

Ad-hoc sebességszabályozó algoritmus

MEZNY BALÁZS, LABORCZI PÉTER, GORDOS GÉZA

*Ipari Kommunikációs Technológiai Intézet, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány
{mezny,laborczi,gordos}@ikti.hu*

Lektorált

Kulcsszavak: *vezeték nélküli ad-hoc hálózatok, adaptív sebesség szabályozás, tempomat, algoritmus, szimuláció*

Napjainkban az autógyárak a vevők kívánságainak megfelelően szerelik fel az autóikat kényelmi berendezésekkel, mint például tempomattal, melynek közreműködésével a vezető által beállított sebességet tartja a jármű. A csúcskategóriás luxusautókban ezt még kiegészíthetik egy távolságmérő szenzorral (radarral) is, ami az autó előtti tárgyak távolságát méri. Az ilyen rendszereknél beállítható egy követési távolság, amit az érzékelő által szolgáltatott adatok alapján kis gyorsításokkal, vagy fékezésekkel tart a tempomat. Az ilyen adaptív sebességszabályozó rendszerek azonban nagyon drágák és az autókba épített szenzoroknak korlátozott a hatótávolságuk és a látóterük. Nem ideális körülmények között egy autó sebességének a helyes megválasztása eseteként nehezen lehetséges. Ha egy kanyar vagy köd miatt nem látható az előttünk haladó autó, akkor bal-esethez vezethet, ha túl gyorsan, vagy túl lassan haladunk. Cikkünkben egy adaptív sebességszabályozó algoritmus működését mutatjuk be, mely az autók között ad-hoc módon kialakított vezeték nélküli hálózaton terjesztett adatok alapján állítja be a jármű sebességét, ezzel áthidalva a rossz látási viszonyok, vagy a rossz rálátás okozta problémákat. Az üzenetek tartalmazzák a küldő pontos helyzetét, haladási irányát, sebességét és ezek alapján az algoritmus meghatározza, hogy melyik üzenet küldőjét kell követni, miután a tempomatot bekapcsolta a vezető.

1. Bevezetés

Napjainkban az autógyárak egyre több kényelmi szolgáltatással igyekeznek magukhoz csábítani a leendő autótulajdonosokat. Ezek a szolgáltatások mind azért vannak, hogy a vezetőnek minél kisebb erőfeszítésbe kerüljön a vezetés. A megfelelő sebesség megválasztása és megtartása esetenként nehéz lehet. Egy hosszú utazás az autópályán, ahol több órán keresztül kell tartani egy meghatározott sebességet, kimerítő a vezető számára. Egy tempomat rendszerrel ezt a feladatot elvégezhetjük a sofőr helyett. Ilyen célra már több tíz éve kaphatunk egyre tökéletesedő, egyre energiatakarékosabb megoldásokat a legtöbb autógyártótól.

Az így működő sebességszabályozó rendszerek nem képesek alkalmazkodni a forgalmi helyzet változásaihoz, csak az előre beállított sebességet tartják, amíg a vezető ki nem kapcsolja a rendszert. Ha megváltozik a forgalmi helyzet, például autópályán valami torlódást okoz és lelassul a forgalom, akkor a hagyományos tempomat rendszer nem tud segítséget nyújtani.

Napjainkban kezdenek elterjedni az olyan rendszerek, amik egy szenzor segítségével figyelik a jármű előtti útszakaszt és figyelmeztetni tudják a vezetőt az akadályokra. Az autóban lévő érzékelő és beavatkozó szervek integrációja miatt lehetséges beavatkozni a jármű fékrendszerébe és lelassítani az autót, hogy a vezetőnek legyen ideje cselekedni. Az így működő vezetéstámogató rendszer hátránya, hogy csak ideális körülmények között működik megfelelően. Rossz környezeti viszonyok mellett, ködben, esőben vagy kanyarban, ahol az előre néző érzékelő nem látja az utat, nem tud megbízhatóan információval szolgálni a jármű előtti útszakasról.

Cikkünkben az előbb említett problémákra mutatunk be egy megoldást, kihasználva azt a lehetőséget, hogy vezeték nélküli adatkapcsolatot lehet létesíteni a járművek között [1], így pontos információk alapján végezhetik a sebességszabályozást. A vezeték nélküli kommunikáció előnye, hogy nem szükséges közvetlen rálátás az előttünk haladó autóra, tehát kanyarokban is megfelelően tud működni, illetve a rádiós adatkapcsolat hatósugara 300 méter is lehet [2].

Egy másik lehetséges felhasználási terület a városi közlekedés. Egy városban nem jellemző, hogy egy adott sebességgel huzamosabb ideig tudjunk haladni. Ilyen körülmények között a hagyományos tempomat nem használható. A cikkben bemutatott rendszerrel lehetséges a saját autónk sebességét az előttünk haladóhoz igazítani, így ha az elől haladó autó fékez, akkor a követő autó is lassítani fog, illetve ugyanígy gyorsításkor is adaptálja a sebességet. Egy ilyen rendszer használata esetén a vezetőnek nem kell külön foglalkoznia a folyamatos gyorsításokkal és fékezésekkel, azt elvégzi helyette a beépített számítógép.

2. Az algoritmus

A tempomat-algoritmus egy célpontot választ ki az előtte haladó járművek közül, melyet követni fog. Az algoritmus célja a jármű sebességének szabályozása oly módon, hogy a követett járműtől való távolság a pillanatnyi sebességeknek megfelelően, betartva a biztonságos követési távolságot. Az algoritmus a rádiós interfészen kapott adatokat és a saját vezérlőegység által fogott GPS információkat használja fel a pillanatnyi sebesség meg-

Ha még nincs követett jármű (célpont), akkor tároljuk ezt a távolságot, a küldő azonosítóját, valamint az időbélyeget. Az üzenetszámláló itt is nulláról indul. A követés megszűnik, ha a célpont sebessége a beállított 20 km/órás küszöb alá esik, vagy már öt másodperce nem érkezett tőle üzenet. Ekkor nullázódik az üzenetszámláló, de a célpont megmarad, mert még mindig ő a közvetlenül előttünk haladó jármű (1-es átmenet a 1. ábrán).

Akkor lépünk át a keresés állapotból a következőbe (követés lehetséges), ha a célponttól három üzenetet vettünk és még mindig ő a legközelebbi előttünk haladó jármű (2-es átmenet a 1. ábrán). Erre azért van szükség, hogy előzésknél legyen egy kis holtidő, ami alatt bizonyossá válhat, hogy melyik autó marad hozzánk képest stabil pozícióban a követéshez. Ha például autópályán követünk valakit és a belső sávban megelőznek minket, akkor amíg az előző autó kettőnk között van, ő lenne a célpont és az ő sebességére állnánk rá. Ez nem lenne jó megoldás, mert így nekimehetnénk annak, akit eredetileg követtünk.

2.1.2. Követés lehetséges

Ebben az állapotban van előttünk egy stabil pozíciójú autó és a követése lehetséges. A két jármű közötti távolságot minden üzenetnél frissíti az algoritmus.

Akkor történik visszalépés a keresés állapotba, ha megváltozik a célpont, például, mert megelőzött valakit, vagy minket előztek meg. A 20 km/órás küszöb alá itt sem eshet a követett jármű sebessége és a célponttól kapott üzenetek között eltelt idő nem lehet öt másodpercnél hosszabb. Emellett a jármű vezetőjének utasítására is visszaléphet az algoritmus a keresési állapotba.

2.1.3. Követés

Ebből az állapotból is visszatér az algoritmus a keresés állapotba, ha a célpont sebessége a küszöb alá esik, vagy megváltozik a célpont, illetve a járművezető is kikapcsolhatja a követést.

Az állapotba lépés pillanatában letárolódik a követett jármű sebessége és távolsága. Ezeket fogja felhasználni az algoritmus a pillanatnyi követési távolság meghatározásánál:

$$d_d = \frac{v}{v_0} \cdot (d_0 - l) + l, \quad (1)$$

ahol:

d_d : elérni kívánt követési távolság (desired distance), méterben

v : célpont aktuális sebessége

v_0 : célpont sebessége a követés bekapcsolásának pillanatában

d_0 : célpont távolsága a követés bekapcsolásának pillanatában, méterben

l : változtatható paraméter, a GPS vevők közötti minimális távolság

A távolság értékeknél minden esetben a Kálmán-szűrő által kiszámított értéket kell érteni, mert a feldolgozatlan távolság adatokban nagy zavart okoz a GPS vevők különböző időben történő helymeghatározása. Mivel a GPS vevő frissítési frekvenciája 1 Hz, ezért szélsőséges esetben például 50 km/h sebességnél 13,8 méter eltérés is lehet a valós és a letárolt pozíció között.

A távolság /méterrel való kiegészítése azért kell, mert a távolság kiszámítása a két GPS vevő között történik, nem pedig a követett autó hátsó lökhárítója és a követő autó első lökhárítója között. Ez a paraméter beállítható különböző jármű típusokhoz, más értékkel kell számolni egy teherautónál (pl. 10 m), mint egy személyautónál (pl. 4 m).

Ezzel a módszerrel a követés kezdetén mért sebesség és távolság alapján meghatározunk egy egyenest és amikor megváltozik a követett autó sebessége, akkor ezen egyenes mentén elmozdulva meghatározható a hozzá tartozó követési távolság (2. ábra).

Ezt felhasználva az elérni kívánt követési távolsághoz a következő sebességet kell beállítani:

$$v_d = \frac{d}{d_d} \cdot v, \quad (2)$$

ahol:

v_d : az elérni kívánt követési táv eléréséhez szükséges sebesség (desired velocity)

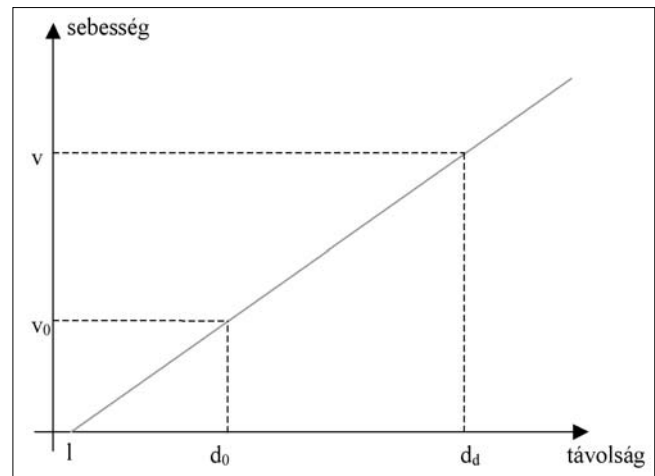
d : aktuális távolság a célponttól

d_d : elérni kívánt követési távolság

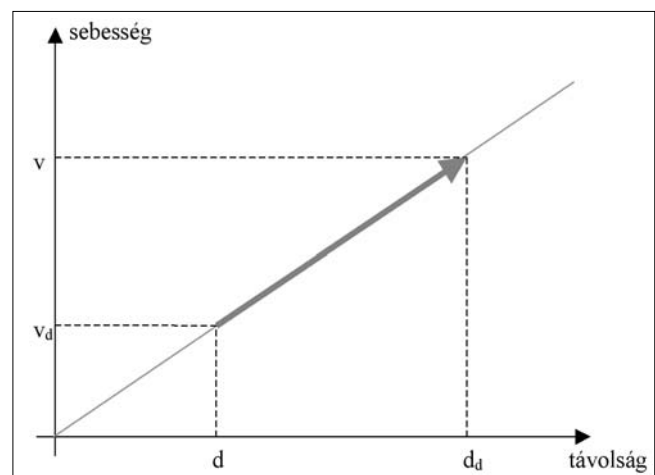
v : célpont aktuális sebessége

A távolság értékeknél itt is a Kálmán-szűrővel megszürt értékek szerepelnek.

2. ábra A követési távolság meghatározása



3. ábra Sebességszabályozás



Azért, hogy ne kelljen folyamatosan beavatkozni a motor, illetve a fék vezérlésébe, egy hiszterézist iktattunk a szabályozásba. Ha a két autó közötti távolság 5 százalékos hibán belül megközelíti a meghatározott szükséges távolságot (d_d), akkor az elérni kívánt sebességet (v_d) beállítjuk a célpont sebességére.

A kívánt sebesség beállítása a 3. ábrán látható. Ha a célpontnak megváltozik a sebessége, akkor ahhoz a (1) összefüggés alapján kiszámítható a megfelelő követési távolság. Ezek alapján, a jelenlegi távolság ismeretében meghatározható, hogy mekkora sebességet kell beállítani, hogy közelítsünk az elérni kívánt távolsághoz.

Például a 3. ábra alapján tegyük fel, hogy a célpont stabil sebességgel halad és beállt az algoritmus által meghatározott követési távolság (d). Ekkor v_d sebességgel halad mindkét autó. Ha a célpont sebessége v -re változik, akkor ehhez d_d követési távolság fog tartozni. Mivel a célpont gyorsabban halad a követő járműnél, ezért a közöttük lévő távolság növekedni fog. Ahogy a távolság közelít az elérni kívánt távolsághoz, úgy fogja az algoritmus fokozatosan növelni a követő jármű sebességét, míg el nem éri a követett jármű sebességét (2).

A motor és a fék megfelelő vezérléséhez ki kell számítani, hogy mekkora gyorsulást vagy lassulást kell megvalósítani. A gyorsulás kiszámítása a következő összefüggés alapján történik:

$$a_d = \frac{v_d - v_s}{T}, \tag{3}$$

ahol:

a_d : a szükséges gyorsulás

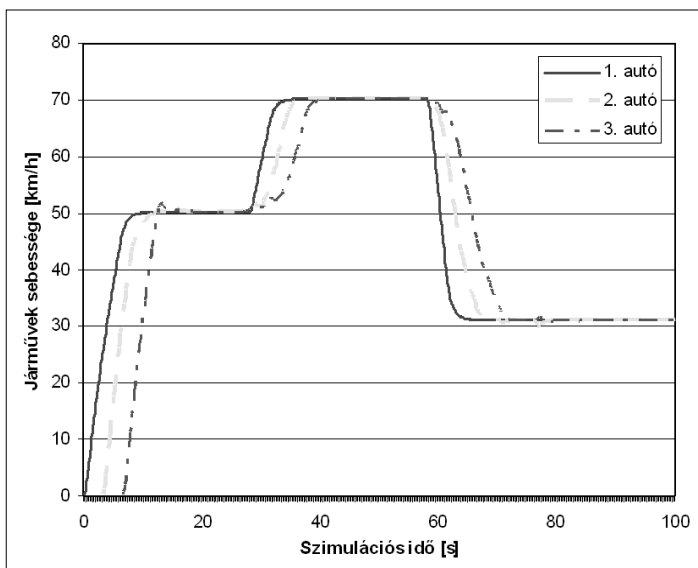
v_d : az elérni kívánt sebesség

v_s : a saját sebesség

T : szabad paraméter, azt befolyásolja, hogy milyen gyorsan reagáljon az algoritmus a megváltozott sebességekre.

A lehetséges gyorsulás értékek maximuma 5 m/s^2 , a minimuma -9 m/s^2 . Ezek egy tipikus személyautó maximális gyorsulásának és lassulásának felelnek meg.

4. ábra
Sebességek 2 másodperces követési távolság esetén



Azért, hogy a gyorsulás értékét ne számítsuk ki minden egyes üzenetnél, csak akkor módosítja az algoritmus a gyorsulást, ha a célpont távolsága 1%-nál nagyobb mértékben eltér az elérni kívánt távolságtól, vagy ha a célpont sebessége 5%-nál nagyobb mértékben eltér az elérni kívánt sebességtől, illetve ha a célpont sebessége és az elérni kívánt sebesség között nagyobb a különbség, mint a saját sebesség és az elérni kívánt sebesség közötti különbség.

Tehát a sebesség szabályozásának a célja a megfelelő követési távolság beállítása. A motorvezérlés a jármű pillanatnyi sebessége és az elérni kívánt sebesség különbsége alapján történik (3).

3. Szimulációs eredmények

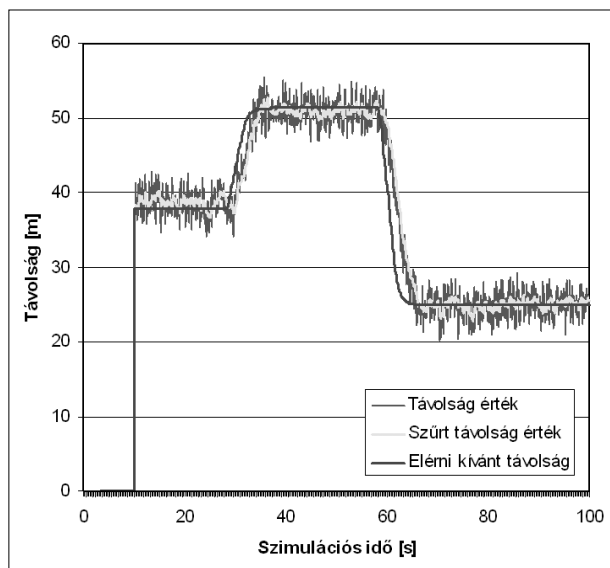
A tempomat algoritmus először a korábbi cikkekben bemutatott szimulátorban működött [5,7], később pedig autókba szerelve valós körülmények között is teszteltük.

A szimulátorban három egymás után haladó autó viselkedését vizsgáltuk. Az első autó sebességét először 50 km/óra -ra állítottuk be, majd a szimuláció harmadánál felgyorsított 70 km/óra -ra, végül lelassított 30 km/óra -ra. A másik két autó sebességét az algoritmus határozta meg. Az autók a pozíció információkat tartalmazó üzeneteket $0,1 \text{ másodpercenként}$ küldték, a megfelelő pontosság elérése érdekében.

A szimulációban 2 másodperces követési távolságot vizsgáltunk, mert a KRESZ ezt írja elő, mint minimális követési távolságot. Ennek eredménye a 4. ábrán látható.

A szimuláció elején a hálózatba került autók felgyorsítanak a megadott 50 km/órás sebességre, ahol a tempomat algoritmus bekapcsol. Az ábrából látszik, hogy a járművek kis ingadozásokkal érik el a követett autó sebességét, illetve, hogy a követő autó sebessége kevésbé meredeken változik, mint a követett autó sebessége. Ez az algoritmus működéséből következik, és azt jelzi,

5. ábra
Távolság értékek az első és második autó között



hogy a megváltozott sebességhez igazítja a követési távolságot. Gyorsításnál kicsit lemarad a követett autótól, lassításnál pedig közelebb kerül.

A szimuláció során regisztráltuk az autók közötti távolságokat, melyek alapján az algoritmus a sebességet szabályozza. Az első és a második autó közötti távolságok az 5. ábrán láthatók.

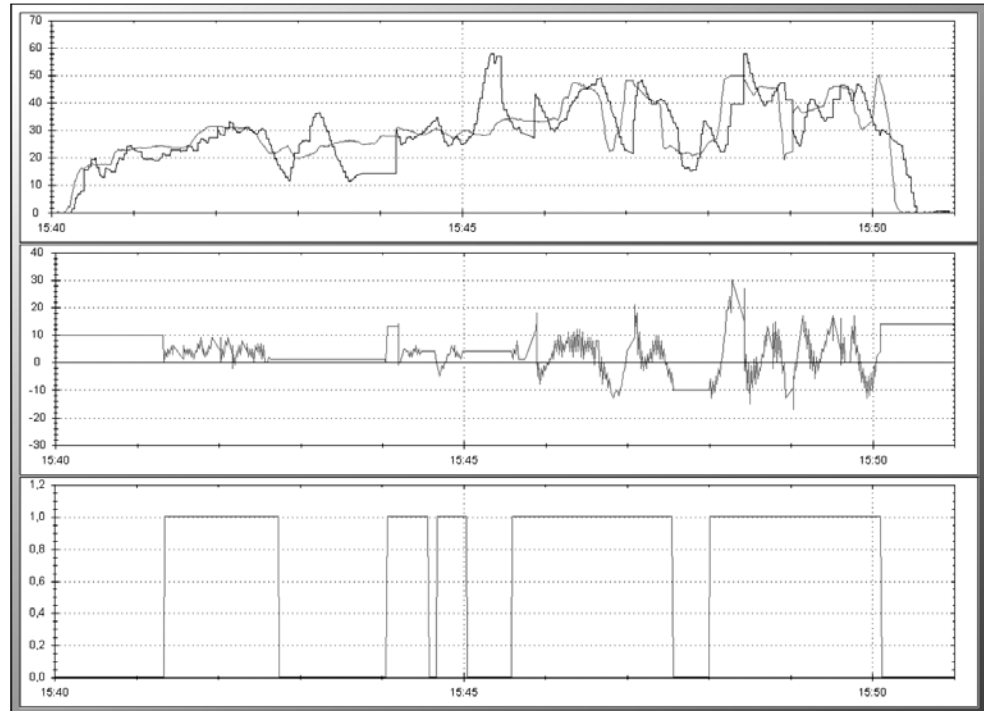
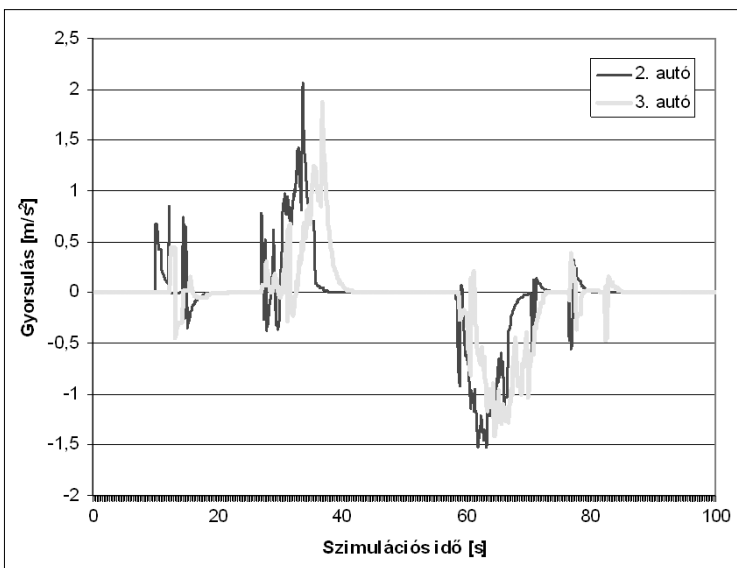
Az algoritmus a szimuláció 10. másodpercekor kapcsol be, ezért nincs előtte adat. A vékony vonallal jelzett érték a két autó közötti feldolgozatlan távolságot mutatja. Látható, hogy a nem azonos idejű mintavételezés zajt visz a mérési eredményekbe, emiatt nagyon ingadozik ez az érték. Ennek kiküszöbölésére szolgál a Kálmán-szűrő. A szűrő által korrigált távolság érték világos vonallal van ábrázolva. A vastag, sötét vonal az elérni kívánt távolság, amit az algoritmus a követés kezdetekor letárolt értékek és a követett autó aktuális sebessége alapján számított ki.

Az algoritmus a világos és a sötét vonal közötti eltérés minimalizálására törekszik és ez alapján módosítja az autók sebességét. Látható, hogy a követett autó sebességének változása okozta transziensek lezajlása után a követő és a követett autó közötti távolság beáll a meghatározott elérni kívánt távolságra.

A három autó közül a második és harmadik autó szimuláció során kiszámított gyorsulás értékei a 6. ábrán láthatók.

6. ábra

Gyorsulás értékek 2 másodperces követési távolság esetén



7. ábra A tesztvezetés eredményei

A gyorsulás értékeket ábrázoló grafikonon nyomon követhető, hogy mikor történt gyorsítás, illetve lassítás, és látható, hogy sehol nem érte el a maximális értéket. Mivel a gyorsulás maximuma 2 m/s^2 , illetve a lassulás maximuma $1,5 \text{ m/s}^2$ volt, ezért valós helyzetben, az autóban ülő személy számára sem okozna kényelmetlen gyorsulást, illetve lassulást a tempomat algoritmus. A hirtelen, tükkeszerű ugrásokat pedig az autó tehetetlensége csillapítaná.

4. Tesztpályás tesztelés

Az algoritmus működését valós körülmények között is teszteltük, két vezérlőegységbe [8] letöltve egy teherautóba, illetve egy személyautóba építettük. A teherautóban lehetőség volt a CAN buszra csatlakozni, így az algoritmus szabályozni tudta a sebességet.

A tesztvezetések során az algoritmusban még nem szerepelt a Kálmán-szűrő, ez csak a fejlesztés későbbi szakaszában került bele. Emiatt a követés pontatlanabb mint a szimulációk esetén, illetve a pozíció információkat tartalmazó üzeneteket egy másodpercenként küldték az egységek, mert a használt GPS vevő frissítési frekvenciája ilyen sűrűséget enged meg.

Az egyik tesztvezetés alkalmával regisztrált adatok a 7. ábrán láthatók. Az ábrák vízszintes tengelyén az idő látható egy perces osztásokban.

A felső ábrán a két autó sebesség értékei láthatók km/óraban. Világos vonallal a követett, sötét vonallal a követő autó van ábrázolva.

A középső ábra a követő autó CAN busz vezérlőjének átadott értéket mutatja, ami az algoritmus által meghatározott gyorsulással arányos. Az arányossági tényező eltérő gyorsítás és lassítás között, a pontos értéket az autóhoz kellett igazítani.

Az alsó grafikon azt mutatja, hogy mikor volt bekapcsolva az algoritmus. Ahol az értéke 1, ott automatikusan történt a teherautó sebességének beállítása, 0 értékeknél a vezető irányította az autót. Amikor a szabályozás be volt kapcsolva, akkor kis késleltetéssel – ami a ritka üzenetküldés miatt volt –, a teherautó hozzáigazította a sebességét az előtte haladó autóéhoz.

A vezérlőjelen látható zaj a távolság számítás miatt lép fel, ugyanúgy, mint a szimulációk során, mivel a gyorsulás értékeket az aktuális és az elérni kívánt távolság különbsége határozza meg. A szimulációkban alkalmazott Kálmán-szűrővel itt is javítható ez a probléma. Ez a mérési zaj és az egy másodperces frissítési frekvenciájú pozíció meghatározás együttesen járul hozzá, hogy a szabályozás nem olyan pontos, mint a szimulációk során.

5. Összefoglalás

Cikkünkben bemutattunk egy algoritmust, melynek segítségével vezeték nélküli hálózaton kapcsolatot tartó autók egymáshoz igazíthatják a sebességüket. Ezzel a módszerrel az autók nem csak egy előre beállított sebességet képesek tartani, hanem az előttük levő járművek sebességétől függően képesek beállítani a sajátjukat.

Ennek a megoldásnak az elterjedését korlátozza, hogy csak abban az esetben működik, ha az előttünk haladó autók is rendelkeznek a megfelelő berendezéssel. Emiatt elsődlegesen a fuvarozó vállalatoknál jelenhet meg, mint alkalmazás, ahol a teherautó konvojokban csak az első autók vezetőjének kell fokozottan figyelnie, a követő autók felhasználhatják az ő sebességadatait, ezzel tehermentesítve a vezetőket.

A szerzőkről

MEZNY BALÁZS 2008-ban szerezte diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen és ugyanebben az évben kezdte meg doktori tanulmányait. 2007-től ösztöndíjjal a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Ipari Kommunikációs Technológiai Intézeténél dolgozik. Kutatási területe az Intelligens Közlekedési Rendszerekhez kapcsolódik.

LABORCZI PÉTER a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett 1999-ben M.Sc. diplomát, majd 2002-ben Ph.D. doktori fokozatot. 2002 és 2004 között vendégkutatóként dolgozott az Arsenal Research intézetnél Intelligens Közlekedési Rendszerek (Intelligent Transportation Systems) témában egy EU Marie Curie posztdoktori kutatási program keretén belül. Jelenleg senior kutató az Ipari Kommunikációs Technológiai Intézetnél (Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány). Vezeték nélküli hálózatok és alkalmazások fejlesztésében vesz részt nemzeti és európai projektek keretében. Kutatási területe leginkább az ITS-hez kapcsolódó útvonalirányítás, hálózat optimalizáció és olyan alkalmazások kifejlesztése, mint például forgalom-monitorozás mozgó szenzorokkal (Floating Car Data), vagy adaptív sebességszabályozó.

GORDOS GÉZA villamosmérnöki oklevelét 1960-ban, Ph.D. fokozatát 1966-ban és habilitált doktori címét 1994-ben szerezte meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. A műszaki tudomány doktora, emeritus professzor a BME Távközlési és Médiainformaticai Tanszékén és két csoportjának vezetője. A Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanács tagjaként nem-

zeti távközléspolitikai és szabályozási kérdésekkel is foglalkozik. Szakmai pályafutása során három évet töltött amerikai és angol egyetemeken és hét évet az iparban. 1992-1993 között a Magyar Távközlési Vállalat igazgatótanácsának elnöke volt. Kutatási területei a távközlési rendszerek és szolgáltatások technikai és menedzselése, valamint a beszédfeldolgozás. 2004-ben az NKTH felkérte az Ipari Kommunikációs Technológiai Intézet (IKTI) létrehozására és az igazgatói feladatok ellátására.

Irodalom

- [1] Raymond Freymann, „Connectivity and Safety”, 5. Európai ITS kongresszus, Hannover, Németország, 2005 június.
- [2] A. Török, P. Laborczi, G. Gerháth, „Constrained Dissemination of Traffic Information in Vehicular Ad Hoc Networks” accepted for Presentation at the IEEE 68th Vehicular Technology Conference (VTC2008-Fall), Calgary, Canada, 21-24 September 2008.
- [3] G. Welch, G. Bishop: „An Introduction to the Kalman Filter”, Technical Report, UMI Order Number: TR95-041, University of North Carolina, Chapel Hill, 1995.
- [4] W. Gellert, S. Gottwald, M. Hellwich, H. Kästner, H. Küstner, „The VNR Concise Encyclopedia of Mathematics”, 2nd Edition, Chapter 12, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- [5] Gordos Géza, Gerháth Gábor, Kardos Sándor, Laborczi Péter, Mezny Balázs, Vajda Lóránt: „Városi közlekedési rendszerek hatékonyságának javítása mobil ad-hoc hálózatok segítségével”, Híradástechnika, Vol. LXI, No.12, 2006, pp.29–34.
- [6] P. Laborczi, A. Török, L. Vajda, S. Kardos, G. Gordos, „Vehicle-to-Vehicle Traffic Information System with Cooperative Route Guidance”, in Proc. of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, Paper no. 2237. London, UK, 8-12 October 2006.
- [7] P. Laborczi, A. Török, L. Vajda, S. Kardos, G. Gordos, „Vehicle-to-Vehicle Traffic Information System with Cooperative Route Guidance”, in Proc. of the 13th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, Paper no. 2237. London, UK, 8-12 October 2006.
- [7] Csák Bence, „Ambiens intelligencia a közutakon”, Híradástechnika, Vol. LXI, No.12, 2006, pp.35–39.