

UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER - GRENOBLE  
SCIENCES. TECHNOLOGIE. MÉDECINE

## THÈSE

pour le grade de **Docteur**  
de l'université Joseph Fourier  
Discipline : **Informatique**

préparée au laboratoire VERIMAG - Institut IMAG

École Doctorale **Mathématiques, Sciences et Technologies de l'Information,**  
**Informatique**

présentée et soutenue publiquement le 2 Octobre 2006 par

**Abdelkarim Aziz KERBAA**

Ingénieur d'état en Recherche Opérationnelle

DEA Informatique

DEA Recherche Opérationnelle

### TITRE

Stratégies d'Ordonnancement Conditionnelles  
Utilisant des Automates Temporisés

### JURY

Anatoli IOUDITSKI, Président  
Eric RUTTEN, Rapporteur  
Eugène ASARIN, Rapporteur  
Oded MALER, Directeur de thèse  
Marius Dorel BOZGA, Co-directeur de thèse  
Yasmina ABDEDDAÏM, Examineur

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>13</b>
<b>I</b>	<b>Deterministic Task Graph Scheduling</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Task Graph Scheduling</b>	<b>19</b>
2.1	Problem Definition . . . . .	19
2.2	Types of Schedules . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Modeling Task Graph Scheduling</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Exact Algorithms for Shortest Path</b>	<b>37</b>
4.1	Basic Definitions . . . . .	37
4.2	Path Enumeration Algorithms . . . . .	40
4.3	Non-Enumerative Algorithms . . . . .	44
4.4	Depth-First Shortest Path . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Heuristic Algorithms for Shortest Path</b>	<b>51</b>
5.1	How to Direct the Search . . . . .	51
5.2	Best first BF . . . . .	52
5.3	Best-first DF . . . . .	53
5.4	Bounded-width Best-first BF . . . . .	54
5.5	Best-first DF with Non-standard Backtracking (DFSBT) . . . . .	55
5.6	Estimation function for DAG scheduling . . . . .	60
5.7	Experimental Results . . . . .	62

<b>II</b>	<b>Scheduling under Uncertainty</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>Conditional Precedence Graphs</b>	<b>69</b>
6.1	The problem . . . . .	69
6.2	Non Clairvoyant Scheduling . . . . .	71
6.3	Conditional Precedence Graphs . . . . .	74
6.4	Feasible schedules . . . . .	76
<b>7</b>	<b>Modeling CPG Scheduling Problem</b>	<b>81</b>
7.1	The basic model . . . . .	81
7.1.1	Modeling ordinary tasks . . . . .	82
7.1.2	Modeling Boolean tasks . . . . .	83
7.1.3	The Global Model . . . . .	84
7.2	Global Model as Game Graph . . . . .	85
7.3	Non Lazy Strategies . . . . .	89
7.3.1	Types of strategies . . . . .	90
7.3.2	Greedy strategies . . . . .	92
7.3.3	Restricting to non-lazy strategies . . . . .	94
7.4	Chain Decomposition . . . . .	97
<b>8</b>	<b>Shortest Strategies in Game Graphs</b>	<b>101</b>
8.1	Exact algorithms . . . . .	102
8.1.1	Depth first min-max . . . . .	102
8.1.2	Other method : Breadth first à la Dijkstra . . . . .	105
8.1.3	Domination relations . . . . .	106
8.2	Heuristic : Depth First Search with selective Backtracking . . . . .	108
8.3	Estimation Functions for Conditional Scheduling . . . . .	113
8.4	Experimental Results . . . . .	119
<b>9</b>	<b>Conclusion</b>	<b>121</b>

## Résumé

Cette thèse développe une méthodologie pour résoudre les problèmes d'ordonnement de programmes conditionnels où savoir si une tâche doit être exécutée n'est pas connue à l'avance mais dynamiquement. Le modèle utilisé est à base d'automates temporisés représentant l'espace d'états à explorer. Le problème est donc formulé comme le calcul d'une stratégie gagnante (pire cas optimale) dans un jeu contre l'environnement. Dans un premier temps nous étudions le problème d'ordonnement sur graphes de tâches déterministe puis nous étendons l'étude au problème d'ordonnement avec incertitude conditionnelle. Pour les deux problèmes nous étudions différentes classes d'ordonnements et de stratégies pour réduire l'espace d'états, des décompositions en chaînes pour réduire sa taille, puis nous investiguons plusieurs classes d'algorithmes exactes pour en évaluer l'efficacité et à partir desquels nous dérivons de bonnes heuristiques. Des résultats expérimentaux sur plusieurs exemples de benchmarks sont présentés afin de montrer l'efficacité de chaque algorithme et la précision des heuristiques proposées, puis des bornes théoriques sont déduites pour prouver la garantie de performance pire cas de chaque heuristique.

## Abstract

In this thesis we develop a methodology for solving conditional scheduling problems where knowing if a task have to be executed is not known in advance but dynamically. The model used is based on timed automata representing the state space to be explored. The problem is formulated as a game against the environment from which we search for a winning strategy (worst case optimal). In the first part we study the deterministic problem of the task graph scheduling and then we extend the framework to the conditional problem. For each problem we study different types of schedules and strategies in order to reduce the state space search, decompositions into chains are proposed to reduce its size, then we investigate several exact algorithms in order to evaluate their efficiency and from which we derive some good heuristics. Experimental results on sets of benchmarks are presented to evaluate the efficiency of each algorithm and the precision of the proposed heuristics, then we deduce theoretical bounds to show the worst case guarantee of each heuristic.