

Université de Montréal

**Protocole de routage basé sur des passerelles mobiles  
pour un accès Internet dans les réseaux véhiculaires**

par

Amadou Adama Ba

Département d'informatique et de recherche opérationnelle

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences  
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en sciences (M.Sc.)  
en informatique

Avril, 2011

© Amadou Adama BA, 2011

Université de Montréal  
Faculté des arts et des sciences

Ce mémoire intitulé :

**Protocole de routage basé sur des passerelles mobiles  
pour un accès Internet dans les réseaux véhiculaires**

Présenté par :

Amadou Adama BA

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Houari Sahraoui, président

Abdelhakim Hafid, directeur de recherche

Michel Gendreau, membre du jury

## Résumé

La rapide progression des technologies sans fil au cours de ces dernières années a vu naître de nouveaux systèmes de communication dont les réseaux véhiculaires. Ces réseaux visent à intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans le domaine automobile en vue d'améliorer la sécurité et le confort sur le réseau routier. Offrir un accès Internet aux véhicules et à leurs occupants peut sans doute aider à anticiper certains dangers sur la route tout en rendant plus agréables les déplacements à bord des véhicules. Le déploiement de ce service nécessite que des messages soient échangés entre les véhicules. Le routage constitue un élément crucial dans un réseau, car définissant la façon dont les différentes entités échangent des messages. Le routage dans les VANETS constitue un grand défi car ces derniers sont caractérisés par une forte mobilité entraînant une topologie très dynamique.

Des protocoles ont été proposés pour étendre Internet aux réseaux véhiculaires. Toutefois, la plupart d'entre eux nécessitent un coût élevé de messages de contrôle pour l'établissement et le maintien des communications. Ceci a pour conséquence la saturation de la bande passante entraînant ainsi une baisse de performance du réseau.

Nous proposons dans ce mémoire, un protocole de routage qui s'appuie sur des passerelles mobiles pour étendre Internet aux réseaux véhiculaires. Le protocole prend en compte la mobilité des véhicules et la charge du réseau pour l'établissement et le maintien des routes.

**Mots-clés :** Réseaux véhiculaires, routage, dissémination, passerelles mobiles

## **Abstract**

The fast progression of wireless technologies has motivated the emergence of new communications system called VANETS (Vehicular Adhoc Networks). VANETS enable vehicles on the roadway to communicate with each other and with road infrastructure using wireless capabilities. The applications of VANETS include improving safety and comfort on the road. For example, by providing Internet to vehicles, traveling can be safer and more comfortable. To provide Internet connectivity, messages need to be exchanged between the vehicles. However, it is hard to design an efficient routing protocol for connecting vehicles to Internet with a reasonable cost due to high mobility in VANETS.

Although, several existing routing protocols have been proposed in the open literature to extend Internet to VANETS, they generate considerable overhead. This leads to unfairly consumption of bandwidth decreasing network performance.

We design a routing protocol to connect vehicles to Internet through mobile gateways with the objective to make efficient use of the network bandwidth. Indeed, the protocol significantly reduces the communication overhead required to establish and maintain the routes relying on the mobility of the gateways and the network's load.

**Keywords:** Vehicular ad-hoc Networks, routing, broadcast, mobile gateways

## Table des matières

Résumé .....	iii
Abstract .....	iv
Table des matières .....	v
Liste des tableaux .....	vii
Liste des figures .....	viii
Liste des sigles et abréviations .....	x
Dédicace .....	xii
Remerciements .....	xiii
Chapitre 1 : Introduction .....	1
1.1 Les réseaux véhiculaires .....	1
1.2 Routage dans les réseaux mobiles .....	3
1.3 Motivation .....	4
1.4 Problématique .....	7
1.5 Contributions .....	8
1.6 Organisation du mémoire .....	9
Chapitre 2 : Revue de littérature .....	10
2.1 Protocoles existants pour étendre Internet aux VANETS .....	10
2.1.1 Approches avec usage de passerelles fixes .....	11
Discovery of Internet Gateway from Vehicles (DRIVE) .....	11
Efficient Gateway Discovery Algorithms for Delay-tolerant and Delay-constraint Data Traffic in Vehicular Ad-hoc Networks (GwDISC) .....	12
Reliable Routing for Roadside to vehicle Communications in Rural Areas .....	13
2.1.2 Approche avec usage de passerelles mobiles .....	14
Prediction Based Routing Protocol for VANETS (PBR) .....	15
Clustering-based Multi-metric adaptive mobile Gateway Management mechanism (CMGM) .....	16
2.2 Conclusion .....	18

Chapitre 3: Mobile Gateways for Internet Access in VANETS .....	20
Abstract .....	21
I. Introduction .....	21
II. Related work .....	23
III. The proposed protocol .....	25
A. Assumptions and definitions .....	25
B. Protocol description .....	25
C. Protocol details .....	28
1) Control Packet .....	28
2) Gateway selection .....	30
3) Forwarder selection .....	31
4) Load balancing mechanism .....	32
a) Basic load balancing mechanism .....	32
b) Proactive load balancing mechanism .....	33
5) Overload Control .....	34
a) Basic overload control mechanism .....	34
b) Advanced overload control mechanism .....	35
IV. Simulations and results .....	36
A. Simulations settings .....	36
B. Simulation results .....	38
1) Routes Failures .....	38
2) Route length (number of hops) .....	39
3) Route discovery time .....	40
4) Dropped Packets .....	41
5) Normalized Routing Load .....	42
6) Packet Delivery Ratio .....	44
7) End-to-End Delay .....	46

V. Conclusion .....	46
Chapitre 4: Conclusion et Perspectives .....	50
4.1. Conclusion .....	50
4.2. Perspectives .....	51

## Liste des tableaux

### Chapitre 2

Tableau 1 - Algorithme de prédiction .....	14
Tableau 2 Comparaison de protocoles de routage .....	18



## Liste des Figures

### Chapitre 1

Figure 1 - Architecture de communication dans les VANETS .....	2
Figure 2 - Emissions totales de GES résultant de l'utilisation des véhicules privée ..	6
Figure 3 - Architecture passerelles mobiles .....	7

### Chapitre 3

Figure 1 - A sample VANET with mobile gateways .....	23
Figure 2 - RREQ rebroadcast process .....	26
Figure 3 - Forwarding decision .....	27
Figure 4 - Figure 4. RREQ packet format .....	29
Figure 5 - Figure 5. Neighbor's List Entry .....	29
Figure 6 - Forwarding decision (gateway) .....	35
Figure 7 - Receiving RREP from loaded gateway (source vehicle) .....	35
Figure 8 - Vehicle density vs. Route failures .....	38
Figure 9 - Number of gateways vs. Route failures .....	39
Figure 10 - Vehicle Density vs. Route Length .....	39
Figure 11 - Number of gateways vs. Route Length .....	40
Figure 12 - Vehicle Density vs Route Discovery Time .....	40
Figure 13 - Number of gateways vs. Route Discovery Time .....	41
Figure 14 - Dropped packets vs Number of gateways .....	41
Figure 15 - NRL vs. Number of sources .....	42
Figure 16 - NRL vs. Number of vehicles .....	43
Figure 17 - NRL vs. number of sources (Load balancing) .....	43
Figure 18 - NRL vs. number of sources (overload control) .....	43
Figure 19 - PDF vs Number of sources .....	44
Figure 20 - PDF vs. number of sources (load balancing) .....	45
Figure 21 - PDF vs. number sources (overload control) .....	45

Figure 22 - Delay vs Number of sources ..... 46

## Liste des sigles et abréviations

<b>Acronyme</b>	<b>Description</b>
AODV	Ad hoc On Demand Distance Vector
BCRVP	Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS
CMGM	Clustering-based Multi-metric adaptative mobile Gateway Management mechanism
DRIVE	Discovery of Internet Gateway from Vehicles
DSDV	Destination-Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
GES	Gaz à effet de serre
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks
I2V	Infrastructure to Vehicle
MANETS	Mobile Ad-Hoc Networks
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
NS 2	Network Simulator 2
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
PBR	Prediction-Based Routing Protocol for VANETS
RSU	Road-Side Unit
STI	Systèmes de transports Intelligent
UIT	Union Internationale de télécommunications
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VANETS	Vehicular Ad-Hoc Networks
Wi-Fi	Wireless Fidelity

WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Lan Area Network
WWAN	Wide Wireless Area Network
ZRP	Zone Routing Protocol

*À mes très chers parents*  
*À toute ma famille*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon professeur Abdelhakim Hafid, pour son encadrement durant ces deux années de recherche. Je lui exprime ma profonde gratitude pour sa patience, ses précieux conseils et son inestimable soutien.

Je remercie très sincèrement mes parents qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de mes études. Mes remerciements vont aussi à l'endroit de ma petite famille de Montréal pour tout leur support et leur affection, particulièrement à mon petit neveu pour la joie qu'il répand dans la maison.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, notamment les membres du Laboratoire Réseaux et Communications de l'Université de Montréal.

# Chapitre 1 : Introduction

## 1.1 Les réseaux véhiculaires

Aujourd'hui, force est de constater que les technologies sans fil connaissent un succès grandissant dans la société. La flexibilité et le développement rapide de ces technologies a fait d'elles un des domaines de recherche les plus attractifs.

Les technologies sans fil peuvent être regroupées principalement en deux catégories. La première catégorie est utilisée par les réseaux étendus, dit aussi cellulaires, WWAN (Wireless Wide Area Network) et comprend à titre d'exemple les technologies 3G/4G (UIT) [1], WIMAX (IEEE 802.16) [2], MBWA (IEEE 802.20) [3]. La seconde catégorie concerne les réseaux sans fil locaux WLAN (Wireless Local Area Network) utilisant la technologie WiFi (IEEE 802.11) [4]. Les réseaux mobiles, plus connus sous le nom de MANETS (Mobile Ad Hoc networks), sont constitués par des nœuds mobiles interconnectés par une technologie sans fil, de type WiFi le plus souvent. Les nœuds sont dotés d'équipements leur permettant de communiquer directement sans avoir recours à une infrastructure fixe. Les nœuds sont toutefois mobiles et susceptibles de se déplacer de façon arbitraire à des vitesses considérables. Cette mobilité entraîne un changement fréquent de la topologie physique du réseau qui est une des principales caractéristiques des MANETS.

Les réseaux véhiculaires aussi appelés VANETS (Vehicular Ad-hoc Network) constituent une sous-classe des MANETS et représentent une des composantes les plus prometteuses des Systèmes de Transport Intelligents (STI). Ces systèmes visent à intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans le domaine des transports en vue d'améliorer la sécurité et le confort des usagers de la route. À cet effet, plusieurs projets ont vu le jour un peu partout dans le monde (p. ex., Car2Car Communication Consortium C2CCC [5], CarTALK [6], eSafetySupport [7], SafeSpot [8]).

Les VANETS constituent une sous-classe des MANETS où les nœuds peuvent être des véhicules ou des infrastructures fixes appelées RSU (Road Side Unit) installées le long des

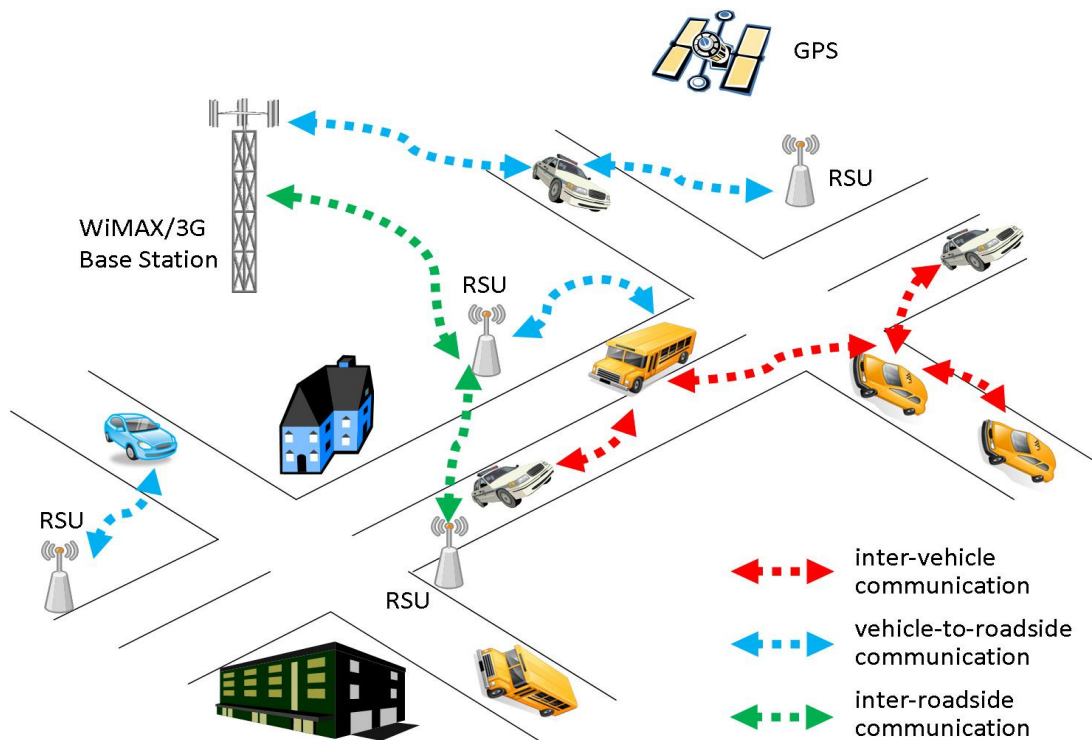


Figure.1 Architecture de communication dans les VANETS [9]

routes. Les différents nœuds du réseau disposent d'équipements leur permettant de communiquer via des technologies sans fil. Une étude comparative de l'intégration de ces technologies sans fil aux réseaux véhiculaires peut être trouvée dans [10]. On note principalement deux architectures de communication dans les réseaux véhiculaires : ad-hoc et hybride. Dans la première architecture, les véhicules participants forment un réseau mobile ad hoc pour établir des communications de type Véhicule à Véhicule (V2V). Dans ce type de communication, les véhicules peuvent par exemple s'échanger des informations sur leur position et vitesse pour alerter les conducteurs en cas de non-respect de la distance de sécurité. Ces informations peuvent être obtenues à partir des systèmes de positionnement GPS (Global Positioning System) [11] embarqués à bord des véhicules et qui de nos jours sont proposés par plusieurs constructeurs automobiles. Les communications V2V concernent le plus souvent des applications de sécurité (p. ex., alerte en cas de risque de collision, alerte en cas d'obstacle sur la route, alerte en cas de non-respect de la distance de



sécurité). La deuxième architecture dite hybride intègre les technologies cellulaires aux réseaux véhiculaires et implique des communications qui peuvent être de type V2V, V2I (Véhicule à Infrastructure), I2V (Infrastructure à Véhicule) ou encore I2I (Infrastructure à Infrastructure). Ce type de communication peut par exemple être utilisé pour offrir une connexion Internet aux véhicules à partir d'une RSU qui joue le rôle de passerelle. En fonction des architectures et technologies utilisées, certains véhicules particuliers peuvent être équipés pour communiquer directement avec les RSU et servir de passerelles aux autres véhicules ne pouvant pas atteindre ou communiquer directement avec le RSU. Les communications de type V2I et I2V peuvent aussi bien concerner la sécurité que le confort (p. ex., alerte en cas d'excès de vitesse, information sur les conditions météo ou sur le trafic routier, accès Internet). La Figure 1 présente une structure des réseaux véhiculaires illustrant les différentes architectures de communication. Les communications V2V y sont représentées par "inter-vehicle communication", les communications V2I par "vehicle-to-roadside communication" et les communications I2I par "inter-roadside communication". Ces deux architectures de communication laissent entrevoir une panoplie de nouvelles applications qui peuvent être très utiles aux usagers de la route et aux gestionnaires des infrastructures routières. Le déploiement harmonieux de ces applications nécessite toutefois que les paquets dans le réseau soient acheminés de façon efficace.

## **1.2 Routage dans les réseaux mobiles**

Les protocoles de routage définissent la façon dont les différentes entités du réseau échangent des informations. Ceci comprend la phase d'établissement des routes, la décision de relayer les paquets et la phase de maintenance des routes. Le protocole de routage est donc crucial pour un déploiement harmonieux des applications dans un réseau. Pour s'avérer efficace, un protocole de routage doit faire une bonne utilisation des ressources du réseau. On note deux grandes familles de protocoles de routage dans les réseaux mobiles sans fil [12, 13, 14] : les protocoles basés sur la topologie qui comprennent principalement les protocoles proactifs, réactifs, hydriques et les protocoles basés sur la position.

Les protocoles proactifs (p. ex., DSDV [15] et OLSR [16]) se caractérisent par l'émission périodique de messages de contrôle pour l'établissement et le maintien des routes. Les routes sont maintenues et mises à jour qu'elles soient actives ou pas. Chaque nœud maintient donc une table de routage qui lui permet d'avoir une vue de l'ensemble de la topologie du réseau.

Les protocoles réactifs (p. ex., AODV [17], DSR [18]) adoptent des algorithmes classiques tels que le routage par vecteur de distance. Les routes sont établies uniquement sur demande et seules les routes en cours d'utilisation sont maintenues. Lorsqu'un nœud veut envoyer des paquets, une étape de découverte de route est initiée par la diffusion d'un message de recherche de route. Tout nœud qui reçoit ce message et qui ne dispose pas d'informations à propos de la destination diffuse à son tour le message. Ce mécanisme est appelé mécanisme d'inondation.

Les protocoles hybrides (p. ex. ZRP [19]) utilisent une approche proactive localement (suivant un rayon défini autour d'un nœud) et une approche réactive au niveau global. La phase de découverte est alors exécutée suivant le mécanisme d'inondation.

Les protocoles basés sur la position, dits aussi protocoles géographiques, (p. ex., GPSR [20]) utilisent un mécanisme à deux étapes : la localisation du nœud destinataire et l'acheminement des paquets vers ce nœud. Ces protocoles nécessitent toutefois un service de localisation [21, 22] des nœuds pour l'acheminement des paquets dans le réseau.

Toutefois, la plupart de ces protocoles génèrent beaucoup de paquets de contrôle qui entraînent une surcharge du réseau.

### **1.3 Motivation**

En 2007, 2767 personnes sont décédées et 194 177 autres blessées sur les routes du Canada [23]. Informer les usagers à temps réel de l'état des routes peut les aider à mieux anticiper certains dangers et améliorer la sécurité routière. L'objectif principal des VANETS est d'améliorer la sécurité routière par le déploiement d'applications permettant

aux conducteurs de mieux anticiper les dangers de la route. Cette vision fait des VANETS un domaine très prometteur.

Internet fait aujourd'hui partie intégrante de notre quotidien. La philosophie d'Internet est de permettre l'accès à l'information en tout temps et par tout le monde. En 2009, 80% des Canadiens âgés de 16 ans et plus, soit 21,7 millions de personnes utilisaient Internet à des fins personnelles [23]. Étendre Internet aux VANETS peut dès lors s'avérer une approche très intéressante, l'automobile demeurant l'un des moyens de transport les plus utilisés. En plus des applications Internet déjà existantes, une panoplie de nouveaux services et applications pourraient être offerts aux constructeurs automobiles, aux passagers, aux gestionnaires des infrastructures routières, à tous les usagers ou exploitants du réseau routier en général. À part l'aspect sécurité (alerter les services d'urgence en cas d'accident), l'accès à Internet peut accroître considérablement la convivialité du réseau routier (p. ex., téléchargement musique, vidéos, jeux en ligne). D'autre part, l'accès à Internet peut aussi aider les conducteurs à mieux organiser leurs déplacements en les prévenant d'éventuels risques congestion ou en leur donnant des informations utiles sur leur destination (état des routes, disponibilité des hôtels, parking, stations-services). Ceci réduirait le temps passé sur les routes et par la même occasion les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) causées par les véhicules. Au Canada, le secteur des transports constitue une source importante d'émission de GES avec 27% des émissions totales en 2007. Le transport routier représentait 69% des émissions totales de GES au sein de ce secteur [23]. La Figure 2 représente les émissions totales de GES résultant de l'utilisation de véhicules privés.

Toutefois, il n'est pas toujours possible de déterminer une solution qui soit acceptable ou réalisable au chapitre des coûts ou même des exigences pour étendre Internet aux VANETS bien que des travaux aient été proposés à cette fin. La plupart de ces travaux suggèrent le

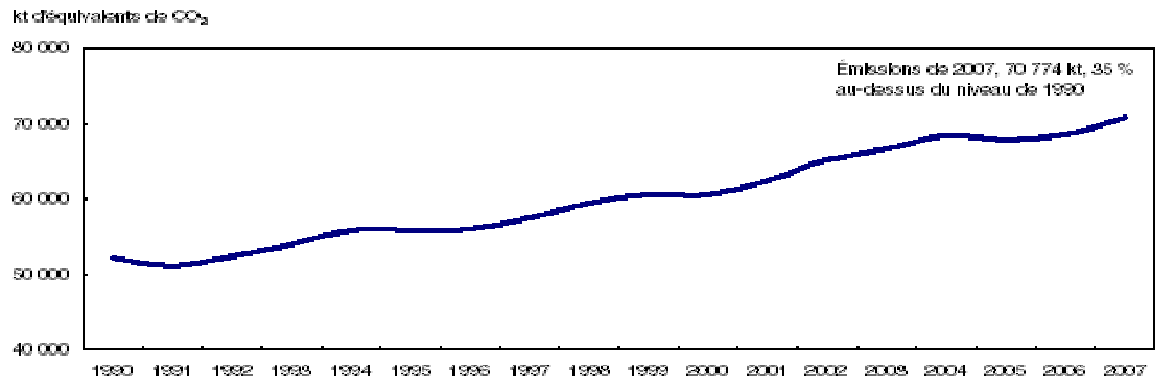


Figure.2 Émissions totales de GES résultant de l'utilisation des véhicules privées [23]

déploiement de RSU, jouant le rôle de point d'accès, le long des routes. Or, compte tenu de la portée de transmission très limitée dans les VANETS, un grand nombre de RSU s'avèrerait nécessaire pour fournir la connectivité à tous les véhicules; cette solution n'est donc pas très acceptable au chapitre des coûts surtout dans les zones à faible densité. En outre, dans le cas de véhicules roulant à grande vitesse, il n'est parfois pas approprié d'utiliser une infrastructure fixe en raison des nombreuses pertes de connexion causées par des transferts (d'une RSU à la suivante) trop fréquents. Par conséquent, nous proposons d'étudier la faisabilité – et la performance associée – d'une approche qui compléterait l'infrastructure « fixe » par un accès opportuniste alternatif à Internet en utilisant comme passerelles des véhicules de transport public (infrastructure « mobile »), tels que les autobus et les taxis. Dans les faits, ces véhicules de transport public seront vraisemblablement plus disposés à accepter d'être équipés de technologies d'accès WLAN et WWAN pour fournir un accès Internet non seulement à leurs passagers, mais aussi aux véhicules à proximité qui sont équipés de la norme 802.11p [24] utilisant des liaisons à sauts multiples au besoin (voir illustration à la Figure.3). Ainsi, une société de transport en commun pourra équiper ses autobus de plusieurs connexions Internet à charge équilibrée homogènes/hétérogènes (GPRS, 3G, WiMax) provenant de plusieurs fournisseurs selon la demande offerte. Puis, par le biais des communications V2V à sauts multiples 802.11p, l'accès Internet sera fourni à prix modique aux véhicules équipés de dispositifs 802.11p qui circulent à proximité des

autobus. Seulement quelques travaux [25, 26] font appel aux passerelles mobiles dans les réseaux véhiculaires; Aussi, dans ces travaux, les protocoles de routage proposés pour l'échange d'informations utilisent inefficacement la bande passante qui constitue une ressource précieuse dans les réseaux mobiles sans fil en général.

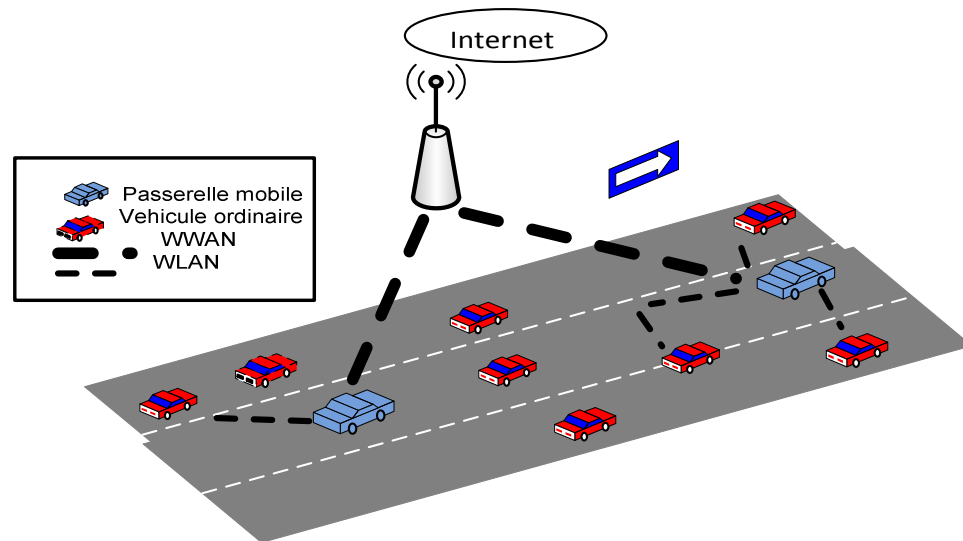


Figure 3. Architecture passerelles mobiles

## 1.4 Problématique

Les réseaux véhiculaires ont comme caractéristique principale une forte mobilité qui entraîne une topologie très dynamique. Cette caractéristique fait que les protocoles de routage traditionnels des MANETS sont pour la plupart inadaptée aux VANETS. En effet, dans les VANETS, la vitesse peut être beaucoup plus élevée que les MANETS dans certains environnements de communication comme les autoroutes. Relativement à la vitesse, la distance entre deux nœuds peut augmenter très rapidement et être supérieure à la portée de transmission des nœuds qui est assez limitée (environ 250 m). En conséquence, le lien entre les nœuds en question sera rompu et ils ne pourront plus communiquer directement. Ceci peut se produire fréquemment et affecter considérablement le bon acheminement des paquets dans le réseau. Une solution pour améliorer la connectivité du réseau consiste à utiliser les véhicules participants comme relais, établissant ainsi des

communications multi-sauts. Toutefois les routes ainsi formées peuvent être très vulnérables, car dépendantes de la stabilité de plusieurs liens. Pour s'avérer efficace dans les VANETS, un protocole de routage se doit d'assurer un temps de connexion minimal tout en utilisant de façon optimale les ressources du réseau. On note principalement deux catégories de protocoles de routage dans les VANETS : les protocoles basés sur la topologie et ceux basés sur la position.

Les protocoles basés sur la topologie génèrent un nombre conséquent de messages de contrôle pour l'établissement et le maintien des routes et les protocoles basés sur la position nécessitent un serveur de localisation pour déterminer la position des nœuds. Or, dans le milieu fortement dynamique des réseaux véhiculaires, maintenir un tel serveur peut s'avérer très coûteux en termes de ressources. En résumé, la plupart des protocoles de routage existants nécessitent un nombre élevé de paquets de contrôle qui, en plus de consommer la bande passante déjà limitée des réseaux véhiculaires, peut augmenter le nombre de collisions dans le réseau.

## 1.5 Contributions

Dans le présent travail de recherche, nous nous sommes intéressés à l'élaboration d'un protocole de routage pour étendre Internet aux réseaux véhiculaires. Dans ce sens, nous avons proposé :

- BCRPV (Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS).

Le protocole BCRPV connecte les véhicules sur la route à Internet au travers des passerelles mobiles. Il combine les approches proactive, réactive et géographique. Une approche proactive est utilisée localement (à un saut) pour la transmission des positions géographiques des nœuds du réseau fournies par des systèmes de positionnement GPS (Global Positioning System) embarqués à bord des véhicules. L'établissement des routes

se fait selon une approche réactive et les informations géographiques échangées localement sont utilisées pour amoindrir l'effet du mécanisme d'inondation de l'approche réactive. Un nœud participant à la route (nœud relais) est choisi en fonction (1) du nombre de passerelles dans son voisinage immédiat; et (2) de sa vitesse et position relativement au nœud source pour améliorer la stabilité des liens. Lorsqu'un nœud (passerelle ou véhicule ordinaire) du réseau est surchargé, il diffuse un message pour demander à certains nœuds l'utilisant comme relais (ou passerelle) d'essayer de rediriger leur trafic vers d'autres nœuds.

Nous avons ensuite proposé différentes variantes de BCRPV pour éviter la saturation des passerelles.

Dans le cadre de ce mémoire l'article de revue, *Mobile Gateways for Internet Access in VANETS*, a été soumis à *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2011. Cet article de revue est une extension de l'article de conférence, *Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS*, qui a été accepté dans *International Wireless Communications and Mobile Computing*, Istanbul, 2011.

## **1.6 Organisation du mémoire**

Le reste de ce mémoire est organisé comme suit : dans le chapitre 2, nous présentons quelques protocoles existants dans la littérature pour étendre Internet aux VANETS. Ces protocoles sont classés suivant le fait qu'ils utilisent des approches avec des passerelles statiques ou mobiles. Dans le chapitre III, nous présentons notre contribution (en format article). Le chapitre IV conclut ce travail en dressant quelques perspectives de recherche.

## Chapitre 2 : Revue de littérature

Le routage constitue un élément crucial dans les réseaux véhiculaires. Bien qu'il existe dans la littérature des protocoles pour étendre Internet aux réseaux mobiles traditionnels, la plupart de protocoles existants ne s'adaptent pas bien aux VANETS [29,30, 31, 32]. Ceci est dû à la vitesse très élevée des nœuds dans les réseaux véhiculaires qui entraîne un temps de connexion relativement court entre les nœuds du réseau. Afin d'amoindrir cet effet, une solution pourrait consister à utiliser le caractère contraignant des infrastructures routières afin de prédire le mouvement des véhicules et ainsi choisir les routes qui offriraient un temps de connexion maximal. Dans ce cadre, des protocoles de routage ont été proposés pour s'adapter aux VANETS dont certains l'ont été spécialement dans le but d'étendre Internet aux véhicules. Par la suite, nous nous intéresserons à cette dernière famille de protocoles.

### 2.1 Protocoles existants pour étendre Internet aux VANETS

Dans la littérature, il existe quelques travaux pour étendre Internet aux véhicules bien que la liste ne soit pas exhaustive. Les protocoles proposés pour étendre Internet aux VANETS peuvent être classifiés en deux catégories :

- approche avec usage de passerelles fixes : dans cette approche, des RSU fixes sont installées le long des routes et servent de point d'accès Internet. Chaque véhicule peut communiquer directement avec la RSU directement ou via des communications multi-sauts.
- approche avec usage de passerelles mobiles : dans cette approche, des véhicules particuliers sont équipés d'une ou de plusieurs interfaces et servent de passerelles aux autres véhicules du réseau.

La méthode de découverte des passerelles peut être proactive ou réactive dépendamment du fait qu'elle soit initiée par la passerelle ou le véhicule client. Ces deux méthodes se



retrouvent aussi bien dans les approches avec usage de passerelles fixes que les approches avec usage de passerelles mobiles.

### **2.1.1 Approches avec usage de passerelles fixes**

Dans cette section, nous présentons 3 contributions représentatives des approches avec usage de passerelles fixes : (1) Discovery of Internet Gateway from Vehicles ; (2) Gateway Discovery Algorithms for Delay-tolerant and Delay-constrained Data Traffic ; (3) Reliable Routing for Roadside to Vehicle Communications in Rural Areas.

#### **Discovery of Internet Gateway from Vehicles (DRIVE)**

DRIVE [33] fonctionne selon un mécanisme à deux étapes : la découverte des passerelles disponibles et la sélection de la meilleure passerelle relativement à certains paramètres fixés. La découverte des passerelles se fait de façon passive. Des passerelles installées le long des routes diffusent constamment des messages pour signaler leur présence. Une voiture se situant dans la zone de transmission d'une ou plusieurs passerelles reçoit ces messages provenant des passerelles et stocke dans une base de données locale, l'information contenue dans les messages. Compte tenu de la périodicité des messages, un véhicule peut à chaque moment savoir s'il y'a une passerelle à portée dans sa zone de transmission ou non. Le véhicule doit juste consulter sa base donnée locale et si aucune passerelle n'y figure, le véhicule suppose qu'aucune passerelle n'est à sa portée. Si plusieurs passerelles sont disponibles dans la base de données, les métriques suivantes sont utilisées pour faire une sélection : (1) la densité du trafic; (2) la distance euclidienne vers la passerelle; (3) le nombre d'utilisateurs (véhicules) connectés à la passerelle; et (4) le taux d'occupation de la bande passante. À partir de ces métriques, les paramètres ci-après sont calculés pour faire la sélection finale : (1) la probabilité de déconnexion à la passerelle; (2) le nombre d'utilisateurs connectés à la passerelle; (3) le taux d'occupation de la bande passante; (4) la probabilité de perte de paquets.

L'avantage de cette technique est qu'elle réduit considérablement le temps de découverte des passerelles car la recherche de passerelle se limite à la consultation de la base de données locale. Toutefois, cette solution n'est pas sans inconvénient puisque les routes sont établies même si les véhicules n'ont pas de paquets à transmettre. En outre, une consommation excessive de la bande passante peut être faite dépendamment de la périodicité et de la taille des messages de présence des passerelles. Un dernier aspect est que la mobilité (position et vitesse) des nœuds n'est pas prise en compte dans le choix des passerelles; ceci peut avoir pour conséquence un temps de connexion court qui entraînera une rupture fréquente des liens.

### **Efficient Gateway Discovery Algorithms for Delay-tolerant and Delay-constrained Data Traffic in Vehicular Ad-hoc Networks (GwDISC)**

GwDisc [34] utilise une approche proactive pour la découverte des passerelles, chaque nœud du réseau ayant connaissance de sa position. Les passerelles émettent périodiquement des messages qui contiennent principalement leur identité, leur position et une zone délimitée. Par la suite, nous définissons par 'alerte', les messages provenant des passerelles et par 'message' ceux provenant des véhicules. À la réception de ces alertes, les véhicules ajoutent les passerelles émettrices à leur liste. Chaque véhicule maintient une liste de passerelles; toutefois un véhicule ne peut ajouter une passerelle à sa liste que s'il est situé dans la zone délimitée définie par la passerelle.

Les listes des passerelles sont échangées entre les véhicules voisins (à un saut) par l'émission de messages périodiques. Ces messages contiennent aussi la position des véhicules émetteurs. Les informations sur la position sont utilisées pour déterminer la priorité des véhicules pour la retransmission des alertes.

Les véhicules qui reçoivent une alerte et appartiennent à la zone délimitée définie dans cette alerte sont susceptibles de la retransmettre. Supposons, un véhicule qui reçoit une alerte et qui appartient à la zone délimitée définie dans l'alerte. Le même véhicule reçoit un message d'un véhicule voisin appartenant à la même zone. Si la passerelle dont l'alerte provient ne figure pas dans la liste de passerelles contenue dans le message, alors l'alerte doit être

retransmise. Le véhicule en question démarre alors un minuteur (temporisateur) et retransmet l'alerte lorsque celui-ci arrive à expiration. Le minuteur est réglé en utilisant la relation suivante :

$$\text{Minuteur} = \begin{cases} \frac{\text{temps\_attente}}{|N|} & \text{si vehicule prioritaire} \\ \text{temps\_attente} \cdot \left(1 + \frac{1}{|N|}\right), & \text{sinon} \end{cases} \quad (2.1)$$

où N est la liste des véhicules qui n'ont probablement pas reçu l'alerte (relativement à leurs messages) et |N| le nombre d'éléments de la liste

D'autre part, lorsqu'une passerelle reçoit un message provenant d'un véhicule et que cette passerelle ne figure pas sur la liste contenue dans ce message, la passerelle émet une alerte comme définie plus haut. Bien que cette approche prenne en compte la mobilité des véhicules, son caractère proactif pour l'établissement des routes peut entraîner une utilisation abusive de la bande passante.

Ceci a pour conséquence de limiter le passage à l'échelle pour cette approche. Car, si le nombre de véhicules s'accroît et que la taille des tables de routage devient importante, le réseau risque d'être saturé par des messages de contrôle rendant inefficace la technique utilisée.

### **Reliable Routing for Roadside to vehicle Communications in Rural Areas**

Ce protocole [35] a été développé pour connecter les véhicules à Internet dans des zones à faible densité (autoroute, zone rurale). Des points d'accès installés le long des routes font office de passerelles. Pour améliorer la connectivité, les véhicules jouent aussi le rôle de relais établissant des routes multi-sauts. Dès lors, le protocole repose largement sur la durée de vie des liens qui composent la route. La durée de vie des liens est estimée en termes d'unités de temps t et l'estimation est faite de façon prédictive à partir des informations courantes : Soient deux véhicules x et y, dont les positions courantes sont respectivement  $P_x$  et  $P_y$  et les vitesses respectives  $V_x$  et  $V_y$ . On nomme par  $P_x'$ ,  $P_y'$  les positions respectives de

x et y obtenues de façon prédictive après un intervalle de temps. On définit le champ de vision par LOS (Line of Sight) et R comme la portée de transmission des nœuds. La durée de vie de la route équivaut à la plus courte durée de vie de ses liens. La durée de vie du lien formé par x et y (x et y allant dans la même direction) est donnée par l'algorithme suivant :

Table 1: Algorithme de prediction
Etape 1 : $t = 0$ Etape 2: Tant que (Vrai) <ul style="list-style-type: none"> <li><math>P'x = Px + Vx * t ;</math></li> <li><math>P'y = Py + Vy * t ;</math></li> <li>Si ( <math>\text{dist}(Px', Py') &lt; R</math> ou pas de LOS entre <math>P'x , Py'</math> )</li> <li>Retourner t;</li> <li>Fin si</li> <li><math>t = t + 1;</math></li> </ul> Fin Tant que

Cette technique a été développée pour les zones rurales donc à faible densité. Bien qu'elle prenne en considération l'environnement de communication et la mobilité des véhicules, le déploiement d'un nombre considérable de points d'accès est nécessaire pour un minimum de connectivité. Ceci peut être très onéreux et difficilement justifiable dans les zones à faible densité.

### 2.1.2. Approche avec usage de passerelles mobiles

Dans cette section, nous présentons deux contributions représentatives des approches avec usage de passerelles mobiles : (1) PBR (Predictive Based Routing Protocol); (2) CMGM (Clustering-based Multi-metric adaptative mobile Gateway Management mecanism).

### **Prediction Based Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks (PBR)**

PBR [36] est un protocole de routage à plusieurs sauts développé spécialement aux passerelles mobiles. De manière globale, dans PBR, la procédure de découverte des routes se fait de façon réactive, utilisant le mécanisme d'inondation. La phase de découverte des routes est initiée par la diffusion d'un paquet RREQ (Route Request). Lorsque plusieurs passerelles répondent, le nœud source choisit par ordre de préférence : (1) la passerelle la plus proche en termes de distance sachant que tous les nœuds composant la route vers la passerelle (incluant la passerelle) vont dans la même direction que le nœud source; et (2) la passerelle la plus proche en termes de sauts.

Il diffère cependant des protocoles réactifs classiques par le fait que les routes sont réparées de façon proactive. Cette réparation comprend deux phases : une estimation de la durée de vie de la route et la création d'une nouvelle avant que celle en cours ne soit obsolète. Le caractère contraignant des infrastructures routières, et la disponibilité des informations de géolocalisation rendent possible cette estimation. La durée de vie d'une route dépend de celles des liens qui la composent. La durée de vie d'un lien correspond au temps durant lequel les deux nœuds composant ce lien resteront à portée de l'un et l'autre. Soient deux véhicules  $V_1$  et  $V_2$  qui vont dans la même direction, la durée de vie du lien entre  $V_1$  et  $V_2$  est estimée en utilisant la relation suivante :

$$Duree\ de\ vie_{lien} = \frac{R - |D_{12}|}{|S_1 - S_2|} \quad (2.2)$$

où  $D_{12}$  est la distance entre  $V_1$  et  $V_2$ ,  $S_1$  représente la vitesse de  $V_1$ , et  $S_2$  la vitesse de  $V_2$ .

La durée vie d'une route peut dès lors être exprimée par la relation suivante :

$$Durée\ vie_{route} = \text{minimum} \{Duree\ de\ vie_{lien}\} \quad \forall lien \in route \quad (2.3)$$

Cette valeur est intégrée au paquet de réponse adressé à la source. Le nœud commence à envoyer les données tout en démarrant un minuteur avec comme valeur la durée de vie de la

route. Avant l'expiration du minuteur, une phase de découverte de route est initiée de sorte que le nœud source puisse utiliser la route fraîchement créée, avant que celle en cours ne devienne obsolète. Cette méthode a l'avantage d'amoinrir le délai de transmission des paquets. Toutefois, elle n'est pas sans inconvénient car elle consomme beaucoup de bande passante due à la redondance des paquets de contrôle.

La gros avantage de PBR est que les routes sont réparées avant même qu'elles ne deviennent obsolètes évitant ainsi le délai de réparation des dites routes. Le protocole prend aussi en compte la mobilité des véhicules pour le choix des passerelles. Toutefois, cette technique de réparation prématurée des routes et le mécanisme d'inondation utilisé pour la découverte des passerelles entraînent un nombre conséquent de paquets de contrôle, ce qui conduit à une utilisation élevée de la bande passante juste pour l'envoi des paquets de contrôle. En conséquence, les performances générales du réseau peuvent être dégradées et le passage à l'échelle limité.

### **Clustering-based Multi-metric adaptive mobile Gateway Management mechanism (CMGM)**

Dans CMGM [37], les véhicules accèdent au réseau de l'opérateur à travers des stations de base qui jouent le rôle de RSU. Cependant, tous les véhicules ne peuvent pas communiquer directement avec les stations de base, seulement quelques véhicules sont équipés pour le faire et servent de passerelles mobiles aux autres. Autour de chaque station de base est définie une zone appelée région active 3G. CMGM repose principalement sur deux mécanismes : (1) une technique dynamique de groupe de véhicules selon des critères définis ; (2) la gestion adaptative des passerelles mobiles.

L'étape initiale de formation de groupe consiste à grouper les véhicules dépendamment de leur direction par rapport aux régions actives 3G. Nous avons donc deux groupes : un formé par les véhicules se dirigeant vers la région active et le deuxième par les véhicules quittant la région active. Après cette étape, un sous-groupe est formé par les passerelles mobiles qui sont à portée et dont la force du signal par rapport à la station de base est supérieure à une limite définie. Ces passerelles sont en fait candidates pour être désignées passerelles

optimale du cluster. Dans chaque groupe, le véhicule le plus proche du centre est désigné chef de groupe. Le chef de groupe a en charge l'initiation des communications et le contrôle des messages de signalisation entre les passerelles candidates.

La découverte des passerelles peut se faire de façon proactive par une diffusion périodique de messages d'avertissement provenant des passerelles ou réactive par des messages de sollicitation provenant des véhicules sources. Une passerelle est choisie parmi d'autres que si : (1) la force de son signal par rapport à la station de base et la stabilité de son lien par rapport au véhicule source sont supérieures à des limites fixées qui sont spécifiques à chaque groupe ; (2) ces deux paramètres sont aussi meilleurs que ceux des autres passerelles.

CMGM permet d'éviter de saturer les stations de base en permettant juste à certains véhicules de communiquer directement avec elles. Le fait d'organiser les véhicules en groupes permet aussi de mieux gérer les communications inter-véhicules et ainsi atténuer l'effet de la redondance des messages de contrôle.

Toutefois, élire le chef de groupe comme le véhicule étant le plus proche du centre du groupe n'est peut-être pas la meilleure solution à adopter, car, dépendamment de la vitesse du véhicule, il peut rapidement s'éloigner du centre. En outre, CMGM n'implémente pas de mécanisme de contrôle de charge qui peut très utile pour éviter de saturer une passerelle donnée.

## 2.2 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue différents protocoles existants pour étendre Internet aux VANETS. Ces protocoles implémentent différentes techniques basées pour la plupart, sur des informations relatives à la mobilité des véhicules. Ces informations sont utilisées pour faire des prédictions sur la durée de vie des liens du réseau et décider de l'acheminement des paquets. Le tableau 2 présente une étude comparative des protocoles proposés. Nous remarquons que ceux basés sur une approche avec usage de passerelles fixes engendrent un coût élevé tandis que ceux basés sur une approche avec usage de passerelles mobiles engendrent un coût moins élevé. Le coût élevé engendré par le protocole PBR s'explique par sa technique employée pour réparer les routes de façon prématurée. Toutefois, tous ces protocoles nécessitent pour la plupart un nombre conséquent de paquets de contrôle. Ceci peut affecter les performances du réseau et limiter le passage à l'échelle.

Tableau 2. Comparaison de protocoles de routage

<b>Protocole</b>	<b>Mobilité des passerelles</b>	<b>Position géographique</b>	<b>Découverte passerelles</b>	<b>Nombre de paquets contrôle requis</b>	<b>Coût</b>	<b>Contrôle de charge</b>
DRIVE	statique	requis	proactive	élevé	élevé	Non
GwDISC	statique	requis	proactive	élevé	élevé	Non
Reliable	statique	requis	réactive	moyen	élevé	Non
PBR	mobile	requis	réactive	élevé	élevé	Non
CMGM	mobile	requis	réactive/ proactive	moyen	moyen	Non



Nous remarquons aussi que tous les protocoles proposés n'implémentent aucune technique pour contrôler la charge du réseau. Ceci peut avoir comme conséquence la saturation de certains liens et entraîner des pertes de trafic.

Le protocole BCRVP présenté au chapitre suivant optimise l'utilisation de la bande passante en réduisant considérablement les paquets de contrôle générés. Il s'appuie sur des passerelles mobiles et prend en considération la surcharge du réseau. À partir d'un certain seuil, un nœud surchargé envoie une alerte et les nœuds qui l'utilisent comme relais essayent de rediriger leur trafic.

## **Chapitre 3: Mobile gateways for Internet Access in VANETS**

Dans ce chapitre, nous présentons notre contribution en format article; plus précisément, il consiste de l'article de revue, *Mobile Gateways for Internet Access in VANETS*, qui a été soumis à *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2011; cet article de revue est une extension de l'article de conférence, *Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS*, qui a été accepté dans *International Wireless Communications and Mobile Computing*, Istanbul, 2011.

A titre de contributions personnelles :

- J'ai proposé une technique pour réduire considérablement le nombre de paquets de contrôle dans le réseau.
- J'ai aussi proposé une technique pour la répartition de charge dans le réseau.

J'ai ensuite procédé à l'implémentation de ces techniques pour en tester l'efficacité et participer à la rédaction des articles.

# Mobile gateways for Internet Access in VANETS

Amadou Adama Ba<sup>1</sup>, Abdelhakim Hafid<sup>1</sup>, Jawad Drissi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Network Research Laboratory  
University of Montreal, Montreal, Canada

<sup>2</sup> Department of computing and technology  
Cameron University, Lawton, OK, USA

*Abstract*— In the last few years, extensive research has been performed to extend Internet connectivity to VANETS. Indeed, several routing protocols have been proposed to determine routes between vehicles and gateways (e.g., Road Side Units: RSUs). However, most of these protocols do not use efficiently the bandwidth which is a scarce resource in VANETS. In this paper, we propose a routing protocol to connect vehicles to Internet through mobile gateways with the objective to make efficient use of the network bandwidth. Indeed, the protocol significantly reduces the communication overhead required to establish and maintain the routes relying on the mobility of the gateways. The simulation results show that the proposed protocol outperforms existing protocols in terms of normalized routing load, packet delivery ratio, and end-to-end delay.

*Keywords:* Vehicular ad hoc Networks, routing, broadcast, mobile gateways

## I. Introduction

VANETS (Vehicular Ad-hoc Networks) are a subgroup of MANETS (Mobile Ad-hoc Networks) [1, 2] where vehicles are acting as network nodes. VANETS enable vehicles on the roadway to communicate with each other using wireless capabilities. They are among the most promising approach for ITS (Intelligent Transport Systems). The applications of VANETS include improving safety and comfort on the road. For example, by providing Internet to vehicles, traveling can be safer and more comfortable. Indeed, it enables passengers to obtain safety information, such as accident warning, road condition reports,

weather forecast, travel information, such as hotel availability, and to enjoy all other traditional Internet applications, such as downloading music and sending emails.

The connection of VANETS to Internet is typically established via gateways [3-6]. In VANETS, gateways can be either stationary units placed at fixed positions along the roads, or mobile units (e.g., buses, taxicabs) acting as mobile gateways for other vehicles. Fixed gateways could provide Internet connectivity to mobile vehicles; however, using exclusively fixed gateways is not always possible or feasible. For example, it is not acceptable (in terms of cost) to deploy a large number of RSUs along urban and suburban low-density roads to provide connectivity. Another example is that for high speed vehicles, it is not at times adequate to use fixed infrastructure because of frequent route failures caused by frequent handoffs (from one RSU to the next). Thus, allowing some moving vehicles (e.g., buses, taxicabs) to act as gateways (mobile gateways), will help reducing the infrastructure cost and improving the network performance by reducing considerably route failures.

To achieve connectivity, networking technology such as WLAN and WWAN (e.g., WiMAX and 3G) can be very attractive solutions. The vehicles acting as gateways will be equipped with both WLAN and WWAN capabilities while the other vehicles will be equipped only with WLAN capabilities (see Figure 1). One of the key weaknesses of WLAN technology is its limited transmission range. Multi-hop capabilities of vehicular networks can be considered as a potential solution to improve connectivity between vehicles and gateways.

To provide Internet connectivity, messages need to be exchanged between the vehicles through vehicle-to-vehicle (V2V) communications. However, VANETS characteristics (e.g., high dynamic topology and frequent routes failures) make it hard to design an efficient routing protocol for connecting vehicles to Internet with a reasonable cost. Although, several existing routing protocols have been proposed in the open literature, they generate considerable overhead. In this paper, we propose a routing protocol, called BCRPV (Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS), to connect vehicles to Internet using mobiles gateways with minimal synchronization cost and

significantly less overhead; a preliminary version of BCRPV has been published in [7]. BCRPV has three desirable features: (1) it supplements the fixed infrastructure by providing alternative opportunistic access to the Internet using mobile gateways; (2) it generates considerably less overhead when determining routes, between vehicles and mobile gateways, by selecting the most suitable nodes to act as forwarders during the route discovery process; and (3) it takes into account the stability of the wireless links when determining routes to reduce route failures caused by frequent handoffs. The simulation results show that BCRPV outperforms existing protocols in terms of normalized routing load, packet delivery ratio and end-to-end delay.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II presents a short overview of related work. Section III presents details of the proposed protocol. In section IV, we present the simulation results. Section V concludes the paper.

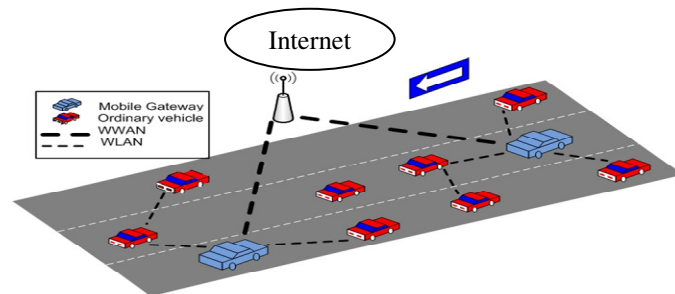


Figure 1. A sample VANET with mobile gateways

## II. Related work

There are several routing protocols in mobile ad-hoc wireless networks [8] but most of them are not very suitable for VANETS due to the highly dynamic topology in these networks. This being said, a number of routing protocols haven been developed for VANETS [9-12]; they can be classified as: geographic (position-based), proactive and reactive. In geographic routing [10], the forwarding decision by a node is based on the packet destination and the positions of the one-hop neighbors of the node. The position of

the destination is stored in the header of the packet by the source. This assumes that the source knows the position of the destination before sending the packet. Maintaining a server to provide location of all vehicles on the road is costly in terms of overhead.

In proactive routing, control packets are constantly broadcasted and exchanged among the nodes to maintain the link states even though some of the paths are never used. Bechler et al. [13] propose a discovery protocol of fixed gateways. In this protocol, gateways advertise their presence proactively; the gateway selection is made by the source using a fuzzy control-based algorithm. Since the determination of an “optimal” advertising period, to avoid excessive overhead, is difficult to do, the network performance may be significantly degraded.

In reactive protocols, routes are established only on demand. The route discovery process is initiated by broadcasting a route request, called RREQ. It is worth noting that for the most reactive protocols, the basic operation of creating routes is similar to AODV [14]; when a node receives a RREQ and has no fresh information on the destination, it blindly rebroadcasts the RREQ which results in significant redundant messages. Considering the frequent failures of routes in VANETS (which often requires reinitiating the route discovery process), considerable overhead can be generated. Moreover, Naumov and al. [15] study the behavior of AODV for city scenario using the Random Waypoint mobility model [16] and realistic vehicular traces. Their results show that 70% to 95% of network traffic is dedicated to the broadcast of route requests. Wang et al. [17] propose the Fuzzy control based AODV routing protocol; when an intermediate node receives an RREQ, it uses the output of a fuzzy controller to make a forwarding decision; the inputs of the fuzzy controller include both route lifetime and percentage of vehicles moving in the same direction. The authors consider the city scenario which is different from highway scenario which we consider in this paper. Iera et al. [18] present inter-layer cooperation principles to provide vehicles with best available Internet access through gateways (fixed and mobiles). Namboodiri et al. [19] propose a Prediction-Based Routing protocol (PBR) which is specially tailored for mobile gateway scenarios. PBR establishes routes preemptively before existing ones break using predicted lifetimes of the routes. The basic idea behind

PBR is to preempt route failures and make the most of connection available leading to a smaller network downtime. However, in PBR, the route discovery process is similar to AODV and thus generates significant overhead degrading the network performance.

In this paper, similarly to PBR, we propose BCRPV to connect vehicles to Internet through mobile gateways using predicted lifetimes of routes. However, in opposition to PBR, in BCRPV only a few carefully selected nodes are allowed to broadcast RREQ to discover routes to gateways. Thus, BCRPV will generate significantly less overhead than PBR improving considerably the network performance.

### **III. The proposed protocol**

In this section, we describe the operation of BCRPV. First, we present the assumptions and definitions of key concepts used in the paper. Then, we present the details of BCRPV.

#### **A. Assumptions and definitions**

The assumptions considered throughout the paper are as follows: (1) All vehicles are equipped with GPS receivers; and (2) Each vehicle can obtain its current location and speed using GPS capabilities.

We define the following terms that will be used in the description of BCRPV: (1) Ordinary vehicle: a vehicle with only WLAN capabilities; (2) Forwarder: an ordinary vehicle designated to rebroadcast RREQ; (3) Gateway: a vehicle acting as a gateway with both WLAN and WWAN capabilities; ordinary vehicles access Internet through gateways; and (4) Designated gateway: a gateway designated to rebroadcast RREQ.

#### **B. Protocol description**

In BCRPV, the routes are established only on-demand. When a source needs to send packets to a destination located in Internet, it first checks its routing table. If it finds a route to the destination, it starts sending data packets; otherwise, the source starts a route discovery process by executing the following steps: (1) select forwarder(s) to rebroadcast RREQ (maximum of 2 forwarders); (2) encapsulate this information in RREQ; and (3)

broadcast the RREQ. When an intermediate vehicle receives an RREQ, it records the reverse route towards the source and checks whether it has a route to the destination. If the intermediate vehicle has no fresh information about a route to the destination, it rebroadcast or not RREQ according to the information contained in the RREQ (i.e., either it has been selected by the source to rebroadcast or not). Figure 2 shows an illustration of the RREQ rebroadcast process for source S searching for a route to destination D.

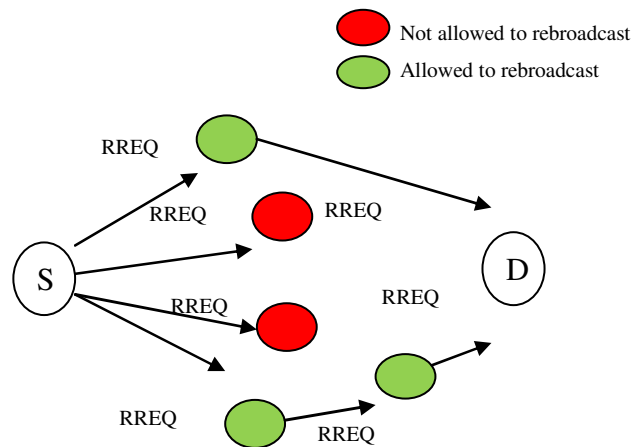


Figure 2. RREQ rebroadcast process

The rebroadcasting control of RREQ is introduced to reduce the redundant messages generated by blind rebroadcasting during the route discovery process. If the source has one neighboring gateway, it will be selected as the designated gateway (i.e., it will rebroadcast RREQ). If there are two or more gateways in the neighborhood of the source, the designated gateway is selected according to the predicted lifetime of the link to the source and the distance from it. It is worth noting that gateways may not be found in the neighborhood of the source. However, even if a designated gateway is found, we propose to select a forwarder from ordinary vehicles (forwarder); a potential forwarder should have at least one gateway in its neighborhood. If there are two or more ordinary vehicles that are potential forwarders, the forwarder is selected according to the number of its neighboring gateways and the distance to the vehicle from which RREQ has been received. The details



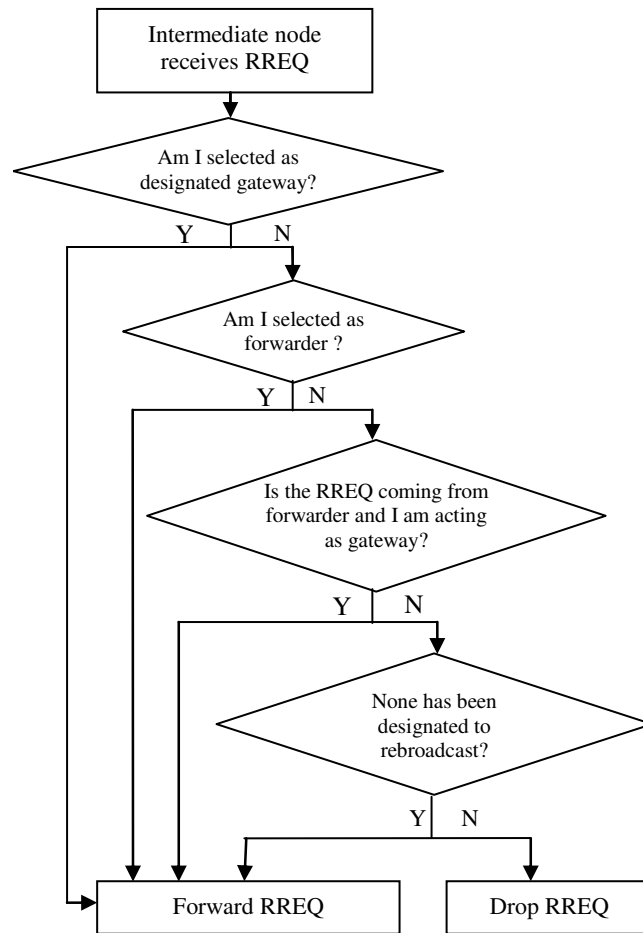


Figure 3. Forwarding decision

of the algorithms used to select designated gateway and forwarder can be found in section III.C. The basic idea behind using a forwarder even in the presence of a designated gateway is (1) due to the relatively high speed in VANETS, the designated gateway can move out of the transmission range of the source before route establishment; (2) it does not generate significant overhead since a forwarder is chosen with the smallest number of neighboring gateways and only these gateways rebroadcast RREQ coming from the forwarder. In summary, when a vehicle receives a RREQ and has no routing information to the destination, it can either rebroadcast it or drop it according to Figure 3.

When a gateway receives an RREQ it rebroadcasts it if (a) it is a designated gateway; (b) the RREQ is coming from a forwarder; or (c) no gateway is designated for this RREQ. When an ordinary vehicle receives a RREQ, it rebroadcasts it if (a) it is selected as forwarder; or (b) none (both gateway and forwarder) has been selected to rebroadcast the RREQ; in this case, the ordinary vehicle elects a forwarder before rebroadcasting the RREQ.

When the destination, or an intermediate node with recent information about a route to the destination, receives a RREQ, a route reply (RREP) is generated. The RREP is unicasted back to the source using the reverse route created by RREQ. Upon receipt of the RREP, the source records the route to the destination and begins sending data packets to the destination along the discovered path.

We also propose a simple load balancing mechanism based on queue occupancy and route lifetime. The details of the proposed mechanism are presented in the next section.

## C. Protocol details

In this section, we present the details of the operation of BCRPV. More specifically, we present (1) the definition of control packets (an extended version of AODV RREQ and *hello*) used to discover routes; (2) the gateway selection algorithm; (3) the forwarder selection algorithm; and (4) the load balancing mechanism.

### 1) Control Packet

Figure 4 shows the format of RREQ used by BCRPV to discover routes. To select a designated gateway and a forwarder vehicle, a vehicle has to maintain a list of all its neighbors. Generally, to monitor link status, vehicles broadcast periodically *hello* messages. In BCRPV, we extend AODV *hello* message to include the location, the speed and the number of neighboring gateways of the *hello*'s sender. Upon receipt of a *hello* message, a

Type	Reserved	Hop Count
Broadcast ID		
Destination IP Address		
Destination Sequence Number		
Source IP Address		
Source Sequence Number		
Designated Gateway		
Forwarder Vehicle		

Figure 4. RREQ packet format

Neighbor IP Address	Expiry Time	Position	Speed	Number of gateways
---------------------	-------------	----------	-------	--------------------

Figure 5. Neighbor's List Entry

vehicle checks whether an entry in the list of neighbors exists for the sender of the *hello* message. If the response is no, then it creates a new entry for the sender in its list; if the sender is a gateway, it increments a variable (which each vehicle maintains), that represents the number of neighboring gateways. If the response is yes, then the vehicle updates the entry with the new information. The structure of an entry corresponding to one ordinary vehicle in the list of neighbors is shown in Figure 5. The field number of gateways represents the number of neighboring gateways of the vehicle corresponding to the current entry. The entries corresponding to the gateways include another field which is the Received Signal Strength between the roadside unit and the concerned gateway.

To delete obsolete entries from the list of neighbors, a purge procedure is executed periodically by each vehicle. If one entry expires (expiry time field), the corresponding entry is deleted, the number of neighboring gateways is decremented if the entry corresponds to a gateway. The list of neighbors is used to select the designated gateway and the forwarder.

## 2) Gateway selection

In this section, we present the algorithm used to select the designated gateway among several neighboring gateways. Indeed, the designated gateway is the gateway with the maximum predicted lifetime link to the source. The predicted lifetime of a given link between two vehicles,  $V_1$  and  $V_2$ , with transmission range  $R$  is defined as follows [18]:

$$\text{Predicted lifetime} = \frac{R - |D_{12}|}{|S_1 - S_2|} \quad \text{where } S_1 \neq S_2 \quad (1)$$

where  $D_{12}$  is the distance between  $V_1$  and  $V_2$ ,  $S_1$  represents the speed of  $V_1$ , and  $S_2$  represents the speed of  $V_2$ .

If the two vehicles are moving at the same speed (i.e.,  $S_1 = S_2$ ) the predicted lifetime is set to a predefined big value. If a vehicle has two or more neighboring gateways with the same predicted lifetime, it selects the nearest gateway in terms of distance. Algorithm 1 shows the pseudo code of the algorithm to select a designated gateway; the algorithm is executed only by the source vehicle.

### Algorithm 1: Selection of designated gateway

---

**Output:** designated gateway

---

1: **Initialization**

    minDistance is set to the transmission range value;

    maxLifetime is set to zero;

    designated\_Gateway is set to nil;

2: **for** each potential\_Gateway in list of neighbors **do**

3:     Compute distance to the current potential\_Gateway;

4:     Compute predicted\_Lifetime of the link to current  
        potential\_Gateway; /\* use Equation (1)\*/;

5:     **if** ((predicted\_Lifetime > maxLifetime) **or**  
        (predicted\_Lifetime = maxLifetime **and**  
        distance < minDistance)) **then**

6:         maxLifetime ← predicted\_Lifetime ;

```

7:     minDistance ← distance ;
8:     designated_Gateway ← potential_Gateway;
9: end if
10:end for
11:return designated_Gateway;

```

---

The algorithm allows the source to designate the gateway which will forward the RREQ message. The designated gateway is the nearest gateway in terms of distance with maximum lifetime link to the source; as simulation results show (see Section IV), this choice allows for longer connectivity time to the gateway and thus reducing the frequency of route failures.

### 3) Forwarder selection

A vehicle selects as a forwarder the nearest neighbour among ordinary vehicle in terms of distance which has at least one neighbouring gateway. If two or more neighbouring

#### Algorithm 2: Designation of forwarder vehicle

---

**Output:** forwarder vehicle

---

1: *Initialization*

minDistance is set to the transmission range value;  
minGateway is set to the total number of gateways;  
forwarder is set to nil;

2: **for** each Vehicle (not gateway) in list of neighbors

**do**

3: Compute distance to Vehicle

4: **if** ((distance < minDistance) **or** (distance =  
minDistance **and** number of neighboring  
gateways of

Vehicle < minGateway)) **then**

---

---

```

5:   minDistance ← distance ;
6:   minGateway ← number of neighboring
      gateways of Vehicle;
7:   forwarder ← Vehicle;
8: end if
9: end for
10: return forwarder;

```

---

vehicles are at the same distance from the source, the one which has the smallest number of neighbouring gateways is selected as forwarder. Algorithm 2 shows the pseudo code of the algorithm to select a forwarder.

The algorithm is executed by (1) source vehicle and (2) ordinary vehicles which have received RREQ for which no one has been designated to rebroadcast; the algorithm enables the vehicles to select a forwarder. The forwarder is the nearest vehicle with smaller number of neighboring gateways.

#### **4) Load balancing mechanism**

We present two load balancing mechanisms: (a) basic load balancing mechanism; and (b) proactive load balancing mechanism.

##### **a) Basic load balancing mechanism**

The proposed load balancing mechanism in BCRVP, requires that each node monitors the number of packets queued in its interface. If this number exceeds a certain threshold, the node will (a) compute the average lifetime of the links to nodes using it as next-hop according to its routing table; the lifetime value of each link is computed using Equation (1); and (b) then broadcast an alert packet which includes the average lifetime value (see Equation (2)).

$$\text{Average Lifetime} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Lifetime}_{si})}{n} \quad (2)$$

where  $s$  is the source node,  $n$  the total number of nodes using the source node as next-hop.

Upon receipt of an alert packet, a node computes the lifetime value of the link to the source of the alert packet. If this value is larger than the average lifetime value (included in the alert packet), the node keeps the source as next-hop; otherwise, it starts the process to elect another next-hop as described above.

### **b) Proactive load balancing mechanism**

The objective of this mechanism (BCRPV-PRO) is to reduce processing time needed to find and establish a route to a new gateway using the basic load balancing mechanism.

In the context of (BCRPV-PRO, a gateway is considered overloaded if its queue reaches 90% occupancy. When a gateway is overloaded, it uses Equation (2) to determine the vehicles to ask to redirect their traffic to other less loaded gateways; then, it broadcasts (a) An alert message, through WLAN interface, to inform vehicles involved in traffic redirection; and (b) A warning, across WWAN interface, to notify gateways located within the radius determined by Equation (3); this will, very likely, increase the chances of reaching less loaded gateways in the neighborhood and cover vehicles that are notified to redirect their traffic and moving out of the transmission range of the overloaded gateway. We use WWAN interface, instead of WLAN interface, to reach gateways outside the WLAN transmission range ( $R$ ).

$$D = 2 \times R \quad (3)$$

where  $R$  is the WLAN transmission range (e.g., 250m)

Upon receipt of a warning message, the non-overloaded gateways send 1-hop invitation messages. Upon receipt of an alert packet, a vehicle waits for invitation messages to switch gateways.

## 5) Overload Control

We present two overload control mechanisms: (a) basic overload control mechanism (BCRPV-LC); and (b) advanced overload control mechanism (BCRPV-ALC).

### a) Basic overload control mechanism

The objective of BCRPV-LC is to avoid as much as possible letting gateways becoming overloaded. We define four states to represent gateway queue occupancy (Equation 4).

$$\text{Queue state} = \begin{cases} \textit{normal} & \textit{if } T_o \leq 70\% \\ \textit{low} & \textit{if } 70\% < T_o \leq 80\% \\ \textit{medium} & \textit{if } 80\% < T_o < 90\% \\ \textit{high} & \textit{if } T_o > 90\% \end{cases} \quad (4)$$

where  $T_o$  is the current queue occupancy.

Upon receipt of RREQ (see Figure 6), the gateway checks its queue state. If the queue state is high, then it will drop RREQ and notifies the RREQ's source.

If the queue state is medium, then it will process RREQ and includes its state information in RREP (in case of route found or already exists). Upon receipt of this RREP (see Figure 7), the source vehicle establishes the route and starts sending its packets; at the same time, it starts searching for a less loaded gateway in the 1-hop neighborhood. Then, it broadcasts an RREQ including the queue state information of the used gateway. If it receives one or more RREP (i.e., one or more 1-hop neighboring gateways are found), the vehicle selects the gateway with the highest route lifetime and starts sending its packets to the new gateway.

If the queue state is normal or low, the gateway processes RREQ by rebroadcasting it and sending RREP to the source vehicle if a route found (i.e., normal operation of a gateway).



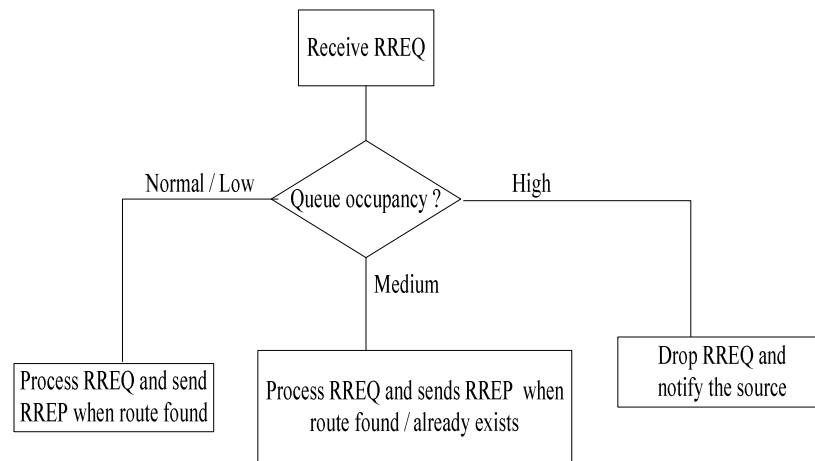


Figure 6. Forwarding decision (gateway)

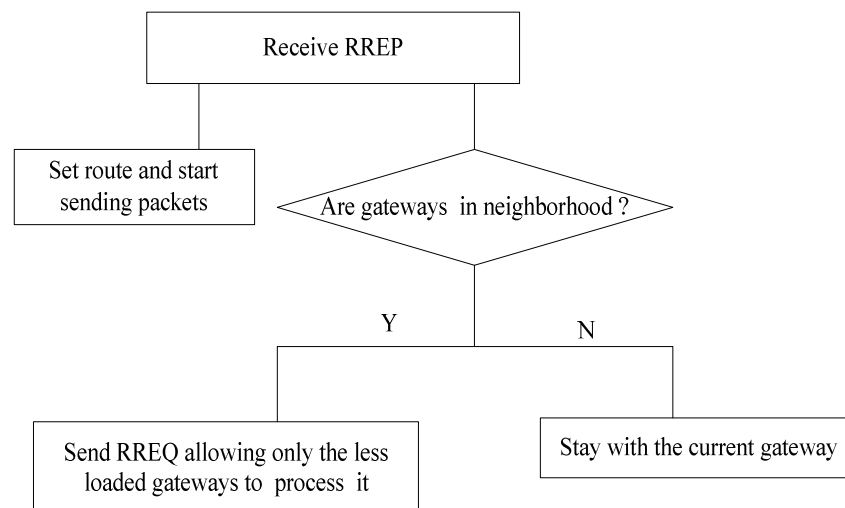


Figure 7. Receiving RREP from loaded gateway (source vehicle)

### b) Advanced overload Control mechanism

When using BCRPV-ALC, a gateway uses a function (see Equation (5)) to determine the number, PRV, of vehicles (that use this gateway) that it needs to notify in order to redirect their traffic to less loaded gateways. To select these vehicles, the gateway computes the lifetime for each vehicle that uses it; then, it selects the PRV vehicles with lowest lifetime values. These vehicles are then notified by the gateway to redirect their

traffic. Upon receipt of a notification, a vehicle starts the process to find a less loaded gateway in the 1-hop neighborhood; if the vehicle receives one or more RREP (i.e., one or more 1-hop neighboring gateways are found), the vehicle selects the gateway with the highest route lifetime and starts sending its packets to the new gateway.

$$\text{PRV} = (\text{number vehicles using the gateway}) \times \text{variable} \times 30\% \quad (5)$$

$$\text{where variable} = \begin{cases} \frac{1}{3} & \text{if queue state low} \\ \frac{2}{3} & \text{if queue state medium} \\ 1 & \text{if queue state high} \end{cases} \quad (6)$$

We use Equation (4) to determine queue state; if the computed PRV is not integer, it will assume the nearest integer value.

## IV. Simulations and results

### A. Simulations settings

The performance comparison, via simulations using ns-2.33 [20], between BCRPV, PBR and AODV is presented in this section. PBR is the most related work, to BCRPV, which considers mobile gateway architecture similar. The vehicles are placed on straight highway of 2000 m with 3 lanes. When vehicles arrive at the end of the highway, they wrap around from the beginning position of the same lane of the highway. We used the freeway mobility tool [21] to generate our mobility model. Each vehicle in the simulation is restricted to travel in its lane. The speed of each vehicle is temporally dependent on its previous velocity. We used 802.11p as MAC protocol. Table I lists the complete simulation parameters used in NS-2.

To evaluate the performance of BCRPV and its variants, we consider the following metrics: (1) Route failures is the number of broken routes during the simulation; (2) Route length is the average number of hops of the routes; (3) Route discovery time is the average time needed to establish a route; (4) Dropped Packets is the percentage of packets unsuccessfully transmitted; (5) Normalized Routing Load (NRL) is the ratio of routing

packets divided by the number of data packets received by the destinations; (6) Packet Delivery Ratio (PDF) is the ratio of the number of data packets successfully received by the

Table I. NS2 Simulation parameters

<b>Parameters</b>	<b>Value</b>
Highway length	2000m
Number of lanes	3
Mobility Model	Freeway
Minimum Node Speed	20 m/s
Maximum Node Speed	30 m/s
Channel	Channel/WirelessChannel
Antenna Type	Antenna/OmniAntenna
Propagation model	Propagation /TwoRayGround
MAC Interface	Mac/802_11Ext
Network Interface	Phy/WirelessPhyExt
Interface Queue Type	Queue/DropTail/Priqueue
Interface Queue size	50
Queued Packet Threshold	90%
Queue Monitor Interval	2s
Wireless Transmission range	250m
Routing Protocols	BCRPV, PBR, AODV
Traffic type	CBR
Packet Size	512 bytes
Hello packet interval	1s
Minimum lifetime defined	10s
Packet Sending Interval	0.05 s
Simulation time	300s

destinations divided by the number of data packets sent by the sources; (7) End-to-End Delay (Delay) is the average delay for data packets from sources to destinations.

## B. Simulation results

In this section, we present results using graphs and comments for the different criteria of evaluation cited above.

### 1) Routes failures

For this set of simulations, the number of sources nodes is set to 16 and the number of gateways to 8.

Figure 8 shows that the density of the vehicles does not have significant impact on the number of route failures. This can be explained by the fact that vehicle density impacts mainly connectivity; indeed, route length has the major impact on route failures and vehicle density does not necessarily reduce route length.

Figure 9 shows that the number of route failures decreases when the number of gateways increases. This is expected since increasing the number of gateways increases the probability, for a vehicle, to find found a nearby gateway and thus reduces route length; a smaller number of links that compose a route helps reducing the probability of the route failure.

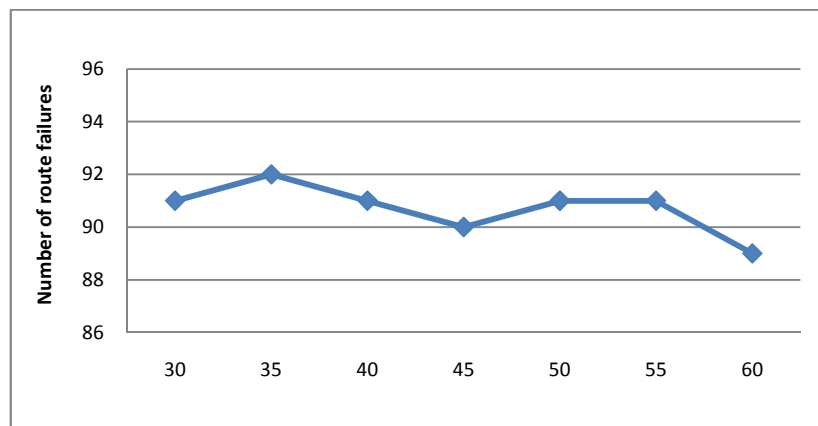


Figure 8. Vehicle density vs. Route failures

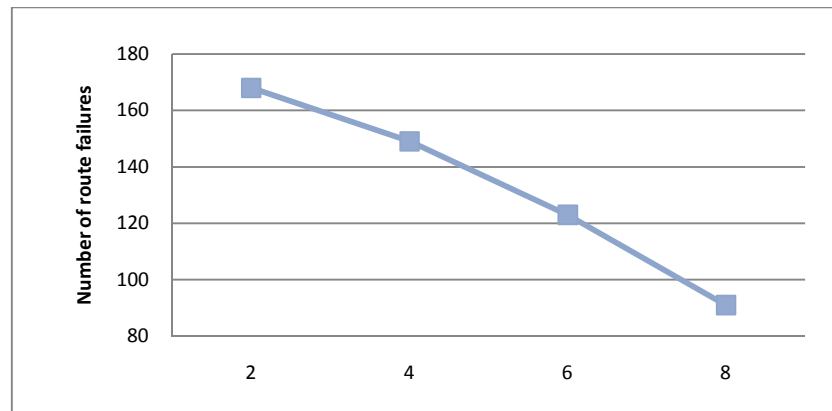


Figure 9. Number of gateways vs. Route failures

## 2) Route Length (number of hops)

Figure 10 shows that density of vehicles does not have a significant impact on the route length; indeed, increasing the number of vehicles helps finding a gateway but does not necessarily reduce route length.

Figure 11 shows that route length decreases when the number of gateway increases; this is expected since a large number of gateways increases the probability of finding a nearby gateway. In this experiment, we set the number of vehicles to 40.

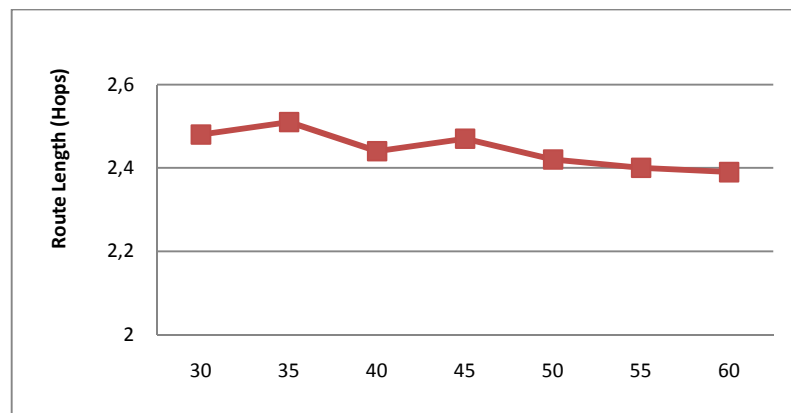


Figure 10. Vehicle Density vs. Route Length

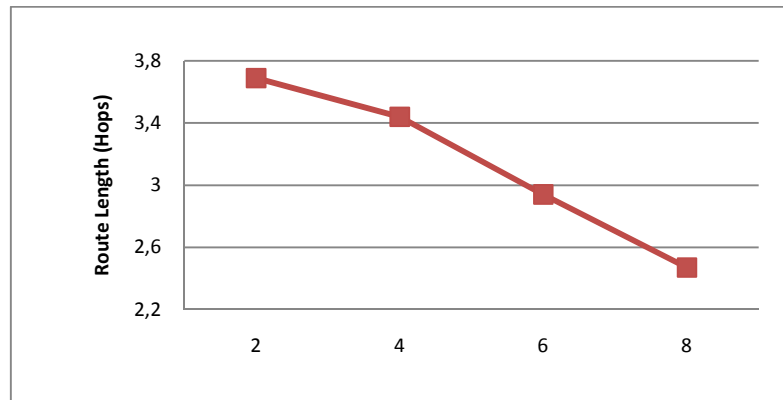


Figure 11. Number of gateways vs. Route Length

### 3) Route Discovery time

Figure 12 shows that vehicle density does not have a significant impact on route discovery time; this can be explained by the fact that a large number of vehicles will not help find a route faster if no gateway is found nearby. This being said, there is a slight decrease of the route discovery time when the number of vehicles increases.

Figure 13 shows clearly that increasing the number of gateways helps decreasing route discovery time. This is expected since a vehicle has a high probability finding a nearby gateway if there are more gateways in the network; this means a shorter route is likely to be found. If there is no congestion, a shorter route length implies a shorter route discovery time.

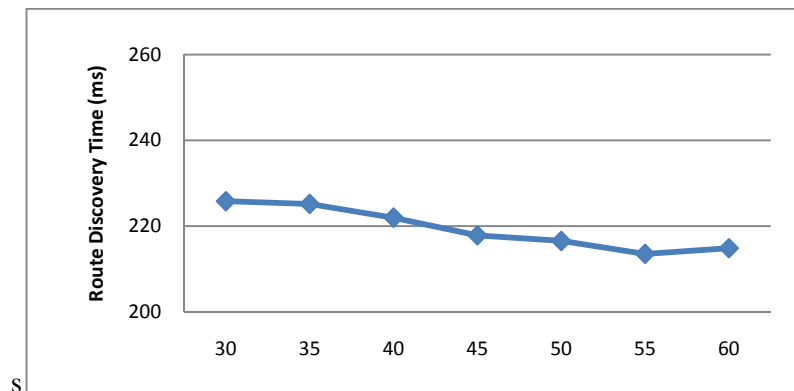


Figure 12. Vehicle Density vs Route Discovery Time

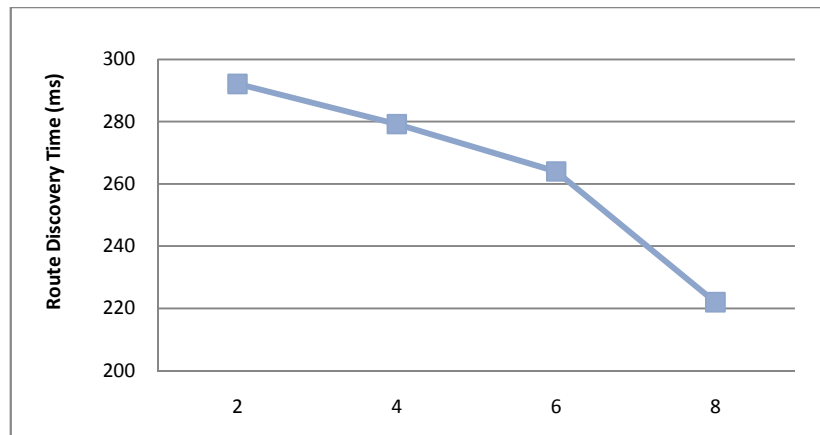


Figure 13. Number of gateways vs. Route Discovery Time

#### 4) Dropped Packets

The number of vehicles is set to 40 and the number of source vehicles to 16 for this set of simulations. Figure 14 shows that the percentage of dropped packets decreases when increasing the number of gateways. This can be explained by the fact that more available gateways help determining shorter routes which minimizes the route failure frequency reducing the number of dropped packets.

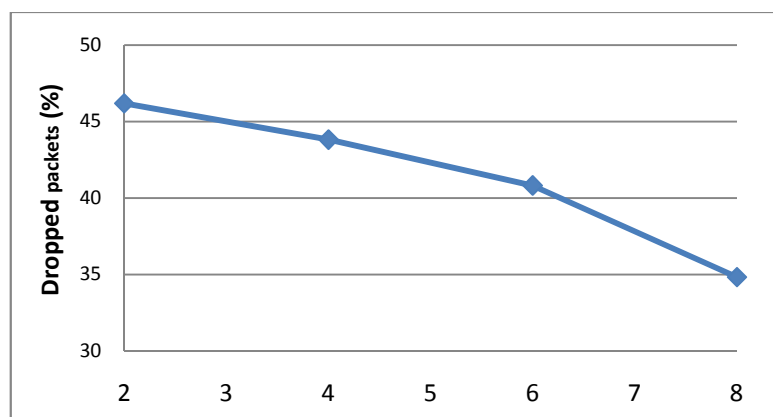


Figure 14. Dropped packets vs Number of gateways

## 5) Normalized Routing Load

Figures 15 and 16 show the overhead generated by BCRPV, AODV and PBR when varying the number of sources and the number of vehicles respectively. In Figure 17, the number of vehicles is set to 40 and in Figure 18, the number of sources is set to 32. We observe that BCRPV reduces significantly the overhead in both scenarios. BCRPV keeps the overhead almost the same while it increases considerably with PBR and AODV. This is due to the fact that our protocol minimizes the number of RREQ required to discover the routes and selects more stable routes. This results in a smaller number of route failures and thus a smaller number of control messages (i.e., overhead) needed to discover the routes.

Figures 17 and 18 show routing the overhead generated by BCRPV variants. We observe load balancing increases routing overhead; this expected since load balancing causes the generation of more control messages. We note also that optimizing traffic redirection (BCRPV-ALC) reduces gateway switching and then routing overhead.

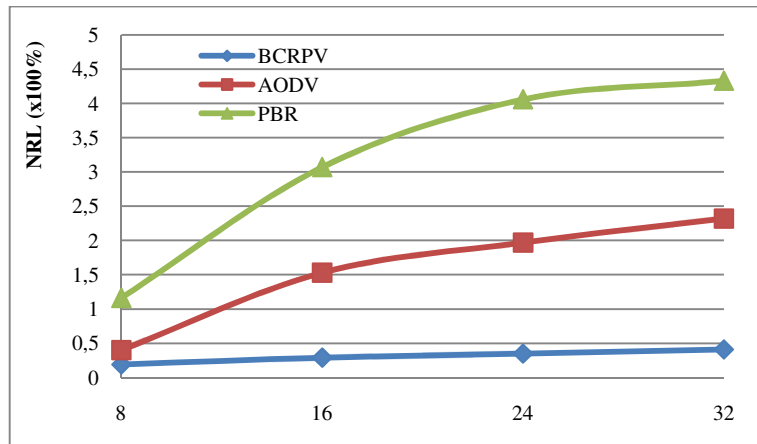


Figure 15. NRL vs. Number of sources



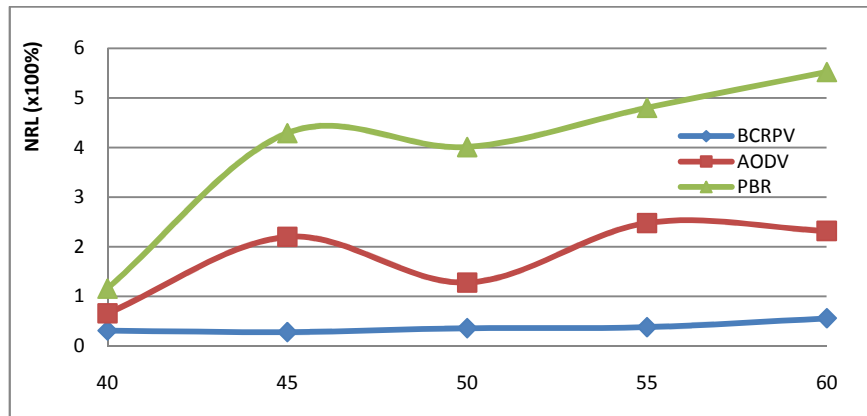


Figure 16. NRL vs. Number of vehicles

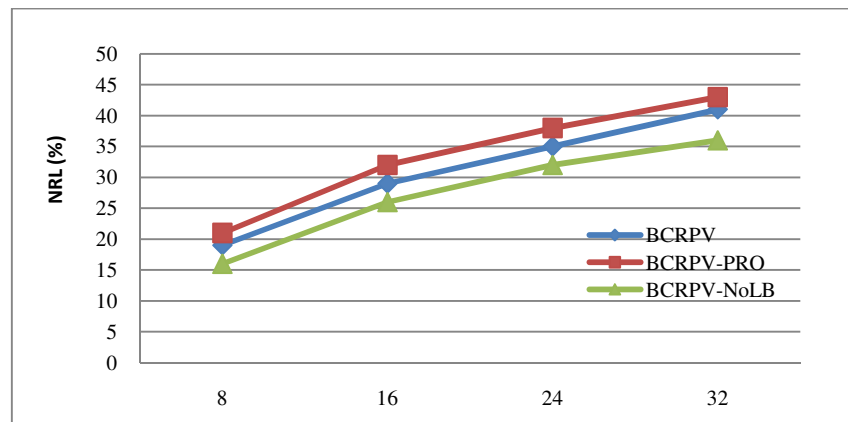


Figure 17. NRL vs. number of sources (Load balancing)

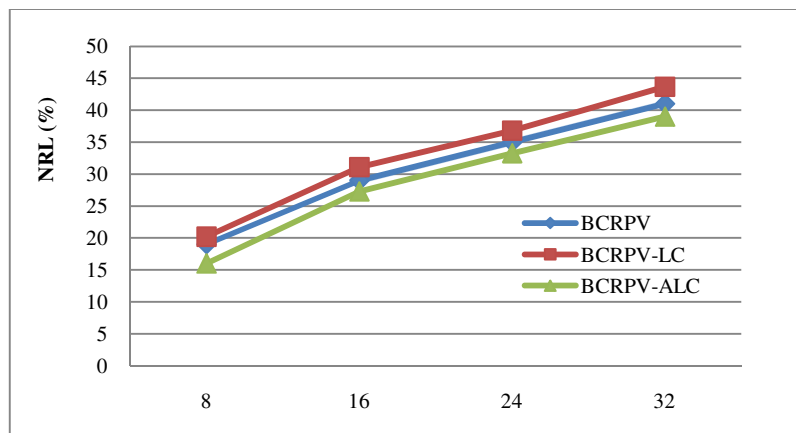


Figure 18. NRL vs. number of sources (overload control)

## 6) Packet Delivery Ratio

For this set of simulations, the number of vehicles is set to 40 and the number of gateways to 8.

Figure 19 shows that packet delivery ratio decreases as the number of sources increases for all protocols. We observe that PBR and AODV outperform BCRPV when the load is light (up to 12 sources in the network). This can be explained by the fact that a large number of RREQ are broadcasted using PBR and AODV; this increases the possibility to find a route but without much impact on the network performance since it is lightly loaded. However, BCRPV outperforms PBR and AODV when traffic becomes heavy by using more efficiently the available bandwidth.

Figure 20 shows that integrating load-balancing improves slightly the packet delivery ratio compared to BCRPV without load balancing (BCRPV-NoLB). We observe also that BCRPV gives slightly better results than BCRPV-PRO. This is due to the fact that BCRPV uses a reactive technique for both establishing routes and gateway switching. This offers more opportunities to find routes compared to BCRPV-PRO which use proactive technique at one-hop for only gateway switching.

In Figure 21, we observe that considering queue occupancy state (BCRPV-ALC) gives slightly better packet delivery ratios. This is due to the fact that BCRPV-ALC decreases overhead, in the network, and thus the risk of collisions; This leads to less dropped packets improving the ratio of packets successfully received.

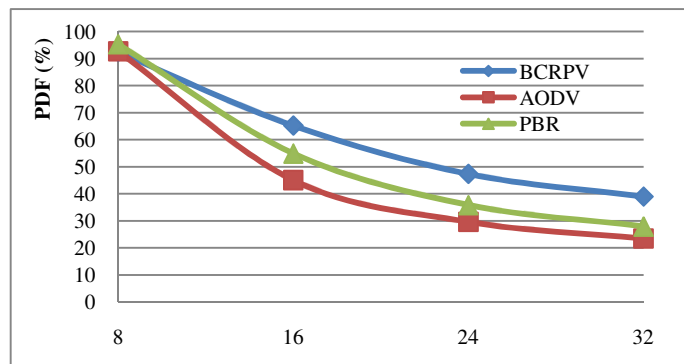


Figure 19. PDF vs Number of sources

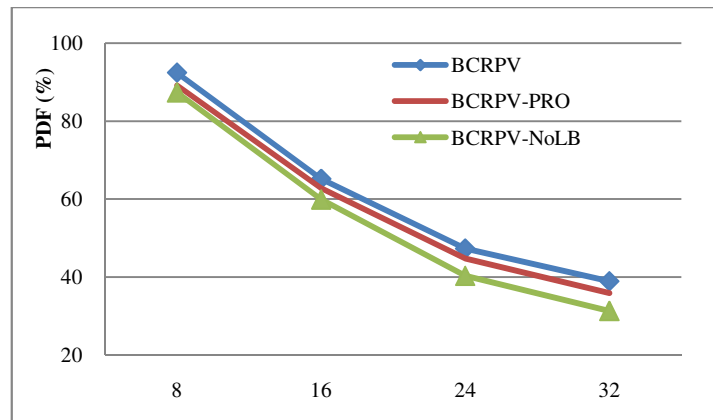


Figure 20. PDF vs. number of sources (load balancing)

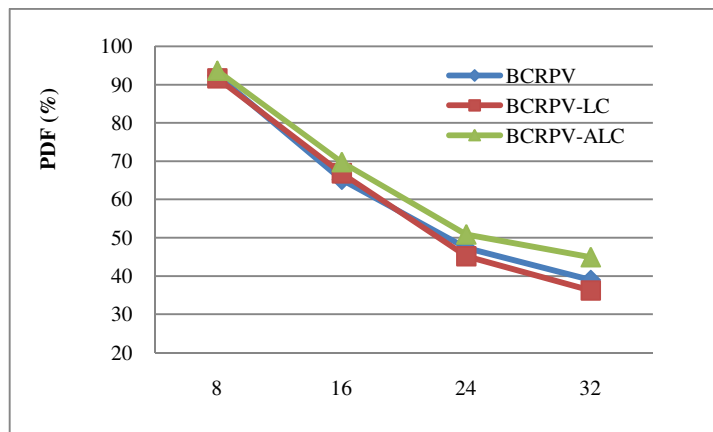


Figure 21. PDF vs. number sources (overload control)

## 7) End-to-End Delay

In this set of simulations, the number of vehicles is set to 40. Figure 22 shows that the delay increases when the number of sources increases. This can be explained by the fact that heavy traffic leads to more collisions/retransmission and longer MAC queues. However, BCRPV provides considerably lower delays compared to PBR and AODV. This is expected since BCRPV generates significantly less overhead leading to less congested network.

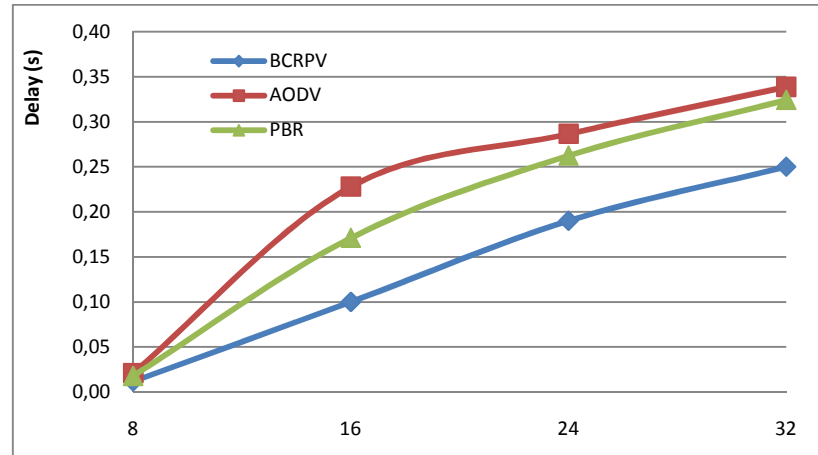


Figure 22. Delay vs Number of sources

## V. CONCLUSION

In this paper, we have presented a protocol to connect moving vehicles to Internet through the mobile gateways. The protocol includes a rebroadcasting control mechanism which reduces significantly the number of control messages needed to establish stable routes; we also propose to integrate a simple load-balancing mechanism to lighten overloaded nodes. Simulation results show that our proposed protocol improves network performance in terms of overhead, delay and packet delivery ratio compared to existing protocols. We have also proposed some variants of BCRPV to help in overload control. We have studied in details the behavior of BCRPV and its variants; more specifically, the impact of the number of vehicles and mobile gateways on routes' failures, route length and route discovery time. We have observed that vehicle density does not have a significant impact on these metrics while the number of gateways has a considerable impact.

## References

- [1] C. S. R. Murthy, B. S. Manoj, "Ad Hoc wireless networks: architectures and protocols", *Book, Prentice Hall, ISBN: 9780131470231, 2004.*

- [2] S. K. Sarkar, T. G. Basavaraju, C. Puttamadappa, “Ad-hoc mobile wireless networks: principles, protocols, and applications”, *Book, Auerbach Publications*, ISBN: 1420062212, 2007.
- [3] J. Ott, T. Kutsher, “Drive Thru Internet: IEEE 802.11b for automobile users”, *in the IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 362-373, 2004.
- [4] A. Iera, A. Molinaro, S. Polito, G. Ruggeri, “End-to-End Qos provisioning in 4G with mobile hotspots”, *in the IEEE Network Magazine*, Vol. 19, No. 5, pp. 26-34, 2005.
- [5] V. Namboodiri, M. Argawal, L. Gao, “A study on the feasibility of Mobile Gateways for Vehicular Ad-hoc Networks”, *in the ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 66-75, 2004.
- [6] Y. Zang, E. Weiss, L. Stibor, B. Walke, H. Chen, X. Cheng, “Opportunistic Wireless Internet Access in Vehicular Environments Using enhanced WAVE Devices”, *in the International Conference on Future Generation Communication and Networking*, pp. 447-452, 2007.
- [7] A. A. Ba, A. Hafid, J. Drissi, “Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS”, *to appear in the International Wireless Communications and Mobile Computing conference*, 2011.
- [8] C. Liu, J. Kaiser, “A Survey of Mobile Ad Hoc network Routing Protocols”, *University of Ulm, Tech. Report Series*, No. 2003-08, 2005.
- [9] F. Li, Y. Wang, “Routing in Vehicular Networks: A Survey”, *in the IEEE Vehicular Technology magazine*, Vol. 2, No. 2, pp. 12-22, 2007.
- [10] K. C. Lee, M. Gerla, U. Lee, “Survey of Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks”, *Chapter in Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges*, IGI Global, 2009.
- [11] Y. Lin, Y. Chen, S. Lee, “Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Future Perspectives”, *in the Information Science and Engineering Journal*, Vol. 26, No. 3, pp. 913-932, 2010.

- [12] H. Ekram, G. Chow, V. C. M. Leung, R. D. McLeod, J. Mistic, V. W. S. Wong, O. Yang, "Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: A survey", *in the Computer Communications Journal*, Vol. 33, No. 7, pp. 775-793, 2010.
- [13] M. Bechler, L. Wolf, "Efficient Discovery of Internet Gateways in Future Vehicular Communications Systems", *in the IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 965-969, 2003.
- [14] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", *IETF RFC 3561*, 2003.
- [15] V. Naumov, R. Baumann, T. Gross, "An Evaluation of Inter-Vehicle Ad Hoc Networks Based on Realistic Vehicular Traces", *in the ACM international symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp. 108-119, 2006.
- [16] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. Hu, J. Jetcheva, "A performance comparison on multi-hop wireless ad hoc networks routing protocols", *in the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 85-97, 1998.
- [17] X. Wang, Y. Yang, A. J. An, "Multi-Metric Routing Decisions in VANET", *in the IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing*, pp. 551-556, 2009.
- [18] A. Iera, A. Molinaro, S. Polito, G. Ruggeri, "A multi-layer cooperation framework for QoS-Aware Internet access in VANETS", *in the Journal of Ubiquitous computing and communication, UbiRoads – Special Issue*, 2008.
- [19] V. Namboodiri, L. Gao, "Prediction-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks", *in the IEEE Transactions on Vehicular Technology Journal*, Vol. 56, No 4, 2007.
- [20] NS-2 Simulator. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [21] Freeway mobility generator. [Online]. Available: <http://nile.cise.ufl.edu/>

## Chapitre 4. Conclusion et perspectives

### 4.1 Conclusion

La maturité et la facilité de déploiement des réseaux sans fil d'une part et le besoin urgent d'améliorer la sécurité et le confort sur les réseaux routiers ont fait des VANETS un domaine de recherche qui a suscité énormément d'attention ces dernières années. Les VANETS permettent d'établir des communications sans fil entre les véhicules ou entre les véhicules et les infrastructures routières pour partager des informations en vue d'améliorer la sécurité et le confort sur le réseau routier. Cependant, pour le bon acheminement de ces informations, des routes doivent être établies entre les entités concernées d'où la nécessité d'un protocole de routage efficace. Toutefois, comme nous avons eu l'occasion de le voir dans ce document le routage dans les VANETS constitue un véritable défi eût égard des caractéristiques de ces réseaux.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux problèmes de routage dans les réseaux véhiculaires. Nous avons présenté en premier lieu les caractéristiques principales des VANETS et les différentes architectures de communication. Puis, nous avons passé en revue les principales familles de protocole de routage les réseaux sans fil tout en mentionnant leur applicabilité dans les VANETS. Par la suite, nous avons présenté une revue de littérature des protocoles de routage proposées pour les VANETS et analyser ces derniers pour en ressortir les forces et les faiblesses.

A la lumière de ces différentes analyses, nous avons proposé BCRPV qui est un protocole de routage qui prend en compte les caractéristiques des VANETS et pallie à certaines faiblesses des protocoles existants. BCRPV utilise une approche réactive pour la découverte des routes. Pour l'établissement des routes, BCRPV utilise les informations de mobilité (vitesse et position) sur le voisinage pour choisir les routes les plus stables, tout en évitant la redondance des paquets de contrôle. Nous avons aussi proposé quelques variantes de

BCRPV pour l'équilibrage des charges dans le réseau. Ces différentes techniques permettent d'une part de diminuer fortement le nombre de paquets de contrôle générés dans le réseau et d'autre part d'éviter de saturer un nœud du réseau et de réduire le délai et les pertes de paquets dans le réseau.

## **4.2 Perspectives**

Parmi les suites de ce projet, nous prévoyons inclure la notion de qualité de service dans les réseaux véhiculaires. Compte tenu de la nature des applications VANETS (sécurité ou confort), il peut être très important de fournir une qualité de service pour permettre à l'information la plus essentielle de circuler. Il serait donc question d'évaluer les exigences des applications en termes de ressources et fournir la qualité de service nécessaire. Un autre développement peut concerner la sécurisation du protocole de routage compte tenu de la nature sans fil des réseaux véhiculaires. Les protocoles de routage peuvent être des cibles idéales pour d'éventuelles attaques car constituant des éléments cruciaux dans les réseaux véhiculaires. Ceci peut avoir des conséquences désastreuses, mettant en danger des vies humaines. Il serait donc important d'évaluer les différentes attaques possibles sur les protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires et proposer des mécanismes de sécurité pour y parer.

Enfin, il serait très intéressant de tester notre travail dans un environnement réel afin d'en valider les résultats.



## Bibliographie

- [1] Union Internationale des Télécommunications, <http://www.itu.int>
- [2] Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX), <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.16.html>
- [3] Mobile Broadband Wireless Access (MBWA), <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.20.html>
- [4] Wireless Fidelity (WiFi), <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>
- [5] [Online]. Available: <http://www.car-to-car.org/>
- [6] [Online]. Available: <http://www.cartalk2000.net/>
- [7] [Online]. Available: <http://www.esafetysupport.org/>
- [8] [Online]. Available: <http://www.safespot-eu.org/>
- [9] [Online]. Available: <http://www.cs.nthu.edu.tw/>
- [10] C. Ribeiro, “Bringing Wireless Access to the Automobile”, in *the Computer Science seminar*, 2005.
- [11] S. Capkun, M. Hamdi, J. Hubaux, “Gps-free Positioning in Mobile Ad Hoc Networks” in *the Hawaii International System Sciences conference*, pp. 157-167, 2002.
- [12] C. S. R. Murthy, B. S. Manoj, “Ad Hoc wireless networks: architectures and protocols”, *Prentice Hall*, ISBN: 780131470231, 2004.
- [13] S. K. Sarkar, T. G. Basavaraju, C. Puttamadappa, “Ad-hoc mobile wireless networks: principles, protocols, and applications”, *Auerbach Publications*, ISBN: 1420062212, 2007.
- [14] S. Taneja, A. Kush, “A Survey of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks” in *the International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 1, No. 3, ISSN: 2010-0248, 2010.
- [15] C. Perkins, P. Bhagwat, “Highly Dynamic Destination Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers”, in *the Computer Communications Journal*, Vol. 24, No. 4, pp. 234-244, 1994.
- [16] P. Jacquet, T. Clausen, “Optimized Link State Routing (OLSR) Protocol”, *IETF RFC 3626*, 2003.

- [17] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, *IETF RFC 3561*, 2003.
- [18] D. Johnson, Y. Hu, D. Maltz, “The Dynamic Source Routing (DSR) Protocol for Ad Hoc Networks”, *IETF RFC 4728*, 2007.
- [19] Z. J. Haas, Marc R. Pearlman, “The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks”, Internet-Draft, 2002.
- [20] B. Karp, H. T. Kung, “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks”, in *the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 243-254, 2000.
- [21] J. Hightower, G. Borriello, “Location Systems for Ubiquitous Computing”, in *the International Computer Communications Journal*, Vol. 34, No. 4, pp. 57-66, 2001.
- [22] J. C. Navas, T. Imielinski, “Geocast: Geographic Addressing and Routing”, in *the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 66-76, 1997.
- [23] <http://www.statcan.gc.ca>
- [24] M. Weigle, “Standards: WAVE / DSRC / 802.11p”, [online]. Available: <http://www.cs.odu.edu/~mweigle/courses/cs795-s08/lectures/5c-DSRC.pdf>
- [25] V. Namboodiri, M. Argawal, L. Gao, “A study on the feasibility of Mobile Gateways for Vehicular Ad-hoc Networks”, in *the ACM International workshop on VANET*, pp. 66-75, 2004.
- [26] K. Lan, S.Kanhere, G.Setiwan, S.Iskandar, Z. M. Wu, “Feasibility study of using mobile gateways for providing internet connectivity in public transportation vehicles”, in *the International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1097-1102, 2006.
- [27] A. A. Ba, A. Hafid, J. Drissi, “Mobile gateways for Internet Access in VANETS”, *submitted to Wireless Communications and Mobile Computing*, 2011.
- [28] A. A. Ba, A. Hafid, J. Drissi, “Broadcast Control-Based Routing Protocol for Internet Access in VANETS”, *to appear in International Wireless Communications and Mobile Computing conference*, 2011.

- [29] F. Li, Y. Wang, "Routing in Vehicular Networks: A Survey", in the *IEEE Vehicular Technology magazine*, Vol. 2, No. 2, pp. 12-22, 2007.
- [30] K. C. Lee, M. Gerla, U. Lee, "Survey of Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks", *Chapter in Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges*, IGI Global, 2009.
- [31] Y. Lin, Y. Chen, S. Lee, "Routing Protocols in Vehicular AdHoc Networks: A Survey and Future Perspectives", in the *Information Science and Engineering Journal*, Vol. 26, No. 3, pp. 913-932, 2010.
- [32] H. Ekram, G. Chow, V. C. M. Leung, R. D. McLeod, J. Mistic, V. W. S. Wong, O. Yang, "Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: A survey", in the *International Computer Communications Journal*, Vol. 33, No. 7, pp. 775-793, 2010.
- [33] M. Bechler, L. Wolf, "Efficient Discovery of Internet Gateways in Future Vehicular Communications Systems", in the *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 965-969, 2003.
- [34] F. J. Ros, P. M. Ruiz, "Efficient Gateway Discovery Algorithms for Delay-tolerant and Delay-constrained Data Traffic in Vehicular Ad-hoc Networks", in the *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 709-714, 2010.
- [35] S. Wan, J. Tang, R.S Wolff, "Reliable Routing for Roadside to vehicle Communications in Rural Areas", in the *IEEE International Conference on Communications*, pp. 3017-3021, 2008.
- [36] V. Namboodiri, L. Gao, "Prediction-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks", in the *IEEE Transactions on Vehicular Technology Journal*, Vol. 56, No. 4, pp. 2332-2345, 2007.
- [37] T. Taleb, A. Benslimane, "Design Guidelines for Network Architecture Integrating VANET with 3G & Beyond Networks", in the *IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 1-5, 2010.

