

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de Génie Électrique et de Génie Informatique

Techniques de contrôle de congestion et de dissémination d'informations dans les réseaux véhiculaires

Thèse de doctorat
Spécialité : génie électrique

Monsieur Omar CHAKROUN

Jury: Prof. Roger GOULET	(Président)
Prof. Soumaya CHERKAOUI	(Directrice de Thèse)
Prof. Jalel BEN OTHMAN	(Examineur)
Prof. Denis GINGRAS	(Examineur)
Prof. Ahmed KHOUMSI	(Rapporteur)

Dédicaces

À dieu, mes parents, ma famille et mes amis

RÉSUMÉ

Les réseaux véhiculaires, connus sous le terme VANETs, sont des réseaux impliquant des communications entre deux ou plusieurs véhicules et éventuellement une communication avec des éléments d'infrastructure sur la route. Récemment, le concept de systèmes de transports intelligent a connu beaucoup d'intérêt. Les STI sont des systèmes utilisant les nouvelles technologies de communication sans fil appliquées au domaine du transport pour améliorer la sécurité routière, la logistique et les services d'information. Des défis majeurs ont besoin cependant d'être abordés pour offrir une communication sur la route sécurisée et fiable dans des environnements anonymes et quelquefois hostiles à la communication. Comme dans tout système de communication, les réseaux véhiculaires doivent opérer en respectant des contraintes en termes de qualité de service. Ces contraintes sont d'autant plus strictes quand il s'agit de fournir des services de sécurité sur la route.

Ce projet vise à développer des techniques de communication véhiculaires pour le relayage d'informations de manière fiable et à faible délai entre véhicules voyageant à haute vitesse. Ces techniques devront permettre de respecter des contraintes temporelles sévères afin d'envisager leur utilisation dans des applications de sécurité sur la route.

Pour ce faire, cette thèse proposera d'abord des techniques efficaces de dissémination d'informations utilisant des approches multi-métriques basées sur différentes mesures en temps-réel. Des méthodes de relayage seront proposées qui permettent de diminuer les délais d'acheminement et augmenter la probabilité de réception. Ces méthodes utiliseront, entre autres, des approches d'adaptation de la portée et/ou de la priorité des messages en fonction de leur type et de l'intérêt éventuels des véhicules récepteurs en la réception de ces messages.

Dans un second volet, ce projet proposera des concepts et des méthodes afin de palier au problème de congestion dans les réseaux véhiculaires qui peut résulter conjointement à la dissémination d'informations. Ces concepts et méthodes viseront à respecter la fiabilité exigée par les applications de sécurité, tout en restant conforme aux nouveaux standards de communications véhiculaires.

Mots-clés : Délai, Fiabilité, Routage, Métrique, Pertinence, VANET, IEEE802.11p/WAVE,

REMERCIEMENTS

"Permetts-moi Seigneur, de rendre grâce pour le bienfait dont tu m'as comblé ainsi que mes parents, et que je fasse une bonne œuvre que tu agrées et fais-moi entrer, par ta miséricorde, parmi tes serviteurs vertueux".

J'aimerais remercier mes parents pour leur support que ce soit moral ou matériel durant mes études et pour leur amour inconditionnel. J'aimerais aussi remercier mon frère pour ses conseils, ma fiancée et ma sœur pour leur encouragement tout au long de mes études.

J'aimerais exprimer ma gratitude pour mon superviseur Dr. Soumaya Cherkaoui pour sa patience et ses conseils pertinents durant la réalisation de cette thèse. Sans son support et son encouragement, je n'aurais pas été capable de finir à bien le présent travail.

Tous mes remerciements s'adressent aussi aux Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) pour son support financier dans le cadre du projet CooPerCom et pour les opportunités qu'ils m'ont octroyés afin d'interagir avec d'autres chercheurs et étudiants dans le cadre des conférences annuelles AUTO 21.

Je remercie aussi tous mes collègues et partenaires de travail pour les discussions constructives et pour les bons moments que nous avons eu durant ces années d'études.

Merci

TABLE DES MATIÈRES

<i>Dédicaces</i>	ii
RÉSUMÉ	iii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLES	x
LISTE DES ACRONYMES	xi
CHAPITRE 1.	12
INTRODUCTION	12
1.1 Contexte et problématique	13
1.2 Solutions proposées :	14
1.3 Contribution de la thèse	17
1.4 Plan de la thèse	18
CHAPITRE 2.	21
ETAT DE L'ART21	
2.1 Les systèmes de transport intelligent	22
2.2 Standards de communication dans les VANETs	23
2.2.1 DSRC	23
2.2.2 Protocoles WAVE et IEEE 802.11P	26
2.3 Défis dans les VANETs :	28
2.4 Techniques d'accès au canal niveau MAC	30
2.5 Techniques de dissémination d'information	32
2.5.1 Techniques de dissémination <i>Broadcast</i>	32
2.5.2 Techniques de dissémination <i>Unicast</i>	35
2.5.3 Techniques de dissémination <i>Multicast/Geocast</i>	37
2.6 Techniques de contrôle de congestion	38
2.7 Métriques de décision et de performance	40
2.7.1 Métriques de décision de routage :	40
2.7.2 Facteurs de qualité du routage :	42
2.8 Synthèse:	45
CHAPITRE 3.	47
RÉSUMÉ DES CONTRIBUTIONS	47
3.1 Extension de la portée pour sauts multiples	48
3.1.1 Analyse	49
3.2 Techniques de contrôle de congestion	49
3.2.1 Analyse	51
3.3 Conclusion et synthèse	51
CHAPITRE 4.	55
TECHNIQUE DE DISSEMINATION D'INFORMATIONS MULTI-METRIQUE POUR LES RESEAUX 802.11P	55
4.1 Résumé	56
4.1.1 Résumé en français	56
4.1.2 Abstract	56

4.1.3	Index Term	57
4.2	Introduction	57
4.3	Related works	58
4.3.1	Uni-metric schemes.....	58
4.3.2	Multi-metric schemes.....	59
4.4	Proposed Scheme: MUDDS	60
4.4.1	MUDDS adaptation phase.....	61
4.4.2	MUDDS messages dissemination phase.....	64
4.5	Results overview.....	66
4.5.1	Simulation parameters.....	66
4.5.2	Results analysis	67
4.6	Conclusions And Future Work.....	69
CHAPITRE 5. 70		
CONTRÔLE DE CONGESTION ET DISSEMINATION D'INFORMATIONS SANS		
SURCOUT POUR LES RESEAUX 802.11P.....		
5.1	Résumé	70
5.1.1	Résumé en français.....	70
5.1.2	Abstract	71
5.1.3	Keywords	72
5.2	Introduction	72
5.3	Related works	74
5.4	Problem formulation and motivation.....	77
5.5	Proposed approach: MORS	79
5.5.1	Fully Distributed Congestion Control (FD2C).....	80
5.5.2	Unicast Multi-hop Data Dissemination (UM2D).....	81
5.6	System design analysis	85
5.6.1	Algorithms complexity.....	85
5.6.2	Probabilistic one hop delay analysis	85
5.7	Tests Results and model validation	89
5.7.1	Simulation parameters.....	89
5.7.2	Results analysis	90
5.8	Conclusions And Future Work.....	99
CHAPITRE 6. 100		
DISSEMINATION D'INFORMATION BASEE SUR LA PERTINENCE		
6.1	Résumé	100
6.1.1	Résumé en français.....	100
6.1.2	Abstract	101
6.1.3	Index Term	102
6.2	Introduction and related work.....	102
6.3	Problem formulation and parametric study	103
6.3.1	Minimum Considered Range VS Maximum Achievable Range	104
6.3.2	Messaging frequency, latency and priority	105
6.4	Scheme operation	105
6.4.1	Power/range adjustment.....	106
6.4.2	Priority and relevance based messaging frequency adaptation.....	106
6.4.3	Message dissemination phase.....	107
6.5	System model construction.....	108

6.5.1	Simple standard model	109
6.5.2	Enhanced model with renegeing support	112
6.5.3	RMDS model with priority and renegeing support	114
6.6	Results overview	117
6.6.1	Simulation parameters:	117
6.6.2	Results analysis:	117
6.7	Conclusions And Future Work	130
CHAPITRE 7		129
CONCLUSIONS		129
7.1	Conclusions.....	129
7.2	Limitations	130
7.3	Perspectives	131
LISTE DES RÉFÉRENCES.....		133
LISTE DES PUBLICATIONS.....		139

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 - Architecture en couche de DSRC US (IETF RFC 768/793/2460).....	25
Figure 2.2 - Architecture WAVE et standards relatifs	28
Figure 4.1 - MUDDS architecture.....	62
Figure 4.2 - Sensed data format	63
Figure 4.3 - End-to-end mean delays	67
Figure 4.4 - Packet reception rate (vda,dcf, and MUDDS).....	68
Figure 4.5 - Packet reception rate (MUDDS)	68
Figure 4.6 - MUDDS Power adjustment latency and E2E delay	69
Figure 4.7 - Power adjustment effect on the CD.....	69
Figure 5.1 - P1 and P2 algorithm complexity check.....	85
Figure 5.2 – Packet reception rate corresponding to the optimal relay selection function of distance over communication range ratio.....	91
Figure 5.3 - One hop delay simulation results function of vehicles density and compared to theoretically deduced bounds.....	92
Figure 5.4 - End-to-end MORS mean delay compared to other solutions while varying CD. .	94
Figure 5.5 - End-to-end MORS mean delay varying beta proportionality parameter and subjected to different CD.	94
Figure 5.6 - Packet reception rate in different CD condition.....	95
Figure 5.7 - Packet reception rate (mors) varying β values subjected to different CD conditions.....	96
Figure 5.8 - Packet reception rate (mors(beta=0.1)) while varying CD conditions.....	96
Figure 5.9 - Resulting PDR metric comparison	97
Figure 5.10 - Time percentage of electing the best relay	98
Figure 5.11 - MORS Power adjustment latency and E2E delay	99
Figure 5.12 - Power adjustment effect on the CD.....	100
Figure 6.1 - Priority and relevance management in RMDS scheme.....	108
Figure 6.2 - System model simplification	109
Figure 6.3 - Pre-emptive priority system model	110
Figure 6.4 - Simplified renegeing model	113
Figure 6.5 - Pre-emptive priority system model (RMDS)	115
Figure 6.6 – Messages loss probability comparison using one messages class with renegeing vs. RMDS design ($\lambda_i = 0.5 \lambda$)	119
Figure 6.7 – Messages loss probability comparison using one messages class with renegeing/rejection for 20ms/100ms delay barriers.....	120
Figure 6.8 - Distant messages rejection probability when varying proportionality between local/distant messages arrival rate.....	121
Figure 6.9 – distant messages renegeing probability while varying proportionality between local/distant messages	121
Figure 6.10 – Local messages rejection probability while varying proportionality between local/distant messages	122
Figure 6.11 – Messages mean waiting time comparison between RMDS and the rejection policy depending on the workload	123

Figure 6.12 – Local messages mean time in the system (RMDS).....	124
Figure 6.13 – Distant messages mean time in the system (RMDS)	124
Figure 6.14 – Maximum allowable distant messages arrival rate function of the local messages arrival rate (100ms)	126
Figure 6.15 – Local messages mean waiting time in the system with limiting delay (100ms)	126
Figure 6.16 – Distant messages mean waiting time in the system with limiting delay (100ms)	126
Figure 6.17 – Maximum allowable distant messages arrival rate function of the local messages arrival rate (20ms)	127
Figure 6.18 – Distant messages rejection probability when varying proportionality between local/distant messages arrival rate (20ms).....	128
Figure 6.19 – Local messages rejection probability when varying proportionality between local/distant messages arrival rate (20ms).....	129
Figure 6.20 – Power and messaging frequency adjustment effect on the CD (the case of safety messages).....	130

LISTE DES TABLES

Tableau 2.1 - Limite de puissance par canal dans DSRC	25
Tableau 2.2 - Métriques de routage VS métriques de performance.....	44
Tableau 4.1 - Example of local link availability table (node a, T = 100 time units).....	66
Tableau 4.2 - Global simulation parameters	66
Tableau 5.3 - Global simulation parameters	90
Tableau 5.4 - Maximum theoretical and simulation delay bound deviation function of vehicles density	92
Tableau 6.1 - Safety application requirements.....	105
Tableau 6.2 - Global simulation parameters	117

LISTE DES ACRONYMES

Acronyme	Définition
AC	Access Category
CALM	Communication Architecture for Land Mobile
CCH	Control Chanel
CD	Communication Density
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance
CW	Contention Window
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DTIM	Delivery Traffic Indication Message
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communication Commission
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IPv6	Internet Protocol version 6
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation System
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad Hoc Network
MDA	Mesh Deterministic Access
MUDDS	Multi-Metric Unicast Data Dissemination Scheme
OBU	On Board Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PIRE	Puissance Isotropique Rayonnée Équivalente
QoS	Quality of Service
RSS	Received Signal Strength
RSU	Road Side Unit
SCH	Service Chanel
TRP	Taux de Reception de Paquet (PRR)
TS	Time Slot
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-Vehicle
VANET	Vehicular Ad Hoc Network
VDA	Vehicular Deterministic Access
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment
WBSS	WAVE Basic Service Set
WiFi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WSMP	WAVE Short Message Protocol

CHAPITRE 1.

INTRODUCTION

Les transports routiers constituent un moteur important de l'économie actuelle. Les situations et les exemples qui illustrent l'intérêt général de ce secteur sont innombrables. Cependant, tout cet intérêt présente aussi des inconvénients et de taille. Des études ont été menées dans différents pays d'une part, sur l'impact qu'a le transport routier sur l'économie qu'elle soit locale ou mondiale, mais d'autre part sur les périls encourus et les pertes de vies humaines. Dans ce dernier volet, on compte plus de 1.2 million de personnes tuées et 50 million de personnes blessées chaque année et ces chiffres ne cessent d'augmenter vue l'explosion de l'industrie automobile et la démocratisation des véhicules (Mathers, 2005). Par ailleurs, une étude menée par l'organisation mondiale de la santé (Peden, 2004) montre que les accidents de la route coûtent près de 2% du produit national brut d'un pays, ce qui correspond à une somme de plus de 500 milliards de dollars canadiens par année.

La présente thèse s'intéresse à la sécurité routière en général et celle des automobilistes en particulier. Elle vise à améliorer la sécurité routière de ces derniers en introduisant des moyens technologiques de prévention et de réaction en cas d'accidents en faisant usage de techniques et protocoles de communication. La convergence des nouvelles technologies d'information et de communications, en vue de la création de nouveaux outils de prévention et mitigation des accidents, en plus d'offrir de nouveaux services, est nécessaire pour perfectionner nos modes de transports routiers. Ces nouveaux outils permettront l'introduction d'un certain niveau d'intelligence dans les infrastructures routières et dans les véhicules qui deviendront eux aussi de plus en plus intelligents. Ils permettront également l'intégration de moyens de communication sans fils offrant ainsi un échange d'information dans le but de desservir une multitude d'applications. Cette convergence se traduit par le nouveau concept de Systèmes de Transport Intelligent (STI) (en anglais, *Intelligent Transportation Systems (ITS)*).

1.1 Contexte et problématique

Les réseaux véhiculaires ad hoc (VANETS) sont désignés afin de permettre un échange de petite à moyenne portée entre véhicules ou entre véhicules et équipements d'infrastructure. L'un des services supporté par de tel réseau est l'intégration d'applications de sécurité. Le gain potentiel relié à de telles applications est la réduction des accidents de la route puisque une telle communication permet d'étendre la perception des conducteurs. L'extension de cette perception se base sur un échange de messages véhiculant une information sur les situations à risque, l'état de la route et des intentions des véhicules voisins. De par la nature des messages de sécurité, cet échange doit être fait à temps-réel puisque les situations qui y sont reliées sont généralement critiques.

Les réseaux véhiculaires ad hoc supportent deux schémas de communication; la communication entre véhicule et infrastructure (en anglais, *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I)), et la communication dans une architecture collaborative entre véhicules (en anglais, *Vehicle-to-Vehicle* (V2V)). L'architecture de communication V2I nécessite l'intégration d'une infrastructure de communication dans le réseau routier; celle-ci peut être relativement onéreuse en termes de coût et de gestion. L'architecture collaborative V2V de type réseau ad hoc est assez simple à produire, mais nécessite d'affiner les règles et les méthodes d'accès au canal partagé par les véhicules en vue d'un déploiement fiable à grande échelle. Des mécanismes de synchronisation temporelle entre les équipements communicants afin d'introduire un certain ordre dans la communication ont été proposés et de nouvelles techniques permettant le partage équitable des ressources du réseau ont été investiguées. Cependant de nombreux problèmes persistent, notamment en ce qui a trait à garantir une réception fiable entre véhicules au-delà d'une certaine portée. Comme la nature des échanges dans ces réseaux le suggère, il est évident que l'une des problématiques relatives aux VANETS a trait à des véhicules évoluant à grande vitesse et qui rejoignent le réseau de manière imprévisible et transitoire. Par ailleurs, vu l'état de congestion actuel des infrastructures routières et en considérant que chacun des véhicules est considéré supporté par la technologie, ces réseaux opèreront constamment dans un environnement congestionné et à la limite de la saturation en termes de connectivité.

En se basant sur ce qui précède, des récusations doivent être abordées concernant la fiabilité et le respect des contraintes de QoS des échanges. En général, un point clé assurant un service d'information robuste s'appuie sur la capacité de fournir et de gérer des mécanismes d'accès et de contrôle adaptés aux conditions de communication. Ces traits doivent être octroyés à tout véhicule afin de permettre un accès fiable et quasi-instantané à l'infrastructure de communication. Cependant, l'utilisation d'un canal partagé ne facilite en rien le déploiement d'une telle technologie et par conséquent les règles et méthodes d'accès doivent être affinés afin d'assurer le bon fonctionnement global du réseau.

Cette thèse s'intéresse à l'échange de messages de sécurité en général, dans un schéma de communication collaboratif V2V en particulier et se situe en continuité des travaux initiés par d'autres chercheurs. Elle vise deux principaux objectifs : (1) proposer de nouvelles approches pour une dissémination fiable et à faible surcoût d'informations dans les VANET tout en respectant les contraintes sur les délais d'acheminement, et (2) introduire de nouvelles techniques de contrôle de congestion afin d'éviter de surcharger le réseau et causer son dysfonctionnement.

Dans ce travail, on se propose de concevoir et développer des techniques pour réaliser un schéma efficace de relayage de l'information entre véhicules pour le cas des messages d'urgence. Ce schéma ; (a) devra intégrer des approches comprenant des mécanismes adaptatifs en fonction de l'état du réseau et de la fiabilité des transmissions, afin de réduire la charge de communication, (b) devra respecter les contraintes de QoS spécifiées dans les standards de communication pour les ITS en général, et les contraintes temporelles de délai et de fiabilité de transmission en particulier, (c) devra étendre ces techniques de relayage de messages en supportant la notion de contexte et de distance critique. Toutes ces techniques doivent être opérées dans des environnements à haute mobilité et doivent coexister en parallèle avec d'autres types d'échanges supportant des applications variées.

1.2 Solutions proposées :

Ce travail de thèse propose des approches de fiabilisation des échanges de messages de sécurité dans tous les aspects, qu'elles soient en termes de maintien ou de gestion de la connectivité, support de hautes mobilités et support de hautes densités de communications.

Cependant, ce travail identifie des hypothèses clés afin de mener à bien une telle initiative comme suit.

1. Des services hétérogènes peuvent coexister afin de supporter une variété d'applications. Des architectures hybrides peuvent aussi être déployées et leur impact sur les services de sécurité doit être cerné.
2. Chacun des véhicules est supposé être équipé de moyens de communication conformes au standard IEEE 802.11p/DSRC et implémentant les règles de base d'accès concurrentiel au canal de contrôle partagé.
3. Il est supposé que les véhicules aient une capacité de calcul suffisante afin de réaliser la totalité des opérations requises dans des délais raisonnables. Entre autres, des opérations de détection du voisinage et de mesures temps-réel dans leur environnement immédiat.

Les principales préoccupations pour la réalisation de schémas de communications fiables et robustes peuvent être résumées dans les questions qui suivent, auxquelles les solutions proposées seront adressées tout au long de ce travail de recherche.

1. Sachant que les réseaux véhiculaires auront tendance à opérer dans des conditions de congestion, quels sont les outils à utiliser afin de réduire la charge de communication sur le réseau?

Face à cette problématique, une première approche d'adaptation de la puissance d'émission en fonction de l'évaluation du taux de réception de messages a été introduite. Cette évaluation, dans une première phase, se base sur une technique de sur-écoute afin d'estimer le nombre des envois et de réceptions localement (utilisation d'acquiescement implicite comme indicateur d'une bonne réception). Cette première ébauche a été publiée dans un papier de conférence IWCMC et est discutée dans le chapitre 4 section 4.4.1. Une deuxième méthode d'adaptation de la puissance est initiée par des mesures de la probabilité de réception en se basant sur l'évaluation de la distance et la puissance actuelle d'émission. Cette deuxième approche est présentée sous forme d'un processus de maximisation de la portée de

communication dans le chapitre 5 section 5.4.1. Une troisième technique de réduction de charge est proposée dans le chapitre 6 section 6.4. Elle traite de l'ajustement de la priorité et la fréquence d'envoi de messages comme technique pour relaxer le réseau des envois non-pertinents.

2. Considérant le changement relativement rapide de la topologie du réseau due à la grande vitesse des véhicules, comment assurer le bon choix des nœuds relais afin d'éviter la déconnection du réseau?

Dans un environnement aussi dynamique que celui des réseaux véhiculaires, l'utilisation d'un routage classique n'est pas une approche envisageable vu les échanges nécessaires pour le maintien et la mise à jour des tables de routage. Une première approche se basant sur des mesures locales de distance et de la durée de disponibilité de liens est discutée dans le chapitre 4 section 4.4.2. Une seconde approche plus adéquate est abordée dans le chapitre 5 section 5.4.2 dans laquelle une mesure de distance est combinée avec une estimation de la probabilité de réception afin d'élire le relai optimal qui permettra d'assurer le transfert du message à la prochaine section de la route. Cette même approche intègre une décision se basant sur un processus d'optimisation sous-contrainte tout en supportant une adaptabilité de la proportionnalité entre les deux métriques.

3. Sachant que la réception d'un message au-delà d'une certaine distance n'aura pas le même impact que si celle-ci est faite dans le voisinage immédiat de la source du danger, comment adapter le schéma de relayage afin qu'il prenne en charge une telle information tout en introduisant un relayage contextuel?

Dans les VANETS, un message est généré selon un degré de priorité traduisant l'amplitude de l'évènement à reporter. Après sa génération, ce message est véhiculé sur une distance habituelle d'un km puis est détruit. Cependant, une concurrence entre messages de même priorité existe au niveau d'un nœud pour l'accès au canal. Considérons deux messages de même priorité, l'un véhiculé d'une distance d et l'autre est généré localement (voisinage immédiat). En arrivant au niveau d'un nœud relai, ces deux messages vont devoir contester afin d'avoir accès au canal. Dans ce cas, le message relayé après une certaine distance n'est pas

considéré aussi critique que celui reportant un danger immédiat. Afin de remédier à ce comportement, nous proposons dans le chapitre 6 section 6.5, une modification sur la manière de gérer les priorités de messages selon le contexte. Cette modification traduit l'intérêt d'un véhicule en la réception d'un message après une certaine distance.

En résumé, les schémas proposés doivent être fiables tout en évitant d'introduire une charge de signalisation pénalisante pour les performances du réseau. Ces techniques doivent relayées les messages en respectant les contraintes temporelles et de fiabilité et se doivent d'être conformes au standard de communication dans les VANETS. De plus, la mobilité doit être supportée afin de traduire le comportement réel des véhicules et des environnements hautement congestionnés doivent être simulés afin d'évaluer les limites des différentes approches.

1.3 Contribution de la thèse

La principale contribution du présent travail est la proposition de techniques de dissémination et de contrôle de congestion adéquates pour les réseaux véhiculaires. Ces techniques permettent d'introduire et de propager de l'intelligence entre véhicules afin de réduire la probabilité d'occurrence d'accidents ou afin d'améliorer l'expérience de conduite. Les architectures proposées font interagir de nouveaux concepts et méthodes d'optimisation dans le but de rendre les échanges fiables, tout en assurant une grande portée, et à faible trafic de contrôle. Comme résultats, ces architectures permettent de propager plus rapidement des informations critiques tout en contrôlant la charge de communication dans le réseau. Elles permettent de préserver les ressources réseaux et apportent une valeur ajoutée, permettant de mieux gérer de tels réseaux dans des conditions de saturation. Les principaux apports de cette thèse peuvent être listés comme suit :

- La proposition de techniques de contrôle de congestion basées sur l'adaptation de la portée de communication tout en introduisant des améliorations sur ce qui déclenche une telle adaptation.

- La définition de schémas de communication multi-sauts pour la dissémination des messages d'urgences à faible surcoût et en se basant sur des mesures de métriques locales sans nécessité d'échange particulier.
- L'introduction d'une proportionnalité entre les métriques de bases composant la multi-métrique afin de s'adapter aux exigences d'applications spécifiques.
- La définition des notions de zone critique, de distance de pertinence, et de mécanismes de re-factorisation de messages.
- L'introduction d'un schéma de dissémination selon le contexte intégrant une adaptation de la priorité des messages en fonction de la distance de propagation.

Les contributions de cette thèse encouragent le déploiement d'applications relatives à la sécurité des automobilistes évoluant dans un contexte à haute variabilité. Différentes applications exprimant des contraintes variées et sévères peuvent être supportées et profiter des améliorations introduites dans ce travail de recherche. Ceci est d'autant plus intéressant puisque les échanges de messages de signalisation sont réduits au strict minimum favorisant ainsi une résolution locale au lieu d'une résolution globale. Ces apports peuvent être directement portés sur de nouvelles architectures de communication comme démontré lors du déploiement d'une application d'évitement de collisions avec des piétons (Abid, 2013).

1.4 Plan de la thèse

Ce document de thèse est divisé en deux principales parties. La première partie introduit les différents concepts et une revue de la littérature reliés à ce projet de thèse. Premièrement, une description technique de DSRC et de 802.11p est présentée, vu que ces dernières constituent des technologies de communication sans-fils en cours de standardisation pour la communication véhiculaire. Deuxièmement, des références sur des initiatives d'optimisation des techniques d'accès au canal partagé sont abordées. Troisièmement, une discussion des principales techniques de dissémination d'informations dans les VANETS est introduite. La quatrième partie, introduit les techniques de contrôle de congestion opérées dans les réseaux véhiculaires. Cinquièmement, une revue exhaustive des métriques de décision et de performances est présentée afin d'initier une discussion sur celles à adopter. Une analyse sous forme de synthèse est présentée dans la dernière section afin de souligner les approches les

plus adéquates pour les réseaux véhiculaires et qui seront abordées afin de constituer des solutions fiables et efficaces.

La deuxième partie de ce document de thèse introduit les architectures de dissémination d'informations et de contrôle de congestion proposées. Le troisième chapitre liste les différentes contributions relatives à ce projet de thèse accompagnées d'analyses permettant de cerner leurs impacts ainsi que les améliorations pouvant y être apportées. Le quatrième chapitre adresse les problématiques de tempête de diffusion et de déconnexion du réseau et introduit une première architecture simple assurant la propagation efficace d'information (Chakroun, 2011). Le cinquième chapitre, introduit une approche de dissémination et de désignation de relais plus élaborée et introduisant une approche de maximisation de la portée tout en assurant un certain niveau de fiabilité. Cette approche est basée sur la résolution d'un problème de maximisation sur la base d'un saut (Chakroun, 2014b). Le sixième chapitre, aborde une technique de dissémination basée sur la notion de contexte. Elle introduit une adaptabilité de la priorité des messages combinée avec une adaptation de la portée et de la fréquence de messages (Chakroun, 2014c). Le septième chapitre expose les conclusions relatives à cette thèse ainsi que des perspectives pour des développements futures permettant un déploiement efficace et adapté pour des applications de sécurité routière.

Partie I : Les bases des réseaux véhiculaires

CHAPITRE 2.

ETAT DE L'ART

L'introduction de l'intelligence dans le domaine de l'automobile vise à améliorer le quotidien des passagers et conducteurs. Les applications sont innombrables et vont du confort à la sécurité en passant par le divertissement et les services. Tous ces concepts sont l'objet d'intérêt de ce qui est appelé communément "les systèmes de transport intelligent (STI)".

L'idée est d'introduire un certain niveau d'intelligence dans les véhicules en les dotant de capteurs, d'actionneurs et d'unités de traitement. À ce niveau, on parle d'intelligence embarquée locale (seul une vision locale et dans l'environnement proche est établie). Afin de construire une vision globale de tout le trafic et de l'environnement, les véhicules dotés d'intelligence doivent s'échanger des informations. En se basant sur plusieurs vues locales, une vue globale peut être construite par le biais d'échange d'informations. Plusieurs normes et techniques de communications sans fils ont été introduites comme 802.11p (Jiang, 2008b) et des plages de fréquences ont été dédiées pour la communication véhiculaire comme la communication dédiée à faible portée (En anglais, *Dedicated Short Range Communication standard* (DSRC) (Jiang, 2008b)), accès sans fils dans les environnements véhiculaires (En anglais, *Wireless Access in Vehicular environment* (WAVE)).

Le présent chapitre traite de la partie communication des systèmes de transport intelligents, il présente une étude sur les techniques de propagation de l'information dans les VANET. Cette étude met l'accent sur les métriques de performances et de décision utilisées pour améliorer ou optimiser la manière de véhiculer l'information. Ce chapitre se compose de huit sections; la première section introduit les systèmes de transport intelligents. La seconde section aborde les deux principaux standards de communication véhiculaire; DSRC et le 802.11p. La troisième section introduit les principaux défis liés à ces technologies dont quelques solutions proposées seront détaillées dans les trois sections qui suivent. La septième section traite des métriques de décision ou de performance pouvant être utilisées afin d'introduire une adaptabilité du comportement du réseau. Enfin, la dernière section présente la synthèse de ce chapitre.

2.1 Les systèmes de transport intelligent

Les STI désignent les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication au domaine des transports. Ces systèmes sont dit "Intelligents" puisqu'ils reposent sur des fonctions généralement associées à l'intelligence : capacités sensorielles, mémoire, communication, traitement de l'information et comportement adaptatif. Leurs champs d'activité vont de l'optimisation de l'utilisation des infrastructures de transport à la sécurité en passant par les services. Les STI s'intègrent dans un contexte de développement durable et font l'objet d'une compétition économique serrée au niveau mondial.

Les technologies utilisées dans les STI varient, allant de systèmes de gestion basiques (comme les systèmes de gestion des intersections, les panneaux à messages variables, les radars automatiques ou la vidéo-surveillance) aux applications plus avancées qui intègrent des données en temps-réel se basant sur un retour d'informations de nombreuses sources (comme les informations météorologiques, les systèmes de dégivrage des ponts, les systèmes de navigation embarqués informant des temps de parcours en temps réel etc.).

Diverses technologies de communication sans fil sont proposées pour les systèmes de transport intelligent. Des communications à courte portée (moins de 350 mètres) peuvent être réalisées à l'aide de protocoles IEEE 802.11p ou par DRSC, un protocole dédié aux communications à courte portée pour usage automobile. Des communications à plus longue portée ont été introduites en réutilisant les infrastructures réseaux préexistantes tels que le WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), le GSM, (*Global System for Mobile Communications*). Les communications à longue portée utilisant ces méthodes sont des technologies déjà bien établies mais à la différence des protocoles à courte portée, elles nécessitent le déploiement d'une infrastructure très extensive et coûteuse.

De récentes avancées dans l'électronique embarquée ont conduit à disposer dans les véhicules de processeurs informatiques plus performants. Un véhicule aurait entre 20 et 100 modules individuels à base de microcontrôleurs interconnectés en réseau. Ces modules sont régis par des systèmes d'exploitation temps réel. Les nouvelles plateformes informatiques embarquées permettent l'implantation d'applications logicielles plus sophistiquées, incluant du contrôle de processus informatique à base de modélisation, d'intelligence artificielle et de l'informatique omniprésente.

2.2 Standards de communication dans les VANETs

Les réseaux véhiculaires sont la base des échanges pour les systèmes de transport intelligent. Du point de vue architectural, la communication dans un VANET peut être soit: (i) véhicule-à-véhicule (en anglais, *Vehicle-to-Vehicle* (V2V)), (ii) véhicule-à-infrastructure (en anglais, *Vehicle To Infrastructure* (V2I)). Les nœuds peuvent éventuellement servir de passerelle vers d'autres réseaux et services. Les réseaux VANET sont constitués de véhicules, équipements de l'infrastructure (capteurs, signalisation, points de services etc.) et centres de gestion et de contrôle. Ils se chargent de connecter les différents intervenants dans les applications STI, définir les protocoles de communication et gérer convenablement le routage et la dissémination de messages.

Industriels et organismes internationaux s'intéressent au développement de nouveaux protocoles réseaux et standards de communication pour les applications STI. Plusieurs initiatives ont été proposées tel que Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) introduite par l'IEEE (Jiang, 2008b). Cette initiative vise à étendre la famille de protocoles 802.11 pour développer un protocole adapté aux applications ITS. L'ISO a lancé un standard se basant sur Internet Protocol version 6 (IPV6) pour la communication véhiculaire, Communications Access for Land Mobiles (CALM). D'autres solutions pour le support de la mobilité ont été introduites tel que Mobile IP et NEMO proposés par l'IETF.

2.2.1 DSRC

Un spectre de fréquences dédié aux communications dans les STI a été attribué dans différentes régions du monde. DSRC (Dedicated Short Range Communication) œuvre dans la bande de fréquence des 5.9 GHz aux États-Unis et en Europe. Ces bandes de fréquences sont définies respectivement par le FCC (Federal Communication Commission) et par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Le Japon utilise la bande de fréquence 5.8GHz.

DSRC s'étend sur la bande de fréquence [5.850GHz, 5.925GHz] (75MHz) pour soutenir la communication de courte et de moyenne portée (entre 300 et 1000 m) avec un taux de transfert de données allant de 3 à 27Mbps. Cette bande de fréquence est segmentée en 7 canaux de 10 MHz chacun avec les premiers 5Mhz utilisée comme intervalle de garde. L'ensemble des

canaux se répartissent en un canal de contrôle (CCH) et six canaux de service (SCH). Les numéros de canaux sont déterminés par leur décalage de la fréquence centrale 5.000 GHz avec des unités de 5 Mhz (les premiers 10 Mhz sont répartis de 5.855 à 5.865 GHz avec une fréquence centrale de 5.860 GHz qui est 860 Mhz au-dessus de la ligne de base, c'est un décalage de 172 unités de 5 Mhz d'où le numéro 172). Les canaux 174 et 176 peuvent être combinés afin de former le canal 175 de 20 Mhz, tel est le cas aussi pour les canaux 180 et 182. Le canal de contrôle est réservé à la transmission des messages de gestion du réseau et aux messages de très haute priorité tels que les messages critiques liés à la sécurité routière. Les six autres canaux sont quant à eux dédiés à la transmission des données des différents services annoncés sur le canal de contrôle. Le spectre DSRC est partagé entre les OBU (On-Board Unit) et les RSU (Road-Side unit) dans un espace donné. Avec ce partage une interférence est possible entre un nœud qui émet et un autre qui écoute. Deux types d'interférences sont identifiées; interférence co-canal (si les deux nœuds utilisent le même canal), l'interférence entre deux canaux (si les deux nœuds sont dans deux canaux différents mais qui sont spectralement proche). Le problème d'interférence a amené le FCC à réguler les puissances d'émissions des équipements DSRC comme moyen de contrôler les deux types d'interférences. Le Tableau 2.1 illustre les puissances d'émission par canal en fonction du type d'équipement (PIRE désigne la puissance isotropique rayonnée équivalente en dbm, sortie désigne la puissance maximale en sortie de l'antenne en dbm et les lettres S et C désigne respectivement Service et Contrôle). La Figure 2.1 illustre l'architecture en couche pour la communication DSRC pour les États-Unis.

Fonctionnement : Un RSU annonce aux OBUs 10 fois par seconde, les applications qu'il supporte et sur quel canal chacune de celles-ci est transmise. Un OBU alterne entre le canal de contrôle 172 et l'un des canaux de services. Il authentifie la signature digitale du RSU et exécute les applications de sécurité d'abord, puis change pour les autres canaux et exécute les applications de services. Enfin, il revient au canal 172 et il réitère le processus.

Tableau 2.1 - Limite de puissance par canal dans DSRC

#canal	RSU Public		RSU Privé		OBU Public		OBU Privé		Plage Freq. (Type canal)
	Max sortie	Max PIRE	Max sortie	Max PIRE	Max sortie	Max PIRE	Max sortie	Max PIRE	
172	28.8	33	28.8	33	28.8	33	28.8	33	5855-5865 (S)
174	28.8	33	28.8	33	28.8	33	28.8	33	5865-5875 (S)
176	28.8	33	28.8	33	28.8	33	28.8	33	5875-5885 (S)
178	28.8	44.8	28.8	33	28.8	44.8	28.8	33	5885-5895(C)
180	10	23	10	23	n.d.	n.d.	20	23	5895-5905 (S)
182	10	23	10	23	n.d.	n.d.	20	23	5905-5915 (S)
184	28.8	40	28.8	33	28.8	40	28.8	33	5915-5925 (S)

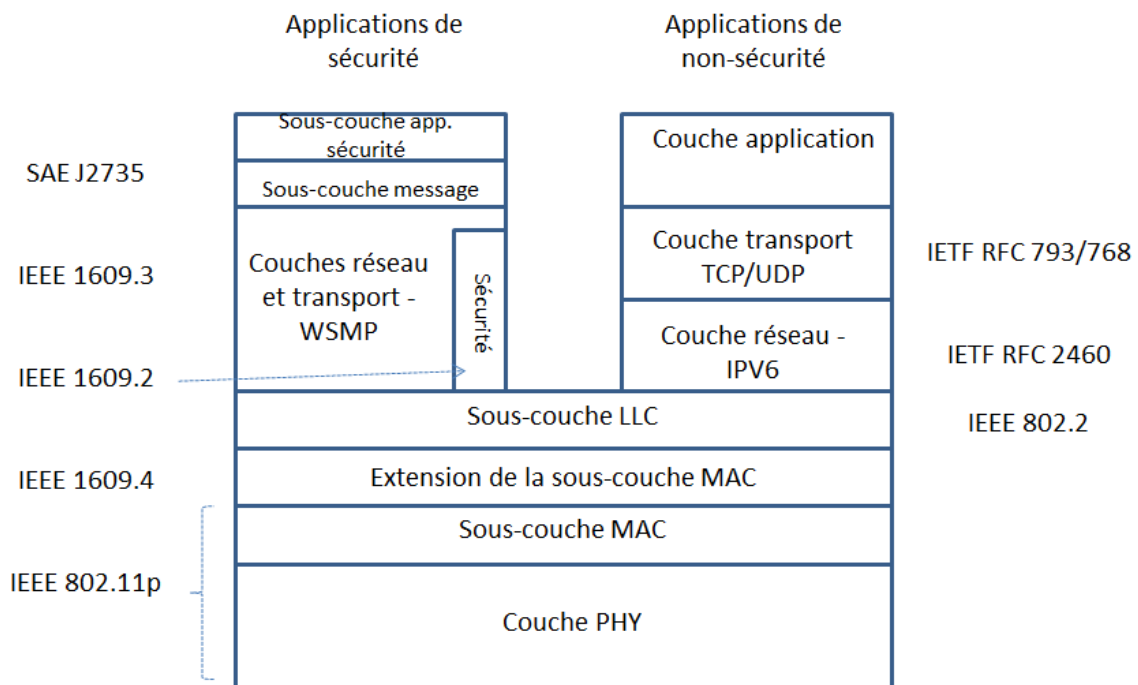


Figure 2.1 - Architecture en couche de DSRC US (IETF RFC 768/793/2460)

Un dispositif WAVE peut établir un WBSS (WAVE Basic Service Set) dans SCH et l'annoncer dans CCH. Un WBSS consiste en ressources en temps et fréquences du canal qui seront réservées pour un service donné. Si une application n'utilise pas un WBSS, elle peut seulement communiquer avec WSMP (WAVE Short Message Protocol) dans le CCH. Sinon, les applications qui emploient un WBSS peuvent communiquer avec WSMP ou IP dans le SCH associé à ce WBSS. WSMP est utilisé dans les canaux de service et de contrôle, il est

limité à 1400 octets et utilisé seulement par les dispositifs qui supportent WAVE. IPv6 est utilisé dans les canaux de service seulement, il permet l'accès aux applications génériques et au réseau global. Le format du paquet IEEE 802.11p est le même que le standard IEEE802.11a. La nouveauté consiste dans le format de message WSMP.

Pour la gestion de la priorité d'accès au niveau MAC, les messages sont rangés dans quatre classes d'accès différentes (Access Classes AC). Chaque AC a sa propre priorité et contient une file d'attente. Lorsqu'un paquet arrive, il sera ajouté à la file qui correspond à sa priorité afin d'initier le processus de contention pour l'accès au canal. Le temps d'attente minimal dans une file est déterminé par les paramètres de contention.

2.2.2 Protocoles WAVE et IEEE 802.11P

Depuis l'année 2003 l'organisme IEEE a entrepris des travaux pour définir un nouveau standard dédié aux communications dans la bande DSRC. Ce standard connu sous le nom d'IEEE 802.11p/WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) (Jiang, 2008) utilise le concept de multicanaux afin d'assurer les communications pour les applications de sécurité et les autres services ITS. Ce protocole répond à un manque d'homogénéité entre les manufacturiers automobiles et fournit un support suffisant pour l'organisation des fonctions de gestion et mode d'opération pour la communication véhiculaire. WAVE fournit un ensemble de services et d'interfaces qui collectivement permettent d'assurer une communication V2V ou V2I sécuritaire.

Le protocole WAVE se base sur la famille de protocoles IEEE1609 pour opérer dans la bande DSRC. Cette pile protocolaire est formée de quatre standards en période d'essai et deux qui n'ont pas encore été publiés (identifiés par la lettre P) : (i) IEEE P1609.0 WAVE Architecture décrit l'architecture WAVE et les services nécessaires pour que les équipements DSRC/WAVE puissent communiquer dans un environnement véhiculaire. (ii) IEEE 1609.1-2006 WAVE Resource Manager, pour la gestion des ressources au niveau des trois couches supérieures du modèle ISO. Il décrit les services de gestion et de données offerts dans l'architecture WAVE. Il définit le format des messages de commandes et la réponse appropriée à ces derniers, formats de stockage des données utilisés par les applications pour

communiquer entre les composantes de l'architecture, et le format des messages de statuts et de requête. (iii) IEEE 1609.2-2006 WAVE Security Services for Applications and Management Messages, pour la transmission et le traitement sécurisé des messages, au niveau de la couche transport. Il définit aussi les circonstances de l'utilisation d'un échange sécurisé et comment ces messages doivent être traités selon le but de l'échange. (iv) IEEE 1609.3-2006 WAVE Networking Services, définit les services de niveau de la couche réseau et transport incluant l'adressage et le routage pour le support d'échange de données sécurisé. Il définit aussi le Wave Short Messages (WSM), fournissant une alternative à IPV6 efficace spécifique à WAVE qui peut être directement supportée par les applications. En plus, ce standard définit la Management Information Base (MIB) pour la pile de protocole WAVE. (v) IEEE 1609.4-2006 WAVE Multi-Channel Operations, fournit une amélioration de la couche Medium Access Control (MAC) 802.11 afin de supporter les opérations de WAVE; la coordination et la gestion des sept canaux dans la bande DSRC et gestion des files d'attente et de l'ordre de priorité de l'accès au médium. (vi) IEEE P1609.11 Over-the-Air Data Exchange Protocol for ITS définit les services et le format de messages sécurisé pour le support du paiement électronique sécurisé.

IEEE 802.11p est le protocole sur lequel s'appuie WAVE au niveau de la couche MAC et la couche physique. Au niveau de la couche MAC, 802.11p est basé sur CSMA/CA également comme protocole 802.11a. Les extensions de 802.11p MAC concernent la gestion de la priorité des messages pour mieux gérer les applications sensibles au retard. Au niveau de la couche physique à 5,9GHz, IEEE 802.11p emploie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) de manière similaire à IEEE802.11a, mais avec des canaux de 10MHz. La Figure 2.2 illustre les différentes composantes du modèle WAVE et identifie les standards relatifs à chaque composante.

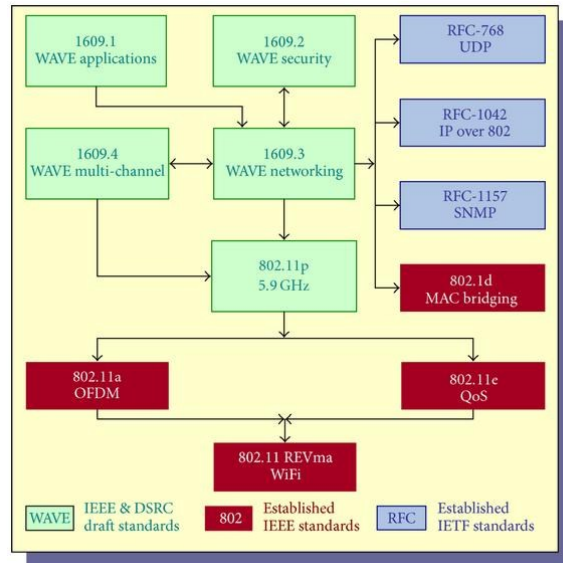


Figure 2.2 - Architecture WAVE et standards relatifs

2.3 Défis dans les VANETs :

Dans un réseau *ad hoc*, aucune structure centrale n'est nécessaire pour gérer la communication. Cette dernière se fait de manière collaborative entre les unités mobiles du réseau. Dû à leur mobilité, ces unités ne peuvent intégrer que des technologies et interfaces de communication sans-fil. Un réseau *ad hoc* de véhicules ou VANET est un cas particulier de MANET (Mobile AdHoc Networks). Il est constitué de véhicules capables de s'échanger des informations par communication sans fil. Il est caractérisé par une forte mobilité des nœuds qui rend la topologie fortement dynamique. Ce qui rend la gestion de tels réseaux assez difficile surtout dans une architecture *ad hoc* où la notion de gestionnaire central est inexistante. Contrairement aux MANETs, les VANETs n'ont pas de contraintes en termes d'énergie et de puissance de calcul. Chaque nœud dispose d'une grande capacité de traitement et peut intégrer plusieurs interfaces de communication sans-fil (Wifi, Bluetooth, etc.). Les environnements considérés dans les MANET sont limités géographiquement et sont généralement des espaces ouverts. Alors que dans les VANET, les déplacements des véhicules sont liés à l'infrastructure routière ; autoroutes, intersections, vitesse limite, etc. De par la nature des déplacements et la forte mobilité dans VANET, des véhicules peuvent rejoindre et quitter le réseau en un temps court, ceci affecte significativement la connectivité et la qualité de service.

Au niveau de la couche MAC, 802.11p s'appuie sur la technique d'accès au canal introduite dans 802.11a et qui se base sur CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). Cette approche se base sur une contention pour l'accès au canal avec des mécanismes de Backoff et des valeurs de fenêtre de contention (CW; Contention Window) maximale différentes correspondant à différents niveaux de priorité. Cette technique montre ses faiblesses dans les cas extrêmes de communication dans le réseau où la densité est proche du point de saturation du réseau. De plus, un message ne peut attendre infiniment avant d'être envoyé et après un certain nombre de tentative, il est diffusé même si le canal est encore occupé d'où le problème de collision de messages et les difficultés qui en découle.

L'objectif principal de toute technique de communication est d'assurer la transmission des messages dans les meilleurs délais et de la manière la plus fiable possible. Tel est le cas pour la communication véhiculaire et plus particulièrement pour les messages relatifs à la sécurité. Néanmoins, deux principaux problèmes sont à considérer; (1) Le *Broadcasting Storm* : c'est le résultat de la diffusion de plusieurs messages en même temps sur un canal de transmission partagé (surcharge du réseau ==> dégradation des performances). Ce problème s'accroît de plus en plus avec l'augmentation de la densité de communication des véhicules (Jiang, 2007). Plusieurs travaux essayent de résoudre ce problème particulier en adoptant des techniques de diffusion améliorées et en introduisant des mécanismes adaptatifs pour réduire la charge de communication tout en gardant la même efficacité. Ces techniques ont pour but de réduire les délais de transmission et d'augmenter le taux de réussite des envois de messages tout en réduisant la charge sur le réseau. (2) La déconnection du réseau : (En anglais, *network disconnection*) c'est un problème assez fréquent dans les réseaux ad hoc. Il s'agit d'un risque lié à la mobilité des entités communicantes. Ce problème se manifeste par la déconnexion d'un ou plusieurs véhicules du reste du réseau. En général, ces véhicules ne sont plus dans la portée des signaux radio ou sous des contraintes physiques n'arrivent pas à recevoir les messages d'autres véhicules (fading, effet doppler, shadowing, etc.). Ceci est de plus en plus grave dans le cas d'acheminement de paquets de bout en bout puisque la rupture d'un lien causera le non acheminement du message et mettra toute la technologie en question (ex : non acheminement de message de sécurité, Emergency).

2.4 Techniques d'accès au canal niveau MAC

Les protocoles de la couche MAC sont responsables du maintien et de la gestion de l'accès au canal partagé. Ces protocoles décident qui des nœuds peuvent accéder au canal à un instant donné. Comme précédemment cité, les applications de sécurité expriment des contraintes strictes en terme de délai afin d'alerter le conducteur d'un danger immédiat. Donc, une technique d'accès niveau MAC doit prendre en charge ces contraintes afin de permettre la réalisation de telles applications de sécurité. Il y a deux principales stratégies pour l'acquisition du canal. Une étant sans contention (en anglais; contention-free) ou protocole à accès contrôlé. Des exemples de cette catégorie sont les techniques d'accès TDMA et FDMA qui désignent respectivement des techniques d'accès temporelles ou fréquentielles. Dans ces techniques, l'accès au canal est pré alloué. L'une des principales contraintes de telles techniques est le besoin d'une entité centrale afin de coordonner une distribution équitable des ressources. L'autre catégorie désigne les techniques avec contention ou aléatoires, comme le CSMA, dans lesquelles il y a un seul canal partagé de diffusion. Dans cette catégorie de protocole, des collisions peuvent survenir et dû aux collisions, le délai sur la transmission de paquets ne peut être garanti. En plus, le problème de nœud exposé/caché rend difficile la garantie d'une transmission fiable. Par conséquent, bien qu'une technique d'accès déterministe paraisse idéale pour les VANETS, le besoin d'une entité centrale s'oppose directement au thème d'un réseau ad hoc de véhicules. Ceci renvoi à la nécessité de supporter des techniques à contention.

Il existe une multitude de problématiques à considérer reliées aux VANETS, comme le support de la priorité, le temps de réponse, la fiabilité incertaine, et le problème du nœud caché. Toutes ces problématiques doivent être traitées afin de proposer une solution répondant aux exigences d'applications de sécurité variées. Plusieurs techniques niveaux MAC ont été proposées afin de remédier à ces problèmes. RR-Aloha a été proposé par FleetNet (Hartenstein, 2001). Il est basé sur le protocole slotted-aloha et implémente une technique de réservation de TS de manière distribuée. ADHOC MAC (Borgonovo, 2002) est un protocole basé sur une structure temporelle similaire, il fournit un protocole de réservation distribué afin d'assurer une transmission fiable sur un canal broadcast à un seul saut. L'un des problèmes majeurs de cette technique est que le nombre de nœuds communiquant dans une même portée

de communication ne doit pas dépasser le nombre de TS dans la trame temporelle. Un autre protocole, DRVC (Direct and Relay protocol for Vehicle Communications) a été proposé afin d'étendre l'accessibilité au-delà des limites de DSRC. Il est à noter que afin d'attaquer le problème de nœud caché, le standard propose l'utilisation du mécanisme RTS (Ready To Send) / CTS (Clear To Send). Cependant, l'utilisation d'une telle technique introduit un délai supplémentaire pour les processus d'association et d'authentification. Ceci peut dégrader de sens les applications de sécurité si le délai d'établissement de connexion est assez grand.

IEEE 802.11 introduit plusieurs approches pour l'accès au médium; PCF (Point Coordination Function) qui n'est applicable que si une entité centrale comme un point d'accès est disponible et DCF (Distributed Coordination Function). Une autre approche plus étendue héritée des réseaux IEEE 802.11e a été proposée afin d'introduire une distinction en termes de qualité de service, EDCA (Enhanced Distributed Channel Access). DCF utilise le principe CSMA/CA ce qui implique que le canal n'est accessible que si aucune activité n'est détecté par la couche physique. Un paramètre important est le IFS (Inter Frame Spaces) qui caractérise le temps que le canal doit être observé inoccupé avant qu'une station ne commence la transmission. L'utilisation d'IFS de différente longueur permet d'adapter la technique à différentes contraintes applicatives d'où l'utilisation de SIFS et DIFS (SIFS plus deux slots supplémentaires). Dans le cas où le canal est occupé, l'émetteur sélectionne un nombre aléatoire de slots de temps dans une certaine gamme entre CW_{min} et CW_{max} . Puis commence à décroître ce compteur jusqu'à ce qu'il atteigne une valeur nulle afin d'initier la transmission. Le compteur est arrêté dans le cas où le canal est détecté occupé. Si après envoi de la trame, aucun acquittement n'est détecté, une retransmission est initiée après une attente exponentielle (exponential backoff). Il est à noter que le nombre de retransmission maximal est limité.

Une différence fondamentale entre le 802.11p comparé au 802.11 standard, est la capacité de communiquer en dehors des BSS (Basic Service Set) afin de permettre une communication de manière ad hoc dans un environnement à haute mobilité. Cette architecture de communication réduit les fonctionnalités de la couche MAC au strict minimum. Seuls les formats de trames nécessaires sont gardés et les données sont transmises en utilisant le format de QoS spécifié par EDCA à un niveau paquet. EDCA a été proposé dans IEEE 802.11e afin d'introduire un support de la qualité de service. Les règles d'accès spécifiées par DCF sont remplacées par celle

d'EDCA dans lesquelles quatre catégories d'accès sont définies. L'application générant le message associe à ce dernier une catégorie d'accès dépendamment de l'importance et l'urgence de l'information qui y est transmise. Chaque classe est identifiée par un index (ACI), contient sa propre file d'attente, et est régit par un ensemble de paramètres permettant de coordonner l'accès au canal. Ces paramètres englobent l'AIFSN et les valeurs minimales et maximales de la fenêtre de contention. En d'autres termes, ces paramètres permettent d'introduire une priorization sur la base du temps d'attentes avant transmission. Il est à noter que des collisions internes peuvent survenir et que dans ce cas, les paquets ayant une plus grande priorité sont préférés. Il est à noter aussi, que toutes fonctionnalités omises permettant un accès plus ou moins instantané doit être adressé à un niveau d'abstraction plus élevé.

2.5 Techniques de dissémination d'information

Dans les réseaux MANET, plusieurs techniques de correction ont été proposées afin de pallier aux problèmes de *Broadcast Storm* et de déconnection du réseau. Ces différentes techniques se basent sur des approches probabilistes (la décision de diffusion se base sur des probabilités de succès des envois), distance entre nœuds, nombre de sauts, compteur (ex : *blackburst*), et sur des données géographiques (*GeoCast*). Ces mêmes techniques ont été portées dans les réseaux véhiculaires en incluant de nouvelles méthodes comme la diffusion se basant sur le *clustering* (la diffusion se fait sur un groupe de véhicules dans un espace géographique prédéfini), en se basant sur le trafic (les données sur le trafic et la vitesse des véhicules influencent la décision de diffusion) et sur les données de localisation fournis par des équipements spécifiques (les messages sont envoyés en se basant sur la localisation de l'émetteur et du récepteur).

Cette section présente une étude des solutions qui ont été proposées afin de palier à ces deux problèmes majeurs. Cette étude se divise sur trois sections; les études sur les techniques de *Broadcast* (diffusion à tous les véhicules dans le voisinage), *Unicast* (diffusion à un seul véhicule) et *Multicast/Geocast* (diffusion à un groupe de véhicules).

2.5.1 Techniques de dissémination *Broadcast*

Korkmaz et al ont proposé UMB (Urban Multi-Hop Broadcast), une technique permettant de réduire le nombre de sauts pour relayer un message (Korkmaz, 2004). Cette technique se base sur la localisation des véhicules échangée par des messages périodiques appelé *blackburst* et le

nœud le plus éloigné du nœud émetteur est élu pour relayer le message. AMB (Adhoc Multi-Hop Broadcast) traite le cas où le véhicule se trouve à proximité d'une intersection. Le nœud le plus proche de l'intersection est élu pour relayer le message au reste de la portion de la route. Yang et al dans (Yang, 2008) ont proposé SB (Smart Broadcast) et PAB (Position-Based Adaptive Broadcast). Les deux approches intègrent un mécanisme d'attente avant retransmission d'un message afin d'améliorer l'accès et l'efficacité des transmissions. SB utilise la distance entre émetteur et récepteur alors que PAB utilise un vecteur contenant la position du véhicule et sa vitesse. Tonguz et al dans (Tonguz, 2010) intègrent un mécanisme d'ajustement du backoff en fonction de la densité et de la connectivité. Le plus gros des avantages de cette approche est qu'un nœud peut garder un message en mémoire jusqu'au rétablissement du lien rompu, bien que ceci ne soit d'aucune utilité si l'attente dépasse les 100 ms pour un message d'urgence. MHVB (Tatsuaki, 2006) implémente un mécanisme d'ajustement adaptatif de la fréquence d'envoi de messages *Heartbeats* en fonction de la position, de la congestion et en se basant sur une multitude de seuils prédéfinis incluant le nombre de voisins et la vitesse. FB (Fast Broadcast) fonctionne en deux phases, une première phase d'ajustement de la portée est faite en se basant sur un échange de messages *heartbeats*, et une deuxième phase de diffusion dans laquelle une priorité plus élevée est octroyée pour les nœuds les plus distants. CTR (Cut-Through rebroadcasting) (Pakornsiri, 2009) utilise le même principe et opère dans un environnement multicanal. D-FPAV (Distributed Fair Transmit Power Assignment for Vehicular Ad Hoc Network) ajuste dynamiquement la puissance d'émission en se basant sur la distance avec les voisins (Torrent-Moreno, 2006). Il vise un partage équitable du canal entre les différents nœuds communicants. Même si les tests ont montrés l'efficacité de ce protocole, serait-il simple de réaliser un tel système (coût, faisabilité)? REAR (Receipt Estimation Alarm Routing) (Jiang, 2008a) intègre un mécanisme de choix des nœuds relayeur en fonction de leurs propre estimation de la probabilité de réception, cette probabilité est calculée localement et est échangée dans les messages *heartbeats*. TrafficView (Tamer, 2004) vise à contrôler le flux d'informations échangées dans le réseau en agrégeant plusieurs données provenant d'une multitude de véhicules dans le même message (réduction du nombre de messages échangés, réduction de la charge sur le réseau). Ce protocole nécessite d'une part, une connaissance sur la position et la vitesse de chacun des véhicules, et d'autre part, une mesure du temps de diffusion sur chacun des liens.

L'une des techniques ayant le plus d'impact sur l'équité du partage des ressources est celle proposé par Rezgui et al. (Rezgui, 2011) qui introduit un mécanisme déterministe d'accès au canal partagé. Ce mécanisme se base sur les techniques introduites dans MDA (Mesh Deterministic Access) proposées dans le 802.11s et est désigné par VDA (Vehicular Deterministic Access). VDA permet un accès déterministe au canal en le partageant en TS (Time Slots) comme mécanisme pour limiter les collisions de paquets. La première phase de VDA consiste en une phase de réservation de ressources (TS), tous les véhicules désirant communiquer envoi des messages de réservation VDAOp (VDA Opportunities) en spécifiant leurs besoins en termes de charge de communication. Cette phase ne nécessite pas de gestionnaire centralisé et les opérations se font de manière collaborative entre les véhicules. Une deuxième phase de communication permet à chacun des véhicules ayant réservé ses propres ressources de communiquer durant une période limitée par la durée des TS qui lui ont été alloués. Bien que cette dernière offre de bonnes performances en termes de délai et de fiabilité des envois, la diffusion de l'information est limitée à un voisinage de deux sauts seulement.

La diffusion simple d'information dans les VANETs induit une surcharge du réseau dû à l'envoi de messages dupliqués. Ceci cause une inefficacité dans l'utilisation des ressources du réseau. Son impact est plus important si le réseau est de type ad hoc (ressources réparties et pas de gestionnaire central de communication) et que chacun des nœuds n'a qu'une information partielle de l'état du réseau. Bien que des solutions aient été présentées afin de construire une information globale, un échange permanent et périodique d'information est nécessaire. Cet échange induit un surcoût qui peut être plus faible que celui de la diffusion simple mais qui peut avoir un impact sur le réseau d'où l'impossibilité d'utiliser des mécanismes de rétroaction comme les acquittements. La plupart des solutions de diffusion présentées précédemment utilisent l'information de distance entre nœuds pour relayer le message, ceci a pour objectif de réduire le nombre de sauts et par conséquent vise à améliorer l'un des facteurs de qualité des VANETs qui est le délai de transmission. L'adaptation de puissance ou de la portée des transmissions permet de prévenir la congestion possible du réseau et vise un partage équitable des ressources de communication.

2.5.2 Techniques de dissémination *Unicast*

Pour cette catégorie, il existe principalement deux classes de protocoles de routage : les protocoles de routage à délai minimum (En anglais, Min-Delay routing protocol) et les protocoles de routage à délai limité (En anglais, Delay-Bounded routing protocol). Le premier type de protocole vise une minimisation du délai de transmission entre émetteur et récepteur sans prendre en compte ni la charge ni l'état des liens du réseau. Les protocoles de routage avec délai limité ont pour objectif de garder un taux d'utilisation du canal assez bas tout en assurant un délai maximum pour la transmission de messages.

Lochert et al. (Lochert, 2005) ont proposés un protocole de routage qui ajuste le chemin de routage en superposant le chemin logique des données et la structure physique des routes et des croisements; GPCR (Greedy Perimeter Coordinator Routing Protocol). C'est un protocole qui se base sur un échange du positionnement des véhicules. Il a été conçu pour les environnements urbains et son utilité est bien établie pour les environnements dynamiques à grande échelle. VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery Routing Protocol) utilise la notion du *Carry-and-Forward* pour la transmission de données entre un véhicule en mouvement et un véhicule stationnaire (Zhao, 2008). Ce protocole vise le choix du chemin le plus rapide pour l'acheminement des messages en se basant sur un modèle de délai d'acheminement. Le modèle d'acheminement en tant que tel exige une connaissance de l'état des routes, de la congestion et de la vitesse moyenne de chaque voie. CAR (Connectivity-aware Routing Protocol) se base sur l'établissement d'un chemin préalable en envoyant un paquet de recherche qui est acheminé de la source vers la destination (Naumov, 2007). A chaque intersection, des ancres (En anglais, anchors) inscrivent leurs identifiants et le nombre de sauts dans ce paquet. Une fois le paquet atteint la destination, il est renvoyé à la source et les messages suivent ce même chemin pré-établi. L'inconvénient de ce type de routage est qu'il est non adapté à des environnements à forte mobilité et à fort dynamisme, d'où la nécessité de faire un compromis entre la fréquence de changement de la topologie et la durée d'établissement du chemin de routage. Une amélioration de CAR est proposée dans (Chen, 2010b). À la différence de CAR, DIR (Diagonal-Intersection-Based Routing Protocol) se base sur la construction d'une série d'intersections diagonales entre la source et la destination. En se basant sur le même mécanisme que CAR, il relaye le message vers la première intersection, puis la suivante et ainsi de suite en utilisant le sous chemin le plus rapide en terme de délai de

transmission et ainsi nécessite moins d'ancres que le protocole CAR. Taleb et al. (Taleb, 2007) ont proposé ROMSGP (Receive on Most Stable Group-Path Routing Protocol) qui vise à améliorer l'efficacité du routage en termes de connectivité. Les véhicules sont classés en quatre groupes selon leurs vitesses et leurs distances respectives. Ce protocole considère un routage stable si les deux entités communicantes appartiennent à la même classe. Cette approche peut fausser l'information sur la connectivité puisqu'un lien peut subir une interférence ou une fluctuation due à un phénomène physique tel que le fading qui n'est pas pris en compte dans ce protocole. Sun et al. (Sun, 2006) proposent un algorithme de dissémination se basant sur la QoS; GVGrid. Il divise la carte géographique en plusieurs grilles et le choix des nœuds qui vont relayer l'information se fait selon le nombre de déconnexion du lien qui les relie au nœud émetteur. Ceci assure un acheminement fiable de l'information mais n'assure aucun délai maximum pour la dissémination.

Des schémas assurant des délais limités ont été proposés. Skordylis et al. (Skordylis, 2008) ont proposé un protocole de routage avec un délai maximum prédéfini par l'utilisateur. Ce protocole maintient un faible taux d'utilisation du canal en se basant sur le principe du *carry-and-forward* pour l'acheminement d'information d'un véhicule à un point d'infrastructure. Deux algorithmes de routage sont incorporés, D-Greedy et D-MinCost, évaluent le trafic et le délai afin de choisir soit de faire du codage réseau (En anglais, network coding) de l'information afin de réduire le surcoût, soit de faire du relayage sauts multiples. D-Greedy utilise le trafic local pour la décision de routage en utilisant le chemin le plus court et en allouant à chaque portion un poids selon le délai de traversée. Si les paquets peuvent être envoyés en respectant la contrainte temporelle, on utilise la technique du codage de données. Sinon, on utilise la technique de relayage sauts multiples. D-MinCost utilise le trafic global d'un site afin de réaliser un minimum d'utilisation tout en respectant la contrainte temporelle sur le délai de transmission. En ayant une information sur le trafic global, le coût (nombre de messages dans une portion de route) et le délai de transmission (temps pour un message pour traverser la portion de route) peuvent être pré-calculés. L'algorithme DSA (Delay Scaling Algorithm) est utilisé afin d'assurer le choix du meilleur chemin tout en assurant un taux d'utilisation minimal du canal et en respectant le délai prédéfini par l'application.

L'utilisation des techniques d'unicast pour disséminer des messages dans les VANETs présente un avantage de taille en termes de nombre de messages dupliqués et d'efficacité d'utilisation des ressources. Néanmoins, le fonctionnement de ces techniques nécessite l'échange d'information et la construction de table de routage. Ceci est d'autant plus difficile à réaliser que la topologie du réseau est de nature évolutive à une vitesse qui est assez grande comparée aux réseaux mobiles. Une contrainte supplémentaire est la durée d'établissement de la technique : généralement, un échange initial afin de construire les tables de routage et un échange périodique pour leur maintien sont requis.

2.5.3 Techniques de dissémination *Multicast/Geocast*

La question qui se pose ici est, comment développer un algorithme de multicast ou de Geocast qui peut fonctionner dans un environnement à forte mobilité et ayant un changement de topologie aussi dynamique que celui des VANETs ? En se basant sur les propriétés des régions géographiques, les recherches conduites dans ce domaine peuvent être classées en deux catégories : Multicast/Geocast et routage Multicast/Geocast spatio-temporel.

Joshi et al. (Joshi, 2007) ont introduit DRGMRP (Distributed Robust Geocast Multicast Routing Protocol), un protocole de routage qui a pour but de délivrer un message dans une certaine zone géographique. Tous les véhicules dans une zone de pertinence (En anglais, zone of relevance (ZOR)) qui reçoivent un message vérifient s'il leur est destiné sinon ils le rejettent. Cet algorithme est plus adapté à des zones géographiques statiques. Afin d'améliorer la fiabilité des transmissions, les zones de relaying (En anglais, zone of forwarding (ZOF)) ont été définies et ce sont des zones dans lesquelles des véhicules doivent relayer les messages qu'ils reçoivent qu'ils leur soit destinés ou pas. Des mécanismes de transmission périodiques ont été introduits afin de surpasser le problème de fragmentation du réseau. Dans le même volet, Bachir et al. (Bachir, 2003) introduisent MPANG qui définit les zones à risque en se basant sur la position et la direction. Les véhicules inclus dans une même zone à risque constituent un même groupe de Multicast. La constitution du groupe de Multicast est donc dynamique et temporaire. Ce protocole implémente un mécanisme de gestion de priorité se basant sur un délai d'attente avant retransmission (En anglais, differing time). Le nœud le plus éloigné de la source est celui qui attendra le moins de temps pour retransmettre le message. Ceci sert à propager l'information le plus rapidement possible en réduisant le nombre de sauts.

Chen et al. (Chen, 2010c) introduisent le caractère temporel aux protocoles de routage Geocast/multicast traditionnel; SMGRP (Spatiotemporary Multicast/Geocast Routing Protocol). La transmission de message dans une zone particulière est faite en fonction de la zone et du temps. Un protocole ayant le même principe est Mobicast qui supporte des applications ayant besoin d'une coordination spatio-temporelle. Ce protocole dénote les zones de pertinence en fonction du temps (ZOR_t), donc à l'instant t tous les véhicules présents dans la ZOR doivent recevoir le message. Pour assurer la transmission à tous les véhicules dans cette ZOR, le protocole doit s'assurer qu'il n'y a eu aucune rupture de l'un des liens constituant le chemin de routage. Il existe toujours un problème de déconnexion du réseau avec ce protocole et une version améliorée intégrant la notion de ZOF (zone elliptique qui sert pour se rapprocher du véhicule concerné) a été proposée.

Bien que le *Multicast/Geocast* offre un compromis entre le *Broadcast* et l'*Unicast*, les solutions présentées n'offrent pas de solution globale à faible surcoût. Le routage géographique nécessite un échange permanent de messages. La diffusion de messages sur une zone particulière ne suffit pas à assurer un acheminement fiable de l'information, ni un délai maximum respectant les contraintes applicatives. Le principal inconvénient de telles approches est qu'elles se basent sur des techniques de regroupement (Clustering) et que ceci nécessite une connaissance précise et permanente du positionnement de chacun des véhicules. «On essaye d'introduire de l'ordre dans une chose impossible à ordonner» de par la nature fortement dynamique de l'environnement et la vitesse d'évolution des véhicules.

2.6 Techniques de contrôle de congestion

Considérant la congestion actuelle des infrastructures routières et en introduisant une supposition pour un déploiement complet des VANETS dans les années à venir, le problème de congestion physique aura tendance à se projeter en termes de congestion de réseaux de communication vu la quantité d'informations à échanger et par conséquent conduit à un stade proche de la saturation. Maintenant, une question se pose sur les moyens à mettre en œuvre afin de permettre à ces réseaux d'éviter une phase de saturation et d'opérer dans des conditions de charge contrôlée. Fondamentalement, il y a deux paramètres à ajuster afin de contrôler la charge sur le réseau, ceci en assumant que la quantité d'information à échanger est réduite au strict minimum; (a) la puissance de transmission et (b) le taux de génération des

messages. À cause des limitations technologiques en termes de débit, délai et puissance maximale de transmission, des compromis doivent être convenablement étudiés afin de trouver des points d'opérations optimaux. Par exemple, un message envoyé avec une plus grande puissance d'émission sera disséminé à une plus grande distance, tout en lui assurant une certaine robustesse. En contrepartie, cet envoi pourra causer des interférences significatives sur d'autres transmissions. En outre, le fait de viser une optimisation du taux de réception de paquets, sans tenir compte de l'équité entre envois, peut être nuisible. En d'autres termes, en essayant d'améliorer la fiabilité générale, on peut ne pas satisfaire les besoins d'un seul nœud, ceci peut être dangereux si ce dernier vise à transmettre un message urgent dans son environnement immédiat.

Des études ont démontrées que si la densité de communication est faible, la fiabilité peut être assurée (Hartenstein, 2010). En contrepartie, un réseau opérant à un niveau proche de sa saturation aura tendance à éprouver des collisions successives qui peuvent causer la dégradation de ses performances.

L'ajustement de la puissance est une approche qui a été étudiée lors de l'avènement des VANETS. Plusieurs schémas ont été proposés afin d'éviter la saturation du canal de transmission partagé et afin d'assurer une fiabilité acceptable. Bien que ces approches proposent le même outil afin d'éviter la surcharge du réseau, elles se différencient avec ce qui déclenche la phase d'adaptation. Artimy et al. (Artimy, 2005) proposent un schéma adaptatif basé sur l'estimation du nombre de véhicules dans la portée de communication. Caizzone et al. (Caizzone, 2005) utilisent le même principe de base mais combiné avec un mécanisme d'accès au canal TDMA. Torrent-Moreno et al. (Torrent-Moreno, 2009) ont introduit D-FPAV afin de contrôler la charge introduite par les messages périodiques tout en intégrant un mécanisme de priorization des messages de sécurité. Ils concluent qu'une puissance de transmission plus faible permet d'assurer une plus grande probabilité de réception à faible distance et est plus adéquate pour une application de sécurité.

Parallèlement à l'ajustement de la puissance, des approches d'ajustement de la fréquence de messages ont été introduites. Xu et al (Xu, 2004) ont proposés un schéma adaptatif basé sur la vitesse des véhicules, le nombre de tentatives de transmission échouées, et le taux de succès lors de la réception. Elbatt et al (Elbatt, 2006) ont conduit une étude permettant d'établir que la

probabilité de réception augmente lorsque le taux de génération de messages décroît. Rezaei et al. (Rezaei, 2007) ont introduit une nouvelle approche prenant en considération la fidélité (ici on parle de fidélité en termes d'information sur l'état de la route. Bien entendu un taux de génération de messages plus élevé permet d'assurer une plus grande fidélité). Dans le schéma proposé, une phase d'adaptation est initiée en fonction d'une valeur de déviation entre un estimateur local et ceux issus des véhicules voisins. Khorakhun et al. (Khorakhun, 2008) introduisent un schéma adaptatif dans lequel un véhicule augmente (respectivement, diminue) son taux de génération de messages si le canal est observé occupé pendant un certain temps inférieur (respectivement, supérieur) à un seuil prédéfini.

Par ce qui précède, nous avons démontré l'importance de contrôler la charge de communication dans le réseau afin d'assurer son bon fonctionnement et afin de garantir la fiabilité des transmissions et le respect des délais exprimés par les applications de sécurité puisqu'elles constituent l'essence de ce travail de recherche.

2.7 Métriques de décision et de performance

Bien qu'une distinction basée sur les classes de diffusion ressorte les intérêts et les avantages de chacune des approches précédemment citées, une distinction selon les métriques utilisées s'avère nécessaire et primordiale. Une étude des métriques qu'elles soient de performance ou de décision de routage permet d'ouvrir la voie à une critique plus constructive. Cette critique permettra de mieux qualifier les différentes approches et d'en proposer une amélioration possible. Cette section introduit les principales métriques de routage et de performances utilisées dans les solutions présentées. Cette étude met l'emphase sur les intérêts et la pertinence de ces métriques en termes de fiabilité et de facilité d'intégration.

2.7.1 Métriques de décision de routage :

Les métriques de décision de routage sont définies ici comme étant des métriques sur lesquels l'algorithme de dissémination et ses fonctionnalités prennent forme. Ces métriques constituent la base de la décision de routage et sont généralement le résultat d'une collecte d'information qu'elle soit locale ou par échange de messages.

Dans la plus part des protocoles de routage et de dissémination de l'information dans les VANETs, la *distance* joue un rôle important sur la décision et le choix du nœud qui va relayer le message. D'une part, le choix de la bonne distance assure que l'envoi se fait dans un rayon d'action acceptable (une distance inférieure à la portée maximale au-delà de laquelle la fiabilité de la transmission n'est plus assurée) et d'autre part, assure un nombre minimum de sauts qui a un impact sur le délai de transmission de bout en bout. Afin de construire l'information de la distance, les véhicules se basent sur un échange de messages contenant des informations de localisation assurées par des techniques de positionnement tel que le GPS (Global Positioning System). L'échange est assuré par un envoi périodique de messages tel que les messages Blackburst ; un message périodique qui indique la distance de chaque nœud par rapport à un éventuel émetteur, les messages heartbeats ; contient des informations y inclus des informations de localisation. Le nœud le plus éloigné a la priorité sur l'envoi en termes de temps d'attente (délai de report de la transmission moins important).

Jiang et al. (Jiang, 2007) ont introduit CD (Communication Density); une métrique de mesure de la *densité* de communication dans le réseau. Beaucoup de travaux se sont centrés sur cette métrique comme métrique de décision de routage et afin de construire un comportement adaptatif du réseau visant à limiter sa congestion. Généralement dans les cas de fortes densités, une réduction de la fréquence des messages périodiques et/ou une réduction de la portée des transmissions permet de limiter l'impact sur les performances du réseau.

Dans les réseaux véhiculaires, la notion de *zone géographique* définit un ensemble de véhicules présents dans une zone géographique à un instant donné (En anglais, cluster). Le fait d'utiliser la notion de zone géographique nécessite une connaissance de la localisation de chacun des véhicules. En plus de la zone géographique, une caractérisation selon leurs vitesses et/ou leurs vecteurs de déplacement peut être introduite. Les techniques de *MultiCast/GeoCast* organisent l'ensemble des véhicules en groupes selon la zone géographique et utilisent des techniques de codage réseau afin d'assurer l'acheminement des messages à cette zone particulière tout en gardant un taux d'utilisation acceptable du canal. Le principal inconvénient de l'utilisation de cette métrique est la quantité d'information à échanger pour la construction d'une telle structure et l'impossibilité d'assurer une stabilité de la structure vue la vitesse à laquelle la topologie du réseau peut évoluer.

Le **débit** est défini comme étant la quantité d'information véhiculée par unité de temps. Des techniques de routage utilisant une telle information afin de décider de la manière de véhiculer l'information ont été proposées; des techniques essaient de réduire la charge en faisant du codage réseau et d'autres utilisent le débit comme indicateur de la fiabilité d'un lien. La plupart des solutions utilisant cette métrique relayent le message sur le lien le moins chargé. On vise par cette technique une amélioration du délai d'acheminement et une fiabilisation de la transmission, bien que la charge d'un lien ne soit pas le seul paramètre à considérer pour qualifier un lien; un lien plus chargé et moins long peut assurer une meilleure qualité de service. Ayant constaté que le débit n'est pas un bon indicateur de *l'état d'un lien*, des recherches ont été menées afin de trouver la bonne métrique qui peut caractériser un lien. Ces métriques sont généralement une combinaison de mesures et de métriques parfois de performances. Hiraku et al. (Okada, 2009) introduisent une métrique qui combine l'utilisation de la distance et ETT (Expected Transmission Time) qui caractérise le temps de transmission et de retransmission éventuelle en utilisant une approche probabiliste. Zulkefli et al. (Zulkefli, 2009) apportent une amélioration sur la décision de routage dans le protocole AODV en utilisant GRA (Good Route Availability) qui se base sur la localisation et le vecteur de déplacement de chacun des véhicules. GRA est le produit des GLA (Good Link Availability) qui indique l'état d'un lien particulier composant de la route.

2.7.2 Facteurs de qualité du routage :

Les facteurs de qualité d'un protocole ou une technique de routage se reflètent par des mesures de performances de ces techniques et sont généralement le résultat de mesures de métriques particulières. Ces métriques servent comme appui pour favoriser une technique par rapport à d'autres. Dans cette section, seules les métriques les plus utilisées et les plus pertinentes sont discutées.

Le **débit** est défini comme étant la quantité d'information qu'un lien peut supporter par unité de temps. Plus le débit offert est grand, plus la qualité et la quantité d'information qui peut y être véhiculée est grande. Un lien à débit illimité n'existe pas, néanmoins un débit suffisant influence la durée de transmission d'un message (moins de retransmission) et la qualité des transmissions (un lien surchargé a plus de risque de se rompre). Plus une technique consomme moins de débit d'un lien, plus elle est considérée bonne et préserve les ressources du réseau.

Néanmoins, le fait d'assurer une moindre consommation de la bande d'un lien, ne garantit pas le bon acheminement du message, une rupture du lien est possible même si le lien est faiblement utilisé.

Le *délai* d'acheminement d'un message est l'une des métriques les plus pertinentes surtout pour les applications sensibles au retard et qui exigent une faible latence. Il est défini comme étant le temps de transmission d'un message d'un nœud émetteur vers le nœud destination. Ce délai inclus; (1) les délais de propagation sur les différents liens du chemin de routage et (2) les délais de traitement au niveau des nœuds relayeurs. Sachant qu'un signal radio se propage dans le vide à la vitesse de la lumière, les délais de propagation peuvent être négligés. La plupart des solutions de routage, visant la réduction de délai, essayent de construire le chemin de routage ayant le minimum de nœuds relayeurs en favorisant les nœuds les plus éloignés pour relayer le message. Le délai peut être affecté par plusieurs paramètres; l'état de l'environnement en termes de trafic, les collisions et la mobilité.

Le *taux de réception de paquets* est défini comme le quotient entre le nombre de paquets bien reçus et le nombre total de paquets générés par un émetteur vers un destinataire particulier. Une métrique qui lui est inversement proportionnelle est le *taux de pertes de paquets*. Cette métrique est un indicateur d'efficacité de la technique d'accès au canal et de dissémination de messages. Elle est influencée par la distance entre émetteur et récepteur, la densité de communication, et la taille des paquets en circulation sur le canal partagé (si la taille du *payload* est grande, ce *payload* sera reparti sur un ensemble de paquets, d'où l'augmentation de la densité de communication). C'est une métrique qui est fortement sensible à l'état du lien radio, plus le risque de rupture de liens est grand, plus le taux de réception de paquets est faible.

Certaines techniques d'accès dans les réseaux mobiles nécessitent un *temps d'établissement* de leurs fonctionnalités. C'est toutes phases précédant la phase de dissémination de messages, elle est définie par les échanges initiaux pour construire un certain niveau de connaissance de l'état de l'environnement; échange de messages contenant des valeurs de métriques pertinentes (vecteurs de déplacements, localisation, vitesse, état de lien, découverte de voisins, etc..) pour le fonctionnement de la technique, phase d'adaptation de la portée/puissance d'émission. Un exemple type est l'échange initial des VDAOp pour la synchronisation

temporelle des véhicules et l'allocation des TS dans VDA (Rezgui, 2011). Cette métrique particulière doit être prise en compte puisque dans le cas de non-conformité, elle peut induire des délais supplémentaires qui peuvent influencer le fonctionnement de la technologie.

Le *niveau de conscience* est défini comme l'état ou l'aptitude à être conscient d'un évènement. Dans le cas des VANETs, le niveau de conscience caractérise la perception du conducteur et sa réaction cognitive à une condition ou à un évènement. Dans le contexte de communication, la conscience est directement proportionnelle à la portée de l'information transmise et au taux de réception de paquets. Cette métrique est affectée par le taux de génération de messages périodiques et évènementiels; plus la fréquence des messages est grande, plus le niveau de conscience de l'environnement augmente.

Le *nombre de retransmissions évitées* est défini comme le quotient entre le nombre d'hôtes qui reçoivent le message et le nombre d'hôtes qui le retransmettent. Ceci est une indication qui permet de savoir si le protocole ou la technique réduit la charge en termes de nombre de messages sur le lien radio. Principalement, toute technique de routage vise à réduire le nombre de retransmission en intégrant des techniques comme le codage réseau ou en évitant la retransmission de paquets dupliqués.

Le Tableau 2.2 illustre les métriques de performances qui peuvent être affectées par les métriques de routage et définit un lien de cause à effet entre ses métriques. Seules les métriques ayant le plus d'impact ont été considérées. Les numéros spécifiés reflètent l'importance des métriques selon leurs impacts sur les performances mesurables du réseau.

Tableau 2.2 - Métriques de routage VS métriques de performance

		Métrique de routage				
		Distance (3)	Densité (1)	Zone géographique	Débit	État de lien (2)
Métrique de performance	Débit		x			x
	Délai	x	x	x	x	x
	Taux de réception de paquets	x	x		x	x

	Temps d'établissement	x	x	x	x	x
	Conscience	x	x			
	nombre de retransmissions évitées		x		x	x

2.8 Synthèse:

Dans les sections précédentes, une étude des principales solutions de dissémination d'information et de contrôle de flux dans les VANETs a été présentée. Cette étude s'est focalisée sur les métriques de décision de routage qui peuvent influencer la manière de véhiculer l'information à travers le réseau. Dans les VANETs, de par la nature changeante de la topologie et sa rapidité de changement, il est assez difficile de maintenir des tables de routage et l'implémentation de mécanismes de rétroaction tel que l'acquittement lors de réception induit un surcoût qui peut engendrer une dégradation des performances du réseau. Par conséquent, les techniques de **Broadcast** seront favorisées par rapport aux techniques d'unicast et de *Geocast/Multicast*. Toutefois, le *Broadcast* simple peut causer le problème du *Broadcasting Storm*, d'où la multitude d'approches afin de le rendre plus performant en introduisant des techniques de codage réseau, des mécanismes proactifs, et des mécanismes réactifs à faible surcoût. Le standard de communication dans les VANETs exige une portée de communication atteignant 1000m et par la nature changeante de l'environnement et les différentes contraintes physique sur le médium partagé, une portée maximale avec un taux de réception acceptable ne peut dépasser les 350 mètres, d'où la nécessité de **relayer** les différents messages afin de reporter l'information au plus loin. Les techniques de *Broadcast* qui se basent sur la **densité** du voisinage immédiat de l'émetteur (densité en termes de nombre de nœuds) visent généralement un **contrôle du flux** d'information que ce soit en adaptant la portée ou la fréquence d'envoi de messages. Bien que le fait de véhiculer des informations sur un réseau moins chargé assure un taux de réception plus élevé et une fiabilité accrue, cette métrique n'offre aucune garantie sur un délai maximum d'acheminement. L'information de densité peut être obtenue en écoutant la couche physique et de ce fait ne nécessite pas un échange d'information (traitement local et pas de surcoût). Un acheminement d'information se basant sur l'**état des liens** qui constituent le chemin à travers lequel les messages doivent être véhiculés assure une fiabilité de transmission mais n'offre aucune garantie sur le délai. De

plus, de par la nature changeante de la topologie et la vélocité des véhicules, un maintien de cette information peut s'avérer coûteux en termes de nombre de messages de « contrôle » : ceci étant similaire à l'établissement d'un circuit virtuel. Des solutions qui prennent en considération des **contraintes applicatives** et essayent de répondre à des besoins exprimés à un plus haut niveau d'architecture ont été proposées. Le standard spécifie qu'un délai de plus de **100ms** pour les messages d'urgence ne peut être toléré et que l'envoi d'une multitude de messages durant cette période est apprécié, d'où l'importance de considérer le délai comme métrique pour la décision de routage. Le fait de vouloir maîtriser une telle métrique nécessite la connaissance des délais de transmission sur chacun des segments du réseau et de savoir évaluer les délais de traitement au niveau de chacun des nœuds. De plus une garantie de délai n'assure pas la bonne réception d'un message (si le réseau subit un grand nombre de ruptures de liens successifs, il y a risque de non acheminement du message ou au mieux le non-respect du délai causé par des retransmissions). L'une des métriques la plus utilisée afin de décider de la manière de véhiculer le message est la **distance**. L'information de distance est généralement obtenue par un échange périodique de messages entre les véhicules et induit un surcoût. Cette information est généralement incomplète et insuffisante pour répondre aux besoins des applications qui sont exprimés en termes de fiabilité et de délai. Le fait d'élire le nœud le plus éloigné de la source comme relai ne donne aucune information sur la fiabilité de cet envoi et ne sert qu'à réduire le nombre de sauts et par conséquent le délai de bout-en-bout.

Ceci mène à une conclusion générale et primaire; l'utilisation d'une seule métrique pour déterminer l'état global du réseau en termes de performances est insuffisante, une approche **multi-métrique** est à considérer afin de construire un niveau de conscience acceptable qui permet d'assurer le bon fonctionnement de la technique, tout en préservant les ressources disponibles et en assurant l'acheminement de messages dans des délais inférieurs à ceux exprimés par des applications sensibles au retard.

Dans la partie suivante, un résumé des contributions de cette thèse est présenté. Ce résumé est suivi des schémas de dissémination et de contrôle de congestion proposés, présentés sous forme d'articles.

Partie II : TRAVAUX ET CONTRIBUTIONS

CHAPITRE 3.

RÉSUMÉ DES CONTRIBUTIONS

Ce chapitre présente les contributions majeures de ce travail de recherche sur la dissémination de messages dans les réseaux véhiculaires ad hoc. Des architectures de communication et des méthodes de contrôle de congestion sont proposées dans les chapitres qui suivent. Ces chapitres, sous un format basé sur articles, représentent l'évolution et le développement de cette thèse en commençant par des approches simplistes et en évoluant vers des techniques plus complètes et plus propices pour un déploiement dans des environnements hétérogènes. Bien que dans les chapitres qui suivent, les approches forment des combinaisons d'améliorations et traitent plusieurs aspects à la fois, l'analyse de ces derniers dans ce chapitre sera faite sur trois principaux volets. Ces volets s'intéressent respectivement à la proposition de schémas de communication multi-sauts adaptés à une architecture de communication collaborative où la notion de régisseur est inexistante, l'intégration de techniques adaptatives afin d'introduire un contrôle de congestion du réseau pour assurer son bon fonctionnement dans des situations extrêmes, et la proposition d'une technique de dissémination prenant en considération la notion de contexte afin d'optimiser les échanges de messages tout étudiant deux techniques de rejet de messages admissibles.

Une étape importante de cette thèse était la proposition de techniques de dissémination basées sur des choix préalables de relais permettant ainsi la dissémination de messages sur plusieurs sauts. Cette technique est discutée dans la section 3.1 du présent chapitre. La section 3.2 introduit des techniques de contrôle de congestion afin d'éviter de surcharger le réseau. Ces techniques, pour la plupart, font introduire des techniques d'ajustement de la portée de communication afin de limiter l'impact d'une possible congestion localement. Dans cette même section, une technique d'adaptation basée sur l'ajustement de la fréquence des messages est introduite ainsi qu'une adaptabilité de la priorité de relayage des messages au niveau des nœuds relais.

3.1 Extension de la portée pour sauts multiples

Comme discuté dans l'analyse précédente, une amélioration de la portée de communication au-delà du voisinage immédiat est à envisager afin d'assurer une conscience plus étendue du danger. Celle-ci est faite en introduisant des techniques de relayage à faible surcout afin de ne pas induire une charge supplémentaire sur le réseau relative à l'échange de messages de contrôle (servant à construire une connaissance globale de la connectivité dans le voisinage). Elle se base sur un choix préalable des nœuds pouvant faire fonction de relais combiné avec une technique de sur-écoute tout en assurant une prise de décision locale en introduisant des mesures de métriques en temps réel.

Une première ébauche est discutée dans le chapitre 4 et est construite autour d'une multi-métrique faisant intervenir une mesure de la longueur du lien ainsi que sa durée de disponibilité. Elle se base sur des mesures de niveau de signal reçu afin d'avoir une connaissance sur la distance entre émetteur et relai. Des compteurs spécifiques permettent d'évaluer le taux de disponibilité des liens par rapport à un compteur global. Ceci étant assuré sur une portée locale d'un seul saut afin de ne pas inclure des relais au-delà de la portée de communication et affecter la fiabilité des envois. Le message est émis en spécifiant le relai choisi comme destinataire et seul ce dernier a le droit de le réémettre. Les véhicules dans la portée de communication détectent et réceptionnent le message sans le relayer. Bien entendu dans cette approche, un maintien d'information sur le voisinage est nécessaire. Cette contribution a fait l'objet d'une publication de conférence (Chakroun, 2012).

Dans le chapitre 5, une méthode de sélection de relai plus élaborée est présentée. Cette méthode se base sur la résolution d'un problème de maximisation en faisant intervenir un calcul de fonction objectif sur la base d'un saut. Elle introduit une nouvelle multi-métrique estimant de la probabilité de réception et l'utilisation de la portée (en anglais, range usage). L'estimation de la probabilité de réception est basée sur un modèle analytique faisant intervenir la distance entre émetteur et relai combiné avec la portée maximale possible de communication. Une adaptabilité dans la mesure de la multi-métrique est introduite en faisant pondérer les deux métriques principales afin de favoriser l'une ou l'autre des mesures. Pour des applications exprimant une contrainte plus sévère sur le délai, une valeur maximale de la portée est préférée, alors que pour des applications nécessitant une fiabilité accrue, un taux de

réception de paquets supérieur est plus adéquat. Cette contribution a fait l'objet d'un article de conférence (Chakroun, 2013) et d'un article de journal (Chakroun, 2014b).

3.1.1 Analyse

Un modèle analytique pour l'estimation des délais d'acheminement est proposé dans le chapitre 5. Ce modèle présente une approche probabiliste permettant d'évaluer des bornes inférieures et supérieure sur les délais de bout-en-bout. L'objectif d'une telle analyse est de vérifier la faisabilité d'une telle approche pour des applications de sécurité en présence d'un trafic de moindre importance et en faisant varier les conditions de communication dans le réseau. A partir des résultats des simulations obtenus, il été observé que le délai de bout-en-bout reste acceptable dans des situations de congestion extrêmes. Bien entendu, le fait de nécessité des sauts supplémentaires induit des délais additionnels sur le temps de réponse global vue que ce dernier constitue un cumul de tous les délais et que dans les réseaux, le délai le plus contraignant est celui de traitement au niveau des nœuds relais.

3.2 Techniques de contrôle de congestion

Dans les réseaux sans-fils en général et dans les VANETS en particulier, il existe deux principaux problèmes pouvant causer un dysfonctionnement. Le premier est la tempête de diffusion qui est due à une duplication de messages suite à des collisions successives vu l'utilisation de la diffusion comme technique de dissémination. Le second est la déconnection du réseau lié principalement à la haute mobilité des entités du réseau et se traduit par l'inexistence ou la non-disponibilité de relai dans la portée de communication. Afin de fournir des solutions évolutives pour le déploiement d'application de sécurité, un contrôle de congestion doit être introduit assurant ainsi le bon fonctionnement du réseau dans diverses situations. Des techniques de contrôle de congestion opérant des ajustements de la puissance d'émission en fonction de mesures temps-réel sur l'état du réseau sont introduites dans les prochains chapitres. Ces techniques se basent sur des mesures locales temps-réel de la densité de communication et du taux de réception de paquets.

Dans une première phase, une technique d'ajustement basée sur l'évaluation de la probabilité de réception est introduite dans le chapitre 4. Chaque nœud évalue le taux de réception de paquets dans sa portée de communication en implémentant des techniques de sur-écoute lui

permettant de détecter les échanges initiés dans cette portée. Suite à cette évaluation et après comparaison avec un taux seuil, un nœud décide d'opérer l'une ou l'autre des actions suivantes; réduire sa puissance d'émission, l'augmenter ou la maintenir. Cette technique a été introduite dans le premier article de conférence (Chakroun, 2012).

Une deuxième technique adoptée dans le chapitre 5 fait intervenir des mesures temps-réel sur la densité de communication locale comme définit dans (Jiang, 2007) et permet de garantir une densité de communication permettant le maintien de la connectivité dans le réseau dans le cas de faible densité, tout en réduisant sa charge dans le cas contraire. Cette technique opère une adaptation de la puissance d'émission et affecte ainsi la portée des communications. Dans le cas d'une déconnection du réseau, une augmentation de la puissance d'émission permettra d'étendre la vision du nœud afin de détecter de nouveaux relais. Alors que dans le cas d'une congestion, une réduction de la portée permet de réduire le nombre d'échange perçus et assure ainsi une meilleure fiabilité du point de vue probabilité de collisions et interférences. Cette contribution a été incorporée dans un article de conférence (Chakroun, 2013) et a été développée dans l'article de journal (Chakroun, 2014b).

Un troisième volet introduit une technique adaptative se basant sur un ajustement de la fréquence de messages. Cette technique est discutée dans le sixième chapitre et est initiée en fonction de la distance parcouru par le message et est combinée avec une technique d'adaptation de la priorité. Cette approche vise l'introduction d'un fonctionnement adapté à l'amplitude de l'évènement reporté. Après une certaine distance par rapport au nœud émetteur, la priorité du message est réduite afin de favoriser des messages de sécurité locaux. Cette approche permet de réduire la probabilité de concurrence entre messages de même priorité et reportant des évènements distant. Bien entendu, un message généré localement reporte un évènement dans le voisinage proche et est par conséquent plus urgent d'un point de vue sécurité. Cette contribution a fait l'objet d'une publication de conférence (Chakroun, 2014a) et sa version étendue fait l'objet d'une soumission pour évaluation dans le journal Elsevier Computer Networks (Chakroun, 2014c).

3.2.1 Analyse

L'introduction de technique adaptative permet aux solutions proposées de se conformer à des exigences variées exprimées par une multitude d'applications tout en préservant les fonctionnalités du réseau. Des analyses ont été proposées afin de quantifier les impacts de tels ajustements sur les performances du réseau et plus particulièrement sur les délais supplémentaires qu'ils induisent. Suite à de multiples phases d'ajustement, le temps de réponse global peut être affecté surtout si ces dernières nécessitent des traitements particuliers sur les messages au niveau des nœuds (cas de l'ajustement de la priorité). Cependant, leurs impacts sur le maintien du bon fonctionnement du réseau sont considérables dans des cas de congestions sévères. En se conformant aux résultats obtenus, ces techniques restent acceptables surtout dans le cas de hautes densités de communication et leurs apports sont prouvés sans équivoque.

3.3 Conclusion et synthèse

Dans ce projet de thèse, des caractéristiques clés et des modèles pour l'approvisionnement d'applications de sécurité dans un contexte véhiculaire ont été présentées. La problématique majeure était de fournir une plateforme fiable et adaptative pour l'échange de messages de sécurité dans une architecture collaborative. Des solutions de dissémination, de contrôle de congestion, ainsi qu'une technique d'accès plus appropriée ont été introduites et leurs impacts sur les performances globales du réseau ont été discutés. Ceci étant traité sur trois volets ne pouvant être dissociés afin de garantir l'intégrité des solutions proposées. Les résultats de simulations ont montrés des résultats satisfaisants en termes de temps de réponse global, de maintien de la connectivité et d'utilisation judicieuse des ressources du réseau.

Sur cette base, une multitude d'applications de sécurité peuvent coexister et être déployées afin d'assurer une conscience améliorée de l'environnement et du voisinage de chacun des véhicules et afin de fournir de support pour la construction d'une vision globale partagée.

CHAPITRE 4.

TECHNIQUE DE DISSEMINATION D'INFORMATIONS MULTI-METRIQUE POUR LES RESEAUX 802.11P

Titre original : MUDDS: Multi-Metric Unicast Data Dissemination Scheme for 802.11p VANETs

Auteurs et affiliations :

Chakroun, Omar, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Cherkaoui, Soumaya, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Rezgui, Jihene, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Date de parution : Aout 2012

Etat : publié

Revue : IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)

Mise en contexte du chapitre :

Dans cet article, nous avons abordé les problèmes de dissémination de messages d'urgence et de contrôle de congestion du canal associé, i.e. canal de contrôle. Nous avons présenté une nouvelle approche pour le contrôle de congestion qui s'appuie sur une estimation temps-réel de la charge de communication dans le réseau et effectue un ajustement adaptatif de la puissance d'émission en fonction de la charge actuelle du réseau. Le second apport est l'introduction d'une approche de relayage d'information se basant sur une estimation d'une

métrique combinant l'évaluation de distance entre le nœud émetteur et le relai et l'état de ce même lien en termes de durée de disponibilité.

4.1 Résumé

4.1.1 Résumé en français

Les réseaux véhiculaires ad hoc (VANETs) font usage des infrastructures de communication afin d'améliorer la sécurité routière. Ces réseaux, par le rapide changement de leur topologie, peuvent souffrir de deux problèmes majeurs ; (1) la tempête de radiodiffusion et (2) la déconnexion du réseau respectivement dus à une haute densité des véhicules et à leur vitesse. Dans ce document, nous proposons un nouveau schéma Unicast de propagation de données basé sur des estimations de distances en utilisant des mesures de la force du signal reçu (en anglais, RSS) et la détection de la congestion au moyen d'une nouvelle métrique, Multi-metric Unicast Data Dissemination Scheme (MUDDS). MUDDS adapte la portée de transmission afin d'éviter la congestion. Il effectue le choix du meilleur lien disponible pour garantir à la fois une transmission fiable et un délai minimum. MUDDS traite les problèmes de tempête de radiodiffusion et de déconnexion du réseau simultanément. Les résultats des simulations confirment l'efficacité du schéma de relayage adaptatif proposé et son impact sur les performances du réseau sous diverses contraintes de trafic.

4.1.2 Abstract

Vehicular ad hoc networks (VANETs) leverage communication equipment and infrastructures to improve road safety. These networks, by the rapid change of their topology, can experience mainly two major problems; (1) the broadcasting storm and (2) the network disconnection due respectively to high vehicles density and their velocity. In this paper, we propose a new unicast data dissemination scheme based on distance estimation using Received Signal Strength (RSS) measurements and congestion detection by mean of a newly designed metric; called Multi-metric Unicast Data Dissemination Scheme (MUDDS). MUDDS adapts the transmission range so that congestion can be avoided. It performs the best available link choice to guarantee both reliable transmission and minimum delivery delay. MUDDS focuses on the broadcasting storm and the network disconnection problems simultaneously. Simulation results confirm the effectiveness of the proposed on-demand adaptation and relaying scheme and its impact on network performance under various traffic constraints.

4.1.3 Index Term

Vehicular ad hoc networks, multi-metric, broadcasting storm, network disconnection, congestion avoidance.

4.2 Introduction

Vehicular communication is an upcoming and prodigious concept relying on communication infrastructure and equipment to reduce accident and to save lives. VANETs leverage wireless communications technologies and techniques so that vehicles can be aware of their surrounding environment. The major challenges in vehicular networks are: (1) how to design a system or a scheme that can satisfy the applications constraints and can allow the drivers reacting in time? (2) how to ensure that the information is delivered with respect to transmission delay constraint?

Two classes of messages can be distinguished in VANETS; safety and private messages. There are two types of safety messages; emergency messages and routine messages. Emergency messages are critical, event driven and delay sensitive. Routine messages are periodically broadcasted and support information on weather, road state, etc. Private messages are related to functionalities such as navigation and entertainment. They are throughput sensitive and follow an on demand scheme.

The broadcasting storm is a phenomenon that happens when multiple communicating vehicles are broadcasting messages at the same time. Due to multiple collisions that can happen, network performances degrade rapidly. This phenomenon has a deeper impact when the network is closer to its capacity saturation.

The network disconnection problem happens when the only available link to forward data from a particular section of the road to another became unavailable. This phenomenon is highly related to vehicles velocities and to the pseudo-unpredictable character of their displacements.

This work complements the approach in (Rezgui, 2011a) and proposes an efficient, overhead-free approach for congestion control and data dissemination in VANETS. MUDDS uses local

measurements and does not need a continuous exchange of information. It does not induce an overhead and integrates a novel dissemination metric called LA, based on the link availability rate and distances measurements. This novel approach aims to improve the efficiency of messages dissemination by improving Packets Reception Rate (PRR) and reducing the End-to-End (E2E) message dissemination delay.

The remainder of this paper is organized as follow; section 4.3 discusses some proposed schemes for data dissemination considering their design metrics. Section 4.4 introduces our proposed scheme, MUDDS, and its different operating phases. Section 4.5 presents the proof of our concept and gives an overview of the expected results. Finally, section 4.6 concludes the paper.

4.3 Related works

Intelligent transportation systems (ITS) denote the use of the new information and communication technologies to improve transportation. This work addresses some issues encountered with such systems, particularly, the broadcasting storm and the network disconnection problems. Schemes have been proposed in the literature whose main goal is to ensure minimum Quality of Service (QoS) ((Tonguz, 2006), (Fukuhara, 2005), (Lin, 2010)) based on link state ((Zulkefli, 2009), (Okada, 2009)) or disconnections number ((Naumov, 2007), (Taleb, 2007), (Sun, 2006)). In this section, solutions will be discussed based on their dissemination metrics. These solutions can be roughly divided in two categories; (1) Uni-metric and (2) Multi-metric solutions.

4.3.1 Uni-metric schemes

Korkmaz et al. proposed Urban Multi-hop Broadcast (UMB) (Korkmaz, 2004). UMB uses the distance between communicating nodes to elect the farthest node as a relay. Ad hoc Multi-hop Broadcast (AMB) is an improvement of UMB where the closest node to an intersection is selected as a relay to that section of the road. Fast Broadcast (FB) (Pakornsiri, 2009) uses the same principle as UMB. It operates in two phases; a range adaptation phase and a dissemination phase in which the distance based forwarding scheme is applied. Smart Broadcast (SB) and Position-Based Adaptive Broadcast (PAB) (Yang, 2008) implement a store-and-forward scheme trying to use efficiently the network resources. SB and PAB rely on

distance, position and speed information. Reliable and Efficient Alarm Message Routing in VANETs (REAR) (Jiang, 2008a) considers as performance metric the PRR. The PRR gives an information on how efficient is the dissemination scheme and how reliable is the data forwarding. REAR guarantees messages sending reliability but does not offer any bound on data forwarding delay. Receive On Most Stable Group-Path (ROMSGP) (Taleb, 2007) and GVGrid (Sun, 2006) respectively rely on categorizing communicating vehicles based on their speed and heading, and on the number of sub-subsequent links disconnection. Reducing the number of hop reduces the overall delay and only guarantees a lower delay. The use of the PRR as a metric, supposes that every node has capabilities to compute this metric and introduces processing time in nodes. The use of only one metric for data dissemination decisions is generally insufficient and schemes with multi-metric approaches have been proposed in the literature.

4.3.2 Multi-metric schemes

DV-CAST (Tonguz, 2010) uses density and connectivity information to perform message relaying. It ensures a high messages forwarding reliability by choosing the less loaded links all over the routing path. Tatsuaki et al. proposed Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB) (Osafune, 2007). This solution tried to avoid network congestion by tuning up the messaging frequency depending on the network state. MHVB does not offer any guarantee neither on the rate of successfully delivered messages nor on the delivery delays. Moreno et al. in (Torrent-Moreno, 2006) proposed a dynamic transmission power adaptation scheme to guarantee a fair sharing of the network resources between vehicles. In this scheme, the adaptation procedure is based on exchanged messages containing information on network density and neighbors' number. Naumov et al. proposed Connectivity Aware Routing (CAR) (Naumov, 2007) ; it pre-establishes the routing path leveraging a control message that is sent from the source node all over the minimum delay links to reach the destination node. When the message reaches the destination, it is relayed on all over the reverse path and the route is constructed. Multi-metric techniques introduced more awareness of the network state and tried to palliate to the shortcomings of the Uni-metric ones.

The use of Uni-metric dissemination schemes lacks of information on the network state and Multi-metrics schemes have been proposed to cure this. However, for a relatively complete knowledge of the network state, nodes needs to continuously exchange specific messages containing information on their speed, heading, link state and position. This induces an overhead and weighs on the network performances which can lead to network performances degradation. In the next section, MUDDS, a complementary work to the approaches in (Rezgui, 2011a) will be presented. This approach aims to cures the cracks in the previous work especially avoiding the network disconnection problem that can happen since only 2-HOP dissemination is performed.

4.4 Proposed Scheme: MUDDS

Researchers focus on reducing the overhead caused by the continuous exchange of information to achieve a global awareness of the network state, either by controlling the network congestion or by tuning up the control messages broadcast frequency. This work presents a novel approach, called Multi-metric Unicast Data Dissemination Scheme (MUDDS). MUDDS is a multi-metric data dissemination scheme based on two primary metrics; (a) PRR; and (b) Link Availability (LA). These two metrics are based on local measurements and every node is supposed to have the ability to compute them. MUDDS operates in two phases; (1) a range/power adaptation phase in which a range adaptation is performed to guarantee a maximum PRR according to the network state in term of congestion and communication density. (2) The messages forwarding phase which is performed based on the LA metric. The use of PRR guarantees reliability on messages forwarding and LA based choice of the forwarder guarantees less hop and aims to avoid the network disconnection problem.

In this paper, we assume that; (a) all vehicles are equipped with 802.11p enabled communication devices as specified in the standard 802.11p specifications and that their output power and receivers sensitivity are known or can be retrieved using their ID. (b) Signals are subject to the same attenuation in both directions of a particular link. Considering two communicating nodes A and B; if an RSS attenuation measurement is performed in the node B side (respectively A), it will be the same as that measured in the node A side

(respectively B). (c) We assume that all vehicles have the ability to compute the PRR in their range; by implementing overhearing technique and by scrutinizing the physical layer.

We define the overhead as the extra type of messages that have to be sent to construct knowledge on the network state; usually called control messages and containing information such as position, heading, link state, etc. We use the communication density (CD) definition as specified in Eq 4.1 (Jiang, 2007), a combination of the transmission range (meter), the messaging frequency (Hz) and the vehicles density (vehicle / km road).

$$CD = \text{Messaging frequency} * \text{Transmission range} * \text{Vehicles density}$$

(Eq 4.1)

As a first approach to expose our ideas on the overhead-free message dissemination scheme for VANETs that meets safety related applications requirements, we present the scheme architecture in Figure 4.1 and we detail its operating mode in two phases; (a) the adaptation phase and (b) the dissemination phase.

4.4.1 MUDDS adaptation phase

We assume that all nodes have the ability to compute their own PRR and the local CD in their transmission range. As the PRR constitute a good network performances indicator, it was chosen as a metric for MUDDS adaptation scheme. PRR_t value characterizes the maximum achievable PRR considering the actual network state and PRR_{th} characterizes the minimum acceptable PRR expressed by applications constraints (given as entry to the system; e.g. For safety application, we can consider a PRR over 80 percent as sufficient).

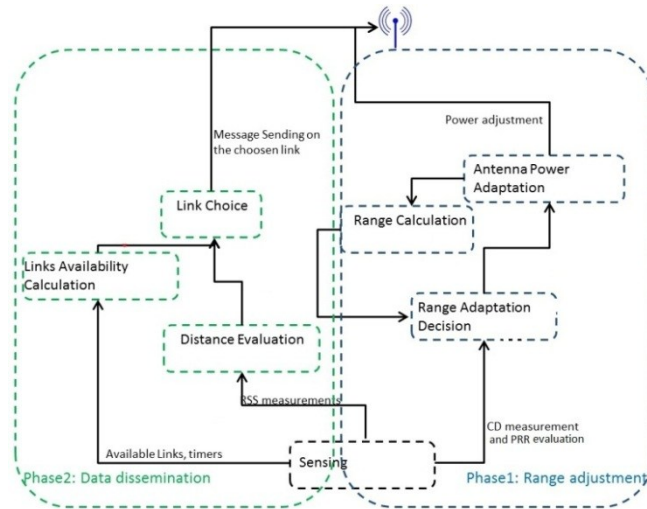


Figure 4.1 - MUDDS architecture

PRR is highly related to the number of packet losses in the network (see Eq 4.2 where; N_s the number of successfully received packets, N_t the total number of sent packets, and N_l is the number of lost packets). These losses are often due to collisions that can occur in the network. The number of collisions increases when the network is close to its saturation.

$$PRR = \frac{N_s}{N_t} = \frac{N_t - N_l}{N_t} \quad (\text{Eq 4.2})$$

As discussed earlier, our approach is based on the CD metric that characterizes the network state in term of communication density and as proven in (Jiang, 2007), for a fixed CD value the network performances are similar. In highly dense network, collisions probability became higher and consequently a high PRR cannot be guaranteed. While, in less dense environments, the number of lost packets is smaller, this maintains an acceptable PRR level.

PRR is inversely proportional to the CD. CD as shown in equation (Eq 4.1) depends on the transmission range, messaging frequency and the vehicles density. So three parameters can have an impact on CD values; (1) Transmission range which depends on the transmission power, receivers sensitivity and the propagation environment, (2) the messaging frequency which was taken into account to reduce the network load and (3) the vehicles density which can also be tuned by modifying the detection range (if the detection range take a maximum value corresponding to the maximum transmission range). An adaptation approach based on the transmission power tuning in order to act on the CD and consequently on the PRR was chosen. Since MUDDS operates locally, modifying the transmission power can have a double

effect on CD parameters; reducing transmission power means reducing transmission range and eventually reducing the perceived network density. This has an overall impact on reducing the local CD and consequently increasing the locally perceived PRR.

MUDDS adaptation phase operates in two main sub-phases; (1) the sensing phase, (2) the range adaptation phase.

Sensing phase: A first step is to collect data on the actual network density, the number of neighbors, their relative distances from the actual node and the maximum achievable range considering the actual transmission power. The sensing component extracts in real-time information to evaluate the CD and the PRR locally. As CD is a mean value, its sensing cadency is potentially lower than the RSS measurements cadency and timestamps has to be specified so that measurements can be matched. RSS measurements are performed every second and PRR evaluation needs more time to collect information and its latency is twice the time. An example of the extracted data structure is shown in Figure 4.2.

CD measurement	Timestamp		CD value
RSS measurements	Timestamp	Vehicle ID 1	RSS value 1
		Vehicle ID 2	RSS value 2
		Vehicle ID 3	RSS value 3
		Vehicle ID n	RSS value n

Figure 4.2 - Sensed data format

Range adaptation phase: The main purpose of this phase is to decide when performing a range adjustment to avoid network congestion and to keep a PRR higher than that is required by applications, PRR_{th} . The range adaptation is only performed locally (every vehicle adapts its own range according to its evaluation of the PRR). According to PRR_t and the PRR_{th} values, an adaptation phase can be initiated in which three decisions can be taken; (a) reducing the transmission power, (b) increasing the transmission power or (c) maintaining it as described in Algorithm I

Algorithm.I: Range adaptation

PRR_{th} : PRR threshold CD_t : communication density measurement at instant t D_t : maximum transmission range at instant t $PRR_t = f_{untion}(D_t, Dist_t)$ //computed locally
--

If ($PRR_i < PRR_{th}$)	Then {reduce transmission range according to the desired PRR}
Else if ($PRR_i > PRR_{th}$)	Then {raise transmission range according to the desired PRR}
Else	Then {maintain the actual transmission range}
End if	

CD measurement, neighborhood and communication on the range information extracted by the sensing phase are used to make such a decision. As shown earlier, changing the transmission range affects the network density in terms of CD and consequently affects the PRR. Reducing transmission range can cause network disconnection in high communication density environments and increases the number of hops which can have a negative effect on the E2E delay. Consequently, MUDDS integrates a dissemination scheme based on a novel metric called Link Availability (LA) to cure that miss-behavior in such conditions and to ensure a minimum E2E delay.

4.4.2 MUDDS messages dissemination phase

The dissemination is the second phase of the proposed scheme. In MUDDS, to ensure a minimum number of hops, the farthest vehicle in the emitter vehicle range has a greater priority to forward the message. Neighboring vehicles, by implementing overhearing techniques, detect that the actual message stored in their buffers is forwarded and ignore its transmission. MUDDS dissemination phase can be partitioned in two sub-phases; (a) the election of the possible messages forwarders, (b) the choice of the most reliable link according to the link availability metric (LA).

Forwarders election: In this phase, every node maintains a table containing estimations of the distances between its reachable neighbors. This estimation is based on the RSS measurements, the transmission power knowledge and by applying the right propagation model. Eq 4.3 shows the distance effect on the signal attenuation using the TwoRayGround propagation model where H_i , $i \in [t,r]$ corresponds to the transmitter/receiver height, G_i , $i \in [t,r]$ to the transmitter/receiver antenna gain, P_i , $i \in [t,r]$ to emitted/received power, d to the distance between transmitter, and receiver, and L the system loss (TwoRayGround).

$$P_r = \frac{P_t * G_t * G_r * H_t^2 * H_r^2}{L * d^4} \quad (\text{Eq 4.3})$$

Since the distances estimation is made locally; local measurements, it does not need messages exchange and consequently does not involve an overhead.

Link choice: Let's assume that a link is identified $l(b,t)$; b is the ID of a detected vehicle in the neighborhood, t is the associated sensing timestamp. For every vehicle ID b_i , we maintain a timer, t_i , corresponding to the duration of availability of that particular link and a global timer T . If a particular link is sensed, its associated timer is incremented by the number of time units that the sensing phase needs. By this we define the link availability rate as a ratio between how long a particular link has been available t_i and the total time T as in Eq 4.4.

$$\text{Link availability rate } l(b, t) = \frac{t_i}{T} \quad 0 \leq t_i \leq T \quad (\text{Eq 4.4})$$

As MUDDS dissemination phase aims to reduce the E2E delay by reducing the hop number with respect to the messages dissemination reliability, the distance between the sender and the possible forwarder was taken into account to give a higher priority to the farthest forwarders. Link Availability (LA) (see Eq 4.5 where distance i is the evaluated distance between the actual node and the selected forwarder, t_i the duration of the link availability, R the maximum achievable transmission range, and T the total time) metric takes into account the Link availability rate (Eq 4.4) as a good indicator of the link state and the link length (distance between the sender and the possible forwarder). This metric aims to take these two parameters into consideration, choosing the farthest vehicle reduces the hop number and consequently the overall delay. Choosing the most reliable link guarantees the message delivery and avoids network disconnection problem.

$$LA_i = \text{distance}_i * \text{availability rate}_i = \frac{\text{distance}_i * t_i}{T} \quad (\text{Eq 4.5})$$

$$0 \leq \text{distance}_i \leq R$$

$$0 \leq t_i \leq T$$

Every node has to construct one local table as shown in Table 4.1 containing for each link (one link is identified by the two communicating node), its availability rate and its length (here the length is the distance between the two node obtained based on the RSS attenuation measurement). The link having the greatest LA value is considered as the best link in terms of

delay and reliability; local reliability is ensured by the adaptation phase and the dissemination phase aims to maintain this reliability and ensure a minimum delivery delay all over the path. In table 4.1, the node f will be chosen to forward the message since the link identified by (a,f) presents the maximum Link Availability value (138) corresponding to 92 % of availability and up to 150 meters distance from the sender.

Tableau 4.1 - Example of local link availability table (node a, T = 100 time units)

<i>Link</i>	a,b	a,c	a,d	a,e	a,f
<i>Link availability duration (time units)</i>	5	30	60	72	92
<i>Availability rate</i>	0.05	0.3	0.6	0.72	0.92
<i>Distance</i>	50	100	150	20	150
<i>LA=Distance*availability rate</i>	2.5	30	90	14.4	138

4.5 Results overview

In this section, we present the simulations results conducted using NS-2 to compare and evaluate the effectiveness of our approach compared to basic Vehicular Deterministic Access (VDA) and Distributed Coordination Function (DCF). Two main metrics are evaluated; (a) the end-to-end delay, (b) the packet reception rate. As MUDDS integrates an adaptation scheme and a novel approach on how to disseminate messages using new metrics, the price of such adaptation has to be discussed.

4.5.1 Simulation parameters

We simulated an 8 lanes highway (4 in each direction) with 10 vehicles per lane. We implemented a 6 levels power adaptation scheme integrating LA metric for link choice over standard VDA discussed in (Rezgui, 2011a). Simulations parameters are presented in Table 4.2. In this section, MUDDS mean VDA access scheme combined with MUDDS adaptation and dissemination schemes, VDA and DCF mean respectively VDA access and DCF access schemes applied to two-hop neighborhood.

Tableau 4.2 - Global simulation parameters

Parameter	Value
Messaging Frequency	10, 20, and 25 per second

Vehicle densities	10-100 veh/km/lane
Vehicle velocity	60 - 120 km/h
Simulation duration	60 seconds
Transmission rate	6 Mb/s (Jiang, 2008c)
Transmission power	0.05-2(W)
Radio reception threshold	-90 dBm
Signal propagation model	TwoRayGround

4.5.2 Results analysis

End to End delay: MUDDS performance in term of end-to-end delay was studied and compared to VDA and DCF. Figure 4.3 shows that MUDDS presents a slow start compared to VDA in light load conditions. Light load condition means light communication density and the number of packets loss caused by collision is still acceptable, so no adaptation is initiated. The extra-delay is caused by the adaptation stage. In medium and high loaded conditions, MUDDS outperforms VDA due to its capability to prevent congestion and consequently reduce the number of collisions. DCF is outperformed by VDA and MUDDS in both high and low load condition and presents respectively about 46 % and 48 % excess E2E delay.

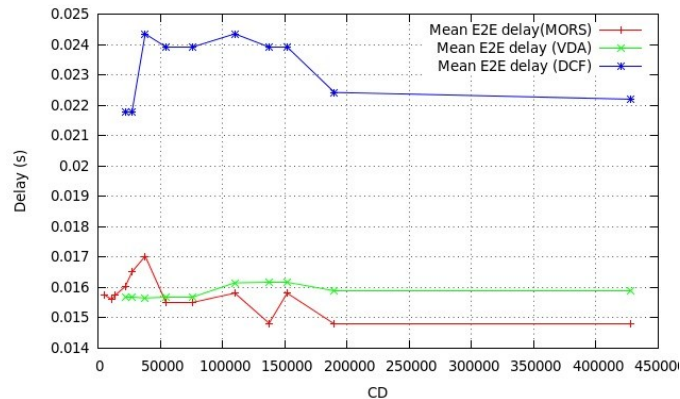


Figure 4.3 - End-to-end mean delays

Packets reception rate: Figure 4.4 shows the packet reception rate in various communication densities for MUDDS, VDA and DCF. VDA and MUDDS outperform DCF as they enhance

scheduling. MUDDS performance is similar to VDA and outperforms it in medium communication densities conditions. This is due to MUDDS capability to avoid congestion, adapt the communication density and therefore avoid possible packets loss. This supports the previously presented observation that MUDDS is particularly efficient in medium and high communication densities. Figure 4.5 shows the impact of MUDDS adaptive behavior on the PRR where every peak corresponds to an adaptation phase. In this simulation, the scheme is configured to do the best to improve the PRR.

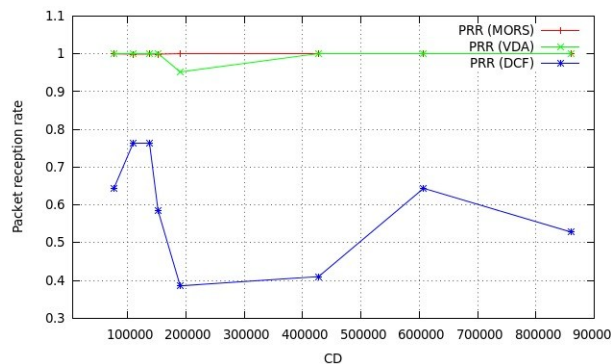


Figure 4.4 - Packet reception rate (vda, dcf, and MUDDS)

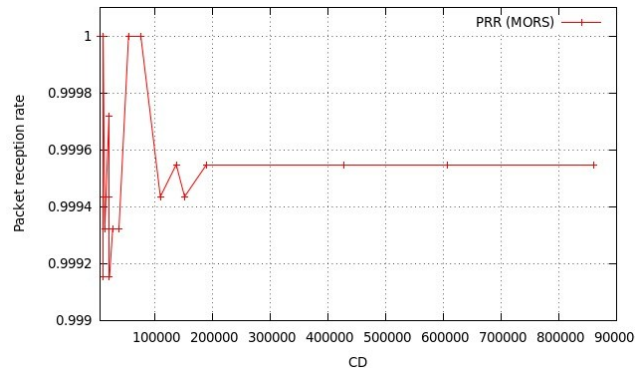


Figure 4.5 - Packet reception rate (MUDDS)

The price of the adaptive behavior: As we introduced an adaptive behavior in MUDDS, we have to measure the impact of such adaptive scheme on the network performances. In MUDDS, an adaptation phase precedes the dissemination phase. Such adaptation involves an additional delay which is presented in Figure 4.6 as the power adjustment latency. This additional delay causes a lag in the overall delivery delay. Even with that additional delay, MUDDS outperforms DCF and VDA. Figure 4.7 shows the effect of the adaptation scheme on the measured CD, we remark that the adaptation scheme has a deeper impact in highly dense

environments which approves the effectiveness of MUDDS in high and medium communication densities.

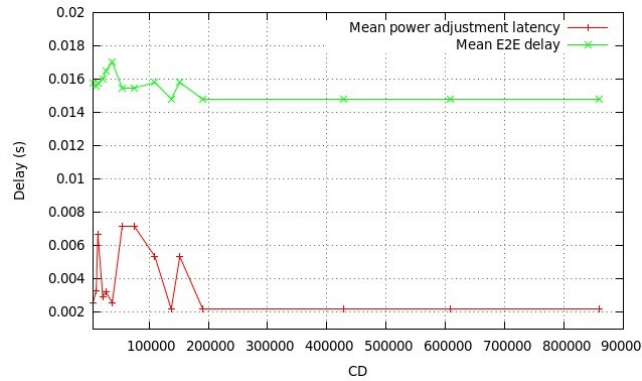


Figure 4.6 - MUDDS Power adjustment latency and E2E delay

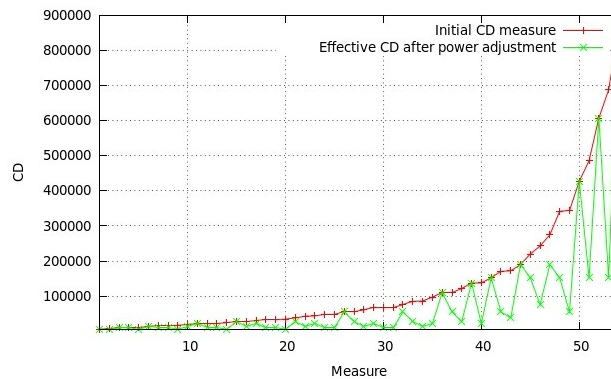


Figure 4.7 - Power adjustment effect on the CD

4.6 Conclusions And Future Work

In this paper, we present an adaptive overhead-free dissemination scheme for VANETs. MUDDS uses local RSS and CD measurement to dynamically adapt the transmission power and introduces a new metric in which is based its dissemination phase. MUDDS does not need a continuous exchange of information and therefore does not involve an overhead. Using simulation, we show that MUDDS outperforms VDA and DCF in terms of End-to-end delay and PRR in high and medium communication densities. MUDDS is effective for highly

congested environments where the high communication density results in high number of packets collision.

We plan to conduct more simulations especially in highly congested environments such as urban environments and introducing priority schemes for traffic differentiation corresponding to Emergency and Routine messages in VANETs. These additional tests will support MUDDS effectiveness.

CHAPITRE 5.

CONTRÔLE DE CONGESTION ET DISSEMINATION D'INFORMATIONS SANS SURCOUT POUR LES RESEAUX 802.11P

Titre original: Overhead-Free Congestion Control and Data Dissemination for 802.11p VANETs

Auteurs et affiliations :

Chakroun, Omar, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Cherkaoui, Soumaya, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Date de parution : Juin 2014

Etat : publié

Revue : ELSEVIER Vehicular Communications

Mise en contexte du chapitre :

Afin d'optimiser l'approche proposée dans le chapitre précédant, nous avons opté pour une approche d'optimisation en segmentant le problème de base en deux sous-problèmes temporellement liés. Chacun des sous-problèmes traite d'une phase du fonctionnement du schéma afin de réduire les délais et la complexité lors de la prise de décision. Le second apport consiste en une étude théorique du délai d'acheminement de bout-en-bout afin d'avoir une base comparative aux résultats de simulations.

5.1 Résumé

5.1.1 Résumé en français

La communication radio directe de véhicule à véhicule peut être utilisée afin de prévenir des accidents et afin de fournir une information sur l'état de la route et les intentions des véhicules voisins. Bien qu'étant actuellement un standard, le protocole IEEE 802.11p présente des imperfections. La dissémination au-delà de 300 m n'est pas assurée et la congestion du canal peut créer des taux de réception de messages de sécurité insatisfaisants. Le routage multi-sauts et les techniques d'accès au canal sont des approches bien connues qui ont été séparément étudiés afin d'améliorer l'efficacité des réseaux. Cependant, assurer un délai de bout-en-bout moindre aura un coût remarquable en terme de débit et bande passante ce qui cause une dégradation des performances des applications de sécurité. Dans ce papier, nous introduisons un nouveau schéma de dissémination et de contrôle de congestion pour les messages d'urgence dans les réseaux véhiculaires. Afin d'assurer un acheminement fiable au-delà de 300m, ce nouveau concept a pour but de propager l'information sur des sauts multiples et sa technique de contrôle de congestion est basée sur un ajustement distribué et asymétrique de la puissance d'émission. Le schéma proposé utilise deux processus d'optimisation-sous-contraintes temporellement liés afin d'élire le meilleur véhicule qui servira de relai. Pour accomplir un tel but, le schéma utilise une combinaison de l'estimation de la probabilité de réception basée sur la portée de communication et une évaluation de la distance. Il introduit une adaptabilité supplémentaire afin de servir les besoins d'applications d'urgence spécifiques. La solution proposée, à l'instar des techniques proposées avant, traite des problèmes de réduction de la charge réseau et de l'assurance d'un délai de bout-en-bout minimum simultanément.

Les résultats des simulations confirment l'efficacité du schéma de relayage adaptatif proposé et son impact sur les performances du réseau sous diverses contraintes de trafic.

5.1.2 Abstract

Direct radio-based vehicle-to-vehicle communication can be used to prevent accidents by letting vehicles exchange information about their state, intentions, and the road conditions. Although it is now a standard, the IEEE 802.11p protocol for vehicular ad hoc networks (VANETs) has known shortcomings. Dissemination is not reliable over distances higher than

300m and congestion in the communication channel can lead to very low rates of safety messages delivery. Multi-hop routing and access channel techniques are well known approaches that were separately investigated to improve network effectiveness. However, achieving low end-to-end latency with multi-hop techniques is usually at the cost of lower data delivery rates, which in turn causes problems for the effectiveness of safety services embedded in vehicles. In this paper, we introduce a new dissemination and congestion avoidance scheme for safety messages over IEEE 802.11p VANETs. In order to ensure good delivery rates beyond 300m, the approach propagates information over two hops while avoiding the resulting congestion by using a fully distributed asymmetrical transmit power adjustment technique. The scheme uses two time-dependent optimization-under-constraint processes to elect the best vehicle to act as a relay for data forwarding. The scheme can estimate the probability of reception rate (PRR), and adjust the forwarding distance to meet the minimum requirements of PRR and delivery distance to fit specific safety application requirements. The proposed solution, unlike previous dissemination techniques, works simultaneously on reducing congestion due to multi-hop relaying and on ensuring low end-to-end delay. Simulation results confirm the effectiveness of the proposed adaptation and relaying scheme and its advantageous network performance compared to others, under various traffic constraints.

5.1.3 Keywords

Vehicular ad hoc networks, multi-metric, multi-hop, safety messages dissemination, overhead free.

5.2 Introduction

Vehicular communications plays an important role in implementing next generation active safety applications. Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) leverage communicating devices introduced in vehicles so that these can exchange useful information. This information exchange aims to extend vehicles and drivers perception by constructing a global awareness of the surrounding environment and other vehicles intentions. Data communication among vehicles ensures high information reach which gives the driver more reaction time to avoid hazardous situations. In high speed environments such as highways and freeways, the time for a vehicle to decelerate up to a safe speed or up to a zero speed is longer. Since the driver

reaction time is constant and usually ranges between 1.5 and 3 seconds, it is important to convey information about the hazardous events as soon as possible and ideally in a few milliseconds. There are two types of safety messages. The first one is event driven, where messages notify about hazardous situations. The timely delivery of such messages might be life critical, and therefore these messages are particularly delay sensitive. The delivery of such messages up to a certain distance for the emitter is also required to ensure a timely reaction from vehicles potentially affected by the event. The second type of messages is routine messages, which contain information about the speed, location, heading of the sender, etc. These messages are periodically broadcasted to immediate neighboring vehicles so that they can update their information on the surrounding environment. These messages also are delay sensitive, but their periodic broadcast can cause channel congestion.

Multiple routine (beacon) messages per second are needed to provide the required accuracy for safety applications to operate correctly. The key issue related to such beaconing activity is how to ensure the fair trade-off between data availability and freshness without causing channel congestion. Adding to this issue, is the fact that the channel access technique used in the 802.11 systems, i.e. DCF, is an asynchronous one and slatterns wireless medium resources

Pursuing effective networking solutions for VANETs, a number of challenges have to be addressed. Knowing that the main dissemination technique in VANETs is broadcast, how to ensure that continuous broadcasting will not affect network performances (i.e. delivery rates and delays) especially close to the channel saturation threshold? Also, while 802.11p was designed to reach a dissemination distance of 1000m, the actual maximum achievable range with 802.11p barely reaches 300 meters. Therefore, how to meet the dissemination distance needed by a broad range of safety applications without causing congestion?

Efforts to tackle the above challenges have generally been targeted towards a single goal among three: (1) designing new channel access schemes to avoid transmission collisions, (2) designing congestion control schemes to prevent network performance degradation in dense scenarios, and (3) proposing multi-hop dissemination schemes to propagate messages over the

network. The first and second solutions generally fail to extend messages delivery distance, while the third kind of solutions usually further exacerbates network congestion. In this paper, we address these challenges simultaneously as optimization problems that have to be solved simultaneously to form an efficient safety messages dissemination scheme for 802.11p/VANETs.

Our work complements the approaches in ((Rezgui, 2011a), (Rezgui, 2011b)) and proposes MORS, an efficient, overhead-free approach for multi-hop safety messages dissemination over 802.11p with congestion control. The scheme uses local measurements with no need for control messages exchange and therefore does not induce an overhead. It integrates a dissemination metric, based on an approximation of the expected reliability and communication range usage. The approach aims to improve the packet reception rate (PRR) and reduce the End-to-End (E2E) message dissemination delay. For this, we use multiple optimization-under-constraints processes that characterize each optimization problem; 1) the communication range choice to minimize congestion and 2) the optimal farthest relay designation according to the current network state in order to maximize the probability of reception.

The remainder of this paper is structured as follow; section 5.3 discusses existing schemes for data dissemination and power/range adaption. Section 5.4 introduces the problem formulation. Section 5.5 details MORS, and its different operating phases. Section 5.6 presents the theoretical system analysis. Section 5.7 gives the simulations result obtained with realistic scenarios. Finally, section 5.8 concludes the paper.

5.3 Related works

Reliable message dissemination over 802.11p networks is hindered by a number of problems, the most notorious of which is the broadcasting storm that causes congestion in channels already experiencing multipath, high nodes velocity, and a wide dynamic range of signal strengths. Another problem which can add to congestion in accessing the communication medium is that beacon messages will carry security-related overhead leading to messages having a large size up to 800 bytes (Lin, 2010). This will result in payload being disseminated on multiple messages over an already congested channel.

In order to enhance message broadcasting reliability, and extend the message delivery distance, some authors worked on new channel access schemes or congestion control methods, while others focused on multi-hop routing schemes

A number of access schemes and congestion control schemes have been proposed in the literature whose main goal is to ensure message delivery with the best achievable Quality of Service (QoS) ((Tonguz, 2006), (Fukuhara, 2005), (Lin, 2010)) based on link state ((Zulkefli, 2009), (Okada, 2009)) or disconnections number ((Naumov, 2007), (Taleb, 2007), (Sun, 2006)). In previous works ((Rezgui, 2011a), (Rezgui, 2011b)), we introduced VDA, a time-synchronized access over 802.11p which ensures contention-free and fairness in channel access between vehicles even in dense scenarios. However VDA only ensures fairness in a two-hop vicinity of participating vehicles and non-participating contending vehicles will experience packet losses.

To account for the 1000 meters dissemination barrier, messages have to be forwarded for multiples hops. For this purpose, some works focused on Broadcast schemes, others on Unicast or Geocast multi-hop schemes.

In the broadcast schemes category, Smart Broadcast (SB) (Fasolo, 2005) uses a distance based forwarding technique electing the farthest node in the communication range of the emitter as a relay based on blackburst. Korkmaz et al. proposed two designs; Urban Multi-hop Broadcast (UMB) (Korkmaz, 2004) which uses a continuous message exchange to calculate distances between communicating nodes and elect the farthest one as a relay. The other design is Ad hoc Multi-hop Broadcast (AMB) which is an improvement of UMB electing the closest node to an intersection as a relay to a particular section of the road. Another scheme, Fast Broadcast (FB) (Pakornsiri, 2009) uses greedy forwarding which adapts the waiting time before rebroadcasting by giving the farthest vehicle in the communication range a higher priority to relay the message. Reliable and Efficient Alarm Message Routing in VANETs (REAR) (Jiang, 2008a) considers PRR as a main metric to guarantee packets delivery, but does not offer any bound on data forwarding delays. ROMSGP and GVGrid (Lin, 2010) respectively rely on

categorizing communicating vehicles based on their speed, heading, and the number of subsequent link disconnections. However designs leveraging control messages exchange, such as the latter will induce an overhead which can have negative impact on the network performance.

In the unicast-based schemes category, Naumov et al. introduced Connectivity Aware Routing (CAR) (Naumov, 2007) which by pre-establishing the dissemination path guarantees lower delays. It uses HELLO messages exchange from the source to the destination and on the reverse path to construct a routing route similarly to AODV. DV-CAST (Tonguz, 2010) ensures high messages delivery by electing the less loaded links all over the routing path to construct a route. Moreno et al. in (Torrent-Moreno, 2006) proposed a highly dynamic transmission power adaptation scheme which guarantees a fair channel access between vehicles. It involves exchanging control messages containing status information such as network density and neighbors' number. Again, the use of control messages induces an overhead which can impact network performance. The MHVB scheme introduced by Tatsuaki et al. (Osafune, 2007) tunes the beacons messaging frequency depending on the number of nodes in the communication range to avoid network congestion. However, it does not offer any guarantee neither on the rate of successfully delivered messages nor on the delivery delays.

In the Geocast-based schemes category, Position-Based Adaptive Broadcast (PAB) (Yang, 2008) integrates a design to overcome network disconnections by implementing a store-and-forward scheme used in case of links breakage. It uses position and speed information to construct a global routing map in the network. Such a scheme guarantees messages delivery but not the delay. DTSG (Rahbar, 2010) introduces another approach of geo-casting, called time-stable as it acts on the time when messages are geo-casted. DTSG integrates the idea of helping vehicles navigating in the opposite direction. However, geo-casting needs a continuous exchange of control messages containing information for mechanisms such as cluster formation, etc. Another scheme, ROVER (Kihl, 2007) is a simple geo-casting technique based on zones definitions (zone of forwarding and zone of relevance). It integrates a neighbors' discovery technique based on messages exchange and groups' definition, which at the end leads to extra overhead compromising network performances. Besides, a lost

discovery message in their design means that a part of the zones will not be aware of the event. Ayaida et al. in (Ayaida, 2014) presented a highly interesting concept combining routing protocol with location-based services to reduce the signaling overhead for a hybrid and hierarchical geographic routing protocol. In such schemes, the messages are forwarded using the last receiver updated position. Afterward, a location request is triggered in the vicinity of that “old” position information. This reduces the overhead geographically since end-to-end signaling is not needed. Jerbi et al. in (Jerbi, 2009) introduced an intersection-based geographical routing scheme which combines a clustering-like technique for cell formation and a store-and-forward technique. In this scheme, the route is discovered while sending data messages (in a hop basis) and can be applied for a fixed or moving infrastructure (electing a moving vehicle as a relay). For the aforementioned two techniques, the resulting delay while interesting for service applications, is not suitable for safety messages since it exceeds 1s. In addition to the misused network resources, geo-casting techniques generally need spatial relevance and do not ensure any constraint on delivery delay.

5.4 Problem formulation and motivation

We propose an overhead free dissemination scheme in which no overhead is caused by specific messages exchange to enhance communication, i.e. Blackburst or similar messages. In this scheme, a judicious message forwarder selection technique is used based on a multi-metric. We promote a “unicast” technique over one hop to avoid channel congestion caused by the broadcasting storm and thus elect only one forwarder. We use the fact that on-board antennas are omnidirectional and that nodes can be configured to detect and decode all messages even if these are not addressed to them, i.e. similar to the promiscuous mode in wired networks. In our scheme, the only node that can rebroadcast a message is the one selected using the multi-metric. The address of this node will be tagged on the message to be disseminated. Again all this operation is performed without extra messages as overhead. The scheme also uses a congestion avoidance technique based on an asymmetric power adjustment leveraging real-time communication density estimation.

A first part of the problem description can be modeled as a trade-off between maximizing the range of dissemination and keeping communication density under certain threshold to preserve networking performances. The second part of the problem can be modeled as maximizing an objective function which is used to choose the best relay upon n possible relays in the emitter vicinity. A possible writing form of the problem can be expressed as in P1, where U_i designates the objective function governing the relay choice of node n_i , CR_i the current communication range of node n_i , CD_i and CD_{th} designate respectively the communication density measured locally at node n_i and the communication density threshold.

$$\text{Max}_{CD_i \leq CD_{th}} \{CR_i, \text{Max } U_i\} \quad (\text{P1})$$

For each selected power corresponding to the maximum achievable range considering the current network load, the problem is to designate the best relay in the achievable range that maximizes the objective function. As the same behavior will be processed at each hop, we promoted an optimization process in which; every hop corresponds to a cycle and in which the valuation function is the whole maximization process P1. Ideally, an optimal policy would continuously, at each sensing phase, assign a power to each node and select the best fitting corresponding relay by solving the P1 problem to optimality. However, the exact P1 solution requires a global knowledge of all feasible relay choices, power assignment and a centralized algorithm to solve a mixed integer non-linear problem (NP-hard generally) such as P1 on a sensing phase basis. This is unpractical for real-time decision making and goes against the objective of reducing network load, but it provides the general idea for a distributed algorithm that seeks to achieve local optimality based on locally collected information. That is why local optimality and a problem decomposition approach, as shown in the section below, has been promoted to maintain an acceptable complexity and processing time.

Hereafter, an enhanced design scheme will be theoretically discussed based on two distinct optimization sub-processes: (1) a power adjustment technique to select the right emitting power with respect to the induced communication density (CD) and (2) a data dissemination scheme based on local measurements and on a newly designed multi-metric that takes into account; (a) distance estimation between emitting and next relay, (b) an approximation of the link reliability in term of expected PRR.

5.5 Proposed approach: MORS

We present our proposed scheme, called Multi-metric Overhead-Free Routing Scheme (MORS). MORS is a multi-metric data dissemination scheme based on two primary metrics; (a) PRR; and (b) Distance (D) over communication range (CR) ratio (D/CR). These two metrics are locally measured and every node is supposed to have the ability to compute them.

MORS operates in two phases and is the combination of two schemes that are time-dependent on each other; (1) Fully Distributed Congestion Control (FD2C) which performs a range/power adaptation to guarantee the farthest one-hop message delivery according to the network state in terms of CD, (2) Unicast Multi-hop Data Dissemination (UM2D) whose main function is to perform the next-hop relay node election based on a compromise between envisioned PRR while maximizing D/CR . The use of PRR guarantees reliability of messages forwarding and D/CR ratio maximization to choose the forwarder guarantees less hops and reduces the overall dissemination delay.

In this work we assume that;

(a) All vehicles are equipped with 802.11p enabled communication devices compliant to the standard DSRC/802.11p, use the VDA channel access scheme (Rezgui, 2011a) and their output power and receivers sensitivity are known.

(b) Signals are subject to the same attenuation in both directions of a particular link. Considering two communicating nodes A and B; if a received signal strength (RSS) attenuation measurement is performed at node B (respectively A), it will be the same as that measured at node A side (respectively B).

(c) The detection range is supposed to be twice the communication range.

(d) Without loss of generality, and for simplification purposes, we suppose that all nodes use the same message frequency and message size.

We use CD_i definition as specified in Eq 5.1, which is computed at node n_i based on transmission range value (CR_i in meters), message frequency (Msg_freq_i in Hz) and vehicles density ($Veh_density_i$ in vehicles/km of road).

$$CD_i = Msg_freq_i \times CR_i \times Veh_density_i \quad (\text{Eq 5.1})$$

Table 5.1 summarizes the variables used for the optimization processes.

Tableau 5.1 – Table of symbols for the optimization processes

CD_i	Communication density perceived by node n_i
CD_{th}	Communication density threshold, after which an adaptation is initiated
CR	Maximum achievable communication range
Msg_freq_i	Message frequency in Hz of node n_i
$Veh_density_i$	Vehicle density in vehicle/km of road perceived by node n_i
N	Set of vehicles (nodes) in a given area
N_i	Set of vehicles (nodes) perceived by node n_i in its vicinity for a given CR_i
CR_i	current communication range of node n_i
$Propag$	Function of propagation model determining the communication range for any transmission power
β	Proportionality function between the two main metrics
$Prr_{i,j}$ $j \in N_j$	Probability of reception rate function for messages emitted by node n_i to node n_j
Pwr_i	Discrete power value selected by the node n_i
$dist_{i,j}$	Distance between node n_i and node n_j
$dist_{cross}$	Cross-over distance. Defined as the distance to switch from Friis to Two-ray model [20]. Depends on the transmission rate, chosen frequency and coding rate.

In the following we detail the two optimization sub-processes of MORS, the (a) the adaptation phase with FD2C and (b) the dissemination phase with UM2D.

5.5.1 Fully Distributed Congestion Control (FD2C)

FD2C constitutes the first optimization sub-process. It performs a range/power adaptation to guarantee the farthest message delivery according to the network state in terms of CD. It is a fully distributed congestion control mechanism which controls the load by adjusting the

transmitting power locally at each node. Each node estimates the current CD. By adjusting its power, a node limits its detection range which will, in turn, lower its perceived local CD. In other words, the bigger the transmission range of a node, the farther it will affect transmissions of other nodes with transmission collisions but the longer the reach of its sent messages. At the same time, the bigger the transmission range of a node, the bigger its detection range, and the more it will perceive traffic of others.

Given a set of nodes $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$, each node estimates the local load by performing an evaluation of the CD_i based on the eq.1. This evaluation is performed using overhearing technique. Using this technique, a node can detect vehicles in its communication range and thus evaluate the overall local CD_i . Note that the range estimation is based on the used propagation model, designated here by function Propag. For each node $n_i \in N$, $CR_i \in (0, CR]$, the communication range will be function of the emitting power. Using the conclusions made by Jiang et al. (Jiang, 2007) that for a fixed message size, the network behavior and performances such as PRR for any given technique will depend only on CD, the process can be modeled by an optimization under constraint problem as illustrated below, where Pwr_i represents node n_i current transmission power, and CD_i and CD_{th} point to the measured CD at node n_i and the CD threshold respectively. Note that Pwr_i constitutes a discrete power value selected by n_i depending on the equipment capabilities.

$$\text{Max}_{CD_i \leq CD_{th}} \{CR_i = \text{Propag}(Pwr_i)\} \quad (\text{P2.1})$$

The optimization process is promoted involving maximizing the one-hop transmission range (to keep a low end-to-end delay) while ensuring a certain CD_{th} threshold is not attained. It is worth noting that, since an overhearing technique is introduced, this approach can be easily extended to support multiple messaging frequencies and message sizes.

5.5.2 Unicast Multi-hop Data Dissemination (UM2D)

The need for the multi-hop data forwarding is exacerbated by the fact that while 802.11p was designed to reach a dissemination distance of 1000m, the actual maximum achievable range

with 802.11p barely reaches 300 meters. FD2C decides the maximum transmission range, but many nodes falling within that range can be chosen as relay. A metric is needed to discriminate among all candidate nodes. From previous works ((Tonguz, 2010), (Osafune, 2007), (Torrent-Moreno, 2006), (Naumov, 2007)) it is clear that using a single metric to devise multi-hop dissemination solutions is insufficient and a combination of many metrics is needed. In our work, we use a newly designed multi-metric based on real-time measurements of distance to, and link quality to, neighboring nodes (candidate forwarding nodes). Link quality influences the PRR. The better the link quality the bigger is the expected PRR. Distance influences end-to-end delay. Since the biggest component of transmission delay is the channel access delay, the smallest the number of hops, the lower is the end-to-end delay. Therefore, the farthest the next relay chosen, the smallest is the expected number of hops to go farther and consequently the lower is the overall end-to-end dissemination delay.

Link state can be characterized in multiple manners; life duration, number of disconnections, and duration of disconnections are some of them. In our work, we chose link state in term of estimated PRR over distance as illustrated in equation 5.2 (Killat, 2007) where the PRR is function of the current communication range of node n_i and the distance between an emitting node n_i and a receiver node n_j (a candidate relay).

$$Pr_{i,j} = \begin{cases} e^{-3\left(\frac{dist_{i,j}}{CR_i}\right)^2} \left(1 + 3\left(\frac{dist_{i,j}}{CR_i}\right)^2 + \frac{9}{2}\left(\frac{dist_{i,j}}{CR_i}\right)^4\right), & dist_{i,j} < dist_{cross} \\ e^{-3\gamma\left(\frac{dist_{i,j}^2}{CR_i}\right)^2} \left(1 + 3\gamma\left(\frac{dist_{i,j}^2}{CR_i}\right)^2 + \frac{9}{2}\gamma^2\left(\frac{dist_{i,j}^2}{CR_i}\right)^4\right), & dist_{i,j} \geq dist_{cross} \end{cases} \quad (5.2)$$

Where $dist_{cross}$ designates the cross-over distance (Killat, 2007) for a given transmission rate (message frequency x message size), N_i is set of vehicles (nodes) perceived by node n_i in its vicinity for a given CR_i , $N_i = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$, $0 < dist_{i,j} < CR_i$ (note the CD_i is the cardinality m of N_i per meter) and γ is defined as in equation 5.3.

$$\gamma = \left(\frac{1}{dist_{cross}}\right)^2 \quad (5.3)$$

A simpler writing form of the equation 5.2 can be as follows

$$Pr_{i,j} = e^{-3(A)^2} \left(1 + 3(A)^2 + \frac{9}{2}(A)^4\right) \quad (5.4)$$

Where A is expressed as

$$A = \begin{cases} \frac{dist_{i,j}}{CR_i} & , \quad dist_{i,j} < dist_{cross} \\ \frac{dist_{i,j}^2}{dist_{cross} \times CR_i} & , \quad dist_{i,j} \geq dist_{cross} \end{cases} \quad (5.5)$$

The objective function we have chosen for second part of P1 is a combination of the PRR estimation as in eq. 5.4, the ratio between the link length and the communication range, and β , $0 \leq \beta \leq 1$ a proportionality function between the two metrics so we can promote one over the other depending on the targeted safety application. The objective function in the second part of P1 is rewritten as:

$$U_{i,j}(\beta) = \beta \left(\frac{dist_{i,j}}{CR_i} \right) + (1 - \beta) Prr_{i,j}(A) \quad (5.6)$$

The constraint expressed on the distance ensures that none of the nodes that are out of the communication range already assigned by FD2C is selected as a relay. This maximization process is performed on every hop for each available link. The resulting optimization sub-process in which we try to maximize the objective function U is as follows.

$$\underset{\substack{j \in N_i \\ 0 \leq \beta \leq 1}}{\text{Max}} \left\{ U_{i,j}(\beta) = \beta \left(\frac{dist_{i,j}}{CR_i} \right) + (1 - \beta) Prr_{i,j}(A) \right\} \quad (P2.2)$$

Where:

$$A = \begin{cases} \frac{dist_{i,j}}{CR_i} & , \quad dist_{i,j} < dist_{cross} \\ \frac{dist_{i,j}^2}{dist_{cross} \times CR_i} & , \quad dist_{i,j} \geq dist_{cross} \end{cases}$$

Then, the whole optimization process combination can be rewritten as an algorithm combining the two main sub-processes P2.1 and P2.2 while keeping the temporal link governing their execution and the use of the optimization approach on hop-by-hop basis. Note that the envisioned optimality is only local. This choice was made to prevent network congestion caused by information gathering to construct global network knowledge.

Algorithm 2.1 Power adjustment (FD2C)

```

1:  $CD_{th}$ : CD threshold
2:  $CD_i$ : CD measurement at node  $i$ 
3: CR: maximum transmission range for node  $i$ 
4:  $Pwr_i$ : emitting power at node  $i$ 
5: For each node  $i$ 
6:   If ( $CD_{t,i} < CD_{th}$ )
7:      $Pwr_i = Raise\_pwr()$ 
8:   Else if ( $CD_i > CD_{th}$ )
9:      $Pwr_i = Reduce\_pwr()$ 
10:  Else
11:     $Pwr_i = Maintain\_pwr()$ 
12:  End if
13:  Return  $Pwr_i^*$ ,  $CR_i^*$ 
14: End for

```

Algorithm 2.2 Relay selection (UM2D)

```

1: Given ( $CR_i^*$ ,  $\beta$ )
2:  $j$ : relay ID,  $k$ : table index
3:  $dist_{i,j}$ : distance of node  $j$  from node  $i$ 
4:  $\beta$ : proportionality function
5: Table: connectivity table at node  $i$  side
6:  $U_{ij}(\beta)$ : objective function as in eq.5.6
7: For each possible relay  $j$  within  $CR_i^*$  reach
8:   evaluate  $U_{ij}$ , evaluate  $dist_{ij}$ 
9:   Table[ $k$ ] = add_entry( $k$ ,  $j$ ,  $U_{ij}$ )
10: End for
11: Return  $j^* = Table[index\_of(Max\{U_{ij}\}), 1]$ 

```

Table 5.2 shows an example of the locally generated connectivity table at node a while varying β parameter. The highlighted cells point to the optimal relay choice and gives measurements of the expected PRR.

Tableau 5.2 – Example of local connectivity table (node a , $CR_i^* = 100$ meters)

Link	a,b	a,c	a,d	a,e	a,f
Link length(meters)	50	70	60	30	100
PRR evaluation	0.95	0.81	0.9	0.98	0.42
($\beta=0.5$)	0.72	0.75	0.73	0.65	0.71
$U(\beta=0.3)$	0.82	0.78	0.81	0.79	0.6
$U(\beta=0.7)$	0.63	0.73	0.69	0.50	0.82

5.6 System design analysis

5.6.1 Algorithms complexity

Dissociating the main optimization problem P1 into two sub-problems P2.1 and P2.2, while maintaining their temporal dependency, reduces the overall problem complexity in terms of execution and reduces its resolution latency. Let assume the existence of n nodes in the network and consider that simple instructions as comparisons do not induces more complexity, P2.1 will run n time one for each node, which constitutes a complexity up to $O(n)$. Assume that $m \in n$ nodes are in the communication range of the node i with $m < n$ which gives to P2.2 a complexity up to $O(m)$ with $O(m) < O(n)$. Thus, the overall approach complexity can be expressed as $O(n + m)$.

Let assume the case where we are using the problem definition as in P1. In that case, a possible description of P1 will be; for each node i and for each power level Pwr_i , the P2.2 algorithm will be executed. Thus, the overall problem complexity will be $O(n \times m)$ (Figure 5.1).

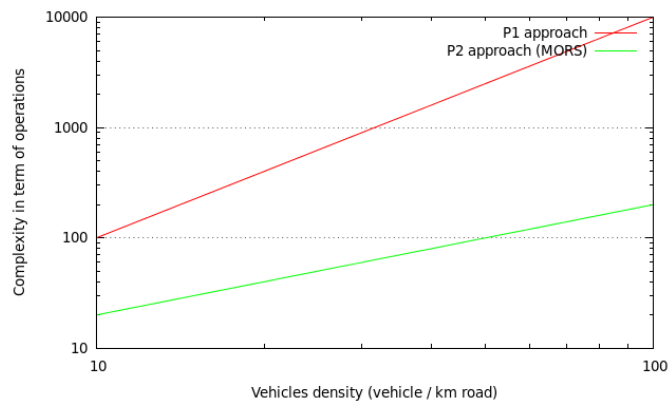


Figure 5.1 - P1 and P2 algorithm complexity check

5.6.2 Probabilistic one hop delay analysis

The one hop delay is assumed to be the latency between the reception of an emergency message and its dissemination to the relay node. Considering the range as a circular area, the number of vehicles in such area can be assumed to follow a Poisson distribution with density parameter λ . Thus the probability to have k vehicles in the communication range is given by

$$p(k) = P(X = k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (5.7)$$

VDA functionalities establishment delay: Considering the fact that our work is based on the time-synchronized channel access technique called Vehicular Deterministic Access (VDA) (Rezgui, 2011a), for each vehicle, which needs to communicate, time slots are reserved corresponding to its communication requirements. Thus, each time slot (TS) of duration T can experience one of the following states; (1) idle state in which this particular TS is not used, (2) collision state in which two or more vehicles choose the same TS to communicate, and (3) success state in which one and only one vehicle used that TS to exchange information. Knowing that each vehicle using VDA has to exchange VDAOp messages in broadcast mode to allocate its TS, the aforementioned state delays can be expressed as follow:

$$T_{idle} = \text{slot time} \quad (5.8)$$

$$T_{collision} = T_{VDAOP} + DIFS \quad (5.9)$$

$$T_{success} = T_{VDAOP} + SIFS + T_{VDAOPreply} \quad (5.10)$$

where T_{VDAOP} is the delay to send the VDAOp reservation message, $T_{VDAOPreply}$ is the delay to receive the acknowledgment, SIFS is the Short Interframe Space duration and DIFS the Distributed Inter-Frame Space duration in 802.11.

Let $p = \frac{1}{nT}$ denote the probability that a node selects a random slot, where nT denotes the number of available timeslots. Let p_{idle} , $p_{success}$, $p_{collision}$ denote respectively the probability that a TS experiences one of the aforementioned states, then the probabilities can be expressed as follow;

$$p_{idle} = e^{-\lambda p} \quad (5.11)$$

$$p_{success} = \lambda p e^{-\lambda p} \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} p_{collision} &= 1 - p_{idle} - p_{success} \\ &= 1 - e^{-\lambda p} (1 + \lambda p) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Let denote $T_{contention}$ the delay between the first VDAOp sent and the reception of acknowledgment messages from all the vehicles in the communication range, which in turn corresponds to the necessary delay for VDA to reach the steady state in which the vehicle has its TS reserved. Note that the occurrence of one of the states does not depend on the previous states and can be modeled by a geometric distribution. Hence, $T_{contention}$ can be expressed as in eq. 5.14.

$$T_{contention} = \frac{1 - p_{success}}{p_{success}} \left(T_{idle} \frac{p_{idle}}{1 - p_{success}} + T_{collision} \frac{p_{collision}}{1 - p_{success}} \right) \quad (5.14)$$

Let denote $T_{retransmission}$ the retransmission delay for VDAOp after n unsuccessful contention rounds in the VDA reservation procedure which can be expressed as in eq. 5.15.

$$T_{retransmission} = \frac{1 - p_{success}}{T \cdot n \cdot p_{success}} T_{VDAOP} \quad (5.15)$$

Hence, the time delay to a vehicle using VDA to reach the steady state can be expressed as in eq. 5.16.

$$T_{delay_vda} = T_{contention} + T_{retransmission} + T_{succes} \quad (5.16)$$

Power adjustment and relay selection associated delay: In the previous sections, we introduced a power adjustment scheme and a relay choice technique to enhance the network connectivity and reduce the overall dissemination delay in a dynamic manner which combined with the optimization approach constitutes the main contributions in this work. This adaptive behavior introduces an extra delay necessary for the optimization functionalities. In our design, the power adjustment phase is triggered according to the communication density measurements made locally by each node.

The adaptation delay, $T_{delay_adaptation}$ which is the delay incurred at a node to perform the optimization operations, can be expressed as in equation 5.17, where T_{pwr_adj} and T_{relay_choice} are respectively the power adjustment delay and the relay choice delay.

$$T_{delay_adaptation} = T_{pwr_adj} + T_{relay_choice} \quad (5.17)$$

Let us assume that we maintain the definition of communication density (CD) as expressed in equation 1 and assume that all vehicles use the same maximum communication range (CR) and the same messaging frequency (Msg_frq). Then CD_{th} condition is reduced to a vehicle density threshold $Veh_density_{th}$. p_{NR} and p_{OT} denote respectively the case where there is no available relay in the communication range and the case where the number of neighbor vehicles exceeds the maximum allowable for a reliable communication (saturation).

$$Veh_density_{th} = \frac{CD_{th}}{Msg_freq \cdot CR} \quad (5.18)$$

$$p_{NR} = P(X = 0) = e^{-\lambda p} \quad (5.19)$$

$$p_{OT} = P(X \geq k) = \sum_{i=k}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^i}{i!} = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{e^{-\lambda} \lambda^i}{i!} \quad (5.20)$$

$$T_{pwr_adj} = T_{e_{pwr_adj}} (p_{NR} + p_{OT}) \quad (5.21)$$

T_{relay_choice} is the time spent accessing to the node table and extracting the relay corresponding to the one which maximizes the objective function in (P2.2). This time can be neglected compared to the power adjustment delay. Note that $T_{e_{pwr_adj}}$ the adjustment delay depends on hardware characteristics and is usually given as a mean delay.

Message transmission delay: The message transmission delay $T_{transmission}$ here is defined as the necessary delay for a packet or message to be sent on the channel and received by the corresponding relay/sink node. After VDA functionalities establishment, this delay reduces to simply sending a packet of m bytes over a link which has the ability to send at a rate of r bits per second which in turn leads to a transmission delay estimation as follow where L_x and r denote respectively the packet size and the nominal link rate.

$$T_{transmission} = \frac{L_x}{r} \quad (5.22)$$

Using the models expressed here, we can derive two major delay bounds; T_{min_bound} and T_{max_bound} . The minimum delay that can be experienced can be modeled as the case where no adaptation is needed ($T_{delay_adaptation} = 0$) and that the VDA procedure succeeds

in the first round ($T_{retransmission} = 0$). In contrast, the maximum delay represents the case where VDA establishment exceed the maximum allowed rounds inducing n retransmission and with the need of at least one adaptation round. Thus, T_{min_bound} and T_{max_bound} can be expressed respectively as is equations 5.23 and 5.24.

$$T_{min_bound} = T_{contention} + T_{success} + T_{transmission} \quad (5.23)$$

$$T_{max_bound} = T_{contention} + T_{retransmission} + T_{success} + T_{delay_adaptation} + T_{transmission} \quad (5.24)$$

5.7 Tests Results and model validation

In this section, we present the simulations results conducted using NS-2 to compare and evaluate the effectiveness of our approach compared to schemes basic Vehicular Deterministic Access (VDA) and Distributed Coordination Function (DCF) of 802,11p. We implemented MORS scheme over Nakagami-m fading channel and compared its effectiveness while varying proportionalities in the objective function in different network conditions. Two main performance metrics are evaluated; (1) the packet forwarding delay and (2) the packet reception rate considering; (a) one hop relaying scheme and (b) multi-hop scheme.

5.7.1 Simulation parameters

We simulated an 8 lane highway (4 in each direction) with 10 vehicles per lane. We implemented FD2C and UM2D over VDA discussed in (Rezgui, 2011a). Simulations parameters are summarized in Table 5.3. Tests are presented based on two main sub-sections; (1) one hop results analysis and (2) applying the design to the multi-hop neighborhood. In this section, MORS means MORS adaptation and dissemination schemes implemented over VDA, VDA and DCF mean respectively VDA access and DCF access schemes applied to two-hop neighborhood. Six power levels were implemented corresponding to ranges from 50 to 300 meters with 50 meters variation. We simulated multiple flows in each scenario emanating from vehicle and each of which containing two types of messages; (a) highly prioritized traffic that mimic emergency messages and (b) low prioritized traffic for routine messages on a

periodic messaging basis. In the presented results we are only interested in mean delay and PRR values for emergency messages as they are the ones targeted in this work.

Tableau 5.1 - Global simulation parameters

Parameter	Value
Messaging Frequency	10, 20, and 25 per second
Vehicle densities	10-100 veh/km/lane
Vehicle velocity	60, 80, 100, 120 km/h
Simulation duration	60 seconds
Transmission rate	6 Mb/s
Transmission power	0.05-2(W)
Radio reception threshold	-90 dBm
Signal propagation model	Nakagami-m (m=3)

5.7.2 Results analysis

The first step in validating the proposed model and approach is to assess its effectiveness in a one-hop operation before looking into its multi-hop operation in the second step. Hereafter, results will be presented based on such a division.

One hop packet reception rate analysis: Packet reception rate is defined as the ratio between packets originating from a source vehicle and the total amount of successfully received packets by the surrounding vehicles in its communication range. As packets reception is of noticeable importance due to the conveyed information value and the impact of vehicles inter-distance on such metric, we checked the system behavior in multiple communication densities and presented such results while varying the considered communication range. Since our scheme needs to estimate the distance of nodes, and noticing that distance estimation based on Nakagami-m propagation model is not possible, we used the Two-Ray-Ground (TwoRayGround) model to calculate distances as indicated in the study in (Stibor, 2007). The work in (Stibor, 2007) states that the communication range and the PRR when using 3.5 loss exponent with Two-ray-ground model will be comparable to the results when using Nakagami-m (m=3).

Figure 5.2 shows the impact of varying the chosen distance (communication range) over the maximum communication range on the PRR while taking into account transmission ranges up to 300 meters. In this figure, we also compared the use of Nakagami-m vs. TwoRayGround. As expected, using the Nakagami-m model extends the messages reachability to distances

over those when using the TwoRayGround model but has a more realistic impact on the PRR all over distances. Multiple β values were simulated and the system behavior model in term of PRR was compared to theoretical Nakagami-m model to significant points where the selected vehicle meets the optimal distance choice using such β values. Conclusions can be made that for low transmission ranges (corresponding to low power usage), the measured PRR meets the Nakagami-m theoretical ones. For high power usage, the PRR measured only meets the theoretical one on distances up to approximately 70% of the maximum achievable range. This is due to, the probability of collisions that raises especially those caused by the hidden node problem. Such a problem is persistent on vehicular networks since neither RTS/CTS nor ACK usage is allowed.

One hop delay analysis: The one-hop delay is the time latency between a successful message reception in the n^{th} hop and its transmission to the $n + 1^{\text{th}}$ hop. In MORS, such metric includes; (1) channel reservation, (2) power adjustment latency and relay election, and (3) the messages transmission in itself. Figure 5.3, hereafter, shows the impact of varying vehicles density on the one hop delay corresponding to multiple β values and compared to the theoretical maximum and minimum bounds calculated as in section 5.6.

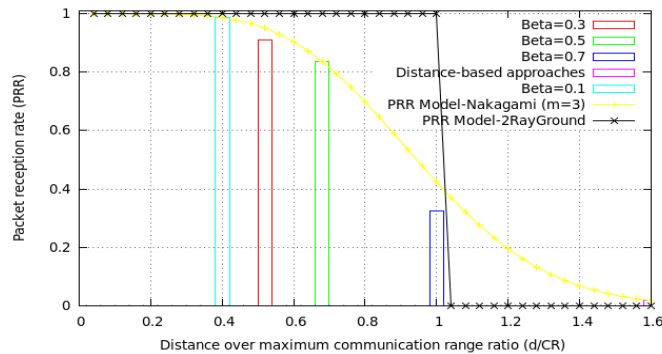


Figure 5.2 – Packet reception rate corresponding to the optimal relay selection function of distance over communication range ratio.

We notice that such delay is contained between the two bounds and only exceeds them in two cases for densities greater than 100 vehicles per km road. First, for β value equal to 0.7 which is due to retransmission caused by messages delivery failures when using long links combined

with high vehicle density. These failures are caused by the channel unreliability in distances close to the maximum achievable range. And second, for β value equal to 0.5, the one hop delay drops under the minimum theoretical bound. This is due to the power adjustment scheme which triggers a power hop that increases the communication range and consequently reduces the delay. The maximum delay deviation per hop does not exceed 1ms for steady state densities (45 – 90 vehicle per Km road), but in contrast reaches 2ms for extreme values corresponding to very low and very high vehicles densities.

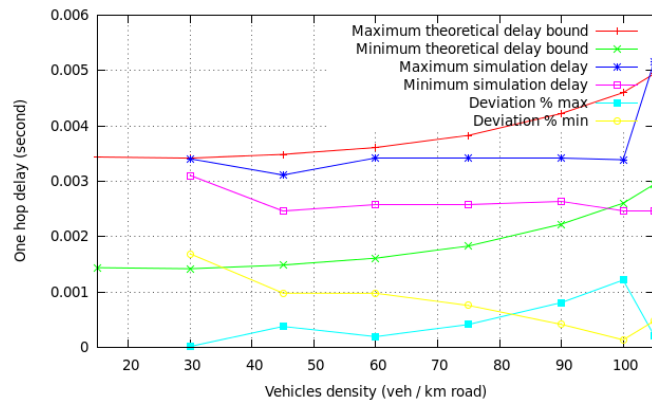


Figure 5.3 - One hop delay simulation results function of vehicles density and compared to theoretically deduced bounds.

Table 5.4 shows the mean delay deviation resulting from simulation compared to maximum and minimum theoretical delay bounds. For maximum delay bound, the mean deviation is about 0.5 ms which represents about 17.5 % of the mean one hop delay. Meanwhile, the 0.8 ms minimum delay deviation represents about 29 % of the mean one hop delay. This proves that the scheme has a tendency to come close to the maximum bounds barrier which is due to the fact that mobility introduces unpredictable density changes. In such situations, the probability that the scheme triggers a power adjustment as a countermeasure is higher which induces extra-delays.

Tableau 5.2 - Maximum theoretical and simulation delay bound deviation function of vehicles density

Vehicles density (Veh / Km road)	Deviation % max	Deviation % min
15	-	-
30	0,000012613	0.00168628
45	0.00037373	0.00097596
60	0.00019019	0.00097323

75	0,000410102	0.00075331
90	0,000805443	0.00041155
100	0.00121231	0.00013237
Mean deviation (second)	0,00050073	0,000822116

End to End delay analysis: MORS performance in term of end-to-end delay was studied and compared to VDA and DCF while varying β values, subjected to various communication densities. Figure 5.4 shows that, since MORS integrates a power adjustment scheme, it can overcome the disconnection problem that can happen in light load conditions. MORS can perform data dissemination in densities less than 25K CD (which correspond to vehicles density down to 10 vehicles per Km road) even if the latency is greater than expected. The extra delay is caused by the power adjustment latency, since the power will be increased gradually until the system finds at least one viable relay. In stable condition, VDA overcome MORS performances, this is due to the relay selection latency while VDA uses a simplest greedy forwarding technique based on the farthest node election. Note that VDA operates only up to two-hop, however, MORS operates in a multi-hop manner up to 1 km distances (at least four hops, using the highest power). In medium and high loaded conditions, MORS outperforms VDA due to its capability to prevent congestion by reducing the number of possible collisions and electing the best available links for messages delivery. DCF is outperformed by VDA and MORS in both high and low load condition and presents respectively about 46 % and 48 % excess E2E delay.

MORS clearly overcome the geo-casting technique since it deliver the message to the destination in 1/10th of the time and without introducing overhead which is by the way necessary for ROVER functionalities since it serves to collect information on neighboring vehicles and on defining the ZOR and ZOF. In fact, ROVER does not seems to be useful for safety messages dissemination in VANETs since it takes over 300ms for an end-to-end delivery which is three time more than the standard specification. Geo-casting needs a continuous exchange of control messages containing information such as positioning, cluster formation, speed, and heading. In addition to the misused network resources, generally geo-casting techniques need spatial relevance but do not ensure any constraint on delivery delay.

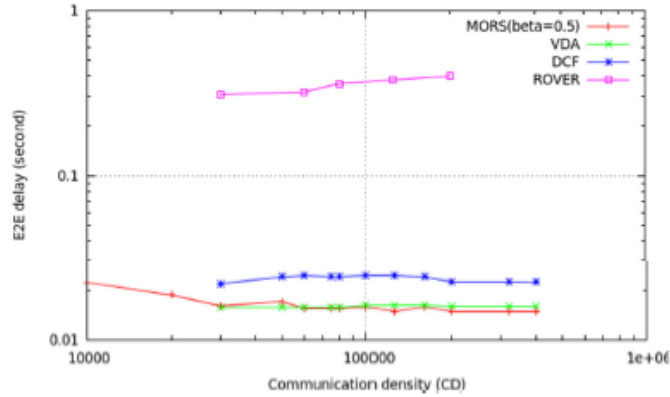


Figure 5.4 - End-to-end MORS mean delay compared to other solutions while varying CD.

Figure 5.5 shows the impact of varying β values on the E2E delay. On the one hand, when using high β values such as 0.7, the distance is sub-served over reliability. In such a case, the dissemination delay will be reduced but links will be subjected to get broken or to multiple fluctuation that can cause packets losses. On the other hand, using lower β values, reduces the probability of packets collisions since it favors reliability, but raises the E2E delay since the system needs numerous hops to attend the 1km dissemination barrier. In low densities, the adaptation scheme induces an extra-delay for all β values and its impact is inversely proportional to β . While, in medium densities, the system behavior is relatively stable, in high densities, the delay increases especially for extreme β values. This is due to the need of adjustment to overcome the network congestion.

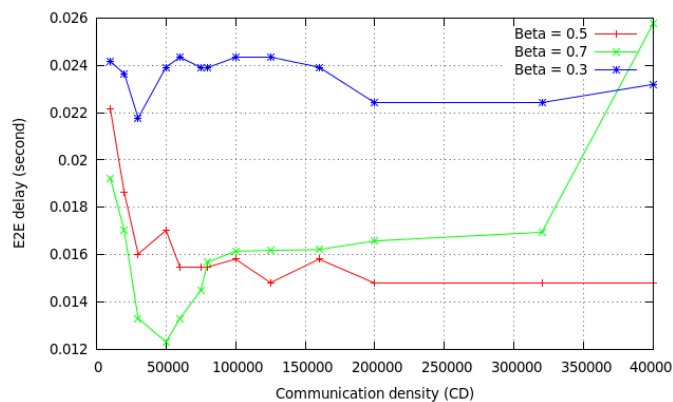


Figure 5.5 - End-to-end MORS mean delay varying beta proportionality parameter and subjected to different CD.

Multi-hop packets reception rate analysis: Figure 5.6 shows the packet reception rate in various communication densities for MORS, VDA, DCF and two chosen Geocast dissemination schemes, i.e. DTSG (Rahbar, 2010) and ROVER (Kihl, 2007). VDA and MORS outperform DCF as they enhance scheduling by allocating TS to communicating vehicles. MORS integrates an extra-enhancement since it introduces a power adjustment and a new parametric relay election technique. At low communication densities, MORS outperforms VDA only by 10% and reaches a PRR up to 97%, while in medium and high communication densities; the performances gap is wider which proves the power adjustment and relay election combination effectiveness over standard VDA. This is due to MORS capability to avoid congestion, adapt the communication density and therefore avoid possible packet losses. This supports the previously presented remark that MORS is particularly efficient in medium and high communication densities.

We notice that ROVER presents a reverse behavior compared to other schemes. It performs better in high load conditions and reaches a reception probability up to 80 %. On the other hand, DTSG is only ensuring 60% reliability and only at close range under 150 meters. This supports the remark that MORS is particularly efficient in medium and high communication densities and does not induce an extra-overhead thanks to its locally measured metrics.

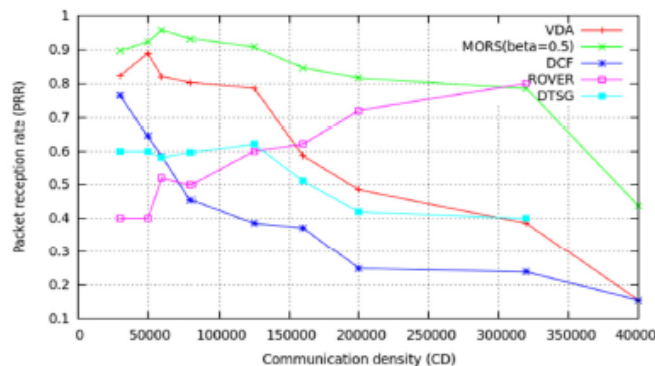


Figure 5.6 - Packet reception rate in different CD condition.

Figure 5.7 shows the impact of varying β values on MORS performance. On the one hand, the use of lower β values makes MORS behave more efficiently in term of PRR. This is due to the

choice of closest nodes as relay, while the use of higher β values has the reverse effect by reducing the PRR since it elects the longest links to forward emergency messages. But, on the other hand the use of higher β reduces the overall dissemination delay since it reduces the hop count. Due to these links instability, the resultant PRR is lower when using high β values.

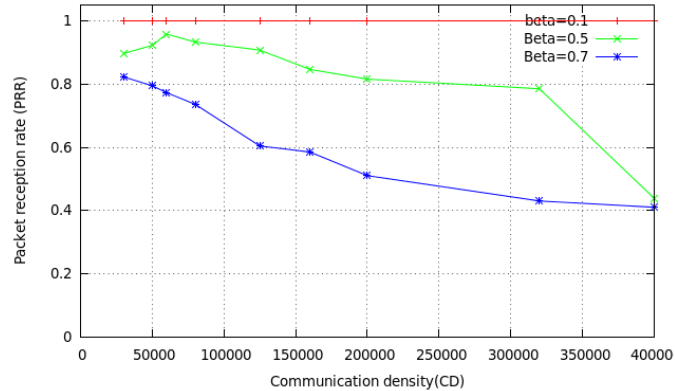


Figure 5.7 - Packet reception rate (mors) varying β values subjected to different CD conditions.

Figure 5.8 represents a magnification of the figure 5.7 when using β value equal to 0.1. It shows how high PRR levels can MORS reach in extreme conditions. This demonstrates that for relatively PRR sensitive application, such an approach can be proven efficient.

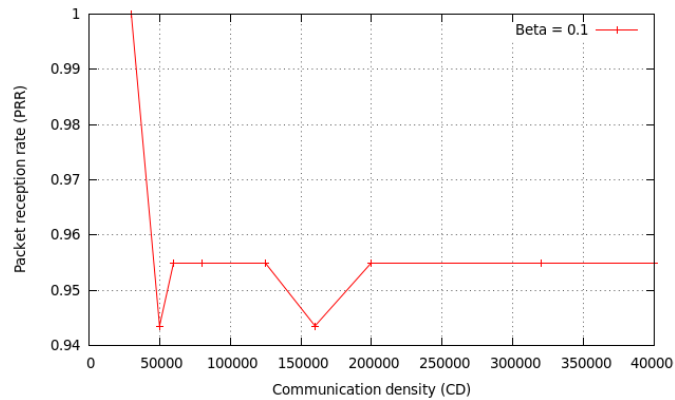


Figure 5.8 - Packet reception rate (mors (beta=0.1)) while varying CD conditions.

Delay-PRR tradeoff metric: As MORS introduced a tradeoff between the distance over communication range usage and the PRR, we define a new metric to measure its performances and compare them to other approaches using other access schemes. Let us define PDR as the

PRR over Delay Ratio which characterizes the forwarding scheme effectiveness function of the two main performance metrics in VANETs.

$$\text{PDR} = \frac{\text{PRR}}{\text{Delay}}$$

To maximize such a metric, a scheme has to reduce the dissemination delay or increase the PRR. However, these two metrics evolve inversely. Reducing the delay means increasing distance over communication range usage and that latter affects the PRR since longer links are less reliable and subjected to signal fluctuations. Figure 5.9 hereafter presents the resulting PDR metric measurement for some β values in MORS compared to, VDA and DCF when these schemes use greedy forwarding, up to 1 Km. Figure 5.9 shows the evolution of the resulting PDR while varying the communication density. A global observation is that the PDR decreases when increasing the communication density.

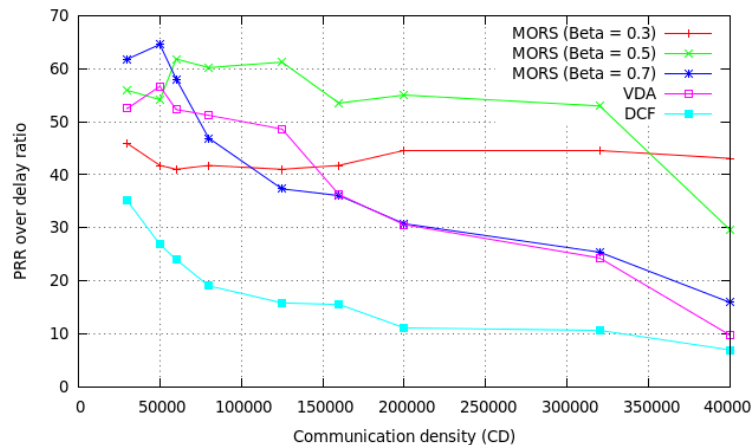


Figure 5.9 - Resulting PDR while varying CD conditions

MORS approach is proven to be efficient for medium and high densities in term of ensured messages reliability and reduced delay. The best performance is ensured when taking into account β value equal to 0.5 since the PDR metric ensure values over 50 for approximately all CD values, thus taking into account PRR and distance over range ratio equally proportional. Taking β value equal to 0.7 ensure the same behavior as VDA for medium and high

communication loads and a reduced gain of approximately 20 % compared to equi-proportional metrics choice. Taking β value equal to 0.3 ensures a more stable behavior over variable communication density and present a reduced mean gain approximately the same as when using β value equal to 0.7. DCF present the least efficient approach since it slattern the network performances and only consider distance rather than both metrics which at the end reduces considerably the PRR that can be guaranteed.

Tests were conducted to figure out the percentage of time that UM2D selects the best relay compared to theoretical analysis. We tested every scenario over 10 times in which over 500 messages are exchanged and multiple relays over the dissemination path are elected, and we compared the results to the theoretically deduced ones. Figure 5.10, hereafter, presents results of such experiment. We noticed that, in light communication densities, the relay selection scheme behaves greatly and elects the best relay 83% of the time. In contrast, in medium and high communication densities, its efficiency drops to 60 % of the time. This is due to decreasing reception probability over long distances. As MORS elects the farthest relay in the communication range, signals can fluctuate at high communication range and distort the distance and PRR estimation resulting in a sub-optimal relay election.

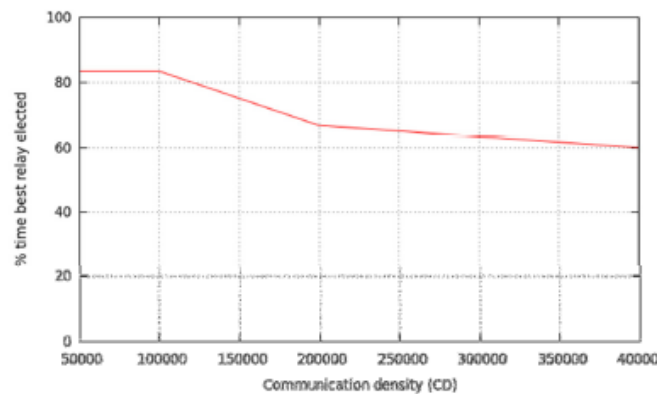


Figure 5.10 - Time percentage of electing the best relay

Adaptive behavior impact: As MORS introduced an adaptive behavior, its impact on network performances has to be measured. In MORS, a power adjustment phase precedes the relay election for the messages dissemination. Such adaptation involves an additional delay which is presented in Figure 5.11 as the power adjustment latency. This additional delay causes a lag in the overall delivery delay. Note that the presented delay represents a mean delay for multi-

hop relaying up to 1 Km distance and that the power-hop latency specified by the supported equipment in the simulation is 2 ms. Even with that additional delay, MORS outperforms DCF in all communication densities, and outperforms VDA in medium and high communication density conditions. Figure 5.12 shows the effect of the adaptation scheme on the measured CD. Its impact is deeper in high and medium densities and the communication density gain is higher.

5.8 Conclusions And Future Work

In this paper, we present an adaptive overhead-free dissemination scheme for VANETs. MORS uses local received signal strength and communication density measurement to dynamically adapt the transmission power. MORS is based on a two time-dependent, optimization-under-constraint processes which allows disseminating messages beyond one hop. Simulations performed proved MORS effectiveness and reliability over various conditions. MORS outperforms VDA and DCF in terms of end-to-end delay in high communication densities, and in terms of PRR in medium communication densities. MORS is effective for highly congested environments where high communication density results in high number of packets collisions. Additionally, the objective function used in MORS comprises an adaptive proportionality factor which allows it be adjusted to handle differently various type of emergency messages depending on their respective requirements in order to enhance the global scheme performances.

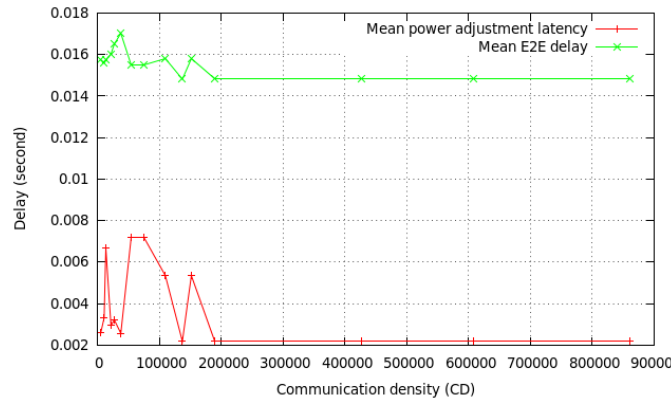


Figure 5.11 - MORS Power adjustment latency and E2E delay

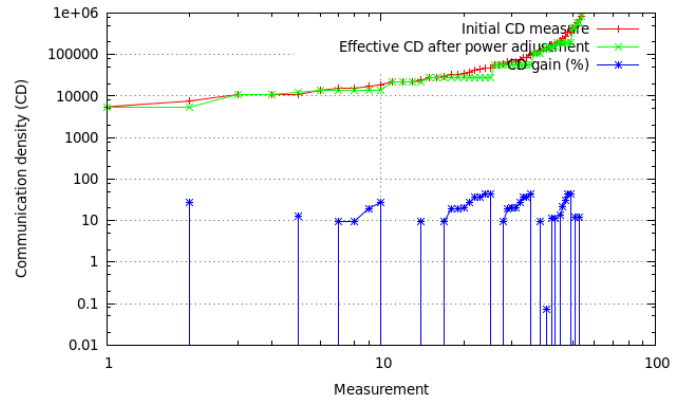


Figure 5.12 - Power adjustment effect on the CD

CHAPITRE 6.

DISSEMINATION D'INFORMATION BASEE SUR LA PERTINENCE

Titre original: Investigating the impact of renegeing/rejection policies on the messages loss rate and delay for a relevance-based messages dissemination scheme in 802.11p VANETs.

Auteurs et affiliations:

Chakroun, Omar, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Cherkaoui, Soumaya, Département de Génie Électrique et de Génie Informatique, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke.

Date de soumission : Juin 2014

Etat : soumis

Revue : ELSEVIER Computer Networks

Mise en contexte du chapitre :

Cet article de journal couvre le troisième volet de cette thèse. Il aborde la problématique de concurrence entre messages de même priorité pour l'accès au canal de transmission partagé. Il introduit une méthode de priorisation des messages générés localement par rapport à ceux relayés. Il introduit une approche analytique validée par des résultats de simulations.

6.1 Résumé

6.1.1 Résumé en français

Les réseaux véhiculaires ad hoc se basent sur des équipements et des infrastructures de communication dans le but d'améliorer la sécurité routière. Ces réseaux par la rapidité de

changement de leur topologie et par la nature de la technique de dissémination utilisée (diffusion) peuvent faire face à deux problèmes majeurs; (1) la tempête de diffusion, et (2) la déconnection du réseau. Ces deux problèmes sont dus à de hautes densités de communication ou à la vitesse relativement élevée de déplacement. Dans ce papier, nous analysons une nouvelle approche afin de réduire la concurrence de messages lors de l'accès au canal pour ce type de réseau et nous nous intéressons aux messages de sécurité. Notre schéma nommé RMDS est basé sur des études sur deux concepts principaux; la distance critique et la distance de pertinence. Le schéma combine un ajustement asymétrique de la portée de communication et de la fréquence de messages dans le but de réduire la charge réseau. Il intègre un nouveau concept afin de prioriser les messages locaux face à ceux relayés en se basant sur la distance par rapport au nœud générateur du message. Les études théoriques et par simulations confirment l'efficacité du schéma proposé et ses performances sous diverses contraintes de trafic.

6.1.2 Abstract

Vehicle ad hoc networks (VANETs) leverage communication equipment and infrastructures to improve road safety. These networks, by the rapid change of their topology and the broadcasting dissemination technique, can experience mainly two major problems; (1) the broadcasting storm and (2) the network disconnection due to high vehicles density and their velocity. In this paper, we analyse new approaches to avoid messages concurrency accessing the channel in such networks and we focus on safety-related messages. Our scheme, called RMDS is based on studies on two main concepts; the critical distance and the distance of relevance. It combines an asymmetric power-range adjustment and messaging frequency tuning aiming to reduce the network load. It integrates a new concept to prioritize locally generated messages over relayed ones according to the distance from the event originator. Theoretical and simulation based analysis confirms the effectiveness of the proposed scheme and its network performance under various traffic constraints.

6.1.3 Index Term

Vehicular ad hoc networks, distance of relevance, congestion control and avoidance.

6.2 Introduction and related work

VANETs leverage wireless communications technologies to increase vehicles awareness of their surrounding environments. Because vehicles contend to use the same channel to exchange information, the major challenge in VANETs is ensuring that the information exchanged by vehicles get delivered while respecting the transmission delay and reliability constraints required by targeted applications, especially safety ones.

Studies show that transmission reliability is closely related to the network state (Hartenstein, 2010). If the communication density is low, reliability can be ensured. If the network is close to its saturation, messages delivery failures cause transmission reliability to drop consequently. Many researchers focus on reducing the network load either by adjusting the range or by tuning the messaging frequency.

Power adjustment has been intensively studied in the early VANETs designs. Many schemes have been proposed with the same goal; avoiding channel saturation to keep transmission reliability acceptable, but differ mainly in choosing what triggers the transmission power adjustment. Artimy et al (Artimy, 2005) propose an adaptation scheme which is initiated based on an estimation of the number of surrounding vehicles using their movement pattern. Caizzone et al. (Caizzone, 2005) used the same principle applied to the TDMA channel access mechanism. Torrent-Moreno et al. (Torrent-Moreno, 2009) proposed D-FPAV to control the load of periodic messages and prioritize the safety-related ones. They concluded that a lower transmission power provides higher reception rates at close distance and is more relevant from a safety perspective.

Similarly to the power/range adjustment, approaches have been proposed to avoid congestion by tuning the messaging frequency. Xu et al. (Xu, 2004) proposed an adaptation scheme based on current vehicle velocity, transmission attempts failure and packet reception success. Elbatt et al. (Elbatt, 2006) conducted a study indicating that the probability of successful packet reception increases with a decreasing beacon generation rate. Rezaei et al. (Rezaei, 2007) proposed a novel approach with respect to the accuracy requirements. In their scheme, the adaptation phase is triggered by a maximum deviation threshold between two distinct

estimators; self and neighbour estimators. Khorakhun et al. (Khorakhun, 2008) proposed an adaptation scheme based on the evaluation of the channel busy time. Vehicle increases its beacon generation rate if the channel busy time is under a specified threshold; otherwise the generation rate is decreased.

In this work, we are mainly interested in addressing congestion issues at the control channel of DSRC/802.11p (Hartenstein, 2010) in cases where messages in this channel are relayed beyond one hop. Different from previous approaches, this work investigates techniques to prioritize locally generated messages over messages generated distantly. In the proposed scheme, messages priority will depend not only on the safety application generating them, but also on whether a message was generated locally or distantly. The rationale behind this is that messages that are generated far away, while still possibly pertinent, may be less critical to a vehicle and thus of less relevance. Coupled with the prioritization technique, the proposed scheme uses two techniques; (1) heavy tuning which consist in adaptively adjusting the transmission range and (2) fine tuning which consists in adjusting the messaging frequency according to the distance from the message originator (event location). The resulting scheme ultimately aims at reducing congestion by adaptively adjusting messages priority, frequency and transmission range. To the best of our knowledge, this is the first work proposing safety messages priority tuning to reduce channel access concurrency. The remainder of this paper is organized as follow; section 6.3 presents the problem formulation. Section 6.4 introduces the proposed technique, called RMDS, and its operation. Section 6.5 presents the queuing theory based system model. Section 6.6 gives an overview of the expected results. Finally, section 6.7 concludes the paper.

6.3 Problem formulation and parametric study

As discussed in (Torrent-Moreno, 2004), a major challenge, caused by the channel access technique in VANETs and its related priority management technique EDCA, is the concurrency between messages to gain access to the channel. As specified in the DSRC/802.11p operation mode (Hartenstein, 2010), a limited number of retransmission cause messages to be sent in the channel regardless if it is busy or idle. This can cause frequent

packet collisions. Furthermore, as the main dissemination technique in VANETs is broadcast, the problem of broadcasting storm also occurs.

In this paper, we address the problem of messages concurrency which can cause network performances to degrade, and we propose a congestion control scheme to reduce contention of safety related messages by adopting a priority-based adaptation technique.

In this work, we use the following definitions:

- *Local concurrency*; is defined as the concurrency between messages having the same priority level in the same area and reporting different events. It is denoted by C_l .
- *Distant concurrency*; is defined as the concurrency between messages having the same priority level and reporting events in different areas. For example, messages generated locally and others received by multi-hop dissemination techniques. It is denoted by C_d .
- *Critical distance*, C_d ; is defined as the minimum distance between the event location and the following vehicle that can give the driver the time to react. It is calculated as in Eq 6.1 (OregonDOT) where Bd is the braking distance (depends on the speed, tire/road friction coefficient (FC)), Ad the awareness distance (distance traveled during the message dissemination delay), MRD , the Mean Reaction Distance (distance traveled during the perception-reaction time usually 2 seconds).

This paper deals with the problem of reducing distant concurrency C_d by adapting distant messages priority in order to give a higher chance to locally generated messages.

$$C_d = B_d + A_d + MRD \quad (\text{Eq 6.1})$$

$$A_d = \frac{\text{Speed}}{(3.6*10)}, MRD = \frac{2*\text{Speed}}{3.6}, B_d = \frac{\text{Speed}^2}{(254*FC)}$$

6.3.1 Minimum Considered Range VS Maximum Achievable Range

The minimum considered range (MCR) is defined as the minimum transmission range that allows the driver to react in time. For safety purposes, MCR will have a value slightly higher than the Critical distance, C_d , let say by value Δ . Studies in (Torrent-Moreno, 2004) show that the Nakagami-m model is a realistic model for vehicular network. They proved also that considering the power limitation in VANETs, a maximum achievable transmission range (MAR) with an acceptable packet reception rate (PRR) is 350 meters. Therefore, we will consider it as an upper bound for the range adjustment phase.

$$C_d + \Delta \leq \text{Transmission Range} \leq 350$$

6.3.2 Messaging frequency, latency and priority

As specified in the DSRC/802.11p standard, using the table below containing delay and messaging frequency constraints on the eight safety applications, we designed an adaptation phase which we called the Fine Tuning phase. In this sub-phase, an adaptation is applied to the messaging frequency based on the distance from the message originator. We considered 10 Hz as the minimum messaging frequency to meet the 100 ms delay on one message delivery, and a maximum messaging frequency of 50 Hz to meet the particular case of the Pre-crash sensing application.

Table 6.1 (Hartenstein, 2010) summarizes some safety related messages relevant parameters such as dissemination range, the maximum allowed latency for the message to be sent. It presents a classification on groups for later referencing in this paper.

Tableau 6.1 - Safety application requirements

	Application	Messaging frequency (Hz)	Range (meters)	latency	AC (prio)
Group A	Traffic signal violation	10	250	100msec	2
	Emergency brake lights	10	200	100msec	1
	Collision/ Lane change warning	10	150	100msec	1
	Left turn / Stop sign assist	10	300	100msec	1
Group B	Pre-crash sensing	50	50	20msec	1
Group C	Curve speed warning	1	200	1000msec	2

6.4 Scheme operation

The proposed scheme, called. RMDS uses (a) a priority-triggered congestion control and avoidance, and (b) relevance-based messages dissemination as will be detailed in the next

sections. The operation of RMDS uses three phases; (1) power/range adjustment based on vehicles speed and related Cd , (2) priority and relevance-based messaging frequency adaptation, and (3) a greedy forwarding dissemination phase based on the distance between the sender and receiver.

6.4.1 Power/range adjustment

In this phase, a power adjustment procedure is initiated based on real-time measurements on the Packet Reception Rate (PRR). Using overhearing technique to detect communications in the surrounding environment, every vehicle estimates the PRR in its neighbourhood. Using this information and the actual maximum achievable transmission range, a vehicle can adjust its transmission power depending on the situation.

For that particular purpose, two separate techniques are used, each of which corresponds to a type of messages in the control channel; safety (application) or routine (beacon) messages. The distinction here is based on the type of message. On one hand, for safety messages, a minimum transmission range cannot be lower than the MCR for safety purposes. On the other hand, for routine messages, a more severe transmission range adjustment can be tolerated since this type of messages are not event-driven, and therefore are not as critical as safety ones.

6.4.2 Priority and relevance based messaging frequency adaptation

To the best of our knowledge, RMDS is the first adaptation scheme involving handling differently messages with the same priority by introducing a distinction between locally/distantly generated messages. This priority adjustment limits the effect of the *distant concurrency* as defined earlier. Consequently, the probability of messages collisions is reduced and a higher PRR can be achieved. In RMDS, priority adjustment can only be operated if the message has already been disseminated by at least a distance corresponding to Cd . This ensures that vehicles in the immediate neighbourhood are aware of the event and drivers can react in time. As a second step in this phase, a message frequency adjustment is operated based on the distance from the originator to reduce the messages dissemination

impact on the channel communication density. Note that latter steps is repeated at distances multiple of Cd from the originator up to a 1km distance. The idea here is to get a messaging frequency adapted to the reported event magnitude. The messaging frequency adjustment phase has to keep a lower bound of 10 messages per second to match the standard requirements on the 100ms delay for messages delivery.

For this purpose, the relayed messages have to contain an extra field; D_{tr} , which contains information on distance travelled by the message since its generation (see figure 6.1). This information is highly important so that the messaging frequency adjustment can be operated after a safe distance from the event location (distance over the Cd value). Thus every relay node must be able to make changes on the D_{tr} field.

6.4.3 Message dissemination phase

The dissemination is the third phase of the proposed scheme. A previous work (Chakroun, 2012) has proposed to use the farthest vehicle in an emitter vehicle range as the message forwarder, in order to ensure a low number of hops when relaying messages. Neighbouring vehicles, by implementing overhearing techniques, detect that a current message stored in their buffers is forwarded and ignore its transmission. The technique also uses the LA metric combining the link length and its reliability. Every node maintains a table containing an estimate of the distances between its reachable neighbours based on the RSS measurements, the transmission power knowledge and by applying the right propagation model (i.e *Nakagami-m*). In *RMDS*, the same dissemination scheme is used.

Choosing the farthest vehicle reduces the hop number and consequently the overall delay. Choosing a reliable link enhances message delivery probability. Reducing the messages priority level, when needed, reduces channel access concurrency and therefore reduces collisions probability.

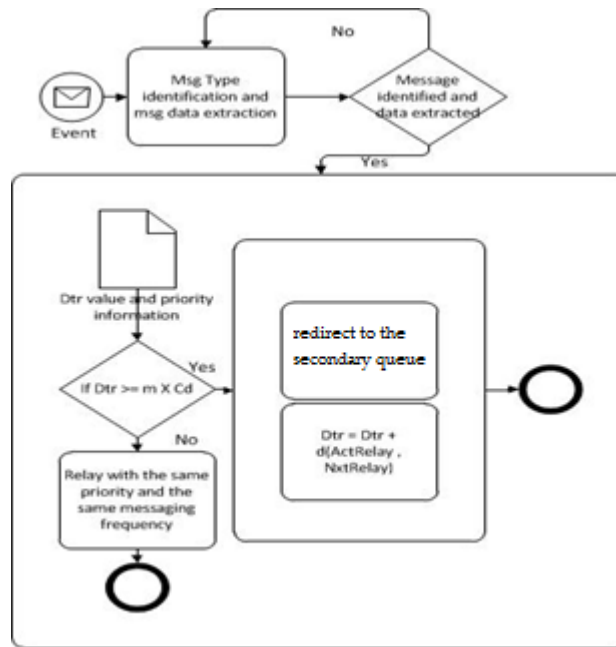


Figure 6.1 - Priority and relevance management in RMDS scheme

6.5 System model construction

This section presents an analytical analysis for the concurrency between locally generated safety messages and those relayed using a multi-hop technique. For safety/routine messages, the standard specifies four access categories for each type of messages with specific CW_{min} , CW_{max} and backoff values to handle different priorities. In this section, we will consider two main models; (1) an M/M/1 queue based model with limited delay and (2) a queuing model with reneging after a deterministic waiting delay which is the main contribution and the essence of this paper. Each of the proposed approaches will be discussed with or without preemptive priority support to handle differently local and distant messages.

For simplification purposes, we are considering the use of only one queue that handles all the four messages classes and integrating an internal scheduling technique that can mimic priority handling between the four access classes (named AC_i , $i \in [0-3]$) as illustrated in figure 6.2. So the system can be reduced from a queuing system containing four classes of clients (λ_i , μ_i , $i \in [0-3]$) to one containing only one class ($\lambda = \sum \lambda_i$, $\mu = \mu_i$, $i \in [0-3]$) and integrating an internal scheduling mechanism. The main purpose of integrating a scheduler is to keep the prioritization between different types of messages. Its role is to order the queue as messages from AC_i will be handled before those from AC_{i+1} (lower priority).

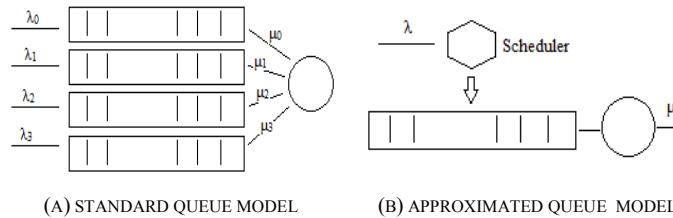


Figure 6.2 - System model simplification

6.5.1 Simple standard model

In this sub-section, we are introducing simple delay models based on queuing theory and particularly the M/M/1 queue variant. First, we will consider a classic M/M/1 queue using a FIFO (First In First Out) service discipline and then a more efficient pre-emptive priority based system supporting limited delay will be described.

Simple M/M/1 queue based model: Let us consider an M/M/1 queue to model the standard specification in terms of delay. Such a queue has a Poisson arrival with rate λ , and exponential service time with parameter μ with the use of only one server to mimic the processing delay in a node acting as a relay. The service policy that will be considered here is a simple FIFO model and all involved random variables are supposed to be independent of each other. Thus using such a model we can derive the performances measures in stability condition ($\lambda < \mu$) as follow with P_0 denoting the server inactivity rate;

$$\text{Server utilization: } U_s = 1 - P_0 = \lambda/\mu = \rho \quad (6.1.1)$$

$$\text{Mean number of messages in the system: } E(N) = \rho/(1 - \rho) \quad (6.1.2)$$

$$\text{Mean waiting time in the system: } E(T) = E(N) \cdot 1/\lambda \quad (6.1.3)$$

M/M/1 queue model with priority support: Let us now introduce some modifications to the standard specifications so we can handle differently local and distant messages regardless of their generating priority. Here local messages will have a higher priority than relayed ones. To mimic such behaviour, we have to consider two classes of messages; local messages which have the highest priority and distance messages which will be considered with a lower priority. This leads us to the use of a particular variant of the M/M/1 queues where priority is introduced. Here we will consider pre-emptive priority which means that in the case of a distant message is being handled by the server and a local message arrive to the system; the

distant message that is already in service will quit the server. The interrupted service is continued only if there are no local messages in the system. Note here the use of a scheduler to handle the native priority distinction between the four default access class corresponding to the same type of message (local or distant).

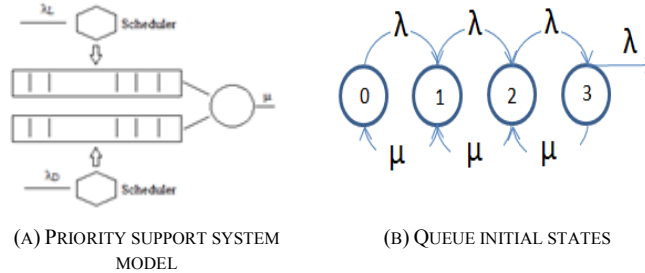


Figure 6.3 - Pre-emptive priority system model

Thus, the use of prioritization does not affect local messages since; their service will not be affected by the arrival or the existence of distant messages in the system. Hence, each type of messages (local or distant) arrives according to a Poisson process with parameter λ_l , and λ_d , respectively and the processes are supposed to be independent of each other. The service times for each type are assumed to be exponentially distributed with parameter μ . The system is stable if $\rho_l + \rho_d < 1$ where $\rho_i = \lambda_i / \mu$ and $i = l, d$ and all conditions in (6.2.1) are satisfied.

$$\begin{pmatrix} \lambda = \lambda_L + \lambda_D \\ \mu_L = \mu_D = \mu \end{pmatrix} \quad (6.2.1)$$

Here, we are aiming to calculate the mean response time for each messages type. Using the previous remark on the impact of prioritization on local messages, we can derive; the mean number of local messages, $E(N_l)$ and the mean waiting time for local messages in the system $E(T_l)$;

$$E(N_l) = \frac{\rho_l}{1 - \rho_l}, \quad E(T_l) = \frac{1/\mu}{1 - \rho_l} \quad (6.2.2)$$

Since for all messages type the service time is exponentially distributed with the same parameter μ , the number of messages does not depends on the order of service. Thus,

$$E(N_l) + E(N_d) = \frac{\rho_l + \rho_d}{1 - \rho_l - \rho_d}, \quad E(N_d) = \frac{\rho_d}{(1 - \rho_l)(1 - \rho_l - \rho_d)} \quad (6.2.3)$$

Then $E(T_d)$ can be found using Little law,

$$E(T_d) = E(N_d) / \lambda_d = \frac{1/\mu}{(1-\rho_l)(1-\rho_l-\rho_d)} \quad (6.2.4)$$

Limited delay condition: When using classic M/M/1 queues, there is no condition on the maximum delay that a message can experience in the system. To ensure that messages will be processed without exceeding the standard specified delay, d . We have to make a constraint on the arrival rate so the system can handle all messages in an appropriate delay.

Let us consider the use of the first model using an M/M/1 queue without priority support. Let us suppose that all messages experience the same service time and denote it by τ and that the maximum allowable delay will be denoted d . Thus, to account for such a delay, the maximum allowable arrival rate is λ as in (6.3.1);

$$E(N) \cdot \tau < d.$$

$$\frac{\rho}{1-\rho} \tau < d \leftrightarrow \lambda < \frac{d/\tau}{1+d/\tau} \mu \quad (6.3.1)$$

For the particular case where priority is supported, the highest priority queue will experience the same results on the maximum allowable arrival rate as the non-prioritized approach since its performances are not affected by the existence of lower priority messages. Thus, λ_l can be derived as in (6.3.2).

$$\frac{\rho_l}{1-\rho_l} \tau < d \leftrightarrow \lambda_l < \frac{d/\tau}{1+d/\tau} \mu \quad (6.3.2)$$

On the other hand, the lowest priority queue performances will depend on the number of the two-type messages (local or distant). Thus, taking into account the arrival rate λ_l obtained above and by applying the same condition, we have;

$$E(N_d) = \frac{\rho_d}{(1-\rho_l)(1-\rho_l-\rho_d)}$$

$$E(N_d) \cdot \tau < d \leftrightarrow E(N_d) \cdot \tau = \frac{\rho_d}{(1-\rho_l)(1-\rho_l-\rho_d)} \cdot \tau < d \quad (6.3.3)$$

Replacing $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu}$, $i = 1, d$ and trying to obtain λ_d expression, leads us to the following result characterizing the maximum allowable arrival rate for distant messages when using local message arrival rate equal to λ_l ;

$$\lambda_d < \frac{\frac{d}{\tau}(1-2\rho_l+\rho_l^2)}{1+\frac{d}{\tau}\rho_l} \cdot \mu \quad (6.3.4)$$

The above priority based model can lead to an interesting system behavior while respecting the maximum tolerable delay. But, in high network communication loads and while using the delay constraint, it can results in multiple message rejection due to system overflowing and beyond that limit no delay limit is guarantee. This behavior can be observed is the combined messages arrival rate exceeds $\lambda_l + \lambda_{d_{\max}}(\lambda_l)$ where λ_l denotes the local messages arrival rate and $\lambda_{d_{\max}}(\lambda_l)$ the maximum allowable distant messages arrival rate obtained by (6.3.4). Hereafter, a more sophisticated approach will be discussed introducing renegeing technique to overcome the delay constraints.

6.5.2 Enhanced model with renegeing support

To introduces the renegeing support, a particular class of M/M/1 queues will be used, i.e M/M/1+D. Such queue has a Poisson arrival rate λ , an exponential service time with parameter μ with the particularity that a message will leave the system after a waiting time equal to D (patience delay i.e maximum delay for each type of message, see table 6.1) following an exponential law with rate γ . A particular message will stay in the system (queue + server) for a maximum delay D after which it will leave the queue and will be considered as lost if it is not handled by the server.

Such as for the first model, we are considering the use of only one queue that handles all the four messages classes and integrating an internal scheduling technique as illustrated in figure 6.4. So the system can be reduced from a queuing system containing four classes of clients ($\lambda_i, \mu_i, \gamma_i, i \in [0-3]$) to one containing only one class ($\lambda=\sum\lambda_i, \mu=\mu_i, \gamma=\gamma_i, i \in [0-3]$) and integrating an internal scheduling mechanism.

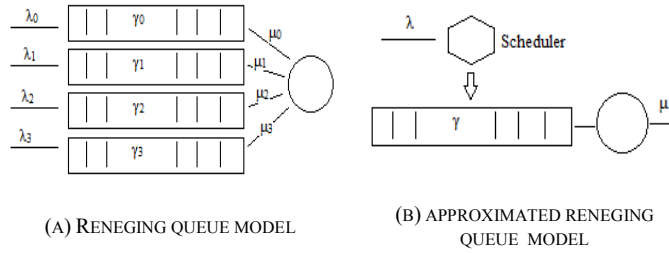


Figure 6.4 - Simplified reneging model

A queuing system mathematically speaking is a probabilistic space in which clients arrive at certain order. Let denote T_k the arrival time of the client C_k and s_k its needed service time. We suppose that arrivals are simple (one at a time) thus the arrival sequence (time) $\{T_k\} k \geq 0$ is a sequence of strictly increasing random variables. We suppose also that the inter-arrivals and services suites are independent and identically distributed with the same distribution U and s respectively and that the random variables are integrable. Therefore, we have $E[U] < \infty$, $E[s] < \infty$, $\lambda := 1/E[U]$, $\mu := 1/E[s]$ and the working load: $\rho := \lambda/\mu$.

Let denote D_k ($E[D] < \infty$, $\gamma = 1/E[D]$) the random variable characterizing the delay associated to a message M_k , such that at $T_k + D_k$, if the message M_k is not yet processed, it leaves the system and will be considered as lost. Thus the sojourn time T_k of message M_k can be written as follow;

$$T_k = (W_k + s_k)1\{W_k < D_k\} + D_k 1\{W_k \geq D_k\} \quad (6.4.1)$$

Using the latter, we can derive that losing a message means that for that particular message the system proposed a delay over D_n thus the message loss probability can be written as;

$$\Pi_k := P[W_k > D_k] \quad (6.4.2)$$

Since the standard has a maximum delay for all message set at 100ms, D_k will be the same for all messages and will be noted “d” hereafter.

Using the memory-less property associated with the exponential law leads us to use simplified Markovian models to derive the performance parameters for such a queue and give an approximation of the loss probability Π . Let denote Π_k the probability that a message quits the queue without having been served due to impatience, T_k' the time when the message M_k quit the queue. If it is not lost then this is also the time when the message enters in service thus $T_k' \in [T_k, T_k + d[$, else $T_k' = T_k + d$.

Let denote also; A_{jt} , the message M_j is in service at time t , and B_j the message M_j is already processed. Thus the message M_k will be dropped if the server is busy with another message at time T_k+d . This means that the message that is already in service has been there at $T_{k-1}+d$ else it would have been dropped. Thus Π_k can be expressed as;

$$\begin{aligned} \Pi_k &= \sum_{j=0}^{k-1} P[A_j^{T_k+d}] = \sum_{j=0}^{k-1} P[A_j^{T_k+d} \cap A_j^{T_{k-1}+d}] \\ &= \sum_{j=0}^{k-1} P[A_j^{T_k+d} | A_j^{T_{k-1}+d}] P[A_j^{T_{k-1}+d}] \quad (6.4.3) \end{aligned}$$

Since the service times are exponentials,

$$P[s > T_k - T_{k-1}] = P[s > U] \quad (6.4.4)$$

By replacing in the equation above and adding that $A_j^{T_{k-1}+d} \subset B_{k-1}$ and by simplification we can derive two bounds for the probability of messages loss.

$$\Pi_k \leq P[s > U] \Pi_{k-1} + P[s > U] (1 - \Pi_{k-1}) \quad (6.5.1)$$

$$P[s > U] - P[s > U] P[s > d] (1 - \Pi) \leq \Pi_k \quad (6.5.2)$$

Thus in stability conditions and with calculating the limits to the infinity we can derive where Π is the probability of losing a message due to renegeing.

$$\frac{P[s>U]P[s>d]}{1-P[s>U]P[s<d]} \leq \Pi \leq P[s > U] \quad (6.6)$$

The end result for the particular case of the M/M/1+D will be obtained by replacing 6.7.1 and 6.7.2 in 6

$$P[s > U] = \lambda / \lambda + \mu \quad (6.7.1)$$

$$P[s > d] = e^{-\mu d} \quad (6.7.2)$$

$$\frac{\lambda / \lambda + \mu e^{-\mu d}}{1 - \lambda / \lambda + \mu (1 - e^{-\mu d})} \leq \Pi \leq \lambda / \lambda + \mu \quad (6.7.3)$$

6.5.3RMDS model with priority and renegeing support

In our scheme, we are interested in designing multiple message types having strict pre-emptive priority to give a higher chance to locally generated messages to access the channel and reduce the local/distant messages concurrency. For that purpose, we are using an extended version

of the aforementioned queuing model which includes two separate queues, one of which having an absolute priority over the other; class 1 contains locally generated messages (1 hop or a certain travelled distance) and class 2 handling relayed messages as shown in figure 6.5 (a) where;

$$\begin{pmatrix} \lambda = \lambda_L + \lambda_D \\ \gamma_L = \gamma_D = \gamma \\ \mu_L = \mu_D = \mu \end{pmatrix} \quad (6.8)$$

The pre-emptive priority ensures that none of the distant messages can access the server when local messages queue is not totally empty. The distinction between the two types of messages is only made internally and does not affect the arrival rate λ since it will be redirected to the adequate queue depending on the distance from the originator. As messages contained in the two queues are subjected to the same requirements regarding the standard specifications, the renegeing rate γ will be the same, the service rate μ as well and the renegeing delay d .

Equation (6.8) shows the relationship between λ , λ_L , λ_D , γ , γ_L , γ_D , μ , μ_L , and μ_D respectively representing total arrival rate, local messages arrival rate, distant messages arrival rate, renegeing rate, local messages renegeing rate, distant messages renegeing rate, service rate, local messages service rate, and distant messages service rate.

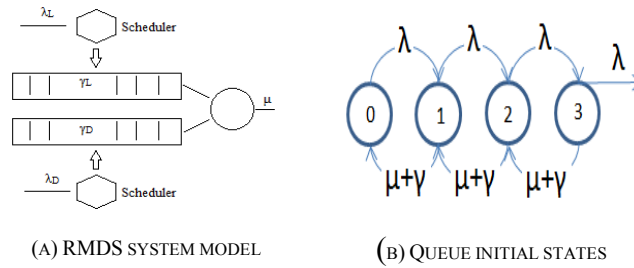


Figure 6.5 - Pre-emptive priority system model (RMDS)

Mean messages count and waiting time in the system: Based on conditions in (6.8), we note that the system behaviour is similar to using only one class of messages and consequently, we can derive the mean number of messages in the system L_i and the mean waiting time W_i , $i \in [L, D]$ where L and D represent local and distant messages.

$$L_D = L - L_L \quad (6.9.1)$$

$$W_D = W - W_L \quad (6.9.2)$$

Let denote p_n the probability associated to the state n of the queue, thus using the principle of flow conservation and by recurrence, we have:

$$\lambda p_n = (\mu + \gamma) p_{n+1} \quad (6.9.3)$$

$$p_{nj} = \rho_j^n p_{0j}, \rho_j = \frac{\lambda_j}{(\mu + \gamma)}, j \in [L, D] \quad (6.9.4)$$

Where ρ_j designates the workload in the queue j , p_{0j} the probability associated to the initial state of queue j , λ_j the arrival rate at queue j , μ the service rate, and γ the reneging rate.

Since all probabilities sums to 1, we can write

$$p_{0j} = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \rho_j^n} \quad (6.9.5)$$

Thus;

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} n p_n = p_0 \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n \quad (6.10.1)$$

$$L_L = \sum_{n=0}^{\infty} n p_{nL} = p_{0L} \sum_{n=0}^{\infty} n \rho_L^n, \rho_L = \frac{\lambda_L}{(\mu + \gamma)} \quad (6.10.2)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{p_0}{\lambda} \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n \quad (6.11.1)$$

$$W_L = \frac{L_L}{\lambda_L} = \frac{p_{0L}}{\lambda_L} \sum_{n=0}^{\infty} n \rho_L^n \quad (6.11.2)$$

Messages loss probability: In the case in which we differentiate the two types of messages M_L, M_D , the server will have one of the following states; a) it is considered empty with probability Π , b) it is serving a local message M_L or c) it is serving a distant message M_D . Knowing that the existence of a distant message has no impact on the local messages (since we are using an absolute priority between the two sub-systems), let denote P_0 the probability that no local message is present in the system. Thus, the system will serve a local message with probability $P[M_L] = 1 - P_0$. Using the latter, the probability that a distant message is admitted in service is $P_0 - \Pi$. Thus using Stanford (Stanford, 1979) conclusions, we can write

$$\Pi_L = 1 - \frac{1 - P_0}{\rho_L} \quad (6.12.1)$$

$$\Pi_D = 1 - \frac{P_0 - \Pi}{\rho_D} \quad (6.12.2)$$

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu} \quad i \in [L, D]$$

6.6 Results overview

In this section, we present theoretical and simulation based results to analyse and evaluate the effectiveness of taking into consideration reneging with prioritization support compared to a rejection policy and the standard specification where the only distinction between messages is made using their generated priority. Two main metrics are discussed in this section; (a) the messages loss probability due to concurrency of local and distant messages, which is the main contribution of this work, (b) the mean waiting time in the system, and (c) the communication density generated locally as defined by (Jiang, 2007) to compare the effectiveness of the adaptation scheme.

6.6.1 Simulation parameters:

We simulated multiple emergency data flows entering a set of relay nodes while varying the arrival rate and proportionality between locally/distant generated messages to accommodate the majority of the safety messages requirements. We considered a transmission range adjustment and messaging frequency adaptation depending on the distance from the message generator. Simulations parameters are presented in Table 6.2.

Tableau 6.2 - Global simulation parameters

Parameter	Value
Messaging frequency	Up to 100 msg per second
Vehicle velocity	60 - 120 km/h
Transmission power	50-350 (m)
Messages service rate (μ)	Up to 50 msg/s
Probability of server inactivity	10 %
Proportionality between λ_L and λ	25 %, 50 %, 75 %
Propagation model	Nakagami-m with no interferences

6.6.2 Results analysis:

Hereafter, results will be presented according to the performances metrics of interest. Each of the previously mentioned approaches will be discussed and its performances compared to RMDS to show its effectiveness in various communication densities.

Messages loss probability: In VANETs, messages losses are due to two main causes; (1) multiple successive collisions which degrade network performances, (2) the concurrency caused by EDCA related backoff mechanisms that leads to channel miss-use. Here we are discussing the second category and we are making abstraction of the interferences problem in such cooperative networks. In this section, we are discussed the improvement introduced by either priority support or by the integration of renegeing/rejection policy depending on the tested model. Figure 6.6 shows the impact of prioritizing locally generated messages over those relayed from a certain distance in the particular case in which they are equally proportional. Letter “T” and “S” stands respectively for theoretical and simulations results. We notice that for low and medium workloads, priority support in RMDS give better results since it indicates less messages losses. On the other hand, for high workloads, messages loss probability caused by the prioritized RMDS approach exceeds the mean message loss probability when using an EDCA-like approach by 10 percent. On the simulations phase, we notice that RMDS performs better in all conditions. This is due to its effective congestion control mechanism which adapts the communication range. When adapting the communication range, the relay node will be detected by fewer vehicles in its vicinity and by the way will be subjected to fewer solicitations.

The steady behavior of local messages while experiencing multiple distant messages entries can be explained since their performances will not be affected by the existence or not of relayed messages. This behavior is the result of the pre-emptive priority approach. Therefore, distant messages performances are subject to changes when varying local/distant messages arrival rate.

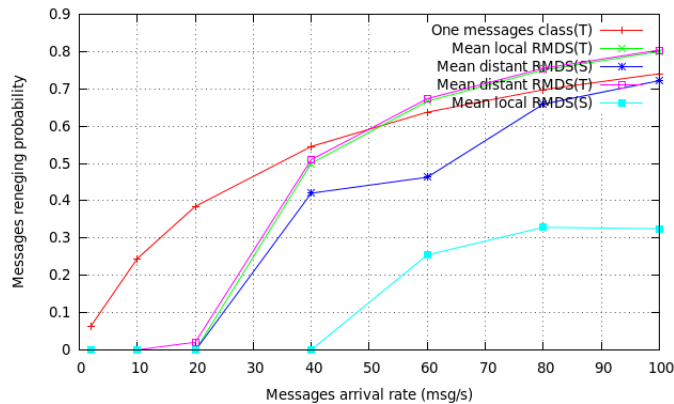


Figure 6.6 – Messages loss probability comparison using one messages class with renegeing vs. RMDS design ($\lambda_i = 0.5 \lambda$)

As discussed in the model construction section, when using a limiting delay approach, rejection is the only reaction that we can consider to make the system behave properly to withstand the 100ms delay barrier. In RMDS design, messages can enter the system and wait in the queue until the envisioned resource is available to be used. Thus, such a waiting time is limited to 100ms otherwise messages will quit the system and be considered lost. Figure 6.7 shows the impact of delay limitation policies on the rejection/renegeing probability in the two main considered designs. For the sake of generality, we are considering two delay limit for each design corresponding to Groups A and B safety messages (see Table. 6.1). As intended, messages arrival rate has an impact on the rejection/renegeing probability and especially distant messages. The rejection/renegeing probability increases while increasing messages arrival rate so the system can handle such works in the appropriate delays. We can notice that the rejection/renegeing probability when using a 20ms delay limit is higher than when using a 100ms. This is due to the harder constraint set on the messages maximum waiting time. In light to medium load condition, the rejection approach does not experience messages losses since neither the 100% system usage barrier, nor the maximum allowable messages arrival are exceeded. On the other hand, the renegeing policy experience up to 40% losses to accommodate the 20ms delay barrier. In high messaging load conditions, RMDS design presents better performances since its maximum renegeing rate does not exceed 52% compared to the rejection approach which causes up to 98% of messages to be dropped.

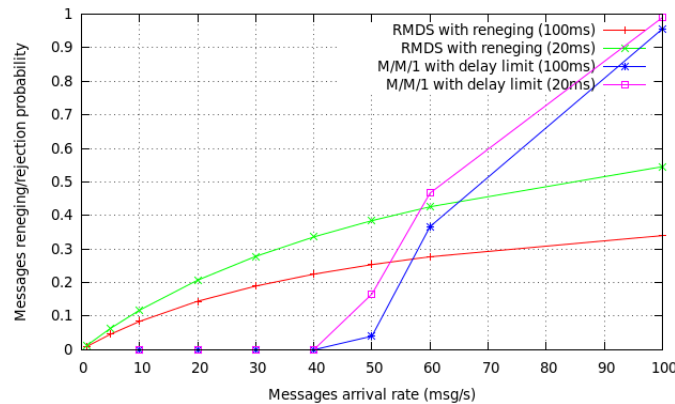


Figure 6.7 – Messages loss probability comparison using one messages class with renegeing/rejection for 20ms/100ms delay barriers

In order to identify the system performances under variable conditions, we conducted tests while varying local/distant messages arrival rates. Figure 6.8 and 6.9 show the impact of such variability on the rejection/renegeing probability. Letter “T” and “S” refers respectively for theoretical and simulations results. In a global view, we notice that the rejection based design behave more adequately in term of loss probability in low and medium load conditions compared to the renegeing approach. But in contrast, the reverse behavior is observed in high load conditions where the messages arrival rate exceeds 60msg/second. On one hand, we notice that when increasing the local messages arrival rate, the distant messages rejection/renegeing probability increases. This is due to the pre-emptive priority, since the system will sub-serve the local messages over the distant ones. Thus the probability that distant messages wait longer in the queue / be rejected is increased. On the other hand, when decreasing the local messages arrival rate, the distant messages renegeing/rejection probability decreases. They have a better chance to be served since the probability that the system is busy handling local messages is decreased. On the simulations side, we notice that globally, simulations results are close to the theoretical one and slightly better especially in low local messages proportionalities for the renegeing and the rejection approaches. For RMDS, we notice that the rejection rate stabilizes for arrival rates over 60%. This behavior is related to the congestion control mechanism which reduces the overall communication density and by the way the messages arrival rate to the relay nodes.

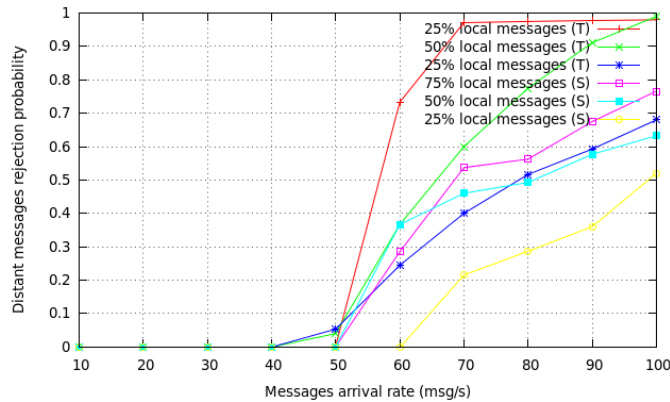


Figure 6.8 - Distant messages rejection probability when varying proportionality between local/distant messages arrival rate

In the rejection based approach, when messages arrival rate exceeds the maximum allowable messaging rate, rejection happens regardless of the message type or priority. By contrast, renegeing only affects distant messages and by the way local messages processing probability is not affected. Figure 6.10 shows the impact of varying the messages arrival proportionality on the local messages rejection probability. We notice that in light to medium load condition, there is no local messages rejection.

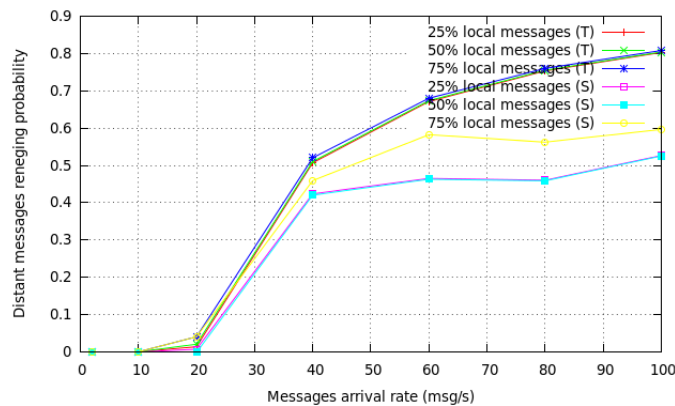


Figure 6.9 – Distant messages renegeing probability while varying proportionality between local/distant messages

By contrast, in high load conditions, rejection probability can increase up to 35% of the total messages for the particular case when 75% of the messages are generated locally and up to 2.5% when local/distant messages arrival rate are equally proportional. Note that for the particular case when only 25% of the traffic is local, the system does not reach the upper bounds expressed on the maximum allowable local messages arrival rate discussed in the

design section. Thus, no local messages rejection is necessary to withstand the delay constraint. On the simulations side, the system does not experience local messages loss for all arrivals proportionalities. Such a behavior consolidates the impact of the congestion control mechanism on the system performances.

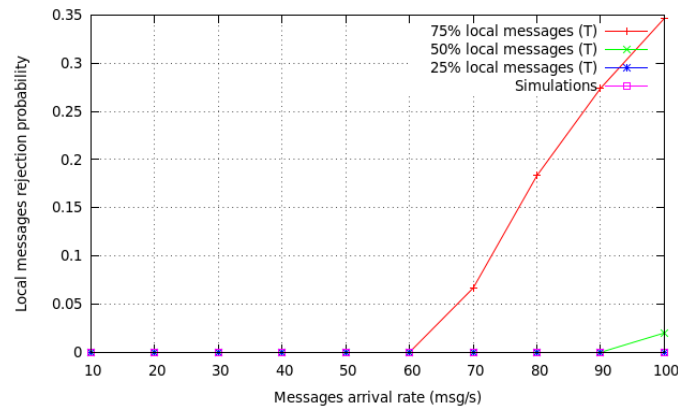


Figure 6.10 – Local messages rejection probability while varying proportionality between local/distant messages

Mean waiting time in the system: The mean waiting time in the system characterizes the sum of the time spent by a message in the queue and its service time. As discussed earlier, the two main proposed approaches introduce reneging or rejection to make the system handle messages with respect to the delay limitations. Such a behavior introduces improvements on the delay regarding the use of one or the other of the rejection/reneging policies.

Figure 6.11 shows the mean waiting time in the system for the two types of messages regarding the elected policy. Letters “N/W” refers to the activation or not, “P” refers to the priority support, “RJ” refers to the rejection support and RMDS refers to the use of reneging while supporting priority. We can notice that the priority support has a deeper impact on the envisioned delay than the reneging support. For the particular case where there is no priority, nor reneging support, the delay can exceeds the 100ms barrier for workloads over 80%. On the other hand, when rejection is activated and for the particular case of distant messages, the expressed delay exceeds the 100ms for workloads over 70%. Since every distant message have to wait for local messages to be processed and since the distant messages are already in the system, they have to wait for every local message to be processed before having the chance to be processed. For the impact of priority when the same policy is activated, distant messages will have to reside in the system longer to have the chance to be processed. That is the normal behavior when using a pre-emptive priority with no rejection after entering the system. We

notice that when combining priority and reneging, the mean waiting delay decreases resulting in local messages to not exceed the 100ms barrier while distant messages slightly exceed that barrier for workloads near saturation (approximately 92%). We notice also that, theoretically rejection policy performs better than RMDS for local messages in terms of expected mean waiting time.

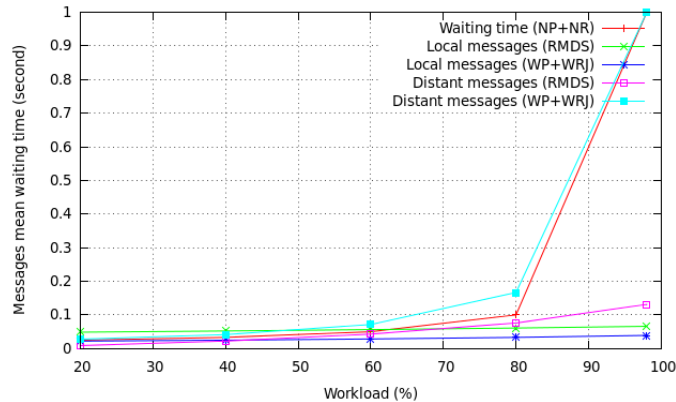


Figure 6.11 – Messages mean waiting time comparison between RMDS and the rejection policy depending on the workload

Figure 6.12 shows the mean time spent in the system for local messages at different loads for the approach introducing reneging (RMDS) and when varying local/distant messages arrival rate proportionality. Letter “T” and “S” refers respectively for theoretical and simulations results. RMDS presents better results in term of delay compared to the case when priority is not supported. The 100 ms standard specified delay is respected for 25% and 50% proportionalities and not for the case where 75% of the total arrivals are local messages for workloads over 70%. On the other hand, when no priority is supported, the delay is exceeded for workloads over approximately 30%. These remarks consolidate the importance of combining priority and reneging approaches to handle messages with respect to the delay limitation. On the simulations side, we notice that the mean waiting time is generally more interesting than the theoretical results for all arrival proportionalities. A noticeable remark is that for high workloads over 70%, the simulations results are better due to the congestion control mechanism so the system can achieve a lower waiting time.

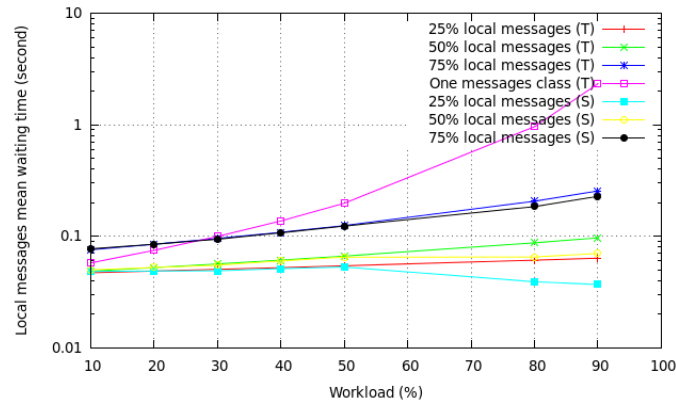


Figure 6.12 – Local messages mean time in the system (RMDS)

Figure 6.13 shows the RMDS model behaviour for distant messages; those relayed of a distance over Cd . We can notice that while varying proportionality between local/distant messages arrival, the system behaves more efficiently than the case when no priority is introduced. But, for the theoretical results, the delay is only respected if the workload does not exceed 50% regardless of the impact of varying the proportionalities. This is caused by the pre-emptive priority mechanisms. The fact of varying proportionalities has an impact on the delay as shown earlier on the rejection/renegeing probability and presents a tool to divert the workload from one queue to the other. On the simulations side, we notice that results are close to the theoretical one with a slightly greater deviation at low workloads. We notice also, at very high working loads, the improvement introduced by the congestion control scheme on the overall distant messages mean waiting time since it can enhance the delay by approximately 50% for the case where 75% of the admitted messages are local.

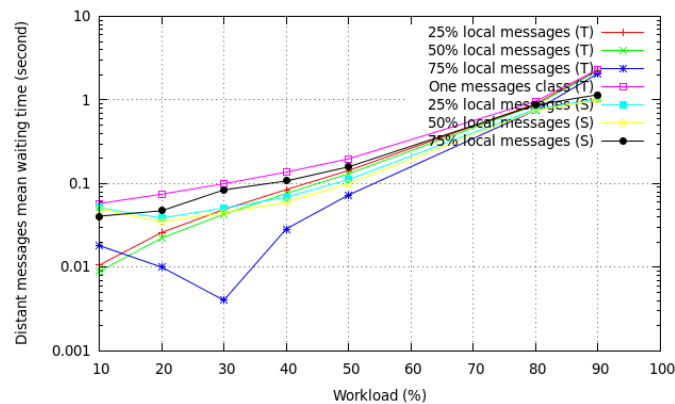


Figure 6.13 – Distant messages mean time in the system (RMDS)

Let us now compare the performances of the reneging and rejection approaches while subjected to the same constraints. To make the rejection possible, we have to express a constraint on the maximum allowable arrival rate to the prioritized queue. The secondary queue handling the distant messages will be allowed to use the residual server processing time so that distant messages can be served. Figure 6.14 shows the approximated waiting time for local messages considering their arrival rate and while expressing a 100ms delay limit. The second curve presents the maximum allowable distant messages arrival rate to meet the 100ms barrier. We notice that when increasing local messages arrival rate, distant messages will be subjected to more rejection to overcome the delay limitation.

Figure 6.15 and 6.16 show the impact of priority and variability introduction when using a rejection approach. We notice that for the case when no priority is supported, the maximum working load with respect to the 100ms delay limit is 80%. But when introducing pre-emptive priority, the system can work up to 98% while respecting that delay limit for the local messages and with all messages arrival proportionalities. While in the case of distant messages, the delay constraint is not supported for workload over approximately 70%. This can be explained by the tendency of the pre-emptive priority to sub-serve the local messages over the distant ones regardless of their generating priority or arrival time to the system. In that case, the distant messages queue has a tendency to overflow which make the delay limit impossible to respect. Another observation that can be made is, if at certain time there are n distant messages in the system, and at time $t+1$, a bunch of local messages arrive to the system. In that case, the distant messages processing will be delayed by the necessary time to handle all the local messages. That is why; we are observing a poor behavior for distant messages compared to the case where no priority is supported in terms of delay. One can notice also that, when increasing local messages arrival proportionality, the distant messages mean waiting time increases dramatically in favor of the local messages mean waiting time. On the overall, we can conclude that the two approaches (rejection or reneging) offers good initiative for local messages to be served with respect to the 100ms delay limit, on the other hand, distant messages service is not ensured neither in term of delay nor in term of loss probability. We have to notice also that the reneging approach performs relatively better than

the rejection policy when processing distant messages which make it more trustworthy to be standard compliant.

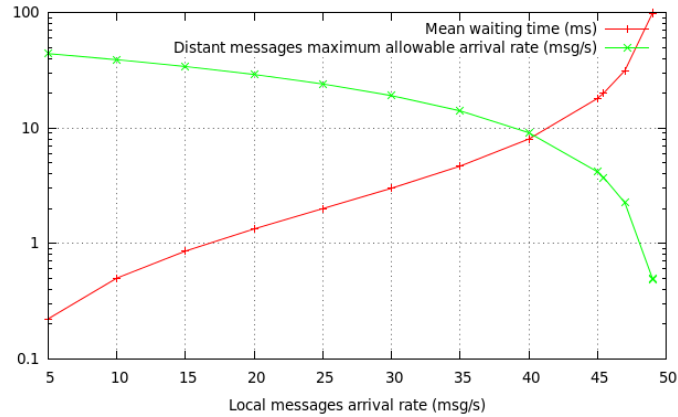


Figure 6.14 – Maximum allowable distant messages arrival rate function of the local messages arrival rate (100ms)

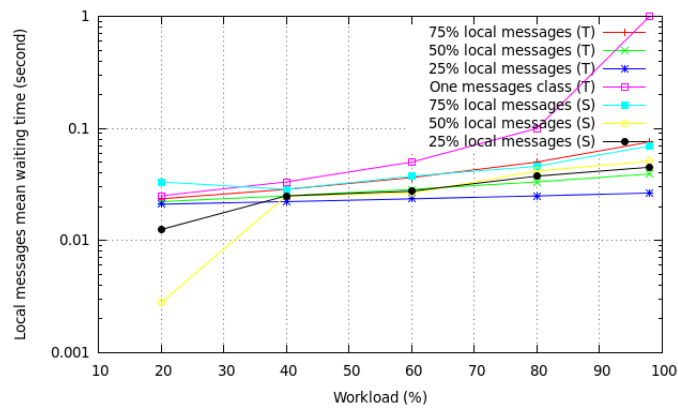


Figure 6.15 – Local messages mean waiting time in the system with limiting delay (100ms)

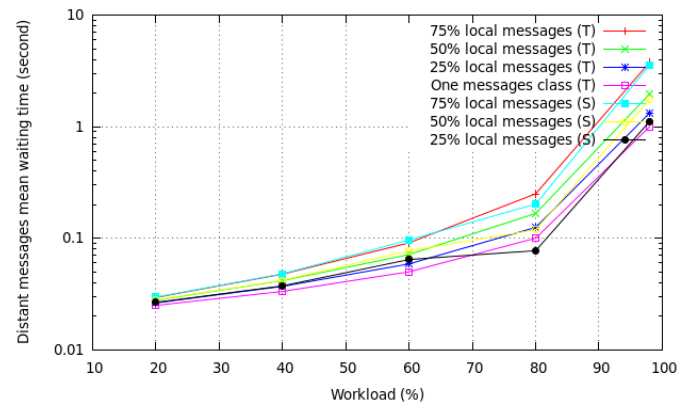


Figure 6.16 – Distant messages mean waiting time in the system with limiting delay (100ms)

The case of Group B messages with 20 ms limiting delay: For the particular case where safety messages need a 20 ms maximum dissemination delay, we have to express a more severe constraint on the maximum allowable arrival rate for local / distant messages. Since when using a rejection policy, the system will respect the delay limit for local messages, we choose to represent the rejection probability for local and distant messages as a mean of comparison.

Figure 6.17 shows an approximation of the waiting time for local messages while varying their arrival rate and expressing a 20ms delay limit. The second curve presents the maximum allowable distant messages arrival rate to meet that 20ms limit. We notice that as when expressing the 100ms delay limit, when increasing local messages arrival rate, distant messages will suffer more rejection to overcome the delay limitation.

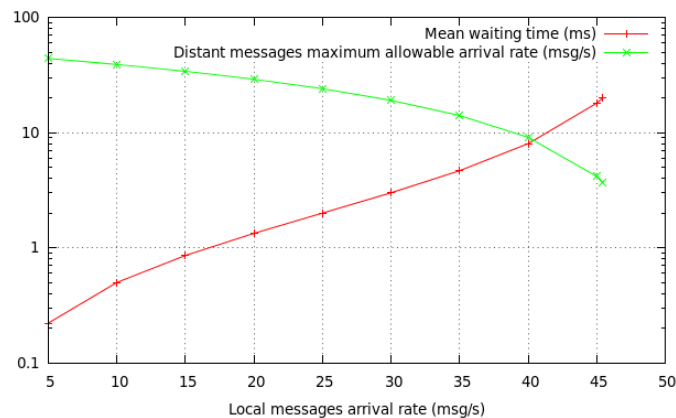


Figure 6.17 – Maximum allowable distant messages arrival rate function of the local messages arrival rate (20ms)

Figure 6.18 shows the impact of the delay limitation on the rejection probability while varying local/distant messages proportionalities. Compared to the use of 100ms delay limit, we notice that, rejections appear earlier in terms of messages arrival rate and are more severe for all proportionalities. On the proportionality variation impact, the results are similar to those when using 100ms delay. If the local messages arrival rate is increased, the probability of rejecting distant messages is increased. Using simulations, we can observe that for most proportionalities, the system behave more adequately in terms of rejection. We notice that the average losses extracted by simulations are lower which proves the effectiveness of the

congestion avoidance design. We notice also, simulations also consolidate the fact that for higher local messages proportions, the distant messages are subject to more rejection.

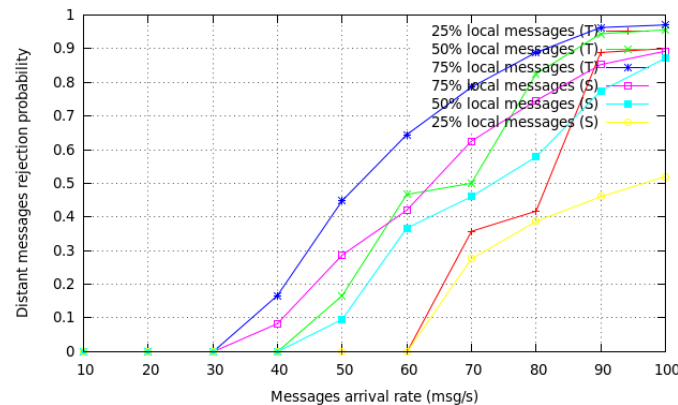


Figure 6.18 – Distant messages rejection probability when varying proportionality between local/distant messages arrival rate (20ms)

In the rejection based approach, when messages arrival rate exceeds the maximum allowable messaging rate, rejection happens regardless of the message type. By contrast, reneging only affects distant messages and by the way local messages processing probability is not affected. Figure 6.19 shows the impact of varying the messages arrival proportionality on the local messages rejection probability. We notice that in light to medium load condition, there is no local messages rejection. By contrast, in high load conditions, rejection probability can increase up to 40% of the total messages for the particular case when 75% of the messages are generated locally and up to 10% when local/distant messages arrival rate are equally proportional. For rejection policy to behave like the reneging one, local traffic has to be equal or less than 25% of the total traffic. In that case, the upper bound expressed on the maximum allowable local messages arrival rate is not reached and by the way no local messages are rejected.

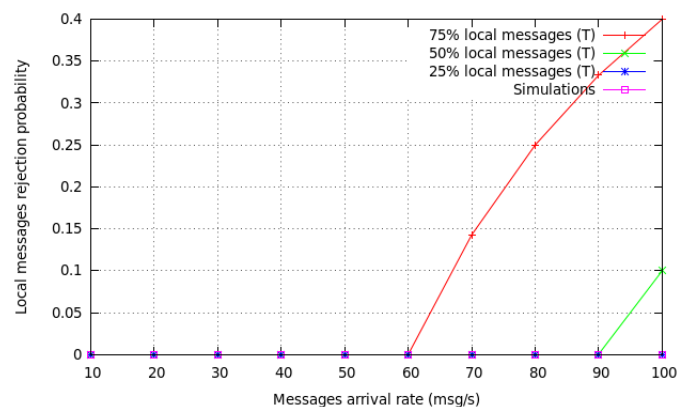


Figure 6.19 – Local messages rejection probability when varying proportionality between local/distant messages arrival rate (20ms)

Through the previous sections, we demonstrated the impact of choosing reneging/rejection policies on the envisioned mean waiting time for safety messages while introducing prioritized traffic over multiple safety flows. On the overall, reneging policy is more suitable for high loads communication environment in terms of reneging/rejection probability and ensured delay. On the other hand, rejection policy presents a better behavior for low to medium communication loads thanks to its capability to reject messages according to the node load. But the latter approach is facing a major lack since it does not integrate a mechanism rejecting messages after a specified waiting time. Theoretically, when using rejection policy, a distant message already in the system can wait to infinity when the system is facing continuous local messages arrivals with certain rate. We also proved that when expressing a more severe constraint on the delay, the two approaches reaction is to reject/renege more distant/local messages to make the node processing load low. For local messages to be rejected, the system has to experience a working load over 100% which causes the system to overflow.

Communication density enhancement: As we introduced an adaptive behaviour in RMDS, we have to measure the impact of such adaptive scheme on network performances. In RMDS, two adaptation phases precede the dissemination phase. Figure 6.20 shows, in measurements made in a 100 experiments, the impact of activating only one of the aforementioned adaptation phases and the effect of combining both on the measured communication density (CD). A cumulative gain up to 300 percent can be ensured thus reducing the collision probability which in turn can improve message delivery probability.

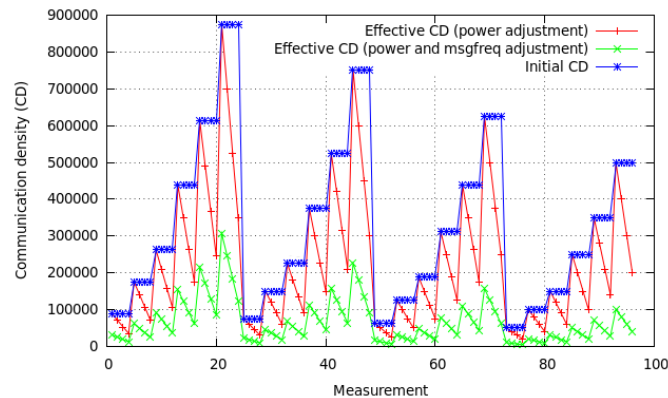


Figure 6.20 – Power and messaging frequency adjustment effect on the CD (the case of safety messages)

6.7 Conclusions And Future Work

In this paper, we present a relevance-based adaptation and dissemination scheme for VANETs. RMDS dynamically adapts the transmission range/messaging frequency and introduces a prioritized scheme to handle differently locally generated message versus relayed ones. Using queuing theory, we showed that considering a reneging approach is more appropriate than using a rejection approach especially for high load communication. RMDS outperforms the rejection scheme in high workloads in terms of rejection probability. It ensures the same waiting time for local messages while having lower waiting time for distant messages. We believe that the adjustment techniques introduced by RMDS can effectively reduce channel congestion when messages need to be relayed among vehicles beyond a one hop count. Extensive simulations in vehicular scenarios especially in highly congested situations, confirms the effectiveness of the priority and reneging combination as a way to overcome the congestion problem in vehicular networks.

CHAPITRE 7

CONCLUSIONS

7.1 Conclusions

Avec l'introduction des systèmes de transport intelligents, une nouvelle ère s'annonce avec des véhicules plus confortables et plus sécuritaires. La nouveauté consiste à doter les véhicules et l'infrastructure routière de capacités sensorielles, d'intelligence se traduisant par des unités de calcul, et de communication, pour améliorer la sécurité routière. Dans cette thèse de doctorat, nous avons proposé le développement de nouveaux systèmes de communication pour les réseaux véhiculaires. Plus particulièrement, nous cherchons à améliorer les techniques de dissémination d'informations dans ces environnements hautement changeants sous une contrainte de congestion.

Une première approche proposée, MUDDS, était d'introduire des mesures locales de métriques de performances afin d'acquérir une vision locale de la connectivité dans le réseau. Cette approche apporte une amélioration sur l'aspect échange dans le réseau puisque la quantité de messages de contrôle échangés est réduite. Elle est construite autour d'une multi-métrique combinant des mesures de densité de communication et de distance permettant d'élire des nœuds faisant office de relais pour l'acheminement de messages d'urgence sur du multi-sauts. Une technique d'adaptation de la puissance d'émission a été introduite afin de réduire la densité de communication locale et favoriser la fiabilisation des échanges. Cette même technique se base sur des mesures de densité de communication locale et introduit six niveaux de puissance utilisables correspondant à des portées de communication allant de 50 à 300 mètres.

La deuxième approche proposée, MORS, fait intervenir des techniques d'optimisation afin d'élire les différents nœuds relais. Elle se base sur une segmentation de la problématique en deux processus d'optimisation sous contraintes et en les exécutants séquentiellement, i.e. FD2C et UM2D. Afin d'assurer un bon taux de réception au delà de 300 mètres, cette approche propage l'information sur des sauts multiples tout en évitant la congestion du réseau

en introduisant une technique asymétrique d'ajustement de la puissance d'émission. Le schéma proposé peut estimer le taux de réception de paquets (PRR) et ajuster la distance de relayage afin de satisfaire les contraintes minimales exprimées par différentes applications de sécurité. Cette technique assure une adaptabilité entre les deux composantes de la multimétrie afin de favoriser la distance ou le taux de réception dépendamment de l'application visée.

Le troisième schéma proposé introduit la notion de contexte dans le processus de dissémination des messages. Le contexte dans cette technique est défini en termes de localisation des différents intervenants dans la communication et leurs intérêt à la réception de certains messages tout en considérant leurs capacités à éviter certaines situations de danger. Cette notion de contexte permet à chaque unité dans le réseau de traiter le même message de manière différente selon sa proximité à un évènement et sa propre perception du risque. Ce schéma intègre deux techniques de rejet afin de décharger le réseau des échanges nonpertinents; la première est une technique de rejet avant admission des messages au niveau des nœuds relais, et l'autre est une technique de rejet après admission suite à un dépassement de délai maximum d'attente (en anglais; *reneging*). Le schéma proposé s'avère compatible avec les normes de communications existantes et en cours de développement par les organismes internationaux. Ce protocole veille à respecter les contraintes temporelles imposées sur les messages d'urgence dans le réseau véhiculaire pour servir parfaitement les applications sensibles au retard. Le but est finalement d'offrir un système de communication robuste et efficace pour l'acheminement de messages d'urgence qui servira à améliorer la sécurité routière.

7.2 Limitations

Lors de l'élaboration de cette thèse, nous avons proposé des approches pour améliorer les techniques de dissémination de messages d'urgence en se basant sur des approches permettant de réduire les échanges de messages de contrôle et en favorisant la détection au niveau local. Toutefois, les résultats obtenus se basent sur des hypothèses qui pour certaines font l'objet de controverse. Parmi ces dernières, nous citons l'hypothèse de la symétrie sur l'atténuation des signaux émanant de deux sources. En d'autres termes, nous supposons que le niveau du signal

reçu d'un nœud A (respectivement B), au niveau d'un nœud B (respectivement A) sont égaux si ces deux nœuds utilisent la même puissance d'émission. Ce qui peut ne pas être le cas.

La deuxième hypothèse qui peut être perçue comme une limitation, est l'utilisation du niveau perçu du signal comme indicateur pour évaluer la distance entre un nœud local et un éventuel relai. Cette mesure n'est qu'approximative et les fluctuations que peuvent subir les signaux peuvent rendre la mesure de distance fautive.

Dans l'approche MORS, nous avons présenté une technique de présélection de relai se basant sur une mesure de multi-métrique. Cette dernière mesure se fait sur des échanges locaux inclus dans la portée de communication. L'utilisation de cette méthode, bien que non optimale, a été décidée vu que l'extension de cette portée compliquera les calculs au niveau des nœuds relais et induira des échanges distants pour la mise à jour des tables de voisinage. Ceci peut résulter en un problème NP-complet difficilement soluble.

Dans le chapitre 6, nous avons présenté une méthode de dissémination se basant sur la notion de pertinence. Cette pertinence est construite autour de la localisation des nœuds faisant objet d'échanges uniquement et les métriques de performances sont mesurées localement. D'autres part les mesures du taux de pertes de messages ne considèrent que les pertes dues aux rejets et n'incluent pas les pertes dues aux interférences.

7.3 Perspectives

Concernant la mesure de la distance en se basant sur le niveau de signal perçu, cette méthode peut être étendue afin d'utiliser une mesure normalisée des signaux et par conséquent rendre l'évaluation de la distance plus robuste aux fluctuations. Une autre idée est d'utiliser des algorithmes qui permettent l'amélioration de la précision de la mesure de distance ou de la position en se basant sur d'autres sources d'information en utilisant des techniques de fusion de données.

Pour la technique de présélection du nœud relai qui se base sur des mesures locales, un travail futur pourra faire l'objet d'une extension de la portée de détection et inclure des échanges sur plusieurs sauts. Ceci aura pour effet d'optimiser le choix du relai mais induira par conséquent

des échanges de messages de contrôle afin de construire une vision globale de la connectivité dans le réseau. L'une des techniques les plus intéressantes dans ce volet est l'utilisation d'une approche d'optimisation par la programmation dynamique.

Une idée d'extension du schéma RMDS pourra introduire un contexte temporel afin d'optimiser les échanges et par conséquent la notion de pertinence inclura les deux aspects spatial et temporel. Pour ce même schéma, une extension du modèle analytique permettra d'inclure les pertes dues aux interférences lors du calcul du taux de réception de paquets.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- (Abid, 2013)** Mohamed Amine Abid, Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Pedestrian collision avoidance in vehicular networks. ICC 2013: 2928-2932
- (Artimy, 2005)** Maen M. Artimy, William Robertson, and William J. Phillips. 2005. Assignment of dynamic transmission range based on estimation of vehicle density. *2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '05)*.
- (Ayaida, 2014)** M. Ayaida, M. Barhoumi, H. Fouchal, Y. Ghamri-Doudane, and L. Afilal, "Joint routing and location-based service in VANETs, " *J. Parallel Distrib. Comput.* 74(2): 2077-2087 (2014)
- (Bachir, 2003)** Bachir, A.; Benslimane, A.; "A multicast protocol in ad hoc networks inter-vehicle geocast," *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003 - Spring. The 57th IEEE Semiannual* , vol.4, no., pp. 2456- 2460 vol.4, 22-25 April 2003
- (Boban, 2008)** Boban, M.; Misek, G.; Tonguz, O.K.; , "What is the Best Achievable QoS for Unicast Routing in VANETs?," *GLOBECOM Workshops, 2008 IEEE*, vol., no., pp.1-10, Nov. 30 2008-Dec. 4 2008.
- (Borgonovo, 2002)** F. Borgonovo, A. Capone, M. Cesana, L. Fratta, "RR-ALOHA, aReliable R-ALOHA Broadcast Channel for Ad Hoc Inter-Vehicle Communication Networks", *Med-Hoc-Net* , Baia Chia, Italy, 2002
- (Caizzzone, 2005)** Caizzzone, G.; Giacomazzi, P.; Musumeci, L.; Verticale, G.; , "A power control algorithm with high channel availability for vehicular ad hoc networks," *ICC 2005*, pp. 3171- 3176 Vol. 5, 16-20 May 2005.
- (Chakroun, 2012)** O. Chakroun and S. Cherkaoui and J. Rezgui, MUDDS: Multi-Metric Unicast Data Dissemination Scheme for 802.11p VANETs, in *Proc. of The 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC, 2012*.
- (Chakroun, 2013)** Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Enhancing Safety Messages Dissemination Over 802.11p/DSRC. *IEEE LCN ON-MOVE 2013*
- (Chakroun, 2014a)** Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui : RMDS: Relevance-based Messages Dissemination Scheme for 802.11p VANET. *IEEE ICC 2014*.
- (Chakroun, 2014b)** Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Overhead-Free Congestion Control and Data Dissemination for 802.11p VANETs. *ELSEVIER VEHICULAR COMMUNICATION* 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.05.003>.

- (Chakroun, 2014c)** Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Investigating the impact of renegeing/rejection policies on the messages loss rate and delay for a relevance-based messages dissemination scheme in 802.11p VANETs. Soumis a ELSEVIER COMPUTER NETWORKS.
- (Chen, 2010a)** Chen, R.; Wen-Long Jin; Regan, A.; , "Broadcasting safety information in vehicular networks: issues and approaches," *Network, IEEE* , vol.24, no.1, pp.20-25, Jan.-Feb. 2010
- (Chen, 2010b)** Yuh-Shyan Chen, Yun-Wei Lin, Ci-Yi Pan, DIR: diagonal-intersection-based routing protocol for vehicular ad hoc networks, March 2010
- (Chen, 2010c)** Y. S. Chen, Y. W. Lin, and S. L. Lee, "A mobicast routing protocol for vehicular ad hoc networks", *ACM/Springer Mobile Networks and Applications*, Vol. 15, 2010, pp. 20-35.
- (Davis, 1994)** Davis, J.S., II; Linnartz, J.P.M.G.; "Vehicle to vehicle RF propagation measurements," *Signals, Systems and Computers*, 1994. 1994 Conference Record of the Twenty-Eighth Asilomar Conference on , vol.1, no., pp.470-474 vol.1, 31 Oct-2 Nov 1994
- (Elbatt, 2006)** Tamer ElBatt, Siddhartha K. Goel, Gavin Holland, Hariharan Krishnan, and Jayendra Parikh. 2006. Cooperative collision warning using dedicated short range wireless communications.*3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '06)*.
- (Fasolo, 2005)** E.Fasolo, R.Furiato, A.Zanella, Smart Broadcast Algorithm for Inter-vehicular Communications, *IWS 2005/WPMC 2005* , Aalborg, Denmark, Sep. 2005.
- (Fukuhara, 2005)** T. Fukuhara, T. Warabino, T. Ohseki, K. Saito, K. Sugiyama, T. Nishida, and K. Eguchi, "Broadcast Methods for Inter-Vehicle Communications System," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, vol. 4, Mar. 2005, pp.2252- 2257.
- (Hartenstein, 2001)** Hartenstein, H. et al., "Position-Aware Ad Hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle Communications: The FleetNetProject," *MobiHoc '01: Proc. 2nd ACM Int'l. Symp. Mobile Ad Hoc Networking & Computing*, New York: ACM Press, pp. 259–62, 2001
- (Hartenstein, 2010)** Hannes Hartenstein, K. Laberteaux, Inc Ebrary, *VANET: vehicular applications and inter-networking technologies (2010)*
- (Jerbi, 2009)** M. Jerbi, S. M. Senouci, T. Rasheed, and Y. Ghamri-Doudane, "Towards Efficient Geographic Routing in Urban Vehicular Networks," *IEEE T. Vehicular Technology* 58(9): 5048-5059 (2009)
- (Jiang, 2007)** Jiang, D.; Qi Chen; Delgrossi, L.; , "Communication Density: A Channel Load Metric for Vehicular Communications Research," *Mobile Adhoc and Sensor Systems*, 2007. *MASS 2007*, vol., no., pp.1-8, 8-11 Oct. 2007
- (Jiang, 2008a)** Hao Jiang, Hao Guo, Lijia Chen, "Reliable and Efficient Alarm Message Routing in VANET," *Distributed Computing Systems Workshops, International Conference on*, pp. 186-191, 2008 The 28th International

- Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2008
- (Jiang, 2008b)** Jiang, D. et Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. Dans *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. IEEE, p. 2036-2040.
- (Jiang, 2008c)** D. Jiang and C. Qi and L. Delgross, Optimal data rate selection for vehicle safety communications, Proceedings of the fifth ACM international workshop on Vehicular InterNetworking VANET 08, 2008.
- (Joshi, 2007)** Joshi HP, Sichitiu ML, Kihl M, “ Distributed robust geocast: a multicast routing for inter-vehicle communication”, WEIRD workshop on WiMax, wireless and mobility (2007)
- (Khorakhun, 2008)** Chonlatee Khorakhun, Holger Busche, Hermann Rohling. “Congestion Control for VANETs based on Power or Rate Adaptation”. *5th International Workshop on Intelligent Transportation (WIT 2008)*, Hamburg, Germany, Mar. 2008.
- (Kihl, 2007)** Maria Kihl, Mihail Sichitiu, Ted Ekeroth, and Michael Rozenberg, Reliable Geographical Multicast Routing in Vehicular Ad-Hoc Networks. In Proceedings of the 5th international conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC '07).
- (Killat, 2007)** M Killat, F Schmidt-Eisenlohr, H Hartenstein, et al., Enabling efficient and accurate large-scale simulations of VANETs for vehicular traffic management. Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET '07), September 2007, Montreal, Canada, 29–38
- (Korkmaz, 2004)** G. Korkmaz, E. Ekici, F. Özgüner, Ü. Özgüner, “Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems”, In Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '04). ACM, New York, NY, USA, 76-85
- (Li, 2007)** Fan Li; Yu Wang; , "Routing in vehicular ad hoc networks: A survey," *Vehicular Technology Magazine, IEEE* , vol.2, no.2, pp.12-22, June 2007
- (Lin, 2010)** Y.W. Lin and Y.S. Chen and S.L. Lee, Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Future Perspectives, Journal of Information Science and Engineering, vol.26, 2010.
- (Lochert, 2005)** C. Lochert, M. Mauve, H. Füssler, H. Hartenstein, "Geographic routing in city scenarios", SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review 9 (1) (2005) 69–72.
- (Mathers, 2005)** Mathers, C. D., Ma Fat, D., Inoue, M., Rao, C. et Lopez, A. D. (2005). Counting the dead and what they died from: an assessment of the global status of cause of death data. *Bulletin of the World Health Organization*, volume 83, p. 171-177.
- (Naumov, 2007)** Naumov, V.; Gross, T.R.; "Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad-hoc Networks," INFOCOM 2007. 26 th IEEE

- International Conference on Computer Communications. IEEE, vol., no., pp.1919-1927, 6-12 May 2007
- (Okada, 2009)** Okada, H.; Takano, A.; Mase, K.; , "A Proposal of Link Metric for Next-Hop Forwarding Methods in Vehicular Ad Hoc Networks," Consumer Communications and Networking Conference, 2009. CCNC 2009. 6th IEEE, vol., no., pp.1-5, 10-13 Jan. 2009
- (OregonDOT)** <http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/ACCESSMGT/docs/stopdist.pdf>
- (Osafune, 2007)** T. Osafune and L. Lin and M. Lenard, Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB), 6th International Conference on ITS Telecommunications, 2007.
- (Pakornsiri, 2009)** Pakornsiri Akkhara, Yuji Sekiya, and Yasushi Wakahara, "Efficient Alarm Messaging by Multi-Channel Cut-Through Rebroadcasting based on Inter-Vehicle Communication", International Journal of Computer Science (2009)
- (Peden, 2004)** Peden, M. et Hyder, A. (2004). *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*. Organisation Mondiale de la Santé
- (Rahbar, 2010)** Rahbar, H.; Naik, K.; Nayak, A., DTSG: Dynamic time-stable geocast routing in vehicular ad hoc networks, The 9th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), 2010, vol., no., pp.1,7, 23-25 June 2010.
- (Rezaei, 2007)** Rezaei, S.; Sengupta, R.; Krishnan, H.; , "Reducing the Communication Required By DSRC-Based Vehicle Safety Systems," Intelligent Transportation Systems Conference, 2007. ITSC 2007. IEEE , vol., no., pp.361-366, Sept. 30 2007-Oct. 3 2007.
- (Rezgui, 2011a)** J. Rezgui and S. Cherkaoui and O. Chakroun, Deterministic Access for DSRC/80211.p Vehicular Safety Communication, in Proc. of The 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC, 2011.
- (Rezgui, 2011b)** Jihene Rezgui, Soumaya Cherkaoui, Omar Chakroun: Interoperability between Deterministic and Non-Deterministic Vehicular Communications over DSRC/802.11p. GLOBECOM 2011: 1-5
- (Rezgui, 2012)** Rezgui, J. and Cherkaoui, S., About Deterministic and non-Deterministic Vehicular Communications over DSRC/802.11p. Wirel. Commun. Mob. Comput.. doi: 10.1002/wcm.2270, (2012)
- (Rezgui, 2014)** Jihene Rezgui, Soumaya Cherkaoui, Omar Chakroun: On improving delay performance of IEEE 802.11p vehicular safety communication. IJAACS 7(1/2): 91-109 (2014)
- (Skordylis, 2008)** A. Skordylis and N. Trigoni, "Delay-Bounded Routing in Vehicular Ad-Hoc Networks," ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing, Nov. 2008, pp.3017-3021.

- (Stanford, 1979)** Robert E. Stanford. Reneging phenomena in single channel queues. *Mathematics of Operations Research*, Vol. 4, No. 2 :162-178, May, 1979.
- (Stibor, 2007)** L.Stibor, Y.Zang and H-J. Reuermann , “Evaluation of communication distance of broadcast messages in a vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p,” in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf., Hong Kong, China, Mar. 2007, pp. 254-257.
- (Sun, 2006)** W. Sun, H. Yamaguchi, K. Yukimasa, and S. Kusumoto, “GVGrid: A QoS Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks,” IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS), June 2006, pp. 130-139.
- (Taleb, 2007)** T. Taleb, E. Sakhaee, A. Jamalipour, K. Hashimoto, N. Kato, and Y. Nemoto, “A Stable Routing Protocol to Support ITS Services in VANET Networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 56, no. 6, 2007, pp. 3337-3347.
- (Tamer, 2004)** T. Nadeem, S. Dashtinezhad, C. Liao, "TrafficView: Traffic Data Dissemination using Car-to-Car Communication", *MC2R*, 8(3):6–19, 2004.
- (Tonguz, 2006)** O. K. Tonguz, N.Wisitpongphan, J. S. Parikh, F. Bai, P. Mudalige, and V. K. Sadekar, “On the Broadcast Storm Problem in Ad hoc Wireless Networks,” International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, Oct. 2006, pp.1-11.
- (Tonguz, 2007)** O. Tonguz, N. Wisitpongphan, F. Bai, P. Mudalige, and V. Sadekar, “Broadcasting in VANET,” *Mobile Networking for Vehicular Environments*, Mar. 2007, pp.7-12.
- (Tonguz, 2010)** Tonguz, O.K.; Wisitpongphan, N.; Fan Bai; , "DV-CAST: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks," *Wireless Communications, IEEE* , vol.17, no.2, pp.47-57, April 2010
- (Torrent-Moreno, 2004)** Marc Torrent-Moreno, Daniel Jiang, and Hannes Hartenstein. 2004. Broadcast reception rates and effects of priority access in 802.11-based vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '04)*.
- (Torrent-Moreno, 2006)** M. Torrent-Moreno, P. Santi, H. Hartenstein, "Distributed Fair Transmit Power Adjustment for Vehicular Ad Hoc Networks", 3rd Annual IEEE Communications Society on In Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2006. SECON '06, (2006), pp. 479-488
- (Torrent-Moreno, 2009)** Torrent-Moreno, M.; Mittag, J.; Santi, P.; Hartenstein, H.; , "Vehicle-to-Vehicle Communication: Fair Transmit Power Control for Safety-Critical Information," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.58, no.7, pp.3684-3703, Sept. 2009.
- (TwoRayGround)** Two ray Ground reflection model,
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node219.html>.
- (Wan, 2008)** S.Wan, J. Tang, and R. S.Wolff, “Reliable Routing for Roadside to Vehicle Communications in Rural Areas,” IEEE International

- (Xu, 2004)** Conference on Communications (ICC), May 2008, pp.3017-3021.
Huaying Xu and Matthew Barth. 2004. A transmission-interval and power-level modulation methodology for optimizing inter-vehicle communications. *1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks* (VANET '04).
- (Yang, 2008)** Y.T. Yang and L.D. Chou, "Position-Based Adaptive Broadcast for Inter-Vehicle Communications," Communications Workshops, 2008. ICC Workshops '08. IEEE International Conference on , vol., no., pp.410-414, 19-23 May 2008
- (Zhao, 2008)** J. Zhao and G. Cao, "VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks", IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 57, NO. 3, MAY 2008
- (Zulkefli, 2009)** M.Y. Zulkefli and J.A. Flint, "Performance Metrics for the Prediction of Link and Path Availability in VANETs", Proceedings of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications 15 -17 December 2009 Kuala Lumpur Malaysia

LISTE DES PUBLICATIONS

1. Jihene Rezgui, Soumaya Cherkaoui, Omar Chakroun: Deterministic access for DSRC/802.11p vehicular safety communication. IEEE IWCMC 2011: 595-600
2. Jihene Rezgui, Soumaya Cherkaoui, Omar Chakroun: Interoperability between Deterministic and Non-Deterministic Vehicular Communications over DSRC/802.11p. IEEE GLOBECOM 2011: 1-5
3. Jihene Rezgui, Soumaya Cherkaoui, Omar Chakroun: On improving delay performance of IEEE 802.11p vehicular safety communication. IJAACS 7(1/2): 91-109 (2014)
4. Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui, Jihene Rezgui: MUDDS: Multi-metric Unicast Data Dissemination Scheme for 802.11p VANETs. IEEE IWCMC 2012: 1074-1079
5. Mohamed Amine Abid, Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Pedestrian collision avoidance in vehicular networks. IEEE ICC 2013: 2928-2932
6. Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Enhancing Safety Messages Dissemination Over 802.11p/DSRC. IEEE LCN ON-MOVE 2013
7. Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Overhead-Free Congestion Control and Data Dissemination for 802.11p VANETs. ELSEVIER VEHICULAR COMMUNICATION 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.05.003>.
8. Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: RMDS: Relevance-based Messages Dissemination Scheme for 802.11p VANET. IEEE ICC 2014.
9. Omar Chakroun, Soumaya Cherkaoui: Investigating the impact of renegeing/rejection policies on the messages loss rate and delay for a relevance-based messages dissemination scheme in 802.11p VANETs. Soumis a ELSEVIER COMPUTER NETWORKS.