



Regelbasierte Simulation und Agentensysteme

Jens Müller

Seminar Studienprojekt VC3

11.12.2007

Motivation

- Lösen von Problemen oder Modellierung der Wirklichkeit
- Agenten kombinieren die Flexibilität der sozialen Interaktion mit den Vorteilen verteilter und konkurrierender Problemlösung.
- Modellierung von Wirtschaftsmärkten: Viele einzelne unabhängige Entscheidungen haben Effekte, die eine zentrale Einheit nicht vorhersagen kann.
- Stuttgart täglich mit frischem Brot versorgen – für zentrales Planungsmodul nicht leicht. Unabhängig zielorientiert handelnde Bäckergeschäfte (Agenten), mit jeweils begrenztem Wissen, schaffen dies täglich.

Übersicht

1. Agenten
 1. Spezifikation
 2. Software-Agent
 3. Multiagentensysteme
 4. Arbeitsumgebung eines Agenten
 5. Agentenprogramme
2. Regelbasierte Simulation
 1. Expertensysteme
 2. Wissensrepräsentation durch logische Formeln
 3. Schließen
3. Fallbeispiel Agentenbasierter Markt
 1. Verhandlungsbasis
 2. Bilaterales Verhandlungsprotokoll
 3. Multilaterales Verhandlungsprotokoll

1. Agenten

- Ein Agent ist alles, was seine Umgebung über Sensoren wahrnimmt und diese über Aktuatoren beeinflusst.

Rationaler Agent

- Verhält sich so, dass er das beste erwartete Ergebnis erhält.
- Definition eines Erfolgskriteriums – Maximierung einer Leistungsbewertung
- Rationalität heißt nicht Allwissenheit und damit Perfektion.

1.1 Spezifikation eines Agenten

- Die Spezifikation eines Agenten geschieht also durch die Festlegung der **Sensoren, Aktuatoren**, externen **Umgebung** und des **Erfolgskriteriums**
- *PEAS*: Performance Measure, Environment, Actuators and Sensors

Beispiele für Agenten

| Agententyp: | Taxifahrer | Interaktiver Englischlehrer |
|---------------------|--|--|
| Leistungsbewertung: | Vom Fahrgast gewünschtes Ziel sicher und schnell erreichen, dabei der Straßenverkehrsordnung gehorchen, eine angenehme Fahrweise und maximale Gewinne einfahren. | Punktzahl des Schülers beim Abschlusstest maximieren |
| Umgebung: | Straßen, Verkehr, Fußgänger, Fahrgäste | Mehrere Schüler. Lehrer, der Prüfung erstellt |
| Aktuatoren: | Lenkrad, Blinker, Hupe, Pedale, Sprachkommunikation mit Fahrgast | Anzeigen von Übungen und Korrekturen, Aussprachhilfe |
| Sensoren: | Kameras, Abstandsmesser, Tachometer, GPS, Motorsensoren, Tastatur | Tastatureingabe, Spracherkennung |

1.2 Software-Agent

Computerprogramm mit Problemlösern, die in interaktive Umgebungen eingebettet und zu flexiblen, autonomen und sogar sozial organisierten Aktionen fähig sind, die auf vordefinierte Ziele ausgerichtet sind.

Software-Agenten sind, im Gegensatz zu normaler Software:

- Autonom
- Flexibel (zugänglich und proaktiv)
- Sozial
- Mobil

1.3 Multiagentensysteme

- Ein einzelner Agent hat in komplexen Systemen meist zu wenig Informationen, einen eingeschränkten Blickwinkel oder zu wenig Fertigkeiten um das Problem alleine zu lösen.
- Umgang der Agenten miteinander:
 - Kooperativ: gemeinsame Teilziele, Aufgaben werden aufgeteilt und delegiert
 - Konkurrierend: handeln im eigenen Interesse und die Maximierung der Leistungsbewertung eines Agenten beeinflusst die anderer negativ
 - Mischformen – verhandeln und Kompromisse eingehen

Probleme und Eigenschaften von Multiagentensystemen

- Dekomposition umfangreicher Probleme auf mehrere parallel zu bearbeitende Teilprobleme
- Verteilung beschränkter Ressourcen
- Keine globale Steuerungsinstanz: Obwohl alle Agenten Aktionen ausführen, die lokal sinnvoll erscheinen, kann das übergeordnete System schädliches oder oszillierendes Verhalten zeigen
- Kommunikationsprotokoll und Agentenkommunikationssprache
- Direkte Kommunikation oder über Blackboards

1.4 Arbeitsumgebung eines Agenten

- Grad der Beobachtbarkeit

Teilweise beobachtbar: Teile der Umgebung für die Sensoren unzugänglich oder die Sensoren sind ungenau.

Vollständig beobachtbar: Kein interner Zustand als Erinnerung nötig

1.4 Arbeitsumgebung eines Agenten

- Deterministisch / Stochastisch

Deterministisch: Zukünftiger Zustand hängt nur ab vom bisherigen Zustand und den vom Agenten ausgeführten Aktionen.

Stochastisch: Umgebung enthält Zufallselemente, die eine Vorhersagbarkeit unmöglich machen.

Eine nicht vollständig beobachtbare deterministische Umgebung *erscheint* Stochastisch, da die Ausgangsdaten für eventuelle Zustandsänderungen nicht bekannt sind.

1.4 Arbeitsumgebung eines Agenten

- Episodisch / sequenziell

Episodisch: Zeit in atomare Einheiten aufgeteilt. Aktionen hängen nur ab von Wahrnehmungen in dieser Episode. Die nächste Episode ist nicht abhängig von in früheren Episoden ausgeführten Aktionen.

Sequenziell: Jegliche Kurzzeitaktionen können Einfluss weit in die Zukunft haben. Längeres Vorausdenken möglich und nötig.

1.4 Arbeitsumgebung eines Agenten

- Statisch / Dynamisch

Statisch: Umgebung ändert sich nicht, während der Agent eine Entscheidung trifft.

Dynamisch: Umgebung erfordert stets neue Reaktionen und Beobachtungen

1.4 Arbeitsumgebung eines Agenten

- Diskret / Stetig (Zeit, Zustände, Wahrnehmungen und Aktionen)

Diskret: Endliche Menge von möglichen Zuständen, Zeitintervallen oder Wahrnehmungsbereichen.

Stetig: Kontinuierlicher Ablauf von Zeit, Wahrnehmungen, etc.

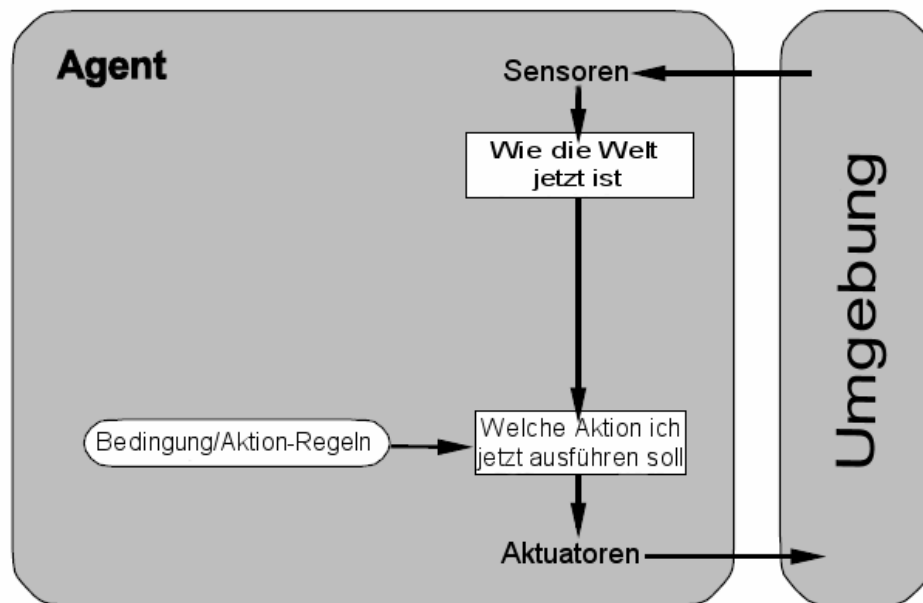
Oft Diskretisierung von stetigen Werten in den technischen Modellierungen

1.5 Agentenprogramme

- Agentenfunktion bildet Wahrnehmungs**folge** auf Aktion ab
- Als Tabelle implementiert: Sehr groß oder ∞ , nur bei beschränkter Lebensdauer machbar.
- Komprimierung der Tabelle durch Regeln, die durch deutlich weniger Programmcode dargestellt werden können. Programm bekommt aktuelle Wahrnehmung, *kann* sich alte Wahrnehmungen in internem Zustand merken und gibt eine Aktion zurück.

Einfacher Reflex-Agent

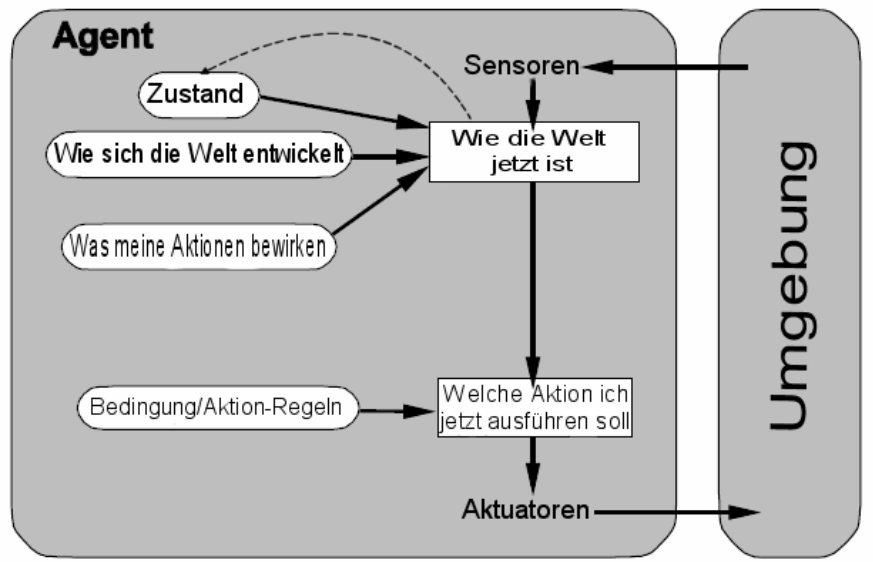
- Aktionen basieren auf Regeln, die nur von den aktuellen Wahrnehmungen abhängen, unabhängig von allen vorigen



- Einfach aber dumm. Kein Gedächtnis.

Modellbasierter Reflex-Agent

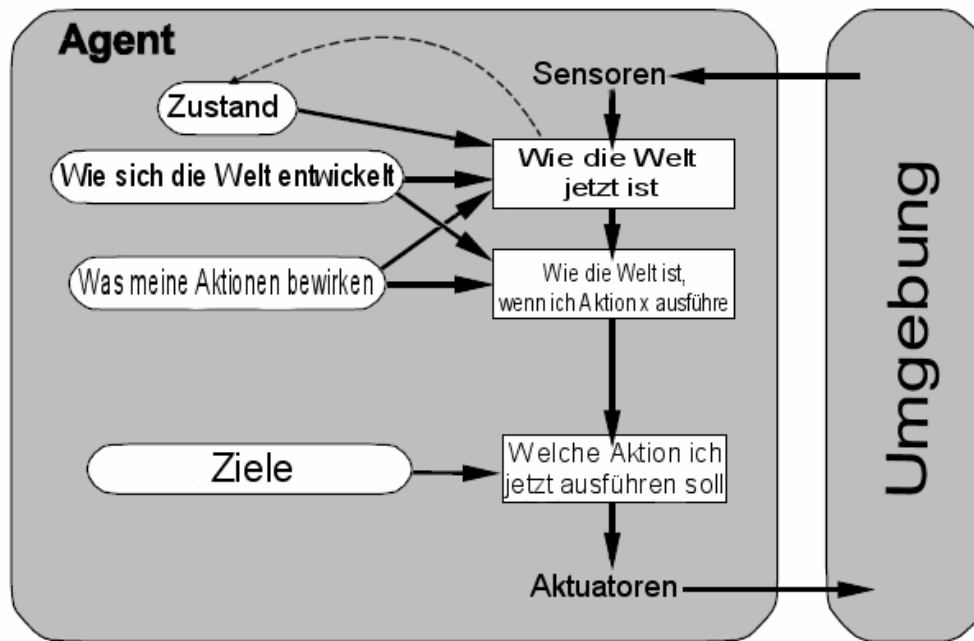
- Erweiterung um einen internen Zustand. Modell, welches Auswirkungen der Aktionen voraussagt.



- Kann auch mit teilweise beobachtbaren Umgebung zurechtkommen

Zielbasierter Agent

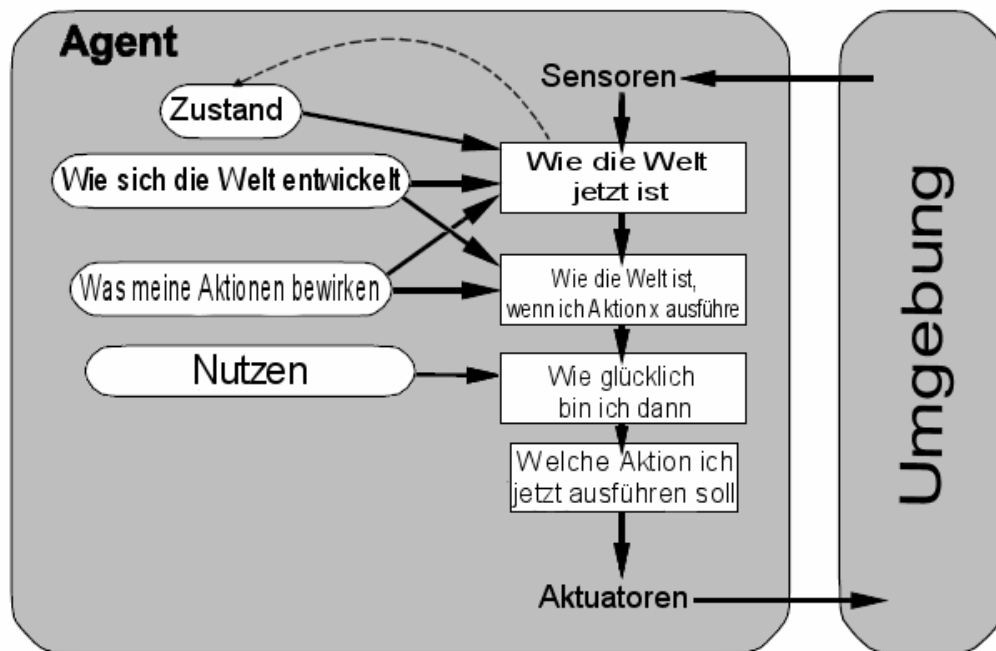
- Feste Regeln Wahrnehmung -> Aktion reichen nicht aus.
- Definition eines Ziels, Überlegung was passiert, wenn Aktion x ausgeführt.



- Flexibler. Erlaubt Suchen und Planen.

Nutzenbasierter Agent

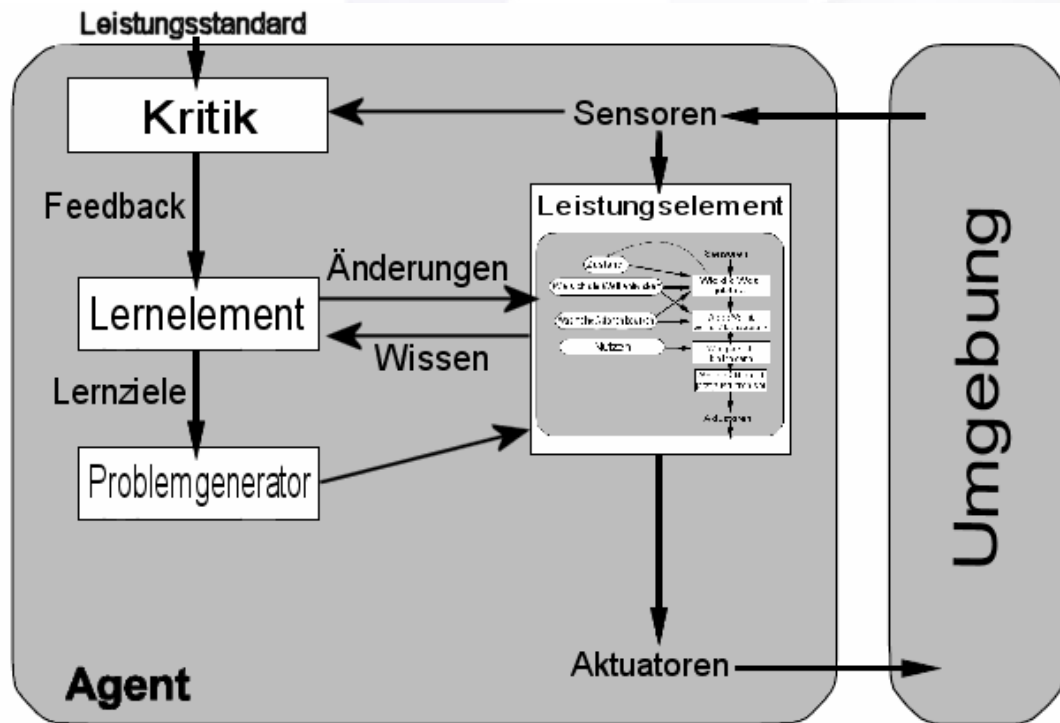
- Ziel ist rein binäre Definition
- Weg, über den das Ziel erreicht wird ist auch wichtig.
- Definition einer Nutzenfunktion, die den Zustand auf eine Zahl abbildet.



- Abwägung möglich aber viel Information im Voraus über Umgebung nötig.

Lernender Agent

- Bisher: Feste Regeln, Modelle, Ziele oder Nutzenfunktionen
- Lernender Agent verändert alle Komponenten
- Kritik gibt Rückmeldung, Problemgenerator sorgt für neue Erfahrungen



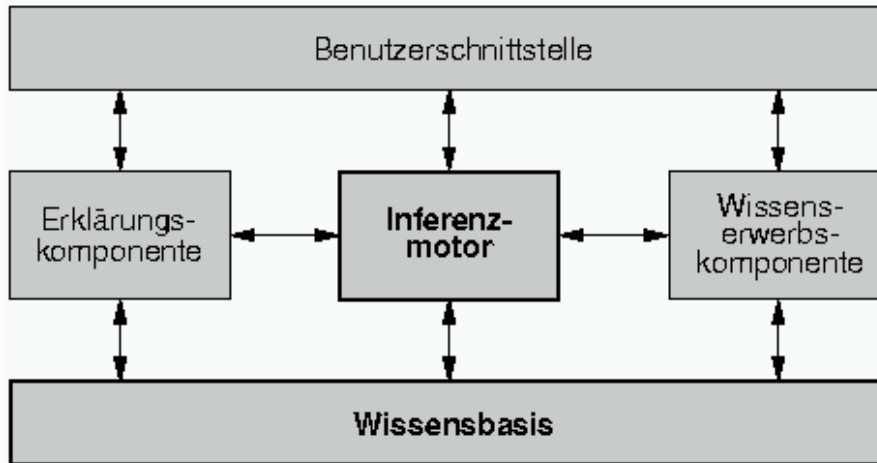
2. Regelbasierte Simulation

■ 2.1 Expertensysteme

- Nachbildung von Spezialwissen und Schlussfolgerungsfähigkeiten menschlicher Experten in einem begrenzten Aufgabengebiet.
- Automatisches Lösen von Problemstellungen
- Beispiel:
- Software zur Unterstützung medizinischer Diagnosen oder zur Analyse statistischer Daten

2.1 Expertensysteme

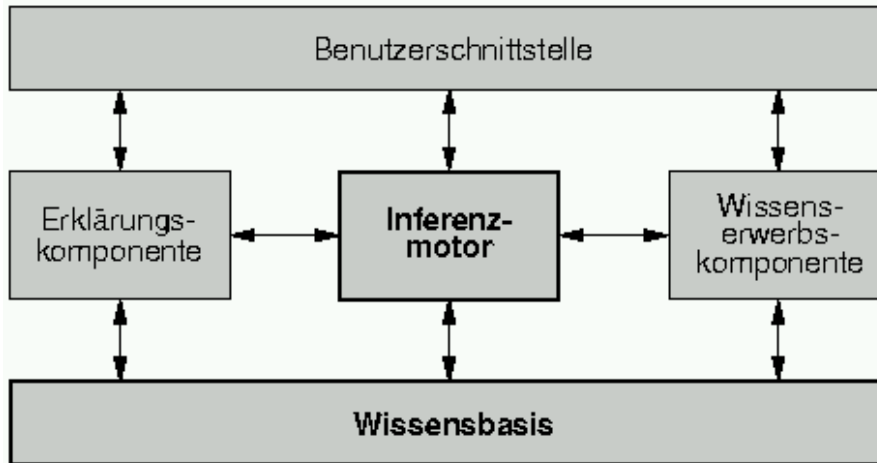
- Komponenten:



- Wissensbasis (knowledge base) enthält Fachwissen
- Inferenzmaschine zieht Schlüsse aus Fakten und Regeln
- Erklärungskomponente: wie wurde die Lösung erreicht oder warum wurde keine erreicht

2.1 Expertensysteme

- Komponenten (Fortsetzung):



- Wissenserwerbskomponente erweitert Wissensbasis und prüft Konsistenz
- Benutzerschnittstelle realisiert Interaktionen mit abfragenden Anwender

2.2 Wissensrepräsentation durch logische Formeln

- Repräsentation von Wissen in Form von aussagenlogischen oder prädikatenlogischen Formeln
- Fakten, Zusammenhänge und Auswirkungen der Fakten oder Erfahrung, welche Schlussfolgerungsmechanismen und Strategien sinnvoll sind.

2.2 Wissensrepräsentation durch logische Formeln

- Effekt-Axiome beschreiben Veränderungen durch Aktionen
- Taxibeispiel:

$$\forall v \forall t (BremseGedrueckt(t) \wedge Geschwindigkeit(v, t) \rightarrow \exists w \leq v \text{Geschwindigkeit}(w, t + 1)).$$

- Frame-Axiome beschreiben was gleich bleibt:
- Nach dem Bremsen ändert sich `FahrgastAnBord` nicht.

Aufteilung des Wissens von Agenten

- **Belief (Glauben):** Aussagen, von denen der Agent momentan glaubt, dass sie wahr sind.
- **Uncertainty (Unwissenheit):** Aussagen, die der Agent kennt, aber deren Wahrheitsgehalt er nicht kennt.
- **Desire (Wunsch):** Die Aussagen, die der Agent gerne wahr haben möchte.
- **Intention (Intention):** Aussagen, die der Agent momentan für falsch hält, aber die er wahr haben möchte.

2.3 Schließen

- Ein Satz β ist die **logische Konsequenz** eines Satzes α , wenn β in allen Welten wahr ist, in denen auch α wahr ist.
- Inferenz = Automatisches Schließen
- Algorithmus sollte vollständig und korrekt sein
- Neue Aussagen entstehen durch logische Konsequenz aus Aussagen in der Wissensbasis und aktuellen durch Wahrnehmung geltende Fakten (Modus Ponens, Deduktion)
- Vorwärtsverkettung und Rückwärtsverkettung

2.3 Schließen

- Beispiel Taxi:

Einzig Regeln:

$\text{PersonHebtDieHand} \vee \text{PersonRuftTaxi} \Rightarrow \text{PersonMöchteMitfahren}$

$\text{PersonMöchteMitfahren} \wedge \neg \text{FahrgastAnBord} \Rightarrow \text{HalteAn}$

Falls die aktuelle Wahrnehmung PersonHebtDieHand oder PersonRuftTaxi wahr macht, kann auf $\text{PersonMöchteMitfahren}$ geschlossen werden.

Falls Taxi hält, muss $\text{PersonMöchteMitfahren}$ wahr sein.

3. Fallbeispiel Agentenbasierter Markt

- Software-Agenten führen im Namen menschlicher Anwender autonom wirtschaftliche Transaktionen durch.
- Vorteil:
- Agenten können mit vielen potentiellen Handelspartnern gleichzeitig verhandeln und so einen besseren Preis erreichen.
- Durch die Schnelligkeit und Automatisierung entstehen auch deutlich weniger Transaktionskosten.
- Ein elektronischer Markt kann aus mehreren Marktplätzen z.B. für Rohstoffe, Dienstleistungen oder Personal bestehen.

3. Fallbeispiel Agentenbasierter Markt

- Nachteile:
- Schwarzer Montag 1987: Kursverluste bewirken weitere Verkäufe durch computergestützte Handelssysteme. Rückkopplung und gegenseitiges Hochschaukeln führt zum größten Kursverlust an einem Tag an der New Yorker Börse (22%)

3. Fallbeispiel Agentenbasierter Markt

- Um Transaktionen abzuschließen, müssen Agenten miteinander verhandeln
- Agenten, die für unterschiedliche Unternehmen arbeiten, verhandeln automatisiert miteinander
- Jeder Agent hat eine Startverteilung an Ressourcen vor der Transaktion sowie eine nur ihm bekannte Zielverteilung vorgegeben, die er durch die Teilnahme am Markt erreichen möchte.
- Agenten beobachten den Markt und führen Transaktionen durch, wenn bei allen beteiligten Agenten dadurch der Nutzen erhöht wird.

3. Fallbeispiel Agentenbasierter Markt

- Beispiel: Koordinationsmechanismus im **Personalmarkt**
- Direkte Verhandlung von Agenten der personalsuchenden Unternehmen und Agenten der Bewerber
- Zeitschranken für den Abschluss oder Abbruch der Verhandlung
- Unvollständiges Wissen über Ziele und Strategien der anderen Agenten

3.1 Verhandlungsbasis

- Zu verhandeln sind Stundenlohn (s), Arbeitsstunden pro Woche (h) und die Dauer der Mindestanstellungszeit (d)
= Verhandlungsattribute
- Vorgegeben sind Produktattribute
 - Des Bewerbers (Alter, Fähigkeiten)
 - Des Arbeitgebers (Betriebsklima, Renommée, Lage)
- Angebot: Vektor über die Verhandlungsattribute
- $x^i = (x^i_s, x^i_h, x^i_d)$ vom Bewerber zum Zeitpunkt t_i empfangen
- $y^i = (y^i_s, y^i_h, y^i_d)$ vom Unternehmen zum Zeitpunkt t_i empfangen

3.1 Verhandlungsbasis

- Beide haben minimale und maximale Vorstellungen bezüglich der Konditionen (auch unendlich)

$$s_{\text{Min}}^n \leq x_s^i \leq s_{\text{Max}}^n, h_{\text{Min}}^n \leq x_h^i \leq h_{\text{Max}}^n, d_{\text{Min}}^n \leq x_d^i \leq d_{\text{Max}}^n$$

$$s_{\text{Min}}^g \leq y_s^i \leq s_{\text{Max}}^g, h_{\text{Min}}^g \leq y_h^i \leq h_{\text{Max}}^g, d_{\text{Min}}^g \leq y_d^i \leq d_{\text{Max}}^g$$

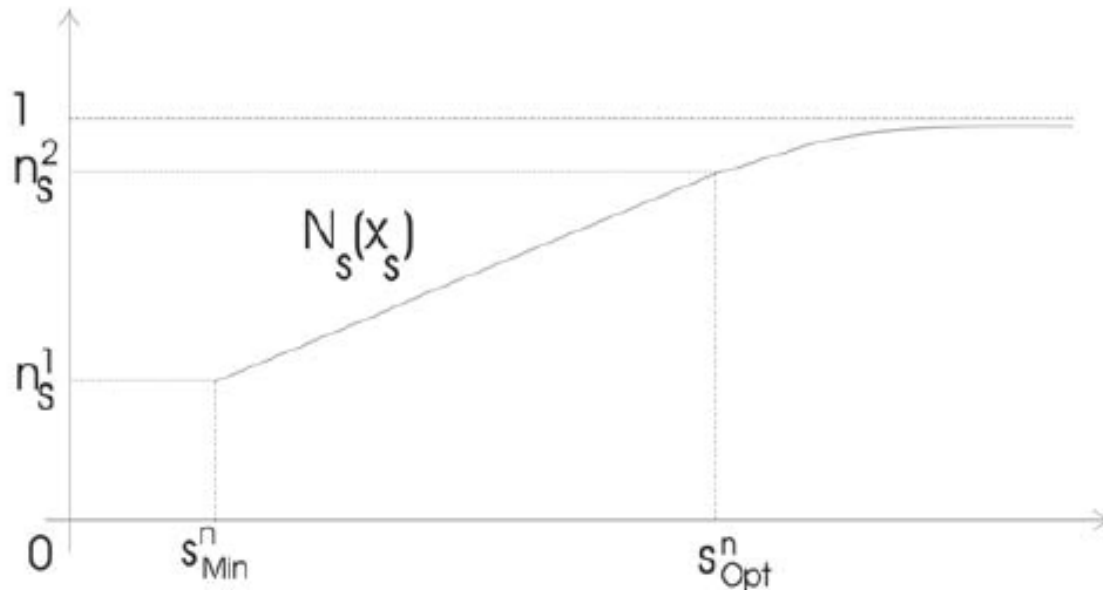
- In diesen Bereichen haben verschieden hohe Werte verschieden hoher Nutzen

3.1 Verhandlungsbasis

- Nutzenfunktionen für Verhandlungsattribute:

$$N_s : [s_{\text{Min}}^n, s_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1], \quad N_h : [h_{\text{Min}}^n, h_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1], \quad N_d : [d_{\text{Min}}^n, d_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1],$$
$$G_s : [s_{\text{Min}}^g, s_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1], \quad G_h : [h_{\text{Min}}^g, h_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1], \quad G_d : [d_{\text{Min}}^g, d_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1]$$

Nutzenfunktion des Bewerbers für den Stundenlohn

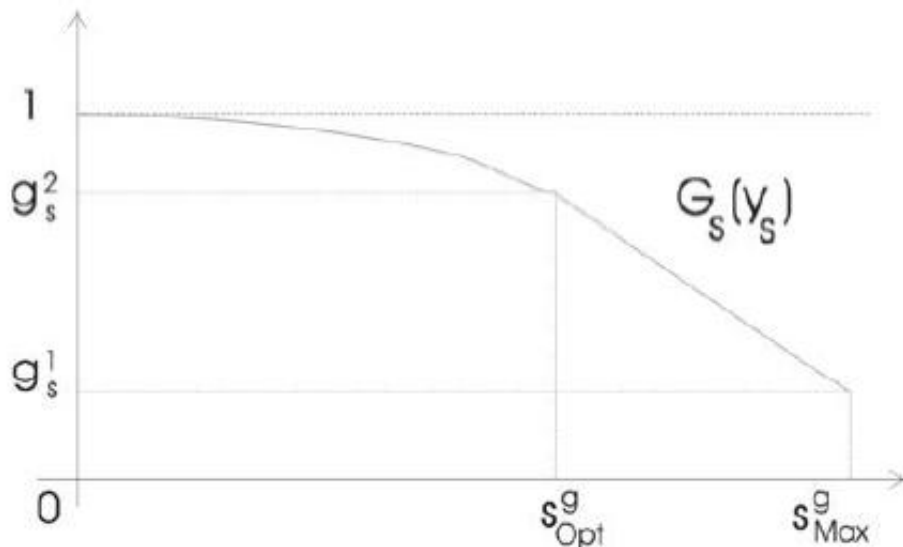


3.1 Verhandlungsbasis

- Nutzenfunktionen für Verhandlungsattribute:

$$N_s : [s_{\text{Min}}^n, s_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1], \quad N_h : [h_{\text{Min}}^n, h_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1], \quad N_d : [d_{\text{Min}}^n, d_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1],$$
$$G_s : [s_{\text{Min}}^g, s_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1], \quad G_h : [h_{\text{Min}}^g, h_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1], \quad G_d : [d_{\text{Min}}^g, d_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1]$$

Nutzenfunktion des Arbeitgebers für den Stundenlohn

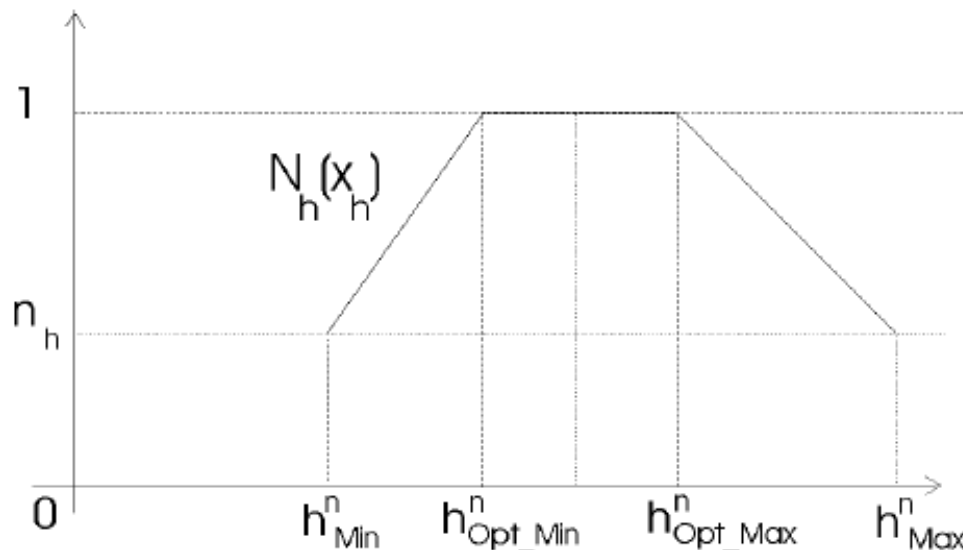


3.1 Verhandlungsbasis

- Nutzenfunktionen für Verhandlungsattribute:

$$N_s : [s_{\text{Min}}^n, s_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1], \quad N_h : [h_{\text{Min}}^n, h_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1], \quad N_d : [d_{\text{Min}}^n, d_{\text{Max}}^n] \rightarrow [0, 1],$$
$$G_s : [s_{\text{Min}}^g, s_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1], \quad G_h : [h_{\text{Min}}^g, h_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1], \quad G_d : [d_{\text{Min}}^g, d_{\text{Max}}^g] \rightarrow [0, 1]$$

Mögliche Nutzenfunktion für die Arbeitsstunden pro Woche und der Mindestanstellungszeit



3.1 Verhandlungsbasis

- Unterschiedliche Gewichtungen der Verhandlungsattribute

$$\omega_s^n, \omega_h^n, \omega_d^n, \omega_s^g, \omega_h^g, \omega_d^g \quad \omega_s^n + \omega_h^n + \omega_d^n = 1 = \omega_s^g + \omega_h^g + \omega_d^g$$

- Gesamtnutzen eines Angebotes

für den Bewerber:

$$N(x^i) = \omega_s^n N_s(x_s^i) + \omega_h^n N_h(x_h^i) + \omega_d^n N_d(x_d^i)$$

für den Arbeitgeber:

$$G(y^i) = \omega_s^g G_s(y_s^i) + \omega_h^g G_h(y_h^i) + \omega_d^g G_d(y_d^i)$$

3.2 Bilaterales Verhandlungsprotokoll

- Verhandlung: Folge von Angeboten und Gegenangeboten

$x^0, y^1, x^2, y^3, x^4, \dots$

- Beide Seiten beginnen mit der Berechnung der Verhandlungsattribute, mit größtem Nutzen, also:

$$x^0 = (s_{\text{Opt}}^g, h_{\text{Opt}}^g, d_{\text{Opt}}^g)$$

$$y^0 = (s_{\text{Opt}}^n, h_{\text{Opt}}^n, d_{\text{Opt}}^n)$$

- Der Arbeitgeberagent sendet sein Angebot

3.2 Bilaterales Verhandlungsprotokoll

Nach dem Empfangen eines Angebotes x^i , hat der Bewerberagent folgende Möglichkeiten

- Angebot annehmen, wenn $N(x^i) \geq N(y^i)$, wobei y^i das aktuelle Angebot des Bewerbers ist
- Verhandlung abbrechen, wenn $t_i > t_{\text{Max}}^n$
- ein Gegenangebot y^{i+1} machen, sonst.

Die Handlungsalternativen des Arbeitgebers sind genau analog.

3.2 Bilaterales Verhandlungsprotokoll

- Gegenangebot:
- Vektorfunktion (=Verhandlungsstrategie) liefert Gegenangebot

$$F(t, S_m, S_n) = (f_s(t, S_m, S_n), f_h(t, S_m, S_n), f_d(t, S_m, S_n))$$

$$f : [t_{Init}, t_{Max}] \rightarrow [f_{Opt}, f_{Max}] \quad f(t) = f_{Opt} + \left(\frac{t - t_{Init}}{t_{Max} - t_{Init}} \right)^p (f_{Max} - f_{Opt})$$

falls die Nutzenfunktion N_x bzw. G_x des Attributes im Intervall $[f_{Opt}, f_{Max}]$ fällt

$$f : [t_{Init}, t_{Max}] \rightarrow [f_{Min}, f_{Opt}] \quad f(t) = f_{Opt} - \left(\frac{t - t_{Init}}{t_{Max} - t_{Init}} \right)^p (f_{Opt} - f_{Min})$$

falls die Nutzenfunktion im Intervall $[f_{Min}, f_{Opt}]$ steigt.

t_{Init} : Zeitpunkt, an dem der Agent erstellt wurde

t_{Max} : Deadline der Verhandlung

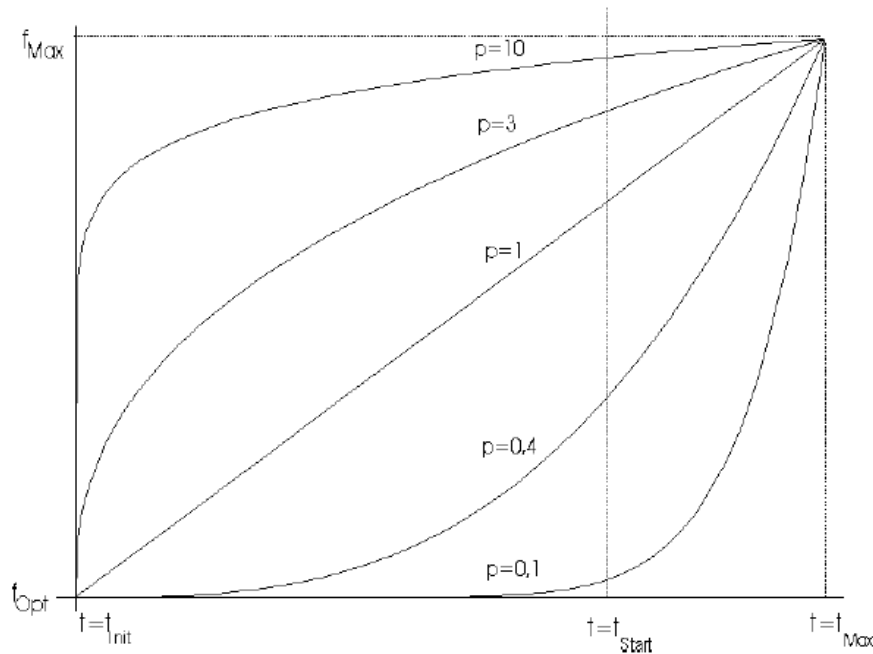
$p > 0$: Parameter für die Kompromissfähigkeit für das jeweilige Verhandlungsattribut

3.2 Bilaterales Verhandlungsprotokoll

- Gegenangebot

$$f : [t_{Init}, t_{Max}] \rightarrow [f_{Opt}, f_{Max}] \quad f(t) = f_{Opt} + \left(\frac{t - t_{Init}}{t_{Max} - t_{Init}} \right)^p (f_{Max} - f_{Opt})$$

falls die Nutzenfunktion N_x bzw. G_x des Attributes im Intervall $[f_{Opt}, f_{Max}]$ fällt



3.3 Multilaterales Verhandlungsprotokoll

- Meist nicht bilateral: Mehrere Bewerber sind an einem Unternehmen interessiert und umgekehrt
- Vorgehen des Arbeitgebers:
- Sortieren der Bewerber nach den mit einer Nutzenfunktion bewerteten Produktattributen in eine Ordnung
- Durchführen des bilateralen Verhandlungsprotokolls immer nur schrittweise entlang der Ordnung
- Wiederholen so lange bis Verhandlung erfolgreich, Zeit vorbei, oder kein Bewerber mehr da ist.

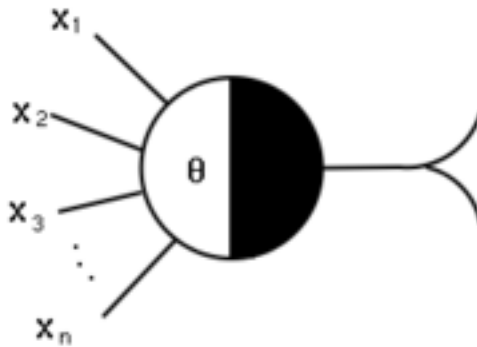
Zusammenfassung / Ende

- Agenten kombinieren die Flexibilität der sozialen Interaktion mit den Vorteilen verteilter und konkurrierender Problemlösung.
- Damit sind sie als Modelle für Probleme, bei denen mehrere verschiedene mögliche Verfahren, Einheiten und Perspektiven involviert sind, geeignet.
- VC³: Marktagenten, Simulation von Bauarbeitern, eventuell simulierte Mitspieler und Unternehmen

- Informationen über Literatur in Ausarbeitung
- Vielen Dank für die Aufmerksamkeit.

Ausblick

- Weitere Arten der Wissensrepräsentation:
- Ontologien und semantische Netze
- Künstliche Neuronale Netze



Einflussbereiche

