

Beágyazott rendszerek

Tézis: *A mindennapi környezetünket képező tárgyak egyre nagyobb részét olyan ún. beágyazott rendszer működteti, amely – beépített intelligenciája révén – autonóm módon kommunikál más beágyazott rendszerekkel, és reagál az ember, más élőlények, illetve más tárgyak jelenlétére. Elterjedésükkel minden iparágban alapvető technológiaváltás megy végbe, és ennek előfeltételként technológiaváltás lesz a beágyazott rendszerek tervezésében és megvalósításában is (szabványok, szoftverfejlesztés, rendszerintegráció).*

Mottó

Ha sok cseresznyepaprikát madzagra fűzünk, abból lesz a paprikakoszorú.
Ha viszont nem fűzzük fel őket, nem lesz belőlük koszorú.
Pedig a paprika ugyanannyi, éppoly piros, éppoly erős. De mégse koszorú.
Csak a madzag tenné? Nem a madzag teszi. Az a madzag, mint tudjuk, mellékes, harmadrangú valami.
Hát akkor mi?
Aki ezen elgondolkodik, s ügyel rá, hogy gondolatai ne kalandozzanak összevissza, hanem helyes irányban haladjanak, nagy igazságoknak jöhet a nyomára.
Örkény István: *Az élet értelme (Egyperces novellák)*

1. Megnevezés és rövid leírás

a) Beágyazott rendszer

Definíció: *Beágyazott rendszernek* nevezik az olyan processzoralapú, programvezérlésű elektronikus eszközt, illetve az ilyen eszközökből alkotott rendszert, amely a befogadó fizikai / kémiai / biológiai környezetét autonóm módon képes érzékelők segítségével megfigyelni és beavatkozók segítségével befolyásolni.

Minden beágyazott rendszert program és processzor működtet, de nem minden programozott és processzorral működtetett rendszer beágyazott rendszer. Az elhatárolás nem egyszerű, hiszen a működési elvük azonos, és ezért a fejlesztésükre használt módszerek és eszközök is hasonlóak. Tovább nehezíti az elhatárolást, hogy *a beágyazott rendszer gyakran nem önálló, fizikailag jól elkülöníthető része* az általa működtetett rendszernek. Az elhatárolás az 1. tézisben, illetve a definícióban nevesített alábbi tulajdonságok alapján lehetséges.

A beágyazott rendszer

- *tárgyakat autonóm módon, azaz emberi beavatkozás nélkül működtet,*
- *környezetét érzékelőkkel figyeli meg,*
- *környezetét esetleg beavatkozószervekkel befolyásolja.*

A beágyazott rendszer fontos jellemzői következők:

- *korlátosak az erőforrásai* (energia, tárhelykapacitás, utasításkészlet, végrehajtási sebesség stb.),
- *kicsi a fizikai mérete* (a hordozó lemez mérete néhány mm²-től egy-kétszáz cm²-ig terjed),
- *magasak a megbízhatósági és rendelkezésre állási követelményei* (a hétköznapi informatikai alkalmazásokhoz képest).

A beágyazott rendszer jellegzetességeként szokták említeni azt is, hogy *számítógépszerűen nem használható*. Az esetek nagy részében a beágyazott rendszer *kívülről nem látható*, azaz az általa működtetett tárgyról nem látszik, hogy mi vezérli.

A beágyazott rendszer tipikus *hardver komponensei* a következők:

- CPU (8, 16, 32 bites),
- programtár (Flash) és adattár (RAM),
- érzékelők (pl. hőmérséklet-, fény-, nedvesség-, hang-, mozgás-, távolság-, irány- és helyzetérzékelők, AD-konverter, továbbá nyomógombok és kapcsolók),
- beavatkozásszervek (pl. relé, kapcsoló, motor, DA-konverter, továbbá LED-ek és más kijelzők),
- vezeték nélküli és vezetékes adatátviteli eszközök (pl. Bluetooth; WiFi, WiMAX, ZigBee; USB).

A beágyazott rendszer tipikus *szoftver komponensei* a következők:

- eszközvezérlő programok,
- speciális operációs rendszer (pl. eCos, TinyOS, Contiki, Embedded Windows, Embedded Linux),
- futtatórendszer (run-time system, RTS),
- alkalmazás.

A fizikailag is elkülönülő beágyazott rendszer jellegzetes példája napjainkban a *mót*: egy olyan kisméretű (néhány cm²-es) áramköri lapka, amely az előbb felsorolt tipikus komponenseket vagy egy részüket tartalmazza. De beágyazott rendszernek tekintjük az olyan 10-20 cm²-es nyomtatott áramköri lapot is, amelyen ugyancsak az előbb felsorolt tipikus komponensek vannak, és amely valamilyen végberendezésbe beépítve vezérli annak működését.

Önálló, fizikailag is elkülönülő beágyazott rendszerekre láthatunk példákat az 1., a beágyazott rendszerek tipikus komponenseire pedig a 2. mellékletben.

Nem tekintjük beágyazott rendszernek az általános célú számítógépeket (pl. az asztali és hordozható személyi számítógépeket és a szervergépeket), az ipari vezérlésre használt számítógépeket, és a kézi számítógépeket sem, egyes komponenseiket (monitoraikat, lemezmeghajtóikat, nyomtatóikat stb.) azonban ugyancsak beágyazott rendszerek működtetik.

b) Befogadó rendszer

Az eddigiekből világosan kitűnik, sőt már az első tézis is utalt rá, hogy a *beágyazott rendszert* határozottan meg kell különböztetnünk *az általa működtetett tárgytól*, amit a továbbiakban *befogadó rendszernek* nevezünk. Az elhatárolás most sem egyszerű, hiszen a beágyazott és a befogadó rendszer fizikai megjelenésében nem mindig választható el egymástól.

Az azonos alapfunkciójú hagyományos tárgyhoz képest a beágyazott rendszert *befogadó rendszer*

- gazdagabb funkcionalitású („intelligensebb”),
- változtatható tulajdonságú,
- alkalmazkodni tud a változó körülményekhez és igényekhez,
- programozott eszköz lévén: bővíthető, változtatható funkcionalitású.

Befogadó rendszerre számtalan példát lehet említeni:

- eleinte az elektronikai ipar termékeiben jelentek meg a beágyazott rendszerek,
 - pl. számítógépekben és számítógép-perifériákban, számítógép-hálózati eszközökben, távközlési berendezésekben és végberendezésekben, szórakoztató elektronikai és más elektronikus fogyasztási cikkekben (órákban, hőmérőkben, mérlegekben, fényképezőgépekben, kamerákban stb.), irodagépekben, biztonságtechnikai berendezésekben,

- majd hamarosan a háztartási és ház körüli gépekben,
 - pl. mosógépekben, hűtő- és fagyasztógépekben, mosó- és mosogatógépekben, mikrohullámú és grillsütőkben, takarítógépekben, konyhai robotgépekben, fűtő- és hűtőberendezésekben, házi vízellátó és kerti locsolórendszerekben,
- a jármű- és közlekedési ipar termékeiben,
 - pl. repülőgépekben, gépjárművekben, hajókban, kötött pályás járművekben, illetve a légi, közúti, vízi és vasúti közlekedés forgalomirányítási eszközeiben,
- az orvostechikai termékekben, kórházi berendezésekben,
 - pl. vérnyomásmérőkben, EKG-készülékekben, laboratórium műszerekben, röntgen-, CT- és MR-berendezésekben, lélegeztető és dializáló készülékekben,
- a gépipari termékekben,
 - pl. szerszámgépekben, munkagépekben, vezérléstechnikai eszközökben (erőművekben, közművekben, bányákban, ipari üzemekben stb.),
- de hamarosan a tradicionális, elektronikát nem vagy kevésbé használó iparágakban is várható a beágyazott rendszerrel működtetett termékek megjelenése,
 - pl. bútorokban, textilárukban, ruházati cikkekben, sőt esetleg még gyógyszerekben (!) is.

Általánosságban elmondható, hogy *egy termék funkcionalitásának bővítéséhez, többfunkcióssá tételéhez a digitalizáláson és a programozott működésen át vezet az út*, ehhez a terméket a beágyazott rendszer befogadására alkalmassá kell tenni. Ez elengedhetetlen a tömegtermelésben, ahol a beágyazott rendszer hosszabb távon olcsóbbá és ugyanakkor a tömegtermelés ellenére személyre szabhatóvá teheti a terméket, de elengedhetetlen a kisiparban is, ahol a kis sorozatú termékeket így lehet gazdaságossá tenni, különféle változatban (alap-, luxus- stb.) előállítani. Ráadásul, ha a beágyazott rendszerrel működtetett termékek igazán divatba jönnek, más termékeket sokkal nehezebb lesz értékesíteni. Sok termék és szolgáltatás már ma is úgy hirdeti magát, hogy digitális, számítógépes és még inkább, úgy hogy „computeres”, pl. digitális kamera, számítógépes triko- vagy bögrefestés, „computeres” szemvizsgálat. Vagyis nemcsak a műszaki terméket előállító nagyvállalatoknak, hanem a közép- és a kisvállalatoknak is, előbb-utóbb – de inkább előbb, mint utóbb – át kell állniuk arra, hogy terméküket beágyazott rendszer működtesse. Aki valamilyen **bonyolultabb funkciót** akar beépíteni valamilyen tárgyba, szükségszerűen **beágyazott rendszert fog beleépíteni**.

Így lesz az egyszerű székből, fotelből és ágyból olyan „univerzális bútor darab”, amelynek a dőlésszögét, puhaságát/keményységét, hőfokát, szellőzését, vibrációját, masszírozó funkcióját stb. állítani lehet, amelyik felismeri, hogy melyik előre beállított profilú „gazdája” ül benne, vagy olyan, amelyik alkalmazkodni tud a rajta/benne ülő/fekvő személy súlyához, ébrenléti állapotához, fáradtságához, kényelmetlenségérzéséhez stb. Az ilyesféle tárgyak kitalálásához „csak” üzleti bátorság és kockázatvállalás kell.

Ám ha valaki pl. gyógyszereszedést felügyelő eszközzel kíván kirukkolni, annak az üzleti kockázat mellett számtalan kísérletet is el kell végeznie, és más kockázatokat is vállalnia kell. Egyes felmérések szerint a rendszeresen gyógyszert szedőknek mindössze 25%-a veszi be időben és megfelelő dózisban az orvosságot, aminek az elsődleges oka a feledékenység. A később vagy nem az előírt mennyiségben bevett gyógyszer kevésbé hatékony, esetenként káros is lehet. Egyes becslések szerint a gyógyszerek 50%-a megy így veszendőbe, ami, figyelembe véve a gyógyszerek egyre emelkedő árát, hatalmas pazarlás, nem beszélve az egészségre káros hatásokról. Kísérletek igazolják, hogy ha a pácienseket a megfelelő időben pl. telefonon figyelmeztetik a gyógyszer beszedésére, akkor a szedési fejelem akár 90%-ra is emelkedhet. Ebből elég nyilvánvalónak tűnik, hogy egy megfelelő készülékkel a pácienseket figyelmeztetni lehet a rendszeres gyógyszereszedésre, és az is feltehető, hogy egy ilyen készüléket beágyazott rendszerrel érdemes működtetni. Nyitott

kérdés azonban, hogy milyen készülékek lennének alkalmasak a különféle korú, iskolázottságú, egészségi és szellemi állapotú emberek számára; feltehető, hogy nagyon sokféle ötletet kell megvalósítani és kipróbálni különféle körülmények között, ami – más egészségügyi, orvostechnikai termékhez hasonlóan – nagyon megdrágítja az előállításukat és főleg rendszerbe állításukat. Ráadásul az intelligens bútorral szemben itt súlyos kockázatot is jelent, ha a készülék nem, vagy nem úgy, vagy nem elég megbízhatóan működik, hiszen végső soron életet is veszélyeztethet, aminek azután jogi, pénzügyi, sőt büntetőjogi következményei is lehetnek.

Miközben *a befogadó rendszerek köre és funkcionalitása („intelligenciája”) gyors ütemben bővül, a rendszerbe kapcsolásuk mértéke csak lassan nő*, ami például a közös szabványok és az integráló erő hiányának, végső soron a közös érdekelttség hiányának tudható be. Ezért pl. az olyan intelligens hűtőgépek, amelyek szólnak a hentesnek, ha fogyóban van a hús, vagy a cukrásznak, ha elfogyott a fagylalt, továbbra is a víziók, az utópiák világába tartoznak. Igaz, már hallani olyan magyarországi minibár-fejlesztésekről sokcsillagos szállodák számára, amelyek szólnak a szobaszerviznek, ha fogytán a kóla vagy a vodka a vendég szobájában, és persze a recepciónak is, hogy a fogyasztást írják a számlához.

Néhány befogadó rendszerre mutatunk példákat a 3. mellékletben.

2. Jelenlegi helyzet

Az 1. tézis hardver feltételei, ahogy az előző szakaszban láttuk, már ma is adottak. Azt is láttuk, hogy a 2. tézis első felében említett technológiaváltás is megkezdődött a high-tech termékeket gyártó iparágakban, és terjed tovább a konzervatívabb iparágak felé. E kijelentések további alátámasztására bemutatunk néhány adatot egy 2005-ben készült tanulmányból [FAST2005]. (Az utóbbi években több hasonló tárgyú tanulmány készült világszerte a beágyazott rendszerek elterjedtségéről és jövőbeli szerepéről, néhányat a mellékletben sorolunk föl).

Az első tömeggyártású beágyazott rendszer a Minuteman rakétát irányító számítógép volt, 1960-tól gyártották. Az autógyártásban az első mikroprocesszoros üzemanyag-injektáló rendszert a Volkswagen 1600-ban alkalmazták 1968-ban.

2000-ben 10 milliárd mikroprocesszor volt használatban, 98%-uk beágyazott rendszerekben. Az elektronikus komponensek – beleértve a kijelzőket, érzékelőket, félvezetőket is – piaci értéke 257 milliárd euró volt, ebből Európa, Amerika és Japán 19-19%, a ázsiai-csendes óceáni régió 43%-kal részesedett. A beágyazott rendszerek világpiacát 2004-ben 37 milliárd euróra becsülték.

A következőkben néhány ábrán mutatjuk be a beágyazott rendszerek helyét és jelentőségét azokban az ipari szektorokban, amelyekben e rendszerek szerepe már napjainkban is meghatározó: az autógyártásban, a repülőgép- és űriparban, az ipari automatizálásban, a távközlésben, az elektronikus fogyasztási és háztartási cikkekben, valamint az egészségügyi-orvostechnikai iparban

Az első ábra azokat a részterületeket sorolja föl az egyes szektorokon belül, amelyekre a beágyazott rendszerek alkalmazása a leginkább jellemző.

Industry domains	Definition
Automotive	It includes electronic control units in chassis systems power train electronics, body electronics/security systems, information and computing systems, e.g. for traffic control.
Avionics/ Aerospace	It includes commercial aircraft, military aircraft, and satellite systems.
Industrial Automation	It includes manufacturing and process controls, motion controllers, Intelligent Homes, operator interfaces, robotics, HVAC and other controls, e.g. for energy distribution.
Telecommunications	It includes infrastructure, services and end devices.
Consumer Electronics and Intelligent Homes	It includes set-top boxes, Internet access devices, home audio/video, and white goods.
Health and Medical Equipment	It includes patient monitoring equipment, medical therapy equipment, diagnostic equipment, imaging equipment, and surgical systems.

Forrás: [FAST2005]

A következő ábra az egyes szektorokban a beágyazott rendszerek arányát mutatja a végtermék vagy szolgáltatás költségében 2003-ban, illetve becsült arányát 2009-re.

Industry domains	2003	2009
Automotive	52%	56%
Avionics/ Aerospace	52%	54%
Industrial Automation	43%	48%
Telecommunications	56%	58%
Consumer Electronics and Intelligent Homes	60%	62%
Health and Medical Equipment	50%	52%
Weighted average	51%	53%

Forrás: [FAST2005]

A következő ábra az elektronikus termékek piaci értékét és ebből Európa részesedését, továbbá az elektronikus termékek, illetve ezen belül a beágyazott rendszerek piacának növekedési ütemét mutatja. Látható, hogy az elektronika (hardver) becsült növekedési ütemét a beágyazott rendszereké (hardver és szoftver együtt) a legtöbb ágazatban meghaladja.

2002-2004 Industry domains	Size of world market for electronics in billion € ^a	European market share in electronics ^a	Average annual growth rate for electronics market ^a	Average annual growth rate for ES market
Automotive	30.1 b€	37%	10%	10% ^a
Avionics/ Aerospace	29.6 b€	30%	5%	14% ^b
Industrial automation	88.9 b€	30%	5%	7% ^a
Telecommunications	83.2 b€	28%	9%	15% ^a
Consumer electronics and intelligent homes	182.9 b€	10%	8%	15% ^c
Health & medical equipment ^d	193.0 b€	24%		18%
IT hardware	215.2 b€	10%	7%	

Forrás: [FAST2005]

A következő ábra a beágyazott rendszerek értékének részesedését mutatja a végtermékben 2004-ben, illetve becsült értékét 2009-re. Három esetben (Industrial Automation, Telecommunications, Consumer Electronics) csupán az elektronika értékének részesedésére találtak 2004-es adatot a tanulmány szerzői, amelynél a beágyazott rendszereké biztosan magasabb: erre utal a „>” jel.

Industry domains	2004	2009
Automotive	20%	36%
Avionics/ Aerospace	n.a.	n.a.
Industrial Automation	>13%	22%
Telecommunications	>23%	37%
Consumer Electronics and Intelligent Homes	>14%	41%
Health and Medical Equipment	25%	33%

Forrás: [FAST2005]

A hardver mellett a szoftvernek is jelentős szerepe van a beágyazott rendszerekben, noha a szoftver rendszerint nem önálló termékként jelenik meg. A következő ábra a beágyazott szoftvereszközök és -szolgáltatások 2004. évi mért önálló piaci értékét és részesedését mutatja, a beágyazott szoftver tényleges értéke a teljes beágyazott rendszerben azonban jóval nagyobbra becsülhető.

Characteristics Market (2004)	Market volume in million €	Market growth	Largest consuming region and its share	Largest consuming sector and its share
Embedded OSs, bundled tools, related services	712.6	20.9%	Americas 52.7%	Consumer Electronics 41.7%
SW development tools, related services	195.1	1.8%	Americas 48.2%	n.a.
Design automation tools, related services	275.6	n.a.	Americas n.a.	Military / Aerospace, n.a.
Test automation tools, related services	65.7	19.8%	Americas 50.8%	Military / Aerospace, 27.6%
	1,249.0	17.0% (weighted average)		

Forrás: [FAST2005]

A bemutatott adatok, számok meggyőzően támasztják alá a beágyazott rendszerek gazdasági jelentőségét, ami csak növekedni fog azáltal, hogy a technológiaváltás, amint a 2. tézisben is megfogalmaztuk, áttérjed a hagyományosabb, eddig még nem digitalizált iparágakba is.

A sokféle alkalmazási terület ellenére négy fő alkalmazási helyzet azonosítható [HLG2004]: ipari rendszerek (industrial systems), nomád környezetek (nomadic environments), magánterek (private spaces), nyilvános infrastruktúra (public infrastructure). Ezeket a következőkkel jellemezhetjük:

Megnevezés	Alkalmazási környezet	Követelmény	Beágyazott rendszer célja
Ipari rendszerek	repülőgép-, autó-, gép-, orvostechnikai ipar stb.	minőség, biztonság, megbízhatóság, ...	érték-, hatékonyság- és termelékenységnövelés
Nomád környezetek	mozgásban lévő és változó emberek, tárgyak, alkalmazások	kis energiaigény, kis tömeg, akadálytalan (seamless) rádiós kapcsolat, ...	új munkaszervezési módok, növekvő termelékenység, másfajta életmód
Magánterek	otthon, munkahely, szórakozóhely	kényelem, biztonság, rádiós és vezetékes kapcsolat, érzékelők, beavatkozásszervek, ...	személyre szabható, adaptív megoldások, autonóm felügyelet, életvitel támogatása
Nyilvános infrastruktúra	épület, repülőtér, közút, vasút, hálózatok (energia, telefon, számítógép)	rendelkezésre állás, elérhetőség, ...	intelligens környezet, biztonság, kezelhetőség, karbantartás, védelem

A beágyazott rendszerek potenciálja kimeríthetetlen, a *tervezésükben és kivitelezésükben* azonban *változásokra* van szükség a 2. tézisben említett széleskörű technológiaváltáshoz, ugyanis *a hardvertchnológiához képest a szoftvertchnológia* általában, de *különösen a beágyazott rendszerek területén több évtizedes lemaradásban van.*

A beágyazott rendszernek, mint láttuk, többféle megjelenési formája van; összefoglalva:

- *a befogadó rendszerbe van integrálva*, ilyenkor maga a befogadó rendszer is elektronikus berendezés, pl. elektronikus fogyasztási cikkek, elektronikus biztonsági berendezések, számítógépek perifériái,

- *önálló részegység* a befogadó rendszeren belül, amelynek elemeihez jelátalakítókkal csatlakozik, pl. járművekben, háztartási gépekben, robotokban, orvosi műszerekben,
- *önálló eszköz*, amely vezeték nélküli vagy vezetékes adatátvitellel tart kapcsolatot a környezetével, pl. mót (mote), intelligens vagy okos porszem (intelligent or smart dust),
- *fix kiépítésű vagy ad-hoc hálózat*, amelynek csomópontjait a felsorolt három megjelenési formájú beágyazott rendszerek adják, pl. szenzorhálózat.

A továbbiakban azt vizsgáljuk, hogy a beágyazott rendszerek és fejlesztésük miben különbözik szignifikánsan a programozott és processzorral vezérelt egyéb rendszerektől. A beágyazott rendszerek és fejlesztésük megkülönböztető jellegzetességei a következők:

- korlátos erőforrások (ROM, RAM, végrehajtási idő, energia),
- speciális perifériák,
- egyidejű hardver-szoftver fejlesztés,
- programozás alacsony szintű nyelven (assembly, C),
- a programfejlesztési környezet és a célkörnyezet különbözősége,
- nehéz hozzáférés a kész rendszer komponenseihez: speciális fejlesztőeszközök iránti igény,
- sokféle szakértelem együttes meglétének, a beágyazott és a befogadó rendszer ismeretének szükségessége.

E fejtegetés következtetése az, hogy a beágyazott rendszereket leginkább a *fejlesztési és alkalmazási technológiájuk* határolja el más, ugyancsak processzorral és programmal vezérelt rendszerektől.

A jelen helyzet fő jellegzetességei, összefoglalva, a következők:

- tárgyaink egyre nagyobb részét beágyazott rendszerek működtetik,
- minden iparágra kiterjedő technológiaváltás van folyamatban,
- az átfogó technológiaváltást akadályozza:
 - a szoftvertechnológia jelentős elmaradása a hardvertechnológiához képest,
 - a nyílt szabványok hiánya,
 - a jól képzett szakemberek hiánya,
 - a fejlesztési technológia fejletlensége.

3. A várható fejlődés eredményének jellemzése

Ami a hardver fejlődését illeti, a miniatürizálás folytatódik, így egyre kisebb méretű tárgyakat lehet beépített rendszerrel működtetni. A Berkeley Egyetemen például, ahol az első mótok is készültek, napjainkban olyan *Smart Dust mótokat* terveznek, amelyeknek a *térfogata egy mm³* nagyságrendű.

Becslések szerint [FAST2005] 2010-re a mikroprocesszorok száma 2000-hez képest megduplázódik, azaz *minden emberre 3 mikroprocesszor jut a Földön*. A beágyazott rendszerek világpiaca 2009-re 71 milliárd euróra nő, növekedési ütemét 2004 és 2009 között évi 14%-ra teszik. A PC-piac növekedési üteme ennél jóval kisebb, kb. évi 8% lesz, ami azt jelenti, hogy *a beágyazott rendszerek piaca lesz az elektronikai ipar fő hajtóereje* a következő években. A beágyazott szoftver piaci értékének növekedését még a hardverénél is nagyobbra, évi 16%-ra taksálják 2004-től 2009-ig. Mindez a várható évi 2%-os GDP-növekedés tükrében a beágyazott rendszerek fokozódó jelentőségét mutatja ebben az időszakban.

A fő kérdés azonban nem is az, hogy a hardvertechnológia merre tart, hanem az, hogy *a beágyazott*

rendszerek fejlesztési és alkalmazási technológiája mit tesz lehetővé. Sajnos, más szakterületektől – pl. a távközlési ipartól, a félvezetőipartól, a számítógépipartól vagy a webtechnológiáktól – eltérően a beágyazott rendszerek világában csak néhány éve ismerték föl, illetve el a hosszabb távra szóló tervezésnek, a stratégiai kutatási terv kidolgozásának, a szabványok alkalmazásának a szükségességét, és csak 2006-ban készült el a beágyazott rendszerek európai Stratégia Kutatási Terve, azonban ez sem tartalmaz pontos, számszerűsíthető adatokat a várható fejlődés jellemzésére.

A tézis első mondatát evidenciának, tapasztalati ténynek tekinthetjük. Ezek után arra keressük a választ, hogy

- a tézis második mondata szerinti *technológiaváltáshoz* milyen *szabványokra, módszerekre és eszközökre* van szükség, és ezek mikorra és milyen költségvonzattal állnak majd rendelkezésre,
- ez a technológiaváltás milyen ütemben és milyen mélységben érinti az egyes iparágakat, továbbá
- mely országok, régiók, illetve társadalmi csoportok lesznek e technológiaváltás nyertesei és vesztesei.

[HLG2004] felsorolja azokat a főbb kihívásokat és elérendő célokat, amelyek meghatározzák a fejlődést a következő években. Ezek a következők:

Kutatási kihívások

<i>Megnevezés</i>	<i>Jellemzés</i>
Szoftver	Kritikus a szerepe a beágyazott rendszerek tervezésében és kivitelezésében
Architektúra	Terjednek a heterogén, dinamikusan változó, hálózatba kötött alrendszerek
Bonyolultság (complexity)	Mind a tervezés, mind a kész megoldások tesztelése és validálása összetett kérdés
Hardver-szoftver egyidejű tervezése (co-design)	A hardver és szoftver elemeket egymással párhuzamosan kell megtervezni
Interdiszciplinaritás	A beágyazott rendszerek fejlesztéséhez különféle tudomány- és szakterületek mély ismerete, sokféle szakember együttműködése szükséges
Sérülékenység (vulnerability)	A rádiós összeköttetések nehezen védhetővé teszik a hálózatba kapcsolt beágyazott rendszereket a környezeti zajokkal és a szándékos támadásokkal szemben

Kutatási célok

<i>Megnevezés</i>	<i>Jellemzés</i>
Referenciatervek (reference designs)	Sokféle alkalmazási területen különféle beágyazott platformokra és szoftver környezetre
Köztes szoftverrétegek (middleware layers)	Az észrevehetetlen, akadálytalan kapcsolódás létrehozására nyílt adatátviteli hálózatokban, a gyors alkalmazásfejlesztés érdekében

Nyílt szabványok és együttműködési képesség (open standards and interoperability)	
Informatikai és kommunikációs technológiák (computing and communication technologies)	A jövő beágyazott rendszereinek megalapozására
Szoftver eszközök és fejlesztői platformok (software tools and development platforms)	A gyors tervezés és a prototípuskészítés támogatására

Technológiai kihívások

<i>Megnevezés</i>	<i>Jellemzés</i>
Rendszertervezés, bonyolultság, telepítés különféle platformokra, módszertanok	
Alapvető szoftver építőelemek	Valós idejű; párhuzamos és elosztott; operációs rendszerek; köztes szoftverréteg, igazolási eljárások, fejlesztési eszközök
Beágyazott számítási hálózatok (network-on-chip)	
Beágyazott processzorok, a Neumann-modell meghaladása	Kis teljesítményű (pl. mérés, adatgyűjtés) és nagy teljesítményű (orvosi képfeldolgozás, multimédia, légi felvételek, védelmi alkalmazások, távközlés) processzorok
Beépített biztonság, személyiségi jogok védelme	
Minőség	Mind az alkatrészek gyártása során, mind a tervezési folyamatban
Szolgáltatási minőség (QoS), pl. késleltetés, megbízhatóság, biztonság	
Validálás és verifikálás költségeinek csökkentése	Ma akár a fejlesztési költségek 40-50%-a
Hálózatban működő, illetve a hálózatot felismerő beágyazott rendszerek	
Kommunikációs protokollok	
Intelligens vezérlés	
Érzékelők és beavatkozószervek technológiája	
Nyílt rendszerek, együttműködésre képes rendszerek, szabványok	

A beágyazott rendszerek területén a fejlődést az alábbi trendekkel jellemezhetjük (lásd az ábrát).

Az 1980-as évek végén, a 90-as évek elején a beágyazott rendszerekben rendszerint egy-egy processzor volt, más beágyazott rendszerektől elszigetelve működtek. Az 1990-es évek végétől

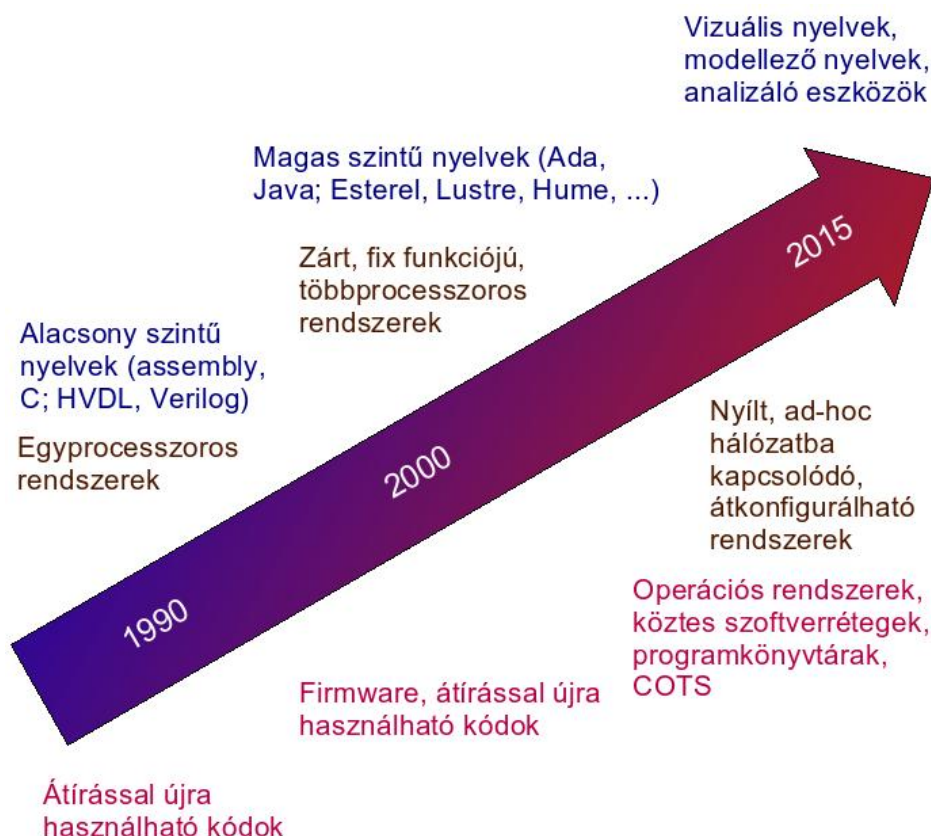
napjainkig a rögzített funkcionalitású beágyazott rendszerek egyre több, egymással együttműködő processzort tartalmaznak, amelyek azonban a külvilággal rendszerint nem vagy csak korlátozottan kommunikálnak. Az utóbbi néhány évben megkezdődött fejlődés – a vezeték nélküli adatátvitel terjedése, valamint méretcsökkenést és integrálást lehetővé tevő miniatürizálás – eredményeként módosítható funkciójú beágyazott rendszerekből álló nyílt, lazán csatolt, könnyen átkonfigurálható vagy ad-hoc hálózatok jelentek meg és fognak elterjedni a következő évtizedben.

A magas szintű programozási nyelvek létezése ellenére a leggyakrabban ma is C-ben vagy assembly nyelven programozzák a beágyazott rendszereket. A VHDL és a Verilog hardvertervező, -leíró nyelvek. Az Adát nagy rendszerek (katonai berendezések, repülőgépek), a Javát beágyazott rendszereken futó alkalmazások (pl. mobil eszközökben) programozására használják. A Lustre és az Esterel nyelvet ún. reaktív, azaz eseményekre válaszoló rendszerek programozására és hardvertervezésre is használják. A kísérleti fázisban lévő, funkcionális alapú Hume programozási nyelv erősen erőforrás-korlátos rendszerek programozására készül. Az interdiszciplinaritás problémája már a programozáskor is jelentkezik, ugyanis a hardver leírására szolgáló nyelveket a rendszerprogramozók, a rendszerek és alkalmazások fejlesztésére használt nyelveket pedig a hardvertervezők nem ismerik.

A beágyazott rendszerek világában a szoftver újrafelhasználása, rétegzése, szabványosítása még gyerekcipőben jár a többi informatikai területhez képest. Ennek több oka van: a tárkorlátok miatt a programok helyfoglalása kritikus kérdés; a programoknak a végrehajtási időt tekintve is hatékonyaknak kell lenniük; a hardverelemek rendszeresen változnak, a programokat a változásokhoz kell igazítani, és erre nincsenek automatizálható módszerek; a gyártók eddig nem voltak igazán érdekeltek a szabványosításban, hiszen a beágyazott rendszerek egymástól elszigetelten működtek. A továbblépéshez szükség van a szabványos elemek megjelenésére: megfelelő operációs rendszerekre (RTOS = Real-time operating systems; a perifériák vezérléséhez, az eseménykezeléshez, a párhuzamos szálak futtatásához stb.), köztes szoftverrétegekre (többek között a hálózati működéshez), szabványos programkönyvtárakra (gyakori feladatok megoldására), sőt a „polcra levehető” komplett alkalmazásokra is (COTS = code / commercial off-the-shelf).

A beágyazott rendszerek további, eddig még nem elektronizált, digitalizált iparágak termékeiben is megjelennek, illetve tovább terjednek (lásd a korábban említett példákat).

Különböző ágazatokban a beágyazott rendszerek lesznek az *innováció motorjai*: a befogadó rendszerek nemcsak funkcióbővülésen esnek át, de tulajdonságaik, biztonságuk, minőségük is jelentősen javulnak.



A beágyazott rendszerek nem egymástól elszigetelten, hanem fix és ad-hoc hálózatokat alkotva, egymással együttműködve fognak működni. Ez fokozza a biztonságos működésük iránti igényt, és növeli a bonyolultságukat. Beépített intelligenciájuk révén növekedni fog az autonómiájuk, a hatékonyságuk, a használhatóságuk, együttműködési képességük, flexibilitásuk.

Növekedni fog a tervezők termelékenysége is, mert amíg jelenleg a csipenkénti tranzisztorok száma 58%-kal nő évente, addig a mérnökök áramkör-tervezési termelékenysége csupán 21%-kal.

A legvalószínűbb várható állapotok a következők:

Megnevezés	Várható állapot
Szabványok	Plug&play műszerek, tulajdonságleíró adatlapok, egységesülő rádiós adatátviteli szabványok, szakterületenként adattartalom-szabványok
Architektúrák	Elosztott, lazán csatolt rendszerek lesznek túlsúlyban.
Kommunikáció	Vezeték nélküli túlsúlyban. Kis (pl. ZigBee) és nagy (pl. WiMAX) hatósugarúak egyaránt.
Tervezési minták, referenciarendszerek	Lesznek.
Modellező és analízáló eszközök	Modellező, analízáló és kódgeneráló eszközök terjedése (Viatra, GME – Generic Modelling Environment stb.)

<i>Megnevezés</i>	<i>Várható állapot</i>
Programozási nyelvek	Magas szintű nyelvek elterjedése (assembly, C helyett), pl. Esterel, Lustre, Hume
Operációs rendszerek	Újabb de-facto szabvány nyílt operációs rendszerek erősen erőforrás-korlátos eszközökre (TinyOS, Contiki); Embedded Windows és Embedded Linux folytatódó vetélkedése; a nyílt rendszerek előretörésével.
Fejlesztő platformok	Egyre többet tudó fejlesztőrendszerek megjelenése, a nyílt rendszerek terjedése mellett. Nem villamosmérnök- és mérnök-informatikus specialisták által is használható rendszerek (vö. LabView, és a ma még játék Mindstorms NXT).

4. A szükséges technológiai előfeltételek

Az előző szakaszokban részletesen foglalkoztunk a fejlődési tendenciák mellett a technológiai előfeltételekkel is, a következő táblázatban felsoroljuk a legfontosabbakat.

<i>Megnevezés</i>	<i>Jellemzés, magyarázat</i>
Energiaforrások	Kis méret, alacsony ár, hosszú élettartam, felügyelet nélküli, megbízható működés, mindez egyidejűleg!
Olcsó mótók	A szenzorhálózatok elterjedéséhez
Csökkentett energiaigény	Mótókban és más mobil eszközökben, a vezeték nélküli hálózati más elemeiben
Szabványosítás	A vezeték nélküli hálózati technológiákban, a készülékekben, a kommunikációs protokollokban stb.
Biztonsági, behatolásvédelmi technológiák	
Fordítóprogramok	Az erőforráskorlátokat (tárméret, veremméret, futási idő, reakcióidő, tápellátás stb.) figyelembe venni tudó, hatékony optimalizálás
Programkönyvtárak, újra használható kódok	
Operációs rendszerek	Beágyazott rendszerekre specializált, sokféle platformon működő, könnyen portolható valósídejű
Programozási nyelvek	Beágyazott rendszerekre specializált, magas szintű, hatékonyan fordítható

<i>Megnevezés</i>	<i>Jellemzés, magyarázat</i>
Modellező, analízáló és verifikáló eszközök, automatizált kódgenerálás	
Teljes szoftverfejlesztési folyamat lefedése	

5. Néhány folyamatban lévő K+F program rövid ismertetése

5.1. ARTEMIS

Az ARTEMIS Európai Technológiai Platformot 2004-ben hozták létre a beágyazott rendszerek fejlesztésében és alkalmazásában érdekelt európai nagyvállalatok (Philips, Siemens, Thales, Airbus, Nokia, Infineon, Bosch, Ericsson, ABB, BT, ARM stb.), valamint az Európai Bizottság. Az ARTEMIS fő célja az, hogy az ipari szféra vezetésével, a kutatási és a kormányzati szféra közreműködésével kidolgozza és elfogadtassa a *beágyazott rendszerek technológiájának stratégiai kutatási tervét* (Strategic Research Agenda, SRA) a 2007-2013-as időszakra. A tervet 2006 május közepén hozták nyilvánosságra. Az SRA megvalósítása sokrétű, sokszereplős feladat, amely a következő keretekben folyik:

- olyan kutatás-fejlesztési projektek keretében, amelyekhez az Európai Unió a 7. Kutatási, Technológiafejlesztési és Demonstrációs Keretprogram infokommunikációs technológiák alprogramjának költségvetéséből pályázati úton lehet támogatást kapni (az IKT alprogram egyik prioritása a beágyazott rendszerek témaköre);
- olyan kutatás-fejlesztési és innovációs projektek keretében, amelyekhez a *Közös Technológiai Kezdeményezés a Beágyazott Rendszerek Területén* (Joint Technology Initiative in the Area of Embedded Systems) program céljára elkülönített keretből, ugyancsak pályázati úton lehet támogatást kapni (a 2008 elején az ARTEMIS javaslatára induló programot az Európai Unió tagországai és az Európai Bizottság közösen finanszírozza);
- olyan fejlesztések keretében, amelyeket az európai vállalatok indítanak és finanszíroznak.

Az ARTEMIS iroda honlapja: <<http://www.artemis-office.org>>.

5.2. MEDEA+

Az EUREKA együttműködés keretében 2001 óta folyó MEDEA+ program célja a beágyazott rendszerek fundamentumát jelentő *mikroelektronikai fejlesztések* összehangolása Európában.

A MEDEA+ iroda honlapja: <<http://www.medeaplus.org>>.

5.3. ITEA2

Az EUREKA együttműködés keretében folyó ITEA2 program célja a beágyazott rendszerek fejlesztéséhez nélkülözhetetlen *szoftvertechnológiai eszközök* – szoftverintenzív rendszerek és szolgáltatások – kidolgozásának összehangolása Európában.

Az ITEA2 iroda honlapja: <<http://www.itea-office.org>>.

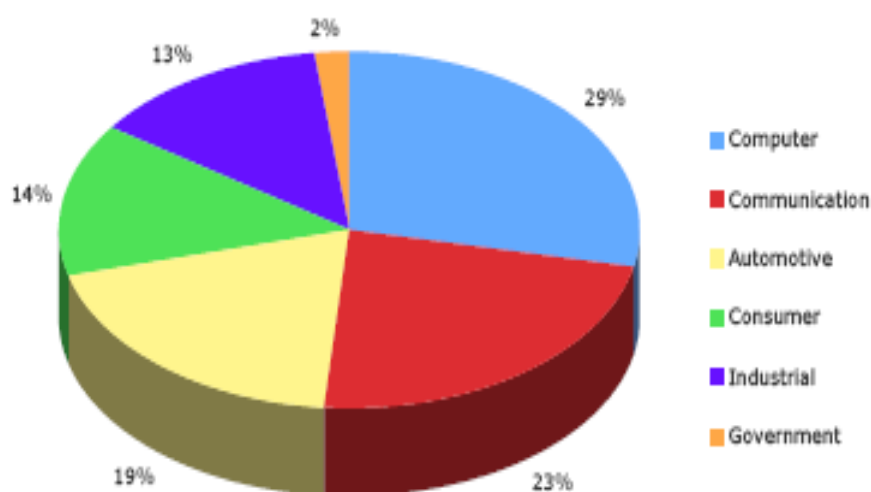
5.4. ARTIST2

Az Európai Bizottság támogatásával 2002-ben indult ARTIST2 kiválósági hálózat (network of excellence) célja a beágyazott rendszerek kutatásának és oktatásának összehangolása Európában.

Az ARTIST2 projekt honlapja: <<http://www.artist-embedded.org>>.

6. Más területekre való hatások bemutatása

A következő ábra az elektronikus alkatrészek 2004. évi piaci részesedését mutatja különféle ágazatokban, és így a beágyazott rendszerek hatását is jól jelzi az egyes ágazatokra.



Forrás: [FAST2005]

Nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy a következő évtizedben a beágyazott rendszerek a többi, itt nem szereplő iparágba is „behatolnak”, és alapvetően megváltoztatják a hagyományos termelési technológiákat. Azok, akik a technológiaváltásra nem képesek, lemaradnak a globális versenyben.

A technológiaváltáshoz tőke és még inkább tudás kell. A technológiaváltás költsége részben csökkenthető (lenne) szabványosítással, illetve nyílt forráskódú rendszerek (pl. fejlesztőeszköz-családok) közösségi alapon történő kidolgozásával. A közvetlen (iskolai, tanfolyami) és a közvetett (pl. munkaidő-kiesésből származó) oktatási költségek azonban nem vagy alig csökkenthetők.

Az oktatás tartalmában is változásra van szükség. Olyan szakemberek kellene, akik képesek a hardver és a szoftver egyidejű tervezésére (az utólagos integráció nem megfelelő), vagyis mindkét területen alapos ismeretekkel rendelkeznek. Mivel a beágyazott rendszerek interakcióban vannak az őket körülvevő világgal, a tervezésükhöz alapos természettudományos – matematikai, fizikai, kémiai, sőt biológiai – ismeretek is kellene. A hálózatos működéshez távközlési, adatátviteli tudás, a kivitelezéshez anyagtudományi ismeretek kellene s.í.t. A beágyazott rendszerek tervezése igazi interdiszciplináris tevékenység. Ezt a sokféle tudást egyetlen emberben megtalálni lehetetlen: beágyazott rendszereket csakis csoportmunkában, sokféle szakértelemmel rendelkező ember tartós és szoros együttműködésével lehet készíteni. Mindez a felsőoktatást és a szakképzést is új kihívások

elé állítja.

A beágyazott rendszerek egy része – elsősorban az ún. ambiens rendszerek – autonóm módon adatokat gyűjt, tárol és dolgoz föl a környezetében lévő tárgyakról és élőlényekről, köztük emberekről. Ez adatvédelmi és más jogi kérdéseket vet föl. A beágyazott rendszer és hálózat meghibásodása olyan károkat okozhat, amelyeknek ugyancsak lehetnek jogi, büntetőjogi következményei. A vezeték nélküli kommunikáció az adatokhoz való illetéktelen hozzáférést megkönnyíti, a beágyazott rendszert sérülékenyebbé, védtelenebbé teszi, ezért más hálózati alkalmazásokhoz hasonlóan itt is rendkívül fontosak a megbízhatósági és biztonsági kérdések.

7. Társadalmi-gazdasági hatások elemzése

Amíg a beágyazott rendszerek elsősorban az elektronikai termékeket előállító high-tech iparágakban – a számítógépiparban, a szórakoztató elektronikai és más fogyasztási elektronikai cikkeket előállító iparban – terjedtek el, az átállás különösebb nehézséget nem jelentett. A gépjárműiparban a váltáshoz sok idő kellett, ma is folytatódik. A repülőgépiparban is folyamatosan zajlik, óriási költségekkel. Némileg meglepő módon a technológiaváltással járó költségek még a nagyvállalatokat is megterheli, ezért közülük is többen *szorgalmazzák a nyílt és szabad elérésű fejlesztő platformok* használatát.

Az igazi krízist az okozza, hogy – ahogy többször leírtuk – kis túlzással lassan nem lesz olyan termékcsoport, amelyet ne program és processzor vezérelne, azaz a beágyazott rendszerek fejlesztési technológiájának ki kell lépnie egy eddig viszonylag szűknek tekinthető szakma keretei közül, és olyan emberek kezébe kell adni (kezébe kerül!), akiknek sem képzettségük, sem jártasságuk nincs ilyen rendszerek fejlesztésében, alkalmazásában. Azok a technológiai lyukak, amelyek kezelhető kockázatot jelentenek gyakorlott specialisták kezében, óriási kockázatot jelenthetnek, ha nem vagy kevésbé szakavatott kezekbe kerülnek.

Talán nem sántít nagyon a következő példa: a gyógyszeripar az utóbbi évtizedekben óriási fejlődésen ment keresztül, és ma már a korábbiakhoz képest nagyon erős és hatékony, de esetleg különféle veszélyes mellékhatásokkal járó gyógyszer van forgalomban. Az orvosokat (többek között) arra képezik ki, hogy a működési mechanizmusok ismeretében és lehetőleg az összes körülmény mérlegelésével válasszanak gyógyszert a pácienseik számára. Ha lehetővé tennék, hogy a gyógyszereket bárki korlátozás nélkül megvásárolja és saját belátása szerint alkalmazza, az beláthatatlan következményekhez vezetne.

A fentebb vázoltak szerint mindenféle termék gyártója erős készletet fog érezni, hogy beágyazott rendszer alkalmazásával korszerűsítse termékeit. Egyre növekszik az igény fejlesztő specialistákra, amit a felsőoktatás nem tud kielégíteni: a kereslet a beágyazott rendszerek fejlesztésére képes mérnök-informatikusok, villamosmérnökök iránt már ma is jóval nagyobb a kínálatnál, Magyarországon is. A beágyazott rendszerek fejlesztésével foglalkozók képzettsége, gyakorlottsága nagyon változó, és a nagy kereslet miatt még inkább az lesz a közeljövőben. Olyan fejlesztési technológiára lenne szükség, amely a képzettségi és gyakorlottsági lyukakat képes kiegyenlíteni, elfedni, az ezekből fakadó veszélyeket pedig kiküszöbölni vagy csökkenteni.

Végül felvetünk néhány kérdést, amelyekre ez a tanulmány nem tud válasz adni:

- Mi lesz azokkal a vállalatokkal, amelyek a „beágyazott forradalomból” kimaradnak?

- Mi lesz azokkal, amelyek a megfelelő technológia birtoklása nélkül lépnek be a „beágyazott forradalomba”?
- Milyen hatással lesz a programozott működés, az ebből fakadó a „virtualizálódás”, továbbá az átprogramozás lehetősége (a „szoftverelés”) a javító- és szolgáltatóiparra, a szervizekre?
- Hogyan kell kezelni a tényleges vagy vélelmezhető veszélyeket (pl. erősödő függőség személyektől, szervezetektől, eszközöktől, gyártóktól, szolgáltatóktól, szervizektől; [digitális] esélyegyenlőtlenség; befogadásképtelenség pénz, képesség, ismeretek hiánya vagy félelmek miatt; sérülékenység pl. külső behatolás vagy szándékos rongálás hatására; átprogramozhatóság)?
- Hogyan kell felkészíteni a társadalmat ezekre a tényleges vagy vélelmezhető veszélyekre?

8. Következtetések

A beágyazott rendszerekre való átállással járó technológiaváltás szinte *az összes iparágat* érinteni fogja. Ahhoz, hogy ez különösebb zökkenők nélkül bekövetkezzék, a beágyazott rendszerek *fejlesztési és alkalmazási technológiájának* kell jelentős *változáson* átesnie. Elsősorban a *szoftvertechnológia területén* van szükség nagyon jelentős változásra.

9. Hivatkozások jegyzéke

Tanulmányok

1. [HLG2004] Building ARTEMIS. Report by the High Level Group on Embedded Systems, 2004. <http://www.artemis-office.org/DotNetNuke/LinkClick.aspx?link=Documents%2Fbuilding_artemis_final_report_en.pdf&tabid=58&mid=385>
2. [FAST2005] Study of Worldwide Trends and R&D Programmes in Embedded Systems, 2005. Fast GmbH. <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/embedded/final-study-181105_en.pdf>
3. [ITEA2005] Software Intensive Systems in the future, ITEA, 2005. <http://www.itea-office.org/attachments/150/ITEA_SIS_in_the_future_Final_Report.pdf>
4. [SRA2006] ARTEMIS Strategic Research Agenda, 2006. <<http://www.artemis-office.org/DotNetNuke/Portals/0/Press%20documents/SRA%20MARS%202006.pdf>>

Szervezetek, hálózatok weblapjai

1. Artemis Office: <<http://www.artemis-office.org>>
2. Európai Bizottság, beágyazott rendszerek osztálya: <<http://cordis.europa.eu/ist/embedded>>
3. Medea+: <<http://www.medeaplus.org>>
4. ITEA2: <<http://www.itea-office.org>>
5. ARTIST2: <<http://www.artist-embedded.org>>
6. NJSZT BeAm-IM: <<http://www.beam-im.hu>>

Projektek weblapjai

1. RUNES: <<http://www.ist-runes.org>>
2. DECOS: <<https://www.decos.at>>
3. EmBounded: <<http://embounded.org>>
4. További projektek: <<http://cordis.europa.eu/ist/embedded/projects.htm>>

Kutatóhelyek honlapjai:

1. Embedded Systems Institute: <<http://www.esi.nl>>
2. Networked & Embedded Systems Laboratory: <<http://nesl.ee.ucla.edu>>
3. Center for Embedded Networked Sensing, UCLA: <<http://research.cens.ucla.edu>>
4. BME-MTA Beágyazott Információs Rendszerek kutatócsoport: <<http://bri.mit.bme.hu>>
5. Embedded Computing Systems Group: <<http://ti.tuwien.ac.at/ecs>>
6. Berkeley Sensor & Actuator Center: <<http://www-bsac.eecs.berkeley.edu>>
7. Berkeley Wireless Embedded Systems: <<http://webs.cs.berkeley.edu>>
8. Berkeley Center for Hybrid and Embedded Software Systems:
<<http://chess.eecs.berkeley.edu>>

Termégyártók weblapjai:

1. Gumstix: <<http://www.gumstix.com>>
2. Glomation: <<http://www.glomationinc.com>>
3. LEGO Mindstorms NXT: <<http://mindstorms.lego.com>>
4. Tmote: <<http://www.moteiv.com>>

Egyéb magánszervezetek weblapjai:

1. Hirlevelek, periodikák: <<http://www.embedded.com>, <<http://www.eetasia.com>>
2. Termékek: <<http://microcontrollershop.com>>
3. Konferenciák: <<http://www.esconline.com>>
4. Kiállítások: <<http://www.embedded-world-2008.de>>

10. A fogalomtár kiegészítése

Beágyazott rendszer (embedded system): olyan processzoralapú, programvezérlésű elektronikus eszköz, illetve ilyen eszközökből alkotott rendszer, amely a befogadó fizikai / kémiai / biológiai környezetét *autonóm* módon képes *érzékelők* segítségével *megfigyelni* és *beavatkozók* segítségével *befolyásolni*.

USB (Universal Serial Bus): szabványos soros busz eszközök csatlakoztatására. Eredetileg személyi számítógépekhez perifériák csatlakoztatására tervezték, de rövid időn belül elterjedt fényképezőgépek, kézi számítógépek, hordozható videójátékok és médialejátszók csatlakoztatására is. (Wikipedia)

ZigBee: többféle magas szintű kommunikációs protokoll specifikációja kis energiafelhasználású digitális rádiók számára; a specifikáció a vezeték nélküli személyes hálózatokat (wireless personal area networks, WPANs) definiáló IEEE 802.15.4 szabványon alapul. (Wikipedia)

Mellékletek

a Beágyazott rendszerek, intelligens környezetek c. mélyfűráshoz

*Hanák Péter, V0.7, 2007. ápr. 6.***1. melléklet: Önálló, fizikailag is elkülönülő beágyazott rendszerek****Tmote Sky**

- MSP430 (16-bit) @ 8MHz
- 48k Flash, 10k RAM
- 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4 Chipcon vezeték nélküli adó-vevő
- Integrált ADC, DAC, tápfeszültség-felügyelet és DMA vezérlő
- Opcionálisan integrált hőmérő, valamint páratartalom- és fényérzékelők
- 65,5mm × 32,0mm

Motive Corp., San Francisco, USA

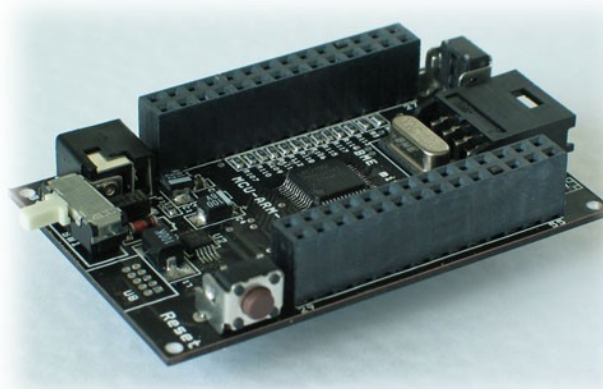
Kereskedelmi forgalomban, USD 780 / 10 db

**Mitmót**

- ARM7 (32-bit) @ 54MHz
- (Philips LPC2106)
- 128k Flash, 64k RAM
- Modulárisan illeszthető perifériakártyák:
 - egyszerű I/O (ledek, nyomógombok)
 - motorvezérlő és fordulatszám-mérő
 - akusztikus (mikrofon, hangszóró)
 - rádiós kapcsolat
 - ethernet

BME MIT, Budapest

Saját fejlesztés, oktatási célra

**Gumstix verdex XM4-bt**

- Marvell® PXA270 with XScale™
- 400MHz
- 16MB Flash, 64MB RAM
- Bluetooth(TM) communications
- USB host signals
- CCD camera signals
- 80mm × 20mm

Gumstix Corp., USD 159

➤ **verdex XM4-bt**

GESBC-9315 Embedded Single Board Computer

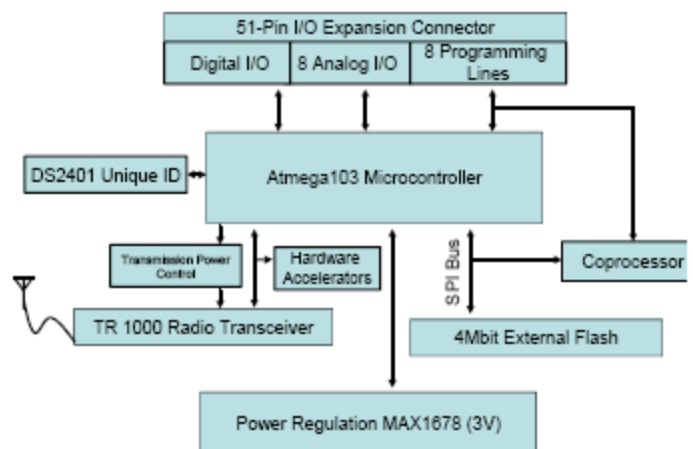
- 200MHz Cirrus Logic EP-9315 ARM
- 64M 100MHz nagysebességű SDRAM , 8~32M Intel STRATA FLASH
- 10/100 baseT Ethernet
- 3 USB, 3 UART with RS-485 and IRDA
- Integrált IDE Compact Flash-sel
- PCMCIA
- LCD vezérlő, TFT/STN VGA-val
- Integrált érintőképernyő-támogatás
- A/D, D/A
- 15,9cm × 10,7cm

Glomation Corp., USA, USD 150



A MICA Mote architektúrája

- Atmel ATMEGA103
 - 4 Mhz 8-bit CPU
 - 128KB programmemória
 - 4KB RAM
- 4 Mbit flash (AT45DB041B)
 - SPI interfész
 - 1-4 uj/bit r/w
- RFM TR1000 rádió
 - 50 kb/s – ASK
 - fókuszált hardvergyorsítás
- Hálózati programozás
- UC Berkeley



Spec mote



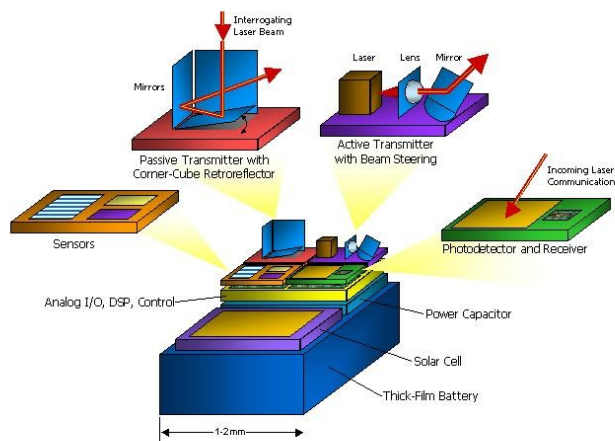
- Mérete ~5mm², lapka ára ~0.3 USD, kiegészítők (induktivitás, kristály, akkumulátor) ára ~0.3 USD
- UC Berkeley

Spec mote egy MICA Mote tetején



Smart Dust mote

A fejlesztés célja egy autonóm, egy-két milliméteres érzékelő és kommunikációs platform nagymértékben elosztott szenzorhálózatokhoz. Ez az eszköz nagyjából homokszem méretű lesz, és érzékelőket, számítási kapacitást, kétirányú vezeték nélküli kommunikációt és erőforrást fog tartalmazni, mégis elég olcsó lesz, hogy százával lehessen kihelyezni a terepre. A tudományos és mérnöki cél egy teljes, összetett, apró méretű rendszer megépítése a jelenlegi (és határozottan nem jövőbeli) technológiával, amelyhez evolúciós és forradalmi haladásra van szükség az integrációban, a miniaturizálásban és az energiafelhasználásban. UC Berkeley, USA.



2. melléklet: Beágyazott rendszerek tipikus hardver komponensei

MSP 430 microcontroller

Device Configuration	Ultra-Low Power
• 1-KB to 120-KB ISP Flash	• Zero-power Brown Out Reset (BOR)
• RAM up to 10 KB	• 1- μ s clock startup
• 14- to 100-pin options	• 50-nA pin leakage
Integrated Peripherals	• UART/LIN
• 10-/12-/16-bit ADC	• PC
• 12-bit DAC	• SPI
• Comparator	• IrDA
• LCD driver	• Hardware multiplier
• Supply Voltage Supervisor (SVS)	• DMA controller
• Operational amplifiers	• Temperature sensor
• 16-bit and 8-bit timers	
• Watchdog timer	

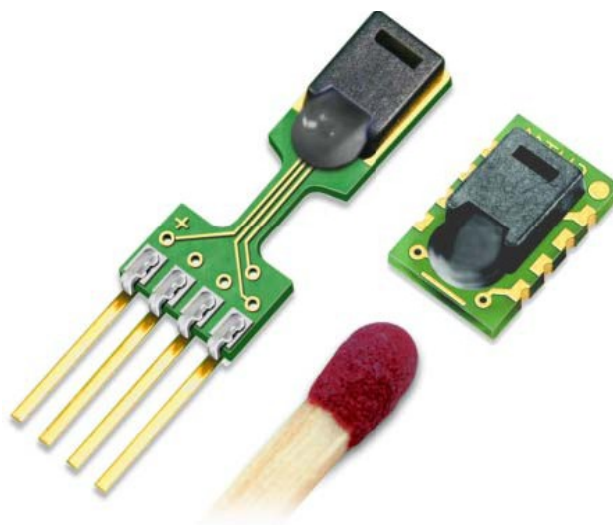
Texas Instruments, USA



SHT1x / SHT7x

Humidity & Temperature Sensor

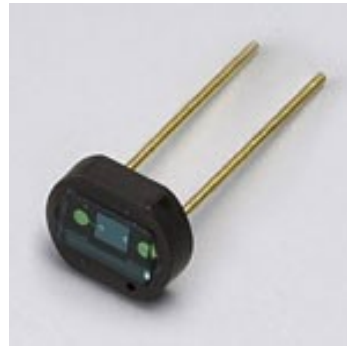
- Relative humidity and temperature sensors
- Dew point
- Fully calibrated, digital output
- Excellent long-term stability
- No external components required
- Ultra low power consumption
- Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- Small size (3.7mm × 13.5mm)
- Automatic power down



Si fotodióda (S1087)

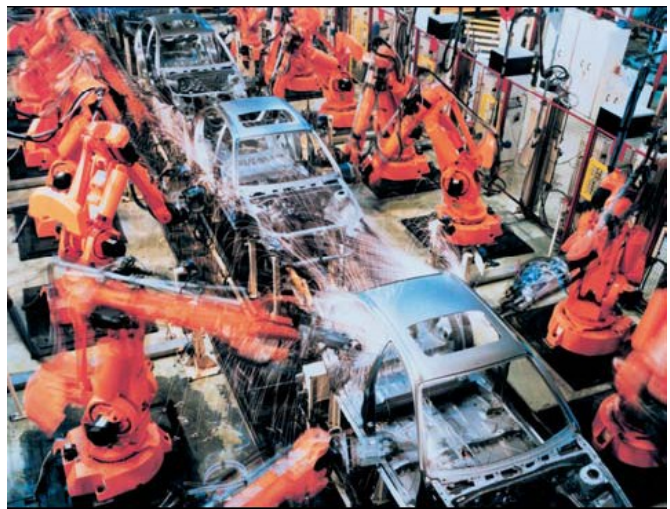
Alkalmazások:

- fénymérő
- expozíció mérése kamerában
- stroboszkóp fényvezérlése
- fénymásoló
- kijelzők fényvezérlése
- optikai kapcsoló

**3. melléklet: Példák beágyazott rendszerek működtette befogadó rendszerekre****Gyártórobotok**

Az ABB termékskálája több százezer olyan cikket tartalmaz, amely az elektromos eszközök és az ipari folyamatok termelékenységét és biztonságát hivatott hosszú távon növelni. Mindegyik termék intelligenciája legalább egy beágyazott processzornak köszönhető. Ezeknek az eszközöknek az összehangolása és szinkronizálása bonyolult kommunikációt igényel több szinten a beágyazott számítógépek ezrei között. Ehhez hasonló kihívások megoldása versenyelőnyhöz fogja juttatni az európai ipart.

ABB

**Okos szőnyegek (Smart carpets)**

Az okos szőnyeg képes arra, hogy világítva mutassa az utat.

Infineon Technologies



Intelligens közlekedés

Public safety rely on dependable infrastructures from communications to navigation.
Nokia

**Bluetooth-os EKG eseményrekorder**

- MSP 430 mikrovezérlő
- 3 független bipoláris vagy 5 független unipoláris EKG csatorna
- 1200 vagy 600 Hz-es mintavétel
- 12 bit-es A/D felbontás
- 8-60 perc tárolási kapacitás minőségől és csatornaszámtól függően
- 66 × 59 × 17 mm, ~49 g + elem tömege

Meditech Kft., Budapest

**Total Intelligence Healthcare Chair**

Employing techniques designed to release new energy, the Healthcare massage chair offer a series of stimulating massages to revitalise the entire body. Its enhanced kneading skills will dilate blood vessels and enhance the body's metabolism and you thought all massage chairs were one and the same!!! 5 automatic massage programs are included to relax and invigorate body and mind and an LCD control panel enables you to select a 5-30 minute timer setting for a quick post-work wind-down or a half hour pampering!



The EndoSure Wireless AAA Pressure Measurement System is composed of two components: a miniaturized, wireless implantable sensor and an external electronics module. The external electronics module wirelessly communicates with our sensors to deliver vital patient data. Our wireless sensors are powered by RF energy transmitted from an external electronics module and transmit real-time data without batteries.

The EndoSure sensor is designed and manufactured using microelectromechanical systems, or MEMS, technology, which enables the fabrication of millimeter-scale devices with internal features in the nanometer to micrometer range. MEMS technology allows the creation of sensors with measurement stability and energy efficiency.

CardioMEMS

Continuous Eye Pressure Monitoring
CMT develops an implantable highly miniaturized pressure sensor which is powered wirelessly from outside and transmits the eye pressure to an external device. The pressure sensor might be integrated into an artificial lens which commonly replaces the natural lens in cataract disease. Many cataract patients have co-existing glaucoma disease. Alternatively the pressure sensor may be implanted as stand-alone device.

Campus Micro Technologies GmbH

