Conclusion et Perspectives

Cours de Programmation par Contraintes

Ecole Jeunes Chercheurs en Programmation

Rencontre du 25 mai 2003

François Fages
Projet Contraintes
INRIA Rocquencourt

`http://contraintes.inria.fr`

1. Problèmes de satisfaction de contraintes CSP

Algorithme = Logique + Controle [Kowalski 72]

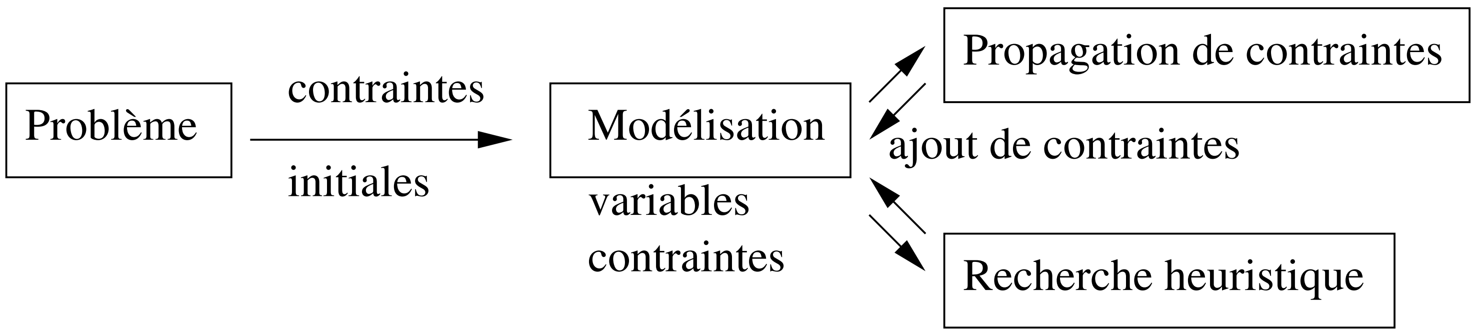
Variables $\{x_1, ..., x_v\}$ à domaine fini de valeurs $D = \{e_1, ..., e_d\}$.

Contraintes unaires $x \in \{e_i, e_j, e_k\}$, binaires $x \geq y$, globales n-aires

1. Modélisation du problème par des variables et des contraintes,
2. Résolution par:

   Propagation de contraintes: ajout dynamique de contraintes inférées

   Recherche heuristique avec backtracking: ajout non-déterministe de contraintes (décisions)



2. Programmes Logiques avec Contraintes PLC

PLC = CSP + définitions inductives de relations (Prolog)

- Contraintes de base sur domaine de termes H, entiers bornés FD, rééls R, booléens B, ontologies $H_{\leq}$, etc.
- Relations définies *en extension* par faits contraints:

```
precedence(X,D,Y) :- X+D<Y.
disjonctives(X,D,Y,E) :- X+D<Y.
disjonctives(X,D,Y,E) :- Y+E<X.
```

  et *en intention* par règles:

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

- Programmation des procédures de recherche et heuristiques:

  Parallélisme "et" (choix variable): heuristique "first-fail" domaine min

  Parallélisme "ou" (choix valeur): heuristique "best-first" valeur min

Théorie de la programmation logique avec contraintes

Programme = Formule logique (contraintes, clauses)

Execution = Recherche de preuves (satisfiabilité contraintes, résolution)

Classe de langages PLC($\mathcal{X}$) [Jaffar Lassez 87].

- Sémantique opérationnelle: $c_0|B_0 \rightarrow_P ...c_{n-1}|B_{n-1} \rightarrow_P c_n|\Box$,
- Sémantique logique: $P, th(\mathcal{X}) \models c_n \Rightarrow c_0 \wedge B_0$,
- Sémantique de point fixe: $c_n|B_0 \in \mathrm{lfp}(T_P)$.

Exemples d'applications de la sémantique de point fixe:

- Analyse de programme par *interprétation abstraite*,
- *Model checking avec contraintes* de systèmes de transition concurrents à états infinis $EF(\phi) = lfp(T_{P+\phi})$, $EG(\phi) = gfp(T_{P\wedge\phi})$.

3. Programmes Concurrents avec Contraintes CC

CC = PLC + ask [Saraswat 89]

"ask": $(c \rightarrow A)$ suspension de l'agent A tant que la contrainte c n'est pas *impliquée* par la mémoire de contraintes.

Concurrence=Communication (variables partagées)+Synchronisation (ask)

- Expression des propagateurs de contraintes comme des agents CC [Van Hentenryck et al. 91, Codognet-Diaz 98]
- Expression de modélisations multiples et résolution concurrente.
- Retardement de la pose des contraintes sur gros problèmes $(10^4, 10^5$ contraintes$)$

Théorie des langages CC

- Sémantique opérationnelle: $c_0|B_0 \rightarrow_P ...c_{n-1}|B_{n-1} \rightarrow_P c_n|B_n...$,

- Sémantique de point fixe: contraintes et agents comme *opérateurs de fermeture* dans treillis des contraintes
  - extensif: $f(x) \leq x$
  - monotone: si $x \leq y$ alors $f(x) \leq f(y)$
  - idempotent: $f(x) = f(f(x))$.

- Sémantique logique: dans la Logique Linéaire de Jean-Yves Girard [Fages Ruet Soliman 2001]

4. Contraintes et changements d'états dans LCC

LCC = CC + consommation de contraintes (changement d'états)

- Systèmes de contraintes basés sur la logique linéaire

  $A \Rightarrow B = \ !A \multimap B$ [Girard 1987]

  L'opération Ask consomme les contraintes

- Modélisation des variables impératives (backtrackables) par contrainte token linéaire `val(N,V)`

```
read(N,V):- val(N,V).
write(N,V):- ask(val(N,_), val(N,V)).
```

- **LCC**: langage noyau d'une nouvelle implantation modulaire d'un langage CC(H,FD,R,...)+changement d'états

  Technologie de compilation en code natif de GNU-Prolog.

5. Panorama de quelques outils existants

- Outils basés sur Prolog:

  Cosytec CHIP, GNU-Prolog CLP(H,FD,B),

  Sicstus-Prolog CC(H,FD,R,Q,B), Prolog IV, Eclipse, CHR, ...

  (fin 2003: LCC: noyau+LCC(H,FD,B,R))

- Bibliothèques C++:

  Ilog-Solver, Ilog-Scheduler, Cosytec CHIP++, Choco, ...

- Bibliothèques Java:

  J-Solver, J-Configurator, CHR JCK toolkit, Koalog, ...

- Autres:

  Claire, Eclair, ..., FaCiLe CAML, ...

Sujets de recherches d'actualité

- Benchmarks, problèmes ouverts (ex. "open shop" 6×6 !)
- Contraintes globales (algorithmes de Recherche Opérationnelle, graphes,...),
- Synthèse automatique de solveurs de contraintes (définies en extension),
- Hybridation d'algorithmes de PPC et Recherche Locale, PPC et MIP
- Coopération de solveurs,
- Elimination de symétries,
- Langages de modélisation, vérifications statiques, typage
- Combiner contraintes et changements d'états,
- "Model checking" avec contraintes
- Applications nouvelles en bioinformatique, multimedia, Web, business