

ROBOTITE PARVED

JÜRI VAIN

Üldarusaam robotist kui monoliitse disainiga masinavärgist, mis täidab inimese poolt konkreetselt seatud ülesannet, on püsinud üle poole sajandi. Võib esile tuua terve hulga silmapaistvaid saavutusi, kus robotid lahendavad selgelt piiritletud ülesandeid küll muutuv, kuid üldiselt teadaolevas keskkonnas.

Nimetagem vaid autonoomseid robotliikureid nagu robotlen-nukid (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*) ja robotkulgurid (UGV – *Unmanned Ground Vehicles*), mis võivad GPS positsioneerimise abil läbida iseseisvalt tuhandeid kilomeetreid (vt võistlus *Grand Challenge*).

Kui tegemist on aga ülesandega, mida robotid suudavad lahendada ainult kollektiivselt, muutuvad ka drastiliselt nõuded robotite disainile. Bioloogiast teame näiteid, kus lihtsad organismid suudavad koostöös täita ülesandeid, mis igaühel eraldi võttes käib üle jõu.

ROBOT KUI SOTSIAALNE OLEND OMASUGUSTE HULGAS

Kuigi putukaparvedes või loomakarjades puudub piisavalt intellekti ja teadmisi omav liider, kes suudaks planeerida ja juhtida karja iga liikme tegevust individuaalselt, osutub karja kui terviku käitumine sageli üllatavalt tõhusaks. Sotsiaalne käitumine näiteks mesilastel pesa kaitsmisel ning lindudel parvede moodustamisel rändeks saavutatakse tänu väga lihtsatele suhtlusmehhanismidele rühma liikmete vahel. Seega rühma kui terviku arukas käitumine ja intellekt ei ole kuidagi taandatud rühma ühelegi konkreetsel liikmele. See avaldub ainult makrotasandil.

Rühma käitumise kvalitatiivne muutus sõltub oluliselt rühma suuruselt. Suurtest rühmadest räägime kui parvedest (*swarm*) ja sellega seoses nn parve intellektist (*swarm intelligence*). Parv käitub kui teatud superorganism. Vaadeldgem termitide kolooniat. Termitipesad on keerulise arhitektuuriga rajatised, mis on loodud väga lihtsa isend-isend ja isend-keskkond interaktsioonide tulemusena. Koloonias puudub "peaarhitekt", kes teaks või tunnetaks mingil moel pesa üldplaani olemasolu. Samasugune olukord valitseb ka robotiparvedes.

PUTUKA- JA ROBOTIPARVED

Edukus, millega sotsiaalsed olendid hoolimata oma lihtsusest suudavad lahendada keerukaid ülesandeid, on inspireerinud roboti- ja arvutiteadlasi rajama uue uurimissuuna – parvede robotika. Koordineeritud sotsiaalse käitumise põhjusi ei ole aga alati lihtne mõista. Põhiküsimuseks on see, mis omadused muudavad lihtsa indiviidide rühma parveks?

Ehkki oma individuaalsetelt võimetelt piiratud, annavad rühma isendid suure hulga lihtsate märkide abil suheldes üheskoos tugeva kumulatiivse efekti. Sipelgad suudavad koos vedada pessa ehitusmaterjali ja toidupalakesi, mis ületavad ühe sipelga kaalu sadu kordi. Kariloomad moodustavad format-sioone, mis kaitsevad karja nõrgemaid liikmeid kiskjate eest.



REPRO

Termitipesa on keerulise arhitektuuriga rajatis, millel puudub peaarhitekt. Samasugune olukord valitseb ka robotiparvedes.

Linnud lendavad parvedes, mis aitavad kõige paremini säilitada jõuvarusid.

Nagu nähtub eespool öeldust, on üks tegureid, mis korrastab ja struktureerib parve isendite näiliselt juhuslikku käitumist, rühma formatsiooniline käitumine. Viimase all mõeldakse olukorda, kui naabruses olevad isendid säilitavad üksteisega teatud kauguse ja ruumilise asetuse, nagu näiteks isendid kala-sääse- või linnuparves.

SOTSIAALSE POTENTIAALI VÄLI

Rühma indiviidide omavahelist kaugust reguleerib nn sotsiaalse potentsiaali väli – parves olevaid naaberisendeid lähemale tõmbavad ja eemale tõukavad jõud, mis realiseerub helisignaali või lõhnade kaudu. Katsed robotitega, kus isendid hoiavad omavahelist kaugust helisignaali tugevuse abil, näitasid, et mehhanism toimib hästi saagi otsimisel, kus parv peab otsinguga katma võimalikult suure ala. Idaho ülikoolis tehtud uuringud tuumajaamade radioaktiivse jahutusvee lekete avastamise ja reostuse ulatuse tuvastamisel robotiparvedega näitasid veenvalt, et kohandades sotsiaalse potentsiaali välja parameetreid vastavalt otsingu eesmärgile ning keskkonna ja parve omadustele, oli võimalik tõsta parvede käitumise efektiivsust. Parvel tuleb osata hargneda hoones, läbi otsida koridorid ja muud ruumid, avastada radioaktiivseid lekkeid ning piirata ümber mis tahes läbijooksu korral tekkinud loik. Parv peab täitma ülesande igal juhul, olenemata sellest, kas inimene aitab parve suunata või mitte.

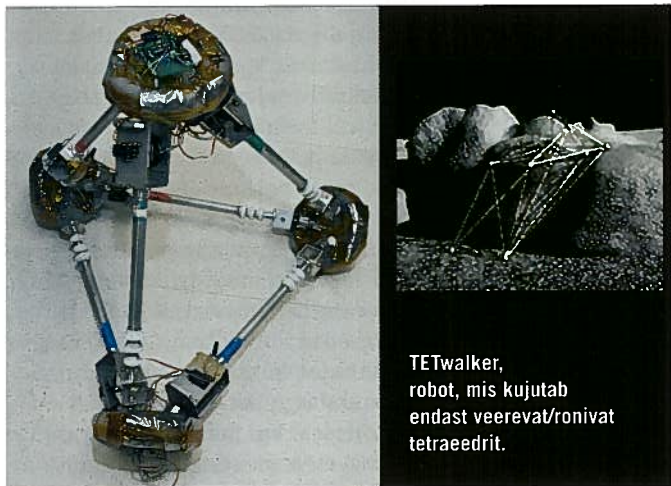
LIHTSAD TAJUMEHHANISMID

Hoolimata oma meelte piiratudusest ei kannata putukad aistingutest tuleneva info vähesuse tõttu. Tajutav on küll hüplev, seosetu ja selgelt piiritlemata, kuid putukate jaoks on oluline hoopis see, et nad on suutelised reageerima valguse ja heli üliväikestele muudatustele. Valgustugevuse järsk muutumine



REPRO

Robotid ahelformatsioonis.



REPRO

TETwalker, robot, mis kujutab endast veereva/ronivat tetraeedrit.

tähendab tihti vaenlase lähenemist. Helisignaalide järgi määratakse isendi valduse piirid. Ehkki putukad tunnetavad hästi väikesi muutusi keskkonnas, puuduvad neil keerulisemad tajumehhanismid. Arusaamine on ohverdatud parema taju nimel, aga sellest piisab parve käitumise vajadusteks.

Nagu loomariigiski, nii ei ole ka parve robotitel otstarbekas kehtestada üheseid rolle. Rollid kujunevad välja just madala taseme interaktsioonide tulemusena isendite vahel. Niisugune kohandumine keskkonna tingimustega ja vahetu teadmise puudumine parve teiste liikmete kavades tagab parve võime taastada selle kui terviku funktsioonid üksikisendite hukkamisel.

Järgnev näide iseloomustab ühe parve rakendust NASA Marsi eksperimentis.

Koosnegu parv rekonfigureeruvatest robotitest, mis suudavad omavahel mehaaniliselt ühenduda ja moodustada jäiga formatsiooni. Tulenevalt ülesandest võib parv valida selle täitmiseks sobivaima kuju. NASA poolt kavandatavas Marsi missioonis näeb üks stsenaariume ette järgmisi olukordi. Läbides Marsi atmosfääri võtavad robotid aerodünaamilise kilbi kuju. Pärast maandumist teisevad robotid aga ussikuliseks. Niisugune moodustis saab juba hõlpsalt roomata mööda rasket maastikku. Kui parv leiab midagi huvitavat, moodustavad robotid teate saatmiseks antenni. Ümbritsedes niisuguse parve elastse kilematerjaliga, saab seda kaitsta välistemperatuuri eest ja kile laiati tõmmatuna töötab päikesepurjena.

Kosmosetehnika ülikõrge hinna üks põhjusi on nõutava töökindluse tagamine. Seetõttu tuleb süsteeme ulatuslikult testida ja elutähtsaid sõlmi mitmekordselt dubleerida. Ühendatud formatsiooni idee lahendab aga töökindluse probleemi ilma märkimisväärsete lisakuludeta. Kui meteoriit või ebaõnnesunud maandumine viib osa robotitest rivist välja, siis suudab

parv ümber formeeruda nii, et kahjustatud isendid eemaldatakse ja terved robotid ühenduvad omavahel uuesti. See oleks sama hea, kui elusorganismides asenduvad kahjustatud rakud uutega.

MÕNED PROBLEEMID PARVE ROBOOTIKAS

Tee lahendustest tegelikku ellu on väga pikk ja see nõuab põhimõtteliselt uut lähenemist nii robotite arhitektuurile kui ka funktsionaalsusele. Muutub roboti enda mõiste. Tulles tagasi NASA projektide juurde, on teada, et kavandatakse teistel planeetidel liikumiseks roboteid, mis kujutavad endast veerevaid/ronivaid tetraeedreid. Iga niisugune tetraeeder koosneb omavahel lülidega ühendatud neljast sõlmest. Lülisid saab pikendada ja kokku tõmmata nii, et tetraeeder viiakse esmalt välja tasakaaluasendist ja liikumine seisneb veeremises üle ühe alumise külgserva. Niisugune struktuur on väga vastupidav ja stabiilne.

Teadusuuringud peavad andma ka vastuse küsimusele, kuidas uudseid roboteid koos navigeerida ja kuidas panna neid parves koostööd tegema. Võtmeküsimuseks on robotite omavahelise suhtlemise keele ja liidestuse väljatöötamine. Viimane peaks integreerima kõrgtaseme otsustuste vastuvõtmise madaltaseme funktsioonidega, nagu seda on motoorne liikumine ja reflektorne käitumine. Bioloogia ja etoloogia (loomade käitumist uuriv teadus) on siin mänginud olulist inspireerivat rolli ja viinud rea huvitavate tulemusteni.

Robotparved leiavad loomulikku kasutust rakendustes, mis nõuavad koostööd karmides keskkonnas ja vähese välise sekkumise/juhtimise tingimustes: kosmose uuringutes, materjalide ja kaupade transportimisel, kaevandustes, alade monitoorimisel ja objektide avastamisel. Parvede esmane sotsiaalne omadus on võime kokku leppida ülesannete jaotuses ja efektiivses täitmises ning seda isegi siis, kui neil puudub otsese kommunikatsiooni võimalus.

Tänu RFID-i (*Radio Frequency Identification*) ja andurite tehnoloogia kiire arengule on võimalik juba praegu luua roboti parvedele suhtlemiseks ja navigeerimiseks vajalik elektroonne tehiskeskond, mis võimaldab realiseerida parvesisese kommunikatsiooni ühte põhinouet – hoida parve juhtimis- ja koordineerimisinfot just seal, kus see on vajalik, ja just nii kaua, kui see on vajalik. Parve juhtimise ja kommunikatsiooni info elementide laialipaigutamine otse töökeskkonda võimaldab iseorganiseeruvat ja isereguleeruvat kooperatiivset käitumist, samuti õppimist ja kohandumist. 2006. aastal käivitus Euroopa Liidu teadusprojekt nimega ROBOSWARM, mille raames tegelevad Euroopa kuue ülikooli ja kolme robotifirma teadusrühmad, sealhulgas ka Tallinna Tehnikaülikooli arvutiteaduse instituut, robotite parve teaduskeskkonna loomisega. ■

LOE VEEL

http://en.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge

<http://www.livingroom.org.au/uavblog/>

<http://www.inl.gov/adaptiverobotics/robotswarm/>

M. Dorigo, T. Stütze. *Ant colony optimization*. MIT Press, Cambridge, MA, 2004

<http://robotswarm.eu/>

AUTORIST

JÜRI VAIN (1956) on õppinud Kärdla Keskkoolis ja Tallinna Polütehnilises Instituudis, mille lõpetas 1979. Tehnikakandidaat (1987). 1992. aastast Küberneetika Instituudi juhtimissüsteemide osakonna juhataja. TTÜ üldinformaatika professor (1998). Aastast 2002 TTÜ arvutiteaduse instituudi direktor. Teinud teadustööd Tampere, Eindhoveni ja Taani Tehnikaülikoolis ning Oslo Ülikoolis. Alates 2004 Euroopa robotikavõrgustiku EURON juhtkomitee liige ning 2006. aastast EL 6. raamprogrammi projekti ROBOSWARM teaduskoordinaator.