

# Autonóm mobil robotok

*Kömlődi Ferenc*

**Tézis:** *A robotikai fejlesztések irányát megváltoztatja, hogy a különösebb „intelligenciával” nem rendelkező hagyományos ipari robotok mellett a hétköznapi használat szintjén (háztartásokban, egészségügyben, stb.) is gyakrabban alkalmazzák a komplexebb, autonómabb, rutinmunkák helyett összetettebb feladatokat végrehajtó mobil robotokat.*

## 1. Megnevezés és rövid leírás

A robotok definícióját és osztályozását három tényező határozza meg:

- teljes egészében ember által készített szerkezetek,
- mozogni tudnak, a mozgásban több szabadságfokkal rendelkeznek,
- tevékenységüket részben, vagy teljesen önállóan irányítják.

Elemzésünkben elsősorban emberi feladatokat kivitelező, esetleg (de nem feltétlenül) ember formájú fizikai ágensekkel foglalkozunk. Képességeiket, jelenlegi és majdani alkalmazásaikat a három szempont közül főként a második és a harmadik (mobilitás és autonómia) határozzák meg.

Mivel korlátozott feladataikat korlátozott térben végzik – fizikailag a munka helyszínéhez rögzítettek, az ipari alkalmazásokat (hegesztés, összeszerelés, festékszórás, stb.) legjobban szemléltető robotkarokat (más néven manipulátorokat) viszonylag könnyű létrehozni és megfelelően programozni. Ám, ha egy hagyományos robotot „ki akarunk küldeni a világba”, a fejlesztőknek lényegesen több problémát kell megoldaniuk, melyek közül az adott terepre optimalizált (kereken/síneken vagy lábakon) működő helyváltoztató rendszer kidolgozása az egyik legfőbb kihívás. Ahhoz, hogy a gépek minél mozgékonyabbak legyenek, jobban alkalmazkodjanak a folyamatosan változó környezethez, a környezet minimális változásai ne zavarják teljesen össze a viselkedésüket (hibatűrők legyenek), és ennek a környezetnek a függvényében, időben hozzák meg döntéseiket, egyre nagyobb autonómiával és intelligenciával kell bírniuk.

*A mobil robotok akkor váltják be a hozzájuk fűzött, néha túlzottnak tűnő reményeket és elvárásokat, ha feladataikat nemcsak laboratóriumi közegben, hanem a dinamikus, percre-öl percre módosuló „külvilágban” is képesek valós időben elvégezni.* Beépített, önállóan kibővített modellel kell rendelkezniük környezetükről (legalábbis a környezeti szenzorokkal hozzáférhetetlen vonatkozásairól), érzékelniük és elemezniük kell azt, meg kell találniuk benne a pontos pozíciójukat, majd meg kell tervezniük, végre kell hajtaniuk a mozgást. Összegezve: egyfajta intelligens cselekvést, cselekvéssort kell kivitelezniük. Csak akkor könnyítik meg az ember életét és állnak helyt a mindennapok különböző területein, mint takarítás, épület-monitorozás, szórakoztatás, bevásárlóközpontok, múzeumok, kórházak (belső, strukturált környezetek), erdők, bányák, tengerfenék, katasztrófa sújtotta és katonai terepek, világűr (külső, strukturálatlan környezetek), ha eleget tesznek ezeknek a feltételeknek.

A mai mobil robotok megbízhatóságával kapcsolatban komoly aggályok merülnek fel, s ennek következtében – mint minden számítástechnikai rendszernél, így a robotikai fejlesztéseknél is – nagyobb szerephez kell jutniuk a speciális megbízhatóság-mérő

módszereknek, melyekkel előre jelezhető a robot meghibásodása, meghibásodási rátája, a feladat sikeres végrehajtásának valószínűsége.

A fejlődés ütemét a jelenlegi technológiai korlátok mellett gazdaságossági szempontok is késleltethetik. Elbizonytalanít a múlt: már a hatvanas években, az első robotok tervezésekor azt prognosztizálták, hogy csak tíz-tizenöt évet kell várni az intelligens gépekig... Kétséges, hogy mikor térülnek meg a befektetések. Ráadásul, mivel mindig az éppen aktuális csúcstechnológiákra van szükség, a gyártás, a szoftverfejlesztés és az üzemeltetés is rendkívül drága.

Mivel a téma szerteágazó, az elemzés felhasznál más korábbi NHIT IT3 tanulmányokat („Biológia és IT integrálódása”, „Rugalmas ember-gép kapcsolatok”, „Szenzor-rendszerek”, „Ágensalapú technológiák”), valamint az „Intelligens otthon jövőképe” alkalmazási víziót.

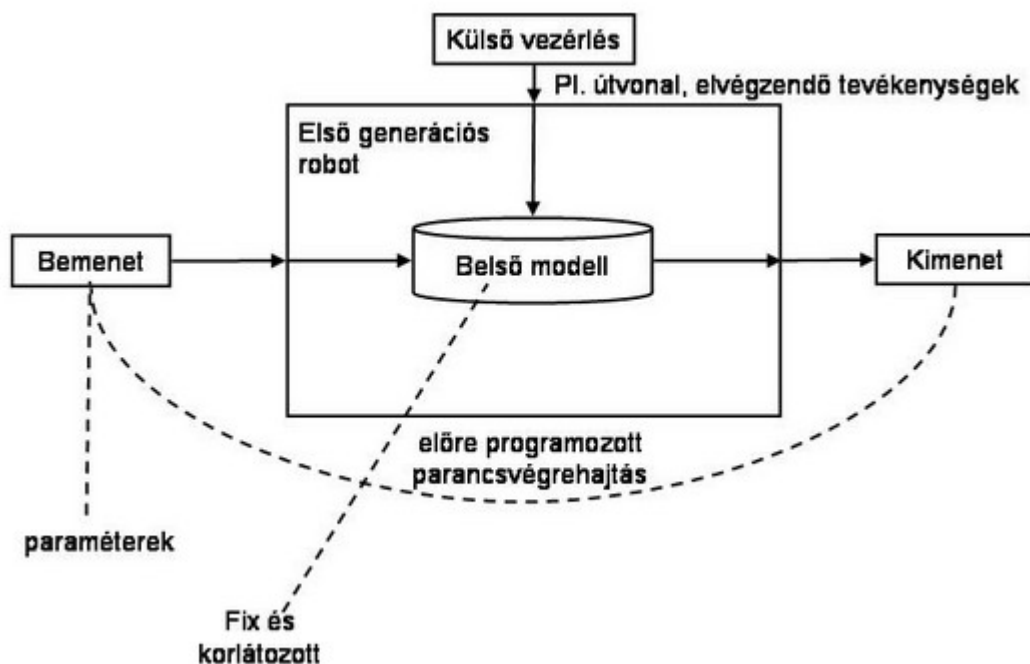
## 2. Jelenlegi helyzet

Bár a szükséges tudás (legalábbis elméletileg) többé-kevésbé rendelkezésre áll, a mai mobil robotok szinte egyike sem mérhető – különösen az érzékelők kezelése, az energiafelhasználás, valamint a tanuló képesség tekintetében – a legegyszerűbb élő (autonóm) állathoz sem. A fejlesztéseket megnehezíti, hogy a számítógépek képességei között talán még mindig éppen a tanuló (adaptív) működés a legelmaradottabb.

### 2.1 Robotgenerációk

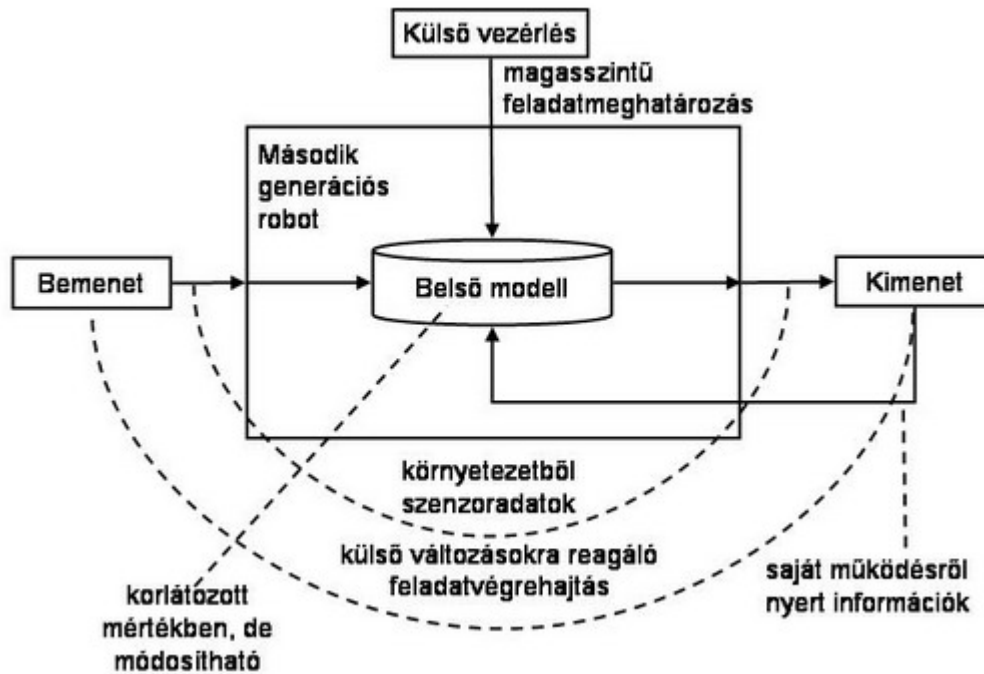
Az eddigi robotfejlesztések három generációban foglalhatók össze.

Az **első** generációsok kizárólag vezérléssel működtethetők, a számítógép programja adja meg mozgásuk útvonalát, határozza meg az elvégzendő tevékenységeket. A környezet változásait nem érzékelik.



1. ábra: Első generációs robotok modellje

A **második** generációsok környezetüket szenzorokkal vizsgálják, az így szerzett és a saját működésükről nyert információk alapján a számítógép bármikor képes módosítani a robot mozgását, például kikerüli a váratlanul útjába került akadályokat. Feladataikat magas szintű programnyelven határozzák meg.



2. ábra: Második generációs robotok modellje

A jelenleg általában kutatási alkalmazásokban megtalálható **harmadik generációnál** egyértelmű a mesterséges intelligencia térhódítása: jól alkalmazkodnak a környezet változásaihoz, alakokat és helyzeteket ismernek fel, hanggal is vezérelhetők, amire képesek hanggal válaszolni, önálló döntéseket hoznak, bonyolult feladatokat oldanak meg, alkalom adtán maguktól módosítják a betáplált programot. Segítségükre vannak tanuló algoritmusaik; általuk hasznosítják korábbi tapasztalataikat.



(célrepülőgépek, melyeket célzási gyakorlatokon használnak) gyorsabban fejlődnek: könnyebb megépíteni és programozni őket, nem kell akadályok között navigálniuk.

### 2.2.2 Víz

Az óceánokban, tengerekben tudományos és ipari célokkal egyaránt használnak alámerülő robotokat, automatizált vízalatti járműveket (*automated underwater vehicle*, AUV). Biológia és számítástudomány integrációját jól szemlélteti, hogy egyes vízi robotokat élőlényekről mintáznak.<sup>39</sup> Érdekes kísérlet a vízen és szárazföldön egyaránt funkcionáló, *kétéltű robotok* fejlesztése.<sup>40</sup>

### 2.2.3 Szárazföld

*A helyhez nem kötött szárazföldi robotok helyváltoztatása két alapvető koncepció szerint valósul meg: az egyik csoportba a síneken/kerekeken mozgó, a másikba a járó robotok tartoznak.*<sup>41</sup>

Az első csoportot főként három-, négy-, vagy hatkerekűek képviselik.<sup>42</sup> A kerekeken mozgó robotok kötött pályás és kötetlenül mozgó alkategóriákba sorolhatók. Közös tulajdonságuk a lépegetőkhöz képest jelentősen kisebb energiaigény.

Legfőbb problémájuk, hogy gyakran minimálisan egyenetlen terepen is megakadnak (mint a Sojourner Mars-járó 1997-ben), és általában a legkisebb akadályokat is képtelenek átlépni – inkább kikerülik azokat. Viszont – jelenleg még – gyorsabbak, mozgékonyabbak, mint a helyváltoztatást lábbal végzők.

A járó robotok további két alcsoportra, a majdnem vagy teljesen vízszintes terepen működő lépegetőkre és a meredek falakon tevékenykedő mászókra oszthatók.<sup>43</sup> Lábaikat elsősorban villanymotorok, illetve hidraulikus vagy pneumatikus dugattyúk mozgatják előre és hátra. A dugattyúk ugyanúgy kapcsolódnak a láb különböző részeihez, mint az izmok a csontokhoz. A különböző dugattyúk összehangolása, összehangolt működésük megtervezése igen nehéz feladat. A tervezőnek ki kell találnia, és be kell programoznia a számítógépbe a helyváltoztatásban érintett dugattyúmozgások helyes kombinációját, máskülönben a robot nagyon hamar elesik. Sok mobil robot rendelkezik a számítógépnek mozgáskorrekcióra vonatkozó utasításokat adó beépített egyensúlyozó rendszerrel (például giroszkópokkal).

<sup>39</sup> Az Essex Egyetem ma még inkább látványosságzámba menő robothalainak (<http://cswww.essex.ac.uk/staff/hhu/HCR-Group.html>) következő generációi felderítik az olajvezetékek réseit, a tengerfenéket kutatják, de alkalomadtán kémkedésre is bevethetők. Úszásukat a tárgyakkal való összeütközés megakadályozásában segítő beépített szenzorok teszik hatékonyabbá, nem távirányítottak, autonóm működési képességgel rendelkeznek, hullámmozgásuk hitelesebb, mint a korábbi gépuszonyosoké. Egyelőre speciális, számukra készített medencében működnek. A hajók, víz alatti járművek hagyományos hajócsavarjai helyett a hullámmozgás látja el energiával őket. A fejlesztők valódi állatokat figyeltek meg, s vonták le a következtetést, hogy ez a meghajtás kevesebb zajjal jár, hatékonyabb, könnyebben manőverezhető. Az igaziak viselkedését utánzó halak csak így lehetnek önállóak, reagálnak környezetükre, navigálnak el a „gépi táplálékot” adó feltöltő-állomás felé. A cél, hogy (szükség esetén) előbb-utóbb saját magukat töltsék fel.

<sup>40</sup> Ezeket a törekvéseket jól szemlélteti a montreali McGill Egyetem hatuszonyos, víz alatti környezetekről, elsősorban korallzátonyokról adatokat gyűjtő Aqua-ja (<http://www.aquarobot.net:8080/AQUA>). A kétéltűvel a robotika egyik nagy kihívását igyekeztek sikerre vinni: egyetlen gépben integrálták a látás és a mozgás képességét. Aqua meg tudja határozni, hogy mit lát, hol tartózkodik, merre megy. Vö. NHIT IT3 Körkép. 2006. május-június. 061/2006. [http://www.nhit.hu/data/101410/IT3\\_Korkep\\_MajusJunius\\_v2.pdf](http://www.nhit.hu/data/101410/IT3_Korkep_MajusJunius_v2.pdf)

<sup>41</sup> Léteznek más csoportosítások is, például a helyüket sínnel, illetve kerékkel változtatók külön kategóriába sorolása. Egyelőre még nem dönthető el, hogy a Carnegie Mellon Egyetem (CMU) egyetlen gömbszerű labdán járó Ballbotja (ld. 5.1) újabb csoport előfutára, vagy a már létező kettő valamelyikébe tartozik.

<sup>42</sup> Kétkerekűekkel inkább csak kísérleti szinten foglalkoznak (egyik legismertebb példányuk a meglepően jól egyensúlyozó nBot: <http://geology.heroy.smu.edu/~dpa-www/robo/nbot>).

<sup>43</sup> Szokásos kategorizálás még az emlős-, illetve hüllőszerű kialakítás.

A nagyobb stabilitás érdekében, a tervezők gyakran az állatvilágból lesnek el mintákat. A hatlábú rovarok például speciálisan jól egyensúlyoznak, és tökéletesen alkalmazkodnak a legkülönbözőbb terepekhez. Legtöbb gondot a két lábon történő (nem optimalizált, alapvetően bizonytalan) helyváltoztatás kivitelezése jelenti.

Egyes autonóm mobil robotok részben még távirányítottak. A kommunikáció vezetéken, rádión, vagy infravörös jeleken keresztül valósul meg. Általában az ember számára veszélyes terepeken vetik be őket. A Pioneert (<http://www.frc.ri.cmu.edu/projects/pioneer>) például azért fejlesztették, hogy a csernobili atomerőműről készítsen térképeket, és jusson hozzá felhasználható terep- és egyéb mintákhoz.

## 2.3 Autonómia

*Az autonóm robotok külső irányítótól függetlenül is képesek cselekedni.* Programozásukat az a cél vezérli, hogy a külső hatásokra valamilyen módon reagáljanak. A fejlettebbek sztereo látórendszert használnak: a térbeli érzékelést két kamera, a tárgyak lokalizálását és osztályozását képfelismerő szoftverek biztosítják. A környezet elemzésére használhatnak mikrofonokat és szagérzékelőket is. Egyesek, például a mindennapi életben már megjelent – Magyarországon is kereskedelmi forgalomban lévő – porszívók és a fűnyírók csak megszokott, alaposan körülhatárolt területen működnek, míg mások ismeretlen, nehéz terepeket is elemeznek, és bizonyos terepmintákat bizonyos cselekvésekhez asszociálva alkalmazkodnak hozzájuk. De létezik a véletlenszerűségeen alapuló alternatív tervezői koncepció is: ha probléma merül fel, a robot addig kísérletezik, míg valamelyik próbálkozása szerencséivel nem jár.

A „való világban” teljesen autonóm mobil robotnak a következő adottságokkal kell rendelkeznie:

- környezetről való információszerzés,
- emberi beavatkozás nélküli folyamatos munkavégzés,
- emberi segítség nélküli helyváltoztatás,
- emberekre, tárgyakra, saját magára veszélyes szituációk elkerülése,
- bizonyos esetekben az önálló energiaellátás képessége és
- saját maga megjavítása külső beavatkozás nélkül.

A robot rendelkezhet az autonóm tanulás képességével is, mely az alábbiakból tevődik össze:

- külső segítség/beavatkozás nélkül tesz szert vagy tanul meg újabb adottságokat,
- a környezet(ek)en alapuló stratégiákat dolgoz ki, a már meglévőket újabbakkal gazdagítja,
- külső segítség/beavatkozás nélkül alkalmazkodik a környezet(ek)hez.

A fizikai autonómia feltételeinek kielégítéséhez mindenképpen szükséges minél önállóbb energiafelhasználás általában úgy valósul(hat) meg, hogy a robot egy dokkoló-állomáson újratölti magát, vagy kicseréli az elemeit. Mihelyst képes erre, újra akcióba tud lépni.

Az autonómia első lépése a fizikai feladatok kivitelezése, melyet legjobban a háztartási robotok, többek között az iRobot (<http://www.irobot.com>) porszívó/takarító gépei (Roomba, Scooba, Dirt Dog), az Electrolux Trilobite 2.0 (<http://trilobite.electrolux.co.uk>) porszívója, vagy a Friendly Robotics (<http://www.friendlyrobotics.com>) fűnyírója szemléltetnek.

Még magasabb autonómiaszintet jelent a hipotetikus feladatok kivitelezése, például esetleges illetéktelen behatolók felderítése (Mobil Robots PatrolBot-ja <http://www.mobilerobots.com/PatrolBot.html>). A felsorolt robotoknak elsősorban belső

terekben kell akadályokat elkerülve mozogniuk. A mozgásban érzékelőik és a saját maguk által létrehozott térképek segédkeznek.

A külső (fizikai) autonómia a kevés akadály miatt legkönnyebben a levegőben valósítható meg. Földön a mozgás a terek közötti óriási különbségek, az időjárás és az érzékelt környezet instabilitása miatt sokkal nehezebb. A szárazföldi használatra szánt fejlesztések közül például a Mobil Robots multifunkcionális Seekur-ja (<http://www.activrobots.com/ROBOTS/Seekur.html>) mondható sikeresnek: külsőben és belsőben, hóban, esőben, homokban, hidegben és forróságban egyaránt funkcionál, emelkedőket és kisebb lépcsőket mászik meg.

## 2.4 Modellezés és szimuláció

Mély szakadék tátong a legtöbb mai mobil robot képessége és a velük támasztott elvárások között. A fűnyírók és a porszívók elektromos kerítések és terelőfalak által határolt, az akadályoktól általában megtisztított térben, összességében felettébb steril, előre kiszámítható körülmények között működnek.

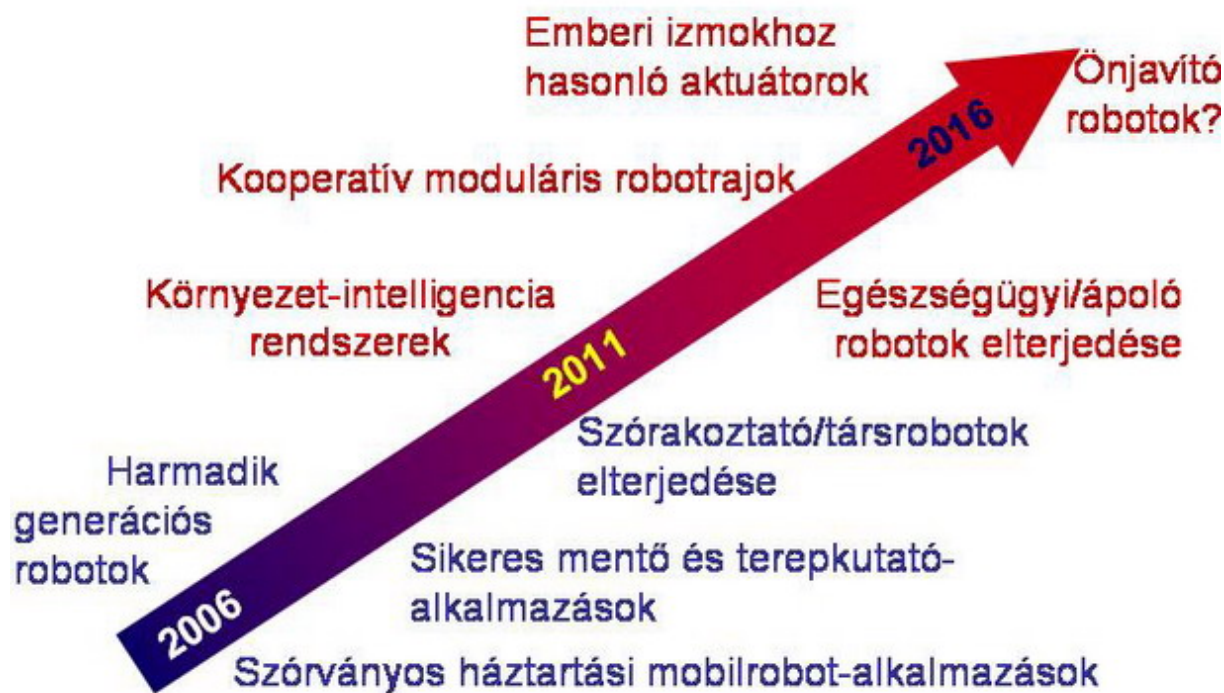
A jövő robotjait viszont eleve más, folyamatosan változó, gyakran ismeretlen, komplex közegre tervezik. A világmodellnek (ami a 3. ábra belső modelljének része) egyrészt összetettebbnek, életszerűbbnek kell lennie, másrészt ehhez a mainál magasabb szintű reprezentációs és következtetési képesség szükséges.

A nagy kapacitású és olcsó számítógépek térhódítása lehetővé tette a robotok virtuális előképeinek/másainak tesztelését virtuális világokban. A szimulátor visszalépés a fizikai ágensekhez képest, viszont kisebb költségekkel jár, és a fejlesztő addig dolgozhat a környezetben, amíg el nem éri a valóság részletgazdagságát, komplexitását. Nagyon fontos az aprólékosság, a sokszínűség visszaadása, mert a világ elnagyolt modellezése szokott azzal a megmosolyogtató következménnyel járni, hogy a virtuális közegben tökéletesen funkcionáló robot csődöt mond a valóságban.

A szimuláció komoly, jövőbeli „éles” alkalmazásoknál hasznosítandó előnyökkel jár, és a mainál is sűrűbben használják majd egyfajta előtanulmányként, vázlatként, valamint a robot irányító programjának szinte teljes egészét kidolgozhatják a szimulátorban.

## 3. A várható fejlődés eredményének jellemzése

A közeljövő autonóm mobil robotjainak nem laboratóriumi viszonyok között kell külső segítség nélkül eljutniuk egy meghatározott helyről egy másikra, miközben az előre nem látott körülmények ellenére különböző típusú, flexibilitást, fejlettebb információfeldolgozási képességet és intelligens cselekvést igénylő feladatokat kell végrehajtaniuk. Mindehhez a mai csúcsmodelleknél komolyabb mesterségesintelligencia-technológia, a vezetékek nélküli kommunikációs technológiák robotikába integrálása, magas szintű kommunikációs és kooperációs képesség, fejlettebb szenzorok és aktuátorok szükségesek, mert különben csak szimulált környezetben szimulált robotok fogják tudni kivitelezni a rájuk bízott „virtuális” munkát.



4. ábra: A várható fejlődés, 2006-2016

### 3.1 Intelligencia

A mesterségesintelligencia-kutatás Szent Grálja aktív és intelligens számítógépes fizikai ágensek, azaz (leegyszerűsítve) robotok elkészítése, így a várható fejlődés eredményeit a gépi intelligencia mibenléte,<sup>44</sup> közeljövőbeli lehetőségei felől is szükséges megközelíteni.<sup>45</sup>

A mesterséges intelligencia négyféle rendszeren keresztül valósítható meg:

Emberi módon gondolkodó rendszerek (kognitív modellezés)	Racionálisan gondolkodó rendszerek (a gondolkodás törvénye)
Emberi módon cselekvő rendszerek (Turing-teszt megközelítés)	Racionálisan cselekvő rendszerek (a racionális ágens)

1. táblázat: MI meghatározások<sup>46</sup>

Az emberi és a racionális szembeállítása nem azt jelenti, hogy a Homo sapiens irracionális (emocionálisan instabil), hanem a cselekvéseinkben, döntéseinkben rejlő hibalehetőségekre utal. Például ugyanazt a feladatot mindenki másként, eltérő eredményességgel oldja meg.

Az embercentrikus meghatározások az empirikus, a racionalitáscentrikusak a matematikára és a mérnöki tudományokra támaszkodnak. *Az emberi gondolkodásról (egyelőre még) nem rendelkezünk a gépi modellezéshez szükséges elegendő ismerettel, az emberi módon való*

<sup>44</sup> Az ember és a robot funkcionális részei (vezérlő, érzékelők, végrehajtók, kiegészítők) közötti hasonlóságok ellenére a robot (például sokkal primitívebb belső rendszere miatt is) egyelőre másként működik, mint a Homo sapiens. Ezért sem tartható a korai mesterségesintelligencia-kutatást és a robotika hőskorát jellemző álláspont, mely szerint az intelligens gépeknek az emberi intelligenciát kell minden áron reprodukálniuk.

<sup>45</sup> Már csak azért is, mert – eltérő szinteken, de – a mobilitás és az autonómia egyaránt az „intelligencia” részét képezik.

<sup>46</sup> Forrás: Stuart J. Russell, Peter Norvig: Mesterséges intelligencia modern megközelítésben. Panem, 2000.

*cselekvés főként akkor fontos, ha a gép emberekkel áll kapcsolatban, a gondolkodás törvénye szinte teljes egészében a korrekt (de legalább „elég jó”) logikai következtetésen alapul, azaz az általánosabb és pontosabban definiálható racionális ágens megközelítés tűnik a legcélravezetőbbnek.*

A racionális ágens (és általában a gépi rendszerek) intelligenciája az információkezelés szintjétől függ, melyet nyolc egymással kölcsönhatásban lévő képesség határoz meg:

1. **feldolgozási** képesség (tárolás, számítás),
2. **kommunikációs** képesség (információkeresés és továbbítás),
3. **társítási** képesség (információk összekapcsolása),
4. **reprezentációs** képesség (belső modell),
5. **következtetési** képesség (rejtett információk kinyerése),
6. **tervezési** képesség (célvezéreltség),
7. **újrafelhasználási** képesség (tanulás),
8. **önrendelkezési** képesség (autonómia).

Az autonóm mobil robotok működésében azonban elsősorban nem az emberre jellemző magas szintű szimbólumkezelésnek és a hosszabb távú tervezésnek kell dominálnia, hanem a közvetlen környezettel való reaktív viselkedésnek („szituációs aktivitás”<sup>47</sup>): a robot tervezés helyett csak a soron következő lépést számítja ki. A környezet mindenkor jelenállapotára reagál, és nem (csak) az „agyában” lévő világmodellre (központosított, teljes világállapot-reprezentációra).

A sikeres reaktív viselkedéshez a robotnak az intelligens információkezelés minimumaként meghatározható intelligens cselekvés alapkövetelményeinek kell megfelelnie. Azaz a következő képességekkel kell rendelkeznie:

1. **információ-felvevő** képesség,
2. **információ-feldolgozó** képesség,
3. **tudáskezelő** képesség,
4. **tanulási** (adaptálódás) képesség,
5. **mozgási** (helyváltoztatási, reagálási) képesség.

A szituációs aktivitás Rodney Brooks evolúciós biológia által inspirált (reaktívnek is nevezett) magába foglaló (*subsumption*) információ-feldolgozó architektúrájához kapcsolódik, amit a kutató a hagyományos, az információfeldolgozást az érzékelés-modellzés-tervezés-cselekvés (*sense-model-plan-act*, SMPA) sor eredményeként, egy-egy műveletet gyakran egy-öt perces időintervallumban kivitelező, dinamikus környezethez kevésbé alkalmazkodó robotok miatt vezetett be. Ellentétben azok deliberatív (tervező) architektúrájával, a Brooks által javasolt egyszerűbb architektúra nem tartalmaz semmiféle központi szimbolikus világmodellt, nem használ komplex szimbolikus következtetést. A modulárisan egymásra építhető komponensek, a kiterjesztett véges állapotú automaták önállóan, centrális tervezés nélkül végzik a feladatukat, aszinkron hálózatuk eredményezi az irányító programot. A rendszer viselkedés-kompetenciája újabb viselkedés-specifikus hálózatoknak a már létező hálózathoz adásával javítható. Azaz rétegrendszerű szerkezet kialakításával (*layering*), a robot képességeinek fokozatos, lépésről lépésre (inkrementálisan) – az evolúciós fejlődés végletekig leegyszerűsített analógiájaként – történő növelésével. A rétegek önálló viselkedésgeneráló elemek (egymástól függetlenül férnek hozzá a szenzor-bemenetekhez, nyerik ki onnan a szükséges információkat, és küldik el saját jeleiket az aktuátoroknak), mindazonáltal implicit módon függenek a hálózat korábbi részeitől. A felsőbb

<sup>47</sup> Vö. Rodney A. Brooks: New Approaches to Robotics: <http://people.csail.mit.edu/brooks/papers/new-approaches.pdf>.

szintűek magukba foglalják, magukba építik az alacsonyabb szintűeket, hozzáférhetnek azok belső állapotaihoz, módosíthatják, felülbírálnak kimeneteiket.

A reaktív architektúra lehetőségei azonban korlátozottak, ellenére az egyszerűségéhez képest meglepően jó eredményeknek. A mindkét architektúránál jobban teljesítő, reaktív és deliberatív összetevőket egyaránt tartalmazó (a reaktivitást modellbe épített tudással ötvöző) hibrid architektúrák, azokon belül pedig a háromrétegesek tűnnek az optimális – már ma is előszeretettel, a jövőben viszont szinte kizárólagosan alkalmazott – megoldásnak, melyekben a reaktív réteget végrehajtó (szekvenciális) réteg kapcsolja össze a modellező réteggel.

Egy majdani „intelligens”, a harmadik generáción túlmutató hibrid architektúrájú robotnak azonban nemcsak a racionális cselekvéshez elengedhetetlen öt követelményt, hanem az információkezelést meghatározó nyolcat is magas szinten kellene teljesítenie. Ez viszont csak akkor lehetséges, ha az előállításához szükséges szakterületek (látás, mozgás, beszéd-, alak/arcfelismerés, stb.) közül minél többet, optimális esetben valamennyit sikerül egyetlen rendszerbe integrálni.

### 3.2 Vezeték nélküli kommunikáció

*A vezeték nélküli technológiák (bármely vezeték nélküli technológia) és a mobil robotika bizonyos szinten már megkezdődött, a közeljövőben meghatározó trenddé váló összekombinálódása növeli a robotok mobilitását, megkönnyíti kollektív tevékenységüket (és egyszerűbbé teszi a monitorozásukat).<sup>48</sup>*

A fúzióval megvalósítható távjelenlét (*telepresence*) eredményeként a robot kettős üzemmódban, a feladattól és a körülményektől függően változtatva, egyrészt autonóm módon (robotszerűen), másrészt távvezérelve is működhet, mégpedig úgy, hogy a felhasználó ugyanazt látja és hallja, amit a teljes irányítás alatt tartott távoli gép. A kettős üzemmód (például a Marsra és még messzebbre szánt robotoknál) a kommunikációs késleltetés, vagy a hálózatok gyakori elérhetetlensége miatt szükséges.

A távjelenlétben alapuló robotikának több kihívással kell szembenéznie:

- látást, hallást, kommunikációt valóságúen kivitelező interfész és
- az interfészt a robottal integráló szoftver fejlesztése,
- a robot és az interfész szinkronban történő frissítése,
- probléma esetén a robotnak pontos visszacsatolásokat kell szolgáltatnia,
- hibatűrő vezeték nélküli kapcsolat kidolgozása.

### 3.3 Kooperativitás

*Mobil robotok csoportosan, multi-ágens rendszerekként, rajntelligenciaszerűen is képesek feladatokat megoldani.* Együtműködésüket ma még egyelőre általában szigorú előprogramozással oldják meg, viszont várhatóan elterjed az a megközelítés, mely szerint a robotoknak maguknak kell megtervezniük és eldönteniük, miként hasznosítják saját és társaik adottságait. Ehhez egyaránt rendelkezniük kell az absztrakt következtetést garantáló kognitív és a tárgyi világban való tájékozódást biztosító érző-mozgató funkciókkal, és emellett (idővel) modulárisnak is kell lenniük. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a gépecskék csapatmunkájukkal a megoldandó feladathoz és a potenciális társak rendelkezésre állásához alkalmazkodjanak.

<sup>48</sup> A robot valamilyen számítógépen keresztül, ami akár megfelelő számítási kapacitással rendelkező mobiltelefon is lehet, kapcsolódhat a vezeték nélküli hálózathoz.

Elképzelhető, hogy a robotrajok a közeljövő – kamerákkal, rádiófrekvenciás azonosítókkal felszerelt – „intelligens otthonának” miniatűr rendszereivel majdnem ugyanúgy kooperálnak, mint a raj tagjai egymással. A fejlesztések kommunikációs szempontból is érdekesek: jól szemléltetik, hogy a különböző eszközök „megérthetik” egymást és a felhasználókat.<sup>49</sup>

### 3.4 Szenzorok és aktuátorok

A mobil robotikában fontos szerep jut az autonómiát fokozó, a környezetbe való „beágyazódás”-t biztosító részeknek: a környezet állapotát detektáló szenzoroknak és az állapotot módosító, a robot mozgásában közreműködő aktuátoroknak is. Számos nehézség adódik abból, hogy az érzékelők működése ma még egyáltalán nem emlékeztet az emberre jellemző érzékelésre. Utóbbi területen – mint az egész szenzor-, szenzorrendszer-technológiában – jelentős fejlődés várható: pontosabbak lesznek, jobban kommunikálnak egymással és a külvilággal, stb. A fejlesztésekre ösztönzőleg hat a környezet-intelligencia (*ambient intelligence*, AmI) rendszerek terjedése.

#### 3.4.1 Szenzorok (érezékelők)

A robotikában használt szenzorok három kategóriába sorolhatók:

- **környezeti:** jelzik a robotnak, mi történik körülötte,
  - tárgyérzékelők: a környezet tárgyainak elhelyezését és formáját határozzák meg,
    - digitális kamerák: speciális tárgyakat lokalizálnak,
    - érintőérzékelők: megállapítják, hogy a robotnak milyen erőt kell kifejtenie egy-egy speciális ponton,
    - távolságérzékelők: különböző módszerekkel meghatározzák a legközelebbi tárgy távolságát egy adott irányban,
  - közegérzékelők: a környezet tulajdonságait (hőmérséklet, légnyomás, stb.) detektálják,
- **visszacsatoló (önérzékelő):** a robot egyes saját tulajdonságait, például az aktuátor kimenetét megfigyelve, jelzik a robotnak, mit cselekszik,
- **kommunikációs:** lehetővé teszik, hogy ember vagy számítógép új információkkal lássa el a robotot, és viszont,
  - infravörös adattovábbítási csatornák,
  - rádiófrekvenciás adattovábbítási csatornák.

Jelenleg is folyó kísérletek alapján különböző szenzorok, szenzorhálózatok például hőmérséklet- és nyomásérzékelők összekombinálása várható, melyekhez organikus anyagokat is felhasználhatnak.<sup>50</sup> Az így létrejött miniatűr rendszer rugalmasabb az eredetieknél, egyszerre érzékeli a hőmérsékletet és a nyomást; egyfajta robotbőrként funkcionál.

#### 3.4.2 Aktuátorok (beavatkozók)

A robotokba épített aktuátorok a következő típusúak lehetnek:

---

<sup>49</sup> Az intelligens otthon csak egy a lehetséges alkalmazások közül. A kooperáló robotrajokat a mentési munkáktól, például a tűzoltástól kezdve a katonai felderítésig számos területen felhasználják. Több ilyen jellegű projekt fut: ECAgents (<http://www.ecagents.org>), Örebro Egyetem fejlesztései ([http://www.oru.se/templates/oruExtNormal\\_18674.aspx](http://www.oru.se/templates/oruExtNormal_18674.aspx)), PeLoTe (<http://labe.felk.cvut.cz/~pelote>), Swarms (<http://www.swarms.org>), stb.

<sup>50</sup> Vö. Thin skin will help robots 'feel'. BBC News, 2005. augusztus 15. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4154366.stm>

- elektromos és belsőégésű motorok,
- alakemlékező ötvözetek (SMA, *Shape Memory Alloys*),
- lineáris mozgású elektromágnesesek,
- piezoelektromosak,
- pneumatikusak/hidraulikusak.

Az aktuátorok fejlesztésénél gyakran fogják felhasználni az alakmódosító, hőmérsékletváltozásokra reagáló, stb. tulajdonságokkal rendelkező, manapság még inkább kísérletek tárgyát képező úgynevezett „okos anyagok”-at (*smart materials*), például a piezoelektromosakat, vagy a hidegre, melegre összezsugorodó, illetve táguló alakemlékező ötvözeteket.

### 3.5 Alkalmazások

A közeljövő autonóm mobil robotjai három, egymást részben átfedő alkalmazási csoportba sorolhatók: 1) szolgáltatásban dolgozó, 2) otthoni egészségügyi asszisztens és szórakoztató/társpótló, valamint 3) az ember számára nehéz terepen tevékenykedő robotok. Mivel a több robotból álló rendszerek egyedeinek együttműködése a három valamelyikében valósul meg, a kooperációt nem tekintjük külön alkalmazási csoportnak.<sup>51</sup>

#### 3.5.1 Szolgáltatások

A mobil robotok legnépesebb csoportja kórházakban, irodaépületekben és háztartásokban is gyakrabban kerül alkalmazásra. Általában ismétlődő, folyamatos magas szintű koncentrációt igénylő, vagy fizikailag rendkívül megerőltető munkakörökben, egyszerű cselekvéssorokat automatizálva igyekeznek velük helyettesíteni az embert.

A kórházakban elterjednek a gyógyszereket, mintákat, felszereléseket, ebédet, vacsorát rendeltetési helyükre szállító, vagy a felszerelési tárgyakat lokalizáló, ágyneműt cserélő<sup>52</sup> robotok is.

A sebészeti műtéteknél közreműködő gépeknek hardverszinten pontos mechanikus manipulátorral, képpalkotó/kezelő résszel (és természetesen hálózatra kapcsolódó számítógéppel), szoftverszinten kép- és más szenzorikus adatokat feldolgozó programmal, hatékony adatkivonatolóval, tervező és irányító rendszerrel, ember-gép interfésszel, anatómiai atlással, sebészeti feladatmodellezővel kell rendelkezniük. Egy nagy integrált, „információ-intenzív” műtéteket támogató rendszer kidolgozása a cél.

A robotporszívók és a fűnyírók pontosabbak lesznek, áruk fokozatosan esik, egyre több háztartásba jutnak el. Más területeken, például a vendéglátóiparban bárpultos italkimérőként<sup>53</sup>, vagy irodaházak recepciósaként ugyan szórványosan, de szintén munkába állítanak robotokat.

<sup>51</sup> Más csoportosítások is léteznek, melyek közül a legelterjedtebb a mobil robotok két kategóriába sorolása: szolgáltatásokban dolgozók (*service robotics*), személyes használatúak (*personal robotics*).

<sup>52</sup> A floridai Osceola Megyei Kórházban 2006. augusztustól dolgozik az Aethon Inc. „automatizált küldőrendszer” ([http://www.aethon.com/can\\_do.html](http://www.aethon.com/can_do.html)), három Tug típusú mobil robot. Hamarosan egy fejlettebb gép, Homer is csatlakozik hozzájuk. Vö. NHIT IT3 Körkép. 2006. július-augusztus. 089/2006. [http://www.nhit.hu/data/101411/IT3\\_Korkep\\_julius\\_augusztus.pdf](http://www.nhit.hu/data/101411/IT3_Korkep_julius_augusztus.pdf)

<sup>53</sup> Idővel akár a borkóstolás és a borhoz legjobban illő ételek kiválasztása is elvégeztethető robotokkal. A japán NEC és a Mie Egyetem speciális, infravörös spektroszkóppal felszerelt borkóstoló szenzort, és a szenzorhoz kicsi humanoid robotot fejlesztett. <http://www.necst.co.jp/english/press/20050609/index.htm>

### 3.5.2 Otthoni asszisztensek, szórakoztató robotok

Öt- tíz éven belül áttörés várható az otthoni használatra szánt robotok piacán. Három funkciót töltenek be: a tanulásban segédkeznek, (Tamagochi-utód, azt fejlettebb szinten újra megjelenítő) társpótlókként/játékokként szórakoztatnak, idősekre vagy kisgyerekekre vigyáznak. Utóbbiakhoz (asszisztens/rehabilitációs robotok) tartoznak a mozgáskorlátozottak navigációját és helyváltoztatását megkönnyítő szerkezetek is. Ha adott lesz a különböző szakterületek megfelelő technikai háttere, az eltérő funkciók közös nevezőre hozhatók, és akár egyetlen otthoni robot képes lesz végrehajtani a három feladattípust.<sup>54</sup>

A játékos, hol állat, hol humanoid küllemű oktató és szórakoztató robotok elterjedése néhány éven belül megtörténik, az idősek gondját viselő gépek tömeges használatát illetően Brooks tíz-tizenöt évet prognosztizál.<sup>55</sup> Japánban már teszteltek néhányat, a „robotika atyja”, Joe Engelberger úgy véli, semmit nem kell feltalálni hozzájuk, csak nagyon jó mérnöki munka szükséges.

### 3.5.3 Veszélyes terepen dolgozó robotok

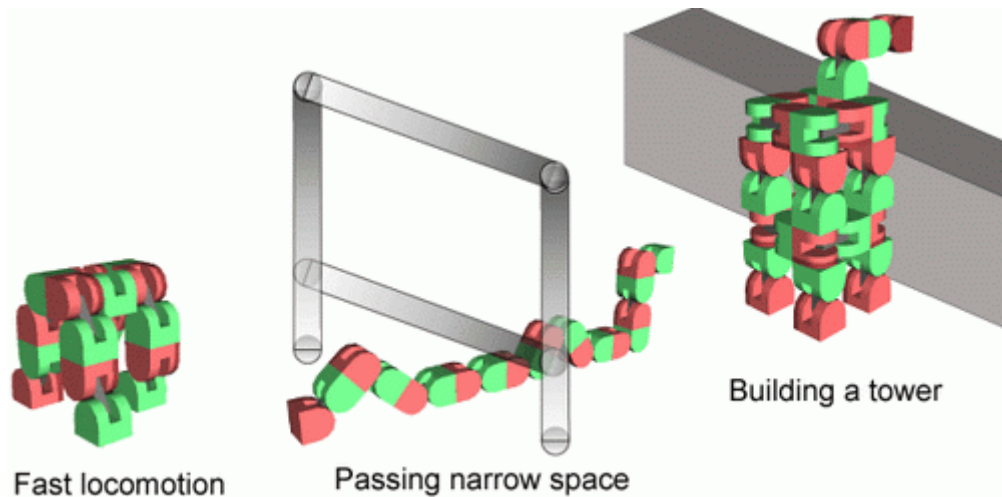
Az embert veszélyes körülményektől megóvó kereső- és mentőrobotok (*search and rescue robots*) koncepciója már a nyolcvanas években felmerült, ám a tudományos szakirodalomban megjelent elemzések ellenére sem fejlesztettek ténylegesen használható rendszereket. A komolyabb kutatások az Oklahoma City-beli 1995-ös robbantás után indultak be, majd 2001. szeptember 11. felgyorsította az ilyen irányú befektetéseket.

Ezek a robotok a legkülönbözőbb terepeken vethetők be: vulkánokban, földrengés és robbanás utáni romok, csőrendszerek vezetékai között, keskeny alagutakban, stb. A biztató fejlesztések ellenére a speciális mentők tényleges katasztrófhelyzetekben nem szívesen dolgoznak – kísérleteznek – velük. Nincsenek meggyőződve arról, hogy szükség esetén valóban jól működnek.

*Valószínűleg a mentőrobotoknál fog először elterjedni a modularitáson alapuló (Brooks reaktív architektúrája által is befolyásolt) új robottervezési koncepció:* modularitásnak nevezzük, ha egy rendszer elemei elhatárolódnak, és egy jól definiált interfészen keresztül kommunikálnak egymással. Így lehetővé válik, hogy egyes elemeket kicseréljünk, vagy más módon hassunk a működésükre, és ez mégsem veszélyezteti az egész rendszer stabilitását. A moduláris robot ellentétben a legtöbb, egy-egy jól meghatározott feladat elvégzésére fejlesztett jelenkori robottal – az univerzális számítógépek mintájára – mindig alkalmazkodni fog az új feltételekhez és elvárásokhoz, ismeretlen, az eredeti terv során figyelembe sem vett munkákat is képes lesz (eleinte ugyan nagyon kezdetleges szinten) kivitelezni. (A folyamatos alkalmazkodásnál hatványozottan fontos szerepet játszik a tanulás.)

<sup>54</sup> A funkciók összekombinálását célzó kísérletek közül az egyik legérdekesebb a jelenleg az MIT (Massachusetts Institute of Technology) Médialaboratóriumában dolgozó, korábban Brooks irányítása mellett a Mesterséges Intelligencia Laboratóriumában fejlesztett szociális robotjaival, például Kismettel világhírűvé vált Cynthia Breazeal nevéhez fűződik. A Sony 2006. januárban leállított Aibo robotkutyáját felhasználva, a rendszer ([http://web.media.mit.edu/~coryk/papers/Kidd\\_Ubicomp05.pdf](http://web.media.mit.edu/~coryk/papers/Kidd_Ubicomp05.pdf)) figyeli a felhasználó táplálkozását, fogyókúrával összefüggő gyakorlatokat, és figyelmezteti, ha esetleg kalóriadús süteményeket, zsíros ételeket szeretne magába tölteni. Breazeal és munkatársai a vezeték nélküli technológiákat is felhasználják: a kutyus Bluetooth-on és Wi-Fi-n egyaránt kapcsolódik a páciens cipőjére rögzített lépésszámláló készülékhez és az étkezési szokásait, testsúlyát, tevékenységét nyilvántartó, napi táplálkozását pontosan rögzítő PDA-szerű elektronikus naplóhoz.

<sup>55</sup> Vö. Rodney A. Brooks: *Flesh and Machines – How Robots Will Change Us?* Random House, 2002.



5. ábra: Alakot vált a moduláris robot<sup>56</sup>

A robot komplex biológiai formákat imitál, például kígyóból százlábúvá alakul át. A célok között szerepel az a régi vágy is, hogy hiba esetén megjavítja önmagát.

Egymáshoz kapcsolt moduljai egy kicsit úgy működnek, mint az élőlények sejtjei. Három részből állnak: aktív és passzív tömbből, valamint a kettő közötti kapocsból. A modulok a rendszer többi moduljával kapcsolatot létesítő, ki- és bekapcsolt állapotot váltogató mágneset is tartalmaznak. A kapcsolatteremtést, annak megszakítását nem külső erők, hanem saját maguk végzik.<sup>57</sup>

#### 4. Szükséges technológiai előfeltételek

Ahhoz, hogy az előrejelzéseket valóra váltva, a közeljövő mobil robotjai jelentős szerepet töltsenek be életünkben, azaz

- képesek legyenek kommunikálni az emberrel, és vice versa,
- nehéz terepen, strukturálatlan környezetben is hatékonyan navigáljanak,
- bonyolult feladatok végrehajtása során kooperáljanak más robotokkal,

egyrészt több technológiai előfeltételnek kell teljesülnie, másrészt nincs szükség új technológiák feltalálására, a meglévőket kell tökéletesíteni, valamint különböző területeket (például a mesterségesintelligencia-kutatás néhány diszciplínáját) nemcsak elméletileg, hanem a gyakorlati megvalósítás szintjén is közelíteni egymáshoz, vagy a mobil robotika „zászlaja” alatt integrálni.

A következő technológiákról van szó:

- **mikroprocesszor technológia:** a feladat megoldásához szükséges teljesítmény,
- **vezeték nélküli technológia:** a hálózatban történő működés jobb feltételeinek megteremtése,
- **képfeldolgozás:** ami a robotok esetében a környezet érintés nélküli érzékelésének, valamint megismerésének képességét eredményezheti,
- **szöveg- és beszéd felismerés:** természetes nyelvek feldolgozása és az ehhez szükséges fogalmi rendszerek hatékony reprezentációja,

<sup>56</sup> Forrás: M TRAN III: <http://unit.aist.go.jp/is/dsysd/mtran3/mtran3.htm>.

<sup>57</sup> Moduláris robotok kutatásfejlesztésében a japán Elosztott Rendszertervező és Kutatócsoport (<http://unit.aist.go.jp/is/dsysd/index.html>) és a kaliforniai Palo Alto Kutatóközpont (PARC, <http://www2.parc.com/spl/projects/modrobots>) járnak az élen.

- **szenzor- és aktuátortechnológia:** megfelelő mozgás- és egyéb érzékelés, továbbá az emberi mozgás aprólékosságát megközelítő mozgás kidolgozása,
- **tanuló algoritmusok, következtetőgépek:** elfogadhatóan gyors tanulás és következtetés megvalósítása,
- **energiaellátás:** hatékony és gördülékeny működés biztosítása.

## 5. Folyamatban lévő kutatások, fejlesztések

*Interdiszciplináris jellege és látványossága miatt a robotika kezdetei óta a tágabb értelemben vett számítástudomány gyakorlatba ültetésének egyik, ha nem a legnépszerűbb, legjobban mediatisált kutatásfejlesztési terepe. Ez azt eredményezi, hogy az otthoni barkácsolóktól kezdve a NASA-ig elképesztő mennyiségű projekt fut, így azok közül tetszőlegesen, esetleges paradigmaváltásokat, illetve a majdani alkalmazásokban tetten érhető újdonságokat figyelembe véve választható ki egy-egy.*

### 5.1 Új mozgástípus

Ralph Harris, a CMU kutatója szerint a jelenlegi mobil gépek mozgása csak ügyel-bajjal alkalmazkodik az ember számára kidolgozott környezetekhez. A kerekesekek lassúak, ügyetlenek. Statikus stabilitásukhoz túl széles talpazatra van szükségük. A **Ballbot** (Labdabot, <http://clarinet.msl.ri.cmu.edu/projects/ballbot>) projekt paradigmaváltáshoz vezethet: a helyváltoztatást az eddigiektől teljesen eltérő szemszögből közelítik meg. Biztonságos, fürge, „elegáns” mozgásra képes, bonyolult környezetben történő könnyed manőverezéshez elég „karcú”, dinamikus stabilitással<sup>58</sup> kivitelezhető szerkezetekben gondolkodnak. Ehhez lábak és kerek helyett gömbök, sőt, egyetlen gömb, például labda is elegendő. A negyvenhárom kilónyi, átlagos férfihoz hasonló magasságú Ballbot műanyag-bevonatú alumíniumlabdán egyensúlyozva közlekedik. Elemmel működik, bármilyen irányba képes haladni. Testébe számítógépet, szervomotorokat és különböző – például egyensúly – érzékelőket építettek. A beágyazott processzor dolgozza fel a szenzoroktól érkező információt, és aktiválja a labda mozgását beindító görgőket. A labda mindig Ballbot súlypontja alá kerül, lökés esetén kicsit el kell mozdítani az elveszített egyensúly visszanyeréséhez. Pont fordítva működik, mint a számítógépes egér: számítógépünket az egérben lévő golyó vezérli, Ballbot esetében viszont a számítógép vezérli a golyót. Eddig jól teljesített, de akad finomítanivaló rajta, például, hogy reagáljon a környezetével való, előre nem tervezett érintkezésekre; zsúfolt térben való mozgás megtervezése, biztonsági kérdések megoldása. Hollis szerint sikerült bebizonyítaniuk, hogy egy mobil robotnak egyetlen kerék – labda – is elegendő. Ballbot ráadásul már nemcsak a kezdeti fociabdán, hanem annál kisebb gömbön is tud egyensúlyozni. Előbb-utóbb lesz feje és tárgyak szállítására alkalmas két keze is.

### 5.2 Testi fogyatékosokban szenvedőket segítő robotok

A Utah Egyetemen fejlesztett **SANDEE** (System for Assisted Navigation in Dynamic and complEx Environments, <http://www.cs.usu.edu/~vkulyukin/vkweb/research/sandee.html>) a vakok életét igyekszik könnyebbé tenni. A bevásárlókocsi-jellegű szerkezetre laptopot, a

---

<sup>58</sup> A rendszer stabilitása a mozgás folyamatában fellépő erők hatására biztosított. A robot akkor is képes talpon maradni, miközben körbe ugrál. A statikusan stabil robotok csak úgy képesek állva maradni, ha a lábaik nem mozognak. Vö. NHIT IT3 Körkép. 2006. július-augusztus. 087/2006. [http://www.nhit.hu/data/101411/IT3\\_Korkep\\_julius\\_augusztus.pdf](http://www.nhit.hu/data/101411/IT3_Korkep_julius_augusztus.pdf)

termékek azonosításához szükséges RFID (Radio Frequency Identification) olvasót, az ütközéseket megakadályozó, a járatok közti navigálást támogató lézert, a Braille-írásolvasót szereltek. A gép újabb verziója előbb katalogizálja a közelében lévő RFID-címkéket, amiket aztán egyfajta úttérképbe rendez. A felhasználó a Braille-olvasó segítségével végigböngészheti a katalógust. Az óhajtott árucikkhez érve, kitapogatja, majd a gép hátán lévő billentyűzetbe pötyögi a megfelelő számot. A robot – mihelyst tudja, mit szeretne vásárolni – a kiválasztott termékeket tartalmazó polcokhoz vezeti a vásárlót. Odaérve, verbális módra vált. Ha a felhasználó például kedvenc fogkrémének kódját ütötte be, a robot közli vele, hogy a fogkrémek a harmadik polcon jobbra találhatóak.

Az egyik legújabb egészségügyi robot, az **iBOT** (<http://www.ibotnow.com>) kerekesszék, amely a beépített fejlett giroszkópos érzékelés és vezérlés alapján, két keréken egyensúlyozva képes nagy sebességgel haladni, és bonyolult akadályokon, akár lépcsőn is keresztülhaladni.

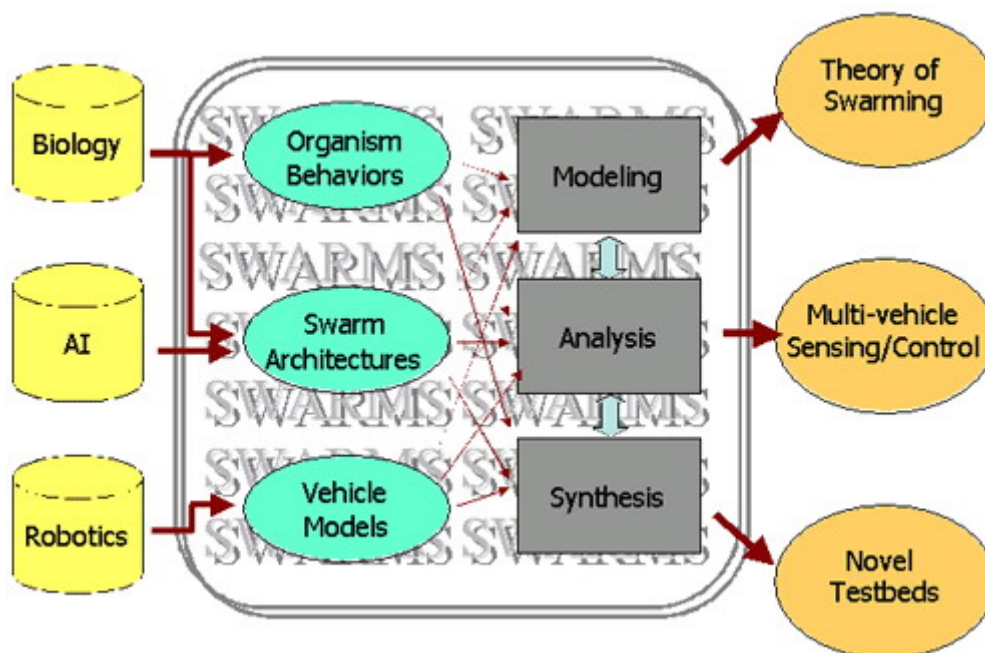
### 5.3 Multifunkcionális házirobotok

A Stanford Egyetem korai fejlesztési stádiumban lévő **STAIR**-jének (Stanford Artificial Intelligence Robot, [http://soe.stanford.edu/research/profile\\_infotech\\_ng.html](http://soe.stanford.edu/research/profile_infotech_ng.html)) a takarítás/rendrakás mellett három másik feladatot is meg kell oldania: IKEA könyvespolc összeállítása különböző elemekből, vendégek kalauzolása dinamikus környezetben, személyek és tárgyak szóbeli utasítás alapján történő keresése az adott helyiségben. Egy európai kutatói konzorcium igen merész vállalkozásba fogott: kognitív, az ember társaként és segítőjeként ténykedő robotot fejleszt. A 2004-ben indult, négyéves **COGNIRON** (The Cognitive Robot Companion, Kognitív robottárs, <http://www.cogniron.org>) projekt hét központi témára összpontosít: multimodális dialógusokra, az emberi tevékenység felderítésére és megértésére, szociális viselkedésre és az ahhoz kapcsolódó interakciókra, egyfajta szakértelem elsajátítására és a feladatok megtanulására, térbeli tájékozódásra és multimodális helyzet-tudatosságra, valamint szándékosságra és kezdeményezőkézségre.

A kognitív házirobotnak érzékelnie és értenie kell környezetét, tapasztalati úton, megfigyeléseiből kiindulva kell tanulnia, döntéseket kell hoznia, kommunikálnia és interaktív viszonyt kell kialakítania az emberekkel. Alapvető feladat, hogy ügyesen és kényelmesen mozogjon az ember mellett, ne érjen hozzá. Meg kell értenie mozdulatainkat, mit miért teszünk. Ráadásul, mivel az emberi kommunikáció jelentős része nem-verbális, a beszéd nélküli érintkezés formáit szintén el kell sajátítania. De a beszédfordulatok, a nyelven kívüli elemek ugyancsak fontosak, és ha nem ért belőlük semmit, könnyen előfordul, hogy a legváratlanabb pillanatokban, a legostobább módon vág közbe.

Csak tőlünk tanulhat, és éppen ezért nélkülözhetetlen, hogy rendelkezzen a tanulás képességével, és így könnyebben alkalmazkodjon a változó környezethez és körülményekhez. Három kísérlettel tesztelik: az egyikben környezetéről készít modellt otthoni séta közben, a másikkban meghatározott szituációban következtet az emberi szükségletekre, a harmadik az utánpótlás és ismétlés útján történő tanulásra vonatkozik. Fejlesztői szerint hosszú út előtt állnak még.

### 5.4 Robotrajok



6. ábra: Biológia + MI + Robotika =Rajintelligencia<sup>59</sup>

A 2004. januárban indult európai uniós **ECAgents** (Embodied and Communicating Agents, megtestesített és kommunikáló ágensek) projekt keretében olyan technológián dolgoznak, amely lehetővé teszi, hogy a gépek kifejlesszék saját nyelvüket, merítsenek a környezettel folytatott interakciókból, az egymással való kommunikációból. A masinákat nem felnőttekként, hanem élményeikből mindig tanuló gyerekeként képzelik el. Céljuk, hogy az ágensek új generációja közvetlenül – emberi beavatkozás nélkül – érintkezzen környezetével, kommunikáljanak egymással és más (akár humán) ágensekkel.

Az ECA technológiával máris értek el eredményeket: a Sony párizsi Számítástudományi Laboratóriumában Aibo kutyusokkal kísérletezve, a gépeknek adott a lehetőség, hogy a projekt keretében fejlesztett algoritmusok, az új tervezési elvek és mechanizmusok segítségével önmaguktól, és ne másoktól tanuljanak. A környezet leírására és a többi Aiboval történő érintkezésre alkalmas saját nyelvet hoznak létre. Például meglátnak egy pattogó piros labdát. Az egyik a másik értésére adja, hogy milyen színű, hol van, merre gurul. Az felismeri a tárgyat. De miként érhető el, hogy az összes Aibo labdán labdát, pirosan pirosat értsen, és így tovább? A kutatók új és a korábbiaknál nagyobb kihívásokra, illetve a sehova nem vezető tevékenységek feladására ösztönző, úgynevezett „kíváncsiság-rendszer” (*curiosity system*), egyfajta „metaagyat” építettek beléjük. Felismerik az érzékelőikből érkező stimulációt, fokozatosan eljutnak odáig, hogy a tárgyakat megkülönböztetik egymástól, azaz reprezentálják az „agyukban”, és egyre komplexebb feladatokat akarnak megoldani. Először céltalanul és értelmetlenül gügyögtek, mígnem azonos hangokat alakítottak ki az adott tárgyra. A kutatók reménykednek, hogy idővel lesz szókészletük, létrejönnek a szavak használatát szabályozó nyelvtani törvények.

A projekt részeként a Svájci Szövetségi Technológiai Intézetben (Lausanne) kicsi kerek robotok együttesen igyekeztek olyan feladatokat megoldani, amelyekre külön-külön képtelenek lennének. Az ágensek efféle – rajszerű – alkalmazása ember számára nehezen megközelíthető, vagy egyenesen hozzáférhetetlen terepeken, mentési műveletek során várható.

<sup>59</sup> Forrás: <http://www.swarms.org>

A szintén európai uniós **Swarm-bots** (<http://www.swarm-bots.org>) és folytatása a **Swarmanoid** (<http://www.swarmanoid.org>)<sup>60</sup> keretében önszerveződő robotkolóniákat fejlesztenek. A Swarm-bots hangyatársadalomról mintázott raj-botja viszonylag alacsony költségen létrehozott egyszerű, rovarformájú egyedekből áll össze. Különböző (hőmérséklet, nedvesség, infravörös, fény, hang, nyomás) szenzorokkal, aktuátorokkal, motoros markolókarokkal szerelték fel valamennyit. Hangszóróval, négy mikrofonnal és több irányban mozgó kamerával, valamint WiFi és USB kapcsolattal is rendelkeznek. Különlegességük, hogy a (hajlíthatatlan és flexibilis változatban egyaránt sikeresen tesztelt) markolók segítségével egymáshoz tudnak kapcsolódni, azaz egyszerű autonóm gépekből bonyolultabb, egy-egy robot által kivitelezhetetlen küldetések (a környezet felderítését, súlyosabb tárgyak nehéz terepen történő szállítását) megoldó rendszerré alakulnak át. A „tagok” alapvető feladatokat (navigációt, környezet érzékelését, könnyebb tárgyak megfogását) egyedül is kivitelező autonóm mobil robotok. Mobilitásukat speciális, kerék és hernyótalp kombinációjú (*tracks + wheels = treels*) motorizált helyváltoztató rendszer biztosítja.

A Swarmanoid elosztott, heterogén elemekből összetevődő rendszerében három robottípus lesz megkülönböztethető egymástól: szem-botok (*eye-bots*), kéz-botok (*hand-bots*), láb-botok (*foot-bots*). Csúsznak, másznak, repülnek, egyedül és csoportosan dolgoznak.

A repülő vagy plafonmagasságba helyezett szem-botok a környezet érzékelését és elemzését végzik. A terep összképét látják. A függőlegesen is mozgó kézbotok a szem- és a lábbotok között tevékenykednek. A Swarm-bots projekt gépecskéin alapuló láb-botok (nehéz) talajon történő helyváltoztatásra és tárgyak, robotok szállítására specializálódnak.

A rajrobotok majdani alkalmazásai veszélyes terepeken, tengerfenéken és a világűrben várhatók.

## 6. Az IKT más területeire való hatások bemutatása

Az autonóm mobil robotok elterjedése közvetve az IKT szinte valamennyi területére hatással lesz. Közvetlenebb, egymást kölcsönösen erősítő hatások a következő területeken figyelhetők meg: nanotechnológia, környezet-intelligencia és beágyazott rendszerek, virtuális valóság (virtuális robotok, virtuális ágensek, stb.), mesterséges intelligencia különböző részterületei.

### 6.1 Nanotechnológia

*A miniatürizálódásnak arra a szintjére kezdünk eljutni, amikor rendkívül kicsi, emberi szemmel láthatatlan méretekben állíthatók elő megfelelő vezérléssel adott pozícióba juttatható, mozgatható objektumokat.* Ebben a mérettartományban a feladatok jellege teljesen más, mint a hagyományos gyártásnál. Ezeknek a kezdetben valószínűleg ipari gyártási és orvosi feladatoknak az elvégzésére ideálisnak tűnnek az elméletileg már sokszor felvázolt mozgékony nanorobotok.<sup>61</sup>

### 6.2 Környezet-intelligencia

<sup>60</sup> Mindkét projektnek a rajintelligencia-kutatások egyik úttörője, Marco Dorigo (Brüsszeli Szabad Egyetem) a koordinátora.

<sup>61</sup> A (leendő) nanorobotok két típusba sorolhatók: 0,1-10 mikrométer méretű vagy kisebb, nanoszintű vagy molekuláris komponensekből álló nanorobotok (nanobotok, nanoidok), illetve nanoléptékű pontossággal dolgozó nagyobb méretű mikrorobotok.

Mobil robotok egyedenként és rajokként egyaránt beépülhetnek környezet-intelligencia rendszerekbe. Például a majdani intelligens otthonokban ápoló/betegfelügyelő funkciókat ellátók tevékenységét összhangba kell hozni a környezetbe ágyazott más gépekkel, gépek hálózataival (szenzor-rendszerekkel, aktuátorokkal, stb.).

### 6.3 Virtuális közegek

A robotika és a virtuális világok találkozása több szinten tetten érhető.

Egyrészt *a robotika, a hálózatok, a virtuális valóság és a távjelenlét összekombinálásával az eddigi eredményeket jelentősen meghaladó ember-robot hálózatos rendszereket kezdenek kidolgozni.*

Másrészt a fizikai ágensek mozgásának, cselekedeteinek kidolgozásakor felhasználják a virtuális ágensek, például beszélgető robotok (*chatbotok*), vagy a különböző virtuális világokat belakó karakterek fejlesztése során szerzett tapasztalatokat, és vice versa.

### 6.4 Mesterséges intelligencia

A robotika különböző részterületeket szintetizáló jellege miatt visszahat a gépi rendszer létrehozásakor felhasznált diszciplínák fejlődésére is: gépi látás, mozgástervezés, szöveg- és beszédfelismerés és szintézis, érzelmi számítások (*affective computing*), tanuló technológiák (például neurális hálókkal, vagy genetikus algoritmusokkal).

## 7. Társadalmi-gazdasági hatások elemzése

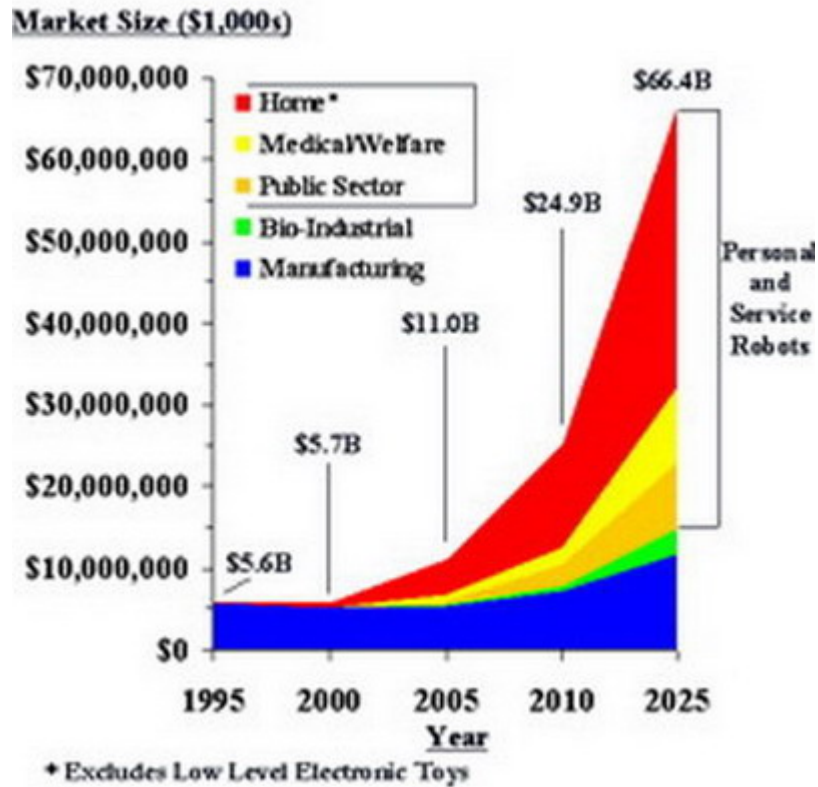
A (mobil) robotika technikai-gazdasági és társadalmi hatásait elemző, a sci-fiszerű látomásos jövőképektől a statisztikai szemléletű prognózisokig ívelő szakirodalom enyhén fogalmazva is bőséges. Az eltérő megközelítések és konklúziók ellenére valamennyi megegyezik abban, hogy *a fejlesztéseket technikai-gazdasági szempontból a termelés költségének csökkentése, minőségének növelése, a nagy pontosságot igénylő műveletek jobb kivitelezése, az emberi megbízhatósággal kapcsolatos problémák kiküszöbölése, az emberi teljesítőképesség határain túli feladatok ellátása, társadalmi szempontból leginkább az ember (veszélyes munkakörökben való) helyettesítése, a monoton munka kiváltása ösztönzi.* Eddig ugyan születtek részsikerek, de a futószalag melletti, összeszerelő, stb. ipari alkalmazások és néhány háztartási tevékenység kivételével komoly erőforrások felhasználásával sem sikerült az emberi munkát helyettesíteni. Az alapkérdések még mindig ugyanazok, mint a fejlesztések kezdetén.

A mobil robotok terjedésének eredményeként viszont mind technikailag-gazdaságilag, mind társadalmilag jelentősen változik a helyzet: a robotika komoly piaccá válik (7. és 8. ábra), nő az alkalmazási területek száma (egészségügy, mentési műveletek, stb.), rutinfeladatok mellett összetettebb munkákban is helyettesíthetik az embert. A szakterület sikereinek hatására, a robotépítés hangsúlyozottabban lesz jelen az informatikai oktatásban (szórakoztatóbbá, kreatívabbá téve azt).

### 7.1 Gazdasági hatások

*A mobil robotika jelenlegi állapota a személyi számítógép-piac korai nyolcvanas évekbeli helyzetéhez hasonlítható. A párhuzam a következő húsz évre is valószínűsíthető: ugyanolyan exponenciális növekedésnek, a piac drasztikus tágulásának lehetünk szemtanúi, mint a nyolcvanas évek közepétől napjainkig a PC-k esetében.*

A mobil robotika egyelőre kezdetleges piaccal rendelkezik. A kevés kvantitatív elemzés egyike azonban már a közeljövőben is jelentős növekedést vár: a mobil robotok értékesítése még úgy is meghaladja a hagyományos ipari gyártórobotokét, ha a legnagyobb üzleti potenciált jelentő katonai alkalmazásokat nem vesszük figyelembe.



7. ábra: A világ robotpiaca, 1995-2025<sup>62</sup>

A 7. ábra alapján a szolgáltatásokban és az otthonokban használt robotok piaca 2010-re kétszer, 2025-re négyszer akkora lesz, mint a (hagyományos) gyártótevékenységet végzőké. Egy másik elemzés szintén ezt a tendenciát támasztja alá (8. ábra).

<sup>62</sup> Forrás: Japan Robot Association: <http://www.jara.jp/e>.



8. ábra: Otthoni és szolgáltató robotok<sup>63</sup>

## 7.2 Társadalmi hatások

A lakosság előregedése a jóléti társadalmak egyik legfontosabb demográfiai trendje. A japán társadalom 24 %-a hatvan év feletti, és csak a 20 %-a húsz év alatti.<sup>64</sup> Ha a tendencia folytatódik, márpedig valószínűleg igen, akkor a mai (hozzávetőleg) 3:1 arány úgy alakul, hogy 2025-ben két dolgozókorú felnőttre jut egy nyugdíjaskorú. Más országok adatai kezdik megközelíteni a japánokét.

A jelenség egyik következménye, hogy kevesebb az aktív munkavégző. A probléma az alacsony kvalifikációt igénylő munkaköröknél kétféleképpen oldható meg: vagy olcsó külföldi munkaerővel (mint az Egyesült Államokban, az Egyesült Királyságban, stb.), vagy robotok alkalmazásával. Hosszabb távon Japán az utóbbi megoldást részesíti előnyben, amit a fejlesztések jellege és üteme támaszt alá. Valószínű azonban, hogy lehetőségeikhez képest más országok is követni fogják a szigetország példáját.

Az ápolói funkciót betöltő robotok terjedésével átalakulhat az egészségügy: az automatizálódás a kórházi műtétek mellett az otthonokban is érezteti hatását. Az idősekre, mozgáskorlátozottakra és betegekre felügyelő gépek a környezet-intelligencia rendszerekkel kiegészülve hatékonyabbak lesznek a rutinfeladatok elvégzésében. Felgyorsítják a távmedicina térhódítását, könnyebbé teszik az egészségügyi dolgozók munkáját. Nem elhanyagolandó szempont az sem, hogy az állandó (emberi) ápolói felügyelet költségei és a személyes konfliktusok szintén kiküszöbölhetők.

Az áresés következtében a mobil robotok egyre több háztartásba jutnak el. Megvásárlásukat pénzügyi szempontok mellett pszichológiaiak is lehetővé teszik: csökken a velük szembeni idegenkedés.

<sup>63</sup> Forrás: IFR (International Federation of Robotics): <http://www.ifr.org>.

<sup>64</sup> A nőknél nyolcvanegy, a férfiaknál hetvenöt év a születéskor várható élettartam. Az adatok 2001-esek.

Az otthoni robotok azonban nemcsak időseknek és betegek lesznek hasznos asszisztensei, hanem szórakoztató szerepkörüket betöltve, a fiatalabbak mellett egyre intelligensebb gépi társként is tevékenykednek.

Egyszerre több funkciót is el tudnak majd látni: például őrzik a házat, és internetkapcsolaton keresztül figyelmeztetik a több ezer kilométer távolságban lévő tulajdonost, ha rendellenességet észlelnek. A biztonság- mellett növelik a behálózottság- és a „földkerekség globális falu” érzetet is.

## 8. Magyar vonatkozások

*A szakterület nagyhatalmaihoz, az Egyesült Államokhoz, Japánhoz és Dél-Koreához viszonyítva, a magyarországi mobil robotikát több éves lemaradás jellemzi. Ez a lemaradás azonban nemcsak a hazai kutatásfejlesztésekre, hanem ugyan kisebb mértékben, de az egész Európai Unióra is jellemző.*

Itthon eddig porszívók és fűnyírók kerültek kereskedelmi forgalmazásba. Magyar gyártó cégről nem tudunk. Az inkább kísérleti jellegű kutatásokat a SZTAKI manipulátorai és robotvezérlési projektjei mellett felsőoktatási intézmények fémjelzik; egyelőre azonban még nem beszélhetünk hétköznapi alkalmazásokban hasznosuló autonóm mobil robotikai fejlesztésekről.

A Budapesti Műszaki Főiskolán (BMF, NIK) hallgatók bevonásával legalább tizenöt éve folyik ilyen irányú kutatásfejlesztés. 1997–98-ban készült a hallgatói projektnek indult első négy lábú (emlősszerű) lépegető, az Exploratores (Molnár András, Brünner R., Varga L., Vámosy Zoltán). A továbbfejlesztett szerkezet nemzetközi konferenciákon, kiállításokon, fórumokon, például a Hannoveri Ipari Vásáron, Lipcsében, Toulouse-ban, Grenoble-ban került bemutatásra. A BMF kutatói alkalmazták elsőként mobil robotok esetében a 360 fokban körbelátó PAL optikákat. 1999-es a hatlábú Hangya (Molnár András), 2000-es a négy lábú lépegető Kutya (Molnár András), 2001-es a guruló Bogár (Molnár András), 2004-es a hatlábú Fobot (Vámosy Zoltán, Pécskai B., Supola B., Balázs A.). Jellemzői: autonóm működés, forgólábas konstrukció, hat elektromotor, egy fedélzeti processzor, intelligens szenzorok, hagyományos és PAL optikás kamera, fedélzeti GPS készülék. Speciális járástechnikát alkalmaz: a csótányok „futásához” hasonlóan, forgó lábakkal mozog, és így lényegesen gyorsabb a hagyományos emlős-, vagy hüllőszerű négy lábú robotoknál. 2005-ös a guruló Robotautó (Molnár András – BMF, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem). Egy új projektjükben az Aibo robotkutyák kameraképét használják a rendszer bemeneteként; a képen először az arcokat keresik meg, majd azon belül olyan jellemzőket, mint a szem, száj, orr és az áll környéke. Reményeik szerint a robotkutyába telepített program elmozdulásaik, geometriai formájuk vizsgálatából következteti ki, milyen módon reagáljon a szerkezet.

Az ELTE Informatikai Karának Programozáselmélet és Szoftvertchnológiai Tanszékén Istenes Zoltán irányításával végeznek mobilrobot-kísérleteket (robotfoci, stb.). Főleg Lego Mindstorm Robotic Invention Systems kiegészítéssel dolgoznak. A kiegészítések lelkét az RCX egység adja, melyre a különféle perifériák egyszerűen csatlakoztathatók. Az érzékelők alapvetően fény, nyomás és forgásérzékelők. Meghajtónak, vagy kimenetnek motorokat, esetleg lámpákat építenek be. Infravörös kapcsolaton keresztül lehet a számítógépen megírt programokat letölteni az RCX egységre, de ezt a kapcsolatot másra, máshogyan is fel lehet használni. Az RCX-en futó program a számítógép beavatkozása nélkül is, de a számítógépről folyamatos kapcsolattartással is vezérelhető. Az RCX-en futó program adatokat gyűjthet, amit a számítógép feldolgoz, kielemez, majd visszaküld, sőt a robotokra akár menet közben is lehet tölteni egy frissített, módosított, tesztre szabott programot. Ugyanezek az RCX egységek egymással is tudnak kommunikálni.

A BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán az Irányítástechnika és Informatika, valamint az Automatizálási és Alkalmazott Informatika Tanszékeken foglalkoznak mobil robotikával. Utóbbin több éve folynak olyan autonóm robotfejlesztések, melyek képesek a nemzetközi Eurobot verseny előírásai szerint működni és annak feladatait teljesíteni.

A Kecskeméti Főiskola Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Karának Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszékén évek óta foglalkoznak többrobotos munkagép kiszolgáló rendszer számítógépes irányításával, a robotok, a munkagép és az anyagmozgató rendszer kommunikációjának fejlesztésével.

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karának Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskolájában robotokon alkalmazható aktuátorokkal és szenzorokkal foglalkoznak.

## 9. Következtetések

Az autonóm mobil robotok fokozatos elterjedése átalakítja az ember-gép kapcsolatokat, megváltoztatja a robotokról részben a tudományos-fantasztikus irodalom és filmek által kialakított, a valósággal szinte köszönő viszonyban sem lévő képet, hiedelemrendszert.

*A kifejezetten szórakoztatásra, társpótlónak szánt termékeket leszámítva, a fejlődés iránya elsősorban nem az antropomorf (humanoid) külső felé mutat, így egyre kevésbé érezzük majd, hogy a robotoknak mindenképpen a Homo sapienset kell utánoznia. Tevékenységüket az emberhez vagy más élőlényekhez hasonló fejlett intelligencia megnyilvánulásainak keresése helyett a racionális cselekvési és magas szintű információkezelési képességek alapján fogjuk megítélni. Hosszabb távon az embereknek körülbelül ugyanolyan kapcsolata alakul ki a robotokkal, mint a számítógépekkel. A fejlesztések irányának megváltozása jelentősen hozzájárul ehhez: ha a robotokat főként már nem a hagyományos ipari tevékenységek elvégzésére, hanem inkább szolgáltató szektorbeli, egészségügyi, szórakoztató, mentő, stb. alkalmazásokra gyártják, és „kikerülnek” a limitált gyári közegből, automatikusan bővül a felhasználói kör. Más oldalról, ha a gyakran az emberi intelligencia különböző megnyilvánulásait tesztelő kísérletek mellett egyre több praktikus, a hétköznapokban hasznosítható fejlesztési szempont jelenik meg, és a kivitelezéshez adott a technológia, „profanizálódik” a robotokról kialakult kép: csillogó-villogó tudálékos csodagépek vagy kertben csattogó gépszörnyek helyett az információs társadalom kiteljesedéséhez hozzájáruló segítő, munkavégző szerkezeteket látunk bennük otthon és munkahelyen egyaránt.*

### **Köszönetnyilvánítás:**

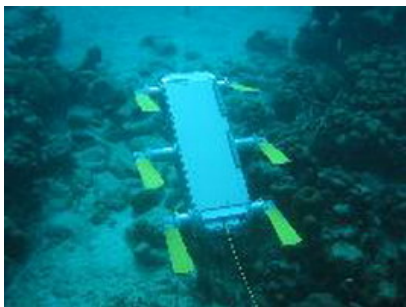
*A szerző ezúton mond köszönetet Krauth Péternek és Kutor Lászlónak, a tanulmányhoz fűzött értékes, kiegészítő jellegű észrevételeikért.*

**Melléklet: az elemzésben szereplő robotok**

UAV (4.o. 2.2.1)



RoboThal (4.o. 2.2.2)



Aqua víz alatt (4.o. 2.2.2)



Aqua szárazföldön (4.o. 2.2.2)



nBot (5.o. 2.2.3)



Pioneer (CMU) (5.o. 2.2.3)



iRobot termékek (6.o. 2.3)





Trilobite 2.0 (6.o. 2.3)



Fűnyíró (Friendly Robotics) (6.o. 2.3)



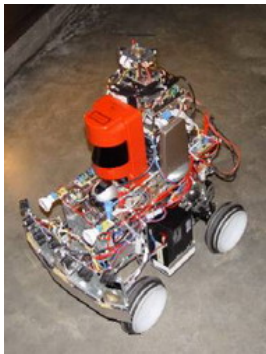
PatrolBot (6.o. 2.3)



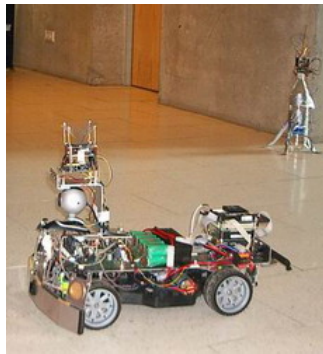
Seekur (6.o. 2.3)



Robot a rajból (Örebro) (10.o. 3.3)



PeLoTe robotok (10.o. 3.3)



Swarms (10.o. 3.3)



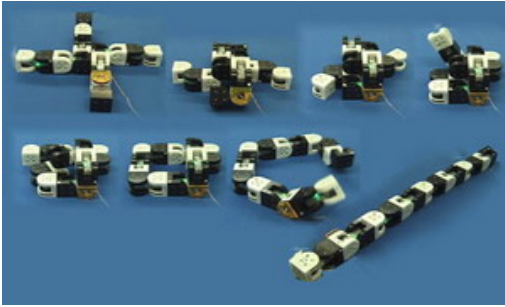
Tug (11.o. 3.5.1)



Homer (11.o. 3.5.1)

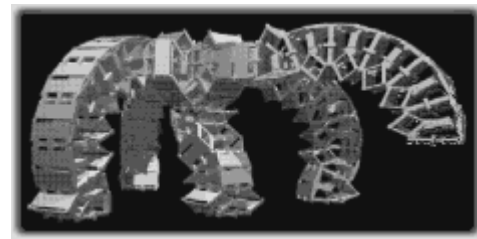
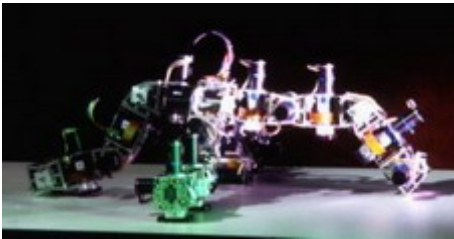


Borkóstoló robot (11.o. 3.5.1)



Aibo (12.o. 3.5.2)

M TRAN III (13.o. 3.5.3)

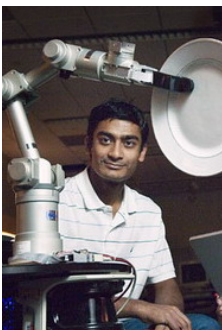
Polybot moduláris robot (PARC)  
(Mindkettő 13.o. 3.5.3)

Polypod moduláris robot (PARC)



Ballbot (14.o. 5.1) SANDEE (14.o. 5.2)

iBOT (15.o. 5.2)



STAIR és egy fejlesztője (15.o. 5.3) COGNIRON (szimuláció) (15.o. 5.3)



ECAgents: Aibo kutyák (16.o. 5.4)



ECAgents: Kommunikáció (16.o. 5.4)



Swarm-bots (Szimuláció) (16.o. 5.4)



Swarm-bots (Teszt) (16.o. 5.4)



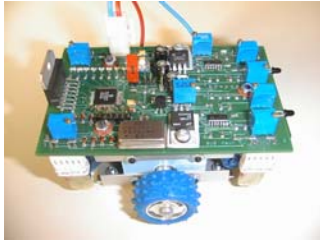
Exploratores (20.o. 8)



Hangya (21.o. 8)



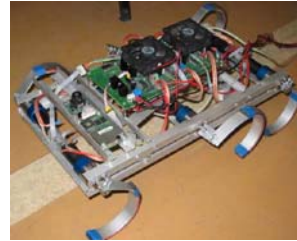
Kutya (21.o. 8)



Bogár (21.o. 8)



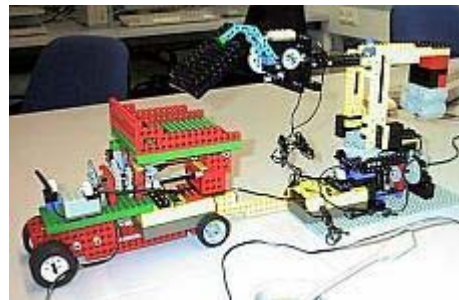
Robotautó (21.o. 8)



Fobot (21.o. 8)



Knight Rider (ELTE) (21.o. 8)



Daru és dömper (ELTE) (21.o. 8)