

*Aude Billard – Ben Robins –
Kerstin Dautenhahn –
Jacqueline Nadel*

Franciaország, LASA Laboratory, School of Engineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – Egyesült Királyság, Adaptive Systems Research Group, University of Hertfordshire – Franciaország, Hospital de la Salpêtrière

Robota – mini-humanoid robot az autista gyerekek rehabilitációjára

A Robota projektben olyan, több szabadsági fokkal rendelkező humanoid robotokat alkotunk, amelyeknek a fizikai jellemzői a kisbabákra hasonlítanak. A Robota robotokat viselkedéstudományi kutatásban oktatástechnológiai segítségként használtuk autista, viselkedési problémákkal küszködő gyermekek körében.

A projektben egyrészt azt vizsgáltuk, hogy utánzó robot segítségével hogyan értékelhető a gyerekek utánzási képessége, másrészt egyszerű koordinált viselkedést tanítottunk vele. Ebben az írásban áttekintjük a nemrég lezajlott technológiai fejlesztéseket, amelyek lehetővé tették Robota felhasználását autista gyermekek között. Kritikailag értékeljük két, Robotával végzett viselkedéses vizsgálat sorozat főbb eredményeit, és elemezzük, hogyan hasznosíthatók ezek Robota jövőbeni fejlesztésében; és általában véve az összetett fejlődési problémákkal küszködő gyerekek rehabilitációjában fejlesztendő robotok számára.

Robota portréja

Robota a babaformájú humanoid robotok egy szériájának neve. A Robota projekt a robotika jelenkori irányzatának része, mely kutatásokban oktató játékrobotokat fejlesztenek ki. (például Michaud és Caron, 2002; Plaisant és mtsai, 2000; Kozima és mtsai, 2002) Az irányzat célja az, hogy megértsük, milyen szerepet játszhatnak a „szórakoztató” robotok a gyerekek fejlődésében. Ez a megközelítésmód túlmegy a játékos robotok építésén, amelyek egyetlen célja a használó szórakoztatása. (például Fujita és mtsai, 2003; Sawada és mtsai, 2004), és hangsúlyozza a robotok szerepét az oktatásban és gyógyászatban

A robotok mint szórakoztató eszközök felhasználása során mind a robot fizikai megjelenését, mind az irányító rendszert illetően több szempontot kell figyelembe venni. Például a szórakoztató robotok külső megjelenésének sokféle esztétikai követelményt kell kielégítenie, hogy rokonszenvesnek és játékosnak látszódjanak. (Breazeal, 2002; Kitano és Fujita, 2000; Montemayor és mtsai, 2000) Ezzel szemben a fogyatékos gyermekek számára készülő robotoknál bizonyos esetekben más megszorítások érvényesek a külső megjelenéssel kapcsolatban. Mindenekelőtt a robotnak a hagyományos előírásoknál erősebb felépítésűnek kell lennie (Michaud és Theberge-Turmel, 2002), és nem feltétlenül előnyös emberi jellemzőket mutatnia. Például Robin és mtsai (2004) kimutatták, hogy az autista gyerekek sokkal könnyebben interakcióba lépnek a robottal, ha annak az arca leegyszerűsített (nincsenek valódi arcjellemzők), mint amikor erősebben hasonlít az emberére.

Michaud és Caron (2002), Dautenhahn (1999), Dautenhahn és Werry (2002) kutatásában a robot nem hasonlít az emberi testre, és az interakció a robot és a gyermek koordi-

nált térbeli mozgásán alapul. Ebben az esetben a hangsúly a robot viselkedésének interaktív és mozgáskoordinációs aspektusain van. Ezzel szemben Plaisant és mtsai (2000), Kozima és mtsai (2002, 2005), Scasselatti (2005) kutatásában és az Aurora projektben (Robins és mtsai, 2004a, 2004b; Dautenhahn és Billard, 2002) a robot legalább részben a gyermek testéhez hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. Kozima (2002) kutatásában a robot teljesen emberi alakot kapott, beleértve a kezét és a fejet. Ez a fajta erős hasonlóság arra használható, hogy sokféle alapvető emberi interakciót szimuláljunk, mint például rámutatás valamire, együttes figyelem és a hosszas odafigyelés irányultsága. Más kutatások ugyanakkor kimutatták, hogy az ilyen, emberihez hasonló interakciókat el lehet érni egyszerűbb felépítésű robotokkal is. Például Plaisant és mtsai (2000) vizsgálatában a robot egy szőszös állatka volt, két robotkarral. A robot képes volt tükörképszerű utánzó viselkedésre a két kezének csapkodásával. Míg a robot általános felépítése nem emlékeztet az emberre, a test szimmetriái, amit a fej és két kéz biztosít, elégségesek, hogy a gyerekek megértsék általa az egyszerű utánzó játékot. Kozima és mtsai (2005) kutatásában a robot egy kicsi hőemberszerű baba, kezek nélkül, de kifejező arccal, amely közvetíti szándékait, amikor ránéz a gyerekre. Egy ilyen egyszerű felépítés elegendő volt a spontán, kétszereplős interakció létrehozására. Végül Scasselatti (2005) vizsgálatában távirányítású és egyszerű érzelmek kimutatására alkalmas emberarcot mutattak az interaktív és játékos programokban résztvevő autista gyerekeknek.

A Robota projekt a robot emberi tulajdonságait hangsúlyozza, és különösen a robot arcának emberszerű megjelenítését. A Robotával folytatott kutatásoknak két célja van: szisztematikusan tesztelni az autista gyerekek reakcióját a robot különböző emberi tulajdonságaira; értékelni, hogy milyen mértékben képesek az autista gyerekek különbséget tenni aközött, hogy az érzékelés a saját tevékenységeik vagy érzékelésük eredménye, avagy mások tevékenységéből ered. Az utóbbi mérésére Robota részt vesz egyszerű utánzós játékokban, használva a lábakat, a kezeket és a fejet.

Robota: technológiai fejlesztések

Megfontolások a felépítéssel kapcsolatban

Az, hogy Robotát autista gyerekekkel végzett kísérletekben használtuk, számos megszorítást jelentett a robot mechanikájának és elektronikájának megalkotásában. Konkrétan: Könnyű felépítés:

– A robot méretének és súlyának kicsinek kellett lenni, hogy a kísérletvezető könnyen tudja mozgatni a szobában (1) és ha szükséges, egy gyermek is arrébb tudja vinni. (2) Vizsgonyítási pontnak a kereskedelmi forgalomban kapható babák átlagos méretét és súlyát tekintettük, ami 50cm, illetve 1kg.

– A robot kezelését a helyszínen kell megoldani, a kísérleti szobában könnyedén, elemmel működtetve.

– A költségeket alacsonyan kell tartani, hogy az együttműködő iskolák és intézmények esetleg meg tudják vásárolni.

Megjelenés és viselkedés:

– A robot testének és arcjellemzőinek emberinek kell lenniük. Robota hidat képez az autista gyerekekkel társas és játékos viselkedésben résztvevő, nem-emberi megjelenésű gépek és az emberek között, akikkel ők köztudomásúlag nehezen teremtenek kapcsolatot. A 3.1. részben röviden összefoglaljuk, milyen különbséget tapasztaltunk a gyerekek reakcióiban, amikor Robota emberi megjelenésű arca helyett nem-emberi arc szerepelt a kísérletben.

– A robotnak gyermekbarátnak kell lennie. Ez motivált minket arra, hogy kereskedelmi forgalomban kapható babát használjunk föl. Egy olyan tárgyat szándékoztunk a gye-

rekeknek bemutatni, amelyhez már hozzászoktak játék közben otthon és az iskolában. Azt feltételeztük, hogy ha a robot pontosan úgy fest, mint egy bolti baba, amellyel játsszani szoktak vagy legalábbis mindennap láthatják, akkor kiküszöböljük a meglepetés hatását, amit általában egy robot kelthetne bennük. A terapeutákkal és a felkeresett iskola tanáraival folytatott megbeszélések után egyetértettünk abban, hogy egy Robotaszerű baba illik az iskolában megszokott dolgok közé. És valóban, a robotot jól fogadta minden gyerek. Sőt, egy esetben az történt, hogy a Hospital de la Salpetriere-ben folytatott teszt alatt egy gyerek észrevette, Robotá hasonlít a kedvelt iskolai babához. Odament a babához, hogy összehasonlítsa Robotával, ahogyan azt majd a 3.2. pontban látjuk.

– Noha eredetileg a robotot nagyon sokféle képességgel elláttuk, hogy sokféle interakcióra alkalmas legyen, hamar világossá vált, hogy a szisztematikus vizsgálatok kivitelezéséhez csak a képességek egy részét érdemes felhasználni. A mostani kutatásaink Robotával arra irányultak, hogy megmérjük, mennyire képesek az autista gyerekek helytállni egy egyszerű utánzásos játékban, amely az egész testet igénybe veszi. A szabadsági fokok (DOF, degrees of freedom) számának gazdaságossá tételével legfeljebb 5 DOF-ot osztottunk szét a végtagok külön-külön vett irányítására.

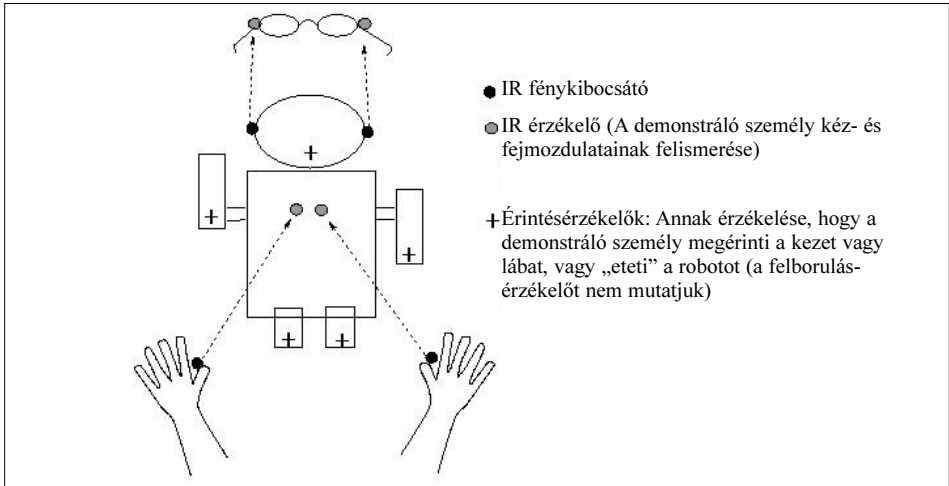
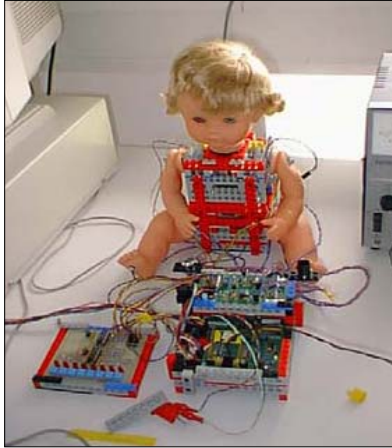
Robota alapvető hardver-felépítése

A Robota-projekt 1997-ben indult, amikor LEGO alkatrészekből és egy kereskedelmi forgalomban kapható baba műanyag darabjaiból elkészült az első prototípus. (1. ábra) Az eredeti robot egy pár infravörös detektorral volt ellátva, hogy azzal nyomon kövesse a felhasználó kezét és fejét. Mindkét detektor egy fénykibocsátóból és egy detektorból állt. Az infravörös receptorokat a robot mellkasában helyeztük el, és ez mérte azoknak az infravörös fénykibocsátóknak a jeleit, amelyeket a felhasználó tartott a két kezében. A felhasználó a robottal szemben ült vagy állt. A kibocsátott jeleket, amelyeket a robot mellkasában lévő érzékelők fogadtak, használtuk a robot karjainak irányítására. Vagyis amikor a felhasználó megmozdította a bal karját a robot előtt, akkor a jobb oldali detektor aktiválódott, és parancsot adott a robot jobb karjának mozgatására. Ezek a karlendítések adott gyakorisággal ismétlődtek. Két másik infravörös fénykibocsátót a robot füleire helyeztünk, míg a hozzátartozó infraérzékelők egy szemüvegbe voltak beépítve, amelyet a felhasználó viselt. Fototaxist (3) kiviteleztünk a két infravörös fénykibocsátón a robot fejének irányítására. Ez azt jelenti, hogy amikor a felhasználó például balra nézett, akkor a szemüvegen a bal érzékelő teljes „aktiválásban részesült”, míg a jobb oldali semmilyenben. Ez parancsot adott a robotnak, hogy balra mozdítsa a fejét, és megfordítva. Körülbelül fél másodperc késleltetés után a robot visszazamogatta fejét a semleges helyzetbe, a felhasználóval szembenézve. Ennek eredménye az volt, mintha a robot tükörképszerűen utánozná a felhasználó kéz- és fejmozgásait.

Az első prototípust hét autista gyermekkel végzett teszt sorozatban használtuk az Aurora-projektben. (Dautenhahn és Billard, 2002) A szemüveg viselése kényelmetlen és célszerűtlen volt az autista gyerekeknek, akik általában nem szeretnek idegen eszközöket viselni. Továbbá fontossá vált, hogy a robotot erősebbé fejlesszük, hogy a gyerekek a törés veszélye nélkül megérinthessék.

Ezek után számos lépésen keresztül jutottunk el a Robota kereskedelmi prototípusának megalkotásához. (2. ábra)

Robota, amelyet jelenleg a DIDEL SA (4) árusít 3000 USD-ért, öt szabadsági fokkal (DOF) rendelkezik: 1–1 DOF a lábaknak, 1–1 a kezeknek és 1 a fejnek. Egyenáramú motor, 1:6 áttétellel irányította a DOF-okat, folyamatosan elérhető 90 mNm forgatónyomattal. Robota elektronikus alkatrészei a mozgató és az érzékelő részből állnak. A mozgató részt egy RS232 széria tartozék irányítja PC-ről vagy PocketPC-ről. Az érzékelő részt egy SPI (serial peripheral interface) széria interface irányította. Egy külső billentyű-



1. ábra. (felső rész) Robota első prototípusa, LEGO darabokból építve. (alsó rész) Az infravörös detektorok (fénykibocsátók és érzékelők) sematikus rajza, amelyek az első prototípus utánczó játékát vezérlik.



2. ábra. (bal oldal) Három Robota robot. A középsőt Compaq iPAQ 3850 processzorral szereltük fel. (jobb oldal) A Robota PocketPC-jére szerelt kamera lehetővé teszi, hogy a robot fénynyalábbal letapogassa a felhasználó kezét és orrát, és felismerje bőrszínét. Robota ezáltal képessé válik a felhasználó kéz- és fejmozdulatainak tükröképszerű utánczására.

zet is csatlakoztatható egy másik SPI porton keresztül. A mozgató rész az érzékelő rész és a külső billentyűzet irányítójaként működik. A három egységet együttesen egy PIC (Programmable Interrupt Controller) mikrokontroller vezérli.

Bizonyos kísérletekben (ld. később) Robotát Compaq iPAQ 3850 palm top számítógéppel láttuk el. A Pocket PC-t a robot első részére szereltük föl (2. ábra), és ez a robottal az RS232 interface-szel kommunikál. Az iPAQ-ot FlyCAM-CF kamerával szereltük föl. A kamera szembenéz a felhasználóval, másodpercenként 15 darab 160x120 pixeles felbontású képet készítve. Az iPAQ processzora StrongARM 32 bites RISC processzor, amely 206 MHz-en működik, 64MB RAM-mal. A FlyCam-CF kamerát CompactFlash memóriakártyához csatlakoztattuk a PocketPC Expansion Pack-en keresztül. A további technikai részletekért ld. Calinon és Billard (2003).

A 2. táblázat Robota alkotóelemeit mutatja be a különböző felhasználásokban. A Robota PocketPC-jére szerelt kamera lehetővé teszi, hogy a robot fénynyalákkal letapogassa a felhasználó kezét és orrát, és felismerje bőrszínét. (Calinon és Billard, 2003) Robota ezáltal képessé válik a felhasználó kéz- és fejmozdulatainak tükörképszerű utánzására. A felszerelt kamera helyettesíti az első prototípuson használt infravörös berendezést (1. ábra), lehetővé téve a gyerekek mozgulatainak nyomon követését, és ez az eszköz elfogadhatóbb az autista gyerekek számára. Ráadásul így a felhasználónak nem kell viselnie semmilyen eszközt (például szemüveget).

1. táblázat. Robota technikai jellemzői

| | |
|--------------------------------|--|
| Magasság | 45cm |
| Szélesség | 14cm |
| Tömeg | kb. 1,5kg |
| Szabadsági fokok | Fejforgatás, jobb/bal kéz/láb emelése, leeresztése, a szemek koordinált mozgása (oldalirányban) és mindkét szem egyedi mozgása (kacsintás) |
| Mozgató | DC Motors (Maxon A -max 26mm) clutches és pozíciós potenciométerek |
| Mozgatókártya mikroprocesszor | PIC – 16F870, 4MHz |
| Érzékelőkártya mikroprocesszor | PIC – 16F84, 16MHz |
| CPU | Pocket PC Compaq |
| Érzékelők | Kapcsolók (6 db), infravörös fénykibocsátó/érezékelő (2–2 db) felborulásjelző (1 db), hangkibocsátó eszköz (1 db) |
| Tápegység | 7,2V, 6x1,2 NiCd |
| Működési idő | kb. 30 perc |
| Energiaellátás | 12V, 4A |

2. táblázat. Robota alkotóelemei

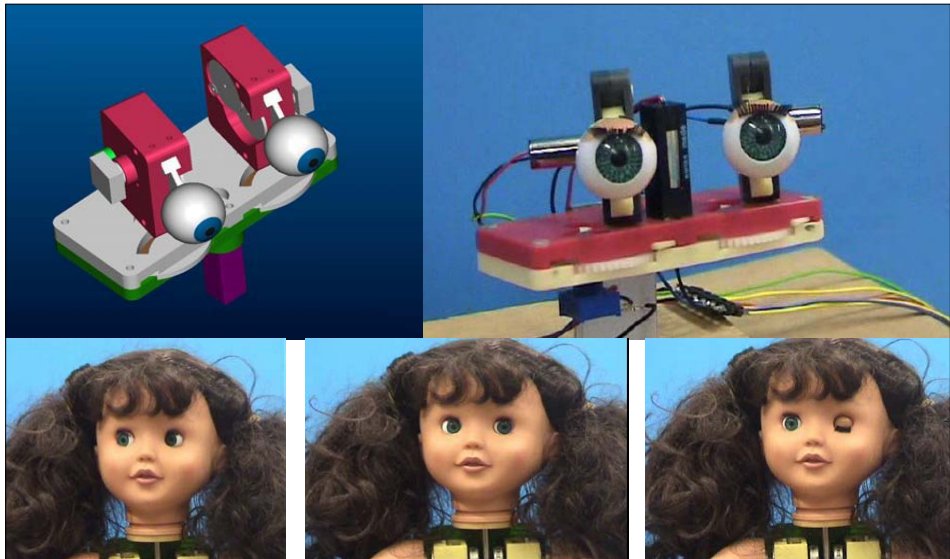
| | |
|--------------|--|
| PC interface | Operációs rendszer: Windows 2000, Visual C++ 6.0, Serial Port (RS232 – 9600 baudrate), PocketPC-2000 |
| Alkotóelemek | QuickCam Camera vagy FlyCAM -CF Camera Speech Synthesizer (Conversay) Electronic KeyBoard (Xylophone + Joystick) Drawing Pad/Touch Screen |

Robotán van néhány kapcsoló is, amelyek a robot kis számítógépében és a bokáin találhatóak. Bár minden mozgató elemen vannak potenciométerek, így a passzív mozgás nyomon követhető, úgy gondoltuk, hogy a potenciométereknél sokkal jobban látható kapcsolók bátoríthatják a gyerekeket arra, hogy megérintsék a robotot. Amikor megérintik (vagyis amikor egy kapcsolóhoz hozzáérnek), a robot a megfelelő végtag mozdításával reagál. Egy előzetes vizsgálatban 1998–99-ben kísérletet végeztünk ezekkel a kap-

csolókkal. Gyorsan világossá vált, hogy a kapcsolók használata túlzott változatosságot hozott az interakciókba. Így a kapcsolók használatát elhagytuk a longitudinális vizsgálatokban, hogy a gyermekek utánzó játékára összpontosíthassunk. De ez a tulajdonság elérhető maradt, és később újra használhatjuk majd.

Az érzékelő részt elláttuk egy kis eszközzel, amely egyszerű dallamok lejátszására használhatunk. (5) Ez a beüzemelésnél használatos, jelezve, hogy a robot befejezte a boot-olást. (Hasonlóan a Windows betöltéséhez.)

Újabb fejlesztések vezettek a 3 szabadsági fokkal rendelkező, mozgatható szemek megalkotásához (Guenter és mtsai, 2004; Pongas és mtsai, 2004). Egy szabadsági fok a szemek vízszintes mozgatására van, kettő pedig a szemek külön-külön lehetséges függőleges mozgatására. A szemhéjak a szemgolyókra vannak rögzítve, vagyis nem mozognak külön. (3. ábra) Így a robot tud kacsintani, de nem tud bandzsítani. A mechanikai fölépítés nehéz kérdése volt, hogy a forgatás központja a szemek belsejében legyen, hogy az eredeti babafejen belül könnyen tudjanak mozogni. Mindkét szemgolyóban elhelyeztünk egy OV764X webkamerát (ezek tipikusan mobiltelefonokban és playstationben használatosak), amelyet egy OV 519 chip vezényelt. Ezek szabványos CCD (6) USB kamerák, 420x640 pixeles felbontással.



3. ábra. Robota mozgatható szemének prototípusa

A mozgatható szempár megalkotását az motiválta, hogy az emberi arc jellemzőit megjelenítsük, hogy az autista gyerekek többé-kevésbé interakcióba lépjenek a robottal. (Robins és mtsai, 2004b) Az AURORA projektben most már benne van a prototípus szemekkel ellátott Robota.

Elektronika és irányítás

A szemek mozgatói egyszerű egyenáramú motorok digitális kódolókkal. Mindegyik motort egy Motor Module irányít. A modul lehetővé teszi a pozíció, a sebesség és a forgatónyomaték kontrollját. A PC a modulokkal I2C-n (Inter-Integrated Circuit) keresztül kommunikál. Összességében legfőljebb 6 huzal kell a mozgatáshoz: 2 a motorok energiaellátásához, 2 a logikai hálózat ellátásához, 2 pedig az I2C kommunikációhoz.

Robota „viselkedései”

Robota sokféle, egyszerűtől a bonyolultig terjedő interakciókban képes részt venni a felhasználóval, attól függően, hogy a „beépített” vagy a „tanult” viselkedést használja. A beépített viselkedések közé tartozik a felhasználó kéz- és fejmozdulatainak egyszerű utánzása, és számos babaszerű viselkedés, mint például a sírás, az éhség/fáradtság/boldogság kifejezése. (Billard, 2002b)

Annak érdekében, hogy részt vehessen összetettebb interakciókban, amelyekben a felhasználók tanítják majd Robotát, a robotot felszereltük sokféle tanuló viselkedéssel. A tanulást egy Mesterséges Neurális Hálózat (egy időképletetű asszociatív memória) biztosítja, amelynek általános tulajdonságai közé tartozik bonyolult idősorozatok megtanulása. (Billard, 1999) Ezt az általános tanulási kapacitást úgy használtuk ki, hogy a robot képessé vált arra, hogy játékos formában a felhasználó táncolni tanítsa. Ez úgy lehetséges, hogy a robot utánozza a mozgást, és megtanulja a különböző végtagok tevékenységének sorrendjét. A robot képes pár szót is megtanulni, olyan értelemben, hogy a felhasználó szavait összetársítja az érzékeléssel, és képes megtanulni „felöltözni”, vagyis a ruhák felvételéhez szükséges különböző mozgásokhoz különböző ruhadarabokat asszociálni. (7) A különböző tanulási játékokról részletek Billard (2002b, 2003) írásaiban találhatók.

Bár Robota tervezése eredetileg minél többféle viselkedésformát célzott meg (mivel feltételeztük, hogy így érdekesebbé válik, és lehetőséget nyújt sokkal többféle interakcióra), az első vizsgálataink Robotával (Dautenhehn és Billard, 1998) azt mutatták, hogy a viselkedésformák halmazának (és így a vizsgálat változói halmazának is) leszűkítése előnyös, mivel a kísérletvezető könnyebben kvantifikálhatja a gyerek reakcióit a konkrét viselkedésre (változóra). Valóban, a kísérletekben többször is igazolhattuk, hogy az autizmus sokféle hátrányos jellemzőt magában foglal, és ha előzőleg ismert gyerekek szerepeltek is a kísérletben, a gyerekek reakciói a robot viselkedésére jelentősen különbözőek voltak a konkrét személytől függően.

A viselkedés sokféleségének kompenzálásában (különösen, hogy Robotának otthon használható gyógyító játékeszközzé kellene válnia) Robota tanulási képességeinek kihasználására lehetne építeni, lehetővé téve a robotnak, hogy alkalmazkodjon a gyerek válaszához. Például Robota képes megtanulni lassabban reagálni az utánzásos játékokban, ha a gyerekek több útmutatásra lenne szüksége az interakcióban. Robota képes alkalmazkodni a játékokhoz úgy is, hogy megerősít néhány olyan utánzási formát, amely a gyerek számára jobban utánzásra készítő (például a fejet gyakrabban mozgatni, mint a kezeket).

Robota alkalmazása: oktatójáték autista gyerekek számára

Két együttműködő intézmény is használja Robotát az autista gyerekekkel folytatott kísérletek eszközeként, nevezetesen a University of Hertfordshire és a University of Pierre és Marie Curie. Hertfordshire-ben Kerstin Dautenhehn és Ben Robins a kísérletvezetők. A Pierre és Marie Curie Egyetemen Jacqueline Nadal a vezető kutató. A következőkben áttekintjük az együttműködő intézmények által alkalmazott megközelítésmódokat és a kapott eredményeket.

További kutatási részleteket az olvasó az együttműködők itt hivatkozott munkáiban talál.

Az Aurora-projekt

A Hertfordshire-i Egyetemen Robotát az Aurora projekt keretében használták. (www.aurora-project.com) Az Aurora projekt a robotok lehetséges felhasználását vizsgálja gyógyászati vagy oktatási eszközökként, különös tekintettel az autista gyerekek körében történő felhasználásra. Az autista gyerekekre jellemző a szociális interakciók szegénysége, a

gyöngye társas kommunikáció és a szegényes képzelőerő (NAS, 2005), amelyre több szerző is mint a „hátrányok triádjára” tekint. (például Wing, 1996) A gyerekekben a fejlődés során, jellemzően 3–4 éves korban, kifejlődik az a képesség, hogy mások mentális állapotát figyelembe veszik. Ekkorra a gyerekek nemcsak a saját értelmi és érzelmi állapotukról tudnak, hanem képesek figyelembe venni, hogy másoknak is megvan a saját értelmi és érzelmi állapota (tudatelmélet-hipotézis). A képesség, hogy mások mentális állapotait leolvassuk, az autista gyerekeknél nincs teljesen kifejlődve, és a kutatók szerint az autistáknak szegényes tudatelméletük van (Baron-Cohen és mtsai, 2000; Frith, 1989), és emiatt nem képesek megérteni más emberek szándékait, érzéseit vagy szükségleteit.

Az emberek társas viselkedése nagyon bonyolult és körmönfont tud lenni. Az olyan emberek számára, akiknek gondjai vannak a mentális állapotok interpretálásának készségével, mint például az autistáknak, a társas interakciók kiszámíthatatlanok és nagyon nehezen követhetőek. A kutatások szerint az autista emberek általában a kiszámítható, jól előrelátható környezetben érik jól magukat (Ferrara, 1980), és élvezik a különböző számítógépes rendszerekkel történő interakciót (Powell, 1996; Murray, 1997; Moor, 1998). A robotokkal való interakció multimodális jellegű, amely leegyszerűsített, biztonságos, megjósolható és megbízható környezetet nyújthat, ahol az interakciók bonyolultsága ellenőrizhető és fokozatosan növelhető.

Az Aurora-projekt azt vizsgálja, hogy a robotokkal végzett egyszerű utánzásos játékok hogyan képesek fejleszteni autista gyermekek körében a társas interakciós készségeket, és a robot – a mediátor szerepében – hogyan tudja bátorítani a társakkal (autistákkal és nem-autistákkal) és felnőttekkel folytatott interakciót. (4. ábra)



4. ábra. A robot mint mediátor. A bal oldali kép azt mutatja, amint egy autista gyerek (a távolabb álló) részt vesz egy egyszerű utánzásos játékban a robottal, bemutatva képességeit egy másik (nem-autista) gyereknek. A jobb oldali képen a robot közvetít két autista gyerek között, akik egyszerű utánzásos játékban vesznek részt a robottal.

A különböző kutatásokban részt vevő gyerekek életkora 5 és 7 év között volt. Iskolai tanáraik választották ki őket a QCA teszt P-skáláján nyújtott teljesítmények alapján (QCA, 2003), és még inkább aszerint, hogy a tanulóknak milyen az egyéni és társas fejlődése a figyelem, illetve a másokkal való interakció terén. Még ha a gyerekek eredménye hasonló is ezekben a kategóriákban, különböző viselkedésmintákat produkálhatnak. Az egyik például részt vesz egy felnőtt által irányított tevékenységben, de személyre szóló segítségre van szüksége a figyelmének fenntartásához. Másikuk részt vehet egyéni foglalatosságban, és csak gyér érdeklődést mutathat a körülötte lévők tevékenysége iránt, míg egy harmadik részt vehet valamilyen munkában/játékban egy másik személlyel, és képes egyszerű tevékenységeket a felnőtt után elvégezni.

A kutatások 101 napig tartottak. Néhány próba 5 percig, néhány 3 percig tartott, kettő pedig nem sokkal a kezdés után véget ért, amikor a gyerekek elhagyták a kísérleti szobát

40, illetve 6 másodperc után. A próbák ideje alatt longitudinális megismételt mérésekre került sor. Nyitott forgatókönyveket terveztünk, nagyfokú szabadságot adva a gyerekeknek, hogy interakcióba lépjen a robottal, amennyiben ezt választották. Ez a megközelítésmód elősegítette, hogy megjelenjenek spontán, játékos interakciók. A próbák során a gyerekek szabadon mozognak egy nagy szobában, és szabadon tehetnek, amit csak szeretnének. A kísérlet beállítása tehát alapvetően játékos, az autista gyerekeknek ugyanis alapvetően nagyon stabil és kiszámítható környezetre van szükségük. Robotát ezért „bábu üzemmódban” használtuk, vagyis távirányítással működtettük, ahol a kísérletvezető figyeli a gyerek finom mozgását, és Robota megfelelő végtagjainak és fejének mozgásával válaszol.

A robot megjelenésének hatása

A kezdeti próbák (a gyerek és a tanár egy asztalnál ülnek, ld. *Dautenhahn és Billard, 2002a és 6. ábra*) után a kísérleti szoba berendezése, ahogyan Robotát használtuk, megváltozott az autista gyerekek speciális igényeinek megfelelően. Egy olyan vizsgálatot végeztünk, amelyben a robot elhelyezkedése és megjelenése a legjobban elősegíti az interakciót az autista gyerekekkel. Ez a vizsgálat szembeállította egymással az interakció kívánatossága szempontjából azt a két kísérleti helyzetet, amikor egyszer a robot aranyos leánybaba volt, másszor pedig egyszerű ruhába burkolt baba, jellegtelen arccal, ahogyan az az *5. ábrán* látható. Az eredmény világosan jelezte, hogy az autista gyerekek először szívesebben léptek interakcióba az egyszerű, jellegtelen robottal, mint az emberi kinézetűvel. (*Robins és mtsai, 2004b, 2004c*) Erre az eredményre alapozva a robot megjelenése a kezdeti „csinos” megjelenésből átváltozott „robotszerű” megjelenéssé, amely az autista gyerekek számára vonzó.



5. ábra. A robot két különböző megjelenése – aranyos baba (bal) és egyszerű (jobb). Két gyerek végtagmozdulat-imitációs játékot játszik, amelyben a lábak, a fej és a kezek is részt vesznek. Ebben a vizsgálatban Robota tükröképszerűen utánozza a mozgást.

A gyerekek reakcióinak kvalitatív bemutatása

A longitudinális vizsgálatból származó eredmények azt mutatják, hogy a Robotával való interakció szintje összességében (a hosszas nézés és utánzás szempontjából) fejlődött az idő függvényében. (*Robinson és mtsai, 2004a*) Az eredmények azt is megmutatták, hogy Robota képes kiváltani az autista gyerekek utánzó viselkedését. A videófelvétel adatainak kvalitatív elemzése és a gyerekek tevékenységének megfigyelése az interakciós környezetben a szociális készségek és a kommunikatív kompetencia újabb aspektusait tárta föl (utánzás, szerepcseré). Voltak olyan esetek is, amikor a gyerekek nemcsak

a robottal, hanem a kísérletvezetővel is kapcsolatot teremtettek, a robotot közvetítőként felhasználva. Ezeknek az eseteknek a mélyebb elemzése azt mutatta, hogy a gyerekek valóban interakciós készségeket mutattak föl, és a robot mint különleges tárgy a felnőttel közös figyelem tárgya volt. (*Robins és mtsai, 2004d*)

Az adatelemzés folyamatában felbukkant néhány olyan kérdés, amely szintén a kísérlet korlátait mutatta. Ilyen probléma például a szociális elszigeteltség és sztereotíp viselkedés, amely gyakran kifejeződik az autista gyerekekben. Ezek a problémák kiemelik az interakciók tervezésének szükségességét, és hogy úgy programozzuk a robotokat, hogy azok tényleg bátorítsák a szociális interakciót és szociális mediátorrá váljanak, és kerüljünk el a meglévő sztereotípiák megerősítését. (*Robins és mtsai, 2005a*) Az Aurora-projekt hosszú távú célja az autista gyerekek gyógyítása és oktatása robotok segítségével. Mindenesetre ez a projekt az eddigi segítő technológiákon túl kiemeli az ember-robot interakció értékelésének általános problémáit is. (*Dautenhahn és Werry, 2002*)

Az autizmust gyakran betegségek egy spektrumaként kezelik – egy olyan megjelenési formának, amelynek sok változata és különböző szintjei vannak. Ez nyilvánvaló volt a kísérlet idején, mivel minden gyermek másképpen viselkedett a robottal vagy a kísérletvezetővel és egymással szemben is. Volt, aki szívesen megérintette a robot mozgó alkatrészeit, mások egyszerűen csak megfigyelték. Volt, aki hozzáérintette a robot különböző részeit a saját teste különböző részeihez, például hozzádörzsölte a robot fejét az arcához, vagy hagyta, hogy a robot karja megüsse a mellkasát vagy hasát. Mások nem érintették meg a robotot, de helyette utánzós játékot kezdeményeztek vele, minden előzetes instrukció nélkül, míg mások azután tettek így, hogy a felügyelőjük megmutatott egy ilyen játékot, vagy instrukciót kaptak a kísérletvezetőtől. Néhány gyerek a mozgó kezekre koncentrált, míg mások nyíltan közölték, hogy ők a lábakat szeretnék bevonni a játékba. A kutatásnak ebben a szakaszában azon volt a hangsúly, hogy a robot valóban érdekes a gyerekek számára, hogy létrejön az interakció, és hogy a robot képes közvetíteni az interakciót más emberek felé. A kutatás nem elemezte részletesen azt, hogy a robot mely részei felelősek a kiváltott reakciókért.

Az interakciók feltárásának folyamata három fázisból áll (*Robins és mtsai, 2004a*):

1. ismerkedés – a gyerek megismerkedik a robottal, ha akar egyáltalán, de semmiféle utasítást nem kap sem a tanártól, sem a kísérletvezetőtől;
2. tanulás – amelyben, ha szükséges, a tanuló instrukciókat kap és/vagy bemutatnak neki egy egyszerű utánzós játékot a robottal;
3. szabad interakció – ezeket a fázisokat eredetileg a longitudinális vizsgálat számára terveztük, ahol a kísérlet megismétlésének hatásait vizsgáltuk, egyénileg. Ez a szekvenciális folyamat hasznosnak bizonyult, és különböző mértékben minden vizsgálatunkban alkalmaztuk, azokban is, amelyekben azt figyeltük, a robot hogyan válik mediátorra két gyermek közötti kapcsolatban. Ezek részletes kvalitatív elemzése Robins és mtsai (2005b) munkájában található. Ez utóbbi esetben a robot jelentette a kontextust az autista gyermek számára, hogy képes legyen kifinomult interakcióra a felnőttnek adott válaszaiban és a robot mozgására reagálva. A robot akkor is jó környezetet teremtett, amikor új mozgásformákat kezdeményeztek, és amikor érintéssel reagáltak. Az eredmények arra is rámutattak, hogy egy testi valóságban létező robot előnyösebb, mint egy számítógépes szimuláció – a tényleges robottest lehetővé tette a test irányultságának megjelenését és a teljes testmegtapasztalást, amit egy kétdimenziós számítógép-képernyő aligha nyújthatott volna.

Robota a Pierre és Marie Curie Egyetemen

2003 márciusa óta Robota longitudinális vizsgálatokban szerepelt, amelyeket a Pierre és Marie Curie Egyetem LaSalpetriere Kórházában végeztek. Az általános cél itt is az volt, hogy autista gyerekek körében az utánzó viselkedést kiváltó interaktív gépek hasz-

nálatát vizsgálják. (Nadel, 2003) A mai napig ezek a kutatások kimutatták, hogy az autista gyerekek, még azok is, akik némák vagy megkésett kognitív fejlődésűek, képesek spontán módon egyszerű és bonyolult, sőt újszerű koordinált tevékenységeket utánozni. Sőt, sokuk képes felismerni, hogy őt most utánozzák, és képes ezt kommunikálni másokkal. (Nadel és Butterworth, 1999) A longitudinális vizsgálatoknak az a célja, hogy kihasználjuk ezeket a készségeket arra, hogy a gyerekek megtanulják az oksági kapcsolatot a tevékenységük és mások viselkedése között.

Ezekben a vizsgálatokban Robota PocketPC-vel és Flycam kamerával van felszerelve. A robotot egy algoritmus irányítja, amely nyomon követi és tükröképszerűen utánozza a felhasználó kézmozdulatait. (Calinon és Billard, 2003, 6. ábra)



6. ábra. Bal oldalon: Autista gyermek megfigyeli a bemutatót, amelyet az oktatója az utánzó mozdulatról tart. Jobb oldalon: Az autista gyermek, akinek szabadságában áll fölfedezni a robot viselkedését, néha spontán módon utánozza a tanári bemutatót. Ezekben a kísérletekben Robota tükröképszerűen utánozza a felhasználó karmozdulatát, és ezt önműködően a PocketPC és a beépített kamera biztosítja.

A játék Robotával két fázisból épül föl. Az első fázisban az oktató szemben ül Robotával és bemutatja az utánzó játékot, míg a gyermek ezt megfigyeli. A második fázisban a gyermek ül Robotával szemben. Semmi instrukciót nem kap, így spontán módon tudja utánozni az oktató viselkedését Robotával.

Ezek a kutatások még folyamatban vannak, de az elsődleges eredmények azt mutatják, hogy nő az utánzós játék interaktivitása és megértése, ami számos gyereknél megmutatkozik a spontán utánzásban. (7. ábra) Még pontosabban: ketten a tíz gyermek közül (7 és 9 év közöttiek voltak) megértették, hogy az ő mozdulataik eredetije Robota mozdulataiban volt. Őt másik néhány próba után felismerte, hogy a robot utánozza őt, ketten viszont kitért a kísérletezést azzal, hogy direkt módon mozgassák a robot karjait a kezükkel. Ezek a viselkedések a saját akciók tudatosságának különböző fokozatait jelzik. (Russell, 1996) Robota lehetővé teszi, hogy kifejlődjön a saját tevékenység tudata az ismételt próbák során. Sőt, a „játék” Robotával arra bátorítja a gyerekeket, hogy kifejlődjön a mozgássorok szándékos kiválasztása, hogy ezzel kiaknázzák a Robota által végezhető mozgások repertoárját. Annak felismerését, hogy Robota utánozza őket, mosollyal, nevetéssel, hangadással és kommunikatív gesztusokkal kísérték a robot felé.

Következtetések és jövőbeli kutatások

A robot az autista gyerekek számára készült oktatástechnológiai fejlesztések közé tartozik. A Robota-projekt csak a számos megközelítésmód egyike (többek között az Aurora-projekt is ilyen), amely az autista gyerekek gyógyítására szolgáló robotok potenciális felhasználását kutatja. Robota azzal egészíti ki a hasonló kutatásokat, hogy megvizsgálja az emberi jellemzők és utánzás szerepét a gyerekek interakcióiban. Ígéretesek az ilyen



7. ábra. Bal felsőtől a bal alsóig: A demonstráció alatt nő a gyermek érdeklődése a robot iránt. A bemutatás kezdetén a gyerek tipikusan visszahúzódo atitűddel ül. 14 másodperccel később, a demonstráció végén, előremozdította testét, közelebb jöve a robothoz, áthatóan nézve rá. Az is látható, hogy a gyermek figyelme elmozdul a robot felől a demonstráló felé, követve a kézmozgását és annak hatását a robotra. Jobb alsó: Amint szabadon játszhatott a robottal, a gyermek spontán módon hozott egy babát, hogy az asztalon játsszon vele, összehasonlítva Robotával, bemutatva ezzel, hogy megértette a hasonlóságot a két tárgy között. Néhány próbálkozás után utánzós játékban vett részt a robottal.

kutatások eredményei, és megalapozzák a gyerekek szükségleteinek jobb megértését. Ez a tudás elősegíti az ilyen segítő robotok technológiai fejlesztését.

Robota esetében például a kutatások elvezettek a korai „tolakodó” infravörös felépítéstől egy „kevésbé tolakodó”, a látványra alapozó felépítésig az utánzó játékok világában. A látványra alapozó felépítést jobban tolerálták a gyerekek. És mivel az eredmények szerint az arc jellemzői befolyásolták a gyerekeket abban, mennyire lépnek interakcióba, kifejlesztettünk egy mozgó szemű prototípust, amellyel legközelebb majd a szemmozgás hatását fogjuk vizsgálni. A Robotával végzett további munka célja lehet több mozgó rész megjelenése a robot fején és testén, hogy azután szisztematikusan teszteljük, melyik hogyan befolyásolja a gyerekek viselkedését. Alapvető kritérium volt a fejlesztés során, hogy megtartsuk Robota esztétikus megjelenését (az eredeti, vonzó, gyerekbarát babához képest), és így biztosítsuk az összehasonlíthatóságot az emberi test jellemzőivel. A jövőben is ez lesz a fejlesztés fő hajtóereje.

Mivel a kutatás még mindig kezdeti stádiumban van, korai lenne általános következtetéseket levonni a robotok oktatástechnológiai segítő szerepéről az autizmus és hasonló zavarok esetében. Az eddigi kutatások a „nem tolakodó” kezelőfelületek kifejlesztését támogatják. Az is kiderült, hogy a robot külső megjelenése (gyermekbarát vagy sem) hatással van a gyerek fogékonyságára, amellyel részt vesz a kísérletben. Végül a korai ku-

atások azt is megmutatták, hogy érdemes a robot viselkedését egyetlen viselkedésformára leszűkíteni, amikor azt autista gyerekek körében teszteljük. Ez a megszorítás lehetővé teszi, hogy a kísérletvezető jobban kvantifikálja a gyerekek reakcióit egy bizonyos viselkedésre, és ez azért is lényeges, mert ezek a gyerekek természetesen változatos és nagyon egyéni reakciókat adnak a robot viselkedésére. (8)

Jegyzet

- (1) A robot elhelyezésekor a kísérletvezetőnek kellett alkalmazkodnia az iskola kijelölt szobájához, és nem változtathatta meg a gyerekek által használt tárgyak megszokott elhelyezkedését.
- (2) A második feltételt nem használtuk ki az itt leírt kísérletekben. De hosszú távon az a cél, hogy Robotát egy otthon használható társná, oktató robotná fejlesszük.
- (3) A fototaxis az a jelenség, amikor egy élőlény a fény felé vagy a fénytől ellenkező irányba mozog vagy mozdul.
- (4) www.didel.com
- (5) Az eszköz egy membránt tartalmaz, amely elektronikus ingerre hangot ad ki.
- (6) CCD = Charge-Coupled Device
- (7) Ebben a játékban a robot nem azt tanulja meg, hogyan vegyen föl ruhadarabokat, hanem azt, hogyan

segítsen a felhasználónak abban. Például amikor felhasználó elővesz egy trikót, a robot felemeli a két kezét, amikor pedig egy nadrágot, akkor a lábát.

(8) A Robotával végzett munkát a Swiss National Science Foundation támogatta a 6200066127 számú keretből, az SNF Professorship programban. Andre Guignard, az EPFL LASA Laboratory technikus tervezte Robotát mozgatható szeméit. Jean-Daniel Nicoud, a DIDEL SA igazgatója alkotta meg Robotát motorikus részreit. Robotát irányítását a PC változatból PocketPC-re Sylvian Calinon, az EPFL ASL3 részlegének PhD-hallgatója ültette át. Translated and reprinted by permission and courtesy of Audrey Billard. The article is in press at RESNA Assisitive Technology Journal.

Irodalom

- Baron-Cohen, S. – Tager-Flusberg, H. – Cohen, D. (2000): *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience*. Oxford University Press, Oxford.
- Billard, A. (2003): Robotota: Clever Toy and Educational Tool. *Robotics & Autonomous Systems*, 42, 259–269.
- Billard, A. (2002a): Imitation: a means to enhance learning of a synthetic proto-language in an autonomous robot. In K. Dautenhahn – C. L. Nehaniv (eds): *Imitation in Animals and Artifacts*. MIT Press, 281–311.
- Billard, A. (2002b): Play, Dreams and Imitation in Robotota. In K. Dautenhahn – B. Edmonds – L. Canamero (eds): *Socially Intelligent Agents*. Kluwer publisher, 165–173.
- Billard, A. (1999): DRAMA, a connectionist architecture for on-line learning and control of autonomous robots: Experiments on learning of a synthetic proto-language with a doll robot. *Industrial Robot Journal*, 26, 1, 59–66, January.
- Breazeal, C. (2002). *Designing Sociable Robots*. The MIT Press.
- Calinon, S. – Billard, A. (2003). *PDA Interface for Humanoid Robots*. Proc. of the 3rd IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2003), Munich and Karlsruhe.
- Dautenhahn, K. – Billard, A. (2002): Games Children with Autism Can Play With Robotota, a Humanoid Robotic Doll. Proc. 1st Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology (CWUAAT). In S Keates – PJ Clarkson – PM Lang-

don – P Robinson (szerk.): *Universal Access and Assistive Technology*. Springer-Verlag, London.

Dautenhahn, K. – Werry, I. (2002): *A Quantitative Technique for Analysing Robot-Human Interactions*. Proc. IROS2002, Lausanne, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 1132–1138, IEEE Press.

Dautenhahn, K. (1999): *Robots as Social Actors: AURORA and The Case of Autism*. Proc. CT99, The Third International Cognitive Technology Conference, August, San Francisco.

Frith, U. (1989): *Autism: Explaining the Enigma*. Blackwell. London.

Kitano, H. – Fujita, M. (2000): Robot Entertainment. In Druin, A. – Handler, J. (eds): *Robots for Kids: Exploring New Technologies for Learning*. Morgan Kaufman Publisher.

Fujita, M – Kuroki, Y – Ishida, T – Doi, T.T. (2003): *Autonomous Behavior Control Architecture of Entertainment Humanoid Robot SDR-4X*. Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada · October.

Ferrara, C. – Hill, SD. (1980), The responsiveness of children with autism to the predictability of social and non-social toys. *Autism and Developmental Disorders*, 1, 51–57.

Guenter, F. – Guignard, A. – Piccardi, L. – Calzascia, M. and Billard, A. (2004): Development of a miniature articulated arm and pair of eyes for the humanoid robot Robotota. In *Proceeding of the IEEE/APS conference on Mechatronics and Robotics*.

Kozima, H. – Nakagawa, C. – Yano, H. (2002): *Designing a Robot for Spatio-Temporal Contin-*

- gency-Detection Game*. International Workshop on Robotic and Virtual Agents in Autism Therapy (Hospital la Salpetriere, Paris, France).
- Kozima, H (2002): *Infanoid: A Babybot that Explores the Social Environment*. In K. Dautenhahn, A., H. Bond – L. Canamero – B. Edmonds (szerk.): *Socially Intelligent Agents: Creating Relationships with Computers and Robots*, Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 157–164.
- Kozima, H. – Nakagawa, C. – Yasuda, Y. (2005): *Interactive Robots for Communication-Care A Case-Study in Autism Therapy*. IEEE Workshop on Robots and Human Interactive Communications, Nashville. 13–15 August.
- Michaud, F. – Caron, S. (2002): Roball, the rolling robot. *Autonomous Robots*, 2. 211–222.
- Michaud, F. – Théberge-Turmel, C. (2002): „*Mobile robotic toys and autism*”, *Socially Intelligent Agents – Creating Relationships with Computers and Robots*. Kerstin Dautenhahn, Alan Bond, Lola Canamero, Bruce Edmonds (editors), Kluwer Academic Publishers, 125–132.
- Moor D (1998): Computers and people with autism. *Communication*, 20–21.
- Montemayor, J. – Druin, A. – Hendler, J. (2000): *PETS: A Personal Electronic Teller of Stories in Robots for Kids: Exploring New Technologies for Learning*. Druin, A. – Handler, J. (eds), Morgan Kaufman Publisher.
- Murray, D. (1997): Autism and information technology: therapy with computers. In Powell, S. – Jordan, R. (eds): *Autism and learning: a guide to good practice*. David Fulton Publishers, London. 100–117.
- Nadel, J. (2005). Imitation: does it matter to children with autism? In S. Rogers – J. Williams (szerk.): *Imitation and the Development of the Social Mind*. Guilford Publications, New York.
- Nadel, J. – Revel, A. – Andry, P. – Gaussier, P. (2004). Toward communication: first imitations in infants, low-functioning children with autism and robots. *Interaction Studies: Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems*, 1, 45–74.
- Nadel, J. (2003): Imitation et Autisme. *Cerveau & Psycho*, 4.
- Nadel, J. – Butterworth, G. (1999): *Imitation in infancy*. Cambridge University.
- NAS (2005): *National Autistic Society UK*, url: <http://www.nas.org.uk>, last accessed 21/03/05.
- QCA (2003): The qualifications and Curriculum Authority, url: http://www.qca.org.uk/ca/foundation/profiles.asp#p_scales Last accessed 25/11/03
- Robins, B. – Dautenhahn, K. – Dubowski, J. (2005a): *Robots as Isolators or Mediators for Children with Autism? A Cautionary Tale*. To appear in Proc. AISB05 Convention on Social Intelligent and Interaction in Animals, Robots and Agents, Hatfield, U.K., 12–15 April.
- Robins, B. – Dickerson, P. – Dautenhahn, K. (2005b): *Robots as embodied beings – Interactionally sensitive body movements in interactions among autistic children and a robot*. In proc. *14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication RO-MAN '05*. Nashville, USA, 13–15 August.
- Robins, B. – Dautenhahn, K. – te Boekhorst, R. – Billard, A. (2004a): Effects of repeated exposure to a humanoid robot on children with autism. In Keates, S. – Clarkson, J. – Langdon, P. – Robinson, P. (eds): *Designing a More Inclusive World*. London, Springer Verlag, p 225–236.
- Robins, B. – Dautenhahn, K. – Boekhorst, Rt. – Billard, A. (2004b): Robots as Assistive Technology – Does Appearance Matter? *Proc. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication – RO-MAN*. Kurashiki, Japan, 20–22 September.
- Robins, B. – Dautenhahn, K. – Dubowski, J. (2004c): Investigating Children with autism's Attitudes Towards Strangers with the Theatrical Robot – A New Experimental Paradigm in Human-Robot Interaction Studies? *Proc. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication – RO-MAN*. Kurashiki, Japan, 20–22 September.
- Robins, B. – Dickerson, P. – Stribling, P. – Dautenhahn, K. (2004d): *Robot-mediated joint attention in children with autism: A case study in a robot-human interaction*. *Interaction studies: Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems*. John Benjamins Publishing Company, Amsterdam. 5. 2. 161–198.
- Russell, J. (1996). *Agency: its role in mental development*. Erlbaum Taylor & Francis, London.
- Plaisant, C. – Druin, A. – Lathan, C. – Dakhane, K. – Edwards, K. – Vice, J. M. – Montemayor, J. (2000). *A Storytelling Robot for Pediatric Rehabilitation*. ASSET'00.
- Pongas, D. – Guenter, F. – Guignard, A. – Billard, A. (2004): *Development of a Miniature Pair of Eyes With Camera for the Humanoid Robot Robota*. IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots.
- Powell, S. (1996): The use of computers in teaching people with autism. In *Autism on the agenda: papers*. National Autistic Society Conference. London.
- Sawada, T. – Takagi, T. – Fujita, M. (2004). Behavior selection and motion modulation in emotionally grounded architecture for QRIO SDR-4X II Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. *IEEE/RSJ International Conference on*, 3. 28 Sept. – 2 Oct. 2514–2519.
- Scassellati, B. (2005): *Quantitative Metrics of Social Response for Autism Diagnosis*. IEEE Workshop on Robots and Human Interactive Communications, Nashville, 13–15 August 2005.
- Wing, L. (1996): *The Autistic Spectrum*. Constable Press, London

Csikós Csaba fordította