

IB015 Neimperativní programování

Programování s omezujícími podmínkami
a závěrečné zhodnocení

Jiří Barnat

Programování s omezujícími podmínkami

Vymezení pojmu

- Obecné neimperativní programovací paradigma.
- V množině možných řešení problému je hledané řešení popsáno pouze omezujícími podmínkami, které musí splňovat.
- Angl. „Constraint programming“.

Aplikace

- Problémy vedoucí na těžké kombinatorické řešení.
- Řízení, rozvrhování, plánování.
- DNA sequencing.

Vymezení pojmu

- Obecné neimperativní programovací paradigma.
- V množině možných řešení problému je hledané řešení popsáno pouze omezujícími podmínkami, které musí splňovat.
- Angl. „Constraint programming“.

Aplikace

- Problémy vedoucí na těžké kombinatorické řešení.
- Řízení, rozvrhování, plánování.
- DNA sequencing.
- StarTrek



Různé instance paradigmatu

- Podle typu proměnných, vystupujících v popisu problému.
- Pravdivostní hodnoty, Celočíselné hodnoty, Konečné množiny, Doména lineárních funkcí, ...

Postup řešení úloh

- | | |
|--|----------|
| ● Modelování problému v dané doméně. | Myšlenka |
| ● Specifikace proměnných a jejich rozsahů. | Program |
| ● Specifikace omezujících podmínek. | Program |
| ● Vymezení cíle. | Program |
| ● Zjednodušení zadání, propagace omezení. | Výpočet |
| ● Systematické procházení možných valuací a hledání vyhovujícího řešení. | Výpočet |

Hostitelské jazyky

- Řešiče uvažovaných úloh jsou obvykle součástí jiného hostitelského programovacího jazyka nebo systému.
- Prvním výrazným hostitelem byly jazyky vycházející z logického programovacího paradigmatu.
- **Constraint Logic Programming** (CLP).

Knihovny ve SWI-Prologu

- **clpfd**: Constraint Logic Programming over Finite Domains
`?- use_module(library(clpfd)).`
- **clpqr**: Constraint Logic Programming over Rationals and Reals
`?- use_module(library(clpqr)).`

Výrazy v celočíselné doméně

- Celé číslo je výrazem v celočíselné doméně.
- Proměnná je výrazem s celočíselné doméně.
- Jsou-li $E1$ a $E2$ výrazy v celočíselné doméně, pak
 - $E1$ (unární mínus)
 - $E1+E2$ (součet), $E1 * E2$ (součin), $E1 - E2$ (rozdíl),
 - $E1 \wedge E2$ (umocnění), $\min(E1, E2)$, $\max(E1, E2)$,
 - $E1 / E2$ (celočíselné dělení ořezáním),
 - $E1 \text{ rem } E2$ (zbytek po dělení /)jsou výrazy v celočíselné doméně.

Omezující podmínky

- Relační operátory předřazené znakem #.
- $E1 \#>= E2$, $E1 \#<= E2$,
- $E1 \# = E2$, $E1 \#\backslash = E2$,
- $E1 \#> E2$, $E1 \#< E2$,

Logické spojky

- $\neg Q$ – Negace
- $P \vee Q$ – Disjunkce
- $P \wedge Q$ – Konjunkce
- $P \iff Q$ – Ekvivalence
- $P \implies Q$ – Implikace
- $P \Leftarrow Q$ – Implikace

Číselná reprezentace logických hodnot

- Pravda/Nepravda jsou realizovány hodnotami 1 a 0.
- Relační operátory jsou aplikovatelné na tyto celočíselné hodnoty.

Domény volných proměnných

?Var in +Domain

- Proměnná `var` má hodnotu z domény `Domain`.

+Vars ins +Domain

- Proměnné v seznamu `Vars` mají hodnotu z domény `Domain`.

all_different(Vars)

- Každá proměnná ze seznamu `Vars` má jinou hodnotu.

Specifikace domény

- N — jednoprvková množina obsahující celé číslo N .
- $\text{Lower}..Upper$ — všechna celá čísla I taková, že $\text{Lower} \leq I \leq Upper$, Lower musí být celé číslo, nebo term `inf` označující záporné nekonečno, podobně $Upper$ musí být celé číslo, nebo term `sup` označující kladné nekonečno.
- $\text{Domain1} \setminus / \text{Domain2}$ — sjednocení domén `Domain1` a `Domain2`.

Pozorování

- Následující dotazy jsou řešeny pouze fází propagace omezujících podmínek (neprochází se systematicky prostor všech možných přiřazení hodnot volným proměnným).

Příklady dotazů na clpfd

- `?- X #\= 20.`
`X in inf..19\21..sup.`
- `?- X*X #= 144.`
`X in -12\12.`
- `?- 4*X + 2*Y #= 24, X + Y #= 9, X #>= 0, Y #>= 0.`
`X = 3, Y = 6.`
- `?- X #= Y #<==> B, X in 0..3, Y in 4..5.`
`B = 0, X in 0..3, Y in 4..5.`

Popis

- Kryptoaritmetické puzzle, každé písmeno představuje jednu cifru, žádná dvě různá písmena nepředstavují tutéž cifru. Jaké je mapování písmen na číslice?

Zadání pro clpfd

- ```
puzzle([S,E,N,D]+ [M,O,R,E] = [M,O,N,E,Y]) :-
 Vars = [S,E,N,D,M,O,R,Y],
 Vars ins 0..9,
 all_different(Vars),
 S*1000 + E*100 + N*10 + D +
 M*1000 + O*100 + R*10 + E #=
M*10000 + O*1000 + N*100 + E*10 + Y,
M #\= 0, S #\= 0.
```

## **label(+Vars)**

- Zahájí hledání vyhovujících hodnot proměnných `Vars`.
- Totéž, co `labeling([],Vars)`.

## **labeling(+Options,+Vars)**

- Zahájí hledání vyhovujících hodnot proměnných `Vars`.
- Parametry uvedené v seznamu `Options` ovlivňují způsob enumerace hledaných hodnot.

## **Parametry hledání**

- Pořadí fixace proměnných.
- Směr prohledávání domén.
- Strategie větvení prohledávaného stromu.

## Pořadí fixace proměnných

- `leftmost` — přiřazuje hodnoty proměnným v tom pořadí, ve kterém jsou uvedeny.
- `ff` — preferuje proměnné s menšími doménami.
- `ffc` — preferuje proměnné, které participují v největším počtu omezujících podmínek.
- `min` — preferuje proměnná s nejmenší spodní závorou.
- `max` — preferuje proměnná s největší horní závorou.

## Směr prohledávání domén

- `up` — zkouší prvky domény od nejmenších k největším.
- `down` — zkouší prvky domény od největších k nejmenším.

## Odpověď clpfd bez prohledávání

- Vars = [9, E, N, D, 1, 0, R, Y],  
S = 9, M = 1, O = 0,  
E in 4..7, N in 5..8, D in 2..8, R in 2..8, Y in 2..8,  
all\_different([9, E, N, D, 1, 0, R, Y]),  
1000\*9+91\*E+ -90\*N+D+ -9000\*1+ -900\*0+10\*R+ -1\*Y#=0.

## Požadavek na prohledávání

- Uvedením podcíle label([S,E,N,D]).

## Odpověď clpfd s vyhledáním valuací proměnných S,E,N a D

- Vars = [9, 5, 6, 7, 1, 0, 8, 2],  
S = 9, E = 5, N = 6, D = 7,  
M = 1, O = 0, R = 8, Y = 2 ;  
false.

**sum**(+Vars,+Rel,?Expr)

- Součet hodnot proměnných v seznamu Vars je v relaci Rel s hodnotou výrazu Expr.

**scalar\_product**(+Cs,+Vs,+Rel,?Expr)

- Skalární součin seznamu čísel Cs s čísly, nebo proměnnými v seznamu Vs, je v relaci Rel s hodnotou výrazu Expr.

**serialized**(+Starts,+Durations)

- Pro hodnoty Starts=[S1,...,SN] a Durations=[D1,...,DN], platí, že úlohy začínající v čase SI a trvající dobu DI se nepřekrývají, tj.  $SI+DI \leq SJ$  nebo  $SJ+DJ \leq SI$ .

## Jiné použití clpfd v Prologu

- Aritmetické vyhodnocování v celých číslech bez nutnosti instanciace argumentů aritmetických operací (propagace hodnot všemi směry).

## Příklad

- `n_factorial(0,1).`  
`n_factorial(N,F) :-`  
    `N #> 0, N1 #= N - 1, F #= N * F1,`  
    `n_factorial(N1,F1).`
- `?- n_factorial(N,1).`  
`N = 0 ;`  
`N = 1 ;`  
`false.`



## Einsteinova hádanka

## Popis situace

- Je 5 domů, z nichž každý má jinou barvu.
- V každém domě žije jeden člověk, který pochází z jiného státu.
- Každý člověk pije nápoj, kouří jeden druh cigaret a chová jedno zvíře.
- Žádný z nich nepije stejný nápoj, nekouří stejný druh cigaret a nechová stejné zvíře.

## Otázka

- Kdo chová rybičky?
- Za následujících předpokladů ...

# Zadání hádanky – nápovědy

- 1 Brit bydlí v červeném domě.
- 2 Švéd chová psa.
- 3 Dán pije čaj.
- 4 Zelený dům stojí hned nalevo od bílého.
- 5 Majitel zeleného domu pije kávu.
- 6 Ten, kdo kouří PallMall, chová ptáka.
- 7 Majitel žlutého domu kouří Dunhill.
- 8 Ten, kdo bydlí uprostřed řady domů, pije mléko.
- 9 Nor bydlí v prvním domě.
- 10 Ten, kdo kouří Blend, bydlí vedle toho, kdo chová kočku.
- 11 Ten, kdo chová koně, bydlí vedle toho, kdo kouří Dunhill.
- 12 Ten, kdo kouří BlueMaster, pije pivo.
- 13 Němec kouří Prince.
- 14 Nor bydlí vedle modrého domu.
- 15 Ten, kdo kouří Blend, má souseda, který pije vodu.

## **Copy-paste, aneb programátorova smrt**

- `einstein_0.pl`

## **Přeuspořádání, aneb optimalizace v praxi**

- `einstein_1.pl`

## **Transformace na řešení absolventa FI**

- `einstein_2.pl`
- `einstein_3.pl`
- `einstein_4.pl`
- `einstein_5.pl`

## Deklarativní versus imperativní

## Princip

- Programem je především formulace cíle a vztahu požadovaného výsledku výpočtu k daným vstupům.
- Popis postupu výpočtu není požadován, nebo je druhotným vstupem zadávaným kvůli zvýšení efektivity výpočtu.

## Výhody a nevýhody

- + Kratší a srozumitelnější kód.
- + Méně skrytých chyb.
- Náročnější tvorba kódu, požaduje schopnost abstrakce.
- Riziko neefektivního řešení.
- Obtížná přímá kontrola výpočetního HW.

## Princip

- Programem je popis transformace zadaných vstupů na požadovaný výsledek.
- Popis vztahů výsledku vzhledem ke vstupům není požadován, nebo je do programu vkládán za účelem kontroly korektnosti popisované transformace.

## Výhody a nevýhody

- + Detailní kontrola nad postupem výpočtu.
- + Efektivní využití dostupného HW .
- + Snazší tvorba kódu.
- Více prostoru pro zanesení chyb.
- Skryté a dlouho neodhalené chyby.
- Nečitelnost významu programu.

## Jazykové konstrukce

- Nepojmenované funkce (lambda funkce).
- Parametrický polymorfismus / generické programování.
- Silná typová kontrola.
- Sémantika jazyka oddělená od výpočetního HW.

## Programátorský styl

- Přenos kontroly typů z doby za běhu programu do doby kompilace.
- Deklarace vzájemných vztahů vnitřních dat v imperativním programu.
- Programování bez pomocných přepisovatelných proměnných.



## Původně imperativním stylem

- ```
int vysledek=1;
for (int i=1; i<=N; i++)
{
    vysledek=vysledek*i;
}
print vysledek;
```

Nově deklarativním stylem

- ```
int fact(int n)
{
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
}
print fact(N);
```

## Původně imperativním stylem

- ```
int vysledek=1;
for (int i=1; i<=N; i++)
{
    vysledek=vysledek*i;
}
print vysledek;
```

- Co to vlastně počítá?

Nově deklarativním stylem

- ```
int fact(int n)
{
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
}
print fact(N);
```

## Původně imperativním stylem

- ```
int vysledek=1;
for (int i=1; i<=N; i++)
{
    vysledek=vysledek*i;
}
print vysledek;
```

- Co to vlastně počítá?
- Přepisovatelná proměnná navíc, těžší optimalizace.

Nově deklarativním stylem

- ```
int fact(int n)
{
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
}
print fact(N);
```

## Původně imperativním stylem

- ```
int vysledek=1;
for (int i=1; i<=N; i++)
{
    vysledek=vysledek*i;
}
print vysledek;
```

- Co to vlastně počítá?
- Přepisovatelná proměnná navíc, těžší optimalizace.
- Větší prostor pro zanesení chyb ($i=1, i \leq N$).

Nově deklarativním stylem

- ```
int fact(int n)
{
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
}
print fact(N);
```

## Původně imperativním stylem

- ```
int vysledek=1;
for (int i=1; i<=N; i++)
{
    vysledek=vysledek*i;
}
print vysledek;
```

- Co to vlastně počítá?
- Přepisovatelná proměnná navíc, těžší optimalizace.
- Větší prostor pro zanesení chyb ($i=1, i \leq N$).
- „Skryté“ chování pro $N=0$.

Nově deklarativním stylem

- ```
int fact(int n)
{
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
}
print fact(N);
```

## Původně imperativním stylem

- ```
int vysledek=1;
for (int i=1; i<=N; i++)
{
    vysledek=vysledek*i;
}
print vysledek;
```

- Co to vlastně počítá?
- Přepisovatelná proměnná navíc, těžší optimalizace.
- Větší prostor pro zanesení chyb ($i=1, i \leq N$).
- „Skryté“ chování pro $N=0$.

Nově deklarativním stylem

- ```
int fact(int n)
{
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
}
print fact(N);
```

- Jasně chování pro  $N=0$ .

## Původně imperativním stylem

```
• int vysledek=1;
 for (int i=1; i<=N; i++)
 {
 vysledek=vysledek*i;
 }
 print vysledek;
```

- Co to vlastně počítá?
- Přepisovatelná proměnná navíc, těžší optimalizace.
- Větší prostor pro zanesení chyb ( $i=1$ ,  $i \leq N$ ).
- „Skryté“ chování pro  $N=0$ .

## Nově deklarativním stylem

```
• int fact(int n)
 {
 if (n==0) return 1;
 else return n*fact(n-1);
 }
 print fact(N);
```

- Jasně chování pro  $N=0$ .
- Pojmenovaná funkce, syntaktická indicie pro sémantický význam.

**A to je konec ...**



## Co si odneseme do života ...

- Funkcionální výpočetní paradigma.
- Solidní základy programovacího jazyka Haskell.
- Intuitivní základy programování v Prologu.

## Čím ještě nám byl kurz prospěšný ...

- **Deklarativní návyky při návrhu programů a algoritmů mnohokrát využijeme v naší (převážně imperativní) informatické praxi.**
- Mentální posilovna.

## Co si odneseme do života ...

- Funkcionální výpočetní paradigma.
- Solidní základy programovacího jazyka Haskell.
- Intuitivní základy programování v Prologu.

## Čím ještě nám byl kurz prospěšný ...

- **Deklarativní návyky při návrhu programů a algoritmů mnohokrát využijeme v naší (převážně imperativní) informatické praxi.**
- Mentální posilovna.



## **Přednášejícího studentům**

- Za vzornou docházku a přípravu jak na přednášky, tak i na cvičení, a zkouškové písemky, a za celkově poctivý přístup ke studiu.

## **Studentů přednášejícímu**

- Formou zpětné vazby například vyplněním studentské ankety a upozorněním na zásadní, ale i okrajové nedostatky jak přednášejícího, tak i jím připravených studijních materiálů.

The goal of IB015

