Luento 2: Agenttimallit ja rationaalisuus

Raul Hakli

Rationaaliset agentit ja agenttimallit

- Kysymyksiä:
  1. Kuinka agentin sisäistä tilaa mallinnetaan?
  2. Mitä vaatimuksia rationaalisuus asettaa?
- Agentti käsitetään tavallisesti *intentionaalisena* olentona jolla on uskomuksia maailmasta ja päämääriä joita se tavoittelee. (D. Dennett: "intentional stance". Esim. jos en shakkipelissä suhtaudu tietokonevastustajaan intentionaalisena olentona, en pelaa peliä.)
- Kielenkäyttö (yleensä) metaforista. Tavoitteena on käyttäytymisen ymmärtäminen, ennustaminen tai suunnitteleminen.
- Tiloja voidaan esittää joko kvalitatiivisesti (esim. episteeminen ja doksastinen logiikka + päättely) tai kvantitatiivisesti (esim. bayesiläinen mallinnus + päätösteoria).

Agenttien jaotteluita

- Russell & Norvig: heijasteagentit, tavoitteelliset agentit, utiliteettipohjaiset agentit
- Ferber, Wooldridge jne: reaktiiviset agentit, kognitiiviset agentit, hybridiagentit
- Kiss: reaktiiviset agentit, intentionaaliset agentit, sosiaaliset agentit

Intentionaaliset agentit

- Agenteille attribuoidaan arkipsykologian käyttämiä mentaalisia tiloja (propositionaalisia asenteita) kuten *uskomuksia* ja *haluja*.
- Kuinka paljon eri tyyppisiä mentaalisia tiloja tarvitaan? Yleensä ajatellaan, että vähimmäismäärä on kaksi: Pelkät uskomukset (informaatioasenteet) eivät riitä vaan täytyy myös esittää haluja tai päämääriä (motivaatioasenteet). Uskomuksilla on “mind-to-world direction of fit” ja haluilla “world-to-mind direction of fit”.
- Muut mentaaliset tilat joko pyritään redusoimaan näihin tai sitten käytetään rikkaampia malleja (erit. BDI-malli).
- Terminologia vaihtelee, esim. psykologiassa kognitiiviset, affektiiviset ja konatiiviset tilat.
- Nykyään oletetaan joskus myös normatiivisia tiloja kuten sitoumuksia, oikeuksia ja velvollisuuksia (esim. BOID-malli).
- Tiloilla erilaisia käsitteellisiä ja rationaalisuusvaatimuksia.

Päättely

- Päättely voi olla *teoreettista*, kuten seuraava

  deduktiivinen syllogismi: $\dfrac{\text{Sokrates on ihminen} \quad \text{Ihmiset ovat kuolevaisia}}{\text{Sokrates on kuolevainen}}$

  Teoreettisessa päättelyssä premissit ja johtopäätös ovat uskomuksia (tai tietoa).
- tai *käytännöllistä* kuten seuraava praktinen syllogismi:

  $\dfrac{\text{Haluan saada jäätelöä} \quad \text{Saadakseni jäätelöä minun on haettava sitä pakastimesta}}{\text{Lähden hakemaan jäätelöä pakastimesta}}$

  Praktisessa päättelyssä premissit ovat uskomuksia ja haluja. "Johtopäätöksenä" on teko (tai intentio).

Rationaalisuus

Kaksi perinteistä käsitystä rationaalisuudesta

- humelainen: Rationaalinen agentti on sellainen joka pystyy optimaalisesti tyydyttämään halujaan ja saavuttamaan päämääriään. → instrumentaalinen rationaalisuus. Myös peli- ja päätösteorian pohjalla.
- kantilainen: instrumentaalinen rationaalisuus perustuu hypoteettisille imperatiiveille (jos haluat X:n, tee A) mutta tärkeämpi on sellainen joka perustuu kategoriselle imperatiiville (tee A riippumatta haluistasi). Moraalin perusta. A:n oltava universalisoituva. Kantille rationaalinen agentti on sellainen, joka toimii itse itselleen asettamien periaatteiden mukaisesti.

Toiminnan perusteet

- Voi myös ajatella, että rationaalinen toiminta on sellaista, jolle on *perusteet* (reasons for action). Humelaisen kannan mukaan perusteita voivat olla ainoastaan agentin halu+uskomus-yhdistelmät ⇒ internalismi. Kantilaisen kannan mukaan voi olla myös muita perusteita kuten moraaliset ⇒ eksternalismi.
- Kun toimintaa *selitetään* kausaalisesti, ajatellaan yleensä internalistisesti, koska on vaikea nähdä kuinka ulkoiset perusteet voisivat olla toiminnan kausaalisia syitä.
- Monet kuitenkin hyväksyvät ulkoisten perusteiden olemassaolon ja relevanssin rationaalisuudelle. Sanotaan esim. jollekulle että hänen olisi järkevää tulla sisään kylmästä vaikka tämä ei haluaisi tulla. Joskus ajatellaan että riittää, jos agentin muista haluista (esim. halu pysyä terveenä) voidaan jollain tavalla johtaa sopiva halu.

Informaatioasenteet

- Lähtökohtana on tekoälyn vanha ongelma: tietämyksen esittäminen, mutta nyt ei riitä että agentti pitää tietämyskantaa omista uskomuksistaan, vaan sen pitää pystyä päättelemään myös muiden uskomuksista.
- Agentin sisäistä tiedollista tilaa mallinnetaan yleensä *uskomuksilla*. Kun tarkastellaan agenttia ulkopuolelta, puhutaan usein myös *tiedosta* silloin kun uskomukset ovat tosia.

Motivaatioasenteet

- Motivaatioasenteilla (pro-attitude) tarkoitetaan *haluja*, *toiveita*, *tavoitteita*, *päämääriä*, *preferenssejä* ym tiloja joilla on "world-to-mind direction of fit".
- Usein puhutaan vain haluista yläkäsitteenä, mutta joskus erotellaan eksplisiittisesti tavoitteet tai päämäärät (goals), joiden oletetaan olevan keskenään konsistentteja (kun taas halut voivat olla keskenään ristiriitaisiakin).

Intentiot

- Aiemmin ajateltiin että rationaalisen agentin toimintaa voidaan selittää ja ennustaa pelkästään uskomusten (beliefs) ja halujen (desires, wants) avulla. Nämä ajateltiin ikään kuin yläkäsitteiksi, jotka sisältävät kaikki muut informaatio- ja motivoivat asenteet. Tämän *BD-teorian* juuret ovat peräisin Aristoteleelta.
- Nykyään tämän nk. BD-teorian on korvannut BDI-teoria, jossa intentiot (intentions) eli aikomukset otetaan kolmanneksi perustavanlaatuiseksi mentaaliseksi tilaksi uskomusten ja halujen rinnalle. Tähän on vaikuttanut erityisesti filosofi Michael Bratman (1987). Rationaalinen agentti ei toimi vain halujen ja uskomusten varassa
- Intentiot poikkeavat muista motivaatioasenteista siinä, että ne eivät ole ainoastaan toimintaan potentiaalisesti vaikuttavia tiloja, vaan ne ovat *toimintaa ohjaavia* (conduct controlling).

Intentioiden rooli

1. Intentiot luovat suunnitteluongelmia: millä keinoilla omaksuttu intentio toteutetaan? (Näitä ratkotaan mm. Tekoäly-kurssin suunnittelualgoritmeilla.)
2. Intentiot asettavat rajoituksia deliberoinnille: tulevat intentiot ja suunnitelmat eivät saa olla ristiriidassa omaksutun intention kanssa.
3. Intentiot ovat pysyvämpiä kuin halut ja tavoitteet ja antavat agentin toiminnalle jatkuvuutta: Agentti ei saa sääntäillä suuntaan ja toiseen toteuttamassa halujaan vaan sen täytyy sitoutua suunnitelmiinsa. Toisaalta intentiot eivät saa olla liian pysyviä vaan niistä täytyy olla mahdollista luopua joissakin tilanteissa.
4. Intentiosta toteuttaa jokin asiantila seuraa tavallisesti uskomus, että asiantila tulee toteutumaan, joten myöhemmät suunnitelmat voivat perustua tälle oletukselle. (Tarkkaan ottaen vaaditaan vain että agentti ei usko että asiantila ei toteudu.)

Esimerkki BDI-arkkitehtuurista

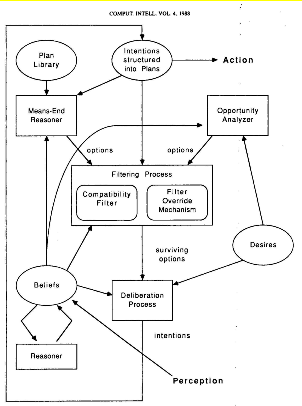


FIG. 1. An architecture for resource-bounded agents.

(Bratman *et al.* 1988)

Todennäköisyydet ja utiliteetit

- Vaihtoehtoinen, numeerinen tapa esittää agentin kognitiivisia tiloja on seuraava: agentin uskomukset ajatellaan subjektiivisiksi todennäköisyyksiksi.
- Halut ja muut motivoivat asenteet puolestaan koodataan utiliteeteiksi (tosin ei suoraviivaisesti halujen intensiteetteinä vaan uskomuksetkin vaikuttavat). Tämä on vaihtoehtoinen tapa mallintaa agentteja, toisaalta hienojakoisempi (sen sijaan että agentti uskoo että P sanotaan että agentti uskoo vahvuusasteella $0,8$ että P) mutta toisaalta karkeampi (kaikki erilaiset asenteet mahdollisia tiloja kohtaan palautetaan näihin kahteen reaalilukufunktioon).
- Kukaan ei ole vielä esittänyt yksityiskohtaisesti kuinka tehdään muunnos haluista ja uskomuksista utiliteeteiksi. On oletettu että ne vaikuttavat agentin *preferensseihin* joiden perusteella utiliteettifunktio on helpompi muodostaa.

Rationaalisuus ja utiliteetti

- Agentin *preferenssit* määräävät mahdollisten tilojen hyvyyden ja *utiliteettifunktio* $U(S)$ mittaa preferenssien vahvuutta.
- Rationaalinen agentti tarkastelee kunkin teon A *utiliteetin odotusarvoa*

$$EU(A|E) = \sum_i P(\mathit{Result}_i(A)|\mathit{Do}(A), E)U(\mathit{Result}_i(A))$$

  ja valitsee sen teon A, jolle $EU(A|E)$ on suurin.
- Tämän periaatteen mukaan rationaalinen agentti on siis sellainen joka maksimoi utiliteetin odotusarvoa. Tämä ei kuitenkaan vielä ole ratkaisu tekoälyn ongelmiin, sillä sekä todennäköisyyksien että utiliteettien määrittäminen on vaikeaa.

Utiliteettiteoriaa

- Notaatiota:
  - $A \succ B$ agentti pitää A:ta parempana kuin B:tä
  - $A \sim B$ agentti pitää A:ta ja B:tä yhtä hyvinä
  - $A \succeq B$ agentti pitää A:ta parempana tai yhtä hyvänä kuin B:tä
- Deterministisessä ympäristössä A ja B ovat maailman tiloja. Yleisemmin ne voidaan määritellä *arvontoina* (lotteries). Arvontaa L, jonka mahdolliset lopputulemat ovat $C_1, \ldots, C_n$, merkitään seuraavasti:

$$L = [p_1, C_1; p_2, C_2, \ldots, p_n, C_n].$$

  Lopputulemat voivat olla maailman tiloja tai arvontoja.

Vaatimuksia preferensseille (1)

täydellisyys (tai järjestettävyys):

$$(A \succ B) \vee (B \succ A) \vee (A \sim B)$$

transitiivisuus:

$$(A \succ B) \wedge (B \succ C) \Rightarrow (A \succ C)$$

jatkuvuus:

$$A \succ B \succ C \Rightarrow \exists p [p, A; 1-p, C] \sim B$$

Vaatimuksia preferensseille (2)

korvattavuus:

$$A \sim B \Rightarrow [p, A; 1-p, C] \sim [p, B; 1-p, C]$$

monotonisuus:

$$A \succ B \Rightarrow (p \geq q \leftrightarrow [p, A; 1-p, B] \succeq [q, A; 1-q, B])$$

hajotettavuus:

$$[p, A; 1-p, [q, B; 1-q, C]] \sim [p, A; (1-p)q, B; (1-p)(1-q), C]$$

Näistä aksioomista voidaan johtaa seuraavat utiliteettiperiaatteet.

Utiliteettiperiaatteet

1. Utiliteettiperiaate:
   Jos agentin preferenssit toteuttavat edelliset aksioomat, voidaan osoittaa että agentille on olemassa reaalilukuarvoinen *utiliteettifunktio* U s.e.

   $$U(A) > U(B) \text{ joss } A \succ B$$

   $$U(A) = U(B) \text{ joss } A \sim B.$$

2. Utiliteetin odotusarvon maksimointiperiaate:
   Arvonnan $[p_1, S_1; \ldots; p_n, S_n]$ utiliteetti on

   $$U([p_1, S_1; \ldots; p_n, S_n]) = \sum_i p_i U(S_i).$$

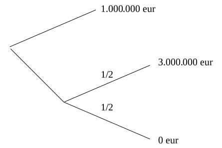
Utiliteettifunktioista

- Eksistenssitulos ei väitä että agentit todella maksimoisivat utiliteettia, ainoastaan että niitä voidaan tarkastella ikäänkuin ne maksimoisivat utiliteettia.
- Eksistenssitulos ei vielä kerro siitä, millainen agentin utiliteettifunktio on. Preferenssit voivat olla monenlaisia (vrt. humelainen rationaalisuuskäsitys).
- Mikä on uskomusten ja halujen suhde preferensseihin ja utiliteetteihin? Utiliteetit eivät ole halujen asteita vastaavasti kuin todennäköisyydet uskomuksen asteita (esim. haluan suklaata enemmän kuin omenaa, mutta koska uskon omenan olevan terveellisempi, preferoin sitä (Rawling 2003))

Utiliteetti ja raha (1)

Utiliteettiteoria sai alkunsa taloustieteestä, joten on luontevaa kysyä millainen on utiliteetin suhde rahaan kun tarkastellaan ihmisagentteja.

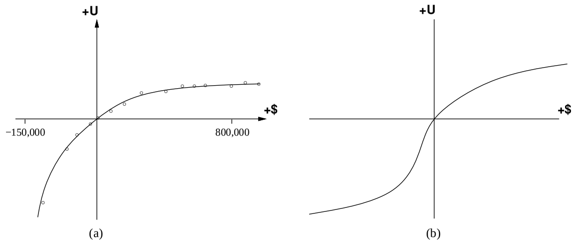
- Yleensä suuremman rahamäärän utiliteetti on suurempi kuin pienemmän $\rightarrow$ monotonisuus.
- Kumpi seuraavista vaihtoehdoista on parempi?
  1. 1.000.000 €
  2. 3.000.000 € todennäköisyydellä $\frac{1}{2}$ ja 0 € todennäköisyydellä $\frac{1}{2}$



Onko agentti epärationaalinen jos se valitsee 1:n?

Utiliteetti ja raha (2)

Ei välttämättä: Rahan utiliteetti kasvaa yleensä logaritmisesti. "Ensimmäisen miljoonan" utiliteetti on yleensä suurin, vastaavasti myös menetysten merkitys pienenee niiden kasvaessa $\rightarrow$ S:n muotoiset utiliteettikäyrät



(AIMA, Fig. 16.2)

Utiliteetti ja raha (3)

- Käyrien konkaavilla osalla pätee epäyhtälö:

  $$U(L) < U(S_{EMV(L)}),$$

  missä L on arvonta ja $S_{EMV(L)}$ tarkoittaa arvonnan rahallisen arvon odotusarvon suuruista rahasummaa.
- Agentit, joille epäyhtälö pätee ovat *riskiä välttäviä* (risk-averse), kun taas agentit, joille pätee käänteinen epäyhtälö (kuten tässä käyrän konveksilla osuudella), ovat *riskiä etsiviä* (risk-seeking). Jos käyrä on lineaarinen, agentti on neutraali riskin suhteen (risk-neutral).
- Esimerkiksi sähköisessä kaupankäynnissä keinotekoisten agenttien utiliteettifunktiot tulisi määritellä käyttäjän utiliteettifunktioiden perusteella. Neuvottelutilanteissa on tärkeää pystyä arvioimaan vastapuolen utiliteettifunktiota.

Utiliteettiskaalat ja -muunnokset

- Utiliteettiteorian aksioomat eivät määrää agentin utiliteettifunktiota *yksikäsitteisesti*, vaan voimme tarvittaessa tehdä lineaarisen muunnoksen $U'(S) = k_1 + k_2 U(S)$ (missä k_1 on vakio ja k_2 on positiivinen vakio) vaikuttamatta agentin käyttäytymiseen.
- Deterministisissä ympäristöissä mikä tahansa monotoninen muunnos (esim. neliöjuuren ottaminen) on mahdollinen. Tällaisessa ympäristössä agentin utiliteettifunktioksi kelpaa siis *arvofunktio* eli *ordinaalinen utiliteettifunktio*, joka ainoastaan asettaa tilat preferenssin mukaiseen järjestykseen.
- *Normalisoiduiksi* utiliteeteiksi kutsutaan utiliteetteja, jotka on skaalattu välille $[0, 1]$, missä utiliteetti 1 tarkoittaa "parasta mahdollista palkintoa" ja utiliteetti 0 tarkoittaa "pahinta mahdollista katastrofia" (mitä ne sitten tarkoittavatkaan).

Utiliteettien määrittämisen ongelmia

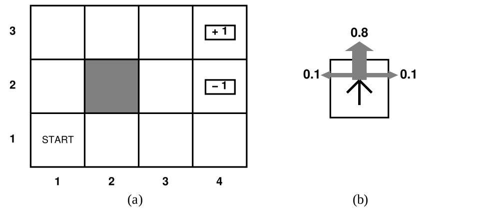
- Utiliteettiin vaikuttavat yleensä monet eri attribuutit eikä ole aina selvää kuinka ne voitaisiin yhdistää yhdeksi reaalilukuarvoiseksi funktioksi.
- Jos agentit ovat ihmisiä, voi kysyä onko se edes periaatteessa mahdollista.
- Ohjelmistoagenteilla utiliteetit voivat olla helpommin määriteltävissä.
- Toisaalta agentin utiliteettifunktion pitäisi (ainakin joissain tapauksissa) perustua käyttäjän preferensseihin (joskus agentin ohjelmoijan tai järjestelmän suunnittelijan).

Sekventiaaliset päätösongelmat

- Tarkastellaan nyt tilanteita, joissa agentti tekee useita toisiaan seuraavia päätöksiä ja joissa agentin saama utiliteetti riippuu koko päätössekvenssistä (eikä vain saavutetusta lopputilasta kuten tavallisissa etsintäongelmissa). Tällaisia ongelmia kutsutaan *sekventiaalisiksi päätösongelmiksi* (sequential decision problems).
- Usein ympäristön oletetaan olevan täysin havaittava ja diskreetti, mutta siirtymät tiloista toiseen ovat stokastisia. Ympäristössä on voimassa *Markov-ominaisuus*, jonka mukaan siirtymätodennäköisyydet riippuvat ainoastaan edellisestä tilasta eikä koko historiasta. Kuhunkin tilaan liittyy positiivinen tai negatiivinen *palkkio* (reward) ja kokonaisutiliteetti määräytyy saatujen palkkioiden funktiona.

Esimerkki

Agentti on 4×3-ympäristössä START-ruudussa ja joutuu valitsemaan jonkin liikkumissuunnan *Up, Down, Left, Right* jokaisella ajanhetkellä kunnes saavuttaa jomman kumman lopputilan joiden palkkiot ovat +1 ja -1. Ympäristö on täysin havaittava, mutta stokastinen siten että siirtyminen haluttuun suuntaan onnistuu vain 80% todennäköisyydellä. Muiden ruutujen kuin lopputilojen palkkiot ovat -0.04.



(AIMA, Fig. 17.1)

Markovin päätösprosessit (MDP)

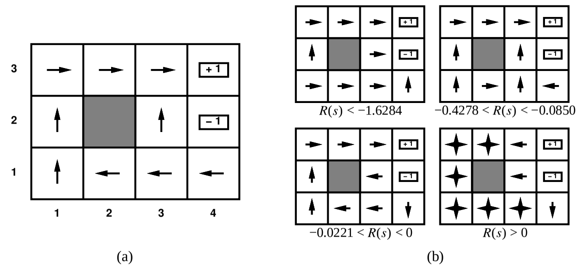
Edellinen tilanne on esimerkki *Markovin päätösprosessista* (Markov decision process), johon kuuluvat:

- alkutila: S_0
- siirtymämalli: $P(s'|a,s)$ (määrittää todennäköisyyden sille että kun tilassa s tehdään teko a, päädytään tilaan s')
- palkkiofunktio: $R(s)$ (tai joskus $R(s,a,s')$)

MDP:n ratkaisuksi ei kelpaa mikään kiinteä toimintasekvenssi, vaan tavoitteena on löytää *politiikka* π, joka määrää kussakin tilassa s suositeltavan teon $\pi(s) = a$.

Optimaalinen politiikka

Koska ympäristö on stokastinen, teot on nähtävä arvontoina. Optimaalinen politiikka π^* valitsee aina sen teon, jonka utiliteetin odotusarvo on suurin. Oletetaan nyt, että kokonaisutiliteetti on saatujen palkkioiden summa.



(AIMA, Fig. 17.2)

Horisontti ja diskonttaus

- Äärellinen tai ääretön horisontti: Äärellisessä on kiinteä aika, jonka jälkeen agentti ei enää saa palkkioita $\rightarrow$ optimaalinen toiminta voi riippua tilan lisäksi ajasta.
- Tilasekvenssien utiliteetti:

  Additiiviset palkkiot: $U_h([s_0, s_1, s_2 \ldots]) = R(s_0) + R(s_1) + R(s_2) + \ldots$

  Diskontatut palkkiot:

  $U_h([s_0, s_1, s_2 \ldots]) = R(s_0) + \gamma R(s_1) + \gamma^2 R(s_2) + \ldots$, missä *diskonttotekijä* (discount factor) γ on reaaliluku nollan ja yhden väliltä.
- Diskonttaus on helpoin tapa mahdollistaa utiliteettien vertailu äärettömälläkin horisontilla. Tilasekvenssien utiliteetit pysyvät äärellisinä kun $\gamma < 1$:

$$U_h([s_0, s_1, s_2, \ldots]) = \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t) \leq \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R_{max} = R_{max}/(1-\gamma).$$

Politiikan valinta

Kukin politiikka π voi tuottaa useita mahdollisia toimintasekvenssejä, joiden todennäköisyydet voidaan laskea siirtymätodennäköisyyksistä. Politiikan arvo on diskontattujen palkkioiden odotusarvo, jonka laskemisessa täytyy tarkastella kaikkia mahdollisia tilasekvenssejä, jotka politiikka π voi tuottaa. Optimaalinen politiikka on se, joka maksimoi tätä odotusarvoa:

$$\pi^* = \arg\max_{\pi} E\left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R(s_t) | \pi\right].$$

Myöhemmin tarkastellaan sitä, kuinka tämä optimaalinen politiikka löydetään.

Muita lähestymistapoja

- Intentionaalisten tai kognitiivisten, sekä utiliteettipohjaisten agenttien lisäksi on ehdotettu erilaisia vaihtoehtoisia agenttityyppejä.
- Tunnetuimpia ovat *reaktiiviset agentit*, erit. Brooks ja subsumptioarkkitehtuuri)
- Lisäksi on tietysti ehdotettu agentteja, jotka perustuvat erilaisiin tekoälyssä käytettäviin menetelmiin kuten neuraaliverkkoihin yms.
- Erilaiset *hybridimallit* ovat tietysti suosittuja.

Reaktiiviset agentit

- Motivaationa loogisen tai symbolisen lähestymistavan ongelmat kuten monimutkaisuus (katso esim. Brooks 1986). Pyritään löytämään kokonaan uusi lähestymistapa.
- Suuntaus perustuu pikemminkin symbolisen lähestymistavan hylkäämiselle kuin millekään yhteiselle näkemykselle uuden lähestymistavan luonteesta.
- Luovutaan symbolisesta esitystavasta ja päättelystä joka perustuu representaatioiden syntaktiseen manipulointiin.
- Älykäs käyttäytyminen on oleellisesti kytköksissä ympäristöönsä: se on vuorovaikutusta ympäristön kanssa, ei abstraktia symbolien käsittelyä.
- Älykäs käyttäytyminen emergoituu useiden yksinkertaisten toimintatapojen yhteisvaikutuksesta.

Subsumptioarkkitehtuuri

Tunnetuin reaktiivisista arkkitehtuureista on Rodney Brooksin *subsumptioarkkitehtuuri*.

- Agentilla on ohjelmoituna valmiita toimintoja (task-accomplishing behaviours), jotka laukeavat ympäristön vaikutuksesta sopivissa tilanteissa. Agentti ei suorita käytännöllistä päättelyä vaan toimii suoraan havainnon perusteella sellaisten sääntöjen mukaisesti, jotka ovat tyyppiä *situation* → *action*.
- Koska tilanne voi laukaista useita toimintoja, ne on järjestetty hierarkkisesti (→ *subsumptiohierarkia*) erillisiksi *kerroksiksi* (layers) siten, että alempien kerrosten toiminnoilla on suurempi prioriteetti kuin ylempien.
- Toimintojen valinta on laskennallisesti tehokasta ja jos toiminnat pysyvät samana, ne voidaan jopa kovakoodata laitteistolle jolloin toiminnat valitaan vakioajassa.

Esimerkki: Luc Steelsin Mars-robotit

Ongelma:

- Tehtävänä etsiä ja kerätä tietyntyyppisiä kivinäytteitä, joiden sijaintia ei tiedetä mutta jotka ovat tyypillisesti ryhmittyneet joillekin alueille (pikemminkin kuin tasaisesti kaikkialla)
- Käytettävissä on autonomisia robotteja jotka voivat keräillä näytteitä ja tuoda niitä takaisin emoalukselle maahan lähetettäväksi.
- Maasto on tuntematon mutta vaikeakulkuinen eikä suora agenttien välinen kommunikointi ole mahdollista.
- Steelsin mukaan logiikkapohjainen ratkaisu on epärealistinen ja ehdottaa Brooksin subsumptioarkkitehtuuriin perustuvaa ratkaisua.

Luc Steelsin Mars-robotit (2)

- Steelsin ratkaisussa emoaluksen lähettämä signaali luo gradienttikentän, jonka perusteella robotit voivat kulkea joko poispäin aluksesta tai palata takaisin.
- Agentit noudattavat seuraavia hierarkkisesti järjestettyjä toimintasääntöjä:
  1. *if* detect an obstacle *then* change direction
  2. *if* carrying samples *and* at the base *then* drop samples
  3. *if* carrying samples *and not* at the base *then* travel up gradient
  4. *if* detect a sample *then* pick sample up
  5. *if true then* move randomly
- Tässä ratkaisussa moniagenttijärjestelmän etuna on ainoastaan toiminnan rinnakkaisuus, ei kuitenkaan hyödynnetä mahdollisuutta yhteistyöhön.

Luc Steelsin Mars-robotit (3)

Kehittyneempi ratkaisu saadaan kun mahdollistetaan epäsuora kommunikointi: Robotit kantavat mukanaan radioaktiivisia murusia, joita ne voivat pudottaa matkalle toisten havaittavaksi ja poimittavaksi. Uudet säännöt:

1. *if* detect an obstacle *then* change direction
2. *if* carrying samples *and* at the base *then* drop samples
3. *if* carrying samples *and not* at the base *then* drop 2 crumbs *and* travel up gradient
4. *if* detect a sample *then* pick sample up
5. *if* sense crumbs *then* pick up 1 crumb *and* travel down gradient
6. *if true then* move randomly

Erittäin elegantti ratkaisu, mutta . . .

Lähteitä

- M. Wooldridge: *Introduction to Multi-Agent Systems*, John Wiley & Sons, 2002, luvut 2,4,5.
- Russell & Norvig: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Second Edition, Prentice Hall, luvut 16,17.
- Intentioista: M. Bratman: *Intention, Plans, and Practical Reason*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.
- Päätösteoriasta: esim. M.D. Resnik: *Choices: An Introduction to Decision Theory*. University of Minnesota Press, Minneapolis, 1987.