

Ordonnancement temps réel multiprocesseur de tâches non-préemptives avec contraintes de précédence, de périodicité stricte et de latence

Thèse présentée

pour obtenir le grade de
Docteur en science

par
Omar KERMIA

soutenue le 19/03/2009 devant le jury composé de

Laurent George	Rapporteurs
Denis Trystram	
Arnaud De La Fortelle	Examineurs
Alain Mérigot	
Yves Sorel	Directeur de thèse

Table des matières

Remerciements	13
Résumé de la thèse	15
Introduction générale	17
I Étude théorique	21
Introduction	23
1 État de l’art	25
1.1 Systèmes temps réel	25
1.1.1 Définition	25
1.1.2 Classification des systèmes temps réel	26
1.2 Généralités sur l’ordonnancement temps réel embarqué	27
1.2.1 Caractéristiques d’une tâche temps réel	27
1.2.2 Nature des tâches	28
1.2.2.1 Tâches périodiques	28
1.2.2.2 Tâches non périodiques	29
1.2.2.3 Tâches concrètes/non-concrètes	29
1.2.2.4 Approches synchrones/asynchrones	29
1.2.2.5 Dépendance et précédence	30
1.2.2.6 Latence	30
1.2.2.7 Makespan	31
1.2.3 Classes des problèmes d’ordonnancement temps réel	31
1.2.4 Non-préemptif vs préemptif	32
1.2.5 Analyse d’ordonnançabilité	32
1.2.5.1 Approche analytique	33
1.2.5.2 Simulation	33
1.2.5.3 Model-checking	33
1.3 Systèmes embarqués	34
1.3.1 Définition	34

1.3.2	Architectures pour systèmes embarqués	34
1.3.3	Contraintes d'embarquabilité	35
1.3.3.1	Gestion de la mémoire	36
1.3.3.2	Consommation d'énergie	37
1.3.4	Autres contraintes	37
1.4	Algorithmes d'ordonnancement et conditions d'ordonnançabilité	37
1.4.1	Monoprocasseur	38
1.4.2	Multiprocasseur	41
1.5	Complexités	43
1.5.1	Calcul de la complexité d'un algorithme	43
1.5.2	Théorie de la complexité	44
1.5.3	Classes de complexité de quelques problèmes d'ordonnancement multi- procasseur	45
1.6	Ordonnancement multiprocasseur non-préemptif avec contraintes de précédence, de périodicité stricte, et de latence	45
1.6.1	Contexte de l'étude	45
1.6.2	Algorithmes exacts ou optimaux	46
1.6.3	Algorithmes approchés ou sous-optimaux	49
1.6.3.1	Métaheuristiques	51
1.6.3.2	Algorithmes gloutons	54
1.6.3.3	Algorithmes d'approximation	54
1.6.4	Approche probabiliste	55
1.7	Réduction de la consommation d'énergie et gestion de la mémoire	55
1.7.1	Équilibrage de charge	56
1.7.2	Optimisation multicritère	56
2	Ordonnancement temps réel multiprocasseur avec contraintes de précédence et de périodicité	59
2.1	Modèles	60
2.1.1	Modèle d'algorithme	60
2.1.1.1	Modèle flot de donnée classique	60
2.1.1.2	Modèle flot de données multipériode	61
2.1.2	Modèle d'architecture	62
2.1.3	Modèle temporel	62
2.1.4	Périodicité stricte vs. périodicité classique	63
2.2	Heuristique d'ordonnancement	65
2.2.1	Assignation	65
2.2.1.1	Étude d'ordonnançabilité	66
2.2.1.2	Algorithme glouton d'assignation	79
2.2.1.3	Algorithme d'assignation de type "Recherche Locale"	82
2.2.2	Déroulement	83
2.2.2.1	Contrainte de périodicité et transfert de données	83
2.2.2.2	Algorithme du déroulement	83

2.2.3	Ordonnancement	84
2.2.4	Phase transitoire et phase permanente	90
2.3	Algorithme exact	92
2.4	Comparaisons	94
2.4.1	Comparaison des taux de fiabilité des algorithmes	96
2.4.2	Comparaison des temps d'exécution des algorithmes	97
2.5	Équilibrage de charge et de mémoire	98
2.5.1	Motivations	98
2.5.2	Algorithme d'optimisation bi-critère (makespan,mémoire)	100
2.5.2.1	Complexité	104
2.5.2.2	Étude théorique de performances	105
3	Ordonnancement temps réel multiprocesseur avec contraintes de précedence et de latence	109
3.1	Définitions	109
3.2	Modèle	110
3.3	Étude du cas d'une seule contrainte de latence	111
3.3.1	Cas monoprocesseur	111
3.3.2	Cas multiprocesseur	111
3.3.2.1	Étude de complexité	113
3.3.2.2	Étude d'ordonnançabilité	115
3.3.3	Algorithme glouton d'ordonnancement	122
3.4	Étude du cas de plusieurs contraintes de latences	126
3.4.1	Cas monoprocesseur	127
3.4.2	Cas multiprocesseur	130
3.4.3	Algorithme glouton d'ordonnancement	130
3.5	Complexités des algorithmes	134
4	Ordonnancement temps réel multiprocesseur de tâches non-préemptives avec contraintes de précedence, de périodicité et de latence	137
4.1	Nature de l'exécution des tâches avec contraintes de périodicité et de latence	137
4.2	Étude d'ordonnançabilité	139
4.3	Heuristique d'ordonnancement multiprocesseur de systèmes de tâches avec des contraintes de précedence, de périodicité et de latence	142
	Conclusion sur la première partie	147
	II Développements logiciels	149
	Introduction	151

5	État de l'art	153
5.1	Introduction	153
5.1.1	Qu'est-ce que le prototypage?	154
5.1.1.1	Plate-forme d'implantation	155
5.1.1.2	Modèle	155
5.1.1.3	Flot d'implémentation	155
5.2	Etat de l'art des outils pour la conception électronique au niveau système	156
5.2.1	Cofluent Studio	156
5.2.2	Gedae	157
5.2.3	Ptolemy II	160
5.2.4	Logiciels dSPACE	161
5.2.5	Giotto	163
5.2.6	MLDesigner	164
5.3	État de l'art des outils pour l'analyse et l'ordonnancement temps réel	165
6	SynDEX multipériode	167
6.1	SynDEX monopériode	167
6.1.1	Présentation générale de la méthodologie AAA	167
6.1.2	IHM	169
6.1.2.1	Modèle d'algorithme	169
6.1.2.2	Modèle d'architecture	169
6.1.3	Mise à plat	170
6.1.4	Adéquation	170
6.1.4.1	Implantation	170
6.1.4.2	Heuristique d'ordonnancement	171
6.1.5	Génération de code	172
6.2	Avantages de SynDEX vis-à-vis des logiciels existants	173
6.3	SynDEX multipériode	174
6.3.1	IHM modifiée	174
6.3.2	Mise à plat modifiée	176
6.3.2.1	Assignation	176
6.3.2.2	Déroulement	176
6.3.3	Adéquation modifiée	177
6.3.4	Génération de code modifiée	178
7	Application de suivi pour train virtuel de CyCabs	181
7.1	Conduite automatique	181
7.2	Architecture matérielle	183
7.2.1	Caractéristique générale d'un CyCab	183
7.2.2	Architecture	184
7.2.3	PC embarqué	185
7.2.4	Caméra FireWire	185
7.3	Algorithme de suivi pour train de CyCab	186

7.3.1	Communication entre les modules LXRT et RTAI	187
7.3.2	Application CycabVitessAutoMultiPeriods	188

Conclusion sur la deuxième partie	193
--	------------

Conclusion générale et perspectives	195
--	------------