

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 paměťovými 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, Deřka)`

`length([], 0)`.

`length([H | T], Deřka) :- length(T, Deřka0), Deřka is 1 + Deřka0.`

LCO a akumulátor

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

`length([], 0).`

`length([H | T], DeĽka) :- length(T, DeĽka0), DeĽka is 1 + DeĽka0.`

- Upravená procedura, tak aby umožnila LCO:

```
% length( Seznam, ZapocitanaDeĽka, CelkovaDeĽka ):
```

```
%           CelkovaDeĽka = ZapocitanaDeĽka + ,,počet prvků v Seznam''
```

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 ).
```

- Příkladový 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 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) :-`

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 složitostí

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 složitostí

- reverse pomocí akumulátoru s lineární složitostí

- `% reverse(Seznam, Akumulator, Opacny):`

- `% Opacny obdržíme přidáním prvků ze Seznam do Akumulator v opacnem poradi`

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 složitostí

- reverse pomocí akumulátoru s lineární složitostí

- `% reverse(Seznam, Akumulator, Opacny):`

- `% Opacny obdržíme přidáním 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`

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 složitostí

- reverse pomocí akumulátoru s lineární složitostí

- `% reverse(Seznam, Akumulator, Opacny):`

- `% Opacny obdržíme přidáním 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`)

Neefektivita při spojování seznamů

- Sjednocení dvou seznamů

- `append([], S, S)`.

- `append([X|S1], S2, [X|S3]) :- append(S1, S2, S3)`.

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).`

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'')`

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

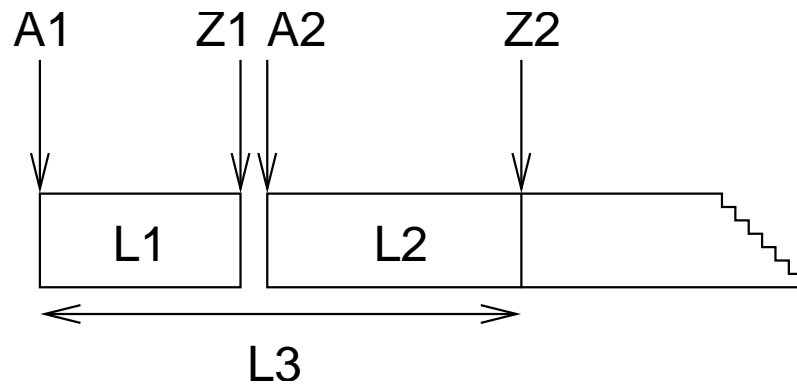
- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**

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: $L-L$

Rozdílové seznamy

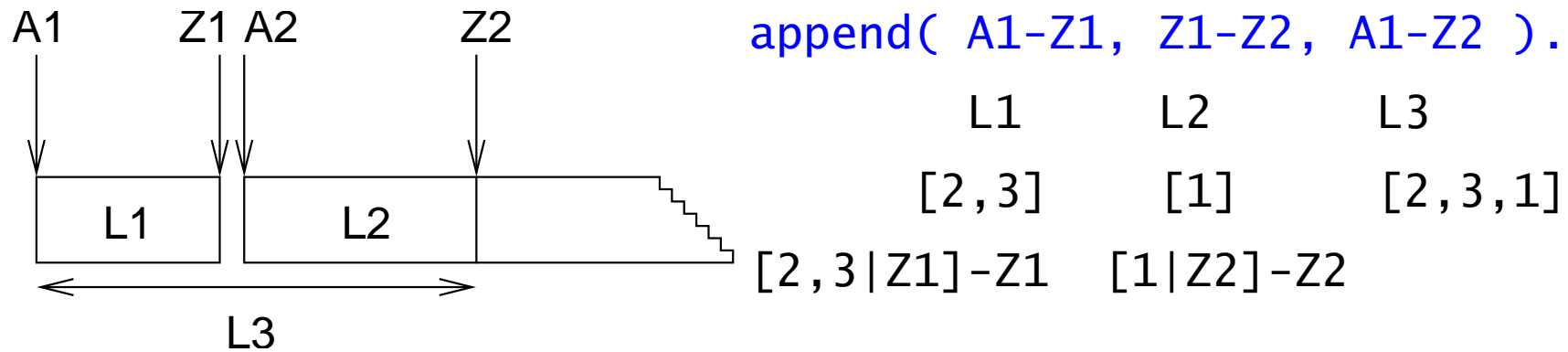
- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- $[a, b] = L1-L2 = [a, b|T]-T = [a, b, c|S]-[c|S] = [a, b, c]-[c]$
- Reprezentace prázdného seznamu: L-L



`append(A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2).`
L1 L2 L3

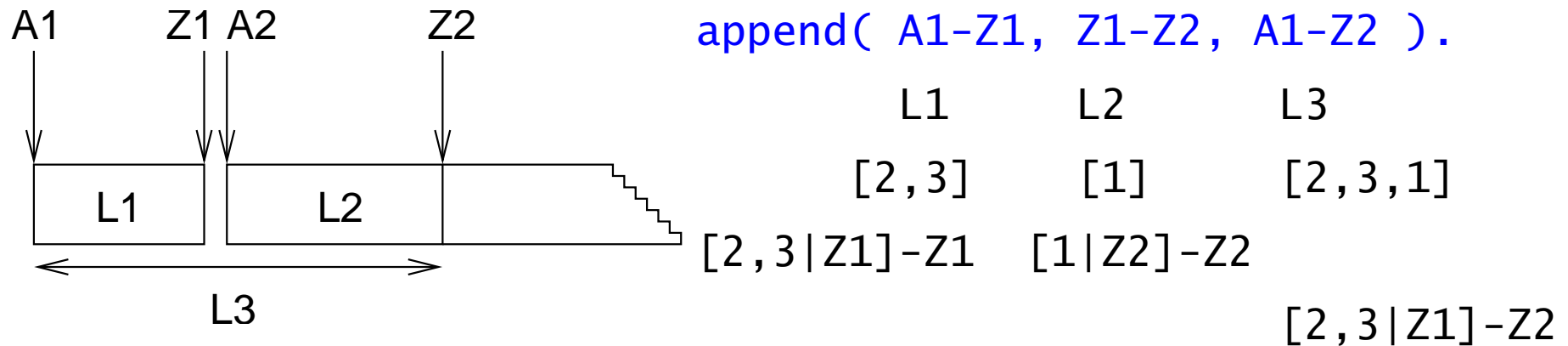
Rozdílové seznamy

- 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: $L - L$



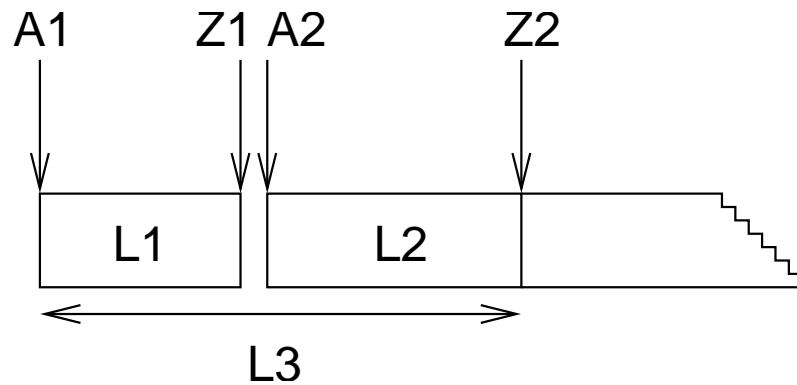
Rozdílové seznamy

- 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: $L - L$



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: $L - L$

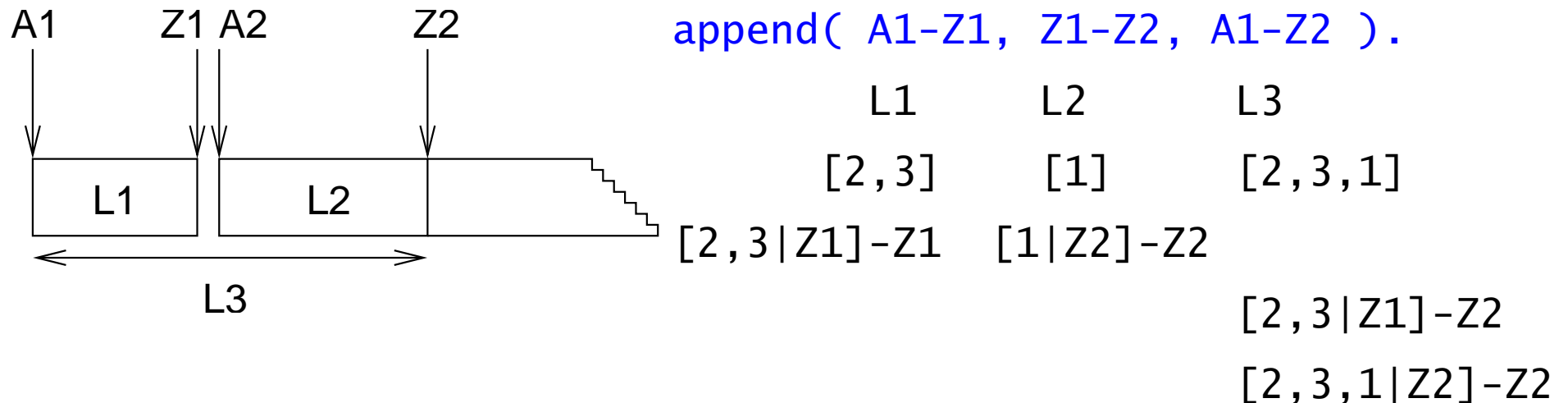


`append(A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2).`

	L1	L2	L3
	[2, 3]	[1]	[2, 3, 1]
	$[2, 3 Z1] - Z1$	$[1 Z2] - Z2$	
			$[2, 3 Z1] - Z2$
			$[2, 3, 1 Z2] - Z2$

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($[2, 3 | Z1] - Z1$, $[1 | Z2] - Z2$, S).
 $S = A1 - Z2 = [2, 3 | Z1] - Z2 = [2, 3 | [1 | Z2]] - Z2$
 $Z1 = [1 | Z2] \quad S = [2, 3, 1 | Z2] - Z2$

- 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)

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 ) :-  
    reverse0( T, Opacny-[ H | OpacnyKonec] ).
```

rozdílové seznamy
(lineární)

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 ) :-  
    reverse0( T, Opacny-[ H | OpacnyKonec] ).
```

rozdílové seznamy
(lineární)

Příklad: operace pro manipulaci s frontou

 test na prázdnot, přidání na konec, odebrání ze začátku

Vestavěné predikáty

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?, ...

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

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: 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.
```


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( _, _ ) :- !.
```

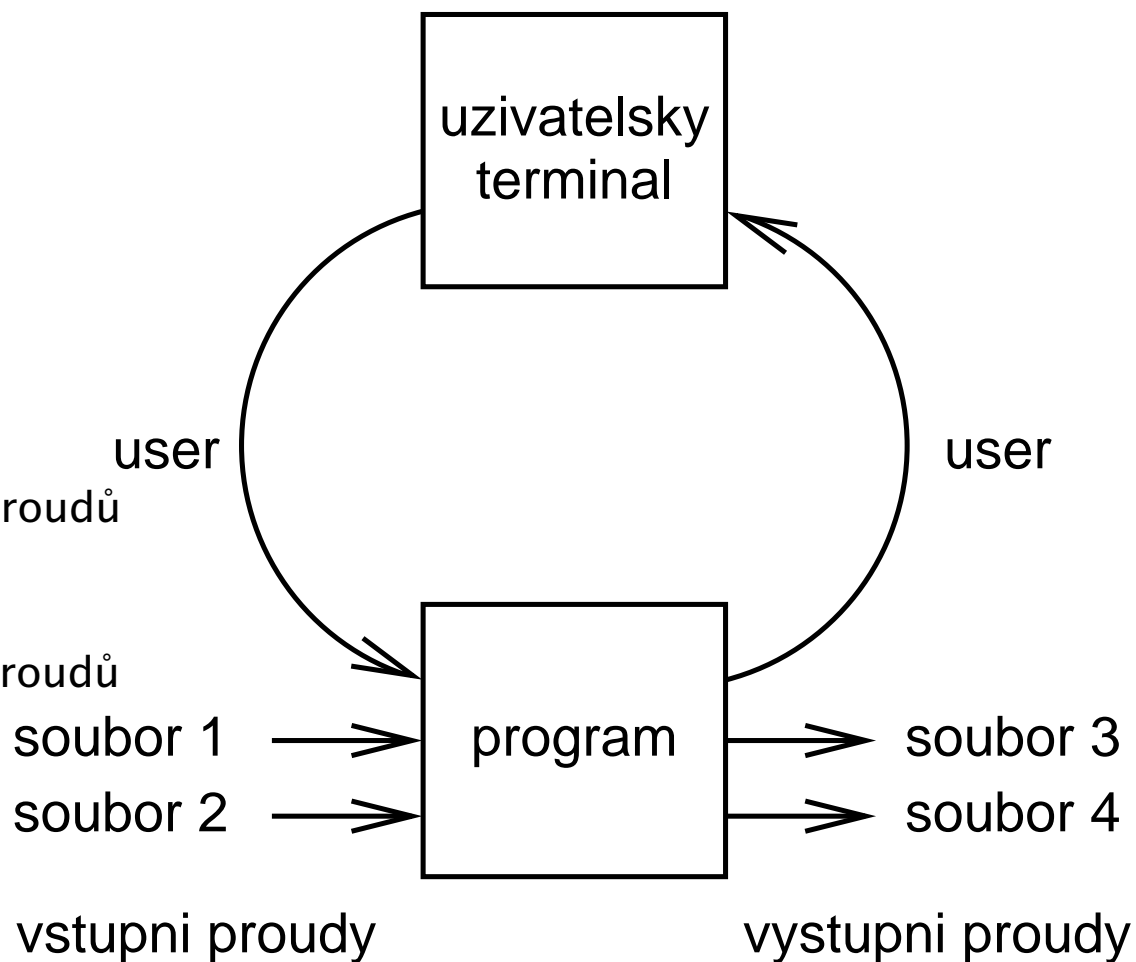
Vstup a výstup

- 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`

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]).`

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
```

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: `n`

N mezer na výstup: `tab(N)`

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: `n`

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']).`

● `?- [program].`

● `?- [user].` **zadávání kódu ze vstupu** ukončené CTRL+D

Čtení programu ze souboru

● Interpretování kódu programu

- `?- consult(program).`
- `?- consult('program.pl').`
- `?- consult([program1, 'program2.pl']).`
- `?- [program].`
- `?- [user].` **zadávání kódu ze vstupu** ukončené CTRL+D

● Kompilace kódu programu

- `?- compile([program1, 'program2.pl']).`
- další varianty podobně jako u interpretování
- typické zrychlení: 5 až 10 krát