CHƯƠNG 4

Cấu trúc danh sách

Chương này trình bày khái niệm về *danh sách*, một trong những cấu trúc đơn giản nhất và thông dụng nhất, cùng với những chương trình tiêu biểu minh hoạ cách vận dụng danh sách trong Prolog. Cấu trúc danh sách tạo nên một môi trường lập trình thuận tiện của ngôn ngữ Prolog.

I. Biểu diễn cấu trúc danh sách

Danh sách là kiểu cấu trúc dữ liệu được sử dụng rộng rãi trong các ngôn ngữ lập trình phi số. Một danh sách là một dãy bất kỳ các đối tượng. Khác với kiểu dữ liệu tập hợp, các đối tượng của danh sách có thể trùng nhau (xuất hiện nhiều lần) và mỗi vị trí xuất hiện của đối tượng đều có ý nghĩa.

Danh sách là cách diễn đạt ngắn gọn của kiểu dữ liệu hạng phức hợp trong Prolog. Hàm tử của danh sách là dấu chấm "**.**". Do việc biểu diễn danh sách bởi hàm tử này có thể tạo ra những biểu thức mập mờ, nhất là khi xử lý các danh sách gồm nhiều phần tử lồng nhau, cho nên Prolog quy ước đặt dãy các phần tử của danh sách giữa các cặp móc vuông.

Chẳng hạn `.(a,.(b,[ ]))`. Là danh sách `[ a, b ]`.

Danh sách các phần tử `anne`, `tennis`, `tom`, `skier` (tên người) được viết :

```
[ anne, tennis, tom, skier ]
```

chính là hàm tử :

```
. ( anne, .( tennis, .( tom, .( skier, [ ] ) ) ) )
```

Cách viết dạng cặp móc vuông chỉ là xuất hiện bên ngoài của một danh sách. Như đã thấy ở mục trước, mọi đối tượng cấu trúc của Prolog đều có biểu diễn cây. Danh sách cũng không nằm ngoại lệ, cũng có cấu trúc cây.

Làm cách nào để biểu diễn danh sách bởi một đối tượng Prolog chuẩn ? Có hai khả năng xảy ra là danh sách có thể rỗng hoặc không. Nếu danh sách rỗng, nó được viết dưới dạng một nguyên tử :

```
[ ]
```

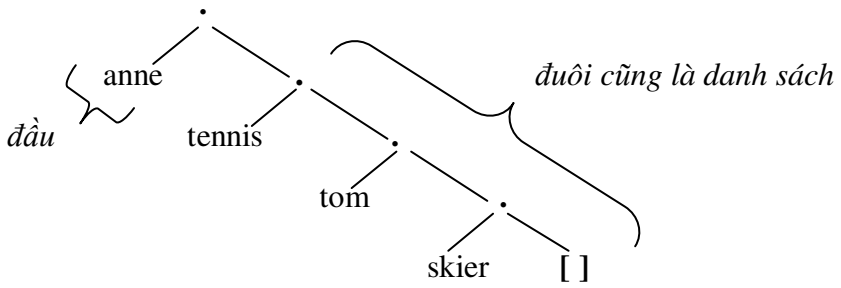
Nếu danh sách khác rỗng, có thể xem nó được cấu trúc từ hai thành phần (pair syntax) :

1. Thành phần thứ nhất, được gọi là *đầu* (head) của danh sách.
2. Thành phần thứ hai, phần còn lại của danh sách (trừ ra phần đầu), được gọi là *đuôi* (tail) của danh sách, cũng là một danh sách.

Trong ví dụ trên thì đầu là `anne`, còn đuôi là danh sách :

```
[ tennis, tom, skier ]
```

Nói chung, đầu của danh sách có thể là một đối tượng bất kỳ của Prolog, có thể là cây hoặc biến, nhưng đuôi phải là một danh sách. Hình I.1. Biểu diễn dạng cây của danh sách mô tả cấu trúc cây của danh sách đã cho :



Hình I.1. Biểu diễn dạng cây của danh sách

Vì đuôi `tail` là một danh sách, nên `tail` có thể rỗng, hoặc lại có thể được tạo thành từ một đầu `head` và một đuôi `tail` khác.

Chú ý rằng danh sách rỗng xuất hiện trong số các hạng, vì rằng phần tử cuối cùng có thể xem là danh sách chỉ gồm một phần tử duy nhất có phần đuôi là một danh sách rỗng:

```
[ skier ]
```

Ví dụ trên đây minh hoạ nguyên lý cấu trúc dữ liệu tổng quát trong Prolog áp dụng cho các danh sách có độ dài tuỳ ý.

```
?- L1 = [ a, b, c ].
?- L2 = [ a, a, a ].
L1 = [ a, b, c ]
L2 = [ a, a, a ]
?- Leisure1 = [ tennis, music, [ ] ].
?- Leisure2 = [ sky, eating ],
?- L = [ anne, Leisure1, tom, Leisure2 ].
Leisure1 = [ tennis, music ]
Leisure2 = [ sky, eating ]
L = [ anne, [ tennis, music ], tom, [ sky, eating ] ]
```

Như vậy, các phần tử của một danh sách có thể là các đối tượng có kiểu bất kỳ, kể cả kiểu danh sách. Thông thường, người ta xử lý đuôi của danh sách như là một danh sách. Chẳng hạn, danh sách :

```
L = [ a, b, c ]
```

có thể viết :

`tail = [ b, c ]` và `L = .(a, tail)`

Để biểu diễn một danh sách được tạo thành từ đầu (`Head`) và đuôi (`Tail`), Prolog sử dụng ký hiệu | (split) để phân cách phần đầu và phần đuôi như sau :

```
L = [ a | Tail ]
```

Ký hiệu | được dùng một cách rất tổng quát bằng cách viết một số phần tử tuỳ ý của danh sách trước | rồi danh sách các phần tử còn lại. Danh sách bây giờ được viết lại như sau :

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

Sau đây là một số cách viết danh sách :

Kiểu hai thành phần	*Kiểu liệt kê phần tử*
`[ ]`	`[ ]`
`[ a | [ ] ]`	`[ a ]`
`[ a | b | [ ] ]`	`[ a, b ]`
`[ a | X ]`	`[ a | X ]`
`[ a | b | X ]`	`[ a, b | X ]`
`[ X1 | [ ... [ Xn | [ ] ]... ] ]`	`[ X1, ... , Xn ]`

Ta có thể định nghĩa danh sáchtheo kiểu đệ quy như sau :

```
List → [ ]
List → [ Element | List ]
```

II. Một số vị từ xử lý danh sách của Prolog

SWI-Prolog có sẵn một số vị từ xử lý danh sách như sau :

Vị từ	*Ý nghĩa*
`append(List1, List2, List3)`	Ghép hai danh sách `List1` và `List2` thành `List3`.
`member(Elem, List)`	Kiểm tra `Elem` có là phần tử của danh sách `List` hay không, nghĩa là `Elem` hợp nhất được với một trong các phần tử của `List`.
`nextto(X, Y, List)`	Kiểm tra nếu phần tử Y có đứng ngay sau phần tử X trong danh sách `List` hay không.

`delete(List1, Elem, List2)`	Xoá khỏi danh sách `List1` những phần tử hợp nhất được với `Elem` để trả về kết quả `List2`.
`select(Elem, List, Rest)`	Lấy phần tử `Elem` ra khỏi danh sách `List` để trả về những phần tử còn lại trong Rest, có thể dùng để chèn một phần tử vào danh sách.
`nth0(Index, List, Elem)`	Kiểm tra phần tử thứ Index (tính từ 0) của danh sách `List` có phải là `Elem` hay không.
`nth1(Index, List, Elem)`	Kiểm tra phần tử thứ `Index` (tính từ 1) của danh sách `List` có phải là `Elem` hay không.
`last(List, Elem)`	Kiểm tra phần tử đứng cuối cùng trong danh sách `List` có phải là `Elem` hay không.
`reverse(List1, List2)`	Nghịch đảo thứ tự các phần tử của danh sách `List1` để trả về kết quả `List2`.
`permutation(List1, List2)`	Hoán vị danh sách `List1` thành danh sách `List2`.
`flatten(List1, List2)`	Chuyển danh sách `List1` chứa các phần tử bất kỳ thành danh sách phẳng `List2`. Ví dụ : `flatten([a, [b, [c, d], e]], X).` cho kết quả `X = [a, b, c, d, e]`.
`sumlist(List, Sum)`	Tính tổng các phần tử của danh sách `List` chứa toàn số để trả về kết quả `Sum`.
`numlist(Low, High, List)`	Nếu `Low` và `High` là các số sao cho `Low =< High`, thì trả về danh sách `List = [Low, Low+1, ..., High]`.

Chú ý một số vị từ xử lý danh sách có thể sử dụng cho mọi ràng buộc, kể cả khi các tham đối đều là biến.

Trong Prolog, tập hợp được biểu diễn bởi danh sách, tuy nhiên, thứ tự các phần tử trong một tập hợp là không quan trọng, các đối tượng dù xuất hiện nhiều lần chỉ được xem là một phần tử của tập hợp. Các phép toán về danh sách có thể áp dụng cho các tập hợp. Đó là :

- Kiểm tra một phần tử có mặt trong một danh sách tương tự việc kiểm tra một phần tử có thuộc về một tập hợp không ?
- Ghép hai danh sách để nhận được một danh sách thứ ba tương ứng với phép hợp của hai tập hợp.
- Thêm một phần tử mới, hay loại bỏ một phần tử.

Prolog có sẵn một số vị từ xử lý tập hợp như sau :

Vị từ	*Ý nghĩa*
`is_set(Set)`	Kiểm tra `Set` có phải là một tập hợp hay không
`list_to_set(List, Set)`	Chuyển danh sách `List` thành tập hợp `Set` giữ nguyên thứ tự các phần tử của `List` (nếu `List` có các phần tử trùng nhau thì chỉ lấy phần tử gặp đầu tiên). Ví dụ : `list_to_set([a,b,a], X)` cho kết quả `X = [a,b].`
`intersection(Set1, Set2, Set3)`	Phép giao của hai tập hợp `Set1` và `Set2` là `Set3`.
`subtract(Set, Delete, Result)`	Trả về kết quả phép hiệu của hai tập hợp `Set` và `Delete` là `Result` (là tập `Set` sau khi đã xoá hết các phần tử của `Delete` có mặt trong đó).
`union(Set1, Set2, Set3)`	Trả về kết quả phép hợp của hai tập hợp `Set1` và `Set2` là `Set3`.
`subset(Subset, Set)`	Kiểm tra tập hợp `Subset` có là tập hợp con của `Set` hay không.

III. Các thao tác cơ bản trên danh sách

III.1. Xây dựng lại một số vị từ có sẵn

Sau đây ta sẽ trình bày một số thao tác cơ bản trên danh sách bằng cách xây dựng lại một số vị từ có sẵn của Prolog.

III.1.1. Kiểm tra một phần tử có mặt trong danh sách

Prolog kiểm tra một phần tử có mặt trong một danh sách như sau :

```
member(X, L)
```

trong đó, `X` là một phần tử và `L` là một danh sách. Đích `member(X, L)` được thoả mãn nếu `X` xuất hiện trong `L`. Ví dụ :

```
?- member( b, [ a, b, c ] )
Yes
?- member( b, [ a, [ b, c ] ] )
No
?- member( [ b, c], [ a, [ b, c ] ] )
Yes
```

Từ các kết quả trên, ta có thể giải thích quan hệ `member(X, L)` như sau :

Phần tử `X` thuộc danh sách `L` nếu :

1. `X` là đầu của `L`, hoặc nếu
2. `X` là một phần tử của đuôi của `L`.

Ta có thể viết hai điều kiện trên thành hai mệnh đề, mệnh đề thứ nhất là một sự kiện đơn giản, mệnh đề thứ hai là một luật :

```
member( X, [ X | Tail ] ).
member( X, [ Head | Tail ] ) :- member( X, Tail ).
```

hoặc :

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

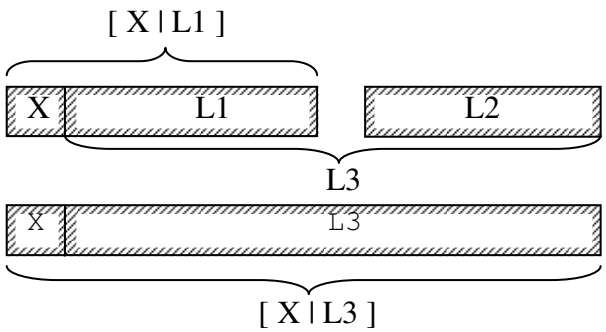
III.1.2. Ghép hai danh sách

Để ghép hai danh sách, Prolog có hàm :

```
append( L1, L2, L3).
```

trong đó, `L1` và `L2` là hai danh sách, `L3` là danh sách kết quả của phép ghép `L1` và `L2`. Ví dụ :

```
?- append( [ a, b ], [ c, d ], [ a, b, c, d ] ).
Yes
?- append( [ a, b ], [ c, d ], [ a, b, a, c ] ).
No
```



Hình III.1. Ghép hai danh sách `[ X | L1 ]` và `L2` thành `[ X | L3 ]`.

Hàm `append` hoạt động phụ thuộc tham đối đầu tiên `L1` theo cách như sau :

1. Nếu tham đối đầu tiên là danh sách rỗng, thì tham đối thứ hai và thứ ba phải là một danh sách duy nhất, gọi là `L`. Ta viết trong Prolog như sau :

   ```
   append( [ ], L, L).
   ```

2. Nếu tham đối đầu tiên của `append` là danh sách khác rỗng, thì nó gồm một đầu và một đuôi như sau

   ```
   [ X | L1 ]
   ```

Kết quả phép ghép danh sách là danh sách `[ X | L3 ]`, với `L3` là phép ghép của `L1` và `L2`. Ta viết trong Prolog như sau :

```
append( [ X | L1 ], L2, [ X | L3 ] ) :- append( L1,
L2, L3 ).
```

Hình 4.2 minh hoạ phép ghép hai danh sách `[ X | L1 ]` và `L2`.

Ta có các ví dụ sau :

```
?- append( [ a, b, c ], [ 1, 2, 3 ], L ).
L = [ a, b, c, 1, 2, 3 ]
?- append( [ a, [ b, c ], d ], [ a, [ ], b ], L ] ).
L = [ a, [ b, c ], d, a, [ ], b ]
```

Thủ tục `append` được sử dụng rất mềm dẻo theo nhiều cách khác nhau.

Chẳng hạn Prolog đưa ra bốn phương án để phân tách một danh sách đã cho thành hai danh sách mới như sau :

```
?- append( L1, L2, [ a, b, c ] ).
L1 = [ ]
L2 = [ a, b, c ];
L1 = [ a ]
L2 = [ b, c ];
L1 = [ a, b ]
L2 = [ c ];
L1 = [ a, b, c ]
L2 = [ ];
Yes
```

Sử dụng `append`, ta cũng có thể tìm kiếm một số phần tử trong một danh sách. Chẳng hạn, từ danh sách các tháng trong năm, ta có thể tìm những tháng đứng trước một tháng đã cho, giả sử tháng năm (May) :

```
?- append( Before, [ May | After ] ,
     [ jan, fev, mar, avr, may, jun, jul, aut, sep, oct,
     nov, dec ] ).
Before = [ jan, fev, mar, avr ]
After = [ jun, jul, aut, sep, oct, nov, dec ]
Yes
```

Tháng đứng ngay trước và tháng đứng ngay sau tháng năm nhận được như sau :

```
?- append( _, [ Month1, may, Month2 | _ ] ,
     [ jan, fev, mar, avr, may, jun, jul, aut, sep, oct,
     nov, dec ] ).
```

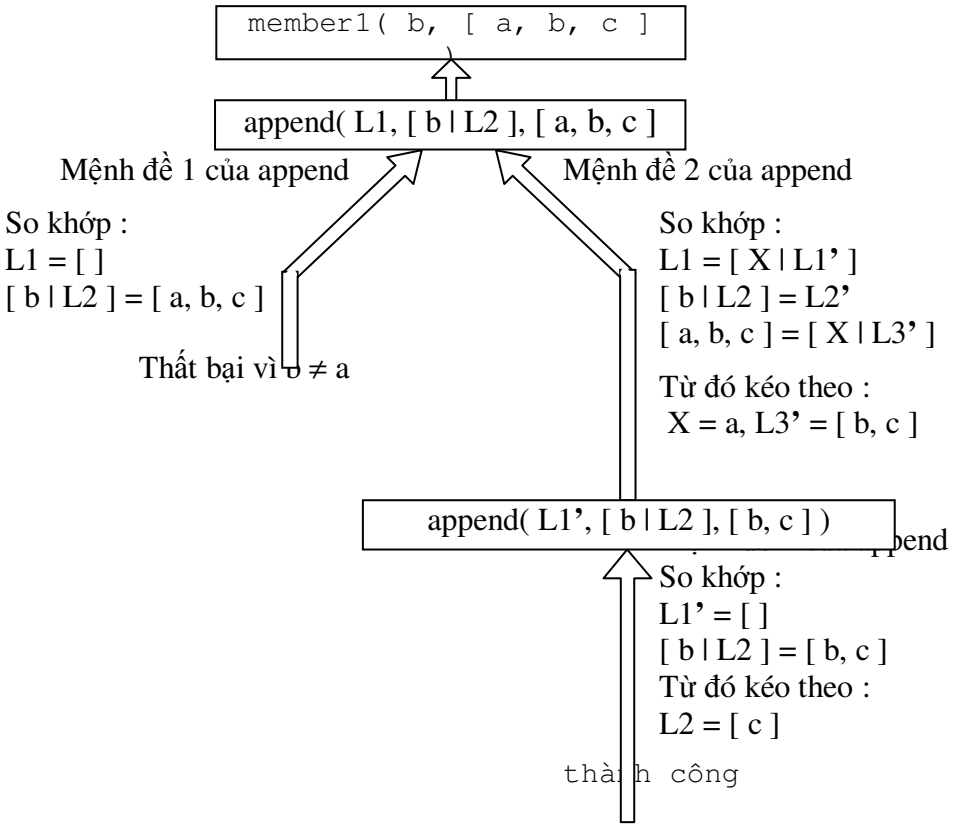
```
Month1 = avr
Month2 = jun
Yes
```

Bây giờ cho trước danh sách :

```
L1 = [ a, b, z, z, c, z, z, z, d, e ]
```

Ta cần xóa các phần tử đứng sau ba chữ `z` liên tiếp, kể cả ba chữ `z` :

```
?- L1 = [ a, b, z, z, c, z, z, z, d, e ],
     append( L2, [ z, z, z | _ ], L1 ).
L1 = [ a, b, z, z, c, z, z, z, d, e ]
L2 = [ a, b, z, z, c ]
```



Hình III.2. Thủ tục `member1` tìm tuần tự một đối tượng trong danh sách đã cho.

Trước đây ta đã định nghĩa quan hệ `member( X, L )` để kiểm tra một phần tử `X` có mặt trong một danh sách `L` không. Bây giờ bằng cách sử dụng `append`, ta có thể định nghĩa lại `member` như sau :

```
member1( X, L ) :- append( L1, [ X | L2], L).
```

Mệnh đề này có nghĩa : nếu `X` có mặt trong danh sách `L` thì `L` có thể được phân tách thành hai danh sách, với `X` là đầu của danh sách thứ hai. Định nghĩa `member1` hoàn toàn tương đương với định nghĩa `member`.

Ở đây ta sử dụng hai tên khác nhau để phân biệt hai cách cài đặt Prolog. Ta cũng có thể định nghĩa lại `member1` bằng cách sử dụng biến nặc danh (anonymous variable) :

```
member1( X, L ) :-
            append( _ , [ X | _ ], L).
```

So sánh hai cách cài đặt khác nhau về quan hệ thành viên, ta nhận thấy nghĩa thủ tục trong định nghĩa `member` được thể hiện rất rõ :

Trong `member`, để kiểm tra phần tử `X` có mặt trong một danh sách `L` không,

1. Trước tiên kiểm tra phần tử đầu của `L` là đồng nhất với `X`, nếu không,
2. Kiểm tra rằng `X` có mặt trong phần đuôi của `L`.

Nhưng trong trường hợp định nghĩa `member1`, ta thấy hoàn toàn nghĩa khai báo mà không có nghĩa thủ tục.

Để hiểu được cách `member1`hoạt động như thế nào, ta hãy xem xét quá trình Prolog thực hiện câu hỏi :

```
?- member1( b, [ a, b, c ] ).
```

Cách tìm của thủ tục `member1` trên đây tương tự `member`, bằng cách duyệt từng phần tử, cho đến khi tìm thấy đối tượng cần tìm, hoặc danh sách đã cạn.

III.1.3. Bổ sung một phần tử vào danh sách

Phương pháp đơn giản nhất để bổ sung một phần tử vào danh sách là đặt nó ở vị trí đầu tiên, để nó trở thành đầu. Nếu `X` là một đối tượng mới, còn `L` là danh sách cần bổ sung thêm, thì danh sách kết quả sẽ là :

```
[ X | L ]
```

Người ta không cần viết thủ tục để bổ sung một phần tử vào danh sách. Bởi vì việc bổ sung có thể được biểu diễn dưới dạng một sự kiện nếu cần :

```
insert( X, L, [ X | L ] ).
```

III.1.4. Loại bỏ một phần tử khỏi danh sách

Để loại bỏ một phần tử `X` khỏi danh sách `L`, người ta xây dựng quan hệ :

```
remove( X, L, L1 )
```

trong đó, `L1` đồng nhất với `L`, sau khi `X` bị loại bỏ khỏi `L`. Thủ tục `remove` có cấu trúc tương tự `member`. Ta có thể lập luận như sau

1. Nếu phần tử `X` là đầu của danh sách, thì kết quả là đuôi của danh sách.

2. Nếu không, tìm cách loại bỏ X khỏi phần đuôi của danh sách.

```
remove( X, [ X | Tail ], Tail ).
remove( X, [ Y | Tail ], [ Y | Tail1 ] ) :-
    remove( X, Tail, Tail1 ).
```

Tương tự thủ tục member, thủ tục remove mang tính không xác định. Nếu có nhiều phần tử là X có mặt trong danh sách, thì remove có thể xoá bất kỳ phần tử nào, do quá trình quay lui. Tuy nhiên, mỗi lần thực hiện, remove chỉ xoá một phần tử là X mà không đụng đến những phần tử khác. Ví dụ :

```
?- remove( a, [ a, b, a, a ], L ).

L = [ b, a, a ];
L = [ a, b, a ];
L = [ a, b, a ]
No
```

Thủ tục remove thất bại nếu danh sách không chứa phần tử cần xoá. Người ta có thể sử dụng remove trong một khía cạnh khác, mục đích để bổ sung một phần tử mới vào bất cứ đâu trong danh sách.

Ví dụ, nếu ta muốn đặt phần tử a vào tại mọi vị trí bất kỳ trong danh sách [1, 2, 3], chỉ cần đặt câu hỏi : Cho biết danh sách L nếu sau khi xoá a, ta nhận được danh sách [1, 2, 3] ?

```
?- remove( a, L, [ 1, 2, 3 ] ).

L = [ a, 1, 2, 3 ];
L = [ 1, a, 2, 3 ];
L = [ 1, 2, a, 3 ];
L = [ 1, 2, 3, a ]
No
```

Một cách tổng quát, phép toán chèn insert một phần tử X vào một danh sách List được định nghĩa bởi thủ tục remove bằng cách sử dụng một danh sách lớn hơn LargerList làm tham đối thứ hai :

```
insert( X, List, LargerList ) :-
    remove( X, LargerList, List ).
```

Ta đã định nghĩa quan hệ thuộc về trong thủ tục member1 bằng cách sử dụng thủ tục append. Tuy nhiên, ta cũng có thể định nghĩa lại quan hệ thuộc về trong thủ tục mới member2 bởi thủ tục remove bằng cách xem một phần tử X thuộc về một danh sách List nếu X bị xoá khỏi List :

```
member2( X, List ) :-
      remove( X, List, _ ).
```

III.1.5. Nghịch đảo danh sách

Sử dụng `append`, ta có thể viết thủ tục nghịch đảo một danh sách như sau :

```
reverse ( [ ], [ ] ).
reverse ( [ X | Tail ], R ) :-
     reverse (Tail, R1 ),
     append(R1, [X], R).
?- reverse( [ a, b, c , d, e, f ] , L).
L = [f, e, d, c, b, a]
Yes
```

Sau đây là một thủ tục khác để nghịch đảo một danh sách nhưng có sử dụng hàm bổ trợ trong thân thủ tục :

```
revert(List, RevList) :-
     rev(List, [ ], RevList).
rev([ ], R, R).
rev([H|T], S, R) :-
     rev(T, [H|S], R).
?- revert( [ a, b, c , d, e, f ] , R).
R = [f, e, d, c, b, a]
Yes
```

Sử dụng `reverse`, ta có thể kiểm tra một danh sách có là đối xứng (palindrome) hay không :

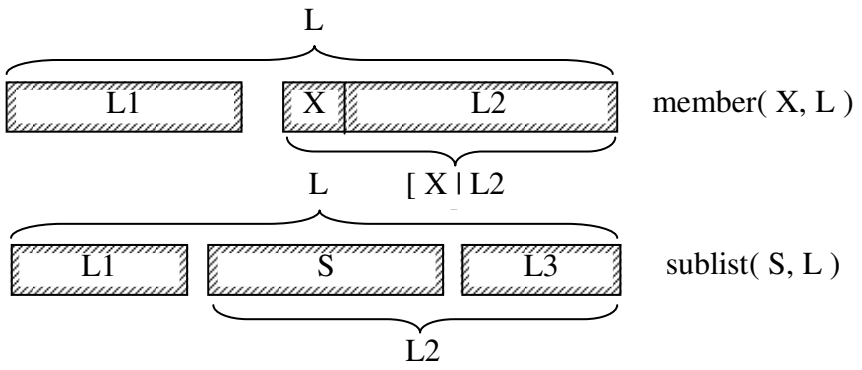
```
palindrome(L) :-
     reverse( L, L ).
?- palindrome([ a, b, c , d, c, b, a ]).
Yes
```

III.1.6. Danh sách con

Ta xây dựng thủ tục `sublist` nhận hai tham đối là hai danh sách `L` và `S` sao cho `S` là danh sách con của `L` như sau :

```
?- sublist( [ c, d, e ], [ a, b, c , d, e, f ] )
Yes
?- sublist( [ c, e ], [ a, b, c , d, e, f ] )
No
```

Nguyên lý để xây dựng thủ tục `sublist` tương tự thủ tục `member1`, mặc dù ở đây quan hệ danh sách con tổng quát hơn.



Hình III.3. Các quan hệ `member` *và* `sublist`.

Quan hệ danh sách con được mô tả như sau :

`S` là một danh sách con của `L` nếu :

1. Danh sách `L` có thể được phân tách thành hai danh sách `L1` và `L2`, và nếu
2. Danh sách `L2` có thể được phân tách thành hai danh sách `S` và `L3`.

Như đã thấy, việc phân tách các danh sách có thể được mô tả bởi quan hệ ghép `append`.

Do đó ta viết lại trong Prolog như sau :

```
sublist( S, L ) :-
    append( L1, L2, L ), append( S, L3, L2 ).
```

Ta thấy thủ tục `sublist` rất mềm dẻo và do vậy có thể sử dụng theo nhiều cách khác nhau. Chẳng hạn ta có thể liệt kê mọi danh sách con của một danh sách đã cho như sau :

```
?- sublist( S, [ a, b, c ] ).
S = [ ];
S = [ a ];
S = [ a, b ];
S = [ a, b, c ];
S = [ b ];
...
```

III.2. Hoán vị

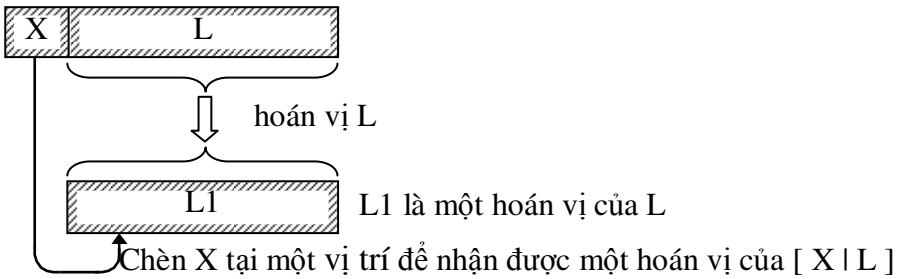
Đôi khi, ta cần tạo ra các hoán vị của một danh sách. Ta xây dựng quan hệ `permutation` có hai tham biến là hai danh sách, mà một danh sách là hoán vị của danh sách kia. Ta sẽ tận dụng phép quay lui như sau :

```
?- permutation( [ a, b, c ], P ).
P = [ a, b, c ];
P = [ a, c, b ];
```

```
P = [ b, a, c ];
...
```

Nguyên lý hoạt động của thủ tục `swap` dựa trên hai trường hợp phân biệt, tuỳ theo danh sách thứ nhất :

1. Nếu danh sách thứ nhất rỗng, thì danh sách thứ hai cũng phải rỗng.
2. Nếu danh sách thứ nhất khác rỗng, thì nó sẽ có dạng `[ X | L ]` và được tiến hành hoán vị như sau : trước tiên hoán vị `L` để nhận được `L1`, sau đó chèn `X` vào tất cả các vị trí trong `L1`.



Hình III.4. Một cách xây dựng hoán vị `permutation` của danh sách `[ X | L ]`.

Ta nhận được hai mệnh đề tương ứng với thủ tục như sau :

```
permutation( [ ], [ ] ).
permutation( [ X | L ], P ) :-
    permutation( L, L1 ), insert( X, L1, P ).
```

Một phương pháp khác là loại bỏ phần tử `X` khỏi danh sách đầu tiên, hoán vị phần còn lại của danh sách này để nhận được danh sách `P`, sau đó thêm `X` vào phần đầu của `P`. Ta có chương trình khác `permutation2` như sau :

```
permutation2( [ ], [ ] ).
permutation2( L, [ X | P ] ) :-
    remove( X, L, L1 ), permutation2( L1, P ).
```

Từ đây, ta có thể khai thác thủ tục hoán vị, chẳng hạn (chú ý khi chạy Arity Prolog cần gõ vào một dấu chấm phẩy `;` sau `->`) :

```
?- permutation( [ red, blue, green ], P ).
P = [ red, blue, green ];
P = [ red, green, blue ];
P = [ blue, red, green ];
P = [ blue, green, red ];
P = [ green, red, blue ];
P = [ green, blue, red ];
Yes
```

Hoặc nếu sử dụng `permutation` theo cách khác như sau :

```
?- permutation( L, [ a, b, c ] ).
```

Prolog sẽ ràng buộc liên tiếp cho `L` để đưa ra 6 hoán vị khác nhau có thể. Tuy nhiên, nếu NSD yêu cầu một giải pháp khác, Prolog sẽ không bao giờ trả lời "`No`", mà rơi vào một vòng lặp vô hạn do phải tìm kiếm một hoán vị mới mà thực ra không tồn tại. Trong trường hợp này, thủ tục `permutation2` chỉ tìm thấy một hoán vị thứ nhất, sau đó ngay lập tức rơi vào một vòng lặp vô hạn. Vì vậy, cần chú ý khi sử dụng các quan hệ hoán vị này.

III.3. Một số ví dụ về danh sách

III.3.1. Sắp xếp các phần tử của danh sách

Xây dựng thủ tục sắp xếp các phần tử có của một danh sách bằng phương pháp chèn như sau :

```
ins(X, [ ], [ X ]).
ins(X, [H|T], [ X,H|T ]) :-
    X @=< H.
ins(X, [ H|T ], [ H|L ]) :-
    X @> H, ins( X, T, L ).
?- ins(8, [ 1, 2, 3, 4, 5 ], L).
L = [1, 2, 3, 4, 5, 8]
Yes
?- ins(1, L, [ 1, 2, 3, 4, 5 ]).
L = [2, 3, 4, 5]
Yes
ins_sort([ ], [ ]).
ins_sort([H|T], L) :-
    ins_sort(T, L1),
    ins(H, L1, L).
?- ins_sort([3, 2, 6, 4, 7, 1], L).
L = [1, 2, 3, 4, 6, 7]
Yes
```

III.3.2. Tính độ dài của một danh sách

Xây dựng thủ tục tính độ dài hay đếm số lượng các phần tử có mặt trong một danh sách đã cho như sau :

```
length( L, N ).
```

Xảy ra hai trường hợp :

1. Nếu danh sách rỗng, thì độ dài `N = 0`.
2. Nếu danh sách khác rỗng, thì nó được tạo thành từ danh sách có dạng :
   `[ head | queue ]`
   và có độ dài bằng `1` cộng với độ dài của `queue`.

Ta có chương trình Prolog như sau :

```
length( [ ], 0 ).
length( [ _ | Queue ], N ) :-
      length(Queue, N1 ),
      N is 1 + N1.
```

Kết quả chạy Prolog như sau :

```
?- length( [ a, b, c, d, e ], N ).
N = 5
Yes
?- length( [ a, [ b, c ], d, e ], N ).
N = 4
Yes
```

Ta thấy rằng trong mệnh đề thứ hai, hai đích của phần thân là không thể hoán đổi cho nhau, vì rằng `N1` phải được ràng buộc trước khi thực hiện đích :

```
N is 1 + N1
```

Chẳng hạn, nếu gọi `trace`, quá trình thực hiện `length( [ 1, 2, 3 ], N )` như sau :

```
(0)   gọi          length([1, 2, 3], N)   ->
(1)   gọi          length([2, 3], N')     ->
(2)   gọi          length([3], N'')  ->
(3)   gọi          length([ ], N''') ->   N''' = 0
(4)   gọi          N'' is 1 + 0 ->   N'' = 1
(5)   gọi          N' is 1 + 1  ->   N' = 2
(6)   gọi          N is 1 + 2   ->   N = 3
```

Với `is`, ta đã đưa vào một quan hệ nhạy cảm với thứ tự thực hiện các đích, và do vậy không thể bỏ qua yếu tố thủ tục trong chương trình.

Điều gì sẽ xảy ra nếu ta không sử dụng `is` trong chương trình. Chẳng hạn :

```
length1( [ ], 0 ).
length1( [ _ | Queue ], N ) :-
      length1( Queue, N1 ),
      N = 1 + N1.
```

Lúc này, nếu gọi :

```
?- length1( [ a, [ b, c ], d, e ], N ).
```

Prolog trả lời :

```
N = 1 + (1 + (1 + (1 + 0)))
Yes
```

Phép cộng do không được khởi động một cách tường minh nên sẽ không bao giờ được thực hiện. Tuy nhiên, ta có thể hoán đổi hai đích của mệnh đề thứ hai trong `length1` :

```
length1( [ ], 0 ).
length1( [ _ | Queue ], N ) :-
      N = 1 + N1,
      length1( Queue, N1 ).
```

Kết quả chạy chương trình sau khi hoán đổi vẫn y hệt như cũ. Bây giờ, ta lại có thể rút gọn mệnh đề về chỉ còn một đích :

```
length1( [ ], 0 ).
length2( [ _ | Queue ], 1 + N ) :-
     length2( Queue, N ).
```

Kết quả chạy chương trình lần này vẫn y hệt như cũ. Prolog không đưa ra trả lời như mong muốn, mà là :

```
?- length1([ a, b, c, d], N).
N = 1+ (1+ (1+ (1+0)))
Yes
```

III.3.3. Tạo sinh các số tự nhiên

Chương trình sau đây tạo sinh và liệt kê các số tự nhiên :

```
% Natural Numbers
nat(0).
nat(N) :- nat(M), N is M + 1.
```

Khi thực hiện các đích con trong câu hỏi :

```
?- nat(N), write(N), nl, fail.
```

các số tự nhiên được tạo sinh liên tiếp nhờ kỹ thuật quay lui. Sau khi số tự nhiên đầu tiên `nat(N)` được in ra nhờ `write(N)`, hằng `fail` bắt buộc thực hiện quay lui. Khi đó, luật thứ hai được vận dụng để tạo sinh số tự nhiên tiếp theo và cứ thế tiếp tục cho đến khi NSD quyết định dừng chương trình (`^C`).

Tóm tắt chương 4

- Danh sách là một cấu trúc hoặc rỗng, hoặc gồm hai phần : phần đầu là một phần tử và phần còn lại là một danh sách.
- Prolog quản lý các danh sách theo cấu trúc cây nhị phân. Prolog cho phép sử dụng nhiều cách khác nhau để biểu diễn danh sách.

  `[ Object1, Object2, ... ]`

  hoặc `[ Head | Tail ]`

  hoặc `[ Object1, Object2, ... | Others ]`

  Với `Tail` và `Others` là các danh sách.
- Các thao tác cổ điển trên danh sách có thể lập trình được là : kiểm tra một phần tử có thuộc về một danh sách cho trước không, phép ghép hai danh sách, bổ sung hoặc loại bỏ một phần tử ở đầu hoặc cuối danh sách, trích ra một danh sách con...

Bài tập chương 4

1. Viết một thủ tục sử dụng `append` để xóa ba phần tử cuối cùng của danh sách `L`, tạo ra danh sách `L1`. Hướng dẫn : `L` là phép ghép của `L1` với một danh sách của ba phần tử (đã bị xóa khỏi `L`).
2. Viết một dãy các đích để xóa ba phần tử đầu tiên và ba phần tử cuối cùng của một danh sách `L`, để trả về danh sách `L2`.
3. Định nghĩa quan hệ :

   `last_element( Object, List )`

   sao cho `Object` phải là phần tử cuối cùng của danh sách `List`. Hãy viết thành hai mệnh đề, trong đó có một mệnh đề sử dụng `append`, mệnh đề kia không sử dụng `append`.
4. Định nghĩa hai vị từ :

   `even_length( List )` và `odd_length( List )`

   được thõa mãn khi số các phân tử của danh sách `List` là chẵn hay lẻ tương ứng. Ví dụ danh sách :

   `[ a, b, c, d ]` có độ dài chẵn,

   `[ a, b, c ]` có độ dài lẽ.
5. Cho biết kết quả Prolog trả lời các câu hỏi sau :

```
?- [1,2,3] = [1|X].
?- [1,2,3] = [1,2|X].
```

```
?- [1 | [2,3]] = [1,2,X].
?- [1 | [2,3,4]] = [1,2,X].
?- [1 | [2,3,4]] = [1,2|X].
?- b(o,n,j,o,u,r) =.. L.
?- bon(Y) =.. [X,jour].
?- X(Y) =.. [bon,jour].
```

6. Viết chương trình Prolog kiểm tra một danh sách có phải là một tập hợp con của một danh sách khác không ? Chương trình hoạt động như sau :

```
?- subset2([4,3],[2,3,5,4]).
Yes
```

7. Viết chương trình Prolog để lấy ra các phần tử từ một danh sách. Chương trình cũng có thể chèn các phần tử vào một danh sách hoạt động như sau :

```
?- takeout(3,[1,2,3],[1,2]).
Yes
?- takeout(X,[1,2,3],L).
X = 1
L = [2, 3] ;
X = 2
L = [1, 3] ;
X = 3
L = [1, 2] ;
No
?- takeout(4,L,[1,2,3]).
4
L = [4, 1, 2, 3] ;
L = [1, 4, 2, 3] ;
L = [1, 2, 4, 3] ;
L = [1, 2, 3, 4] ;
No
```

8. Viết vị từ Prolog `getEltFromList(L,N,E)` cho phép lấy ra phần tử thứ N trong một danh sách. Thất bại nếu danh sách không có đủ N phần tử. Chương trình hoạt động như sau :

```
?- getEltFromList([a,b,c],0,X).
No
?- getEltFromList([a,b,c],2,X).
X = b
?- getEltFromList([a,b,c],4,X).
No
```

9. Viết chương trình Prolog tìm phần tử lớn nhất và phần tử nhỏ nhất trong một danh sách các số. Chương trình hoạt động như sau :

```
?- maxmin([3,1,5,2,7,3],Max,Min).
Max = 7
Min = 1
Yes
?- maxmin([2],Max,Min).
Max = 2
Min = 2
Yes
```

10. Viết chương trình Prolog chuyển một danh sách phức hợp, là danh sách mà mỗi phần tử có thể là một danh sách con chứa các danh sách con phức hợp khác, thành một danh sách phẳng là danh sách chỉ chứa các phần tử trong tất cả các danh sách con có thể, giữ nguyên thứ tự lúc đầu. Chương trình hoạt động như sau :

```
flatten([[1,2,3],[4,5,6]], Flatlist).
Flatlist = [1,2,3,4,5,6]
Yes
flatten([[1,[hallo,[[aloha]]],2,[],3],[4,[],5,6]],
Flatlist)
Flatlist = [1, hallo, aloha, 2, 3, 4, 5, 6]
Yes
```

11. Viết các chương trình Prolog thực hiện các vị từ xử lý tập hợp cho ở phần lý thuyết (mục II).

12. Sử dụng vị từ `forall` để viết chương trình Prolog kiểm tra hai danh sách có rời nhau (disjoint) không ? Chương trình hoạt động như sau :

```
?- disjoint([a,b,c],[d,g,f,h]).
Yes
?- disjoint([a,b,c],[f,a]).
No
```

13. Vị từ `forall(Cond, Action)` thực hiện kiểm tra sự so khớp tương ứng giữa `Cond`, thường kết hợp với vị từ `member`, và `Action`. Ví dụ dưới đây kiểm tra việc thực hiện các phép toán số học trong danh sách L là đúng đắn.

```
?- forall(member(Result = Formula, [2 = 1 + 1, 4 = 2 *
2]), Result =:= Formula).
Result = _G615
Formula = _G616
Yes
```

14. Sử dụng vị từ `forall` để viết chương trình Prolog kiểm tra một danh sách có là một tập hợp con của một danh sách khác hay không ? Chương trình hoạt động như sau :

```
?- subset3([a,b,c],[c,d,a,b,f]).
Yes
?- subset3([a,b,q,c],[d,a,c,b,f])
No
```

15. Sử dụng vị từ `append` ghép hai danh sách để viết các chương trình Prolog thực hiện các việc sau :

`prefixe(L1, L2)` danh sách `L1` đứng trước (prefixe list) danh sách `L2`.
`suffixe(L1, L2)` danh sách `L1` đứng sau (suffixe list) danh sách `L2`.
`isin(L1, L2)` các phần tử của danh sách `L1` có mặt trong danh sách `L2`.

16. Sử dụng phương pháp Quicksort viết chương trình Prolog sắp xếp nhanh một danh sách các số đã cho theo thứ tự tăng dần.

17. Đọc hiểu chương trình sau đây rồi dựng lại thuật toán :

```
/* Missionarys & Cannibals */
/* Tránh vòng lặp */
lNotExist(_,[]).
lNotExist(X,[T|Q])  :-
           X\==T, lNotExist(X,Q).
/* Kiểm tra tính hợp lý của trạng thái */
valid(MG,CG,MD,CD)  :-
           MG>=0, CG>=0, MD>=0, CD>=0, MG=0, MD>=CD.
valid(MG,CG,MD,CD)  :-
           MG>=0, CG>=0, MD>=0, CD>=0, MG>=CG, MD=0.
valid(MG,CG,MD,CD)  :-
           MG>=0, CG>=0, MD>=0, CD>=0, MG>=CG, MD>=CD.
/* Xây dựng cung và kiểm tra */
sail(1,0). sail(0,1). sail(1,1). sail(2,0). sail(0,2).
arc([left,MGi,CGi,MDi,CDi],[droite,MGf,CGf,MDf,CDf])  :-
          sail(Mis,Can),
          MGf is MGi-Mis, MDf is MDi+Mis,
          CGf is CGi-Can, CDf is CDi+Can,
          valid(MGf,CGf,MDf,CDf).
arc([right,MGi,CGi,MDi,CDi],[left,MGf,CGf,MDf,CDf])  :-
           sail(Mis,Can),
          MGf is MGi+Mis, MDf is MDi-Mis,
          CGf is CGi+Can, CDf is CDi-Can,
          valid(MGf,CGf,MDf,CDf).
/* Phép đệ quy */
```

```
cross(A,A,[A],Non).
cross(X,Y,Ch,Non)  :-
          arc(X,A), lNotExist(A,Non),
          cross(A,Y,ChAY,[A|Non]), Ch=[X|ChAY].
/* Đi qua */
traverse(X,Y,Ch)  :-
           cross(X,Y,Ch,[X]).
```

CHƯƠNG 5

Kỹ thuật lập trình Prolog

I. Nhát cắt

I.1. Khái niệm nhát cắt

Như đã thấy, một trình Prolog được thực hiện nhờ các mệnh đề và các đích. Sau đây ta sẽ xét một kỹ thuật khác của Prolog cho phép ngăn chặn sự quay lui là *nhát cắt* (cut).

Prolog tự động quay lui khi cần tìm một tìm kiếm một mệnh đề khác để thoả mãn đích. Điều này rất có ích đối với người lập trình khi cần sử dụng nhiều phương án giải quyết vấn đề . Tuy nhiên, nếu không kiểm soát tốt quá trình này, việc quay lui sẽ trở nên kém hiệu quả. Vì vậy, Prolog sử dụng kỹ thuật nhát cắt kiểm soát quay lui, hay cấm quay lui, để khắc phục khiếm khuyết này.

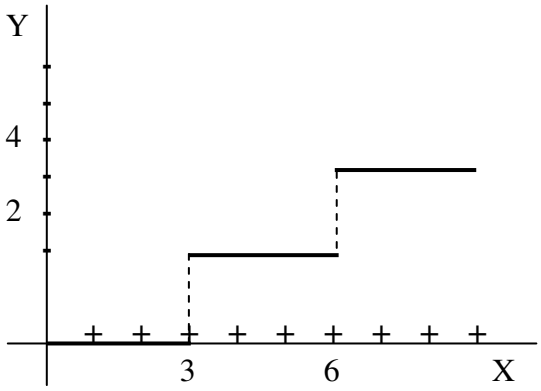
Trong ví dụ sau đây, một chương trình Prolog sử dụng kỹ thuật quay lui kém hiệu quả. Ta cần xác định các vị trí mà từ đó chương trình bắt đầu quá trình quay lui. Ta xét hàm bậc thang

Ta có ba quy tắc xác định quan hệ giữa hai trục X và Y như sau :

1. Nếu X < 3 thì Y = 0
2. Nếu X ≤ 3 và X < 6 thì Y = 2
3. Nếu X ≤ 6 thì Y = 4

Ta viết thành quan hệ nhị phân `f( X, Y )` trong Prolog như sau :

```
f( X, 0) :- X < 3.    % luật 1
f( X, 2) :- 3 =< X, X < 6.  % luật 2
f( X, 4) :- 6 =< X.   % luật 3
```



Hình I.1.Hàm bậc thang có hai bậc.

Khi chạy chương trình, giả sử rằng biến X của hàm `f( X, Y )` đã được nhận một giá trị số để có thể thực hiện phép so sánh trong thân hàm. Từ đây, xảy ra hai khả năng sử dụng kỹ thuật nhát cắt như sau :

I.2. Kỹ thuật sử dụng nhát cắt

I.2.1. Tạo đích giả bằng nhát cắt

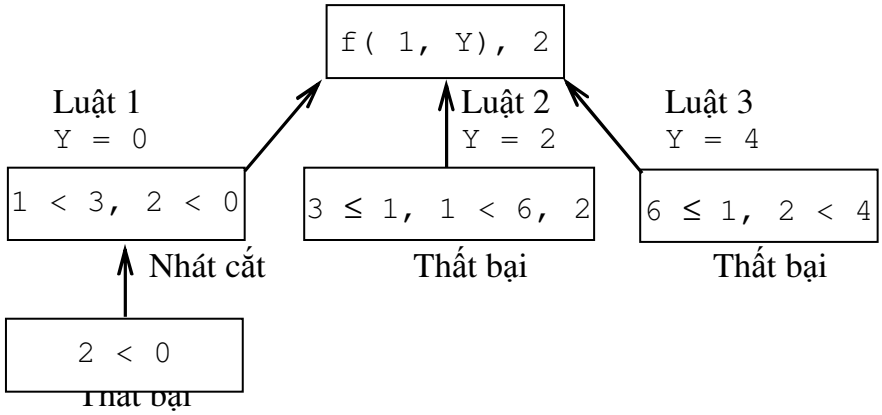
Giả sử ta đặt ra câu hỏi :

```
?- f( 1, Y ), 2 < Y.
```

Lúc này, Y nhận giá trị 0, đích thứ hai trở thành :

```
2 < 0
```

và gây ra kết quả `No` (thất bại) cho cả danh sách các đích còn lại, vì Prolog còn tiếp tục tiến hành thêm hai quá trình quay lui vô ích khác :



Hình I.2. Tại vị trí «Nhát cắt», các luật 2 và 3 đã biết trước thất bại.

Cả ba luật định nghĩa quan hệ `f` có tính chất loại trừ lẫn nhau, chỉ có duy nhất một trong chúng là có thể thành công. Người lập trình biết điều này nhưng

Prolog lại không biết, cho nên cứ tiếp tục áp dụng tất cả các luật mặc dù đi đến thất bại. Trong ví dụ trên, luật 1 được áp dụng tại vị trí «Nhát cắt» và gây ra thất bại. Để tránh sự quay lui không cần thiết bắt đầu từ vị trí này, chúng ta cần báo cho Prolog biết một cách tường minh, bằng cách sử dụng một nhát cắt, ký hiệu bởi một dấu chấm than «!» thực chất là một *đích giả* (pseudo goal) được chèn vào giữa các đích thật khác. Chương trình hàm bậc thang được viết lại như sau :

```
f( X, 0) :- X < 3, !.  % luật 1
f( X, 2) :-
     3 =< X, X < 6, !. % luật 2
f( X, 4) :-
     6 =< X.       % luật 3
```

Nhát cắt `!` sẽ cấm mọi quá trình quay lui từ vị trí xuất hiện của nó trong chương trình. Nếu bây giờ ta yêu cầu thực hiện đích :

```
?- f( 1, Y ), 2 < Y.
```

Prolog chỉ thực hiện nhánh trái nhất ứng với luật 1 trong hình trên, trả về kết quả thất bại vì xảy ra `2 < 0` mà không tiếp tục quay lui thực hiện các nhánh tương ứng với luật 2 và 3, do đã gặp nhát cắt `!`. Chương trình mới sử dụng nhát cắt chạy hiệu quả hơn chương trình cũ. Khi xảy ra thất bại, Prolog sẽ nhanh chóng dừng, mà không mất thời gian để thực hiện những việc vô ích khác. Sử dụng nhát cắt trong một chương trình làm thay đổi nghĩa thủ tục nhưng không làm thay đổi nghĩa khai báo. Tuy nhiên sau đây ta sẽ thấy rằng nhát cắt có thể làm mất đi nghĩa khai báo.

I.2.2. Dùng nhát cắt loại bỏ hoàn toàn quay lui

Giả sử bây giờ ta gọi thực hiện đích :

```
?- f( 7, Y ).
Y=4
Yes
```

Quá trình thực hiện được mô tả như sau : trước khi nhận được kết quả, về nguyên tắc, Prolog phải sử dụng cả ba luật để có quá trình xoá đích.

Thử luật 1 `7 < 3` thất bại, quay lui, thử luật 2 (nhát cắt chưa được sử dụng).

Thử luật 2 `3 ≤ 7` thoả mãn, nhưng `7 < 6` thất bại, quay lui, thử luật 3 (nhát cắt chưa được sử dụng).

Thử luật 3 `6 <= 7` thoả mãn.

Đến đây, ta lại thấy xuất hiện chương trình thực hiện kém hiệu quả. Khi xảy ra đích `X < 3` (nghĩa là `7 < 3`) thất bại, đích tiếp theo `3 ≤ X` (`3 ≤ 7`) thoả mãn, Prolog tiếp tục kiểm tra đích trong luật 3. Nhưng ta biết rằng nếu một đích

thứ nhất thất bại, thì đích thứ hai bắt buộc phải được thoả mãn vì nó là phủ định của đích thứ nhất. Việc kiểm tra lần nữa sẽ trở nên dư thừa vì đích tương ứng với nó có thể bị xoá. Như vậy việc kiểm tra đích `6 <= X` của luật 3 là không cần thiết. Với nhận xét này, ta có thể viết lại chương trình hàm bậc thang tiết kiệm hơn như sau :

Nếu `X < 3` *thì* `Y = 0`,
Nếu không, nếu `X < 6` *thì* `Y = 2`,
Nếu không `Y = 4`.

Bằng cách loại khỏi chương trình những điều kiện mà biết chắc chắn sẽ đúng, ta nhận được chương trình mới như sau :

```
f( X, 0) :- X < 3, !.
f( X, 2) :- X < 6, !.
f( X, 4).
```

Chương trình này cho kết quả tương tự hai chương trình trước đây nhưng thực hiện nhanh hơn do đã loại bỏ hoàn toàn những quay lui không cần thiết.

```
?- f(1, Y ).
Y = 0
Yes
?- f(5, Y ).
Y = 2
Yes
?- f(7, Y ).
Y = 4
Yes
```

Nhưng vấn đề gì sẽ xảy ra nếu bây giờ ta lại loại bỏ hết các nhát cắt ra khỏi chương trình ? Chẳng hạn :

```
f( X, 0) :- X < 3.
f( X, 2) :- X < 6.
f( X, 4).
```

Với lời gọi :

```
?- f( 1, Y ).
Y = 0;
Y = 2;
Y = 4;
No
```

Prolog đưa ra nhiều câu trả lời nhưng không đúng. Như vậy, việc sử dụng nhát cắt đã làm thay đổi đồng thời nghĩa thủ tục và nghĩa khai báo. Kỹ thuật nhát cắt có thể được mô tả như sau :

Ta gọi «đích cha» là đích tương ứng với phần đầu của mệnh đề chứa nhát cắt. Ngay khi gặp nhát cắt, Prolog xem rằng một đích đã được thoả mãn một cách tự động, và giới hạn sự lựa chọn các mệnh đề trong phạm vi giữa lời gọi đích cha và thời điểm thực hiện nhát cắt. Tất cả các mệnh đề tương ứng với các đích con chưa được kiểm tra so khớp giữa đích cha và nhát cắt đều được bỏ qua.

Để minh hoạ, ta xét mệnh đề có dạng :

```
H :- G1, G2, ... Gm, ! , ... , Bn.
```

Giả sử rằng mệnh đề này được khởi động bởi một đích `G` hợp nhất được với `H`, khi đó, `G` là đích cha. Cho đến khi gặp nhát cắt, Prolog đã tìm được các lời giải cho các đích con `G1`, `G2`, ... `Gm`.

Ngay sau khi thực hiện nhát cắt, các đích con `G1`, `G2`, ... `Gm` bị «vô hiệu hoá», kể cả các mệnh đề tương ứng với các đích con này cũng bị bỏ qua. Hơn nữa, do `G` hợp nhất với `H` nên Prolog không tiếp tục tìm kiếm để so khớp `H` với đầu (head) của các mệnh đề khác.

Chẳng hạn, áp dụng nguyên lý trên cho ví dụ sau :

```
C :- P, Q, R, ! S, T, U.
C :- V.
A :- B, C, D.
?- A.
```

Giả sử `A, B, C, D, P, ...` đều là các hạng. Tác động của nhát cắt khi thực hiện đích `C` như sau : quá trình quay lui xảy ra bên trong danh sách các đích `P, Q, R`, nhưng ngay khi thực hiện nhát cắt, mọi con đường dẫn đến các mệnh đề trong danh sách `P, Q, R` đều bị bỏ qua. Mệnh đề `C` thứ hai :

```
C :- V.
```

cũng bị bỏ qua. Tuy nhiên, việc quay lui vẫn có thể xảy ra bên trong danh sách các đích `S, T, U`. Đích cha của mệnh đề chứa nhát cắt là `C` ở trong mệnh đề :

```
A :- B, C, D.
```

Như vậy, nhát cắt chỉ tác động đối với mệnh đề `C`, mà không tác động đối với `A`. Việc quay lui tự động trong danh sách các đích `B, C, D` vẫn được thực hiện, độc lập với nhát cắt hiện diện trong `C`.

I.2.3. Ví dụ sử dụng kỹ thuật nhát cắt

1. Tìm số max

Xây dựng chương trình tìm số lớn `nhất trong hai số có dạng :`

```
max( X, Y, MaX )
```

trong đó, `Max = X` nếu `X` lớn hơn hoặc bằng `Y`, và `Max = Y` nếu `X` nhỏ hơn hoặc bằng `Y`. Ta xây dựng hai quan hệ như sau :

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

Hai quan hệ trên loại trừ lẫn nhau. Nếu quan hệ thứ nhất thoả mãn, thì quan hệ thứ 2 chỉ có thể thất bại và ngược lại. Áp dụng dạng điều kiện quen thuộc «nếu-thì-nếu không thì» để làm gọn chương trình lại như sau :

Nếu X ≥ Y thì Max = X,
Nếu không thì Max = Y.

Sử dụng kỹ thuật nhát cắt, chương trình được viết lại như sau :

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

2. Kiểm tra một phần tử có thuộc danh sách đã cho không

Ta đã xây dựng quan hệ :

```
membre( X, L).
```

để kiểm tra phần tử `X` có nằm trong danh sách `L` hay không. Chương trình như sau :

```
membre( X, [X | L]).
membre( X, [X | L]) :- membre( X, L).
```

Tuy nhiên, chương trình này hoạt động một cách «không đơn định». Nếu `X` xuất hiện nhiều lần trong danh sách, thì bất kỳ phần tử nào bằng `X` cũng được tìm thấy. Bây giờ ta chuyển `membre` thành một quan hệ đơn định chỉ tác động đối với phần tử `X` đầu tiên. Việc thay đổi rất đơn giản như sau : chỉ việc cấm quay lui ngay khi `X` được tìm thấy, nghĩa là khi mệnh đề đầu tiên được thoả mãn :

```
membre( X, [ X | L ]) :- !.
membre( X, [ X | L ]) :- membre( X, L).
```

Khi đó, trong ví dụ sau, Prolog chỉ đưa ra một lời giải :

```
?- membre( X, [a, a, b, c]).
X = a ;
No
```

3. Thêm một phần tử vào danh sách mà không bị trùng lắp

Thông thường, khi muốn thêm một phần tử mới, chẳng hạn `X`, vào danh sách `L`, người ta muốn trước đó, `L` không chứa phần tử này. Giả sử quan hệ cần xây dựng :

```
ajoute( X, L, L1)
```

có X là phần tử mới cần thêm vào danh sách L, L1 là kết quả có chứa đúng một X. Ta lập luận như sau :

Nếu X thuộc danh sách L, thì L1 = L,
Nếu không, L1 là L đã được thêm X vào.

Cách đơn giản nhất là chèn phần tử X vào ngay đầu danh sách sao cho nó là phần tử đầu (head) của L1. Ta có chương trình như sau :

```
ajoute( X, L, L) :- membre( X, L), !.

ajoute( X, L, [ X | L ] ).
```

Sau đây là các vận dụng chương trình :

```
?- ajoute( a, [ b, c ], L).
L = [ a, b, c ]

?- ajoute( X, [ b, c ], L).
L = [ b, c ]
X = b

?- ajoute( a, [ b, c, X ], L).
X = _G333
L = [a, b, c, _G333]

?- ajoute( a, [ a, b, c ], L).
L = [a, b, c];
```

Trong ví dụ này, nhờ sử dụng kỹ thuật nhát cắt, người lập trình dễ dàng thêm một phần tử mới vào danh sách mà không làm trùng lặp phần tử đó. Nếu không sử dụng kỹ thuật nhát cắt, việc thêm một phần tử mới vào một danh sách có thể làm trùng lặp phần tử.

Như vậy, kỹ thuật nhát cắt không những làm tối ưu hiệu quả lập trình, mà còn rất cần thiết để đặc tả đúng đắn mối quan hệ giữa các đối tượng.

4. Sử dụng nhát cắt để phân loại dữ liệu

Giả sử ta cần quản lý một CSDL chứa kết quả các trận đấu của các hội viên một câu lạc bộ quần vợt. Các trận đấu không được sắp xếp một cách có hệ thống, mà mỗi hội viên có thể đấu với bất cứ ai. Kết quả các trận đấu được biểu diễn bởi các sự kiện như sau :

```
bat( tom, jim).
bat( ann, tom).
bat( pat, jim).
```

Ta cần định nghĩa quan hệ :

```
classe(Player, CategorY ).
```

để phân thứ hạng cho mỗi người chơi quần vợt trong ba hạng như sau :

`champion`	người luôn thắng trong tất cả các trận đấu
`combative`	người có cả bàn thắng và có cả bàn thua
`dilettante`	người luôn thua trong tất cả các trận đấu

Từ kết quả những trận đấu đã có được cho trong các sự kiện, ta thấy Ann và Pat được xếp hạng quán quân (champion), Tom được xếp hạng trung bình (combative), còn Jim thì được xếp hạng yếu kém (dilettante). Ta có thể dễ dàng xây dựng các luật xếp hạng như sau :

X được xếp hạng trung bình nếu
tồn tại Y sao cho X thắng Y, và
tồn tại Z sao cho Z thắng X.

X được xếp hạng quán quân nếu
X thắng Y, và
X không bị thua bất kỳ đối thủ nào.

Luật xếp hạng quán quân có chứa phép phủ định (not) mà cho đến lúc này, ta chưa tìm hiểu cách biểu diễn như thế nào trong Prolog. `Luật` xếp hạng yếu kém cũng xây dựng tương tự luật xếp hạng quán quân. Ta có thể sử dụng sơ đồ *if-then-else* để xử lý `đồng thời` hai tình huống như sau :

Nếu X thắng và X bị thua khi đấu với bất kỳ ai
thì X được xếp hạng trung bình
nếu không, nếu X thắng bất kỳ ai
thì X được xếp hạng quán quân
nếu không, nếu X luôn bị thua
thì X được xếp hạng yếu kém.

Từ sơ đồ trên ta có thể chuyển sang Prolog sử dụng kỹ thuật nhát cắt để xử lý khả năng loại trừ nhau giữa ba thứ hạng.

```
classe( X, combative) :-
     bat( X, _ ),
     bat( _, X ), !.

classe( X, champion) :-
     bat( X, _ ), !.

classe( X, dilettante) :-
     bat( _, X ).
```

Chú ý rằng không nhất thiết phải sử dụng nhát cắt trong mệnh đề `champion` vì bản chất của ba thứ hạng.

I.3. Phép phủ định

I.3.1. Phủ định bởi thất bại

Trong Prolog, ta có thể nói được câu : «Marie thích tất cả loài động vật trừ loài rắn» hay không ?

Đối với vế thứ nhất, ta có thể dễ dàng dịch ra thành : *Dù X là gì, Marie thích X nếu X là loài động vật :*

```
enjoy( marie, X ) :-
     animal( X ).
```

Tuy nhiên cần loại trừ loài rắn. Lúc này ta cần dịch ra như sau :

Nếu X là loài rắn, thì «Marie thích X» là sai,
Nếu không, nếu X là loài động vật thì Marie thích X.

Những gì không đúng thì có thể sử dụng đích đặc biệt `fail` (thất bại) để luôn luôn sai, và cũng làm cho đích cha thất bại. Chương trình được viết lại như sau :

```
enjoy( marie, X ) :-
     serpent( X ), !, fail.

enjoy( marie, X ) :-
     animal( X ).
```

Luật thứ nhất xử lý tình huống Marie không thích loài rắn : nếu X là loài rắn, thì nhát cắt sẽ ngăn sự quay lui (và do đó, luật thứ hai không được thực hiện), và đích `fail` sẽ gây ra thất bại. Ta có thể sử dụng dấu `;` để viết cô đọng hai luật thành một luật như sau :

```
enjoy( marie, X ) :-
     serpent( X ), !, fail;
     animal( X ).
```

Một cách tương tự, ta định nghĩa quan hệ khác nhau :

```
diffĩrent( X, Y )
```

thoả mãn nếu `X` và `Y` là khác nhau. Do sự khác nhau có thể được diễn giải theo nhiều cách nên ta cần chỉ rõ như sau :

- X và Y không phải là các trực hằng (literal) đồng nhất,
- X và Y không thể khớp với nhau,
- Các giá trị của các biểu thức số học X và Y không thể bằng nhau.

Ta nói rằng X và Y khác nhau do chúng không thể khớp được với nhau :

Nếu X và Y là đồng nhất, thì `diffĩrent( X, Y )` *thất bại,*
Nếu không, `diffĩrent( X, Y )` *thành công.*

Ta sử dụng nhát cắt và đích `fail` để viết quan hệ này thành hai luật :

```
diffĩrent( X, X ) :- !, fail.
```

```
diffĩrent( X, Y ).
```

Hoặc viết lại thành một luật như sau :

```
diffĩrent( X, Y ) :-
     X = Y, !, fail;
     true.
```

Chú ý rằng đích `true` (đúng) luôn luôn thành công.

Từ đây, ta có thể định nghĩa vị từ `not(Goal)` cho phép kiểm tra đích không thoả mãn như sau :

Nếu `Goal` *thoả mãn, thì* `not(Goal)` *thất bại,*
Nếu không, `not(Goal)` *thành công.*

Chương trình Prolog :

```
not( P ) :-
     P, !, fail;
     true.
```

Hầu hết các phiên bản Prolog hiện nay đều có vị từ `not`

```
not(2 = 3).
Yes

?- not(2 = 2).
No
```

Sử dụng vị từ `not`, ta có thể định nghĩa lại các quan hệ `enjoy`, `diffĩrent` và `classe` như sau :

```
enjoy( marie, X ) :-
     animal( X ),
     not (serpent( X )).

diffĩrent( X, Y ) :-
     not( X = Y ).

classe( X, combatif) :-
     bat( X, _ ),
     bat( _ , X ).

classe( X, champion) :-
     bat( X _ ),
     not bat( _ , X ).

classe( X, dilettante) :-
     bat( _ , X ),
     not bat( X, _ ).
```

I.3.2. Sử dụng kỹ thuật nhát cắt và phủ định

Ưu điểm của kỹ thuật nhát cắt có thể tóm tắt như sau :

1. Nâng cao tính hiệu quả của một chương trình nhờ nguyên tắc thông báo một cách tường minh cho Prolog tránh không đi theo những con đường dẫn đến thất bại.
2. Kỹ thuật nhát cắt cho phép xây dựng những luật có tính chất loại trừ nhau có dạng :

   Nếu điều kiện P xảy ra thì kết luận là Q,
   Nếu không, thì kết luận là R.

Tuy nhiên sử dụng nhát cắt có thể làm mất sự tương ứng giữa nghĩa khai báo và nghĩa thủ tục của một chương trình. Nếu trong chương trình không xuất hiện nhát cắt, thì việc thay đổi thứ tự các mệnh đề và các đích chỉ làm ảnh hưởng đến hiệu quả chạy chương trình mà không làm thay đổi nghĩa khai báo. Còn khi có mặt nhát cắt trong một chương trình, thì lại xảy ra vấn đề, lúc này có thể có thể nhiều kết quả khác nhau. Ví dụ :

```
p :- a, b.
p :- c.
```

Xét về mặt nghĩa khai báo, chương trình trên có nghĩa : p đúng nếu và chỉ nếu cả a và b đều đúng, hoặc c đúng. Từ đó ta xây dựng biểu thức lôgich như sau :

```
p ⇔ (a ∧ b) ∨ c
```

Nghĩa khai báo không còn đúng nữa nếu ta thay đổi mệnh đề thứ nhất bằng cách thêm vào một nhát cắt :

```
p :- a, !, b.
p :- c.
```

Biểu thức lôgich tương ứng như sau :

```
p ⇔ (a ∧ b) ∨ (~a ∧ c)
```

Nếu ta đảo thứ tự hai mệnh đề :

```
p :- c.
p :- a, !, b.
```

thì ta lại có cùng nghĩa như ban đầu :

```
p ⇔ c ∨ (a ∧ b)
```

Người ta phải thận trọng khi sử dụng kỹ thuật nhát cắt do nhát cắt làm thay đổi nghĩa thủ tục và làm tăng nguy cơ xảy ra sai sót trong chương trình. Như đã xét trong các ví dụ trước đây, việc loại bỏ nhát cắt có thể làm thay đổi nghĩa khai báo của một chương trình. Tuy nhiên trong một số trường hợp, nhát cắt không

ảnh hưởng đến nghĩa khai báo. Người ta gọi những nhát cắt không làm thay đổi ngữ nghĩa của chương trình là *nhát cắt xanh* (green cuts). Đứng trên quan điểm lập trình dễ đọc và dễ hiểu (readability), các nhát cắt xanh là an toàn và người ta thường hay sử dụng chúng. Thậm chí, người ta có thể bỏ qua sự có mặt của chúng khi đọc chương trình. Người ta nói nhát cắt xanh làm *rõ ràng* (explicit) *tính tiền định* (determinism) vốn không rõ ràng (implicit). Thông thường nhát cắt xanh được đặt ngay sau phép kiểm tra tiền định.

Ví dụ sử dụng nhát cắt xanh tìm số min :

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

Ví dụ sử dụng nhát cắt xanh kiểm tra kiểu của cây nhị phân các số nguyên :

```
int_bin_tree(ab(X,G,D)) :-
     integer(X),
     int_bin_tree(G),
     int_bin_tree(D).
int_bin_tree(X) :-
     integer(X).
```

Trong các trường hợp khác, các nhát cắt ảnh hưởng đến nghĩa khai báo được gọi là *nhát cắt đỏ* (red cuts). Sự có mặt của các nhát cắt đỏ thường làm cho chương trình trở nên khó đọc, khó hiểu. Để sử dụng được chúng, NSD phải hết sức chú ý. Ví dụ sử dụng nhát cắt đỏ tìm số min thay đổi ngữ nghĩa :

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

Trong một số trường hợp, một câu hỏi có thể không liên quan đến ngữ nghĩa của chương trình. Ví dụ vị từ kiểm tra một phần tử có thuộc danh sách không :

```
member_cut(X, [ X | _ ] ) :- !.
member_cut(X, [ _ | L ] ) :- member_cut(X, L ).
```

Với câu hỏi `member_cut(X, [ 1, 2, 3 ] )` sẽ không cho kết quả `X = 2`.

```
?- member_cut(X, [ 1, 2, 3 ] ).
X = 1 ;
No
```

Thông thường, đích `fail` được dùng cặp đôi với nhát cắt (cut-fail). Người ta thường định nghĩa phép phủ định một đích (`not`) bằng cách gây ra sự thất bại của đích này, thực chất là cách sử dụng nhát cắt có hạn chế. Để chương trình dễ hiểu

hơn, thay vì sử dụng cặp đôi cut-fail, người ta sử dụng `not`. Tuy nhiên, phép phủ định `not` cũng không phải không gây ra những phiền phức cho người dùng. Nhiều khi sử dụng not không hoàn toàn chính xác với phép phủ định trong Toán học. Chẳng hạn nếu trong chương trình có định nghĩa quan hệ `man`, mà ta đưa ra một câu hỏi đại loại như :

```
?- not( man( marie)).
```

Khi đó, Prolog sẽ trả lời `No` nếu đã có định nghĩa `man( marie)`, trả lời `Yes` nếu chưa có định nghĩa như vậy. Tuy nhiên, khi trả lời `No`, không phải Prolog nói rằng «Marie không phải là một người», mà nói rằng «Không tìm thấy trong chương trình thông tin để chứng minh Marie là một người». Khi thực hiện phép `not`, Prolog không chứng minh trực tiếp mà tìm cách chứng minh điều ngược lại. Nếu chứng minh được, Prolog suy ra rằng đích `not` thành công. Cách lập luận như vậy được gọi là *giả thuyết về thế giới khép kín* (hypothesis of the enclosed world). Theo giả thuyết này, thế giới khép kín có nghĩa là những gi tồn tại (đúng) đều nằm trong chương trình hoặc được suy ra từ chương trình. Những gì không nằm trong chương trình, hoặc không thể suy ra từ chương trình, thì sẽ là không đúng (sai), hay điều phủ định là đúng. Vì vậy, cần chú ý khi sử dụng phủ định do thông thường, người ta đã không giả thiết rằng thế giới là khép kín. Trong chương trình, do thiếu khai báo mệnh đề :

```
man( marie).
```

nên Prolog không chứng minh được rằng Marie là một người.

Sau đây là một ví dụ khác sử dụng phép phủ định `not` :

```
r( a).

q( b).

p( X ) :- not( r( X )).
```

Nếu đặt câu hỏi :

```
?- q( X ), p( X ).
```

thì Prolog sẽ trả lời :

```
X=b
Yes
```

Nhưng nếu đặt câu hỏi :

```
?- p( X ), q( X ).
```

thì Prolog sẽ trả lời :

```
No
```

Để hiểu được vì sao cùng một chương trình nhưng với hai cách đặt câu hỏi khác nhau lại có hai cách trả lời khác nhau, ta cần tìm hiểu cách Prolog lập luận.

Trong trường hợp thứ nhất, biến `X` được ràng buộc giá trị là `b` khi thực hiện đích `q( X )`. Tiếp tục thực hiện đích con `p( X )`, nhờ ràng buộc `X=b`, đích `not( r( X ))` thoả mãn vì đích `r( b )` không thoả mãn, Prolog trả lời `Yes`.

Trái lại trong trường hợp thứ hai, do Prolog thực hiện đích con `p( X )` trước nên sự thất bại của `not( r( X ))`, tức `r( X )` thành công với ràng buộc `X=a`, dẫn đến câu trả lời `No`.

II. Sử dụng các cấu trúc

Kiểu dữ liệu cấu trúc, danh sách, kỹ thuật so khớp, quay lui và nhát cắt là những điểm mạnh trong lập trình Prolog. Chương này sẽ tiếp tục trình bày một số ví dụ tiêu biểu về :

- Truy cập thông tin cấu trúc từ một cơ sở dữ liệu.
- Mô phỏng một ôtômat hữu hạn không đơn định và máy Turing.
- Lập kế hoạch đi du lịch
- Bài toán tám quân hậu

Đồng thời, ta cũng trình bày cách Prolog trừu tượng hoá dữ liệu.

II.1. Truy cập thông tin cấu trúc từ một cơ sở dữ liệu

Sau đây là một ví dụ cho phép biểu diễn và thao tác các dữ liệu cấu trúc. Từ đó, ta cũng hiểu cách sử dụng Prolog như một ngôn ngữ truy vấn cơ sở dữ liệu.

Trong Prolog, một cơ sở được biểu diễn dưới dạng một tập hợp các sự kiện. Chẳng hạn, một cơ sở dữ liệu về các gia đình sẽ mô tả mỗi gia đình (`family`) như một mệnh đề. Mỗi gia đình sẽ gồm ba phần tử lần lượt : chồng, vợ (`individual`) và các con (`children`). Do các phần tử này thay đổi tuy theo từng gia đình, nên các con sẽ được biểu diễn bởi một danh sách để có thể nhận được một số lượng tuỳ ý số con. Mỗi người trong gia đình được biểu diễn bởi bốn thành phần : tên, họ, ngày tháng năm sinh và việc làm. Thành phần việc làm có thể có giá trị "thất nghiệp" (`inactive`), hoặc chỉ rõ tên cơ quan công tác và thu nhập theo năm.

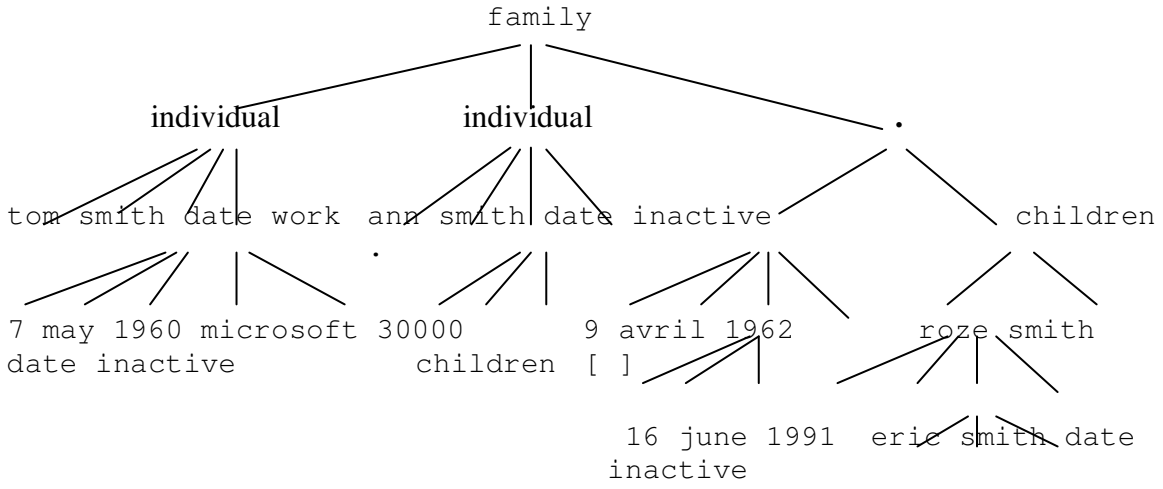
Giả sử cơ sở dữ liệu chứa mệnh đề đầu tiên như sau :

```
family(
   individual( tom, smith, date(7, may, 1960),
   work(microsoft, 30000) ),
   individual( ann, smith, date(9, avril, 1962),
   inactive),
   [individual( roze, smith, date(16, june, 1991),
   inactive),
    individual( eric, smith, date(23, march, 1993),
   inactive) ] ).
```

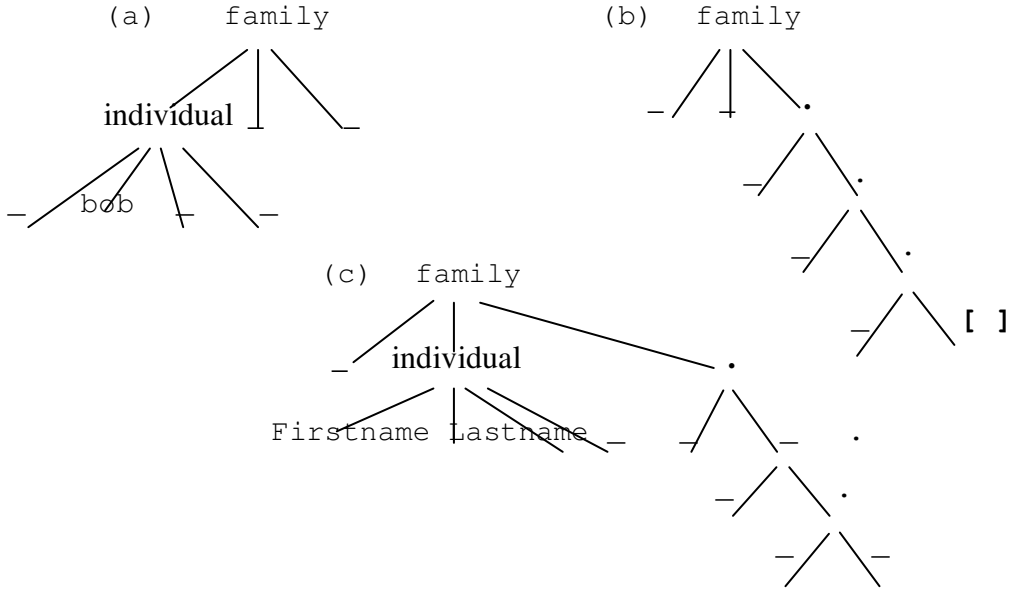
Dữ liệu về những gia đình khác tiếp tục được bổ sung dưới dạng các mệnh đề tương tự. Hình 5.1 dưới đây minh hoạ cách tổ chức cơ sở dữ liệu.

Prolog là một ngôn ngữ rất thích hợp cho việc khôi phục thông tin : người sử dụng có thể gọi các đối tượng mà không nhất thiết chỉ rõ tất cả các thành phần. Người sử dụng chỉ cần chỉ ra *cấu trúc* của các đối tượng mà họ quan tâm một cách tượng trưng, không cần phải chỉ ra hết. Hình 1.2 minh hoạ những cấu trúc như vậy. Ví dụ, để biểu diễn những gia đình dòng họ Smith, trong Prolog viết :

```
family( individual( _ , smith, _ , _ ), _ , _ )
```



Hình II.1. *Cấu trúc cây biểu diễn thông tin về một gia đình*



Hình II.2. tính chất cấu trúc của các đối tượng Prolog cho phép biểu diễn : (a) một gia đình Smith nào đó ; (b) những gia đình có đúng ba con ; (c) những gia đình

có ít nhất ba con. Riêng trường hợp (c) còn cho phép biểu diễn tên của người vợ nhờ sự ràng buộc các biến `Firstname` *và* `Lastname`.

Những dấu gạch dưới dòng như đã biết là các biến nặc danh, người sử dụng không cần quan tâm đến giá trị của chúng. Một cách tương tự, những gia đình có ba con được biểu diễn bởi :

```
family( _ , _ , [ _ , _ , _ ] )
```

Ta cũng có thể đặt câu hỏi tìm những người vợ trong những gia đình có ít nhất ba con :

```
?- family( _ , individual( Firstname, Lastname, _ , _
  ), [ _ , _ , _ | _ ] ).
```

Những ví dụ trên đây chỉ ra rằng ta có thể biểu diễn các đối tượng bởi cấu trúc của chúng mà không cần quan tâm đến nội dung, bằng cách bỏ qua những tham đối vô định.

Sau đây là một số mệnh đề được đưa thêm vào cơ sở dữ liệu các gia đình để có thể đặt các câu hỏi vấn tin khác nhau (có thể bổ sung thêm các gia đình mới bởi mệnh đề `family`) :

```
husban( X ) :-          % X là một người chồng
   family( X , _ , _ ).
wife( X ) :-            % X là một người vợ
   family( _, X , _ ).
chidren( X ) :-         % X là một người con, chú ý các tên biến chữ hoa
   family( _, _ , Chidren ),
   ismember( X, Chidren ).
ismember( X, [ X | L ] ).   % có thể sử dụng mệnh đề member của
   Prolog
ismember( X, [ Y | L ] ) :-
   ismember( X, L ).
exist( Individual ) :-      % mọi thành viên của gia đình
   husban( Individual ) ;
   wife( Individual ) ;
   chidren( Individual ).
dateofbirth( individual( _ , _, Date , _ ), Date ).
salary( individual( _ , _, _ , work( _ , S ) ), S ). %
   thu nhập của người lao động
salary( individual( _ , _, _ , inactive ), 0 ). % người
   không có nguồn thu nhập
```

Bây giờ ta có thể đặt các câu hỏi như sau :

1. Tìm tên họ của những người có mặt trong cơ sở dữ liệu :

```
?- exist( individual( Firstname, Lastname, _ , _ ) ).
```

2. Tìm những người con sinh năm 1991 :

```
?- chidren( X ), dateofbirth( X, date( _ , _ , 1991 ) ).
```

3. Tìm những người vợ có việc làm :

```
?- wife( individual( Firstname, Lastname, _ , work( _ , _ ) ) ).
```

4. Tìm những người không có việc làm sinh trước năm 1975 :

```
?-                              exist( individual(
  Firstname, Lastname, date( _ , _ , Year ), inactive
  ) ),
  Year < 1975.
```

5. Tìm những người sinh trước năm 1975 có thu nhập dưới 10000 :

```
?-                              exist( Individual ),
  dateofbirth( Individual, date( _ , _ , Year ) ),
  Year < 1975,
  salary( Individual, Salary ),
  Salary < 10000.
```

6. Tìm những gia đình có ít nhất ba con :

```
?- family( individual( _, Name, _ , _ ), _, [ _, _, _ | _ ] ).
```

Để tính tổng thu nhập của một gia đình, ta có thể định nghĩa một quan hệ nhị phân cho phép tính tổng các thu nhập của một danh sách những người đang có việc làm dạng :

```
total( List_of_ individual, Sum_of_ salary )
```

Ta viết trong Prolog như sau :

```
total( [ ], 0 )          % danh sách rỗng

total( [ Individual | List ], Sum ) :-
   salary( Individual, S ),       % S là thu nhập của người đầu tiên
   total( List, Remain ),    % Remain là thu nhập của tất cả những người còn lại
   Sum is S + Remain.
```

Như vậy, tổng thu nhập của một gia đình được tính bởi câu hỏi :

```
?- family( Husban, Wife, Chidren ),
   total( [ Husban, Wife | Chidren ], Income ).
```

Các phiên bản Prolog đều có thể tính độ dài (`length`) của một danh sách (xem mục III chương 1 trước đây, ta cũng đã tìm cách xây dựng quan hệ này).

Bây giờ ta có thể áp dụng để tìm những gia đình có nguồn thu nhập nhỏ hơn 5000 tính theo đầu người :

```
?- family( Husban, Wife, Chidren ),
   total( [ Husban, Wife | Chidren ], Income )
   length( [ Husban, Wife | Chidren ], N ),
   Income / N < 5000.    % N là số người trong một gia đình
```

II.2. Trừu tượng hoá dữ liệu

Trừu tượng hoá dữ liệu (data abstraction) được xem là cách tổ chức tự nhiên (một cách có thứ cấp) những thành phần khác nhau trong cùng những đơn vị thông tin, sao cho về mặt ý niệm, người sử dụng có thể hiểu được cấu trúc bên trong. Chương trình phải dễ dàng truy cập được vào từng thành phần dữ liệu. Một cách lý tưởng thì người sử dụng không nhìn thấy được những chi tiết cài đặt các cấu trúc này, người sử dụng chỉ quan tâm đến những đối tượng và quan hệ giữa chúng. Với mục đích đó, Prolog phải có cách biểu diễn thông tin phù hợp.

Để tìm hiểu cách Prolog giải quyết, ta quay lại ví dụ cơ sở dữ liệu gia đình trong mục trước đây. Mỗi gia đình là một nhóm các thông tin khác nhau về bản chất, mỗi người hay mỗi gia đình được xử lý như một đối tượng độc lập.

Giả thiết rằng mỗi gia đình được biểu diễn như Hình II.1. Bây giờ ta tiếp tục định nghĩa các quan hệ để có thể tiếp cận đến các thành phần của gia đình mà không cần biết chi tiết. Những quan hệ này được gọi là các *bộ chọn* (selector), vì chúng chọn những thành phần nào đó. Mỗi bộ chọn sẽ có tên là tên thành phần mà nó chọn ra, và có hai tham đối : đối tượng chứa thành phần được chọn và bản thân thành phần đó :

```
selector_relation( Object, Selected_component )
```

Sau đây là một số ví dụ về các bộ chọn :

```
husban( family( Husban, _ , _ ), Husban ).
wife( family( _ , Wife, _ ), Wife ).
chidren( family( _ , _ , ChidrenList ), ChidrenList ).
```

Ta cũng có thể định nghĩa những bộ chọn chọn ra những người con đặc biệt như con trưởng, con út và con thứ N trong gia đình :

```
eldest( Family, Eldest ) :-      % người con trưởng
   chidren(Family, [ Eldest | _ ] ).

cadet( Family, Eldest ) :-       % người con út
   chidren( Family, [ Eldest | _ ] ).
```

Chọn ra một người con bất kỳ nào đó :

```
% người con thứ N trong gia đình
```

```
nth_child( N, Family, Chidren ) :-
   chidren( Family, ChidrenList ),
   % phần tử thứ N của một danh sách
   nth_member( N, ChidrenList, Chidren ).
```

Từ biểu diễn cấu trúc minh hoạ trong `Hình II.1`, sau đây là một số bộ chọn nhận tham đối là một thành viên trong gia đình (`individual`) :

```
lastname( individual( _ , Lastname, _ , _ ), Lastname ).
                                          % tên gia đình (họ)

firstname( individual( Firstname, _ , Wife, _ ),
Firstname ).                              % tên riêng

born( individual( _ , _ , Date, _ ), Date ).    % ngày sinh
```

Làm cách nào để có thể áp dụng các bộ chọn ? Mỗi khi các bộ chọn đã được định nghĩa, ta không cần quan tâm đến cách biểu diễn những thông tin có cấu trúc. Để tạo ra và để thao tác trên những thông tin cấu trúc, chỉ cần biết tên các bộ chọn và sử dụng chúng trong chương trình. Với phương pháp này, các biểu diễn phức tạp cấu trúc dữ liệu sẽ dễ dàng hơn so với phương pháp mô tả đã xét.

Ví dụ, người sử dụng không cần biết những người con trong gia đình được lưu giữ trong một danh sách. Giả sử rằng ta muốn hai người con Johan Smith và Eric Smith cùng thuộc một gia đình, và Eric là em thứ hai của Johan. Ta có thể sử dụng bộ chọn để định nghĩa hai cá thể, được gọi là `Individual1` và `Individual2`, và định nghĩa gia đình như sau :

```
% Johan Smith
lastname( Individual1, smith ), firstname( Individual1,
johan ).

% Eric Smith
lastname( Individual2, smith ), firstname( Individual1,
    eric ),
    husban( Family, Individual1 ).

nth_child( 2, Family, Individual2 ).
```

Việc sử dụng các bộ chọn làm thay đổi dễ dàng một chương trình Prolog. Giả sử ta muốn thay đổi dữ liệu của một chương trình, ta chỉ cần định nghĩa lại các bộ chọn, phần còn lại của chương trình vẫn hoạt động như cũ.

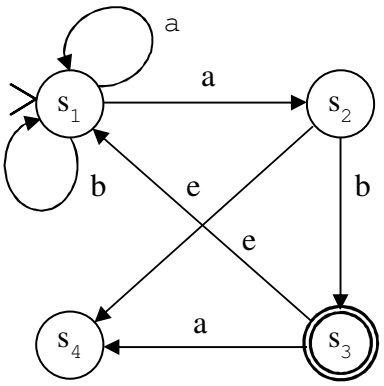
II.3. Mô phỏng ôtômat hữu hạn

Ví dụ sau đây minh hoạ cách Prolog biểu diễn các mô hình toán học trừu tượng.

II.3.1. Mô phỏng ôtômat hữu hạn không đơn định

Một *ođtômat hữu hạn không đơn định* (Non-deterministic Finite Automaton, viết tắt NFA) là một máy trừu tượng có thể đọc một *câu vào* (input string) là một xâu (hay chuỗi) ký tự nào đó và có thể quyết định có *thừa nhận* (accept) hay *không thừa nhận* (rejecting). Ôtômat có một số hữu hạn *trạng thái* (state) và luôn ở một trạng thái nào đó để có thể *chuyển tiếp* (transition) qua một trạng thái khác sau khi đọc (thừa nhận) một ký hiệu (symbol) hay ký tự thuộc một *bảng ký tự* (alphabet hay set of characters) hữu hạn nào đó. Một xâu đã cho được gọi là *được thừa nhận* bởi ôtômat, nếu sau khi đọc hết câu vào, ôtômat rơi vào một trong các trạng thái thừa nhận.

Người ta thường biểu diễn ođtômat hữu hạn bởi một đồ thị định hướng mô tả các chuyển tiếp trạng thái có thể. Mỗi cung định hướng của đồ thị được gắn nhãn là ký tự sẽ đọc. Mỗi nút của đồ thị là một trạng thái, trong đó, *trạng thái đầu* (initial state) được đánh dấu bởi **>**, và các *trạng thái thừa nhận* (accepted state) được đánh dấu bởi đường kép.



Hình II.3. Một ođtômat hữu hạn không đơn định bốn trạng thái.

Hình 5.3 minh hoạ một ôtômat hữu hạn không đơn định có bốn trạng thái `s1`, `s2`, `s3` và `s4`, trong đó, `s1` là trạng thái đầu và ôtômat chỉ có một trạng thái thừa nhận duy nhất là `s3`. Chú ý ôtômat có hai chuyển tiếp nối vòng (chu kỳ) tại trạng thái `s1` (nghĩa là ôtômat không thay đổi trạng thái sau khi đọc xong hoặc ký tự `a`, hoặc ký tự `b`).

Mỗi chuyển tiếp của ôtômat được xác định bởi một quan hệ giữa trạng thái hiện hành, ký tự sẽ đọc và trạng thái sẽ đạt tới. Chú ý rằng mỗi chuyển tiếp có thể không đơn định. Trong Hình II.3, từ trạng thái `s1`, sau khi đọc ký tự `a`, ôtômat có

thể rơi vào hoặc trạng thái s_1, hoặc trạng thái s_2. Ta cũng thấy một số cung có nhãn e (câu rỗng), tương ứng với "chuyển tiếp epsilon", ký hiệu e-chuyển tiếp. Những cung này mô tả sự chuyển tiếp "không nhìn thấy được" của ôtômat : ôtômat chuyển qua một trạng thái mới khác mà không hề đọc một ký tự nào. Nghĩa là phần câu vào vẫn không thay đổi, nhưng ôtômat đã thay đổi trạng thái.

Người ta nói ôtômat thừa nhận câu vào nếu tồn tại một dãy các chuyển tiếp trong đồ thị sao cho :

1. Lúc đầu, ôtômat ở trạng thái đầu (ví dụ s_1).
2. Ôtômat kết thúc việc đoán nhận câu vào và ở trạng thái thừa nhận (s_3).
3. Các nhãn trên các cung của con đường chuyển tiếp từ trạng thái đầu đến trạng thái thừa nhận tương ứng với câu vào là xâu đã đọc.

Trong quá trình đoán nhận câu vào, ôtômat quyết định lựa chọn một trong số các chuyển tiếp có thể để tiếp tục. Đặc biệt, ôtômat có thể thực hiện hay không thực hiện một e-chuyển tiếp, nếu trạng thái hiện hành cho phép. Ôtômat không thừa nhận câu vào nếu nó không rơi vào trạng thái thừa nhận dù đã đọc hết câu vào, hoặc không còn khả năng tiếp tục chuyển tiếp mà câu vào chưa kết thúc, hoặc có thể bị quẩn vô hạn.

Như đã biết, các ôtômat hữu hạn không đơn định trừu tượng có một tính chất thú vị : tại mỗi thời điểm, ôtômat có khả năng lựa chọn, trong số các chuyển tiếp có thể, một chuyển tiếp "tốt nhất" để thừa nhận câu vào.

Chẳng hạn, ôtômat cho ở Hình II.3 sẽ thừa nhận các xâu `ab` và `aabaab`, nhưng không thừa nhận các xâu `abb` và `abba`. Một cách tổng quát, ôtômat thừa nhận mọi xâu kết thúc bởi `ab`, nhưng không thừa nhận các xâu khác.

Trong Prolog, một ôtômat được định nghĩa bởi ba quan hệ :

1. Một quan hệ một ngôi `satisfaction` cho phép xác định các trạng thái thừa nhận của ôtômat.
2. Một quan hệ ba ngôi `trans` cho phép xác định các trạng thái chuyển tiếp, chẳng hạn :

   ```
   trans( S1, X, S2 ).
   ```

   có nghĩa là ôtômat chuyển tiếp từ trạng thái `S1` qua trạng thái `S2` sau khi đọc ký tự `X`.
3. Một quan hệ hai ngôi `epsilon` chỉ ra phép chuyển tiếp rỗng từ trạng thái `S1` qua trạng thái `S2` :

   ```
   epsilon( S1, S2 ).
   ```

Ôtômat đã cho ở Hình II.3 được mô tả bởi các mệnh đề Prolog như sau :

```
satisfaction( s3 ).
```

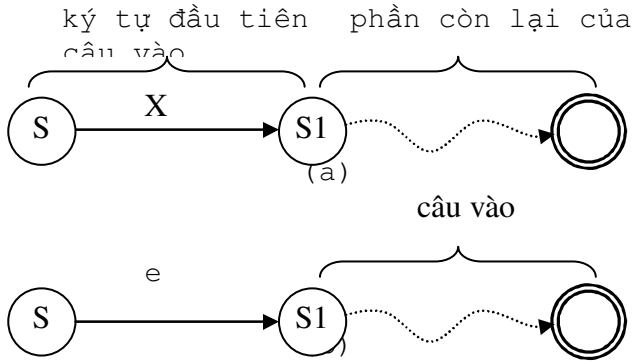
```
trans( s1, a, s1 ).
trans( s1, a, s2 ).
trans( s1, b, s1 ).
trans( s2, b, s3 ).
trans( s3, b, s4 ).

epsilon( s2, s4 ).
epsilon( s3, s1 ).
```

Để biểu diễn các xâu ký tự trong Prolog, ta sẽ sử dụng kiểu danh sách. Chẳng hạn xâu `aab` được biểu diễn bởi `[ a, b, a ]`. Xuất phát từ một câu vào, ôtômat vừa mô tả trên đây sẽ mô phỏng quá trình đoán nhận, bằng cách đọc lần lượt các phần tử của danh sách, để thừa nhận hay không thừa nhận.

Theo định nghĩa, ôtômat hữu hạn không đơn định sẽ thừa nhận câu vào nếu, xuất phát từ trạng thái đầu, sau khi đọc hết câu (xử lý hết mọi phần tử của danh sách), ôtômat rơi vào trạng thái thừa nhận. Quan hệ hai ngôi `accept` sau đây cho phép mô phỏng quá trình đoán nhận một câu vào từ một trạng thái đã cho :

```
accept( State, InputString )
```

Quan hệ `accept` là đúng nếu `State` là trạng thái đầu và `InputString` là một câu vào.



Hình II.4. Ođtômat thừa nhận câu vào :
(a) đọc ký tự đầu tiên X ; (b) thực hiện một e-chuyển tiếp.

Ba mệnh đề cho phép định nghĩa quan hệ này, tương ứng với ba trường hợp như sau :

1. Xâu rỗng `[ ]` được thừa nhận tại trạng thái `S` nếu ôtômat đang ở tại trạng thái `S` và `S` là một trạng thái thừa nhận.
2. Một xâu khác rỗng được thừa nhận tại trạng thái `S` nếu đầu đọc đang ở tại vị trí đọc ký tự đầu tiên của xâu để sau khi đọc, ôtômat chuyển qua trạng thái `S1` và xuất phát từ trạng thái `S1` này, ôtômat thừa nhận toàn bộ phần còn lại của câu vào (xem minh hoạ ở Hình II.4 (a)).

3. Một xâu khác rỗng được thừa nhận tại trạng thái `S` nếu ôtômat có thể thực hiện một e-chuyển tiếp từ trạng thái `S` qua trạng thái `S1` và xuất phát từ trạng thái `S1` này, ôtômat thừa nhận toàn bộ phần còn lại của câu vào (xem minh hoạ ở Hình II.4 (b)).

Ta có thể viết trong Prolog như sau :

```
accept( S, [ ] ) :-          % thừa nhận xâu rỗng
    satisfaction( S ).

accept( S, [ X | Remainder ] ) :-      % thừa nhận sau khi đọc ký tự đầu tiên
    trans( S, X, S1 ),
    accept( S1, Remainder).

accept( S, InputString ) :- % thừa nhận bởi e-chuyển tiếp
    epsilon( S, S1 ),
    accept( S1, Remainder).
```

Bây giờ, ta có thể yêu cầu ôtômat nhận biết xâu `aaab` bởi câu hỏi sau :

```
?- accept( s1, [ a, a, a, b ] ).
Yes
```

Tuy nhiên, ôtômat không thừa nhận xâu `abbb` :

```
?- accept( s1, [ a, b, b, b ] ).
ERROR: Out of local stack
```

Ta cũng thấy rằng các chương trình Prolog thường giải quyết các bài toán tổng quát hơn những gì mà NLT tạo ra chúng. Ví dụ, để yêu cầu Prolog cho biết trạng thái đầu nào thì xâu `ab` được thừa nhận :

```
?- accept( S, [ a, b ] ).
S = s1
Yes
```

Thú vị hơn nữa, ta có thể yêu cầu Prolog cho biết những xâu ba ký tự nào thì được thừa nhận bởi ôtômat :

```
?- accept( s1, [ X1, X2, X3 ] ).

X1 = a
X2 = a
X3 = b
Yes
```

Nếu ta muốn kết quả trả về là một xâu, ta chỉ cần đặt câu hỏi :

```
?- InputString = [ _ , _ , _ ], accept( s1, InputString
).
InputString = [a, a, b]
```

```
Yes
```

Đi xa hơn, tại sao ta không thể yêu cầu Prolog cho biết những trạng thái đầu nào của ôtômat cho phép nhận biết những xâu có bảy ký tự, v.v... ?

Cần phải có những thay đổi trên các quan hệ `satisfaction`, `trans` và `epsilon` nếu ta muốn ôtômat thực hiện những xử lý tổng quát hơn. Ôtômat đã cho ở Hình II.4 hông chứa các nối vòng e-chuyển tiếp. Bây giờ nếu ta thêm một chuyển tiếp :

```
epsilon( s1, s3 ).
```

thì ta đã tạo ra một nối vòng trên xâu rỗng e làm rối loạn chức năng đoán nhận của ôtômat. Lúc này với câu hỏi :

```
?- accept( s1, [ a ] ).
```

sẽ gây ra một vòng lặp quẩn vô hạn tại trạng thái s_1, trong khi ôtômat cố gắng tìm một con đường đến trạng thái thừa nhận s_3.

II.3.2. Mô phỏng ôtômat hữu hạn đơn định

Một ôđtômat hữu hạn là *đơn định* (Deterministic Finite Automaton, viết tắt DFA) nếu chuyển tiếp của ôtômat được xác định đơn định : ôtômat chỉ có thể chuyển qua một và chỉ một trạng thái tiếp theo sau khi đọc một ký tự và không có các « chuyển tiếp epsilon». Thay vì sử dụng thuật ngữ quan hệ ba ngôi, người ta thường sử dụng thuật ngữ *hàm chuyển tiếp* `delta` d`(s, a) = s'` để mô tả các hoạt động đoán nhận câu của ôtômat đơn định.

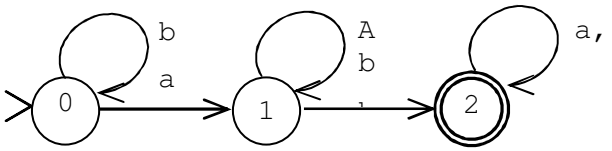
DFA được viết trong Prolog như sau :

```
parse(L) :-
    start(S),
    trans(S,L).

trans(X,[A|B]) :-
    delta(X,A,Y),           %  X ---A---> Y
    write(X),
    write('  '),
    write([A|B]),
    nl,
    trans(Y,B).

trans(X,[]) :-
    final(X),
    write(X),
    write('  '),
    write([]), nl.
```

DFA sau đây thừa nhận ngôn ngữ `(a,b)*ab(a,b)*` :

```
start(0).
final(2).
delta(0,a,1).
delta(0,b,0).
delta(1,a,1).
delta(1,b,2).
delta(2,a,2).
delta(2,b,2).
```

Sơ đồ biểu diễn ôtômat như sau :



Hình II.5. Ôtômat hữu hạn đơn định có ba trạng thái.

Sau đây là một số hoạt động đoán nhận của ôtômat :

```
?- parse([b,b,a,a,b,a,b]).
0  [b, b, a, a, b, a, b]
0  [b, a, a, b, a, b]
0  [a, a, b, a, b]
1  [a, b, a, b]
1  [b, a, b]
2  [a, b]
2  [b]
2  []
Yes
?- parse([b,b,a]).
0  [b, b, a]
0  [b, a]
0  [a]
No
```

II.4. Ví dụ : lập kế hoạch đi du lịch bằng máy bay

Trong mục này, ta sẽ xây dựng một chương trình Prolog cho phép lập kế hoạch để đi du lịch bằng máy bay. Dẫu rằng đơn giản, những ví dụ này trả lời được những câu hỏi mang tính thực tiễn sau đây :

- Những ngày nào trong tuần có chuyến bay trực tiếp từ Paris đi Ljubljana ?

- Làm cách nào để đi từ Ljubljana đến Grenoble ngày thứ Năm ?
- Tôi phải đi du lịch Milan, Ljubljana và Zurich xuất phát từ Paris ngày thứ Ba và phải quay về trong ngày thứ Sáu. Làm sao để có thể sắp xếp các chuyến đi của tôi sao cho mỗi ngày không đi máy bay quá một lần ?

Chương trình Prolog được dựa trên một cơ sở dữ liệu chứa những thông tin về các chuyến bay. Mỗi chuyến bay là một quan hệ ba ngôi cho biết lịch trình bay `timetable` như sau :

```
timetable( Place1, Place2, Fly_List).
```

Danh sách các chuyến bay có dạng như sau :

```
Departure_hour / Arrival_hour / Fly_Number / Day_List
```

Danh sách các ngày có chuyến bay hoặc là một danh sách các ngày thứ trong tuần, hoặc là một nguyên tử `all` (cho tất cả các ngày). Chẳng hạn, sau đây là một quan hệ `timetable` :

```
timetable( paris , grenoble ,
     [9:40 / 10:50 / ba4732 / all ,
      11:40 / 12:50 / ba4752 / all ,
      18:40 / 19:50 / ba4822 / [ mo , tu , we , th , fr
     ] ] ).
```

Lịch trình bay được biểu diễn bởi các cấu trúc hai thành phần là giờ và phút phân cách nhau bởi phép toán : (dấu hai chấm).

Bài toán chính đặt ra là tìm những lộ trình chính xác giữa hai thành phố (nơi đi và nơi đến) và một ngày nào đó đã cho. Để lập trình, ta sử dụng một quan hệ có bốn tham đối như sau :

```
path( Place1 , Place2 , Day, Path )
```

trong đó, là một dãy các chuyến bay thoả mãn các tiêu chuẩn sau :

(1) Nơi đi là `Place1`.

(2) Nơi đến là `Place2`.

(3) Tất cả những chuyến bay cùng ngày `Day` trong tuần.

(4) Tất cả những chuyến bay của lộ trình `Path` thuộc về quan hệ `timetable`.

(5) Có đủ thới gian để di chuyển giữa các chuyến bay.

Lộ trình được biểu diễn bởi một danh sách các đối tượng như sau :

```
Departure – Arrival : Fly_number : Departure_hour
```

Ta cũng sử dụng các vị từ bổ trợ sau đây :

(1) `fly( Place1, Place2 , Day , Fly_number , Departure_hour, Arrival_hour )`

Có nghĩa là tồn tại một chuyến bay số hiệu `Fly_number` giữa `Place1` và `Place2` trong ngày `Day`, tương ứng với ngày đi và ngày đến đã cho.

(2) `dephour( Path , Hour )`

Giờ xuất phát của lộ trình `Path` là `Hour`.

(3) `connecting( Hour1, Hour2 )`

Có ít nhất 40 phút giữa `Hour1`và `Hour2`, cho phép thực hiện việc di chuyển (nối tiếp giữa hai chuyến bay.

Vấn đề tìm một lộ trình giữa hai thành phố tương tự bài toán đoán nhận xâu của một ôtômat hữu hạn không đơn định đã xét trong mục trước. Những điểm chung là :

- Các trạng thái của ôtômat tương ứng với các thành phố.
- Một chuyển tiếp giữa hai trạng thái tương ứng với các chuyến bay giữa hai thành phố.
- Quan hệ `trans` của ôtômat tương ứng với quan hệ `timetable`.
- Để mô phỏng quá trình đoán nhận câu, ôtômat tìm được một lộ trình giữa trạng thái đầu và một trạng thái thừa nhận. Còn để mô phỏng việc lập kế hoạch đi du lịch, chương trình tìm được một lịch trình bay giữa thành phố xuất phát và thành phố đến.

Chính vì vậy, ta có thể định nghĩa một quan hệ về lộ trình `path` tương tự với quan hệ `accept`, chỉ có khác là quan hệ `path` không chứa chuyển tiếp rỗng.

Xảy ra hai trường hợp như sau :

(1) Nếu có một chuyến bay trực tiếp giữa `P1` và `P2` thì lộ trình được rút gọn thành :

```
path( P1 , P2 , Day, [ P1 – P2 : FlyNum : DepH ] ) :-
      fly( P1 , P2 , Day , FlyNum , Dep , Arr ).
```

(2) Nếu không có một chuyến bay trực tiếp giữa `P1` và `P2` thì lộ trình sẽ phải bao gồm một chuyến bay giữa `P1` và một thành phố trung gian `P3`, rồi một chuyến bay giữa `P3` và `P2`. Lúc này cần có đủ thời gian để di chuyển giữa hai chuyến bay, từ nơi đến của chuyến bay thứ nhất đến nơi xuất phát của chuyến bay thứ hai :

```
path( P1 , P2 , Day , [ P1 – P3 : FlyNum : Dep1 |
      Path ] ) :-
      path( P3 , P2 , Day , Path ),
```

```
        fly( P1 , P3 , Day , FlyNum1 , Dep1 , Arr1 ),
        dephour( Path , Dep2 ) ,
        connecting( Arr1 , Dep2 ).
```

Các quan hệ `fly`, `connecting` và `dephour` được xây dựng tương đối dễ dàng. Dưới đây là chương trình đầy đủ bao gồm cơ sở dữ liệu về lịch trình bay.

Ví dụ này đơn giản, không xảy ra trường hợp có lộ trình vô ích, nghĩa là một lộ trình không dẫn đến đâu. Ta cũng thấy rằng cơ sở dữ liệu về lịch trình bay còn nhỏ. Để có thể quản lý một cơ sở dữ liệu lớn hơn, nhất thiết phải sử dụng một chương trình lập kế hoạch thông minh hơn.

```
% Chương trình lập kế hoạch đi du lịch

:- op( 50 , xfy , : ).

fly( Place1, Place2 , Day , FlyNum , DepH , ArrH ) :-
     timetable( Place1 , Place2 , FlyList ) ,
     ismember( DepH / ArrH / FlyNum / DayList , FlyList ) ,
     flyday( Day , DayList ).

ismember( X , [ X | L ] ).

ismember( X , [ Y | L ] ) :-
     ismember( X , L ).

flyday( Day , DayList ) :-
     ismember( Day , DayList ).

flyday( Day , all ) :-
     ismember( Day , [ mo , tu , we , th , fr , sa , su ] ).

% Chuyến bay trực tiếp

path( P1 , P2 , Day, [ P1 - P2 : FlyNum : DepH ] ) :-
     fly( P1 , P2 , Day , FlyNum , DepH , _ ).

% Chuyến bay không trực tiếp

path( P1 , P2 , Day , [ P1 - P3 : FlyNum : Dep1 | Path ] ) :-
     path( P3 , P2 , Day , Path ),
     fly( P1 , P3 , Day , FlyNum1 , Dep1 , Arr1 ),
     dephour( Path , Dep2 ) ,
     connecting( Arr1 , Dep2 ).

dephour( [ P1 - P2 : FlyNum : Dep | _ ] , Dep ).

connecting( Hour1 : Mins1 , Hour2 : Mins2 ) :-
     60 *( Hour2 - Hour1 ) + Mins2 - Mins1 >= 40.

% Một cơ sở dữ liệu về lịch trình các chuyến bay

timetable( grenoble , paris ,
     [ 9 :40 / 10:50 / ba4733 / all ,
       13 :40 / 14:50 / ba4773 / all ,
       19:40 / 20:50 / ba4833 / [ mo , tu , we , th , fr , su
     ] ] ).

timetable( paris , grenoble ,
     [ 9:40 / 10:50 / ba4732 / all ,
```

```
       11:40 / 12:50 / ba4752 / all ,
       18:40 / 19:50 / ba4822 / [ mo , tu , we , th , fr ] ]
     ).
timetable( paris , ljubljana ,
     [ 13:20 / 16:20 / ju201 / [ fr ] ,
       13:20 / 16:20 / ju213 / [ su ] ] ).
timetable( paris , zurich ,
     [ 9:10 / 11:45 / ba614 / all ,
       14:45 / 17:20 / sr805 / all ] ).
timetable( paris , milan ,
     [ 8:30 / 11:20 / ba510 / all ,
       11:00 / 13:50 / az459 / all ] ).
timetable( ljubljana , zurich ,
     [ 11:30 / 12:40 / ju322 / [ tu , fr ] ] ).
timetable( ljubljana , paris ,
     [ 11:10 / 12:20 / yu200 / [ fr ] ,
       11:25 / 12:20 / yu212 / [ su ] ] ).
timetable( milan , paris ,
     [ 9:10 / 10 :00 / az458 / all ,
       12:20 / 13:10 / ba511 / all ] ).
timetable( milan , zurich ,
     [ 9:25 / 10:15 / sr621 / all ,
       12:45 / 13:35 / sr623 / all ] ).
timetable( zurich , ljubljana ,
     [ 13:30 / 14:40 / yu323 / [ tu , th ] ] ).
timetable( zurich , paris ,
     [ 9:00 / 9:40 / ba613 / [ mo , tu , we, th, fr, sa ],
       16:10 /16:55 / sr806 / [ mo , tu , we, th, fr, su ] ]
     ).
timetable( zurich , milan ,
     [ 7:55 / 8:45 / sr620 / all ] ).
```

Sau đây là một số câu hỏi trên cơ sở dữ liệu về lịch trình hàng không :

- Những ngày nào trong tuần có một chuyến bay trực tiếp giữa Paris và Ljubljana ?

```
?- fly( paris , ljubljana , Day , _ , _ , _ ).
Day = fr;
Day = su;
No
```

- Làm cách nào để có thể đi từ Ljubljana đến Grenoble ngày thứ năm ?

```
?- path( ljubljana , grenoble , th, C ).
C = [ ljubljana-paris:yu200:11:10, paris-
grenoble:ba4822:18:40 ] ;
C = [ ljubljana-paris:yu212:11:25, paris-
```

```
grenoble:ba4822:18:40 ] ;
C = [ ljubljana-zurich:ju322:11:30, zurich-
paris:sr806:16:10,
  paris-grenoble:ba4822:18:40 ]
```

- Làm cách nào để xuất phát từ Paris, có thể du lịch Milan, Ljubljana và Zurich trong ngày thứ Ba, để trở về trong ngày thứ Sáu, sao cho mỗi ngày chỉ thực hiện không quá một chuyến bay ?
  Đây là một câu hỏi tương đối lủng củng. Để trả lời, ta cần sử dụng quan hệ `permutation` đã trình bày trong chương 1, mục 3. Quan hệ này cho phép hoán vị tất cả các thành phố Milan, Ljubljana và Zurich sao cho tồn tại những chuyến bay thích hợp mỗi ngày :

```
?- permutation( [ milan , ljubljana , zurich ] , [ V1,
            V2, V3 ] ),
            fly( paris, V1, tu, FN1, Dep1, Arr1 ),
            fly( V1, V2, tu, FN2, Dep2, Arr2 ),
            fly( V2, V3, tu, FN3, Dep3, Arr3 ),
            fly( V3, paris, fr, FN4, Dep4, Arr4 ).
```

Kết quả

```
-> V1 = ljubljana
   V2 = zurich
   V3 = milan
   FN1 = ju213
   Dep1 = 13:20
   Arr1 = 16:20
   FN2 = ju322
   Dep2 = 11:30
   Arr2 = 12:40
   FN3 = sr620
   Dep3 = 7:55
   Arr3 = 8:45
   FN4 = az458
   Dep4 = 9:10
   Arr4 = 10:0 ;
```

```
-> V1 = milan
   V2 = zurich
   V3 = ljubljana
   FN1 = ba510
   Dep1 = 8:30
   Arr1 = 11:20
   FN2 = sr621
   Dep2 = 9:25
   Arr2 = 10:15
   FN3 = yu323
   Dep3 = 13:30
   Arr3 = 14:40
   FN4 = yu200
   Dep4 = 11:10
   Arr4 = 12:20
```

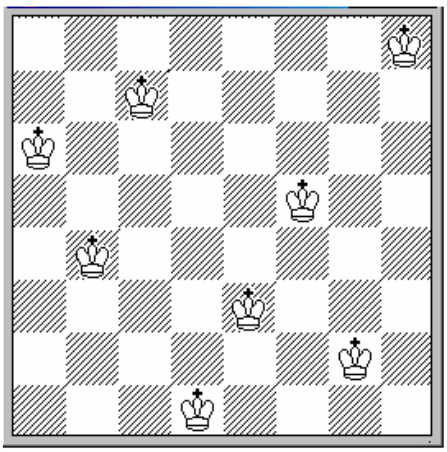
II.5. Bài toán tám quân hậu

Bài toán tám quân hậu do Call Friedrich Gauss đưa ra vào năm 1850 nhưng không có lời giải hoàn toàn theo phương pháp giải tích. Sau đó bài toán này được nhiều người giải trọn vẹn trên MTĐT, theo nhiều cách khác nhau. Bài toán phát biểu như sau :

Hãy tìm cách đặt tám quân hậu lên một bàn cờ vua (có 8 x 8 ô, lúc đầu không chứa quân nào) sao cho không có quân nào ăn được quân nào ? Một quân hậu có thể ăn được bắt cứ quân nào nằm trên cùng cột, hay cùng hàng, hay cùng đường chéo thuận, hay cùng đường chéo nghịch với nó.

Niclaus Wirth trình bày phương pháp *thử-sai* (trial-and-error) như sau :

- Đặt một quân hậu vào cột 1 (trên một hàng tuỳ ý);
- Đặt tiếp một quân hậu thứ hai sao cho 2 quân không ăn nhau;
- Tiếp tục đặt quân thứ 3, v.v...



Hình II.6. Một lời giải của bài toán tám quân hậu

Lời giải có dạng một vòng lặp theo giả ngữ Pascal như sau :

```
Xét-cột-đầu ;
repeat
   Thử_cột ;
   if An_toàn then begin
      Đặt_quân_hậu_vào ;
      Xét_cột_kế_tiếp;
   end else Quay_lại ;
until Đã_xong_với_cột_cuối or Đã_quay_lại_quá_cột_đầu ;
```

Với Prolog, chương trình sẽ có dạng một vị từ :

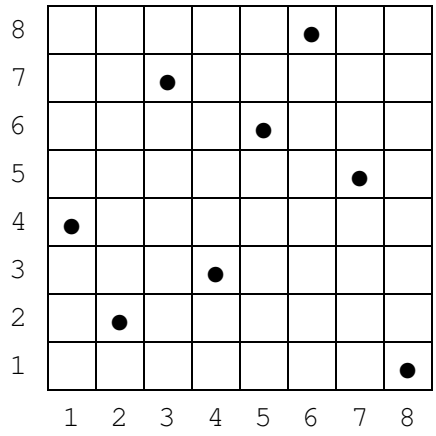
```
solution( Pos )
```

Vị từ này chỉ thoả mãn khi và chỉ khi `Pos` biểu diễn một cách bố trí tám quân hậu sao cho không có quân nào ăn được quân nào. Sau đây ta sẽ trình bày ba cách tiếp cận để lập trình Prolog dựa trên các cách biểu diễn khác nhau.

II.5.1. Sử dụng danh sách toạ độ theo hàng và cột

Ta cần tìm cách biểu diễn các vị trí trên bàn cờ. Giải pháp trực tiếp nhất là sử dụng một danh sách tám phần tử mà mỗi phần tử tương ứng với ô đặt quân hậu. Mỗi phần tử là một cặp số nguyên giữa 1 và 8 chỉ toạ độ của quân hậu :

```
X / Y
```



Hình II.7. Một lời giải của bài toán tám quân hậu, biểu diễn bởi danh sách `[ 1/4, 2/2, 3/7, 4/3, 5/6, 6/8, 7/5, 8/1 ]` .

Ở đây, phép toán / không phải là phép chia, mà chỉ là cách tổ hợp hai toạ độ của một ô bàn cờ. Hình 5.6 trên đây là một lời giải khác của bài toán tám quân hậu được biểu diễn dưới dạng một danh sách như sau :

```
[ 1/4, 2/2, 3/7, 4/3, 5/6, 6/8, 7/5, 8/1 ]
```

Từ cách biểu diễn danh sách, ta cần tìm lời giải có dạng :

```
[ X1/Y1, X2/Y2, X3/Y3, ... , X8/Y8 ]
```

Ta cần tìm các giá trị của các biến `X1`, `Y1`, `X2`, `Y2`, `X3`, `Y3`, `...` , `X8`, `Y8`. Do các quân hậu phải nằm trên các cột khác nhau để không thể ăn lẫn nhau, nên ta có ngay giá trị của các toạ độ `X`, và lời giải lúc này có dạng :

```
[ 1/Y1, 2/Y2, 3/Y3, ... , 8/Y8 ]
```

Cho đến lúc này, bài toán tám quân hậu chỉ đặt ra đối với bàn cờ 8×8. Tuy nhiên, lời giải phải dự kiến được cho trường hợp tổng quát khi lập trình. Ở đây, ta sẽ thấy rằng chính trường hợp tổng quát lại đơn giản hơn bài toán ban đầu. Bàn cờ 8×8 chỉ là một trường hợp riêng.

Để giải quyết cho trường hợp tổng quát, ta chuyển kích thước 8 quân hậu thành một số quân hậu bất kỳ nào đó (mỗi cột một quân hậu), kể cả số cột bằng không. Ta xây dựng quan hệ `solution` từ hai tình huống sau :

1. Danh sách các quân hậu là rỗng : danh sách rỗng cũng là một lời giải vì không xảy ra sự tấn công nào.

   ```
   solution( [ ] ).
   ```

2. Danh sách các quân hậu khác rỗng và có dạng như sau :

   ```
   [ X/Y | Others ]
   ```

Trong trường hợp thứ hai, quân hậu thứ nhất nằm trên ô `X/Y`, còn những quân hậu khác nằm trong danh sách `Others`. Nếu danh sách này là một lời giải, thì những điều kiện sau đây phải được thoả mãn :

1. Những quân hậu trong danh sách `Others` không thể tấn công lẫn nhau, điều này nói lên rằng `Others` cũng là một lời giải.
2. Vị trí `X` và `Y` của những quân hậu phải nằm giữa 1 và 8.
3. Một quân hậu tại vị trí `X/Y` không thể tấn công một quân hậu nào khác trong danh sách `Others`.

Đối với điều kiện thứ nhất, quan hệ `solution` phải được gọi một cách đệ quy.

Điều kiện thứ hai nói lên rằng `Y` phải thuộc về danh sách `[ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ]`. Ở đây, ta không cần quan tâm đến vị trí `X`, vì nó phải tương hợp với danh sách kết quả trả về như ta đã xác định ngay từ đầu. Nghĩa là `X` phải thuộc về những giá trị đã được ấn định tương ứng.

Giả sử điều kiện thứ ba được giải quyết nhờ quan hệ `noattack`, chương trình Prolog cho quan hệ `solution` như sau :

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

Bây giờ ta cần tìm quan hệ `noattack`. Ta thấy :

1. Nếu danh sách `Rlist` rỗng, khi đó `noattack` là đúng, vì không có quân hậu nào tấn công quân hậu tại `X/Y` nào đó.

   ```
   noattack( _, [ ] ).
   ```

2. Nếu danh sách `Rlist` khác rỗng, khi đó có dạng `[ R1 | Rlist1 ]` và hai điều kiện sau đây phải được thoả mãn :

   (a) Quân hậu tại ô `R` không thể tấn công quân hậu tại ô `R1`, và

   (b) Quân hậu tại ô `R` không thể tấn công quân hậu nào trong `Rlist1`.

Để một quân hậu không thể tấn công quân hậu khác, thì chúng không thể nằm trên cùng hàng, cùng cột và cùng đường chéo chính hoặc phụ. Ta biết chắc chắn rằng các quân hậu đã nằm trên các cột phân biệt nhau do mô hình lời giải đã ấn định. Bây giờ ta cần chỉ ra rằng :

- Các toạ độ `Y` của các quân hậu phải phân biệt nhau, và
- Các quân hậu không thể nằm trên cùng đường chéo chính hoặc phụ. nghĩa là khoảng cách giữa các ô trên trục `X` phải khác với các ô trên trục `Y`.

```
noattack( X/Y, [ X1/Y2 | Others ] ) :-
     Y    =\= Y1,
     Y1 - Y    =\= X1 - X,
     Y1 - Y    =\= X - X1,
     noattack( X/Y, Others ).
```

Dưới đây là chương trình Prolog đầy đủ thứ nhất có chứa danh sách lời giải là quan hệ `model`. Mô hình làm cho việc tìm lời giải cho bài toán tám quân hậu trở nên đơn giản hơn.

```
% chương trình thứ nhất giải bài toán tám quân hậu
% The problem of the eight queens - Program 1
% ------------------------------------

solution( [ ] ).
solution( [ X/Y | Others ] ) :-
     solution( Others ),
     ismember( Y, [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ] ),
     noattack( X/Y, Others ).
noattack( _ , [ ] ).
noattack( X/Y, [ X1/Y1 | Others ] ) :-
     Y  =\= Y1,
     Y1 - Y =\= X1 - X,
     Y1 - Y =\= X - X1,
     noattack( X/Y, Others ).
ismember( X , [ X | L ] ).
ismember( X, [ Y | L ] ) :-
     ismember( X, L ).
model( [ 1/Y1, 2/Y2, 3/Y3, 4/Y4, 5/Y5, 6/Y6, 7/Y7, 8/Y8
     ] ).
```

```
?- model( S ), solution( S ).
  S = [1/4, 2/2, 3/7, 4/3, 5/6, 6/8, 7/5, 8/1] ;
  S = [1/5, 2/2, 3/4, 4/7, 5/3, 6/8, 7/6, 8/1] ;
  S = [1/3, 2/5, 3/2, 4/8, 5/6, 6/4, 7/7, 8/1] ;
  S = [1/3, 2/6, 3/4, 4/2, 5/8, 6/5, 7/7, 8/1] ;
  S = [1/5, 2/7, 3/1, 4/3, 5/8, 6/6, 7/4, 8/2] ;
  S = [1/4, 2/6, 3/8, 4/3, 5/1, 6/7, 7/5, 8/2]
  Yes
```

Sử dụng vị từ `not`, ta viết lại chương trình như sau :

```
solution( [ ] ).
solution( [ X/Y | Others ] ) :-
```

```
    solution( Others ),
    member( Y, [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ] ),
    not( attack( X/Y, Others )).

attack( X/Y, Others ) :-
     member( X1/Y1, Others ),
     ( Y1 = Y,
      Y1 is Y + X1 - X;
      Y1 is Y - X1 + X ).

member( A, [ A | L ] ).
member( A, [ B | L ] ) :-
     member( A, L).
```

% Mô hình lời giải

```
model( [ 1/Y1, 2/Y2, 3/Y3, 4/Y4, 5/Y5, 6/Y6, 7/Y7, 8/Y8
] ).
  ?- model( S ), solution( S ).
  S = [1/1, 2/1, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1] ;
  S = [1/1, 2/8, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1] ;
  S = [1/2, 2/8, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1] ;
  S = [1/1, 2/1, 3/7, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1] ;
  S = [1/3, 2/1, 3/7, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1] ;
  S = [1/1, 2/2, 3/7, 4/1, 5/1, 6/1, 7/1, 8/1]
  Yes
```

II.5.2. Sử dụng danh sách toạ độ theo cột

Trong chương trình thứ nhất, ta đã đưa ra lời giải biểu diễn bàn cờ có dạng :

```
[ 1/Y1, 2/Y2, 3/Y3, ... , 8/Y8 ]
```

do mỗi cột chỉ đặt đúng một quân hậu. Thực ra, ta không mất thông tin nếu bỏ đi các toạ độ `X`. Ta có thể biểu diễn bàn cờ chỉ với các toạ độ `Y` của các quân hậu :

```
[ Y1, Y2, Y3, ... , Y8 ]
```

Để không xảy ra các quân hậu nằm trên cùng cột, cần phải bố trí mỗi quân hậu một hàng. Từ đây ta đặt ra ràng buộc cho các toạ độ `Y` : mỗi hàng 1, 2, 3, ..., 8 của bàn cờ chỉ được phép đặt duy nhất một quân hậu. Ta nhận thấy rằng mỗi lời giải là một hoán vị của danh sách các số 1 .. 8 sao cho thứ tự của mỗi con số là khác nhau :

```
[ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 ]
```

Mỗi hoán vị của danh sách là một lời giải S sao cho các quân hậu ở trạng thái an toàn (không ăn được lẫn nhau). Ta có :

```
solution( S ) :-
     permutation( [ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 ], S ),
     insafety( S ).
```

Trong chương 1 trước đây, ta đã xây dựng quan hệ `permutation`, bây giờ ta cần định nghĩa quan hệ `safety`. Xảy ra hai trường hợp như sau :

1. Nếu danh sách `S` rỗng, khi đó `S` cũng là lời giải, vì không có quân hậu nào tấn công quân hậu nào.

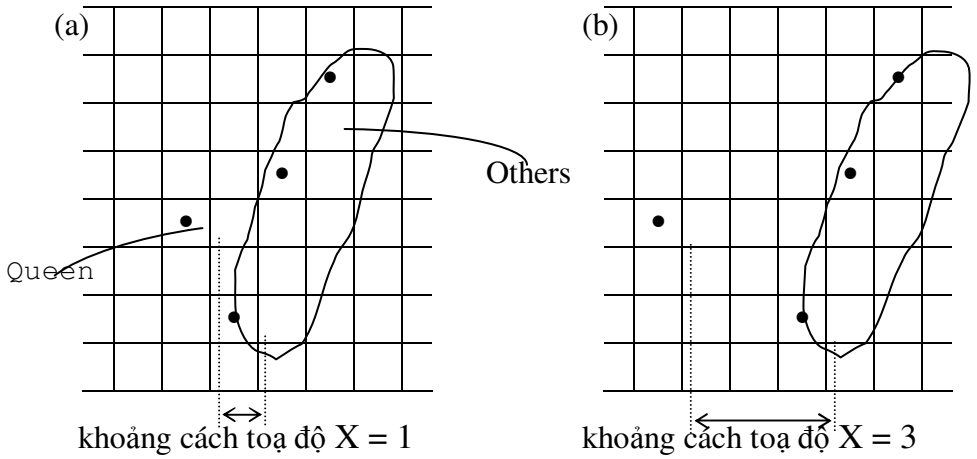
   ```
   insafety( [ ] ).
   ```

2. Nếu danh sách `S` khác rỗng, khi đó `S` có dạng `[ Queen | Others ]`. Ta thấy `S` là lời giải nếu các quân hậu trong `Others` là ở trạng thái an toàn và quân hậu `Queen` không thể tấn công quân hậu nào trong `Others`.

Từ đó ta có :

```
insafety( [ ] ).

insafety( [ Queen | Others ] ) :-
     insafety( Others ),
     noattack( Queen, Others ).
```

Trong định nghĩa `insafety`, quan hệ `noattack` tỏ ra tinh tế hơn so với cũng cùng quan hệ này trong chương trình 1 trên đây. Khó khăn nằm ở chỗ vị trí của một quân hậu chỉ được xác định bởi các toạ độ `Y`, mà vắng mặt toạ độ `X`. Để định nghĩa quan hệ `noattack`, ta tìm cách khái quát vấn đề như như minh hoạ ở hình dưới đây.



Hình II.8. Khoảng cách giữa toạ độ `X` của `Queen` và toạ độ `X` của `Others` là `1`.
(b) Khoảng cách giữa toạ độ `X` của `Queen` và toạ độ `X` của `Others` là `3`.

Ta thấy rằng sử dụng đích :

```
noattack( Queen, Others )
```

là để minh chứng rằng quân hậu `Queen` chỉ có thể tấn công các quân hậu trong danh sách `Others` khi toạ độ `X` của `Queen` cách toạ độ `X` của `Others` ít nhất là `1`.

Để thực hiện điều này, ta thêm một đối thứ ba là `XDist` (khoảng cách theo toạ độ `X` giữa `Queen` và `Others`) vào `noattack` :

```
noattack( Queen, Others, XDist )
```

Vì vậy, ta phải thay đổi lại đích `noattack` trong `insafety` như sau :

```
insafety( [ Queen | Others ] ) :-
     insafety( Others ),
     noattack( Queen, Others, XDist ).
```

Để định nghĩa `noattack`, cần phân biệt hai trường hợp của danh sách `Others` :

1. Nếu `Others` rỗng, khi đó không có quân hậu nào tấn công quân hậu nào.
   ```
   noattack( _ , [ ], _ ).
   ```
2. Nếu danh sách `Others` khác rỗng, khi đó `Queen` không thể tấn công quân hậu là phần tử đầu của danh sách `Others` (khoảng cách giữa toạ độ `X` của `Queen` và toạ độ `X` của phần tử đầu này là 1), cũng như không thể tấn công một quân hậu nào trong phần danh sách còn lại của `Others`, với một khoảng cách là `XDist + 1`.
   Từ đó ta có :
   ```
   noattack( Y, [ Y1 | YList ], XDist ) :-
        Y1 - Y =\= XDist,
        Y - Y1 =\= XDist,
        Dist1 is XDist + 1,
        noattack( Y, YList, Dist1 ).
   ```

Tất cả những lập luận và quan hệ vừa định nghĩa trên đây cho ta chương trình lời giải thứ hai cho bài toán tám quân hậu như sau :

```
% chương trình thứ hai giải bài toán tám quân hậu
% The problem of the eight queens - Program 2
% ———————————————————————————————
solution( Queens ) :-
     permutation( [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ], Queens ),
     insafety( Queens ).
permutation( [ ], [ ] ).
permutation( [ Head | Tail ], PermList ) :-
     permutation( Tail, PermTail ),
     remove( Head, PermList, PermTail ).
remove( X, [ X | L ], L ).
remove( X, [ Y | L ], [ Y | L1 ] ) :-
     remove( X, L, L1 ).
```

```
insafety( [ ] ).
insafety( [ Queen | Others ] ) :-
     insafety( Others ),
     noattack( Queen, Others, 1 ).
noattack( _ , [ ], _ ).
noattack( Y, [ Y1 | YList ], XDist ) :-
     Y1 - Y =\= XDist,
     Y - Y1 =\= XDist,
     Dist1 is XDist + 1,
     noattack( Y, YList, Dist1 ).
```

Sau khi yêu cầu, Prolog đưa ra các lời giải như sau :

```
?- solution( S ).
  S = [5, 2, 6, 1, 7, 4, 8, 3] ;
  S = [6, 3, 5, 7, 1, 4, 2, 8] ;
  S = [6, 4, 7, 1, 3, 5, 2, 8] ;
  S = [3, 6, 2, 7, 5, 1, 8, 4] ;
  S = [6, 3, 1, 7, 5, 8, 2, 4] ;
  S = [6, 2, 7, 1, 3, 5, 8, 4] ;
  S = [6, 4, 7, 1, 8, 2, 5, 3] ;
  …
  Yes
```

II.5.3. Sử dụng toạ độ theo hàng, cột và các đường chéo

Trong chương trình thứ ba, ta đưa ra lập luận như sau :

Cần phải đặt mỗi quân hậu lên một ô, nghĩa là trên một hàng, một cột, một đường chéo nghịch (từ dưới lên) và một đường chéo thuận (từ trên xuống). Để mọi quân hậu không thể ăn được lẫn nhau, chúng phải được đặt mỗi quân trên một hàng, một cột, một đường chéo nghịch và một đường chéo thuận phân biệt. Như vậy, ta dự kiến một hệ thống toạ độ biểu diễn các quân hậu như sau :

- `x` cột
- `y` hàng
- `u` đường chéo nghịch
- `v` đường chéo thuận

Các toạ độ không hoàn toàn độc lập với nhau : với `x` và `y` đã cho, ta có thể tính được `u` và `v` :

```
u = x – y
v = x + y
```

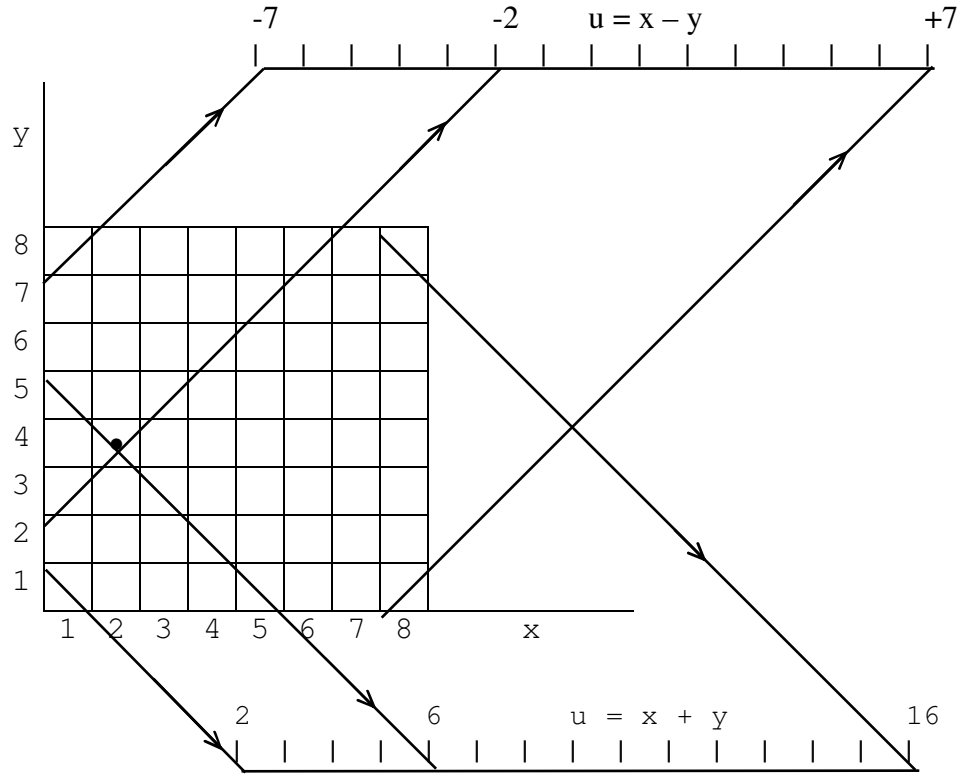
Sau đây là bốn miền giá trị tương ứng với bốn toạ độ `X`, `Y`, `U`, `V` :

```
Dx = [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ]
```

```
Dy = [ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ]
Du = [ -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6,
7 ]
Dy = [ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,
16 ]
```

Bài toán tám quân hậu bây giờ được phát biểu lại như sau : hãy chọn ra tám bộ bốn (X, Y, U, V), sao cho X ∈ Dx, Y ∈ Dy, U ∈ Du, V ∈ Dv và không bao giờ sử dụng hai lần cùng một phần tử trong mỗi miền giá trị Dx, Dy, Du và Dv.

Như vậy, U và V được sinh ra từ việc lựa chọn X và Y.



Hình II.9. Quan hệ giữa cột, hàng, đường chéo nghịch và đường chéo thuận
Ô có đánh dấu () trong hình có toạ độ x = 2, y = 4, u = 2 − 4 = −2, v = 2 + 4 = 6.

Lời giải đại khái có dạng như sau : cho trước bốn miền giá trị, hãy chọn một vị trí cho quân hậu đầu tiên, rồi xoá các toạ độ của chúng trong miền giá trị, sau đó sử dụng các miền giá trị mới này để đặt các quân hậu khác tiếp theo. Các vị trí trên bàn cờ cũng được biểu diễn bởi một danh sách các toạ độ trên trục Y. Chương trình Prolog giải bài toán tám quân hậu sẽ sử dụng quan hệ :

```
sol ( ListY, Dx, Dy, Du, Dv )
```

cho phép ràng buộc các toạ độ của các quân hậu (trong `ListY`), xuất phát từ nguyên lý là các quân hậu nằm trên các cột liên tiếp nhau lấy từ `Dx`. Các toạ độ `Y`, `U` và `V` được lấy từ `Dy`, `Du` và `Dv` tương ứng.

Lời giải cuối cùng của bài toán tám quân hậu là mệnh đề :

```
?- solution( S )
```

cho phép gọi `sol` với danh sách các tham đối đầy đủ. Chương trình như sau :

```
% chương trình thứ ba giải bài toán tám quân hậu
% The problem of the eight queens - Program 3
% ------------------------------------
solution( ListY) :-
     sol(    ListY ),
         [ 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( [ ], [ ],Dy, Du, Dv ).
sol( [ Y | ListY ], [ X | Dx1 ],Dy, Du, Dv ) :-
     del( Y, Dy, Dy1 ),
     U is X - Y,
     del( U, Du, Du1 ),
     V is X + Y,
     del( V, Dv, Dv1 ),
     sol ( ListY, Dx1,Dy1, Du1, Dv1 ).
del( A, [ A | List ], List ) .
del( A, [ B | List ], [ B | List1 ] ) :-
     del( A, List , List1 ).
```

Sau khi yêu cầu, Prolog đưa ra các lời giải như sau :

```
?- solution( S ).
  S = [ 1, 5, 8, 6, 3, 7, 2, 4 ] ;
  S = [ 1, 6, 8, 3, 7, 4, 2, 5 ] ;
  S = [ 1, 7, 4, 6, 8, 2, 5, 3 ] ;
  S = [ 1, 7, 5, 8, 2, 4, 6, 3 ]
  …
  Yes
```

Thủ tục `sol` vừa xây dựng trên đây có tính tổng quát vì có thể dùng để giải quyết bài toán cho `N` quân hậu bất kỳ (trên bàn cờ `N` × `N`). Sự khác nhau là ở chỗ miền giá trị `Dx`, `Dy`, … thay đổi tuỳ theo `N`.

Để tạo sinh các miền giá trị này một cách tự động, ta định nghĩa thủ tục :

```
gen( N1, N2, List ).
```

để tạo ra một danh sách các số nguyên giữa `N1` và `N2` :

```
List = [ N1, N1 + 1, N1 + 2, …, N2 – 1, N2 ]
```

Thân thủ tục như sau :

```
gen( N, N, [ N ] ).
gen( N1, N2, [ N1 | List ] ) :-
     N1 < N2,
     M is N1 + 1,
     gen( M, N2, List ).
```

Bây giờ ta thay đổi quan hệ `solution` như sau :

```
solution( N, S ) :-
     gen( 1, N, Dxy),
     Nu1 is 1 – N,
     Nu2 is N – 1,
     gen( Nu1, Nu2, Du ),
     Nv2 is N + N,
     gen( 2, Nv2, Dv ),
     sol( S, Dxy, Dxy, Du, Dv).
```

Giả sử cần giải bài toán với 12 quân hậu, ta có lời gọi như sau :

```
?- solution( 12, S ).
  S = [ 1, 3, 5, 8, 10, 12, 6, 11, 2, 7, 9, 4]
  …
  Yes
```

II.5.4. Kết luận

Ví dụ bài toán tám quân hậu trên đây minh hoạ cách giải quyết một bài toán trong Prolog theo nhiều lời giải khác nhau, mỗi lời giải sử dụng một phương pháp biểu diễn cấu trúc dữ liệu. Mỗi cách biểu diễn dữ liệu đều có những đặc trưng riêng, như tiết kiệm bộ nhớ, hay biểu diễn tường minh, hay biểu diễn phức hợp các thành phần của đối tượng cần xử lý. Cách biểu diễn dữ liệu nhằm tiết kiệm bộ nhớ có bất lợi ở chỗ là thường xuyên phải tính đi tính lại một số giá trị dữ liệu trước khi có thể sử dụng chúng.

Trong ba lời giải trên đây, lời giải thứ ba minh hoạ rõ nét hơn cả về cách xây dựng các cấu trúc dữ liệu xuất phát từ một tập hợp các phần tử đã cho có nhiều ràng buộc. Hai chương trình đầu xây dựng tất cả các hoán vị có thể rồi lần lượt kiểm tra có phải hoán vị đang xét là một lời giải không để loại bỏ những hoán vị không tốt trước khi xây dựng chúng một cách đầy đủ. Việc xác định các hoán vị

gây ra tốn thời gian do phải thực hiện nhiều lần các phép tính số học. Chương trình thứ ba tránh được điều này nhờ cách biểu diễn bàn cờ hợp lý.

II.5.5. Bộ diễn dịch Prolog

Xây dựng bộ diễn dịch Prolog bằng chính ngôn ngữ Prolog, được gọi là bộ siêu diễn dịch vani (vanilla meta-interpreter).

```
solve(true).
solve((A, B)) :-
      solve(A),
      solve(B).
solve(A) :-
      clause(A, B),
      solve(B).
```

Mệnh đề `clause(A, B)` Prolog cho phép kiểm tra nếu `A` là một `sự kiện` hay vế trái (LHS) của một luật nào đó trong cơ sở dữ liệu (chương trình Prolog), `B` là thân hay vế phải của luật đó (nếu A là một `sự kiện` thì `B = true`). `Ví dụ` :

```
?- clause(ins(X, [H|T], [ X,H|T ]), X @=< H).
X = _G420
H = _G417
T = _G418
Yes
```

Cách gọi bộ siêu diễn dịch vani :

```
?- solve(PrologGoal).
```

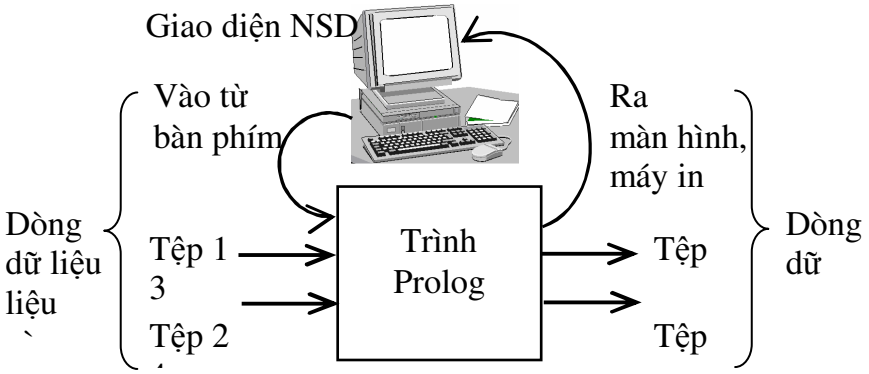
III. Quá trình vào-ra và làm việc với tệp

III.1. Khái niệm

Cho đến lúc này, ta mới làm việc với Prolog qua chế độ tương tác : NSD đặt câu hỏi là dãy các đích `dựa trên` chương trình đã biên dịch (là một CSDL chứa luật và sự kiện), Prolog trả lời cho biết các đích được thoả mãn (`Yes`) hay không thoả mãn (`No`), đồng thời tuỳ theo yêu cầu mà đưa ra kết quả dưới dạng ràng buộc giá trị cho các biến (`X = ...`). Phương pháp này đơn giản, đủ để trao đổi thông tin, tuy nhiên người ta vẫn luôn luôn tìm cách mở rộng khả năng trao đổi này. Người ta cần giải quyết những vấn đề sau :

- Vào dữ liệu cho chương trình dưới các dạng khác câu hỏi, chẳng hạn các câu trong ngôn ngữ tự nhiên (tiếng Anh, tiếng Pháp...).
- Đưa ra thông tin dưới bất kỳ dạng thức nào mong muốn.
- Làm việc được với các *tệp* (file) không chỉ thuần tuý màn hình, bàn phím.

Hầu hết các phiên bản Prolog đều có những vị từ thích hợp giải quyết được những vấn đề nêu trên. Giống như các ngôn ngữ lập trình khác, Prolog xem các thiết bị vào-ra chuẩn (bàn phím, màn hình) là các tệp đặc biệt. Quá trình vào-ra trên các thiết bị này và trên các thiết bị lưu trữ ngoài được xem là quá trình làm việc với các tệp. Hình dưới đây mô tả cách Prolog làm việc với các tệp.



Hình III.1. Liên lạc giữa một trình Prolog và nhiều tệp .

Trình Prolog có thể đọc dữ liệu vào từ nhiều tệp, được gọi là *dòng dữ liệu vào* (input streams), sau khi tính toán, có thể ghi lên nhiều tệp, được gọi là *dòng dữ liệu ra* (output streams). Dữ liệu đến từ giao diện NSD (bàn phím), rồi kết quả gửi ra màn hình, cũng được xử lý như là những dòng dữ liệu vào ra khác. Đây là những *tệp giả* (pseudo-file) được đặt tên là `user` (người sử dụng). Các tệp chứa chương trình, hay dữ liệu Prolog được NSD lựa chọn đặt tên tự do (miễn là khác `user`) trong khuôn khổ của hệ điều hành.

Khi thực hiện một trình Prolog, tại mỗi thời điểm, chỉ có hai tệp hoạt động là tệp đang được đọc, được gọi là *dòng vào hiện hành* (active input streams), và tệp đang được ghi, được gọi là *dòng ra hiện hành* (active output streams).

Lúc mới chạy chương trình, dòng vào hiện hành là bàn phím và dòng ra hiện hành là màn hình (hoặc máy in) tương ứng với chế độ vào ra chuẩn `user`.

III.2. Làm việc với các tệp

III.2.1. Đọc và ghi lên tệp

Một số vị từ xử lý đọc và ghi lên tệp của Prolog như sau :

Tên vị từ	*Ý nghĩa*
`see(File)`	Mở tệp `File` để đọc dữ liệu và xác định `File` là dòng vào hiện hành. Tệp `File` phải có từ trước, nếu không, Prolog báo lỗi tệp `File` không tồn tại.
`see(user)`	Dòng vào hiện hành là bàn phím (chế độ chuẩn).
`seeing(File)`	Hợp nhất tệp `File` với tệp vào hiện hành.

`tell(File)`	Mở tệp `File` để ghi dữ liệu lên và xác định `File` là dòng ra hiện hành. Nếu tệp `File` chưa được tạo ra trước đó, thì tệp `File` sẽ được tạo ra. Nếu tệp `File` đã tồn tại, nội dung tệp `File` sẽ bị xoá để ghi lại từ đầu.
`tell(user)`	Dòng ra hiện hành là màn hình (chế độ chuẩn).
`telling(File)`	Hợp nhất tệp `File` với tệp ra hiện hành.
`told`	Đóng tệp đang ghi lên hiện hành. Dòng vào trở lại chế độ vào chuẩn `user`.
`seen`	Đóng tệp đang đọc hiện hành. Dòng ra trở lại chế độ ra chuẩn `user`.
`read(Term)`	Đọc từ dòng vào hiện hành một giá trị để khớp với hạng `Term`. Nếu `Term` là biến thì được lấy giá trị này và vị từ thoả mãn. Nếu không thể số khớp, vị từ trả về thất bại mà không tiến hành quay lui. Mỗi hạng trong tệp phải kết thúc bởi một dấu chấm và một dấu cách (space) hoặc dấu Enter. Khi thực hiện `read` mà đang ở vị trí cuối tệp, `Term` sẽ nhận giá trị `end_of_file`.
`write(Term)`	Ghi lên tệp hiện hành giá trị của hạng `Term`. Nếu `Term` là biến thì giá trị này được đưa ra theo kiểu của Prolog. Các kiểu giá trị khác nhau đều có thể đưa ra bởi `write`.

Ví dụ III.1 :

NSD định hướng dòng vào là tệp `myexp1.pl` :

```
?- see('myexp1.pl').   % Bắt đầu đọc tệp myexp1.pl.
Yes
```

Hoặc :

```
?- see('C:/My Documents/Gt-Prolog/Example/myexp1.pl').
Yes
```

Đích `see(F)` luôn luôn được thoả mãn, trừ trường hợp xảy ra sai sót đối với các tệp dữ liệu. Chú ý tên thư mục và đường dẫn được viết theo kiểu Unix và được đặt trong cặp dấu nháy đơn. Sau khi làm việc trên tệp `myexp1.pl`, lệnh `seen` cho phép trở về chế độ chuẩn.

```
?- seen.
Yes
```

Ví dụ III.2 :

Dùng `read` để đọc dữ liệu vào bất kỳ từ bàn phím :

```
?- read(N).
|    100.
```

```
N = 100
Yes
?- read('Your name ?').
|    asimo.
No
?- read('Your name ?').
|    'Your name ?'.
Yes
?- read(asimo).
|    Your_name.
Yes
% Đọc và ghi các hạng
?- read(X).
|    father(tom, mary).
X = father(tom, mary)
Yes
T = father(tom, mary), write(T).
father(tom, mary)
T = father(tom, mary)
Yes
```

Ví dụ III.3

Đọc nội dung trong tệp `'myex1.pl'`, sau đó quay lại chế độ vào ra chuẩn.

```
?- see('myex1.pl'), read(T),see(user).
T = del(_G467, [_G467|_G468], _G468)
Yes
```

Trong dãy đích trên, đích `read(T)` đọc được sự kiện `(X, [ X | L ], L ).` là nội dung dòng đầu tiên của tệp có nghĩa, sau khi bỏ qua các dòng chú thích (nếu có).

Ta cũng có thể hướng dòng ra lên tệp bằng cách sử dụng đích :

```
?- tell('myex2.pl').
```

Dãy đích sau đây gửi thông tin là sự kiện `parent(tom, bob).` lên tệp `myex2.pl`, sau đó quay lại chế độ vào ra chuẩn :

```
tell(myex2.txt'), write('parent(tom, bob).'),
tell(user).
```

Các tệp chỉ có thể truy cập tuần tự. Prolog ghi nhớ vị trí hiện hành của dòng vào để đọc dữ liệu. Mỗi lần đọc hết một đối tượng (luật, hay sự kiện), Prolog dời đầu đọc đến vị trí đầu đối tượng tiếp theo. Khi đọc đến hết tệp, Prolog đưa ra thông báo hết tệp :

```
?- see('exp.txt'), read(T),see(user).
T = end_of_file
```

```
Yes
```

Ví dụ III.4 :

Dùng `write` để đưa dữ liệu bất kỳ ra màn hình :

```
?- write(asimo).
asimo
Yes
```

Cách ghi lên tệp cũng theo cơ chế tương tự, dữ liệu được ghi liên tiếp bắt đầu từ vị trí cuối cùng của đối tượng. Prolog không thể quay lui hay ghi đè lên phần đã ghi trước đó.

Prolog chỉ làm việc với các tệp dạng văn bản (text files), nghĩa là chỉ vào ra với các chữ cái chữ số và ký tự điều khiển ASCII.

III.2.2. Một số ví dụ đọc và ghi lên tệp

Một số vị từ đọc và ghi khác của Prolog như sau :

Tên vị từ	*Ý nghĩa*
`write(File, Term)`	Ghi lên tệp `File` giá trị hạng `Term`.
`writeq(Term)`	Ghi lên dòng ra hiện hành giá trị hạng `Term` kèm dấu nháy đơn (quotes).
`writeq(File, Term)`	Ghi lên tệp `File` giá trị hạng `Term` kèm dấu nháy đơn (quotes).
`print(Term)`	In ra dòng ra hiện hành giá trị hạng `Term`.
`print(File, Term)`	In ra tệp `File` giá trị hạng `Term`.
`read(File, Term)`	Đọc từ tệp `File` hiện hành cho `Term`.
`read_clause(Term)`	Tương tự to `read/1`. Đọc một mệnh đề từ dòng vào hiện hành.
`read_clause(File,Term)`	Đọc một mệnh đề từ tệp `File`.
`nl`	Nhảy qua dòng mới (neuwline).
`tab(N)`	In ra `N` dấu khoảng trống (space)
`tab(File, N)`	In ra `N` dấu khoảng trống trên tệp `File`

Ví dụ III.5 :

```
?- nl.  % Qua dòng mới
Yes

?- tab(5), write(*), nl.
     *
Yes
```

đưa ra màn hình 5 dấu cách rồi đến một dấu * và qua dòng.

Ví dụ III.6 :

Viết thủ tục tính luỹ thừa 3 của một số :

```
cube( N, C) :-
     C is N * N* N.
```

Giả sử ta muốn tính nhiều lần `cube`, khi đó ta phải viết nhiều lần đích :

```
?- cube( 2, X ).
X=8
Yes
?- cube( 5, Y ).
V 125
?- cube( 12, Z).
Z = 1728
Yes
```

Để chỉ cần sử dụng một đích mà có thể tính nhiều lần `cube`, ta cần sửa lại chương trình như sau :

```
cube :-
     read( X ),
     compute( X ).

compute( stop ) :- !.

compute( N) :-
     C is N *N* N,
     write( C),
     cube.
```

Nghĩa thủ tục của chương trình `cube` như sau : để tìm luỹ thừa 3, trước tiên đọc `X`, sau đó thực hiện tính toán với `X` và in ra kết quả. Nếu `X` có giá trị là `stop`, ngừng ngay, nếu không, thực hiện tính toán một cách đệ quy. Chú ý khi nhập dữ liệu cho vị từ `read`, cần kết thúc bởi một dấu chấm :

```
?- cube.
|: 3.
27
|: 10.
1000
|: 18.
5832
|: stop.
Yes
```

Ta có thể tiếp tục thay đổi chương trình. Một cách trực giác, nếu viết lại `cube` mà không sử dụng `compute` như sau là sai :

```
cube :-
     read( stop), !.
cube :-
     read( N),
```

```
        C is N *N * N,
        write( C),
        cube.
```

bởi vì, giả sử NSD gõ vào `3`, đích `read( stop)` thất bại, nhát cắt bỏ qua dữ liệu này và do vậy, `cube(3)` không được tính. Lệnh `read( N)` tiếp theo sẽ yêu cầu NSD vào tiếp dữ liệu cho `N`. Nếu `N` là số, việc tính toán thành công, ngược lại, nếu `N` là `stop`, Prolog sẽ thực hiện tính toán trên các dữ liệu phi số `stop` :

```
?- cube1.
|: 3.              % Prolog bỏ qua, không tính
|: 9.
729               % Prolog tính ra kết quả cho N = 9
|: 4.              % Prolog bỏ qua, không tính
|: stop.           % Prolog báo lỗi
ERROR: Arithmetic: `stop/0' is not a function
^  Exception: (9) _L143 is stop*stop*stop ? creep
```

Thông thường các chương trình khi thực hiện cần sự tương tác giữa NSD và hệ thống. NSD cần được biết kiểu và giá trị dữ liệu chương trình yêu cầu nhập vào. Muốn vậy, chương trình cần đưa ra dòng yêu cầu hay lời nhắc (prompt). Hàm `cube` được viết lại như sau :

```
 cube :-
      write('Please enter a number: '),
      read( X ),
      compute( X ).

compute( stop ) :- !.

compute( N) :-
      C is N *N* N,
      write('The cube of '), write(N),
      write(' is '), write( C), nl,
      cube.

cube.
Please enter a number: 3.
The cube of 3 is 27
Please enter a number: stop.
Yes
```

Ví dụ III.7

Ta xây dựng thủ tục `displaylist` sau đây để in ra các phần tử của danh sách :

```
displaylist( [ ]).

displaylist( [X | L ] ) :-
      write( X ), nl,
      displaylist( L).
```

```
?- displaylist( [[a, b, c], [d, e, f], [g, h, i]]).
[a, b, c]
[d, e, f]
[g, h, i]
Yes
```

Ta thấy trong trường hợp các phần tử của một danh sách lại là những danh sách như trên thì tốt hơn cả là in chúng ra trên cùng hàng :

```
displaylist( [ ]).
displaylist( [X | L ] ) :-
     write( X ), tab( 1),
     displaylist( L), nl.
displaylist( [[a, b, c], [d, e, f], [g, h, i]]).
[a, b, c] [d, e, f] [g, h, i]
Yes
```

Thủ tục dưới đây in ra các phần tử kiểu danh sách phẳng trên cùng hàng :

```
displaylist2( [ ] ).
displaylist2( [ L | L1 ] ) :-
     inline( u),
     displaylist2( L1 ), nl.
inline( [ ] ).
inline( [ X I L ] ) :-
     write( X ), tab( 1),
     inline( L).
?- displaylist2( [[a, b, c], [d, e, f], [g, h, i]]).
a b c d e f g h i
Yes
```

Ví dụ dưới đây in ra danh sách các số nguyên dưới dạng một đồ thị gồm các dòng kẻ là các dấu sao (hoa thị) * :

```
barres( [ N | L]) :-
     asterisk(N), nl,
     barres(L).
asterisk( N) :-
     N > 0,
     write( *),
     N1 is N - 1,
     asterisk( N1).
asterisk( N) :-
     N =< 0.
?- barres([3, 4, 6, 5, 9]).
***
****
******
```

```
*****
*********
No
```

Ví dụ III.8 :

Đọc nội dung một tệp vào danh sách các số nguyên :

```
readmyfile( File, List) :-
      see( File),
      readlist( List),
      seen,
      !.
readlist( [X | L ]) :-
      get0(X),
      X =\= -1,
      !,
      read_list( L).
readlist( [ ] ).
```

III.2.3. Nạp chương trình Prolog vào bộ nhớ

Các chương trình Prolog thường được lưu cất trong các tệp có tên hậu tố (hay phần mở rộng của tên) là « **.pl** » . Để nạp chương trình (load) vào bộ nhớ và biên dịch (compile, Prolog sử dụng vị từ :

```
?- consult(file_name).
```

trong đó, `file_name` là một nguyên tử.

Ví dụ III.9 :

Đích sau đây nạp và biên dịch chương trình nằm trong tệp `myexp.pl` :

```
?- consult('myexp.pl').

Yes
```

Prolog cho phép viết gọn trong một danh sách như sau :

```
?- ['myexp.pl' ].
```

Để nạp và biên dịch đồng thời nhiều tệp chương trình khác nhau, có thể liệt kê trong một danh sách như sau :

```
?- ['file1.pl', 'file2.pl'].
```

Sau khi các chương trình đã được nạp vào bộ nhớ, NSD bắt đầu thực hiện chương trình. NSD có thể xem nội dung toàn bộ chương trình nhờ vị từ :

```
?- listing.
```

hoặc xem một mệnh đề nào đó :

```
?- listing(displaylist).
displaylist( [ ]).
```

```
displaylist( [X | L ] ) :-
        write( X ),
        tab( 1),
        displaylist( L), nl.
Yes
```

III.3. Ứng dụng chế độ làm việc với các tệp

III.3.1. Định dạng các hạng

Giả sử một bản ghi cơ sở dữ liệu, là một sự kiện có dạng cấu trúc hàm tử của Prolog, có nội dung như sau :

```
family( individual(tom, smith, date(7, may, 1960),
     work(microsoft, 30000)),
     individual( ann, smith, date(9, avril, 1962),
     inactive),
     [individual( roza, smith, date(16, june, 1991),
     inactive),
      individual( eric, smith, date(23, march, 1993),
     inactive) ] ).
```

Ta cần in ra nội dung bản ghi sử dụng vị từ `write(F)` theo quy cách như sau :

```
parents
 tom smith, birth day may 7,1960, work microsoft, salary
 30000
 ann smith, birth day avril 9, 1962, out of work

children
 roza smith, birth day june 16, 1991, out of work
 eric smith, birth day march 23, 1993, out of work
```

Ta xây dựng thủ tục `writefamily( F)` như sau :

```
writefamily(family(Husband, Wife, Children)) :-
     nl, write(parents),nl, nl,
     writeindividual(Husband) ,nl,
     writeindividual(Wife), nl, nl,
     write(children), nl, nl,
     writeindividual(Children).

writeindividual(individual(Firstname, Name, date(D, M,
     Y), Work)) :-
     tab(4), write(Firstname),
     tab(1), write(Name),
     write(', birth day '), write(M), tab(1),
     write(D), tab(1), write(', '), write(Y), write(',
```

```
        '),
        writework(Work).
writeindividual([ ]).
writeindividual([ P | L] ):-
        writeindividual( P), nl,
        writeindividual( L).
writework(inactive):-
        write('out of work').
writework(work(Soc, Sal)):-
        write(' work '), write(Soc),
        write(', salaire '), write(Sal).
```

Thực hiện đích`X = ..., writefamily(X)`, ta nhận được kết quả như sau

```
?- X = family(individual( tom, smith, date(7, may,
1960), work(microsoft, 30000) ),individual( ann, smith,
date(9, avril, 1962), inactive),[individual( roza,
smith, date(16, june, 1991), inactive),individual( eric,
smith, date(23, march, 1993), inactive) ] ),
writefamily(X).
parents
 tom smith, birth day may 7 , 1960,  work microsoft, salaire
 30000
 ann smith, birth day avril 9 , 1962, out of work
children
 roza smith, birth day june 16 , 1991, out of work
 eric smith, birth day march 23 , 1993, out of work
X = family(individual(tom, smith, date(7, may, 1960),
work(microsoft, 30000)), individual(ann, smith, date(9,
avril, 1962), inactive), [individual(roza, smith,
date(16, june, 1991), inactive), individual(eric, smith,
date(23, march, 1993), inactive)])
Yes
```

III.3.2. Sử dụng tệp xử lý các hạng

Để đọc dữ liệu trên tệp, người ta sử dụng dãy đích sau :

```
..., see( F), fileprocess, see( user), ...
```

Thủ tục `fileprocess` đọc và xử lý lần lượt từng hạng của `F` cho đến khi đọc hết tệp. Mô hình thủ tục như sau :

```
filetreat :-
        read( Term),
treat( Term).
treat( end_of_file) :- !.   % Kết thúc tệp
        treat( Term) :-
```

```
        treatment( Term), % Xử lý hạng hiện hành
        filetreat.        % Xử lý phần còn lại của tệp
```

Trong thủ tục trên, `treatment( Terme)` thể hiện mọi thao tác có thể tác động lên hạng. Chẳng hạn thủ tục dưới đây liệt kê từng hạng của tệp kể từ dòng thứ `N` trở đi cho đến hết tệp, kèm theo thứ tự có mặt của hạng đó trong tệp :

```
viewfile( N) :-
     read( Term),
     viewterm( Term, N).
viewterm( end_of_file, _ ) :- !.
viewterm( Term, N) :-
     write( N), tab( 2),
     write( Term), nl,
     N1 is N + 1,
     viewfile( N1).
?- see('exp.txt'), viewfile(1), see( user), seen.
1  parent(pam, bob)
2  parent(tom, bob)
3  parent(tom, liz)
4  parent(bob, ann)
5  parent(bob, pat)
…
Yes
```

Sau đây là một mô hình khác để xử lý tệp. Giả sử `file1` là tệp dữ liệu nguồn chứa các hạng có dạng :

```
object( NoObject, Description, Price, FurnisherName).
```

Mỗi hạng mô tả một phần tử của danh sách các đối tượng. Giả sử rằng tệp cần xây dựng `file2` chứa các đối tượng do cùng một nhà cung cấp cấp hàng. Trong tệp này, tên nhà cung cấp được viết một lần ở đầu tệp, mà không xuất hiện trong các đối tượng, có dạng `object( No, Desc, Price)`. Thủ tục tạo tệp như sau :

```
createfile(Furnisher) :-
    write(Furnisher), write( '.'), nl,
    creatremaining(Furnisher).
creatremaining( Fournisseur) :-
    read( Objet),
    treat( Objet, Furnisher).
treat( end_of_file) :- !.
treat(object( No, Desc, Price, Furn), Furn) :-
    write( object( No, Desc, Price) ),
    write( '.'), nl,
    creatremaining(Furn).
```

```
treat( _ , Furnisher) :-
    creatremaining(Furnisher).
```

Giả sử `file1` là tệp

```
see(' file1.txt'),tell(' file2.txt'), createfile(suzuki),
seen, see(user), told, tell(user).
```

Ví dụ III.10 :

Sao chép nội dung một tệp lên một tệp khác :

```
copie :-
    repeat,
    read(X),
    mywrite(X),
    X == end_of_file, !.
mywrite( end_of_file).
mywrite( X) :-
    write( X), write( '.'), nl.
```

Đích sau cho phép côpy từ tệp nguồn `f1.txt` vào tệp đích `f2.txt` :

```
?- tell('f2.txt'), see('f1.txt'), copie, seen, told.
Yes
```

Trong thủ tục `copie` có sử dụng vị từ `repeat`. Vị từ `repeat` luôn luôn thành công, tạo ra một vòng lặp vô hạn. Vị từ `repeat` được định nghĩa như sau :

```
repeat.
repeat :- repeat.
```

III.3.3. Thao tác trên các ký tự

Một số vị từ xử lý ký tự của Prolog như sau :

Tên vị từ	*Ý nghĩa*
`put(Char)`	Đưa `Char` ra dòng ra hiện hành, `Char` hoặc là một giá trị nguyên trong khoảng 0..255, hoặc một ký tự
`put(File, Char)`	Đưa `Char` ra tệp `File`
`get_char(Char)`	Đọc từ tệp `File` và hợp nhất `Char` với ký tự tiếp theo.
`get_char(File, Char)`	Hợp nhất `Char` với ký tự tiếp theo trong tệp `File`.
`get0(Char)`	Đọc ký tự tiếp theo
`get0(File, Char)`	Đọc ký tự tiếp theo trong tệp `File`.
`get(-Char)`	Đọc ký tự khác khoảng trống từ dòng vào và hợp nhất với `Char`.
`get(File, Char)`	Đọc ký tự khác khoảng trống tiếp theo trong tệp `File`.
`skip(Char)`	Đọc vào và bỏ qua các ký tự đọc được cho đến khi gặp đúng ký tự khớp được với `Char`.

`skip(File, Char)`	Đọc vào từ tệp `File` và bỏ qua các ký tự đọc được cho đến khi gặp đúng ký tự khớp được với `Char`.

Ví dụ III.11 :

```
% Đưa ra liên tiếp các ký tự A, B và C có mã ASCII lần lượt là 65, 66, 67
?- put( 65), put( 66), put( 67).
ABC
yes
% Đọc và ghi các ký tự
?- get0(X).
|: a          % Gõ vào một ký tự rồi Enter (↵), không gõ dấu chấm
X = 97
Yes.
?- get0(X).
^D
X = -1.
Yes.
```

Ví dụ III.12 :

Sau đây ta xây dựng thủ tục `del_space` đọc vào một câu gồm nhiều từ cách nhau bởi các khoảng trống và trả về đúng câu đó sau khi đã loại bỏ các khoảng trống thừa, chỉ giữ lại một khoảng trống giữa các từ mà thôi.

Thủ tục hoạt động tương tự các thủ tục xử lý tệp, bằng cách đọc lần lượt từng ký tự rồi đưa ra màn hình. Thủ tục sử dụng kỹ thuật nhát cắt để xử lý tình huống ký tự đọc vào hoặc là một khoảng trống, hoặc là một chữ cái, hoặc là một dấu chấm kết thúc. Sau đây là thủ tục `del_space` :

```
del_space :-
     get0( C),
     put( C),
     follow( C).
follow( 46) :- !.      % 46 là mã ASCII của dấu chấm
follow( 32) :- !,      % 32 là mã ASCII của dấu khoảng
     trống
     get( C),     % Bỏ qua các dấu khoảng trống tiếp theo
     put( C),
     follow( C).
follow( Letter) :-
     del_space.
```

Chạy thử như sau :

```
?- del_space.
|: The   robot          try   to      cast   the   balls
to   the   basket.
```

```
The robot try to cast the balls to the basket.
Yes
```

III.3.4. Thao tác trên các nguyên tử

Prolog có vị từ `name/2` cho phép đặt tương ứng các nguyên tử với các mã ASCII :

```
name( A, L)
```

Vị từ thoả mãn khi `L` là danh sách các của các ký tự của `A`. Ví dụ :

```
?- name(mic29, [109, 105, 99, 50, 57 ]).
Yes
?- name( aikieutuido, L).
L = [ 97, 105, 107, 105, 101, 117, 116, 117, 105 |... ]
Yes
?- name(X, [ 97, 105, 107, 105, 101, 117, 116, 117, 105,
100, 111 ]).
X = aikieutuido
Yes
```

Hai chức năng chính của vị từ `name` như sau :

1. Chuyển một nguyên tử thành một danh sách các ký tự (mã ASCII).
2. Tạo một nguyên tử từ một danh sách các ký tự.

Ví dụ III.13 :

Xây dựng thủ tục quản lý các cuộc gọi dịch vụ xe taxi chở hành khách nhờ các nguyên tử sau :

Tên các cuộc gọi `call1`, `call2`, ...
Tên các lái xe `chauffeur1`, `chauffeur2`, ...
Tên các xe taxi `taxi1`, `taxi2`, ...

Vị từ `taxi( X )` kiểm tra một nguyên tử có biểu diễn đúng một taxi theo cách biểu diễn như trên không :

```
taxi( T ) :-
     name( T, Tlist),
     name( taxi, L),
     append( L, _ , Tlist).
```

Một cách tương tự, ta có thể xây dựng các vị từ `chauffer` và `taxi`.

Ví dụ III.14 :

Sau đây ta xây dựng thủ tục cho phép tạo ra một nguyên tử bằng cách tổ hợp các ký tự. Thủ tục `readsentence( Wordlist)` sẽ đọc một câu thuộc ngôn ngữ tự nhiên rồi gán cho `Wordlist` danh sách các giá trị mã biểu diễn trong của

các ký tự trong câu. Tiếp theo, mỗi câu được xem là một danh sách các từ, mỗi từ được chuyển thành một nguyên tử.

```
readsentence( WordList) :-
     get0( Char),
     readchain( Char, WordList).
readchain( 46,[ ] ) :- !.   % dấu chấm kết thúc câu
readchain( 32, WordList) :-
     readsentence(WordList).     % Bỏ qua các dấu khoảng trống
readchain( L, [ W | WordList ] ) :-
     readletter( L, Letters, Nextchar ),   % Đọc các ký tự của
     từ tiếp theo
     name( W, Letters),
     readchain( Nextchar, WordList).
readletter( 46, [ ], 46) :- !.   % kết thúc từ là một dấu chấm
readletter( 32, [ ], 32) :- !.   % kết thúc từ là một dấu khoảng
     trống
readletter( C, [ C | Letters] , Nextchar) :-
     get0( Char),
     readletter( Char, Letters, Nextchar).
```

Chạy chương trình, ta có các kết quả như sau :

```
?- readsentence( WordList).
|: The robot ASIMO try to cast the balls to the basket.
WordList = ['The', robot, 'ASIMO', try, to, cast, the,
balls, to|...]
Yes
?- readsentence( WordList).
|: " Ai đi trăm suối ngàn rừng "      % dấu Enter ↵ sau dấu nháy kép
|: .                                  % dấu chấm kết thúc câu
WordList = [ '" Ai', đi, trăm, suối, ngàn, 'rừng "\n' ]
Yes
```

Trong thủ tục, ta đã giả thiết rằng kết thúc câu vào là một dấu chấm và nếu có dấu chấm câu trong câu, thì tuỳ theo cách xuất hiện mà nó được xem như là một từ hoặc dính vào với từ.

Thủ tục đọc ký tự đầu tiên là `Char`, rồi chuyển cho thủ tục `readchain`.

Thủ tục `readchain` xử lý 3 trường hợp như sau :

(1) Nếu `Char` là một dấu chấm, thì quá trình đọc câu vào kết thúc.

(2) Nếu `Char` là một khoảng trống, áp dụng thủ tục `readsentence` cho phần còn lại của câu.

(3) Nếu `Char` là một ký tự : trước tiên đọc từ `W` được bắt đầu bởi ký tự `Char`, sau đó sử dụng `readsentence` để đọc phần còn lại của câu và tạo ra danh sách `WordList`. Kết quả được tích luỹ trong `[ W | WordList ]`.

Thủ tục `readletter( L, Letters, Nextchar )` đọc các ký tự của một từ, trong đó :

(1) `L` là chữ cái hiện hành (đã được đọc) của từ đang đọc.

(2) `Letters` là danh sách các chữ cái, bắt đầu bởi `L` cho đến hết từ.

(3) `Nextchar` là ký tự theo sau từ đang đọc, có thể không phải là một chữ cái.

Nhờ cách biểu diễn các từ của câu trong một danh sách, người ta có thể sử dụng Prolog để xử lý ngôn ngữ tự nhiên, như tìm hiểu nghĩa của câu theo một quy ước nào đó, v.v.. thuộc lĩnh vực trí tuệ nhân tạo.

III.3.5. Một số vị từ xử lý cơ sở dữ liệu

Sau đây là một số vị từ chuẩn cho phép xử lý trên các luật và sự kiện của một cơ sở dữ liệu Prolog.

`assert(P)`

Thêm `P` vào cơ sở dữ liệu. Ví dụ cho cơ sở dữ liệu lúc ban đầu :

```
personal(tom).
personal(ann).
```

Sau khi thực hiện đích :

```
?- assert(personal(bob)).
```

cơ sở dữ liệu lúc này trở thành :

```
personal(tom).
personal(ann).
personal(bob).
```

Do NSD không biết `assert` đã thêm `P` vào đầu hay cuối của cơ sở dữ liệu, Prolog cho phép sử dụng hai dạng khác là :

`asserta(P)` Thêm `P` vào đầu cơ sở dữ liệu.

`assertz(P)` Thêm `P` vào cuối cơ sở dữ liệu.

Sử dụng vị từ :

```
assert((P :- B, C, D)).
```

có thể làm thay đổi nội dung một mệnh đề trong chương trình. Tuy nhiên, người ta khuyên không nên sử dụng lệnh này.

`retract(P)`

Loại bỏ `P` khỏi cơ sở dữ liệu. Ví dụ cho cơ sở dữ liệu lúc ban đầu :

```
personal(tom).
personal(ann).
personal(bob).
```

Sau khi thực hiện đích :

```
?- retract(personal(ann)).
```

cơ sở dữ liệu lúc này chỉ còn :

```
personal(tom).
personal(bob).
```

Có thể sử dụng biến trong `retract` như sau :

```
?- retract(personal(X)).
X = tom ;
X = bob ;
No
```

Lúc này cơ sở dữ liệu đã rỗng.

`abolish(Term, Arity)`

Loại bỏ tất cả các hạng `Term` có cấp `Arity` khỏi cơ sở dữ liệu. Ví dụ :

```
?- abolish(personal, 2).
```

Loại bỏ tất cả các hạng `Term` có cấp `Arity=2`.

Ví dụ III.15

Xây dựng bộ siêu diễn dịch Prolog trong Prolog, việc xoá một đích được viết lại như sau :

```
prove(Goal) :- call(Goal).
```

hoặc :

```
prove(Goal) :- Goal.
```

hoặc viết các mệnh đề :

```
prove(true).
prove((Goal1, Goal2)) :-
      prove(Goal1),
      prove(Goal2).
prove(Goal) :-
      clause(Goal, Body),
      prove(Body).
```

Tóm tắt chương 5 :

Kỹ thuật nhát cắt và phủ định

- Nhát cắt ngăn cản sự quay lui, không những làm tặng hiệu quả chạy chương trình mà còn làm tối ưu tính biểu hiện của ngôn ngữ.
- Để tặng hiệu quả chạy chương trình, người lập trình sử dụng nhát cắt để chỉ ra cho Prolog biết những con đường dẫn đến thất bại.
- Nhát cắt cho phép tạo ra các kết luận loại trừ nhau dạng :

  If Condition Thì Conclusion_1 nếu Conclusion_2
- Nhát cắt cho phép định nghĩa phép phủ định : `not Goal` thoả mãn nếu `Goal` thất bại.
- Prolog có hai đích đặc biệt : `true` luôn luôn đúng và `fail` luôn luôn sai.
- Cần thận trọng khi sử dụng kỹ thuật nhát cắt, nhát cắt có thể làm sai lệch sự tương ứng giữa nghĩa khai báo và nghĩa thủ tục của một chương trình.
- Phép phủ định `not` trong Prolog không hoàn toàn mang ý nghĩa lôgich, cần chú ý khi sử dụng `not`.

Sử dụng các cấu trúc

Các ví dụ đã trình bày trong chương này minh hoạ những đặc trưng rất tiêu biểu của kỹ thuật lập trình Prolog :

- Trong Prolog, tập hợp các sự kiện đủ để biểu diễn một cơ sở dữ liệu.
- Kỹ thuật đặt câu hỏi và so khớp của Prolog là những phương tiện mềm dẻo cho phép truy cập tù cơ sở dữ liệu những thông tin có cấu trúc.
- Cần sử dụng phương pháp trừu tượng hoá dữ liệu như là một kỹ thuật lập trình cho phép sử dụng các cấu trúc dữ liệu phức tạp một cách đơn giản, làm chương trình trở nên dễ hiểu. Trong Prolog, phương pháp trừu tượng hoá dữ liệu rất dễ triển khai.
- Những cấu trúc toán học trừu tượng như ôtômat cũng rất dễ cài đặt trong Prolog.
- Người ta có thể tiếp cận đến nhiều lời giải khác nhau cho một bài toán nhờ sử dụng nhiều cách biểu diễn dữ liệu khác nhau, như trường hợp bài toán tám quân hậu. Cách biểu diễn dữ liệu sử dụng nhiều thông tin tiết kiệm được tính toán, mặc dù làm cho chương trình trở nên rườm rà, khó cô đọng.
- Kỹ thuật tổng quát hoá một bài toán, tuy trừu tượng, nhưng lại làm tăng khả năng hướng đến lời giải, làm đơn giản hoá phát biểu bài toán.

Làm việc với tệp

Cùng với chế độ tương tác câu hỏi-trả lời, quá trình vào ra và chế độ làm việc với tệp đã làm phong phú môi trường làm việc của Prolog.

- Các tệp trong Prolog đều hoạt động theo kiểu tuần tự. Prolog phân biệt dòng vào hiện hành và dòng ra hiện hành.
- Thiết bị cuối (terminal) của NSD gồm màn hình và bàn phím được xem như một tệp giả có tên là `user`.
- Prolog có nhiều vị từ có sẵn để xử lý các dòng vào-ra.
- Khi làm việc với tệp, chế độ đọc ghi là xử lý từng ký tự hoặc từng hạng.

Bài tập chương 5

1. Cho chương trình :

```
p( 1 ).
p( 2 ) :- !.
p( 3 ).
```

Cho biết các câu trả lời của Prolog tù các câu hỏi sau :

(a) `?- p( X ).`

(b) `?- p( X ), p( Y ).`

(c) `?- p( X ), !, p( Y ).`

2. Quan hệ sau đây cho biết một số có thể là dương, bằng không, hoặc âm :

```
sign( Number, positive) :-
     Number > 0.

sign( 0, null).

sign( Number, negative) :-
     Number < 0.
```

Hãy sử dụng kỹ thuật nhát cắt để viết lại chương trình trên hiệu quả hơn.

3. Thủ tục `separate(Number, Positive, Negative)` xếp các phần tử trong danh sách `Number` lần lượt thành hai danh sách, danh sách `Positive` chỉ chứa các số dương, hoặc bằng không, danh sách `Negative` chỉ chứa các số âm. `Ví dụ` :

```
separate( [ 3, -1, 0, 5, -2 ], [ 3, 0, 5 ], [ -1, -2 ] )
```

Hãy định nghĩa thủ tục trên theo hai cách, một cách không sử dụng kỹ thuật nhát cắt, một cách có sử dụng kỹ thuật nhát cắt.

4. Cho hai danh sách, `Accept` và `Reject`, hãy viết danh sách các đích sử dụng kỹ thuật quay lui và các quan hệ `member` và `not` để tìm các phần tử có mặt trong `Accept` nhưng không có mặt trong `Reject`.
5. Định nghĩa thủ tục `difference( Set1, Set2, SetDiff)` tìm hiệu hai tập hợp `Set1` và `Set2` với quy ước các tập hợp được biểu diễn bởi các danh sách.. Chẳng hạn :

   ```
   difference( [ a, b, c, d ], [ b, d, e, f ], [ a, c ] )
   ```
6. Hãy định nghĩa vị từ `unifiable( List1, Term, List2)` để kiểm tra so khớp, trong đó `List2` là danh sách tất cả các phần tử của `List1` có thể so khớp với `Term` nhưng không thực hiện phép thế trên các biến đã được so khớp. `Ví dụ` :

   ```
   ?- unifiable( [ X, bibo, t( Y ) ], t(a), List ).
   List = [X, t( Y )]
   ```

   Chú ý rằng `X` và `Y` vẫn là các biến tự do không thực hiện phép thế `t(a)` cho `X`, hay phép thế `a` cho `Y`. Muốn vậy, thực hiện hướng dẫn sau :
   Sử dụng phép phủ định `not( Term1 = Term2)`. Nếu quan hệ `Term1 = Term2` được thoả mãn, khi đó, `not( Term1 = Term2)` sẽ thất bại, và phép thế biến không xảy ra.
7. Bài toán mã đi tuần. Giả sử các ô của bàn cờ vua 8×8 được biểu diễn bởi các cặp toạ độ có dạng `X/Y`, với `X` và `Y` nằm trong khoảng 1 và 8.
   (a) Định nghĩa quan hệ `jump( case1, case2 )`, bằng cách sử dụng luật đi của quân mã, và giả sử rằng `case1` luôn luôn bị ràng buộc. Ví dụ :

   ```
   ?- jump( 1/1, C ).
   C = 3/2;
   C = 2/3;
   No
   ```

   (b) Định nghĩa quan hệ `mvt_ knight( path )`, với `path` là một danh sách gồm các ô biểu diễn lộ trình các bước nhảy hợp lý của quân mã trên bàn cờ rỗng.

   (c) Sử dụng quan hệ `mvt_ knight`, viết một câu hỏi để tìm tất cả các lộ trình bốn bước nhảy hợp lý của quân mã, xuất phát từ ô có toạ độ `2/1`, để đến biên bên phải của bàn cờ (`Y = 8`) và để đến ô `5/4` sau hai bước nhảy.
8. Cho `f` một tệp chứa các hạng, hãy định nghĩa thủ tục `findterm(Term)` để đưa ra màn hình hạng đầu tiên của `f` khớp được với `Term` ?
9. Cho `f` một tệp chứa các hạng, hãy định nghĩa thủ tục `findallterm(Term)` để đưa ra màn hình tất cả các hạng của `f` khớp được với `Term` ? Kiểm tra tính chất biến `Term` không thể được gán giá trị khi thực hiện tìm kiếm.

10. Hãy mở rộng thủ tục `del_space` đã được trình bày trong phần lý thuyết để có thể xử lý loại bỏ các dấu cách thừa nằm trước dấu phẩy (comma) và chỉ giữ lại một dấu cách nằm ngay sau dấu phẩy.
11. Tương tự bài 3 cho các dấu chấm câu khác như dấu chấm (period), dấu chấm phẩy (semicolon), dấu chấm hỏi (question mark), v.v...
12. Định nghĩa quan hệ `firstchar( Atom, Char)` cho phép kiểm tra `Char` có phải là ký tự đầu tiên của `Atom` không (`Atom` bắt đầu bởi `Char`) ?
13. Định nghĩa thủ tục cho phép đổi một danh từ tiếng Anh từ số ít (singular) sang số nhiều (plural) được thực hiện như sau :

```
?- plural ( table, X ).
X = tables
Yes
```

14. Áp dụng thủ tục `readsentence` đã được trình bày trong phần lý thuyết để xây dựng thủ tục :

```
?- find( Keyword, Sentence ).
```

cho phép tìm trong tệp đang đọc một câu có chứa từ khoá `Keyword`. Câu `Sentence` phải ở dạng mới được đọc vào chưa xử lý, nghĩa là được biểu diễn bởi một chuỗi ký tự, hoặc bởi một nguyên tử.