Rekursive Listenverarbeitung

Übersicht

Rekursion ist die wichtigste Programmiertechnik in Prolog!

- Rekursive Datenstrukturen
  - Einfache und rekursiv gebildete Strukturen
- Rekursive Datenstrukturen und rekursive Prädikate
  - Eine natürliche Kombination…
- Aufbau rekursiver Prädikate
  - Abbruchbedingung
  - Rekursionsschritt
- Rekursive Programmiertechniken mit Listen
  - Länge von Listen: laenge/2
  - Suche nach Elementen: member/2
  - Abbilden von Listen: papagei/2

Listen: Rekursive Datenstrukturen

Bei Listen – wie bei allen rekursiven Datenstrukturen – gibt es 2 Arten von Definitionsregeln.

I. Regeln für **einfache Strukturen**

- *Die leere Liste ist eine Liste.* `[]`
- *Atomaren Terme sind Prolog-Terme. Variablen sind Prolog-Terme.*

II. Regeln für **rekursiv aufgebaute, komplexe Strukturen**

- *Nicht-leere Listen bestehen aus einem Element und einer Liste als Rest.*

```
[e|Liste]
```

- *Komplexe Terme sind Prolog-Terme, die aus einem Funktor und dessen Argumenten bestehen, die Prolog-Terme sind.*

Problem: Was sind wahre Listen?


`[a,b,c|[d]]`
`[a,b,c|d]`


Listen sind eine bestimmte Sorte von Termen in Prolog

- Definiere ein Prädikate is_list/1, das genau dann wahr ist, wenn das Argument eine Liste ist!

Problem

- Da Listen beliebig viele Elemente enthalten können, müssen beliebig viele Klauseln für is_list/1 geschrieben werden!

```
is_list([]).
is_list([_,_]).
is_list([_,_,_]).
...
is_list([_,_,…,_]).
```


Rekursive Lösung: Wahre Listen

Rekursive Datenstrukturen + Rekursive Prädikate

- Passe die Strategie des Problemlösens der Struktur des Problems an!

Also

- Prädikatsklausel für **einfache Struktur: Leere Liste**

```
is_list([]).
```

"Die leere Liste ist eine Liste."

- Prädikatsklausel für **rekursiven Strukturen: Nicht-Leere Liste**

```
is_list([E|Rest]) :-
  is_list(Rest).
```

"Nicht-leere Listen bestehen aus einem Element und einer Liste als Rest."

Rekursive Dekomposition

Rekursive Datenstrukturen

a. enthalten Teilstrukturen, die mit denselben Definitionsregeln aufgebaut wurden.

Teilstrukturen sind immer weniger komplex als die sie enthaltenden Strukturen.

b. haben **elementare** Strukturen und **rekursive** Strukturen.

Rekursive Prädikate

a. lösen ein Problem, indem sie es auf Teilprobleme gleicher Art reduzieren, die deshalb mit dem gleichen Prädikat erschlagen werden können.

Teilprobleme sind weniger komplex als das Problem, dessen Teil sie sind.

b. haben Klauseln für elementare oder abschliessende Fälle (**Abbruchbedingung**) und rekursive Fälle (**Rekursionsschritt**).

Der Bau rekursiver Prädikate

Für den Aufbau und das Schreiben rekursive Prädikate kann oft ein gemeinsames Schema verwendet werden.

- **Zuerst**: Klauseln für **Abbruchbedingung**
  - Terminiere den Beweis, falls die Abbruchbedingung erfüllt ist.
  - Oft einfach zu finden und zu programmieren!
- **Danach**: Klauseln für **Rekursionschritte**
  - Löse das Problem für einen einzelnen Schritt und wende auf das Restproblem dasselbe Prädikat rekursiv an.
  - Oft erstaunlich einfache Definition, aber schwierig zu finden!

Gefahr: Rekursive Prädikate ohne Abbruchbedingungen verhalten sich wie zirkulär definierte Prädikate!

```
huhn :- ei.
ei :- huhn.
```


Beispiel I: Länge von Listen

Schreibe ein rekursives Prädikat laenge/2, das die Länge einer Liste bestimmt.

- Erstes Argument (*Input*): Liste, deren Länge zu bestimmen ist
- Zweites Argument (*Output*): Die Länge (d.h. Anzahl der Elemente)

```
?- laenge([], X).
X = 0
yes
```

```
?- laenge([a,b,c], X).
X = 3
yes
```

Wie immer bei rekursiven Prädikaten unterscheiden wir

- Abbruchbedingung
- Rekursionsschritt

Definition: Länge von Listen

Abbruchbedingung

- Die Länge der leeren Liste ist 0.

```
laenge([], 0).
```

Rekursionsschritt

- Die Länge einer nicht-leeren Liste ist die Länge ihres Rests plus 1.

```
laenge([_|Rest], Ergebnis) :-
  laenge(Rest, RestLaenge),
  Ergebnis is RestLaenge + 1.
```

Hinweis

In SICStus Prolog gibt es ein eingebautes Prädikat length/2, dass die Länge einer Liste berechnen kann wie unser Prädikat laenge/2. Zusätzlich kann es aber noch verwendet werden, um Listen bestimmter Länge zu generieren.

Beispiel II: Suche nach einem Element

Schreibe ein Prädikat member/2, das wahr ist, falls ein Term Element einer Liste ist.

```
?- member(sittich, [spitz,dackel,terrier]).
no
```

```
?- member(dackel, [spitz,dackel,terrier]).
yes
```

```
?- member(X, [spitz,dackel,terrier]).
X = spitz ;
X = dackel ;
X = terrier ;
no
```


Suche: Rekursive Dekomposition…

Das gesuchte Element ist das erste Element der Liste.

- **Abbruchbedingung:** Das vorderste Element ist mit dem gesuchten Term unifizierbar.

```
member(dackel, [dackel,terrier])
```

Das gesuchte Element befindet sich vielleicht im Rest der Liste.

- **Rekursionsschritt:** Suche im Listenrest weiter (d.h. ohne das Anfangs-Element)

```
member(dackel, [mops,dackel,terrier])
```


Abbruchbedingung: Gefunden!

```
member(dackel, [dackel,terrier])
```

Die Klausel für die erfolgreiche Suche…

- *X* ist Element der Liste, wenn *X* das erste Element in der Liste ist.

```
member(X, Liste) :-
  Liste = [X|IrgendeinRest].
```

- Einfacher geschrieben:

```
member(X, [X|IrgendeinRest]).
```

- Eigentlich interessiert uns der Rest gar nicht:

```
member(X, [X|_]).
```


Rekursiver Fall: Weitersuchen!

```
member(dackel, [mops,dackel,terrier])
```

Das Element könnte noch im Rest enthalten sein, d.h. im Rest weitersuchen!

- Nimm den Rest der Liste und prüfe, ob *X* im Rest enthalten ist.

```
member(X, [Anfang|Rest]) :-
  member(X, Rest).
```

- Eigentlich interessiert uns der Anfang gar nicht.

```
member(X, [_|Rest]) :-
  member(X, Rest).
```

Rekursive Suche: member/2

```
member(X, [X|_]).
member(X, [_|Rest]) :-
  member(X, Rest).
```

Deklarative Verdeutschung

- Ein Term ist Element einer Liste, falls der Term Kopf der Liste ist.
- Ein Term ist Element einer Liste, falls der Term Element des Rests der Liste ist.

Listen: Analyse und Konstruktion

Listen-Analyse

- In rekursiven Listenprädikaten wird meist eine Eingabe-Liste rekursiv auseinandergenommen (analysiert)

Listen-Konstruktion

- In rekursiven Listenprädikaten wird oft zugleich eine Ausgabe-Liste rekursiv aufgebaut (konstruiert), die das gewünschte Resultat enthält

Für Dekonstruktion wie Konstruktion wird Unifikation verwendet!

- *Pattern Matching spielt* oft *Doppelrolle der analytischen Fallunterscheidung und Resultatskonstruktion!*

Beispiel III: Abbilden *(Mapping)*

Listenmapping mit Prädikat `papagei/2` ist Beispiel für gleichzeitige Listen-Analyse und -Konstruktion.

- **Eingabe**: Liste
- **Ausgabe**: Eingabeliste, in der bestimmte Element ersetzt sind

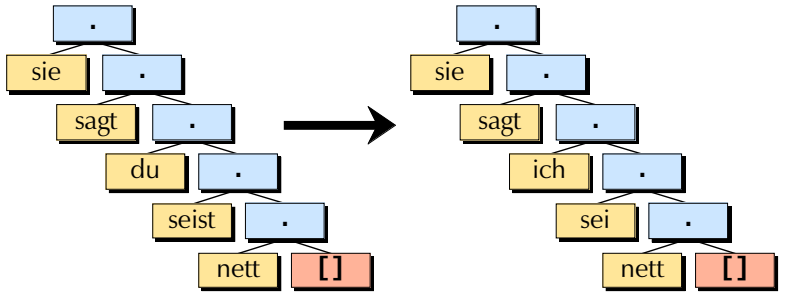
```
?- papagei([du,bist,nett], Echo).
Echo = [ich,bin,nett]

?- papagei([sie,sagt,du,seist,nett], Echo).
Echo = [sie,sagt,ich,sei,nett]
```

Im Beispiel ist die Ausgabe gleich der Eingabe, ausser für die Listenelemente *du, ich, bist, bin, sei, seist*.

Abbilden der Liste

Vorgehen: Analyse und Konstruktion

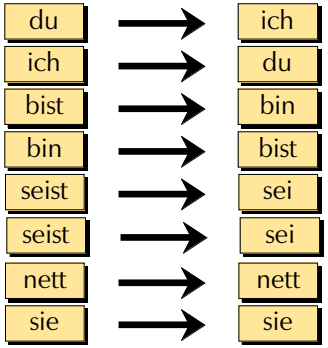
- Gehe schrittweise durch die Liste (»traversieren«)
- Bilde jedes einzelne Element auf das entsprechende Ergebnis ab.



Abbilden der Elemente: map/2

Zum Austauschen der einzelnen Listenelemente definieren wir das Hilfsprädikat map/2.

```
map(du, ich).
map(ich, du).
map(bist, bin).
map(bin, bist).
map(seist, sei).
map(sei, seist).

map(X, X).
```



Zuerst Abbruchbedingung…

Das Prädikat papagei/2 bildet eine Liste in eine andere ab.

Abbruchbedingung

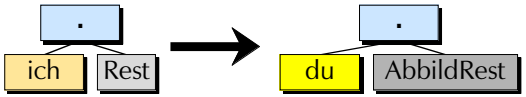
- Bilde die leere Liste auf die leere Liste ab.

  Da kein Element vorhanden ist, muss keines ausgetauscht werden.

```
papagei([], []).
```

- Die Abbruchbedingung steht normalerweise *vor* dem rekursiven Fall.

… dann Rekursionsschritt



Rekursionsschritt

- Nimm Anfangselement und bilde es mit map/2 ab.
- Rufe papagei/2 rekursiv auf, um den Rest der Liste abzubilden
- Konstruiere die Resultatsliste, die besteht aus
  - einem Anfangs-Element: der Abbildung des ersten Elements
  - einer Restliste: der Abbildung des Rests

```
papagei([E|Rest], [AbbE|AbbRest]) :-
  map(E, AbbE),
  papagei(Rest, AbbRest).
```


Abbilden im Überblick: papagei/2

```
% Abbildung bestimmter Terme.
map(du, ich).
map(bist, bin).
map(ich, du).
map(bin, bist).
map(seist, sei).
map(sei, seist).

% Wenn es keiner der obigen Terme ist, ist
% das Abbild gleich dem Original.
map(X, X).

% Die Abbildung einer leeren Liste ergibt
% eine leere Liste.
papagei([], []).

% Die Abbildung eines Terms, gefolgt von einer Rest-Liste
% ist die Abbildung des Terms, gefolgt von der Abbildung
% der Rest-Liste.
papagei([E|Rest], [AbbE|AbbRest]) :-
  map(E, AbbE),
  papagei(Rest, AbbRest).
```