

Modellierung und Petrinetze

Reflexive Selbstorganisation in Multiagentensystemen

Michael Köhler

Department für Informatik
Universität Hamburg

28. November 2007

Koordinationsituation lassen sich also anhand der drei Fragen kategorisieren:

1. Besitzt der Agent notwendige Fähigkeiten und Werkzeuge?
2. Existieren genug Ressourcen für die Zielrealisierung?
3. Sind die Ziele der Agenten kompatibel?

Die Koordination in einer Interaktionsgruppen sind idealtypischerweise entweder *kooperierend* oder *konkurrierend*.

- Aufgabenverteilung: Contract-Net Protokoll [Smi77]
- Teamplanung: Partial Global Planning (PGP) Protokoll [DL91]
- *Collaborative Decision-Making (CDM)*

Contract-Net Protokoll

- Das Contract-Net Protokoll fokussiert auf die Aufgabenverteilung.
- Manager-Agenten zerlegen die Aufgabe in Teilaufgaben und schreiben sie öffentlich aus.
- Auf die Ausschreibung bieten dann die Agenten.
- Die Aufgabe wird an den Agenten zugewiesen, der das beste Angebot abgibt.
- Dieser Agent, Kontraktor genannt, löst die an ihn übertragene Aufgabe und gibt die Lösung an den Manager zurück.
- Der Manager kombiniert abschließend die Lösungen der Teilaufgaben zu einer Gesamtlösung.
- Durch die Ausschreibung kann eine Aufgabenverteilung dynamisch festgelegt werden, die der aktuellen Verteilung von Wissen, Fähigkeit und Ressourcen der Agenten Rechnung trägt.
- Kontraktoren können ihrerseits Teilaufgaben delegieren: verteiltes Teile-und-Herrsche Verfahren
- Selbstähnliche Struktur - vgl. Holonen [Koe67]

Partial Global Planning

- PGP konzentriert sich auf den Planungsaspekt.
- Es geht davon aus, dass eine Struktur existiert, die angibt, wie Teilpläne verteilt werden.
- Nach einer Zuweisungsphase der Aufgaben, erstellen die Agenten ihre lokalen Pläne, wobei sie dabei nur die ihnen zugewiesene Aufgabe sehen.
- Die lokalen Pläne enthalten dabei schon Alternativen, um die spätere Synchronisation der Pläne zu erleichtern.
- Die in den Teilplänen formulierten Teilziele werden von den Manager-Agenten zum Gesamtziel (partial global goal) zusammengefasst.
- Außerdem werden die lokalen Pläne entlang des Gesamtziels ausgerichtet und miteinander synchronisiert.
- Der entstehende Plan bilden dann den globalen Plan (partial global plan). In der nächsten Phase passen die Agenten dann ihre lokalen Pläne an den globalen an.

Konkurrenz: Verhandlungen

- Konkurrenz liegt vor, wenn zwischen den Agenten kein Einvernehmen über das angestrebte Ziel besteht.
- Ohne Einvernehmen stehen die Ziele in Konkurrenz zueinander.
- Situationstyp: *Wettbewerb*
- Da Agenten in einer Konkurrenzsituation ihre Ziele so nicht realisieren können, ist im Interesse aller durch Verhandlungsprozesse ein Kompromiss zu finden.
- Verhandlungsprozesse werden durch Protokolle geregelt.
- Parameter: Einigungskriterien und Kompromissmöglichkeiten
- Annahme: Akteure handeln eigennützig und lassen sich nur dann auf Verhandlungen ein, wenn ein Kompromiss Vorteile bietet, wenn auch vielleicht nur einen geringeren, als wenn sie sich auf Kosten der anderen hätten durchsetzen könnten.
- Ein eigennütziger Akteur akzeptiert nur dann einen Kompromiss, wenn es bei der aktuellen Interessenlage keine bessere Entscheidung gibt.

- Die Spieltheorie hat diese Form der Entscheidungsfindung zum Forschungsgegenstand.
- Die Grundannahme ist, dass n Agenten eigennützig ihre Ziele verfolgen
- und dass mit dem Erreichen eines Ziels ein Gewinn verbunden ist.
- Das gesamte Szenario wird als Spiel aufgefasst.
- Die Entscheidungsfindung jedes Agenten A_i wird durch seine Spielstrategie S_i bestimmt.
- Die Strategie eines Agenten orientiert sich dabei an denen der anderen.
- Ein Spiel der Agenten ist mit den Strategien (S_1, \dots, S_n) der Agenten gleichzusetzen.
- Beispiele für solche Spiele sind Preisbildungsprozesse, Auktionen, Wahlen oder Koalitionsverhandlungen.

- Wie müssen Verhandlungsprotokolle – der Markt – gestaltet werden, damit die lokal optimierte Handlungswahl auch auf globaler Ebene ein optimales Ergebnis darstellt?
- Aufwand des Verhandlungsprotokolls – die Spielregeln – vs. Güte des Ergebnis
- Optimalitätskriterium
 - 1 Wellfare: Entscheidung ist optimal, wenn sie den kumulierten Gewinn aller Akteure maximiert.
Hier wird also das Allgemeinwohl (well fare) maximiert.
 - 2 Pareto: Entscheidung ist optimal, wenn sich kein Akteur verbessern kann, ohne dass sich mindestens ein anderer Agent verschlechtert (*Pareto-Optimalität*).
Anders formuliert: Ein Agent kann sich nur auf Kosten anderer verbessern.

- 3 Dominante Strategie: Eine Strategie ist *dominant*, wenn sie für den Akteur optimal ist, unabhängig davon, was die anderen Akteure tun. Die wenigsten Spiele besitzen jedoch eine solche Strategie.
- 4 Nash-Gleichgewicht: Die Strategien (S_1, \dots, S_n) sind im *Nash-Gleichgewicht*, wenn für alle A_i die Strategie S_i optimal ist, wenn die anderen Agenten nach den Strategien $(S_1, \dots, S_{i-1}, S_{i+1}, \dots, S_n)$ spielen. Das Problem hierbei ist, dass manche Spiele kein Nash-Gleichgewicht besitzen, andere dagegen mehrere. Ein weiteres Problem ist zudem noch, dass sich selbst im Nash-Gleichgewicht Agenten konspirativ zusammenschließen können, um auf Kosten der anderen ihren Gewinn zu verbessern.

Das Gefangenendilemma

- Beim Gefangenendilemma stehen zwei Gefangene *A* und *B* vor der Wahl, entweder zuzugeben, eine Straftat begangen zu haben oder dies abzustreiten.
- Streiten beide ab, so werden beide wegen geringfügiger Vergehen bestraft.
- Gestehen beide, so wird die Strafe aufgeteilt.
- Gesteht dagegen nur einer, so wird nur der leugnende Gefangene bestraft.
- Formulieren wir den Nutzen als die vermiedene Strafe, so ergibt sich die folgende Nutzenmatrix:

	gestehen	abstreiten
gestehen	1,1	5,0
abstreiten	0,5	3,3

Zum Verhältnis der Optimalitätskonzepte

Die verschiedenen Optimalitätskriterien kommen zu entgegengesetzten Strategiewahlen:

- Der allgemeine Nutzen wird maximiert, wenn beide abstreiten. Der gemeinsame Nutzen ist dann $3 + 3 = 6$.
- Diese Wahl ist auch Pareto-optimal, denn bei der Verbesserung zu $(5, 0)$ (bzw. zu $(0, 5)$) verschlechtert sich der Partner jeweils.
- Die dominante Strategie dieses Spiels ist es aber zu gestehen, denn wenn B gesteht, dann ist es für A besser, auch zu gestehen, da für ihn $(1, 1)$ besser als $(0, 5)$ ist. Streitet B dagegen ab, so ist es für A wiederum zu gestehen, da für ihn $(5, 0)$ besser als $(3, 3)$ ist. Damit ist Abstreiten für A besser, unabhängig von der Wahl von B . Wählen beide Spieler die dominante Strategie, so ergibt sich das schlechteste Ergebnis $(1, 1)$.
- Diese Strategiewahl ist auch das Nash-Gleichgewicht.

- *Collaborative Decision-Making (CDM)*
- Geteilte Ziele reichen nicht aus, um kohärentes Gruppenhandeln zu erzeugen.
- Daher werden die in der Gruppe geteilten Absichten zu Gruppenabsichten (joint intentions) gebündelt und die einzelnen Akteure auf diese verpflichtet.
- Es werden soziale Verpflichtungen der Mitglieder gegenüber der Gruppe modelliert.

- Die BDI-Modalitäten beschreiben angestrebte Weltzustände, reden aber nicht über die Prozesse, die zu ihrer Erlangung führen.
- Dazu bedarf es einer Prozesslogik: In der *dynamic logic* [Har84] existieren Operatoren, mit deren Hilfe komplexe Aktionen aus atomaren zusammengesetzt werden.
 - Sequenz ($e_i; e_j$)

- alternative Auswahl ($e_i + e_j$)
 - Nebenläufigkeit ($e_i \parallel e_j$)
 - Iteration e^*
 - Der Testprozess ($\phi?$) blockiert, falls ϕ nicht gilt, und hat andernfalls keine Wirkung.
- Ein Plan ist durch die Aktionssequenz e charakterisiert, die geeignet ist, den Zustand ϕ zum Zeitpunkt t' realisieren, wenn sie im Zeitintervall $[t_1, t_2]$ ausgeführt wird:

$$\text{plan}(gr, e, \phi(t'))(t) \equiv \exists t \leq t_1 \leq t_2 < t' : \\ \text{Do}(gr, e)(t', t_2) \wedge \\ (\text{Occurs}(e)([t_1, t_2]) \implies \text{Occurs}(\phi?)(t'))$$

Gemeinsame Überzeugungen I

- Um Pläne abzugleichen, ist es notwendig, gemeinsame Überzeugungen zu beschreiben.
- Der Operator **E-Bel** beschreibt, dass zum Zeitpunkt t alle Mitglieder der Gruppe gr der Überzeugung sind, dass ϕ gilt:

$$\mathbf{E-Bel}(gr, \phi)(t) \equiv \bigwedge_{a \in gr} \mathbf{Bel}(a, \phi)(t)$$

- Diese *allgemeine Überzeugungen* sind aber nicht reflexiv, d.h. die Agenten können gemeinsame Überzeugungen besitzen, ohne dass sie sich dessen bewusst wären.
- Um zu beschreiben, dass eine Gruppe von Agenten gemeinschaftliche Überzeugungen (*mutual beliefs*) besitzt, ist ein stärkerer Operator notwendig:

$$\mathbf{M-Bel}(gr, \phi)(t) \equiv \mathbf{E-Bel}^k(gr, \phi)(t) \text{ für alle } k$$

Gemeinsame Überzeugungen II

- Dabei beschreibt $\mathbf{E}\text{-Bel}^k(gr)$ das wechselseitige Wissen bis zur Stufe k :

$$\begin{aligned}\mathbf{E}\text{-Bel}^0(gr, \phi)(t) &\equiv \phi(t) \\ \mathbf{E}\text{-Bel}^{k+1}(gr, \phi)(t) &\equiv \mathbf{E}\text{-Bel}(gr, \mathbf{E}\text{-Bel}^k(gr, \phi)(t))(t)\end{aligned}$$

- Analog zu $\mathbf{E}\text{-Bel}$ werden auch allgemeine Bedürfnisse ($\mathbf{E}\text{-Des}$), Ziele ($\mathbf{E}\text{-Goal}$) und Absichten ($\mathbf{E}\text{-Int}$) definiert.

- Eine Gruppe gr besitzt eine *gemeinschaftliches* Bedürfnis (joint intention) ϕ , notiert: **J-Des**(gr, ϕ)(t), wenn folgendes gilt:
 - 1 Jeder Agent $a \in gr$ hat ein Bedürfnis bezüglich ϕ .
 - 2 Es besteht gemeinschaftliche Überzeugung, dass jeder Agent ein Bedürfnis bezüglich ϕ hat.
 - 3 Jeder Agent hat die Absicht, dass alle anderen Agenten aus gr ein Bedürfnis bezüglich ϕ haben.
 - 4 Es besteht gemeinschaftlich Überzeugung über den vorherigen Punkt.

$$\begin{aligned} \mathbf{J-Des}(gr, \phi)(t) &\equiv \mathbf{E-Des}(gr, \phi)(t) \\ &\wedge \mathbf{M-Bel}(gr, \psi)(t) \\ &\wedge \mathbf{E-Int}(gr, \psi)(t) \\ &\wedge \mathbf{M-Bel}(\mathbf{E-Int}(gr, \psi))(t) \\ &\text{mit } \psi = \mathbf{E-Des}(gr, \phi)(t) \end{aligned}$$

- Die Operatoren **J-Goal** und **J-Int** für gemeinschaftliche Ziele und Absichten werden analog definiert.

- Gemeinschaftliche Bedürfnisse reichen nicht aus, den Grad der Verbindlichkeit innerhalb der Gruppe zu gewährleisten, der notwendig ist, um eine gemeinsame Aktion auszuführen.
- Als weiteres notwendiges Konstrukt ist das Konzept der *Verpflichtung* (commitment) zu sehen.
- Verpflichtungen bündeln die von Gruppen geteilte Absichten (joint intentions) in einem überindividuellen Element.
- Als zusätzliche Persistenz-Bedingung zum Sicherstellen gemeinschaftlichen Handelns dienen *soziale Verpflichtung* (social commitments), mit denen sich die Gruppe gr_1 gegenüber der Gruppe gr_2 zur Ausführung der Aktionssequenz e verpflichtet:

$$\text{Comm}(gr_1, gr_2, e)(t)$$

Joint Commitments II

- Analog wird durch $\text{Comm}(gr_1, gr_2, \psi(t'))(t)$ beschrieben, dass sich die Gruppe Gruppe gr_1 zum Zeitpunkt t gegenüber gr_2 verpflichtet, zum Zeitpunkt t' den Zustand ψ herzustellen.
- Gemeinschaftliche Absichten heißen persistent (engl. persistent joint intentions), falls sie durch soziale Verpflichtungen entsprechend gestärkt sind.
- Gemeinsame soziale Verpflichtung (*joint commitment*): Zum Zeitpunkt t besitzt die Gruppe gr eine gemeinsame soziale Verpflichtung bezüglich des Erreichens von ϕ zum Zeitpunkt t' , wenn es für gr eine persistente gemeinsame Absicht bezüglich $\phi(t')$ gibt.
 - 1 Die Gruppe gr ist der Überzeugung, dass ϕ zum Zeitpunkt t' wahr sein wird.
 - 2 gr besitzt eine gemeinsame Absicht, dass ϕ zum Zeitpunkt t' wahr sein wird.

Joint Commitments III

- 3 Jeder Agent $a \in gr$ hat sich sozial gegenüber der Gruppe gr bezüglich dieser gemeinsamen Absichten verpflichtet.
- 4 In der Gruppe gr besteht gemeinschaftliche Überzeugung bezüglich (3).
- 5 Es ist wahr und gemeinschaftliche Überzeugung, dass (2) solange gilt, bis entweder gr gemeinschaftlich der Überzeugung ist, dass ϕ zum Zeitpunkt t' falsch sein wird, oder mindestens ein Agent die Gruppe verlässt.

Der fünfte Punkt beschreibt die einzige Möglichkeit, einer sozialen Verpflichtung nicht nachzukommen.

- Formal wird eine soziale Verpflichtung durch die fünf Konjunkte des folgenden Ausdrucks beschrieben:

$$\begin{aligned} \mathbf{J-Comm}(gr, \phi(t'))(t) \equiv & \mathbf{M-Bel}(gr, \phi(t'))(t) \wedge \\ & \mathbf{J-Int}(gr, \phi(t'))(t) \wedge \\ & \bigwedge_{a \in gr} \left(\mathbf{Comm}(a, gr, \phi(t')) \right. \\ & \quad \left. \wedge \mathbf{M-Bel}(gr, \mathbf{Comm}(a, gr, \phi(t')))) \right)(t) \wedge \\ & \gamma(t) \wedge \mathbf{M-Bel}(gr, \gamma)(t) \end{aligned}$$

- Die Formel γ drückt dabei den fünften Punkt aus:
 - Entweder ϕ ist gemeinschaftliche Überzeugung
 - oder die Gruppe gibt diese zum Zeitpunkt t_2 auf.

Joint Commitments \vee

- Dies ist entweder der Fall, wenn die Gruppe gemeinschaftlich der Überzeugung ist, dass ϕ zum Zeitpunkt t' falsch sein wird,
- oder wenn mindestens ein Agent a seiner sozialen Verpflichtung nicht nachkommt.
- Die gemeinsame Absicht gilt aber dann bis zum Zeitpunkt t_2 .

$$\begin{aligned} \gamma \equiv & \mathbf{J}\text{-Int}(gr, \phi(t'))(t) \vee \\ & \exists t < t_2 < t' : \left[\mathbf{M}\text{-Bel}(gr, \neg\phi(t'))(t) \right. \\ & \quad \vee \exists a \in gr : (\neg\text{Comm}(a, gr, \phi(t')) \\ & \quad \quad \wedge \mathbf{M}\text{-Bel}(gr, \neg\text{Comm}(a, gr, \phi(t')))) \left. \right] (t_2) \\ & \wedge \forall t < t_1 < t_2 : \mathbf{J}\text{-Int}(gr, \phi(t'))(t_1) \end{aligned}$$

- Besteht eine soziale Verpflichtung $\mathbf{J-Comm}(gr, \phi(t'))(t)$, dann können alle Gruppenagenten sicher sein, dass kein Mitglied seine Absichten spontan ändert, ohne dass dazu Gründe vorliegen, die die gemeinsamen Absichten tangieren. Auf diese Art und Weise wird eine größere Verbindlichkeit und damit auch eine größere Planungssicherheit erreicht.

Normative Agenten I

- Das Konzept der Norm wurde eingeführt, um zwischen der lokalen, d.h. individuellen Rationalität der Agenten und den global erwünschten Prozessen eine Verbindung herzustellen.
- Diese Abkehr von der Theorie der rationalen Handlungswahl (engl. rational choice) stellt zunächst einmal die Grundannahme, dass Agenten im Rahmen ihrer Logik rational handeln, in Frage.
- Als Gegenentwurf zum rational handelnden *homo oeconomicus* dient hierzu der *homo sociologicus*, der in seiner Handlungswahl nicht von einer Kosten-Nutzen Abwägung, sondern von normativen Kategorien geleitet wird.
- Rationale Funktionen der Norm:
 - Normen verbessern die Kooperation zwischen Agenten, indem sie lokal den Suchraum beschränken. Normen dienen dann der Komplexitätsreduktion.

Normative Agenten II

- Normen verbessern in sozialen Dilemmata die Strategiewahl, indem sie lokal rationales, aber global unerwünschtes Verhalten ausblenden und so den Gesamtnutzen verbessern.
- Verhältnis von normativem und rationalen Handeln?
- Intuition: Normative Agenten verhalten sich anders als langfristige planende Kosten-Nutzen-Maximierer.
- Sind Rationalität und Normativität miteinander vereinbar?
- Sind Normen überhaupt im Rahmen der planenden Handlungswahl formalisierbar?
- Problem: Sobald Normen Bestandteil der Planung sind, verschwindet der Gegensatz zwischen rationalen und normativen Handeln, da dann normatives Verhalten rational ist.

Normative Agenten III

- Beispielsweise mag ein Verhalten, das auf kurze Sicht nicht optimal im Sinne von Kosten-Nutzen Erwägungen ist, dies sehr wohl aber für einen größeren Betrachtungszeitraum sein.
- Konstruktionsprinzip??:
 - Die *unsichtbare Hand des Marktes*: Normativität ergibt sich als Konsequenz durch die individueller Nutzenmaximierung – auch wenn sie von den Akteuren gar nicht berücksichtigt oder angestrebt wird.
 - Oder: Rationale Handlungswahl als Nebenprodukt normativ geleiteter.
 - Oder: Rationalität und Normativität werden von einem Mechanismus erzeugt, der keinerlei direkten bezug zu beiden Aspekten aufweist.
- Die Frage ist daher nicht, welche die „richtige“ Struktur ist, sondern welche besonders beschreibungsökonomisch ist.

- Also: Normen als Teil der Handlungswahl, d.h. Planung wird von normativen Elementen bestimmt.
- Hierzu sind mehrere Modellierungsformen denkbar:
 - 1 Normen sind als Randbedingungen (engl. constraints) formuliert, die jeder Planungsprozess zu erfüllen hat. Normen sind somit der Planung an sich entzogen. Hierbei bleibt zunächst offen, wie die Dynamik der Normen zu konzeptionalisieren ist.
 - 2 Normen sind spezielle Ziele eines Agenten, sie werden also von der Planung angestrebt. Agentenkonzepte, die diesem Ansatz folgen, operieren mit einem differenzieren Begriff eines *Ziels*. Ziele können individuellen Charakter besitzen, sie können in einer Agentengruppe geteilt werden, oder sie können sogar normativer Natur sein.
 - 3 Normen sind eigenständige Objekte des Planungsprozess, die sich insbesondere von Zielen unterscheiden. Es gibt normative Überzeugungen und Regeln, nach denen eine Norm für einen Agenten handlungsleitend wird.

- Der erste Ansatz hat zur Konsequenz, dass es Agenten nicht möglich ist, gegen Normen zu verstoßen, was im zweiten und dritten Fall sehr wohl möglich ist, da ein Agent Ziele bzw. normative Erwartungen gegeneinander abwägen kann.
- Auch ist es nicht möglich, dass sich Normen verändern, da der Agent ihm Rahmen seiner Planung keinerlei Zugriff auf die Darstellung der Randbedingungen nehmen kann.
- Normen können so nicht emergieren oder sich über die Zeit verändern. Sie sind programmiert.
- Verglichen mit dem dritten ist das Normkonzept des zweiten Ansatzes sehr schwach, denn Normen werden stets den normalen Zielen untergeordnet, sobald sich deren Verfolgung als lohnender darstellt.
- Normen haben also im Extremfall keinerlei Verbindlichkeit für den Agenten.

Normative Agenten VI

- [CC95] argumentieren daher für den dritten Ansatz, der den Normen eine eigenständige Rolle zuweist.
- Dieser Ansatz ist sehr flexibel, da er Deduktion über dem Normensystem erlaubt.
- Generelle Frage: Unter welchen Umständen macht sich ein Agent seine normative Überzeugungen zu eigen?
- Normative Annahmen eines Agenten a über die Aktion e für die Gruppe gr sind als die Verpflichtung aller Gruppenmitglieder, die Aktion e auszuführen, formalisiert (engl. normative believe):

$$\mathbf{N-Bel}(a, gr, e) \equiv \bigwedge_{a' \in gr} \mathbf{Bel}(a, \text{Ought}(\text{Does}(a', e)))$$

Normative Agenten VII

- Ein Agent glaubt an die Relevanz einer Norm für sich, wenn er glaubt, zur Agentengruppe, die von der Norm angesprochen wird, zu gehören (engl. normative believe of pertinence):

$$\mathbf{P-N-Bel}(a, e) \equiv \mathbf{N-Bel}(a, gr, e) \wedge \mathbf{Bel}(a, a \in gr)$$

- Normative Ziele werden mit Hilfe der Modalität der relativen Ziele formalisiert.

Hierbei bedeutet $\mathbf{R-Goal}(a, \phi, \psi)$, dass der Agent a das Ziel ϕ verfolgt, solange er glaubt, dass ψ gültig ist. Damit ergibt sich die Formalisierung normativer Ziele:

$$\mathbf{N-Goal}(a, e) \equiv \mathbf{R-Goal}(a, \text{Does}(a, e), \mathbf{P-N-Bel}(a, e))$$

- Dies bedeutet, dass der Agent a das normative Ziel bezüglich e besitzt, wenn er das Ziel hat, e auszuführen, und dies solange er sich dazu normativ verpflichtet fühlt.

Normative Agenten VIII

- Normen ist dabei klar getrennt von Zielen.
- Normen und Ziele sind im Rahmen des Planungsprozesses miteinander verkoppelt.
- Der Agent entscheidet selbst, wann er sich welche Normen zu eigen macht.

- Amorphes Agentensystemen: Jeder Agent kann mit jedem kommunizieren, d.h. dass das soziale Netzwerk zwischen den Agenten vollständig vermascht ist.
- Es wird meist implizit davon ausgegangen, dass die relevanten Agenten einander bekannt sind, bzw. einander anhand eines Namensdienstes leicht auffinden können.
- Nur für eine geringe Anzahl von Agenten praktikabel.
- Überschreitet die Agentenpopulation eine bestimmte Größe, so ist eine Strukturierung notwendig.
- Agentensystem braucht dazu ein von den Agenten unabhängiges Gedächtnis.
- Ein strukturelles Gedächtnis kodiert Erwartungen, Rollen, Positionen, Netzwerke usw.
- Diese flankieren die eigentlichen Interaktionen.

- Mit Hilfe des strukturellen Gedächtnisses können Agenten darauf bauen, dass andere ihren Rollen gerecht werden.
- Dies ist wichtig für Situationen, die Erwartungssicherheit verlangen.
- Agenten bringen also in erster Linie der Rolle und erst in zweiter Linie ihrem Träger Vertrauen entgegen.
- Ohne strukturelles Gedächtnis können Agenten Vertrauen dagegen nur Individuen entgegenbringen und sind somit gezwungen, dieses stets individuell neu aufzubauen.
- Systemstruktur: MAS-Organisation.
- Die Systemstruktur besitzt ähnliche Attribute wie ein Agent – speziell Intelligenz und Lernfähigkeit.
- Organisationelle Intelligenz: Organisationen kennen Organisationsziele und Handlungsalternativen.

- Sie erkennen jeweils beste Handlungsalternative.
- Sie lernen und haben ein organisationelles Gedächtnis.
- *Computational Organisation Theory*: VKI + Operations Research + Betriebssoziologie.
- Organisationen dienen dazu, die Einschränkungen von Akteuren zu überwinden.
- Die größte Einschränkung ist dabei die Tatsache, dass Akteure als beschränkt-rational anzusehen sind.
- unvollständige Information und beschränkte Ressourcen (Zeit, Geld etc.).
- Organisationen sollen die resultierende Suboptimalität kompensieren, indem sie definieren,

- welche Informationen aus der Umwelt als wichtig zu erachten sind und
- welche Substrukturen der Organisation auf die relevanten Informationen zu reagieren haben.
- Es wird definiert, wie dies geschehen soll, d.h. die Abläufe und die daran beteiligten Akteure sind festgelegt.
- Organisationen bilden also einen ordnenden Rahmen für die Handlungen der beteiligten Agenten.
- Dieser Rahmen dient u.a. dazu, die Unsicherheit der Umwelt zu begrenzen und damit auch den Koordinierungsaufwand und die Entscheidungskomplexität zu reduzieren – idealerweise zu minimieren.

- Hierarchien: Die Agenten kommunizieren nur mit ihren Nachbarn in der Hierarchie, die eine baumartige Struktur besitzt. Typischerweise verläuft die Delegation in Richtung der Blätter, während die Verantwortlichkeit auf die Wurzel zielt.
- Koalitionen: Agenten schließen sich zu Koalitionen zusammen, um den individuellen Nutzen der Mitglieder zu steigern. Koalitionen treten nach außen als eine Einheit auf. Der Zusammenschluß ist auf das Fortbestehen des gemeinsamen Nutzens beschränkt.
- Teams: Agenten schließen sich zu Teams zusammen, um eine gemeinsame Aufgabe kooperativ lösen zu können. Ähnlich zu Koalitionen ist ein Team in seinem Bestehen auf die Dauer des gemeinsamen Ziels beschränkt.

Erscheinungsformen der Organisation II

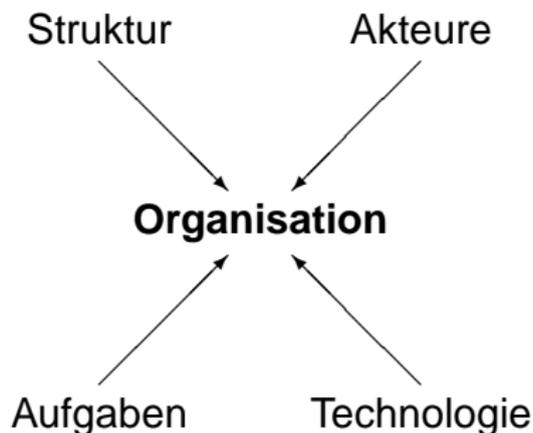
- Kongregationen: Hierbei handelt es sich um einen Zusammenschluß, der nicht auf einen konkreten Nutzen oder ein konkretes Ziel ausgerichtet ist. Stattdessen schließen sich hier Agenten mit ähnlichen Fähigkeiten und Interessen zu langfristig operierenden Einheiten zusammen.
- Föderation: Hierbei schließen sich Agenten zu Teilgruppen zusammen. Jede Teilgruppe wird von einem Delegierten (engl. mediator) gegenüber den anderen Delegierten vertreten.
- Holonische Organisation: Holonen sind rekursiv geschachtelte Strukturen, die nach außen als ein Agent betrachtet werden. Sie sind somit sowohl mit dem hierarchischen Organisationstyp als auch mit der Föderation verwandt.

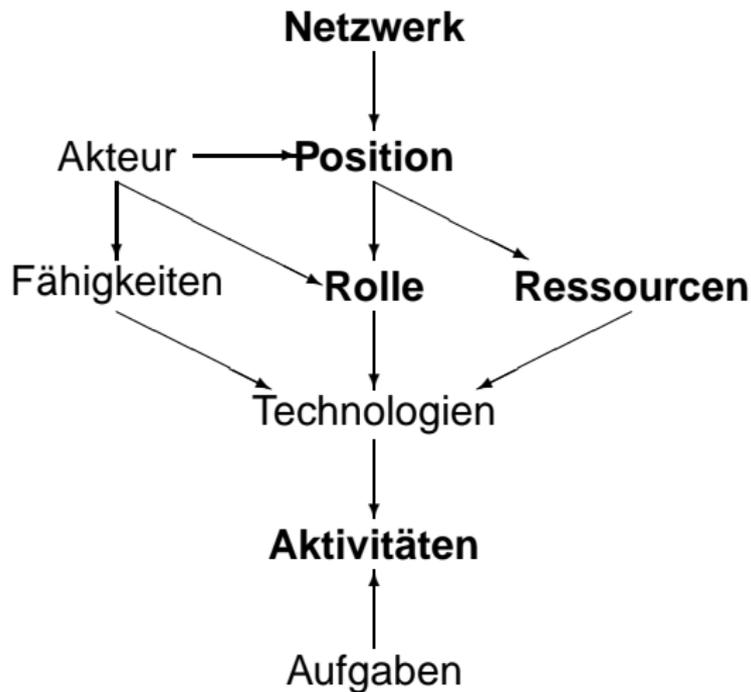
Erscheinungsformen der Organisation III

- Matrix-Organisationen: Hier wird die Aggregationsbeziehung flexibilisiert. Während bei Hierarchien, Holonen oder Föderation jeder Agent in einer Einheit aggregiert ist, gibt es in der Matrix mehrere Vertreter.
- Märkte: In elektronischen Märkten organisieren sich Anbieter und Kaufinteressierte. Im Gegensatz zu anderen Formen stehen die Akteure eines Marktes stets in Konkurrenz zueinander.
- Gesellschaften: Es finden sich Agenten mit heterogenen Zielen und Fähigkeiten zusammen und entwickeln dabei eigene soziale Konventionen und Normen.

Optimalitätskriterien:

- maximale Effizienz,
- geringes Risiko,
- minimale Kosten,
- maximalen Gewinn oder
- optimale Qualität

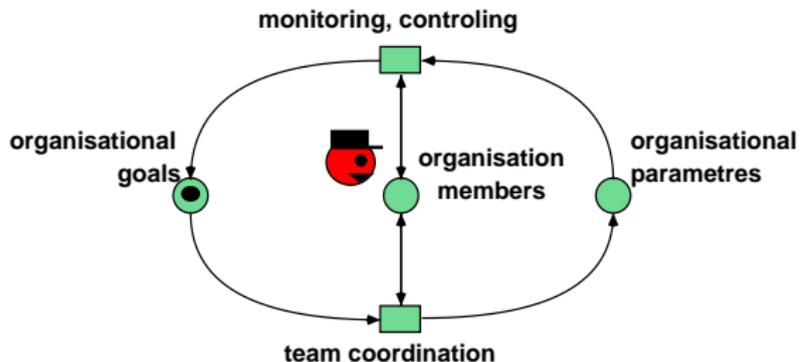




- Die agentenorientierte Softwareentwicklung (AOSE) als Fortführung des Objektkonzeptes.
- [Jen00] argumentiert, dass die agentenorientierte Softwareentwicklung genau die Aspekte bereitstellt, die [Boo92] als zentrale Mechanismen zur Bewältigung der Komplexität moderner Software ansieht:
 - 1 Abstraktion: Es wird nicht das komplette Modell erstellt, sondern zu verschiedenen Phasen werden nur ausgesuchte Aspekte modelliert. Hier unterstützt das Autonomiekonzept den Entwickler, indem es ihm erlaubt, Agenten so zu implementieren, dass sie nur auf eine Teilmenge der Kommunikationen eingehen.
 - 2 Dekomposition: Das System wird so lange in Subsysteme zerlegt, bis diese eine beherrschbare Größe erreichen. Die Agentenmetapher unterstützt diese Trennung, indem sie bereits Hinweise bereit hält, entlang welcher Linien die Trennung zu erfolgen hat, nämlich entlang von Ressourcen, Wissen, Fähigkeiten usw.

- ③ Hierarchie/Organisation: Hierbei geht es darum, wie die Subsysteme in einen funktionalen Zusammenhang integriert werden können. Die Modellierung der MAS-Organisation stellt sich genau diese Frage und analysiert die Interaktion in Bezug auf Rollen, Positionen und Kommunikationsstrukturen.
- Entwicklungsmodelle
 - MASE [DWS01]
 - GAIA [ZJW03]
 - TROPOS [BGG⁺04]
 - OMNI [DVSD04]
 - ODML [HL05]
 - MOISE [HBSS00]
- Agenten: Ontologie, Wissen, Ziele
- Gruppe: Interaktionsprotokollen, Rollen
- System: Positionen, Netzwerke

Agentenorientierte Softwareentwicklung III



Funktionale Typisierung I

- Grad der Spezialisierung/ Redundanz die einzelnen Agenten.
- Statisches Design eines MAS
- Auch: *funktionaler Analyse* der MAS-Organisation.
- Die Spezialisierung soll einerseits die größtmögliche Aufgabenfokussierung leisten und
- andererseits mit dem kleinstmöglichen Koordinierungsaufwand auskommen.
- Die Redundanz soll einerseits den größtmögliche Durchsatz erlauben und
- andererseits mit dem kleinstmöglichen Ressourceneinsatz auskommen.
- Das eine Extrem: der omni-potente Agent, der alle Rollen realisiert.

Funktionale Typisierung II

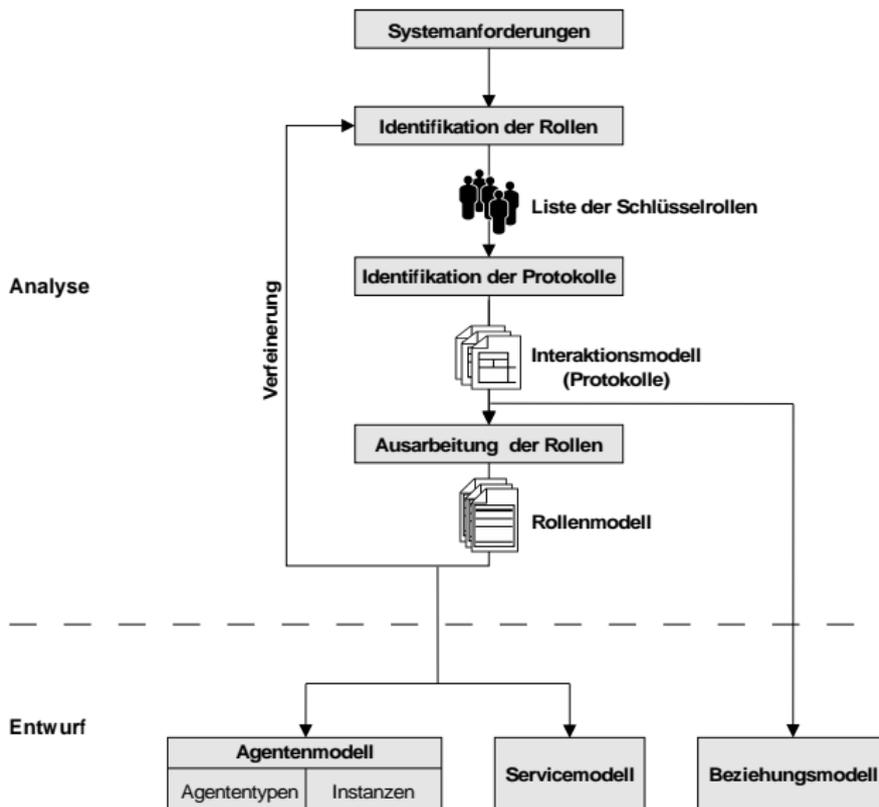
- Er hat einen sehr geringen Koordinationsoverhead, da alle Kommunikation intern realisiert wird.
- Er ist allerdings sehr komplex und daher schwer zu warten.
- Das andere Extrem: Spezialisierung von Agenten auf genau eine Rolle. Größtmögliche Trennung von Aufgaben, aber auch einen maximalen Koordinierungsaufwand.

- Offene Designentscheidungen: die Kommunikationsinfrastruktur
- Wer kann mit wem kommunizieren?
- Welche Agenten dürfen wem gegenüber Arbeit delegieren
- Ferber spricht von *struktureller Analyse*.
- Die Systemstruktur soll die größtmögliche Flexibilität in Hinblick auf die Aufgabenbewältigung bieten.
- Sie soll mit dem kleinstmöglichen Aufwand an Ressourcen (Nachrichtenkomplexität etc.) auskommen.
- Extremfällen: Teamstruktur ohne Hierarchien; Jeder Agent kennt jeden; Weisungs- oder Delegationstrukturen existieren nicht.
- Der Vorteil besteht in der Flexibilität, denn alle Agenten können potentiell zur Aufgabenbewältigung beitragen.

Interaktionsstrukturen II

- **Nachteil:** Für große Anzahlen von Agenten wird ein nicht unwesentlicher Anteil an Ressourcen dafür verwendet, die geeigneten Kommunikationspartner zu ermitteln.
- **Totale Bürokratie:** Hierarchien, an denen sich auch die Weisungsmöglichkeiten orientieren.
- **Bekanntschaft** ist nur zwischen benachbarten Hierarchieebenen nötig.
- Weitere Interaktionsbeziehungen sind nicht vorgesehen und somit in formaler Hinsicht auch ausgeschlossen.
- Die Kommunikationsstrukturen erleichtern das Auffinden der zuständigen Agenten, jedoch um den Preis, dass viele Bewältigungsmöglichkeiten von vornherein ausgeschlossen werden.
- Es ergeben sich also entgegensätzliche Forderungen an Flexibilität und Koordinierungsaufwand.

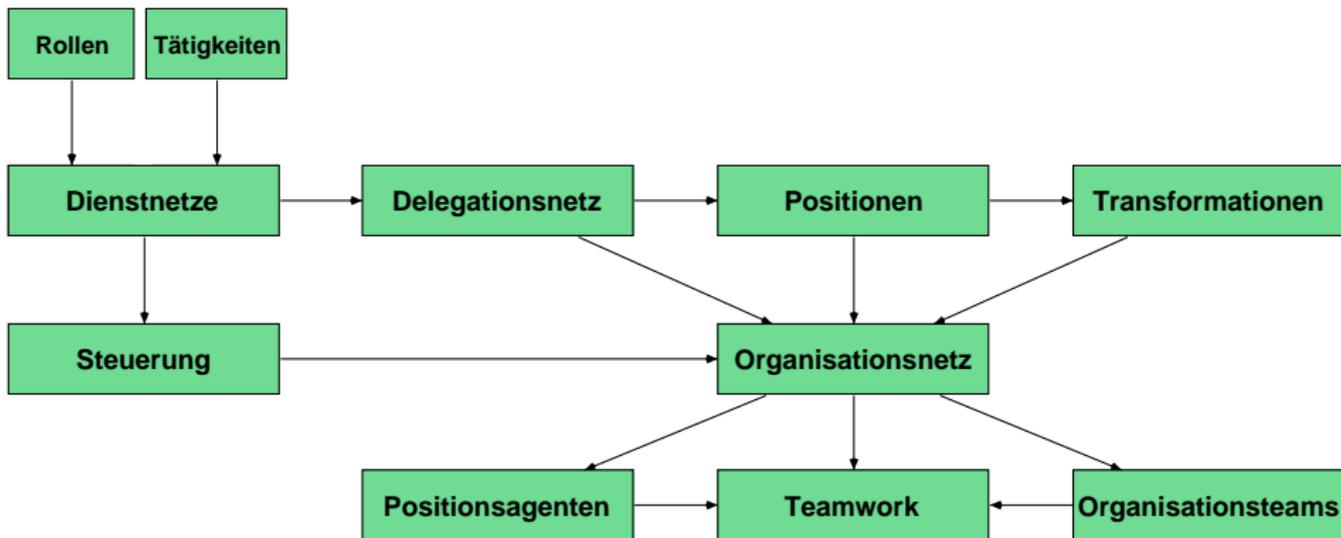
Beispiel: Der GAIA-Entwicklungsprozess



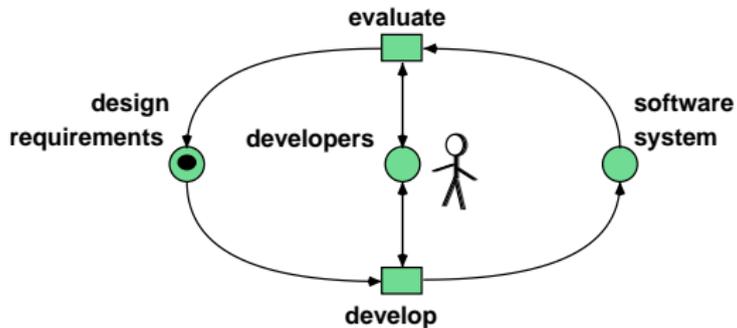
- Soziologisch ist eine Organisation daher sowohl steuernder Kontext als auch von den Akteuren gestaltete Umwelt.
- Organisation sind Institutionen, d.h. soziale Regelkomplexe und als solche soziale Konstrukte.
- “[...] I claimed that only agent based social simulation joint with AI models of agents can eventually solve this problem by formally modelling and simulation *at the same time* the individual minds and behaviours, the emergent collective action, structure or effect, and their feedback to shape minds and reproduce themselves.” [Cas00]
- Für die Modellierung einer wechselseitigen Beeinflussung sind soziale Strukturen ebenso wie Agenten im Modell zu repräsentieren.
- Diese Wechselseitigkeit ist uns bereits als Mikro-Makro-Dualität bekannt.

- Agentenkommunikationssprache
- Interaktionsprotokolle
- Teamstrukturen
- Organisationsstrukturen
- Reorganisation

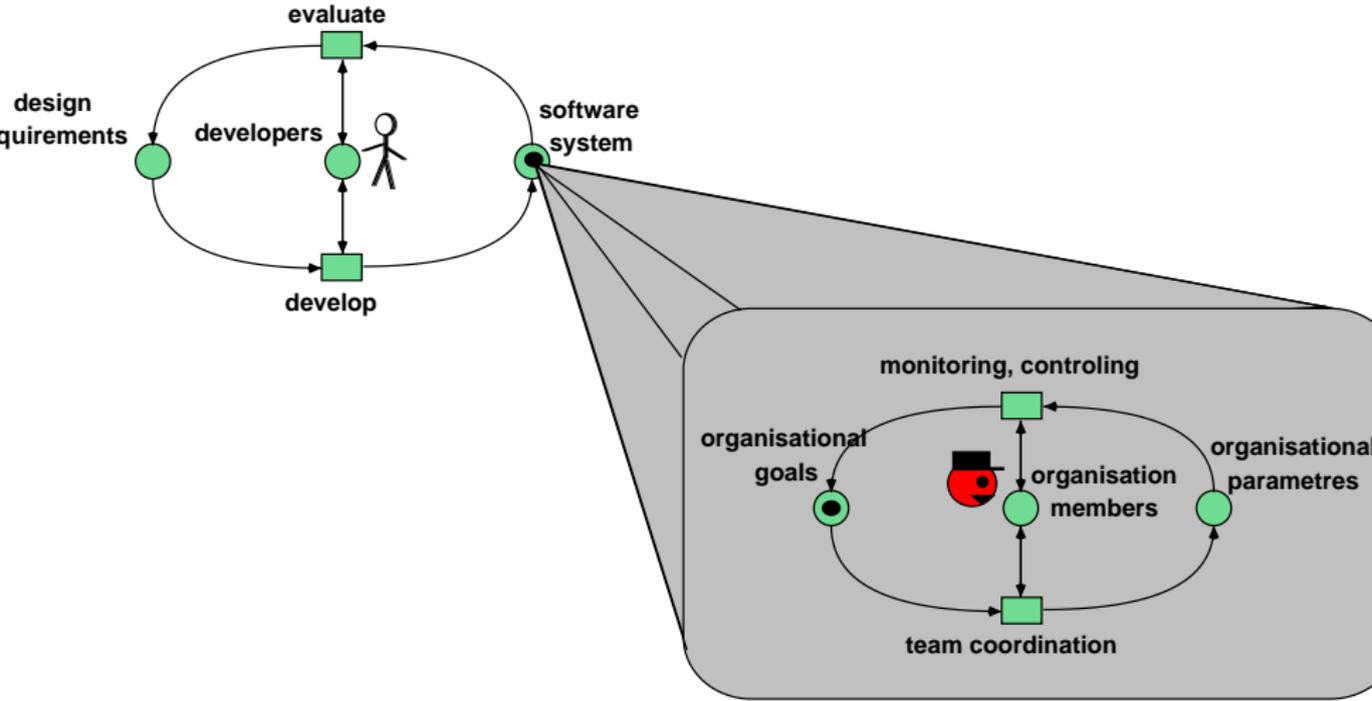
Designelemente in SONAR



Rekursivität der AOSE



Rekursivität der AOSE





P. Bresciani, P. Giorgini, F. Giunchiglia, J. Mylopoulos, and A. Perini.
Tropos: An agent-oriented software development methodology.
Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 8:203–236, 2004.



Grady Booch.
Object-oriented analysis and design: with applications.
Benjamin/Cummings, 1992.



Christiano Castelfranchi.
Engineering social order.
In A. Omicini, R. Tolksdorf, and F. Zambonelli, editors, *Engineering Societies in the Agents World. First International Workshop, ESAW 2000, Berlin, Germany*, volume 1972 of LNAI, pages 1–18. Springer-Verlag, 2000.



Christiano Castelfranchi and Rosaria Conte.
Understanding the functions of norms in social groups through simulation.
In N. Gilbert and R. Conte, editors, *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, pages 252–267. UCL Press: London, 1995.



Edmund H. Durfee and Victor R. Lesser.
Partial global planning: A coordination framework for distributed hypothesis formation.
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 21(5):1167–1183, September 1991.



Virginia Dignum, Javier Vázquez-Salceda, and Frank Dignum.
OMNI: Introducing social structure, norms and ontologies into agent organizations.
In *Programming Multi-Agent Systems (PROMAS)*, pages 181–198, 2004.



Scott A. DeLoach, Mark F. Wood, and Clint H. Sparkman.
Multiagent systems engineering.
International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 11(3):231–258,
2001.



David Harel.
Dynamic logic.
In D. Gabbay and F. Guenther, editors, *Handbook of Philosophical Logic, Volume II —
Extensions of Classical Logic*, pages 497–604. D. Reidel Publishing Company: Dordrecht,
The Netherlands, 1984.



Mahdi Hannoun, Olivier Boissier, Jaime Simão Sichman, and Claudette Sayettat.
MOISE: An organizational model for multi-agent systems.
In *IBERAMIA-SBIA '00: Proceedings of the International Joint Conference, 7th
Ibero-American Conference on AI*, pages 156–165. Springer-Verlag, 2000.



Bryan Horling and Victor Lesser.

Using ODML to Model Organizations for Multi-Agent Systems.

In Proceedings of the 2005 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2005), pages 72–80, Compiègne, France, September 2005. IEEE Computer Society.



Nicholas R. Jennings.

On agent-based software engineering.

Artificial Intelligence, 117:277–296, 2000.



Arthur Koestler.

The Ghost in the Machine.

Arkana, London, 1967.



Reid G. Smith.

The contract net: A formalism for the control of distributed problem solving.

In Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-77), 1977.



Franco Zambonelli, Nicholas R. Jennings, and Michael Wooldridge.

Developing multiagent systems: The Gaia methodology.

ACM Trans. Softw. Eng. Methodol., 12(3):317–370, 2003.