

Moderne Methoden der KI

Prof. Dr. sc. Hans-Dieter Burkhard
Vorlesung Sommer-Semester 2007

Multi-Agenten-Systeme (MAS)

MAS vs. Verteiltes Problemlösen

Verteiltes Problemlösen:

Gemeinsame Arbeit von Agenten an einem Problem

- Aufteilung der Arbeit auf die Agenten
- Teillösungen erarbeiten
- Zusammenführen der Teillösungen
(vgl. Problemzerlegung, Und-Oder-Bäume, ...)

Trade-off: Parallelität vs. Kommunikationsaufwand
(Beispiel: Verteilte Suchverfahren)

Multi-Agenten-Systeme (allgemeiner):

- Individuelle Aufgaben

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI Agenten

2

Koordination

Interaktion der Agenten: Konflikte, Nebenläufigkeit, ...

Kooperation vs. Wettbewerb

Kommunikation

(Koordination auch ohne Kommunikation möglich)

Protokolle: Regeln für Koordination z.B.

- Marktähnlich
- Verhandlungen

(vgl. Sozionik)

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI Agenten

3

Kontrakt-Netz-Protokoll (Contract Net Protocol)

Davis, Smith

Aufgabenverteilung auf unterschiedliche Problemlöser in Abhängigkeit von Fähigkeiten und aktueller Belastung.

Idee: Aufgabenverteilung auf der Basis von

Ausschreibung („task announcement“)

Bewerbung („bids“)

Verhandlung („negotiation“)

Zuweisung („contract“)

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI Agenten

4

Kontrakt-Netz-Protokoll (Contract Net Protocol)

Menge von „Knoten“ (Problemlösern):

- Managerknoten
 - Zerlegung einer Aufgabe in Teilaufgaben
 - Ausschreibung der Teilaufgaben (evtl. selektiv)
 - Entgegennahme von Angeboten von Arbeiterknoten
 - Auswahl eines Angebots, Aufgabenzuweisung
 - Ausführung überwachen, evtl. Entzug/Neuvergabe
 - Teilresultate zur Gesamtlösung zusammenfassen

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI Agenten

5

Kontrakt-Netz-Protokoll (Contract Net Protocol)

- Arbeiterknoten
 - bewirbt sich für die Erledigung von Aufgaben (entsprechend Fähigkeiten und aktueller Belastung)
 - führt zugewiesene Arbeiten aus:
 - eigenständige Erledigung bzw.
 - weitere Zerlegung, Ausschreibung usw. (dabei übernimmt der Knoten die *Managerrolle*)
 - gibt Berichte/Resultate an seinen Manager

Problematisch: Interaktionen zwischen Problemlösern eines Niveaus.

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI Agenten

6

Blackboard-Systeme

L.D. Erman, B.Hayes-Roth, V.R. Lesser, ...

Methode zur Kopplung Wissensverarbeitender Systeme entwickelt im Rahmen des HEARSAY-II-Projekts:

„cooperative interaction of communicating knowledge sources“

Blackboard = Gemeinsamer Datenbereich + Steuerung, Ermöglicht koordinierte Arbeit von Modulen.
Scheduling von Prozessen

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

7

Blackboard-Systeme

Idee:

- Aufgaben werden auf „Tafel“ geschrieben,
- von Modulen („Wissensquellen“) gelesen/bearbeitet,
- Lösungen werden auf Tafel geschrieben,
- Interessenten lesen und verarbeiten.

Beispiel Spracherkennung (HEARSAY-II):

Experten der Ebenen (Laute, Silben, Wörter, Sätze, ...) bilden „Hypothesen“, die sie anderen Experten mitteilen.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

8

Blackboard-Systeme: Realisierung

- gemeinsamer Datenbereich
- Administrationsmethoden
- zentrale Datenstruktur (blackboard), unterteilt in Regionen („Niveaus“)
- unabhängige Prozesse mit Lese-/Schreibzugriff auf gewisse Regionen der Datenstruktur
- Steuerungssystem

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

9

Kommunikation

- technische Aspekte (Bit-Protokolle etc.)
- inhaltliche Aspekte (Protokolle auf höheren Schichten)

Schichten-Konzepte:

- Kapselung von Funktionalitäten
- Bereitstellung von Funktionalitäten für aufsetzende Schicht(en)
- Klare Schnittstellen

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

10

Protokolle

Standards für koordiniertes Verhalten

vorgeschriebene Abläufe

Vorgaben (Einschränkungen) für das Verhalten:

- effizientere Arbeit
- Voraussage des Verhaltens
- Kommunikation beschränken
- Konflikte vermeiden

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

11

Protokolle

häufig in Schichten organisiert

„unterste“ technische Ebene: Signalaustausch

Nachrichtenaustausch

„soziale Ebene“ Koordinationsprotokolle, z.B.

- Kontrakt-Netz-Protokoll,
- „soziale Normen“,
- Spielregeln,
- Marktmechanismen.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

12

Inhaltliche Gesichtspunkte der Kommunikation

- Ziel der Kommunikation (beabsichtigte Wirkung)
- Inhalt der Nachricht
- Ergebnis der Kommunikation (tatsächliche Wirkung, auch vom Zustand des Empfängers abhängig)

Problem:

„reiner“ Inhalt normaler Ausdrücke ist oft mehrdeutig

Beispiel für Mehrdeutigkeit

`process(agent, query)` kann z.B. bedeuten:

- Aufforderung an Agent `agent`, die Anfrage `query` zu bearbeiten (*direktiver Gebrauch*),
- Bereitschaft von Agent `agent`, die Anfrage `query` zu bearbeiten (*kommisiver Gebrauch*),
- Frage, ob Agent `agent` die Anfrage `query` bearbeitet (*interrogativer Gebrauch*),
- Information, dass Agent `agent` die Anfrage `query` bearbeitet (*assertiver Gebrauch*)

Sprech-Akte (Speech acts), Searle

Unterscheidung in

- Aussprechen (*locutionary act*)
- beabsichtigte Wirkung (*illocutionary act*)
- tatsächliche Wirkung (*perlocutionary act*)

5 grundlegende „illocutionary acts“

- Assertiva (Die Tür ist offen.)
- Direktiva (Öffne die Tür!)
- Kommissiva (Ich will die Tür öffnen.)
- Deklarativa (Das Gespräch ist beendet.)
- Expressiva (Entschuldigung).

Sprech-Akte (Speech acts), Searle

Konsequenz

Beabsichtigte Wirkung in Nachricht **explizit deklarieren**

INFORM, REQUEST, COMMAND, QUERY, DEMAND, ANNOUNCE, ACCEPT, REFUSE, PROPOSE, ...

Standardisierungs-Bestrebungen

KQML („Knowledge Query and Manipulation Language“)

ACL („Agent Communication Language“, FIPA)
orientiert an KQML

Implementationen in

JADE = Java Agent Development Framework

(D)ARPA-Projekt „Knowledge Sharing Effort“

Bereits Mitte der 90er Jahre:

„...message format and a message handling protocol to support run-time knowledge-sharing among agents...“

KSE: Knowledge Sharing Effort

KIF: Knowledge Interchange Format:

Wissensrepräsentationssprache, basierend auf PK1

KQML: Knowledge Query and Modeling Language

Sprache und Protokoll (sprechakt-orientiert)

Ontolingua: gemeinsame Nutzung von Ontologien

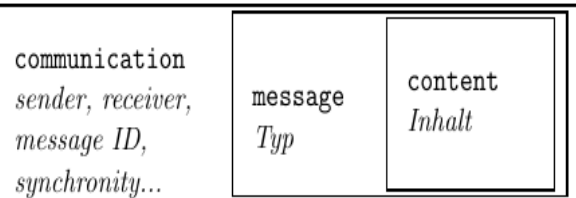
FIPA

Foundation of Intelligent Physical Agents (FIPA)

- gegründet 1996
- (11.) Standards Committee of the IEEE Computer Society.

KQML

Nachrichten-Inhalt innerhalb von strukturiertem „wrapper“:



KQML

Informationen durch Attribut-Werte-Paare spezifiziert:

(*<Sprech-Akt>*)

```
:sender <word>
:receiver <word>
:language <word>
:ontology <word>
:content <expression>
... ..
```

KQML

Nachrichtentyp(*<Sprechakt>*), z.B.:

Basic query: evaluate, ask-one, ask-all, ...

Multiresponse query: stream-in, stream-all, ...

Response: reply, sorry, ...

Generic Information:

tell, achieve, cancel, untell, unachieve, ...

Generator: standby, ready, next, rest, ...

Capability definition:

advertise, subscribe, monitor, ...

Networking:

register, unregister, forward, broadcast, ...

KQML

Weitere Festlegungen (*Protokolle*):

Vorschriften für Reaktionen des Empfängers

Soziale Protokolle

Ausgangssituation:

egoistische Agenten

kein maximaler Nutzen für alle Agenten erzielbar

Interessenausgleich: Verhandlung notwendig

Täuschung bei Verhandlung vermeiden

Beispiel: Terminvergabe durch Agenten

Jeweils spezifizieren beim Entwurf:

Insgesamt zu betrachtende mögliche Vereinbarungen

Formen der Verhandlung

Soziale Protokolle

Mögliches Vorgehen:

- simultane Angebote
- neue Angebote nur zulässig ohne Verschlechterung
- Abbruch, sobald keine Änderung:
 - letztes Angebot wird automatisch Vereinbarung, alternativ:
 - ursprüngliche Situation falls keine Einigung

Analyse mit Spieltheorie

Nutzensmatrizen für zwei Agenten **A / B**

x_A bedeutet: Agent **A** führt Handlung x aus
 v_A/v_B bezeichnet Gewinn für A bzw. B

	pB	qB
pA	3/5	-2/4
qA	7/7	-3/1

Analyse mit Spieltheorie

Beispiel 1
(Kooperation benötigt keine Kommunikation)

	pB	qB
pA	3/5	-2/4
qA	7/7	-3/1

Beispiel 2
(Kooperation benötigt Kommunikation)

	pB	qB
pA	5/5	0/3
qA	2/1	5/5

Analyse mit Spieltheorie

Beispiel 3
(„Gefangenen-Dilemma“)
Iteriertes Spiel: vgl. R. Axelrod

	pB	qB
pA	-3/-3	0/-5
qA	-5/0	-1/-1

Beispiel 4
(„Kampf der Geschlechter“)

	KonzertFrau	FußballFrau
KonzertMann	3/1	0/0
FußballMann	0/0	1/3

Platon-Dilemma (nach Hofstadter)

(x,y) bedeutet:

Spieler **A** erhält x €,
 Spieler **B** erhält y €.

		Spieler B	
		mogelt	kooperiert
Spieler A	mogelt	(1,1)	(5,0)
	kooperiert	(0,5)	(3,3)

Lotterie mit s Spielern:

Wenn k Spieler kooperieren (d.h. $m = s - k$ mogeln),

wird wie folgt ausgezahlt:

Jeder Mogler erhält $5k + 1m$ €
 Jeder Kooperierer erhält $3k + 0m$ €

Fragen:

Wieviel muss insgesamt ausgezahlt werden? (s,k)= ...

Ab welchem Einzahlungsbetrag ($< 3s$) würden Sie die Lotterie übernehmen?

Soziale Protokolle: Balance

Idee:

Agenten + Umgebung in geeigneter Weise festlegen.
 Programmierer einigen sich über Protokoll.

➔ Koordination der Agenten hat gewünschte Eigenschaften.

individuelles Interesse vs. Kompromisse:

- kein Gewinn durch unseriöses Verhalten
- zusätzliche „Kosten“ bei Verstößen

Beschreibung von Vereinbarungen

Menge von Agenten: A_1, \dots, A_n

Agent A_i hat Menge von Optionen $O_i = \{o_i^1, \dots, o_i^{m_i}\}$

Jeder Agent kann ein Ziel $g_i \in O_i$ auswählen

Abprache über Ziele:

Vereinbarung: $g := [g_1, \dots, g_n]$, $g_i \in O_i$

Worauf können sich Agenten einigen?

Ausgangspunkt:

Nutzen $U_i(g) = U_i([g_1, \dots, g_n])$ für die Agenten A_i

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

31

Eigenschaften von Vereinbarungen

Globale Optimalität (Social Welfare):

Gesamtnutzen (Summe über alle Agenten) ist optimal (evtl. auf Kosten einzelner Agenten).

g ist global optimal, falls gilt

$$\forall g': \sum_i U_i(g) \geq \sum_i U_i(g')$$

Pareto-Optimalität (Gruppenrationalität):

Bei jeder Änderung wird ein Agent benachteiligt (folglich protestieren).

g ist pareto-optimal, falls gilt

$$\forall g': g' \neq g \rightarrow \exists i: U_i(g') < U_i(g)$$

(globale Optimalität ist Spezialfall hiervon)

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

32

Stabilität von Vereinbarungen

Kein Nutzen durch Abweichen von Vereinbarung g :
 g ist *Gleichgewicht* (Equilibrium).

$g = [g_1, \dots, g_n]$ ist *Dominanz-Gleichgewicht*:

$\forall A_i: g_i$ dominantes Ziel für A_i

g_i ist *dominantes Ziel* für A_i , falls gilt

$\forall o_i \in O_i, \dots, o_n \in O_n:$

$$U_i([o_1, \dots, o_{i-1}, g_i, o_{i+1}, \dots, o_n]) \geq U_i([o_1, \dots, o_{i-1}, o_i, o_{i+1}, \dots, o_n])$$

(bei allen Optionen der anderen Agenten ist g_i für A_i optimal).

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

33

Stabilität von Vereinbarungen

Kein Nutzen durch Abweichen von Vereinbarung g :
 g ist *Gleichgewicht* (Equilibrium).

$g = [g_1, \dots, g_n]$ ist *Nash-Gleichgewicht*, falls gilt

$\forall A_i \forall o_i \in O_i:$

$$U_i([g_1, \dots, g_{i-1}, g_i, g_{i+1}, \dots, g_n]) \geq U_i([g_1, \dots, g_{i-1}, o_i, g_{i+1}, \dots, g_n])$$

(Abweichen von der Vereinbarung vermindert den Nutzen, Dominanz-Gleichgewicht ist Spezialfall).

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

34

Erzielen von Vereinbarungen

Interesse an Verhandlungen (individuelle Rationalität):

Ergebnis der Verhandlung bringt Nutzen für alle Agenten (im Vergleich zur Situation ohne Verhandlung).

Einfachheit:

Aufwand für Verhandlung darf Nutzen nicht übersteigen.

Verteiltheit:

Es gibt keine (globale) Instanz, die Entscheidungen diktiert.

Symmetrie:

Alle Agenten werden gleich behandelt.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

35

Einigungspunkte für Verhandlungen

Reduktion der Verhandlungen durch Bestimmung von

- optimalen Vereinbarungen
- Gleichgewichten

Nur Verhandlung bzgl. solcher Vereinbarungen notwendig:

„*Negotiation set*“

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

36

Einigungspunkte für Verhandlungen

Für „reine“ Strategien (ohne stochastische Auswahl) gilt:

- Es gibt stets globales Optimum (Pareto-Optimum), aber evtl. kein Nash-Gleichgewicht (Dominanz-Gleichgewicht).

	pB	qB
pA	0/0	1/0
qA	1/0	0/0

- Evtl. **mehrere** Optima/Gleichgewichte
Beispiel: mehrere Nash-Gleichgewichte (Konflikte zwischen Vereinbarungen benötigen Verhandlung)

	pB	qB
pA	1/3	0/0
qA	0/0	3/1

Einigungspunkte für Verhandlungen

pA/pB ist Dominanz-Gleichgewicht und Nash-Gleichgewicht,

qA/qB ist pareto-optimal und sogar global optimal

	pB	qB
pA	-3/-3	0/-5
qA	-5/0	-1/-1

Abstimmung (Voting)

Agenten stimmen über Vereinbarungen ab.

Sei $G = \{g^1, \dots, g^s\}$ die Menge der zu verhandelnden Vereinbarungen (negotiation set).

Jeder Agent A_i hat eigne *Präferenzrelation* $>_i$ über G :

$g >_i g'$: Agent A_i bevorzugt g gegenüber g'

Voraussetzung an $>_i$: Lineare Ordnungsrelation (irreflexiv, asymmetrisch, transitiv, konnex)

Abstimmungsverfahren („voting“) ergibt

Soziale Präferenz ($>$) als Funktion *voting* der individuellen Präferenzen ($>_i$):

$$> = \text{Voting}(>_1, \dots, >_n)$$

Mögliche Anforderungen an voting

$> = \text{Voting}(>_1, \dots, >_n)$

(1) ist *definiert* für alle individuellen Präferenzen $>_1, \dots, >_n$

(2) ist *lineare Ordnung*

(3) ist *Pareto-optimal* ($\forall i=1, \dots, n: g >_i g' \rightarrow g > g'$)

(4) *Irrelevante Alternativen* g beeinflussen *voting* nicht, d.h. wenn eine Alternative entfällt und ansonsten die individuellen Präferenzen $>_i$ gleich bleiben, so bleibt auch die globale Präferenz auf den verbliebenen Alternativen unverändert.

(5) Kein Agent A_i ist „*Diktator*“.

Diktator: unabhängig von den Präferenzen der anderen Agenten gilt stets $g >_i g' \rightarrow g > g'$.

Spezielle Abstimmungsverfahren

Plurality Protocol: Simultane Mehrheitsentscheidung: Alternative g mit meisten Stimmen gewinnt.

Binary Protocol: Paarweiser Mehrheits-Vergleich der Alternativen g : Verlierer scheidet aus.

Borda Protocol: Punkte-Zuteilungen für jedes $>_i$: ($|O| - k$ Punkte für Position k). Reihenfolge gemäß Gesamtpunktzahl.

Spezielle Abstimmungsverfahren

Plurality Protocol: Simultane Mehrheitsentscheidung: Alternative g mit meisten Stimmen gewinnt.

Irrelevante Alternativen können Ergebnis ändern (Stimmen-splitting).

Binary Protocol: Paarweiser Mehrheits-Vergleich der Alternativen g : Verlierer scheidet aus.

Irrelevante Alternativen können Ergebnis ändern. Reihenfolge der Vergleiche beeinflusst Ergebnis.

Borda Protocol: Punkte-Zuteilungen für jedes $>_i$: ($|O| - k$ Punkte für Position k). Reihenfolge gemäß Gesamtpunktzahl.

Irrelevante Alternativen können Ergebnis ändern.

Binary protocol

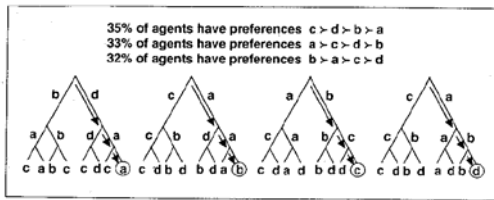


Figure 5.1 Four different agendas for a binary protocol with four alternatives: a , b , c , and d .

Beispiel aus T.W.Sandholm: *Distributed Rational Decision Making*, in G.Weiss (Ed.): *Multiagent Systems*

Borda protocol

Agent	Preferences
1	$a > b > c > d$
2	$b > c > d > a$
3	$c > d > a > b$
4	$a > b > c > d$
5	$b > c > d > a$
6	$c > d > a > b$
7	$a > b > c > d$
Borda count	c wins with 20, b has 19, a has 18, d loses with 13
Borda count with d removed	a wins with 15, b has 14, c loses with 13

Table 5.2 Winner turns loser and loser turns winner paradox in the Borda protocol.

Beispiel aus T.W.Sandholm: *Distributed Rational Decision Making*, in G.Weiss (Ed.): *Multiagent Systems*

Mögliche Anforderungen an voting

Arrow's *Unmöglichkeitstheorem*:

Es gibt kein Abstimmungsverfahren *voting*, das 1 - 5 erfüllt.

Konsequenz:

Verzicht auf einige Anforderungen (z.B. 1, 4)

Verhindern von Betrug

Spezielle Protokolle sollen sichern, dass sich falsche Angaben nicht lohnen.

Beispiel: Auktionen mit einmaligem Gebot ohne Kenntnis der anderen Gebote.

Vickrey-Auktion:

Bieter mit dem höchsten Gebot gewinnt, zahlt aber den Preis des zweithöchsten Gebots.

Anreiz für Bieter, ihre tatsächlichen Wertschätzung anzugeben

Verhindern von Betrug

Spezielle Protokolle sollen sichern, dass sich falsche Angaben nicht lohnen.

Beispiel in einer wert-orientierten Domäne:

Agenten haben Bewertungen für die Zustände.
 Agenten machen (evtl. vorgetäuschte) Angaben über ihre Bewertungen.
 Zustand mit höchster gemeinsamer Bewertung wird gewählt.

Ziel: Täuschen bei Bewertungen soll nutzlos sein.

Verhindern von Betrug

Clarke-Tax-Verfahren: Besteuerung für den Fall, dass Ergebnis verändert würde.

Agent	Präferenz von a_i für Zustand				Summe ohne a_i für Zustand				Steuer für a_i	Nutzen für a_i
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_1	s_2	s_3	s_4		
a_1	3	3	-5	11	14	41	-7	22	0	3
a_2	10	16	0	2	7	28	-7	31	3	13
a_3	-4	20	-8	16	21	24	1	17	0	20
a_4	8	5	6	4	9	39	-13	29	0	5
Summe	17	44	-7	33					3	41

Probleme: Vollständige Information notwendig
 Überschüsse verbrennen

Beispiel E.E.Ephrati und J.S.Rosenschein: *Reaching Agreement Through Partial Revelation of Preferences*, ECAI 2002

Schwarmintelligenz

„Rationales Gruppen-Handeln“
Systeme mit *vielen primitiven* Agenten.

Vorbilder in der Natur:

Schwarm-Verhalten, Insekten-Staaten, ...
Insekten benutzen Pheromone:

- Geruchsmarkierung (Information)
- Substanz verfliegt mit der Zeit.

Umwelt wird als „externes Gedächtnis“ benutzt.
Komplexes System-Verhalten ohne zentrale Steuerung:
emergent behaviour

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

49

Beispiel: Futterbeschaffende Ameisen

Umwelt mit Futterplätzen, Nest, Pheromon-Markierungen

Ameise (Agent) hat **Programm** mit 5 Regeln,
die aber nicht strikt befolgt werden:

1. Bewegungen, bevorzugt: Richtung von Pheromon-Konzentration Hindernissen ausweichen.
2. Solange kein Pheromon wahrgenommen wird: Brownsche Bewegungen (keine bevorzugte Richtung).
3. Falls Agent Futter trägt: Pheromon-Ausscheidung in konstanten Raten.
4. Falls Agent kein Futter trägt und Futter findet: Futter aufnehmen.
5. Falls Agent Futter trägt und das Nest erreicht: Futter ablegen.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

50

Beispiel: Futterbeschaffende Ameisen

Resultate:

- Einige Ameisen finden Futter.
- Einige Ameisen finden das Nest: legen Pheromon-Spuren zum Nest.
- Verbindungen zwischen Futterplatz und Nest: Zunahme der Pheromon-Intensität in Nestrichtung wegen kürzerer Liegezeit.
- Pheromon lockt weitere Ameisen: Pheromon-Intensität auf „guten“ Wegen verstärkt. Irrwege abgeschwächt durch Verflüchtigung.
- Abkürzungen, Tendenz zur Verschmelzung: Kürzere Wege dominant.

„Spannender Baum“ (graphentheoretisches Problem) zwischen Nest und Futterplätzen wird generiert.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

51

Beispiel: Termiten beim Nestbau

Regeln:

1. Bilde Baumaterial (pheromon-haltig).
2. Zufällige Bewegungen. Bevorzugt: Richtung der stärksten Pheromon-Konzentration.
3. Entscheide stochastisch, ob Baumaterial abgelegt wird. Wahrscheinlichkeit nimmt zu mit Pheromon-Konzentration in der Umgebung und Menge des eigenen Materials.

Resultat:

Wegen Verflüchtigung des Pheromons sind Spitzen der Türme am attraktivsten: Die Türme wachsen nach oben.
Wenn zwei Säulen beieinander stehen, sind die einander zugewandten Seiten am attraktivsten: Es entstehen Bögen.
In gleicher Weise wachsen Bögen zusammen: Es entstehen Flure.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

52

Beispiel: Vögel beim Fliegen

Regeln:

1. Bewahre Mindestabstand.
2. Adaptiere die Bewegung (Geschwindigkeit, Richtung) der Nachbarn.
3. Bleibe nah am Zentrum des Schwarms.

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

53

Anregungen für AOT

Umwelt als externes Gedächtnis

Kleine Einheiten

Einfach programmierbar.
Reaktives Verhalten (bzw. nur wenige Zustände).

Viele Einheiten

Stabilität gegen Fehler.
Komplexes Gesamtverhalten in Kombination mit Umwelt.
„Reserve“ für Anpassung.

„Vergessen“ von Fehlentwicklungen.

(Pheromon-Verflüchtigung, Absterben)

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

54

Anregungen für AOT

„Armlängenreichweite“

Effiziente Kommunikation.

„Stress“ vermeiden.

Analogie: Goto-Befehl vermeiden

Keine zentrale Steuerung.

Robustheit gegenüber Änderungen der Umwelt.

Robustheit gegen Ausfälle

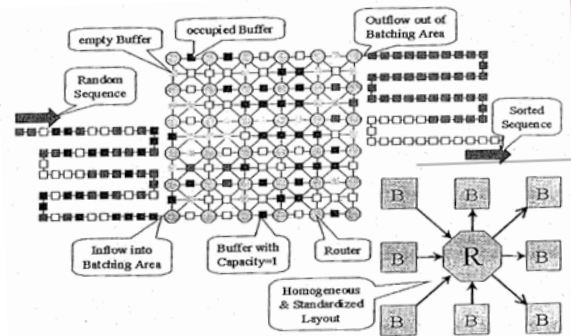
Evolution, Vererbung (Genetische Programmierung)

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

55

Sortieren



Sortieren

In jedem Zyklus werden die folgenden 3 Regeln der Reihe nach probiert.
Wenn eine Regel ausgeführt wurde, beginnt neuer Zyklus.

Regel 1 (Sortieren):

FALLS Produkt p an Eingang X UND freier Ausgang Y mit p markiert
DANN von X nach Y leiten (zufällige Auswahl bei Alternativen).

Regel 2 (Blockieren):

Pausieren für feste Zeit T mit Wahrscheinlichkeit ~ freie Eingänge.

Regel 3 (Zufall):

Wähle zufällig einen belegten Eingang X und freien Ausgang Y:
leite von X nach Y und markiere Y (entsprechend Produkt p an X).

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

57

Sozionik

Simulation menschlicher Gesellschaften

Verwendung soziologischer Begriffe in der Informatik

Hybride Systeme: Menschen, Computer, Roboter

Interdisziplinär: Soziologie + Informatik

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

58

Sozionik: Soziologie + Informatik

„Hybride Gesellschaften“

Technische Agenten als menschlichen Akteuren
vergleichbare Kooperationspartner.



Verteilte Handlungsträgerschaft
Kooperation von Menschen und Maschinen unter Beachtung
organisatorischer/soziologischer Anforderungen

H.D.Burkhard, HU Berlin
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI
Agenten

59