

Interaktionsrahmen in Multiagenten-Systemen

Michael Rovatsos

Lehrstuhl für Theoretische Informatik und Grundlagen der Künstlichen Intelligenz
Fakultät für Informatik, Technische Universität München

25. Mai 2004

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)
 - ▶ normative Vorgaben bei deren Verwendung

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)
 - ▶ normative Vorgaben bei deren Verwendung
- ▶ stößt an Grenzen bei **offenen** MAS:

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)
 - ▶ normative Vorgaben bei deren Verwendung
- ▶ stößt an Grenzen bei **offenen** MAS:
 - ▶ mitgliedsoffene MAS (wechselnde Populationen)

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)
 - ▶ normative Vorgaben bei deren Verwendung
- ▶ stößt an Grenzen bei **offenen** MAS:
 - ▶ mitgliedsoffene MAS (wechselnde Populationen)
 - ▶ potentiell egoistische oder sogar böartige Agenten

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)
 - ▶ normative Vorgaben bei deren Verwendung
- ▶ stößt an Grenzen bei **offenen** MAS:
 - ▶ mitgliedsoffene MAS (wechselnde Populationen)
 - ▶ potentiell egoistische oder sogar böartige Agenten
 - ▶ heterogenes Agenten-Design

Motivation

- ▶ herkömmliche Ansätze zur Spezifikation von Interaktions- und Kommunikationsformen in Multiagenten-Systemen (MAS):
 - ▶ Agentenkommunikationssprachen (KQML/KIF, FIPA-ACL)
 - ▶ Interaktionsprotokolle (CNP, Auktionen, etc.)
 - ▶ normative Vorgaben bei deren Verwendung
- ▶ stößt an Grenzen bei **offenen** MAS:
 - ▶ mitgliedsoffene MAS (wechselnde Populationen)
 - ▶ potentiell egoistische oder sogar böartige Agenten
 - ▶ heterogenes Agenten-Design
- ▶ Zentrale Frage: *Wie kann man sinnvoll und erfolgreich kommunizieren, wenn man nicht weiß, ob sich Agenten an eine gegebene Kommunikationssemantik halten werden?*

Der sozionische Ansatz

- ▶ Soziologie beschäftigt sich mit menschlichen Gesellschaften (hochgradig offen, was Kommunikation betrifft)

Der sozionische Ansatz

- ▶ Soziologie beschäftigt sich mit menschlichen Gesellschaften (hochgradig offen, was Kommunikation betrifft)
- ▶ Anwendbarkeit sozialtheoretischer Erkenntnisse zur Entwicklung adaptiver Kommunikationsmodelle in MAS

Der sozionische Ansatz

- ▶ Soziologie beschäftigt sich mit menschlichen Gesellschaften (hochgradig offen, was Kommunikation betrifft)
- ▶ Anwendbarkeit sozialtheoretischer Erkenntnisse zur Entwicklung adaptiver Kommunikationsmodelle in MAS
- ▶ hier: Theorien des **Symbolischen Interaktionismus** (insbes. Mead) und der Mikrosoziologie Goffmans

Der sozionische Ansatz

- ▶ Soziologie beschäftigt sich mit menschlichen Gesellschaften (hochgradig offen, was Kommunikation betrifft)
- ▶ Anwendbarkeit sozialtheoretischer Erkenntnisse zur Entwicklung adaptiver Kommunikationsmodelle in MAS
- ▶ hier: Theorien des **Symbolischen Interaktionismus** (insbes. Mead) und der Mikrosoziologie Goffmans
- ▶ Konzentration auf Mikro-Interaktionssituationen und auf kognitiven Umgang mit Interaktionsmustern

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“
 - ▶ machen soziale Strukturen der Agentenkognition zugänglich

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“
 - ▶ machen soziale Strukturen der Agentenkognition zugänglich
 - ▶ erlauben Adaption aber auch Rekonstruktion und Veränderung von Interaktionsformen

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“
 - ▶ machen soziale Strukturen der Agentenkognition zugänglich
 - ▶ erlauben Adaption aber auch Rekonstruktion und Veränderung von Interaktionsformen
- ▶ informatische Operationalisierung dieser Begriffe

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“
 - ▶ machen soziale Strukturen der Agentenkognition zugänglich
 - ▶ erlauben Adaption aber auch Rekonstruktion und Veränderung von Interaktionsformen
- ▶ informatische Operationalisierung dieser Begriffe
 - ▶ Entwicklung rahmenbasierter Agentenarchitektur

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“
 - ▶ machen soziale Strukturen der Agentenkognition zugänglich
 - ▶ erlauben Adaption aber auch Rekonstruktion und Veränderung von Interaktionsformen
- ▶ informatische Operationalisierung dieser Begriffe
 - ▶ Entwicklung rahmenbasierter Agentenarchitektur
 - ▶ Formalisierung entsprechender Kommunikationssemantik

Der sozionische Ansatz

- ▶ zentrale Begriffe: **Rahmen** und **Rahmung** (Goffman)
 - ▶ beschreiben das Interaktionswissen, dass in zwischenmenschliche Interaktionssituationen einfließt
 - ▶ Antwort auf die Frage „*was geht hier vor?*“
 - ▶ machen soziale Strukturen der Agentenkognition zugänglich
 - ▶ erlauben Adaption aber auch Rekonstruktion und Veränderung von Interaktionsformen
- ▶ informatische Operationalisierung dieser Begriffe
 - ▶ Entwicklung rahmenbasierter Agentenarchitektur
 - ▶ Formalisierung entsprechender Kommunikationssemantik
 - ▶ Entwurf geeigneter Lernalgorithmen

Die MAS-Perspektive

- ▶ Praktischer Nutzen jenseits sozionischer Ziele

Die MAS-Perspektive

- ▶ Praktischer Nutzen jenseits sozionischer Ziele
- ▶ Erlernen der strategischen Anwendung vorgegebener Interaktionsmustern

Die MAS-Perspektive

- ▶ Praktischer Nutzen jenseits sozionischer Ziele
- ▶ Erlernen der strategischen Anwendung vorgegebener Interaktionsmustern
- ▶ Konstruktion neuer Interaktionsformen aus bestehenden

Die MAS-Perspektive

- ▶ Praktischer Nutzen jenseits sozionischer Ziele
- ▶ Erlernen der strategischen Anwendung vorgegebener Interaktionsmustern
- ▶ Konstruktion neuer Interaktionsformen aus bestehenden
- ▶ Kombination aus vorgegebenem Kontextwissen und empirischer Kommunikationserfahrung

Die MAS-Perspektive

- ▶ Praktischer Nutzen jenseits sozionischer Ziele
- ▶ Erlernen der strategischen Anwendung vorgegebener Interaktionsmustern
- ▶ Konstruktion neuer Interaktionsformen aus bestehenden
- ▶ Kombination aus vorgegebenem Kontextwissen und empirischer Kommunikationserfahrung
- ▶ abstraktes Modell des „Interaktions-Reasoning“ jenseits der konkreten Formalisierung

Gliederung

Einführung

Die Agentenarchitektur InFFrA

Überblick

Interaktionsrahmen in InFFrA

Inferenzmodell

Weitere Eigenschaften

Formale Semantik & Lernalgorithmen

Experimentelle Befunde

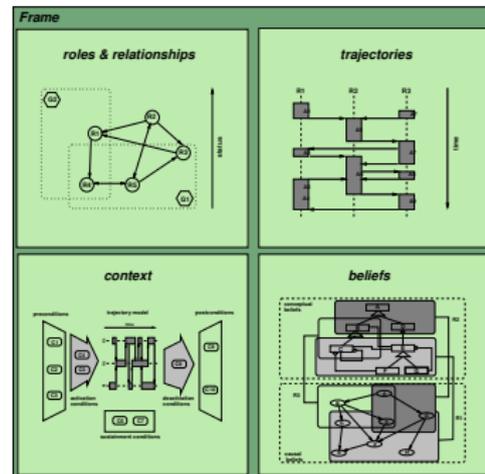
Zusammenfassung & Ausblick

Überblick

- ▶ InFFrA = **I**nteraction **F**rames and **F**raming
Architecture

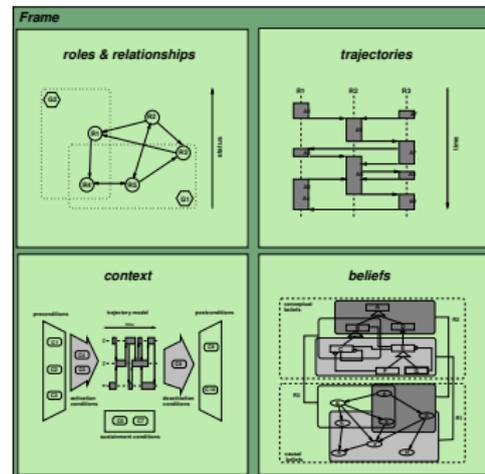
Überblick

- ▶ InFFrA = **I**nteraction **F**rames and **F**raming **A**rchitecture
- ▶ **Rahmen** = Modell einer Klasse von Interaktionssituationen
 - ▶ Trajektorien (Handlungsverläufe)
 - ▶ Rollen & Beziehungen zwischen Teilnehmern
 - ▶ Kontextbedingungen
 - ▶ Epistemische Zustände der Akteure



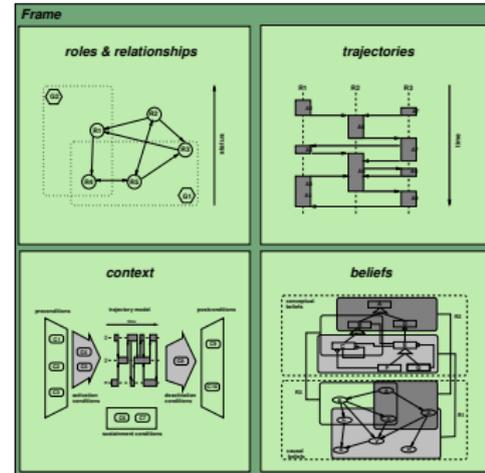
Überblick

- ▶ InFFrA = **I**nteraction **F**rames and **F**raming **A**rchitecture
- ▶ **Rahmen** = Modell einer Klasse von Interaktionssituationen
 - ▶ Trajektorien (Handlungsverläufe)
 - ▶ Rollen & Beziehungen zwischen Teilnehmern
 - ▶ Kontextbedingungen
 - ▶ Epistemische Zustände der Akteure
- ▶ **Rahmung** = Prozess der Rahmenkonstruktion und -anwendung



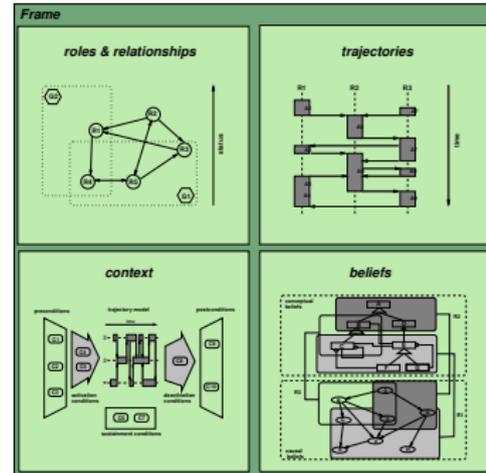
Überblick

- ▶ InFFrA = **I**nteraction **F**rames and **F**raming Architecture
- ▶ **Rahmen** = Modell einer Klasse von Interaktionssituationen
 - ▶ Trajektorien (Handlungsverläufe)
 - ▶ Rollen & Beziehungen zwischen Teilnehmern
 - ▶ Kontextbedingungen
 - ▶ Epistemische Zustände der Akteure
- ▶ **Rahmung** = Prozess der Rahmenkonstruktion und -anwendung
- ▶ Abstraktes Modell auf konzeptioneller Ebene

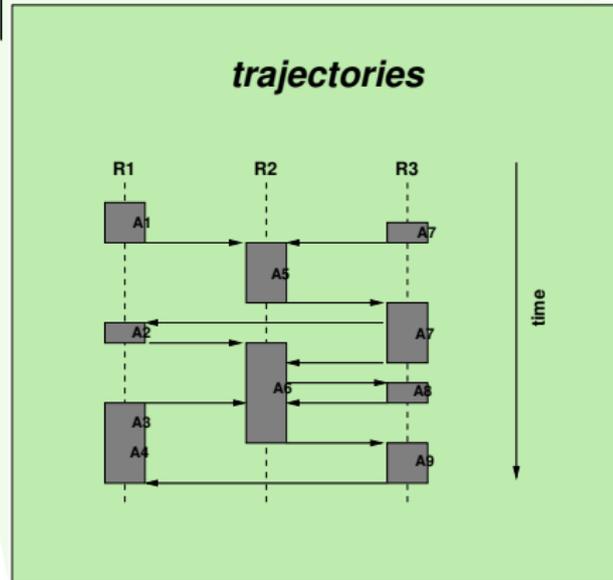
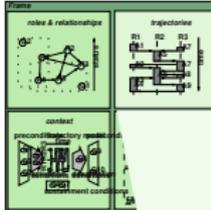


Überblick

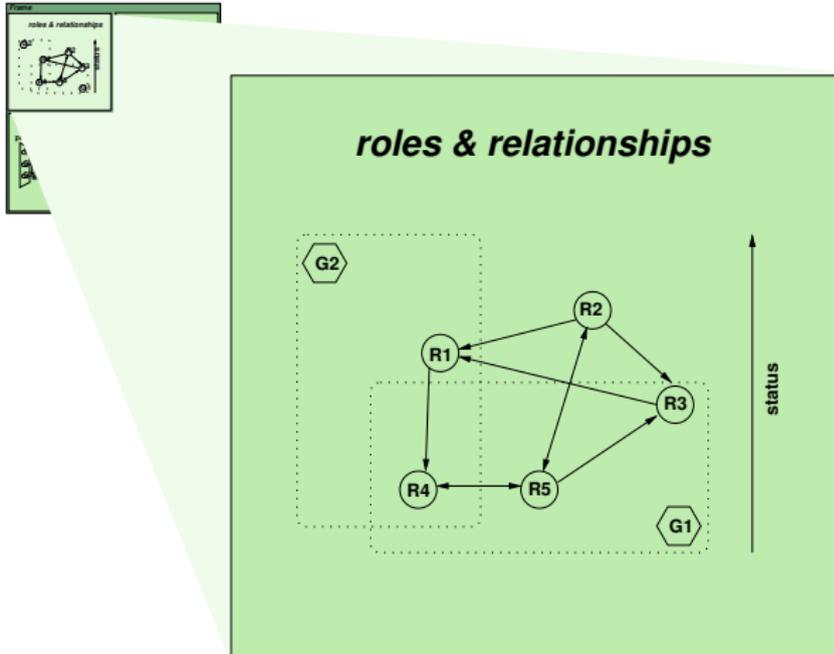
- ▶ InFFrA = **I**nteraction **F**rames and **F**raming Architecture
- ▶ **Rahmen** = Modell einer Klasse von Interaktionssituationen
 - ▶ Trajektorien (Handlungsverläufe)
 - ▶ Rollen & Beziehungen zwischen Teilnehmern
 - ▶ Kontextbedingungen
 - ▶ Epistemische Zustände der Akteure
- ▶ **Rahmung** = Prozess der Rahmenkonstruktion und -anwendung
- ▶ Abstraktes Modell auf konzeptioneller Ebene
- ▶ keine Vorgaben hinsichtlich Implementierung



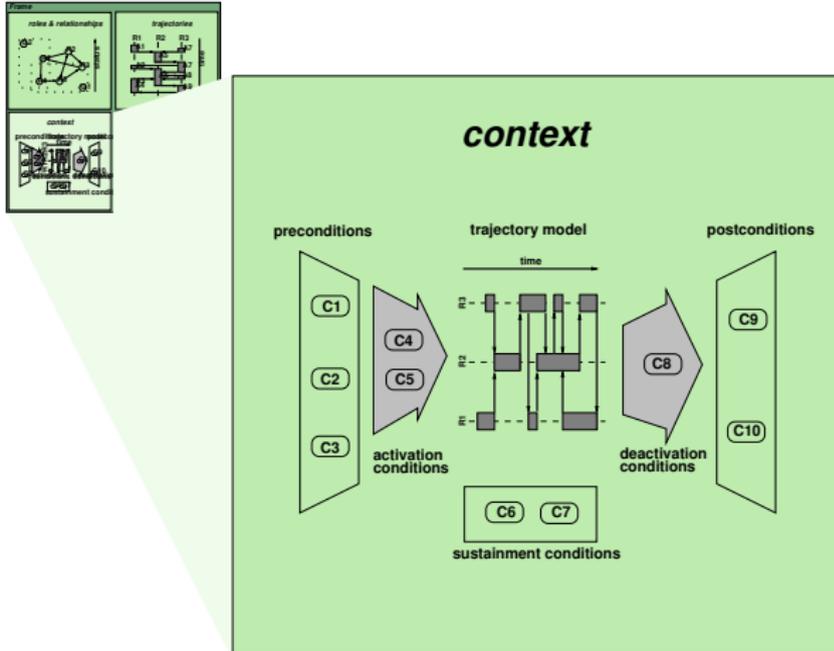
Rahmenattribute



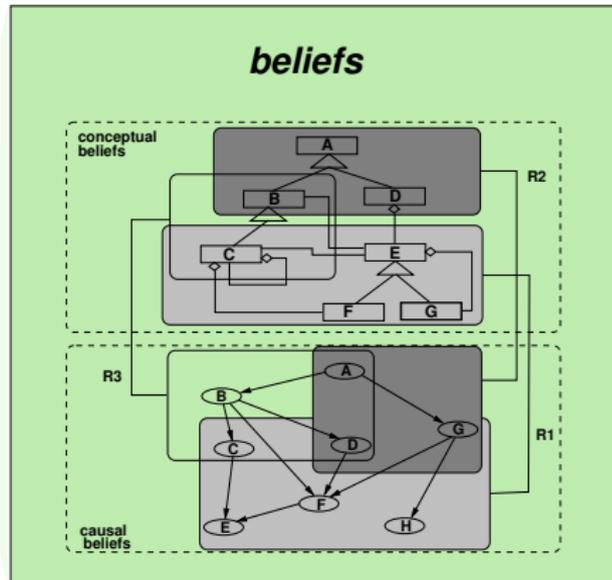
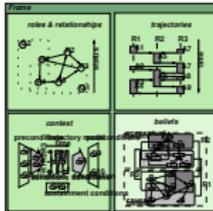
Rahmenattribute



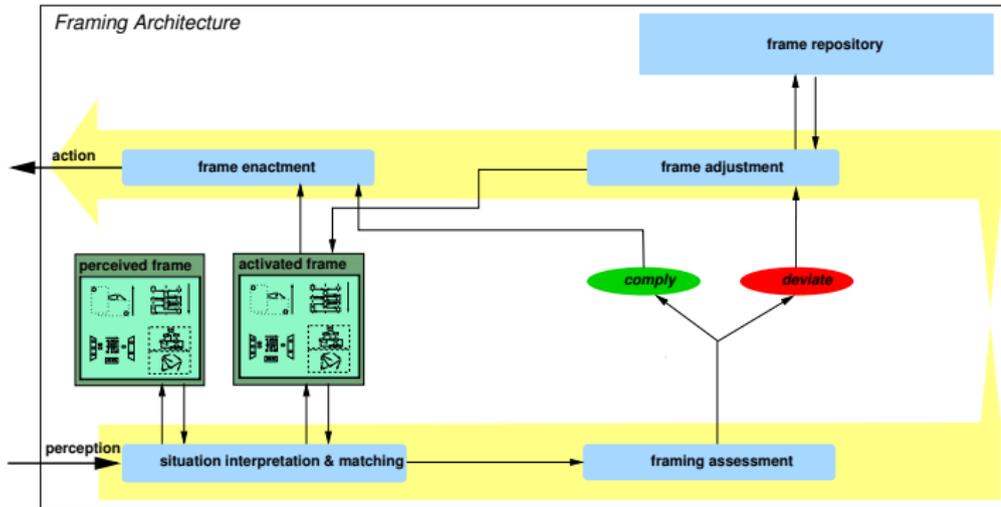
Rahmenattribute



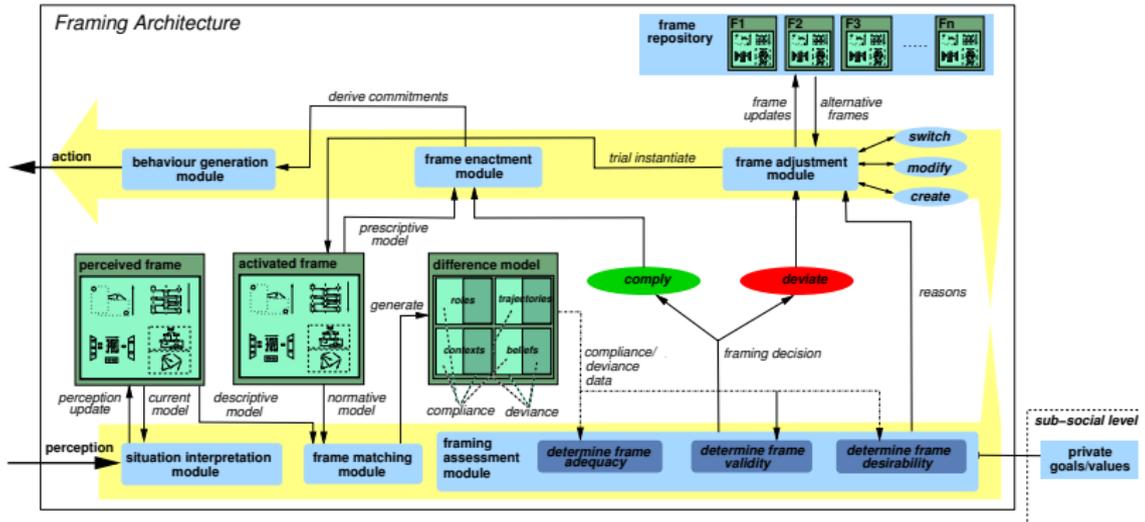
Rahmenattribute



Soziale Inferenz in InFFrA



Soziale Inferenz in InFFrA



Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen

Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen
 - ▶ Status: Beschreibung aktuellen Rahmungszustandes

Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen
 - ▶ Status: Beschreibung aktuellen Rahmungszustandes
 - ▶ Links: Beziehungen zwischen Rahmen (z.B. Alternativen, Vererbung, etc.)

Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen
 - ▶ Status: Beschreibung aktuellen Rahmungszustandes
 - ▶ Links: Beziehungen zwischen Rahmen (z.B. Alternativen, Vererbung, etc.)
 - ▶ Historie: Beschreibung der Verwendung und Entwicklung eines Rahmens

Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen
 - ▶ Status: Beschreibung aktuellen Rahmungszustandes
 - ▶ Links: Beziehungen zwischen Rahmen (z.B. Alternativen, Vererbung, etc.)
 - ▶ Historie: Beschreibung der Verwendung und Entwicklung eines Rahmens
 - ▶ „Verbreitung“: Aussagen über Wissen versch. Agenten von einem Rahmen

Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen
 - ▶ Status: Beschreibung aktuellen Rahmungszustandes
 - ▶ Links: Beziehungen zwischen Rahmen (z.B. Alternativen, Vererbung, etc.)
 - ▶ Historie: Beschreibung der Verwendung und Entwicklung eines Rahmens
 - ▶ „Verbreitung“: Aussagen über Wissen versch. Agenten von einem Rahmen
- ▶ umfassendes Modell von Interaktionskategorien und ihrer kognitiven Verarbeitung durch Agenten

Weitere Eigenschaften

- ▶ Meta-Attribute von Rahmen
 - ▶ Status: Beschreibung aktuellen Rahmungszustandes
 - ▶ Links: Beziehungen zwischen Rahmen (z.B. Alternativen, Vererbung, etc.)
 - ▶ Historie: Beschreibung der Verwendung und Entwicklung eines Rahmens
 - ▶ „Verbreitung“: Aussagen über Wissen versch. Agenten von einem Rahmen
- ▶ umfassendes Modell von Interaktionskategorien und ihrer kognitiven Verarbeitung durch Agenten
- ▶ dennoch keine „vollständige“ Agentenarchitektur (nur Interaktionsmanagement)

Gliederung

Einführung

Die Agentenarchitektur InFFrA

Formale Semantik & Lernalgorithmen

Kommunikationssysteme/Empirische Semantik

Rahmen & Rahmensemantik

Lernalgorithmen

Experimentelle Befunde

Zusammenfassung & Ausblick

m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar

m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar
- ▶ Formalisierung in m²inffra („Markov²“-InFFrA)

m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar
- ▶ Formalisierung in m²inffra („Markov²“-InFFrA)
 - ▶ Rahmentrajektorien als Sequenzen von Zweier-Konversationen (turn-taking)

m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar
- ▶ Formalisierung in m²inffra („Markov²“-InFFrA)
 - ▶ Rahmentrajektorien als Sequenzen von Zweier-Konversationen (turn-taking)
 - ▶ Darstellung beliebiger Bedingungen mittels aussagenlogischer Ausdrücke (Rollen, Kontext, epist. Zustände)

m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar
- ▶ Formalisierung in m²inffra („Markov²“-InFFrA)
 - ▶ Rahmentrajektorien als Sequenzen von Zweier-Konversationen (turn-taking)
 - ▶ Darstellung beliebiger Bedingungen mittels aussagenlogischer Ausdrücke (Rollen, Kontext, epist. Zustände)
 - ▶ Repräsentation früherer Instanzen durch Nachrichten-Pattern und Substitutionen

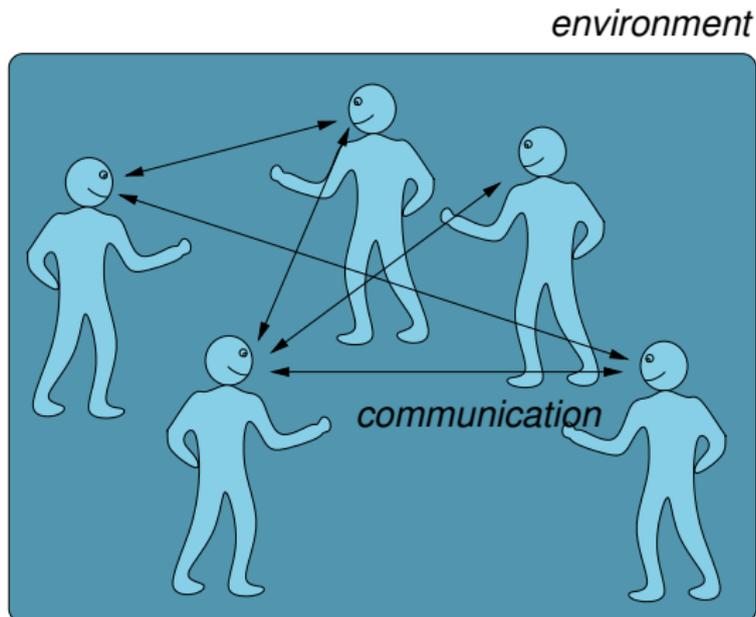
m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar
- ▶ Formalisierung in m²inffra („Markov²“-InFFrA)
 - ▶ Rahmentrajektorien als Sequenzen von Zweier-Konversationen (turn-taking)
 - ▶ Darstellung beliebiger Bedingungen mittels aussagenlogischer Ausdrücke (Rollen, Kontext, epist. Zustände)
 - ▶ Repräsentation früherer Instanzen durch Nachrichten-Pattern und Substitutionen
- ▶ Semantik basiert auf Idee der **empirischen Semantik** („Kommunikationssysteme“)

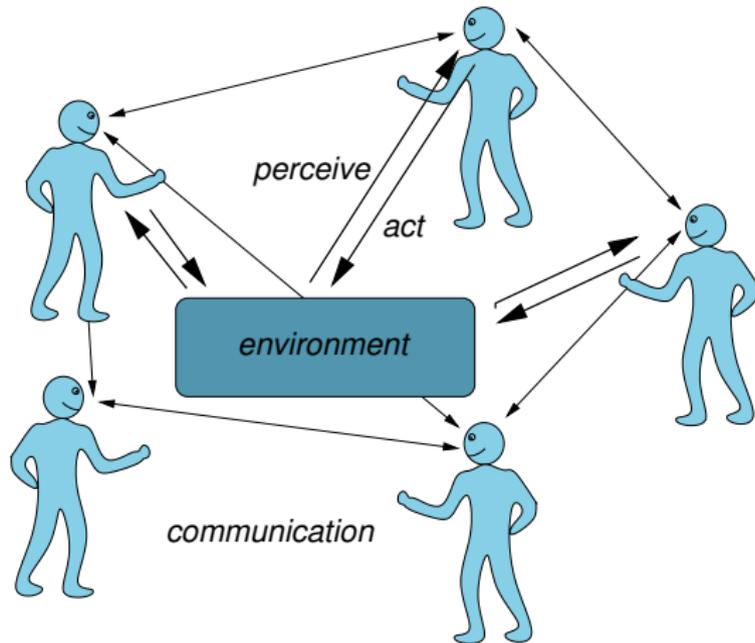
m²inffra

- ▶ InFFrA liefert abstraktes Modell, nicht direkt implementierbar
- ▶ Formalisierung in m²inffra („Markov²“-InFFrA)
 - ▶ Rahmentrajektorien als Sequenzen von Zweier-Konversationen (turn-taking)
 - ▶ Darstellung beliebiger Bedingungen mittels aussagenlogischer Ausdrücke (Rollen, Kontext, epist. Zustände)
 - ▶ Repräsentation früherer Instanzen durch Nachrichten-Pattern und Substitutionen
- ▶ Semantik basiert auf Idee der **empirischen Semantik** („Kommunikationssysteme“)
- ▶ Anwendung von Methoden des hierarchischen Reinforcement-Lernens

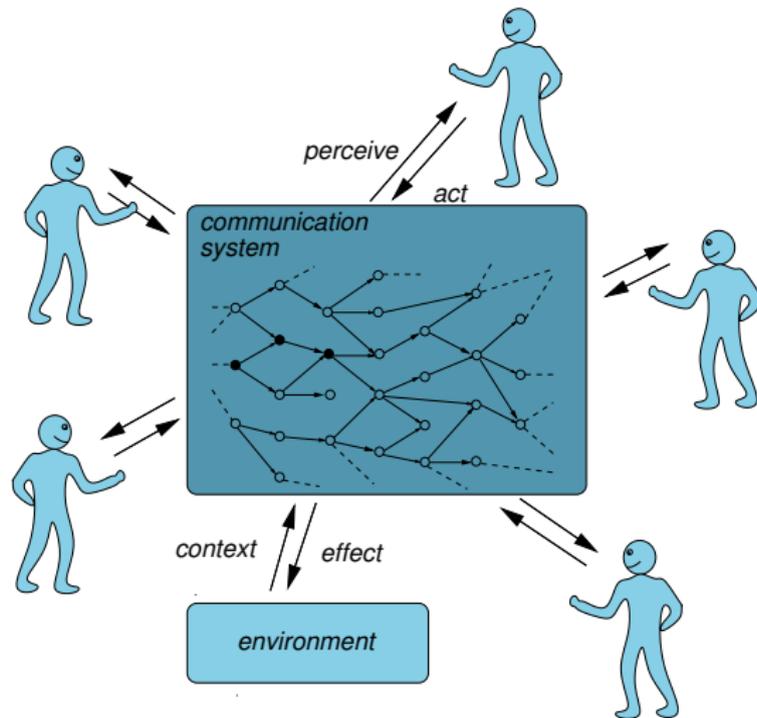
Kommunikationssysteme



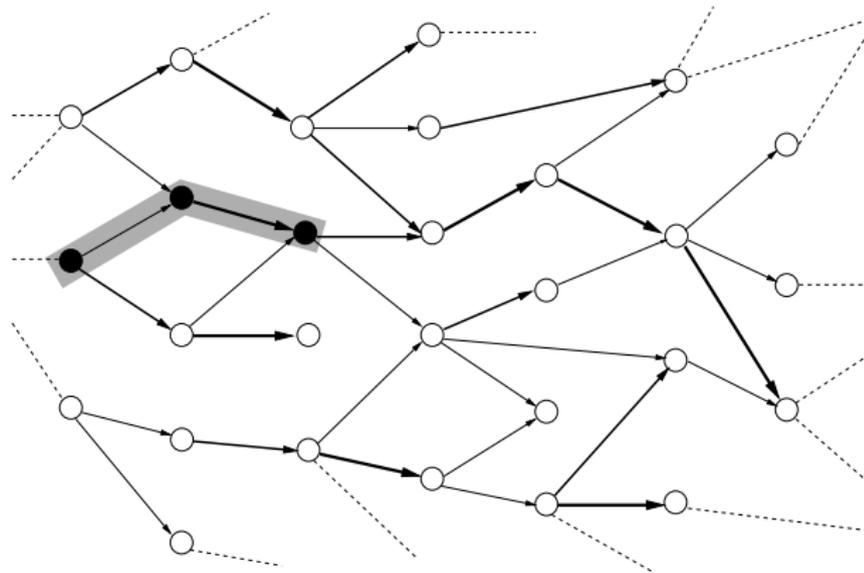
Kommunikationssysteme



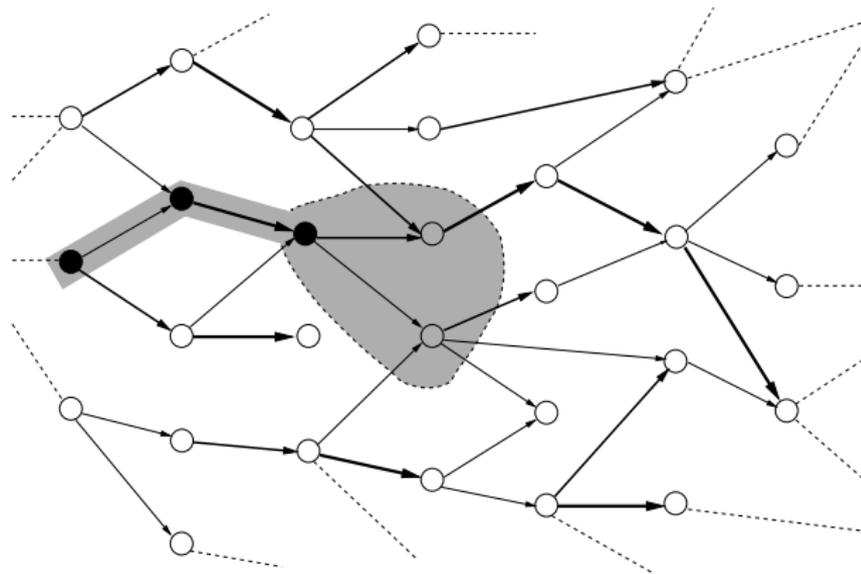
Kommunikationssysteme



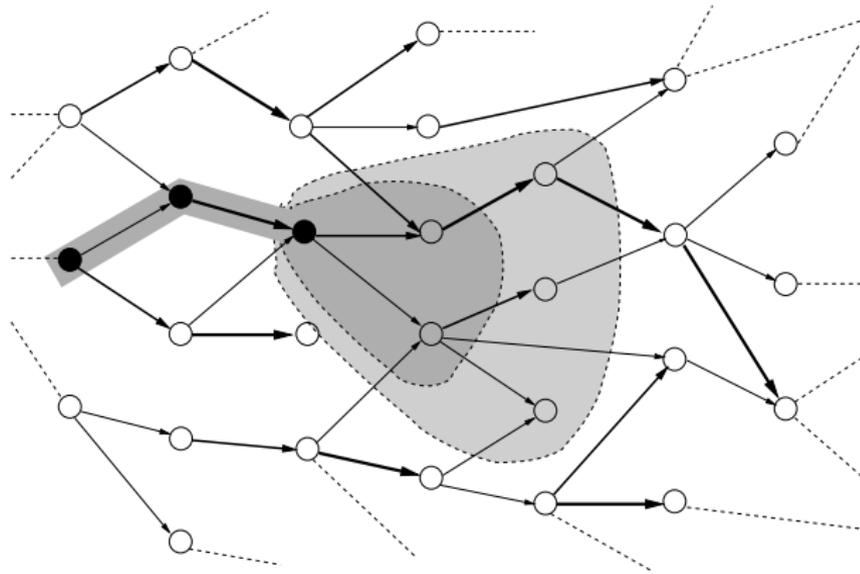
Empirische Semantik



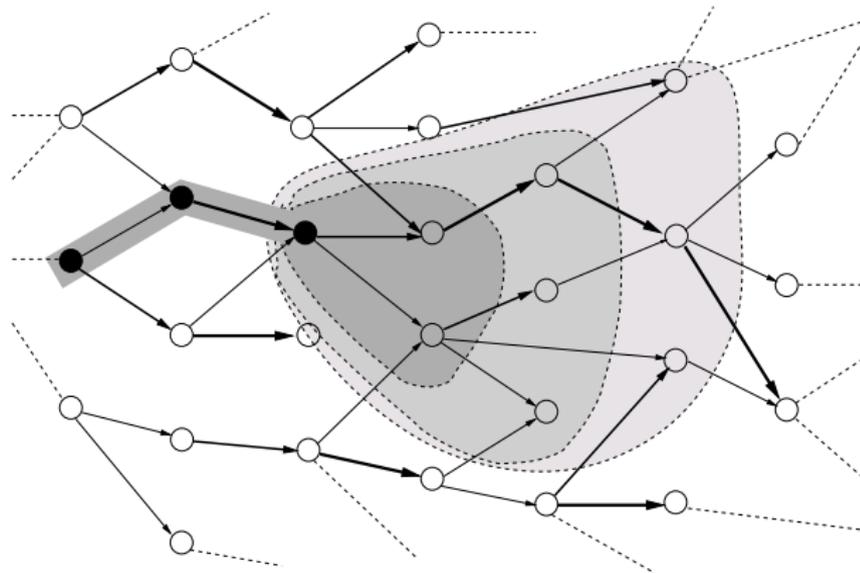
Empirische Semantik



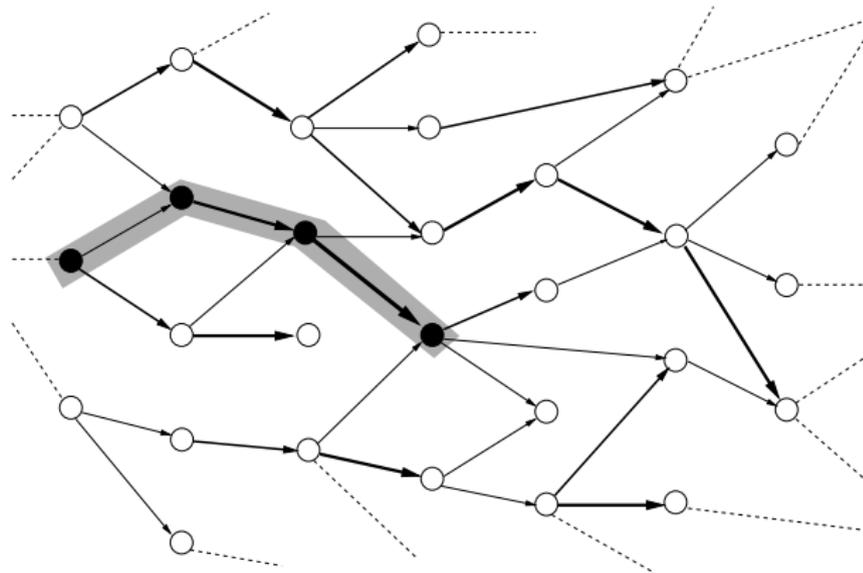
Empirische Semantik



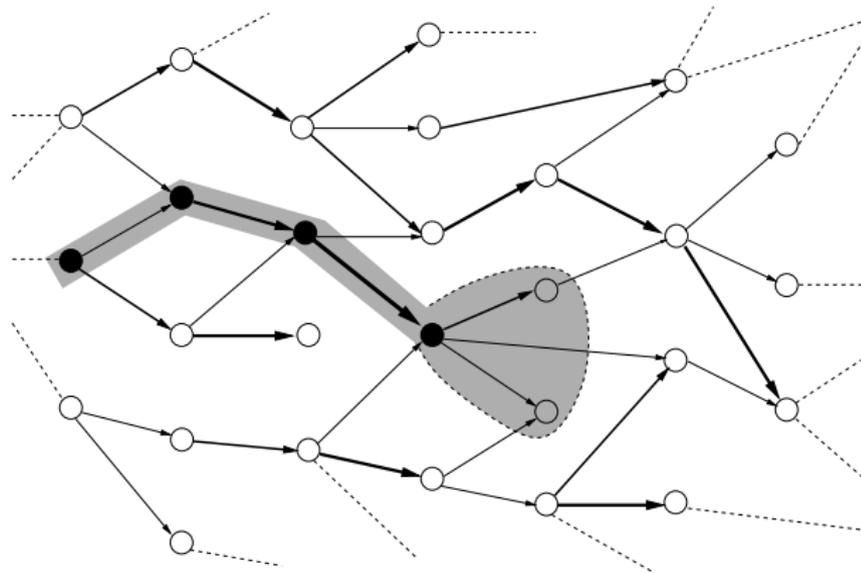
Empirische Semantik



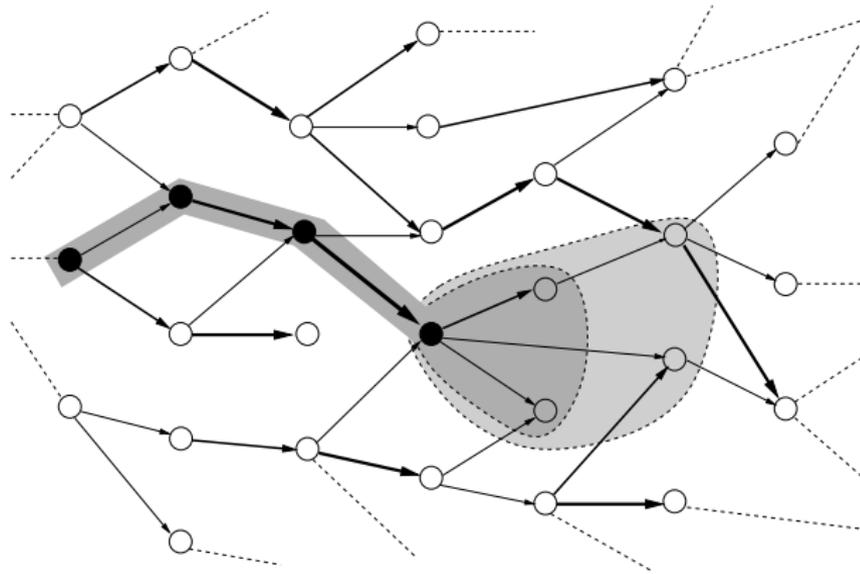
Empirische Semantik



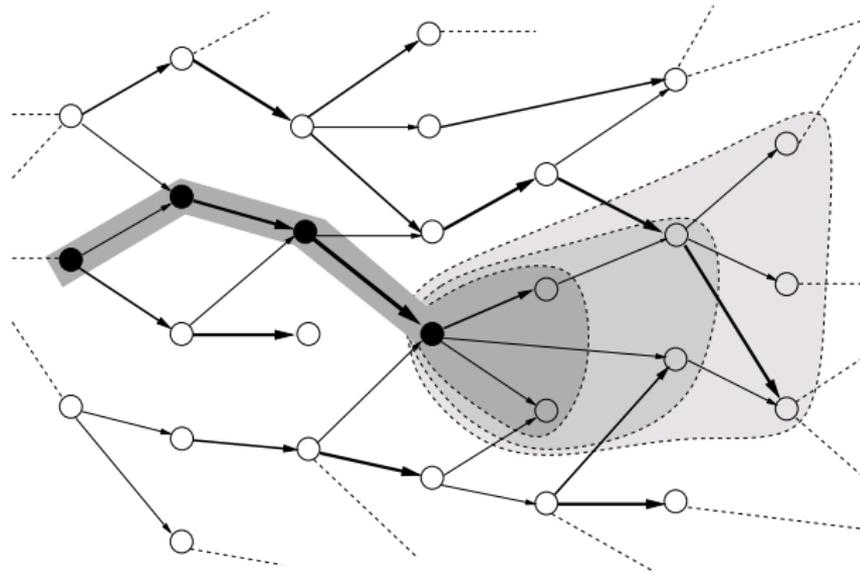
Empirische Semantik



Empirische Semantik



Empirische Semantik



Rahmen in m^2 inffra

- ▶ Rahmen $F = (T, \Theta, C, h_T, h_\Theta)$
 - ▶ T Sequenz von Nachrichten-Patterns mit Variablen
 - ▶ Θ Liste von Variablensubstitutionen
 - ▶ C Liste logischer Klauselmengen
 - ▶ h_T Trajektorienzähler, h_Θ Substitutionszähler

Rahmen in m^2 inffra

- ▶ Rahmen $F = (T, \Theta, C, h_T, h_\Theta)$
 - ▶ T Sequenz von Nachrichten-Patterns mit Variablen
 - ▶ Θ Liste von Variablensubstitutionen
 - ▶ C Liste logischer Klauselmengen
 - ▶ h_T Trajektorienzähler, h_Θ Substitutionszähler
- ▶ Beispiel:

$$F = \left\langle \left\langle \begin{array}{l} \xrightarrow{5} \text{request}(A_1, A_2, X) \xrightarrow{3} \text{accept}(A_2, A_1, X) \\ \xrightarrow{2} \text{confirm}(A_1, A_2, X) \xrightarrow{2} \text{do}(A_2, X) \end{array} \right\rangle, \right. \\ \left. \left\langle \{ \text{self}(A_1), \text{other}(A_2), \text{can}(A_1, \text{do}(A_1, X)) \}, \right. \right. \\ \left. \left. \{ \text{agent}(A_1), \text{agent}(A_2), \text{action}(X) \} \right\rangle, \right. \\ \left. \left\langle \xrightarrow{4} \langle [A_1/\text{agent}_1], [A_2/\text{agent}_2] \rangle, \right. \right. \\ \left. \left. \xrightarrow{1} \langle [A_1/\text{agent}_3], [A_2/\text{agent}_1], [X/\text{deliver_goods}] \rangle \right\rangle \right\rangle$$

Rahmensemantik

- ▶ gegeben eine Menge von Rahmen $\mathcal{F} = \{F_1, \dots, F_n\}$, ein aktuelles Dialog-Präfix w und eine aktuelle Wissensbasis KB

Rahmensemantik

- ▶ gegeben eine Menge von Rahmen $\mathcal{F} = \{F_1, \dots, F_n\}$, ein aktuelles Dialog-Präfix w und eine aktuelle Wissensbasis KB
- ▶ berechne „Anschlusswahrscheinlichkeiten“ für mögliche w'

$$P(w'|w) = \sum_{F \in \mathcal{F}, ww' = T(F)\vartheta} P(\vartheta|F, w)P(F|w)$$

wobei $\vartheta \in \Theta_{\text{poss}}(F, KB, w)$ eine „noch mögliche Substitution“ sein muss

Rahmensemantik

- ▶ gegeben eine Menge von Rahmen $\mathcal{F} = \{F_1, \dots, F_n\}$, ein aktuelles Dialog-Präfix w und eine aktuelle Wissensbasis KB
- ▶ berechne „Anschlusswahrscheinlichkeiten“ für mögliche w'

$$P(w'|w) = \sum_{F \in \mathcal{F}, ww' = T(F)\vartheta} P(\vartheta|F, w)P(F|w)$$

wobei $\vartheta \in \Theta_{\text{poss}}(F, KB, w)$ eine „noch mögliche Substitution“ sein muss

- ▶ Wahrscheinlichkeit von ϑ unter F gemäß Ähnlichkeit verteilt:

$$P(\vartheta|F) \propto \sigma(\chi, F)$$

Rahmensemantik

- ▶ Ähnlichkeit basiert auf Ähnlichkeitsmaß σ auf Nachrichten-Patterns, Häufigkeit und Kontextbedingungen:

$$\sigma(\vartheta, F) = \sum_{i=1}^{|\Theta(F)|} \overbrace{\sigma(T(F)\vartheta, T(F)\Theta(F)[i])}^{\text{Ähnlichkeit}} \overbrace{h_{\Theta(F)}[i]}^{\text{Häufigkeit}} \overbrace{c_i(F, \vartheta, KB)}^{\text{Relevanz}}$$

Rahmensemantik

- ▶ Ähnlichkeit basiert auf Ähnlichkeitsmaß σ auf Nachrichten-Patterns, Häufigkeit und Kontextbedingungen:

$$\sigma(\vartheta, F) = \sum_{i=1}^{|\Theta(F)|} \overbrace{\sigma(T(F)\vartheta, T(F)\Theta(F)[i])}^{\text{Ähnlichkeit}} \overbrace{h_{\Theta(F)}[i]}^{\text{Häufigkeit}} \overbrace{c_i(F, \vartheta, KB)}^{\text{Relevanz}}$$

- ▶ Relevanz-Funktion z.B. durch Heranziehen gültiger Bedingungsmengen:

$$c_i(F, \vartheta, KB) = 1 \Leftrightarrow KB \models C(F)[i]\Theta(F)[i]\vartheta$$

Rahmensemantik

- ▶ Ähnlichkeit basiert auf Ähnlichkeitsmaß σ auf Nachrichten-Patterns, Häufigkeit und Kontextbedingungen:

$$\sigma(\vartheta, F) = \sum_{i=1}^{|\Theta(F)|} \overbrace{\sigma(T(F)\vartheta, T(F)\Theta(F)[i])}^{\text{Ähnlichkeit}} \overbrace{h_{\Theta(F)}[i]}^{\text{Häufigkeit}} \overbrace{c_i(F, \vartheta, KB)}^{\text{Relevanz}}$$

- ▶ Relevanz-Funktion z.B. durch Heranziehen gültiger Bedingungsmengen:

$$c_i(F, \vartheta, KB) = 1 \Leftrightarrow KB \models C(F)[i]\Theta(F)[i]\vartheta$$

- ▶ nicht alle w' durch \mathcal{F} abgedeckt \Rightarrow Zuweisung kleiner Restwahrscheinlichkeit an alle nicht abgedeckten w'

Markov'sche Entscheidungsprozesse (MDPs)

- ▶ formales Modell sequentieller Entscheidungsprozesse

Markov'sche Entscheidungsprozesse (MDPs)

- ▶ formales Modell sequentieller Entscheidungsprozesse
- ▶ Definition:
 - ▶ \mathcal{S} Zustandsmenge
 - ▶ \mathcal{A}_s Aktionsmenge für $s \in \mathcal{S}$
 - ▶ $p_{ss'}^a = P(s_{t+1} | s_t = s, a_t = a)$ Zustandsübergangmodell
 - ▶ $r_s^a = E(r_{t+1} | s_t = s, a_t = a)$ (erwarteter) Reward bei Ausführung von a in s

Markov'sche Entscheidungsprozesse (MDPs)

- ▶ formales Modell sequentieller Entscheidungsprozesse
- ▶ Definition:
 - ▶ \mathcal{S} Zustandsmenge
 - ▶ \mathcal{A}_s Aktionsmenge für $s \in \mathcal{S}$
 - ▶ $p_{ss'}^a = P(s_{t+1} | s_t = s, a_t = a)$ Zustandsübergangmodell
 - ▶ $r_s^a = E(r_{t+1} | s_t = s, a_t = a)$ (erwarteter) Reward bei Ausführung von a in s
- ▶ Markov-Eigenschaft: $p_{ss'}^a$ und r_s^a hängen nur von s ab

Markov'sche Entscheidungsprozesse (MDPs)

- ▶ formales Modell sequentieller Entscheidungsprozesse
- ▶ Definition:
 - ▶ \mathcal{S} Zustandsmenge
 - ▶ \mathcal{A}_s Aktionsmenge für $s \in \mathcal{S}$
 - ▶ $p_{ss'}^a = P(s_{t+1} | s_t = s, a_t = a)$ Zustandsübergangmodell
 - ▶ $r_s^a = E(r_{t+1} | s_t = s, a_t = a)$ (erwarteter) Reward bei Ausführung von a in s
- ▶ Markov-Eigenschaft: $p_{ss'}^a$ und r_s^a hängen nur von s ab
- ▶ Agentenverhalten wird mittels (stochastischer, diskreter) sog. *Policy* $\pi : \mathcal{S} \times \bigcup_s \mathcal{A}_s \rightarrow [0, 1]$ modelliert

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen)

- ▶ Ziel: Erlernen einer optimalen Policy π^* in einem MDP

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen)

- ▶ Ziel: Erlernen einer optimalen Policy π^* in einem MDP
- ▶ Optimalitätskriterium: Maximierung des erwarteten langfristigen Rewards,
d.h. $\pi^* = \arg \max_{\pi} E(\sum_{\tau=1}^{\infty} \gamma^{\tau-1} r_{t+\tau} | s_t = s, \pi)$

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen)

- ▶ Ziel: Erlernen einer optimalen Policy π^* in einem MDP
- ▶ Optimalitätskriterium: Maximierung des erwarteten langfristigen Rewards,
d.h. $\pi^* = \arg \max_{\pi} E(\sum_{\tau=1}^{\infty} \gamma^{\tau-1} r_{t+\tau} | s_t = s, \pi)$
- ▶ Problem: Dimensionalität der möglichen Zustands-Aktions-Paare

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen)

- ▶ Ziel: Erlernen einer optimalen Policy π^* in einem MDP
- ▶ Optimalitätskriterium: Maximierung des erwarteten langfristigen Rewards,
d.h. $\pi^* = \arg \max_{\pi} E(\sum_{\tau=1}^{\infty} \gamma^{\tau-1} r_{t+\tau} | s_t = s, \pi)$
- ▶ Problem: Dimensionalität der möglichen Zustands-Aktions-Paare
- ▶ mögliche Lösung: Verwendung von „Makro-Aktionen“

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen)

- ▶ Ziel: Erlernen einer optimalen Policy π^* in einem MDP
- ▶ Optimalitätskriterium: Maximierung des erwarteten langfristigen Rewards,
d.h. $\pi^* = \arg \max_{\pi} E(\sum_{\tau=1}^{\infty} \gamma^{\tau-1} r_{t+\tau} | s_t = s, \pi)$
- ▶ Problem: Dimensionalität der möglichen Zustands-Aktions-Paare
- ▶ mögliche Lösung: Verwendung von „Makro-Aktionen“
- ▶ deren Modellierung führt zu einem semi-MDP

Reinforcement Learning (Verstärkungslernen)

- ▶ Ziel: Erlernen einer optimalen Policy π^* in einem MDP
- ▶ Optimalitätskriterium: Maximierung des erwarteten langfristigen Rewards,
d.h. $\pi^* = \arg \max_{\pi} E(\sum_{\tau=1}^{\infty} \gamma^{\tau-1} r_{t+\tau} | s_t = s, \pi)$
- ▶ Problem: Dimensionalität der möglichen Zustands-Aktions-Paare
- ▶ mögliche Lösung: Verwendung von „Makro-Aktionen“
- ▶ deren Modellierung führt zu einem semi-MDP
- ▶ Übergangswahrscheinlichkeiten/Rewards hängen von *Historie* der Zustandsübergänge seit Aufruf der Makro-Aktion ab

Der Options-Ansatz

- ▶ Ansatz des **hierarchischen** RL, der gut zu m^2 inffra passt

Der Options-Ansatz

- ▶ Ansatz des **hierarchischen** RL, der gut zu m^2 inffra passt
- ▶ \mathcal{A}_s (des „Kern“-MDPs) wird um sog. „Optionen“ erweitert

Der Options-Ansatz

- ▶ Ansatz des **hierarchischen** RL, der gut zu m^2 inffra passt
- ▶ \mathcal{A}_s (des „Kern“-MDPs) wird um sog. „Optionen“ erweitert
- ▶ *Option* $o = (\mathcal{I}, \pi, \beta)$
 - $\mathcal{I} \subseteq \mathcal{S}$ Eingabemenge
 - $\pi : \mathcal{S} \times \bigcup_s \mathcal{A}_s \rightarrow [0, 1]$ Policy innerhalb o
 - $\beta : \mathcal{S} \rightarrow [0, 1]$ Terminierungsbedingung

Der Options-Ansatz

- ▶ Ansatz des **hierarchischen** RL, der gut zu m^2 inffra passt
- ▶ \mathcal{A}_s (des „Kern“-MDPs) wird um sog. „Optionen“ erweitert
- ▶ *Option* $o = (\mathcal{I}, \pi, \beta)$
 - $\mathcal{I} \subseteq \mathcal{S}$ Eingabemenge
 - $\pi : \mathcal{S} \times \bigcup_s \mathcal{A}_s \rightarrow [0, 1]$ Policy innerhalb o
 - $\beta : \mathcal{S} \rightarrow [0, 1]$ Terminierungsbedingung
- ▶ \mathcal{I} und β bestimmen, wann o angewendet wird, π wird verwendet, solange o „aktiviert“ ist

Der Options-Ansatz

- ▶ Ansatz des **hierarchischen** RL, der gut zu m^2 infra passt
- ▶ \mathcal{A}_S (des „Kern“-MDPs) wird um sog. „Optionen“ erweitert
- ▶ *Option* $o = (\mathcal{I}, \pi, \beta)$
 - $\mathcal{I} \subseteq \mathcal{S}$ Eingabemenge
 - $\pi : \mathcal{S} \times \bigcup_S \mathcal{A}_S \rightarrow [0, 1]$ Policy innerhalb o
 - $\beta : \mathcal{S} \rightarrow [0, 1]$ Terminierungsbedingung
- ▶ \mathcal{I} und β bestimmen, wann o angewendet wird, π wird verwendet, solange o „aktiviert“ ist
- ▶ Preis für Komplexitätsreduktion: Konvergenz von Lernalgorithmen kann nicht mehr garantiert werden

Q-Lernen mit Optionen

- ▶ Q-Lernen: Erlernen des „Wertes“ $Q^*(s, a)$ einer Aktion a in Zustand s unter Annahme, dass danach π^* verfolgt wird

Q-Lernen mit Optionen

- ▶ Q-Lernen: Erlernen des „Wertes“ $Q^*(s, a)$ einer Aktion a in Zustand s unter Annahme, dass danach π^* verfolgt wird
- ▶ möglich durch Approximierung von Q^* mithilfe beobachteter Aktionen und Zustandsübergänge

Q-Lernen mit Optionen

- ▶ Q-Lernen: Erlernen des „Wertes“ $Q^*(s, a)$ einer Aktion a in Zustand s unter Annahme, dass danach π^* verfolgt wird
- ▶ möglich durch Approximierung von Q^* mithilfe beobachteter Aktionen und Zustandsübergänge
- ▶ Formel für Q-Update in semi-MDP:

$$Q(s, o) \leftarrow (1 - \alpha)Q_k(s, o) + \alpha \left[r + \gamma^T \max_{o' \in \mathcal{O}_{s'}} Q_k(s', o') \right]$$

Q-Lernen mit Optionen

- ▶ Q-Lernen: Erlernen des „Wertes“ $Q^*(s, a)$ einer Aktion a in Zustand s unter Annahme, dass danach π^* verfolgt wird
- ▶ möglich durch Approximierung von Q^* mithilfe beobachteter Aktionen und Zustandsübergänge
- ▶ Formel für Q-Update in semi-MDP:

$$Q(s, o) \leftarrow (1 - \alpha)Q_k(s, o) + \alpha \left[r + \gamma^T \max_{o' \in \mathcal{O}_{s'}} Q_k(s', o') \right]$$

- ▶ Optimale Policy ergibt sich dann als

$$\pi^*(s, a) = \arg \max_{a'} Q^*(s, a')$$

da bei geeigneter Exploration Q_k zu Q^* konvergiert

Rahmen als Optionen

Für jedes F kann eine Option $(\mathcal{I}_F, \pi_F, \beta_F)$ definiert werden:

\mathcal{I}_F Menge (w, KB) bei der $T(F)$ das Präfix w erfüllt und unter KB das entspr. Suffix ausführbar ist

π_F führt die nächste eigene Aktion auf $T(F)$ mit Wahrscheinlichkeit 1 aus (unter Maximierung des erwarteten Rewards bei mehreren möglichen Substitutionen ϑ)
hierzu muss „innerhalb“ von F die optimale Aktion ermittelt werden

β_F wird durch $T(F)$, w und KB bestimmt sowie durch „Desirability“-Kriterium

Optimierung innerhalb eines Rahmens

- ▶ auf der Ebene des „unteren“ MDPs wird kein Q-Lernen verwendet, sondern Maximierung der erwarteten Utility auf der Basis von Anschlusswahrscheinlichkeiten

Optimierung innerhalb eines Rahmens

- ▶ auf der Ebene des „unteren“ MDPs wird kein Q-Lernen verwendet, sondern Maximierung der erwarteten Utility auf der Basis von Anschlusswahrscheinlichkeiten
- ▶ Voraussetzung: Agent verfügt über Utility-Schätzung $u(w, KB) \in \mathbb{R}$

Optimierung innerhalb eines Rahmens

- ▶ auf der Ebene des „unteren“ MDPs wird kein Q-Lernen verwendet, sondern Maximierung der erwarteten Utility auf der Basis von Anschlusswahrscheinlichkeiten
- ▶ Voraussetzung: Agent verfügt über Utility-Schätzung $u(w, KB) \in \mathbb{R}$
- ▶ erwartete Utility einer „eigenen“ Substitution ϑ_s :

$$E[u(\vartheta_s, F, w, KB)] = \sum_{\vartheta_p} P(\vartheta_p | \vartheta_s, F, w) u(\text{post}(T(F), w)\vartheta_f(F, w)\vartheta_s\vartheta_p, KB)$$

Optimierung innerhalb eines Rahmens

- ▶ Substitution des anderen Agenten wird mithilfe früherer Instanzen von F geschätzt:

$$P(\vartheta_p | \vartheta_s, F, w) = \frac{P(\vartheta_p \wedge \vartheta_s | F, w)}{P(\vartheta_s | F, w)} = \frac{P(\vartheta_f(F, w) \vartheta_s \vartheta_p | F, w)}{\sum_{\vartheta} P(\vartheta_f(F, w) \vartheta_s \vartheta | F, w)}$$

Optimierung innerhalb eines Rahmens

- ▶ Substitution des anderen Agenten wird mithilfe früherer Instanzen von F geschätzt:

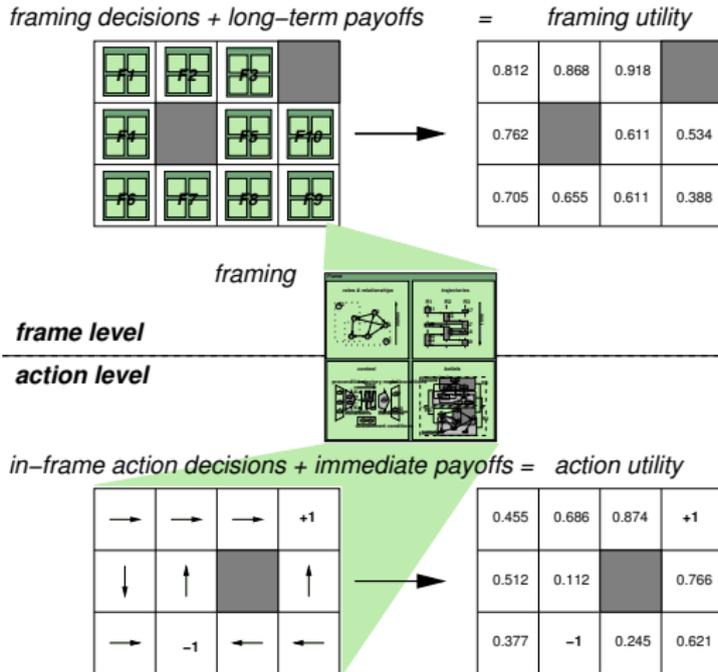
$$P(\vartheta_p | \vartheta_s, F, w) = \frac{P(\vartheta_p \wedge \vartheta_s | F, w)}{P(\vartheta_s | F, w)} = \frac{P(\vartheta_f(F, w) \vartheta_s \vartheta_p | F, w)}{\sum_{\vartheta} P(\vartheta_f(F, w) \vartheta_s \vartheta | F, w)}$$

- ▶ Auswahl optimaler Substitution/Aktion:

$$\vartheta^*(F, w, KB) = \arg \max_{\vartheta_s \in \Theta_{\text{poss}}(F, KB, w)} E[u(\vartheta_s, F, w, KB)]$$

$$m^*(F, w, KB) = T(F)[|w| + 1] \vartheta^*(F, w, KB)$$

m²infra als hierarchisches RL



Weitere Features von m^2 infra

- ▶ entropiebasiertes Desirability-Kriterium
 - ▶ Balance zwischen Utility-Maximierung und Handlungssicherheit
 - ▶ Konzept der **vorübergehenden sozialen Optimalität**

Weitere Features von m^2 infra

- ▶ entropiebasiertes Desirability-Kriterium
 - ▶ Balance zwischen Utility-Maximierung und Handlungssicherheit
 - ▶ Konzept der **vorübergehenden sozialen Optimalität**
- ▶ Rahmen-Konstruktion durch Kombination existierender Rahmen (Konkatenation im Sinne des Planens)

Weitere Features von m^2 infra

- ▶ entropiebasiertes Desirability-Kriterium
 - ▶ Balance zwischen Utility-Maximierung und Handlungssicherheit
 - ▶ Konzept der **vorübergehenden sozialen Optimalität**
- ▶ Rahmen-Konstruktion durch Kombination existierender Rahmen (Konkatenation im Sinne des Planens)
- ▶ Rahmenmanagement: langfristige Rahmenverschmelzung nach Clustering-Kriterien
 - ▶ Bestimmung „konkretester Verallgemeinerung“ zweier Rahmen
 - ▶ Heranziehen von Isolations- und Kompatkheitskriterien

Weitere Features von m^2 infra

- ▶ entropiebasiertes Desirability-Kriterium
 - ▶ Balance zwischen Utility-Maximierung und Handlungssicherheit
 - ▶ Konzept der **vorübergehenden sozialen Optimalität**
- ▶ Rahmen-Konstruktion durch Kombination existierender Rahmen (Konkatenation im Sinne des Planens)
- ▶ Rahmenmanagement: langfristige Rahmenverschmelzung nach Clustering-Kriterien
 - ▶ Bestimmung „konkretester Verallgemeinerung“ zweier Rahmen
 - ▶ Heranziehen von Isolations- und Kompattheitskriterien
- ▶ Modellierung von Dialogzuständen: themenbasierter Ansatz und Generalisierung

Gliederung

Einführung

Die Agentenarchitektur InFFrA

Formale Semantik & Lernalgorithmen

Experimentelle Befunde

Zusammenfassung & Ausblick

Verhandlungsmechanismen

- ▶ vorschlags- & angebotsbasierte Methoden (CNP, Auktionen, etc.)

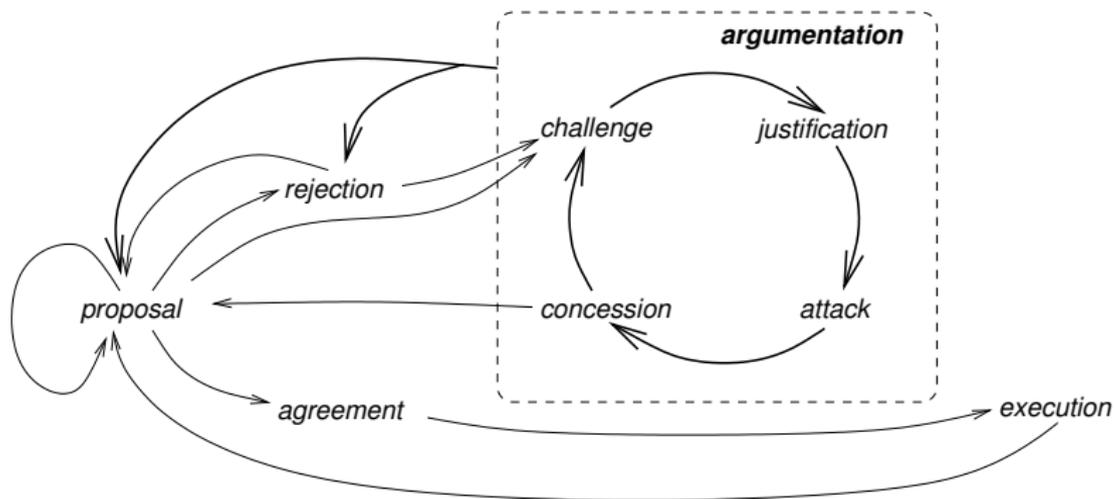
Verhandlungsmechanismen

- ▶ vorschlags- & angebotsbasierte Methoden (CNP, Auktionen, etc.)
- ▶ argumentationsbasierte Ansätze
 - ▶ erlauben Dialog über *Gründe* für Standpunkte
 - ▶ ermöglichen damit ggs. Beeinflussung des internen Zustandes

Verhandlungsmechanismen

- ▶ vorschlags- & angebotsbasierte Methoden (CNP, Auktionen, etc.)
- ▶ argumentationsbasierte Ansätze
 - ▶ erlauben Dialog über *Gründe* für Standpunkte
 - ▶ ermöglichen damit ggs. Beeinflussung des internen Zustandes
- ▶ **zielbasierte Verhandlung** (interest-based negotiation – IBN) (Rahwan et al.)
 - ▶ Gewinnung von Informationen über Zielstruktur und Wissen des Anderen
 - ▶ basiert auf Zyklus „Rechtfertigung-Angriff-Zugeständnis“
 - ▶ Modellierung der Zielstruktur über sog. Zielnetze

Verandlungsmodell in IBN



Verlinkungsszenario im WWW

LIESON v3.0 - Link Exchange Simulation (c) M. Rovatsos (TUM-AI/Cognition Group), 2001-03

g0:agent1 > modifyRating@g0:agent1,g0:agent9,1 [R1] Time: 00:01:17 Messages: 82

g0:agent2 ← 2 g0:agent7
 g0:agent7 → 0 g0:agent1
 g0:agent1 → 1 g0:agent2
 g0:agent1 → 2 g0:agent5
 g0:agent5 → -1 g0:agent4
 g0:agent4 → 1 g0:agent0
 g0:agent4 → -1 g0:agent9
 g0:agent0 → 0 g0:agent8
 g0:agent9 → 2 g0:agent6
 g0:agent6 → 1 g0:agent3

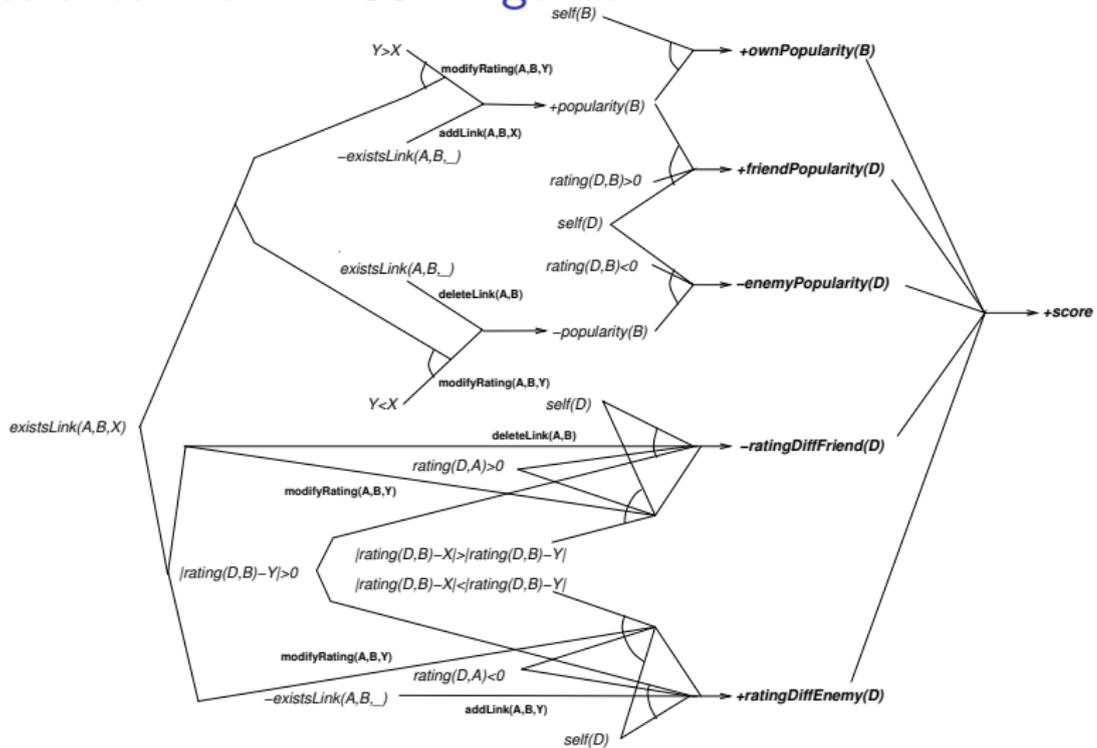
| Agent | Popularity | Simple Popularity |
|-----------|------------|-------------------|
| g0:agent6 | 0.6111 | 0.2777 |
| g0:agent5 | 0.1 | 0.1 |
| g0:agent4 | 0.5908 | 0.1777 |
| g0:agent3 | 0.5407 | 0.2444 |
| g0:agent2 | 0.3116 | 0.1222 |
| g0:agent1 | 0.1 | 0.1 |
| g0:agent0 | 0.5987 | 0.2333 |
| g0:agent9 | 0.5765 | 0.3555 |
| g0:agent8 | 0.5101 | 0.1777 |
| g0:agent7 | 0.6024 | 0.2888 |

```

InFFrA controller of "g0:agent1"
InFFrA messages
(00:00:44): <END ENCOUNTER>
(00:00:50): <START ENCOUNTER>
(00:00:50): initiating message request(g0:agent1,g0:agent0,modifyRating(g0:agent0,g0:agent1,0))
(00:00:50): g0:agent1 > perceived frame updated to
<frame#15/usg [1]/step:0/bind:0>
t:request(g0:agent1,g0:agent0,modifyRating(g0:agent0,g0:agent1,0))
b|||
c|||>
(00:00:51): received (as expected) accept(g0:agent0,g0:agent1,modifyRating(g0:agent0,g0:agent1,0))
(00:00:52): received accept(g0:agent0,g0:agent1,modifyRating(g0:agent0,g0:agent1,0))
(00:00:52): own turn initiated
(00:00:53): selected frame
<frame#16/usg [3, 3, 2, 2]/step:1/bind:0>
+
InFFrA repository
<frame#1/usg [8, 8, 8, 8]/step: -1/bind:0>
t:request(V0,V1,V2), accept(V1,V0,V2), confirm(V0,V1,V2), do(V1,V2)
b||| [V0, g0:agent1, [V1, g0:agent0, [V2, addLink(g0:agent0,g0:agent1,-2)]] [V0, g0:agent1] [V1, g0:age
c||| [other(V0)@3, number:-2]@3, other(V1)@3, can(V1,addLink(V1,V0,-2)@3, existsLink(V1,V0,-2)@4] [oth
<frame#29/usg [2]/step: -1/bind:0>
t:request(g0:agent0,g0:agent1,addLink(g0:agent1,g0:agent0,0))
b|||
c|||>
<frame#41/usg [1]/step: -1/bind:0>
t:request(g0:agent0,g0:agent1,addLink(g0:agent1,g0:agent0,-2))
b|||
c|||>
    
```

Debug Level 0 Start Stop Reset Redraw Script Exit

Zielstruktur von LIESON-Agenten



Gliederung

Einführung

Die Agentenarchitektur InFFrA

Formale Semantik & Lernalgorithmen

Experimentelle Befunde

Zusammenfassung & Ausblick