

THESE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE POITIERS

Spécialité : INFORMATIQUE

Présentée et soutenue publiquement par

Ahmed RAHNI

Le 05 décembre 2008

Contributions à la validation d'ordonnancement temps réel en présence de transactions sous priorités fixes et EDF

Directeurs de Thèse : Pascal RICHARD, Emmanuel GROLLEAU et Michaël RICHARD

JURY

Rapporteurs :	Ye-Qiong SONG	Professeur, INPL/ENSEM, LORIA
	Maryline CHETTO	Professeur, IUT, IRCCyN
Examineurs:	Yvon TRINQUET	Professeur, IUT, IRCCyN
	Francis COTTET	Professeur, ENSMA, LISI
	Joël GOOSSENS	Professeur associé, Université Libre de Bruxelles
	Pascal RICHARD	Professeur Université de Poitiers, LISI/ENSMA
	Emmanuel GROLLEAU	Maître de conférences, ENSMA, LISI
	Michaël RICHARD	Maître de conférences, ENSMA, LISI

Remerciements

Je tiens tout d'abord, à exprimer mes vifs remerciements et ma grande reconnaissance à Emmanuel GROLLEAU pour l'encadrement dont il m'a fait bénéficier, sa disponibilité et son suivi tout au long de ma thèse. Ses très nombreux conseils, ainsi que les discussions que nous avons eues m'ont été d'une aide inestimable et ont été déterminants pour ma formation de chercheur.

Mes vifs remerciements vont également à Michaël RICHARD pour son encadrement, ses encouragements pour faire avancer les travaux durant toute la thèse, et plus particulièrement durant la première année. Pour cette première année, merci à Patrick GIRARD. Cette période a été d'une grande utilité pour ma formation dans la recherche.

Je tiens également, à remercier mon directeur de thèse, le Professeur Pascal RICHARD, de m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche, de son apport et surtout pour sa relecture très attentive de mon manuscrit qui m'a permis d'en améliorer sensiblement la qualité scientifique et pédagogique.

Je voudrais aussi remercier les Professeurs Guy PIERRA (ancien directeur du LISI) et Yamine AIT-AMEUR, l'actuel directeur du LISI, pour les moyens techniques et scientifiques qu'ils ont mis à ma disposition.

Merci aux Professeurs Maryline CHETTO et Ye-Qiong SONG qui ont accepté la lourde charge de rapporteurs, ainsi qu'aux Professeurs Yvon TRINQUET, Francis COTTET et Joël GOOSSENS pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être examinateurs de mon jury et de l'importance qu'ils ont accordée à mon travail.

Un remerciement particulier à Ladjel et Mokhtar pour tout ce qu'ils ont fait pour m'aider pendant ces trois années.

Et puis, je remercie tous les membres du LISI plus particulièrement, Claudine, Fred, Laurent, Loé, Idir, Nabil, Stéphane, Zoom, Karim, Sybille, Dilek, Chimène, Kamel, Hondjack, François, Malou, Christian, Hieu, Valéry, Youcef, Dago, Eric, Jean-Claude, Tex, pour tous les bons moments passés en leur compagnie. Merci à l'équipe de football du LISI.

Je souhaite également remercier ma famille, ainsi que tous mes amis.

Table des matières

Table des figures	ix
-------------------	----

Liste des tableaux	xiii
--------------------	------

Introduction générale

ÉTAT DE L'ART	5
---------------	---

Chapitre 1

Systèmes Temps Réel et Ordonnancement	7
---------------------------------------	---

1.1	Introduction aux systèmes Temps-Réel	8
1.2	Caractéristiques des systèmes temps réel	9
1.3	Caractéristiques des tâches temps réel	10
1.3.1	Modes d'exécution	11
1.3.2	États d'une tâche	11
1.3.3	Modèles de tâches	12
1.3.3.1	Tâches périodiques	12
1.3.3.2	Tâches sporadiques	13
1.3.3.3	Tâches apériodiques	13
1.3.4	Techniques d'ordonnancement	13
1.3.4.1	Un ordonnancement hors-ligne (off-line scheduling)	13
1.3.4.2	Un ordonnancement en-ligne (on-line scheduling)	14
1.4	Étude de l'ordonnancement en-ligne et problématique	14

1.4.1	Contexte d'ordonnancement	14
1.4.2	Propriétés	15
1.4.3	Problème d'ordonnancement en tant que problème de décision	15
1.4.4	Algorithmes d'ordonnancement à priorités fixes	16
1.4.4.1	Rate Monotonic (RM)	17
1.4.4.2	Deadline Monotonic (DM)	17
1.4.5	Algorithmes d'ordonnancement à priorités dynamiques	18
1.4.5.1	Earliest Deadline First (EDF)	18
1.4.5.2	Least Laxity (LL)	18
1.4.6	Ordonnancement des tâches dépendantes	19
1.4.6.1	Contraintes de précédence	19
1.4.6.2	Ressources partagées	19
1.4.6.2.1	Protocole à priorités héritées (PPH)	20
1.4.6.2.2	Protocole à priorité plafond (PPP)	21
1.4.6.2.3	Protocole d'allocation de la pile	22
1.5	Analyse de temps de réponse	22
1.5.1	Analyse de temps de réponse avec priorités fixes	25
1.5.2	Analyse de temps de réponse avec priorités dynamique EDF	28
1.5.2.1	Détermination des scénarii	29
1.5.2.2	Prise en compte des gigues	30
1.5.2.3	Prise en compte des ressources partagées	31
1.6	Analyse de la demande processeur	32
1.6.1	Priorités fixes	32
1.6.2	Priorités dynamiques (EDF)	33
1.7	Conclusion	35

Chapitre 2

Analyse d'ordonnançabilité des tâches avec décalage d'activation (à offsets) 37

2.1	Introduction	38
2.2	Modèle de tâches à offset (Transactions)	38
2.3	Analyse d'ordonnançabilité des tâches à offset avec priorités fixes	41
2.3.1	Identification du Pire scénario	41
2.3.2	Facteurs d'interférence	43
2.3.3	Fonction d'interférence	43
2.3.4	Calcul de temps de réponse pour un instant critique	44
2.3.4.1	Interférence des autres transactions sur la tâche analysée	44

2.3.4.2	Exemple :	45
2.3.4.3	Interférence de la transaction analysée sur la tâche analysée	47
2.3.5	Analyse exacte de pire temps de réponse	50
2.3.6	Bilan	51
2.3.7	Méthode approchée de base (Tindell,Palencia)	52
2.3.7.1	Exemple :	54
2.3.7.2	Implémentation efficace de la méthode approchée	55
2.3.7.3	Note	56
2.3.8	Méthode approchée basée sur l'interférence effective (Turja-Nolin)	57
2.3.8.1	Exemple	60
2.3.8.2	Algorithme efficace d'implémentation	60
2.3.8.2.1	Étape préliminaire.	62
2.3.8.2.2	Représentation statique.	63
2.3.8.2.3	Déduction de la valeur de l'interférence totale induite par le temps $T_i^{ind}(\tau_{ua}, t)$	65
2.3.8.3	Bilan	66
2.3.9	Analyse des tâches à offset dynamique	66
2.4	Analyse d'ordonnabilité des tâches à offset avec priorités dynamiques (EDF)	67
2.4.1	Fonction d'interférence	67
2.4.2	Méthode d'analyse approchée	68
2.4.3	Bilan	69
2.5	Autres modèles prenant en compte des décalages d'activations	70
2.5.1	Transactions séries	70
2.5.2	Transactions monotoniques	71
2.5.3	Tâches à suspension	72
2.6	Modèle de tâches Multiframe	73
2.6.1	Présentation du modèle	74
2.6.2	Analyse d'ordonnabilité des tâches multiframe à priorités fixes	74
2.6.2.1	Analyse basée sur la densité	74
2.6.2.2	Analyse de temps de réponse	75
2.7	Modèle des tâches Multiframe généralisées	76
2.7.1	Analyse de temps de réponse des tâches GMF à priorités fixes	77
2.7.2	Analyse de la demande processeur des tâches GMF à priorités dynamiques EDF	79
2.8	Conclusion et problématique	79

CONTRIBUTIONS **81**

Chapitre 3
Analyse mixte du pire temps de réponse des tâches à offsets en priorités fixes **83**

3.1	Comparaison des différents modèles de tâches	84
3.2	Pessimisme de l'analyse approchée de Turja-Nolin	85
3.2.1	Exemple	86
3.2.2	Discussion	86
3.3	Méthode d'analyse mixte	89
3.3.1	Analyse complète	94
3.3.2	Exemple	95
3.4	Méthode mixte paramétrée	96
3.5	Étude de complexité	97
3.6	Expérimentation	98
3.6.1	Description du générateur aléatoire	98
3.6.2	Critères de comparaison	99
3.6.3	Performance de la méthode mixte	99
3.7	Conclusion	105

Chapitre 4
Identification des instants critiques pire cas, en priorités fixes **107**

4.1	Introduction	108
4.2	Étude des transactions monotoniques	108
4.2.1	Transactions monotoniques	109
4.2.2	Mise en forme normale	110
4.2.3	Vérification de la monotonie d'une transaction	114
4.2.4	Remarques	114
4.2.5	Exemple d'application	115
4.2.6	Évaluation de performance	116
4.2.6.1	Description du simulateur	116
4.2.6.2	Résultat de la simulation	117
4.2.6.2.1	<i>Influence de la charge totale du système :</i>	117

4.2.6.2.2	<i>Influence du nombre de tâches par transaction :</i>	118
4.2.6.2.3	<i>Influence du nombre de transactions :</i>	119
4.2.7	Limites de la propriété de monotonie	120
4.3	Transactions Accumulativement Monotoniques	121
4.3.1	Processus de vérification de l'Accumulativité monotone	123
4.3.1.1	Pre-calcul de l'interférence	125
4.3.1.2	Représentation statique	127
4.3.1.3	Vérification de l'accumulativité monotone	129
4.3.2	Remarques	129
4.3.3	Expérimentation	129
4.3.3.1	Critères d'évaluation	130
4.3.3.2	Résultat de la simulation	131
4.3.4	Bilan	137
4.4	Tâches dominées	138
4.4.1	Définitions	139
4.4.2	Procédure de détection d'une tâche dominée	140
4.4.3	Exemple	141
4.4.4	Expérimentation	143
4.4.4.1	Évaluation du taux de nombre de tâches dominées dans une transaction	144
4.4.4.2	Évaluation de l'amélioration en nombre d'instantanés critiques	146
4.4.4.3	Évaluation du temps d'exécution	147
4.5	Bilan	149
4.6	Conclusion	150

Chapitre 5

Analyse d'ordonnabilité des transactions avec priorités dynamiques EDF

5.1	Introduction	154
5.2	Test d'ordonnabilité par analyse de demande processeur	155
5.3	Fonction de la demande processeur	157
5.4	Analyse pseudo-polynomiale	162
5.5	Analyse d'ordonnabilité accélérée	165
5.5.1	La périodicité de la fonction de la demande	165
5.5.2	Représentation statique	166
5.5.3	Complexité de la méthode	170
5.6	Conclusion	171

Conclusion	173
-------------------	------------

ANNEXES	177
----------------	------------

Annexes	179
----------------	------------

Annexe A	
Formules complètes	179

A.1 Méthode approchée de Turja et Nolin	179
A.2 Méthode d'analyse mixte	181

Annexe B	
Algorithmes	183

B.1 Méthode de Turja-Nolin	183
B.2 Méthode Mixte	185
B.3 Transactions AM	186
B.4 Tâches dominées	187
B.5 Algorithme UUniFast	187

Bibliographie liée à l'étude	189
-------------------------------------	------------

Bibliographie	191
----------------------	------------

Résumé

Un système temps réel critique nécessite une validation temporelle utilisant un test d'ordonnabilité avant sa mise en œuvre. Cette thèse traite le problème d'ordonnement des tâches à offset (transactions) sur une architecture monoprocesseur, en priorités fixes et en priorités dynamiques. Les méthodes existantes pour un test exact ont une complexité exponentielle et seules existent des méthodes approchées, donc pessimistes, qui sont pseudo-polynomiales. En priorités fixes nous proposons des méthodes pseudo-polynomiales, basées sur l'analyse de temps de réponse qui sont moins pessimistes que les méthodes existantes. Nous présentons quelques propriétés (accumulativité monotone, dominance de tâches) rendant exactes les méthodes d'analyse approchées pour certains cas de systèmes, et optimisant le temps de calcul. En priorités dynamiques, nous proposons un test d'ordonnabilité exact avec une complexité pseudo-polynomiale. Ce test est basé sur l'analyse de la demande processeur. Les qualités des résultats de nos méthodes sont confirmées par des évaluations expérimentales.

Mots-clés: Systèmes temps réel, ordonnancement, monoprocesseur, tâches à offsets, transactions, tâches multiframe, Analyse de temps de réponse, demande processeur, transactions Accumulativement monotone, tâches dominées.

Abstract

The validation process is an important step in the development of a real-time application. It consists in proving that, whatever happens, the scheduling policy guarantees that all the temporal constraints are met. In this thesis we study the schedulability test of tasks with offsets, on uniprocessor system, with fixed and dynamic priority assignments. The exact tests has an exponential complexity and only a sufficient (pessimistic) feasibility test with a pseudo-polynomial complexity has been proposed. Note that all existing tests are based on the response time analysis (RTA) technique. In the fixed priority context, we propose a new pseudo-polynomial RTA method, less pessimistic than the existing methods. We present some properties (accumulatively monotonic transactions, dominated tasks) that make exact the approximate methods, for certain cases, and optimize the run time computation. In the dynamic priority context, we provide a pseudo-polynomial exact schedulability test, based on the processor demand analysis. We provide experimental evaluations of the proposed tests and their optimization.

Keywords: Real-Time systems, scheduling, uniprocessor, tasks with offsets, transactions, multiframe tasks, response-time analysis, processor demand, Accumulatively monotonic transactions, dominated task.

Secteur de recherche: Informatique