

**INFORMATIQUE  
ET SYSTÈMES  
D'INFORMATION**

**Information - Commande - Communication**

**Principes  
et architecture  
des systèmes  
multi-agents**

*sous la direction de*  
**Jean-Pierre Briot**  
**Yves Demazeau**

**hermes**

*Lavoisier*

|  |     |
|--|-----|
| 5.3.2.2. Discussion . . . . .  | 188 |
| 5.3.3. Des environnements de développement . . . . .                         | 189 |
| 5.3.3.1. Panorama des environnements de développement multi-agents . . . . . | 190 |
| 5.4. Exemples d'environnements de développement . . . . .                    | 192 |
| 5.4.1. MACE . . . . .  | 192 |
| 5.4.1.1. Agents . . . . .  | 192 |
| 5.4.1.2. Outils de développement . . . . .                                   | 193 |
| 5.4.1.3. Applications . . . . .  | 193 |
| 5.4.2. DIMA (développement et implémentation SMA) . . . . .                  | 194 |
| 5.4.2.1. Outils de développement . . . . .                                   | 195 |
| 5.4.2.2. Agents . . . . .  | 196 |
| 5.4.2.3. Applications . . . . .  | 196 |
| 5.4.3. MASK ( <i>Multi-Agent System Kernel</i> ) . . . . .                   | 197 |
| 5.4.3.1. Agents . . . . .  | 197 |
| 5.4.3.2. Outils de développement . . . . .                                   | 197 |
| 5.4.3.3. Applications . . . . .  | 199 |
| 5.4.4. Zeus . . . . .  | 199 |
| 5.4.4.1. Agents . . . . .  | 199 |
| 5.4.4.2. Outils de développement . . . . .                                   | 199 |
| 5.4.4.3. Applications . . . . .  | 200 |
| 5.4.5. Discussion . . . . .  | 200 |
| 5.5. Vers des AGL multi-agents . . . . .                                     | 201 |
| 5.6. Bibliographie . . . . .   | 202 |

## Chapitre 6. Application des systèmes multi-agents

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| dans les télécommunications . . . . . | 207 |
| Thierry BOURON                        |     |

|   |     |
|---|-----|
| 6.1. Introduction . . . . .   | 207 |
| 6.1.1. Evolutions des télécommunications . . . . .  | 207 |
| 6.1.2. Intérêts des SMA pour les télécommunications . . . . .                                     | 208 |
| 6.1.3. Historique des recherches sur les SMA<br>dans les télécommunications . . . . .             | 209 |
| 6.2. Applications des systèmes multi-agents dans le <i>web</i> . . . . .                          | 209 |
| 6.2.1. Services d'assistance dans l'organisation<br>et le déroulement de voyages . . . . .        | 209 |
| 6.2.2. Extensions de ces expérimentations au commerce électronique . . . . .                      | 213 |
| 6.2.3. Application des agents à la création de communautés <i>web</i> . . . . .                   | 216 |
| 6.3. SMA dans les services et réseaux de télécommunication . . . . .                              | 218 |
| 6.3.1. Application des SMA aux réseaux privés virtuels . . . . .                                  | 218 |
| 6.3.2. Utilisation de SMA dans le cadre des mobiles<br>de troisième génération et du RI . . . . . | 221 |
| 6.3.3. Application des SMA à la supervision et gestion de réseaux . . . . .                       | 225 |
| 6.4. SMA dans l'ingénierie logicielle des télécommunications . . . . .                            | 227 |

# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| <b>Préface</b> . . . . .   | 15 |
| <b>Introduction</b> . . . . .  | 17 |
| Jean-Pierre BRIOT et Yves DEMAZEAU   |    |
| <b>Chapitre 1. Systèmes multi-agents : principes généraux et applications.</b> . . . . | 27 |
| Brahim CHAIB-DRAA, Imed JARRAS, Bernard MOULIN   |    |
| 1.1. Des agents autonomes aux systèmes multi-agents . . . . .                          | 27 |
| 1.1.1. Qu'est ce qu'un agent ? . . . . .   | 27 |
| 1.1.1.1. Historique . . . . .  | 29 |
| 1.1.1.2. Les applications des agents autonomes. . . . .                                | 32 |
| 1.1.2. Les systèmes multi-agents . . . . .   | 33 |
| 1.1.2.1. Présentation . . . . .  | 33 |
| 1.1.2.2. Historique . . . . .  | 35 |
| 1.2. Interactions et coopération entre agents. . . . .                                 | 37 |
| 1.2.1. Interactions entre agents coopératifs . . . . .                                 | 39 |
| 1.2.2. Interactions entre agents égocentrés. . . . .                                   | 40 |
| 1.3. Coordination entre agents . . . . .   | 41 |
| 1.4. Négociation entre agents. . . . .   | 44 |
| 1.5. Planification dans un environnement multi-agent. . . . .                          | 45 |
| 1.6. Communication entre agents . . . . .  | 47 |
| 1.6.1. Transfert de plans ou de messages. . . . .                                      | 48 |
| 1.6.2. Echange d'informations grâce à un tableau noir . . . . .                        | 49 |
| 1.6.3. Actes de discours et conversations . . . . .                                    | 49 |
| 1.6.4. Communication utilisant KQML, ACL et les conversations . . . . .                | 52 |
| 1.7. Méthodes de conception des systèmes multi-agents . . . . .                        | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 1.8. Quelques exemples d'application des SMA . . . . .        | 55 |
| 1.8.1. Application des SMA aux télécommunications. . . . .    | 56 |
| 1.8.2. Le système ADEPT . . . . .                             | 56 |
| 1.8.3. Le système GUARDIAN . . . . .                          | 56 |
| 1.8.4. Les systèmes d'information coopératifs (SIC) . . . . . | 57 |
| 1.9. Conclusion . . . . .                                     | 60 |
| 1.10. Bibliographie. . . . .                                  | 60 |

**Chapitre 2. Modèles et architectures d'agents . . . . . 71**  
 Olivier BOISSIER

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Introduction . . . . .                             | 71 |
| 2.2. Modèles d'agent. . . . .                           | 72 |
| 2.2.1. Architecture/comportement d'agent. . . . .       | 73 |
| 2.2.2. Descriptions d'un agent . . . . .                | 74 |
| 2.3. Dimensions des architectures d'agents . . . . .    | 75 |
| 2.3.1. Vision coordination . . . . .                    | 76 |
| 2.3.1.1. Architecture d'agent autonome . . . . .        | 77 |
| 2.3.1.2. Architecture d'agent interagissant. . . . .    | 77 |
| 2.3.1.3. Architecture d'agent social. . . . .           | 77 |
| 2.3.2. Vision raisonnement . . . . .                    | 78 |
| 2.3.2.1. Architecture d'agent réactif . . . . .         | 78 |
| 2.3.2.2. Architecture d'agent délibératif . . . . .     | 78 |
| 2.3.2.3. Architecture d'agent hybride. . . . .          | 78 |
| 2.4. Architectures d'agents autonomes . . . . .         | 79 |
| 2.4.1. Architectures d'agents réactifs. . . . .         | 79 |
| 2.4.1.1. MANTA . . . . .                                | 79 |
| 2.4.1.2. Architecture Subsumption . . . . .             | 80 |
| 2.4.2. Architectures d'agents délibératifs . . . . .    | 81 |
| 2.4.3. Architecture d'agent hybride . . . . .           | 83 |
| 2.5. Architectures d'agents interagissants . . . . .    | 84 |
| 2.5.1. Architecture d'agent réactif. . . . .            | 85 |
| 2.5.2. Architectures d'agents délibératifs . . . . .    | 86 |
| 2.5.2.1. <i>Agent Oriented Programming</i> . . . . .    | 87 |
| 2.5.2.2. COSY . . . . .                                 | 87 |
| 2.5.3. Architectures d'agents hybrides . . . . .        | 88 |
| 2.6. Architectures d'agents sociaux . . . . .           | 90 |
| 2.6.1. Architectures d'agents réactifs . . . . .        | 90 |
| 2.6.1.1. Eco-Résolution . . . . .                       | 91 |
| 2.6.1.2. PACORG . . . . .                               | 91 |
| 2.6.2. Architectures d'agents délibératifs . . . . .    | 91 |
| 2.6.2.1. ADEPT . . . . .                                | 92 |
| 2.6.2.2. <i>Cooperative Information Agent</i> . . . . . | 93 |
| 2.6.2.3. Autres architectures . . . . .                 | 95 |

|  |    |
|--|----|
| 2.7. Architectures. . . . .                                  | 96 |
| 2.7.1. Décomposition modulaire. . . . .                      | 97 |
| 2.7.2. Interactions intermodules, cycle de contrôle. . . . . | 97 |
| 2.8. Discussion . . . . .                                    | 98 |
| 2.9. Bibliographie . . . . .                                 | 99 |

### **Chapitre 3. Modèles de communication . . . . . 109**

Jean-Luc KONING et Sylvie PESTY

|  |     |
|--|-----|
| 3.1. Introduction . . . . .  | 109 |
| 3.2. Modes de communication entre agents . . . . .                       | 111 |
| 3.2.1. Communication indirecte <i>via</i> l'environnement . . . . .      | 111 |
| 3.2.2. Communication directe par passage de messages. . . . .            | 112 |
| 3.2.3. Communication par passage de messages et agents . . . . .         | 112 |
| 3.3. De l'échange des connaissances aux langages. . . . .                | 114 |
| 3.3.1. La philosophie du langage ordinaire . . . . .                     | 114 |
| 3.3.1.1. La notion d'acte de langage . . . . .                           | 114 |
| 3.3.1.2. La théorie des actes de langage . . . . .                       | 115 |
| 3.3.2. Langages de communication . . . . .                               | 117 |
| 3.3.2.1. Le langage KQML. . . . .  | 117 |
| 3.3.2.2. Le langage ACL . . . . .  | 119 |
| 3.3.2.3. En résumé . . . . .   | 123 |
| 3.4. Structuration des échanges : les protocoles d'interaction . . . . . | 123 |
| 3.4.1. Description de l'approche par protocole . . . . .                 | 124 |
| 3.4.2. Représentation et spécification des protocoles . . . . .          | 125 |
| 3.4.3. Principaux protocoles d'interaction . . . . .                     | 128 |
| 3.4.3.1. <i>Contract Net Protocol</i> . . . . .                          | 128 |
| 3.4.3.2. Protocoles d'introduction. . . . .                              | 129 |
| 3.4.3.3. Autres protocoles. . . . .                                      | 130 |
| 3.5. Conclusions et perspectives. . . . .                                | 131 |
| 3.6. Bibliographie . . . . .   | 132 |

### **Chapitre 4. Modèles de coordination d'agents cognitifs . . . . . 139**

Amal EL FALLAH-SEGHRUCHNI

|   |     |
|---|-----|
| 4.1. Problématique de la coordination . . . . .                     | 139 |
| 4.2. Perspectives de la coordination. . . . .                       | 140 |
| 4.2.1. Pluralisme . . . . .   | 140 |
| 4.2.2. Recherche de la cohérence globale du système . . . . .       | 141 |
| 4.3. Scénario des agents déménageurs . . . . .                      | 143 |
| 4.4. Dimensions de la coordination . . . . .                        | 144 |
| 4.4.1. Structure d'un agent . . . . .                               | 144 |
| 4.4.2. Modèle de spécification du problème de coordination. . . . . | 145 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.4.3. Mécanismes de coordination :   |            |
| modèles orientés tâches <i>versus</i> modèles orientés agents . . . . .                                       | 148        |
| 4.4.3.1. Modèles de coordination orientés tâches. . . . .   | 148        |
| 4.4.3.2. Modèles de coordination orientés agents . . . . .  | 149        |
| 4.4.3.3. Mécanisme de coordination . . . . .  | 149        |
| 4.4.3.4. Exemple de coordination de plans . . . . .   | 149        |
| 4.5. Approches de coordination d'agents. . . . .  | 151        |
| 4.5.1. Coordination basée sur la résolution distribuée de problèmes . . . . .                                 | 151        |
| 4.5.2. Coordination basée sur les structures organisationnelles . . . . .                                     | 153        |
| 4.5.2.1. Organisations statiques . . . . .  | 154        |
| 4.5.2.2. Organisations dynamiques . . . . .   | 154        |
| 4.5.3. Coordination basée sur les protocoles de coopération . . . . .   | 155        |
| 4.5.4. Modèles de négociation et de prise de décision distribuée . . . . .                                    | 156        |
| 4.5.4.1. Travaux basés sur la théorie des jeux. . . . .   | 156        |
| 4.5.4.2. Travaux basés sur la théorie d'aide à la décision. . . . .   | 158        |
| 4.5.5. Modèles de coordination fondés sur la formation de coalitions . . . . .                                | 159        |
| 4.6. Coordination d'actions par planification multi-agent et distribuée. . . . .                              | 162        |
| 4.6.1. La coordination par synchronisation d'actions . . . . .  | 162        |
| 4.6.2. La planification multi-agent comme spécialisation<br>de la résolution distribuée de problème . . . . . | 162        |
| 4.6.3. La coordination par planification multi-agent<br>centralisée ou distribuée. . . . .                    | 163        |
| 4.6.4. Planification multi-agent centralisée et plans distribués. . . . .                                     | 163        |
| 4.6.5. Planification multi-agent distribuée. . . . .  | 164        |
| 4.6.6. Processus de coordination d'actions par planification . . . . .  | 167        |
| 4.6.7. Exécution concurrente de plans<br>et dynamique de l'environnement. . . . .                             | 170        |
| 4.7. Critères d'évaluation des systèmes de coordination. . . . .  | 171        |
| 4.8. Conclusion . . . . .   | 172        |
| 4.9. Bibliographie . . . . .  | 172        |
| <b>Chapitre 5. Environnements de développement . . . . .</b>  | <b>177</b> |
| Zahia GUESSOUM et Michel OCCELLO  |            |
| 5.1. Introduction . . . . .   | 177        |
| 5.2. Des défis pour les environnements de développement multi-agents . . . . .                                | 178        |
| 5.3. Vers une généricité de l'opérationnalisation des SMA. . . . .  | 180        |
| 5.3.1. Des langages de programmation. . . . .   | 180        |
| 5.3.1.1. Un langage d'agent : AGENT0 . . . . .  | 181        |
| 5.3.1.2. Panorama des langages multi-agents . . . . .   | 182        |
| 5.3.1.3. Discussion. . . . .  | 185        |
| 5.3.2. Des architectures logicielles . . . . .  | 186        |
| 5.3.2.1. Panorama des architectures logicielles<br>génériques utilisées en SMA. . . . .                       | 186        |

|   |     |
|---|-----|
| 6.4.1. FIPA : un standard d'interopérabilité agent . . . . .                                | 227 |
| 6.4.2. Méthodologie, ateliers de conception, de développement<br>et de validation . . . . . | 229 |
| 6.5. Conclusion . . . . .   | 231 |
| 6.6. Bibliographie . . . . .  | 233 |

**Chapitre 7. Systèmes multi-agents et écosystèmes. . . . . 235**

François BOUSQUET et Christophe LE PAGE

|  |     |
|--|-----|
| 7.1. Introduction . . . . .  | 235 |
| 7.2. Ecologie et modélisation de l'individu . . . . .                                      | 236 |
| 7.2.1. De l'équilibre à l'organisation . . . . .   | 236 |
| 7.2.2. Les modèles basés sur l'individu . . . . .  | 240 |
| 7.3. SMA et modélisation des écosystèmes . . . . .   | 243 |
| 7.3.1. Agents, environnement, interactions, organisation . . . . .                         | 245 |
| 7.3.1.1. Agents . . . . .  | 245 |
| 7.3.1.2. Interactions et environnement . . . . .   | 249 |
| 7.3.1.3. Organisation : le spatial et le social. . . . .                                   | 250 |
| 7.3.2. Plates-formes . . . . .   | 252 |
| 7.3.3. Objectif : propriétés génériques<br>ou représentation des connaissances ? . . . . . | 253 |
| 7.4. Quelques éléments de discussion. . . . .  | 255 |
| 7.5. Conclusion . . . . .  | 258 |
| 7.6. Bibliographie . . . . .   | 258 |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>Index . . . . .</b> | <b>267</b> |
|------------------------|------------|