Universität Bielefeld

4 Spezielle Schlussverfahren

10. Vorlesung: Abduktion und Hypothesenbildung; Induktion und Lernen

Methoden der Künstlichen Intelligenz

Ipke Wachsmuth WS 2010/2011

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:

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

```
Es regnet -> 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 -> 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

$$\frac{\begin{array}{l} D \rightarrow S \\ D \end{array}}{S}$$

Abduktion

$$\frac{\begin{array}{l} D \rightarrow S \\ \qquad\quad S \end{array}}{D}$$

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 –> S	D2 –> S
S’	S’
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.

⇒ 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!

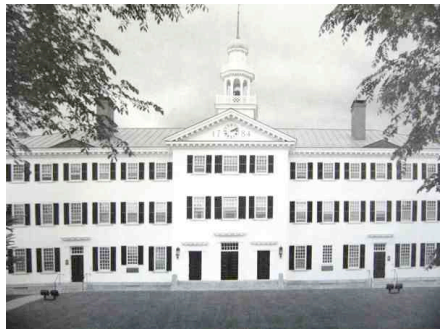
Regel zur Verdachtgenerierung

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 <u>induktiver Inferenzen</u>:
  - 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), ...` gilt

schließe, dass `(forall(x)(Px))` gilt.

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

Induktiver Schluss – Basisansatz

gegeben: `(if (inst leaf-1 leaf) (color leaf-1 green))` `(P a)`

gegeben: `(if (inst leaf-2 leaf) (color leaf-2 green))` `(P b)`

gegeben: `(if (inst leaf-3 leaf) (color leaf-3 green))` `(P c)`

`...`

Schließe: `(forall (x) (if (inst x leaf) (color x green))`

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

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.

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 –> ?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

(Auch dies ist aber kein legaler Schluss!)

?x ist ein Mensch --> ?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.

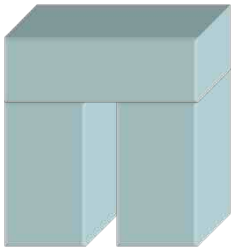
Konzeptlernen durch Induktion

- 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.

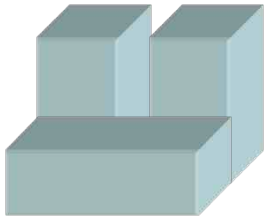
Konzeptlernen aus Beispielen

Winston's Lernprogramm (1975)

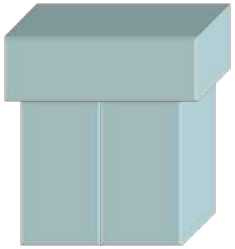
Beispiele und ähnliche Gegenbeispiele:
"knapp verfehlte" ("near misses")



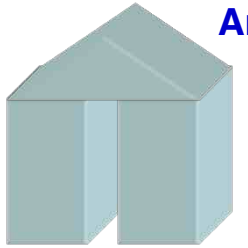
Arch



Near miss



Near miss

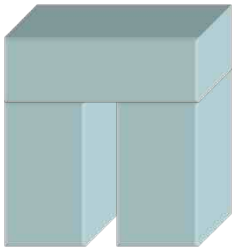


Arch

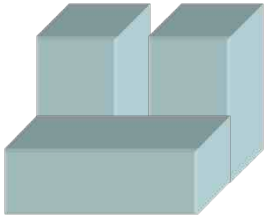
Induktionsheuristiken (u.a.):

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

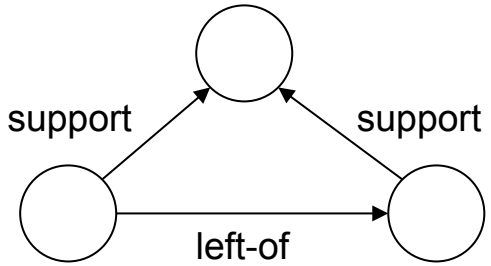
Induktionsheuristik Require-link



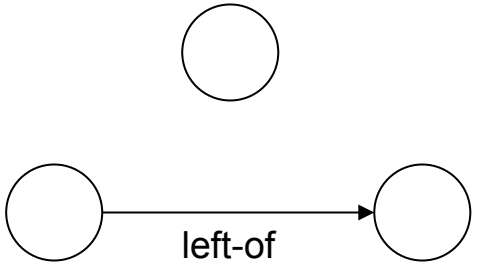
Arch



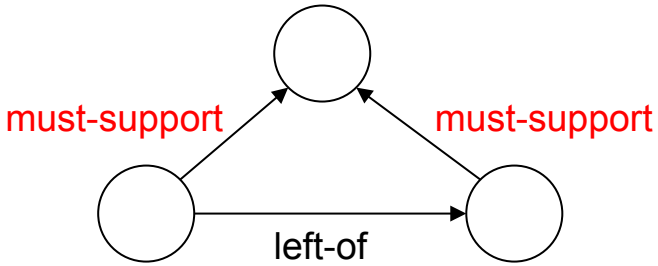
Near miss



Arch

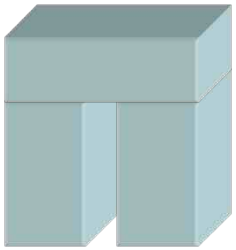


Near miss

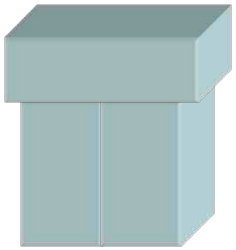


Arch

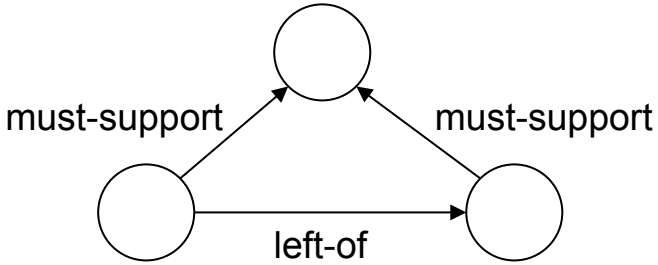
Induktionsheuristik Forbid-link



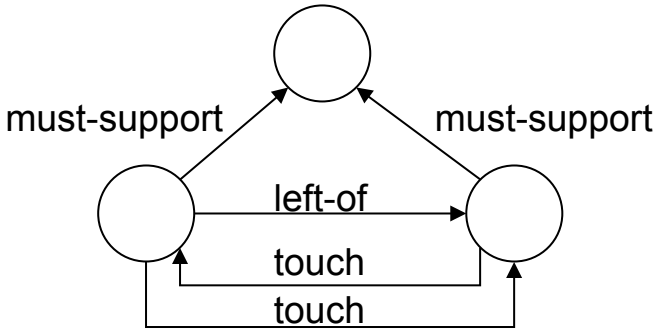
Arch



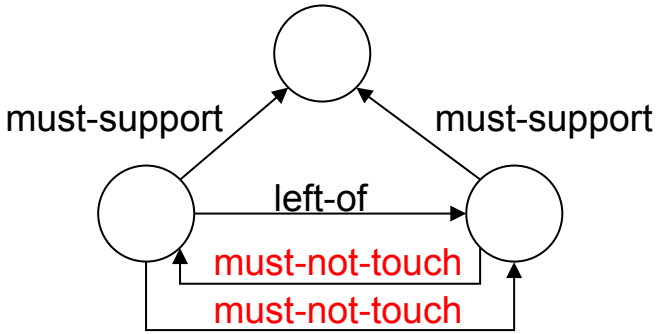
Near miss



Arch

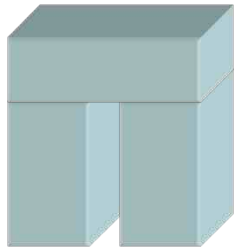


Near miss

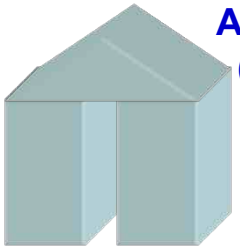


Arch

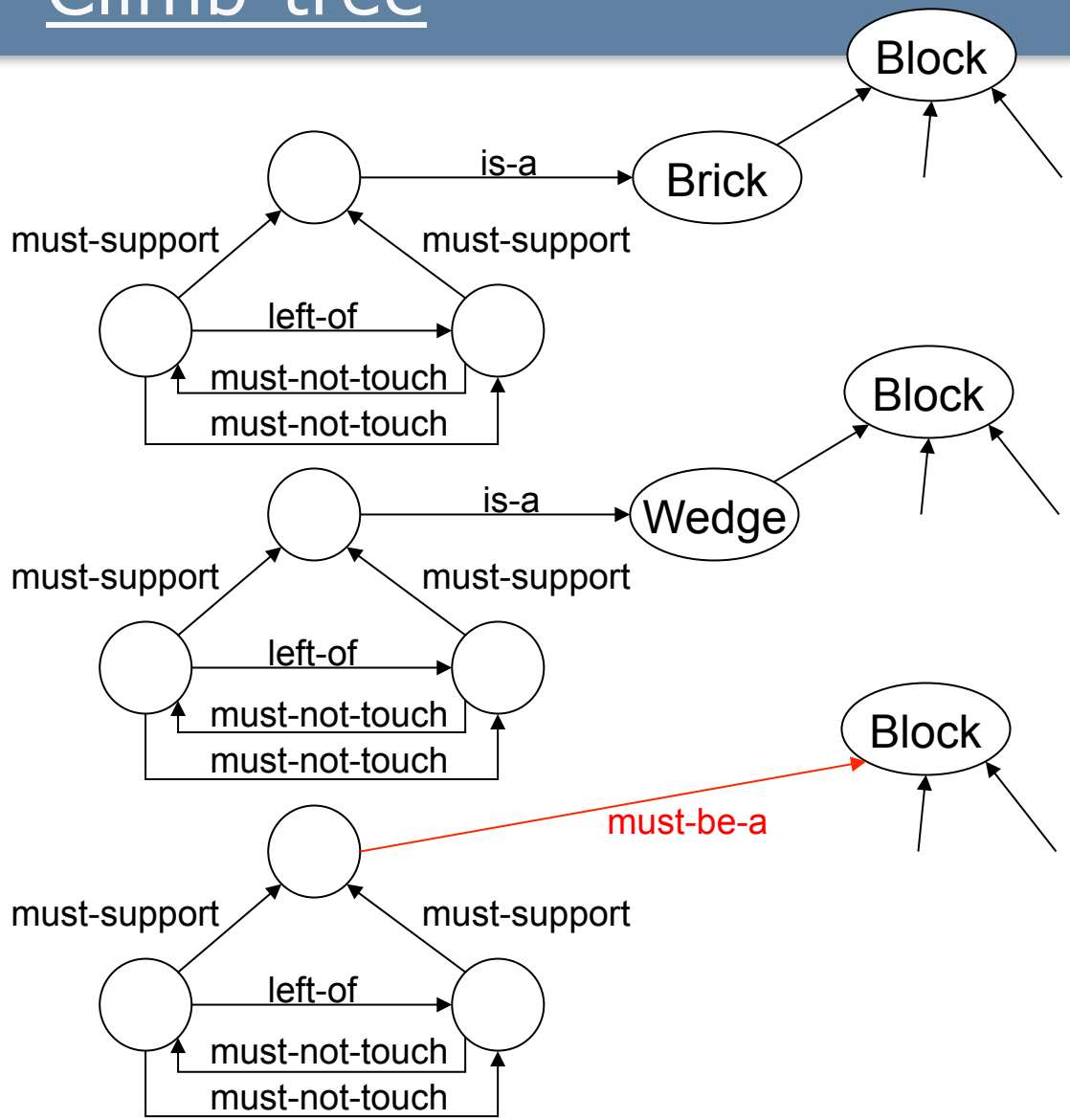
Climb-tree



Arch (with brick)



Arch (with wedge)

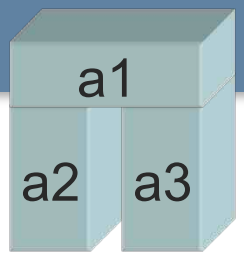


In logischer Darstellung:

Gelernte Definition von "arch":

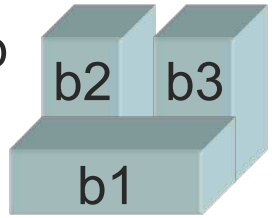
```
(if  (and (parts ?x  ?x1  ?x2  ?x3)
     (on ?x1 ?x2) (on ?x1 ?x3)
     (not (touch ?x2 ?x3))
     (inst ?x1 block)
     (inst ?x2 brick) (inst ?x3 brick))
(inst ?x arch))
```

a



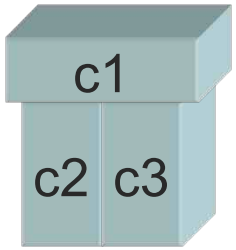
Beschreibung:
(parts a a1 a2 a3)
(on a1 a2) (on a1 a3) (not (touch a2 a3))
(inst a1 brick) (inst a2 brick) (inst a3 brick)
(inst a arch)

b



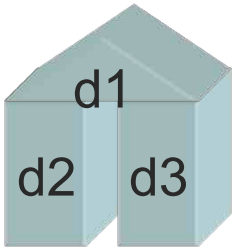
Beschreibung:
(parts b b1 b2 b3)
(not (on b1 b2)) (not (on b1 b3)) (not (touch b2 b3))
(inst b1 brick) (inst b2 brick) (inst b3 brick)
(not (inst b arch))

c



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))

d



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)

Literaturhinweise

Charniak/McDermott:

- Abschnitt 8.1, sowie Abschnitte 1.6 und 11.2

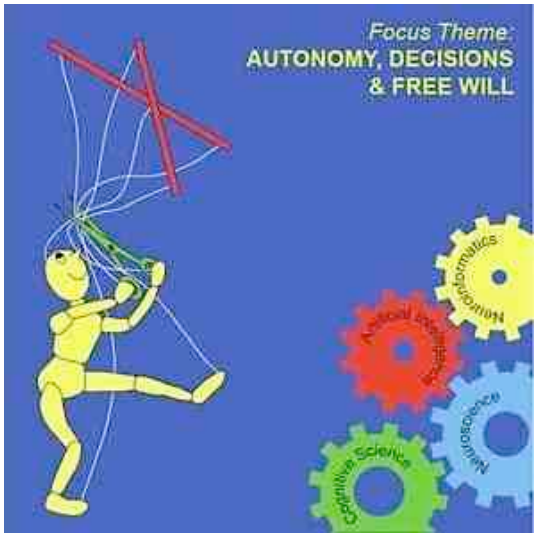
siehe auch:

- 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

und wer noch mehr lernen will...