

N° d'ordre : 09/2002-M/IN

**Université des Sciences et de la Technologie
Houari Boumediene (U.S.T.H.B. Alger)**

**Faculté Electronique et Informatique
Département d'Informatique**

THESE

Présentée pour l'obtention du grade de

MAGISTER EN INFORMATIQUE

Spécialité : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Par

IGHILAZA née HADJ MESSAOUD CHAHRA-ZED

Thème

**Etude du Parallélisme dans la Programmation Logique
avec Contraintes sur les Domaines Finis**

Soutenue le 12 Octobre 2002 devant le Jury :

M^{me} H. DRIAS : Professeur

Présidente

M^{me} A. AISSANI : Maître de Conférences

Examinatrice

M^{elle} N. BENSAOU : Maître de Conférences

Examinatrice

M^r H. AZZOUNE : Chargé de Cours

Directeur de Thèse

Résumé

Le travail présenté dans ce document est une contribution à la parallélisation d'un programme logique avec contraintes (CLP) visant l'accélération de la résolution par un traitement simultané sur différentes unités de traitement.

L'idée de la CLP est de combiner la simplicité et la déclarativité de la programmation logique à la puissance et l'efficacité des systèmes de résolution de contraintes. La CLP permet donc d'utiliser des domaines de calculs particuliers, tels les contraintes arithmétiques rationnelles, réelles ou même complexes, les formules booléennes, les domaines finis ...etc.

Nous présentons ainsi un état de l'art approfondie et sur cette base nous avons opté en premier lieu pour les domaines finis qui sont très utiles dans de nombreuses applications industrielles. Ces domaines utilisent comme méthode de résolution : les techniques de consistance dont sont basés les algorithmes d'Arc Consistance. Les versions AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-5, AC-6 et AC-7 ont été présentées, étudiées et comparées pour définir l'algorithme le plus optimal.

Ensuite, nous avons proposé d'introduire le parallélisme dans la CLP à deux niveaux :

- l'arbre de recherche ;
- le résolveur de contraintes.

Aussi, deux types de parallélisme peuvent être exploités, le parallélisme-OU et le parallélisme-ET. Nous proposons le parallélisme-OU qui offre des perspectives intéressantes pour les deux niveaux.

Mots clés : Programmation Logique, Programmation Logique avec Contraintes, domaines finis, Problèmes de Satisfaction de Contraintes, Programmation Parallèle.

Abstract

The Work presented in this document is a contribution to introduce the parallelism in constraints logic programming (CLP) aiming the acceleration of the resolution by a simultaneous treatment on different units of treatment.

The idea of the CLP is to combine the simplicity and the declarativity of the logic programming to the power and the efficiency of the systems of constraints resolution. The CLP permits to use particular calculation domains therefore, like the rational, arithmetic constraints real or even complex, the boolean formulas, the finite domains, etc.

We present an extensive state of art thus and on this basis we opted in the first place for the finite domains that are very useful in numerous industrial applications. These domains use like method of resolution: consistency techniques of which are based the Arc-Consistency algorithms. The AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-5, AC-6 and AC-7 versions have been presented, studied and compared to define the most optimal algorithm.

Then, we proposed to introduce the parallelism in the CLP to two levels:

- the search tree;
- the solver constraints.

Also, two types of parallelism can be exploited, the parallelism OR and the parallelism AND. We propose the parallelism OR that offers interesting perspectives for the two levels.

Key words: Logic programming, Constraints Logic Programming, finite domains, Constraint Satisfaction Problems, Parallel Programming.

SOMMAIRE

Chapitre 1	Introduction Générale.....	1
1.1/	La notion de programmation déclarative.....	2
1.2/	La programmation Logique.....	3
1.3/	Les Langages Logiques Parallèles.....	3
1.4/	La Programmation Logique avec Contraintes.....	3
1.4.1 /	Les Domaines de Contraintes.....	5
1.4.2/	Les Problèmes de Satisfaction de Contraintes.....	5
1.5/	Les Langages Logiques avec Contraintes Parallèles.....	7
1.6/	Les objectifs de la thèse.....	7
1.7/	Contenu de la thèse.....	8
Chapitre 2	Programmation Logique et Programmation Logique avec Contraintes.....	10
2.1/	La Programmation Logique.....	10
2.1.1/	Langage des prédicats du premier ordre.....	10
2.1.1.1/	Syntaxe du langage des prédicats du premier ordre.....	10
2.1.1.2/	Sémantique des langages du premier ordre.....	13
2.1.1.3/	Univers de Herbrand.....	15
2.1.1.4/	Substitution.....	15
2.1.1.5/	Unification de termes.....	16
2.1.1.6/	Algorithmes d'unification.....	16
2.1.2/	Langages de Programmation Logique.....	18
2.1.2.1/	Syntaxe.....	18
2.1.2.2/	Principe de résolution SLD.....	18
2.1.2.3/	Dérivation SLD.....	18
2.1.2.4/	Réfutation SLD.....	19
2.1.2.5/	Arbre de dérivation SLD.....	19
2.1.2.6/	Stratégie de sélection et de recherche.....	19
2.1.3/	Le langage PROLOG.....	20
2.2/	La programmation Logique avec Contraintes (CLP).....	21
2.2.1/	Les systèmes de contraintes.....	21
2.2.2/	Structure.....	23
2.2.3/	Notion de satisfiabilité.....	23
2.2.4/	Syntaxe du langage CLP(S).....	23

2.2.4.1/ Alphabet.....	23
2.2.4.2/ Termes et Atomes.....	24
2.2.4.3/ Clause.....	24
2.2.4.4/ Types de Contraintes.....	25
2.2.4.5/ Les domaines des contraintes.....	25
2.2.5/ Sémantique des programmes logique avec contraintes.....	26
2.2.5.1/ Principe de résolution CSLD.....	27
2.2.5.2/ Dérivation CSLD.....	27
2.2.5.3/ Réfutation CSLD.....	27
2.2.5.4/ Arbre de dérivation CSLD.....	27
2.2.5.5/ Sémantique opérationnelle.....	28
2.2.6 Les langages CLP et leurs applications.....	30
Chapitre 3 Les Problèmes de Satisfaction de Contraintes.....	32
3.1/ Langage et notations.....	33
3.1.1/ Définition d'un CSP.....	33
3.1.2/ Définition d'un CSP binaire.....	33
3.1.3/ Représentation graphique d'un CSP binaire.....	33
3.2/ Sémantique.....	35
3.2.1/ Définition d'une instanciation.....	35
3.2.2/ Satisfaction de contrainte.....	35
3.2.3/ Instanciation consistante.....	35
3.2.4/ Solution(s) d'un CSP.....	36
3.2.5/ Problème de consistance d'un CSP.....	36
3.2.6/ Instanciation globalement consistante.....	37
3.2.7/ Equivalence de CSP.....	37
3.2.8/ Contrainte induite.....	37
3.2.9/ Consistance globale.....	38
3.3/ Consistance locale.....	38
3.3.1/ k-consistance.....	38
3.3.2/ k-consistance forte.....	39
3.3.3/ Arc-consistance.....	39
3.3.4/ Les Algorithmes de l'Arc-Consistance.....	39
3.4/ Complexité des algorithmes d'arc-consistance.....	50

3.5/ Résultats expérimentaux.....	52
Chapitre 4 L'approche parallèle.....	59
4.1/ Généralités sur le parallélisme.....	60
4.1.1/ Les architectures parallèles.....	60
4.1.2/ Langages de programmation parallèle.....	63
4.1.2.1/ Le parallélisme implicite.....	63
4.1.2.2 / Parallélisme explicite.....	64
4.2/ Le parallélisme dans la programmation logique.....	65
4.2.1/ Le parallélisme OU.....	65
4.2.2/ Le parallélisme ET.....	66
4.2.3/ Le parallélisme d'unification.....	66
4.2.4/ Les systèmes logiques parallèles.....	67
4.2.4.1/ Les systèmes exploitant le parallélisme-OU.....	67
4.2.4.2/ Les systèmes exploitant le parallélisme-ET.....	73
Chapitre 5 Le parallélisme dans la programmation logique avec contraintes.....	77
5.1/ Quel parallélisme exploiter.....	78
5.2/ Solutions retenues.....	79
5.3/ L'algorithmique parallèle.....	79
5.3.1/ Notion de tâches parallèles.....	80
5.3.2/ Système de tâches.....	80
5.3.3/ Tâches Indépendantes.....	81
5.3.4/ Tâches Consécutives.....	81
5.3.5/ Système de Précédence.....	81
5.3.6/ Graphe de Précédence.....	82
5.3.7/ Construction d'un système de précédence.....	82
5.3.8/ Algorithme de construction du graphe des tâches.....	83
5.3.9/ Ordonnancement des tâches.....	84
5.3.9.1/ Notion d'ordonnancement compatible.....	85
5.4/ Questions fondamentales liées à la parallélisation.....	86
5.5/ Surcoût de la parallélisation.....	87
5.5.1/ Coût de communication.....	87
5.5.2/ Surcoût de l'inactivité de processus.....	87

5.5.3/ Surcoût dû aux conflits d'accès aux ressources.....	87
5.5.4/ Risque de Surcroît de travail	88
5.6/ Protocole.....	88
5.7/ Répartition de charge.....	88
Conclusion.....	90
Bibliographie.....	92