

Programování omezujícími podmínkami

Roman Barták, KTIML

bartak@ktiml.mff.cuni.cz
<http://ktiml.mff.cuni.cz/~bartak>

Zdroje a literatura

R. Barták: *On-line Guide to Constraint Programming*, 1998
<http://kti.mff.cuni.cz/~bartak/constraints/>

Constraints Archive
<http://www.cs.unh.edu/ccs/archive>

R. Barták: *Expertní systémy založené na omezujících podmínkách*, MFF UK, 1997

H. Rudová: *Constraint Satisfaction with Preferences*, FI MU, 2001

M. Mach, J. Paralič: *Úlohy s ohraničeními: Od teorie k programování*, elfa, 2000

P. Van Hentenryck: *Constraint Satisfaction in Logic Programming*, MIT Press, 1989

E. Tsang: *Foundations of Constraint Satisfaction*, Academic Press, 1993

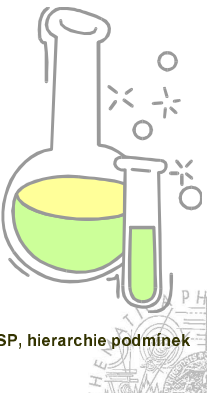
K. Marriott, P.J. Stuckey: *Programming with Constraints: An Introduction*, MIT Press, 1998

Omezující podmínky, Roman Barták

O čem bude přednáška?

Algoritmy splňování podmínek

- Prohledávací algoritmy
 - GT, BT, BJ, BM, DB, IB, LDS
- Konzistenční techniky
 - NC, AC, DAC, PC, DPC, RPC, SC
- Filtrační techniky v prohledávání
 - FC, PLA, LA
- Algoritmy lokálního prohledávání
 - HC, MC, RW, Tabu, GSAT, Genet
- Řešení optimalizačních problémů
 - B&B
- Řešení příliš omezených problémů
 - PCSP, ProbCSP, FuzzyCSP, VCSP, SCSP, hierarchie podmínek
- Modelování reálných úloh
 - tipy a triky, realizace



Omezující podmínky, Roman Barták

Pohled do historie

Umělá inteligence
Ohodnocování scény (Waltz 1975)

Interaktivní grafika
Sketchpad (Sutherland 1963)
ThingLab (Borning 1981)

Logické programování
unifikace → řešení podmínek (Gallaire 1985, Jaffar, Lassez 1987)

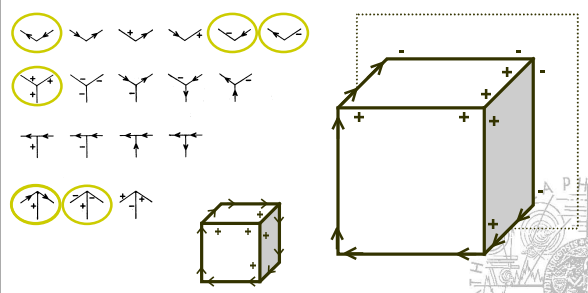
Operační výzkum a diskrétní matematika
NP-těžké kombinatorické problémy



Omezující podmínky, Roman Barták

Ohodnocování scény

3D interpretace čar v 2 obrázku
 rozdělení na konvexní (+), konkávní (-) a okrajové (←) hrany
 hledáme ohodnocení hran, které je fyzikálně možné

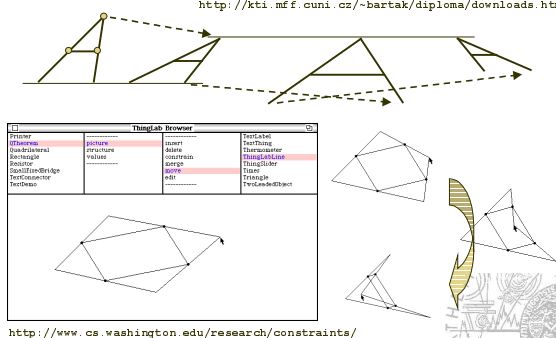


Omezující podmínky, Roman Barták

Podmínky v interaktivní grafice

Manipulace s geometrickými objekty popsanými omezujícími podmínkami

<http://kti.mff.cuni.cz/~bartak/diploma/downloads.html>



Cl	ThingLab Element	Cl
Průřez	plane	Definice
Uložení	store	Defining
Operátory	structure	Manipulation
Techniky	state	Manipulation
Postupy	variable	Manipulation
Specifické	array	ThingLab
Interakční	point	Class
Definice	cell	ThingLab
Definice	ThingLab

<http://www.cs.washington.edu/research/constraints/>

Omezující podmínky, Roman Barták

Algebramy

Přiřadte cifry 0,...,9 písmenům S,E,N,D,M,O,R,Y tak, aby platilo:

- ✓ SEND + MORE = MONEY
- ✓ různé písmena mají přiřazena různé cifry
- ✓ S a M nejsou 0

Model 1:

$$\begin{array}{r} E, N, D, O, R, Y :: 0..9, S, M :: 1..9 \\ 1000 * S + 100 * E + 10 * N + D \\ + 1000 * M + 100 * O + 10 * R + E \\ = 10000 * M + 1000 * O + 100 * N + 10 * E + Y \end{array}$$

Model 2:

použití „přenosových“ 0-1 proměnných
 $E, N, D, O, R, Y :: 0..9, S, M :: 1..9, P1, P2, P3 :: 0..1$

$$\begin{array}{l} D+E = 10 * P1 + Y \\ P1+N+R = 10 * P2 + E \\ P2+E+O = 10 * P3 + N \\ P3+S+M = 10 * M + O \end{array}$$

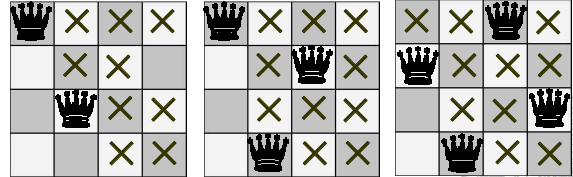
Omezující podmínky, Roman Bariák

Problém N dam

Rozmístíte N dam na šachovnici NxN tak, aby se neohrožovaly

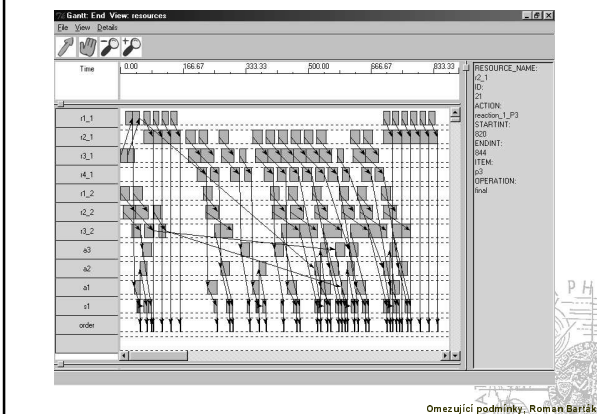
Předpoklad: dámy jsou v různých sloupcích
 proměnné: N proměnných $r(i)$ s doménou $\{1, \dots, N\}$
 podmínky: žádné dvě dámy se neohrožují

$$\forall i \neq j \quad r(i) \neq r(j) \ \& \ |i-j| \neq |r(i)-r(j)|$$



Omezující podmínky, Roman Bariák

Tvorba rozvrhů



Omezující podmínky, Roman Bariák

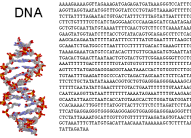
Bioinformatika

<http://www.soi.city.ac.uk/~drq/bioinformatics/>

Určování 3D struktury proteinů z posloupnosti aminokyselin (znalost struktury umožňuje konstrukci léků blokujících proteiny)



Analýza sekvence DNA, hledání „vzdálenosti“ mezi DNA řetězci, porovnávání DNA



Omezující podmínky, Roman Bariák

Co je to omezující podmínka?

Libovolná relace mezi proměnnými

- každá proměnná má svoji doménu=obor hodnot
- podmínka omezuje možné kombinace hodnot proměnných

Příklady:

- kruh C je uvnitř čtverce S
- délka slova W je 10 znaků
- X je menší než Y
- součet úhlů trojúhelníka je 180°
- teplota ve skladu musí být mezi 0°C až 5°C
- Karel může navštěvovat seminář ve středu po 14:00

Podmínku lze zadat:

- intenzionálně (formulí)
- extenzionálně (výčtem k-tic „kompatibilních“ hodnot)

Omezující podmínky, Roman Bariák

Vlastnosti omezujících podmínek

vyjadřují částečnou informaci

- X je větší než 3, hodnota X není určena jednoznačně

poskytují lokální pohled na problém

- svazují vždy jen několik proměnných (ne všechny najednou)

mohou být heterogenní

- domény proměnných mohou být různé

nejsou směrové (funkce)

- $X = Y + 2$ lze použít pro výpočet $X | Y$

jsou deklarativní

- neurčují výpočtovou proceduru pro své splnění

jsou aditivní

- pořadí podmínek nehraje roli, důležitá je jejich konjunkce

jsou zřídka nezávislé

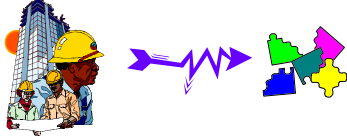
- podmínky sdílejí proměnné

Omezující podmínky, Roman Bariák

Co je programování s omezujícími podmínkami?

MODELOVÁNÍ

Jak popsat reálný problém pomocí sady omezujících podmínek



ŘEŠÍCÍ ALGORITMY

Jak nalézt hodnoty proměnných tak, aby všechny podmínky byly splněny

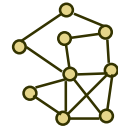


Omezující podmínky, Roman Barták

Splňování vs. řešení podmínek

✓ Splňování podmínek

- proměnné mají konečné domény
- kombinatorický problém
- prohledávání (diskrétní matematika)



x Řešení podmínek

- proměnné mohou mít nekonečné domény
- matematický problém
- algebraické a numerické (aproximační) metody
- možnost diskretizace domén a použití technik splňování podmínek



Omezující podmínky, Roman Barták

V čem má CP navrch

blízko reálnému problému

- všichni používáme omezení při řešení problémů
- pomocí podmínek lze zachytit mnoho reálných omezení

deklarativní charakter

- soustředí se na popis problému spíše než na způsob, jak problém řešit

kooperativní řešení problémů

- jednotný rámec pro integraci různých řešících technik
- jednoduché (prohledávání) i sofistikované (propagace) techniky

sémantické základy

- čisté a elegantní jazyky
- kořeny v logickém programování

aplikace

- nejedná se jen o akademickou hříčku, ale o reálně používané systémy

Omezující podmínky, Roman Barták

Známe své meze

efektivita

- kombinatorická exploze
- řešíme konečnou NP-těžké problémy

nepředvídatelné chování

- dokud to nezkusíme, nevíme jaký bude výsledek

stabilita modelů

- nová data = nový problém

příliš lokální

- přes jednotlivé podmínky nevidíme problém v celku
- globální podmínky
- distribuované výpočty

slabá spolupráce řešičů

- integrace různých řešících technologií není jednoduchá
- často jen sdílení proměnných

Omezující podmínky, Roman Barták