

# 11. SZENZOR-RENDSZEREK

Kömlődi Ferenc

*Az informatikai berendezések és környezetük közötti kapcsolatot realizáló szenzorrendszerek intelligenciája és kommunikációs képességei jelentős mértékben növekednek.*

## **1. Megnevezés és rövid leírás**

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, a közlekedésről, hőmérsékletről, vérnyomásunkról, szenzorvezérelt robotok dolgoznak a gyártásban, stb. Az érzékelésközpontú rendszerek térhódítása része egy általánosabb trendnek: a koncentrált rendszerek helyett egyre gyakoribbak az elosztottak.

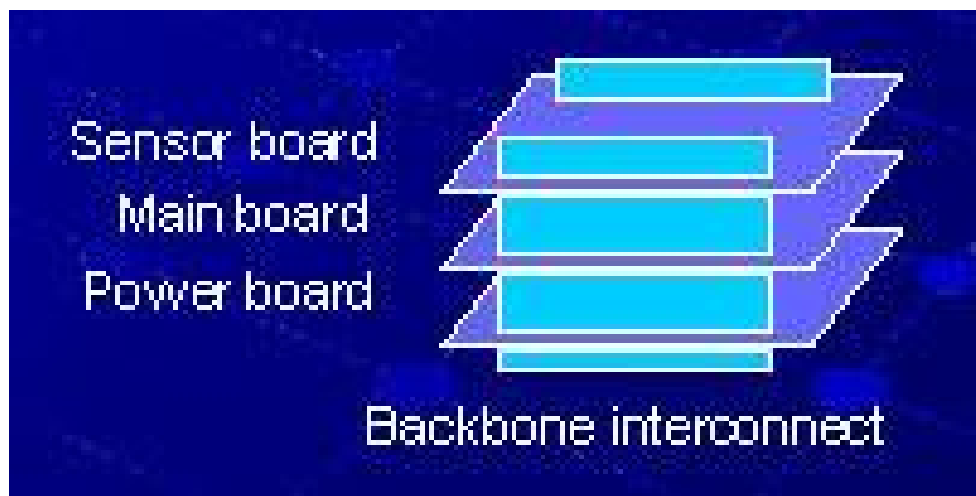
Jelentős változás történik a SZENZOROK kommunikációjában is: megfelelő működésükhöz önszerveződő megoldásokra van szükség; eleinte egy-egy érzékelő kommunikál egymással, a rendszerrel, majd később az egész hálózat a környezettel.

## **2. Jelenlegi helyzet**

Az intelligens SZENZOROK a kontextus-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.

A vezeték nélküli hálózatok alapját apró gépecskék (motes – részecske, parány, porszem) képezik. Minden egyes mote elemes meghajtású, a többiekkel rádióösszeköttetésben lévő miniatűr computer, computerizált érzékelő. Rájuk (és más beágyazott rendszerekre) 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.



1. ábra: Mote diagram

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

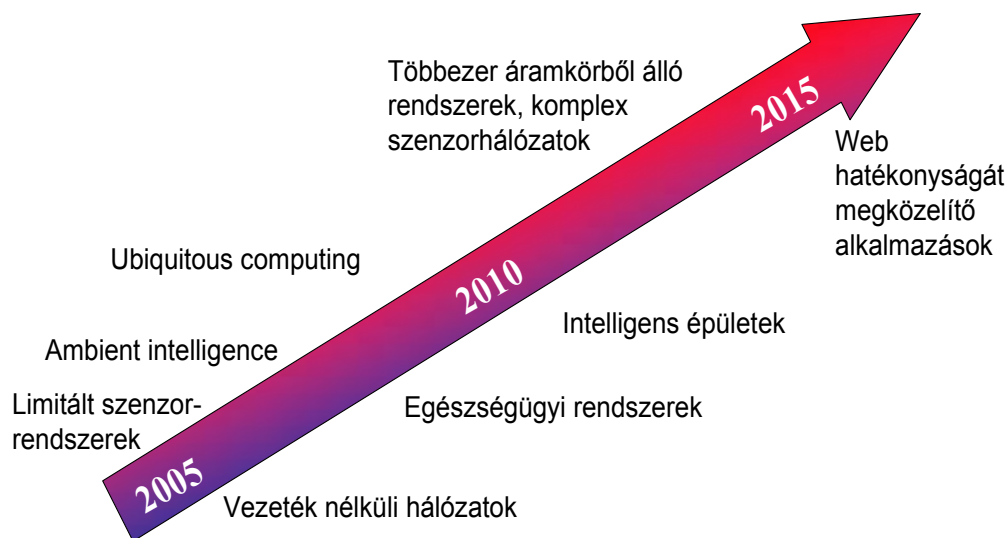
### 3. A várható fejlődés eredményének jellemzése

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, tárgyakba integrált, nem feltűnő („láthatatlan”) számítógépek, a környezet-intelligencia (ambient intelligence) elterjedése egybevág a mainál jóval fejlettebb, „kiforrott” állapotban lévő szenzorhálózat-technológiával: az érzékelő-rendszerek az ambient intelligence fontos komponensei.*

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.

Megjelennek az önmagukat telepítő hálózatok. A hely-érzékeny SZENZOROK a web méretét és hatékonyságát megközelítő/elérő alkalmazásokban valósidejű

megfigyeléseket és méréseket szolgáltatnak a világról. Hálózataik mind gyakrabban funkcionálnak adatbázisokként is.



2. ábra: Várható fejlődés 2005-2015

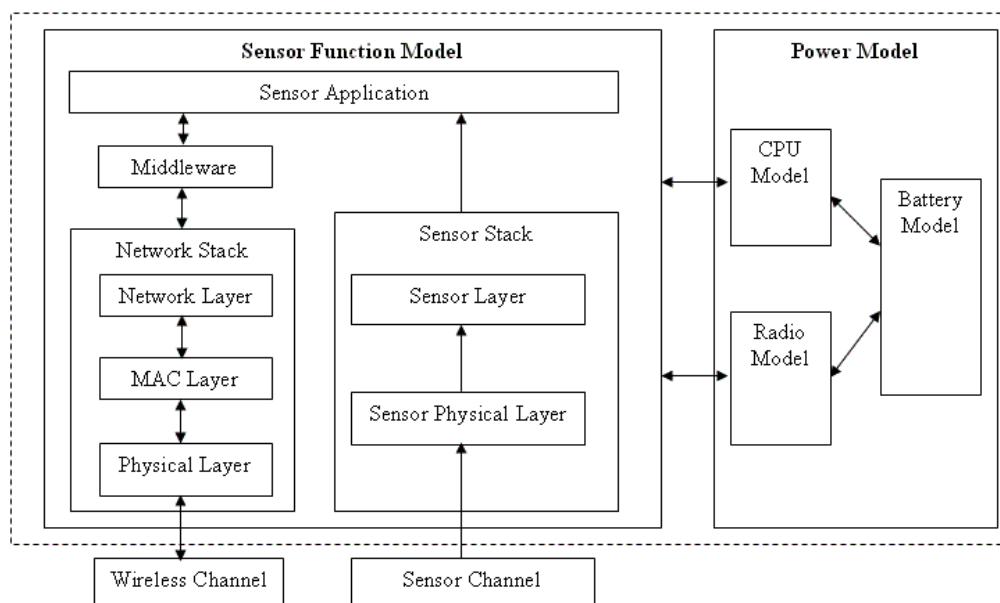
A szenzor-technológiákat vezeték nélküli és internet-technológiákkal kombinálják. A vezeték nélküli AD HOC HÁLÓZATOK egymással kommunikáló független csomópontok és terminálok decentralizált, elosztott rendszerei. Két főbb típust különböztetünk meg: intelligens szenzor (smart sensor networks) és mobil AD HOC HÁLÓZATOKAT (mobile ad hoc networks, MANETs). Előbbi egy adott földrajzi területre kiterjedő, a jelfeldolgozáshoz és a kommunikációhoz elegendő „intelligenciával” rendelkező érzékelők rendszere, utóbbi a mobil felhasználók sávszélesség által behatárolt vezeték nélküli decentralizált hálózata, melyben a mozgékony csomópontok töltik be a főszerepet.

#### **4. Szükséges technológiai előfeltételek**

A változáshoz elengedhetetlen a *külön-külön működő hálózatok egyetlen rendszerbe integrálása*. Hatékonyságuk 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 linkeken keresztül áramlik – egyrészt nagyobb sávszélesség 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 idő-szinkronizálás, a szinkronizációs protokollok továbbfejlesztése.



3. ábra: Szenzorhálózat

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. Folyamatban lévő kutatások, fejlesztések

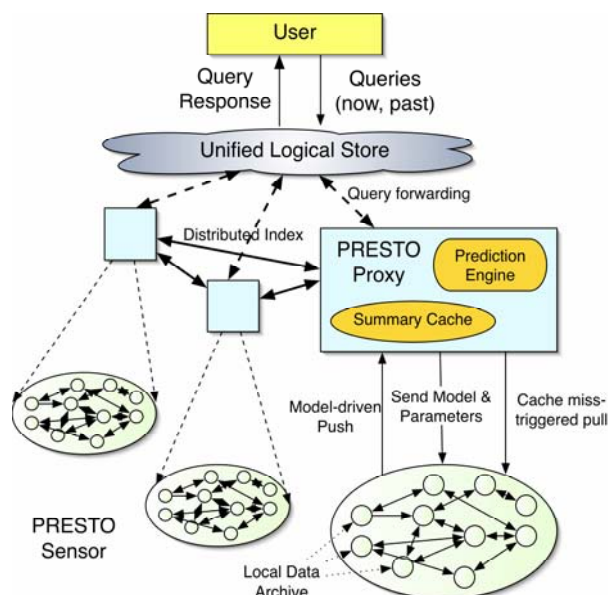
Az elméletileg 2001-ben lezárult Smart Dust számos utódprojektben él tovább (Dust Inc.). Az eredeti elképzelés könnyen és gyorsan, szinte bárhova telepíthető, az ottani helyzetet kiértékelő hálózatokat célozta meg. A köbmilliméternyi űrtartalmú egységek szenzort, áramellátót, analóg áramkört, programozható MIKROPROCESSZORT tartalmaznak. Érzékelő-feldolgozó csomópontok hálózatukat automatikusan „önkonfigurálják.” Az adatokat az optimálisnak vélt úton továbbítják. Bármilyen irányító és kommunikációs rendszerrel könnyen koordinálhatók. Az összegyűjtött információ jellege attól függ, mit akarunk 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 koncentrált: épület-automatizálásra, ipari monitorozásra (folyamatok optimalizálására), védelemre/biztonságra.

Gyakran találkozunk az „intelligens épületek” kifejezéssel: a technológia teljesen ugyan még nem adott, viszont egyre közelebb kerülünk hozzá. A legfontosabb épület-bus szabványt megalkották. A mikro-elektromechanikai eszközöket SZENZOROKKAL és AKTUÁTOROKKAL (beavatkozók), 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 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 Texasi Egyetem két kutatója „intelligens bőrt” tervez. Munkájukkal a NANOTECHNOLÓGIA és a mikro-elektromechanikus rendszerek közé igyekeznek egyfajta hidat verni. A SZENZOROK a tapintást, az érintést, a levegőmozgást és a lélegzeteket érzékelnék. Nem önálló eszközökként, hanem öltözékünk részeként funkcionálnának.



4. ábra: Szenzorhálózat architektúrája

A környezet SZENZOROKkal történő tanulmányozását több projekt szemlélteti: az UCLA ökológusai szenzoros webtechnológiát használva a kaliforniai erdőket, a RiverNet a Hudson folyó vízminőségét vizsgálja. A GlaceWeb 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 szuperérzékeny mágneses érzékelők fejlesztésében a németországi jülich-i 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.

## **6. Az IKT más területeire való hatások bemutatása**

*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. A PC központi szerepének eltűnésével egyre több, szerteágazóbb feladatot végeznek el ezek a (mind komolyabb számítási kapacitással rendelkező) eszközök. Sokszínűbbek lesznek, behálózják otthonainkat, környezetünket. A jelenség legfontosabb megnyilvánulásainak egyike az érzékelő-rendszerek térhódítása.

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

## **7. Társadalmi-gazdasági hatások elemzése**

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 lehétköznapi 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 idősök 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 bevetethők „nehéz”, az emberi szervezetre komoly egészségkárosító hatású terepeken: megkönnyítik a munkánkat, 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.

„Monitorozhatjuk a jövő-menő embereket, járműveket, hadseregeket és civileket figyeltethetünk velük, azaz rengeteg érdekes dolgot tehetünk, ha a megfelelő érzékelők a rendelkezésünkre állnak” – összegzi a szenzortechnológia várható alkalmazásait, következményeit Kris Pister, a Dust Inc. alapítója.

## **8. Magyar vonatkozások**

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. Találunk példákat önálló fejlesztési eredményeiket gyártó, versenyképes hazai cégekre (NIVELCO), külföldi termékeket forgalmazókra (Bosch) egyaránt. Perspektivikus az autóipar (Knorr-Bremse, fékfejlesztés). A ma már szériatermékek 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 képződnek egyetemi kutatóhelyeken (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.

## **9. Következtetések**

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, például hozzájárulnak a termelési folyamatok automatizálásához, az intelligens gyártáshoz, valamint az élet számos területén támaszkodhatunk az általuk precízen összegyűjtött számokra, adatokra.

A lakosság elöregedésével kapcsolatosan felértékelődik az egészségügyi mérés, információ-gyűjtés. A környezetvédelem szintén az egyre fontosabb területek között említendő, itt elsősorban a nagy régiókat átfogó rendszerek garantálják környezetünk védelmét. Lényeges szerep jut a közlekedés szervezésében alkalmazott érzékelőknek, a vezető nélkül közlekedő üzemi robotok meghatározó szerepet kapnak.