők mérésére helyezi a hangsúlyt, amelyek a forgalomterhelés vizsgálata mellett felhasználhatóak a forgalomtechnikai tervezés, üzemeltetés, illetve az on-line automatikus forgalomirányítás területén. Mivel a képfelismerésen alapuló technológia igen szerteágazó területekre vezet, ezért a vizsgálat főleg a forgalom mérésére irányul és nem foglalkozik más, közeli területekkel (pld. rendszámfelismerés, azonosítás). A cikk emellett egy olyan – a szerzők által fejlesztett – keretrendszert mutat be, amelyekkel e vizsgálatok hatékonyan elvégezhetőek. A cikk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésautomatikai Tanszék munkatársainak eredményeit ismerteti.

1 Bevezetés

A videó alapú megfigyelő rendszerek egyre nagyobb teret nyernek a forgalommérés területén. Az ilyen típusú képfeldolgozó rendszerek tipikusan statikus, telepített kamerák képeit dolgozzák valamilyen algoritmus alapján, hogy kiszűrjék a mozgó objektumokat. A rendszer fejlesztése kettős célt szolgált, egyrészt az automatizált forgalommérés, másrészt a mérés során nyert mikroszkopikus forgalmi adatok alapján mikroszkopikus modellek felállítása, ám erre jelen cikk nem hivatott kitérni. A videó alapú forgalommérést alapvetően két mérési feladat ellátására célszerű felhasználni, amelyeket az alábbi alpontok ismertetnek:

Makroszkopikus forgalommérés

Makroszkopikus vizsgálat esetén a mérendő jellemzők a forgalom átfogó jellemzői, ekkor sűrűséget, áramlást, illetve sebességet kell mérni, jellemzően a mért útszakaszra mérőlegesen, kis szakaszt kell vizsgálni.

Egy adott útvonal forgalmi folyamának legfontosabb makroszkopikus paraméterei és összefüggései a következők:

- **Forgalomnagyság:** Adott ponton áthaladó járművek száma időegység alatt.
Jele: $q(x,t)$, mértékegysége lehet: [jármű/óra]
- **Járműsűrűség, vagy forgalomsűrűség:** Egységnyi útszakaszon, adott pillanatban található járművek száma az idő függvényében.
Jele: $\rho(x,t)$, mértékegysége lehet: [jármű/km]
- **A járművek átlagos sebessége:** Lehet egy adott ponton, adott idő alatt áthaladó járművek átlagsebessége (kötött hely $[x]$), vagy egy adott időpontban valamely útszakaszon található járművek pillanatnyi sebességének átlaga (kötött időpont $[t]$).
Jele $v(x,t)$, mértékegység [km/h]

A fent leírt változók között az ún. *fundamentális egyenlet* létesít kapcsolatot, egy alapösszefüggés, amely minden esetben fennáll, így nem szükséges közvetlenül mindhárom tényezőt mérni. A fundamentális egyenletet a forgalmi problémára a következőképpen fogalmazhatjuk meg:

$$q(x,t) = \rho(x,t)v(x,t) \quad (1)$$

Mikroszkopikus mérés

A mikroszkopikus mérés esetén a forgalom szereplőinek (járműveknek) egyedi viselkedésére vagyunk kíváncsiak, ekkor hosszabb szakasz felvétele szükséges, ilyenkor azonban a szakasz-menti infrastruktúra korlátozásait is figyelembe kell venni, és ennek megfelelően körültekintően megtervezni a telepítést.

Mikroszkopikus vizsgálat során az elemzés szerteágazóbb lehet, ezért nehéz is lehatárolni a mérhető paraméterek összességét. Ezek közül néhány ilyen módon megfigyelhető paraméter:

- Sebesség, dinamika
- Járműkövetési viselkedés
- Szabálykövetés
- Sávválasztás
- Járműkategóriák

A forgalom mérését kétféle módon végezhető:

- Off-line mérés: digitális felvevőkamera használata, illetve a szükséges képminőség, és geometria adatok felvétele;
- On-line mérés: ipari kamera használata, a geometriai és forgalomtechnikai adatok, illetve a jelátvitel technológiai kérdései, beleértve a csatlakozás, feldolgozás, tömörítés kérdéseit.

A három fő fejezet az architektúra bemutatásával, a mérési telepítések ismertetésével, illetve egy mintaalkalmazás bemutatásával foglalkozik.

2 Az alkalmazás felépítése

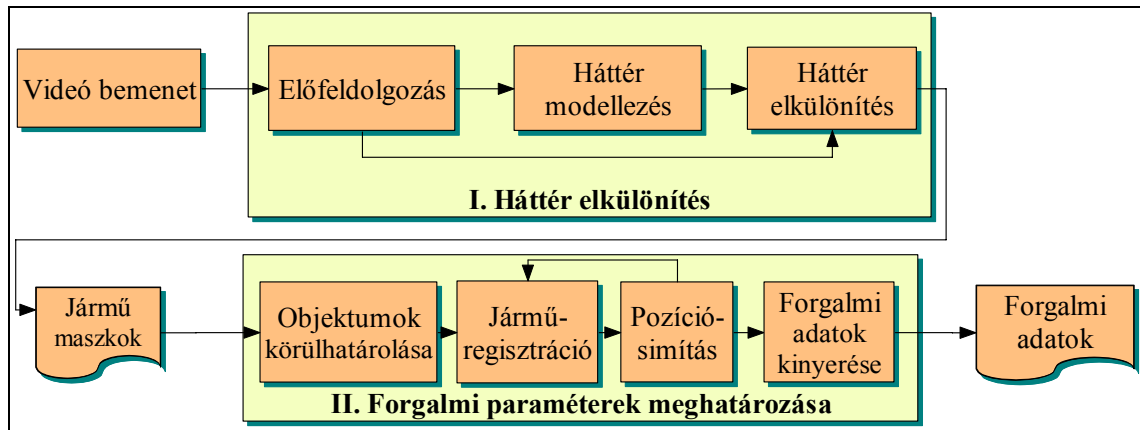
A videó-alapú forgalom mérés nagy előnye más mérési eljárásokkal szemben, hogy egyszerre több jármű adatainak megfigyelését teszi lehetővé, illetve nem csak keresztmetszeti, hanem adott esetben szakaszmenti, vagy kereszteződésbeli viselkedés vizsgálatára is alkalmas. Egy adott szakasz mentén idősíkra lehet vetíteni az egyes járművek viselkedését, de akár egymással való kölcsönhatásukat is. Az eljárásnak vannak előnyei és hátrányai, de megfelelő előkészület mellett a hátrányok hatása nagyban csökkenthető. [1]

2.1 Az eljárás leírása

A jelen cikkben ismertetett eljárás fix kamerás videofelvételek alapján valósít meg forgalom mérést. Az implementált objektumkövetési algoritmus az ún. „Background Subtraction” algoritmuskör köré épül, azaz a mozgó objektumok elkülönítését egy becsült háttér létrehozásával, majd annak a valós képpel való összevetésével határozza meg.

Az így kapott maszk-képet az ún. „*delta-connectivity*” körülhatároló algoritmus dolgozza fel, és ennek eredményeit feldolgozva kapjuk a forgalmi paramétereket.

A folyamat két alapvető főfeladatra bontható. Első részben a háttér elkülönítés, a másodikban a forgalmi paraméterek meghatározása szerepel. A forgalom mérés menetét az *1. ábra* szemlélteti:



1. ábra: A videó-alapú forgalom mérés menete

Hátterelkülönítés

A háttér elkülönítés célja, hogy a beérkező képsorozat felhasználásával az egyes képkockákon kiszűrje a mozgó objektumokhoz tartozó részeket, így olyan speciális képsorozatot generáljon, ahol „üres” háttéren csak a mozgó objektumok valamilyen maszkja látszik.

A feladat három alapvető részre bontható: előfeldolgozás, háttérmodellezés és háttér-elkülönítés.

A videó-forrásról beérkező képsorozatok zajjal terhelték. Ezek a zajok általában a kamera érzékelő zajai, a videó-tömörítés eredményei lehetnek, illetve környezeti, vagy megvilágításból származó hatásokból adódhatnak. Ahhoz, hogy megfelelő módon kezelni tudjuk őket, valamilyen *előfeldolgozó szűrőn* kell átvezetni a képet [2]. Ezt a funkciót konvolúciós szűrők valósítják meg (2). A real-time igények figyelembe vételével valamilyen képméret, illetve FPS (Frame per second) átalakítás szükséges lehet. A nem mozgó kamera esetén ebben az *előfeldolgozás* részben lehet elvégezni a kép hasznos területének maszkolását, így még gyorsabb applikációt kaphatunk.

$$O(x, y) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n [I(x+k-1, y+l-1)K(k, l)]; \quad (2)$$

$$1 \leq x \leq M - m + 1; \quad 1 \leq y \leq N - n + 1;$$

A „Background Subtraction” algoritmus lelke az ideális – járművek és mozgó objektumok nélküli – *háttér modellezése*. Az irodalomban található sok háttérmodell közül a programkörnyezetbe több modell is kipróbálásra került: „Egyszerű Különbségképzés” (Frame differencing), „Közelítő Medián módszer” (AMF), „Többszörös eloszláson alapuló módszer” (MoD), illetve a nem rekurzív technikák közül a medián-, és az átlagképző módszer. A kipróbált algoritmusok közül a medián és az MoD algoritmus bizonyult a mérés szempontjából leginkább alkalmasnak, de meg kell jegyezni, hogy bár a legpontosabb háttér a medián metódus szolgáltatja, nagy puffer-, és számításigénye miatt nem alkalmazható real-time körülmények között [3],[4]

A *háttér elkülönítése* a legegyszerűbb módon abszolút különbséggel (3), vagy relatív különbséggel képezhető (4).

$$D_{abs} \geq |B_n(x, y) - p_n(x, y)| \quad (3)$$

$$D_{rel} \geq \frac{|B_n(x, y) - p_n(x, y)|}{B_n(x, y)} \quad (4)$$

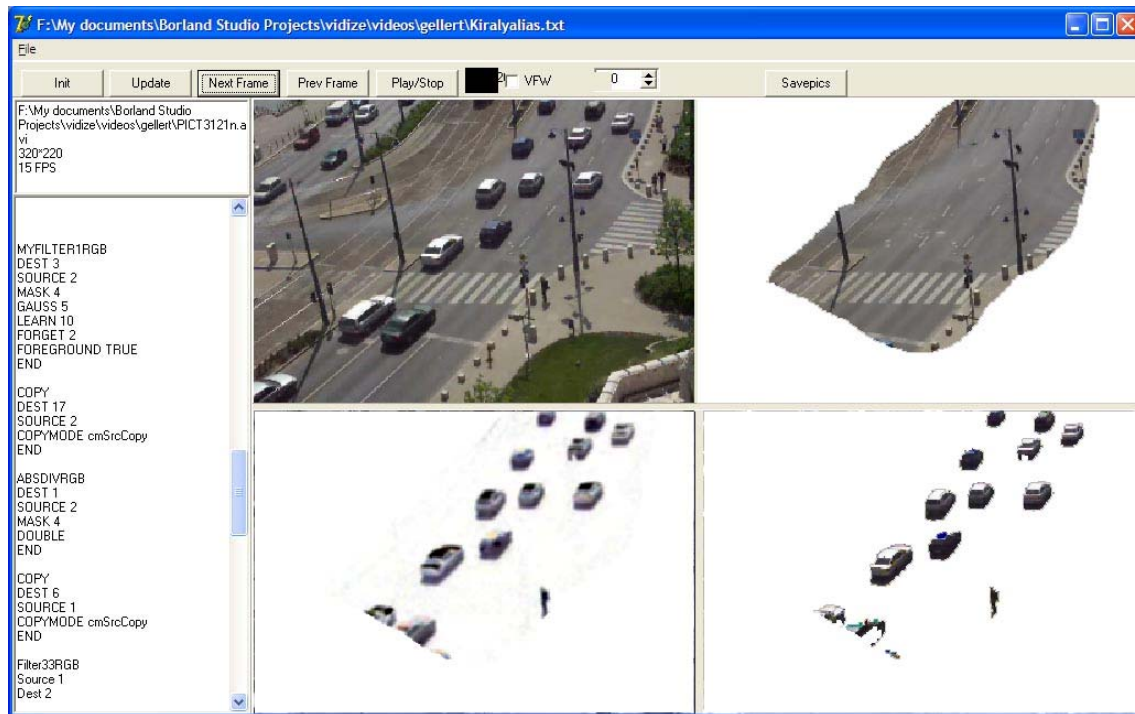
Az alacsony szintű zajokat sajnálatos módon ez a metódus nem szűri ki, így a kapott maszk nem használható fel egyértelműen. Az alacsony szintű zaj eltüntetéséhez fel lehet használni egy egyszerű „*noisegate/threshold*” szűrőt. Így alakul ki a végleges kép. (5)

$$M_{fg,n}(x,y) = \begin{cases} p_n(x,y), \text{ vagy } D_{abs} \\ 100\% \{ \text{fehér} \}, D_{rel} \\ 0 \{ \text{fekete} \}; \text{ egyébként} \end{cases} \quad (5)$$

Forgalmi paraméterek meghatározása

A háttér-elkülönítés eredményeként kapott járműmaszk-sorozatokból ki kell nyerni a forgalmi paramétereket. A feladat négy alapvető lépésre osztható: járművek körülhatárolása; járműregisztráció, pozíciósimítás és adatkinyerés.

A *körülhatároló algoritmus* kimenete egy olyan paraméterhalmaz, amely a keresési tartományában található, járműveket körülvevő pixelláncok adatait, vagy a pixelláncokat valamilyen elv alapján körülhatároló sokszög (jelen esetben téglalap) paramétereit tartalmazza. A körülhatároló algoritmusok közül az ún. „8-connectivity” algoritmus keríti be a kapott maszkokon a járműveket [5]. A videófeldolgozás eredményét a 2. ábra mutatja.



2. ábra: Háttérelkülönítés eredménye helyszíni felvételen - Eredeti kép, becsült háttér (MoD), kivonás eredménye, threshold és 8-connectivity

Az objektumkörvonalak időtengelyen való elhelyezésével, és a legközelebbi lévő objektumok közös azonosítóval való ellátásával kapható az egyes *járművek időbeni adatsora*. Ezen adatsorok pozícióit a felvétel körülményeitől függő geometriai átalakításon kell átvezetni. Mivel a kapott pozícióadatok zajosak, a hibát *mozgó ablakos polinomiális regresszióval* lehet csökkenteni.

A simított és összerendelt jármű-pozíció sorozatokból már – a mintavételi idő felhasználásával, – könnyen eredeztethető a járművek sebessége. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgált keresztmetszeten keresztülhaladó egyéb objektumokat (pl. gyalogosokat) méretük, pozíciójuk illetve sebességük alapján ki kell szűrni.

3 Mérési feladatok ismertetése

A fejezet néhány tipikus mérési feladatot ismertet, és a korábbi tapasztalatok, illetve a képfeldolgozó algoritmusok képességeinek ismeretében ajánlásokat ad a mérés tervezéséhez. Alapvetően két fő csoport kerül tárgyalásra, a mikro-, és a makroszkopikus jellemzők gyűjtése. Fontos megjegyezni,

hogy a mérés módját minden esetben a mérés céljának figyelembevételével, körültekintően kell megválasztani.

3.1 Mikroszkopikus mérések

Mikroszkopikus mérések esetén az egyes járművek egyedi paramétereit vizsgáljuk. Ennek többféle módja létezik:

Szakaszmenti mérések

A szakaszmenti mérések során a forgalom egy jól lehatárolható (kereszteződések nélküli) szakaszán történik a mérés. Ennek célja lehet a járműkövetési, illetve sávváltási modellek számára történő paraméterszolgáltatás, illetve a járművezetői szokások megfigyelése. A cél tehát ilyen esetben mindig a lehető leghosszabb szakasz belátása, ennek viszont ellentmond a kamera látószög növelésével fellépő geometriai torzítás, aminek eredményeképpen a pontos adatok kinyerése nehézkes. További problémát jelent ilyen esetben a rálátási szög meghatározása is. Ennek jelentősége abban nyilvánul meg, hogy – főleg többsávos és nagy forgalmú utak esetén a járművek takarhatják egymást, és ennek a jelenségnek a szűrése is komoly adatvesztéssel jár. A mikroszkopikus modellek paraméterpontosság igénye – a származtatott paraméterek miatt – igen nagy, ezért a digitális kamera pozíciójának meghatározásakor a maximum 0,2m/pixel felbontás betartását ajánlott. Célszerű ezért – amennyiben lehetőség van rá – több felvevőegység használata, mert így kisebb torzítással nagyobb pontossággal végezhető a mérés. Az ilyen mérésekhez tehát az alábbi előírányzatokat javasoljuk:

- Maximális kamera látószög: 55°
- Maximális pixel/m: 0,2
- Minimális FPS: 10
- Egymást egyszerre takaró járművek maximális száma: 2

Egy ilyen mérés telepítését mutatja a próbamérés ábrája.



3. ábra: Szakaszmenti mikroszkopikus mérés oldalról és felülről

Kereszteződés mérése

A kereszteződés mérésekor nem a járművek pontos pozíciójára, sokkal inkább a be-, és kihajtási pontok forgalma lehet érdekes, ennek megfelelően tekinthető a mérés makroszkopikus célúnak is. Amennyiben azonban az információt real-time szabályozásra akarjuk felhasználni a mérés értelemszerűen mikroszkopikus jellegű.



4. ábra: Kereszteződés mérése

A kereszteződés mérésekor ezért nincsenek olyan szoros megkötések, mint a szakaszmenti mérés esetén. A kameralátószög – a mérés forgalomszámlálás jellege miatt – akár extrém is lehet (halszemoptika), sőt ez a jelleg közeli kamerapozíció esetén kívánatos is, hiszen az „O-D” (Origin-Destination) adatok meghatározása sokkal egyszerűbb egy összefüggő felvételen. A járművek részletgazdag megjelenítésére nincs szükség, ezért nagy pixel/méter felbontás megengedett, továbbá sűrű videó-folyam sem szükséges.

- Maximális kamera látószög: nincs
- Maximális pixel/m: 2
- Minimális FPS: 0,3
- Egymást egyszerre takaró járművek maximális száma: 3-4

3.2 Makroszkopikus mérés

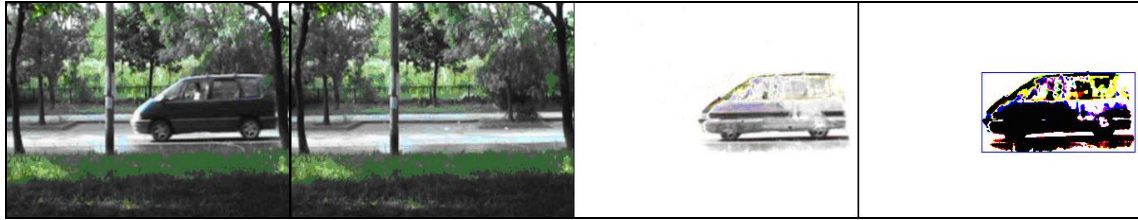
A makroszkopikus mérések célja általános forgalmi paraméterek (forgalomnagyság, forgalomsűrűség, forgalomsebesség) mérése. Ennek során általában két paraméter mérésére kerül sor és a harmadik a fundamentális egyenletből származtatható.

Szakaszmenti mérések

Szakaszmenti mérés esetén két megoldás áll rendelkezésre:

A forgalomnagyság mérése mindkét esetben szerepet kap, ezen belül:

1. A foglaltságot (forgalomsűrűség) mérése a szakasz két dedikált pontján. Ekkor a sebesség lesz a származtatott érték. A forgalomnagyságot a szakasz két pontján mérjük. Ebben az esetben igaz minden – a mikroszkopikus kereszteződésmérés eseté leírt megállapítás, azaz:
 - Maximális kamera látószög: nincs
 - Maximális pixel/m: 2
 - Minimális FPS: 0,3
 - Egymást egyszerre takaró járművek maximális száma: 3-4
2. Egyetlen egy keresztmetszetet vizsgálunk, ez igen megkönnyíti a képfeldolgozást, hiszen kislátószögű, kis torzítású beállítás is alkalmazható. A forgalomsebességet mérjük a keresztmetszeten. A származtatott érték ebben az esetben a forgalomsűrűség lesz:
 - Maximális kamera látószög: 55°
 - Maximális pixel/m: 0,1 (a kis látószög erre lehetőséget nyújt)
 - Minimális FPS: 10
 - Egymást egyszerre takaró járművek maximális száma: 1



5. ábra: Makroszkopikus keresztmetszeti mérés

4 Mintaalkalmazás

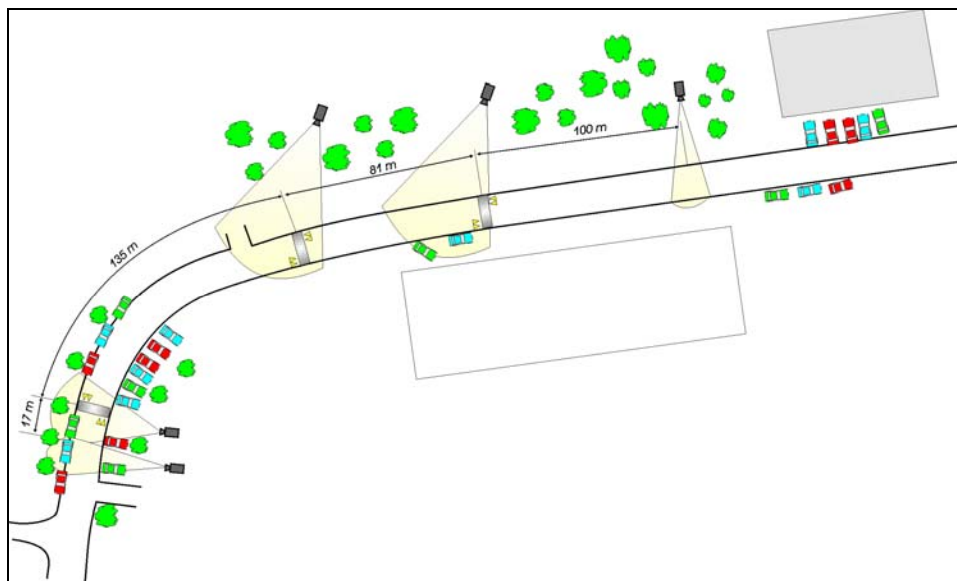
A videó alapú mérőrendszer prototípusának első próbamérésére 2006 júniusában került sor, ekkor egy mintaszakaszcso forgalomcsillapító eszközeinek hatásának vizsgálatát folytattuk. Fontos, hogy a sebességsökkentő eszközök hatását – helyszín és kialakítás ismeretében – még a tervezés fázisában meg lehessen határozni, el lehessen készíteni az ún. sebesség-diagramot az adott útszakaszra. [Ber] Ebben nyújtott segítséget a videó alapú mérés.

Olyan mérési helyszínt választottunk (Budapest XI. ker. Bártfai utca), ahol a csillapítás elég markáns ahhoz, hogy jelentős sebesség csökkentést eszközöljön, a járművezetők nem hagyhatják figyelmen kívül azt. A vizsgált útszakaszon több sebességsökkentő küszöböt alakítottak ki, amelynek geometriája 20 -30 km/h-s biztonságos áthaladást tesz lehetővé.

A helyszín kiválasztásánál fontos szempont volt az is, hogy különböző jellegű környezeti feltételek mellett vizsgálhassunk azonos kialakításokat. Az 1-es szakasz egyoldali párhuzamosan parkolt utcarész, ami gyakorlatilag egy sávra szűkíti a keresztmetszetet, a másik oldalon merőleges parkoló az úttesten túl. A második csillapítás ív és becsatlakozás után található, a látómezők korlátozottak. Mindkét csillapítás környezete segíti a csillapítást. A 3-as helyszín merőben más jellegű, lazán beépített, az úttest környezete szabad terület, nem érvényesül a lakóterületi jelleg. A 4-es mérési helyszínen csak keresztmetszeti sebességmérést végeztünk, aminek eredménye a járművezetői viselkedésre nézve fontos.

A vonali sebesség előzetes becslése:

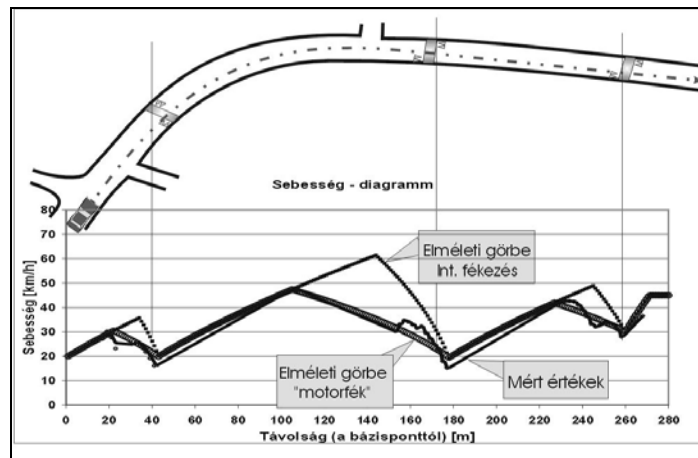
A környezeti jellemzők és a küszöbök méreteinek figyelembevételével az 1. és 2. keresztmetszetben 20 km/h-s sebességekkel kalkuláltunk, a 3. csillapításnál 30 km/h-s értéket vártunk. Két alapvető járművezetői viselkedést vettünk alapul, az egyik esetben a gyorsítást követően intenzívebb fékezéssel, a másikban gyakorlatilag csak „motorfékkel” lassítanak.



6. ábra: A mérési helyszín

Mérési eredmények – elméleti megfontolások ellenőrzése

A mérési helyeken járművenkénti méréseket tudunk végezni, így mind egyéni karakterisztikákat, mind egyes keresztmetszetekben megjelenő sebességértékeket megismerhettünk. Az egyes járművek követésével ellenőrizni tudtuk, hogy hogyan közelítik meg az „akadályt”, valamint milyen tipikus viselkedési módok különíthetők el. A keresztmetszetekhez tartozó értékekből meghatározható az átlagos sebességlefolyás. Ezt követően a mérési eredmények alapján felvettük a vonali sebességet jellemző diagramot. A mérési eredmények azt mutatják, hogy a mérsékelt fékezéssel számoló egyszerűsített sebesség-diagram jól közelíti a valóságos vonali sebesség-görbét. *Az eredmények rámutatnak továbbá, hogy a videó alapú mérés segítséget nyújt a forgalomtechnikai elemzésekben, és így a különböző kialakítások tervezésében is.*



7. ábra: Sebesség-diagram

5 Összefoglalás, továbbfejlesztési lehetőségek

Jelen cikkünk célja a forgalommérés egy korszerű lehetőségének, és alkalmazásának bemutatása volt, melynek fejlesztését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésautomatikai Tanszékén több éve végzünk. A rendszer fejlesztése azonban ezen a ponton nem áll meg, hanem különböző társterületek felé vezet. Célunk, hogy a forgalommérés során egyéb funkciók is beépítésre kerüljenek, mint például a járműkategóriák szerinti mérés implementálása.

6 Irodalom

- [1] Bonneson, J.-Abbas M.: Intersection Video Detection Manual, FHWA, 2002, available online : <http://tti.tamu.edu/documents/4285-2.pdf>
- [2] Al Bovik ed.: Handbook of Image and video processing, Academic Press, San Diego, 2000
- [3] Cheung, S. -Kamath, C. :Robust techniques for background subtraction in urban traffic video, Video Communications and Image Processing, Volume 5308, pp. 881-892, SPIE Electronic Imaging, San Jose, 2004
- [4] Bécsi T., and Péter T.: A Mixture of Distributions Background Model for Traffic Video Surveillance, Periodica Polytechnica Ser. Transp.Eng. Vol.34, No.1, 2006, pp. 1-9."
- [5] Tzay Y. Young, King-Su Fu: Handbook of pattern recognition and image processing, Academic Press, San Diego, 1986
- [6] Berta, T. – Bécsi T.: Effects on Speed of Traffic Calming Tools Installed on Urban Roads. Biztonságos utakon a XXI. században, Budapest, 2006 október (megjelenés alatt)