Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

Sebastian Iwanowski
FH Wedel

Kap. 2:
Logische Grundlagen der KI

2.2: Praktischer Einblick in die Programmiersprache PROLOG

An der Ausarbeitung dieser Vorlesung hat der Bachelorstudent Max Rohde mitgearbeitet.

Literatur zu Prolog

Lehrbücher:

Ivan Bratko: *PROLOG, Programming for Artificial Intelligence*,
2nd Edition, Wiley 1990, ISBN 0-201-41606-9
3rd Edition, Wiley 2000, ISBN 0-201-40375-7
4th Edition, to appear 2008

Peter Bothner / Wolf-Michael Kähler: Programmieren in *PROLOG, Eine umfassende praxisgerechte Einführung*,
Vieweg 1991, ISBN 3-528-05158-2

Seminararbeit:

Max Rohde: *Eignung logischer Programmiersprachen für Spiele-KI am Beispiel Prolog,*
FH Wedel, Iwanowski, SS 2007, Informatik-Seminar zur Spiele-KI

→ gibt auch einen Überblick über Prolog und enthält weiterführende Literaturliste

Bausteine von PROLOG

Elementarbausteine:

- **Zahlen**

  Unterschieden wird zwischen ganzen und gebrochen rationalen Zahlen.

- **Atome**

  Name, dessen erstes Zeichen Kleinbuchstabe ist.

- **Variable**

  Name, dessen erstes Zeichen Großbuchstabe ist. Ausnahme: _

- **Listen**

  [] oder [Term | Liste]
  Kurzschreibweise: [1,2,3,4] für [1 | [2 | [3 | [4 | []]]]]

- **Terme**

  Zahlen, Atome, Variable, Listen oder Atom(Term) oder Atom(Term,Term) oder ...

- **Prädikate**

  Terme der Form Atom, Atom(Term) oder Atom(Term,Term) oder ...
  2 Prädikate gelten als gleich, wenn sie mit demselben Atom benannt sind und dieselbe Anzahl von Parametern haben.

Bausteine von PROLOG

Logische Operatoren zwischen Prädikaten:

- **Konjunktion**

  a , b entspricht: $a \land b$

- **Implikation**

  a :- b entspricht: $b \rightarrow a$

- **Äquivalenz**

  a = b entspricht: $b \leftrightarrow a$

- **Nichtäquivalenz**

  a \= b entspricht: $b \nleftrightarrow a$

- **versionsspezifische Operatoren**

  not, member, length, ...

Bausteine von PROLOG

Arithmetische Operatoren

- **+, -, *, /, div, mod**

  Arithmetische Ausdrücke werden in Infix-Notation gebildet.

Auswertung arithmetischer Operationen

- **nicht automatisch!**

- **durch Zuweisung an Variable**

  `Varname` **`is`** `Arithmetischer Ausdruck`
  weist der Variable Varname das Ergebnis des arithmetischen Ausdrucks zu.

- **durch logische Operatoren mit Auswertungsfunktion**

  <, =<, > >=. =:=, =\= wertet arithmetische Ausdrücke auf beiden Seiten aus.
  (in manchen Implementierungen nur auf einer Seite)

Bausteine von PROLOG

Wissen in Form von Klauseln

- **Fakten**

  `Prädikat.`
  Derartige Prädikate werden in der Wissensbasis als wahr vorausgesetzt.

- **Regeln**

  `Prädikat :- Konjunktion von Prädikaten.`
  Derartige Terme werden in der Wissensbasis als wahr vorausgesetzt, wenn die rechte Seite als wahr vorausgesetzt werden muss.
  Es kann für dasselbe Prädikat als Konklusion mehrere Regeln geben.

- **Fragen**

  `?- Konjunktion von Prädikaten.`
  Prolog versucht, eine Frage aus den bekannten Fakten und Regeln herzuleiten. Falls das gelingt, kommt als Antwort `yes` mit der dafür notwendigen Unifikation für die Variablen, anderenfalls `no`.

Funktionsweise eines PROLOG-Interpreters

PROLOG ist wissensbasiert:

- **Wissensbasis**

  Fakten und Regeln, dynamisch erweiterbar

- **Inferenzmaschine**

  Automatische Herleitung neuer Fakten und Regeln mit
  Resolution und Unifikation

- **Dialogkomponente**

  Eingabe: Fragen
  Ausgabe: yes / no, Angabe der Unifikation im Erfolgsfall, Write als „Seiteneffekt"

  Yes: Das Prädikat der Frage folgt aus der Wissensbasis.
  No: Das Prädikat der Frage folgt nicht aus der Wissensbasis.
  No impliziert nicht, dass das Prädikat als falsch abgeleitet werden kann.

Funktionsweise eines PROLOG-Interpreters

Arbeitsweise der Inferenzmaschine:

- **Zerlegung eines Ziels in Unterziele**

  Erstes Ziel ist die Frage.
  Versuch, das Ziel durch Unifikation mit Prädikaten aus der Wissensbasis zu erreichen.
  Auswertung von Regeln führt zu Unterzielen.

- **Auswertungsreihenfolge**

  Alle Daten der Wissensbasis werden **von oben nach unten** ausgewertet.
  Konjunktionen in Regelvoraussetzungen werden **von links nach rechts** ausgewertet.
  Die Auswertungsreihenfolge wird *nicht* getrennt nach Fakten und Regeln vorgenommen.

- **Instanziierung von Variablen**

  Variablen werden nur zum Zweck der Unifikation mit Werten instanziiert.
  Die Instanziierung wird nach Misserfolg des gegenwärtigen Suchzweigs wieder aufgehoben.

- **Backtracking**

  Nach dem Misserfolg einer gegenwärtigen Instanziierung wird eine neue Instanziierung versucht.
  Tiefes Backtracking: Anderer Wert zur Erfüllung derselben Klausel.
  Seichtes Backtracking: Anderer Wert zur Erfülung einer anderen Klausel für dasselbe Prädikat.

Einfache Beispiele

- **Prädikatenwelt a la GTI:**

Wissensbasis:

```
vater(sven, georg).
bruder(holger, anna).
verheiratet(sven, anna).

maennlich(X) :- vater(X,Y).
maennlich(X) :- bruder(X,Y).

onkel(X,Y) :- vater(Z,Y), bruder(X,Z).
onkel(X,Y) :- mutter(Z,Y), bruder(X,Z).
mutter(X,Y) :- vater(Z,Y), verheiratet(X,Z).
weiblich(X) :- verheiratet (X,Z), maennlich(Z).
verheiratet (X,Y) :- verheiratet (Y,X).
```

Fragen:

```
?-weiblich(X).
?-maennlich(X).
?-onkel(holger,X).
?-verheiratet(X,Y).
```

Deklarative Lösung ohne die Probleme mit symmetrischen Prädikaten: XSB http://xsb.sourceforge.net/

In ISO-Prolog funktioniert das nicht!

Besser:

```
verh(X,Y) :- verheiratet(X,Y).
verh(X,Y) :- verheiratet(Y,X).
```

```
?- verh(X,Y).
```

Einfache Beispiele

- **Größter gemeinsamer Teiler:**

  Wissensbasis:

```
ggt(X,X,X).
ggt(X,Y,D) :- X < Y, Y1 is Y-X, ggt(X,Y1,D).
ggt(X,Y,D) :- Y < X, ggt(Y,X,D).
```

  Frage:

```
?-ggt(234,330,Ergebnis).
```

- **Listenlänge:**

  Wissensbasis:

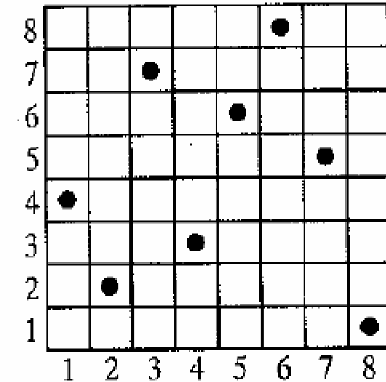
```
length([], 0).
length([Head | Tail], N) :- length(Tail, Nminus1), N is Nminus1 + 1.
```

  Frage:

```
?-length([1,3,5,8],Ergebnis).
```

Bsp.: 8-Damen-Problem

- **1. Verfahren (Bratko): Greedy-Strategie**



Wissensbasis:

```
queens1([]).

queens1([X/Y | Others]) :-
   queens1(Others),
   member(Y,[1,2,3,4,5,6,7,8]),
   conflictFree(X/Y,Others).

conflictFree(_,[]).

conflictFree(X/Y, [HeadX/HeadY | Others]) :-
   Y =\= HeadY,
   DiffY is HeadY - Y,
   DiffY =\= HeadX - X,
   DiffY =\= X - HeadX,
   conflictFree(X / Y,Others).

template([1/Y1,2/Y2,3/Y3,4/Y4,5/Y5,6/Y6,7/Y7,8/Y8]).
```

Nicht: DiffY =:= HeadY-Y
Nicht: HeadY - Y =\= HeadX-X

Frage:

```
?-template(S), queens1(S).
```

Bsp.: 8-Damen-Problem

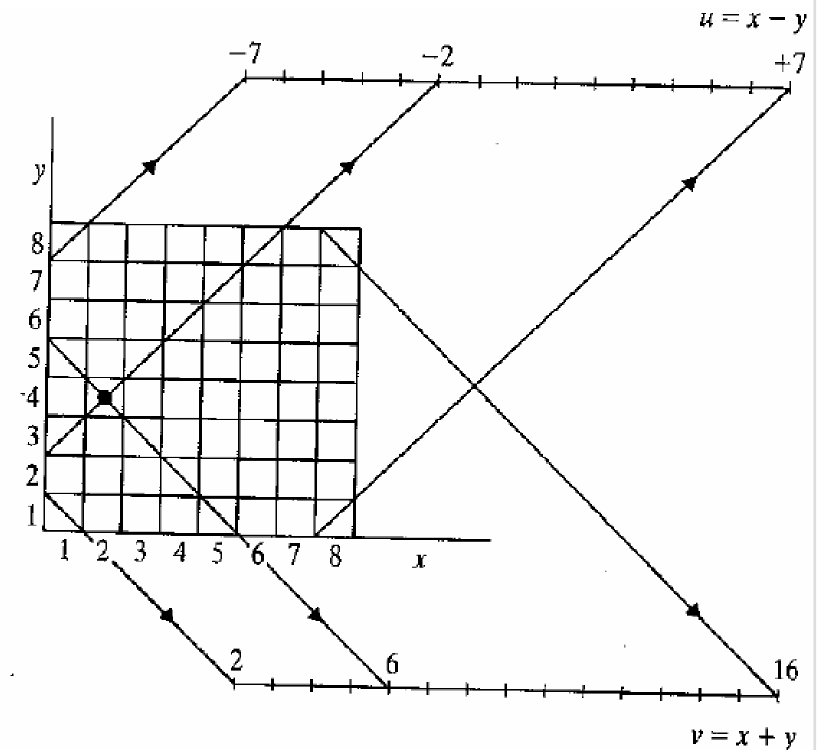
- **3. Verfahren (Bratko): Effizientere Strategie**

Wissensbasis:

```
queens3(YList) :-
   sol(YList, [1,2,3,4,5,6,7,8],
             [1,2,3,4,5,6,7,8],
             [-7,-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6,7],
             [2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]).

sol([],[], DomainY, DomainU, DomainV).

sol([Y |YTail], [X | XTail], DomainY, DomainU, DomainV) :-
   del(Y,DomainY,ReducedDomainY),
   U is X - Y,
   del(U,DomainU,ReducedDomainU),
   V is X + Y,
   del(V,DomainV,ReducedDomainV),
   sol(YTail, XTail, ReducedDomainY, ReducedDomainU,
ReducedDomainV).

del(Item, [Item|List], List).
del(Item, [First|Tail],[First|ResultTail]) :-
   del(Item,Tail,ResultTail).
```

Frage:

```
?-queens3(YLIst).
```



Bsp.: 8-Damen-Problem

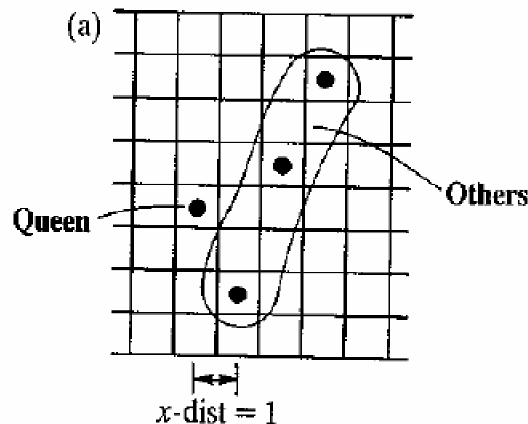
- **2. Verfahren (Bratko): Sehr uneffiziente Strategie**

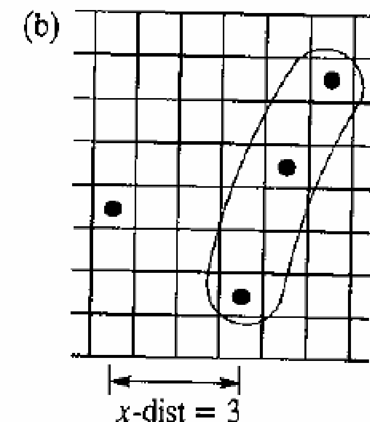
<u>Wissensbasis</u>:

```
queens2(YList) :-
   permutation([1,2,3,4,5,6,7,8], YList),
   admissible(YList).

permutation([],[]).
permutation([First|Tail],ResultList) :-
   permutation(Tail,ResultTail),
   del(First,ResultList,ResultTail). %del siehe 3. Verfahren

admissible([]).
admissible([Y1|Others]) :-
   admissible(Others),
   conflictFree(Y1,Others,1).

conflictFree(_,[],_).

conflictFree(Y, [Y1|YTail], XDiff) :-
   YDiff is Y1-Y,
   YDiff =\= XDiff,
   YDiff =\= -XDiff,
   XDiff1 is XDiff + 1,
   conflictFree(Y,YTail,XDiff1).
```

<u>Frage:</u>

```
?-queens2(YLIst).
```





Bsp.: 8-Damen-Problem

- **4. Verfahren(Max Rohde): Rein deklarativ**

Wissensbasis:

```
zahl(1). zahl(2). zahl(3). zahl(4). zahl(5). zahl(6). zahl(7). zahl(8).

eins_weniger(Zahl, ZahlMinusEins):-
        zahl(Zahl),
        (zahl(ZahlMinusEins) ; ZahlMinusEins=0),   % ; entspricht Disjunktion
        (Zahl - 1) =:= ZahlMinusEins.

sichere_position(_, []).
sichere_position(p(X1, Y1), [p(X2, Y2)|R]):-
        zahl(X1), zahl(Y1), zahl(X2), zahl(Y2),
        X1=\=X2, Y1=\=Y2, % keine gleichen Zeilen/Spalten
        Dx is X1-X2, Dy is Y1-Y2, % keine gleiche Diagonale
        Dx =\= Dy, Dx =\= (-Dy),
        sichere_position(p(X1, Y1), R).

sichere_stellung([]).
sichere_stellung([F|R]):-sichere_position(F, R), sichere_stellung(R).

damen4(0, Ergebnis, Ergebnis).
damen4(N, Start, Ergebnis):- zahl(N), zahl(Y),
                    sichere_stellung([p(N, Y)|Start]),
                    eins_weniger(N, NMinusEins),
                    damen4(NMinusEins, [p(N, Y)|Start], Ergebnis).
```

Frage:

```
?-damen4(8,[],Ergebnis).
```

Bsp.: 8-Damen-Problem

- **Gleiches Verfahren in Java (Max Rohde):**

```java
/**
 * Adds (or removes) a queen to the given coordinates.
 * If add is true, it adds a queen. If it is false, it removes a queen.
 */
private void addQueen(int x, int y, boolean add) {
     int i;
     gr = this.getGraphics();
     if (add)
          grid[x][y] = 2;
     else
          grid[x][y] = 0;
     for (i=0;i<8;i++) {
          if (i!=y) changeCell(x,i,add);
          if (i!=x) changeCell(i,y,add);
     }
     for (i=1; legal(x+i,y+i); i++)
          changeCell(x+i,y+i,add);
     for (i=1; legal(x+i,y-i); i++)
          changeCell(x+i,y-i,add);
     for (i=1; legal(x-i,y+i); i++)
          changeCell(x-i,y+i,add);
     for (i=1; legal(x-i,y-i); i++)
          changeCell(x-i,y-i,add);

     drawCell(x,y);
     if (!add)
          for (i=0;i<8;i++)
               for (int j=0;j<8;j++)
                    if (grid[i][j] == 2)
                         addQueen(i,j,true);
}
```

```java
/**
 * Add or remove a queen to the given cell
 */
private void changeCell(int x, int y, boolean add) {
     if (add && grid[x][y] == 0)
          grid[x][y] = 1;
     else if (!add && grid[x][y] == 1)
          grid[x][y] = 0;
     drawCell(x,y);
}
```

```java
/**
 * Returns true if the coordinates are a legal board position
 */
private boolean legal(int x, int y) {
     return (x >= 0 && x < 8 && y >= 0 && y < 8);
}
```

```java
/**
 * Solve the 8-queens puzzle with a very simple depth-first search.
 */
public boolean solve(int y) {
     int  i,j;
     boolean r = false;

     for (i=0;i<8;i++) {
          // for each row, try placing a queen
          if (grid[i][y] == 0) {
               addQueen(i,y,true);
               if (y == 7) {
                    return true; //we have placed all queens successfully
               } else {
                    if (solve(y+1)) {
                         return true; // we solved it, return
                    } else {
                         addQueen(i,y,false); // remove the queen
                    }
               }
          }
     }
     // unable to solve down this branch -- retreat!
     return false;
}
```

Einflussnahme auf das Backtracking

- **Prädikat fail fürs erschöpfende Backtracking**

  Anwendung:

  Zum Errechnen mehrerer Lösungen, häufig in Verbindung mit write-Befehlen

  Bsp.:

  ```
  ?-template(S), queens1(S), write(S), nl, fail.
  ?-queens3(YList), write(YList), nl, fail.
  ?-damen4(8,[],Ergebnis), write(Ergebnis), nl, fail.
  ```

- **Cut-Operator ! zum Abschneiden von Suchzweigen**

  Anwendung:

  Effizienzgewinn (grünes Cut), Korrektheitsbeeinflussung (rotes Cut)

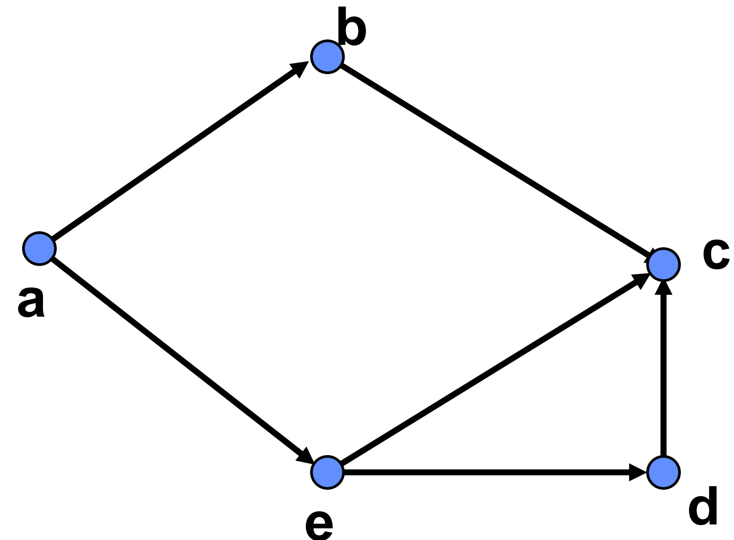
  Bsp.: Finden „aller" Lösungen zur Gewinnung des Maximums aus 2 Zahlen.

  ```
  max(X,Y,Y) :- X<=Y,!.        max(X,Y,Y) :- X<=Y,!.
  max(X,Y,X) :- Y<=X.          max(X,Y,X).
  ```

Einflussnahme auf das Backtracking

Bsp. für grünes Cut: Alle erreichbaren Knoten von Quelle a:

```
kante(a,b).
kante(a,e).
kante(b,c).
kante(e,c).
kante(e,d).
kante(d,c).

verbinde(X,Y) :- kante(X,Y).
verbinde(X,Y) :- kante(X,Z), verbinde(Z,Y).

verbind(X,Y) :- kante(X,Y), write(X), write(Y), nl.
verbind(X,Y) :- kante(X,Z), write(X,Z,Y), !, verbind(Z,Y).

write(X,Z,Y) :- verbinde(Z,Y), write(X).

?-verbind(a,Y), fail.
```



Bsp. für rotes Cut: nicht(X):

```
nicht(X) :- X, !, fail.
nicht(X).
```

Nutzen von Prolog

Didaktischer Nutzen:

- Schulung im Umgang mit formaler Logik
- Übung im rekursiven Formulieren von Problemen (und Algorithmen)

Praktischer Nutzen:

- gut fürs schnelle Ausprobieren (rapid prototyping)
- hauptsächlich geeignet für Probleme, für die es keine anderen Algorithmen gibt als systematisches Ausprobieren.
- geeignet zur sukzessiven oder systematischen Ausgabe aller zulässigen Lösungen eines Problems.

Grenzen:

- Mehr Spielwiese als kommerziell nutzbares Werkzeug, zu fern von den meisten praktischen Problemstellungen
- vollkommen unbrauchbar, wenn es um Effizienz der Lösungsgewinnung geht.