

## Wozu Wissensbasierte Systeme

Ich will Aufgaben lösen für die neben Fakten auch Wissen über Zusammenhänge und Eigenschaften der Welt benötigt werden.

Ein Buchhaltungsprogramm ist kein Wissensbasiertes System weil die Lösungsfindung im Algorithmus drinnen steht und es keine Trennung zw. Problemwissen und Wissensverarbeitung gibt.

Es gibt eine Wissensbasis (Datenstruktur) die aus Fakten (generisches und fallspezifisches Wissen) die durch Regeln in deklarativer Form beschrieben werden.

generisches Wissen = allgemeines Hintergrundwissen → Funktionsweise d. Kopierers

Fallspez. Wissen = Wissen für Bearbeitung eines konkreten Problems → Zustand v. Kopierer

### Vorteile:

- Flexibilität
- Änderbarkeit und Erweiterbarkeit
- Transparenz

### Anforderungen:

- Lösung von Problemen die einen gewissen Anspruch haben
- Trennung von Problemwissen und Verarbeitung
- Speicherung u. Organisation von Wissen
- Verständliche Wissensanzeige
- Transparenz der Lösungsfindung
- Erweiterbarkeit/Änderbarkeit für neues Wissen

### Probleme:

- Komplexität der Aufgabenstellung wird oft unterschätzt
- formale Grundlagen sind zum verstehen der Funktionsweise nötig
- Schließen mit Hausverstand muss möglich sein
- Tiefenwissen muss vorhanden sein → präzise und umfassende Modellierung

### Unterscheidung

Kognitive AI: Muster von Intelligenz

Rationale AI: keine direkte Entsprechung zu einem Denkmuster

### Beispiele:

*Expertensysteme* die dem Problemlösungsverhalten von Menschen nachgebildet sind  
PROSPECTOR, PUFF, R1(XCON)

### Vorteil:

- Wissen wird dauerhaft verfügbar gemacht
- billig
- hängt nicht von Tagesverfassungen ab

- verschd. Orten verfügbar

### **Symbolverarbeitende Systeme (Top Down)**

- basiert auf Logik
- Wissen wird in deklarativer Form repräsentiert
- Verarbeitung durch Inferenzprozesse auf der Symbolebene
- WBSysteme basieren darauf

### **Subsymbolische Systeme (Bottom Up)**

- Signale als wesentliche Element
- System ist durch Sensoren/Aktoren mit der realen Welt verbunden
- Einklang mit evolutionären Theorie der Intelligenz → Neuronale Netze

### **Architektur**

- Wissensakquisition  
Änderungen können manuell vom Wissensingenieur (auch Wartungen) durchgeführt werden.  
System kann auch automatisch aus Problemlösungen lernen und selbstständig Konsistenztests durchführen
- Interferenzkomponente  
Verarbeitet Wissen aus der Wissensbasis.  
Leitet Wissen aus Fakten und Regeln ab  
System ist komplex und erfordert methodisches vorgehen
- MetaWissen  
= Wissen über Wissen
- Erklärungskomponente  
Auskunft über Lösungsfindung des Systems  
HOW Funkt = Wie Lösung gefunden wurde  
WHY Funkt = Warum das System bestimmte Schritte unternommen hat

### **Problemlösen und Suchen**

#### Charakterisierung eines Suchproblems durch:

- Startzustand
- nichtleere Menge von Zielzuständen die alle den Zieltest bestehen
- eine nichtleere Menge von Operatoren die auf einen Zustand angewendet Nachfolgezustände generieren
- Kostenfunktion für Pfade

Ein *Zustandsraum* wird durch Anfangszustand und Operatoren definiert.

Die *Lösung* eines Problems ist ein Pfad vom Startzustand zu einem Zielzustand

*Minimale Lösung* ist eine Lösung mit minimalen Pfadkosten.

## Eigenschaften von Suchverfahren

- Vollständigkeit  
Findet Suchverfahren Lösung wenn eine existiert
- Zeitkomplexität  
Wie ist Zeitverhalten bei wachsender Größe der Problemistanz
- Speicherkomplexität  
Wie wächst der Speicherbedarf mit wachsender Größe der Problemistanz
- Optimalität  
Findet das Verfahren die beste Lösung?

## **Uniformierte Suche**

= Benutzt beim Suchen keine problemspezifischen Infos um Teile d. Suchbaums anderen vorzuziehen.

## Breitensuche bfs

- Ebenenweise Expansion der Zustände
- wenn Lösung existiert wird sie gefunden – bei mehreren Lösungen findet man zuerst die in der geringeren Tiefe
- vollständig
- optimal
- Speicher exp
- Zeit exp

## Uniform Cost Search

- Modifikation der Breitensuche bei der Zustände bevorzugt expandiert werden die niedrige Kosten verursachen
- vollständig
- speicher exp
- optimal
- zeit exp

## Tiefensuche dfs

- generiert Nachfolger eines tiefsten Zustands d  
wenn es keinen Nachfolger gibt dann schaut er bei  $d-1$  weiter
- Problem: wenn es eine unendl. Tiefe gibt
- nicht Optimal
- nicht vollständig
- wenig Speicher
- Zeit exp

## Tiefensuche mit wachsender Schranke dfid

Vereint Vorteil von Tiefensuche (wenig Speicher) und Breitensuche (Optimal, Vollständig)  
Es gibt eine Schranke f. Tiefe bei der aufgehört wird zu suchen.

Bei neg. Sucherg. Schrittweise erhöht.

	bfs	ucs	dfs	dfid
Zeit	$b^d$	$b^d$	$b^m$	$b^d$
Speicher	$b^d$	$b^d$	$bm$	$bd$
optimal?	ja	ja	nein	ja
vollständig?	ja	ja	nein	ja

### Heuristische Suche

= Entscheidung aufgrund heuristischer Infos ~ Daumenregel um Kosten eines Wegs abzuschätzen

Idee ist es den bestbewerteten Zustand zuerst zu expandieren – Bewertung basiert auf Heuristiken

### Greedy Search

Schätzen d. Kosten vom aktuellen Knoten n zu einem Zielknoten ohne Berücksichtigung bisher angefallener Kosten.

- keine optimale Lösung
- nicht vollständig
- Zeit  $b^m$
- Speicher  $b^m$
- Entstehung von Zyklen
- in einem lokalen Minimum stecken bleiben od. zw. zwei hin und her wechseln

### A\* Suche

Es werden die tatsächlichen Kosten des Pfades vom Startknoten zum aktuellen Knoten mit in die Entscheidung einbezogen. → dadurch wird ein Knoten nicht unendl. lange von der Expansion ausgeschlossen – „fair“

wird als „best first“ Bezeichnet:

- Zustandsraum hat endl. Verzweigungsgrad
- Kosten jeder Kante sind positiv
- heuristische Schätzfunktion  $f(n) = g(n) + h(n)$  bei der h zulässig sein muss.
- optimal
- vollständig
- Speicher exp
- Zeit exp
- irgendwas mit Dreiecksungleichung

# Wissensrepräsentation

## Eigenschaften die ein Formalismus zu Wissensrepräsentation erfüllen muss

- Ausdruckstärke  
Formalismus muss mächtig genug sein um Wissen überhaupt darstellen zu können
- Verarbeitbarkeit  
Automatisierbarkeit der Wissensverarbeitung – Schlüsse in endl. Zeit gezogen werden
- Flexibilität  
Wissenspräsentation soll allgemeiner Natur sein
- Modularität  
Veränderung der Wissensbasis soll leicht durchführbar sein
- Verständlichkeit  
Wissen muss in verständlicher Form in der Wissensbasis abgelegt werden
- Unvollständige Information  
Man verfügt in der Realität nicht über alle Informationen – sie müssen aber oft verarbeitet werden
- Erfassung unsicheren Wissens  
Vage Informationen: ungenau  
Unsichere Informationen: Wahrscheinlichkeiten

## Arten von Wissen

- Faktenwissen  
Beschreibung von elementaren Sachverhalten
- Zusammenhänge  
statische Zusammenhänge  
zeitliche Zusammenhänge  
kausale Zusammenhänge
- Methodisches Wissen  
Gibt Auskunft wie zur Problemlösung vorgegangen wird
- Meta Wissen  
Wissen über Wissensbasis selbst → Aufbau, Struktur, Verwendbarkeit d. Wissens

## Methoden der Wissensrepräsentation

### Prozedurale Methoden

Wissen wird in Form von Prozeduren dargestellt. Die Interferenzkomponente ist mit Wissen über die Problemlösungsmöglichkeiten ausgestattet.

Die in der Prozedur enthaltene Wissen sollte transparent und verständlich sein.

Vorteile:

- Bei der Prozedur kann explizit auf die Abfolge der Suche eingegriffen werden

Nachteile:

- man kann nicht alle Lösungsmöglichkeiten berücksichtigen
- mangelnde Modularität
- eingeschränkte Flexibilität

## Logikbasierte Methoden

verwendet Methoden der formalen Logik

Syntax: Regeln wie man Sätze baut

Semantik: Bedeutung der Sätze

Wissen kann in Form von logischen Sätzen dargestellt werden → neues Wissen kann abgeleitet werden

### Aussagenlogik

blaaa bla bla ...

### Prädikatenlogik

bla schlimmer bla aaa bla bla ...

## Objektorientierte Methoden

In Prozeduralen und Logikbasierten Methoden werden Eigenschaften und Beziehungen durch Sprachmittel beschrieben dabei geht die syntaktische Struktur verloren.

Bei OO Methoden wird aber die Struktur der Objekte beibehalten!

### Eigenschaften

- zentrale Beschreibung  
Objektstruktur wird zentral beschrieben – Beschreibung ist über das Objekt lokalisierbar
- deklarative Strukturbeschreibung  
Strukturen und Zusammenhänge werden in deklarativer Form erfaßt
- Objektstruktur  
Eigenschaften werden durch Attributwerte beschrieben
- Klassenstruktur  
Menge von gleichartigen Objekten werden als Typen gesehen

### Vererbung

Zwei Arten:

- Subkonzept/Superkonzept  
kann als größter gemeinsamer Nenne gesehen werden  
Eigenschaften werden vom Superkonzept vererbt
- Instanzierungsvererbung  
Objekt erbt alle Eigenschaften die ein prototypisches Objekt dieses Typs hat

wichtige Aspekte der Vererbung

- Überdeckung  
Eigenschaft vom allg. Fall passt nicht dh. wird für einen speziellen Fall eine Änderung

vorgenommen.

Bei der Logik kann es zu Inkonsistenzen kommen → Bsp. mit Vogel

- Mehrfachvererbung

Ein Subkonzept erbt von mehreren Superkonzept die Eigenschaften

Problem kann es geben wenn mehrere Superkonzepte die gleiche Eigenschaft haben dann muss nämlich entschieden werden welche Eigenschaft das Subkonzept nimmt.

## **Framesysteme**

basieren auf einem OO Ansatz der Wissensrepräsentation

Situation sind als Objekt zu verstehen → ein Frame ist ein Objekt und wird über eine Objekt ID angesprochen → hat Attribute und Wertebereiche

Ein Frame ist quasi als Record zu sehen

### Trigger

Man kann Prozeduren in Framestrukturen einhängen die nach einem Aktivierungsmuster (=Trigger) ausgeführt werden

Bsp.: FRL, RLL, KEE, FrameWork

## **Semantische Netze**

basiert auf OO Methoden der Wissensrepräsentation

Wissen wird als gerichteter Graph repräsentiert

*Knoten* = Konzepte → stellen Objekte der realen Welt dar aber auch Klassen, Behauptungen, Ereignisse

*Beziehungen zw. Konzepten* = Kanten → wird als konzeptuelle Relation bezeichnet

man kann komplexere Zusammenhänge als geschachtelt Netze darstellen

### Unterschied zu OO Ansätzen:

OO Methoden gehen in Richtung Datenkapselung und semantische Netze in eine Offenlegung der Beziehungen im globalen Kontext

### Unterschied zu Logik basierten Ansätzen:

- Darstellung für Benutzer besser als logische Formeln
- Wissen um Vererbung wird auf eine modulare Art erfasst
- Struktur erlaubt eine direkte Verarbeitung durch Algorithmen
- keine rein deklarative Semantik bei Semantische Netze ... Interpretation hängt von Abarbeitungsalgorithmen ab

### Anwendung: natürliche Sprachen

## **Relationale Graphen**

Knoten sind atomare Konzept  
Kanten drücken wie gehabt Beziehungen aus

Aus logischer Sicht kann in einem relationalen Graph ein Sachverhalt dargestellt werden, der in einem Fragment der Prädikatenlogik 1. Stufe beschrieben werden kann.

## **Propositionale Netze**

ausdrucksstärker als relationale Graphen dh. können komplexere Sachverhalte besser dargestellt werden (können durch Verschachtelung von anderen Aussagen entstehen)

Möglichkeit Netze zu schachteln

## **PROPOSITION Rahmen**

## **Logische Formeln mit Quantoren**

**FEHLT**



## Diagnose 7.2

Soll fehlerhafte Komponenten in einem System erkennen

### 2 Ansätze:

- Regelbasierte → schlecht zum warten
- Modellbasierte

### Komponenten in einem Diagnosesystem

- Diagnosemodell  
korrektes Verhalten wird formal beschrieben
- Diagnosealgorithmus  
Es wird das tatsächliche Verhalten mit dem vorhergesagtem verglichen  
Menge von fehlerhaft erkannten Bauteilen wird als Diagnose bezeichnet
- Messpunkte  
möglichst wenig Messpunkte um eine Diagnose zu bekommen  
Optimale Messpunkte durch Heuristiken/Kostenfunktionen

### Diagnoseproblem (SD, OBS, COMP)

- logische Theorie – Systembeschreibung SD
- Menge von Fakten – Beobachtungen OBS
- Menge von Konstantensymbolen – Bauteile COMP

Diagnose für Diagnoseproblem ist eine min. Menge  $\nabla$  von fehlerhaften Komponenten

Aufgabe eines Diagnosesystems:

- Diagnosen müssen berechnet und ausgegeben werden (alle od. wahrscheinl.)
- Messpunkte vorschlagen um best möglich zw. Diagnose differenzieren zu können

# Spezielle Aspekte der Wissensrepräsentation

In bestimmten Situationen wäre es praktisch Annahmen zu treffen die nicht logisch aus einer Wissensbasis folgen.

→ Wenn man nicht genug Fakten hat will man trotzdem was draus schließen

Logik hat Probleme damit weil man in der Logik eigentlich alle Infos schon implizit hat

→ monotonie Eigenschaft

Man benötigt Formalismen die flexibel sind und inkorrekte Schlüsse erlauben

→ Herleitung aus Wissensbasis die plausibel aber nicht korrekt sein müssen

## 2 Methoden

- quantitative  
Numerische Verfahren + Wahrscheinlichkeitstheorie  
Bays'sche Netze, Überzeugungstheorien, Fuzzy Mengen
- qualitative  
Unsicherheit und Unwissen ohne Bezug zu numerischen Methodiken

## Qualifikationsproblem

Begriffe sind Änderungen unterworfen

Bsp.: Prädikatenlogik

Aussage: alle Vögel fliegen

Man hat ein Problem weil Pinguine nicht fliegen und tote Vögel, Neugeborene,...

→ Qualifikationsproblem

Mann kann aber „temporäre“ Annahmen, die geändert werden können, treffen

→ Default Annahme

## Ramifikationsproblem

implizite Folgerungen

man hebt einen Stein und hebt damit auch Staub → man will aber den Staub nicht extra spezifizieren sonder aus der Bewegung des Steins herleiten

→ Lösung nicht monotone Regeln

## Frame Problem

Welche Eigenschaften ändern sich beim Ausführen einer Aktion? Welche bleiben gleich?

Bsp: Würfel der bemalt wird bleibt ein Würfel ... 4 Ecken, usw.....

→ Lösung nicht monotone Regeln

## Minimierungsmethoden

### Closed World Assumption

= jeder atomare Satz, der aus einer gegebenen Menge von Fakten nicht hergeleitet werden kann ist falsch

Bsp: Zugfahrpläne: alle Züge die nicht angezeigt werden gibt es nicht (dh Verbindung existiert nicht)

T... Theorie

P... geschl. Atomformel

T ist vollständig wenn P od.  $\neg P$  in T liegt

CWA(T) ... vollständige Theorie wenn f. jede P, die nicht in CWA(T) liegt gilt:  $\neg P \in \text{CWA}(T)$

### Prädikatenvervollständigung

T... besteht aus einer Formel  $p(a)$

äquivalent  $\forall x(x=a \rightarrow p(x))$

Annahme dass keine weiteren Objekte p erfüllen – Umkehrung d. Formel  $\forall x(p(x) \rightarrow x=a)$

Semantisch gesehen führt Prädikatenvervollständigung von P zur Interpretation von P dass es in einem Modell minimiert wird.

### solitär

Menge v. Klauseln ist solitär in P falls jede Klausel mit einem positiven Vorkommnis von P höchstens ein Vorkommnis von P hat.

## Default Logik

nichtmonotone Schlüsse mittels spez. Inferenzregeln  $\rightarrow$  Defaults realisiert

$(\phi : v_1 \dots v_n) / \gamma$

$\phi$ ... Vorbedingung

$v_1 \dots v_n$ ... Rechtfertigung

zusammen: Prädikatenlogische Formel

$\gamma$ ... Konsequenz

wenn  $\gamma$  schon bewiesen wurde und  $v_1 \dots v_n$  konsistent zum bisherigen Wissen sind dann kann man auf  $\gamma$  schließen

Bsp.:  $\text{Vogel}(x) : \text{fliegt}(x) / \text{fliegt}(x)$

## Default-Theorie

Wissen wird in Form von Default Theorien repräsentiert

geordnete Paare  $\langle W, D \rangle$

W... Menge von geschlossenen Formeln  $\rightarrow$  Hintergrundwissen

D... Menge von Defaults ist

**FEHLT EXTENSIONS**

**Answer Sets FEHLT**

## Unsicherheit 6

Man hat Zufallsvariablen  $V_i$  die aus verschd. Domänen kommen:

- Boolesche Werte
- Numerische Werte
- Kategorische Werte

a priori Wahrschl. = Wahrscheinlichkeitsverteilung

Kettenregel = nützlich um bedingte Wahrscheinlichkeiten zu berechnen

$$T(V_1 \dots V_n) = \prod_{i=1}^n P(V_i | V_{i-1} \dots V_1)$$

## Bayes'sche Netze 6

Bayes'sche Gesetz

$$P(V_i | V_j) = \frac{P(V_j | V_i)P(V_i)}{P(V_j)}$$

Eigenschaften:

gerichteter, azyklischer Graph

Knoten sind mit Zufallsvariablen markiert → repräsentieren Unabhängigkeitseigenschaften von Variablen

1. Zwei Knoten  $V_1$  und  $V_2$  sind mit einem Pfeil von  $V_1$  nach  $V_2$  verbunden, wenn  $V_1$  einen direkten Einfluss auf  $V_2$  hat
2. Zu jedem Knoten  $V$  ist die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(V|W)$  bekannt, wo  $W$  die unmittelbaren Vorgänger, d.h. die Elternknoten, von  $V$  sind

Vor und Nachteile:

- große Datenmengen benötigt um die marginalen und bedingten Wahrscheinlichkeiten angeben zu können
- Schwer zu sagen ob Variablen bedingt unabhängig sind
- kann kein Nichtwissen darstellen – nicht monotone Logiken schon
- Widersprüche werden nicht entdeckt und pflanzen sich fort

## Arten des Schließens in Bayes'schen Netzen

Kausales Schließen

man interessiert sich für die Berechnung von Wahrscheinlichkeiten von Ursachen und Wirkungen

### Diagnostisches Schließen

Umkehrung des kausalen Schließens

### Interkausales Schließen

Mischform aus den zwei vorigen Schlussarten

### **D-Seperations Fehlen**

# Logik und Inferenz 4

## Inferenz in Regelorientierten Repräsentationen

### Vorwärtsverkettende Systeme

Verarbeitung findet datengetrieben statt ausgehen von den Daten wird nach Wissen gesucht

Repräsentation des Wissens in Form von Regeln

Regel- und Produktionssysteme bestehen auf 2 Elemente:

- *Arbeitsspeicher*

Menge von Typen sowie deren Instanzen → WME  
record in prozeduralen Programmiersprachen  
frameartige Repräsentation  
Tupel einer Datenbankrelation

3 Operationen: make, modify, remove

Elemente des Regelspeichers: Wissen über Zusammenhänge

wenn Bedingung dann Aktion  
LHS                      RHS

mehrere Bedingungen werden konjunktiv verknüpft

- Regelspeicher

Abarbeitung

Starten des Systems → es wird eine Regel mit leerer LHS ausgeführt → RHS Teil hat Regeln die erforderliche Initialisierungen durchführen

Musterung → Regeln werden gegen das WM gematcht → Resultat ist eine Konfliktmenge die eine Regelinstanz enthält (Datenstruktur)

Regelauswahl → Regelinstanz wird aus der Konfliktmenge ausgewählt zur Verarbeitung

Aktion → Änderung des WM → Zyklus beginnt von vorne

Wissen wird in der Konfliktmenge zur heuristischen Bewertung bereitgestellt → Es wird in der Aktionsphase angewendet und es entsteht eine neue Situation

Ende → entweder durch halt od. wenn CS nach der Musterung leer ist

## Rückwärtsverkettende Systeme

### Unifikation

→ Mechanismus f. Instanziierung

Forderung an Kalküle (dienen zur Automatisierung und Mechanisierung der Inferenz) ist die zielgerichtete Generierung von Instanzen

### **Substitution, Unifikator, ... 4.8**

### Hornklauseln

→ Klauseln mit höchstens einem Literal

$$\forall x_1 \dots \forall x_m (p_1 \wedge \dots \wedge p_n \rightarrow q)$$

in der Programmierung :

$$\begin{array}{ccc} q & \leftarrow & p_1, \dots, p_n \\ \text{Kopf} & & \text{Rumpf} \end{array}$$

leerer Rumpf + Kopf = Widerspruch

Abarbeitung der Abfrage:

**FEHLT**

**Allgemeine Resolution**

**MEI**



## Aussagenlogik

elementare Form der Logik → Subformalismus der Prädikatenlogik

Aussagen die wahr od. falsch bewertet werden

Syntax: Menge A von atomaren Aussagen

Semantik: atomare Aussage kann w od. f annehmen → wird durch Interpretation und Modelle festgelegt

Interpretation:

Jedem Atom wird ein Wahrheitswert zugeordnet und in einer Verknüpfungstabelle aufgelöst.

*Modell*: Interpretation I ist ein Modell für eine Aussage  $\varphi \rightarrow I \models \varphi$

*Tautologie*: wenn alles Wahr ist

*Kontradiktion*: wenn alles Falsch ist

*Erfüllbare Aussage*: wenn Aussage ein Modell besitzt

Erfüllbarkeitsproblem:

Vorgehensweise um zu Wissen ob eine Aussage erfüllbar ist: system. alle Interpretationen überprüfen bis ein Modell gefunden wurde → exp Laufzeit

Lösung möglich durch Heuristiken

## Prädikatenlogik

Objekte + Eigenschaften und deren Beziehungen

Mit logischen Quantoren können für bestimmte Belegungen der Variablen Aussagen ausgedrückt werden.

*Konstantensymbole*: es wird ein best. Symbol angesprochen → c .. Peter

*Variablensymbole*:

*Prädikatensymbole*:

*Terme*

*Atomare Formeln*

*Freie Variablen*: Sind nicht durch Quantoren gebunden

*Satz*: Formel ohne freie Variablen

*Allquantifizierter Satz*:

*Literal*: Atomformel oder deren Negation

*Horn-Klausel*: es kommt höchstens ein Literal vor

*KNF*:

## **Semantik**