Einführung in die KI

Prof. Dr. sc. Hans-Dieter Burkhard
Vorlesung Winter-Semester 2003/04

Wissensrepräsentation 2:
- Strukturierung
- Regelsysteme
- Frames, Skripts
- Beschreibungssysteme

Strukturen für die Wissensrepräsentation

- Regelsysteme:
  „Wenn - dann“ - Zusammenhänge
- Terminologische Repräsentation
  Begriffshierarchien, -netze
  - Semantische Netze, Frames,
  - Beschreibungssysteme
- Skripts
  Ereignisse beschreiben

3.1 Regelsysteme („Produktionssysteme“)

Beschreibung von

„Wenn - dann“ - Aktionen

IF Bedingung(en) THEN Aktion(en)

linke Seite

left hand side (LHS)

rechte Seite

right hand side (RHS)

IF	*Ball weit weg*	THEN	*Home-Position einnehmen*
IF	*Bein gebrochen*	THEN	*ruhig stellen*
IF	*neuer Kunde*	THEN	*Statistik aktualisieren*

Regelanwendung

IF Bedingung(en) THEN Aktion(en)

1. Matchen:

Auslösebedingung(en) erfüllen Bedingung(en) der linken Seite,

durch Variablen-Bindungen entsteht *Regelinstanz*

2. Abarbeiten („Feuern der Regel“)

Aktionen der rechten Seite der *Regelinstanz* ausführen

IF *Spieler X frei* THEN *Pass zu Spieler X*

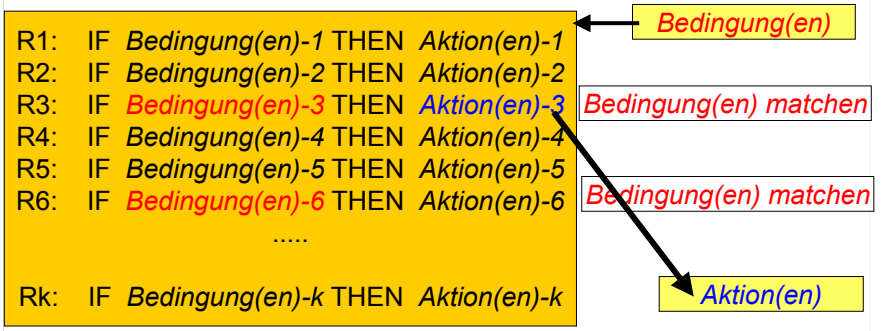
IF *Bestellung X von Kunde K* UND *X im Lager*
THEN *Lieferauftrag X an K*

IF *Bestellung X von Kunde K* UND NICHT *X im Lager*
THEN *Absage X an K* UND *Nachbestellung X*

Einfaches („1-schichtiges“) Regelsystem

Tabelle von Regeln

Ablauf:
Triggerbedingung(en) kommen „**von außen**“,
Mit (erster) passender Regel: Antwort „**nach außen**“



Mehrschichtige Regelsysteme

Beschreibung komplexer Prozessen mit Regeln.
Abarbeitung einer Regel aktiviert weitere Regeln.

IF *Anfrage X* von *Kunde K*
THEN *Überprüfung Kunde K* UND *Analyse Anfrage X*

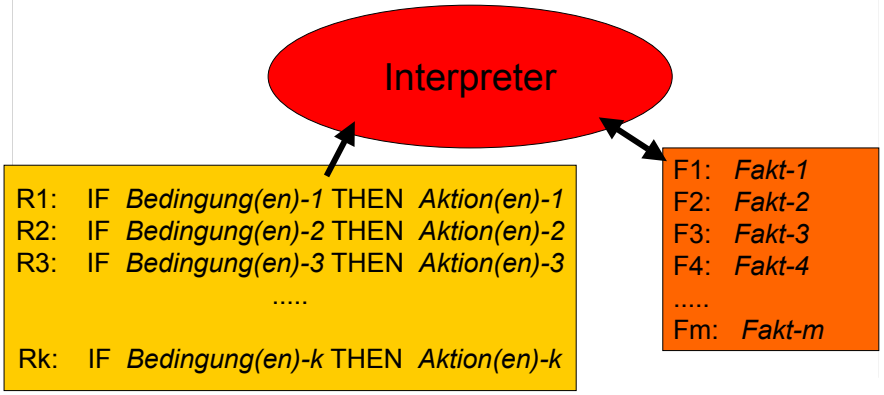
IF *Überprüfung Kunde K* UND NOT *K in Kundendatei*
THEN *Eintrag K in Kundendatei*

IF *Analyse Anfrage X* UND *X = STORNO*
THEN *STORNO-Meldung . . .*

Benötigt internen Arbeitsspeicher
und Interpreter (Inferenz-Maschine)

Komponenten eines Regelsystems

- Regelmenge (Programm)
- Arbeitsspeicher (Wissens-Zustand: Fakten-Menge)
- Interpreter/Ablaufsteuerung (Inferenz-Maschine)



Arbeitsspeicher

Datenbasis (Menge von Fakten) :
Arbeitsspeicher, „Working-Memory“
Aktueller interner Wissens-Zustand

F1: *Fakt-1*
F2: *Fakt-2*
F3: *Fakt-3*
F4: *Fakt-4*
.....
Fm: *Fakt-m*

Fakten: „Working-Memory-Elements“ (WME)
Form: Datenbankeinträge, Prädikate. Zeitstempel.

Veränderung durch Aktionen bei der Regelabarbeitung, z.B.

```
REMOVE(Fakt)
ADD(Fakt)
CHANGE(Fakt1,  Fakt2)
```

Regelanwendung

IF Bedingung(en) THEN Aktion(en)

1. Matchen: Regel(-instanz) ist „feuerbar“.

   Falls LHS durch Fakten im Arbeitsspeicher erfüllbar:

   Regelinstanz *R* (= Regel + Belegung der Variablen)

2. Abarbeiten („Feuern“):

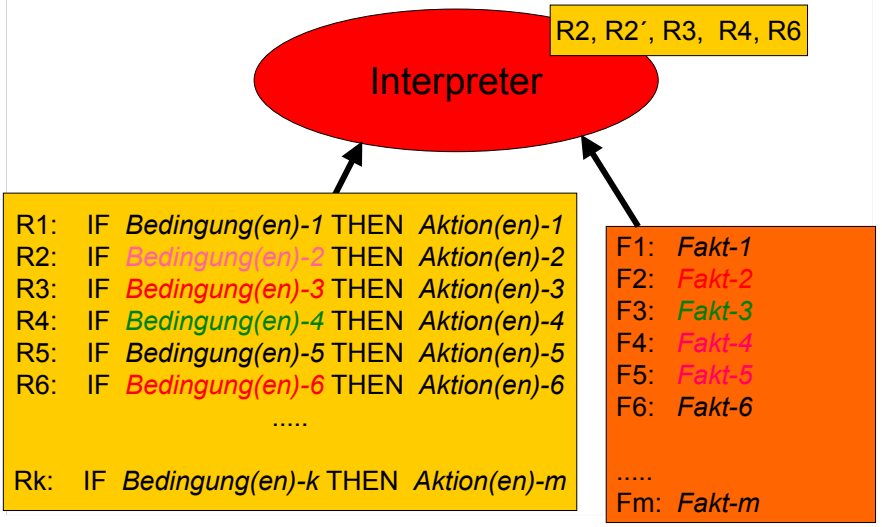
   Aktionen der *Regelinstanz* *R* ausführen:

   – Änderungen im Arbeitsspeicher
   – Seiteneffekte (E/A-Operationen usw.)

Mehrere Regeln können matchen.

Zu einer Regel können mehrere Instanzen existieren.

Interpreter: Matchen



Interpreter: Recognize-Act-Zyklus

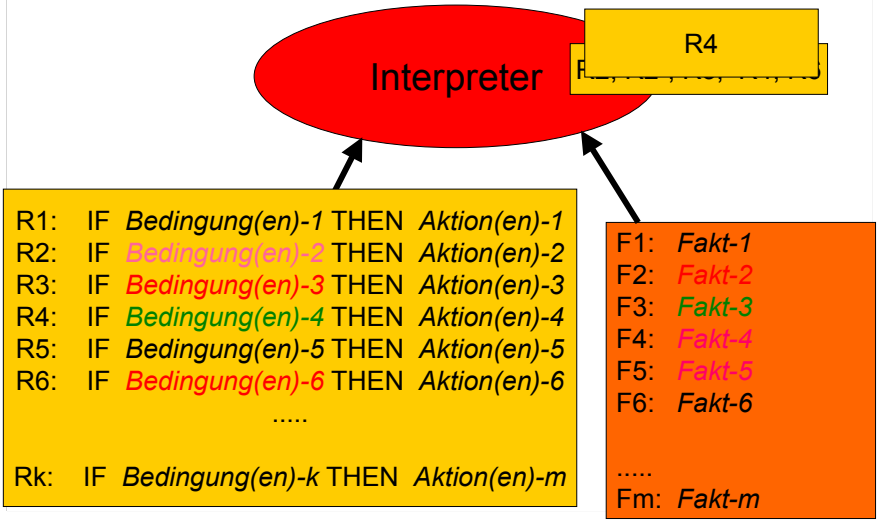
Recognize-Act-Zyklus in 3 Phasen

1. MATCHING:
Feuerbare Regelinstanzen $R_1,..., R_n$ bestimmen

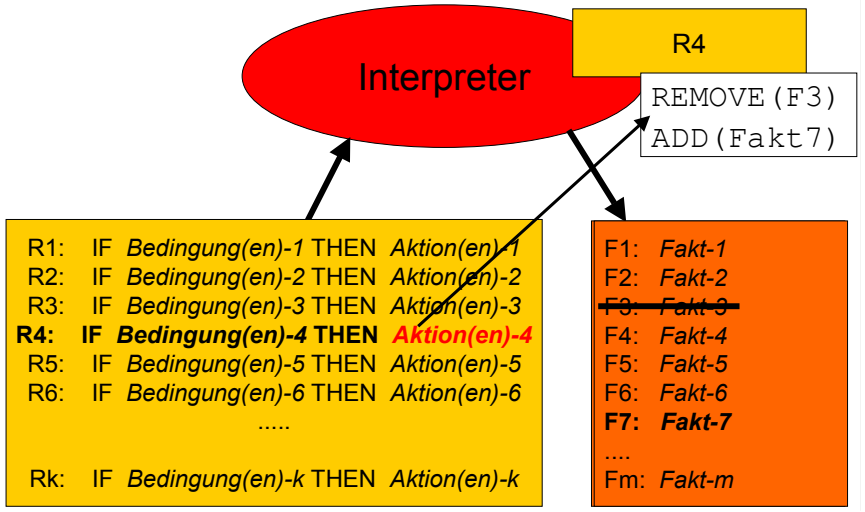
2. CONFLICT RESOLUTION
Auswahl einer Regelinstanz R aus $R_1,..., R_n$

3. ACTION:
Abarbeiten der ausgewählten Regelinstanz R

Interpreter: Conflict Resolution

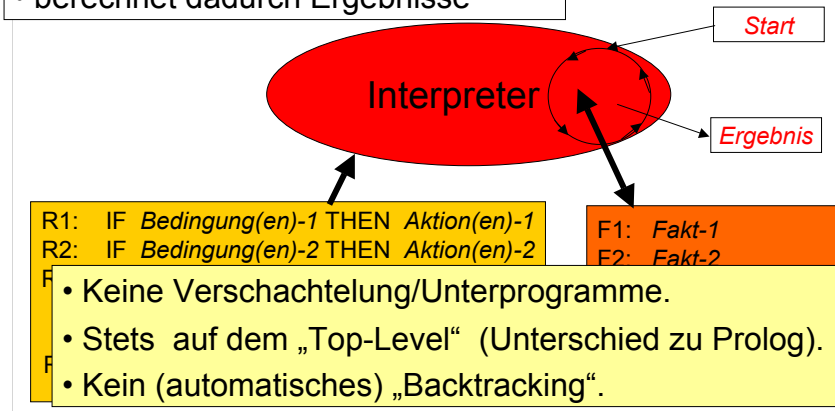


Interpreter: Action



Arbeit des Regelsystems

Zyklische Arbeit des Interpreters:
- manipuliert Arbeitsspeicher und
- berechnet dadurch Ergebnisse



- Keine Verschachtelung/Unterprogramme.
- Stets auf dem „Top-Level“ (Unterschied zu Prolog).
- Kein (automatisches) „Backtracking“.

Arbeit des Interpreters als Suchstrategie

- Zustände: Fakten-Mengen (Arbeitsspeicher-Zustände)
  - Anfangszustand: initiale Fakten-Menge
  - Zielzustände: durch Resultate bestimmt
- Operatoren: Regeln, Anwendbarkeit abhängig vom Zustand

Vorwärts- oder Rückwärts-Strategien möglich
(Forward/backward chaining)

Suchstrategie:

–Verfolgen eines einzelnen (!) Pfades

–Auswahl gemäß „Conflict-Resolution“ im Interpreter

– kein Verfolgen mehrerer Pfade
(fehlt: Liste OPEN bzw. Backtracking)

– evtl. durch Regel-Programm simulieren

Conflict-Resolution

Mögliche Prioritäts-Kriterien:

•Regel/Regelinstanz nicht wiederholt ausführen

➡ Schleifen vermeiden

•Jüngere Regelinstanzen bevorzugen

➡ Tiefen-Suche.

Alternativ: Ältere Regelinstanzen bevorzugen

➡ Breiten-Suche.

Alter einer Regelinstanz berechnen
aus dem Alter der Fakten (WME),
die den Bedingungsteil der Instanz matchen

Conflict-Resolution

Mögliche Prioritäts-Kriterien:

•Regeln mit vielen Bedingungen bevorzugen

⇒ Ausnahme-Behandlung.

zusätzliche Ausnahmebedingungen

•Metaregeln bevorzugen

⇒ Strukturierung von Regel-Programmen

Kontexte für Regeln einführen (als Fakten)

Ausnahmen von allgemeinen Regeln

- Allgemeine Regel („Default“):
  IF in_Bibliothek(x) THEN arbeitet(x)
- Ausnahme-Regeln
  IF in_Bibliothek(x) AND muede(x) THEN schlaeft(x)
- Ausnahme von der Ausnahme
  IF in_Bibliothek(x) AND muede(x) AND vorKlausur(x)
  THEN arbeitet(x)

Ausnahme-Behandlung (Regeln mit vielen Bedingungen) hat Vorrang

Einfaches Verfahren für nichtmonotenes Schließen!

Strukturierung von Regel-Programmen

Problem:

Regeln gleichberechtigt - Ablauf schwer durchschaubar.

Strukturierung durch Gruppierung mittels *Kontexten*:

IF context1 AND : : : THEN : : :
IF context1 AND : : : THEN : : :

IF context2 AND : : : THEN : : :
IF context2 AND : : : THEN : : :

Metaregeln zum Setzen von Kontexten:.

IF : : : THEN ADD context1
IF : : : THEN REMOVE context2

Rücksetzregeln für Kontexte nutzbar für Backtracking

Grundidee Regelbasierter Systeme

- Regeln:
  - mitteilbares Wissen oft in Regelform
  - wegen leichter Anwendbarkeit von hoher Bedeutung
- Faktenmenge = aktueller Wissensstand,
- Matching mit Datenbasis steuert Ablauf

Eignung für Probleme mit

- vielen, unabhängigen Einzelaktionen/Fakten
- Separierbarkeit von Wissen und Bearbeitung

Eigenschaften Regelbasierter Systeme

- Einheitlichkeit
- Erklärbarkeit
- Erweiterbarkeit,
- Unabhängigkeit
- wenig Strukturierung

Nachteile bei großen Systeme

- Abarbeitungsreihenfolge schwer überschaubar,
- Steuerung implizit
- Komplexität

1000 Regeln, 10 Tests pro Regel, 500 WME.
Theoretisch: 5 Mio. Tests pro Zyklus.

OPS-5

„Official Production System“
entwickelt zur Konfiguration von VAX-Rechnern:
Expertensysteme R1/XCON Firma DEC

Effizienz durch Compilation/Abarbeitung mit Rete-Algorithmus:

- –Programm (Bedingungen) in netzartiger Struktur
- –Markierung von Bedingungen gemäß Arbeitsspeicher
- –Markierung feuerbarer Regelinstanzen

Programm wird in *Netzartige Struktur* überführt, Matching nicht durch Vergleich aller Regeln mit Arbeitsspeicher, sondern durch Management der Änderungen bzgl. feuerbarer Regelinstanzen.

Datenstrukturen („*Klassen*“) für WME

Der Arbeitsspeicher - **Working memory** –
besteht aus **WME**'s mit ,,Zeitstempeln"
(fortlaufende Numerierung entsprechend der Erzeugung).

Der Datenbestand kann mit der Funktion
wm sichtbar gemacht werden.

Ein **WME** besteht aus
- einem (Klassen-)Namen)
- einer Menge von *Attribut-Wert-Paaren*
- einem *Zeitstempel*

```
(block  ^name A  ^size 10  ^place heap) 987
```

Speichertechnisch:
Attribute durch Stellung spezifiziert,
nur Werte abspeichern

Datenstrukturen („*Klassen*“) für WME

Deklaration einer Klasse mit Hilfe von literalize:
- Angabe des Klassen-Namens und
- einer (beliebigen) Anzahl von Attributen.

```
literalize block name size place
```

Erzeugung eines WME mit make.

```
(make block  ^name A  ^size 10  ^place heap)
```

erzeugt zur Zeit 987 das WME

```
(block  ^name  A  ^size 10  ^place heap) 987
```

Vereinfachte Syntax

```
      CE = condition element
AV-pair = attribut-value-pair

<regel>    ::= ( p <regelname> <LHS> --> <RHS> )
<LHS>      ::= <CE> { [-] <CE> }
<RHS>      ::= {<action>}
<CE>       ::= ( <class name> { <AV-pair > } )
<AV-pair>  ::=  ^ <attribut> <value>

<action>   ::=  (make <class name> {<AV-pair>} )
              | (remove <number> )
              | (modify <number> {<AV-pair> } )
              | (call <function name> )
              | (write ...   )
              | (halt)
              | (build   ...  - f"ur Regeln - )
              | ...
```


Variable

- treten nur in Regeln auf,
- ohne Typvereinbarung (es gibt aber z.B. arithm. Ausdr.),
- haben eine auf die Regelabarbeitung beschränkte Lebensdauer und
- sind, falls einmal belegt, in der ganzen Regelinstanz so belegt (Konsistenz).
- Bei negierten Bedingungen (-<cond_element>) erfolgt keine Variablenbindung. Negierte

,,value" kann eine Variable oder ein arithm./logischer Ausdruck sein:

{ > 5 < 10 } UND-Verknüpfung: x > 5 und x < 10

<< < 5 > 10 >> ODER-Verknüpfung: x < 5 oder x > 10

Matching WME und CE

Der Bezug auf die Attribut-Werte-Paare erfolgt in den CE durch die Attribut-Namen,
dabei müssen nicht alle Paare aus der angegebenen Klasse vorkommen,
auch die Reihenfolge kann verändert werden.

Matching WME und CE

Das Matching eines CE mit einem WME ist erfolgreich,

- falls die Klassen-Namen übereinstimmen und
- die im CE angebenen Attr.-Werte-Paare mit den entsprechenden Werten des WME matchen, d.h.:
  - die Werte stimmen überein oder
  - im CE steht eine ungebundene Variable <x> :
    x erhält den entspr. Wert aus dem WME

oder

- im CE steht eine Bedingung,
  die der Wert aus dem WME erfüllt

oder ... (weitere Bedingungen siehe Literatur)

Aktionen der rechten Seite:

- make erzeugt ein entsprechendes WME (mit fortlaufendem Zeitstempel).
- remove i entfernt das WME, das der i-ten Bedingung der LHS entspricht.
- modify i ... ersetzt ein WME:
  das WME, das der i-ten Bedingung entspricht, wird aus dem Working Memory gestrichen,
  ein WME mit neuem Zeitstempel wird aufgenommen, das sich von dem alten in den angegebenen Attributen unterscheidet.
- (weitere: siehe Lit.)

Abarbeitung

Feuerbare Regelinstanzen:
Jeweils Regel mit einem ,,Satz" matchender WMEs aus dem aktuellen Speicher.

Bestimmung der feuerbaren Regelinstanzen: Alle Bedingungen (<CE>) der LHS einer Regel müssen mit geeigneten WME's ,,matchen" (s.o).

Für die Konflikt-Lösung sind die Zeitstempel maßgeblich, dafür gibt es zwei Strategien (*LEX* und *MEA*), die am Programmanfang gesetzt werden (s.u.).

Konfliktlösungsstrategien

- Die Konfliktlösung erfolgt in mehreren Schritten bis nur eine Instanz übrig bleibt.
- In jedem Schritt wird i.a. eine Halbordnung über den Instanzen erzeugt, alle nicht dominierenden Instanzen werden gestrichen.
- Sobald in einem (Teil-)Schritt nur eine Regelinstanz übrig ist, wird diese genommen.

Instanz =

Regel

+ Variablenbelegung

+ Menge der Zeitstempel der ,,matchenden" WME

Strategie LEX

(,,lexikographische" Ordnung, s. Schritt 2.)

1.Schritt : *Refraction*

- Regelinstanzen, die gefeuert haben, streichen.
- Falls danach die Regelinstanzenmenge leer ist: STOP.

Bemerkung:
Gleichartige Instanzen mit unterschiedlichen Zeitstempeln sind verschieden.

Die Regel (p loop (start) --> (make start)) wäre immer wieder feuerbar als neue Instanz.

Strategie LEX

2. Schritt: *Recency und Recency Specifity*

- Sei n_1 der größte (jüngste) Zeitstempel, der bei den Regelinstanzen der Konfliktmenge vorkommt:
  Regelinstanzen, bei denen n_1 nicht vorkommt, streichen.
  - Sei n_2 der zweitgrößte Zeitstempel in der aktuellen Konfliktmenge.
    Regelinstanzen, bei denen n_2 nicht vorkommt, streichen.
    (Einschließlich derjenigen, mit nur einem CE: ,,*Specifity*''.)

usw. solange mehr als 1 Instanz in der Konfliktmenge

Wenn keine weitere Einschränkung möglich: weiter bei 3.

Strategie LEX

3. Schritt *Test-Specificity*

Instanzen mit den meisten Tests in den Bedingungen auswählen. (Variablenbindungen gelten nicht als Test.)

4. Schritt

zufällige Auswahl.

Strategie MEA

(*means-ends-analysis*)

Das erste CE jeder Regel hat besonderes Gewicht.

Abarbeitung wie bei LEX, außer bei:

2. unterteilt sich in

(a) Maßgeblich ist der maximale Zeitstempel t_1 der *ersten* Bedingung einer jeden Regelinstanz:
Alle Instanzen streichen, bei denen die erste Bedingung mit einem älteren WME (mit Zeitstempel $t_1' < t_1$) matcht

(b) weiter wie bei LEX

Durch die MEA-Strategie kann der Ablauf eines Programms besser bestimmt werden. (Setzen von Kontexten - siehe im Beispiel: (goal ...))

Beispielprogramm nimmt Blöcke der Größe nach von einer Halde und plaziert sie der Größe entsprechend.

```
(strategy mea)

(literalize goal task index)
(literalize block name size place)
(literalize start)


(p begin
   (start)
   -->
   (make block ^ name A ^ size 10 ^place heap)
   (make block ^ name B ^ size 20 ^place heap)
   (make block ^ name C ^ size 30 ^place heap)
   (make block ^ name D ^ size 40 ^place heap)
   (remove 1)
   (make goal ^ task add ^ index 1)
)

(p pick-up
   (goal ^ task add)
   (block ^ size     <size>      ^ place heap)
  -(block ^ size { > <size> }    ^ place heap)
   -->
   (modify 2 ^ place hand)
)
```

Beispielprogramm nimmt Blöcke der Größe nach von einer Halde und plaziert sie der Größe entsprechend.

```
(p holding
   (goal  ^task add)
   (block ^ place hand)
   -->
   (modify 1 ^ task put-down)
)

(p put-down
   (goal  ^ task put-down  ^ index <rank>)
   (block ^ place hand)
   -->
   (modify 2 ^ place <rank>)
   (bind <a> (compute <rank> + 1 ) )
          ;  Berechnung und Bindung der Variablen a
   (modify 1 ^ task add  ^ index <a> )
)

(p stop
   (goal   ^ task add)
  -(block  ^ place heap)
   -->
   (remove 1)
   ( wm )          ; druckt Arbeitsspeicher aus
   (halt)          ; beendet Abarbeitung
)

(defun rerun nil
   ( remove *)     ; loescht gesamten Arbeitsspeicher
   (make start)
   (run)           ; startet Abarbeitung
```