

Table des matières

Avant-propos	1
Léo MENDIBOURE	
Partie 1. Introduction aux systèmes de transport intelligents coopératifs	3
Chapitre 1. Interactions locales pour les ITS coopératifs : opportunités et contraintes	5
Jean-Marie BONNIN et Christophe COUTURIER	
1.1. Introduction	5
1.2. Interactions locales éphémères : concept et exemples	6
1.2.1. Exemples de services utilisant les interactions locales éphémères	6
1.2.2. Caractéristiques des interactions locales éphémères	8
1.2.3. Avantages des interactions locales éphémères	10
1.2.4. Adéquation des technologies de communication à ce type d'interaction	11
1.3. Les interactions locales au service des ITS coopératifs	14
1.3.1. Services ITS coopératifs	15
1.3.2. Intérêt des interactions locales éphémères pour les ITS coopératifs	16
1.3.3. Technologies de communication V2X	17
1.3.4. Propriétés des services C-ITS construits sur des interactions locales	19
1.3.5. Limites et contraintes de la mise en œuvre de services construits sur des interactions locales	23

1.4. Rôle de l'infrastructure dans les services ITS coopératifs	28
1.4.1. Infrastructures dédiées aux ITS coopératifs.	28
1.4.2. Vers une infrastructure active.	30
1.5. Conclusion	30
1.6. Bibliographie.	32

Chapitre 2. Évolution des cas d'usage pour les systèmes de transport intelligents 35

Sassi MAALOU, Hasnaa ANISS, Marion BERBINEAU et Léo MENDIBOURE

2.1. Introduction.	35
2.2. Les technologies de communication véhiculaire	36
2.2.1. La technologie ITS-G5/IEEE 802.11p.	37
2.2.2. Le standard 3GPP : C-V2X	38
2.2.3. Déploiement de technologies ITS	39
2.3. Évolution des cas d'usage	40
2.3.1. Classification des cas d'usage.	40
2.3.2. Performances requises	43
2.3.3. Exemple de cas d'usage	44
2.4. Challenges et futurs services V2X	51
2.5. Conclusion	52
2.6. Bibliographie.	52

Partie 2. Optimisation de la transmission de données pour les systèmes de transport intelligents coopératifs 55

Chapitre 3. Vers des systèmes de transport intelligents coopératifs efficaces énergétiquement. 57

Mohamed BENZAGOUTA, Ramzi BOUTAHALA, Secil ERCAN, Sassi MAALOU, Hasnaa ANISS, Léo MENDIBOURE, Marwane AYAIDA et Hacène FOUCAL

3.1. Introduction.	57
3.2. Contexte.	58
3.2.1. Services C-ITS	59
3.2.2. Normes de communication	60
3.3. Évaluation expérimentale de la performance du système de diffusion des messages C-ITS	61
3.3.1. Projet C-Roads France et application COOPITS	61
3.3.2. Environnement d'expérimentation et mesures	62
3.3.3. Analyse des résultats	62

3.4. Discussion sur les principales causes	70
3.4.1. Absence d'adaptation aux conditions réelles	70
3.4.2. Duplication d'informations non évolutives	71
3.4.3. Diffusion des informations dans des zones géographiques larges	71
3.4.4. Niveau de sécurité élevé par rapport aux risques encourus.	71
3.5. Recommandations et pistes de recherche	74
3.5.1. Différentiation par conditions de trafic	74
3.5.2. Diffusion intelligente de messages constants.	75
3.5.3. Définition intelligente des zones de diffusion des messages.	75
3.5.4. Optimisation du niveau de sécurité.	75
3.6. Conclusion	76
3.7. Remerciements.	76
3.8. Bibliographie.	77

Chapitre 4. Hybridation efficace des technologies

de communication C-ITS 79

Badreddine Yacine YACHEUR, Toufik AHMED et Mohamed MOSBAH

4.1. Introduction.	79
4.2. Travaux connexes	81
4.3. Définition d'une architecture de réseau hétérogène et conception d'une pile de protocoles	83
4.4. L'apprentissage par renforcement pour la sélection du mode de communication	85
4.4.1. Apprentissage par renforcement profond	86
4.4.2. Correspondance avec les éléments clés de l'apprentissage par renforcement	86
4.5. Évaluation de la performance	91
4.5.1. Cadre et scénario de simulation.	91
4.5.2. Paramètres de l'algorithme DDQL.	93
4.5.3. Résultats des simulations	94
4.6. Conclusion	98
4.7. Bibliographie.	99

Chapitre 5. Utilisation de la technologie SDN pour le contrôle des C-ITS : vers des approches décentralisées 101

Romain DULOUT, Lyliya ALOUACHE, Tidiane SYLLA, Léo MENDIBOURE,
Hasnaa ANISS, Virginie DENIAU et Yannis POUSSET

5.1. Introduction.	101
5.2. Contexte.	103

5.2.1. Les architectures C-ITS contrôlées par SDN (SDVN)	103
5.2.2. La technologie <i>blockchain</i>	105
5.3. Application de la <i>blockchain</i> aux architectures SDVN	107
5.4. Optimisation de la technologie <i>blockchain</i> pour les architectures SDVN	110
5.4.1. De nouvelles architectures.	111
5.4.2. De nouveaux mécanismes	111
5.5. Pistes de futures recherches	112
5.5.1. Positionnement optimal des nœuds <i>blockchain</i>	113
5.5.2. Réduction de la consommation énergétique	113
5.5.3. Intégration entre IA et <i>blockchain</i>	114
5.5.4. Une intégration plus complète entre SDN et <i>blockchain</i>	114
5.6. Conclusion	115
5.7. Bibliographie.	115

Chapitre 6. Application du *Network Slicing* dans les systèmes C-ITS 119

Abdenour RACHEDI, Toufik AHMED et Mohamed MOSBAH

6.1. Introduction.	119
6.2. Communications <i>Vehicle-to-Everything</i> (V2X)	120
6.3. Présentation des technologies V2X.	122
6.3.1. ITS-G5	123
6.3.2. LTE-V2X.	126
6.3.3. 5G-V2X	127
6.4. <i>Network Slicing</i> pour la 5G-V2X	129
6.4.1. <i>Network Slicing</i> pour le C-V2X	131
6.4.2. <i>Network Slicing</i> pour l'ITS-G5	133
6.5. Conclusion	143
6.6. Bibliographie.	144

Partie 3. Nouvelles approches de traitement de données au service des systèmes de transport intelligents coopératifs . . . 147

Chapitre 7. Une nouvelle approche *Cloud* pour les véhicules connectés 149

Geoffrey WILHELM, Marwane AYADA et Hacène FOUCHAL

7.1. Introduction.	149
7.2. État de l'art	150
7.2.1. Standards ETSI pour les STI-C.	150

7.2.2. <i>Vehicular Cloud Computing</i>	152
7.2.3. <i>Information-Centric Networking</i>	153
7.3. Approche GeoVCDN	155
7.3.1. Une architecture <i>Context Cloud</i> centralisée.	155
7.3.2. Protocole de routage géographique ICN	159
7.3.3. Discussion	161
7.4. Modèle analytique.	166
7.4.1. Description du modèle	166
7.4.2. Modélisation du réseau.	167
7.4.3. Modélisation de l'environnement de communication	170
7.4.4. Modélisation de la dissémination des messages	171
7.4.5. Approches	179
7.4.6. Discussion	185
7.5. Évaluation.	185
7.5.1. Description du simulateur	186
7.5.2. Résultats de la simulation pour la charge réseau.	188
7.6. Résultats de la simulation relatifs à l'utilité des données	193
7.6.1. Résultats de la simulation relatifs à la validité des données	193
7.6.2. Résultats de la simulation relatifs à la fraîcheur des données	194
7.6.3. Discussion sur la simulation.	198
7.7. Étude d'un cas d'usage	199
7.7.1. Scénario	200
7.7.2. Discussion	202
7.8. Conclusion	203
7.9. Remerciements.	204
7.10. Bibliographie	204

Chapitre 8. Placement optimal des serveurs *Edge* dans les systèmes C-ITS

209

Sabri KHAMARI, Toufik AHMED et Mohamed MOSBAH

8.1. Introduction.	209
8.2. Contexte.	211
8.2.1. Applications véhiculaires	211
8.2.2. <i>Multi-Access Edge Computing</i> (MEC)	211
8.2.3. Déploiement des systèmes MEC	212
8.3. État de l'art	212
8.4. OptPlacement : placement efficace des serveurs <i>Edge</i>	214
8.4.1. Modélisation du système.	215
8.4.2. Méthodologie et simulation	218
8.4.3. Évaluation des performances	224

8.5. Conclusion	231
8.6. Bibliographie	232

Chapitre 9. L'estimation du risque, une nécessité pour le véhicule automatisé connecté 235

Dominique GRUYER, Sio-Song IENG, Sébastien GLASER, Sébastien DEMMEL, Charles TATKEU et Sabine BELMEKKI

9.1. Contexte et objectifs	235
9.2. Estimation du risque local à l'égo-véhicule : quelques métriques existantes	239
9.3. Développement de stratégies de communication pour étendre le risque : CBL et CBLG	246
9.4. Calcul des risques coopératifs : risque local étendu, risque global	249
9.5. Impact du risque global et anticipation des situations à risque	250
9.6. Discussion	256
9.7. Conclusion	261
9.8. Bibliographie	263

Chapitre 10. Résilience de la perception collective dans les C-ITS : apprentissage profond par renforcement multi-agent 267

Imed GHNAYA, Hasnaa ANISS, Marion BERBINEAU, Mohamed MOSBAH et Toufik AHMED

10.1. Introduction	267
10.1.1. Contexte et problématique	268
10.1.2. Motivation et contribution	269
10.2. État de l'art	271
10.2.1. Normalisation de la perception collective par l'ETSI	272
10.2.2. Techniques de sélection et d'échange des données de perception	273
10.3. Modélisation mathématique de l'environnement de conduite coopérative	274
10.3.1. Échange de données de sensibilisation et de perception	274
10.3.2. Utilité des données de perception dans l'environnement de conduite	277
10.4. Apprentissage multi-agent avec DRL pour la sélection et l'échange de données de perception	278
10.4.1. Conception du système	278
10.4.2. Algorithme d'apprentissage	279

10.5. Simulations, résultats et évaluations	281
10.5.1. Outils, scénarios et paramètres de simulation.	282
10.5.2. Résultats et évaluations.	282
10.6. Conclusion	286
10.7. Bibliographie	286

Partie 4. Sécurisation des systèmes de transport intelligents coopératifs 289

Chapitre 11. Les protocoles délimiteurs de distance. 291

David GÉRAULT, Pascal LAFOURCADE et Léo ROBERT

11.1. Introduction	292
11.2. Relations entre les menaces pour les protocoles DB	294
11.2.1. Modèles de menaces	295
11.2.2. Relation entre les différents modèles de menaces	298
11.3. Vue d'ensemble des protocoles existants	300
11.3.1. Amélioration des attaques	301
11.3.2. Comparaison des protocoles DB	303
11.4. Bibliographie	305

Chapitre 12. Vers une sécurité et une protection de la vie privée sensibles au contexte pour le véhicule automatisé et connecté 311

Tidiane SYLLA, Mohamed Aymen CHALOUF, Léo MENDIBOURE
et Francine KRIEF

12.1. Introduction	311
12.2. Sécurité, protection de la vie privée et confiance des applications du véhicule autonome et connecté	313
12.2.1. Principales applications du véhicule autonome et connecté . . .	313
12.2.2. Services de sécurité, protection de la vie privée et confiance pour le véhicule autonome et connecté	317
12.3. Architecture de sécurité et de protection de la vie privée	319
12.3.1. Sécurité et protection de la vie privée sensibles au contexte . . .	319
12.3.2. Lacunes des solutions existantes	321
12.3.3. Solution proposée	322
12.4. Sélection auto-adaptative des technologies d'accès réseau	328
12.4.1. Infrastructure <i>Edge Computing</i>	330
12.4.2. Orchestration et placement des services	333

12.5. Principaux travaux de recherche à mener	335
12.6. Conclusion	336
12.7. Bibliographie	336

Chapitre 13. Les communications sans fil véhiculaires : risques et détection d’attaques 339

Jonathan VILLAIN, Virginie DENIAU et Christophe GRANSART

13.1. Introduction	339
13.2. Caractéristiques générales des communications sans fil pour les véhicules connectés	340
13.2.1. Les enjeux liés au véhicule connecté.	341
13.2.2. Les communications V2V	342
13.2.3. Les communications V2I.	342
13.3. Caractéristiques des communications sans fil	343
13.3.1. Principe des communications sans fil	343
13.3.2. Communications longue portée	344
13.3.3. Communications courte portée	344
13.3.4. Arrivée de la 5G	345
13.4. Susceptibilités des communications et risques encourus	346
13.4.1. Principe des attaques visant les couches 1 et 2 des systèmes de communication	346
13.4.2. Attaque Sybil.	347
13.4.3. Attaque par trame de désauthentification	347
13.4.4. Attaque par trou noir	348
13.4.5. Attaque par brouillage	348
13.4.6. Attaque par <i>flooding</i>	349
13.4.7. Risques et indicateurs de performance	350
13.5. Détection d’attaques	351
13.5.1. Nécessité d’un système de détection	351
13.5.2. Méthodes de détection	352
13.5.3. IA et détection	354
13.6. Conclusion	357
13.7. Bibliographie	358

Liste des auteurs 361

Index 365