
Collection Architecture, Applications, Service dirigée par Michel Diaz

Réseaux de capteurs

théorie et modélisation

Eric Fleury
David Simplot-Ryl

hermes

Lavoisier

Réseaux de capteurs

théorie et modélisation

Eric Fleury
David Simplot-Ryl



hermes
Science
— publications —

Lavoisier

Table des matières

Préface	I
Serge FDIDA, UPMC	
Introduction	17
Eric FLEURY et David SIMPLOT-RYL	
PREMIÈRE PARTIE. COUCHE PHYSIQUE ET ANTENNES	21
Introduction	23
Jean-Marie GORCE et Guillaume VILLEMAUD	
Chapitre 1. Modélisation du canal radio	25
Jean-Marie GORCE et Guillaume VILLEMAUD	
1.1. Le modèle géométrique parfait	25
1.1.1. Définition	25
1.1.2. Propriétés	26
1.1.3. Bilan de liaison et sensibilité du récepteur	29
1.2. Modélisation déterministe réaliste	30
1.2.1. Atténuation de liaison	30
1.2.2. Affaiblissement moyen	31
1.2.3. Systèmes antennaires	34
1.3. Modélisation stochastique du canal radio	37
1.3.1. Les effets de masque (<i>Shadowing</i>)	37
1.3.1.1. Corrélation spatiale de l'effet de masque	38
1.3.2. Les évanouissements non sélectifs	39
1.4. Synthèse	41
1.5. Bibliographie	42

Chapitre 2. Interface radio	45
Jean-Marie GORCE et Philippe MARY	
2.1. Voisinage probabiliste des nœuds	45
2.2. Modélisation de l'erreur	46
2.2.1. Modulation et erreur symbole	46
2.2.1.1. Modulation M-PSK	48
2.2.1.2. Modulation M-QAM	48
2.2.1.3. Probabilité d'erreur	50
2.2.2. Erreur moyenne en canal à évanouissements	50
2.2.3. Taux d'erreur paquet	51
2.2.4. Taux de coupure en présence d'effet de masque	52
2.2.5. Erreur bloc et codage canal	53
2.2.5.1. Codes blocs	54
2.2.5.2. Codes convolutifs	56
2.3. Interface radio multiantenne	58
2.3.1. Système MIMO	59
2.3.1.1. Capacité d'un lien MIMO	59
2.3.1.2. Multiplexage spatial	61
2.3.1.3. MIMO STBC	61
2.3.2. Systèmes SIMO/MISO	63
2.3.3. Calcul du taux d'erreur symbole/paquet	66
2.4. Synthèse	66
2.5. Bibliographie	67
Chapitre 3. Interférences et partage des ressources	71
Jean-Marie GORCE, Philippe MARY et Guillaume VILLEMAUD	
3.1. Modélisation des interférences	71
3.1.1. Problématique	71
3.1.2. Modèles	73
3.1.2.1. Modèle géométrique	73
3.1.2.2. Modèle de l'interfèrent le plus élevé	74
3.1.2.3. Modèle du SINR	74
3.1.2.4. Statistique des interférences	75
3.2. Accès multiple	76
3.2.1. Capacité de canal	76
3.2.2. Partage temporel	76
3.2.3. Partage en fréquence	78
3.2.4. Partage par codes	81
3.2.5. Modélisation des interférences	84
3.3. Réjection d'interférences	85
3.3.1. Récepteur à maximum de vraisemblance	86
3.3.2. Annuleur successif d'interférence (SIC)	87

3.3.3. Annuleur parallèle d'interférence (PIC)	88
3.3.4. Perspectives et conclusion	90
3.4. Bibliographie	91
DEUXIÈME PARTIE. PRINCIPES ET PROCOLES D'ACCÈS AU MÉDIUM	93
Introduction	95
Claude CHAUDET et Isabelle GUÉRIN LASSOUS	
Chapitre 4. Contraintes et approches pour l'accès au médium	99
Claude CHAUDET et Isabelle GUÉRIN LASSOUS	
4.1. Particularités des réseaux de capteurs	99
4.1.1. Utilisation d'un médium radio	100
4.1.2. Organisation multisaut distribuée	101
4.1.2.1. Approches FDMA/CDMA	102
4.1.2.2. Approche TDMA	104
4.1.3. Mobilité des nœuds	105
4.1.4. Réserve d'énergie limitée	106
4.1.5. Synthèse	107
4.2. Historique résumé des transmissions sans fil en mode paquet	108
4.2.1. ALOHA	108
4.2.2. ALOHA discrétisé	109
4.2.3. Accès multiple avec détection de porteuse	112
4.2.4. Stations cachées, tonalité d'occupation	115
4.2.5. Conclusion – vers une famille de normes	116
4.3. Bibliographie	116
Chapitre 5. Les normes actuelles	119
Claude CHAUDET et Isabelle GUÉRIN LASSOUS	
5.1. IEEE 802.11	119
5.1.1. L'accès au médium radio	120
5.1.1.1. Espacement inter-trames	121
5.1.1.2. Acquiescement des trames	121
5.1.1.3. Attente aléatoire	122
5.1.1.4. Échange RTS - CTS	127
5.1.2. Gestion de l'énergie dans la norme IEEE 802.11	131
5.1.3. Performance du protocole d'accès au médium	132
5.2. Bluetooth (IEEE 802.15.1)	134
5.2.1. L'accès au médium radio	136
5.3. Zigbee (IEEE 802.15.4)	137
5.3.1. Les différentes topologies de communication	138
5.3.2. Accès au médium radio	139

- 5.3.2.1. Accès avec contention 140
- 5.4. Utilisation des normes actuelles dans un réseau de capteurs 141
- 5.5. Bibliographie 143
- Chapitre 6. Au-delà des normes** 147
- Claude CHAUDET et Isabelle GUÉRIN LASSOUS
- 6.1. Équité entre transmissions 148
 - 6.1.1. Fondements théoriques 148
 - 6.1.2. Quelques protocoles 152
- 6.2. Économies d'énergie 155
 - 6.2.1. Minimiser le surcoût protocolaire 156
 - 6.2.2. Contrôle de puissance 157
 - 6.2.3. Mise en veille 158
- 6.3. Synthèse 161
- 6.4. Bibliographie 162
- TROISIÈME PARTIE. GRAPHERS ET MODÉLISATION** 165
- Introduction** 167
- Eric FLEURY et David SIMPLOT-RYL
- Chapitre 7. Graphes : vocabulaire et notions classiques** 169
- Eric FLEURY
- 7.1. Graphes, sommets et arêtes 169
- 7.2. Autres types/familles de graphes 171
- 7.3. Notion de degré et de voisinage 173
- 7.4. Chemins, cycles, distance 173
- 7.5. Connexité 175
- 7.6. L'arbre et la forêt 179
- 7.7. Coloration 181
- 7.8. Bibliographie 184
- Chapitre 8. Découverte de voisinage et contrôle de topologie** 185
- Nathalie MITTON, François INGELREST et David SIMPLOT-RYL
- 8.1. Introduction 185
- 8.2. Voisinage 186
 - 8.2.1. Messages HELLO et table de voisinage 186
 - 8.2.2. Fréquence des messages HELLO 188
 - 8.2.3. Antennes intelligentes 189
- 8.3. Élimination de voisins 191
 - 8.3.1. Arbre couvrant minimal et arbre couvrant minimal local 191
 - 8.3.2. Graphe de voisinage relatif et graphe de Gabriel 194

8.3.3. Graphe de Yao et CBTC	198
8.4. Structuration du réseau	198
8.4.1. Les ensembles dominants ou <i>dominating sets</i>	199
8.4.1.1. <i>Distributed Dominant Pruning</i>	200
8.4.1.2. Un ensemble dominant basé sur les multipoints relais	201
8.4.2. Ensembles dominants préservant la couverture	202
8.4.3. Les ensembles maximaux indépendants	204
8.4.4. Le <i>clustering</i> dans les réseaux sans fil	205
8.4.4.1. <i>Clusters</i> à un saut	205
8.4.4.2. <i>Clusters</i> à k sauts	209
8.4.4.3. <i>Clusters</i> hiérarchiques	212
8.5. Conclusion	213
8.6. Bibliographie	213

Chapitre 9. Applications à la diffusion 219

François INGELREST, Nathalie MITTON et David SIMPLOT-RYL

9.1. Introduction	219
9.2. Optimisation de la diffusion par la réduction du nombre d'émissions	220
9.2.1. Diffusion basée sur les ensembles dominants connexes	220
9.2.2. Diffusion par relais multipoints (MPR)	221
9.2.3. Mécanisme d'élimination de voisins (NES)	224
9.2.4. Diffusion probabiliste	226
9.3. Diffusion avec contrôle de puissance	227
9.3.1. Modèle énergétique	228
9.3.2. Diffusion basée sur le contrôle de topologie	228
9.3.3. Diffusion avec une portée cible	229
9.3.4. Protocoles de diffusion à puissance incrémentale	232
9.3.5. Diffusion avec antennes intelligentes	235
9.4. Conclusion	236
9.5. Bibliographie	237

Chapitre 10. Ordonnancement d'activités 241

Eric FLEURY et Yu CHEN

10.1. Introduction	241
10.2. Ordonnancement sans interférence	244
10.2.1. Coloriage des graphes généraux	247
10.2.2. Heuristiques pour le coloriage	247
10.2.2.1. Bornes inférieures pour $\lambda_{d_1, d_2, \dots, d_k}(G)$	248
10.2.2.2. Bornes inférieures pour $\lambda_{d_k, d_2}(G)$	249
10.2.2.3. Bornes supérieures pour $\lambda_{d_1, d_2}(G)$	250
10.2.3. Coloriage de quelques classes de graphes spécifiques	250
10.3. Ordonnancement léger	251
10.3.1. Bornes sur $\lambda_{d_1, d_2}(G, S)$	255

10.3.2. Heuristiques de $L_S(d_1, d_2)$ -coloration	260
10.4. Ordonnancement périodique (<i>Duty cycling</i>)	261
10.4.1. Introduction et survol de l'ordonnancement périodique d'activité	262
10.4.2. Ordonnancement périodique d'activité et mécanisme de synchronisation	264
10.5. Ordonnancement orienté application	269
10.5.1. Introduction	270
10.5.2. Ordonnancement pour l'agrégation de données	271
10.5.2.1. Construction de l'arbre d'agrégation	272
10.5.2.2. Ordonnancement de l'agrégation des données	274
10.5.2.3. Analyse théorique	275
10.6. Ordonnancement pour le modèle SINR et avec zone de garde	276
10.6.1. Politiques d'ordonnancement pour les modèles avec zone de garde et SINR	277
10.6.2. Ordonnancement pour le modèle avec zone de garde dans le cas de réseaux multicanaux	279
10.6.2.1. Pavage et calcul des portées	280
10.6.2.2. Schéma de routage	281
10.6.2.3. Schéma d'ordonnancement	283
10.7. Conclusion	284
10.8. Bibliographie	285

QUATRIÈME PARTIE. GÉOMÉTRIE STOCHASTIQUE ET MODÉLISATION 291

Introduction 293
 Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS

Chapitre 11. Rappel de géométrie stochastique 297
 Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS

11.1. Processus ponctuels	297
11.1.1. Définitions	297
11.1.2. Exemples de processus ponctuels	298
11.1.2.1. Le processus de Poisson	298
11.1.2.2. D'autres processus ponctuels	301
11.2. Pavages dans le plan	304
11.3. Quelques résultats	305
11.3.1. Formule de Campbell	305
11.3.2. Fonctionnelle génératrice	306
11.3.3. Ensembles aléatoires	306
11.3.4. Exemple avec le modèle booléen	308
11.4. Bibliographie	309

Chapitre 12. Le modèle général du lien radio et résultats associés	311
Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS	
12.1. Impact des lois des puissances sur la probabilité de succès d'une transmission	316
12.2. Ecoute de porteuse avant émission	317
12.3. Bibliographie	319
Chapitre 13. Performances des protocoles de routage	321
Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS	
13.1. Routage sur le graphe de Delaunay	322
13.2. Routages géographiques	323
13.3. Bibliographie	326
Chapitre 14. Connexité du réseau	327
Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS	
14.1. Résultats généraux sur les graphes de communication	330
14.2. Cas d'un réseau infini	331
14.2.1. Modèle booléen	332
14.2.2. Modèle STIRG	333
14.2.3. Prise en compte du protocole MAC	335
14.3. Cas d'un réseau fini	336
14.3.1. Modèle booléen	337
14.3.2. Considération des interférences	337
14.4. Conclusion	338
14.5. Bibliographie	338
Chapitre 15. Capacité des réseaux de capteurs	341
Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS	
15.1. Modèles	342
15.2. Résultats sur les réseaux denses	343
15.3. Résultats sur les réseaux étendus	345
15.4. Conclusion	346
15.5. Bibliographie	347
Chapitre 16. Couverture	349
Anthony BUSSON et Guillaume CHELIUS	
16.1. Modèle	350
16.2. Résultat asymptotique	353
16.3. Bornes sur la probabilité que $V = 0$	354
16.4. Un modèle plus fin	355
16.4.1. Un modèle de mesure plus général	355

16.5. Bibliographie	356
Conclusion	357
Eric FLEURY et David SIMPLOT-RYL	
Index	359

Les réseaux de capteurs offrent un moyen sans égal pour instrumenter le monde physique. Très sophistiqués et en interaction directe avec leur environnement, ces systèmes informatiques et électroniques communiquent principalement à travers des réseaux radio qui en font des objets communicants autonomes. Ils offrent l'opportunité de prendre en compte les évolutions temporelles et spatiales du monde physique environnant. Les réseaux de capteurs se retrouvent au cœur de nombreuses applications couvrant des domaines aussi variés que la santé, la domotique, l'intelligence ambiante, les transports, la sécurité, l'agronomie et l'environnement. Ils connaissent un véritable essor et ce dans divers domaines des STIC : hardware, système d'exploitation, conception d'antenne, système d'information, protocoles réseaux, théorie des graphes, algorithmique distribuée, etc.

Cet ouvrage décrit les aspects fondamentaux des réseaux de capteurs sans fil afin d'offrir au lecteur une vue d'ensemble compréhensible et précise des divers protocoles et concepts développés ces dernières années pour les réseaux de capteurs.

Les auteurs

Eric Fleury est professeur à l'École normale supérieure de Lyon. Il est membre du Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme (LIP), membre de l'Institut Rhône-Alpin des systèmes complexes et responsable de l'équipe INRIA D-NET. Il est responsable scientifique du projet ANR SensLAB.

David Simplot-Ryl est professeur à l'université de Lille 1. Il y dirige l'équipe-projet "Petits Objets Portables et Sécurisés" commune CNRS/INRIA/Université Lille 1. Il est délégué scientifique du centre de recherche INRIA Lille - Nord Europe.

Hermès
Science
— PUBLICATIONS —

www.hermes-science.com

978-2-7462-2122-2

