

INTELLIGENS ÚT- ÉS JÁRMŰRENDSZEREK: VEZETÜNK VAGY VEZETNEK?

Bokor József

az MTA rendes tagja, MTA SZTAKI és BMGE Közlekedésautomatika Tanszék
bokor@sztaki.hu

Bevezetés

Már Jules Verne előtt, de művei megjelenése óta is, emberek sokasága álmodozik olyan gépekről, járművekről, amelyek képesek önállóan tevékenykedni, feladatokat elvégezni, önmagukat irányítani. Az ily módon működő gépek az intelligens robotok, őket követik az intelligens légi, földi, vízi és víz alatti járművek, jármű- és közlekedési rendszerek.

Ez a dolgozat a földi járművekhez és közlekedésükhöz kapcsolódva mutatja be azokat a köznapi életben már megvalósított, vagy még kutató műhelyekben létrehozott rendszereket, amelyek vezető nélküliek vagy utasokat szállítanak, de autonóm módon vagy pedig részlegesen közvetlen emberi irányítással működnek.

Járművek és közlekedési rendszerek irányítása

A közlekedés biztonságának és az utak át-bocsátási kapacitásának növelése érdekében több koncepciót dolgoztak ki, amelyekben a vezetési feladatokat nagymértékben segítő rendszereket alkalmaznak, vagy ahol a feladatok egy részét vagy teljes egészét (UAV és AUV rendszerek) automatizált kooperatív irányítási rendszerek veszik át. A tapasztalatok szerint az autonóm működésű, de kooperatív rendszerek (robotok, járművek) speciális alakzatai egy sor feladat megoldásában vagy funkciók teljesítésében sokkal hatékonyabban, mint az egyedi eszközök.

Az ilyen rendszerek viselkedésének leírására és irányítására két fő megközelítés alakult ki. Az *egyik* az ún. viselkedésalapú megközelítés, amelyet elsősorban a biológiai rendszerek viselkedésének tanulmányozása motivál. A biológiai rendszerek sokszor kiváló túlélési és adaptációs képességekkel rendelkeznek, amelyek jelentős, bár nehezen számszerűsíthető robusztus tulajdonsággal is kiegészülnek. Az ilyen megközelítés hátránya, hogy e rendszerek bizonyos működési szituációkban nem kiszámíthatóan reagálnak, és ritkán van elméletileg jól megalapozott tervezési módszertan vagy zárt alakú irányítási algoritmus a speciális feladatok megoldására.

A *másik* a rendszer- és irányításelméleti megközelítési mód, amely a rendszerek dinamikáját, valamint (a járművek esetén) a járművek egymás és a környezetük közötti kapcsolatokat leíró modellekre támaszkodik. Ezen modelleket az alaptudományok, mint a mechanika, fizika, kvantummechanika törvényei illetve az információ- és kommunikációtechnológia eredményei szolgáltatják, vagy létező rendszerek esetén az érzékelőkkel mért adatokból számítják (rendszeridentifikáció). Ennek a megközelítésmódnak nehézsége, hogy megbízható modelleket kell kidolgozni, bár ilyenek a földi járművek esetén sok esetben már rendelkezésre állnak. Előnye viszont, hogy az eredmények bizonyíthatók és prediktálhatók, a megoldások analitikusan vagy numerikusan számíthatók.

A hazai kutatásokban mindkét megközelítés alkalmazására találunk példákat és sikereket. A viselkedésalapú modellezésre ígéretes kutatás folyik az MTA SZTAKI Analógikai Laboratóriumában (Gál – Roska, 2004). A rendszerelmélet járműmodellezési és irányítási, valamint robotikai alkalmazásaiban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar és a Villamos és Informatikai Kar több tanszékén, az MTA SZTAKI Rendszer- és Irányításelméleti Laboratóriumában (Péni – Bokor, 2003; Péni et al., 2003), valamint a Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.-ben értek el figyelemre méltó eredményeket.

A jelen összeállítás kapcsolódó dolgozata, Palkovics László *Járműirányítás és menetstabilizálás* című cikke (561. oldal) bemutatja azokat a fedélzeti rendszereket, amelyek a járművek longitudinális, laterális és vertikális mozgásdinamikáját irányítják a jármű állapotról érzékelt információk segítségével. A továbbiakban olyan megoldásokat mutatunk be, amelyekben a menetbiztonság növeléséhez a környezetről szerzett és bizonyos esetekben központi biztositott távinformációkat is felhasználjuk.

A jármű fedélzetén a környezetről felhasznált információk tipikusan a következők: az útgeometria, az útpálya állapota, akadályok és más járművek helyzete és mozgásállapota. A felhasznált érzékelők lehetnek optikai kamerák, radarok, infraérzékelők, valamint a különböző vezeték nélküli kommunikációs rendszerek (bluetooth, vezeték nélküli lokális hálózatok: WLAN). A központi információk tartalmazhatják az útvonalra, a helyi időjárásra, a várható veszélyforrásokra (olaj, felfagyás, karambol, sávelzárás) vonatkozó adatokat. Ennek eszközei a GSM, GPRS hálózatok, WAP, illetve térinformatika és rádióadás.

E rendszerek közül először egy kamera segítségével megvalósított sávelhagyás-detektáló és ennek megelőzését segítő rendszert mutatunk be, majd a flottairányítással

és a kooperatív automatikus menetszabályozással és intelligens autópályarendszereken való járműirányítással foglalkozunk.

Sávelhagyás-detektálás, és a sávelhagyás-megelőzést segítő rendszerek

Ezek a rendszerek már felhasználják a környezetről szerzett információkat, de a beavatkozásra a fedélzeti szabályozókat használják (LeBlanc et al., 1996). A feladat olyan irányítási rendszer tervezése, amely a fedélzeten elhelyezett kamera mint érzékelő perspektivikus képének feldolgozásával meghatározza az útpálya orientációját, a forgalmi sáv szélességét, a jármű pozícióját a sávon belül (1. ábra), majd ezekből, a jármű állapotvektorának (pozíció és sebesség, kormányzó) felhasználásával, meghatározza a változatlan mozgásállapot melletti reakcióidőn belüli sávelhagyás veszélyét, és ezután figyelmeztetést küld a vezetőnek. Amennyiben nem történik beavatkozás a jármű irányításába, akkor féloldalas fékezéssel (Palkovics et al., 1995), olyan nyomatékot generál, amely a járművet a sávban tartva lassítja illetve ha kell, le is állítja.

Az irányítórendszerrel szemben támasztott követelmények:

- A sávhatar típusára nézve legyen robusztus (folytonos vonal, szaggatott vonal, járda, fű vagy kavics).
- A zavarások (árnyékok, vízfoltok az úton) kiszűrésére legyen lehetőség.
- Robusztus legyen a különböző fény- és időjárási viszonyokra.

Egy tipikus kameraképet láthatunk a 2. ábrán, amelyből a fedélzeti számítógépen futó algoritmusokkal a 3. ábrán látható mennyiségeket számoljuk ki. A sável-



1. ábra • Sávelhagyás-detektálás: érzékelt és számított pályainformációk



2. ábra • Sávelhagyás-detektálás: a fedélzeti kamera perspektivikus képe

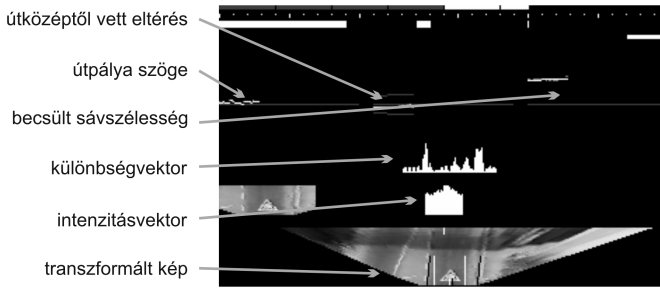
hagyás lehetőségének detektálása után fény- és hangjelzést ad a rendszer, a vezető beavatkozását a kormányszög-, fék- és gázpedálhelyzet megváltozása alapján figye-

li. Amennyiben ezek értékében nem történt lényeges változás, akkor működésbe lép a szabályozás, ami a fedélzeti aszimmetrikus fékerő-szabályozóra épül, a féknyomást adott irányítási algoritmus szerint változtatva. Az irányítási rendszer blokk-sémáját a 4. ábrán láthatjuk.

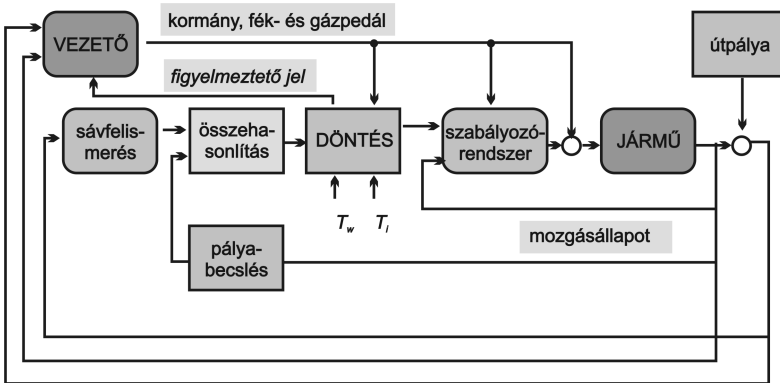
A rendszer a legkülönfélébb út- és fényviszonyok mellett lett tesztelve, ilyen tesztéről készült képsort mutat az 5.b ábra, amelynek felső részén (5.a ábra) a bal és jobb oldali féknyomások időbeli lefolyását is láthatjuk (Kovács et al., 1998, Gianone et al., 1999).

Járműflották koordinatív irányítása

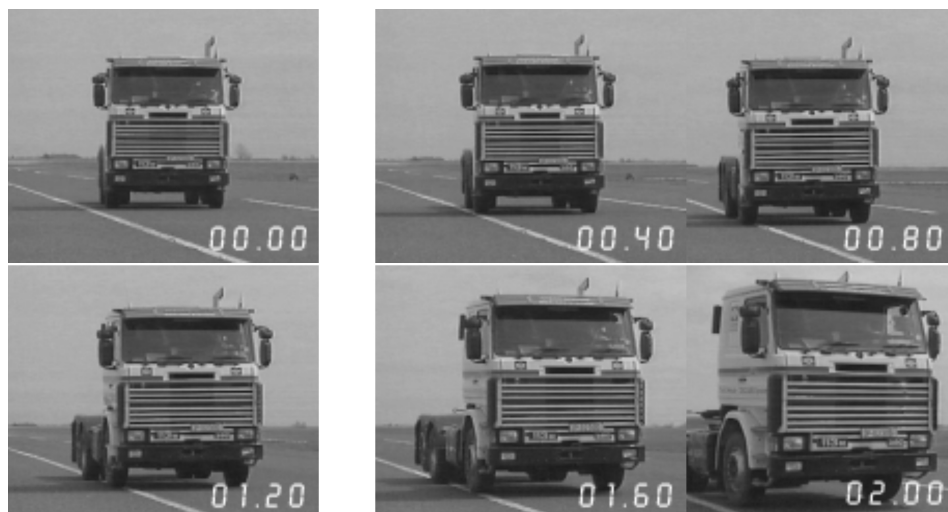
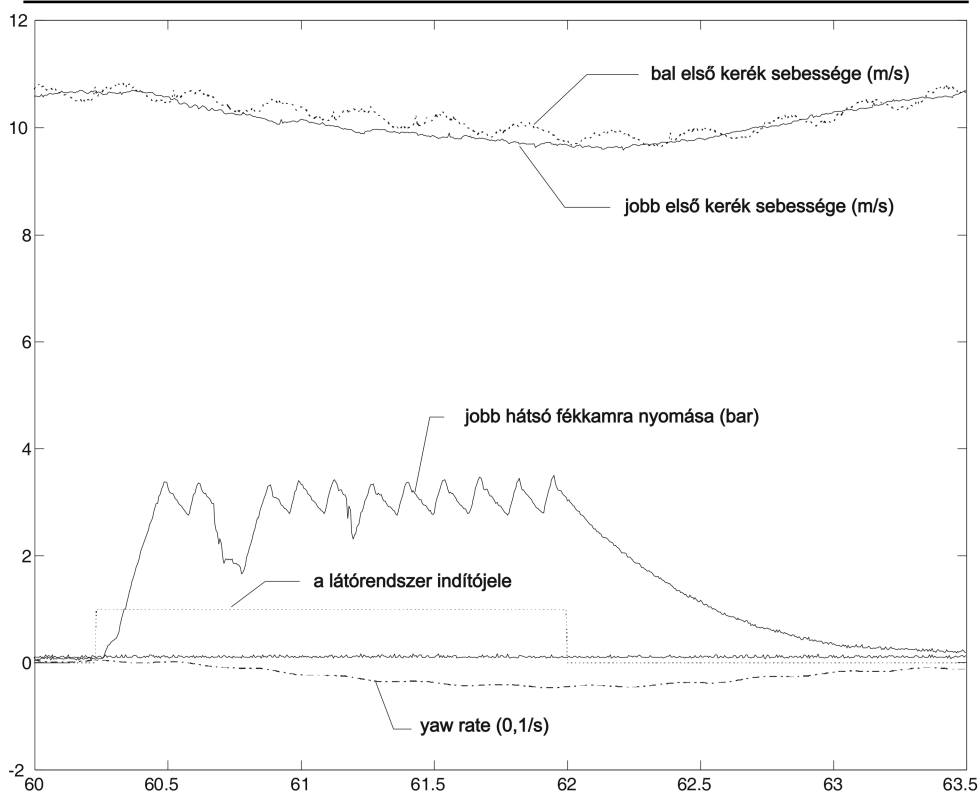
A mai gyakorlat szerint a közúti flottairányítás elsősorban a vezető rendelkezésére álló in-



3. ábra • Sávelhagyás-detektálás: a képfeldolgozás eredménye



4. ábra • A sávelhagyás detektálását és megelőzését megvalósító szabályozási kör struktúrája



5. a (fent) és b (lent) ábrák • Sávvelhagyás megelőzése tesztjárművel, nem jelzett útpályahatár esetén

fommáció bővítésével igyekszik a biztonságot növelni, részben a környezetből jövő, ún. központi információk, részben pedig a jármű által észlelt információk feldolgozásával.

Ebben az esetben a flottairányító központ rendelkezik a járműflotta egységeinek útvonaltervével, amit – szállítási feladatok esetén – optimalizációs feladatok megoldásával és felhasználásával készítenek el. Hasznosítható ezenkívül a térinformatikai rendszer, legegyszerűbb esetben a terület vektoriális térképe az adatbázisaival, a járművek GPS (Global Positioning System) pozíciójával, valamint a járművek mozgásállapot- és diagnosztikai célú adataival, amelyeket mobil kommunikációs hálózaton keresztül kap meg. Beérkeznek továbbá forgalmi információk, így a központ szükség esetén az útvonal dinamikusan áttervezésével, távdiagnosztikával tudja a járművek célba juttatását hatékonyabbá tenni.

A járművek tipikusan GPS navigációval, valamint kamerával és/vagy radarral vannak felszerelve, amelyek a fedélzeti szabályozási rendszerekre támaszkodva a járműnek a tervezett útvonalon (pályán) való biztonságos haladását segítik. A pályakövetéshez alkalmazott irányítási algoritmusokat a jármű dinamikai modellje alapján tervezzük, és felhasználjuk a GPS adatokon kívül az inerciális szenzorok (fedélzeti giroszkóp, illetve gyorsulásszenzorok) adatait is. Ezeket a rendszereket általában GPS/INS (Inertial Navigation System) rendszereknek nevezik.

A flottairányítás sajátossága, hogy minden vezetői funkciót, beleértve a manőverek tervezését és végrehajtását is, a járművezető lát el. A járműveken azonban megjelennek a környezet állapotát, az útfelületet, a forgalmi sávot, a jármű helyzetét a sávban érzékelő, a sávellhagyás-detektálást és -megelőzést, valamint az akadálydetektálást szolgáló rendszerek alkalmazásai.

Egy megvalósított flottairányító rendszer leírását Bokor József, Gáspár Péter és Palkovics

László (Bokor et al., 2003) tanulmányából ismerhetjük meg.

Autonóm járművek kooperatív irányítása, intelligens autópályák

Jelenleg kísérleti fázisban van a teljesen automatizált, kooperatív forgalmi és járműrendszerek irányítására ajánlott megoldás, amely a járműveket bizonyos útvonalakon, illetve forgalmi csomópontokon (a járművezető szándékának vagy a megadott tervezett útvonalnak megfelelően) automatikusan juttatja át. Az ilyen rendszerek közös sajátossága, hogy az egyes járműveken és az úton elhelyezett elemek érzékelőkkel információt gyűjtenek a maguk és környezetük állapotról, valamint információt cserélnek, kommunikálnak egymással, továbbá állapotaikat a fedélzeten vagy a rendszer más elemein elhelyezett irányítási rendszerekkel befolyásolni tudják.

Az automatizált autópályarendszerek (elterjedt rövidítésük szerint AHS – Automated Highway Systems) koncepciója szerint a járműveket automatikusan speciális alakzatokba, ún. *platoonokba* csoportosítják. Ezek tipikusan tíz-húsz járműből állnak, és jellemzőjük a járművek közötti kis, egy-öt méteres követési távolság biztonságos tartása (Raza – Ioannu, 1996).

Az irányítás több szinten valósul meg, és mind központi, mind fedélzeti modulokat tartalmaz. A központi funkcióhoz tartozik a teljes AHS hálózat és a dinamikus útvonaltervezés felügyelete, valamint az egyes járművek útvonal- és manőverigényeinek (felhajtás, lehajtás, sávváltás) tervezése és irányítása. A fedélzeti irányítás a biztonságos utazást valósítja meg, amelyhez az automatikus járműkövetés, valamint a longitudinális és a laterális (pálya-, illetve oldalirányú) mozgás dinamikájának irányítása tartozik. A járművek képesek egymással és a központtal is kommunikálni. A rendszer fontos tulajdonsága a hibadetektálás és diagnosztika, vala-

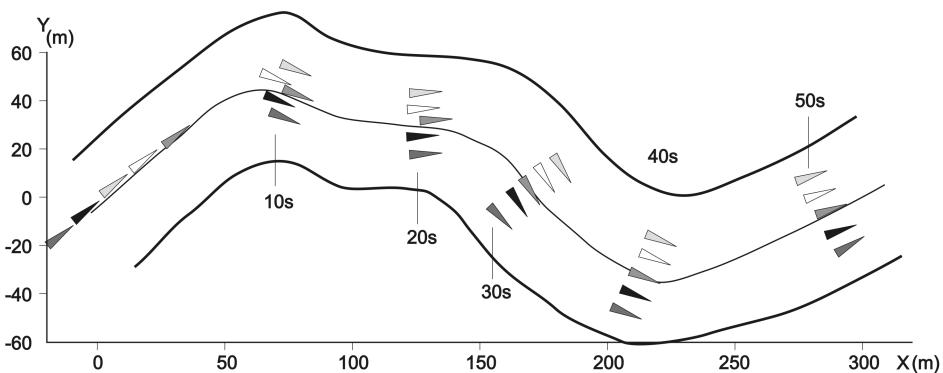
mint az irányítási rendszerek átkonfigurálása a forgalom biztonságának fenntartása érdekében. Ezen funkciók megosztása a fedélzeti és a központi rendszerek között az irányítás- és kommunikációtechnológia fejlődésének függvénye.

Az autonóm járműrendszerek (szokásos rövidítései az irodalomban AUV – Autonomous Unmanned Vehicle, AGV, AUV, AAV – Autonomous Ground, Underwater, Aerial Vehicles) irányításának megvalósítására az információtechnológiának egy új ága fejlődött, illetve fejlődik ki. Ezt az Egyesült Államok repülésirányításában egy jelenleg futó DARPA projekt eredményeinek kapcsán Software Enabled Control-ként (SEC) nevezték el (Samad – Balas, 2003). Ebben nagy hangsúlyt helyeznek (elsősorban az új generációs légi járműveknél) a hibrid irányításra, valamint az elosztott, beágyazott, valós idejű szoftvertechnológiának alkalmazására az aktív modellezésben, kommunikációban, az irányítás adaptációs, robusztus és minőségi jellemzőinek, valamint a biztonsági és feladatkritikus funkciók javítása érdekében. A biztonságkritikus szoftvertechnológia, valamint a modellezési és tervezési módszerek természetesen átkerülnek a földi járműveken alkalmazott rendszerekbe is.

A részletes irányítástervezési és algoritmus szintű megoldások ismertetésétől elte-

kintve mutatjuk be egy olyan, ún. alakzatirányítási feladat megoldását, amely sorban várakozó járműveknek egy adott pályára való ütközésmentes automatikus ráhajását, majd a pályán automatikus sávba rendezését és sávban tartását valósítja meg.

A 6. ábrán a kooperatív formációirányítás egy szimulációs eredménye látható. A háromszögekkel reprezentált járműveknek a kétdimenziós (x, y) síkban az úttest vonala által meghatározott $(x_0, y_0, x_1, y_1, \dots, x_N, y_N)$ pontsorozattal előírt trajektória (folytonos vonal) követése közben a trajektóriára merőleges egyenes mentén kellett sorba rendeződniük, azaz a különböző párhuzamosan futó sávokba besorolniuk. A járművek dinamikáját leíró mozgásegyenleteket valós gépjármű identifikációjával előállított, nemlineáris járműmodell adja (Rödönyi et al., 2004b). A megvalósított irányítás kétszintű, hierarchikus szabályozási algoritmustal történik. Az alsó szinten a járműmodell dinamikus inverze alapján tervezett trajektóriakövető szabályozás található. Erre épül a felső szintű, immár a különböző járművek egyedi dinamikus tulajdonságaitól független kooperatív irányítás, amely a járművek pozíció- és sebességvektorai alapján a kívánt formációnak megfelelő alapjelet szolgáltat az alacsony szintű szabályozás számára. A kooperatív



6. ábra • Alakzatirányítás: a járművek pályája indulástól az alakzatban történő

irányítási algoritmus a járműveken elosztott módon valósult meg, minden jármű csak az adott sugarú környezetében elhelyezkedő – szomszédos – járművekkel kommunikál. A kommunikáció pusztán a sebesség- és pozícióvektorok cseréjét jelenti.

Az autonóm és kooperatív rendszerekben alkalmazott információ- és kommunikációtechnológiai megoldások, valamint az algoritmusok és szoftveres implementációik kipróbálása és verifikálása – első lépésben – szimulációs környezetben történik. A 6. ábrán szimulációs környezetben kapott eredményeket láthattunk, ami a tervezési és kísérleti folyamat első fázisa. A második fázisban majd gyakran skálázott modellekkel végrehajtott kísérleteket végeznek. Ezek olyan autók, amelyek léptékarányos másai egy létező autótípusnak, de fedélzeti számítógépük, érzékelőik azonosak a valódi autókön felszerelt elemekkel. Egy erre a célra fejlesztett fedélzeti elektronikát a 7. ábra mutat. Az autók rendelkeznek GPS és inerciális navigációs elemekkel. Így alkalmasak a sávkövetési feladat megoldására, az autonóm pályakövetésre, amit egy központi számítógépen meghatározott GPS koordinátákkal megadott és WLAN hálózaton keresztül kapnak meg, továbbá alkalmasak alakzatban való manőverek végrehajtására is. Ebben a környezetben mind az irányítási

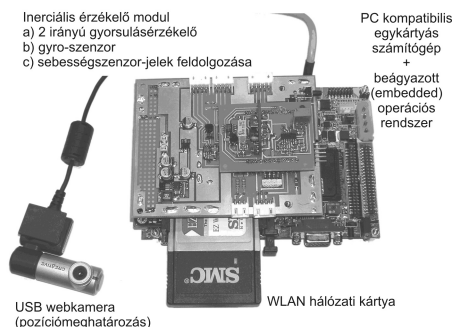
rendszerek, mind ezek szoftverrealizációi tervezhetők és verifikálhatók a már említett valósi dejtű operációs rendszerkörnyezetekben, továbbá ún. *hardware-in-the-loop* kísérletek is elvégezhetők még azelőtt, mielőtt a tervezett rendszereket a céljárművekbe beépítik, és teszt pályán bevizsgálják.

Azonos elektronikai és szoftverelemekből épül fel az autonóm léggépjármű-irányítási rendszer is, amelyekkel modell repülőgépeket lehet tervezett pályán végigvinni.

Összefoglalás

A fentiekben néhány olyan elvet és megoldást mutattunk be, amelyek a járművek és környezetük állapotának megfigyelése (mérése) alapján segítik a biztonságos vezetést, továbbá különböző mértékben automatizálják a járműirányítási feladatokat. Az igényeken kívül ilyen megoldások létrehozását az elektronikai, információs és kommunikációtechnológiai eszközök, az érzékelők és az intelligens beavatkozó szervek, valamint az ezeket az eszközöket felhasználó irányítástechnikai elmélet utóbbi években tapasztalt fejlődése és bizonyos mértékű átalakulása tette lehetővé.

A bemutatott irányítási alkalmazások közül a sávelhagyás-detektálás és -jelzés, valamint a navigáció bizonyos változatai ma már több autótípushoz a kereskedelemben is megvásárolható termékek. A sávelhagyás-fékezéssel történő automatikus megelőzésére azonban még nincs termék kereskedelmi stádiumban. A flottairányításra ajánlott megoldások integrálják a fedélzeti és távinformációs rendszerek felhasználását, a navigációt, a térinformatikát, valamint a vezetőt segítő fedélzeti irányítási rendszereket, a vezetési funkció azonban kizárólagosan emberi kézben marad. Az intelligens út-jármű rendszerekben mind a manőverek, mind a pályakövetés autonóm módon történhet. Ezek megvalósítása még kísérleti fázisban van, bár hatalmas intenzitással folynak ku-



7. ábra • Az intelligens autonóm járművek fedélzeti berendezései

tatások a földi, a légi, a vízi és a víz alatti kooperatív járműcsoportok (platoonok) fejlesztése területén is. Ehhez a folyamathoz a hazai lehetőségek (elsősorban az idetelepült autópári kutatóhelyek által motiváltan) a személy- és haszonjárműveken alkalmazható megoldásokhoz kapcsolódnak. A hazai kutatási kapacitások koncentrálását

vélhetően jól segíti majd a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen megalakult *Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont*.

Kulcsszavak: *intelligens irányítás, kooperatív rendszerek, navigáció, autonóm járművek, közlekedésirányítás*

IRODALOM

- Bokor József – Gáspár P. – Palkovics L. (2003): *Haszonjárművek irányítása fedélzeti és távinformációk alapján*. NKFP dokumentáció, MTA SZTAKI.
- Gál Viktor – Roska Tamás (2004): *Collision Prediction via the CNN Universal Machine*. <http://www.sztaki.hu/sztaki/ake/analogic/>
- Gianone László – Kovács G. – Bokor J. – Széll P. – Frank P. (1999): System for Detection and Prevention of Unintended Lane-departure of Vehicles. In: Chen, Han-Fu – Cheng, D.-Z. – Zhang, J.-F. (eds.): *Proceedings of the 14th World Congress of IFAC. Vol. Q. Transportation Systems, Computer Control*. Preprints. Beijing, Beijing, IFAC, 1999. 169–174.
- Giuletti, F. – Pollini, L. – Innocenti, M. (2000): Autonomous Formation Flight. *IEEE Control System Magazine*, 20, 6.
- Kovács G. – Bokor J. – Palkovics L. – Gianone, L. – Semsey Á. – Széll P. (1998): *Lane-departure Detection and Control System for Commercial Vehicles*. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, Stuttgart, Germany
- LeBlanc, David J. – Johnson, G. E. – Venhovens, P. J. Th. – Gerber, G. – DeSonia, R. – Ervin, R. D. – Lin, C. – Ulsoy, A. G. – Pilutti, T. E. (1996): *CAPS: A Road-Departure Prevention System*. IEEE Control Systems, December.
- Palkovics László – Várlaki P. – Bokor J. (1995): Robust Controller Design for Active Unilateral Brake Control System. In: Isidori, Alberto et al. (eds.): *Proceedings of the 3rd European Control Conference*. Roma. Vol. 1. EUCA, Roma, 731–736.
- Palkovics László (2005): Járműirányítás és menetstabilizálás. *Magyar Tudomány*. 5.
- Palkovics László – Bokor József (2003): *Elektronikus jármű- és járműirányítási tudásközpont. Konceptióterv*.
- Péni Tamás – Bokor József (2004): *Trajectory Tracking Control for a Class of LPV Systems Based on Dynamic Inversion and Passivity*. WSEAS/IASME Int. Conferenes. Corfu, Greece, August 17–19.
- Péni Tamás – Szederkényi G. – Bokor J. – Hangos K. M. (2004): *Dynamic Inversion Based Velocity Tracking Control of Road Vehicles*. 6th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems, NOLCOS-2004, Stuttgart, Germany.
- Raza, H. – Ioannu P. (1996): *Vehicle Following Control Design for Automated Highway Systems*. IEEE Control Systems, December.
- Rödönyi Gábor – Bokor J. – Palkovics L. (2004a): *Identification of a Heavy-truck Dynamics*. ERNSI Workshop, Dobogókő, Hungary, October 4–6.
- Rödönyi Gábor – Bokor József (2004b): *Identification of LPV Vehicle Models for Steering Control Involving Asymmetric Front Wheel Braking*. 6th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems, NOLCOS-2004, Stuttgart, Germany.
- Samad, Tariq – Balas, Gary (eds.) (2003): *Software Enabled Control: Information Technology for Dynamical Systems*. IEEE Press, Wiley-Interscience.