

## 4 Spezielle Schlußverfahren

10. Vorlesung: Abduktion und Hypothesenbildung;  
Induktion und Lernen



Methoden der Künstlichen Intelligenz

Ipke Wachsmuth

WS 2003/2004



## Kernfragen der Vorlesung

1. Wie läßt sich Wissen symbolisch repräsentieren?
2. Wie lassen sich Probleme durch (geschickte) Suche lösen?
3. Wie lassen sich maschinell Schlußfolgerungen aus Annahmen ziehen?
4. Wie lassen sich auch bei unsicherem und unvollständigem Wissen Schlüsse ziehen?
5. Wie lassen sich Kommunikationsfähigkeiten für Maschinen realisieren?

## Übersicht zu Abschnitt 4

- Gegenstand: Einblick in weitere Inferenzverfahren
- Abduktives und induktives Schließen (heute)
- Probabilistisches und nichtmonotones Schließen
- Temporales und räumliches Schließen

## Inferenzregeln im Vergleich

### Deduktives Schließen (Modus ponens)

Gegeben daß (if  $p$   $q$ ) und  $p$  gilt

schließe, daß  $q$  gilt.

Legaler Schluß in der Logik, generiert die Konsequenz aus bedingter Aussage und Fakt.

### Universelle Einsetzung (deduktiv)

Gegeben daß (forall( $x$ ) ( $Px$ )) gilt

schließe, daß ( $Pa$ ) für jede Konstante  $a$  gilt.

Legaler Schluß in der Logik, schließt vom Allgemeinen auf das Einzelne.

### Abduktives Schließen

Gegeben daß (if  $p$   $q$ ) und  $q$  gilt

schließe, daß  $p$  gilt.

Kein legaler Schluß in der Logik, aber oft benutzt, um Hypothesen zu generieren.

### Induktives Schließen

Gegeben daß ( $Pa$ ), ( $Pb$ ), ... gilt

schließe, daß (forall( $x$ )( $Px$ )) gilt.

Kein legaler Schluß in der Logik, ist aber eine der Grundlagen von Lernen.

# Abduktion in der Aussagenlogik

In klassischer Schreibweise:

$$\frac{p \rightarrow q}{p} q$$

Es regnet  $\rightarrow$  Die Straße ist naß  
Die Straße ist naß

Es regnet

"Es regnet" ist nur eine Hypothese. Es könnte ja auch andere Ursachen geben ...

## Abduktives Schließen

Gegeben daß (if p q) und q gilt

schließe, daß p gilt.

Kein legaler Schluß in der Logik, aber oft benutzt, um Hypothesen zu generieren.

Es taut  $\rightarrow$  Die Straße ist naß  
Die Straße ist naß

Es taut

# Deduktion und Abduktion

## Deduktives Schließen (Modus ponens)

Gegeben daß (if p q) und p gilt

schließe, daß q gilt.

Legaler Schluß in der Logik, generiert die Konsequenz aus bedingter Aussage und Fakt.

## Abduktives Schließen

Gegeben daß (if p q) und q gilt

schließe, daß p gilt.

Kein legaler Schluß in der Logik, aber oft benutzt, um Hypothesen zu generieren.

Abduktives Schließen ist typisch für die Diagnostik:

Wenn eine Diagnose D das Symptom S verursacht und S wird beobachtet, dann ist D eine mögliche Erklärung für S.

Deduktion      Abduktion

$$\frac{D \rightarrow S}{D} S$$

$$\frac{D \rightarrow S}{D} S$$

# Abduktion in der Prädikatenlogik

(if (hat\_bronchitis ?person) (husten ?person))  
(husten Hans)

(hat\_bronchitis Hans)

(if (hat\_stauballergie ?person) (husten ?person))  
(husten Hans)

(hat\_stauballergie Hans)

(Für Formeln der PL läuft Unifikation etc. analog zur Deduktion)

D1 $\rightarrow$ S	D2 $\rightarrow$ S
<u>S'</u>	<u>S'</u>
D1'	D2'

# Abduktion und Kausalität

(if (hat\_bronchitis ?person) (husten ?person))  
(husten Hans)

(hat\_bronchitis Hans)

Idee: Finde die Erklärung (Ursache) für eine Beobachtung. Es könnte mehrere geben.  
 $\Rightarrow$  Abduktion ist nur plausible Inferenz.

Kann schief gehen:

(if (auf\_station5 ?patient) (hat\_krebs ?patient))  
(hat\_krebs Eliza)

(auf\_station5 Eliza)

modelliert keinen Kausalzusammenhang.

- Grundlage für abduktive Schlüsse muß sein, daß der Antezedent und der Konsequent der Regeln in einer Ursache-Folge-Beziehung stehen!

- Kausalität und logische Implikation sind nicht dasselbe!

## Regel zur Verdachtgenerierung

In der Diagnostik werden u.a. Regeln verwendet, die Ursache-Folge-Beziehungen modellieren und abduktiv eingesetzt werden, z.B.:

Wenn 1. Nackensteife  
und 2. hohes Fieber  
und 3. Bewußtseinstrübung  
zusammentreffen  
dann besteht Verdacht auf Meningitis

aus dem MYCIN-System  
zur Diagnose bakterieller  
Infektionen des Blutes und  
des Hirns

## Dartmouth Conference (1956)

Dartmouth College\*

\*John McCarthy  
Marvin Minsky  
Nathaniel Rochester  
Claude Shannon

„We propose that a two-month, ten-man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it.“

(aus Antrag an die Rockefeller-Stiftung)

## Was ist Lernen allgemein?

• "Lernen ist jede Veränderung eines Systems, die es ihm erlaubt, eine Aufgabe bei der Wiederholung derselben Aufgabe oder einer Aufgabe derselben Art besser zu lösen."

(Simon 1983: Why should machines learn?)

Kritik: auch Veränderungen erfaßt, die man gemeinhin nicht als Lernen bezeichnen würde.

• "Lernen ist ein Prozeß, bei dem ein System eine abrufbare Repräsentation von vergangenen Interaktionen mit seiner Umwelt aufbaut."

(Scott 1983, Learning: The construction of a posteriori knowledge structures)

• "Lernen ist das Konstruieren oder Verändern von Repräsentationen von Erfahrungen."

(Michalski 1986: Understanding the nature of learning)

## Maschinelles Lernen

- In der KI ist eine Vielzahl von Lernverfahren entwickelt worden.
- Hier befassen wir uns (nur) mit zwei einfachen Ansätzen des Lernens auf der Grundlage induktiver Inferenzen:
  - Lernen des allgemeinen Zusammenhangs
  - Konzeptlernen aus Beispielen und Gegenbeispielen

## Univ. Einsetzung vs. Induktion

- Bei der universellen Einsetzung wird vom Allgemeinen auf jedes Spezielle geschlossen.

(hier nur für eine Variable und Konstantenterme betrachtet)

- Bei der Induktion wird von den speziellen Beobachtungen verallgemeinert/generalisiert.

### Universelle Einsetzung (deduktiv)

Gegeben daß  $(\forall x) (Px)$  gilt  
schließe, daß  $(Pa)$  für jede Konstante  $a$  gilt.

Legaler Schluß in der Logik, schließt vom Allgemeinen auf das Einzelne.

### Induktives Schließen

Gegeben daß  $(Pa), (Pb), \dots$  gilt  
schließe, daß  $(\forall x)(Px)$  gilt.

Kein legaler Schluß in der Logik, ist aber eine der Grundlagen von Lernen.

## Induktiver Schluß – Basisansatz

gegeben:  $(\text{if } (\text{inst leaf-1 leaf}) (\text{color leaf-1 green}))$   $(Pa)$

gegeben:  $(\text{if } (\text{inst leaf-2 leaf}) (\text{color leaf-2 green}))$   $(Pb)$

gegeben:  $(\text{if } (\text{inst leaf-3 leaf}) (\text{color leaf-3 green}))$   $(Pc)$

...

Schließe:  $(\forall x) (\text{if } (\text{inst } x \text{ leaf}) (\text{color } x \text{ green}))$

(Aus den an einzelnen Blättern beobachteten Farben wurde hiermit auf alle generalisiert.)

### Induktives Schließen

Gegeben daß  $(Pa), (Pb), \dots$  gilt  
schließe, daß  $(\forall x)(Px)$  gilt.

Kein legaler Schluß in der Logik, ist aber eine der Grundlagen von Lernen.

## Generalisierung durch Induktion

Adam ist ein Mensch. Adam ist sterblich.

Eva ist ein Mensch. Eva ist sterblich.

Jochen ist ein Mensch. Jochen ist sterblich.

Meike ist ein Mensch. Meike ist sterblich.

---

$?x$  ist ein Mensch  $\rightarrow$   $?x$  ist sterblich

“statistische Rechtfertigung”

Verwendung (Vorhersage aufgrund der induzierten Aussage) ist deduktiv:

Sokrates ist ein Mensch. Sokrates ist sterblich.

## Bemerkung: Lernen kann abduktiv sein

$?x$  ist ein Mensch  $\rightarrow$   $?x$  ist sterblich

Sokrates ist sterblich.

---

Sokrates ist ein Mensch.

Aufgrund einiger Gemeinsamkeiten werden alle anderen Eigenschaften übernommen.

Dieser Schluß ist (wie die Induktion) nicht wahrheitserhaltend, sondern nur “falschheitserhaltend”:

- Wenn Sokrates nicht sterblich ist, ist er auch kein Mensch.
- Wenn es einen Menschen gibt, der nicht sterblich ist, sind auch nicht alle Menschen sterblich.

(Auch dies ist aber kein legaler Schluß!)

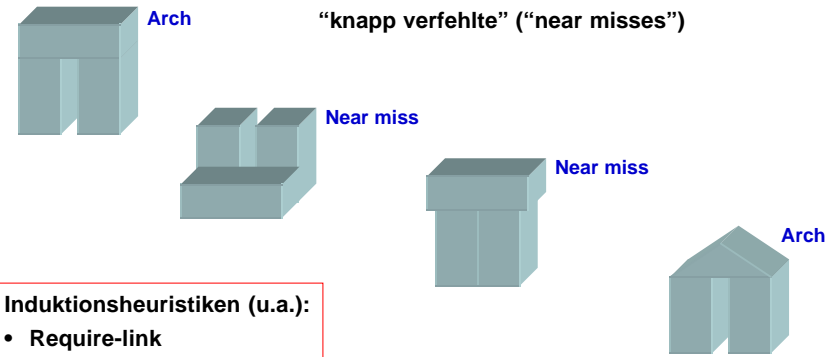
# Konzeptlernen durch Induktion

- Von zentraler Bedeutung beim Menschen ist das Lernen von Konzepten aus Beispielen und Gegenbeispielen.
- Als Musterfall wird hier das Lernen des Konzepts „arch“ (Bogen) in einem semantischen Netzwerk betrachtet.
- Durch jedes weitere Beispiel/Gegenbeispiel werden schon induzierte Beschreibungen weiter differenziert.
- Eine besondere Rolle spielen dabei „knapp verfehlte“ Gegenbeispiele.

# Konzeptlernen aus Beispielen

Winston's Lernprogramm (1975)

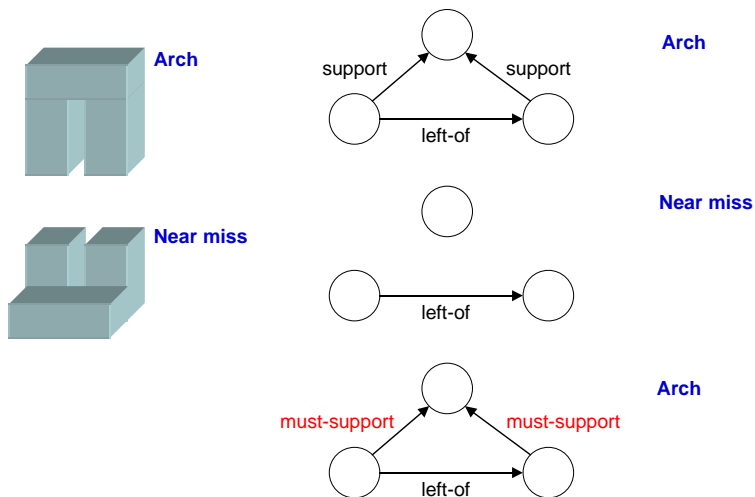
Beispiele und ähnliche Gegenbeispiele: „knapp verfehlte“ (“near misses”)



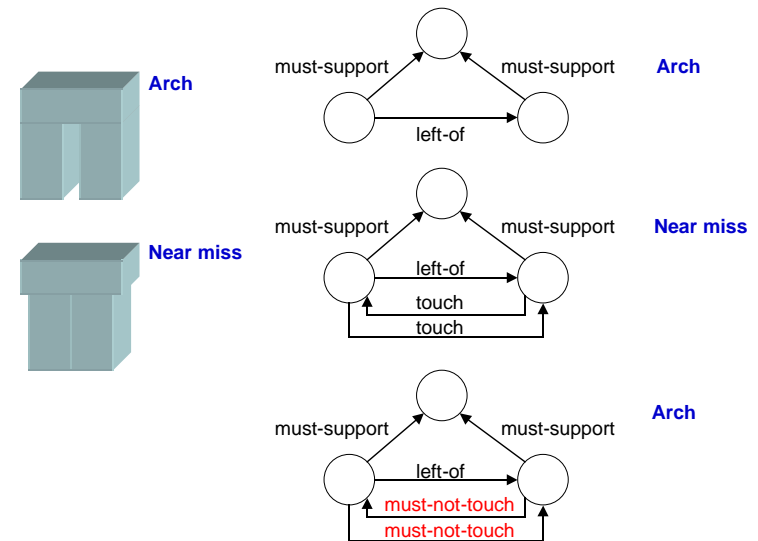
Induktionsheuristiken (u.a.):

- Require-link
- Forbid-link
- Climb-Tree

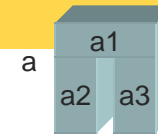
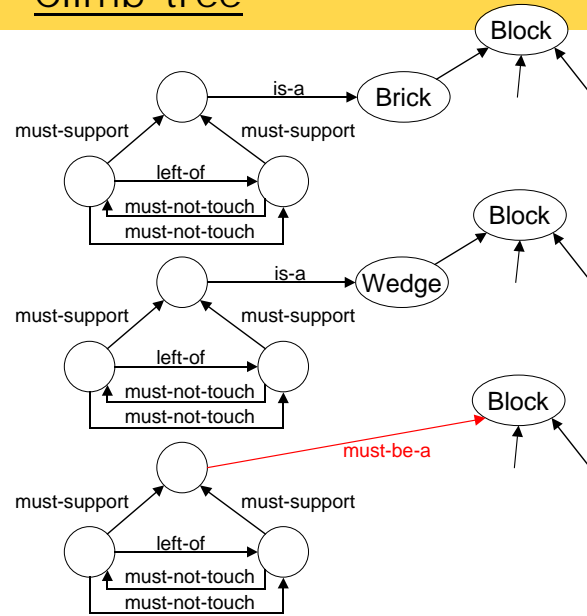
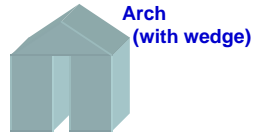
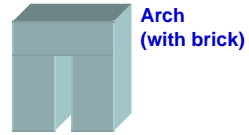
# Induktionsheuristik Require-link



# Induktionsheuristik Forbid-link

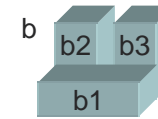


## Climb-tree



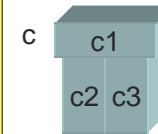
### Beschreibung:

(parts a a1 a2 a3)  
(on a1 a2) (on a1 a3) (not (touch a2 a3))  
(inst a1 brick) (inst a2 brick) (inst a3 brick)  
(inst a arch)



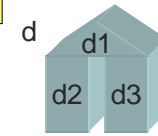
### Beschreibung:

(parts b b1 b2 b3)  
(not (on b1 b2)) (not (on b1 b3)) (not (touch b2 b3))  
(inst b1 brick) (inst b2 brick) (inst b3 brick)  
(not (inst b arch))



### Beschreibung:

(parts c c1 c2 c3)  
(on c1 c2) (on c1 c3) (touch c2 c3)  
(inst c1 brick) (inst c2 brick) (inst c3 brick)  
(not (inst c arch))



### Beschreibung:

(parts d d1 d2 d3)  
(on d1 d2) (on d1 d3) (not (touch d2 d3))  
(inst d1 wedge) (inst d2 brick) (inst d3 brick)  
(inst d arch)

## In logischer Darstellung:

### Gelernte Definition von "arch":

```
(if (and (parts ?x ?x1 ?x2 ?x3)
         (on ?x1 ?x2) (on ?x1 ?x3)
         (not (touch ?x2 ?x3))
         (inst ?x1 block)
         (inst ?x2 brick) (inst ?x3 brick))
    (inst ?x arch))
```

## Literaturhinweise und mehr...

### Charniak/McDermott:

- Abschnitt 8.1, sowie Abschnitte 1.6 und 11.2

### siehe auch:

- Winston: Artificial Intelligence, Kap. 16

### mehr über Lernen:

- Kapitel 18 im Buch von Russell & Norvig

### oder auch:

- Görz et al.: Handbuch der KI, Kapitel 14

Noch bis zum  
15. Januar kann man sich  
um ein IK2004 Teil-  
Stipendium bewerben

... bearbeitet  
Stefan Kopp  
an unserer Uni!



## Vorlesungspause

### Frohe Weihnachten:

- am 8. Januar 2004 geht's weiter...

