

# Spezielle Themen der KI

## Wissensrepräsentation und Lernen

### Einleitung

Marc Erich Latoschik  
AI & VR Lab, Faculty of Technology  
University of Bielefeld  
marcl@techfak.uni-bielefeld.de

## Übersicht der Vorlesung

- Ergänzung und Vertiefung zu *Methoden der Künstlichen Intelligenz* (VL Wachsmuth im WS)
- Fokussierung auf ausgewählte Themen:
- Wissensrepräsentation - Explizite, symbolische Repräsentation als Voraussetzung für intelligentes Verhalten, u.a.
  - Repräsentationsformate  
z.B. Semantische Netze, Frames, Regeln, Logik, spezialisierte Repräsentationen
  - Modellierung von Commonsense-Wissen,  
z.B. Quantitäten, Raum, Zeit, (Physik)Constraint satisfaction problems
- Suchen - Problemlösen als Suche im Zustandsraum, u.a.
  - Uninformierte und heuristische Suche
  - Constraint satisfaction problems
- Lernen von Funktionen aus Beispielen, u.a.
  - Entscheidungsbäume
  - Induktive Logische Programmierung
- Kursunterlagen: <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/~marcl/teaching.html>

# Literatur

Vorlesung u.a. angelehnt an

- S. Russell & P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2nd Edition, Prentice Hall, 2003.
- G. Görz, C.-R. Rollinger, J. Schneeberger (Hrsg). *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. 3. Auflage. Oldenbourg, 2000.

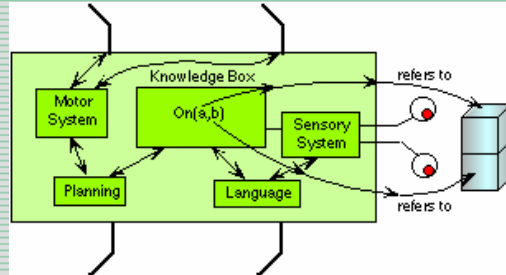
Weitere Literatur

- R. J. Brachman & H. J. Levesque. *Readings in Knowledge Representation*. Morgan Kaufmann, 1985.
- E. Davis. *Representations of Commonsense Knowledge*. Morgan Kaufmann, 1990.
- D. Poole, A. Mackworth, R. Goebel. *Computational Intelligence: A Logical Approach*. Oxford University Press, 1998
- M. Stefik. *Introduction to Knowledge Systems*. Morgan Kaufmann, 1995.
- P. H. Winston. *Artificial Intelligence*. Third Edition. Addison Wesley, 1992.

# Übersicht

- Aspekte der Wissensrepräsentation (allgemein)
- Aspekte der Wissensrepräsentation (am Beispiel Semantischer Netze)

## Intelligente Agenten und symbolische Repräsentation



### Symbolische Repräsentationen:

- Konstruktion intelligenter Systeme auf Grundlage symbolischer Repräsentationen, die durch Schlußfolgerungsprozesse manipuliert werden. Symbolische Repräsentationen beziehen sich auf die externe Welt.

5

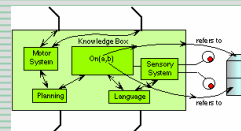
## Intelligente Agenten und symbolische Repräsentation

### Vorteile der symbolischen Repräsentation

- Wissen ist in formaler Sprache - mit wohldefinierter Semantik - abgebildet
- Repräsentationen sind lesbar, ihre Bedeutung ist verständlich

### Nichtsymbolische Repräsentationen

- z.B. (analoge) Karten
- Diagramme
- neuronale Netze



6

# The Knowledge-Representation Hypothesis

(Smith, Brian Cantwell (1982), "Prologue to 'Reflection and Semantics in a Procedural Language'," in Ronald J. Brachman & Hector J. Levesque (eds.) (1985), *Readings in Knowledge Representation* (Los Altos, CA: Morgan Kaufmann): 31-39.)

## Text Version (p. 33)

- *"Any process capable of reasoning intelligently about the world must consist in part of a field of structures, of a roughly linguistic sort, which in some fashion represent whatever knowledge and beliefs the process may be said to possess."*
- *"There is ... an internal process that ... 'computes with' these representations."*
- *"This ... process ... react[s] only to the 'form' or 'shape' of these mental representations without regard to what they mean or represent."*

7

# The Knowledge-Representation Hypothesis

(Smith, Brian Cantwell (1982), "Prologue to 'Reflection and Semantics in a Procedural Language'," in Ronald J. Brachman & Hector J. Levesque (eds.) (1985), *Readings in Knowledge Representation* (Los Altos, CA: Morgan Kaufmann): 31-39.)

## Summary Version (p. 33)

- *"Any mechanically embodied intelligent process will be comprised of structural ingredients that*
- *a) we as external observers naturally take to represent a propositional account of the knowledge that the overall process exhibits and*
- *b) independent of such external semantical attribution, play a formal but causal and essential role in engendering the behavior that manifests that knowledge."*

**Wissensbasierte Systeme basieren auf (oft stillschweigender) Annahme der Knowledge Representation Hypothesis!**

8

## Komponenten wissensbasierter Systeme

- Wissensbasis: Fakten und Regeln
- Gate-Keeper: Tell und Ask
  - Beantwortung von Fragen durch Anstoßung von Inferenzprozeduren
  - Im Prinzip deduktive, induktive und abduktive Inferenzen
  - Oft Beschränkung auf deduktive Inferenzen (die am besten verstanden sind)

## Adäquatheit von Wissensrepräsentationen

- Epistemologische Adäquatheit (McCarthy & Hayes, 1969)
  - Ausdrucksstärke: können alle relevanten Fakten und Regeln repräsentiert werden?
  - z.B. PL1 sehr ausdrucksstark
- Heuristische Adäquatheit (McCarthy & Hayes, 1969)
  - Sind die durchzuführenden Inferenzen überhaupt bzw. mit den zu Verfügung stehenden Ressourcen möglich? Sind Zwischenschritte des Lösungswegs im Formalismus repräsentierbar?
  - z.B. Theorembeweisen in PL1 unentscheidbar, in Praxis aufwendig
- Ergonomische Adäquatheit
  - Wie verständlich sind die Repräsentationen?
  - Klarheit und Präzision, leichte Veränderbarkeit (Woods, 1987)
  - z.B. Modellierung in PL1 i.a. mühsam
- Kognitive Adäquatheit
  - z.B. ursprüngliche Formulierung semantischer Netze und Frames auch kognitiv motiviert

## Anforderungen an Sprachen für Wissenrepräsentationen

- Repräsentationszulänglichkeit (representational adequacy)
- Schlusszulänglichkeit (inferential adequacy)
- Schlusseffizienz (inferential efficiency)
- Klare Syntax und Semantik
- Natürlichkeit

## Fundamentaler trade-off der Wissensrepräsentation

Gewünscht:

- Ausdrucksstarke Repräsentationen, vollständige Inferenzverfahren
- Effiziente Berechnung (tractability: polynomiale Zeitkomplexität)

Aber:

- Beides zusammen kann man nicht haben!
- z.B. PL1 ausdrucksstark aber schlechte Berechnungseigenschaften
- Trade-off besteht allgemein für Wissensrepräsentationen (Levesque & Brachman, 1985)

Ansätze:

- Ausdrucksstarke, allgemeine Repräsentation mit approximativen Inferenzen
- Spezialisierte, für Problembereich maßgeschneiderte Repräsentationen
- u.U. Verwendung mehrerer Spezialrepräsentationen

Bemerkung:

- Auch wenn zwei Repräsentationen gleich ausdrucksstark sind, können sie sich trotzdem in ihren Berechnungseigenschaften unterscheiden

## Semantik von Wissensrepräsentationen (I)

WR-Sprachen ermöglichen Modellierung von Wissen in formaler Notation.  
Bedeutung der sprachlichen Konstrukte kann über verschiedene  
Semantikkonzeptionen festgelegt werden.

### Operationelle Semantik

- Bedeutung durch Algorithmen definiert, die über Sprachkonstrukten operieren
  - Typisch für frühe Semantische Netze und Frames, z.B. Babylon
  - Die Semantik des Objekt-orientierten Teils einer Babylon-Wissensbasis ist wesentlich durch die Vererbungsstrategie ... bestimmt. Sie ist operationell definiert und beruht auf der Semantik des Lisp-Maschinen-Flavor-Systems (Christaller et al., 1989)
  - **Nachteil:** Semantik ist systemabhängig, damit nicht unmittelbar übertragbar
- ### Äquivalenzsemantik
- Übersetzung in WR-Formalismus mit bekannter Semantik
  - z.B. Frames -> PL1 (Hayes, 1980)

## Semantik von Wissensrepräsentationen (II)

### Deklarative Semantik

- Syntaktische Strukturen der WR werden über eine Interpretationsfunktion zu Elementen von abstrakten Strukturen in Bezug gesetzt
- z.B. Semantik der PL1
- z.B. Semantik von KL-ONE-artigen Sprachen (Konzept -> Menge von Individuen)
- **Vorteile**
  - „Konsistenz“ einer Wissensbasis kann formalgefaßt werden
  - Berechnung von Subsumtionsbeziehungen zwischen Konzepten (Extension des einen Konzepts ist Teilmenge der Extension des anderen Konzepts)
  - „Korrektheit“ und „Vollständigkeit“ von Inferenzverfahren, z.B. zur Berechnung von Subsumtionsbeziehungen, sind jetzt definiert
- **Nachteil**
  - Semantik ausschließlich extensional festgelegt, intensionale Aspekte nicht erfaßt  
z.B. gleiche Bedeutung „Morgenstern“, „Abendstern“ und „Venus“  
z.B. gleiche Bedeutung von „rundes Viereck“ und „Einhorn“

In der KI existieren drei wesentliche Verfahren der Wissensrepräsentation:

## I. Logik (Aussagenlogik, Prädikatenlogik, etc.)

- z.B. "Alle Fische schwimmen"

$$\forall X (fish(X) \rightarrow swims(X))$$

- Wohl definierte Syntax und Semantik
- Was ist bei Einschränkungen von Folgerungsklassen?
- Wie werden Zeit, Meinungen oder Unsicherheit repräsentiert?

## II. Repräsentationsschemata

- Einfache und natürliche Schemata (Frames, Semantische Netze, etc.)
- Algorithmen für die Manipulation wird explizit angegeben, nicht notwendigerweise eine formale Liste der Semantik
- Wissen als Sammlung von Objekten und Beziehungen



## III. Bedingungs-Aktions-Regeln (condition-action-rules)

IF krank THEN arzt-gehen

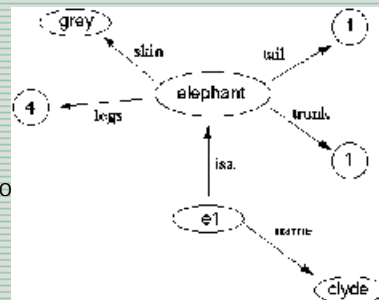
- Regelbasierte Systeme
- Algorithmen für den Umgang mit Regeln notwendig
- Schwerpunkt auf prozeduralen und nicht deklarativen Aspekten (wie bei Logik)
- Häufig in Expertensystemen

- Ein Semantisches Netz ist ein Graph, wobei
  - Knoten Konzepte / Instanzen repräsentieren
  - und Kanten Relationen zwischen Konzepten repräsentieren
  - Besondere Relationen: isa, ako

– Vererbung von Merkmalen kann einfach berechnet werden, indem isa und ako Relationen verfolgt werden

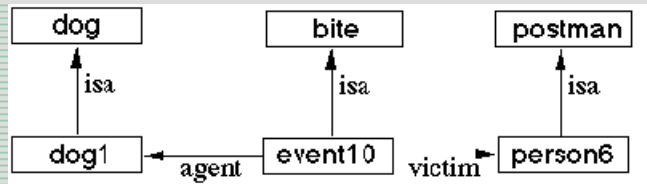
– (Im einfachen Fall) ist Repräsentation kompakt, verständlich und  
– für Berechnung von Defaults - heuristisch adäquat

– Quillian (1968) konnte psychologische Plausibilität nachweisen



# Semantische Netze und Sprachverstehen

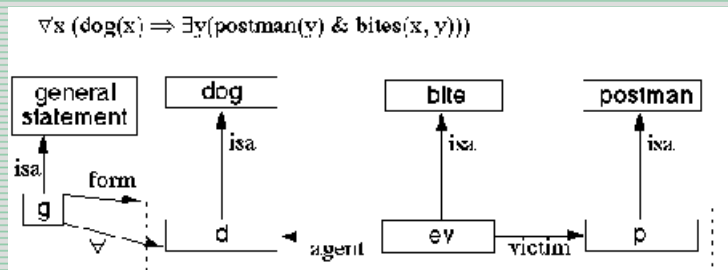
- Semantische Netze schon früh zum Sprachverstehen eingesetzt (z.B. Masterman, 1962)



The dog bites the postman

# Semantische Netze und Ausdrucksstärke (I)

- Repräsentation allgemeiner Aussagen in ursprünglichen semantischen Netzen nicht möglich
- Hendrix (1979) schlägt Erweiterung auf volle Ausdrucksstärke der PL1 vor (damit übertragen sich auch Berechnungseigenschaften)



Every dog bites a postman