Verteilte Künstliche Intelligenz – Zusammenfassung der Veranstaltung

VAK 03-710.03

Universität Bremen

Ingo J. Timm, Jörn Witte

Einteilung in drei Blöcke

- Logische Grundlagen und Modellierung
  (1 Übungszettel)

- Verteilte Problemlösung
  (2 Übungszettel)

- Organisation und Gesellschaften
  (1 Übungszettel)

[A] Logische Grundlagen und Modellierung

- Einführung
  - Begriffsbestimmung, Einleitung, Überblick
  - Anwendungen und Standardisierung
  - Logische Grundlagen
- Logik I: Entscheidungsverhalten eines Intelligenten Agenten
  - (Multi-) Modallogik
  - Beliefs-Desires-Intention Architektur
  - Formales Entscheidungsverhalten innerhalb von Agenten
- Logik II: Systemmodellierung
  - Formale Repräsentation von Multiagentensystemen (Visibility – See – Knowledge)
  - Lokale und globale Zustandstransformation
- Projektbeispiel: RoboCup

[B] Verteilte Problemlösung (1/2)

- Kommunikation
  - FIPA – Agent Communication Language
  - Sprechakttheorie und Semantik einer Kommunikationsaktion
  - Interaktionsprotokolle in der Agentenkommunikation
- Ontologien
- Koordination I
  - Grundlagen für die Evaluation von Kommunikation (Spieltheorie, Statistik)
  - Soziale Wahl (Voting) und Feilschen (Bargaining)
  - General Equlibrium Theory
- Koordination II
  - Auktionsprotokolle
  - Formale Betrachtung von Auktionsprotokollen
  - Kontraktnetz

[B] Verteilte Problemlösung (2/2)

- Verteilte Problemlösung und Planung I
  - Planen in Gruppen und Planen für Gruppen
  - Shared Intentions, Joint Intentions
  - Verhandlungsbasierte verteilte Planung
- Verteilte Problemlösung und Planung II
  - Gruppen und Teams
  - Management von Fertigkeiten
  - Dynamische Teambildung

[C] Organisation und Gesellschaften

- Organisation
  - Emergenzeffekt
  - Organisation aus wirtschaftswissenschaftlicher Perspektive
  - Zusammenfassung der Koordinationsmechanismen
- Zusammenfassung
- Sozionik
- Gastvorlesung durch Dr. Frank Hillebrandt,
  Technische Hochschule Hamburg-Haburg
- Was können Agentenforscher von der Sozialwissenschaft lernen?
- Was können Sozialwissenschaftler von/mit Agententechnologie lernen?

Bereich [A]
Logische Grundlagen und Modellierung

Begriffsbestimmung: VKI

- Die VKI bemüht sich, Künstliche Intelligenz (KI) in Hinsicht auf Skalierbarkeit, multiple Problemlösungsstrategien und Wiederverwendbarkeit durch kooperative Systeme zu erweitern.

- Findler definiert die VKI wie folgt [Findler 91, S. 23]: *”Distributed planning and problem solving systems handle tasks that cannot be dealt with effectively and efficiently by one single processor.”*

Introduction to Intelligent Agents

Agents are software entities that ***assist*** *people and act on their behalf.* *(P. Maes, 1994)*

Weak Definition of Agency:

- Reactivity
- Deliberativity
- Social Deliberation

Agents are situated in an environment, act autonomously, and are able to sense and to react to changes.

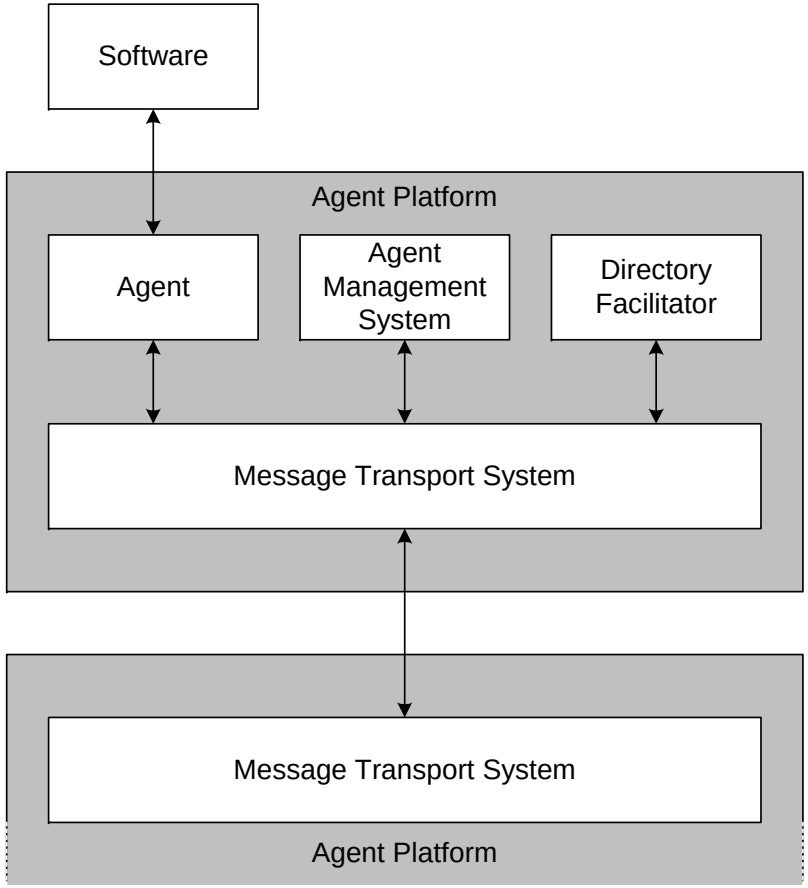
Is it an Agent or an Object ?

- Agents have an architecture
- Agents have „mental“ states
- Agents are goal-directed
- Agents are plan-based
- Agents have dialogs

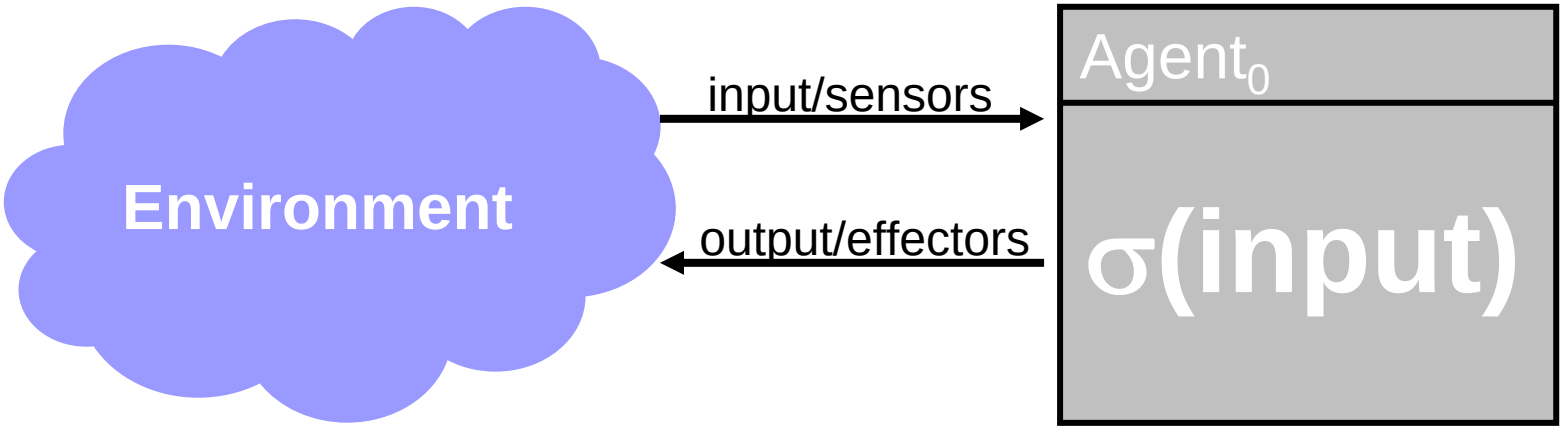
- Objects have not
- Objects have attributes
- Objects are message-triggered
- Objects are „life-cycle bounded“
- Objects have send/receive behaviour

(As reported by Burmeister 1996)

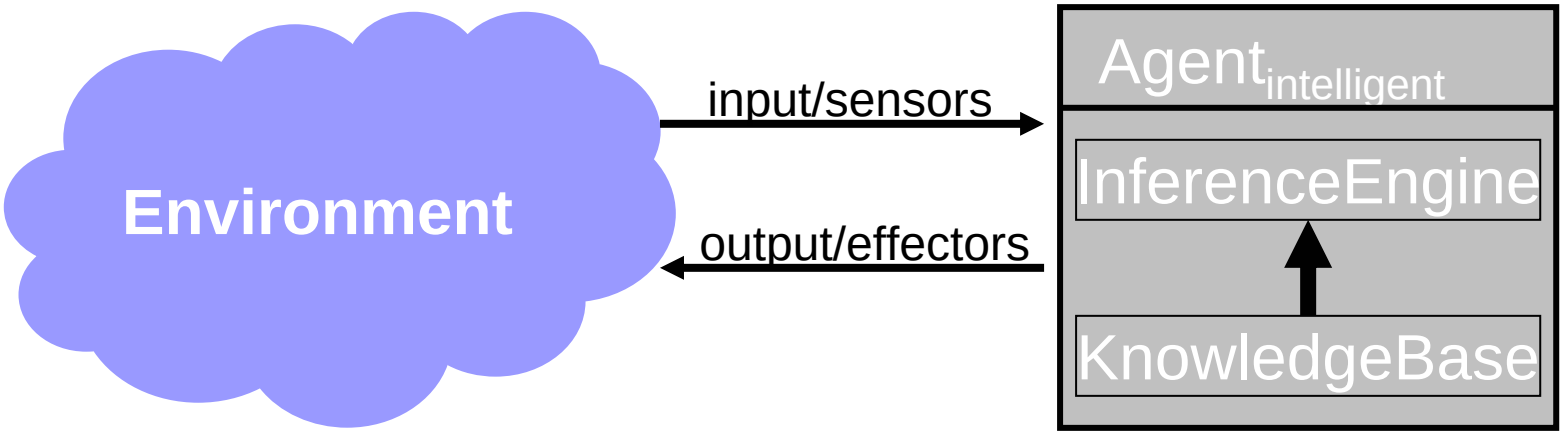
The FIPA Reference Architecture



Definition of an Agent

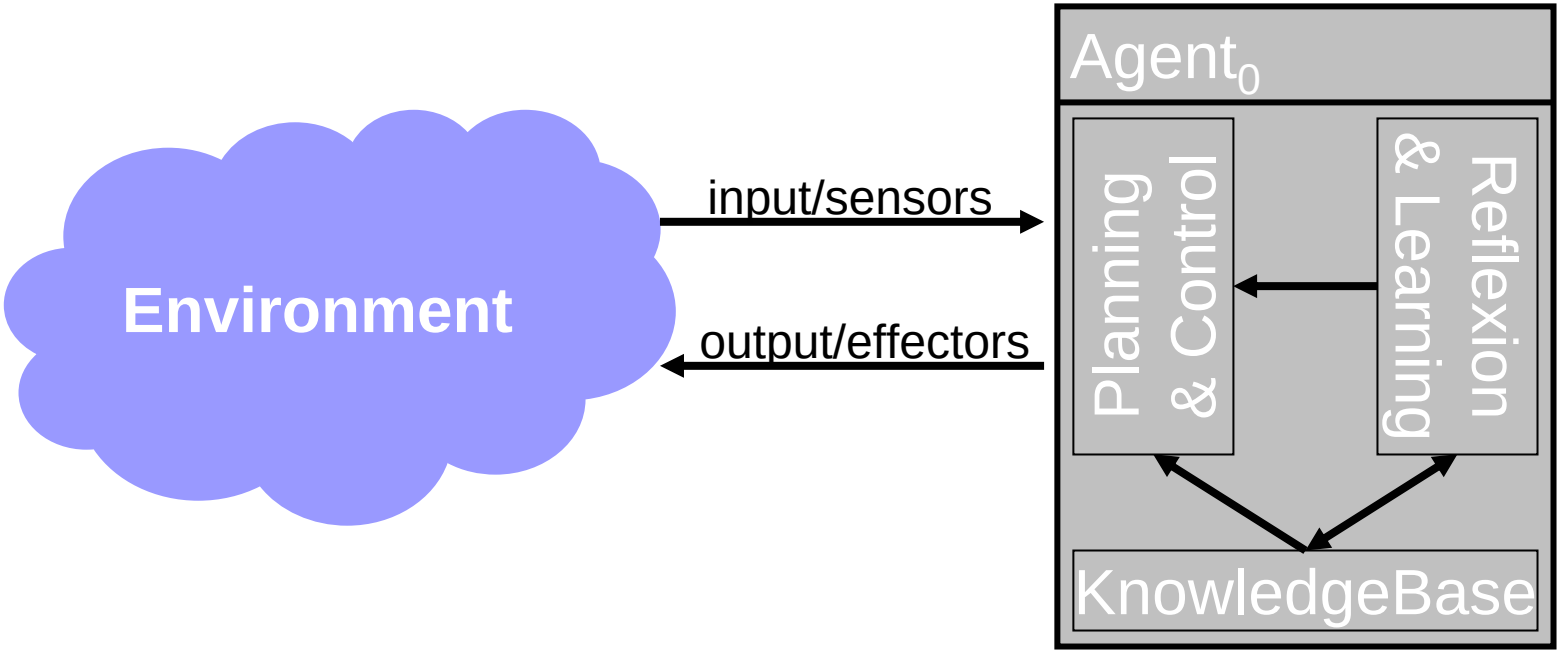


Definition of an Intelligent Agent

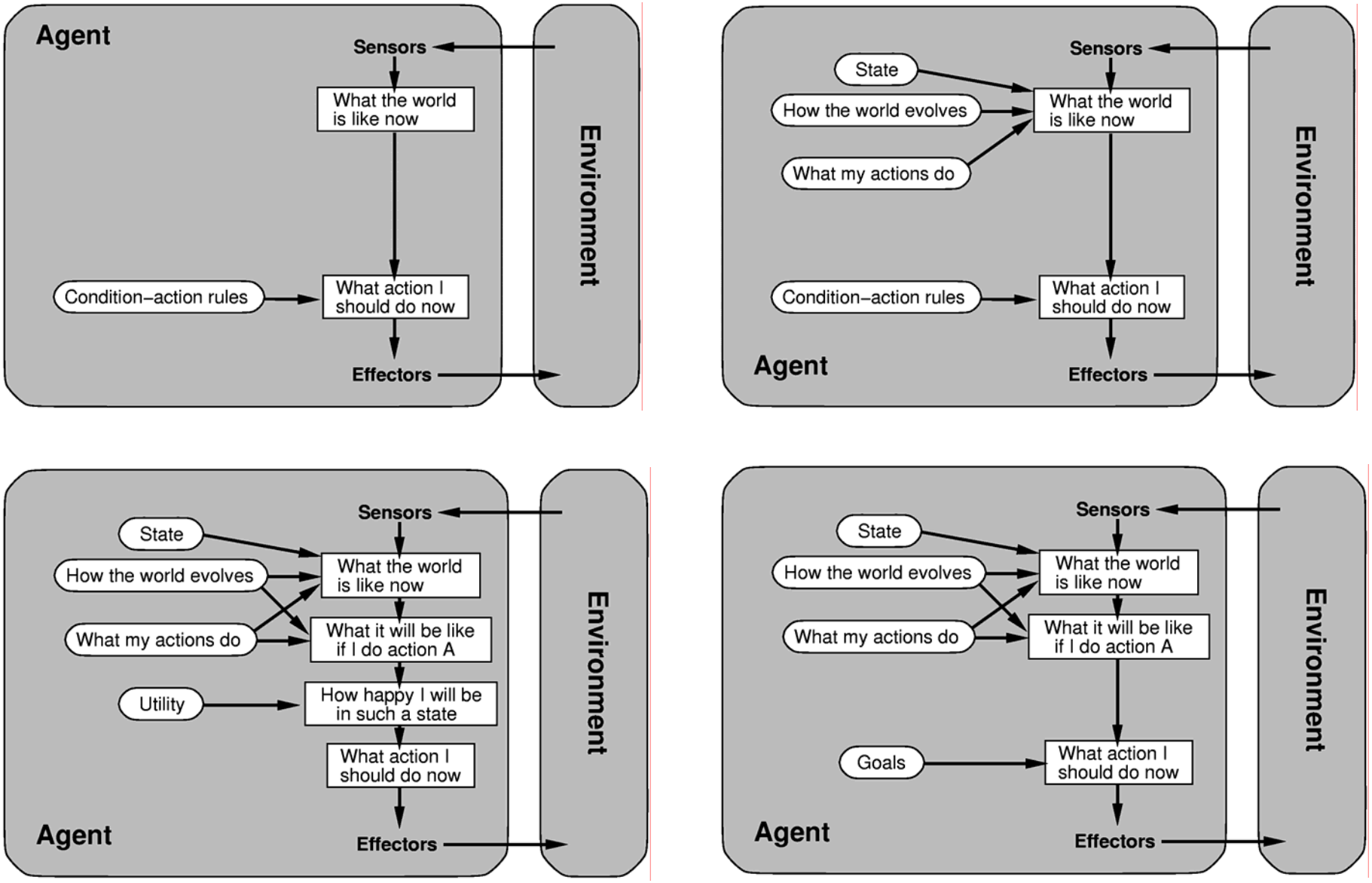


[Tecucci]

Definition of an Intelligent Learning Agent



[Tecucci]



[Russell/Norvig, pp. 41]

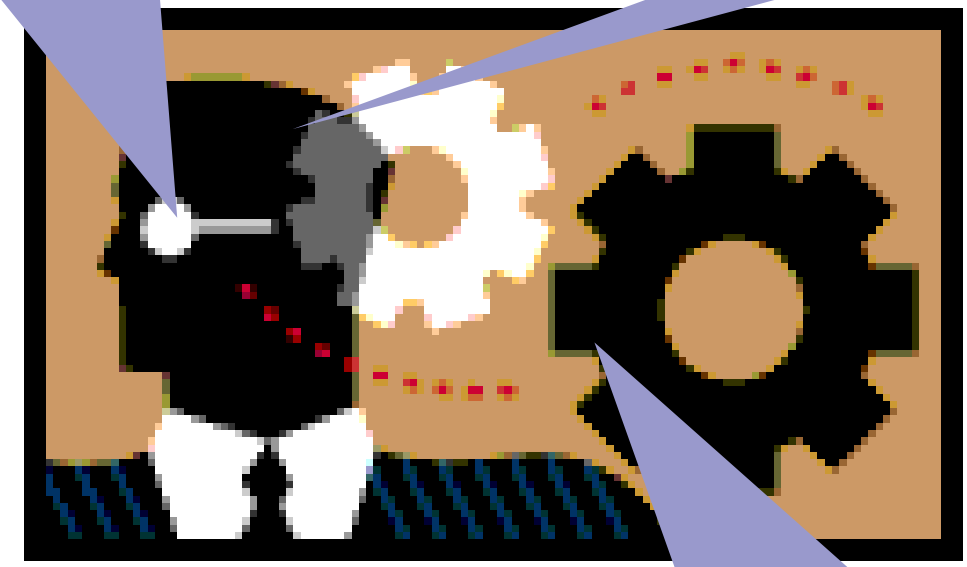
Agenten mit BDI

Beliefs

The plane leaves at 1 a.m.

Desire

Get on the next plane



Intention

Leave office at 11 p.m. Get taxi to airport

Aspekte von BDI-Architekturen

- Die BDI-Architektur integriert drei wichtige Eigenschaften [Woo00, S. 7]:

  1. Sie basiert auf einer bekannten und breit akzeptierten Theorie rationaler Handlungen von Menschen

  2. Sie ist in einer großen Zahl komplexer Anwendungen erfolgreich.

  3. Sie kann auf eine hierfür entwickelte Familie extensiv formalisierter Logiken zurückgreifen.

Kontrollzyklus eines BDI Interpreters

```
while (true) do

  observe the world;
  update internal world model;
  deliberate about what intention to achieve next;
  use means-ends reasoning to get a plan for the
  intention;
  execute the plan;

end while
```

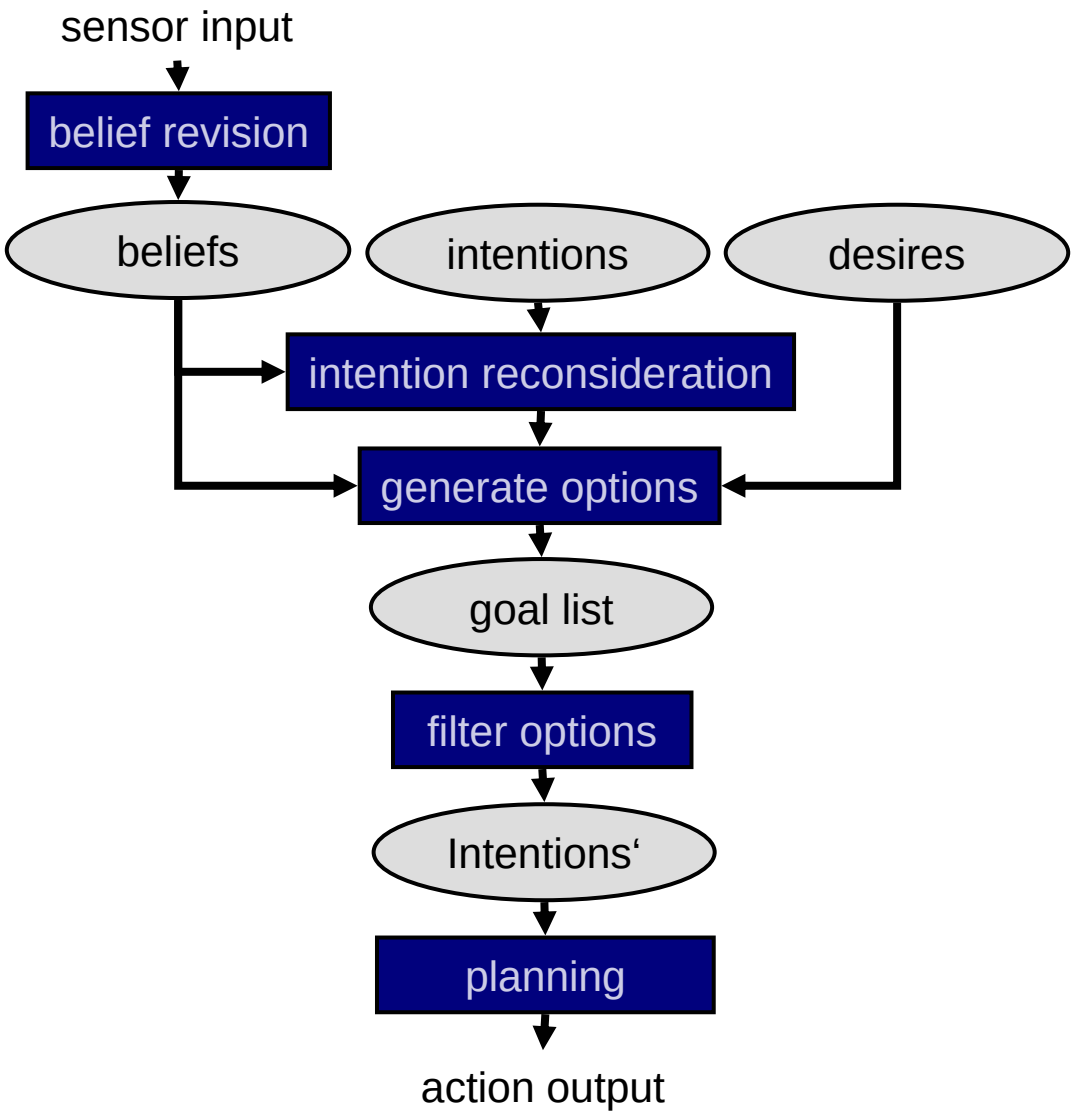
Verfeinerter Kontrollzyklus eines BDI Interpreters

```
1. beliefs := beliefs'
   // beliefs' sind initiale Überzeugungen

2. while (true) do

3.   get next perception p1;
     // p1 ist eine Wahrnehmung
4.   beliefs := belief-revision-function(beliefs, p1);
     // beliefs sind die Überzeugungen des Agenten
5.   intentions := deliberate(beliefs);
     // intentions sind die Absichten des Agenten
6.   plan := planning(beliefs, intentions);
     // plan ist eine Aktionssequenz
7.   execute(plan);

8. end while
```


sensor input
belief revision
beliefs
intentions
desires
intention reconsideration
generate options
goal list
filter options
Intentions‘
planning
action output

Intention Reconsideration

Definition II.43 (Adaption der Absichten)
Eine Abbildung

$$irf : \mathcal{B} \times \wp(\mathcal{D} \times Pln) \rightarrow \wp(\mathcal{D} \times Pln)$$
$$I' = irf(B, I)$$

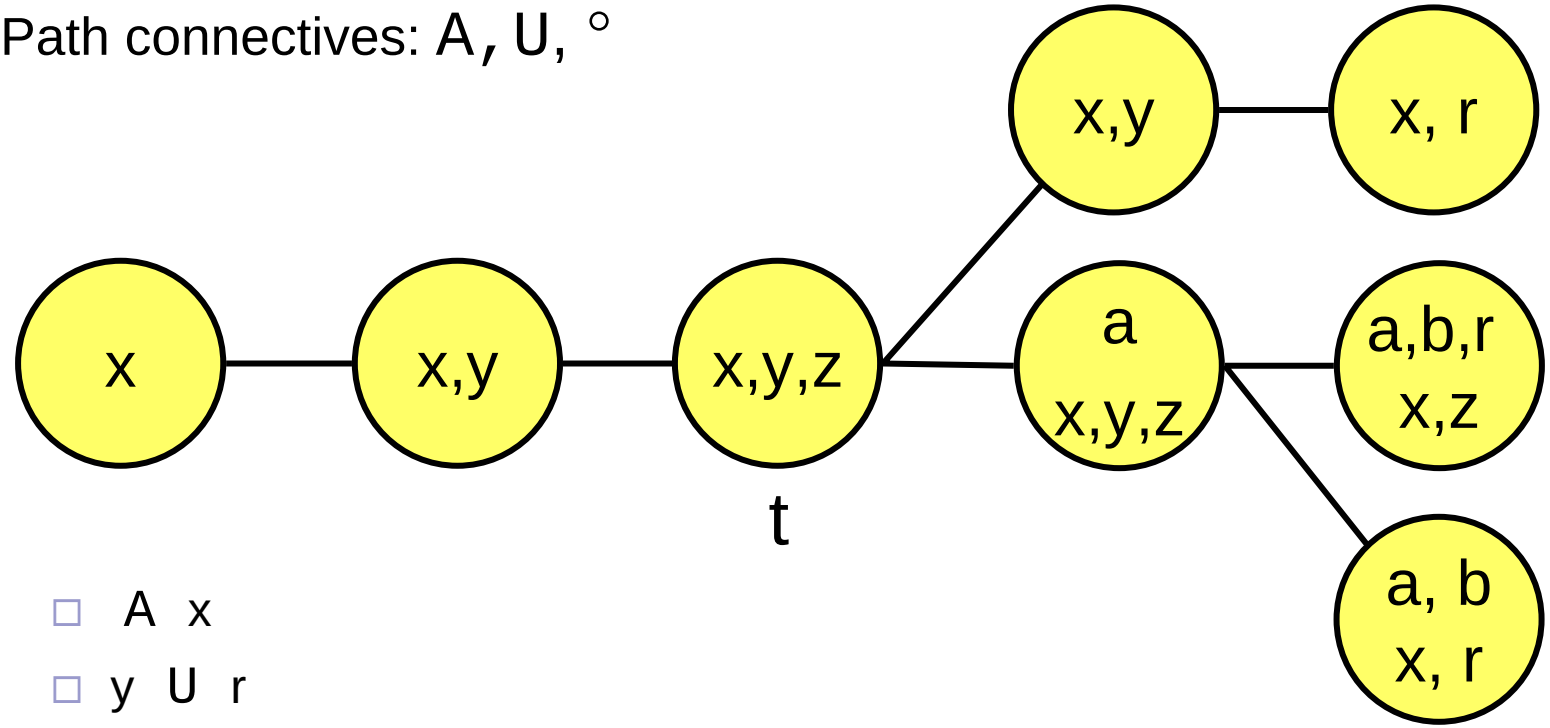
heißt Adaption der Absichten (intention reconsideration function), falls $\forall \langle des_1, plan_1 \rangle \in I' : \exists \langle des_2, plan_2 \rangle \in I$ *mit* $des_1 \leftrightarrow des_2$.

Abhängig vom Grad der Verpflichtung muss eine der folgenden Bedingungen ($\forall \langle des, \langle \varphi_{pre}, \varphi_{post}, Acts, stat, sel \rangle \rangle \in I'$) *erfüllt sein:*

- $B \not\rightarrow des$ *für blinde Verpflichtung* (blind commitment)
- $B \rightarrow \diamond \varphi_{post}$ *für zielstrebige Verpflichtung* (single-minded commitment)
- $B \rightarrow \diamond des$ *für offene Verpflichtung* (open-minded commitment)

Temporal Logics

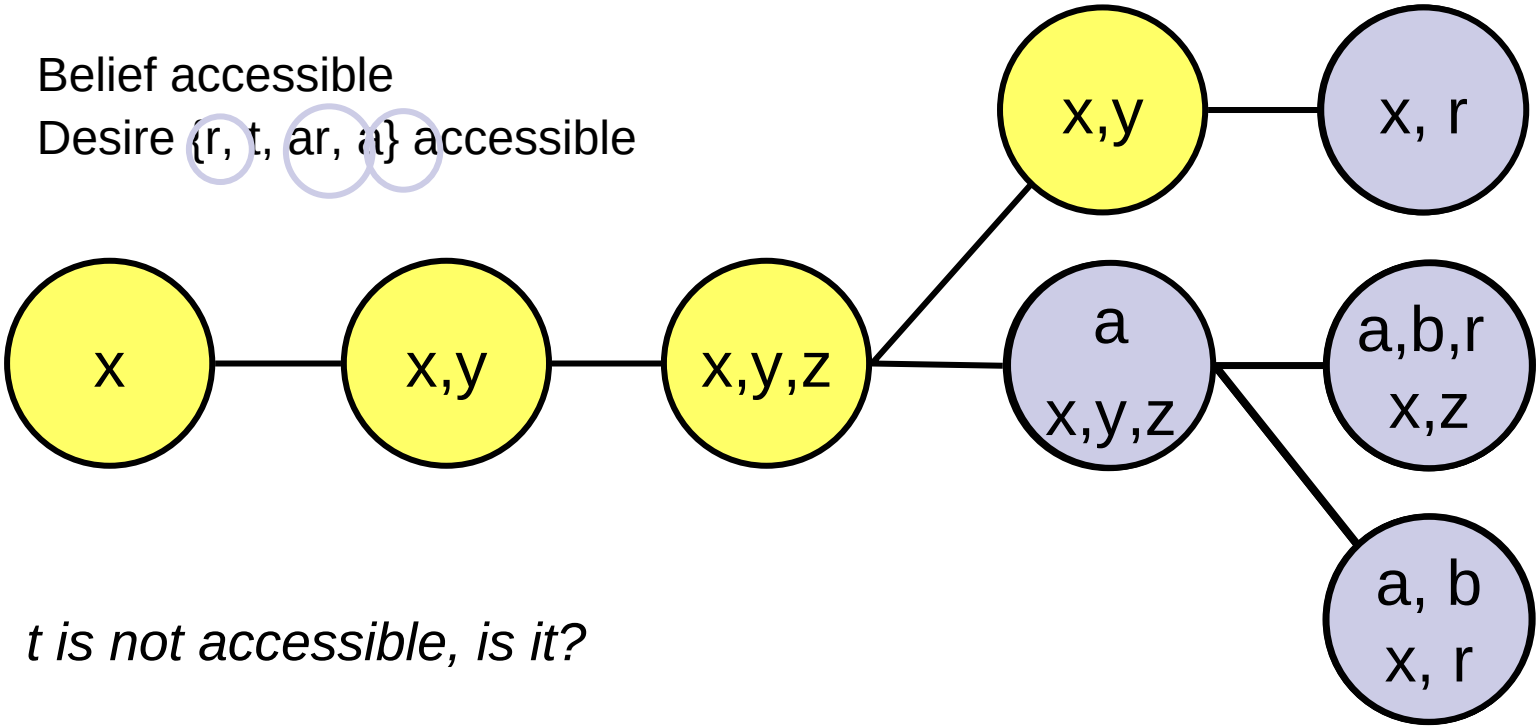
- Path connectives: A, U, °



  - A x
  - y U r
  - ° y

Accessability Relations

- Belief accessible
- Desire {r, t, ar, a} accessible

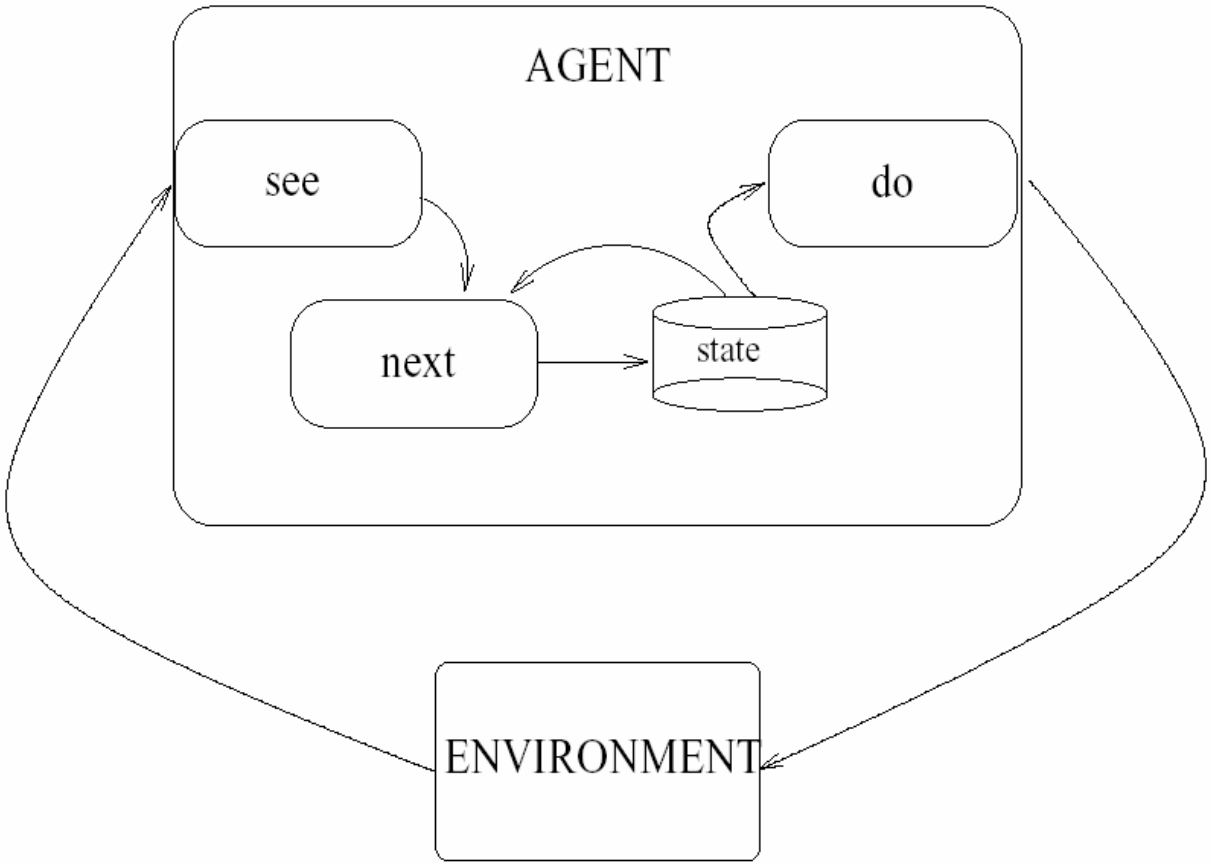


- *t is not accessible, is it?*

Logik der Diskursagenten

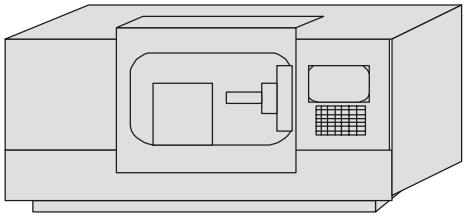
- Agent
- Agentenumgebung
- Multiagentensystem
- Globale, lokale Zustände
- Zustandstransformation

Der integrierte Ansatz von VSK



Agenten

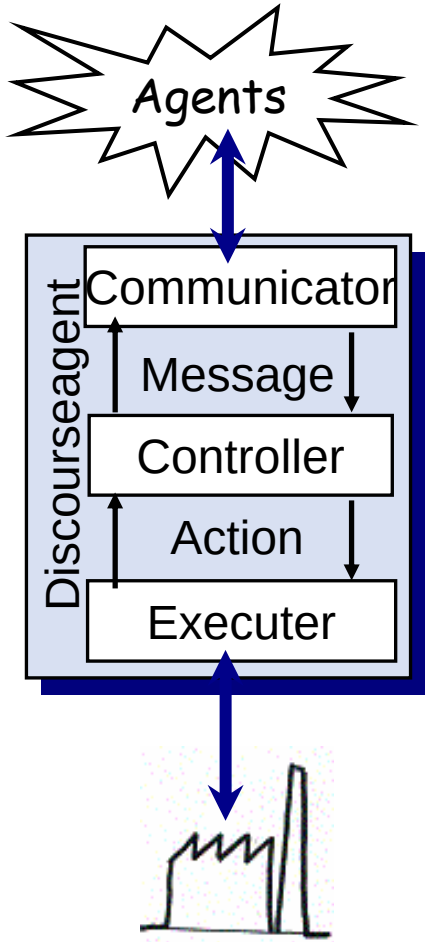
- Mögliche Lokale Zustände
- Aktionen
- Wahrnehmungsfunktion (perception-function)
- Aktions-Selektionsfunktion
- Zustandstransformation
- Initialzustand



$$Ag_i = \langle L_i, Act_i, see_i, do_i, \tau_i, \mathbf{1}_i \rangle$$

Formalisierung der *Diskursagenten*

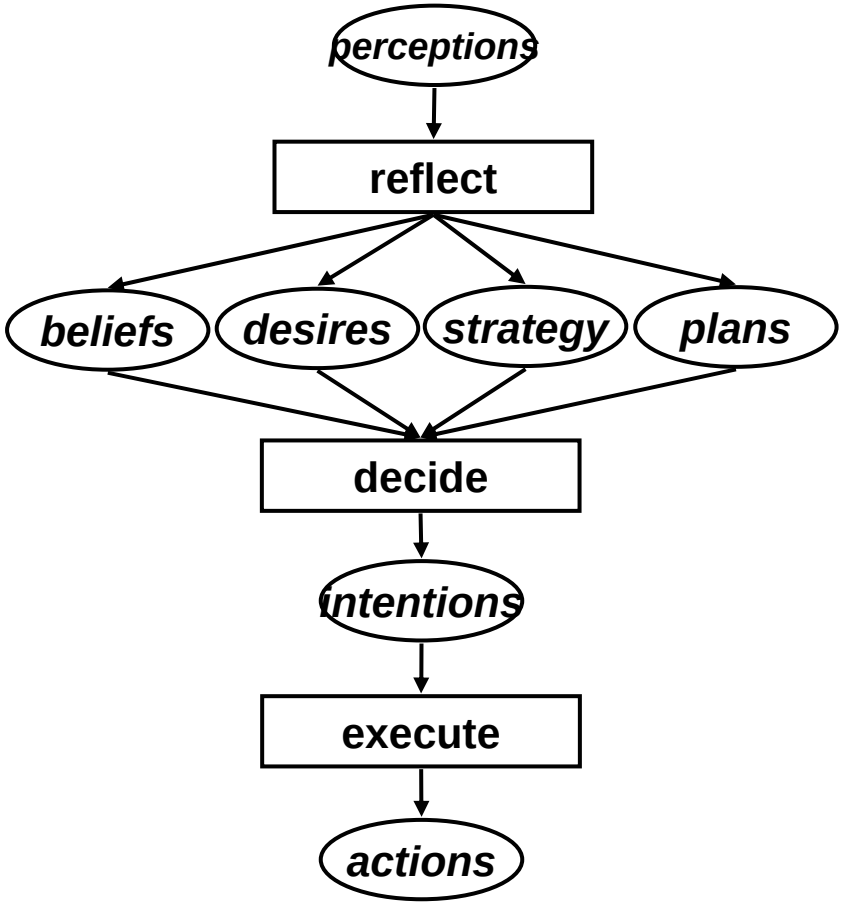
- Communicator
  - Auslösung von Aktionen in der Agentenumgebung
  - Wahrnehmung der Umgebung
- Controller
  - Lokales Wissen ist repräsentiert in mentalen Kategorien
  - Bewertung von Zielen und Optionen
  - Entscheidungsfindung nach Beliefs-Desires-Intention
- Executor
  - Steuerung der Aktionsausführung
  - „Agentifizierung“ externer Programme



$$Ag = \langle L, Act, see, reflect, decide, execute, L_0 \rangle$$

Formalisierung der *Diskursagenten*

- Communicator
  - Auslösung von Aktionen in der Agentenumgebung
  - Wahrnehmung der Umgebung
- Controller
  - Lokales Wissen ist repräsentiert in mentalen Kategorien
  - Bewertung von Zielen und Optionen
  - Entscheidungsfindung nach Beliefs-Desires-Intention
- Executor
  - Steuerung der Aktionsausführung
  - „Agentifizierung“ externer Programme



$$Ag = \langle L, Act, see, reflect, decide, execute, L_0 \rangle$$

Lokaler Zustand eines *Diskursagenten*

$$L = \langle B, D, I, Pln, weight \rangle$$

- B: Menge der Überzeugungen (z.B. *failure*)
- D: Menge der Ziele (z.B. *Prod&Sell*)
- I: Menge der Absichten (z.B. <Prod&Sell,sell>), mit

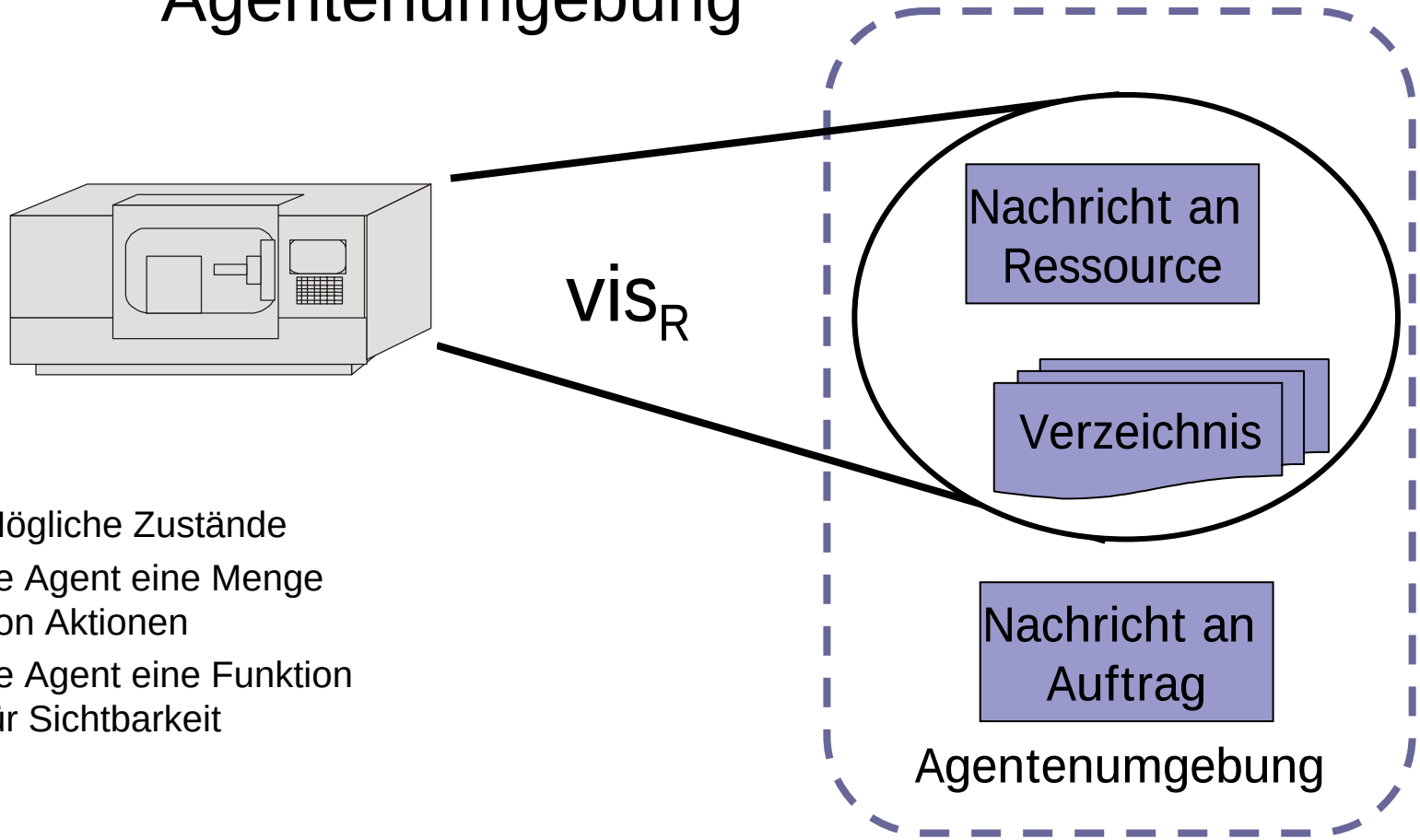
- Pln: Men $\langle desire, plan \rangle \in \mathcal{D} \times Pln$

- weight: Gewichtung, mit

$$plan = \langle \varphi_{pre}, \varphi_{post}, Actions, status, select \rangle$$

$$weight = \langle del, react, rel, \gamma, eval \rangle$$

Agentenumgebung

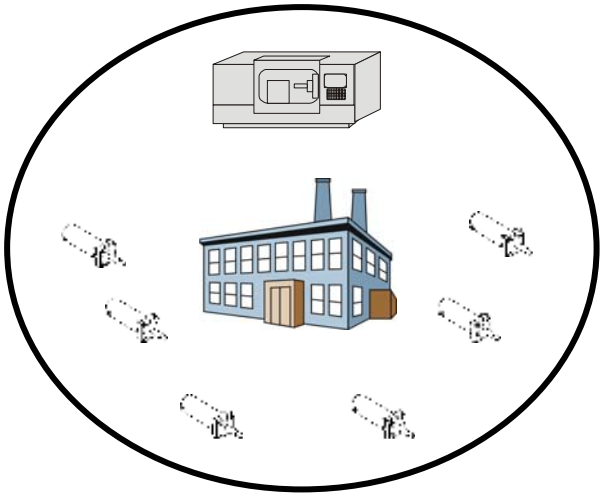


- Mögliche Zustände
- Je Agent eine Menge von Aktionen
- Je Agent eine Funktion für Sichtbarkeit

$$Env = \langle E, Act_1, ..., Act_n, vis_1, ..., vis_n, \tau_e, e_0 \rangle$$

System von Agenten

- Agentenumgebung
  (z.B. Infrastrukturdienste)
- Agenten
- Menge der zulässigen Aussagen



$$MAS = \langle Env, Ag_1, ..., Ag_n, \Phi \rangle$$

Bereich [B]
Verteilte Problemlösung

Interaction of Agents

- General assumptions*
  - Presence of agents capable of acting and/or communicating
  - Situations which can serve as a meeting point for agents
  - Dynamic elements allowing for local and temporary relationships between agents
  - Certain amount of ‘slack’ in relationships between agents, enabling them not only to sustain a relationship but also to detach themselves from it
- Objectives
  - Coordination
  - Optimization
  - Conflict Resolution

Forms of Interaction

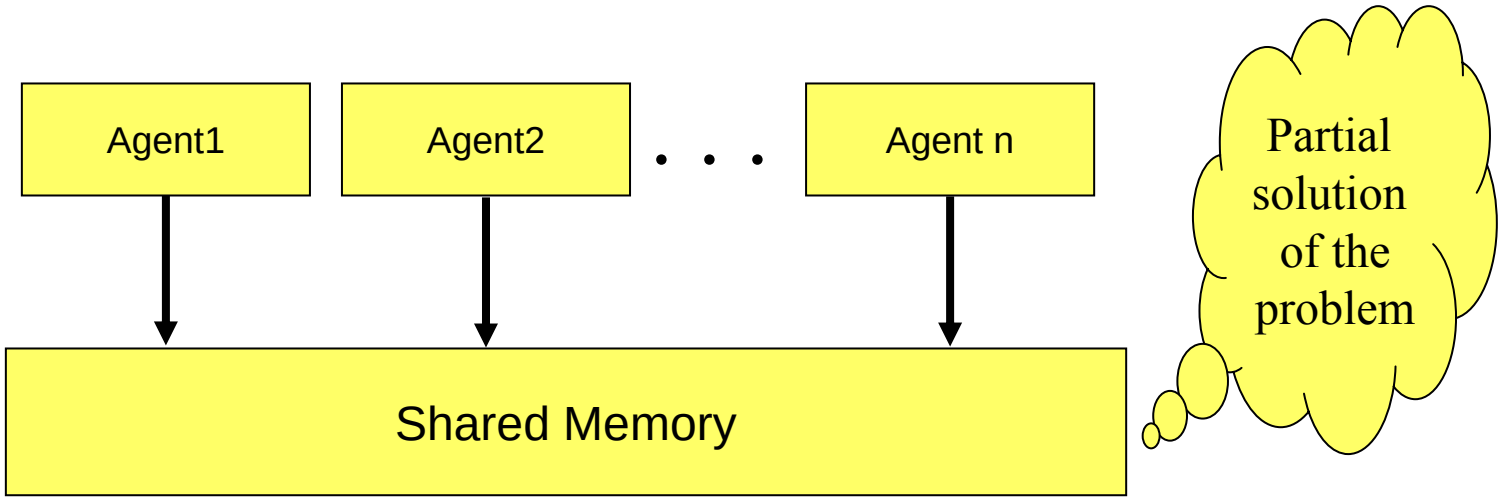
- *Environment Manipulation*
- *Message Exchange*

*[Ferber, 1999]

Shared Memory

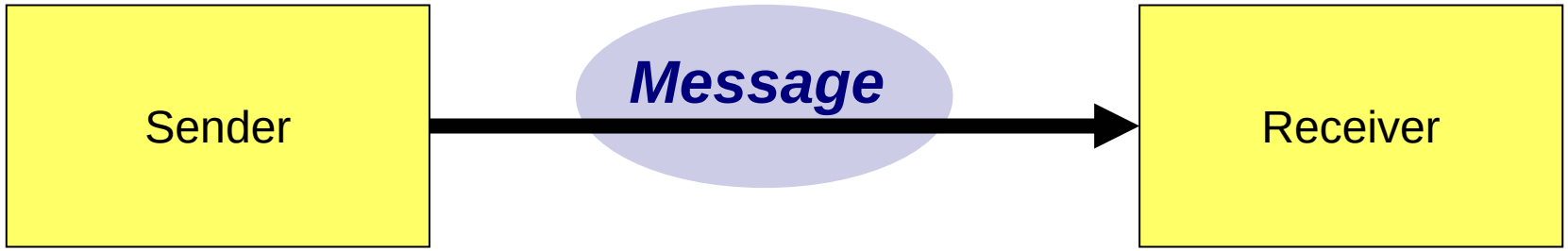
= Blackboard Metaphor [A. Newell, 1962]

Metaphorically we can think of a set of workers, all looking at the same blackboard: each is able to read everything that is on it, and to judge when he has something worthwile to add to it. This conception is just that of Selfridges Pandemoneums' a set of demons, each independently looking at the total situation and shrieking in proportion to what they see that fits their nature.



Message Passing

- Messages are send from the sender to the receiver
- Messages are based on Speech-Act Theory
- Messages are encoded in an agent communication language
- Series of messages produces a dialog – and are often following predefined structured (protocols)



Process of Agent Communication

- Speaker
  - Intention — S wants H to believe φ (S believes φ)
  - Generation — S chooses the words W (they express φ)
  - Synthesis — S utters the words W (addressing them to H)
- Hearer
  - Perception — H perceives W‘ (W‘=W ideally!)
  - Analysis — H infers tht W‘ has possible meanings $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n$
  - Disambiguation — H infers that S intended to convey φ_i (ideally $\varphi_i=\varphi$)
  - Incorporation — H decides to believe φ_i (or reject if inconsistent?!)

[Russel/Norvig, 1994]

Speech-Act Theory

- Communication as a sequence of actions
- *Example: „I sentence you to 6 month imprisonment !”*

- Speech-acts consist of three parts
  - *Locutionary act:* saying something that makes sense in a language
  - *Illocutionary act:* action intended by the speaker (intention)
  - *Perlocutionary act:* effect or 'take-up' of an illocutionary act
- Classification (J.R. Searle)
  1. Representatives
  2. Directives
  3. Commissives
  4. Expressives
  5. Declarations
- *Problem: logical inference*

[Austin, 1955]

Beispiele

- Repräsentativa (Representatives)
  - behaupten, mitteilen, berichten, informieren
  - „Draußen scheint die Sonne.“
- Direktiva (Directives)
  - bitten befehlen, anordnen, verbieten
  - „Die Lösungen zu den Übungsaufgaben sind nächste Woche in unserem Fach abzugeben.“
- Kommissiva (Commissives)
  - versprechen, geloben, garantieren, schwören, vereinbaren
  - „Ich werde mich bemühen, die Folien vor der Vorlesung ins Netz zu stellen.“
- Expressiva (Expressives)
  - danken, Beileid aussprechen, gratulieren, klagen
  - „Danke für Eure Aufmerksamkeit.“
- Deklarationen (Declarations)
  - ernennen, entlassen, abdanken, taufen, verurteilen
  - „Ich gebe Dir für Deine Prüfungsleistung die Note XY.“

FIPA-ACL

- FIPA-ACL
  - Refinement of KQML
  - Separation of internal and external language
  - External language defines intended meaning of message
  - Internal language (content language) determines proposition for counter part

- Semantic Language
  - Formal language for semantics (M.D. Sadek, 1992)
  - First-order multi-modal logic (modalities for belief, desires, intentions, uncertain beliefs and persistent goals)
  - Concepts for propositions, objects, and actions

ACL Message Structure

Element	Category of Elements
performative	Type of communicative acts
sender	Participant in communication
receiver	Participant in communication
reply-to	Participant in communication
content	Content of message
language	Description of content
encoding	Description of content
ontology	Description of content
protocol	Control of conversation
conversation-id	Control of conversation
reply-with	Control of conversation
in-reply-to	Control of conversation
reply-by	Control of conversation

Classification of communicative acts by performatives denoting the initiating agent‘s intention of this action.

Performative: inform

- The sender informs the receiver that a given proposition is true.

Example

```
(inform
        :sender (agent-identifier :name i)
        :receiver (set (agent-identifier :name j))
        :content "weather (today, raining)"
        :language Prolog)
```

Performative: confirm

- The sender informs the receiver that a given proposition is true, where the receiver is known to be uncertain about the proposition.

Example

```
(confirm
        :sender (agent-identifier :name i)
        :receiver (set (agent-identifier :name j))
        :content "weather (today, raining)"
        :language Prolog)
```

Performative: disconfirm

- The sender informs the receiver that a given proposition is true, where the receiver is known to be uncertain about the proposition.

Example

```
(disconfirm
        :sender (agent-identifier :name i)
        :receiver (set (agent-identifier :name j))
        :content ((mammal shark))
        :language FIPA-SL)
```

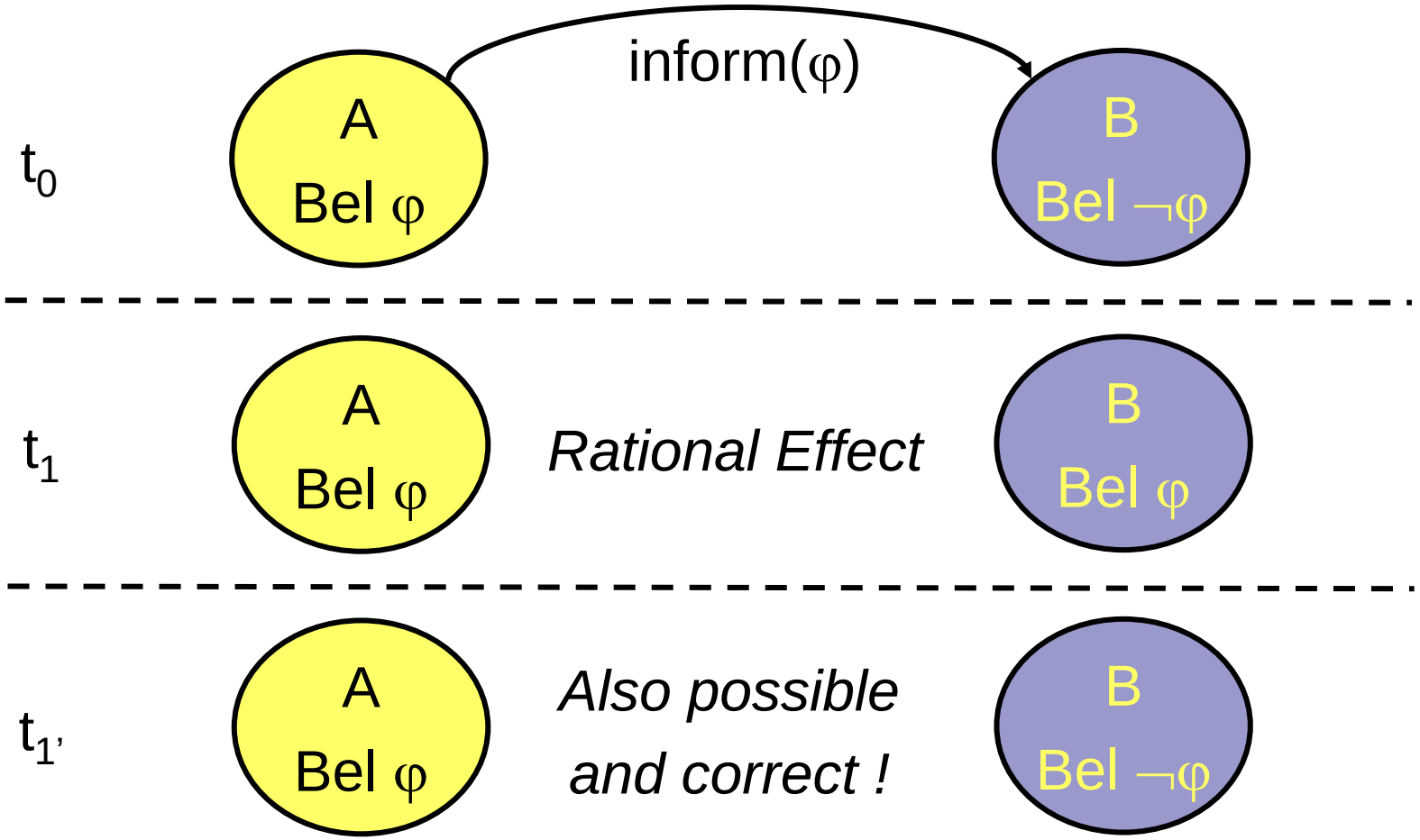
Performative: request

- The sender requests the receiver to perform some action. One important class of uses of the request act is to request the receiver to perform another communicative act.

Example

```
(request
        :sender (agent-identifier :name i)
        :receiver (set (agent-identifier :name j))
        :content “open \”db.txt\” for input”
        :language vb)
```

Remark on Semantics in FIPA



Agent Communication

- Message passing
  - Semantical background: sender & receiver must be able to decode messages with the same semantical conclusions
  - Choice of content language
  - Elementary messages (commonly based on speech-act theory)
  - Context sensitive rules for construction of dialogs
  - Interpretation of messages in communities or groups of agents

- Interaction protocols
  - Series of messages produces a dialog
  - Protocols are predefined structures of communicative acts
  - Examples: autions, contract net

Communication, Coordination and Cooperation

- Distributed problem solving
- Preserving “natural” structure

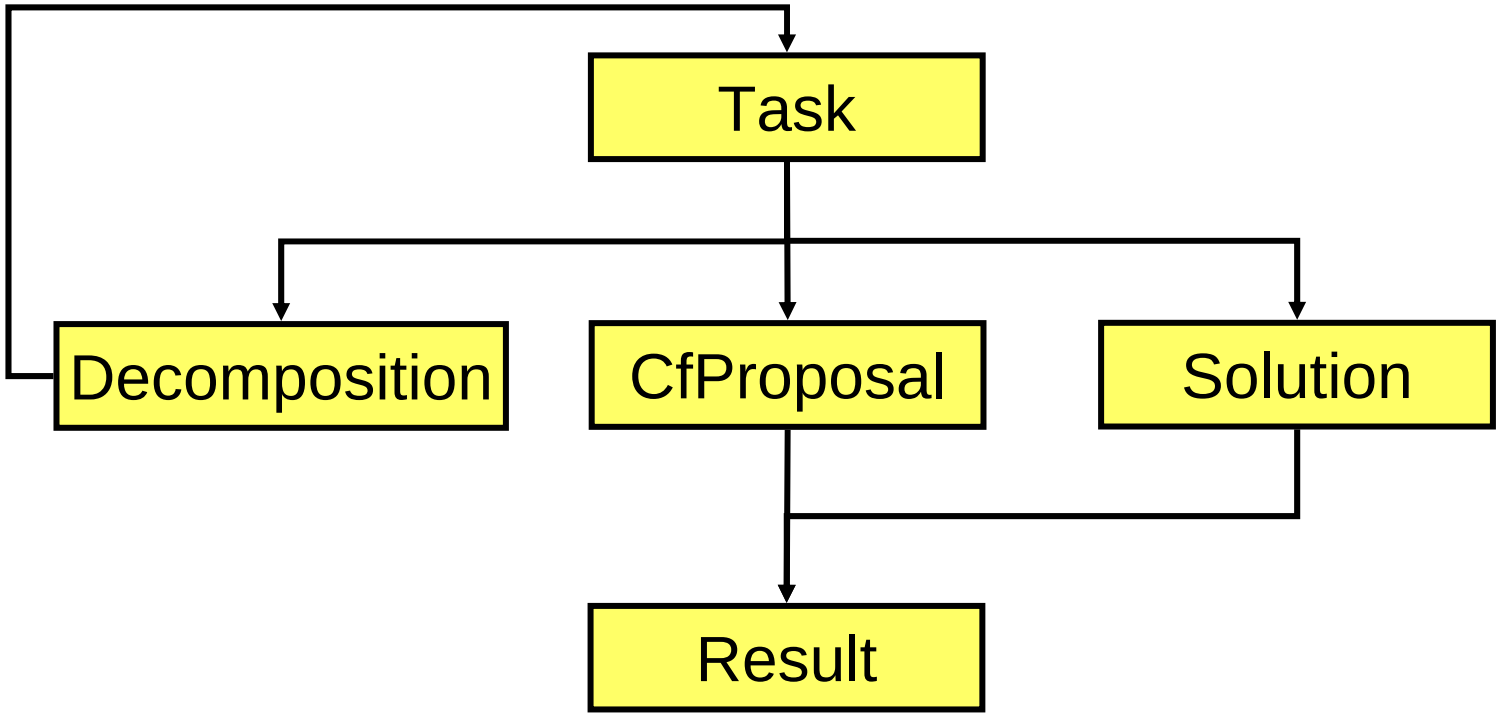
- Coordination
  - Cooperation
    - Planning (Centralized, Distributed)
    - Incidental (Redundancy, “Incomplete
    - Structural
  - Competition
    - Negotiation
    - Conflicting

Levels of Interaction*

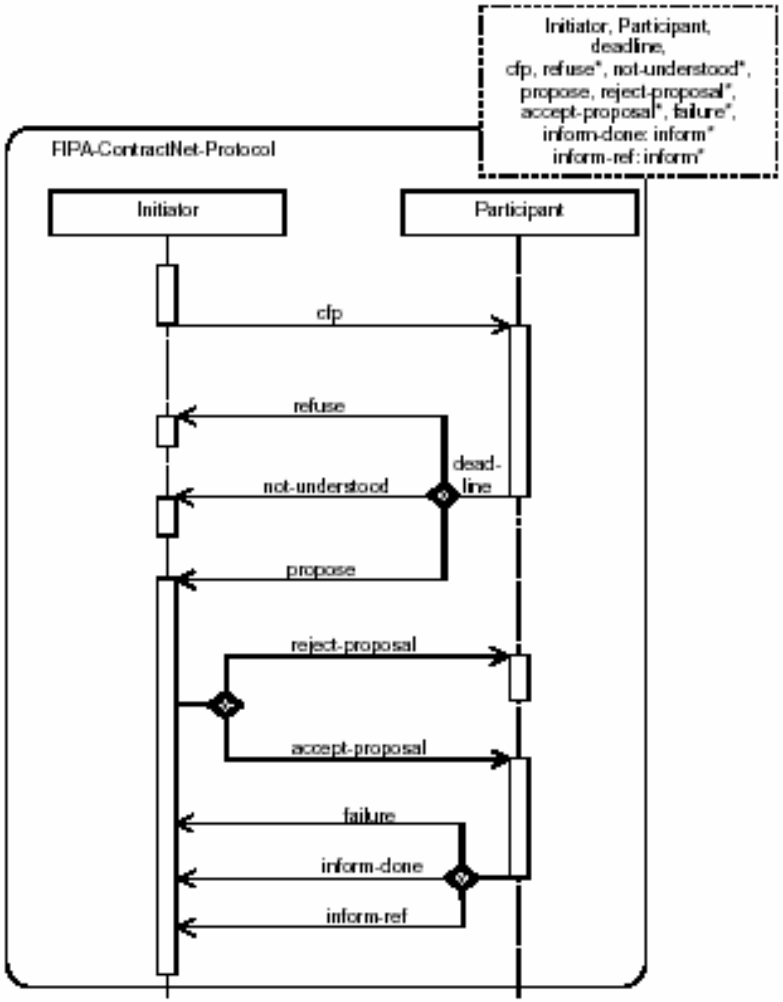
- Independence
- Simple collaboration
- Obstruction
- Coordinated collaboration
- Pure individual competition
- Pure collective competition
- Individual conflict over resources
- Collective conflicts over resources

*[Ferber, 1999]

Task Decomposition by Contract Net



Contract Net Interaction Protocol



Contract Net Protocol

- Contractor: task announcement (broadcast)

- Contractee: task evaluation procedures
- Contractee: task bid (incl. competence description)

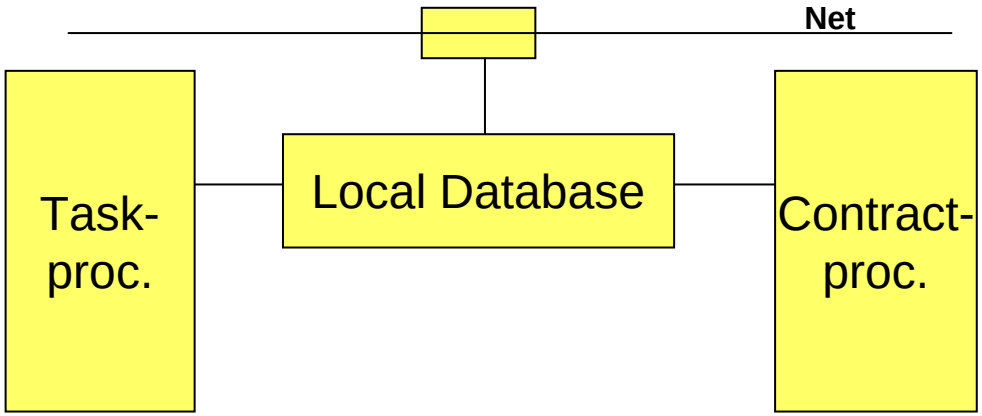
- Contractor: bid evaluation procedure
- Contractor: task award

- Contractee: contract establish

Contract Nets

Design of equilibrium market mechanisms uses one single centralized mediator

- Task Allocation Negotiation
  - Contractor and Contractee Roles
  - Individual Rationality: an agent is better with the contract net than without it.
  - Comparable to hill-climbing (hill=social welfare)



Voting - *social choice*

- All agents give input and accept the output as a solution

- Truthful Voters
  - Conditions (6, summarized)
    - Preference relation which: is defined for all $o \in O$ and every pair of $o,o' \in O$; and is asymmetric and transitive over O.
    - Outcome should be Pareto efficient, scheme should be independent of irrelevant alternatives and no agent should be a *dictator*
  - Arrow's impossibility theorem: no social choice rule satisfies all
  - Plurality protocol: majority, comparing all alternatives simultaneously
  - Binary protocol: pairwise voting (order has influence on outcome!)
  - Borda protocol (alternative to binary): assigning alternative points whenever it is highest in some agent's preference list, summed across voters

Effizienzkriterien in Anlehnung an Sandholm

- Ökonomie
  - Effizienz aller Agenten (Social Welfare)
  - Markteffizienz (Pareto Efficiency)
  - Individuelle Effizienz (Individual Rationalitiy)
- Stabilität
- Berechnungsaufwand
- Verteilung
- Kommunikation

Effizienz aller Agenten (Social Welfare)

- Wohlfahrtsökonomik (Bentham 1748-1832, Mill 1806-1873)
- *Greatest-Happiness-Principle:* „Das größtmögliche Glück für die größtmögliche Anzahl von Menschen“
- Wohlfahrt als aggregierter Output der Produktion

- Pigeou (1920): The Economics of Welfare
  - Wohlfahrt als Summe der inidividuellen Nutzen
  - **Interpersonelle Vergleichbarkeit**
  - Geld als „Nutzeneinheit“

- … für Agenten heißt das, dass „... *Sum of all agents' payoff or utility in a given solution. It measures the global good of agents. ...”*

Markteffizient (Pareto Efficiency)

- Vilfredo Pareto (1848-1923)
- Eine gesellschaftliche Situation ist **pareto-optimal** (-effizient), wenn es nicht möglich ist, die Wohlfahrt eines Individuums durch eine Re-Allokation der Ressourcen zu erhöhen, ohne gleichzeitig die eines anderen Individuums zu verringern.
- *Bei jeder Konkurrenz und vollständigen Märkten ist jedes Marktgleichgewicht ein Pareto Optimum.*
  - Vollständige Konkurrenz, daher spiegelt Produzentenpreis tatsächliche Knappheit des Produktionsfaktors wider
  - Vollständige Märkte, also keine Externalitäten, öffentliche Güter, perfekte Eigentumsordnung, symmetrische Information (über bekannte Wahrscheinlichkeiten) und rationale (souveräne) Konsumenten

Markteffizient (Pareto Efficiency) (cont‘d)

- Auf Agenten übertragen bedeutet das:
- Eine Lösung x ist pareto-effizient, falls es keine Lösung x‘ gibt, in der mindestens ein Agent besser gestellt ist UND KEIN Agent schlechter gestellt ist.
- Bewertung globaler Optimalität
- Keine Bewertung von fragwürdigen Nutzenfunktionen zwischen Agenten
- Wohlfahrtsansätze sind eine Teilmenge der pareto-effizienten
- Nach Maximierung der Erträge kann der Ertrag eines einzelnen Agenten nur noch durch die Reduktion mindestens eines fremden Ertrags erhöht werden

Das Pareto-Kriterium - weitere Formulierungen

- Ein Zustand x ist im Vergleich zu Zustand y **Pareto-superior**, wenn für alle Akteure $W_i(x) \geq W_i(y)$ und für mindestens einen Akteur $W_i(x) > W_i(y)$ gilt.

- Ein Zustand $x \in X$ ist **Pareto-effizient**, wenn es keinen anderen Zustand $z \in X$ gibt, der Pareto-superior zu x ist.

- Als Definition von „Effizienz“ universell anwendbar

[in Anlehnung an Feld]

[Rosenschein & Zlotkin, 1994]

Koordinationsproblem in unterschiedlichen Domänen

- Aufgabenorientierte Domänen
  - Agenten versuchen Aufgaben zu erreichen
  - Alle Ressourcen sind ausreichend vorhanden
  - Aufgabenallokation, dabei wird kooperatives Verhalten vorausgesetzt
- Zustandsorientierte Domänen
  - Jeder Agent versucht die Welt von einem initialen Zustand in einen seiner Zielzustände zu überführen
  - Konflikt: Wettbewerb über Ressourcen, unterschiedliche Zielsetzungen
  - Begrenzte Ressourcen
- Wertorientierte Domänen
  - Zu jedem möglichen Zustand wird von jedem Agenten ein Wert zugewiesen
  - Durch zu Grunde liegende Bewertungsfunktionen wird Entscheidungstheorie / Spieltheorie nutzbar für Interaktion von Agenten
  - Zustände, die keine Zielzustände sind, haben den Wert 0

Individuelle Effizienz (Individual Rationality)

- *Agent's payoff in the negotiated solution is no less than the payoff that the agent would get by not participating in the negotiation*
- Jeder Agent muss davon profitieren, an der Lösung beteiligt zu sein.
- Ein Koordinationsmechnismus ist individually rational, gdw er für alle Agenten individually rational ist.

Stabilität / Robustheit

- Ziel eines Koordinationsmechanismus sollte es sein, stabil gegenüber Manipulation zu sein, d.h. jeder Agent sollte “motiviert” werden, sich in der geplanten Weise zu verhalten

- Lösungsansatz
  - Entwurf von Koordinationsmechanismen, die dominate Strategien beinhalten
  - Nash-Gleichgewicht

$$S_A^* = \left\langle S_1^*, S_2^*, \ldots, S_{|A|}^* \right\rangle \text{ is Nash equilibrium if } \forall i \in A : S_i^* \text{ is agent's best strategy}$$

$$\text{(given that the other agents choose strategies } \left\langle S_1^*, S_2^*, \ldots S_{i-1}^*, S_{i+1}^*, \ldots, S_{|A|}^* \right\rangle$$

  - oder anders formuliert:

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*) \; \forall i, \forall s_i \in S_i$$

Stabilität / Robustheit (cont‘d)

- Zusammengefasst ist das Nash-Gleichgewicht eine Strategiekombination dominanter Strategien, die optimale Lösungen anstreben GEGEBEN die optimale Strategien der anderen Spieler

- Warum ist Nash-Gleichgewicht wichtig für dominante Strategie
  - Jeder Spieler verhält sich rational
  - Endpunkte eines dynamischen Anpassungsprozesses, in dessen Verlauf die Spieler aus enttäuschten Erwartungen lernen

- Probleme mit dem Nash-Gleichgewicht für Interaktionsprotokolle
  - In einigen Spielen / Situationen existiert kein Nash-Gleichgewicht
  - In einigen Spielen existieren mehrere Nash-Gleichgewichte
- Es gibt zahlreiche Erweiterungen (mit ähnlichen Problemen bzgl. Eindeutigkeit und Existenz)

Beispiel: Gefangenendilemma

		Spieler 2	
		nicht gestehen	gestehen
Spieler 1	nicht gestehen	1,1	0,10
	gestehen	10,0	8,8

Berechnungsaufwand

- Mechanismen zur Koordination sollten so wenig Berechnungsaufwand wie möglich erfordern
- Klassische Mechnismen sind entworfen worden, um zu einer Lösung innerhalb der Domäne zu führen, die einigen der o.g. Effizienzkriterien genügt (Social Welfare, Pareto Efficiency, etc.)
- Bei vergleichbarer Qualität sollte so ein Mechanismus verwendet werden, der den geringsten Berechnungsaufwand benötigt
- Neuer Ansatz wäre es, die Kosten für Berechnung direkt in die Entwurfsphase explizit mit einzubeziehen

Verteilung und Kommunikation

- Verteilte Mechanismen sollten bevorzugt werden (Stabilität) (Vermeidung von Performance Bottlenecks)
- Minimierung des Kommunikationsaufwands
- … und nun zurück zu den Protokollen ☺

Bevor wir mit Auktionen beginnen …

- Beispiel: Cash & Carry Contract
  - Kunde will Produkt erwerben
  - Anbieter will Geld vermehren
  - Warenfluß wird nicht betrachtet
  - *Woher kommt der Preis?*

- Interaktion in elektronischen Marktplätzen & Multiagentensystemen

- Koordination von Anbieter und Nachfrager
  (Wahl, Feilschen, Auktion)
- Auktionen und Auktionsprotokolle
- Betrachtung der Optimalität von Auktionsprotokollen

Auktionsprotokolle

- Private value
  - *agent's value is independent form other agents*
  - Verbrauch des erworbenen Gutes
  - Keine externe Bewertung
- Common value
  - *agent's value is only given by other agents' value*
  - Kauf und Verkauf wertstabiler Güter (z.B. Pfandbriefe)
- Correlated value
  - *agent's value depends partly on its own preferences and partly on others' values*
  - Eigener Verbauch des Gutes oder Weiterverkauf
  - Bewertung durch andere und den Agenten selbst

English Auction

- English auction (first-price open-cry)
  - each bidder is free to raise his bid
  - until no bidder is willing to raise
  - highest bidder wins the item at the price of his bid
- Dominant Strategy
  - Bid small amount more than last bid
  - Stop when private value price has reached
- Erweiterung durch *„open exit“*

First-Price Sealed Bid Auction

- First-price sealed-bid auction
  - each bidder submits one bid
  - highest bidder wins the item at the price of his bid
- Dominant Strategy
  - not available
- Strategy
  - Bid less than private value
  - Distance of private value and bid depends on experience / knowledge on other agents strategies

Dutch Auction

- Dutch auction (descending)
  - seller continuously lowers the price
  - until one of the bidders takes the item at the current price
- Dominant Strategy
  - not available
- Strategy
  - (comparable to first-porice sealed-bid)
  - Bid less than private value
  - Distance of private value and bid depends on experience / knowledge on other agents strategies

Vickrey Auction

- Vickrey (second-price sealed-bid)
  - each bidder submits one bin
  - highest bidder wins the item at the price of the second highest bid
- Dominant Strategy
  - not available ?
- Strategy
  - Bid as a function of private value and prior belief‘s of others‘ valuations
- Theorem: A bidder‘s dominant strategy in a private value Vickrey auction is to bid his true valuation

[Wooldridge 2002, S. 188]

Working Together – Zwei Gedanken von Wooldridge

- Agents in a multiagent system may have been designed and implemented by different individuals, with different goals. They therefore may not share common goals, and so the encounters between agents in a multiagent system more closely resemble *games*, where agents must act strategically in order to achieve the outcome they most prefer.

- Because agents are assumed to be acting autonomously (and so making decisions about what to do at *run time*, rather than having all decisions hardwired in at design time), they must be capable of *dynamically* coordinating their activities and cooperating with others. In traditional distributed and concurrent systems, coordination and cooperation are typically hardwired in at design time.

Was bedeutet Planen in der VKI?

- Was ist das besondere an der VKI?
  - Skalierbarkeit
  - Verteilung von Expertise
  - Adäquatere Abbildung der Realität

- Welche Konsequenzen ergeben sich darauf für die Planung in Multiagentensystemen?
  - Load-Balancing (bzgl. Skalierbarkeit)
  - Planen von Aktionen und Aktionssequenzen, die in Gruppen durchgeführt werden müssen (bzgl. verteilter Expertise)
  - Verteilte Auslösung gemeinsamer Ziele und Entwicklung von Plänen (Abbildung der Realität)

[Durfee et al. 1989, S. 63]

Kooperatives Problemlösen

Cooperative Distributed Problem Solving (CDPS) studies how a loosely-coupled network of problem solvers can work together to solve problems that are beyond their individual capabilities. Each problem-solving node in the network is capable of sophisticated problem-solving and can work independently, but the problems faced by the nodes cannot be completed without cooperation. Cooperation is necessary because no single node has sufficient expertise, resources, and information to solve a problem, and different nodes might have expertise for solving different parts of the problem.

Historische Entwicklung von CDPS

- Früher ist man davon ausgegangen (cooperative problem solving), dass
  - die Agenten benevolent sind,
  - die Agenten implizit ein gemeinsames Ziel teilen und
  - kein Konfliktpotential zwischen den Agenten besteht.
- Daher wurden Systeme entwickelt, in denen
  - Agenten nach Möglichkeit immer kooperiert haben,
  - auch wenn sie dabei „Schaden“ nehmen (vgl. Individual Rationality)

- Heute geht man vermehrt davon aus (distributed problem solving), dass
  - Multiagentensysteme eine Gesellschaft von „Self-Interested“ Agenten sind,
  - nicht angenommen werden kann, dass diese gemeinsame Ziele teilen und
  - eine Kooperation bzw. Koordination ausgehandelt werden muss.

Die Sichtweise vom Problem aus: CDPS

- Vorgehen
  - Problem Decomposition
  - Subproblem solution
  - Answer synthesis
- Hieraus resultierende Fragen:
  - Wie kann ein Problem in kleinere Aufgaben zerlegt werden, die verteilt werden können?
  - Wie kann eine Problemlösung effektiv von Teilaufgabenlösungen synthetisiert werden?
  - Wie können die übergreifenden Problemlösungsaktivitäten der Agenten so optimiert werden, dass die Lösung das maximal effiziente Zusammenspiel der Agenten widerspiegelt?
  - Welche Techniken können genutzt werden, um die Aktivitäten der Agenten zu koordinieren, so dass keine destruktiven und ggf. nutzlosen Interaktionen entstehen sowie die Effizienz maximiert wird?

Die Sichtweise von den Agenten aus

- Model for Cooperation [Wooldridge 2000]
  - Recognition
    Ein Agent erkennt, dass es die Notwendigkeit oder die Möglichkeit zur Kooperation gibt – Repräsentationsproblem!
  - Team formation
    Im System werden die möglichen Akteure identifiziert und es werden Vereinbarungen zur Lösung getroffen – Koordinationsproblem!
  - Plan formation
    Verhandlung über einen „joint plan“ – Planungsproblem!
  - Team action
    Koordinierte Durchführung des Plans – Koordinationsproblem!

Zusammenfassung: Model of Cooperation [Wooldridge 2000]

- Klar strukturiertes und formales Modell
- Viele implizite Annahmen (z.B. Wissen über Fähigkeiten anderer Agenten)
- Wenig Berücksichtigung von Dynamik

- KEINE Planung enthalten !

[Durfee, 1999]

Distributed Planning

- Centralized Planning for Distributed Plans
  - Centralized coordinator agent generates partial ordered plan
  - Decomposition of POP into subplans
  - Insertion of synchronisation actions into the subplans
  - Allocation of subplans to agents
    - Failure: return to previous step
    - Success: insertion of remaining bindings into subplans (like e.g. binding names of agents)
  - Initiation of plan allocation and monitoring process
- Distributed Planning for Centralized Plans
  - Decomposition and distribution of problem among various planning specialists
  - Each agent generates a partial plan in parallel
  - Sharing and merging of plans to a complete plan in negotiated search mode

Distributed Planning (2)

- Distributed Planning for Distributed Plans
  - Plan Merging
  - Iterative Plan Formation
  - Negotiation in Distributed Planning

- Distributed Plan Representations
  - Speech-act based without specification of content
  - Content Languages for distributed planning (e.g. „STRIPS operator format“)
  - Common assumption: All planning agents use identical representations and identical interpretation
  - More general approach: **ACT** in the Cypress System

Distributed Planning (3)

- Distributed Planning and Execution
  - Post-Planning Coordination
  - Pre-Planning Coordination
  - Interleaved Planning, Coordination, and Execution
  - Runtime Plan Coordination Without Communication

[Durfee, 1996]

Partial Global Planning: The Details

- Task Decomposition
- Local Plan Formulation
- Local Plan Abstraction
- Communication
- Partial Global Goal Identification
- Partial Global Plan Construction and Modification
- Communication Planning
- Acting on Partial Global Plans
- Ongoing Modification
- Task Reallocation

[Durfee, 1996]

Partial Global Planning: The Details

- Task Decomposition
  - Vorbedingung: Aufgaben sind inhärent dekomponiert
  - Agenten sind sich über die Zusammenhänge der Aufgaben unklar
  - Es gibt keinen zentralen Problemlösungsagenten
- Local Plan Formulation
  - Verständnis entwickeln, welche Ziele der Agent versucht zu erreichen und welche Aktionen dafür womöglich gut sind
  - Pure reaktive Agenten können somit nicht an nutzbringend an PGP partizipieren
  - dadurch dass viele Ziele gleichzeitig verfolgt werden oder Aktionsalternativen bestehen, sind lokale Pläne oft unsicher und beziehen alternative Zweige mit ein

[Durfee, 1996]

Partial Global Planning: The Details

- Local Plan Abstraction
  - Die Aktionsseuqenz ist für einen Agenten wichtig, jedoch sind die Details für die Fähigkeit sich mit anderen zu koordinieren nicht so entscheidend
  - Zu-/Abstimmung kann auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus erfolgen
  - Agenten werden so entworfen, dass sie ihre „major plan steps“ identifizieren können
- Communication
  - Kommunikation über abstrakte lokale Pläne
  - Generieren von gemeinsamen Aktivitäten (joint activities)
  - Meta-Level Organization !
- Partial Global Goal Identification*
  - Identifikation von Sub-/Super-Zielen
  - Schließen auf Ausschnitte des Gesamtziels
  - Wird genutzt um Ergebnisse zu synthetisieren

[Durfee, 1996]

Partial Global Planning: The Details

- Partial Global Plan Construction and Modification
  - Lokale Pläne zu einem Partial Global Goal werden in einem PGP zusammengefasst, welcher die nebenläufigen Aktivitäten der Individuen plant.
  - Optimierte Kloordination
- Communication Planning*
  - Jeder Agent muss planen, welche Interaktionen mit anderen Agenten stattfinden sollen
  - Kommunikation von Ergebnisses werden ebenso geplant

[Durfee, 1996]

Partial Global Planning: The Details

- Acting on Partial Global Plans
  - Nach der Konstruktion von einem PGP und nach der Ordnung der nebenläufigen lokalen Aktivitäten, werden die kollektiven Aktionen geplant
  - Lokale Aktionen werden so ausgeführt, dass ausgehend vom abstrakten lokalen Plan geändert wird und anschließend eine Aktion ausgewählt wird.
- Ongoing Modification
  - Änderungen in der Umgebung können zu Veränderungen in Plänen führen
  - Kleine Änderungen, die nicht die Koordination ändern werden lokal durchgeführt.
  - Herausforderung besteht darin, zu entscheiden, wann eine solche Änderung propagiert werden muss
- Task Reallocation
  - Load-Balancing Mechanismus innerhalb des Planers durch die explizite Verarbeitung von „activity models“

Bereich [C]
Organisation und Gesellschaft

Emergenz in Multiagentensystemen

- „**Emergent Properties**“: Axelrod (1997) definiert Emergenz als das erscheinen von Eigenschaften, die als globaler Effekt von lokal interagierenden Agenten auftritt:

  “*Emergent properties are often surprising because it can be hard to anticipate the full consequences of even simple forms of interaction*”.

Emergenz in Multiagentensystemen

- „**Emergent Organization**“: Ferber (1999) beschreibt die Emergenz aus einem anderen Blickwinkel, der eher auf die Struktur der Interaktion von lokal interagierenden Einheiten eingeht. Das besondere hierbei ist, dass Systeme von Agenten nicht ausschließlich als Gruppe betrachtet werden. Vielmehr koordiniert sich das System von Agenten durch lokale Interaktion und realisiert dabei eine dynamische Organisation, die Ferber mit „Emergent Organization“ bezeichnet: Jacques Ferber’s view is more centralized (than Axelrods) on *emergent organization*:

  “*Even societies considered as being complex such as colonies of bees or ants, should not necessarily be considered as individuals in their own right if we wish to understand their organization and the regulation and evolution phenomena prevailing there. In terms of multi-agent systems, this means that an organization can emerge from the juxtaposition of individual actions, without its being necessary to define a specific objective (an element from the assembly O) which represent such an outcome”*

Emergenz in Multiagentensystemen

- „**Emerging Intelligence**": Wooldridge & Jennings (1995) definieren besonders in ihren frühen Arbeiten verschiedene Arten von Agentensystemen. Dabei verwenden sie die schwache Definition von Agenten (*weak notion of agency*) für die Minimalanforderungen, die ein Softwaresystem erfüllen muss, damit dieses als Agent definiert werden kann. Die starke Definition (*strong notion of agency*) verwendet er für die Abgrenzung von Agenten und Intelligenten Agenten. Hierbei werden viele Eigenschaften als optional angegeben. In diesem Rahmen spricht Wooldridge (1999) aber auch von Idee, dass intelligentes Verhalten durch die Interaktion von einfachen Verhalten realisiert werden kann:

  "*the idea that intelligent behavior emerges from the interaction of various simpler behaviors*"

Das Organisationsproblem I nach Hill et al. 1994

von der Perspektive der Organisationslehre

- Unter Organisation wird die Gesamtheit der auf die Erreichung von Zwecken und Zielen gerichteten Maßnahmen verstanden werden, durch die
  - ein soziales System arbeitsteilig strukturiert wird und
  - die Aktivitäten der zum System gehörenden Menschen, der Einsatz von Mitteln und die Verarbeitung von Informationen geordnet werden.
  - Der Begriff der Organisation wird hier also instrumental verstanden, d.h. als Mittel zur Erreichung der Ziele sozialer Systeme.
- Das Organisationsproblem
  - Worin liegt das Gemeinsame aller sozialen Systeme, d.h. welches ist der Objektbereich der Organisationslehre?
  - Welche Rolle spielt die (instrumental verstandene) Organisation in diesen sozialen Systemen, d.h. welches ist die spezifische Problemstellung, mit der die Organisationslehre an ihrem Objektbereich herangeht?

Implikationen dieser Ansätze nach Hill et al. 1994

- Organisationslehre nicht auf Unternehmungen beschränkt
- Sämtliche wesentliche Determinanten tatsächlich organisatorischer Entscheidungssituationen sind zu berücksichtigen
- Organisationslehre ist entscheidungs- und handlungsorientiert
- Organisationstheoretische Richtungen, die keinen Bezug auf reale Organisationsprobleme aufwesen, treten in den Hintergrund

Das Organisationsproblem nach Hill et al. 1994

- Nach welchen Kriterien muss organisiert werden (Ziele des Organisierens)?
- Welche Mittel können eingesetzt werden, d.h. welche Variablen stehen zur Verfügung (organisatorische Instrumentalvariablen)?
- Unter welchen im Rahmen des Organisierens nicht beeinflussbaren Bedingungen muss organisiert werden („Constraints“ der Organisation)?

Ein kleiner Ausflug in die Organisationstheorie

- Organisationstheorie als Grundlage für die Beschreibung von der Realität (Kieser & Kubicek)

- Eigenschaften von Organisationen:
  - Ziel
  - dauerhaft
  - Mitglieder
  - formale Struktur
  - Aktivitäten der Mitglieder

Organization

- Arrangement of relationships between components or individuals
- Organizational links create a new component of a whole
- Relatively high degree of interdependence and reliability

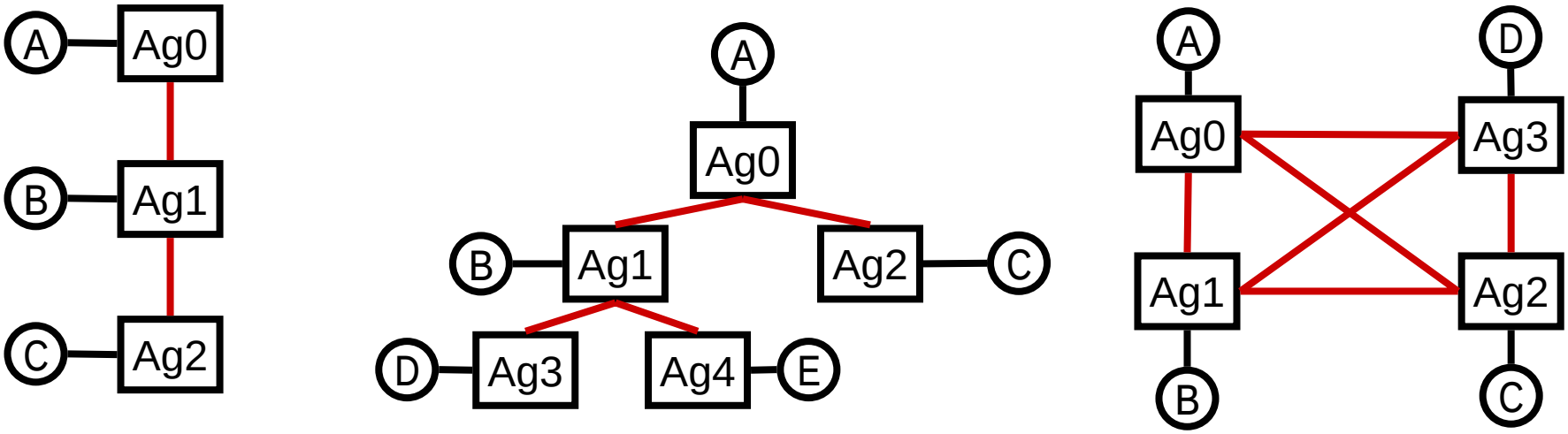
- Levels of Organization
  - Elementary component
  - General multiagent system
  - Individual organization
  - Collective organization

- Determination of “social rules” for agent interaction

Function of Organization

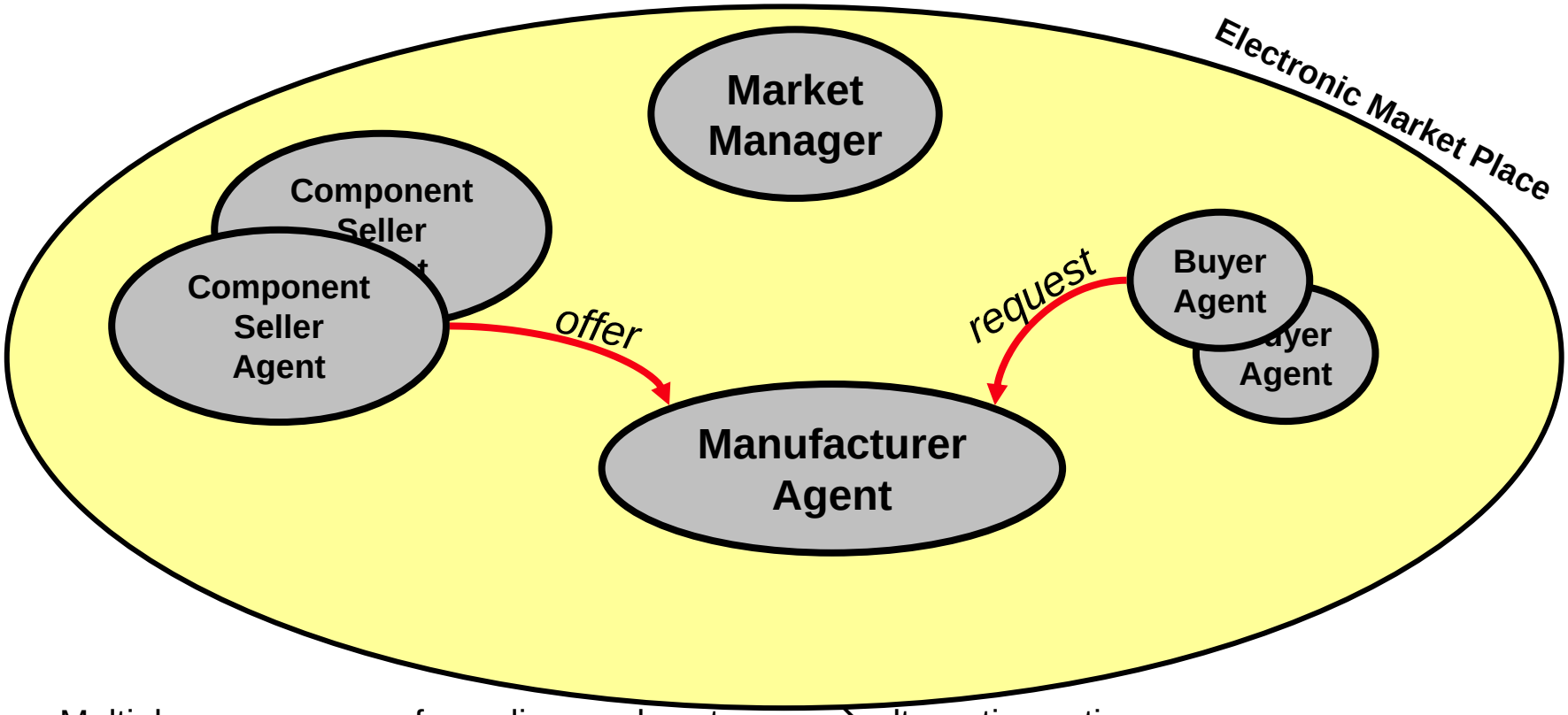
- Representational function (archivist)
- Organizational function (management)
- Conative function
  - Motivational function (formation of goals)
  - Constraints (limits and organization's possible range)
  - Decision function (evaluation and selection of goals)
- Interaction function (observer, communicator)
- Productive function (primitive activities)
- Preservative function (acquisition, maintenance of resources etc.)

Structural Cooperation: Organization



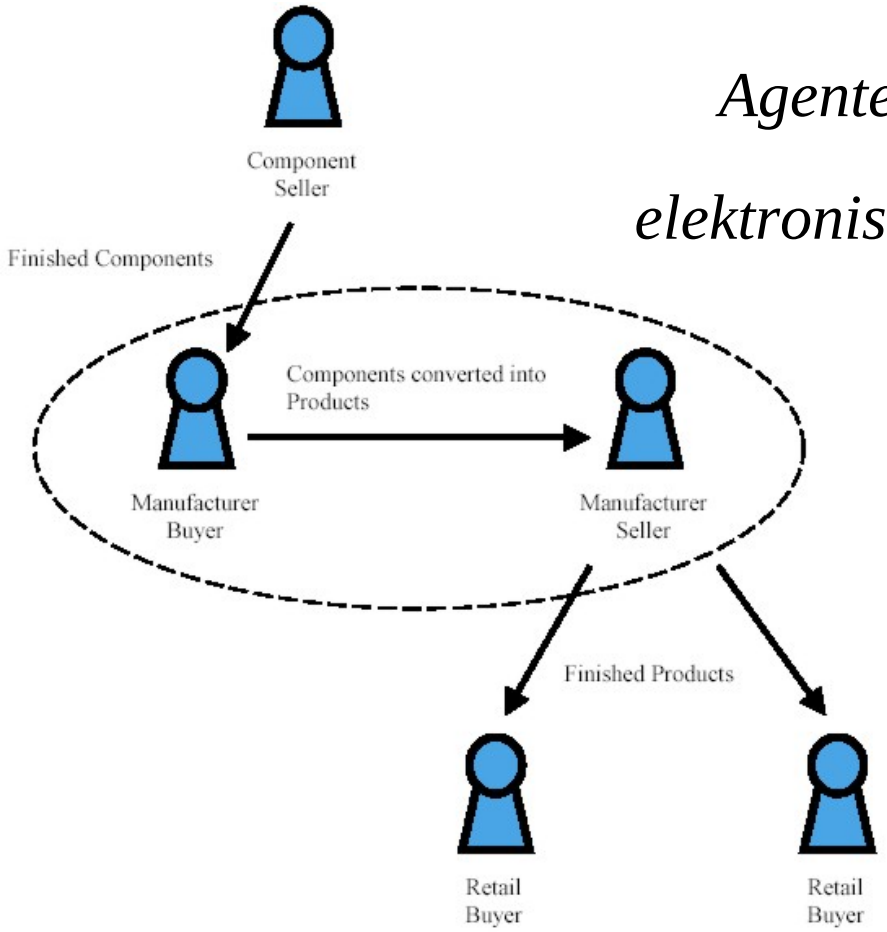
- Relations of communication:
  - hierarchical
  - bilateral, multilateral
  - complete
  - ... ...

Competitive Coordination: Market Approach



- Multiple occurrences of suppliers and customers → alternative actions
- Transaction Cost
- Natural modeling of markets (virtual markets)
- Spot market (no local preferences)

Ausprägungen Elektronischer Marktplätze



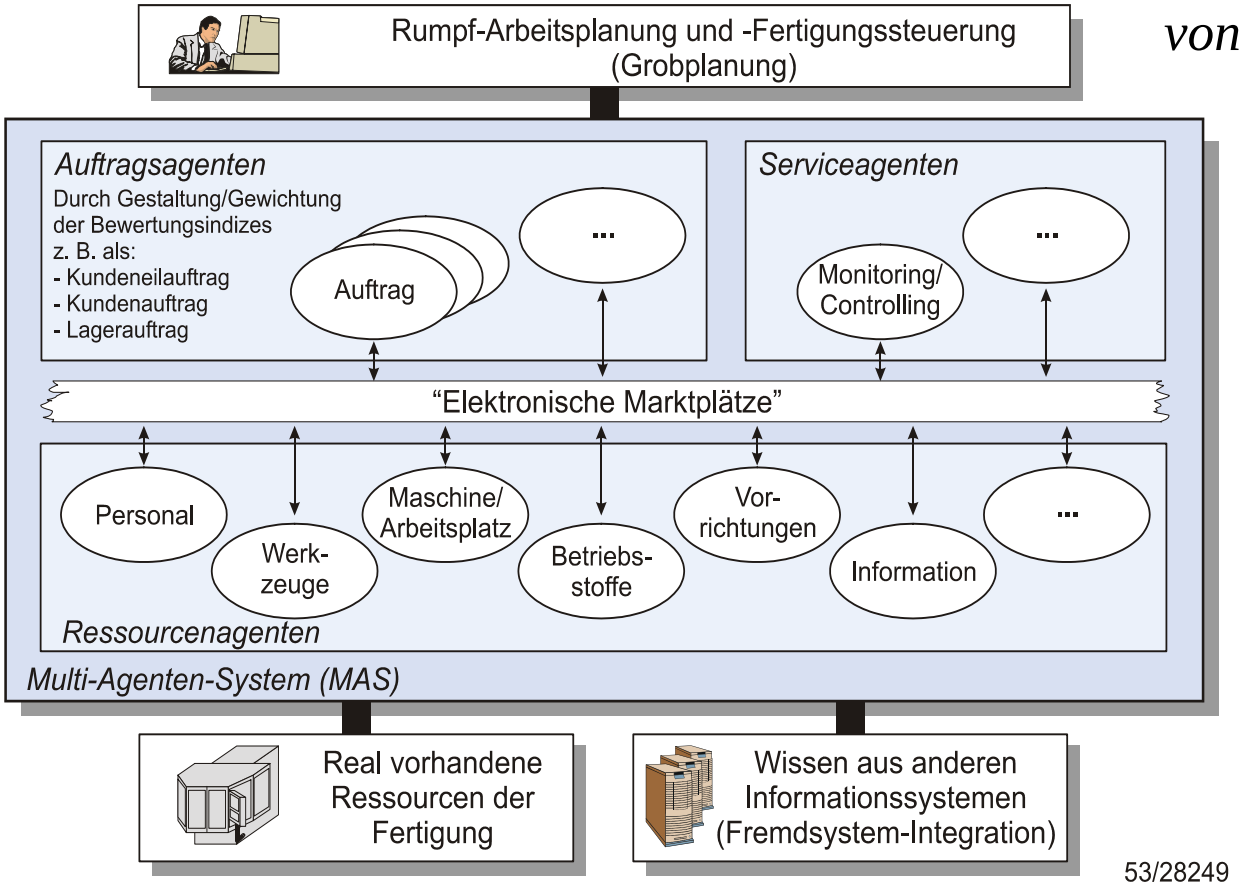
Agenten-basierter

elektronischerMarktplatz

Ausprägungen Elektronischer Marktplätze

Markt-basierte Koordination

von Agenten



Implementierung von Organisationen

- Verhaltensregeln (Social Laws)
- Koalitions- und Teambildung (Team Formation)
- Gemeinsame Zielsetzungen (Joint Intentions)

Social Laws and Conventions

- Social Laws can be seen as Constraints on actions
  - Include a PROHIBITS predicate which rules out actions
  - Example
    - PROHIBITS(sleeping, VKI course)
  - Agent's may only choose "socially legal" actions leading to
    - Expectations on agent behavior
    - Coordination heuristics

- Laws/Conventions are simply imposed on the agent
  - By the system designer
  - There is no need for the agent to reason about their actual utility

Coalition and Team Formation

- The approach from game-theory: coalition formation
  - Task given
  - Agents are maximizing utility
  - Multiple coalitions possible
  - Formation of “most-promising” team

- The approach from logics: team formation
  - Task given
  - Individual agent is unable to solve problem
  - Logical reasoning determines team or potential teams

Joint Intentions

- Intentions govern behavior [Cohen et. Al]
  - They are persistent: “I intend to go skiing this weekend…”
  - But flexible: “&#^@&$^ - No snow…”

- Joint Intentions govern *social* behavior [Bratman]
  - They provide stability in the world – we can rely on agents which have publicly stated they intend to do something
  - Conventions tell us what to expect of an agent with public declared joint intentions, E.g.
    - If it drops a joint intention it should tell other agents sharing the intention
    - If it has an intention it will try to carry out actions fulfilling the intended goal