

Szenzor-rendszerek

Kömlődi Ferenc

Tézis: *Az informatikai berendezések és környezetük közötti kapcsolatot realizáló, hálózatokba szervezett szenzorrendszerek intelligenciája és kommunikációs képességei jelentős mértékben növekednek.*

1. Témakör

A XXI. század első évtizedeinek egyik meghatározó technológiai jelensége az érzékeléstechnika. A feldolgozó-képességgel és tárolással ellátott, legkülönbözőbb fajtájú és rendeltetésű érzékelők a mindennapi élet számos területén tevékenykednek.

A vezeték nélküli hálózatokba rendezett szenzorok szerteágazó közeljövőbeli alkalmazásaira számíthatunk: a környezet-intelligencia részévé válnak, a lakókra, külső körülményekre reagáló „intelligens otthonok” alapjait jelenthetik, adatokat gyűjtenek a környezetszennyezésről, közlekedésről, hőmérsékletről, vérnyomásról, szenzorvezérelt robotok dolgoznak a gyártásban, stb. Az érzékelésközpontú rendszerek térhódítása része egy általánosabb trendnek: a koncentrált rendszerek helyett/mellett egyre gyakoribbak az elosztottak.

Jelentős változás történik a szenzorok kommunikációjában is: megfelelő működésükhöz önszerveződő megoldásokra van szükség; eleinte egy-egy érzékelő kommunikál egymással, a rendszerrel, majd később az egész hálózat a környezettel és – a környezet részeként – a többi hálózattal.

2. Jelenlegi helyzet

Az intelligens szenzorok a környezet-érzékeny számítástechnika részei. Jelenleg főként a magunkon hordható, vérnyomást, stb. monitorozó érzékelők fejlesztése a legelterjedtebb. A szenzorhálózat-technológia még gyerekcipőben jár: egyelőre csak több száz érzékelő állítható rendszerbe. Rendkívül limitált számítási kapacitással és szerény kommunikációs képességgel rendelkeznek. A nagyságrendnyi előrelépést az is akadályozza, hogy a különböző hálózatok nehezen integrálhatók egymásba.

A vezeték nélküli hálózatok alapját apró gépecskék (*motes*¹ „részecske”, „parány”, „porszem”) képezik. Minden egyes mote elemes meghajtású, a többiekkel rádióösszeköttetésben lévő miniatűr számítógép, számítógépesített érzékelő. Rájuk (és más beágyazott rendszerekre²) dolgozták ki a komponensalapú, minimális hardver-igényű (szabad forráskódú) Tiny OS operációs rendszert és a Tiny DB adatbázis-szoftvert. A szenzorok egymás közötti kommunikációját a Tiny OS biztosítja. Mivel nagyon kicsik, hosszú ideig, méretesebb eszközök számára megközelíthetetlen környezetben is működőképesek. A szenzorhálózatok gördülékeny működését biztosító más szoftver-környezetek (például a MCOS/ECOS) szintén rendelkezésre állnak.

Szenzorok, funkcionális fonalak, szövetanyagok együttes alkalmazására máris akadnak példák: a felhasználó alakjához igazodó ruhaszerű, hordozható „egészségügyi rendszerek” és más „okos” (*smart*) öltözékek. Ezek a rendszerek több kutatási területet egyesítenek: nanotechnológiát, mikro-elektromechanikai (MEMS), mikro-elektrooptikai rendszereket, érzékelőket, jelfeldolgozó technikákat, modern telekommunikációt (például a Bluetooth-t).

¹ A magyar nyelvű szakirodalomban használják a *mót*, *mótok* kifejezéseket is.

² Olyan processzoralapú, programvezérlésű elektronikus eszközök, illetve az ilyen eszközökből alkotott rendszerek, amelyek a befogadó fizikai / kémiai / biológiai környezetét autonóm módon képesek érzékelők (szenzorok) segítségével megfigyelni és beavatkozók (aktuátorok) segítségével befolyásolni.

3. Folyamatban lévő kutatások, fejlesztések

Az elméletileg 2001-ben lezárult Smart Dust számos utódprojektben él tovább (Dust Inc., <http://www.dustnetworks.com>). Az eredeti elképzelés könnyen és gyorsan, szinte bárhova telepíthető, az ottani helyzetet kiértékelő hálózatokat célzott meg. A köbmilliméternyi űrtartalmú egységek szenzort, áramellátót, analóg áramkört, programozható mikroprocesszort tartalmaznak. Az érzékelő-feldolgozó csomópontok saját hálózatukat automatikusan konfigurálják. Az adatokat az optimálisnak vélt úton továbbítják. Bármilyen irányító és kommunikációs rendszerrel könnyen koordinálhatók. Az összegyűjtött információ jellege attól függ, hogy a felhasználó mit akar tanulmányozni: az egységek újraprogramozhatók, azaz megváltoztathatják munkájukat. Ad hoc hálózatokat alkotnak, maguktól építik fel az idővel változó struktúrájú rendszert. A Dust Inc. elsősorban három alkalmazási területükre koncentrálnak: épület-automatizálásra, ipari monitorozásra (folyamatok optimalizálására), védelemre/biztonságra.

Az „intelligens épületek” technológia teljesen ugyan még nem adott, viszont egyre közelebb: a legfontosabb épületbusz szabványt már megalkották. A mikro-elektromechanikai eszközöket szenzorokkal és aktuátorokkal, vezeték nélküli érzékelő-hálózatokkal, fuzzy logikán alapuló kontrollsémákkal összekapcsolva elméletileg létrehozható az adott épület „gépi idegrendszere.” A Carnegie Mellon Egyetemen például a fűtést, szellőzést, légkondicionálást, áramellátást, világítást, lifteket és biztonságot monitorozó-irányító sémát dolgoztak ki.

Az Intel és a Rochester Egyetem egészségügyi központjának Proaktív Egészségügyi Kutató Projektje (<http://www.intel.com/research/prohealth>) az „intelligens otthon” részeként, önkéntesek lakásaiban tesztelik parányi, rejtett szenzorokból álló hálózataikat. A szenzorok vérnyomást, testsúlyt mérnek, az adott személy helyváltoztatásáról szolgáltatnak információt, stb. Az Intel egy másik projektje, a Vezeték nélküli szőlőskertben szenzorhálózat monitorozza (percenként méri) a hőmérsékletet, majd tárolja az adatokat. A távolabbi tervekben szerepel, hogy az érzékelők a talaj nedvességét ellenőrizve kimutatják, mely területeket szükséges locsolni, melyeket nem.

A környezet szenzorokkal történő tanulmányozását több projekt szemlélteti: az UCLA ökológusai szenzorhálózat-technológiát használva a kaliforniai erdőket, a RiverNet (<http://www.rivnet.net>) a Hudson folyó vízminőségét vizsgálja. A GlaceWeb (<http://www.glacweb.com>) vezeték nélküli érzékelői egy norvég gleccser jegében vizsgálják a klímaváltozást. (Utóbbi pontos modellezése szintén megoldandó feladat lenne, viszont a mai számítási kapacitás még nem elegendő hozzá.) A British Telecom SECOAS (Self-Organising Collegiate Sensor, Önszerveződő Testületi Érzékelő) Network Projektjének (<http://www.ee.ucl.ac.uk/secoas/secoas>) rendeltetése, hogy különböző környezetvédelmi szervezetek munkáját könnyítse meg. Hálózatba szervezett bóják maguk döntenek el, mikor és miként továbbítják az összegyűjtött adatokat. Tesztelésük sikeresnek bizonyult, a tengerfenék állapotát monitorozták eredményesen a skóciai partoknál. A rendszer képes önmagát szabályozni, ráadásul elég masszív ahhoz, hogy nehéz körülmények között is hatékonyan végezze munkáját. Erőforrásai hiába korlátozottak, a természeti környezetből összeszedett adatokhoz valós időben alkalmazkodik. A bóják felméri a továbbításhoz rendelkezésükre álló sávszélességet, és eldöntik mely információt küldik el, akár egy kilométer távolságra is. Ha kell, alacsony teljesítményű VHF rádiót használnak.

Szuper-érzékeny mágneses érzékelők fejlesztésében a németországi Jülich Kutatóközpontban végzett munkák eredményeként az igen kicsiny, ám robusztus szerkezetek különféle járművek profilját dolgozzák ki. Ugyanilyen szenzorokból áll majd össze egy EU-s projekt időjárás-független repülőtéri irányítórendszere is. A közúti forgalom monitorozása több más projektben (például Berkeley Egyetem) szintén szerepel.

4. A várható fejlődés

Az úgynevezett *ubiquitous computing* a számítástechnika harmadik, a nagyszámítógépeket (*mainframes*) és a PC-ket követő hulláma, a „csendes”, környezetünkbe „olvadó”, annak szerves részét képező technológia kora lesz. A háttérben dolgozó, tárgyakra integrált, nem feltűnő („láthatatlan”) számítógépek, a környezet-intelligencia (*ambient intelligence*) elterjedése egybevág a mainál jóval fejlettebb, „kiforrott” állapotban lévő szenzorhálózat-technológiával: az érzékelőrendszerek az ambient intelligence fontos komponensei lesznek. A szenzorok lokális hálózatokat képeznek, a kommunikáció már nem egy-egy érzékelő és környezete, hanem a hálózat egésze és a környezet között történik. A fejlődés a hálózatok egyre nagyobb autonómiáját eredményezi; az érzékelők hálózatokon belül részfeladataikat önállóan, de a többiekkel összehangoltan végzik.

A vizsgált periódus második felében megjelennek az önmagukat telepítő hálózatok is. A hely-érzékes szenzorok a web méretét és hatékonyságát megközelítő/elérő alkalmazásokban valósidejű megfigyeléseket és méréseket szolgáltatnak a világról. Hálózataik mind gyakrabban funkcionálnak adatbázisokként is.



1. ábra: 2008-2018

A szenzorok és szenzorrendszerek térhódításával az elosztott számítások, az elosztott intelligencia, az elosztott tárolás, vagy az elosztott sávszélesség után az elosztott érzékelés (*distributed sensing*) szintén szerves része lett a számítástudománynak. A jelenség lényege, hogy nagyszámú fix és/vagy mobil érzékelő-pontból álló hálózatok ezen pontok által generált adatok gyűjtésével és elemzésével lehetővé teszik az így kinyert információ másokkal történő megosztását. Maguk az elosztott szenzorok is sok érzékelőt tartalmaznak, ami alapfeltétele annak az elvárásnak, hogy a távoli, távolból irányított hálózatok a rendszer minden egyes pontjáról (például a mikrofonok elhelyezéséről és érzékenységéről, stb.) részletes információval rendelkezzenek. A szenzor inputjainak kiértékelése és az érzékelő alaphelyzetbe állítása csak ennek az információnak a pontos kezelésével kivitelezhető. A

hálózatnak képesnek kell lennie az adott adatsomag által reprezentált idő- és helyparaméterek ellenőrzésére. Egyfajta szavazóprotokollok bevezetése is szükségesnek tűnik – így lehetne jelentéktelenné tenni a gyengén teljesítő érzékelők adatait. Egyes érzékelőket megbízhatónak könyvelnék el, másokat kevésbé. Minél kényesebb információval dolgoznak, annál fontosabb egy ilyen „osztályozó rendszer” (*reputation system*) bevezetése. (A biztonsági beállításoknak pedig egyszerűnek, de hatékonyaknak kell lenniük.)

A kategórianeveknél és címkéknél nagyon fontos a szabványosítás: ha az egyik szenzor melegről, míg a másik hidegről informál, a hálózatnak azonnal meg kellene értenie, hogy mindkét adat ugyanarra a jelenségre vonatkozik.

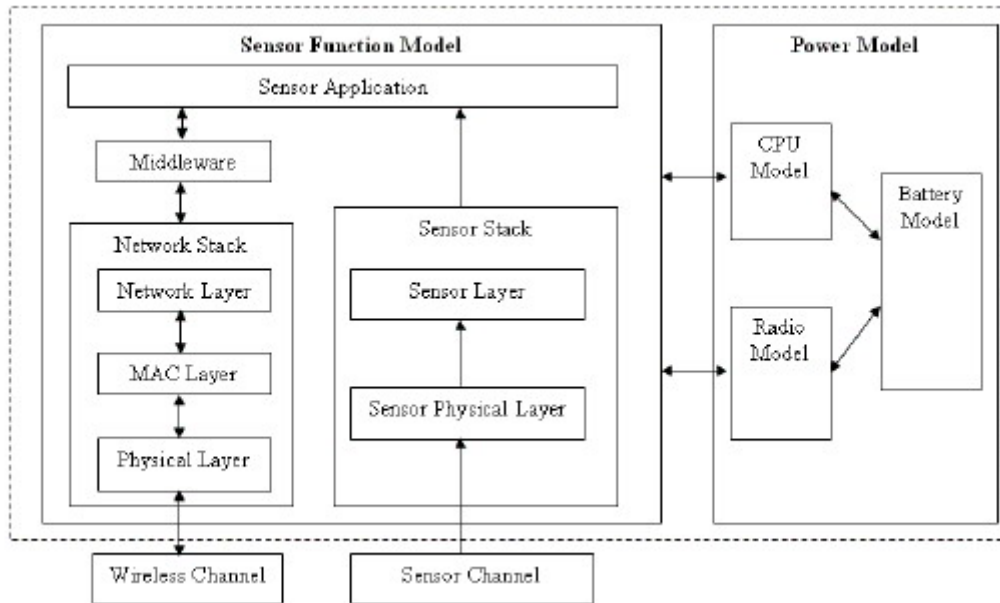
Idővel nem lenne meglepő, ha az egyre bonyolultabb rendszerek különböző szintjein lévő elemei egymás tevékenységét vizsgálnák. Szenzorok figyelnek a szenzorokat, melyek más szenzorokat figyelnek, melyek ismét más szenzorokat figyelnek, és így tovább.

Alkalmazásaikra vonatkozóan, tételezzük fel például, hogy amatőr szeizmográfusok nagy kiterjedésű földrengést valós időben tanulmányoznak, érzékelőként egy pixel rezolúcióval. A folyamat követését az eszközök elosztott érzékelése teszi lehetővé.

Az elosztott érzékelés időjárási jelenségek, mikroklímák vizsgálatánál szintén felbecsülhetetlen szolgáltatásokat nyújthat. Olyan esetekben például, amikor radar helyett apró szenzorokból összeálló és az információt egymás között megosztó hálózatok kutatnak az adott terepre jellemző minták után. Az új technológia az autózvezetési feltételeken, a világhálón hozzáférhető térképek és az általuk adott utasítások, tanácsok minőségén szintén sokat javíthat. Az eddigi munkát algoritmusok végezték, márpedig azok – az út minőségének, a forgalom nagyságának figyelmen kívül hagyásával – szinte kizárólag számokkal, műveletekkel foglalkoznak. Viszont, ha a megfelelő érzékelőkkel ellátott jármű közvetlenül a térképkészítő honlaphoz juttatna el adatokat, az online útirány-tanácsadók pontosabbak, használhatóbbak lennének. A nagyvárosi élet problémáinak kezelése során ugyancsak rengeteget segíthetnek. Épülettervezésnél, közlekedésirányításánál, tömegek kezelésénél, szabadban és belső terekben egyaránt alapozhatunk az általuk szolgáltatott adatokra. Például speciális szenzorokkal felvértezett mobiltelefonok gyűjthetnék és kommunikálnák egymás között az adatokat a világvárosok zajszennyezettségéről, stb.

A szenzortechnológia még szélesebb körű elterjedéséhez elengedhetetlen a külön-külön működő hálózatok egyetlen rendszerbe integrálása. Hatékonyságuk technológiai előfeltétele az is, hogy több száz helyett több ezer szenzort lehessen összekapcsolni. Az integráció mellett a miniatürizáció és az energiakezelés jelentik a leggyorsabban megoldandó problémákat. Az együttműködő rendszereknél figyelembe kell venni, hogy tévesen ne hassanak egymásra. Igen fontos szempont a megbízhatóság és a stabilitás, ami lényeges árvonzattal jár.

Az ad hoc hálózatoknál – mivel az információ vezeték nélküli kapcsolaton keresztül áramlik – egyrészt nagyobb sáv szélesség szükséges, másrészt meg kell oldani a rádiós kommunikáció hagyományos problémáit: zajt, elhalkulást, interferenciát. Ahhoz, hogy az összes csomópont kiszolgálóként (*host*) és útvonalválasztóként (*router*) egyaránt jól működjön, hatékonyabb routing-protokollokat kell kidolgozni. Tipikus megoldandó middleware feladat még az időszinkronizálás, a szinkronizációs protokollok továbbfejlesztése.



2. ábra: szenzorhálózat diagramja

Mivel a szenzorhálózatok biztonságos működése több problémát felvet, minél előbb el kell végezni a javasolt (az adatok bizalmasságát, integritását, illetve a küldő hitelességét garantáló) biztonsági protokollok teljes körű elemzését, valamint a kockázatmentes üzemelést bizonyító vizsgálati eljárások tökéletesítését.

5. Befolyásoló tényezők

A szenzorhálózatok elterjedését technológiai, társadalmi és gazdasági tényezők egyaránt befolyásolják.

A technológiaiak közül a miniaturizálódás, a vezeték nélküli megoldások, az elosztott számítások és a beágyazott rendszerek térhódítása a legfontosabb. Egy másik, sokkal általánosabb tényezőről szintén nem szabad megfeledkezni: mivel az internet a hétköznapi meghatározó jelenségévé vált, a hálózatiság a technológia gyakorlatilag minden területén – szenzorrendszerek esetében pedig még hatványozottabban – követendő modell lett.

Társadalmi szempontból elsősorban a környezetvédelem (a természeti jelenségek monitorozása, az adatgyűjtés, stb. miatt), az egészségügy és (részben az egészségügyhöz kapcsolódva) az „intelligens otthon” koncepciójának fokozatos érvényesülése indokolják a szenzorhálózatok térnyerését. A gazdaságot illetően az ipari és mezőgazdasági tevékenységek, valamint a közlekedés (közlekedési rendszerek) jelenleginél nagyobb mértékű automatizálása a legfontosabb hajtóerők.

6. Várható hatások

A szenzor-hálózatok működése sok hasonlóságot mutat más elosztott rendszerekkel, például a multi-ágens, vagy rajintelligencia-alkalmazásokkal. A fejlesztések áthatnak egymásra, így a két területen tapasztalható előrelépésekből kölcsönös profitálás, autonómabb, nagyobb számítási kapacitással, szerteágazóbb kommunikációs képességekkel rendelkező rendszerek várhatók.

Szenzorokat (és aktuátorokat) eddig is építettek robotokba, de a közeljövőben még több szenzorvezérelt robotprojekt valószínűsíthető: például a bőr nyomásérzékelő funkciójából kiindulva, a Tokiói Egyetemen máris olcsó organikus és műanyag tranzistorokból álló robotbőrt fejlesztenek. Robotika, szenzorok és a Bluetooth rövid hatótávolságú

rádiótechnológia együttes alkalmazására ugyan történtek perifériális kísérletek, a közeljövőben viszont egyre több ilyen jellegű projektre számíthatunk. A rajokként működő robotok esetében, hatékonyságuk növelése érdekében szintén mind gyakrabban használnak szenzor-megoldásokat.

A fizika és a számítástudomány kölcsönös egymásra hatásának következtében létrejött mikrorobotika, nanotechnológia és a mikro-elektromechanikus rendszerek egyre miniatürébb világára ösztönző hatással lesznek a szenzorhálózatok, a négy területet számos projektben igyekeznek közös nevezőre hozni, együttes felhasználásokat kidolgozni.

Az „okos” szenzorok és aktuátorok elterjedése kihat a végberendezésekre is. Az asztali PC központi szerepének eltűnésével egyre több, szerteágazóbb feladatot végeznek el ezek a (mind komolyabb számítási kapacitással rendelkező) eszközök. Sokszínűbbek lesznek, behálózák otthonainkat, környezetünket.

Mindezek a változások az IT egészét befolyásolják – még komplexebb, interdiszciplinárisabb alapokról kiinduló rendszerek népesítik be élettereinket.

A szenzorok (és különösen a szenzorhálózatok) elterjedése erősíti a behálózott világ-képet, jelentős mértékben hozzájárulnak a társadalom automatizálódásához. Tényleges kereskedelmi forgalomba kerülésükkor drasztikus áresés várható, ami a leghétköznapibb alkalmazásokat vetíti előre.

A környezet-intelligencia, vagy az intelligens otthonok (és ruhák, stb.) részeként komoly segítséget nyújtanak az egészségügyi dolgozóknak, az általuk küldött információ következtében gyorsabb orvosi beavatkozás, illetve a rendellenes aktivitások észlelésének hatására betegségek megelőzése várható. Állandó tevékenységük eredményeként idősebb embereknek egészségügyi okokból nem kell idő előtt idősek otthonába költözniük, sokkal tovább élhetnek megszokott környezetükben. Ugyanakkor – mivel „igazi Big Brother technológia” – a permanens monitorozás személyiségi és egyéb, előbb-utóbb szabályozandó biztonsági, jogi kérdéseket is felvet: a szenzor-hálózatok (mint az RFID) segítségével könnyebb a személyi azonosítás, csak hogy milyen mértékben és kinek adható ki az általuk begyűjtött információ? A gépjárművekbe épített szenzorok és aktuátorok szintén okozhatnak jogi természetű gondokat. Mi történik akkor, ha egy többé-kevésbé autonóm közlekedési eszköz balesetet okoz? Ki a felelős – a benne ülő személy, esetleg a gyártó? A felelősség ügyét egyértelműen szabályozni kell az ilyen esetekben.

A környezetfigyelő szenzorok méréseikkel fontos adatokat szolgáltatnak a

környezetszennyezésről, szerepet játszhatnak természeti katasztrófák megelőzésében.

Tűzvész, terrortámadás esetén pedig – robotokhoz hasonlóan – szintén bevethetők „nehéz”, a humán szervezetre komoly egészségkárosító hatású terepeken: megkönnyítik az emberi munkát, csökkentik a veszélyes munkaköri tevékenységeket. Az érzékelők méréseire támaszkodva, a közlekedésirányításban és ütemezésben, forgalmi dugók csökkentésében szintén komoly eredmények érhetők el. A hadviselésben is: a gyorsan telepíthető, flexibilis mobil szenzorhálózatokra a felderítésben, ellenséges mozgások nyomon követésében, stb. komoly feladatok hárulnak.

7. Hazai helyzet

Az érzékelő-fejlesztés ideális terület azon országok számára, mint hazánk is, amelyek a mikroelektronika chipgyártási folyamataiból valamilyen okok miatt kimaradtak. E terület ugyanis nem igényli a nagyfelbontású mikroelektronikai technológiát, a hozzáadott érték inkább egyedi megoldásokból, illesztésből, rendszerbe állításból képződik.

A paletta széles. Egyaránt található példák önálló fejlesztési eredményeiket gyártó, versenyképes hazai cégekre (NIVELCO) és külföldi termékeket forgalmazókra (Bosch). Perspektivikusnak tűnik például az autóipar (Knorr-Bremse, fékfejlesztés). A ma már

szériatermékeknek számító intelligens aktuátorok (motor, váltó, fék, kormány, stb.) működése összehangolható, a jármű elektronikus irányítórendszere „mondja meg”, milyen beavatkozást vár tőlük, például, hogy a fékrendszer kiszámítsa a szükséges mértékű lassulást.

Lényeges fejlesztési eredmények látnak napvilágot egyetemi kutatóműhelyeken (BME Elektronikai Eszközök Tanszék). Jelentős munkák folynak a Bay Zoltán Intézet Környezetvédelmi Szenzor és Monitoring Laboratóriumában is: többek között a szerves halogéntartalmú vízszennyezők analitikai, valamint a folyami mozgó iszapok nehézfém szennyezésének megfigyelésére dolgoznak ki hatékony rendszereket.

A terület ideális terep lenne hazai kis- és középvállalatoknak. A nagysorozatú gyártást igénylő megoldások esetében magukat az érzékelőket kell megvásárolni, s abból rendszert létrehozni. Speciális problémát jelent, hogy a szenzortechnológia minden bizonnyal azelőtt elterjed, hogy a megfelelő jogi szabályozást kidolgoznák hozzá.

8. Összegzés

A szenzortechnológia mindennapjaink szerves részévé válásával élhetőbbé, biztonságosabbá teszi világunkat. Jelentősen hozzájárul a láthatatlan, háttérben dolgozó gépekről kialakulófélben lévő, néha futurisztikusnak tűnő koncepció megvalósulásához. Az érzékelő-hálózatok fokozzák, hatékonyabbá teszik az ember-gép kooperációt, hozzájárulnak a termelési folyamatok automatizálásához, a szervezettebb gyártáshoz, valamint az élet számos területén támaszkodhatunk az általuk precízen összegyűjtött számokra, adatokra.

A lakosság előregedésével kapcsolatosan felértékelődik az egészségügyi mérés, információ-gyűjtés. A környezetvédelem szintén az egyre fontosabb területek közé tartozik – itt elsősorban a nagy régiókat átfogó rendszerek garantálják az eredményeket. Lényeges szerep jut a közlekedés szervezésében alkalmazott érzékelőknek, míg a szenzorok sokaságával felszerelt vezető nélkül közlekedő üzemi robotok szintén egyre fontosabb gyártási/ipari tényezővé válnak.

