

## Überblick: Agenten und DAI

Agenten  
Verteilte Künstliche Intelligenz  
Koordination

Timo Franz, Of Franz@informatik.uni-hamburg.de

## Überblick: Agenten und DAI

### Inhalt

- Agenten
- Verteilte Künstliche Intelligenz
  - Autonome Agenten
  - Distributed Problem Solving
  - Multiagentensysteme
- Koordination und Kooperation
  - Koordinationsmechanismen
  - Koordinations-Frameworks
- Zusammenfassung
- Diskussion ...

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

2

## Agenten

- Begriffsdiskussion
- Eigenschaften
- Agent vs. Objekt
- Anknüpfungspunkte

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

3

## Agenten - Begriffsdiskussion

- „agens“ (lat.): Partizip zu „agere“: handeln, agieren
- „Geschäftsvermittler, [Handels-]vertreter“  
„Person, die im Geheimauftrag einer Regierung, einer milit. oder polit. Organisation o.ä. bestimmte, meist illegale Aufträge ausführen soll; Spion.“ (*Wörterbuch*)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

4

## Agenten - Begriffsdiskussion

- „Allgemein ein Programm, das einen Hintergrund-Task durchführt und den Anwender darüber informiert, wenn der Task beendet wurde oder ein erwartetes (vorher definiertes) Ereignis eingetreten ist.“  
(*Microsoft Press Computer-Fachlexikon*)
- „An agent is a computer system that is situated in some environment, and that is capable of autonomous action in this environment in order to meet its design objectives.“ (*Wooldridge*)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

5

## Agenten - Begriffsdiskussion

Keine allgemein akzeptierte Definition des Begriffs!

- „The term ‚agent‘ [...] may denominate everything from a computational ‚neurone‘ up to a complex expert system.“ (*Ossowski*)
- „Most agent developers have their own opinion on exactly what constitutes an agent – and no two developers appear to share exactly the same opinion“ (*unbekannt*)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

6

## Agenten - Eigenschaften

- gewisse Autonomie
- Stellvertreterrolle
- Zielsetzung
- Software oder Roboter
- eingebunden in Systemumgebung
- Mobilität?
- Persistenz?
- Intelligenz?



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

7

## Agenten - Agent vs. Objekt

- Agenten können objektorientiert implementiert werden
- Objekte kontrollieren ihren Status; Agenten ihr Verhalten
- höhere Flexibilität und Autonomes Handeln
- höhere Abstraktionsebene
- höherer Modularisierungsgrad
- Parallelität inhärent

➤ „Objects do it for free; agents do it for money“ (*unbekannt*)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

8

## Agenten - Anknüpfungspunkte

- Betriebswirtschaftslehre  
Spieltheorie, Operations Research  
Supply Chain Management  
Produktionsplanung  
Elektronische Märkte
- Informatik  
(Verteilte) Künstliche Intelligenz, Robotik  
Verteilte Systeme, Telematik  
Wissensmanagement  
Softwaretechnik

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

9

## Verteilte Künstliche Intelligenz - Distributed Artificial Intelligence (DAI)

- Begriffsdiskussion
- Rückblick
- Mögliche Vorteile
- Autonome Agenten
- Distributed Problem Solving
- Multiagentensysteme

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

10

## DAI - Begriffsdiskussion

- „Distributed Artificial Intelligence (DAI) is concerned with systems of interacting artificial agents.“ (*Ossowski*)
- „DAI is concerned with the cooperative solution of problems by a decentralised group of agents.“ (*Gasser, Huhns*)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

11

## DAI - mögliche Vorteile

- Flexibilität
- Zuverlässigkeit
- Robustheit
- Wiederverwendbarkeit
- Geschwindigkeit (Parallelisierung)
- Komplexitätsreduzierung durch Modularisierung

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

12

## DAI - Rückblick

50er: AI  
- Verteilung und Parallelität

60er/70er: DAI  
- Basis: Mainframe Computersystem -> Workstations, PCs:  
- Kooperierende Experten, Blackboard-Architektur

1980: erstes eigenständiges DAI-Event:  
„Workshop on Distributed Artificial Intelligence“ MIT, Boston

1984: Open Systems

## Autonome Agenten (AA)

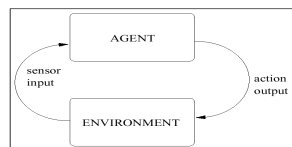
### Allgemein

- **Ursprung in der Robotik:**  
physikalische Agenten, „real-world“-Umgebung, Autonomie
- **Software-Agent:**  
Umgebung vergleichbar mit „Knowledge Medium“ (Stefik 1986)
- **Beispiele:**
  - Informations-Agent, Spider
  - Interface-Agent
  - „believable agent“

## Autonome Agenten (AA)

### Charakterisierung

- Wahrnehmung (Sensoren) und Modifikation (Effektoren) der Umgebung
- verkörpert oder virtuell



## Autonome Agenten (AA)

### Betrachtung aus drei Perspektiven:

1. **Kognitive Software Agenten leben in einer Multi-Agenten Welt**
  - Problemlösende Fähigkeiten
  - (begrenzte) Rationalität
  - (begrenzte) Autonomie
  - soziale Fähigkeiten
  - Reaktivität und Pro-Aktivität
2. **Vorsatz, Mentaler Zustand**
  - Basis für Vorhersagen und Erklärung von Aktionen
  - Information Attitudes und Pro-Attitudes
3. **Kontext**
  - vom Kontext auf den individuellen Agenten schließen

## Autonome Agenten (AA)

### Forschungsgebiete

- **Agenten-Theorien**  
Fragen der Konzeptualisierung
- **Agenten-Sprachen**  
Programmiersprachen und Werkzeuge
- **Agenten-Architekturen**  
interne Struktur

## Autonome Agenten (AA)

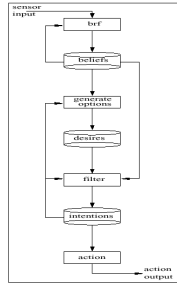
### Agenten-Architekturen

- **Komponenten**  
Sensoren -> Kognitionskomponente -> Effektoren
- **Einteilung gemäß Kognitionskomponente**  
deliberativ, reaktiv, hybrid

## Autonome Agenten (AA)

### Deliberative Architekturen

- Symbolische KI  
Modularisierung der kognitiven Funktionalität, Top-Down
- Agent hat ein symbolisches Modell der Welt
- BDI – Architekturen (Belief, Desire, Intention)
- IRMA (Intelligent Resource-bounded Machine Architecture)



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

19

## Autonome Agenten (AA)

### Reaktive Architekturen

- Reiz-Reaktions-Schema, Bottom-Up
- Agent hat Sammlung einfacher Verhaltensschemata
- Subsumptionsarchitektur  
Beispiel: Mars-Explorer (*Steels*)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

20

## Autonome Agenten (AA)

### Mars-Explorer (*Steels*)

#### niedrige Priorität

- |  |
|--|
| 4.: Bewege dich zufällig umher                                     |
| 3.: Wenn genug Erze gesammelt, bewege Dich zurück zum Raumschiff   |
| 2.: Wenn noch keine Erze gesammelt, bewege Dich weg vom Raumschiff |
| 1.: Umgehe Hindernisse   |

#### hohe Priorität

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

21

## Autonome Agenten (AA)

### Hybride Architekturen

- Reaktive Komponente: zeitabhängige Tasks
- Deliberative Komponente: „reizfreie“ Aktivitäten
- Schichtenarchitekturen  
Beispiele:  
- Ferguson's TouringMachines  
- InteRRaP

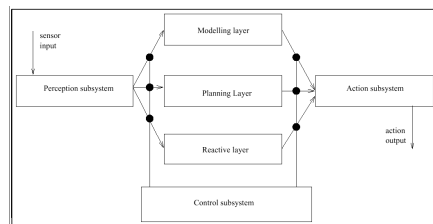
27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

22

## Autonome Agenten (AA)

### TouringMachines (*Ferguson*)



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

23

## Distributed Problem Solving (DPS)

### Allgemein

- Ziel: Intelligenz der Gruppe > Summe Intelligenz einzelner Agenten
- Annahme: Agenten kooperieren
- Schwerpunkte
  - Teilung von Ressourcen
  - Koordination ihrer Aktivitäten
  - Kooperationsprotokolle

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

24

## Distributed Problem Solving (DPS)

### Eigenschaften

- **Wohltätigkeit (benevolence)**  
hilfsbereite Agenten, keine Bezahlung
- **gemeinschaftliche Ziele**  
alle Agenten wollen den globalen Nutzen maximieren
- **Homogenität**  
keine Konflikte aufgrund von Repräsentation und Kommunikation

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

25

## Distributed Problem Solving (DPS)

### Struktur

1. **Task Dekomposition**  
qualitativ: Aufteilung in weniger komplexe Subtasks  
quantitativ: Aufteilung in kleinere Teiltasks
2. **Task Allokation**  
einmalige TA: ein Task – ein Agent, Auftrag oder Versteigerung  
mehrfache TA: ein Task – mehrere Agenten, z.B. mehrere Spezialisten
3. **Problemlösung**  
individuelle Lösung
4. **Lösungsintegration**  
synthetisch: Auswahl einer Alternative  
kompositorisch: Umkehrung der quantitativen TD  
konstruktiv: nach qualitativer TD

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

26

## Distributed Problem Solving (DPS)

### Model Mismatch

Verteilung von Wissen != (funktionale) Struktur der Tasks

- **Ursache: Ungleiche Verteilung von Wissen**  
fallbezogenes, fachspezifisches und taskspezifisches Wissen
- lokales Wissen, globale Auswirkung!
- Koordination notwendig:
  - Organisation
  - Informationsaustausch auf Meta-Ebene
  - Multi-Agent Planning

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

27

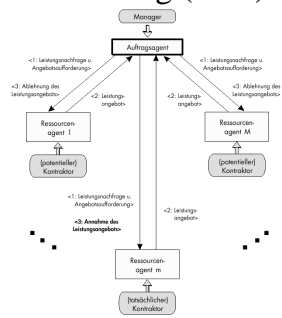
## Distributed Problem Solving (DPS)

### Beispiel:

### Kontraktnetz-Architektur (Smith, Davis/Smith, Zelewski)

### Manager-Kontraktor Architektur:

- Koordinations- / Preisbildungsmechanismus?
- Kompetenzasymmetrie



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

28

## Multiagentensysteme (MAS)

### Allgemein

- Agentengruppen mit variierenden Eigenschaften
- Existenz der Agenten nicht auf bestimmten Problem-Kontext beschränkt
- Focus auf Interaktionen und daraus entstehenden Properties

### Motivation

- Wiederverwendbarkeit -> Heterogenität
- Flexibilität und Robustheit -> Autonomie und Egoismus
- Spezielles Interesse an „harten“ Fällen

### ➢ Open Systems Approach

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

29

## Multiagentensysteme (MAS)

### Eigenschaften

- „Nicht-Wohltätigkeit“ (non-benevolence)
  - Maximierung des eigenen Nutzens, individuelle Rationalität
  - Hilfe gegen Bezahlung
  - teilweise auch Berücksichtigung von Altruismus und sozialer Verantwortung
- Multiple Ziele
  - Folgen: Soziales Dilemma oder echte Konflikte
- Autonomie
  - Ziele werden nur anhand eigener „Motivation“ generiert oder übernommen
- Heterogenität
  - unterschiedliche Architekturen, Ontologien, Sprachen

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

30

# Multiagentensysteme (MAS)

## Forschungsinteresse

- Verhaltensphänomene: z.B. uniformes Verhalten
- Reaktive DAI Systeme: Spezifikation der Verhaltensregeln, „Natur als Vorbild“
- Kognitive Agenten: Mechanismus-Analyse und Design

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

31

# Multiagentensysteme (MAS)

## Mechanismen

- Spieltheorie: Gefangenen-Dilemma, Koalitionen
- Auktionen
- Verhandlungen: Automatische Kontrakt-differenzierung
- Marktbasierte Koordination: Market-oriented Programming (*Wellman*)
- Statistische Mechanik: Ising Models
- Mathematische Modelle der klassischen Mechanik: Physics-Agent System
- Molekulare Genetik

Anreize und Konventionen für effizientes Verhalten?!

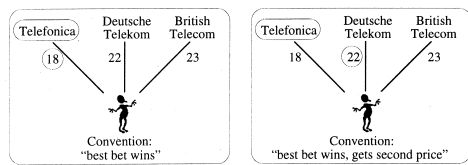
27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

32

# Multiagentensysteme (MAS)

Beispiel: Task-Assignment Problem (*Rosenschein/Zlotkin*)



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

33

# Koordination

- Koordinationsmechanismen
  - Organisation
  - Multi-Agent Planning
  - Verhandlungen
- Koordinations – Frameworks

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

34

# Koordinationsmechanismen

## Allgemein

- Bestimmung von interner Dynamik und externen Merkmalen
- abhängig von den Eigenschaften der
  - Agenten: Kooperation?
  - Umgebung: Stabilität, Vorhersagbarkeit?
  - Tasks: Teilbarkeit, Definition?

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

35

# Organisation

## Langfristige Strukturen von Rollenbeziehungen

- Verantwortlichkeit
- Autorität
- Strukturen ähnlich der Task-Struktur

## Extremformen

- Hierarchische Organisation
  - Manager hat Kontrolle über Task
- Laterale Organisation
  - alle Tasks werden kooperativ bearbeitet
- Keine Organisation für alle Problemstellungen geeignet

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

36

# Multi-Agent Planning

## Eigenschaften

- Teilnehmende Agenten verpflichten sich, sich gemäß einer bestimmten Zielsetzung zu verhalten
  - Aktionen anderer Agenten vorhersehbar und beeinflussbar, aber andere Ereignisse können Erfolg verhindern
- Eher für kurzfristige Planung geeignet

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

37

# Multi-Agent Planning

## Traditionelles MAP

- kompletter Plan vor Ausführung generiert
- Nachteil  
Parallelität abhängig von Zielen und Aktionen, nicht von verfügbaren Agenten

## Zentralisiertes MAP

- 1 Agent verantwortlich für Lösung von Konflikten

## Verteiltes MAP

- mehrere Agenten entwickeln Plan

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

38

# Verhandlungen

- Definition  
Prozess der Entscheidungsfindung mehrerer Parteien durch Kompromisse oder Suche nach Alternativen
- Ökonomisch  
Ausgestaltung einer wertschaffenden Kooperation und Aufteilung des Kooperationsgewinns
- Voraussetzung  
Kommunikation und Interpretation

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

39

# Verhandlungen

## Sprechakttheorie

- Theorie humaner Kommunikation  
- Lokution, Proposition, Illokution, Perlokution
- Illokution: intendierte Funktion der Äußerung  
- Kategorien: assertiv, direktiv, kommissiv, deklarativ, expressiv
- Verhandlungsmodell: „negotiation primitives“  
- Anfragen (initiators)  
- Antworten (reactors)  
- Akzeptanz (completers)

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

40

# Verhandlungen

## Bestandteile

- Verhandlungsobjekt
- „Negotiation Primitives“
- Verhandlungsprotokoll
- Verhandlungsstrategien  
- Maximierung des individuellen Nutzens  
- kooperativ vs. konkurrierend

Gesamtnutzen maximierbar durch Incentives?

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

41

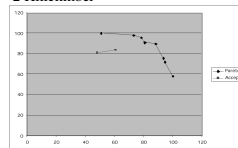
# Verhandlungen

## Hill-Climber vs. Annealer (Klein)

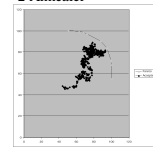
### Gefangenendilemma!

	Agent 2 hill-climbs	Agent 2 anneals
Agent 1 hill-climbs	[36] 73/74	[36] 59/51
Agent 1 anneals	[86] 51/99	[98] 84/84

### 2 Hillclimber



### 2 Annealer



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

42

## Koordinations-Frameworks

### Koordination von Plänen autonomer Agenten (Von Marial)

- Ausgangspunkt: jeder Agent hat einen individuell entwickelten Plan
- Interdependenzen: „multi-agent plan relations“
- Ermittlung durch speziellen Planungs-Agenten
- Modifikation der Pläne

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

43

## Koordinations-Frameworks

### TAEMS and GPGP (Decker)

- TAEMS: Allgemeine Modellierungssprache  
Stärke: Repräsentation von Abhängigkeiten  
Modellierung von Task-Subtask-Beziehungen
- GPGP: Verteiltes Multi-Agent Planning Framework  
Generierung und Adaption von Plänen gemäß TAEMS-Modell
- Agenten kennen Teile des Modells und können ihre Pläne ändern  
Architektur: lokaler Scheduler und Koordinationskomponente  
Maximierung der Qualität

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

44

## Koordinations-Frameworks

### the TEAM Framework (Lander)

- Integration heterogener und wiederverwendbarer Agenten
- Agenten als wissensbasierte Systeme unterschiedlichster Art  
wohltätig und kooperativ
- Interesse: Management von Wissens-Inkonsistenzen
- Kommunikation über Blackboard
- Koordination durch Konflikt-Auflösung  
Verteilte Suche: „Negotiated Search“
- Architektur  
Blackboard: Definitionen, Strategien, (Teil-)Lösungen  
Gruppe von Agenten: Wissensquellen, Agenda, Arbeitsspeicher  
Team Manager Agent (TMan): Vermittler, Nachrichten
- Kompromisse oft berechenbar

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

45

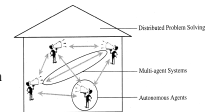
## Zusammenfassung

### Agent

- Keine allgemein akzeptierte Definition des Begriffs!

### Verteilte künstliche Intelligenz

- Autonome Agenten  
- deliberative, reaktive, hybride Architekturen  
- Agentenorientiert
- Distributed Problem Solving  
- Wohltätigkeit, gemeinschaftliche Ziele, Homogenität  
- Problemorientiert
- Multiagentensysteme  
- Nicht-Wohltätigkeit, multiple Ziele, Autonomie, Heterogenität  
- Interaktionsorientiert



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

46

## Zusammenfassung (2)

### Koordinationsmechanismen

- Organisation  
- langfristige Strukturen, Rollenkonzept
- Multi-Agent Planning  
- kurzfristige Pläne
- Verhandlungen  
- Entscheidungsfindung durch Kompromisse oder Alternativensuche

### Koordinations-Frameworks

- Koordination von Plänen autonomer Agenten  
- „multi-agent plan relations“
- TAEMS und GPGP  
- lokaler Scheduler und Koordinationskomponente
- the TEAM Framework  
- „Negotiated Search“

27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

47

## Diskussion ...

- Hype?  
„Indeed, many of the systems that have been built using agent technology could likely have been built just as easily with nonagent techniques.“  
(unbekannt)
- Anreize oder Regeln? Welche Mechanismen sind wann zweckmäßig?
- Ansätze schon tragfähig für reale Problemstellungen?  
Voraussetzungen?  
Formalisierung?  
Beherrschbarkeit?  
Vorteile / Nachteile?  
Intelligenz?  
• ...



27.10.2003

Logiken für Multiagentensysteme, WS 2003/04  
Überblick, Timo Franz

48

## Literatur

- Ossowski, S. 1999: *Coordination in Artificial Agent Societies*, LNAI 1535, Seiten 31-63. Springer Verlag, Heidelberg
- Wooldridge, M. 1999: *Intelligent Agents*. In G.Weiss (Hrsg.), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, S.27-77. MIT Press, Cambridge
- Fink, A., Volß, S. 2003: *Multiagentensysteme, Manuskript zu einer Vorlesung*. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Hamburg
- Klein, M. et al.: *Negotiating Complex Contracts*. Arbeitsbericht, MIT
- Zelewski, S. 1997: *Elektronische Märkte zur Prozeßkoordination in Produktionsnetzwerken*. *Wirtschaftsinformatik* 39, S.231-243.