JÁRMŰIPARI FELSŐOKTATÁSI
ÉS KUTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS
TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

Közúti forgalomtechnikai paraméterek mérése és becslése

Készítette: Dr. Tettamanti Tamás, Dr. Varga István

Lektorálta: Csikós Alfréd

ISBN 978-615-5391-68-2

Tartalom

1. modul: Forgalomtechnikai paraméterek mérése és számítása 3
1. lecke: A közúti forgalom tér-idő alapú leírása 4
2. lecke: A közúti forgalmi adatgyűjtés 8
3. lecke: Statikus mérés 10
1. Statikus mérés egy keresztmetszetben 10
2. Mérés egymáshoz közeli két keresztmetszetben 11
3. Mérés hosszabb szakaszon 15
4. Az adatgyűjtés mintavételi ideje és a számítási időalap 15
4. lecke: Dinamikus mérés 17
1. Egyszerű dinamikus mérés 17
2. Összetett dinamikus mérés 17
5. lecke: A közúti forgalmi adatgyűjtésből származó adatok felhasználása 19
1. Belvárosi torlódást csökkentő rendszer - "dugódíj" 19
2. Távfelügyeleti rendszerek és forgalomirányító központok 19
3. Autópálya forgalomirányítás 20
4. Közlekedésmodellezés és előrejelzés 20
2. modul: Klasszikus mérőeszközök 22
1. lecke: Útpályához kapcsolódó járműérzékelők 24
1. Induktív hurokdetektor - az elektromágnesesség elvén alapuló érzékelés 24
2. Földmágnesességen alapuló járműérzékelés 28
3. Pneumatikus elven működő járműérzékelés 32

4. Piezoelektromos járműérzékelés 33
2. lecke: Útpályához nem kapcsolódó járműérzékelők 35
1. Kamerás képfeldolgozáson alapuló járműérzékelők 35
2. Fénymegszakításon alapuló érzékelés 37
3. Infravörös járműérzékelők 38
4. Ultrahangos detektorok 41
5. Radar- és lézerelvű járműérzékelés 43
6. Közösségi közlekedési járművek érzékelése előnybiztosítás céljából - "zöld út" kérés 46
3. lecke: Tengelysúly-mérés 49
1. Tengelysúly-mérő rendszerek csoportosítása 50
2. Statikus tengelysúly-mérés és kis sebességű WIM 52
2. Nagy sebességű WIM 53
3. modul: Alternatív mérőeszközök 56
1. lecke: Floating Car Data (FCD) 57
2. lecke: GPS alapú FCD 58
3. lecke: Mobiltelefon alapú FCD 59
4. lecke: Bluetooth alapú mérés 61
Irodalom 62

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

1. modul: Forgalomtechnikai paraméterek mérése és számítása

Cél:

A tananyag célja az alapvető közúti forgalomtechnikai paraméterek megismertetése, ill. azok alapvető mérési és számítási módszereinek bemutatása.

Követelmények:

Ön akkor sajátította el megfelelően a tananyagot, ha képes

- felsorolni az alapvető forgalomtechnikai paramétereket,
- felsorolni a statikus mérések különböző formáit és az így mérhető, ill. számítható paramétereket,
- megfogalmazni az időbeli és térbeli átlagsebesség fogalmát és kettő közötti különbséget,
- megfogalmazni a CFL feltételt,
- felsorolni a dinamikus mérések típusait.

Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 2 órára lesz szüksége.

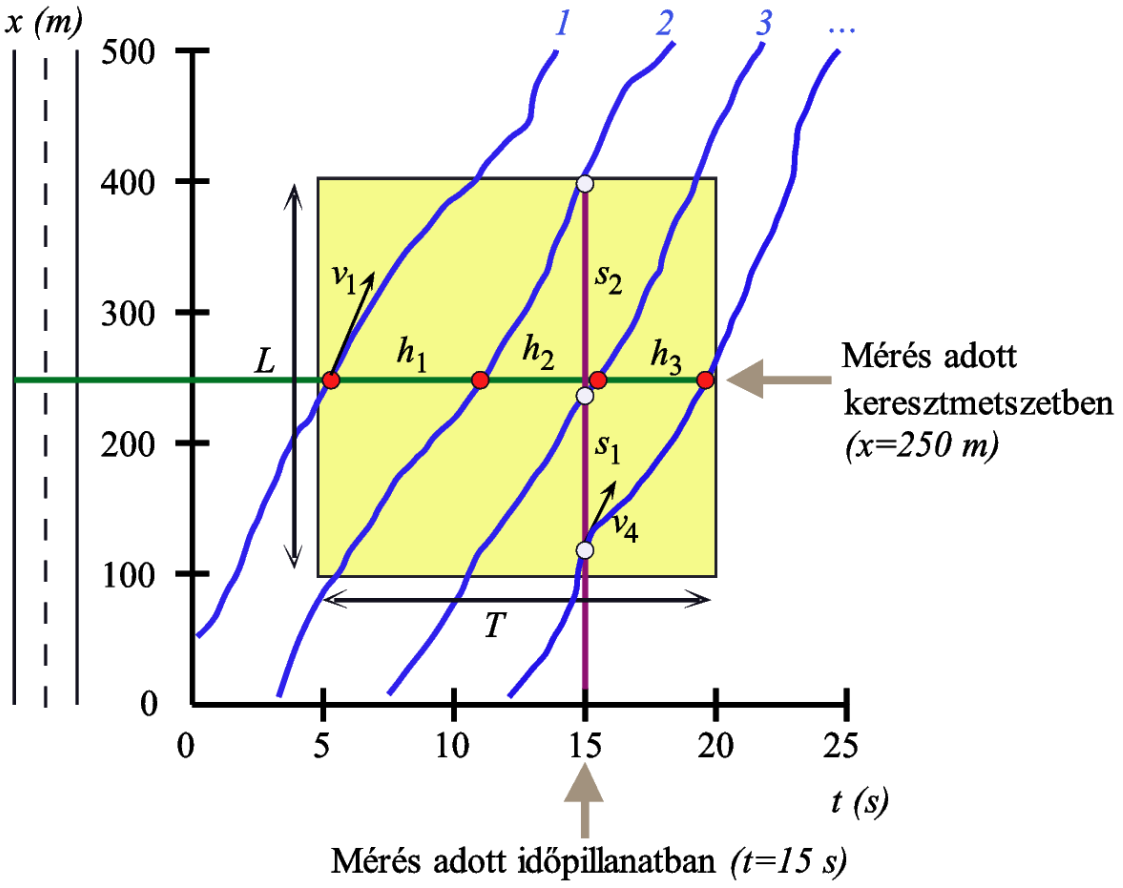
Kulcsfogalmak:

- forgalomtechnikai paraméterek,
- statikus mérés,
- CFL feltétel,
- forgalomnagyság,
- forgalomsűrűség,
- lokális vagy időbeli átlagsebesség,
- momentán vagy térbeli átlagsebesség,
- dinamikus mérés.

1. lecke: A közúti forgalom tér-idő alapú leírása

A forgalom tér-idő alapú leírása a forgalomlefolyás alapvető fizikáját és a kapcsolódó főbb mikro-, ill. makroszkopikus forgalmi paraméterek definícióját foglalja össze (Luspay et al., 2011). A közúti forgalom mikroszkopikus leírásáról akkor beszélünk, ha a résztvevő járműegyedek mozgásjellemzőivel írjuk le a forgalmat. A makroszkopikus tárgyalás során pedig az individuális változókat figyelmen kívül hagyva átlagos, ún. makroértékekkel jellemezük a vizsgált forgalmat - gyakorlatilag áramló közegként.

Megértéséhez ábrázoljuk egy adott útszakaszon elhaladó járművek trajektóriáit közös $L-T$ tér-idő diagramban (lásd sárga négyszög az alábbi ábrán)! Először vizsgáljuk meg a forgalmat az út egy adott keresztmetszetében ($x = 250\ m$) egy adott T időtartamon keresztül, majd kvázi légi fotóként az egész L útszakaszt egy adott időpillanatban ($t = 15\ s$).



1. ábra: Keresztmetszeti (lokális) és pillanatnyi (momentán) mérés szemléltetése tér-idő diagramon

A fenti ábra jelöléseit figyelembe véve jelölje N a megfigyelési keresztmetszeten egy adott T idő alatt áthaladó járműszámot, és v_i $(i = 1, \dots, N)$ a járművek áthaladásakor mért sebességét. Ezek alapján a következő lokális (azaz keresztmetszeti) forgalmi változókat definiálhatjuk:

- Forgalomnagyság (többféle angol kifejezés is van rá: traffic flow / traffic volume / traffic intensity): adott időegység alatt egy adott keresztmetszeten áthaladó járműszám. Jele: q, mértékegysége: jm/óra.

$$q = \frac{N}{T}$$

- Időbeli vagy lokális átlagsebesség (time-mean speed): adott idő alatt egy adott keresztmetszeten áthaladt járművek sebességének számtani átlaga. Jele: v_t, mértékegysége: m/s.

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^{N} v_i}{N}$$

- Követési idő (time headway): egy adott keresztmetszeten áthaladó, két egymást követő jármű belépési időpontjai között eltelt idő. Jele: h_i, mértékegysége: s.

Legyen a megfigyelt L hosszú szakaszon elhelyezkedő járművek száma M és a pillanatnyi sebességük $v_j, j = 1, \dots, M$!

Ezek után a következő momentán (adott pillanatbeli) forgalmi változókat definiáljuk:

- Forgalomsűrűség vagy járműsűrűség (traffic density): egy adott útszakaszon, egy adott időpillanatban jelen lévő járművek számának és a szakasz hosszának hányadosa. Jele: ρ, mértékegysége: jm/km.

$$\rho = \frac{M}{L}$$

- Térbeli vagy momentán átlagsebesség (space-mean speed): egy adott pillanatban a vizsgált útszakaszon elhelyezkedő járművek sebességeinek számtani átlaga. Jele: v_s, mértékegysége: m/s.

$$v_s = \frac{\sum_{j=1}^{M} v_j}{M}$$

- Követési távolság (distance headway): adott időpontban két jármű azonos pontja (tipikusan a járművek orra) közötti távolság. Jele: s_j, mértékegysége: m.

Megjegyzés: Az M jármű-darabszámot jelöl - hasonlóan a keresztmetszeti változók definiálásakor használt N-hez. A különböző jelölés oka annak kihangsúlyozása, hogy ezek különbözőféleképpen mért paraméterek. Az N-t egy adott keresztmetszetben történő méréssel kapjuk, míg az M-et egy adott útszakaszon jelen lévő járművek detektálásával.

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

A bevezetésre került forgalomtechnikai változókat az alábbi táblázatban foglaljuk össze megkülönböztetve a mikro-, ill. makroszkopikus szemléletet.

Megfigyelés	Mikroszkopikus változók (egyedi jármű paraméter)	Makroszkopikus változók (forgalmi áramlat tulajdonságai)
Lokális (keresztmetszeti)	Követési idő (h_i)	Forgalomnagyság (q) Időbeli (lokális) átlagsebesség (v_t)
Pillanatnyi	Követési távolság (s_i)	Forgalomsűrűség (ρ) Térbeli (momentán) átlagsebesség (v_s)
Lokális/pillanatnyi	Járműsebesség és trajektória	-

A fenti változók közötti összefüggést tükrözi az áramlástanból kölcsönzött ún. fundamentális egyenlet (Luspay et al., 2011), amely áramló közegként szemlélteti a közúti forgalmat:

$$q = \rho v_s$$

Ez tehát a forgalomáramlás alapösszefüggése, amely három makroszkopikus változó (forgalomnagyság, forgalomsűrűség, és térbeli átlagsebesség) között teremt kapcsolatot.

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

2. lecke: A közúti forgalmi adatgyűjtés

A közúti forgalmi adatgyűjtés során felmerülő legelső kérdés az, hogy pontosan milyen adatokra is van szükségünk? Az adatgyűjtés végtermékeként olyan forgalomtechnikai paramétereket célszerű előállítanunk, amelyekre a forgalomirányításnak vagy a közlekedőknek szüksége lehet.

Az adatgyűjtés során a járműforgalmat jellemző változók és paraméterek pontos és aktuális értékét kell meghatározni, valamilyen fizikai elven működő mérőberendezés segítségével. A közúti forgalmi mérésekből származó adatok felhasználása lehet azonnali (online), vagy későbbi feldolgozású (offline). A Dalgleish & Hoose (2008) által megfogalmazott definíció alapján:

- Online vagy valós idejű mérési adatokról beszélünk, amennyiben az érzékelők által regisztrált információk folyamatosan, kvázi valós időben értékelődnek ki. Természetesen valódi valós idejű adat nem létezik, hiszen már önmagában az adatkommunikációból is adódik késleltetés. Általában valós idejű információnak tekintjük a legfeljebb 15 percen belül feldolgozott és döntéshozásra felhasznált adatot. Online mérésekre elsősorban a helyi, operatív irányítást végző berendezéseknek, rendszereknek van szüksége, amelyek adatkiszolgálása csak gyorsan és folyamatosan frissülő adatokkal lehetséges. Újabban ugyanakkor az utazóközönséget kiszolgáló szolgáltatások is nagymértékben építenek ezen adatokra (pl. forgalomfüggő útvonaltervezők, dugótérképek).
- Offline vagy historikus mérési adatokról beszélünk, amennyiben a begyűjtött információk a valós idejűnél régebbiek, azaz az adatok nem azonnal kerülnek feldolgozásra. Az így létrejövő archív adatbázis adatokat forgalomtechnikai tervezéshez, ill. különböző utazóközönségi szolgáltatásokhoz lehet hatékonyan felhasználni. A historikus adatok jól kombinálhatók online mérésekkel. Magas minőségű szolgáltatások megvalósításához valójában mindkettő együttes alkalmazása szükséges.

Példák valós idejű adatokra:

- hurokdetektorral mért foglaltság forgalomfüggő (bejelentkezéses) jelzőlámpás forgalomirányítás megvalósításához,
- mozgás közben megvalósított tengelysúly-mérés (piezoelektromos detektorral) mérőterminálra való kitereléshez (előszűrés).

Példák historikus adatokra:

- forgalomszámlálás hurokdetektorral az adott útszakasz napi forgalomlefolyásának analíziséhez,
- kereszteződésben mért Bluetooth alapú (lásd 3. modul 3. lecke) honnan-hová adatok az átlagos fordulási ráták meghatározásához pl. fix idejű jelzőlámpás irányítás tervezéséhez.

A fentiek mellett a közúti forgalmi méréseket csoportosíthatjuk még a mérőeszköz elhelyezkedése szerint. Eszerint megkülönböztetünk statikus és dinamikus mérést:

- Statikus mérés alatt azokat a módszereket értjük, amikor az út vagy környezete egy rögzített pontjáról történik a mérés.
- Dinamikus mérés során egy adott járművel együtt mozogva mérik a forgalom különböző paramétereit.

3. lecke: Statikus mérés

A statikus mérés során rögzített mérőberendezéssel végezzük a forgalmi méréseket. A méréseket térben és időben is le kell határolni. A térbeli lehatárolás szerint a mérések történhetnek:

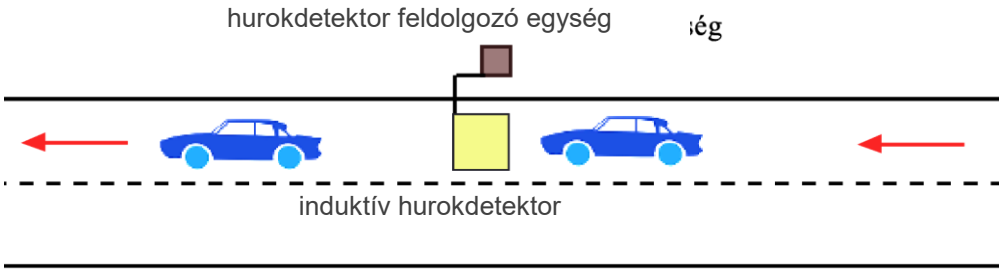
- egy keresztmetszetben (egy pontban),
- egy rövid szakaszon (két pontban),
- egy hosszabb útszakaszon.

Az időbeli lehatárolás szerint megkülönböztethetünk:

- pillanatnyi (fényképszerű) mérést,
- hosszabb időintervallumon történő mérést.

1. Statikus mérés egy keresztmetszetben

Egy keresztmetszetben vagy egy pontban történő statikus mérés esetén, az útszakasz egy adott keresztmetszetében történő változásokat figyelő mérőegységről és módszerről beszélünk. Bár ezt az adatgyűjtést keresztmetszeti mérésnek nevezzük, a mérőeszközök sajátosságai miatt a mérésnek lehet hosszanti kiterjedése is (pl. hurokdetektorok esetén 1-2 méter hosszúságú útszakasz).



2. ábra: Mérés hurokdetektorral egy keresztmetszetben

Egy adott útszakasz egy megfigyelt keresztmetszetében az alábbi mennyiségeket tudjuk közvetlenül mérni:

- Járműszám (number of vehicles): a regisztrált járművek darabszáma.
- Időbeli foglaltság (time occupancy): egy mértékegység nélküli paraméter (%), mely egy adott útszakasznak (pl. a hurokdetektor mérési keresztmetszetének) a járművek által történő, időbeli lefedettségi arányát adja meg:

$$o_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{T}$$

ahol t_i az i-edik jármű tartózkodási ideje a mérőhely felett, T pedig a megfigyelési időintervallum.

- Követési idő: definícióját lásd az 1. leckében.

Egy darab keresztmetszeti mérésből közvetlenül nem mérhető, azonban számítható paraméterek:

- Forgalomnagyság: definícióját lásd az 1. leckében.
- Forgalomsűrűség: definícióját lásd az 1. leckében.
- Pillanatnyi sebesség: a klasszikus keresztmetszeti mérőpontok nem alkalmasak az elhaladó jármű sebességének pontos mérésére, ugyanakkor a mérőeszköz és a járművek átlagos hosszának az ismeretében közelítőleg kiszámítható.

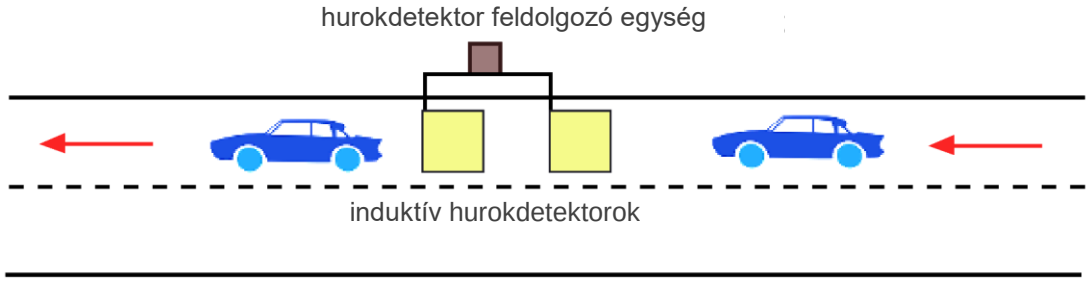
$$v_i = \frac{\bar{l}^{veh} + l^{det}}{t_i}$$

ahol $\bar{l}^{veh}$ az átlagos járműhossz és l^{det} a detektor hosszanti kiterjedése. Természetesen ez a módszer igen érzékeny a forgalomösszetétel ingadozására, ezért inkább olyan helyen alkalmazható, ahol túlnyomórészt személyautók közlekedése jellemző vagy a forgalomösszetétel nem ingadozik. Ugyanakkor megfelelő szűréssel a kiugró (pl. busz által okozott) értékek kiszelektálhatók.

2. Mérés egymáshoz közeli két keresztmetszetben

Két pontban, rövid (néhány méteres) szakaszon történő mérés esetén, ugyanazok a paraméterek mérhetőek és számíthatóak, mint az egy pontbeli esetnél. Továbbá ekkor már lehetőség van a pillanatnyi sebesség pontos meghatározására is a két mérőpont távolsága és a jármű által a két pont között megtett idő hányadosa alapján. A sebességek pontos mérhetősége miatt ebben a leckében kitérünk az átlagsebességek közötti elméleti kapcsolatra is, amely lehetővé teszi, hogy csak a pillanatnyi sebességekből következtessünk időbeli és térbeli sebességre egyaránt.

További újabb paraméterként jelenik meg a követési távolság, ill. az átlagos járműhossz, amelyek nem mérhetők közvetlenül két mérőpont esetében sem, de a pillanatnyi sebesség és a követési idő alapján közelítőleg számíthatók.



3. ábra: Mérés hurokdetektorral két pontban

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

A két keresztmetszetes detektálás esetén (az egy pontban történő méréshez képest) az alábbi változók számíthatók még ki pluszban:

- Követési távolság: definícióját lásd az 1. leckében.
- Átlagos járműhossz: súlyozott átlagként számítható.

$$\bar{l}^{veh} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{v_i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{v_i}}$$

  ahol v_i az adott jármű pillanatnyi sebessége a két mérési pont között, l_i pedig a hossza (ez a lemért átlagsebesség alapján kiszámítható).
- Átlagsebesség: térbeli és időbeli átlagsebességeket képezhetünk (definíciójukat lásd az 1. leckében) csupán a mért pillanatnyi sebesség értékekből (Wardrop, 1953) a következők szerint:
  - Az időbeli (lokális) átlagsebesség egy adott keresztmetszeten detektált egyedi járműsebességek számtani átlagaként számolható, mint azt láthattuk is az 1. leckében:

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^{N} v_i}{N}$$

  - A térbeli (momentán) átlagsebesség pedig (szintén az 1. lecke definíciója szerint) egy adott pillanatban a vizsgált útszakaszon elhelyezkedő járművek sebességeinek számtani átlaga:

$$v_s = \frac{\sum_{j=1}^{M} v_j}{M}$$

    A fenti egyenlethez képest ugyanakkor lehetőség van a térbeli átlagsebesség felírására csupán a keresztmetszetben mért járműsebességek alapján (jelen esetben két pont segítségével detektálva) a harmonikus átlag képletét alkalmazva:

$$v_s = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{v_i}}$$

    Ennek megértéséhez tekintsünk egy Δx hosszúságú útszakaszt, amit egy v_i egyenletes sebességgel haladó jármű $t_i = \frac{\Delta x}{v_i}$ idő alatt tesz meg. Ekkor N darab jármű esetén átlagosan:

$$t_s = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} t_i = \frac{\Delta x}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{v_i}$$

    idő szükséges az út megtételéhez. A térbeli átlagsebesség általánosított értelmezése szerint:

$$v_s = \frac{\Delta x}{t_s}$$

    amit beszorozva $\frac{N}{N}$-nel, és behelyettesítve t_s fenti képletét:

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

$$v_s = \frac{N}{N}\frac{\Delta x}{t_s} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{v_i}}$$

azaz a térbeli átlagsebesség a keresztmetszetben mért egyedi járműsebességek harmonikus átlagával egyezik meg.

Megjegyzés:

Az időbeli és térbeli átlagsebességek között a következő összefüggés áll fenn az ún. Wardrop összefüggés alapján (Wardrop, 1953):

$$v_t = v_s + \frac{\sigma_s^2}{v_s}$$

ahol σ_s^2 a térbeli átlagsebesség szórásnégyzete. Lokális mérések esetén a v_t és annak a szórásnégyzete, a σ_t^2 számítása az egyszerűbb, ezért a következő közelítő összefüggés is fontos:

$$v_s \approx v_t - \frac{\sigma_t^2}{v_t}$$

A harmonikus átlag sosem haladja meg a számtani átlagot, így a térbeli átlagsebesség mindig kisebb, mint az időbeli átlagsebesség.

Számítási példa:

Egy útszakasz egy keresztmetszetében adott mintavételi idő alatt 5 jármű haladt el rendre 45-65-70-50-45 km/h sebességgel. A mérési intervallumra vonatkozóan végezzük el a következő feladatokat!

- Számoljuk ki az időbeli átlagsebességet és az időbeli átlagsebesség szórásnégyzetét!
- Számoljuk ki a térbeli átlagsebességet a közelítő összefüggéssel is!
- Ellenőrzésként számítsuk ki az térbeli átlagsebességet harmonikus átlagként is!
- Számítsuk ki a térbeli átlagsebesség szórásnégyzetét!

Megoldás:

Az időbeli átlagsebesség:

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^{N} v_i}{N} = \frac{45+65+70+50+45}{5} = 55\ km/h$$

Az időbeli átlagsebesség szórásnégyzete:

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{5}(45-55)^2 + \frac{1}{5}(65-55)^2 + \frac{1}{5}(70-55)^2 + \frac{1}{5}(50-55)^2 + \frac{1}{5}(45-55)^2 = 110$$

A térbeli átlagsebesség a közelítő összefüggés alapján:

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

$$v_s \approx v_t - \frac{\sigma_t^2}{v_t} \approx 55 - \frac{110}{55} \approx 53\ km/h$$

A térbeli átlagsebesség kiszámítása harmonikus átlagként:

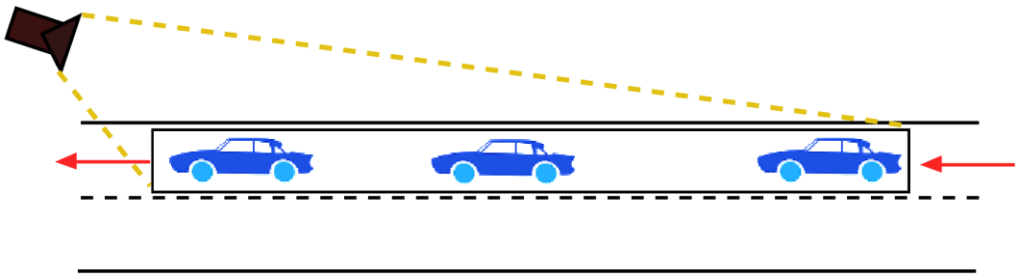
$$v_s = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{v_i}} = \frac{5}{\frac{1}{45} + \frac{1}{65} + \frac{1}{70} + \frac{1}{50} + \frac{1}{45}} = 53{,}13\ km/h$$

A térbeli átlagsebesség szórásnégyzete:

$$\sigma_s^2 = v_s(v_t + v_s) = 53{,}13(55 - 53{,}13) = 103{,}09$$

3. Mérés hosszabb szakaszon

Hosszabb szakaszon történő mérés esetén az egész megfigyelt útszakaszról egyszerre gyűjtünk forgalmi adatokat (pl. pillanatfelvételek kamerás mérőeszközzel).



4. ábra: Mérés hosszabb szakaszon (pl. kamerával)

Az ilyen típusú mérés megfelel az időben rögzített, térbeli megfigyelés alapesetének, azaz közvetlenül meghatározható a szakaszon tartózkodó járművek száma, a követési távolság, valamint könnyen számítható a forgalomsűrűség is. Az időben egymást követő mérési módszer esetén a mérés időben és térben is változó lesz, és megállapítható a járművek pillanatnyi sebessége, abból egyszerű számtani átlaggal képezhető a térbeli átlagsebesség. Valójában az ilyen típusú méréssorozatban kirajzolódik valamennyi jármű trajektóriája is, és ezzel minden fontos forgalomtechnikai változó meghatározhatóvá válik. A forgalomnagyság meghatározása a definíciójából adódóan egy konkrét keresztmetszet kijelölését igényli a mérés alá vont hosszabb szakaszon. Ebből adódóan valamennyi keresztmetszethez más-más forgalomnagyság tartozik.

Az előző mérési konfigurációkhoz képest egy további forgalmi paraméter is számítható a hosszabb szakaszon való mérést követően. Ez a térbeli foglaltság, amely az adott útszakaszt a járművek által térben lefedett hosszúságnak, valamint a mérési útszakasz teljes L hosszának a hányadosa:

$$o_s = \frac{\sum_{j=1}^{m} l_j}{L}$$

ahol l_j a j-edik jármű által lefedett hossz.

4. Az adatgyűjtés mintavételi ideje és a számítási időalap

A forgalmi adatgyűjtés során fontos meghatározni a mérés mintavételi idejét és a számítási időalapot. Ez a két időegység alapvetően meghatározza a mért és számított értékeket, és ezzel nagyban befolyásolja a forgalmi adatgyűjtés végeredményét. Köztudott, hogy a méréstechnikában a mintavételi idő kiemelt szerepet játszik, meghatározásához a mért rendszer alapvető folyamatainak ismerete is szükséges.

A mintavételi idő meghatározásához egy adott Δ hosszúságú útszakaszon történő mérés esetén a következő összefüggést kell a közúti közlekedésben figyelembe venni:

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

$$T \leq \frac{\Delta}{v_{max}}$$

ahol v_{max} az adott útszakaszra jellemző sebesség felső korlátja. Azaz a T mintavételi időnek felső korlátja van. Ez az ún. Courant-Friedrichs-Levy feltétel. Az összefüggés alapja annak a felismerése, hogy a képletben meghatározott mintavételi időnél nagyobb időegység esetén a gyorsan haladó járműveket nem rögzítjük.

A forgalmi mérések során nem tudunk minden változót közvetlenül meghatározni az elsődlegesen mért adatokból, némelyeket csak számítással tudunk megadni. A számítás végeredményét az időalap erősen befolyásolja. A hagyományos forgalomszámlálás esetében a mérésekből származó elsődleges adatokat általában éves, napi, órás, vagy legfeljebb 15 perces időalapon összesítették, átlagolták. Korszerű, adaptív rendszerek (forgalomfüggő irányítás) esetén szükséges a mintavételi idő és az elsődleges adatokból történő számítás idejének a csökkentése. Az időalap túlságosan alacsony értékre történő megválasztása sem helyes, mert az az adatok zajosságát fokozza. Általában azt lehet mondani, hogy a megvalósított gyakorlati rendszerekben az 1-5 perces időalapokat érdemes használni. A számítási időalap mindig nagyobb, mint a mintavételi idő, vagy azzal megegyező.

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

4. lecke: Dinamikus mérés

A dinamikus mérés során a mérőeszköz (általában egy mérőautó) a forgalomban résztvevő járművekkel együtt halad. Így térben és időben változó mérésről beszélünk. Alapvetően kétféle dinamikus módszer terjedt el.

1. Egyszerű dinamikus mérés

Az egyszerű dinamikus mérés során a mérőkocsi a forgalommal együtt haladva saját forgalmi jellemzőit méri, amelyek a következők lehetnek:

- út-idő adatpárok,
- sebesség-idő adatpárok,
- menetdinamikai értékek (pl. megállások száma),
- vezetéskényelmi értékek,
- láthatósági jellemzők,
- egyéb saját, forgalmi és jármű paraméterek.

A mért út-idő adatpárok alapján a járműtrajektória, a sebesség-idő adatok alapján a sebességdiagram rajzolható fel. A többi paraméter minőségi jellemzőként értékelhető.

Amíg korábban kifejezetten tesztjárművekkel végeztek ilyen méréseket, az utóbbi időben az ún. FCD (Floating Car Data) mérések kerülnek egyre inkább előtérbe. Az ilyen mérések alapvetően GPS pozíció információk felhasználásával szolgáltatnak adatokat. Az FCD adatok tipikusan flottamenedzsment rendszerek által üzemeltetett járművek monitorozása során áll elő. Ugyanakkor FCD információkat nap mint nap számtalan más rendszerben is gyűjtenek mind a privát (pl. taxik), mind a közösségi közlekedésben (pl. buszok). Az FCD-ről részletesebben a 3. modulban olvashatunk.

2. Összetett dinamikus mérés

Ezt a mérési technikát Wardrop és Charlesworth dolgozta ki 1954-ben (Wardrop & Charlesworth, 1954). Az összetett dinamikus mérés esetén egy adott útszakasz forgalmi folyamatát két méréssorozat végrehajtásával figyeljük meg. Az első mérésnél a mérőkocsi végighalad az adott útszakaszon a megfigyelt forgalmi áramlatban, és méréseket végez, majd az út végén megfordul, és a megfigyelt forgalommal szemben haladva is végigmegy ugyanazon az útszakaszon. Az összetett mérésekhez alkalmazott összefüggések:

$$q = \frac{x + y}{t_a + t_w}$$

$$\bar{t}_s = t_w - \frac{y}{q}$$

ahol q a megfigyelt forgalmi áramlat becsült forgalomnagysága, $\bar{t}_s$ pedig a megfigyelt forgalmi áramlat becsült átlagos utazási ideje. x azon járművek száma, amelyekkel a mérőkocsi találkozik a visszafelé történő mérőútja során a szemközti sávban, azaz a megfigyelt áramlatban. y a mérőkocsit

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

megelőző és a mérőautó által megelőzött járművek számának a különbsége a megfigyelt forgalomban haladás során. t_a az az utazási idő, amikor a mérőkocsi a megfigyelt forgalommal együtt halad. t_w pedig a megfigyelt forgalommal való szemben haladás utazási ideje.

5. lecke: A közúti forgalmi adatgyűjtésből származó adatok felhasználása

A forgalmi adatgyűjtésből származó mérések, ill. a mérésekből előállított, számított vagy becsült forgalomtechnikai paraméterek felhasználásának számtalan lehetősége van. Ebben a leckében a tipikus közlekedésmérnöki alkalmazásokat és az azokhoz szükséges adattípusokat soroljuk fel (Dalgleish & Hoose, 2008), de természetesen a forgalmi adatoknak ezen kívül még számos felhasználási formái lehetnek.

1. Belvárosi torlódást csökkentő rendszer - "dugódíj"

A nagyvárosok egyes területeinek (tipikusan belváros) sűrű közúti forgalma rendszeres forgalmi torlódásokat okoz a világ minden táján. Ez a jellemző folyamat ráadásul fokozódó tendenciát mutat a városok méretének és ezzel együtt a mobilitási igény növekedése miatt. A probléma részleges kezeléseként számos nagyvárosban alkalmaznak behajtási díjat ("dugódíjat"), pl. London, Milánó, Szingapúr.

Az ilyen rendszerek megtervezése, fenntartása, valamint szükség szerinti módosítása egyaránt megfelelő mennyiségű historikus, ill. valós idejű forgalmi adatot igényel. Elsőként a védendő zónák meghatározásához szükséges minimálisan: célforgalmi mátrix, jellemző utazási idő adat, ill. releváns forgalomnagyság (igény) adatok. Ezeket jellemzően kamerás és hurokdetektoros mérésekkel állítják elő, amelyeket kikérdezésen alapuló statisztikai adatokkal is kiegészítenek. A már kiépített rendszer pedig rendszámfelismerő kamerákon alapuló, folyamatos ellenőrzéssel üzemel. Egy "dugódíj" rendszer bevezetése után azonban számolni kell a forgalmi igények és folyamatok átrendeződésével, aminek következtében lehetséges, hogy a meglévő zónák módosítása vagy újabb védendő zónák kijelölése szükséges. Ehhez természetesen ugyanazon forgalmi adatok folyamatos feldolgozása kell, amelyet a rendszer tervezésekor is használnak.

2. Távfelügyeleti rendszerek és forgalomirányító központok

A közúti jelzőlámpás irányításhoz szorosan kapcsolódnak az ún. távfelügyeleti rendszerek, amelyeket alapvetően a forgalomirányító berendezések állapotának automatikus monitorozására használnak (pl. berendezés hiba, jelzőlámpa izzó kiégés felügyelete). A távfelügyeleti rendszerek az elmúlt évtizedben néhány egyéb funkcióval is kiegészültek, pl. kézi jelzőlámpa-program kapcsolás, vagy forgalmi tendenciák vizsgálata hurokdetektoros mérések alapján.

A távfelügyeleti szolgáltatásokon is túlmutatva a forgalomirányító központok már teljes mértékben egy hálózati irányítási koncepció megvalósítására hivatott rendszerek. Egy központ a funkciójától függően nagyon sokféle lehet. Egyrészt ez jelenthet csupán néhány szervert, amely optimálisan irányítja például egy kisváros néhány tíz csomópontból álló jelzőlámpás hálózatát. Más esetben a szerverek mellett egy diszpécserszoba is működik, ahol például a valós idejű forgalomfigyelő kamera képeket lehet monitorozni. A lehetőségek persze határtalanok, hiszen egy fejlett forgalomközpont komplett városok hálózati irányítását is megvalósíthatja magába foglalva a közösségi közlekedési rendszer előnyben részesítési feladatait vagy egyéb utazói információs szolgáltatások ellátását.

A fentiek alapján látható, hogy mindkét rendszer számára elengedhetetlen a megfelelő online és offline forgalmi mérés. Főleg, hogy a forgalomirányító központok célja a forgalomfüggő ("traffic responsive control"), optimális irányítás megvalósítása összetett matematikai optimalizáló algoritmusok mentén. Ehhez gyakorlatilag minden mérési adat jól jöhet. A szolgáltatási színvonalat pedig jellemzően a mért és becsült forgalomtechnikai paraméterek mennyiségének és minőségének kombinációja adja meg.

3. Autópálya forgalomirányítás

Természetesen az autópályák esetében is szóba jönnek forgalomirányító központok, amelyek feladatai és céljai nagyjából azonosak az előző fejezetben leírtakkal, csupán az alkalmazott eszközök különbözőek.

Autópálya forgalomirányító rendszer esetén is minél több forgalmi mérés teszi lehetővé a minél magasabb szolgáltatási színvonalat. Néhány ilyen jellemző célt és a szükséges forgalomtechnikai paramétert gyűjtöttük össze az alábbi táblázatban.

Célok	Szükséges forgalmi paraméterek
Változtatható jelzésképű táblák alkalmazása útvonalajánlás, utazói információ nyújtása, dinamikus sebességkorlátozás céljából	jellemzően kamerával, hurokdetektorral meghatározott célforgalmi adatok, utazási idő, forgalomnagyság, forgalomsűrűség
Automatikus incidens detektálás torlódások minél gyorsabb felismerésére	hurokdetektoros méréssel meghatározott sebesség, forgalomnagyság, forgalomsűrűség adatok
Autópálya kapacitásnövelés változtatható sebességkorlátozással, változtatható sávok alkalmazásával, felhajtás korlátozással (ramp metering).	
Autópályadíj és tengelysúly terhelés ellenőrzése	rendszámfelismerő kamerarendszerrel történő járműazonosítás és útpályába épített érzékelőkkel történő tengelysúly mérés

4. Közlekedésmodellezés és előrejelzés

A forgalommodellezés a korszerű közlekedésmérnöki munka egyik alapvető tevékenysége. A ma már kielégítően gyors számítási kapacitással dolgozó, korszerű szimulációs szoftvereknek köszönhetően elmondható, hogy a forgalommodellezés gyakorlatilag bármilyen

közlekedésfejlesztési projekt szerves része; legyen az előzetes hatástanulmány, fejlesztés, hatáselemzés, vagy felülvizsgálat.

Alapvetően makro- és mikroszkopikus modellezést különböztethetünk meg. Az előbbivel a forgalom egészének vizsgálatát lehet elvégezni, akár egy egész országra vonatkozóan is. Utóbbi pedig a forgalom dinamikájának részletes szimulációjára alkalmas, jellemzően néhány összefüggő csomópont, vagy akár adott városrészek vizsgálatához.

A makroszkopikus modellezéshez tipikusan a forgalmi igények ismerete, jellemzően a célforgalmi mátrix ("Origin-Destination": OD mátrix) ismerete szükséges. Ennek meghatározása kikérdezéses és egyéb statisztikai módszerrel, hurokdetektoros mérésekkel, ill. rendszámfelismerő kamerarendszerrel történhet, továbbá egy korszerű lehetőségként adódik a mobiltelefon cellainformációk felhasználása is.

A mikroszkopikus modellezéshez gyakorlatilag az előbb felsorolt mérések alkalmazhatók, de további lehetőségként az FCD (Floating Car Data) adatok is nagyon hasznosak lehetnek, pl. útszakaszok pontos utazási idejének meghatározásához.

A közlekedésmodellezés egy érdekes felhasználási formája a rövid és hosszú távú forgalmi előrejelzés a meglévő historikus, ill. valós idejű forgalmi adatok alapján. Megfelelő becslési algoritmusok alkalmazásával például akár megbecsülhetők a hálózatban kialakuló torlódások, még azok megjelenése előtt.

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

2. modul: Klasszikus mérőeszközök

Cél:

A tananyag célja a közúti forgalom klasszikus mérőeszközeinek bemutatása. Klasszikus mérőberendezések alatt olyan eszközöket definiálunk, amelyeket - célzottan - közúti forgalomtechnikai paraméterek mérésére fejlesztettek.

A gyakorlatban is alkalmazott vagy már tesztelt technikákat ismertetünk. A következő feldolgozás alapját könyvek és műszaki kiadványok (Klein & Mimbela 2000; Klein et al. 2006; Katkó et al. 2007; Leduc 2008; Turner et al. 1998), ill. különböző gyártók termékismertetőiből származó információk képezik.

Követelmények:

Ön akkor sajátította el megfelelően a tananyagot, ha képes

- felsorolni az alapvető útpályához kapcsolódó, ill. nem útpályához kapcsolódó járműérzékelő típusokat és azok működési elvét,
- ismertetni az alapvető technológiákat, amelyeket a közösségi közlekedés előnyben részesítésére használnak,
- ismertetni az alapvető tengelysúly-mérő rendszereket.

Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 4 órára lesz szüksége.

Kulcsfogalmak:

- induktív hurokdetektor,
- jelenléti, ill. áthaladási detektor,
- mágneses járműérzékelő,
- pneumatikus detektor,
- piezoelektromos járműérzékelés,
- videodetektor,
- infravörös járműérzékelés,
- ultrahangos járműérzékelés,
- radar- és lézerelvű járműérzékelés

- "zöld út" kérés,
- felsővezeték érzékelő,
- statikus és dinamikus tengelysúly-mérés
- Weigh In Motion (WIM).

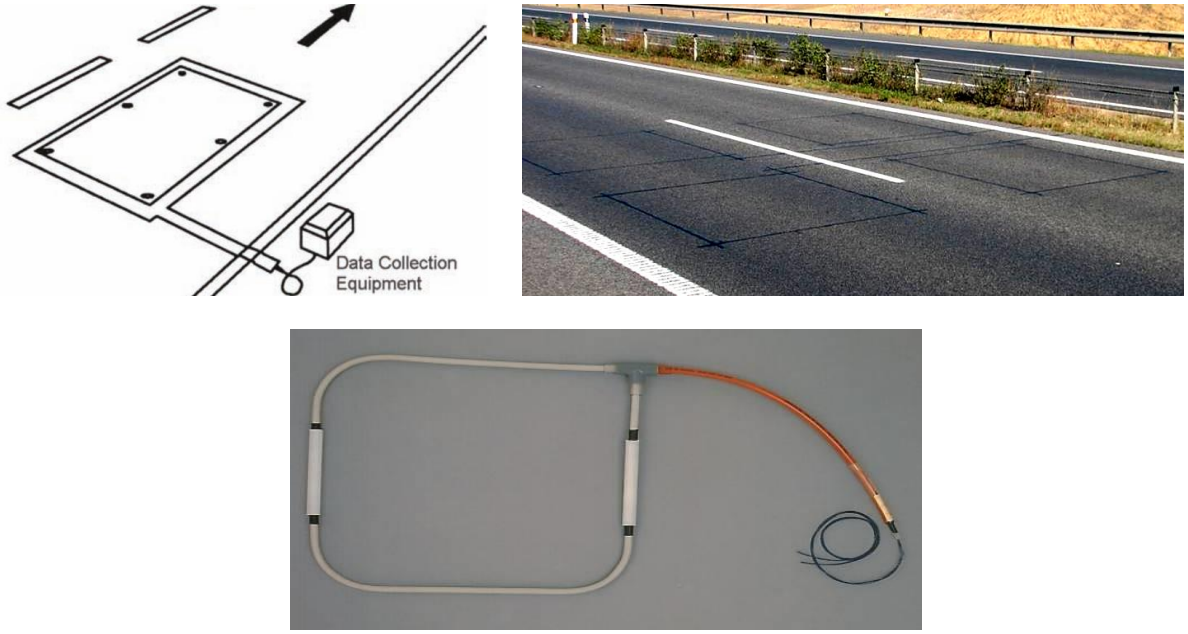
1. lecke: Útpályához kapcsolódó járműérzékelők

Az útpályához kapcsolódó detektorok telepítése vagy az úttest felületére, vagy annak szerkezetét megbontva, az útpályába történik. Ezek a legrégebb óta alkalmazott járműérzékelők.

1. Induktív hurokdetektor - az elektromágnesesség elvén alapuló érzékelés

Az induktív hurokdetektort nyugodtan nevezhetjük a közúti járműérzékelés klasszikus mérőeszközének, hiszen ez a legrégebben és a legelterjedtebben használt detektortípus (ugyanakkor ma már más technológiák előretörését is megfigyelhetjük).

A teljes detektor készülék az érzékelő hurokból, a kiértékelő áramkörből, a két egységet összekötő speciális kábelekből, és a tápegységből áll. Az érzékelő hurok az útpályába épített csupán néhány menetes szigetelt vezeték (lásd alábbi ábra).

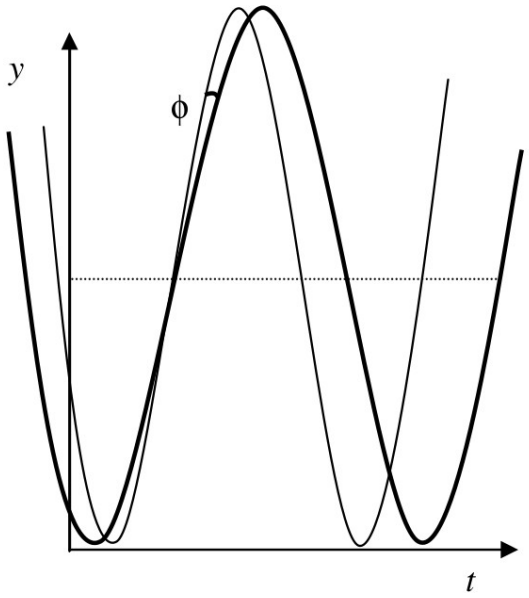


5. ábra: Induktív hurokdetektor

A hurok leválasztással egy oszcillátorhoz kapcsolódik, így az átfolyó váltakozó áram hatására körülötte mágneses mező keletkezik. Ezt a mágneses teret "hangolja el" a hurok felett áthaladó jármű fémtömege.

A hurokdetektorok mérési elve igen egyszerű: a hurok impedanciájában változás következik be, ha egy jármű elhalad felette. Az impedancia változása módosítja a hurok eredeti rezonancia frekvenciáját is. A feldolgozás során ezt a frekvenciaváltozást érzékeljük. Az indukció változását régebben analóg módon (PLL, azaz Phase Locked Loop = fázis csatolt hurok áramkör alkalmazásával) egy referencia oszcillátor fázisszögéhez hasonlítva detektálták (lásd alábbi ábra).

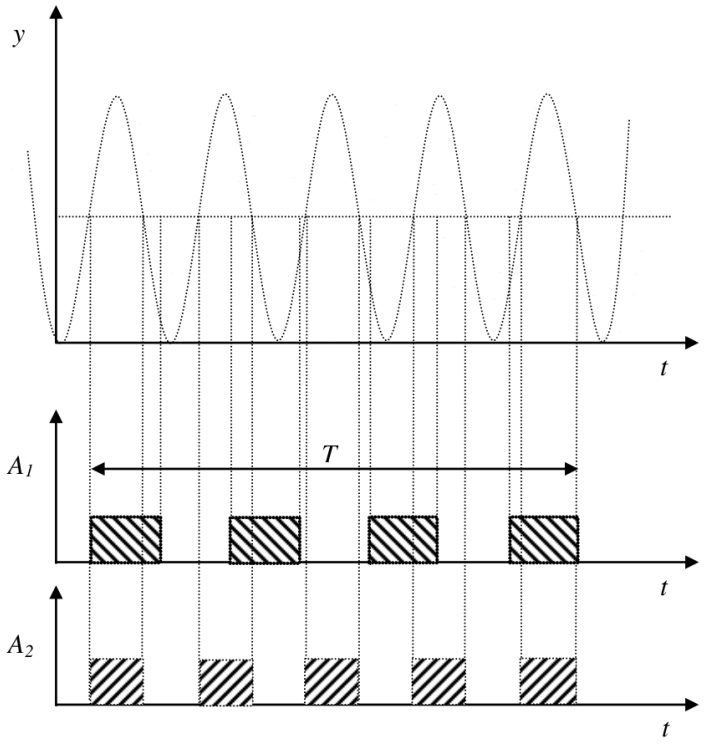
Magyarország Kormánya
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020



6. ábra: A fázisszög érzékelése analóg hurokdetektornál

Napjainkban analóg kiértékelők helyett digitális (mikroprocesszoros) feldolgozókat alkalmaznak, amelyek a frekvencia változását számolva állapítják meg a kimeneti adatokat (lásd alábbi ábra).

Magyarország Kormánya
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020



7. ábra: A frekvencia meghatározása digitális hurokdetektornál

A jármű által a hurok impedanciájára gyakorolt hatás több fizikai törvényszerűségből tevődik össze (mágneses erőtér, kapacitás és induktivitás megváltozása). Ezek közül a legjelentősebb az az ellentétes hatású mágneses tér, amelyet a hurok által keltett eredeti mágneses tér hoz létre. A hurok felett elhaladó jármű elektromosan vezető alkatrészeiben örvényáram jön létre, amely - a Lenz-törvény értelmében - az őt létrehozó hatást gyengítő mágneses teret indukál. Így a jármű által keltett, gyengítő mágneses tér megváltoztatja a hurok eredeti mágneses terét. A hurokdetektor elhangolódásának mértéke leginkább a jármű anyagától és méretétől, ill. a hurok és a jármű közötti távolságtól függ.

Megjegyzésként említjük meg, hogy további két (elhanyagolható) fizikai hatás is megjelenik a hurokdetektorban:

- ferromágneses anyag jelenléte a tekercsben, amely megnöveli a tekercs induktivitását (a legtöbb járműnek van ferromágneses tulajdonsága, de mivel nem haladnak át a tekercsen, ezért ez a hatás csak kismértékben növeli a hurok indukcióját),
- a hurok kismértékben megváltozó kapacitása, amelyet a felette elhaladó jármű okoz.

A hurokdetektorok működésének vizsgálatára egy dimenzió nélküli jósági tényező (Q) alkalmazható:

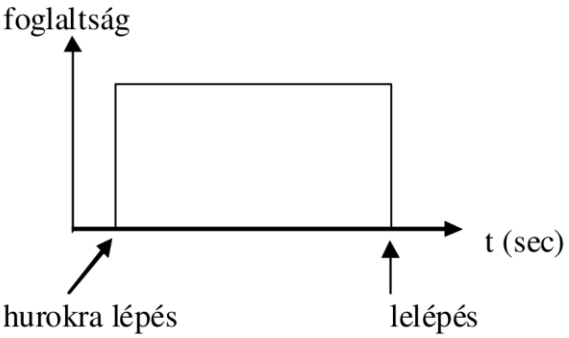
MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

$$Q = \frac{\omega L_s}{R_s},$$

ahol ω a hurok meghajtó körfrekvenciája (radian/s), L_s a sorba kapcsolt hurkok induktivitása (henry), és R_s a sorba kapcsolt hurkok ellenállása (ohm).

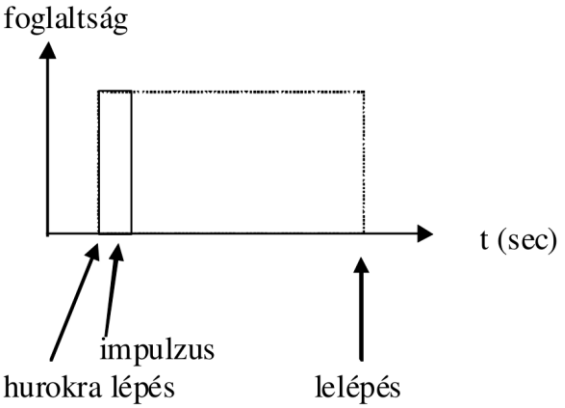
A kiadott jel hosszúsága alapján kétfajta induktív detektort különböztethetünk meg:

- Jelenléti detektor: mindaddig folyamatos jelet ad ki, amíg a jármű felette tartózkodik (lásd alábbi ábra). Ez az információ megfelel az 1. modulban már ismertetett időbeni foglaltságnak: $o_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{T}$.



8. ábra: A jelenléti detektor által kiadott jel

- Áthaladási detektor: Az áthaladási detektor egy előre definiált hosszúságú impulzust bocsát ki az érzékelt jármű áthaladásakor (lásd alábbi ábra). Ezáltal mérhető az elhaladt járműszám, és azt megfelelő időalapra vetítve számítható a forgalomnagyság.



9. ábra: Az áthaladási detektor által kiadott jel

A hurok mérete és elhelyezése mindig az adott mérési cél figyelembe vételével történik. A gyakorlatban legtöbbször alkalmazott hurkok 1-3 méter hosszúak és 1,5-2,5 méter szélesek. A horony mélysége az út szerkezetétől függően 3-10 cm közötti, a horonyszélesség pedig 7-10 mm között van. Az objektív adottságok folytán Magyarországon a svéd, illetve német telepítési technológia terjedt el, azaz, a kábelek az út felszínéhez viszonylag közel helyezkednek el (2,5-5 cm). A biztos üzem érdekében az detektoregység széles átfedési tartománnyal üzemel, pl. egy 2x1 méteres hurok esetében az induktivitás változása 0,01-6% között változhat az érzékelt járműtípustól függően. Általában a kábeleket elővágott hézagokba telepítik. Ideális esetben (pl. új út építése vagy útpálya kopófelület cseréje) a hurokfektetés az útépítési folyamat része lehet.

Speciális szolgáltatásokkal rendelkező induktív hurokdetektorokat is alkalmaznak, amelyek az átlagostól a hurok méretében, illetve a kiértékelő egység által szolgáltatott információk forgalomtechnikai jellemzőiben térnek el. Ilyen speciális detektorok a következők:

- Mérőgomba: Speciális házba épített kisebb hurokdetektor, amelyet a sáv közepére fúrt lyukba kellett behelyezni. A mérőgomba kifejlesztésével már 1978 táján kísérletezett dr. Katkó László a BME (akkori nevén) Közlekedésautomatikai Osztályán. A mérőgomba prototípusát láthatjuk az alábbi ábrán.



10. ábra: Mérőgomba szétszerelt állapotban és üzem közben

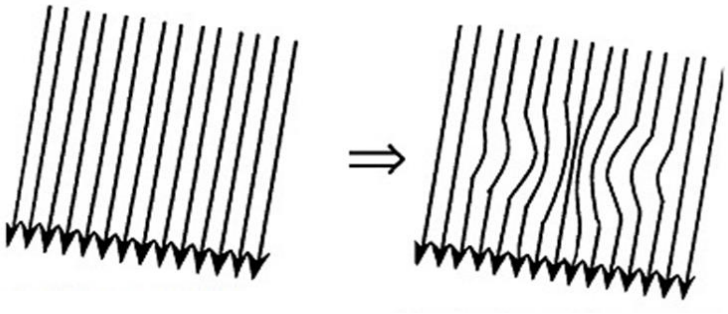
- Mini hurokdetektor (mini loop): Kisméretű, négyzet (kb. 15 - 20 cm oldalhosszúságú) vagy kör (kb. 20 cm átmérőjű) alakú detektor, amely csupán kb. 3 cm mélységű hézagot igényel.
- Hosszú hurokdetektor (long loop): A megfigyelt sávban kb. 50-80 méter hosszúságban helyezkedik el. Az ily módon telepített hurok az általános hurokkal szemben több adatot képes szolgáltatni (pl. forgalomsűrűséggel arányos számot).

2. Földmágnesességen alapuló járműérzékelés

A mágneses járműérzékelő működésének alapja a Föld által keltett geomágneses erőtér. A geomágneses tér eredete rendkívül bonyolult, de lényegében a Föld mag-burok zónája által keltett

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

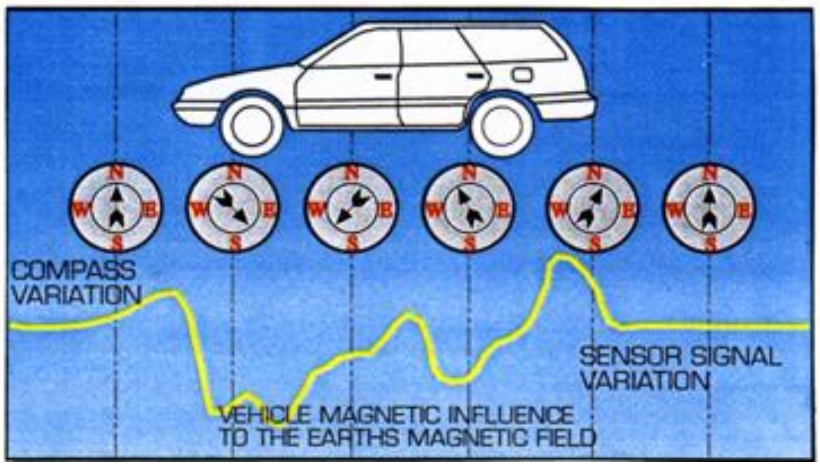
erőtérből adódik. A geomágnesességet inkább a dinamó-effektus, semmint a mag vastartamának hagyományos mágnesessége adja. A mag külső részének vasban gazdag folyékony fémanyagának állandó kavargása lényegében úgy működik, mint a vezetékben áthaladó elektromos áram, azaz mágneses térerőt gerjeszt. A geomágneseses térerősség vonalakkal szemléltethető, amelyek állása a Föld minden pontján az adott helyre jellemző. Amennyiben az érzékelő közelébe valamilyen vastartalmú fém (pl. gépjármű) kerül, az adott ponton a mágneses erővonalak elhangolódnak (lásd alábbi ábra), mivel a vas sokkal ellenállóbb az erővonalakkal szemben, mint például a levegő.



11. ábra: A Föld mágneses erőterének megváltozása mágnesezhető fém hatására

A technológia angol terminológia szerinti rövidítése a VMI (Vehicle Magnetic Imaging). A VMI témával foglakozó kutatások már elég korán megindultak, hiszen arra a tényre, hogy a járművek vastartalma a Földi mágneses erőteret megzavarja, már régen felfigyeltek, de a megfelelő érzékelésre alkalmas fémötvözetet hosszú ideig keresni kellett. Ennek az irányvonalnak az egyik úttörője a Nu-Metrics cég volt, ahol 1989-ben került sor áttörésre. Ekkor sikerült egy olyan fémötvözetet előállítani, amiből egy µW (egy milliomod watt!) erősségű érzékelő állítható elő, és amely rendkívül érzékeny a Föld gyenge mágneses erőterére. Ez a szenzor képes a felette keresztülhaladó jármű által a mágneses erőtérben előidézett változásokat detektálni.

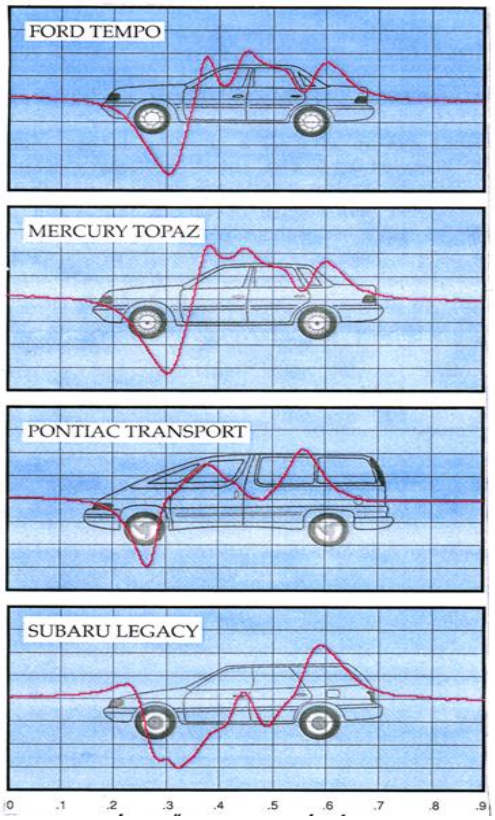
Az alábbi ábra egy iránytű alkalmazásával végzett egyszerű kísérlet eredményét mutatja be. Azaz, hogy milyen hatással van egy vastartalmú gépjármű a Föld mágneses erőterére. Az iránytű, a jármű mentén mozgatva, különböző irányokat mutat. Ezeknek a változásoknak a Föld erőterében mért amplitúdója arányos a jármű mágneses tömegével.



121. ábra Egy átlagos személygépkocsi mágneses jellemzői

Ugyanezt bizonyítja egy tipikus VMI mágnesdetektorral gerjesztett elektromos jel. A jármű mágneses tömege torzítja a Föld mágneses erőterének erővonalait. Ahogyan a jármű közelít, illetve áthalad a szenzoron, a Föld mágneses erőterének a különböző torzulásai nyilvánvalóak. Erre a szenzorok időben változó jelekkel válaszolnak, amelyeket a VMI szenzor elemez.

Az elhangolódás minden jármű esetében más-más mértékű lesz, így az az adott típus egyedi jellemzőjének mondható (lásd alábbi ábra).



13. ábra Az Nu-Metrics cég Countcard szenzorának érzékelései különféle járműveknél

A földmágneses érzékelőkkel a járműkategórián felül meghatározható a forgalomnagyság, a követési időköz és modernebb berendezésekkel a sebesség is. E korszerű eszközök nagy előnye, hogy a mintavevő egység több éves élettartamú akkumulátorral működik, ill. vezeték nélküli rádiós kapcsolattal kommunikál a forgalomirányító berendezéssel, így nincs szükség kábelezésre (lásd alábbi ábra).





14. ábra: Telepített mágnesdetektor (bal) és Siemens WiMag mágnesdetektor (jobb)

A mágnesdetektor igen széles körben alkalmazható. Az időjárásra nem érzékeny különösebben, és megbízhatósága ma már a hurokdetektoréval megegyező. Továbbá külön előnye a kis méret. Így a nyomvályúsodásra hajlamos utakon is hatékonyan alkalmazható, mivel a forgalmi sáv közepére kell telepíteni.

3. Pneumatikus elven működő járműérzékelés

A pneumatikus detektor egy rugalmas anyagból készült tömlő belsejében levegővel, amit az út hossztengelyére merőlegesen helyeznek el. Amennyiben jármű halad át a tömlőn, a belső térben a légnyomás megváltozása miatt nyomásimpulzus keletkezik, amit a tömlő egyik végébe épített membrán elektromos impulzussá alakít át. A mérés során ezeket az impulzusokat számlálják, vagy továbbítják valamilyen más kiértékelő szoftvernek. A szerkezet által mért jel a tömlőn áthaladó tengely által kifejtett nyomás. Ilyen módon közvetlenül mérhető a forgalomnagyság. Továbbá a tengelyek számából és egymáshoz képesti távolságából meghatározható az adott járműkategória, ill. a követési időköz.

Az alábbi ábrákon gépjármű, ill. kerékpár forgalom mérésére alkalmas pneumatikus detektorok láthatók.



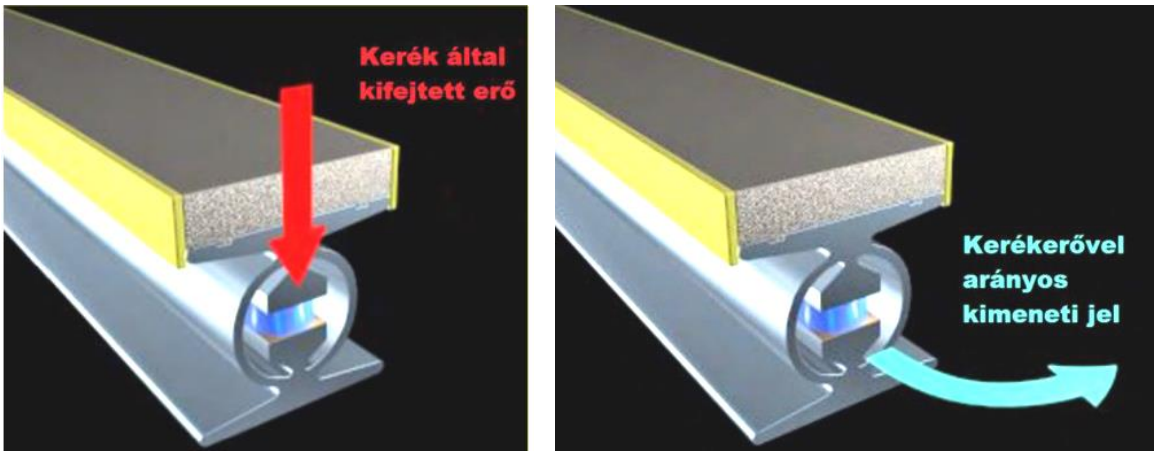
15. ábra: Pneumatikus detektor kiértékelő egységgel (http://people.hofstra.edu/geotrans), ill. pneumatikus detektor kerékpárforgalom mérésére (www.datacollect.eu)

A szerkezet kihelyezése és felszedése viszonylag egyszerű, viszont az útpályára keresztben fektetett tömlő a forgalmat lassítja, így - az egyszerű telepíthetőség miatt - jellemzően csak időszakos

mérésekre használják. A gyors telepíthetőségen felül a pneumatikus detektor előnyös tulajdonsága az alacsony energiafogyasztás és az egyszerű karbantarthatóság. Ugyanakkor többsávos utakon - nagy forgalomnagyság esetén - a számlálás pontatlanná válhat, mivel a párhuzamosan haladó járműveket ilyenkor nem mindig tudja elkülöníteni egymástól. További hátránya, hogy a rugalmas tömlő könnyen kiszakadhat a tehergépjárművek okozta terhelés miatt.

4. Piezoelektromos járműérzékelés

A piezoelektromos anyagok (piezo kristályok) jellemzője, hogy összenyomás hatására elektromos feszültség indukálódik bennük. Az így kialakuló feszültség a piezo anyagban megjelenő nyomásváltozással arányosan változik. Tehát csak a dinamikus hatások érzékelhetők ilyen módon, hiszen egy állandósult állapot elérése után nem keletkezik feszültség többé. Így a piezo alapú szenzorok kiválóan alkalmazhatók járművek mozgás közbeni súlymérésére. Mivel a jármű kerekei által kifejtett talperő arányos a jármű tömegével, a keletkező feszültség alapján a jármű össztömegére és kategóriájára lehet következtetni. A detektor csak a változó feszültséget érzékeli, emiatt kizárólag mozgó járművek megfigyelésére alkalmas, a rajta állókat nem érzékeli. A piezoelektromos érzékelő egy, az útpályába a járművek haladási irányára merőlegesen beépített, piezoelektromos anyagot tartalmazó kábel (lásd alábbi ábra).



16. ábra: Piezoelektromos érzékelő

A mérőeszköz a tengelyek számát és az általuk kifejtett nyomást érzékeli, aminek segítségével a járművek kategóriáját rendkívül pontosan meg lehet állapítani, illetve a tengelyterhelés is igen kis hibával mérhető. A szerkezet képes továbbá a jármű sebességének meghatározására is (amennyiben több ilyen érzékelő kerül kihelyezésre egymással párhuzamosan).

A piezoelektromos detektor hátrányai az induktív hurokdetektorhoz hasonlóan a beépítés módjából fakadnak. Ilyen tényező a forgalom akadályozása telepítéskor és karbantartáskor, illetve, hogy az útburkolat cseréjekor szükséges lehet a szerkezet nem tervezett cseréje is.

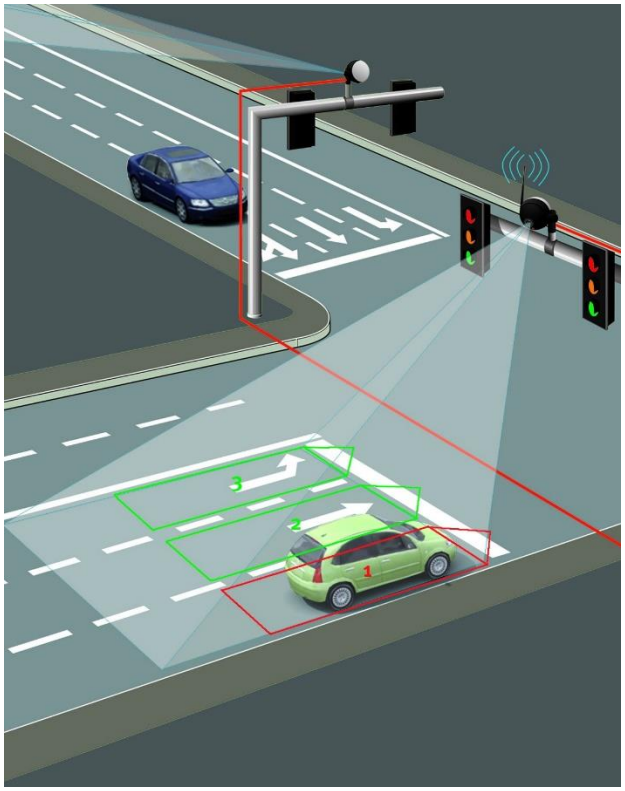
A piezoelektromos járműérzékelők jelentősége az elmúlt években megnőtt köszönhetően a tengelysúly-mérő WIM (Weigh In Motion) rendszerek megjelenésének, amelyeket részletesebben a 3. leckében külön is bemutatunk.

2. lecke: Útpályához nem kapcsolódó járműérzékelők

Az útpályához nem kapcsolódó detektorok az úttest mellett vagy felett helyezkednek el, onnan mérve a járműfolyam forgalmi paramétereit. Ezen járműérzékelők telepítése és karbantartása nem igényli az útpálya szerkezetének megbontását.

1. Kamerás képfeldolgozáson alapuló járműérzékelők

A gyakran csak videodetektornak hívott eszközökben egy kamera és egy képfeldolgozó egység található. Működésük során minden mintavételezési időpontban a feldolgozóegység a kamerára vetülő képet egy képmátrixra képezi le. A képmátrix elemei azonos méretű, kellően kis téglalapok vagy más egységek, ahol minden egység néhány, meghatározott számú szomszédos pixel (képpont) összessége. A képegységekben a fényintenzitást mérik. Az egyes mért értékekhez különböző számokat rendelnek (a legsötétebb általában a 0). Két egymást követő mintavételezés után a rendszer összeveti a számcsoportokat, és megállapítja, hogy az egyes képegységekben változtak-e az értékek. Amennyiben valamelyik egységben történt olyan mértékű változás, ami az előre meghatározott szórásmezőn kívülre esik, ott járműmozgás történt.



17. ábra: Az útpálya fölé telepített videokamera (www.aldridgetrafficcontrollers.com.au)

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

Ezen képfelismerő rendszereknek "meg kell tanítani" az útpálya színét, valamint a forgalmi sávok helyét. Ezenfelül szükséges, hogy kiszűrjék az időjárás hatásait, az árnyékokat, ill. az éjszakai működőképességet is biztosítani kell.

A képfeldolgozáson alapuló technikák a közelmúltban jelentős fejlődésen mentek keresztül, egyre megbízhatóbb mérések valósíthatók meg kamerával. Kifejezetten alkalmasak a forgalomsűrűség és a sorban álló járművek számának pontos meghatározására, de a forgalomnagyság értékét is pontosan meg tudják mérni egy adott keresztmetszetben. Nagy előny, hogy egy kamerával több sáv is megfigyelhető egyszerre. Ezenfelül, amennyiben egy úthálózat több pontjára is telepítve vannak olyan kamerák, amelyek rendszámfelismerésre is alkalmasak, akkor együttes adataikból eljutási idő, ill. a célforgalmi mátrix is számíthatók. A felhasználási területük is nagyon tág. Használhatók autópályákon, parkolóházakban, közúton a parkolás segítésére, beléptető kapuknál, alagutakban vagy akár hidak ellenőrzésére. Ahhoz, hogy a videodetektor megfelelő minőségben tudjon működni, érdemes minél magasabbra elhelyezni, illetve a kamera képét minél több érzékelési területre (képegységre) bontani.

A kamerás rendszerek hátrányai közé nagyrészt olyan tényezők tartoznak, amik a látást befolyásolják, illetve amik a kamerát "összezavarják". Ilyen a rossz időjárás, a sávváltások, sötétedés és világosodás, a vizes felületek, illetve az olyan járművek, melyek színe beleolvad az útpályába. Probléma lehet az is, ha a szerkezet lencséje elpiszkolódik vagy azt valami eltakarja (pl. hó, pókháló).

Az ITS rendszerekben gyakran ún. CCTV (Closed Circuit TeleVision) kamerákat használnak. A CCTV rendszerben akár több kamera képét is egy monitoron követhetjük. A legkorszerűbb kamerákat már CCD (Charge-Coupled Devices) vagy CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) érzékelőkkel szerelik. Ezeknek nagy előnye, hogy másodpercenként akár 1000 képkockát is fel tudnak dolgozni.

Érdekességként említünk meg egy jelzőlámpába épített kamerát (az Imagsa Technologies terméke), amely képes rögzíteni a piroson áthaladó autókat (lásd alábbi ábra).



218. ábra: Közlekedési lámpába épített videokamera (Imagsa Technologies)

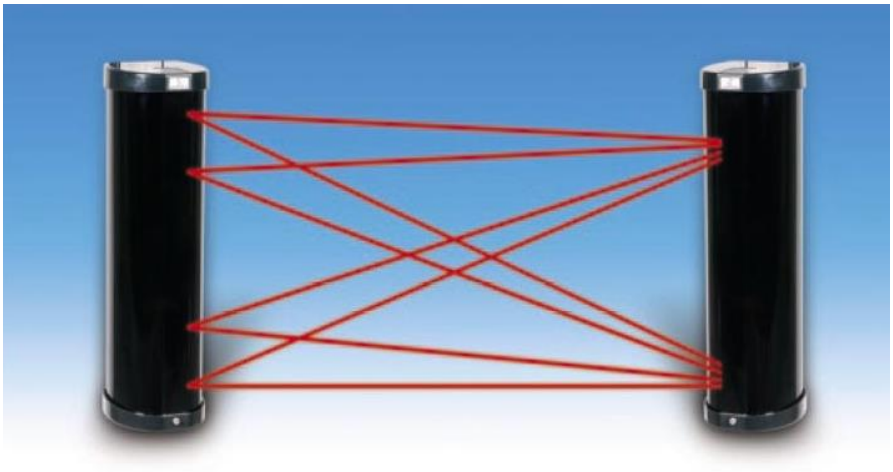
Egy másik érdekesség a VIDAR (Video Detection And Ranging) technológia, amely két nagysebességű kamera képét dolgozza fel (lásd alábbi ábra). A VIDAR a járművek sebességét 1% hibahatáron belül képes megbecsülni, ill. 250 km/h sebességig a járművek rendszámtábláját is felismeri. A lézerdetektorokkal szembeni nagy előnye, hogy semmilyen sugárzást nem bocsát ki, így a megzavarása is sokkal nehezebb. A VIDAR technológiával ráadásul 3D-s képet lehet alkotni a rögzített objektumról.



19. ábra: Sebességmérésre is alkalmas videokamera (Imagsa Technologies)

2. Fénymegszakításon alapuló érzékelés

A fénymegszakításon alapuló detektor egyszerűen fogalmazva "fénykapuként" működik. A készülék egy adó- és egy vevőegységből áll, amelyeket általában az út két oldalán helyeznek el egymással szemben (ezáltal gyakorlatilag egyfajta keresztmetszeti érzékelést kialakítva). Az adóegység fénynyalábot bocsát ki magából, amit az arra haladó autó megszakít. A megszakított időszak egyenesen arányos a jármű hosszával, így ezekkel a készülékekkel nem csak megszámolni, de kategorizálni is tudjuk a járműveket. Az alkalmazott fénysugár általában infravörös- vagy lézersugár. Az eszköz egyedüli hátránya, hogy érzékeny az időjárási viszonyokra.



20. ábra: A fénysugár detektor

Fénymegszakításon alapuló szenzorokat jellemzően különleges helyeken alkalmaznak, pl. határátkelőnél a jármű magassága szerinti útvonalengedélyek kiadásához, ipari területen, vagy parkolórendszerek részeként.

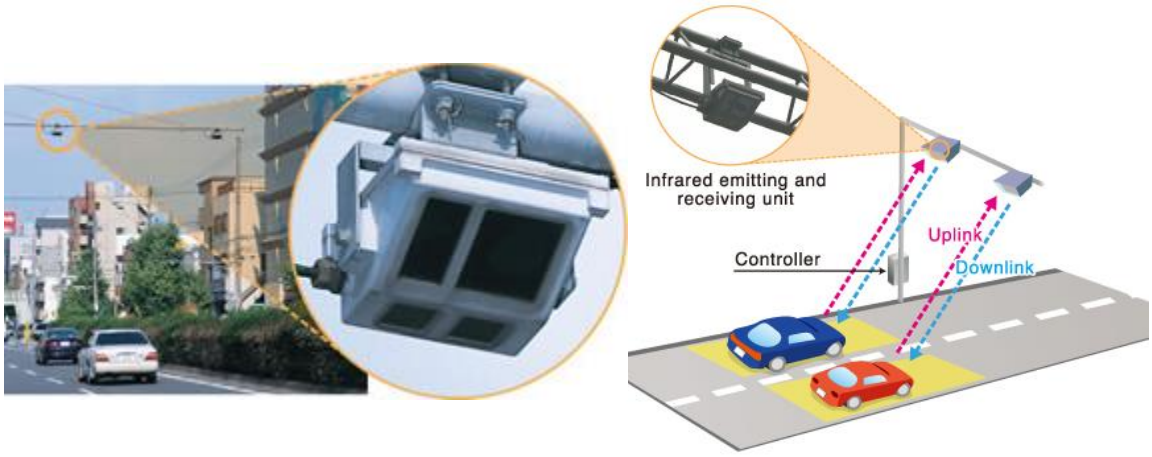
3. Infravörös járműérzékelők

Az infravörös sugárzás az elektromágneses sugárzás egy fajtája. Hullámhossza a látható fénynél nagyobb, de a mikrohullámnál és a rádióhullámnál kisebb. Az infravörös sugárzás elsősorban hősugárzást jelent. Minden anyag, aminek a hőmérséklete az abszolút nulla fok felett van, infravörös sugárzást bocsát ki magából.

Az infravörös fényérzékelésen alapuló adatátviteli technológiát napjainkban az élet számos területén használják (pl. háztartási elektronikai eszközök távszabályzói). A technológia könnyű alkalmazhatósága miatt a módszert a közúti méréstechnika is felhasználja.

Az infravörös érzékelőket az útpálya mellé vagy fölé kell telepíteni olyan módon, hogy arra megfelelően "rálássanak". Felhasználhatók forgalomnagyság, sebesség és járműkategória mérésére, továbbá segítségükkel különböző járművek előnybiztosítása is megoldható. Az eddig bemutatott technikákkal ellentétben gyalogosok érzékelésére is alkalmasak. Az infravörös fénysugarú járműérzékelők kétféleképpen kategorizálhatók működésük alapján: aktív és passzív működésűek.

Az aktív infravörös érzékelők két részből épülnek fel: egy kibocsátó és egy érzékelő egységből. A kibocsátó egység az útpálya adott részére folyamatosan infravörös sugarakat sugároz ki, míg az érzékelő a megfigyelt területen áthaladó jármű által visszavert jeleket detektálja. Lehetséges az is, hogy egy szerkezet az útpálya több pontjára is sugároz jeleket, ekkor a járművek sebessége is számítható az egyes pontokra történő belépés között eltelt idő és a pontok távolsága alapján.



21. ábra: Aktív infravörös érzékelő (http://global-sei.com/its)

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

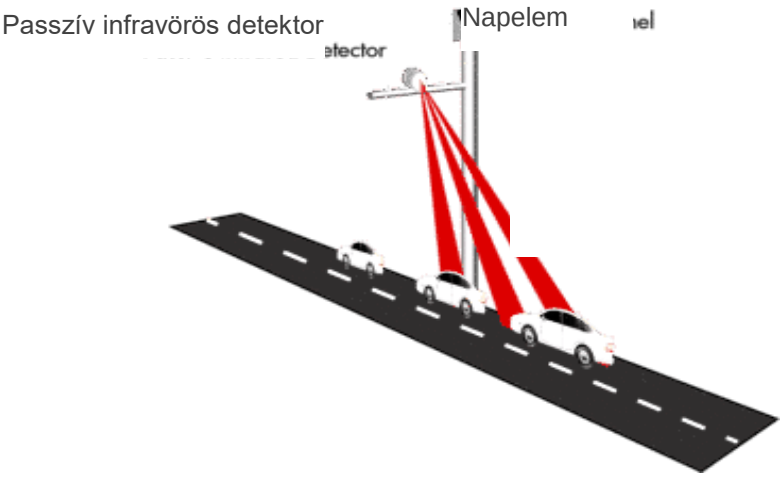
Az aktív lézeres érzékelőkkel detektálhatók álló járművek is, meghatározható a forgalomnagyság, a sebesség, a sorhossz, továbbá járműkategorizálás is megvalósítható. Utóbbi meghatározása úgy lehetséges, hogy a berendezések képesek az elhaladó járművekről két- vagy háromdimenziós képek alkotására. A szerkezet előnyös tulajdonsága, hogy ugyanazon kereszteződésbe egyszerre több berendezés is elhelyezhető anélkül, hogy a másik által kibocsátott jelek zavarnák őket.

Az aktív infravörös detektorok egy speciális csoportját alkotják az infravörös jelzők, amelyekhez szükséges egy, a járműveken elhelyezett fedélzeti egység is, amivel az út mentén telepített egység kétirányú kommunikációt folytat. Ezekkel a rendszerekkel bizonyos járművek (például közösségi közlekedés) előnyben részesítését lehet megvalósítani, valamint biztonsági rendszereknél járművek azonosítására alkalmazhatóak. Az út menti egység folyamatosan sugároz egy egyedi, csak rá jellemző helykódot, amit az arra haladó jármű fedélzeti egysége érzékel, majd ennek hatására visszaküldi a jármű azonosítóját.

A passzív infravörös érzékelők az előbbivel ellentétben nem bocsátanak ki sugarakat. Az ilyen érzékelő egy adott területen a teljes környezetből (pl. jármű, ember, úttest) kibocsátott infravörös sugárzást érzékeli. A detektorokat az útpálya mellé vagy fölé helyezik el, fő részei az érzékelő, az optikai egység és egy kiértékelő elektronika, melynek feladata azon infravörös sugarak kiszűrése, amelyek nem a járművek elhaladásából származnak. Ilyen a napsugárzás, valamint a járművek reflektoraiból és a közvilágításból eredő infravörös sugarak.

Aszerint, hogy végeznek-e képfeldolgozást, a passzív infravörös érzékelőket két csoportra bonthatjuk. Amik nem végeznek képfeldolgozást, azok minden pillanatban egy nagyobb területet vizsgálnak, a szerkezetekben jellemzően 1-5 érzékelőegység található. A látómezőn belül megjelenő objektumokat ez a berendezéstípus nem képes alegységekre felbontani. Ezzel szemben a képfeldolgozást végző passzív infravörös érzékelők több érzékelőegységgel dolgoznak, amelyeket rácsszerűen, egymáshoz képest vízszintesen és függőlegesen is eltolt pozícióba helyeznek el. Minden egyes szenzor érzékelési területe kicsi, és összegükként adódik a teljes érzékelt tartomány. A különböző objektumok a kis érzékelési zónák szerint oszthatók alegységekre.

Amennyiben egy érzékelési zónájuk van, a passzív infravörös érzékelők forgalomnagyság és foglaltság mérésére képesek. A többcsatornás, illetve többzónás passzív infravörös érzékelők az előbbieken felül a sebesség és járműhossz mérésére is alkalmasak. Ekkor az útpályán több, egymástól adott távolságra lévő érzékelési zónát jelölnek ki, ahol a zóna termikus energiáját mérik, ami jármű elhaladásakor megváltozik. Az ilyen módon egymás után elhelyezkedő zónák olyan konfigurációnak felelnek meg, mintha az útpályába két, egymást követően elhelyezett induktív hurokdetektor lenne elhelyezve. A felépítés az alábbi ábrán látható.



22. ábra: Többzónás passzív infravörös érzékelő (http://www.ifak-system.com)

A passzív infravörös érzékelő alapvetően három elemből épül fel: érzékelő, optikai rendszer, jelfeldolgozó áramkör. Az érzékelő a környezet hősugárzását, pontosabban annak változását érzékeli - az infravörös sugárzás villamos jellé történő átalakításával. Az alkalmazott szenzor egy piroelektromos elven működő tranzisztor, amelynek az érzékenysége az emberi testre is jellemző 10 µm-es infravörös hullámhossznál a legnagyobb. Az optikai rendszer feladata, hogy a környezet által kibocsátott és visszavert infravörös energiát az érzékelő elemre fókuszálja. Ez lehet tükrös vagy Fresnel-lencsés. Az előbbinél egy műanyag lapon kialakított fényvisszaverő réteg, az utóbbinál a lencse kialakítása határozza meg az érzékelési tartomány karakterisztikáját (nagyságát, formáját), vagyis végső soron az érzékelő látószögét. A jelfeldolgozó áramkör a passzív infravörös szenzor harmadik lényeges alkotóeleme, amely folyamatosan figyeli a változásokat, felerősíti és kiértékeli a detektált jeleket.

Az infravörös érzékelési technológia előnye, hogy a járműkategóriát, sebességet, valamint a jármű pozícióját igen pontosan tudják mérni, továbbá lehetőség van egyszerre több sáv forgalmi adatainak vizsgálatára is. A szerkezet telepítése gyorsan, egyszerűen és olcsón megvalósítható, jól alkalmazható olyan helyeken is, ahol ideiglenes mérések végzésére van szükség, illetve használható olyan jelzőlámpás kereszteződésekben, ahol gyakran van szükség zöldidő nyújtásra.

A technika hátrányai főleg az időjárással és a környezeti hatásokkal kapcsolatosak. Bizonyos felületekről a visszavert napfény villanása megtéveszthetti az érzékelőt, továbbá zord időjárási körülmények között (hó, eső, köd, pára), vagy a levegőben található apró részecskék (por vagy füst) hatására eltérülhetnek, ill. elnyelődhetnek az infravörös sugarak, mielőtt az érzékelőt elérnék. Érdekesség ugyanakkor, hogy általában olyan esetben fordulhat elő ilyen jellegű zavarás, amikor az érzékelő helyéről emberi szemmel sem lenne lehetséges a megfigyelés. Fontos kiemelni, hogy az energia, amit a szenzornak érzékelnie kell, igen kicsi, és az érzékelés sikeressége nemcsak az időjárástól függ, hanem az érzékelő felület nagyságától, a megfelelő látószögtől, a sugárzást kibocsátó test távolságától és annak felületétől is.

Érdekességként említjük meg az ADEC Technologies egyik termékét, amelyben az infravörös érzékelő mellett egy mikrohullámú szenzor is be van szerelve a pontosság növelésére (lásd alábbi

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

ábra). Ugyanez a cég egy másik érzékelőjébe pedig egy rendszámfelismerésre alkalmas kamerát is beépített (lásd alábbi ábra).



23. ábra: Infravörös érzékelő és rendszámfelismerő kamera egy egységben (www.adec-technologies.com)

4. Ultrahangos detektorok

Az ultrahangos járműérzékelés kifejlesztésének alapfeltétele a mikroprocesszorok megjelenése volt. Maga az elv nagyon egyszerű: a természetben is megtalálható tájékozódási módszert másolja le az érzékelő berendezés. A denevérek a kibocsátott ultrahangok visszaverődési idejéből tudják azt, hogy egy tárgy került az útjukba, ez a berendezés is így "látja" meg az útpályán haladó járművet. Az ultrahangos detektorok adó-vevő párból állnak, amelyek rendszerint egyetlen házban helyezkednek el. Működésük azon a jelenségen alapul, hogy az adó által kisugárzott ultrahangok visszaverődnek, amelyeket azután a vevőegység érzékel és dolgoz fel. Ezen berendezések frekvenciája általában 18-40 kHz között van, ez ugyanis az emberi fül számára már nem hallható. Az ultrahangdetektorokat az útpálya fölé, vagy mellé helyezik el (lásd alábbi ábra).



24. ábra: Ultrahang detektor elhelyezése: útpálya mellett vagy felett (www.fhwa.dot.gov)

A visszavert jelek az érzékelőbe jutnak. A visszaverődési időből pedig a távolság közvetlenül számítható a következő kifejezés segítségével:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

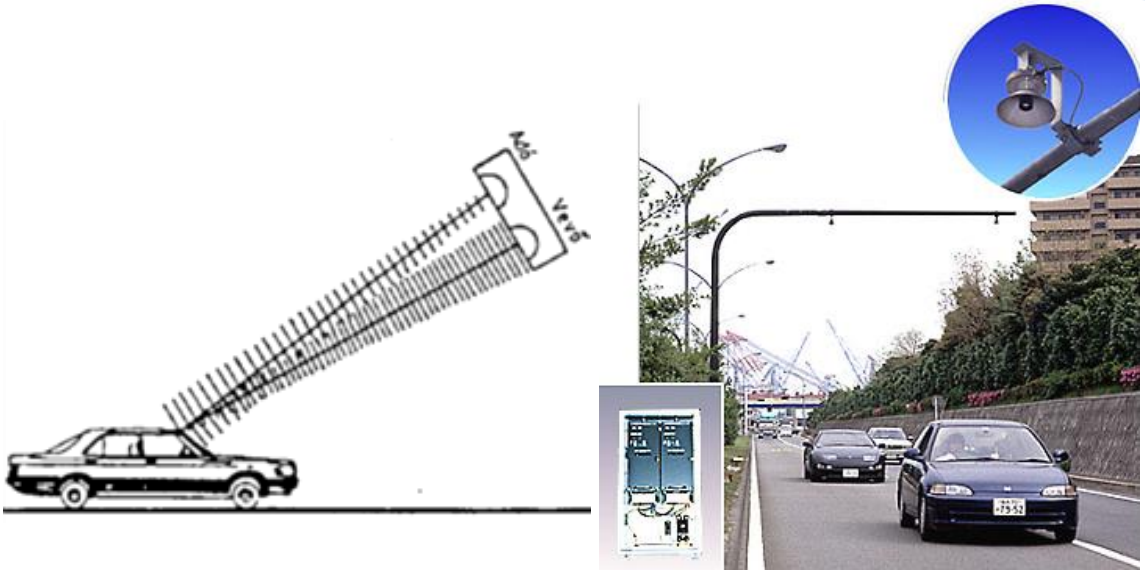
ahol d a távolság, v az ultrahang terjedésének sebessége levegőben, és t az idő. A számlálót azért kell osztani 2-vel, mert a jel útját oda-vissza számítjuk.

Az ultrahangos érzékelők kétféle technológiát alkalmaznak attól függően, hogy a kisugárzott és a visszavert jel mely paramétereit használja fel a vevőegység:

- az impulzus-módszert vagy
- a Doppler-módszert.

Az impulzus módszer esetén az adó periodikusan bocsát ki jelimpulzusokat. A vevő az impulzusok közötti időszakban megfigyeli a visszaverődött jeleket. Minél magasabb egy jármű, annál hamarabb érkeznek vissza a jelek. Az útpálya felett elhelyezett ultrahang szenzor ezáltal a járműtípusokat is meg tudja különböztetni. Az út mellett kiépített detektor viszont csak az adott forgalmi sáv forgalomnagyságát detektálja, ill. parkolók foglaltságának ellenőrzésére is használható.

A Doppler-módszer esetén az ellenőrzési elv a Doppler-hatáson alapul. Ekkor az ultrahangos mozgásérzékelő egyszerre ad és vesz visszaverődő ultrahanghullámokat (lásd alábbi ábra). Ha a jelek útjában álló jármű van, akkor a visszaverődő hullámok frekvenciája ugyanakkora lesz, mint amit kisugárzott. Amennyiben mozgó jármű kerül a jelsugár útjába, az adó és vevő frekvenciája eltér egymástól, aszerint, hogy pl. a jármű távolodik vagy közeledik az ultrahang forrása felé. Ha távolodik, a frekvencia csökken, ha közeledik, akkor nő. Ezen elv alapján a járművek sebessége is megmérhető.



25. ábra - A Doppler-effektuson alapuló ultrahangos járműérzékelés (http://www.utms.or.jp)

A szenzor adó-vevő egységében található rezonátorok feladata egyrészt az ultrahang előállítása adás esetén, vétel esetében pedig a jelek érzékelése. Ehhez piezokristályt alkalmaznak, mivel az képes a rezgések keltette nyomásváltozást elektromos jelként érzékelni, ill. a piezoelektromos hatás fordítottjaként rezgést kelteni.

Az ultrahangos eszközöket olyan területeken használják előszeretettel, ahol más mérőeszközök telepítése nem kifizetődő, pl. Japánban, ahol a földmozgások miatt az útpályába süllyesztett hurokdetektorok gyakran elszakadnak.

5. Radar- és lézerelvű járműérzékelés

A radar-, ill. lézerelven működő detektorok pásztázó hullámokat bocsátanak ki, majd a visszaverődéséből állapítják meg a látókörükbe került járművek egyes forgalomtechnikai paramétereit. A radar szó az angol "Radio Detection And Ranging" rövidítése, míg a lézer az "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" kifejezés rövidítésének ("laser") magyarosított változata.

A radar-, ill. lézerszenzorok működésének az alapelve az ultrahangos érzékeléshez hasonlóan (lásd előző fejezet) a Doppler-effektuson alapszik. A különbség csupán a felhasznált közvetítő jelben van. Ezek az eszközök ugyanis elektromágneses sugárzást alkalmaznak: a radarok mikrohullámú jeleket, a lézerdetektorok pedig lézernyalábot (speciális elektromágneses sugárzás). Működésük során az út adott felületére folyamatosan mikrohullámú vagy lézer jeleket sugároznak, amik egy része jármű elhaladása esetén visszaverődik. Ezt a szenzor érzékelője észleli, majd a jelet egy kiértékelő egységbe továbbítja, ahol meghatározható az adott jármű hossza és sebessége, továbbá

mérhető a detektor foglaltsága és a forgalomnagyság is. A lézerdetektorok egy változata 3D-s kép alkotására is képes az objektumokról. Ezeket az angol terminológia "laser scanner"-nek hívja.

A radar és lézer detektorokat a legtöbb esetben az úttest fölé szerelik fel egy megfelelő konzolra, hogy átvizsgálja az úttestet és az úttesten elhaladó, az érzékelő sugár mezejébe érő tárgyakat. A különböző típusú radarok és lézerszenzorok gyártótól függően eltérő nagyságú területet tudnak érzékelni.

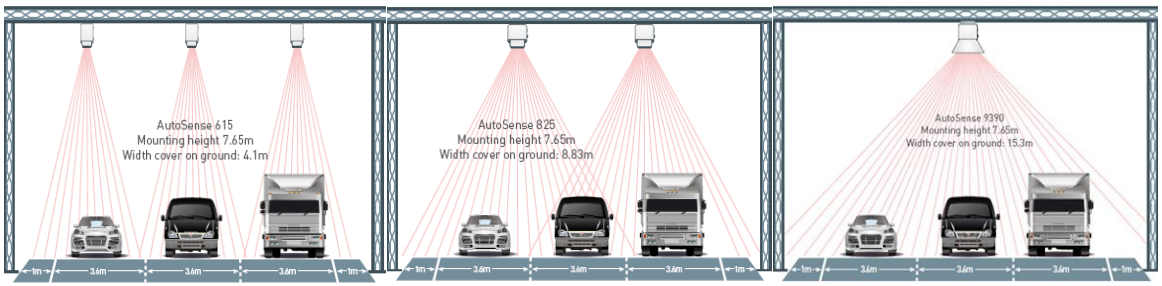
Ezek a detektorok alkalmasak a forgalom elemzésére, az alagutak ellenőrzésére, közlekedés felügyeletére, valamint a közlekedési folyam biztonságos lefolyásának ellenőrzésére, továbbá hatósági ellenőrzések alkalmával használatosak fixen telepített, vagy mobil mérőeszközként.

A következőkben pár konkrét gyártmányt mutatunk be az érdekesség kedvéért. Az egyik ilyen berendezés az OSI Laserscan cég (http://www.osilaserscan.com) terméke (lásd alábbi ábra).



26. ábra: A képen az OSI Laserscan cég lézerkészüléke látható (http://www.osilaserscan.com)

Az OSI Laserscan detektorok a forgalomszámlálás mellett alkalmasak a járművek formája, szélessége, ill. hosszúsága alapján történő járműkategorizálásra. Mindegyik készülékük olyan lézersugarat bocsát ki, amelyek nem károsítják az emberi szemet és a sofőrök számára sem zavarók. A készüléket nagyon tág hőmérsékletviszonyok között lehet használni, mert akár a -40 °C-os hőmérsékleten is pontosan mér, a lézer előtti üvegre szerelt fűtőszálnak köszönhetően. Alább három OSI Laserscan készülék elhelyezésének sematikus ábrája látható, amelyek 1, 2, ill. 3 forgalmi sáv megfigyelésére képesek (30°, 60°, és 90°-os szögtartományban mérve).



27. ábra: Az OSI Laserscan AS615, AS825 és AS9390 típusainak mérési szögtartományai

Egy másik érdekesség az ún. LIDAR (a "Light Detection And Ranging" rövidítése), amely a lézersugár alkalmazása mellett fény érzékelésével (típustól függő, pl. látható fény, ultraibolya, infravörös) egészíti ki a mérést. A LIDAR szenzort alapvetően a térképészet, geológia, ill. meteorológia alkalmazza, de a nagy pontosságának köszönhetően a közlekedésben is teret nyert a járműérzékelés céljából. Erre példa a Vitronic vagy a Laser Technology cégek termékei (lásd az alábbi ábrákat).



28. ábra: A Vitronic cég LIDAR szenzorai (www.vitronic.de)



29. ábra: A Laser Technology Inc. sebességmérő LIDAR szenzora, amely akár okostelefonhoz is csatlakoztatható (www.lasertech.com)

6. Közösségi közlekedési járművek érzékelése előnybiztosítás céljából - "zöld út" kérés

A közösségi közlekedés előnyben részesítése, mint alapvető közlekedéspolitikai koncepció egyre inkább előtérbe kerül napjainkban. Az ehhez kapcsolódó legfontosabb feladat a közösségi jármű érzékelése és beazonosítása, majd a lehetőségekhez mérten a "zöld út" biztosítása a jelzőlámás csomópontokban. A buszok, trolik és villamosok mellett természetesen egyéb speciális járművek számára is biztosítható előny (pl. tipikusan mentő- és tűzoltóautó). A következőkben a közösségi közlekedés előnybiztosításához alkalmazható technológiákat ismertetjük.

Felsővezeték érzékelő

A felsővezetéken keresztül történő érzékelés egy lehetséges megoldás a villamosok és trolibuszok egy adott csomóponthoz történő bejelentkezéséhez. Továbbá a közúti-villamos kereszteződésekben ilyen bejelentkező eszköz is működtetheti az útátjáró fedezőberendezést (felül piros, alul sárga fényű jelzőlámpa, amely villogó sárga, folyamatos sárga, majd piros fényjelzést ad). A felsővezeték érzékelők két fő típusa az elektromechanikus és az elektronikus kiépítés.

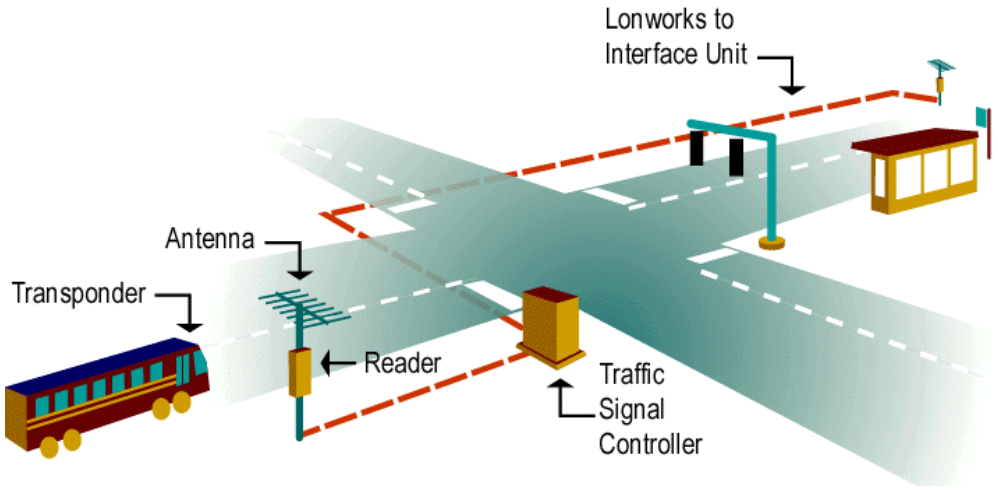
Az elektromechanikus (jelfogós) úgynevezett "laza felsővezetékes detektor" jeladója egy, a villamos táplálását szolgáló munkavezetékkel párhuzamosan elhelyezett, külön szigetelt vezetékszakaszból áll, amely egy relével van összekapcsolva. A jármű érkezésekor az áramszedő kapcsolatot (zárlatot) létesít a két vezeték között, amelyet egy jelfogó érzékel. A kontaktus jelére ezután működésbe léphet a forgalomirányító berendezés: az igényfázis biztosítása a csomópontban vagy a fedezőberendezés vezérelése. Az elektromechanikus felsővezeték érzékelő hátránya, hogy rendszeres karbantartást igényel, ill. időjárásra érzékeny (dér- vagy jégképződés esetén érintkezési problémák).

Az elektronikus felsővezeték detektor a villamos áramszedőjének érintése nélkül, csupán a szenzornak a vezeték "mellé érkezése" alapján lép működésbe. A relés megoldás jellemzőihez képesti előnye, hogy nincsenek mechanikusan igénybevett (kopásnak kitett) elemei, így az időjárásra is kevésbé érzékeny.

Rádiós kapcsolaton alapuló járműérzékelés

Általánosságban elmondható, hogy az elmúlt évtizedek technológiai fejlődésének következtében a fent ismertetett felsővezetékes járműérzékelés nagyrészt a háttérbe szorult, hiszen az ma már jóval egyszerűbb és olcsóbb technológiákkal helyettesíthető. Ilyen megoldás tipikusan a különböző rádiófrekvenciás adatátvitelű technológiák alkalmazása, pl. rövid hatótávolságú rádiós (Bluetooth, Wifi) vagy akár az RFID (Radio Frequency IDentification) kommunikáció.

Az RFID automatikus azonosításhoz és adatközléshez használt technológia. Az RFID lényege az elektromágneses mezőn keresztül történő adatkommunikáció: adatok tárolása az RFID címkébe kódolva, adatok továbbítása a címkék és olvasók segítségével. Az RFID címkék beépíthetők az azonosítani kívánt közlekedési járműbe, így az járműazonosításhoz is alkalmazható. Az alábbi ábra a rádiós kapcsolaton alapuló buszbejelentkezés sémáját szemlélteti.

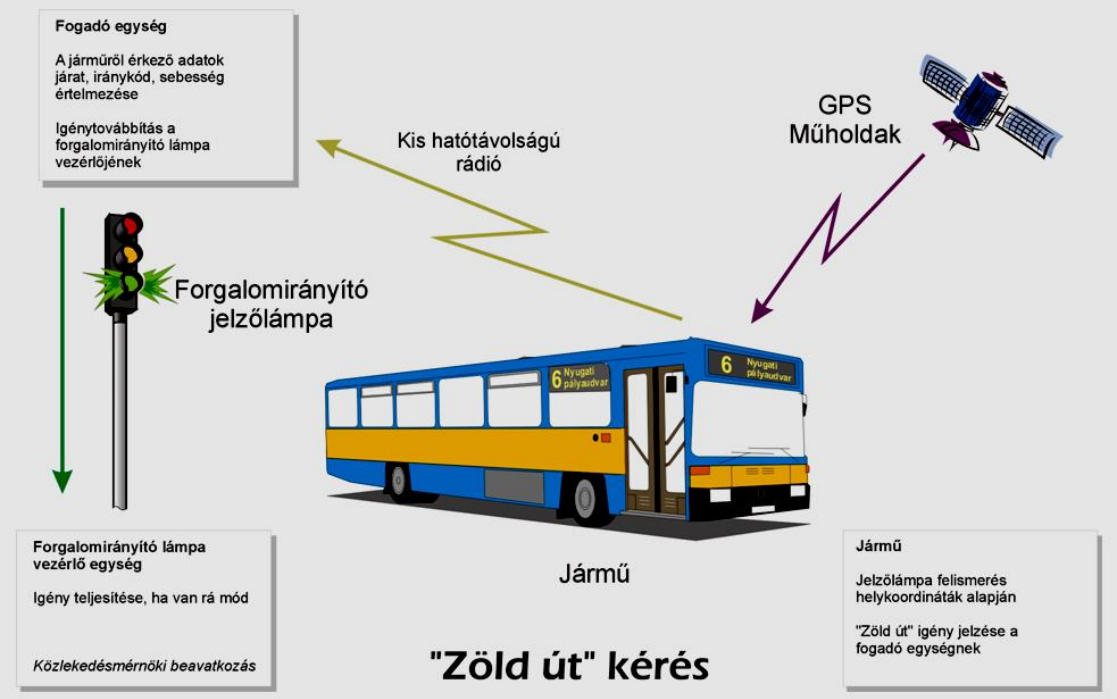


330. ábra: Busz bejelentkezés rádiós kapcsolaton keresztül

"Zöld út" kérés GPS technológiával

A fent említett rádiós kapcsolat mellett a tömegközlekedési jármű bejelentkezése kiegészíthető a GPS technológiával is. A jelzőlámpás kereszteződés felé tartó jármű GPS vevője másodpercenként meghatározza a jármű földrajzi helyzetét és sebességét. A fedélzeti számítógép pedig kiszámítja a jármű várható érkezési idejét. Amikor a jármű sebessége és helyzete alapján számított érkezési idő meghatározott érték alá csökken, akkor egy kis hatótávolságú rádión keresztül kisugározza a haladási iránynak megfelelő kódot. Hangolt rendszerek esetében a járművek érkezését nagy távolságból (~1 km) kell jelezni, amihez már mobiltelefon-hálózati kommunikációt (pl. GPRS) érdemes használni.

A jármű bejelentkezését tipikusan a terepi forgalomirányító berendezésbe épített vevő érzékeli, ami azután a megfelelő irányba „zöld utat” biztosít a jelzőlámpákon keresztül. A forgalomirányító berendezés tehát szükség esetén megnyújtja a „zöld fázist”, vagy megrövidíti a „piros fázist”, és így előnyt biztosít a tömegközlekedési eszköznek az egyéb járművekkel szemben. Példaként tekintsük meg az alábbi ábrán a Pécsen alkalmazott Siemens előnybiztosító rendszer folyamatát!



31. ábra: A járműbejelentkezés folyamatának ábrázolása (www.siemens.hu)

3. lecke: Tengelysúly-mérés

A közúti pályatest többrétegű, amelyekből a járműforgalom által leginkább igénybevett rész a kopóréteg. Ezen a legfelső felületen megjelenő burkolathibák az idő múlásával az alsóbb rétegekben egyre súlyosabb és egyre költségesebben javítható károkat okozhatnak. Ennek következtében az egész útpálya erősen amortizálódik, és várható élettartama is csökkeni fog. A leggyakrabban bekövetkező pályaszerkezeti deformációk: nyomvályúk, felületi elhasználódások, repedések. Fontos tudni, hogy a kopóréteg által okozott burkolati károkat a megengedettnél nagyobb tengelyterhelésű tehergépjárművek is okozhatják, amennyiben a túlterhelt gépjárművek aránya jelentős. Az alábbi táblázatokban (a teljesség igénye nélkül) a Magyarországon megengedett maximális tengelyterhelésre és maximális össztömegre vonatkozó határértékeket olvashatjuk a 6/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendeletnek megfelelően.

Megengedett maximális tengelyterhelés	
nem hajtott tengely	10,00 tonna
hajtott tengely	11,50 tonna

Megengedett maximális össztömeg	
két tengelyes jármű	18,00 tonna
három tengelyes gépjármű	25,00 tonna
négy vagy több tengelyes jármű	30,00 tonna
négy tengelyes csuklós jármű	36,00 tonna
öt-, vagy ennél több tengelyes járműszerelvény	40,00 tonna

A piaci verseny erősödésének egyik következményeképpen egyes közúti fuvarozó cégek igyekeznek kisebb számú tehergépjárművel fuvarozni azáltal, hogy a járműveket a megengedettnél nagyobb súlyú rakománnyal közlekedtetik. Összehasonlításképpen: egy szabályosan közlekedő 40 tonnás teherautó által előidézett amortizáció megegyezik 300 000 darab személygépkocsi által okozott útrongálás mértékével. Természetesen egy túlsúlyos jármű ennek többszörösét is okozhatja. A túlsúlyosan közlekedő tehergépjárművek tehát nemzetgazdasági szinten is jelentős kárt képesek tenni az úthálózatban. Így a túlterhelt gépjárművek forgalomból való kiszűrése különösen fontos feladat.

Ehhez a problémakörhöz kapcsolódik a tengelysúly-mérő rendszerek alkalmazása, amelyek legfőbb elemei a következők:

- hagyományos (pl. hurokdetektor) és speciális érzékelők (pl. piezoelektromos detektor)
- rendszámfelismerő kamerarendszer,
- kapcsolódó informatikai rendszer.

Megjegyzés:

A tengelysúly kifejezésben a "súly" fogalma szándékos, mivel a tengelyterhelést e rendszerekben az tengely által kifejtett súlyerőként mérik [kg] vagy [N] mértékegységben.

1. Tengelysúly-mérő rendszerek csoportosítása

Járművek tömegének mérése a kezdetekben a statikus mérlegelési technológiával indult, amely máig jellemzően használt módszer. Sőt bizonyos esetekben csak a statikus mérés az elfogadható, hiszen a legkisebb mérési hiba nem mozgó tömeg mérlegelésekor érhető csak el.

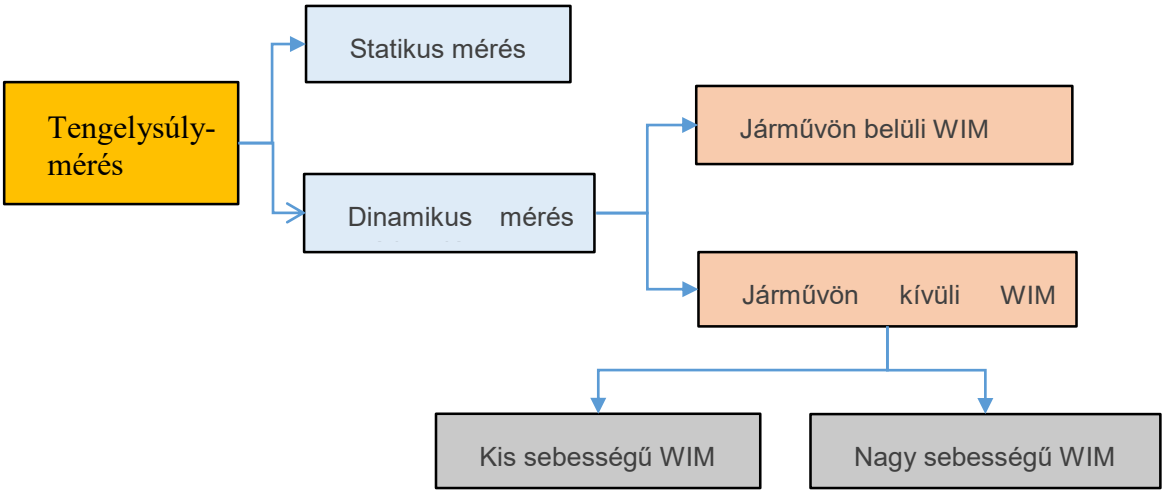
Időközben egyre érdekesebbé vált a járművek mozgás közben történő megmérhetőségének lehetősége. Ennek célja, hogy a mérés lassú sebesség mellett vagy akár nagy sebesség mellett (normál forgalmi körülmények között) is elvégezhető legyen. Ez a WIM rövidítéssel közismertté fogalom, azaz "Weigh In Motion". Az ezzel kapcsolatos kutatások az 1950-es években indultak meg az USA-ban eleinte még csupán mechanikai feszültséget mérő szenzorok alkalmazásával. A számítástechnikai fejlődéssel együtt a WIM eszközök is nagyot fejlődtek. A 1970-es években már nagy sebesség melletti mérésekre alkalmas (útburkolatba építhető) szenzorok jelentek meg.

A kis sebességű "Low Speed WIM" (LS-WIM) rendszerek esetén az áthaladási sebesség maximalizálva van a mérőeszköz specifikációjának megfelelően (jellemzően max. 15 km/h). Az ilyen eszközöket természetesen csak járműkitereléssel lehet megfelelően alkalmazni. Mindazonáltal a mérési folyamat sokkal egyszerűbb és gyorsabb a statikus mérlegeléshez képest.

A nagy sebességű "High Speed WIM" (HS-WIM) rendszereknél a mérés során megengedett legnagyobb áthaladási sebesség gyakorlatilag nincs maximalizálva (de 15 km/h-nál nagyobb) Ebből kifolyólag a forgalom megzavarása nélkül képesek minden elhaladó gépkocsi adatainak mérésére.

Természetesen a terhelés mérésére a járművön belül is lehetőség van (megfelelő fedélzeti egység megléte esetén), ami szintén egyfajta WIM technológia tulajdonképpen. Ez esetben a gyorsulás és a járműre ható különböző erők mérésével állapítható meg a tengelyterhelés és az össztömeg. Ugyanakkor ez a módszer hatósági ellenőrzésre nem kifejezetten alkalmas, hiszen a mérőeszköz az ellenőrizendő oldalon van, így annak szándékos elrontása könnyen megoldható.

A tengelysúly-mérő rendszerek csoportosítását az alábbi ábra szemlélteti.



32. ábra: Tengelysúly-mérő rendszerek csoportosítása

A tengelysúly-méréshez alkalmazott leggyakoribb technológiákat az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

Tengelysúly-mérési módszer	A mérési technológia
Elhajló lemezes	A mérőtalp alakváltozása nyúlásmérő bélyeg technológiával érzékelhető. Az így detektált elektromos jel arányos az elhajlás, tehát a tengelysúly mértékével.
Piezoelektromos	A piezo kristályban nyomásváltozás hatására elektromos feszültség indukálódik, melynek nagysága a testre ható erő által kifejtett nyomással arányos.
Hidraulikus erőmérő cella	A szenzorban folyadékkal töltött csövek vannak, amelyek a kifejtett nyomás hatására elektromos jelet indukálnak. A hidraulikus nyomás arányos a mérőeszközre ható erővel.
Kapacitív szőnyeg	A kapacitív szőnyeg gyakorlatilag két fém réteg közötti dielektromos anyagot jelent. A dielektrikum (állandó mágnes elektromos megfelelője) molekulái átrendeződnek a szőnyegre kifejtett mechanikai nyomás hatására, ezáltal megváltoztatva annak kapacitását. Ezt az elektromos áramkör (aminek a dielektrikum is része) rezonanciafrekvenciájának mérésével érzékelik. A kapacitásváltozás arányos a szenzorra ható erővel.
Üvegszál alapú	Az üvegszál (optikai szál) alapvetően nagy mennyiségű adat továbbítására alkalmazott technológia. Ugyanakkor lehetőség van az üvegszálban megjelenő feszültség, ill. hőmérséklet információ kinyerésére is. A technológia lényege, hogy külső nyomás hatására

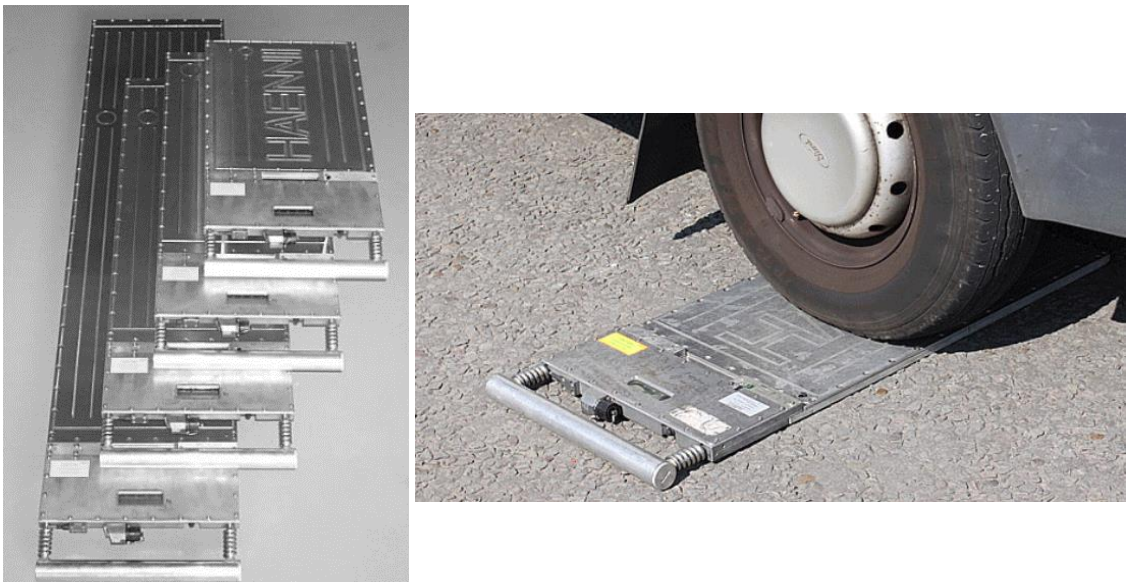
	az optikai szál megnyúlik, amit a fázisváltozás mérésével detektálnak. A hosszváltozás arányos a szenzorra ható erővel.

A felsorolt technológiák csak módszertani csoportok. Azokon belül a mérőeszközöknek számtalan változata létezik. Ráadásul ezeket az eszközöket gyakran kombinálják egyéb klasszikus szenzorokkal: tipikusan a dinamikus tengelyterhelés mérésekor kamerákat és hurokdetektorokat is használnak.

2. Statikus tengelysúly-mérés és kis sebességű WIM

A statikus tengelysúly-mérés tipikusan a szúrópróbás ellenőrzés során alkalmazott technológia. Ilyenkor a járműforgalomból kiállított gépjárművet az alkalmazott súlymérő érzékelőre állítva ellenőrzik. Korszerűbb érzékelők esetén pedig lehetőség van a jármű megállás nélküli mérésére (kis sebességű haladás mellett). Ez utóbbiak a WIM rendszerű mérőeszközök kis sebességű változatai (Low Speed Weigh In Motion). Az alábbiakban néhány gyártó mérőeszközeit ismertetjük a legjellemzőbb technológiák bemutatásának céljával.

A jelenleg Magyarországon is alkalmazott, Haenni WL 103 mobil tengelysúly-mérő eszköz statikus mérésre alkalmas (lásd alábbi ábra). Ez a mérlegek 10-15 tonna közötti tengelysúly tartományban legfeljebb ±1-1,5%-os hibahatárral (±100-150 kg) mér. Egy fejlettebb változata a WL 104 típusú mérleg, amely már kis sebesség melletti (LS-WIM) mérésre is használható.



33. ábra: Haenni WL 103 típusú statikus mérleg (www.haenni-scales.com)

Magyarország Kormánya
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

A Haenni mérőtalp hidraulikus erőmérő cella technológiát alkalmaz. Azaz folyadékkal töltött csövek vannak benne, amelyek végén szenzorok érzékelik a folyadék nyomását. A mérlegen kifejtett nyomás elektromos jelet indukál a szenzorban, amely arányos a talpra ható erővel. A mért jeleket mikroprocesszor dolgozza fel.

Hasonlóképpen statikus vagy alacsony sebesség melletti méréshez gyárt eszközöket a Girwim cég. Az általuk forgalmazott elhajló lemezes szenzorok (lásd alábbi ábra) 6 km/h-ás mozgás közbeni 1%-os hibahatáron belül mérnek. Statikus mérésnél pedig legfeljebb 0,5%-os a mérési hiba.



34. ábra: Hordozható WIM rendszer (www.girwim.com)

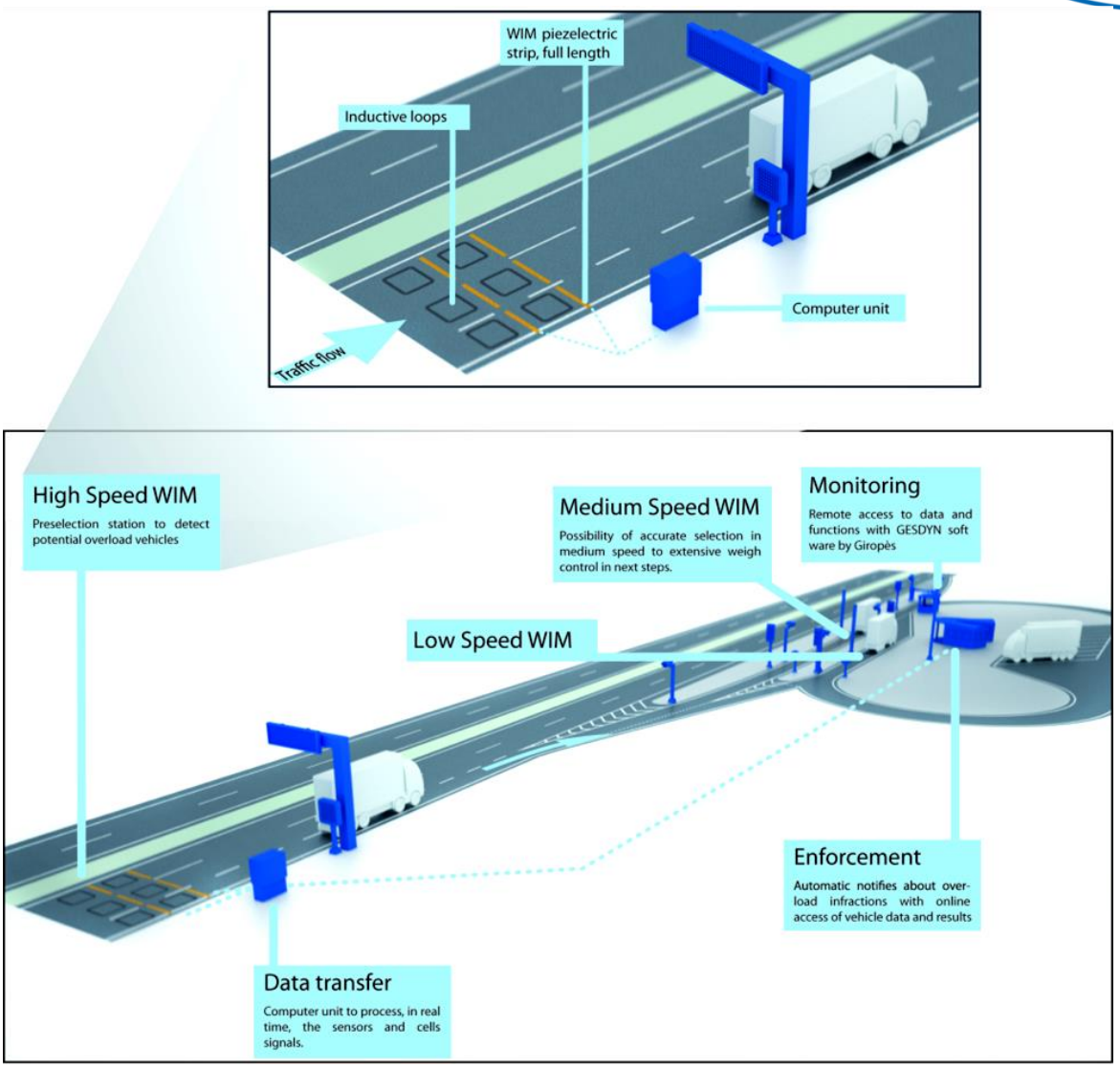
A fenti ábrán látható, hogy a mérőeszközt szintkiegyenlítő rácsszőnyegbe ágyazva alkalmazzák.

2. Nagy sebességű WIM

A nagysebességű, dinamikus tengelysúly-mérő rendszereket (High Speed Weigh In Motion) alapvetően előszűrésre találták ki. A mérőterminálok előtt alkalmazva ezek az eszközök nagyban fokozzák az ellenőrzés hatékonyságát, hiszen ilyenkor csak a "gyanús" teherautókat kell kiterelni további mérlegelésre. A HS-WIM előszűrő rendszerek alapelemei:

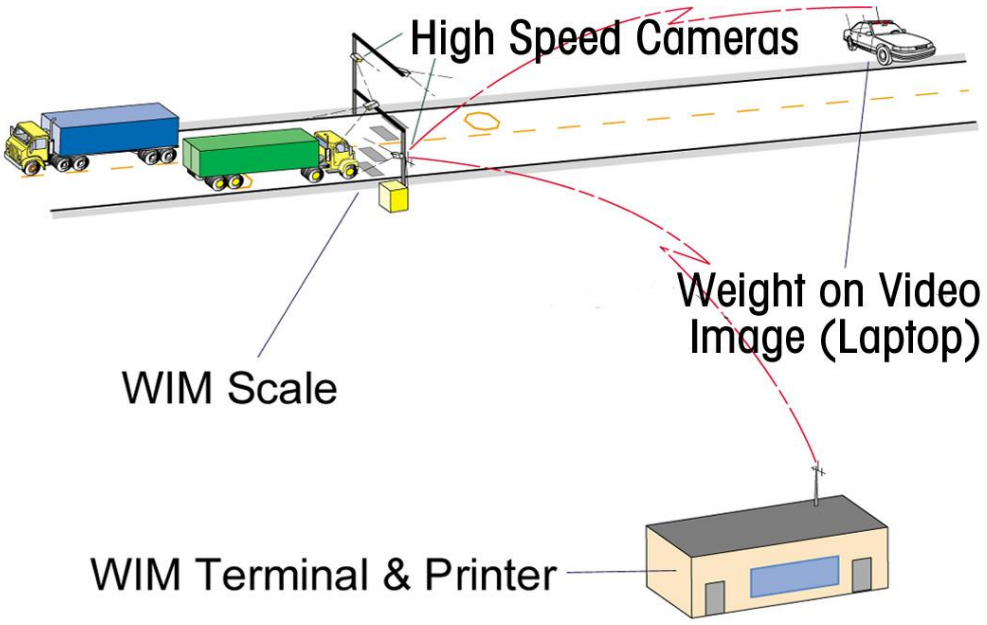
- burkolatba épített HS-WIM szenzorok a hozzájuk tartozó adatfeldolgozó és kommunikációs egységekkel együtt;
- kamera a járművek beazonosításához (rendszám felismerés);
- változtatható jelzésképű tábla a túlsúlyosnak érzékelt gépjárművek tájékoztatására;
- központi vezérlő egység, amely az összes detektorból érkező adatokat kezeli, és vezérli a változtatható jelzésképű táblát.

Egy ilyen mérőterminál előtti előszűrésre mutat példát a Girwim HS-WIM rendszere (lásd alábbi ábra), amely koncepcióban természetesen azonos más cégek rendszereivel.



35. ábra: Mérőterminál előtti előszűrésre alkalmazott HS-WIM (www.girwim.com)

A HS-WIM előszűrés egy másik változata, amikor nincs mérőterminál és változtatható jelzésképű tábla sem áll rendelkezésre. Ekkor a hatósági ellenőrző autó tereli ki a túlsúlyos járművet további mérlegelés céljából. Ezt a koncepciót szemlélteti az alábbi ábra.



36. ábra: Előszűrés mérőterminál nélküli ellenőrzésre (www.mtwim.com)

A nagy pontosságú mérési technológiáknak és a gyors informatikai rendszereknek köszönhetően az előszűrés mellett ma már egyre inkább előtérbe kerül a HS-WIM rendszerek teljesen automatizált alkalmazása. Azaz lehetőség van a menet közbeni bírságolásra is. Adott mértékű túlsúly esetén (a hibahatárt is figyelembe véve) a jármű a rendszámfelismerő kamerák segítségével beazonosítható és (a traffipaxhoz hasonlóan) utólagosan szankcionálható. Példaként említjük a Cross cég HS-WIM rendszerét, amely tanúsítottan ±5% mérési hibával képes az össztömeg mérésére, és hasonló megbízhatósággal tudja a járműveket azonosítani (www.cross.cz/en/wim-weigh-in-motion).

A fentiek mellett azt is meg kell említeni, hogy a HS-WIM rendszerekben alkalmazott szenzorok (pl. kamera, infravörös érzékelő, hurokdetektor) a tengelyterhelés mellett számos más paraméter pontos detektálására képesek. Ezáltal ezek a rendszerek ma már gyakorlatilag teljes körű ellenőrzésre és szankcionálásra, ill. forgalomtechnikai mérésre is használhatók. Ilyenek többek között az alábbiak:

- úthasználati díj megfizetésének ellenőrzése (rendszámfelismerő rendszer segítségével),
- követési távolság betartása,
- kötelező sávtartás betartása,
- sebességkorlátozás betartása,
- méret ellenőrzése (fénysugár szenzorral lehetséges túlméretes járművek érzékelése),
- tengelyterhelés és összterhelés ellenőrzése,
- futómű és fékrendszer ellenőrzése (infrakamerák képesek a túlmelegedett kerekek érzékelésére)
- járműkategória,
- forgalomnagyság,
- sebesség.

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

3. modul: Alternatív mérőeszközök

Cél:

A tananyag célja a közúti forgalom alternatív mérőeszközeinek bemutatása. Alternatív mérőberendezések alatt olyan eszközöket értünk, amelyeket csak másodlagosan alkalmazunk forgalomtechnikai paraméterek mérésére, becslésére.

Általánosságban elmondható, hogy a hagyományos (fixen telepített) szenzorokkal nagy megbízhatóságú mérőrendszerek alakíthatók ki. Hátrányuk ugyanakkor a magas telepítési és karbantartási költség. További korlátot jelent, hogy ezekkel a szenzorokkal nagyobb térbeli kiterjedésű mérések nehezen megvalósíthatók, pl. közvetlen honnan-hová utazási információk. A hagyományos szenzorok kiváltására vagy kiegészítésére az alternatív mérési technológiák nyújtanak lehetőséget.

Az elmúlt évek információtechnológiai fejlődése nyomán mára mérhetetlen mennyiségű olyan historikus vagy valós idejű adatbázis létezik, amelyeket ugyan nem közvetlenül a közúti forgalom mérése céljából állítottak/állítanak elő, jellegükből adódóan mégis hordoznak ilyen többletinformációkat. Ezek az adatok komoly potenciált jelentenek a közlekedésben szervezési, tervezési, ill. szolgáltatási szempontból.

Követelmények:

Ön akkor sajátította el megfelelően a tananyagot, ha képes

- felsorolni a főbb alternatív mérési technológiákat,
- ismertetni az alternatív mérési módszerek elvi alapjait.

Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 1 órára lesz szüksége.

Kulcsfogalmak:

- Floating Car Data (FCD),
- mobilcella alapú forgalmi mérés,
- Bluetooth alapú forgalmi mérés.

1. lecke: Floating Car Data (FCD)

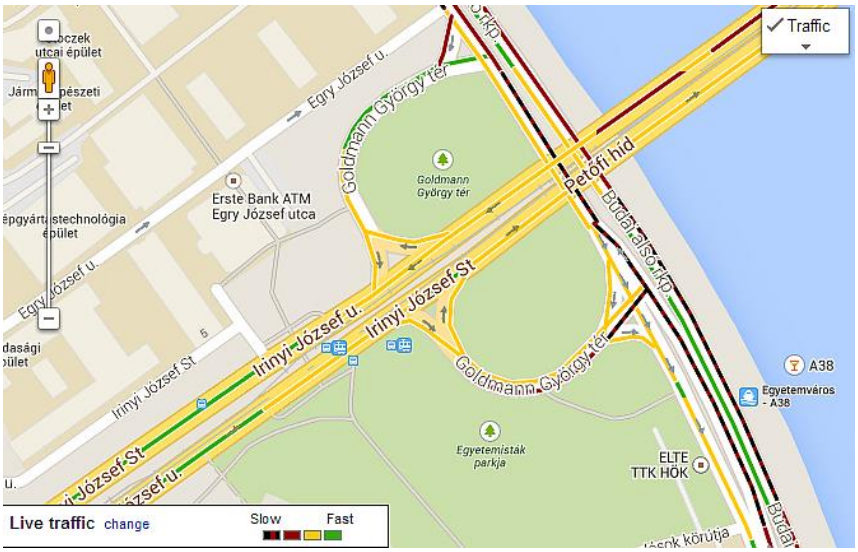
Az FCD, azaz "Floating Car Data" a leggyakoribb alternatív mérési technológia. A "floating" kifejezés arra utal, hogy a mérést a forgalommal együtt "áramló" jármű végzi. Magyar megfelelője az "úszó kocsis mérés".

Az FCD mérések során a megfigyelt úthálózaton tartózkodó járművek útja folyamatosan követhető, majd a járművek által befutott útvonalak és az érzékelési pontokon történő elhaladásuk között eltelt idő alapján becslés adható a hálózat egyes elemeinek (pl. útszakasz) forgalmi állapotára. Ehhez szükséges, hogy a járművek fedélzetén legyen valamilyen, a követés megvalósítását lehetővé tevő eszköz, mint például GPS, mobiltelefon, Bluetooth eszköz, stb.

A FCD adatgyűjtések alapja az, hogy a beérkező járműadatok alapján egy-egy útszakaszra vonatkozóan a járművek átlagsebessége megállapítható. Ezek segítségével lehetővé válik a torlódások felismerése, valamint valós időben, személyre szóló útvonalajánlások is adhatók.

Az ilyen mérések nagy előnye, hogy a teljes forgalomban futó járművek csupán 2%-ának detektálása is elég ahhoz, hogy a mérés pontossága 85%-os megbízhatóságú legyen.

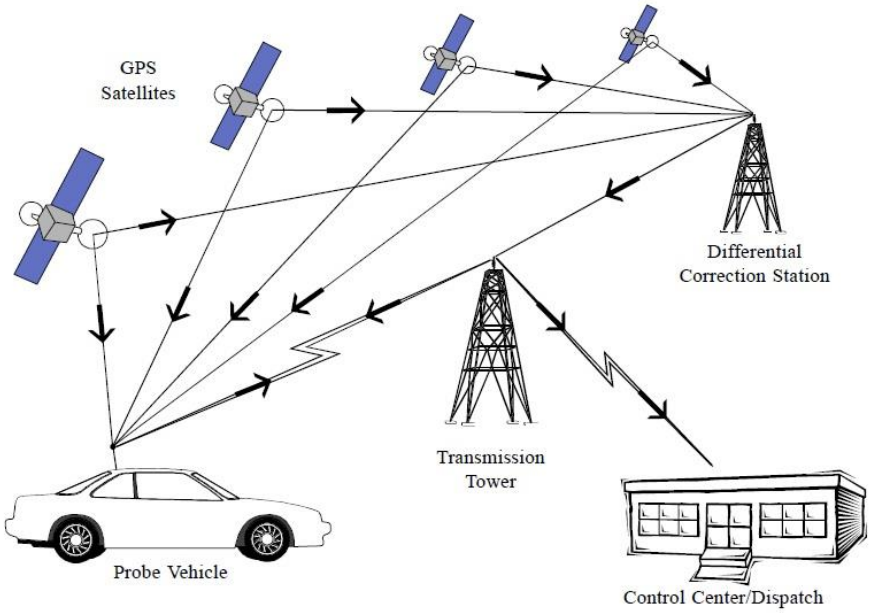
Egy FCD alapú alkalmazásra példa a Google Map Traffic funkciója. Itt az adatok forrása részben flottakezelő cégektől, részben pedig a magánemberek okostelefonjai által szolgáltatott GPS adatokból tevődik össze. Ez a szolgáltatás egy térképre kirajzolva nem pontos sebességeket, hanem csupán színkóddal kifejezett forgalmi kategóriákat ad meg az egyes útszakaszokra vonatkozóan (lásd alábbi ábra).



37. ábra: Pillanatkép a Google Map-ből forgalmi színkódokkal

2. lecke: GPS alapú FCD

Az GPS alapú FCD gyakorlatilag a flottamenedzsment rendszerek által rögzített GPS koordinátára épülő járműtrajektória információ. Ehhez egy fedélzeti egység valós időben szolgáltat adatokat a jármű aktuális sebességéről, pozíciójáról, illetve egyéb, az üzemeltető számára fontos jellemzőkről, például az üzemanyag-fogyasztásról. Ezen adatok segítségével utazási idők, honnan-hová információk, sőt útvonal adatok is megbízhatóan becsülhetők. A flottamenedzsment-rendszereknek számos felhasználói köre van, mind a privát, mind a közszférában. A magáncégek közül jellemzően az áruszállítóknál és a taxiknál találkozhatunk ezekkel a rendszerekkel. Egy példa erre a Berlinben megvalósított rendszer (Gühnemann et al., 2004), ahol a forgalomirányító központ valós idejű taxi GPS adatokat kap (járművenként kevesebb, mint 2 perces mintavételi idővel). A közösségi közlekedés esetében hazai példákkal is találkozhatunk. Ilyen többek között a Budapesten működő FUTÁR rendszer. A külföldi alkalmazások közül pedig érdemes megemlíteni még a Londonban működő rendszert, ahol magánfelhasználók is követhetik a különböző járművekről beérkező adatokat (www.tfl.gov.uk/info-for/open-data-users/).



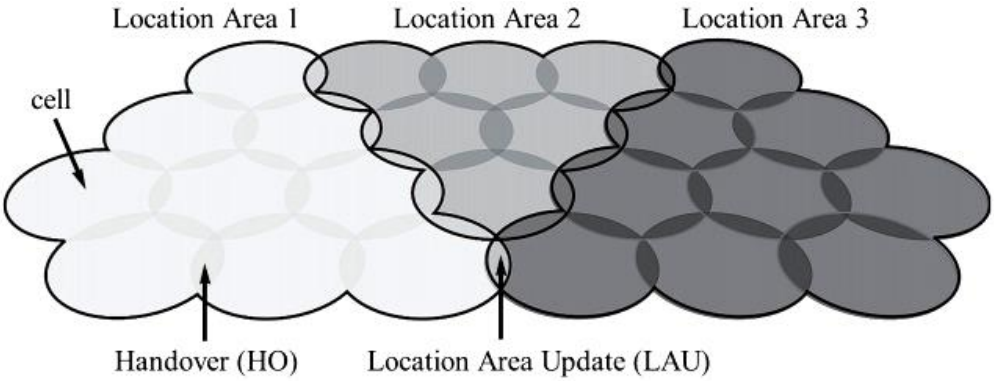
38. ábra: A GPS alapú FCD adatgyűjtés folyamata

3. lecke: Mobiltelefon alapú FCD

Az FCD mérések másik komoly potenciálját a mobiltelefon segítségével gyűjtött információk (Floating Mobile Data) jelentik. Ekkor az utazó mobiltelefonok pozícióadatait használják fel. Az mobiltelefon alapú FCD két csoportra bontható: kliens-oldali és szerver-oldali információgyűjtésre. Az előbbi esetében okostelefonon futó applikációk segítségével nyerhető ki GPS pozíció adat. Az ilyen applikációk persze cserébe navigációs információkkal látják el a felhasználót. Ismert példa erre a Google Map, Bing Map, és egyéb navigációs alkalmazások.

A mobiltelefonos FCD információk beszerzésének másik lehetősége a szerver-oldali technológiák alkalmazása. Ez esetben is az utazó mobiltelefonok megfigyeléséről van szó, de kizárólag a telefonoperátor oldaláról.

A mobil kommunikációs hálózat bázisállomások által lefedett területi egységekből – cellákból – épül fel. Az adótornyok fő feladata a rádióhullám alapú kapcsolat fenntartása a terminál és a hálózat között. Egy cella sugarának hossza antennaparaméterektől és hullámterjedési feltételektől függ (néhány száz métertől több tíz kilométerig terjedhet). A cellák ún. Location Area-ba (LA) csoportosulnak (lásd alábbi ábra).



39. ábra: A GSM hálózat felépítése

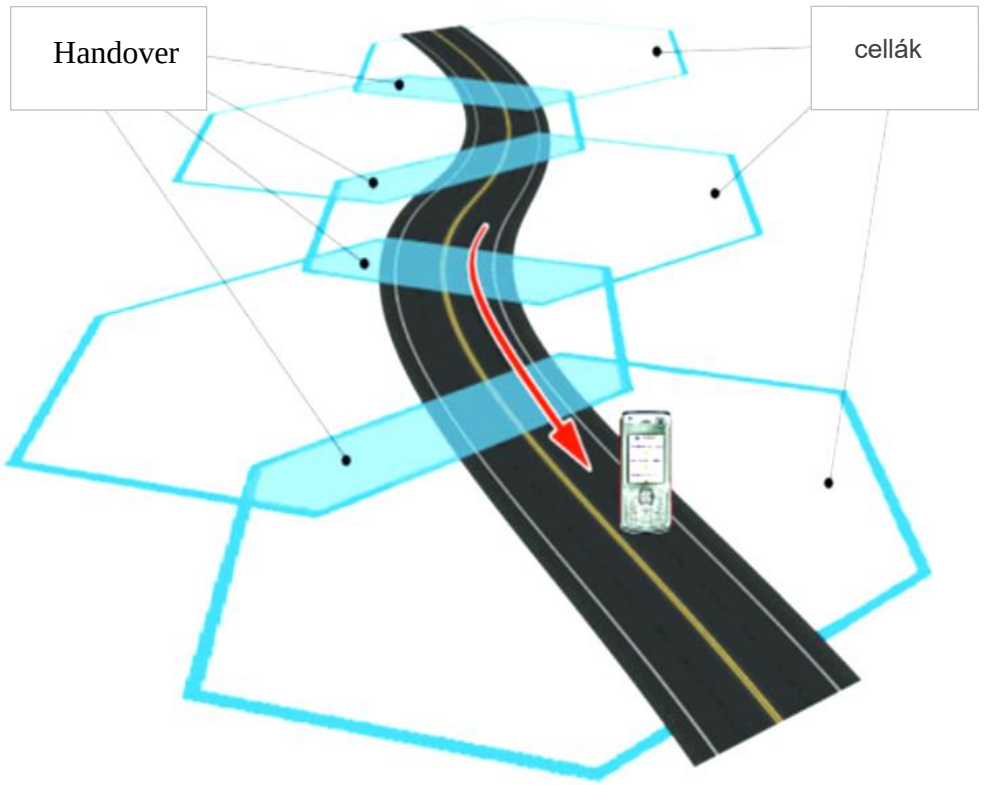
Amikor egy utazó terminál áthalad a hálózaton különböző jelzéseket indukál a rendszerben. A leggyakrabban előforduló jelzési események az ún. Handover (HO) és a Location Area Update (LAU), amelyeket a cellaváltás, ill. a LA-váltás hoznak létre (lásd fenti ábra). HO akkor keletkezik, amikor egy hívásban lévő telefon átirányításra kerül az adott cellából és csatornáról egy másik cellába, ill. csatornára. "Idle" mód (bekapcsolt telefon, de nincs hívásban) esetén LAU esemény generálódik, amennyiben a terminál átlép egy másik LA-ba.

Ha egy mobiltelefon mozog, különböző típusú jelzéseket generálhat a rádiófrekvencia alapú telekommunikáció működésének megfelelően. Ezek az események akár helyfüggő szolgáltatások kiszolgáló adataiként is szolgálhatnak (Küpper, 2005). E téma számos kutatási iránya mellett, kiemelkedő terület a rádiótelefon-hálózati adatok közúti közlekedésben való alkalmazhatósága. A hálózati adatok legnagyobb előnyét a számossága jelenti, hiszen gyakorlatilag mindenki rendelkezik mobiltelefonnal. Az összes, utazók által generált eseményt a telekommunikációs

MAGYARORSZÁG KORMÁNYA
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE
SZÉCHENYI 2020

rendszert üzemeltető operátor automatikusan érzékeli a bázisállomásokon keresztül. Ezáltal a mobiltelefonok gyakorlatilag olyan detektorokként is felfoghatók, amelyek nem igényelnek addicionális infrastruktúrabővítést. Az ilyen adatok feldolgozása ugyanakkor megfelelő algoritmusok meglétét igénylik (Tettamanti et al., 2013).

A szerver-oldali mobiltelefonos FCD legfőbb előnye, hogy gyakorlatilag a közlekedési hálózat teljes körű mérésére alkalmas, pl. célforgalmi mátrix becslése (Tettamanti & Varga, 2014). Továbbá a sebességbecslés pusztán a rádiótelefon-hálózati adatok felhasználásával (GPS adatok nélkül) is megvalósítható (Ludvig et al., 2012). Ez utóbbit szemlélteti az alábbi ábra.



404. ábra: Mobiltelefon alapú FCD-gyűjtés folyamata (Innamaa & Hätälä, 2012)

Természetesen az adatvédelmi kérdések vizsgálata és tisztázása elkerülhetetlen a mobiltelefon adatok gyűjtésekor. Fontos megjegyezni, hogy technológiai szempontból az adatvédelem teljes mértékben garantálható. A jogi kérdések ugyanakkor még tisztázatlanok. A kulcskérdés alapvetően az adatok hozzáférhetőségét jelenti (Ackerman, 2003).

4. lecke: Bluetooth alapú mérés

Egy további alternatív mérési lehetőség a - néhány városban már üzemelő - Bluetooth alapú érzékelés (Qing, 2011), amely szintén rádiófrekvenciás technológia. A rendszer az úton elhaladó járművekben található vezeték nélküli eszközök (pl. mobiltelefon headset) egyedi azonosítói (MAC-címei) alapján képes megbecsülni a forgalmi paramétereket.

A Bluetooth alapú forgalmi méréshez az út mentén adó-vevő készülékek telepítése szükséges, amelyek az éppen elhaladó járműben lévő, bármilyen aktív Bluetooth-os eszköz érzékelésére képesek. Ezután az út menti egység a detektált eszköz MAC-címét és a saját helykódját kábeles vagy mobilinternet kapcsolaton keresztül továbbküldi egy központi szerverre, ahol megtörténik a mért adatok kiértékelése. Általában a hálózatban való tartózkodása alatt minden jármű több adó-vevő mellett is elhalad, ezek alapján - kellően alacsony fokú bizonytalanság mellett - meghatározható az egy-egy jármű által befutott út. Az összes Bluetooth-berendezéssel felszerelt jármű útvonalából, illetve az adó-vevők közötti eljutási idők méréséből pedig a hálózat útjainak forgalmi állapota határozható meg. Így egy-egy útszakaszra kiszámítható az átlagsebesség, továbbá a helykód-adók melletti elhaladások számából meghatározható a forgalomnagyság is.



41. ábra: A Bluetooth alapú forgalmi mérés lépései (www.bliptrack.com/traffic/area-of-operations/how-it-works)

Irodalom

Ackerman, L., Kempf, J., & Toshio, M. Wireless location privacy: Law and policy in the U.S., EU and Japan. Technical report, DoCoMo USA Labs, 2003.

Dalgleish, M. & Hoose, N.: Highway Traffic Monitoring and Data Quality, Artech House, London, 2008

Gühnemann, A., Schäfer, R. P., Thiessenhusen, K. U. & Wagner, P. Monitoring Traffic and Emissions by Floating Car Data, ITS Working Paper ITS-WP-04-07, Institute of Transport Studies, University of Sydney, 2004

Innamaa, S. & Hätälä, E. Floating mobile data pilot in the Helsinki Metropolitan Area, VTT, ISBN 978-951-38-7877-1, http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T51.pdf, 2012

Katkó, L., Varga, I., Luspay, T. & Tettamanti, T.: Közúti közlekedési automatika - Elektronikus jegyzet. Budapest: BME Közlekedésautomatikai Tanszék, 2007

Klein, L. A., Mills, M. K. & Gibson, D. R. P.: Traffic Detector Handbook: Third Edition, Volume I, U.S. Federal Highway Administration, Technical Report, No. FHWA-HRT-06-108, 2006

Klein, L. A. & Mimbela, L.E.Y.: A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems, Technical Report, New Mexico State University, 2000

Küpper, A. Location-based Services. John Wiley & Sons, ISBN 978-0470-09231-6, 2005

Leduc, G.: Road Traffic Data: Collection Methods and Applications, Working Papers on Energy, Transport and Climate Change N.1, European Commission - Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, 2008

Ludvig, Á., Tettamanti, T., Varga, I.: Travel time estimation in urban road traffic networks based on radio signaling data. 14th International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of Industrial Enterprises, MITIP, Budapest, pp. 514-527. ISBN: 978-963-311-373-8, 2012

Luspay, T., Tettamanti, T. & Varga, I.: Forgalomirányítás, Közúti járműforgalom modellezése és irányítása. Budapest, Typotex, 2011

Qing, O. Fusing Heterogeneous Traffic Data: Parsimonious Approaches using Data-Data Consistency, PhD Thesis, Delft University of Technology, 2011

Tettamanti, T., Varga, I. & Gáspár, P. Közúti forgalombecslés mobiltelefon-hálózati események alapján városi környezetben. Közlekedéstudományi Szemle,, LXIII(4), pp. 10-18., 2013

Tettamanti, T. & Varga, I. Mobile phone location area based traffic flow estimation in urban road traffic. Advances in Civil and Environmental Engineering, 1(1), pp. 1-15., 2014

Turner, S. M., Eisele, W. L., Benz, R. J. & Holdener, D. J.: Travel Time Data Collection Handbook, Chapter 5: ITS Probe Vehicle Techniques, U.S. Federal Highway Administration, Texas Transportation Institute, Texas A&M University System Technical Report, No. FHWA-PL-98-035, 1998

Wardrop, J. G.: Some theoretical aspects of road traffic research. In Proceedings, Institute of Civil Engineers, Volume 1, pages 325–378, 1953

Wardrop, J. G. & Charlesworth, G.: A method of estimating speed and flow of traffic from a moving vehicle. In Proceedings, Institute of Civil Engineers, Volume 3, pages 158–171, 1954