Seznamy
(pokračování)

Optimalizace posledního volání

- **Last Call Optimization (LCO)**
- Implementační technika snižující nároky na paměť
- Mnoho vnořených rekurzivních volání je náročné na paměť
- Použití LCO umožňuje vnořenou rekurzi s konstantními pamětovými nároky
- Typický příklad, kdy je možné použití LCO:
  - procedura musí mít pouze jedno rekurzivní volání: **v posledním cíli poslední klauzule**
  - cíle předcházející tomuto rekurzivnímu volání musí být **deterministické**
  - ```
    p( ... ) :- ...            % žádné rekurzivní volání v těle klauzule
    p( ... ) :- ...            % žádné rekurzivní volání v těle klauzule
    ...
    p(...) :- ..., !, p( ... ). % řez zajišťuje determinismus
    ```
- Tento typ **rekurze lze převést na iteraci**

LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length( Seznam, Delka )`

```
length( [], 0 ).
length( [ H | T ], Delka ) :- length( T, Delka0 ), Delka is 1 + Delka0.
```

- Upravená procedura, tak aby umožnila LCO:

```
% length( Seznam, ZapocitanaDelka, CelkovaDelka ):
%          CelkovaDelka = ZapocitanaDelka + ,,počet prvků v Seznam''

length( Seznam, Delka ) :- length( Seznam, 0, Delka ). % pomocný predikát

length( [], Delka, Delka ).              %  celková délka = započítaná délka
length( [ H | T ], A, Delka ) :- A0 is A + 1, length( T, A0, Delka ).
```

- Přídavný argument se nazývá **akumulátor**

`max_list` s akumulátorem

Výpočet největšího prvku v seznamu `max_list(Seznam, Max)`

```
max_list([X], X).

max_list([X|T], Max) :-
   max_list(T,MaxT),
   ( MaxT >= X, !, Max = MaxT
   ;
     Max = X ).
```

```
max_list([H|T],Max) :- max_list(T,H,Max).

max_list([], Max, Max).
max_list([H|T], CastecnyMax, Max) :-
   ( H > CastecnyMax, !,
     max_list(T, H, Max )
   ;
     max_list(T, CastecnyMax, Max) ).
```
```

Akumulátor jako seznam

- Nalezení seznamu, ve kterém jsou prvky v opačném pořadí
  `reverse( Seznam, OpacnySeznam )`
  - `reverse( [], [] ).`
    `reverse( [ H | T ], Opacny ) :-`
    `reverse( T, OpacnyT ),`
    `append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).`
  - naivní reverse s kvadratickou složitosti
- reverse pomocí akumulátoru s lineární složitostí
  - `% reverse( Seznam, Akumulator, Opacny ):`
    `% Opacny obdržíme přídáním prvků ze Seznam do Akumulator v opacnem poradi`
    reverse(Seznam, OpacnySeznam) :- reverse(Seznam, [], OpacnySeznam).
    reverse([], S, S).
    reverse([H | T], A, Opacny) :-
    reverse(T, [H | A], Opacny). % přidání H do akumulátoru
  - zpětná konstrukce seznamu (srovnej s předchozí dopřednou konstrukcí, např. append)

reverse/2: cvičení

```
reverse( Seznam, OpacnySeznam ) :-          % (1)
        reverse( Seznam, [], OpacnySeznam).
reverse( [], S, S ).                        % (2)
reverse( [ H | T ], A, Opacny ) :-          % (3)
        reverse( T, [ H | A ], Opacny ).
```

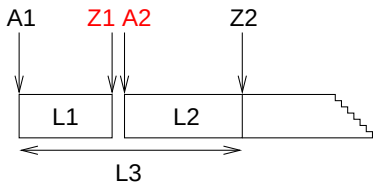
```
? - reverse([1,2,3],O).
reverse([1,2,3],O) → (1)
    reverse([1,2,3], [], O) → (3)
        reverse([2,3], [1], O) →  (3)
          reverse([3], [2,1], O) → (3)
             reverse([], [3,2,1], O) →  (2)
                 yes      O=[3,2,1]
```


Neefektivita při spojování seznamů

- Sjednocení dvou seznamů
- `append( [], S, S ).`
  `append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3 ).`
- `?- append( [2,3], [1], S ).`
  postupné volání cílů:
  append([2,3], [1], S) → append([3], [1], S') → append([], [1], S'')
- Vždy je nutné projít celý první seznam

Rozdílové seznamy

- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`




```
append( A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2 ).
        L1     L2      L3
      [2,3]    [1]     [2,3,1]
[2,3|Z1]-Z1 [1|Z2]-Z2  [2,3,1|Z2]-Z2
```

- `?- append( [2,3|Z1]-Z1, [1|Z2]-Z2, S ).`
  `S = A1 - Z2 = [2,3|Z1] - Z2 = [2,3| [1|Z2] ] - Z2`
  `Z1 = [1|Z2]  S = [2,3,1|Z2]-Z2`
- Jednotková složitost, oblíbená technika ale není tak flexibilní

Akumulátor vs. rozdílové seznamy: reverse

```
reverse( [], [] ).
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
        reverse( T, OpacnyT ),
        append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).              kvadratická složitost
```

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, [], Opacny ).

reverse0( [], S, S ).
reverse0( [ H | T ], A, Opacny ) :-
         reverse0( T, [ H | A ], Opacny ).             akumulátor (lineární)
```

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, Opacny-[]).

reverse0( [], S-S ).
reverse0( [ H | T ], Opacny-OpacnyKonec  ) :-              rozdílové seznamy
         reverse0( T, Opacny-[ H | OpacnyKonec] ).               (lineární)
```

Příklad: operace pro manipulaci s frontou

- test na prázdnost, přidání na konec, odebrání ze začátku

Vestavěné predikáty

- Predikáty pro řízení běhu programu
  - `fail`, `true`, ...
- Různé typy rovností
  - unifikace, aritmetická rovnost, ...
- Databázové operace
  - změna programu (programové databáze) za jeho běhu
- Vstup a výstup
- Všechna řešení programu
- Testování typu termu
  - proměnná?, konstanta?, struktura?, ...
- Konstrukce a dekompozice termu
  - argumenty?, funktor?, ...

Vestavěné predikáty

Databázové operace

- Databáze: specifikace množiny relací
- Prologovský program: **programová databáze**, kde jsou relace specifikovány explicitně (fakty) i implicitně (pravidly)
- Vestavěné predikáty pro změnu databáze během provádění programu:

`assert( Klauzule )`	přidání `Klauzule` do programu
`asserta( Klauzule )`	přidání na začátek
`assertz( Klauzule )`	přidání na konec
`retract( Klauzule )`	smazání klauzule unifikovatelné s `Klauzule`

- Pozor: nadměrné použití těchto operací snižuje srozumitelnost programu

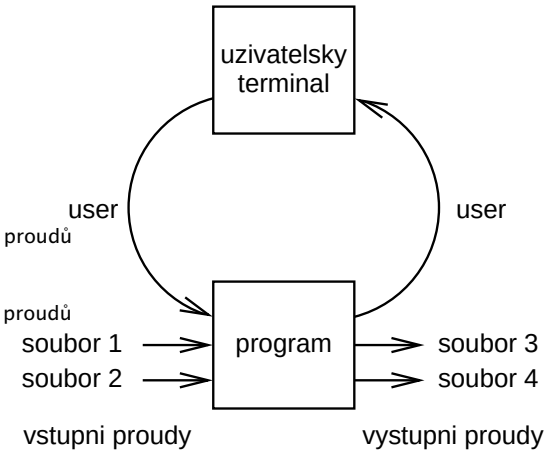
Příklad: databázové operace

- ***Caching***: odpovědi na dotazy jsou přidány do programové databáze
  - `?- solve( problem, Solution), asserta( solve( problem, Solution) ).`
  - `:- dynamic solve/2.` % nezbytné při použití v SICStus Prologu
- Příklad:

```
uloz_trojice( Seznam1, Seznam2 ) :-
        member( X1, Seznam1 ),
        member( X2, Seznam2 ),
        spocitej_treti( X1, X2, X3 ),
        assertz( trojice( X1, X2, X3 ) ),
        fail.
uloz_trojice( _, _ ) :- !.
```


Vstup a výstup

- program může číst data ze **vstupního proudu** (*input stream*)
- program může zapisovat data do **výstupního proudu** (*output stream*)
- dva **aktivní proudy**
  - aktivní vstupní proud
  - aktivní výstupní proud
- **uživatelský terminál** – `user`
  - datový vstup z terminálu chápán jako jeden ze vstupních proudů
  - datový výstup na terminál chápán jako jeden z výstupních proudů



Vstupní a výstupní proudy: vestavěné predikáty

- změna (**otevření**) aktivního vstupního/výstupního proudu: `see(S)/tell(S)`

```
cteni( Soubor ) :- see( Soubor ),
                   cteni_ze_souboru( Informace ),
                   see( user ).
```

- **uzavření** aktivního vstupního/výstupního proudu: `seen/told`
- **zjištění** aktivního vstupního/výstupního proudu: `seeing(S)/telling(S)`

```
cteni( Soubor ) :- seeing( StarySoubor ),
                   see( Soubor ),
                   cteni_ze_souboru( Informace ),
                   seen,
                   see( StarySoubor ).
```


Sekvenční přístup k textovým souborům

- **čtení** dalšího **termu**: `read(Term)`
  - při čtení jsou termy odděleny tečkou

```
| ?- read(A), read( ahoj(B) ), read( [C,D] ).
|: ahoj. ahoj( petre ). [ ahoj( 'Petre!' ), jdeme ].
A = ahoj, B = petre, C = ahoj('Petre!'), D = jdeme
```

  - po dosažení konce souboru je vrácen atom `end_of_file`
- **zápis** dalšího **termu**: `write(Term)`

```
?- write( ahoj ).    ?- write( 'Ahoj Petre!' ).
```

nový řádek na výstup: `nl`

N mezer na výstup: `tab(N)`

- **čtení/zápis** dalšího **znaku**: `get0(Znak)`, `get(NeprazdnyZnak)/put(Znak)`
  - po dosažení konce souboru je vrácena `-1`

Příklad čtení ze souboru

```
process_file( Soubor ) :-
       seeing( StarySoubor ),       % zjištění aktivního proudu
       see( Soubor ),               % otevření souboru  Soubor
       repeat,
          read( Term ),             % čtení termu  Term
          process_term( Term ),     % manipulace s termem
          Term == end_of_file,      % je konec souboru?
       !,
       seen,                        % uzavření souboru
       see( StarySoubor ).          % aktivace původního proudu

repeat.                             % opakování
repeat :- repeat.
```


Čtení programu ze souboru

- **Interpretování** kódu programu
  - `?- consult(program).`
  - `?- consult('program.pl').`
  - `?- consult( [program1, 'program2.pl'] ).`
- **Kompilace** kódu programu
  - ?- compile([program1, 'program2.pl']).
  - ?- [program].
  - ?- [user]. **zadávání kódu ze vstupu** ukončené CTRL+D
  - další varianty podobně jako u interpretování
  - typické zrychlení: 5 až 10 krát

Všechna řešení

- Backtracking vrací pouze jedno řešení po druhém
- Všechna řešení dostupná najednou: `bagof/3, setof/3, findall/3`
- `bagof( X, P, S )`: vrátí seznam S, všech objektů X takových, že P je splněno

```
vek( petr, 7 ).
vek( anna, 5 ).
vek( tomas, 5 ).

?- bagof( Dite, vek( Dite, 5 ), Seznam ).
   Seznam = [ anna, tomas ]
```

- Volné proměnné v cíli P jsou **všeobecně kvantifikovány**

```
?- bagof( Dite, vek( Dite, Vek ), Seznam ).
   Vek = 7, Seznam = [ petr ];
   Vek = 5, Seznam = [ anna, tomas ]
```


Všechna řešení II.

- Pokud neexistuje řešení `bagof(X,P,S)` neuspěje
- `bagof`: pokud nějaké řešení existuje několikrát, pak S obsahuje duplicity
- `bagof, setof, findall`:
  P je libovolný cíl

```
vek( petr, 7 ).
vek( anna, 5 ).
vek( tomas, 5 ).

?- bagof( Dite, ( vek( Dite, 5 ), Dite \= anna  ), Seznam ).
   Seznam = [ tomas ]
```

- `bagof, setof, findall`:
  na objekty shromažďované v X nejsou žádná omezení: X je term

```
?- bagof( Dite-Vek, vek( Dite, Vek ), Seznam ).
   Seznam = [petr-7,anna-5,tomas-5]
```

Existenční kvantifikátor „^ ”

- Přidání **existenčního kvantifikátoru** „^ ” ⇒ hodnota proměnné nemá význam

```
?- bagof( Dite, Vek^vek( Dite, Vek ), Seznam ).
   Seznam = [petr,anna,tomas]
```

- Anonymní proměnné jsou všeobecně kvantifikovány,
  i když jejich hodnota není (jako vždy) vracena na výstup

```
?- bagof( Dite, vek( Dite, _Vek ), Seznam ).
   Seznam = [petr] ;
   Seznam = [anna,tomas]
```

- Před operátorem „^ ” může být i seznam

```
?- bagof( Vek ,[Jmeno,Prijmeni]^vek( Jmeno, Prijmeni, Vek ), Seznam ).
   Seznam = [7,5,5]
```


Všechna řešení III.

- `setof( X, P, S )`: rozdíly od bagof
  - S je uspořádaný podle @<
  - případné duplicity v S jsou eliminovány
- `findall( X, P, S )`: rozdíly od bagof
  - všechny proměnné jsou existenčně kvantifikovány
    ?- findall(Dite, vek(Dite, Vek), Seznam).
    ⇒ v S jsou shromažd'ovány všechny možnosti i pro různá řešení
    ⇒ `findall` uspěje přesně jednou
  - výsledný seznam může být prázdný ⇒ pokud neexistuje řešení, uspěje a vrátí `S = []`
  - ```
    ?- bagof( Dite, vek( Dite, Vek ), Seznam ).
       Vek = 7, Seznam = [ petr ];
       Vek = 5, Seznam = [ anna, tomas ]
    ?- findall( Dite, vek( Dite, Vek ), Seznam ).
       Seznam = [petr,anna,tomas]
    ```
    ```