SIEMENS

CORPORATE TECHNOLOGY

Vorlesung Multiagentensysteme

4. INTERAKTION IN MULTIAGENTEN-SYSTEMEN

SIEMENS

CORPORATE TECHNOLOGY

Definition Multiagentensystem

- Ein System, in dem mehrere Agenten
- … durch Kommunikation interagieren
- … in einer Umgebung Aktionen ausführen
- … unterschiedliche „Einfluss-Sphären“ haben
- … durch (soziale oder organisatorische) Beziehungen miteinander verbunden sind

SIEMENS

Modell für Multiagenteninteraktion

- **In der Folge konstruieren wir ein Modell für Multiagenten-Interaktionen**
- **Wir beginnen mit dem einfachsten Fall: Wir nehmen an, dass $|Ag| = 2$. In der Folge sei $Ag = \{i, j\}$**
- **Wir nehmen weiter an, dass die Interaktionen zwischen Agenten Ergebnisse produzieren. Die Umgebung in unserem Multiagentensystem ist also durch eine Menge**

  $$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \ldots\}$$

  von Ergebniszuständen beschrieben
- **Agenten haben Präferenzen über Ergebniszustände**

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Nutzen und Präferenzen

- **Wir repräsentieren Präferenzen durch *Nutzenfunktionen:***

  $u_i: \Omega \rightarrow \Re$

  $u_j: \Omega \rightarrow \Re$
- **Nutzenfunktionen induzieren Präferenzordnungen über den Ergebniszuständen von Interaktionen**

  $\omega \geq_i \omega'$ **bedeutet** $u_i(\omega) \geq u_i(\omega')$

  $\omega >_i \omega'$ **bedeutet** $u_i(\omega) > u_i(\omega')$
- **Was ist Nutzen?**
  - **Nicht dasselbe wie „Geld“**
  - **Aber nützliche Analogie**

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Multiagenteninteraktionen (engl. Encounter)

- Umgebungsmodell
  - Agenten i und j wählen gleichzeitig eine Aktion aus. Als Ergebnis der Kombination (a_i, a_j) der Aktionen gerät die Umgebung in einen Zustand aus Ω
  - Das Ergebnis hängt von der Kombination der Aktionen ab
- Vereinfachend nehmen wir in der Folge an, dass jeder Agent nur die Wahl zwischen zwei Aktionen hat:
  - C (= Cooperate)
  - D (= Defect)
- Das Verhalten der Umgebung ist somit gegeben durch eine Zustandstransformationsfunktion
  τ: Ac x $Ac \rightarrow \Omega$

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

- Beispiel einer Zustandstransformationsfunktion:
  $\tau(D, D) = \omega_1$ $\tau(C, D) = \omega_2$ $\tau(D, C) = \omega_3$ $\tau(C, C) = \omega_4$
  Diese Umgebung ist sensitiv bezüglich der Aktionen beider Agenten
- $\tau(D, D) = \omega_1$ $\tau(C, D) = \omega_1$ $\tau(D, C) = \omega_1$ $\tau(C, C) = \omega_1$
  In dieser Umgebung hat keiner der beiden Agenten einen Einfluss
- $\tau(D, D) = \omega_1$ $\tau(D, C) = \omega_2$ $\tau(C, D) = \omega_1$ $\tau(C, C) = \omega_2$
  Diese Umgebung wird durch Agent j kontrolliert

CORPORATE TECHNOLOGY

Rationale Aktion

- **Annahme: Umgebung, die von beiden Agenten beeinflusst werden kann; Nutzenfunktionen wie folgt:**
  $\mathbf{u}_i(\omega_1) = 1;\ \mathbf{u}_i(\omega_2) = 1;\ \mathbf{u}_i(\omega_3) = 4;\ \mathbf{u}_i(\omega_4) = 4;$
  $\mathbf{u}_j(\omega_1) = 1;\ \mathbf{u}_j(\omega_2) = 4;\ \mathbf{u}_j(\omega_3) = 1;\ \mathbf{u}_j(\omega_4) = 4;$
- **Wir schreiben dies vereinfachend:**
  $\mathbf{u}_i(D, D) = 1;\ \mathbf{u}_i(D, C) = 1;\ \mathbf{u}_i(C, D) = 4;\ \mathbf{u}_i(C, C) = 4;$
  $\mathbf{u}_j(D, D) = 1;\ \mathbf{u}_j(D, C) = 4;\ \mathbf{u}_j(C, D) = 1;\ \mathbf{u}_j(C, C) = 4;$
- **Dann gilt für die Präferenzen von Agent *i* im Beispiel:**
  $$(C,C) \geq_i (C,D) >_i (D,C) \geq_i (D,D)$$
- **„*C*“ ist in diesem Fall die rationale Wahl für *i*, weil *i* alle Ergebniszustände, die sich dadurch ergeben, dass *i* die Aktion *C* wählt, über alle Zustände präferiert, die sich dadurch ergeben, dass *i* die Aktion „*D*“ wählt**

Repräsentation als Nutzenmatrix

- **Das von uns bisher beschriebene Modell ist das Basismodell der *Spieltheorie***
- **Wir können das zuvor vorgestellte Szenario als Nutzenmatrix (engl. Payoff Matrix) repräsentieren**

		i	
		Defect	***Cooperate***
	Defect	***1*** ***1***	***4*** ***1***
j	***Cooperate***	***1*** ***4***	***4*** ***4***

SIEMENS

Dominante Strategien

- Wir nennen die Entscheidungsfunktion zur Aktionsauswahl eines Agenten i seine Strategie s (entweder C oder D)
- Eine Strategie s_1 dominiert eine andere Strategie s_2 wenn Agent i jeden möglichen Ergebniszustand von s_1 über jeden möglichen Ergebniszustand von s_2 präferiert
- Ein rationaler Agent wird nie eine Strategie verfolgen, die von einer anderen Strategie dominiert wird
- D.h., dominierte Strategien können bei der Aktionsauswahl ausgeschlossen werden
- Leider gibt es nicht immer eine eindeutige Strategie, die von keiner anderen Strategie dominiert wird

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Das Nash-Gleichgewicht

- Ein wichtiges Werkzeug zur Analyse spieltheoretischer Szenarien ist der Begriff des Nash-Gleichgewichts
- Zwei Strategien s_1 und s_2 sind im Nash-Gleichgewicht, wenn:
  - Unter der Annahme, dass Agent i s_1 spielt, s_2 für j die rationale Wahl ist, UND
  - Unter der Annahme, dass Agent j s_2 spielt, s_1 für i die rationale Wahl ist
- Wenn wir zwei Strategien gefunden haben, die im Nash-Gleichgewicht sind, hat keiner der Agenten einen Anreiz, seine Strategie zu ändern
- Dies ist wünschenswert, da das Ändern von Strategien Aufwand verursacht und die Stabilität eines Systems gefährden kann

CORPORATE TECHNOLOGY

© Siemens AG - all rights reserved -
J. Müller, 2003

SIEMENS

- Die Existenz eines Nash-Gleichgewichts für ein Interaktions-szenario beantwortet somit die Frage nach der optimalen Strategieauswahl für dieses Szenario
- Aber …
  - Nicht jedes Interaktions-Szenario besitzt ein Nash-Gleichgewicht
  - Für manche Interaktionsszenarien gibt es mehr als ein Nash-Gleichgewicht

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Kompetitive und Nullsummen-Interaktionen

- Wenn die Präferenzordnungen zweier Agenten diametral sind, sprechen wir von einem streng kompetitiven Szenario:
  $\omega \geq_i \omega' \rightarrow \omega' \geq_j \omega$ UND $\omega >_i \omega' \rightarrow \omega' >_j \omega$
- Eine Interaktion heisst Nullsummen-Interaktion, wenn
  $u_i(\omega) + u_j(\omega) = 0$ für alle $\omega \in \Omega$
- Alle Nullsummeninteraktionen sind streng kompetitiv
- Ist Schach ein Nullsummen-Interaktion?
- Ist Krieg eine Nullsummen-Interaktion?

CORPORATE TECHNOLOGY

Das Gefangenendilemma

- Zwei Männern (oder Frauen) wird vorgeworfen, gemeinsam ein Verbrechen begangen zu haben.
- Sie werden in separate Zellen gesperrt, ohne die Möglichkeit zu haben, miteinander zu kommunizieren
- Der Staatsanwalt sichert ihnen folgendes zu:
  - Wenn einer gesteht und der andere leugnet, wird der geständige freigesprochen, der andere wandert für 5 Jahre ins Gefängnis
  - Wenn beide gestehen, wandern beide für drei Jahre ins Gefängnis
- Die beiden wissen weiterhin, dass sie im Falle, dass keiner gesteht, beide zu zwei Jahren Gefängnis verurteilt werden
- Was sollten die beiden tun?

Nutzenmatrix für das Gefangenendilemma

- Sei die Nutzenfunktion definiert durch 5 – #Jahre Gefängnis
- Weiterhin ist „Gestehen“ = „Defect“, „Leugnen“ = „Cooperate“

		i	
		Gestehen	*Leugnen*
j	*Gestehen*	*2*	*0*
		2	*5*
	Leugnen	*5*	*3*
		0	*3*

SIEMENS

CORPORATE TECHNOLOGY

Analyse des Gefangenendilemmas

- Intuitiv gesehen wäre Kooperation die beste Lösung, da sie den Gesamtnutzen maximiert
- Aber: Für jeden der beiden Agenten ist es die rationale Wahl, nicht zu kooperieren, da dies einen Nutzen von mindestens 2 garantiert (dagegen: 0 im Falle der Kooperation)
- Dieses Paradoxon hat fundamentale Auswirkungen: es scheint nahezulegen, dass Kooperation in Gesellschaften rationaler, selbstinteressierter Agenten nicht erreichbar
  - Abrüstungsabkommen
  - Schwarzfahrer
- Gibt es eine Möglichkeit, Kooperation zu erreichen?

SIEMENS

CORPORATE TECHNOLOGY

Gegenargumente

- Wir sind nicht alle rationale, rein selbst-interessierte Wesen ...?
  - Viele Situationen, in denen dieses Argument vorgebracht wird, sind nicht äquivalent zu dem Gefangenendilemma (z.B. externe Anreize für Kooperation)
- Menschen denken ähnlich; die beiden Gefangenen werden also rausfinden, dass Kooperation die beste Option ist ...?
  - Aber: Wenn ich dies fordere, habe ich kein Gefangenendilemma mehr
- Wenn die Interaktion wiederholt wird, wird unkooperatives Verhalten bestraft ...?

SIEMENS

Das iterierte Gefangenendilemma

- Wenn das Gefangenendilemma wiederholt gespielt wird, verliert sich der Anreiz, nicht zu kooperieren
- Resultate aus der Spieltheorie: Für das unendlich oft iterierte Gefangenendilemma ist Kooperation die rationale Strategie ☺
- Für das Gefangenendilemma mit n Iterationen, wobei $n \geq 1$ fest und allen Spielern im voraus bekannt ist, gilt dies nicht! Hier ist wiederum die nicht-kooperative Strategie die beste … ☹

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Axelrod‘s Turnier

- Fragestellung: Wenn man einen Agenten das iterierte Gefangenendilemma gegen unterschiedliche Gegner mit unterschiedliche Strategien spielen läßt …

  Welche Strategie sollte der Agent dann wählen, um seinen Gesamtnutzen zu maximieren?
- Axelrod (1984) untersuchte dieses Problem, indem er ein Computerturnier organisierte, zu dem Programme mit unterschiedlichen Strategien angemeldet werden konnten

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Strategien in Axelrod‘s Turnier

- ALL_D:
  - Kooperiere nie
- TIT-FOR-TAT:
  - In der ersten Runde: Kooperiere
  - In der n+1-ten Runde, n > 1, verhalte dich wie der Gegner in Runde n
- TESTER:
  - In der ersten Runde, kooperiere nicht. Wenn der Gegner „zurückschlägt“, d.h., auch nicht kooperiert, spiele TIT-FOR-TAT; sonst wechsele zwischen zwei Runden Kooperation und einer Runde „Defect“
- JOSS:
  - Ausnutzen „schwacher“ Gegner; spiele TIT-FOR-TAT, aber spiele zusätzlich mit 10% Wahrscheinlichkeit „Defect“

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Ergebnis

- TIT-FOR-TAT ist die einfachste Strategie (5 Zeilen Fortran-Code)
- TIT-FOR-TAT war im Turnier die erfolgreichste Strategie
- TIT-FOR-TAT ist NICHT die optimale Strategie
- TIT-FOR-TAT spielt seine Stärke in der Interaktion mit eher kooperativen Strategien aus, da es Kooperation belohnt
- Regeln für erfolgreiche Strategien im iterierten GD
  - Sei nicht neidisch
  - Beginne kooperativ und erwidere kooperatives Verhalten
  - Bestrafe unkooperatives Verhalten sofort, aber sei nicht nachtragend
  - Erwidere kooperatives Verhalten sofort

CORPORATE TECHNOLOGY

© Siemens AG - all rights reserved -
J. Müller, 2003

SIEMENS

„Game of Chicken“

- Eine weiteres gut untersuchtes soziales Dilemma. Hierbei gilt für Agent i:
  - $(D,C) \geq_i (C,C) >_i (C,D) \geq_i (D,D)$
  - D.h., die Kombination (D,D) ist das denkbar schlechteste Ergebnis

j \ *i*	*Defect*	*Cooperate*
Defect	1 / *1*	2 / *4*
Cooperate	4 / *2*	3 / *3*

- Welche Strategien stellen hier ein Nash-Gleichgewicht dar?

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Die „Hirschjagd“

- Dilemma ursprünglich formuliert von Jean-Jacques Rousseau
- „2002 Re-Mix“:

Für die letzte Vorlesung haben Sie mit einem Kommilitonen verabredet, morgens mit einer Glatze zu erscheinen. Unter den Anfeuerungsrufen der anderen Studenten schwören Sie beide, dass Sie es tun wollen.

Nachts kommen Zweifel. Was tun?

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Spieltheoretische Analyse

- **Unterschied zum Gefangendilemma:**
  - **Gegenseitige Kooperation ist das wünschenswerteste Ergebnis**
  - **Es gilt:** $(C,C) \geq_i (D,C) >_i (D,D) \geq_i (C,D)$

j \ i	*Defect*	*Cooperate*
Defect	1 / 1	0 / 2
Cooperate	2 / 0	3 / 3

- **Was sind die Nash-Gleichgewichte für die „Hirschjagd"?**

CORPORATE TECHNOLOGY

SIEMENS

Lerninhalte dieses Kapitels

- **Verständnis des spieltheoretischen Interaktionsmodells als Werkzeug zur Beschreibung und Analyse von Interaktionen in Multiagentensystemen**
- **Verständnis grundlegender Begriffe wie Rationalität, Dominanz von Strategien und Nash-Gleichgewicht im Kontext von Multiagentensystemen**
- **Verständnis elementarer sozialer Dilemmas der Spieltheorie**
- **Verständnis der Ausdrucksmöglichkeiten und Grenzen des spieltheoretischen Modells**

CORPORATE TECHNOLOGY