

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ElHadj Lakhdar- Batna
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Informatique

Mémoire de Magistère

En vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Informatique
Option : Informatique Industrielle

Présenté par

Toufik Messaoud MAAROUK

Thème

Spécification formelle des systèmes mobiles temps-réel

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. Abdel Madjid ZIDANI	Président	M.C	U.Batna
Dr. Djamel-Eddine SAIDOUNI	Rapporteur	M.C	U.Constantine
Dr. Chawki BATOUCHE	Examineur	Pr	U.Constantine
Dr. Mohammed BENMOHAMMED	Examineur	M.C	U.Constantine

Année : 2005/2006

Notations générales

Dans ce mémoire on va utilisé les notations suivantes :

- – **Substitution** : On note $P\{y_1/x_1, \dots, y_n/x_n\}$, ou $P\{y_i/x_i\}_{1 \leq i \leq n}$, ou $P\{\tilde{y}/\tilde{x}\}$, pour la substitution simultanée de y_i pour toutes les occurrences libres de x_i ($1 \leq i \leq n$) dans P . σ pour une substitution arbitraire.
- **Tuples** : On note par \tilde{x} , le vecteur $\{x_1, \dots, x_n\}$ de noms et $n \geq 1$.
- **Relations et prédicats** : Etant donnée deux relations \mathcal{R} et \mathcal{R}' ,
 - * **fermeture réflexive** de \mathcal{R} et on note $r(\mathcal{R})$ la plus petite (au sens de l'inclusion) relation réflexive définie sur E contenant \mathcal{R} . Autrement dit $r(\mathcal{R})$ est la relation binaire définie sur l'ensemble E telle que :
 - $r(\mathcal{R})$ est réflexive
 - $\mathcal{R} \subseteq r(\mathcal{R})$
 - Pour toute relation binaire \mathcal{R}' réflexive définie sur l'ensemble E , si $\mathcal{R}' \subseteq \mathcal{R}$ alors $\mathcal{R}' \subseteq r(\mathcal{R})$
 - * **fermeture transitive** de \mathcal{R} et on note $t(\mathcal{R})$ la plus petite (au sens de l'inclusion) relation transitive définie sur E contenant \mathcal{R} . Autrement dit $t(\mathcal{R})$ est la relation binaire définie sur l'ensemble E telle que :
 - $t(\mathcal{R})$ est transitive
 - $\mathcal{R} \subseteq t(\mathcal{R})$
 - Pour toute relation binaire \mathcal{R}' transitive définie sur l'ensemble E , si $\mathcal{R}' \subseteq \mathcal{R}$ alors $\mathcal{R}' \subseteq t(\mathcal{R})$
 - * Nous employons les conventions suivantes : $\mathcal{R}\mathcal{R}'$ c'est la composition des relations \mathcal{R} et \mathcal{R}' tel que $\{(x, y) \mid \exists z, x\mathcal{R}z\mathcal{R}'y\}$;
 - * \mathcal{R}^{-1} pour la relation inverse $\{(y, x) \mid x\mathcal{R}y\}$,
 - * \mathcal{R}^* est la fermeture transitive de relation \mathcal{R} .

Résumé

Notre sujet d'étude est la programmation de systèmes répartis, temps réel. De tels systèmes comportent de nombreux ordinateurs interconnectés par un réseau. L'étude de ce type de système fait appel à des méthodes formelles permettant de répondre aux exigences auxquelles sont soumises ces applications. Dans la littérature, il a été proposé un grand nombre de techniques dotées d'un support mathématique pour raisonner sur la conformité des systèmes informatiques.

La notion importante dans ces systèmes, est le temps, c'est à dire des systèmes dotés d'un comportement qui est contraint par le temps. Un système temps-réel doit interagir correctement avec son environnement non seulement au regard des informations échangées, mais également au regard des instants au quels ces interactions se réalisent.

Dans ce contexte, les sémantiques de vrai parallélisme, comme la sémantique de maximalité, conviennent à être employées lorsqu'on s'abstrait de l'hypothèse de l'atomicité temporelle et structurelle des actions. Le modèle D-LOTOS¹, extension temporelle à l'algèbre de processus LOTOS², intégrant à la fois contraintes temporelles et durées des actions.

L'étude exposée dans ce document s'inscrit dans le cadre de la conception de systèmes temps-réel et mobiles, en s'appuyant sur les modèles mobiles, et les méthodes formelles, temps réel. Le modèle proposé (MD-LOTOS)³, représente un langage de programmation directement utilisable il est implémentable de manière répartie, il s'inspire largement de deux modèles (Join-calcul, D-LOTOS).

Mots-clés Systèmes mobiles, Algèbres de processus, Systèmes temps-réel, Durée d'action, Spécification formelle, LOTOS, Langage D-LOTOS, MD-LOTOS.

¹Duration LOTOS

²Language Of Temporal Ordering Specification

³Mobil D-LOTOS

Table des matières

Notations générales	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
1 Introduction	6
1.1 Context	6
1.2 Contributions	7
1.3 Plan du document	8
2 Modèles algébriques de spécification des applications mobiles	9
2.1 Introduction aux algèbres de processus	9
2.1.1 CCS : Calculus of Communicating Systems	9
2.1.2 Algèbre de processus à synchronisation multiple : LOTOS	13
2.2 π -calcul	17
2.2.1 π -calcul monadique	20
2.2.2 π -calcul polyadique	22
2.2.3 Sémantique opérationnelle du π -calcul	22
2.2.4 Equivalences	27
2.2.5 Applications	29
2.3 Join-Calcul	32
2.3.1 Machine chimique abstraite	32
2.3.2 La machine chimique réflexive (RCHAM)	33
2.3.3 Equivalences	37
2.3.4 Le calcul ouvert	39
2.3.5 Localité, migration et pannes	42
2.4 Calcul des Ambients	50
2.4.1 Présentation	50
2.4.2 Mobilité	50
2.4.3 Sémantique opérationnelle	52

2.4.4	Exemples	52
2.4.5	Communication	54
2.5	Logique de réécriture	56
2.5.1	Définitions de base	57
2.5.2	Structure sémantique pour modèles de concurrence	60
2.5.3	MAUDE	62
2.5.4	Système temps-réel	66
2.5.5	Modèles de temps et théorie de réécriture temps réel	67
2.5.6	Théorie temps réel intériorisée dans la logique de réécriture	69
2.6	Conclusion et discussion	69
2.6.1	π -calcul et join-calcul	70
2.6.2	Les ambients et le join-calcul	72
3	Modèles algébriques de spécification des applications temps réel	73
3.1	Extension temporelle de LOTOS	73
3.2	Le langage D-LOTOS	79
3.2.1	Sémantique de maximalité	79
3.2.2	Introduction des durées et des contraintes temporelles	82
3.2.3	Sémantique opérationnelle structurée de D-LOTOS	83
3.2.4	Relations de bissimulation	85
3.3	Limites du langage D-LOTOS	87
3.4	Conclusion	87
4	MD-LOTOS (mobil D-LOTOS) : Un modèle de spécification des applications temps réel et mobiles.	88
4.1	Présentation de MD-LOTOS	88
4.1.1	Traitement local et global	92
4.1.2	Syntaxe et sémantique opérationnelle de maximalité	93
4.2	Etude de cas (Gigue d'information)	99
4.3	Outil de compilation	100
4.3.1	L'outil Ocamllex	102
4.3.2	L'outil Ocaml yacc	103
4.3.3	Outil de compilation pour MD-LOTOS	104
4.3.4	Etape d'analyse	110
4.4	Conclusion	110
5	Conclusion et perspectives	111