

Programmietechnik II

Prolog

Überblick

- Deklaratives Programmieren (“Programmieren in Logik”)
- 1972 entwickelt von A. Colmerauer
- vor allem für KI-Systeme verwendet
 - Kern-Sprache des japanischen “Fifth Generation Computer Systems Project” (1982-1992)
- basiert auf Prädikatenkalkül
 - Einschränkung auf Horn-Klauseln (Disjunktionen mit höchstens einem positiven Literal: Implikationen)
- Clocksin, Mellish: Programming in Prolog

Objekte und Beziehungen

- **Objekte:** Abstrakte Dinge, die an Beziehungen teilnehmen
 - hier nicht Objekte aus OO-Sprachen, also nicht durch Zustand, Verhalten, Identität beschrieben, keine Klassen, keine Polymorphie
- **Aussagen:** Verknüpfungen von Objekten über Beziehungen
 - Hans besitzt das Buch.
 - Der Edelstein ist wertvoll.
 - Anna ist die Schwester von Hans.
- **Fragen:** Test, ob bestimmte Aussagen erfüllt sind
 - eventuell mit Bindung von Variablen: Lösungen
 - Besitzt Hans das Buch?
 - Wer ist die Schwester von Hans?

Programmieren in Prolog

- Formulierung von Prädikaten:
 - Aussagen (facts): Beziehungen zwischen (konkreten) Objekten
 - Regeln (rules): Beschreibung weiterer Eigenschaften auf Basis existierender Beziehungen
 - Fragen (questions/queries): Formulierung des zu lösenden Problems
- besitzt(hans, buch).
- schwester(X, Y) :- weiblich(X), vater(X, V1), vater(Y, V2), V1=V2.
- ?- besitzt(hans, buch).
- ?- schwester(X, hans).

Fakten

- Relation mit Parametern
- Name der Relation: Buchstabe/Ziffern/_, beginnend mit Kleinbuchstaben
 - Namen haben den Datentyp “Atom”
 - Name hat für Prolog-System keine weitere Bedeutung (Ausnahme: vordefinierte Prädikate)
 - Assoziation von Objektname und “wirklichem” Objekt durch Entwickler/Anwender
- Parameter in Klammern
- Fakt endet mit Punkt (.)
- Parameter: Atome, Zahlen, Strukturen, Listen, ...
- Gesamtheit aller Fakten: Wissensbasis
besitzt(hans, buch).

Fragen

- An interaktivem Prompt (?-) einzugeben
- Syntax wie Fakten
- Anfrage wird mit Wissensbasis verglichen (“Unifikation”)
 - Name und Stelligkeit der Frage muss mit dem Fakt übereinstimmen
 - Parameter müssen in Übereinstimmung gebracht werden
- Antwort “yes”, wenn Übereinstimmung erfolgreich
 - ;<enter> sucht nach weiteren Lösungen
- Antwort “no”, wenn keine passenden Fakten gefunden wurden
 - Closed World Assumption (CWA): Annahme, dass Faktenliste vollständig ist

?- besitzt(werner, buch).

no

Variablen

- Variablennamen beginnen mit Großbuchstaben
- Sichtbarkeit beschränkt auf Anfrage oder Regel
- Verwendung in Anfragen: Platzhalter für Lösung
 - Ist X die Schwester von Hans?
- Verwendung in Regeln: Platzhalter für Quantifizierung
 - X ist eine Großstadt, wenn X eine Stadt ist und die Zahl der Einwohner von X größer als 100000 ist.
- Variablenname `_` ist anonyme Platzhaltervariable

?- besitzt(X, buch).

X=hans

yes

Konjunktionen

- Überprüfen mehrerer Prädikate
- einzelne Prädikate komma-verknüpft
 - Komma ausgesprochen “and”
 - ?- likes(john, mary), likes(mary, john).
- Überprüfung von links nach rechts
 - Variablen werden in jedem Term gebunden
 - ?- likes(mary, X), likes(john, X).
- Falls ein Prädikat scheitert, werden weitere Lösungen des vorigen Prädikats probiert: Backtracking
 - Bindung gebundener Variablen wird wieder aufgehoben; bei neuer Lösung erfolgt neue Bindung

Regeln

- Allgemeine Aussagen über Mengen von Objekten
 - Implizite All-Quantifizierung durch Variablen
- Regelkopf: Prädikat(muster, muster, ...)
 - Prädikat, für das eine Regel definiert werden soll
- Regelkörper: Konjunktion von Prädikaten, die erfüllt sein müssen
 - Getrennt vom Kopf durch :-
 - Beendet mit Punkt (.)
- Wenn-dann-Aussagen
 - Ich benutze einen Regenschirm wenn es regnet
- Definitionen
 - Ein Vogel ist ein Tier das Federn hat
 - X ist ein Vogel wenn:
 - X ist ein Tier, und
 - X hat Federn
 - X ist Schwester von Y wenn:
 - X weiblich ist und
 - X und Y die gleichen Eltern haben

Regeln: Beispiele

- John mag jeden der Wein mag
 - $\text{likes}(\text{john}, X) \text{ :- likes}(X, \text{wine})$.
- Konjunktionen: Variablenbindungen sind für alle Prädikate gleich:
 - John mag jeden, der Wein und Essen mag
 - $\text{likes}(\text{john}, X) \text{ :- likes}(X, \text{wine}), \text{likes}(X, \text{food})$.

Syntax

- Programme bestehen aus Termen:
 - Konstanten, Variablen, Strukturen
- Konstante: Atome, Zahlen
 - Atome: Bezeichner mit Kleinbuchstaben, oder 'text ...'
 - Atome der Länge 1: Zeichen
 - Zahlen: ganze, Gleitkommazahlen
- Variablen: beginnen mit Großbuchstaben
 - Sonderfall: `_` muss keine konsistente Interpretation haben

Strukturen

- Tupel von Termen
- `name(parameter, ...)`
 - `besitzt(hans, buch(der_fremde_gast, autor(charlotte, link))).`
 - `besitzt(hans, buch(staub, autor(patricia, cornwell))).`
 - ?- `besitzt(hans, buch(_, autor(_, link))).`

Rekursive Strukturen

- Strukturen, deren Terme gleichartige Strukturen sind
 - `knoten(knoten(blatt(3), blatt(4)), blatt(7))`
 - Regeln könnten sich auf Strukturmuster beziehen:
“Ein Baum ist geordnet, wenn für alle Knoten gilt: die Elemente im linken Teilbaum sind kleiner als die im rechten.”

`geordnet(blatt(_)).`

`geordnet(knoten(L, R)) :- geordnet(L), geordnet(R), ganzrechts(L, ML),
ganzlinks(R, MR), ML < MR.`

`ganzrechts(blatt(X), X).`

`ganzrechts(knoten(_, R), MR) :- ganzrechts(R, MR).`

`ganzlinks(blatt(X), X).`

`ganzlinks(knoten(L, _), ML) :- ganzlinks(L, ML).`

Operatoren

- Binäre Operatoren: zweistellige Terme
 - $+(10,5)$, $<(8,9)$
- Infixnotation für binäre Operatoren
 - $10+5$, $8<9$
- Viele Operatoren vordefiniert
- Weitere Operatoren nutzerdefinierbar
 - Vorrang und Assoziativität Teil der Operatordefinition

Gleichheit und Unifikation

- Infix-Prädikat =
 - ?- knoten(X) = knoten(4).
 - Ungleich (not unifiable): \neq
- Unifikation: Linke und rechte Seite von = werden in Übereinstimmung gebracht
 - Zwei Atome oder Zahlen unifizieren, wenn sie den gleichen Wert haben
 - Zwei Strukturen unifizieren, wenn sie den gleichen Strukturnamen und die gleiche Stelligkeit haben und die Parameter unifizieren
 - Freie Variablen unifizieren mit beliebigen Werten
 - Im Ergebnis wird die Variable an den Wert gebunden
 - Zwei verschiedene freie Variablen unifizieren so, dass sie immer noch frei, aber aneinander gekoppelt (shared) sind.

Arithmetik

- Unifikation gilt insbesondere auch für binäre Operatoren
?- $3+4 = 2+5$.
no
- Ausweg: Operator “is” berechnet rechten Operanden, unifiziert Ergebnis mit linkem Operanden
?- $X \text{ is } 3+4$.
 $X = 7$
yes
- Vordefinierte Operatoren: +, -, *, /, // (Integer-Division), rem, mod, ...
- Vordefinierte Funktionen: sin, cos, log, ...
- Vordefinierte Prädikate: <, =<, >=, ::= (numerisch gleich), = \=, between, ...

Listen

- Aufgebaut aus Paaren $.(Head, Tail)$
 - leere Liste $[]$
- Kurznotation: $[A, B, C, D]$
 - für $.(A, .(B, .(C, .(D, [])))$
- Kurznotation: $[H | T]$
 - für $.(H, T)$
 - entsprechend: $[rot, gruen, blau | Rest]$
- Unifikation von Listen: entsprechend Paar-Struktur $.(H, T)$

Listenoperationen

- **member(X, L): Ist X in L enthalten?**
member(X, [X | _]).
member(X, [_ | T]) :- member(X, T).
- **append(List1, List2, List3): List3 unifiziert mit der Verkettung von List1 und List2**
– alternativ: auch List1 oder List2 können ungebunden sein
append([], L1, L1).
append([X | L1], L2, [X | L3]) :- append(L1, L2, L3).
- **length(List, Int): List enthält Int Elemente**
length([], 0).
length([H | T], Len) :- length(T, Len1), Len is Len1 + 1.
– Alternative Definition mit Akkumulator (erlaubt tail recursion)

Generatoren

- Generatoren: Prädikate, die mehrere Lösungen haben
- Listenoperationen können auch als Generatoren verwendet werden
 - `member(X, List)` zählt (durch Backtracking) alle Elemente von List auf
 - `append(X, Y, List)` führt (durch Backtracking) alle möglichen Zerlegungen von List durch
 - `permutation(List1, List2)` testet, ob List2 eine Permutation von List1 ist; falls List2 ungebunden ist, werden der Reihe nach alle Permutationen generiert

Generate-and-test

- Aufgaben der Art: Gesucht ist ein X , für das $P(X)$ gilt
- Lösungsansatz:
 - generiere alle möglichen X
 - teste, ob sie $P(X)$
- Beispiel: Sortieren

`trivial_sort(In, Out) :- permutation(In, Out), is_sorted(Out).`

`is_sorted([]).`

`is_sorted([_]).`

`is_sorted([A, B | Rest]) :- smaller(A,B), is_sorted([B | Rest]).`

Cut

- Beschneidung des Suchraums: ! (cut-Operator)
 - Syntax wie 0-stelliges Prädikat
 - Lösung des Prädikats gelingt sofort, hat genau eine Lösung
 - beschneidet das Backtracking: Ziele vor dem Cut-Operator liefern keine weiteren Lösungen
- Reihenfolge von Prädikaten in Alternativen und von Regeln einer Prozedur wird relevant
 - ?- p(X), !, q(Y). % hat andere Lösungen als
 - ?- q(Y), !, p(X).

Anwendungen des Cut: Ausschließen von Lösungen

- für bestimmte Parameter soll nur eine eingeschränkte Definition des Prädikats gelten
- Beispiel: Buchausleihe; Nutzer, die ihre Leihfrist überzogen haben, dürfen nur die Elementarfunktionen benutzen

facility(Pers, Fac) :-

book_overdue(Pers, Book), !, basic_facility(Fac).

facility(Pers, Fac) :- general_facility(Fac).

basic_facility(reference).

basic_facility(enquiries).

additional_facility(borrowing).

additional_facility(inter_library_loan).

general_facility(X) :- basic_facility(X).

general_facility(X) :- additional_facility(X).

Anwendungen des Cut: Optimierung

- Falls bekanntlich nur eine Lösung existiert, kann die Suche nach weiteren Lösungen unterdrückt werden.
- Beispiel: $\text{max}(X, Y, \text{Max})$
- $\text{max}(X, Y, X) :- X \geq Y.$
 $\text{max}(X, Y, Y) :- X < Y.$
 - u.U. müssen X und Y zweimal verglichen werden
- $\text{max}(X, Y, X) :- X \geq Y, !.$
 $\text{max}(X, Y, Y).$

Anwendungen des Cut: Optimierung (2)

`trivial_sort(In, Out) :- permutation(In, Out), is_sorted(Out), !.`

- Problem: “bekanntlich nur eine Lösung” gilt oft nur für bestimmte Parameterrichtungen
 - `trivial_sort(X, [1,3,5,6])` müsste eigentlich alle Permutationen der sortierten Liste generieren, hört aber schon nach der ersten Lösung auf
 - Dokumentation von Prozeduren erläutert, welche Parameter Eingabe(+), Ausgabe(-) oder beides(?) sein können.

Anwendungen des Cut: cut-fail

- Bestimmte Lösungen sollen ausgeschlossen werden
- Prädikat fail scheitert sofort
- Beispiel: “Der durchschnittliche Steuerzahler ist ein Bürger, der ein Einkommen zwischen 2000 und 20000 hat”
 - aber: statt “ist Bürger” steht nur “ist Ausländer” zur Verfügung

`average_taxpayer(X) :- foreigner(X), !, fail.`

`average_taxpayer(X) :-
gross_income(X, Inc),
2000 < Inc, 20000 > Inc.`

Anwendungen des Cut: Negation

- Prologs Negation: negation-as-failure
- Historisch: Prädikat `not`
`not(P)`
 - oft auch in Operatorschreibweise: `not P`
- ISO Prolog: Operator `\+`
- Hilfsprädikat `call`: wertet einen Term als Prädikat aus
`\+P :- call(P), !, fail.`
`\+P.`

Negation und freie Variablen

- $\text{ledigerStudent}(X) :- \neg \text{verheiratet}(X), \text{student}(X).$
 $\text{student}(\text{peter}).$
 $\text{verheiratet}(\text{klaus}).$
- $?- \text{ledigerStudent}(\text{peter}).$ yes
- $?- \text{ledigerStudent}(X).$ no

Weitere Prolog-Funktionen

- Ein-Ausgabe
 - von Zeichenfolgen
 - von Prolog-Termen
- Termklassifikation (Variablen, Zahlen, Atome, Listen)
- Exceptions
- Definition kontextfreier Grammatiken
- SWI-Features:
 - Online-Hilfe (help, apropos)
 - Systembibliotheken (einschließlich GUI)
 - Foreign Language Interface
 - Debugger
 - Profiler
 - Constraint Handling Rules (CHR)
 - Koroutinen
 - Multi-Threading
 - ...