

Robotika hezkuntzarako tresna

Orazio Miglino #* , Henrik Hautop Lund § , Maurizio Cardaci*

*Institute of Psychology, National Research Council and Faculty of Psychology, II University of Naples, Italy

Helbidea: Institute of Psychology, National Research Council, Viale Marx 15, 00145 Rome, Italy. Tel: (39) 06 86090227, Fax: (39) 06 824737, e-mail: orazio@caio.irmkant.rm.cnr.it, <http://gracco.irmkant.rm.cnr.it/orazio>

§ LEGO Lab, InterMedia, Department of Computer Science, Aarhus University, Denmark

Helbidea: Computer Science Department, Aarhus University, Ny Munkegade, 8000, Aarhus, Denmark. Tel.: (+45) 89 42 32 63, fax : (+45) 89 42 32 55, e-mail hhl@daimi.aau.dk, <http://www.daimi.aau.dk/~hhl/>

*Cognitive Science Group, Department of Psychology, University of Palermo, Italy

Helbidea: Department of Psychology, University of Palermo, 90133 Palermo, Italy. Tel. and fax: (39) 091 485738, e-mail: cardaci@mbox.unipa.it

SARRERA

Idazki honek Piaget-en garapen kognitiboaren teorien hezkuntza-aplikazio berri bat esploratzen du, hain zuzen ere, organismo artifizial moduan egindako robotak irakaskuntzarako tresna bezala erabiltzea. Maila ezberdinetako ikasleak animalien jokaerak simulatzen dituzten benetako robotak proiektatu eta eraikitzeke gai dira. Robot errealean eraikuntza prozesuak ikasleei sistema dinamikoko konplexuekin erlazonatutako kontzeptuen ikasketa prozesua errazten die, batez ere, dinamika lokaletatik portaera globalak nola sortzen diren. Hau eraikuntza prozesuen bitartez lortzen da. Nahi den portaera lortzeko asmoz, ikasleak organismo artifizialaren burua eta gorputza aldatzen ditu. Organismo artifizialen populazioen eraikuntzak banaka (maila mikroskopikoan) eta taldeka (maila makroskopikoan) hartuta beha daitezkeen portaerak bereizten laguntzen du ikaslea. Nahi den portaera duen robot populazio baten garapena eboluzio prozesu bat da. Robot populazio baten ugalketa selektiboa tresna eraginkorra da Darwin-en eboluzioaren teoria azaltzeko: organismo artifizialekin –biologikoen aurkakoak– esperimentatzeak hautespena, ugalketa eta mutazioaren emaitzak era azkar batean erakusten du. Dokumentu honetan, robot errealak erabiliz egindako heziketa proiektu batzuk aurkezten dira. Errealitate biologikoa dugun ikuspuntua zabaltzeko sistema adimentsuen erabilpena, zientziak, teknologia, psikologia eta biologiaren curriculumaren zati bihur daitekeela erakusten du.

Journal of Interactive Learning Research-en argitaratzeko.

ORGANISMO ARTIFIZIALAK IRAKASKUNTZAN

Azken hamarkadan zehar, ikertzaileek eta industriek robotak eraikitzeke hainbat kit proposatu eta garatu dituzte, bereziki, ikasleen heziketan matematika, fisika, informatika eta mekanika bezalako eduki zientifikoetan kontzeptu eta metodoen ikasketa bizkortzeko diseinatuta. Kit hauetan motoreak, sentsore xumeak, gurpilak, poleak eta erreleak aurki daitezke, hain zuzen ere, ikasleek robotak eraikitzeke behar dezaketen guztia. LEGO Dacta eta LEGO CyberMaster bezalako produktuek kable eta irrati ekipamenduen bitartez robota ordenagailuarekin konektatzeko aukera eskaintzen dute. Honela, erabiltzaileak asmakizuna kontrola dezake. Duela gutxi, LEGO MindStorms produktua garatua izan da, honi esker, kontrol gaitasuna makinaren barruan kokatua duten robot autonomoak eraiki ditzake erabiltzaileak.

Jean Piaget-en (1966) garapen kognitiboaren teoretatik eratorritako heziketa printzipioetan –Seymour Papert-ek berrikusitakoak (1980-1986)– oinarrituta garatu dira kit hauek. Ikuspegi honek dioena hau da: ikasketa prozesu guztien erdigunean, ikasten duenaren jarrera aktiboa da bere jakintza manipulazio eta objektuen eraikuntzaren bidez zabaltzen duena. Filosofia honek kit-en eraikuntza tradizionala oso ikasketa tresna egokia dela iradokitzen du. Hala ere, objektu batek ordenagailu batekin izandako interakzioaren bitartez bizitza eskuratzeak metodologia hau proposatu zuten lehenengoan jatorrizko ideia baina areago doazen aplikazioak garatzeko aukera ematen du. Hain zuzen ere, hainbat ikerketa taldek benetako animalien portaerak simulatzen dituzten makina mugikorrek eraiki dituzte. Prototipo horiek zentzumen-aparatua (adibidez, argia edo beroarekiko sentikorrek diren sentsoreak), motor-aparatua (baso mekanikoak edo motorez kontrolatutako gurpilak) eta burmuina (motor-aparatua, zentzumen-aparatuak ematen duen informazioa erabiliz, kontrolatzen duen ordenagailu programa batek irudikatua) dute. Makina hauek *Organismo Artifizial*-tzat har daitezke, eta bai heziketa helburuekin, bai psikologia, etologia eta robotika bezalako arloetan oinarritako ikerketan erabili daitezke.

ORGANISMO ARTIFIZIALAK ETA HEZIKETA TEKNOLOGIA BERRIAK

Organismo artifizialak eta konplexutasunaren ulermena

Gas baten molekulak gasometro baten barruan, bizidunen kode genetikoak, organismo baten burmuina, erlauntza bateko erleak eta gizakion komunitateak sistema dinamiko konplexuen adibideak dira. Sistema bat osatzen duten elementu ezberdinen artean interakzioak daudenean konplexua dela esaten da. Dinamikoa izango da elementu ezberdinen arteko interakzioen legeek denborarekin batera aldatzen diren makro-ondorioak sortzen badituzte.

Konplexutasunean dagoen interes zientifikoak ezagutza teknologikoa baino zerbait gehiago eragin du, errealitatea behatzeko eta interpretatzeko bide berri bat sortu baitu. Sistema konplexu batean elementu bakoitza eta gainerakoen artean interakzioa gertatzen da, eta ondorioz, osagarri baten edozein ekintzak gainerakoen portaeran eragina du. Hau da bide berri honen oinarria. Ondoriozko portaera global bat dinamika lokaletatik azaleratzen da, eta eragina du azpisistema espezifikotik. Kanpo perturbazioek edo sistemaren osagarrien aktibitatea gobernatzeko duten printzipioen arteko interakzioak dinamika lokaletan aldaketak eragiten dituzte. Hauek erregulatzen dituzten legeak ez dira linealak. Osagarri bakar baten portaeran gertatutako gorabehera aleatorio txikiek aldaketa handiak

sor ditzakete portaera globalean. Beraz, sistema dinamiko konplexuak aztertzeko garaiak kontuan hartu behar dira bai maila mikroskopikoko portaerak (osagarri baten portaera), baita maila makroskopikokoak ere (osagarri guztien arteko interakzioak eragindako portaera globala).

Errealitatea ulertzeko modu berri hau umeei eskaintzeak, edo orokorrean ikerketa zientifikoarekin zerikusia ez duten pertsoneri, irakasteko tresna berriak eskatzen du. Zeregin honen garrantzia nabarmena da: ez gara kontzeptu edo nozio berriei buruz hizketan ari, baizik eta pertsonak bizi duten errealitatea arreta handiagoz ebaluatzen lagunduko dien behaketa eta arrazoiketa modu berriez.

Mitchel Resnick-ek (Media Lab, MIT) sistema dinamiko konplexuak ulertzeko oinarritzko kontzeptuen irakaskuntza errazten duen metodologia bat garatu du (Resnick, 1988, 1989, 1994; Kafai&Resnick, 1996). Lan honek LEGO MindStorms-en sorkuntzan berebiziko papera bete du (ikus A eranskina).

Resnick-ek ikasle lan talde bati organismo artifizialak eraikitzeke proposamena luzatzen die. Taldeak eraikuntza prozesu zehatz bat jarraitzen du, baina aldatetarako egiteko aukerarekin. Proposamen honek eskaintzen dituen aukeren adibide zehatz bat jarraian aipatzen den moduko esperientzietan oinarritzen dena izan daiteke: ume talde bati argi iturri baterantz mugitzeko gaitasuna duen organismo artifizial bat eraikitzeke eskatzen zaio.

Esperientzia honen lehenengo fasean makinaren gorputza eraiki behar da, hau da, robotaren egitura eraiki, zein sentsore motak eta zenbat erabiliko diren erabaki, eta aparatua motorea erabaki (gurpilak, beldarrak edo zango artifizialak). Robot mugikor bat egiteko egitura simple bat, aurrean sentsore bat eta aldeetan bi gurpil dituen kutxa bat izan daiteke. Motore elektriko batek kontrolatuko du gurpil bakoitza. Oinarritzko diseinuan, motorea martxan jar daiteke eta ondorioz gurpilean aurrerako mugimendua eragin, edo deskonektatu daiteke, eta honela ez da mugimendurik izango. Honela, bi motore independente –bakoitza gurpil bati konektatua– duen robot batek lau ekintza ezberdin eragin dezake: aurrera egin (bi motoreak martxan daudenean), eskuin edo ezker aldera biratu (motore bat martxan eta bestea geldirik dagoenean) edo geldirik egon (bi motoreak batera geldirik daudenean). Sentsoreen ezaugarriak esker, beren aktibazioa eta sentsoretik argi iturrira dagoen distantzia zuzenki proportzionalak dira.

Organismo artifizialaren gorputza eraiki ondoren, ikasleek adimena eman behar diote. Fase honetan, ikasleek robotaren portaera programatzen dute ordenagailuaren bitartez. Nahi duten portaera “argitara hurbildu” bada, ikasleek idatzi beharko dituzten prozeduretan motoreen aktibazioa sentsoreek jasotzen duten argi intentsitatearen arabera izango da. Une honetan eztabaida sortzen da: nola mugi daiteke sentsore bakar bat duen organismo artifizial bat estimulu iturrirantz?

Ohiko izaten da, egon daitezkeen bi irtenbide motaz umea jabetzea, hain zuzen, organismo bizidunekin bitartean errealean gertatzen den bezala. Bietako batean (a) robotak sentsoreak bi une ezberdinetan jasotako argi intentsitatea irakurtzen du; 1 uneko argi intentsitatea 2 unekoa baina txikiagoa bada, robotak argirantz ari da mugitzen eta erabaki zuzena aurrera jarraitzea izango da. Bigarren irtenbidea (b) organismo artifizialaren atzeko aldean bigarren argi sentsore bat kokatzea izan daiteke, honela, aurrealdeko sentsoreak atzealdekoak baino argi intentsitate handiagoa jasotzen badu, erabaki zuzena aurrera jarraitzea izango da.

Prozesuaren fase honetan, irakasleak irtenbide alternatiboak eskaintzen ditu, (a) soluzioak “oroimena” behar duela ohartaraziz, hau da, robotaren “burmuinean” aldaketa bat, (b) irtenbideak egitura aldatzea eskatzen duen bitartean, hau da, robotaren “gorputzean” aldaketa bat.

Bigarren esperientzia batean ikasleei organismo artifizialen populazio bat eraikitzeke eskatzen zaie, ondoren beren banakako (maila mikroskopikoan) zein taldekako (maila makroskopikoan) portaerak beha ditzaten. Populazioan bi mota ezberdineko organismo artifizial dago: robot kategoriatik argi iturrietarantz mugitzeko programatuta dago, bestea edozein argi iturritik urruntzeko programatuta dagoen bitartean. Honela, indibiduo bakoitzak portaera simple samarra izango du. Hala ere, organismo bakoitzaren buruan argi txiki bat kokatzen badugu, portaera aldatuko da –modu interesgarrian gainera. Honek populazioaren ondoko bi portaerazko jarraibidetako bat eragingo du. (a) jarraibidean, hasieran bi roboten kategoriak espazioaren toki ezberdinetan bereizirik daude, eta honela hau behatzen da: argiak erakartzen dituen organismoek elkartzeko, elkarrekin estropezu egiteko eta inguru txiki batean kontzentratzeko joera dute, bestetik, argia ekiditeko joera dutenak sakabanatzen dira, indibiduo bakoitzak beste robot guztiengandik gutxienezko segurtasun distantziara iritsi arte. (b) jarraibidean ez dago hasierako banaketarik, honen ondorioz, kategoriatik bateko indibiduo batek beste kategoriako indibiduoekin erlazionatu daiteke. Kasu honetan ihesaldi eta jazarpen jarraibide konplikatuak behatzen dira. (a) eta (b) jarraibideen artean bitarteko soluzio ugari dago.

Hau bezalako esperimendu praktikoek, beste modu batean abstraktuak eta nahasiak liratekeen kontzeptuak bereganatzen laguntzen dituzte ikasleak. Umeek, hardware eta software osagai batzuez egindako sistemak eraikiz, dinamika eta konplexutasuna kontzeptuak bereganatzen dituzte. Robot indibidualen portaera eta indibiduen arteko interakzioetatik sortzen den portaera globala behatuz, errealitatea ikuspuntu ezberdinetatik (hau da, analisi maila ezberdinetan) aztertzen ikasten dute.

Organismo artifizialak graduatu eta ez-graduatuak zuzendutako ikastaroetan

Nabaritu da lizentziatuak diren ingeniarietarako askotan beren gai propioan oinarritako kontzeptu teorikoak erabat menderatzen dituztela, baina industri prototipoen diseinu eta eraikuntzan ez dutela behar bezalako esperientziarik.

Azken lau urteetan zehar, MITeko Fred Martinek “LEGO Roboten Diseinu eta Eraikuntza” (Martín, 1994, 1996) ikastaroa antolatu du, ingeniarietarako ikasle gazteek diseinua eta garapenean dituzten gaitasunak suspertzeko asmoz. Esperientzia honetan parte hartu zuten ikasleek lantalde txikietan banatu ondoren, irakasleak proposatutako arazoei erantzuna emanez saiatu ziren robot mugikorren diseinu eta eraikuntza lanetan aritu ziren (adibidez, leku batetik bestera mugitu bidean egon daitezkeen forma eta tamaina ezberdinetako oztopoak ekidinez). Ikastaroaren bukaeran, ikasleek egindako prototipoek lehiaketa batean parte hartu zuten, eta denen artean robot eraginkorrena egin zuen taldeak sari bat irabazi zuen. Lehiaketa urteroko ekitaldia bilakatu da MITen, bertako komunitate zientifikoan berebiziko interesa eta zirrara sortuz.

Edinburgoko Unibertsitateko Adimen Artifizialeko Departamentuak ere, bere curriculumean roboten arteko lehiaketak erabiltzen ditu. John Hallam-ek, bere “Adimena eta Zentzumen-kontrola” ikastaroan, robotikari aplikatutako adimen artifizialaz hitzaldi bat ematen du. Ikasleek eskura dute “Edinburgh brain brick”-a (adreilu adimentsua Edinburgo),

MITen adreilu programagarriaren antzekoa, beren LEGO robotak kontrolatzeko. Lehiaketetan roboten arteko sumoa eta errugbia egoten da.

Aarhus-eko Unibertsitatean ere, lizentziatuentzat eskaintzen ditugun *Robot Adaptatiboak eta Roboten Modelatzea* ikastaroetan roboten arteko lehiaketak erabiltzen ditugu. Lehiaketa ezberdinetan parte hartzeko, ikasleek eskura dute Khepera robot mugikor txiki bat, edo beraiek egiten dituzte beren LEGO MindStorms robotak. Lehiaketa hauen artean Danimarkako Roboten arteko Futbol Txapelketa dago. Roboten eraikuntzaren bitartez informatikako ikasleek mundu errealeko aplikazioen inguruko ezagupenak bereganatzen dituzte. Informatikako ikastaro tradizioaletan gutxitan irakasten zaie ikasleei mundu errealeko interakzioen indeterminazioez, gainera, mundu errealetik abiatuta abstrakzioa egiten saiatzen dira, eta erabat deterministak diren sistemak egiten dituzte. Honek arazoak sor ditzake aurrerago, informatikoei mundu errealerako kontrol sistemak diseinatu edota programatu behar dituztenean.



1. irudia. Fútbol lehiaketa baten argazkia (Copyright 1998. H. H. Lund)

Futbol jokalariai diren robotak diseinatzen dituzten bitartean, informatikako ikasleek beti egiten dute hainbat akats, normalean, roboten benetako gaitasunak ulertzeko modu irreal baten ondorioz. Sarritan, arazo hauen jatorria ikasleek robota ikusteko modu propioan datza, hain zuzen ere, bere ikas-prozesuan zehar trebatuak izan dira oso errealistak ez diren abstrakzioetan, eta horietaz fidatzen dira. Sentsoreak, motoreak eta kontrolarekin egindako esperimendazioaren bidez, pixkanaka-pixkanaka robota eta mundu errealaren arteko interakzioa ulertzeko modua aldatzen dute, eta beren diseinuetan aldaketak egiten dituzte robot errealistago bat lortu arte.

Fred Martinen arabera, mota honetako heziketa esperimenduen arrakasta, neurri batean, merkatuan eskaintzen diren eraikuntza kit-en muntatze errazari esker dator. Aukeran dauden eraikuntza kit-ek arazo fisikoei irtenbide errazak aurkitzen laguntzen die ikasleei. Ikasleek diseinu fasean aurreikusitako emaitzak eta beren makinek benetan eragindakoen arteko aldeari dagokionez ulertze maila sakona bereganatzen dute, eta horrela, diseinua eta eraikuntzaren arteko ezberdintasunak gutxitzen dituzte. Modu honetan, teoria eta praktikaren arteko harreman zirkularra gertukoa bihurtzen da ikasleentzat.

Aarhus-eko Unibertsitateko LEGO Lab-en, hainbat aldietan goi mailako eskoletako ikasleekin robotak erabili ditugu. Duela gutxi, 1. Liga LEGO antolatu dugu Danimarkako goi mailako eskola batzuetan proiektu pilotu moduan erabiltzeko. Ikasleen adina 12 eta 14 urte bitartekoa zen. Gela bakoitzak 4 LEGO MindStorms kit zeukan. Lauzpabost ikaslez osatutako taldeetan, lehiaketan parte hartzeko beren robotak planifikatzen, diseinatzen eta programatzen aritu ziren. Egin beharreko lanaren helburua, ibilbide beltzak, arrapalak, oztopo txikiak... zituen ingurune batetik azkar mugitzeko gai izango zen robot bat egitea zen. Roboten artean eraginkorra saritzen zen, baita politena eta ausartena ere.



2. irudia. Robota Pacman erreal bat simulatzen. (Copyright 1998. H. H. Lund)

LEGO Liga proiektu pilotua bi hilabeteko epe labur baterako antolatu zen 1998ko udazkenean. Denbora horretan, geletan gogor lan egin zuten proiektua garatzen. Hasieran, robotikaz ez zekiten ezer, edo ezer gutxi, eta programazioaz gutxi (inork ez zuen ezagutzen MindStorms programazio hizkuntza grafikoa proiektua abiatu aurretik). Baina gogo handia eta tutoreen laguntzari esker, ikasleek beren lana bukatzen lortu zuten, finalerako ondo egindako robot bat prest izanik. Bai mutilak, bai neskek buru-belarri sartu ziren proiektuan. Adibidez, neska talde batek elkartu behar zuten ezkongaiak egitea erabaki zuten. Estetikan lan handia egin ondoren, robotei berebiziko funtzionalitatea eman nahi izan zieten. Honela, programazioan interesatu ziren eta robotak programatu zituzten, nahiz eta, hasieran mutilei galderak egin lan motak hala eskatzen zuenean.

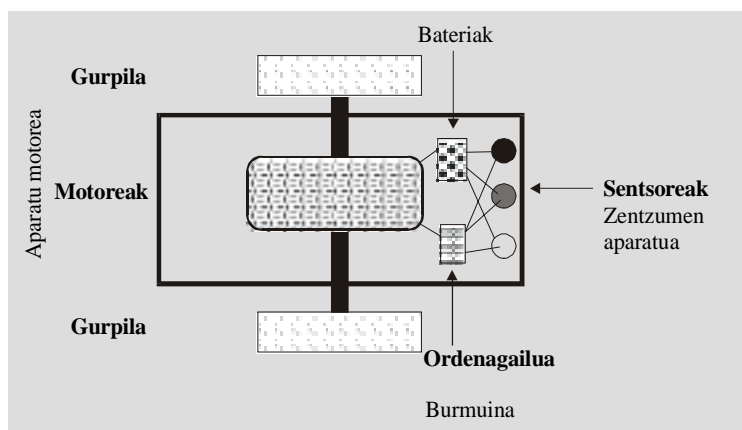
¹ Hemen goi mailako eskolaz hitz egiten denean termino ingelesa erabiltzen ari gara, hain zuzen ere, 6 eta 15 urte bitarteko ikasleak dituzten eskolak.

ORGANISMO ARTIFIZIALAK ETA OINARRIZKO IKERKETA ZIENTIFIKOA

Braitenberg ibilgailuak

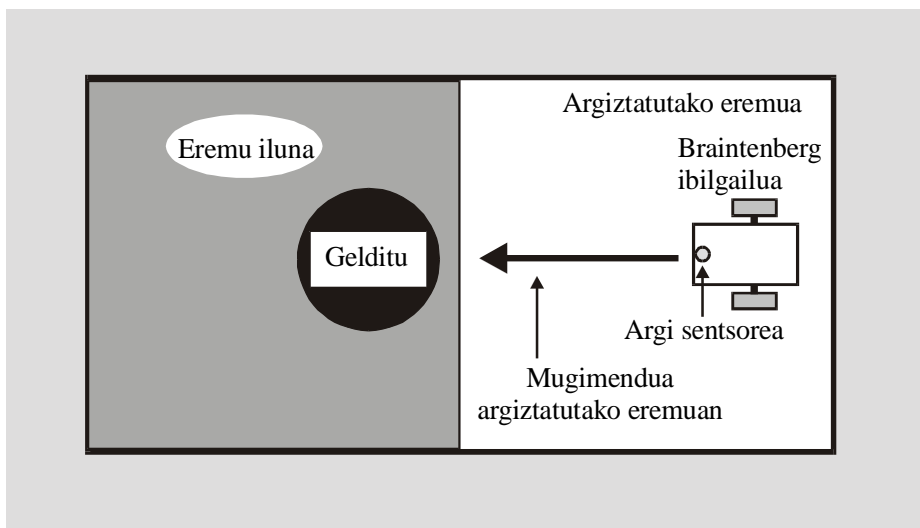
Hamar urte inguru lehenago, Valentino Braitenberg-ek, zibernetikako aitzindaritako batek, “Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology” (Braitenberg, 1984) izeneko liburu txiki eta interesgarria argitaratu zuen. Liburu honetan dio –zirikatze moduan– buru-gaitasun sofistikatua duten robot mugikor txikien eraikuntzaren bitartez psikologia ikerketako hainbat kontu uler daitezkeela. Idatzi honetan, Braitenberg-ek deskribatzen dituen esperimientuetan osagai mekaniko eta elektrikoez egindako ibilgailu txikiak, gero eta konplexuagoak direnak, erabiltzen ditu. Hauetako makina bakoitzak portaera adimentsu bat imitatzen du, eta bakoitzari jarritako izenak zerikusia du imitatzen duen portaerarekin. Garrantzizkoa da ondoko hau azpimarratzea: Braitenberg-ek ez zituen inoiz robot errealak egin, robotak idatziz diseinatu eta deskribatu baino ez baitzuen egin. Berak metodologia honi *Psikologia Sintetiko*a izena ematen dio. Braitenberg-ek, lan honen bitartez, erakusten du bere makinek (ibilgailuek), nahiz eta mekanismo oso sinpleez osaturik egon, erakusten dituzten portaerak kanpo behatzaile batek, beldurra, lotsa, zalantza, paranoia... bezalako buruko egoeren ondorioztat sailka ditzakeela. Nahiz eta Braitenberg-en ideiek eztabaida sortu, ez dago dudarik oinarrizko ikerketan eragin handia izan duela, ikerlan ezberdinen sorta zabal baten iturri bihurtu delarik.

Adreilu programagarrien kit berezi bat erabiliz, David Hogg, Fred Martín eta Mitchell Resnick-ek (Media Lab, MIT) Braitenberg-en ibilgailuen zati nagusiak eraiki zituzten (Hogg, Martin & Resnick, 1991). Lund-ek eta Miglino-k (1995) 3. irudian aurkezten den hardwareko oinarrizko egitura zuen Braitenberg ibilgailu sorta bera egin zuten.



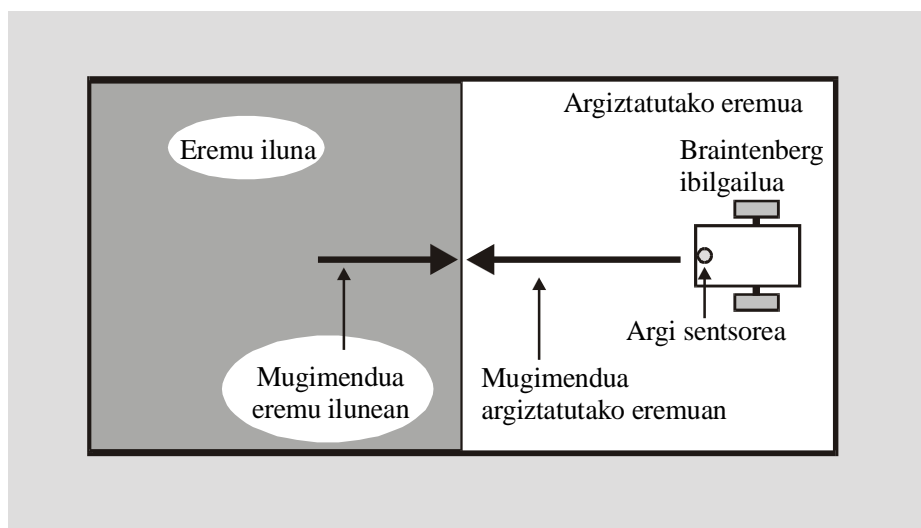
3. irudia. Braitenberg ibilgailu baten hardware konfigurazio orokorra

Lotsatia (itzal bilatzailea). Robotak sentsore bat du argi intentsitateaz jabetzeko. Ibilgailuak aurrera egingo du bere inguruko argi intentsitateak aurrez finkatutako muga bat gainditzen badu, eta eremu ilun batean dagoenean geldituko da (ikus 4. irudia). Nahiz eta portaera hau oso sinplea izan, behatzaile batek organismoak buru gaitasun sofistikatuak dituela esango luke (adibidez, “itzalaren bila dabil”, “ezkutatzen da”...).



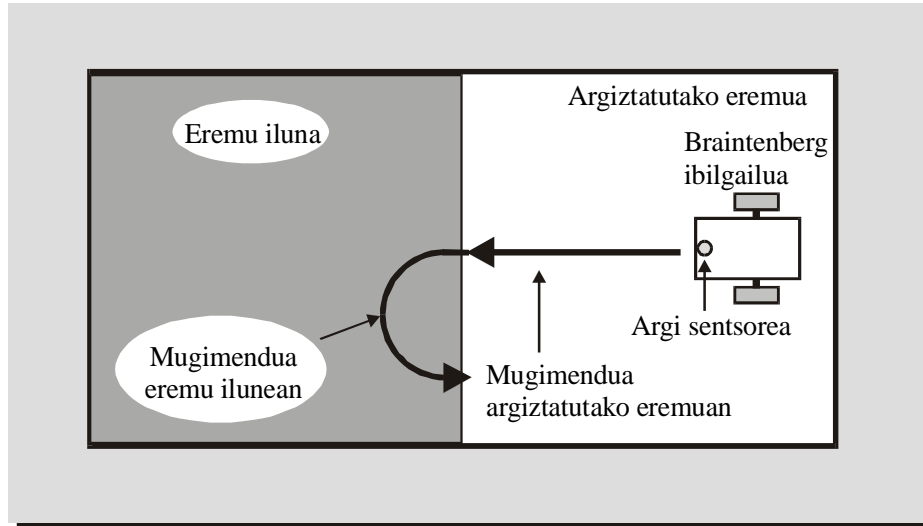
4. irudia. Lotsatia

Zalantzatia (itzalaren mugaren bilatzailea). Makina honen hardware egitura lotsatiarena bera da, baina eremu ilunera iristen denean, gelditu beharrean bere mugimenduaren noranzkoa alderantzikatzen du. Ondo eta gaizki argizaturiko eremuen arteko mugaren ondoan dagoenean, aurrera eta atzera mugitzen hasten da, zalantzatiaren itxura emanez (ikus 5. irudia).



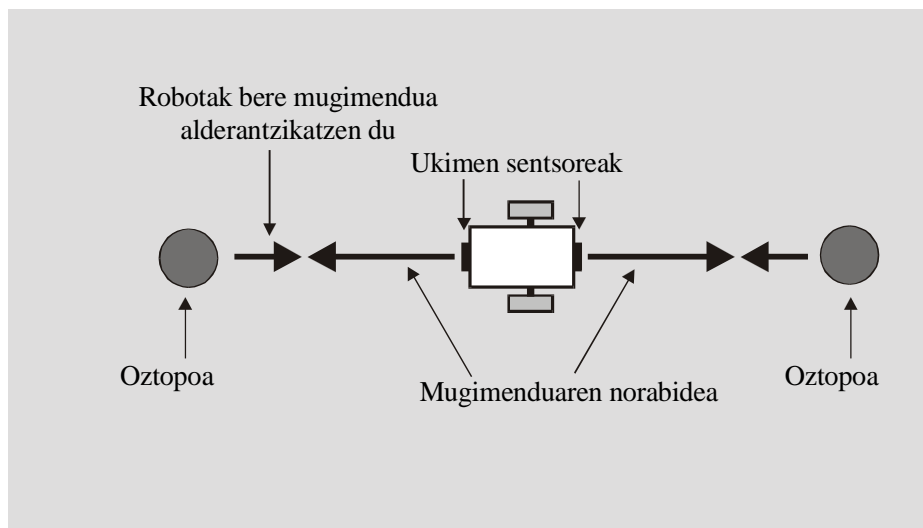
5. irudia. Zalantzatia

Paranoikoa (iluntasunaren beldur den robota). Robot honen egituran ez dago inolako aldaketarik aurrekoekin alderatuta. Hala ere, paranoikoak, eremu ilunean sartzen denean, bere norabidea aldatzen du eta eskuinera edo ezkerrera biratzen du ondo argiztaturiko eremura itzultzeko asmoz.



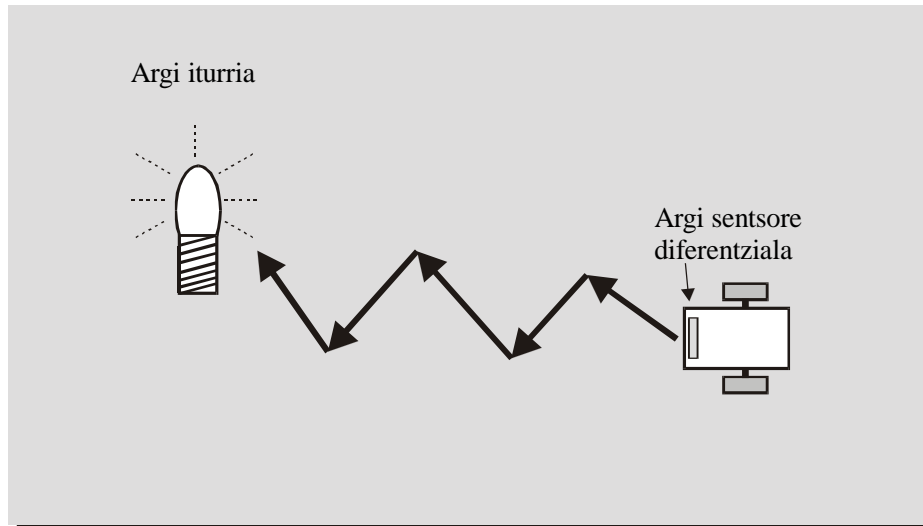
6. irudia. Paranoikoa

Tematia (oztopoen saiheslea). Ibilgailu honen zentzumen aparatua bi ukimen sentsorez osaturik dago (paratxokeak). Bi sentsoreak ibilgailuaren aurreko aldean eta atzeko aldean kokaturik daude. Aurreko sentsoreak oztopo bat ukitzen duenean ibilgailuak atzera egingo du, eta atzekoak oztopo bat ukitzean aurrera egingo du (ikus 7. irudia).



7. irudia. Tematia

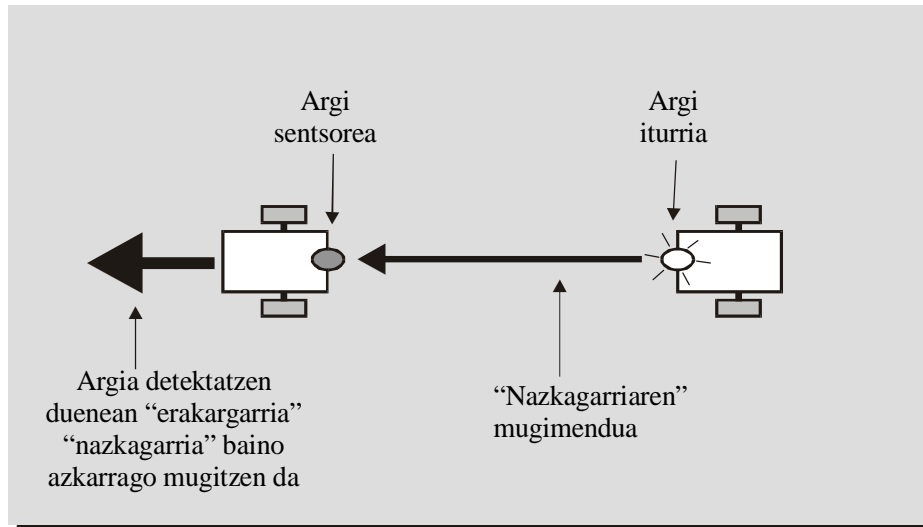
Gidaria (argi bilatzailea). Robotaren aurreko aldean sentsore bat dago. Sentsore hau ezkerretik eta eskuinetik datorkion argi intentsitatearen diferentzia antzemateko gai da. Ibilgailua eskuinaldera egingo du iristen zaion argiaren intentsitate handiena eskuinetik badatorkio, eta kontrako kasuan ezkeraldera. Arau hauek jarraituz, ibilgailua argi iturri baterantz mugituko da, eta sigi-sagan doan ibilbide bat deskribatuko du (ikus 8. irudia).



8. irudia. *Gidaria*

Erakargarria eta nazkagarria (jarraitzailea eta iheslaria). Esperimentu honetan bi Braitenberg ibilgailu erabiltzen dira. “Erakargarria” atzealdean argi sentsore bat duen organismo artifizial bat da. Bere inguruko argi intentsitateak aurrez erabakitako muga bat gainditzen duenean, ibilgailuak aurrera egingo du era azkar batean, alderantzizko egoeran geldirik egongo da. “Nazkagarriak” argi txiki bat du aurrealdean, eta aurrera egiten duenean poliki eta etengabe joaten da.

Imajina ezazu erakargarria eta nazkagarria marra zuzen baten gainean daudela eta erakargarria nazkagarritik urruti dagoela. Hasieran, erakargarria geldirik egongo da nazkagarria poliki aurreratzen hasten den bitartean. “Nazkagarria” “Erakargarria”-ren argi sentsorea aktibatzen den lekura hurbiltzen denean, “Erakargarria” abiadura handiz abiatuko da aurrera. Une horretan, jazarpen bat ikus ahal izango da (ikus 9. irudia), horren ezaugarria nagusiak “Nazkagarria”-ren hurbiltze geldoa eta “Erakargarria”-ren ihesaldi azkarra izanik.

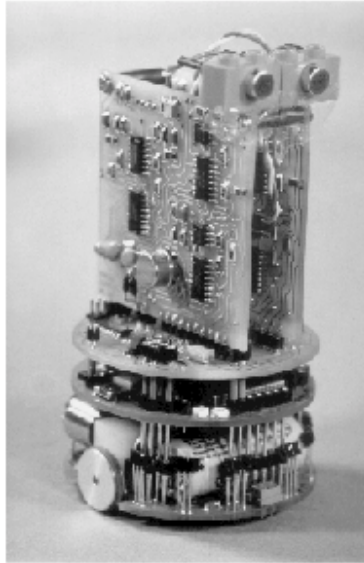


9. irudia. Erakargarria eta nazkagarria

Kilkerraren portaera simulatzen duen organismo artifiziala

Edinburgoko Adimen Artifizialeko Departamenduan, Organismo artifizialen ikerketan aritu gara, Barbara Webb, animalien psikologoa, eta John Hallam-ekin elkarlanean. Lanaren emaitza *Science*-n² (Bains, 1994) aurkeztu da. *Robotic experiments in cricket phonotaxis*-en helburua kilkerraren portaera nahaspilatua argitzea da. Bereziki, mota honetako intsektu emeak, arak egindako deietan oinarrituta, arra bilatzeko erabiltzen duen modua ikertu dugu. Kasu honetako bereizgarritasuna behatutako portaerak buru-gaitasun konplexuak eskatzen dituela da: emeak inguruko soinu guztien artean kilker arrarena bereiztu eta identifikatu behar du, soinuaren jatorria dagoen tokirantz era eraginkor batean abiatzeko. Jarduera hau zailtzen duen faktore bat dago: kilker arraren soinua ez da etengabea, silabaz osaturik baizik, hau da, tarte erregularretan errepikatzen diren soinu laburrak. Kontu eztabaidagarria hau da: kilker emeak bere bikotea arazoaren aldagai esanguratsuen irudikatze konplexu bati esker aurkitzen du ala portaera erreflexu soil batez. Organismo artifizialekin egin ditugun esperimientuek bigarren hipotesia aukera erreal bat dela iradokitzen dute. Kilkerraren erreakzio oso antzekoak dituen robot txiki baten eraikuntza eginez ideia hau frogatu da.

²“Investigación y Ciencia” aldizkarian, 1997ko otsaileko alean, Barbara Webb-ek “Un grillo robot” artikulua argitaratu zuen (Itzultzailearen oharra)



10. irudia. Kilkerren phonotaxian robotikako esperimentuetan erabilitako robot kilkerra. (Copyright 1997 H. H. Lund)

Organismo artifizialak bi gurpil ditu, bakoitza independentea den motore batek gidatua; zentzumen aparatua, organismoaren alboetako aurreko aldean dauden soinu hartzaileek, infragorrien sentsoreek eta ukimen sentsoreek osatzen dute. Gainean daraman ordenagailuko memoria dauden arauak makinaren “burmuina” osatzen dute.”Burmuina”ri esker, organismo artifizialak oztopoak detekta eta ekidin ditzake, eta kilker arraren sexu deiarene soinuen moduko soinu estimuluak identifikatu eta jarrai ditzake. Oinarrizko “burmuin” hau izanda ere, robotak erakusten duen portaera ia ia intsektu biziena berdina da. Harrigarria bada ere, esperimentuaren jatorrizko diseinuan aurreikusita ez zeuden estrategia konduktista oso eraginkorrak izaten ditu. Adibidez, inguruan dei soinu berdina emititzen duten bi bozgorailu badaude, organismo artifiziala orientatu eta horietako bakar batera hurbiltzen da.

Ikerlari batzuek kilker artifizialekin egiten den lana kritikatu dute, kilker errealek, benetan, arau sinpleak ala buru eskema konplexuak erabiltzen dituzten frogatzen ez dutelako. Hala ere, “etologia artifizialean” egin ditugun esperimentuek ondoko honetaz proba zehatz bat eman digute: hasiera batean behintzat, kilker eme bat gai litzateke bere bikotea identifikatzen eta berarengana hurbiltzen oinarrizko motore-zentzumen aparatua erabiliz. Gure lehen prototipoarekin jardun ondoren, gure hipotesiari proba egin genion egin zitekeen robotik txikiena erabiliz, esperimentua tamaina errealeko organismo eta inguruekin errepikatzeke (ikus 10. irudia). Robot honek prozesatze azkarragoa zeukan, eta hardware berria entzumenerako. Kilkerra dei soinuei ekiten zienean, organismo artifiziala hurbiltzen zitzaion (Lund, Webb, & Hallam, 1997, 1998).

Organismo Artifizialak eta Eboluzio-Robotika

Orain arte aipatutako robot mugikor guztiak gizakiok programatuak izan dira. Zoritxarrez, nahiz eta gizakiok “ad hoc” inguru artifizialetan prozesu konplexuak kontrolatzen oso trebeak izan, bizitza errealeko gertaeren segidak era zehatzean menderatzeko eta aurreikusteko gaitasunik ez dugu. Ia era perfektu batean xakean jokatzeko duten automatak asmatu ditugu kableak eta ordenagailuak mihizatuz, baina oraindik,

espazioan edo ingurune baldintza ezberdin sorta zabal batean, mugitu daitezkeen makina autonomoak ekoizten ez gara gai izan.

Azken bi urteetan zehar, ikertzaileak muga hau gainditzen saiatu dira naturan zuzenean inspirazioa bilatuz. Ondo jakina denez, organismoak inguruneko baldintzei beren burua egokitzen dute, beren gorputza eta portaera aldatuz. Plastikotasun hau, bai indibiduoaren bizitzan zehar (garapen ontogenikoa) bai espezie bereko ondoz ondoko indibiduoaren generazioen ondoren (garapen filogenikoa) antzematen da. Hain zuzen, *auto-antolaketa* gaitasun hau da ikertzaileak sistema artifizialen eraikuntzan imitatu nahi dutena. Auto-antolaketa ikuspegi honetan, robotaren portaera erabakitzen duten arauak ez ditu giza programatzailea era esplizituan egiten, baizik eta egokitze prozesu baten emaitza dira. Prozesu hori garatu bitartean, makinek esperientzia bereganatzen dute munduan, eta esperientzia horren arabera aldaketak egiten dituzte.

Idea hauen inguruan garatzen ari den asmo handieneko proiektua, Robot Ebolutiboaren zientzia berrian oinarritzen da. Robotika Ebolutiboaren azken helburua gizakiaren parte hartzerik gabe bizitzeko, erreproduzitzeko eta hiltzeko gai diren makinak garatzea da. Oraingoz, Robotika Ebolutiboan egindako esperimentu gehienak ordenagailu bidezko simulazioetan oinarritzen dira, hauek aztertu nahi dituzten robot fisikoaren eta ingurunearen ezaugarri garrantzitsuak emulatzen dituzte. Populazioaren dinamika gidatzen duten modelo matematikoez –“algoritmo genetiko” izenez ezagutzen direnak– garapen biologikoa errepikatzen saiatzen dira, jarraian deskribatzen den moduan.

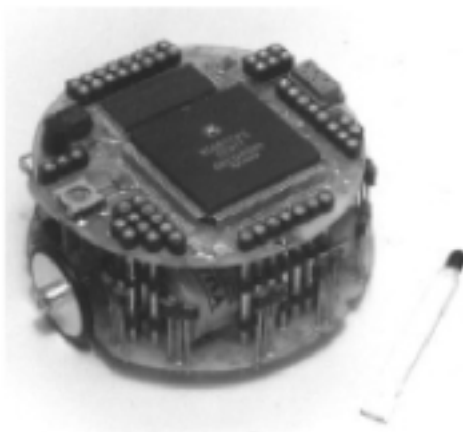
Hasierako roboten populazioa (1 generazioa) era aleatorio batean eraikitzen da, eta indibiduo bakoitzari ezaugarri ezberdinak ematen zaizkio (adibidez, sentore, sentore kopuru, portaera arauak, gurpilen posizioa... ezberdinak). Makina bakoitzak lan zehatz bat egin behar du (adibidez, espazioko toki bat ahal duten azkarren aurkitzea). Une horretan, 1 generaziokoaren artean banakako emaitza onena lortu duena erreproduziorako aukeratzen da. Aukeratutako indibiduo bakoitza “aita organismoa” bihurtzen da, eta bere buruaren hainbat kopia egiten ditu, hau da, seme-alabak. Aita/seme-alabak erreproduzio prozesua ez da perfektua: kopiatze prozesuan erroreak gertatzen dira (mutazio genetikoak). Robot umeez 2 generazioa osatzen dute. Aukeraketa erreproduzioa prozesu hau nahi den aldietan errepika daiteke –gehienetan software simulazio baten bitartez. Ikerketaren uneren batean garapenaren simulazio prozesua etetea erabaki daiteke, eta ez hori bakarrik, ordenagailuaren memorian irudikatutako robotak egiten saiatu ere.

Robotika Ebolutiboaren inguruan egindako lehen esperimentuetako bat Miglino, Nafasi eta Taylorek (1995) zuzendu zuten UCLako Biologia Departamentuan. Hiru ikertzaileek simuladore bat erabili zuten ingurune zehatz bat esploratzen ikasten zuten roboten populazio bat garatzeko. Simulatutako roboten artean eraginkorrena denaren kontrol sistema robot erreal batera transferitua izan zen. Robot fisikoaren portaera eta simulatutako organismoarena ia berdin-berdinak zirela antzeman zuten. 11. irudian Miglino, Nafasi eta Taylor-en robot mugikorraren hardware arkitektura ikus daiteke. Hiru ikertzaileek erabilitako eraikuntza kit-aren erabilera anitzeki esker, hardware soluziobide ezberdinak azkar esperimentatu eta inplementatu ahal izan zituzten. Berez, garapen simulatuaren bidez proiektatutako robot prototipoen eraikuntza errazten duten tresnak (eraikuntza kit-ak) eskura edukitzea Robotika Ebolutiboaren arrakasta erantzule nagusia izan da.



11. irudia. Miglino eta Taylor-ek UCLAko Biología Departamentuan egindako organismo artifiziala

Robotika Ebolutiboan sarri erabili den robot aski ezaguna den Khepera robot txikia da (10. irudia). Khepera-k Motorola 68331 kontroladorea bat (256 Kbyte RAM eta 512 Kbyte ROM) dauka, bi gurpil, infragorrien zortzi sentsoreekin batera eta bere neurriak 55 mm-tako diametroa, 30 mm-tako altuera eta 70 g-tako pisua dira. Nahiz eta oraingoz Kheperak aldaketak egiteko aukera urriak eskaini, bere tamaina txikia eta sendotasunari esker tresna ona da. Hau dela eta, gero eta ikertzaile gehiago ari dira Khepera erabiltzen, ez bakarrik Robotika Ebolutiboan, baizik eta organismo artifizialen inguruko gainerako ikerketa eremu guztietan ere. Adibidez, kilkerra artifizialaren errealismoa hobetzeko asmoz lan osagarria egiteko gehigarriak zituen Khepera robotaren bertsio bat erabili zen, batez ere txikia delako eta parametro esperimentalen kontrol hobe eskaintzen duelako.



12. irudia. Khepera robot mugikor txikia

Miglino, Lund y Nolfi aurrera egin dute UCLA sistemaren garapenean Khepera erabiliz. Italiako Ikerketa Kontseilu Nazionaleko Psikologia Departamentuan hiru ikertzaileek simulatutako eboluzioa erabili dute Khepera robotarentzat sare neuraleko kontrol sistemak garatzeko, ondoren, sare neuraleko kontrol sistematik onena Khepera

robot errealerara transferitzeko. Simulatzailearen erabilpenak esperimentaziorako behar zen denbora %98 murriztu zuen. Simulatzaileari soinua gehitu ondoren, ingurune simulatu eta fisikoetan eraginkortasun berdina duten indibiduoak lortzea posiblea zela ohartu ziren. Beraz, baliozkoa da simulatzaile azkar bat erabiltzea garatutako kontrol sistemak robot errealerara transferitu aurretik. Honek aukera eskaintzen die ikasleei eboluzioari buruzko ikasketak zabaltzeko, eszenatoki biologikoetan ezinezkoa izango zena, hain zuzen, animali errealean generazio batzuk eskatzen dituzten esperimentuak egiteko denbora luze behar delako.

Robotika Ebolutiboan egindako esperimentuek erakusten dute prozesu ebolutiboan simulazioak robot errealerantz kontrol sistema adimentsuen garapenaren automatizazioa posible egiten duela. Darwin-en teoriak iragarritako prozesu naturala simulatuz, eta osagai (mutazio tasa, presio selektiboa...) batzuekin jokatu, ikasleek bereganatzen duten ulermen teorikoa beste edozein eratan posible izango litzatekeena baina askoz hobea da.

Arestian aipatua izan den bezala, Robotika Ebolutiboko teknikak ikertzailea mundu simulatutik (digitalak) inguru errealerara eta makinetara (eta alderantziz) etengabeko aldaketak egiten behartzen dute. Hezkuntza ikuspuntu batetik ikusita, etengabeko aldaketaren ikuspegia garrantzizko hainbat gai erakusteko baliagarria da: inguru fisikoaren modeloak nola eraiki eta argi intentsitatea bezalako inguruko ezaugarri zehaztugabe ez-kontrolagarriak nola gehitu. Robot errealerara egindako kontroladoreen transferentziak simulazioaren doitasunaz erantzun inplizitua ematen du. Hitz gutxitan esanda, robotika ebolutiboko esperimentuek ikasleak gaur egungo informatikako ikerketako eztabaidagai sorta zabal baten aurrean jartzen ditu. Horregatik, Aarhus-eko Unibertsitateko Informatikako Departamentuak Robotika Ebolutiboa eta Robot Adaptatiboez ikastaro bat eskaintzen hasi da. Ikastaro amaierako proiektua Danimarkako Roboten arteko Futbol Txapelketan parte hartzea da.

Mundu errealean mugitu beharra duten robot fisikoekin esperimentatuz, informatikako ikasleek mundu simulatua (ziurgabetasunik gabeko modelo informatikoa) eta errealearen artean ezberdintasunak daudela azkar ikasten dute. Datu fidagarriekin lan egiten duten ikasleak bereziki sentsoreetatik datozen sarrerak interpretatzeko zailtasunek harritzen dituzte. Robot fisikoekin esperimentu asko egin behar dira ikasleek beren arrazoitzeko modua alda dezaten. Maiz, proiektuaren bukaeran ere laborategiko eta “joko zelaiko” baldintza fisikoaren artean dauden ezberdintasunez harritzen dira. Honelako esperientzia oso garrantzitsua da informatikoentzat, hala, lizentziatu ondoren mundu errealeko datuekin lan egiten duten dispositiboak diseinatu eta programatu behar dituztenerako, transbordadore espaziala bezala.

ROBOT-HAZKUNTZA DISEINU ETA PROGRAMAZIOAREN MUGAK GAINDITZEKO

Aurreko atalean aurkeztutako proiektu, ideia eta esperimentu guztiak programazioari bideratutako filosofian oinarritua dago. Beste era batean esanda, umeei, goi mailako neska-mutuei uste dute badakizkitela edo ikasten dituztela inguruneak eta organismo artifizialak programatzeko behar diren eskuko jakintza/trebetasunak. Hala ere, eguneroko bizitzan, sarritan indibiduoek prozesu dinamikoetan parte hartu behar izaten dute, eta prozesu horiek gidatu azken helburua oso argi ez izan arren. Bizitza errealeko egoera askotan, helburuak denboran zehar aldatzen dira. Honek, ezinezko bihurtzen du sor daitezkeen egoera guztietan baliagarria den irtenbide bat (edo makina bat) programatzea. Maiz, indibiduoaren betebeharra gertatu berriak diren irtenbideak aukeratzea edo antzeko

irtenbideak asmatzen laguntzea baino ez da. Hau da, adibidez, abeltzainek eta nekazariak abere edo landareen hazkuntzan egiten dutena; haur bat zaintzearen sentsazio bera da. Hitz gutxitan, ikasi behar duguna ez da konplexutasuna programatzea, administratzea baizik.

Duela gutxi egindako esperimentu batean, umeei Robotika Ebolutiboko esperimentu batean parte hartzeko aukera ematean gertatzen dena aztertu dugu. Esperimentu honetan prozesu ebolutibo bat gidatzen saiatu ziren.

Robotika Ebolutibo tradizionalaren ikuspegiak ikasleei funtzio matematikoak ulertzeko eskatuko lieke. Hau baztertua gelditu zen. Gainera, “LEGO roboten LOGO programazioa” ez zen bestelako ikuspegi bat bilatzen genuen. Beraz, hirugarren aukera aukeratu dugu: Robotika Ebolutiboa Interaktiboa. Ikuspegi honetan, umeei roboten kontrolatzaileak simulatzailean garatzen dituzte. Garapenaren fase bakoitzean, umeei monitorean eskaintzen zaizkion robot portaeren artean aukera egiten du. Simulatutako robotaren portaera nahikotzat jotzen dutenean, garatutako kontrol sistema LEGO robot erreale batera transferitzen dute eta ingurune erreale batean jarraitzen dute jolasten.

Robotika ebolutiboa interaktiboaren proposamena alde aurretik egindako hainbat lanetan oinarritzen da. Lan hauetan, robot simulatuen kontrolatzaileak, aurpegi espresioak eta irudi artistikoak garatzeko algoritmo genetiko interaktiboak erabiltzen genituen (ikus, adibidez, Pagliarini, Lund, Miglino & Parisi, 1996; Vucic & Lund, 1998). Ikuspegi honetan, ez dago programazioaz jakintzarik eduki behar. Azken erabiltzaileak egin behar duen gauza bakarra, monitorean grafikoaren bitartez eskaintzen zaizkion irtenbideen artean aukera egitea da. Orain aukeraketa ez da egokitasun funtzio batean oinarritzen, azken erabiltzaileak zuzenean exekutatu baitu.

Harrigarria bada ere, umeei, gure tresnari esker, aurrez robotika ebolutiboko ikertzaileek garatutako robot sinpleen portaera gehienak ekoizteko gai izan dira.

ONDORIOAK

Hezkuntza testuinguru batean, ordenagailu batek duen prozesu eta gordetze gaitasunak erabiltzeko bi bide nagusi daude: a) jakintzan oinarritutako sistemak sortzea (WEB Interneteko zerbitzuak, entziklopedia multimedialak...), erabiltzaileak bertan nabigatu eta testuak, irudiak, soinuak, eta abar errekuperatzeko; b) simulatutako laborategi bat sortu metodo zientifikoaren antzeko prozesuak aplikatuz jakintza zabaltzen aukera izateko: gertaera baten inguruan hipotesiak formulatu eta esperimintuen bitartez hipotesi horien proba egin. Lehen bideari jarraituz sortutako tresnek gizarte zientzien ikasketa erraz dezaketen bitartean, bigarren bidea egokiagoa da eduki teknologiko eta zientifikoaren irakaskuntzarako.

Laborategi simulatuaren sistema hezkuntzaren ikuspegi konstruktibistaren inplementazio zuzena da (Piaget 1966; Papert 1980, 1986; Harel & Papert, 1990). Piaget eta Papert-ek diotenez, indibiduoek beren inguruko ezaugarri garrantzitsuak aukeratzen dituzte era aktiboan, objektu zehatzak manipulatzeko dituzte eta ekintza hauen ondorioen behaketaz jakintza berria bereganatzen dute. Honela indibiduoak errealitatearen errepresentazio bat sortzen du. Ikaslearen jarrera aktibo hau bera da ordenagailu bidezko jokoen ezaugarriak erakargarriena. Hala ere, simulazio software ingurune tradizionalak idealizatutako mundu batean harrapatzen dute erabiltzailea, bertan ingurune fisikoko alderdi garrantzitsu eta zehaztugabeak alde batera uzten direlarik. Dokumentu honetan, ordenagailua objektuei mundu fisiko batean bizitza emateko nola erabili deskribatu dugu. Era honetan, inguruneko objektu oro gainerako mundu fisikoarekin eta beste sistema adimentsuekin interakzioan azter daitezkeen sistema adimentsu txiki bat bezala ikus daiteke. Ikuspuntu honetatik, ordenagailua erabat abstraktuak diren egitura formalak (programa informatikoak) eta mundu errealeko alderdi nagusi ez-deterministen artean zubi moduan ikus daiteke.

A ERANSKINA: ROBOTIKARAKO TRESNAK

Robotika hezkuntza curriculumetan erabiltzeko hardware proposamen batzuk daude. Orokorrean, hardware eskaintzak bi taldetan multzoka daitezke: 1) aurrez definitutako morfologia duten robotak, eta 2) pieza txikiez egiten diren robotak. Adibidez, Khepera robota (Suizako K-Team-ek egina), arestian aipatutakoa, 1 multzoko roboten adibidea da, nahiz eta oinarrizko robotari modulu extrak gehitzeko aukera izan (adibidez, barailak edo ikusmen sistemak). Ingeniaritzan trebea izanda, modulu pertsonalak egin daitezke Kheperari gehitzeko, guk entzumen moduluekin egin genuen bezala. Hala ere, erabiltzaile gehienentzat robot hau, aurrez muntatutako makina gehienak bezala, aurrez definitutako morfologia izango du.

Sendoa eta txikia delako, Khepera robota oso egokia da ikasgelan erabiltzeko. Txikia izanik, gelan instalatzeko konfigurazio esperimental batzuk (bideskak eta estadioak) egitea oso erraza da. Hala ere, txikia izateak ingurune errealistagoetan funtzionatzeko zailtasunak ekar ditzake. K-team-ek Koala izeneko robot handiago bat fakturatzen du, korridore eta hainbat azaletan funtzionatzeko egokia dena. Bai Khepera, bai Koala C programazio hizkuntzaz programatzen dira, beste robot dispositiboekin komunikatzeko protokolo batekin. Honek esan nahi du, robot hauek egokiagoak direla unibertsitateko ikasle eta lizentziatuek erabiltzeko, eta mundu errealeko lanen kontrola egiteko. Merkatuan, antzeko ezaugarriak dituzten robot ezberdinen eskaintza zabala dago.



13. irudia. LEGO MindStorms kit-a. (Copyright 1998. H. H. Lund)

Kasu askotan, aurrez definitutako morfologia duen robota desegokia da. Adibidez, curriculumean engranaje, motore, sentsoare eta orokorrean ingeniartzaren ikastea badago, hobe da esperientzia praktikoa ematea ikasleei beren robot propioak egiteko aukera emanaz. Duela gutxi arte, ikuspegi honek irakasleak eta ikasleek ingeniartzara elektrikoan trebezia edukitzea eskatzen zuen. Ikuspegi honi buruzko ikerlan bikain bat Joseph Jones eta Anita Flynn-en liburuan aurki daiteke: “Mobile Robots: Inspiration to Implementation”.

Bertan, egileek Rug Warrior robota eta hainbat osagaien garapenaren deskripzio teknikoa eskaintzen dute. Rug Warrior eraikuntza kit moduan eros daiteke liburuarekin batera.

Gure iritziz robotekin esperimentatzen hasteko biderik errazena LEGO makinak egiten hastea da, sentsore, eragingailu eta kontrol gaitasunekin. Hau LEGO Dacta, LEGO CodePilot, LEGO CyberMaster eta LEGO Mindstorms sistemekin egin daiteke. Hemen LEGO MindStorms ikusiko dugu. Sistema honen osagaiak hauek dira: kontrol unitate funtzioak dituen LEGO adreilu handi bat, LEGO sentsoreak (adibidez, argi eta ukimen sentsoreak) eta LEGO motoreak. Beste LEGO sentsoreak ere erabil daitezke, hain zuzen, tenperatura eta angelu sentsoreak. Osagai hauek erabiliz, LEGO robot tradizionalak egiteaz gain, funtzionalitatea eman dakieke. Kontrol unitatea bateriak dauzka, honela, autonomoa izan daiteke ordenagailu anfitrioiarekin konexiorik eduki gabe. Kontrol unitateak hiru sarrera dauzka –sentsoreak konektatzeko baliagarriak– eta hiru irteera motoreentzat. Konektoreek LEGOren diseinu tradizionala dute eta oso erraz erabiltzen dira, konexioak LEGO adreilu bat beste baten gainean jartzen den era berean. Honek aukera ematen dio ikasleari berak aukeratutako morfologia duen robota egiteko, eta proiektuan zehar aldatzeko. Esperimentazioaren zehar, ikasleak barneratutako jakintza erabili dezake robota aldatzeko (sentsore ezberdinak erabili, motoreak kokapen ezberdinetan jarri, transmisioan aldaketak egin...). LEGO MindStorms robotak programazio hizkuntza grafiko bat erabiliz programatzen dira (hizkuntza erabiltzeko moduak antza handia du puzzle batean piezak jartzeko erarekin), eta egokia da 11 urte arteko umeekin erabiltzeko. Proiektu aurreratuagoak egiteko, aukera dago kontrol programa aurreratuagoak egiteko Windows-eko konpiladoreak erabiltzeko, hala nola, Visual Basic, Visual C++ eta Visual Java++. Kontrol programa PC-an konpilatu ondoren, LEGO robot-era transferitu daiteke infragorrien komunikazio baten bitartez. Hortik aurrera, robotak era autonomoan funtzionatuko du.

B ERANSKINA: INFORMAZIO GEHIGARRIA

GRAL-en web gunean (Adimen Artifiziala ikertzen duen talde bat) Italiako Ikerketa Kontseilu Nazionalan bizitza artifiziala eta robotika ebolutiboaz informazio ugari aurki daiteke. Abiapuntu ona da <http://kant.irmkant.rm.cnr.it/gral.html>.

<http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ezequiel/alife-page/alife.html> web gunean bizitza artifiziala eta robotika ebolutiboaz artikulu zientifiko ugari dago.

LEGO Mindstorms robotak <http://www.LEGOmindstorms.com/> web gunean deskribatuta daude, eta LEGO Mindstorms roboten erabilpena ikerketan <http://legolab.daimi.au.dk/> web gunean.

<http://el.www.media.mit.edu/groups/el/> web gunean Papert eta Resnick-ek konstruktibismoaz egindako lana dago.

ESKER ONAK

Ole Caprani (LEGO Lab, Informatikako Departamentua, Aarhus-eko Unibertsitatea) Lehen LEGO Liga-txapelketaren proiektuaren buru izan zen. Autoreek, idazlan honetan aipatzen diren erreferentzia lanen autoreei eskerrak eman nahi dizkiete. Eskerrik asko Richard Walker-i eman duen laguntza baliagarriarengatik.

BIBLIOGRAFIA

- Bains, S. (1994). Even a Robot Cricket Always Gets Her Mate. *Science*, 266, 1809.
- Braitenberg, V. (1984). *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Harel, I. & Papert, S. (1991). *Constructionism*. N J: Ablex Publishing Corp.
- Hogg, D. W, Martin, F., & Resnick, M. (1991). *Braitenberg Creatures*. E&L Memo N° 13, MIT Media Lab. Cambridge, MA.
- Jones, J. L. & Flynn, A. M. (1993). *Mobile Robots: Inspiration to Implementation*. Wellesley, MA: A K Peters.
- Kafai, Y. & Resnick, M., (1996). *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lund, H. H. & Miglino, O. (1995). *Using Real Braitenberg Vehichles in an Educational Setting*. Neural Systems and Artificial Life Group, Institute of Psychology, National Research Council, Technical Reports 08-95.
- Lund, H.H., Webb, B., & Hallam, J. (1997). A Robot Attracted to the Cricket Species *Gryllus bimaculatus*. In *Proceedings of 4th European Conference on Artificial Life 1997*, Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Lund, H.H., Webb, B., & Hallam, J. (1998). Physical and Temporal Scaling Considerations in a Robot Model of Cricket Calling Song Preference. *Artificial Life* 4(1), 95-107.

- Martin, F. (1996). Ideal and Real Systems: A study of notions. In Yasmin Kafai and Mitchell Resnick (eds.) *Undergraduates Who Design Robots. In Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum
- Martin, F. G. (1994). *Circuits to Control: Learning Engineering by Designing LEGO Robots.* Ph. D. Thesis. MIT, Boston.
- Miglino, O., Lund, H. H., & Nolfi, S. (1995). Evolving Mobile Robots in Simulated and Real Environments. *Artificial Life* 2(4), 417-434.
- Miglino, O., Nafasi, K., & Taylor, C. (1995). Selection For Wandering Behavior in a Small Robot. *Artificial Life*, 2 (1), 101-116.
- Pagliarini, L., Lund, H. H., Miglino, O., & Parisi, D. (1996). *Artificial Life: A New Way to Build Educational and Therapeutic Games.* In *Proceedings of Artificial Life V.* Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas.* NY, New York: Basic Books.
- Papert, S. (1986). *Constructionism: A New Opportunity for Elementary Science Education.* A MIT proposal to the National Science Foundation.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966) *La psychologie de L'enfant.* Paris: P.U.F.
- Resnick, M. (1988). *MultiLogo: A study of Children and Concurrent Programming.* Master Thesis MIT, Boston.
- Resnick, M. (1989). *LEGO, Logo, and Life.* In Langton C. (eds.) *Artificial Life.* Boston, MA: Addison-Wesley.
- Resnick, M. (1994). *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Vucic, V. & Lund H. H (1997). Self-evolving Arts --- Organisms versus Fetishes. *The Hungarian Journal of Modern Art*, 104, 69-79.

OHARRA

Dokumentu hau Koldo Olaskoagak euskaratu du.

Honekin batera beste hainbat material eskura daiteke <http://www.donospat.net/2000> helbidean.

Robotikaren bidetik esperientziaren bat egingo bazenu, interesatuko litzaidake horren berri izatea

E-mail: robotek@donospat.net