

Évaluation de la performance du protocole IEEE 802.11p sur la couche PHY avec la communication Véhicule-Véhicule dans un réseau véhiculaire Ad Hoc

Baovola M. A. ¹, Randriamantsoa P.A. ², Andriamanalina A.N. ³

Laboratoire de Recherche en Télécommunication, Automatique, Signal et Images (LR-TASI)
École Doctorale en Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation (ED-STII)
Équipe d'Accueil Doctorale Télécommunication, Automatique, Signal et Images (EAD-TASI)
Université d'Antananarivo

BP 1500, Ankatso – Antananarivo 101 – Madagascar

¹marieannabvl@gmail.com, ²rpauguste@gmail.com, ³andonirinabe@gmail.com

Résumé

Face au nombre croissant d'accidents sur la route au cours des dernières décennies, le réseau véhiculaire ad hoc (VANET) est devenu une technologie essentielle au sein du système de transport intelligents (ITS) notamment pour répondre d'une manière interactive aux diverses demandes. Dans ces réseaux faisant partie des réseaux mobiles ad hoc (MANET), les véhicules qui ont tendance à se déplacer de manière organisée communiquent entre eux ou avec les infrastructures routières. Pour établir une communication en temps réel, l'étude se fait sur l'évaluation des performances du protocole d'émission et de réception en environnement véhicule. Afin de prendre en charge les STI, l'ensemble de normes IEEE-1609 a apporté un amendement à la norme WAVE (Wireless Access to Vehicle Environment) qui spécifie une architecture incluant de nouvelles normes pour les communications véhiculaires. En effet, la norme IEEE 802.11p, qui est la norme pour la communication de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2I), constitue la pile de protocoles WAVE pour le support et l'amélioration des couches physiques (PHY) et MAC (Medium Access Control). Dans cet article, nous nous concentrons sur la communication des véhicules avec les véhicules en démontrant après simulation que les informations critiques et les informations sont transmises à temps avec une optimisation du temps moyen d'accès aux canaux ainsi que pour la livraison des paquets dans un rayon de quelques centaines de mètres. De plus, la simulation montre que cette norme a la capacité de garantir des communications dynamiques.

Mots-clés : VANET, PHY, IEEE 802.11p, V2I, paquets de transmission, accès aux canaux.

Abstract

Faced with the increasing number of road accidents of recent decades; Vehicular Ad hoc Networks (VANET) have become an essential technology in the realization of intelligent transport systems (ITS) to meet various demands in real time. In these networks being among the Mobile Ad hoc Networks (MANET), vehicles that tend to move in an organized manner communicate with each other, or even with roadside infrastructures that can also be characterized with a fairly high accuracy. To establish a communication in real time, the study is done on the performance evaluation of the transmission and reception protocol in a vehicular environment. In order to support ITS, the IEEE-1609 set of standards has made an amendment for Wireless Access to Vehicle Environment (WAVE) that specifies an architecture that includes new standards for vehicular communications. The IEEE 802.11p standard, which is the standard for Vehicle to Vehicle (V2V) and for Vehicle to Infrastructure (V2I) communication, constitutes the WAVE protocol stack for support and enhancement of physical (PHY) and medium access control (MAC) layers. In this article, we focus on the communication of vehicles with vehicles by evaluating after simulation that the new standard 802.11p is the optimization of the 802.11a in terms of transmitted information and packets error rate. However, there is always works which should be done to increase the execution time within that new standard.

Keywords: VANET, PHY, IEEE 802.11p, packet delivery, channel access.

1. Introduction

De nombreux chercheurs se sont concentrés dans les domaines des télécommunications et de l'informatique pour gérer les activités des systèmes de transport intelligents. L'une des réalisations de cette recherche est d'assurer la sécurité et l'efficacité, ainsi que la sécurité et l'efficacité de l'équipement afin de réduire le nombre d'accidents à bord, qui n'a cessé d'augmenter au cours des dernières décennies. Pour ce faire, le concept de réseaux véhiculaires ad hoc (VANET) a donné naissance. C'est une communication entre véhicules ou entre véhicules et l'infrastructure routière par l'intermédiaire d'un dispositif installé sur le bord de ces véhicules. VANET est un exemple de système de réseau mobile ad hoc qui utilise des voitures sur la route pour échanger des informations. La figure 1 montre l'architecture VANET :

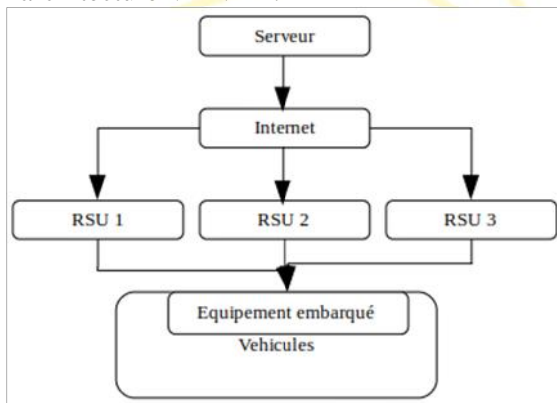


Figure 01 : Architecture de VANET

Nous suivrons cet article comme suit : la section 2 présentera les normes, y compris la norme IEEE 802.11p basée sur DSRC (Dedicated Short Range Communication) suivi des modèles utilisés pour les VANETs dans la section 3. En outre, la section 4 évaluera la performance de ces normes dans le contexte de la communication V2V. Nous concluons cet article dans la section 5.

2. Standards

La norme IEEE 802.11p dérivée de la norme IEEE 802.11 est un amendement par le groupe de travail DSRC (Dedicated Short Range

Communications) de l'IEEE pour l'accès sans fil dans le système de transport intelligent sera présentée dans cette section.

En effet, le processus de normalisation IEEE 802.11p Wireless Access for the Vehicular Environment (WAVE), qui est une sorte de Wi-Fi mobile, découle de l'attribution de la bande de fréquences DSRC et de l'effort de définition technologique.

Cette technologie permet d'éviter les collisions dans lesquelles les voitures sont mutuellement attentives aux conditions changeantes et peuvent améliorer considérablement la sécurité routière. De plus, cette technologie supporte plus de 200km/h de vitesse avec une portée de transmission allant jusqu'à 1000m. Le spectre DSRC est structuré en sept canaux d'une largeur de 10 MHz. Le canal 178 est le canal de contrôle (CCH), qui est limité aux communications de sécurité. Les deux canaux situés aux extrémités de la bande de fréquences sont réservés à des usages particuliers. Les autres sont des voies de service (PPB) disponibles à la fois pour une utilisation sécuritaire et non sécuritaire. De plus, le DSRC est considéré comme le meilleur candidat pour les communications véhiculaires dans de nombreux systèmes coopératifs de STI en raison de ses avantages par rapport à d'autres technologies potentielles, telles que Bluetooth, infrarouge, Zigbee et les communications mobiles 3G.

Dans cet article, nous nous concentrons sur la couche physique (PHY) des normes IEEE 802.11p qui représente une interface entre la couche MAC et le support qui permet d'envoyer et de recevoir des images.

Il est composé de 2 sous-couches :

- le protocole de convergence de la couche physique (PLCP) qui est non seulement responsable de la communication avec la couche MAC mais aussi du processus de convergence qui assure la transformation de l'unité de données par paquets provenant de la couche MAC pour composer l'accès multiple par répartition en fréquence orthogonale (OFDM) et

- le protocole d'accès aux médias physiques qui est l'interface avec un moyen de transmission physique tel que les canaux radio et les liaisons par fibre optique. Sa tâche est de gérer le codage des données et d'effectuer la modulation.

Comme il est apparu dans des travaux réalisés, le précédent IEEE 802.11 avait pour débit de 54Mb/s alors que celui de l'IEEE 802.11p est à 27Mb/s en raison des limites de la couche PHY, certaines caractéristiques du réseau de véhicules se posent exactement sur la haute mobilité ainsi que l'instabilité du réseau. En outre, les VANET sont devenus une nouvelle technologie pour assurer la sécurité routière, le confort des usagers et l'assistance au conducteur. Le PHY est le facteur clé pour atteindre les objectifs du réseau VANET. Nous l'évaluerons par cet article qui vise à contribuer à la performance de la communication technique dans la couche PHY pour cette norme IEEE 802.11p en vérifiant les taux de transmission et en minimisant le taux d'erreur par bit avec une utilisation maximale de la bande passante. La figure suivante montre l'architecture dans un environnement véhiculaire. Par rapport à la norme IEEE 802.11a, la modulation OFDM qui permet de faire face à la condition de canal hautement dynamique est sélectionnée mais avec quelques modifications. Le tableau suivant illustre les changements :

Tableau 1 : Comparaison entre l'ancien et le nouveau DSRC

	IEEE 802.11p	IEEE 802.11a
Débit	3-27Mbps	0.5 Mbps
Mobilité	>60 mph	-
Latence	< 50ms	-
Portée	<1000m	<30m
Spectres	75 MHz	
Modulation	OFDM	-
Canaux	07	01
Communication	V2V and V2I	V2I

3. Modèles

Nous présentons les modèles de systèmes qui ont été utilisés pour développer les performances de communication d'un réseau VANET en utilisant le protocole IEEE 802.11p.

3.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple)

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, le OFDM est utilisé dans le cadre de cette norme. En fait, l'OFDM est une technique de transmission multiporteuse qui divise le spectre disponible en plusieurs porteuses, chacune étant modulée par un flux de données à faible débit. Il peut être considéré comme un ensemble de techniques de transmission. En outre, OFDM est générée en choisissant d'abord le spectre requis, sur la base des données d'entrée, et du schéma de modulation utilisé. Des données à transmettre sont assignées à chaque support à produire. L'amplitude et la phase requises de la porteuse sont ensuite calculées sur la base du schéma de modulation (typiquement BPSK, QPSK ou QAM différentiel). Le spectre requis est ensuite converti en son signal dans le domaine temporel à l'aide d'une transformée de Fourier Inverse (IFFT) qui effectue la transformation de manière très efficace et fournit un moyen simple de garantir que les signaux porteurs produits sont orthogonaux.

3.2 Probabilité de blocage

Nous considérons que les véhicules sont comme des obstacles pour les propagations des signaux. La probabilité $P_{bl}(l)$ pour un ou plusieurs véhicules avec une distance l est potentiellement obstruant la ligne de visée entre l'émetteur et le récepteur est donnée par :

$$P_{bl}(l) = 1 - \min(1, \max(0, a l^2 + b l + c))$$

Où a , b et c sont dérivés de simulations déterministes basées sur la géométrie et dépendent de la densité du véhicule.

3.3 Non Line Of Sight (NLOS)

La non-ligne de visée (NLOS) est une transmission radio qui traverse un trajet partiellement obstrué, généralement par un objet physique dans la zone Fresnel la plus profonde. La probabilité $P_{\text{NLOS}}(l)$ de ce NLOS condition pour le lien qui couvre la distance l est donnée par :

$$P_{\text{NLOS}}(l) = P_{\text{bl}}(l) \cdot Q\left(\frac{h - \mu_h}{\sigma_h}\right)$$

Où $P_{\text{bl}}(l)$, la fonction Q , μ_h et σ_h représentent la probabilité de blocage, c'est à dire que la probabilité qu'au moins un véhicule se trouve dans la zone ellipsoïdale de Fresnel correspondant à 60 % du rayon, la moyenne et l'écart type de la hauteur de l'obstacle, respectivement.

$$h = (h_i - h_j) \frac{l_{\text{obs}}}{l} + h_i - 0.6 \left(\sqrt{\frac{\lambda l_{\text{obs}} (l - l_{\text{obs}})}{l}} \right) + l_{\text{an}}$$

Où h_i , h_j , λ , l_{an} et l_{obs} sont respectivement les hauteurs des véhicules d'émission et de réception, la longueur d'onde, la longueur physique de l'antenne et la distance entre l'émetteur et l'obstacle.

3.4 Probabilité de connectivité

Supposons que les véhicules soient distribués sur la route à la suite d'une distribution de Poisson. Soit ρ la densité du trafic en termes de véhicules par mètre. Par conséquent, la probabilité que n véhicules se trouvent à une distance de x mètres est donnée par :

$$P_n(x) = \frac{(\rho x)^n e^{-\rho x}}{n!}, n \geq 0.$$

Soit X_i ($i=1,2,\dots,N-1$) la distance entre deux véhicules consécutifs et qui obéit à une distribution exponentielle. Dans notre contexte, le réseau devrait être connecté s'il y a un chemin reliant une paire de véhicules.

En fait, la distance entre deux véhicules consécutifs doit être inférieure à la distance de transmission des véhicules R .

On suppose qu'il y a formation de grappes sur la route. Soit P_{con} la probabilité de connectivité des réseaux donnée par :

$$P_{\text{con}} = P\{X_1 \leq R, X_2 \leq R, \dots, X_{N-1} \leq R\}$$

X est distribuée de façon identique, nous obtenons :

$$P_{\text{con}} = \prod_{i=1}^{N-1} P_r\{X_i \leq R\}$$

Soit P_r la probabilité que la distance entre deux véhicules soit inférieure à x , ce qui signifie aussi la probabilité qu'il y ait au moins un véhicule dans un intervalle de longueur x , où :

$$P_r\{X \leq x\} = 1 - e^{-\rho x}$$

Donc, la probabilité devient :

$$P_{\text{con}} = [(1 - p)(1 - e^{-\rho R_1}) + p(1 - e^{-\rho R_2})]^{N-1}$$

3.5 Perte de trajectoire dans IEEE 802.11p

La perte de chemin est la réduction de la densité de puissance d'une onde électromagnétique lorsqu'elle se propage dans l'espace. Dans la norme IEEE 802.11p, l'expression de l'affaiblissement de chemin est donnée par :

$$PL_{l_0 \rightarrow l}(\text{dB}) = A1_N + PL(l_0)$$

$$- 10\vartheta_1 \log_{10} \left[\frac{l}{l_0} \right]_1^{l_c} - 10\vartheta_2 \log_{10} \left[\frac{l}{l_c} \right]_1^{\infty} + \chi_{\sigma}$$

Où ϑ_1 et ϑ_2 sont les exposants d'affaiblissement sur le trajet, $PL(l_0)$ est l'affaiblissement sur le trajet à une distance l_0 et l_c est la distance de Fresnel :

$$l_c = \frac{4h_i h_j}{\lambda}$$

Tel que

$$A = \begin{cases} 6.9 + 20 \log_{10} \left[\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right], & \text{si} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Et

$$v = \sqrt{2} (h_i - h_j) / \sqrt{\frac{\lambda l_{\text{obs}} (l - l_{\text{obs}})}{l}}$$

Nous avons choisi ces modèles parce que la connectivité et la puissance du signal sont cruciales dans VANET.

4. Résultats et évaluation

Nous considérons la communication V2V lors de cette expérimentation. En fait, pour évaluer les performances du standard PHY IEEE 802.11p, nous avons fait une expérience de simulation dans GNU Octave qui est un outil libre pour la simulation sous Linux (OS). Le tableau suivant présente les paramètres de la simulation :

Tableau 2 : Paramétrage de la simulation

Paramètres	802.11a	802.11p
Bande passante	20	10
Débit (Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27
OFDM (μs)	4	8
Durée des préambules	20	40
Fenêtre d'espacement	312.5	156.25

Durant cette simulation, nous nous intéresserons à la quantité des données transmises lors des transmissions de données avec la technologie IEEE 802.11p qui supporte l'environnement véhiculaire. Nous constatons que depuis la technologie IEEE 802.11a, il y a changements de fréquence jusqu'à la moitié notamment 20 Mhz à 10 MHz. Nous allons visualiser la quantité des données transmises lors de cette opération, ainsi que le rapport signal brut par rapport aux taux d'erreurs de paquets. Nous avons visionné aussi l'allure du résultat pour l'utilisation de la fréquence à 5 MHz. Le résultat de cette simulation est illustré par les figures suivantes :

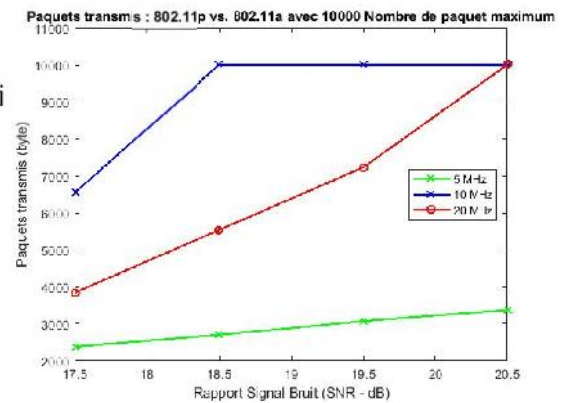


Figure 2 : Nombre de paquets transmis avec OFDM 5, 10 et 20 MHz

Nous pouvons constater dans cette figure 5.14 que le nombre de paquets transmis est meilleur en utilisant IEEE 802.11p avec la fréquence 10 MHz. Pourtant, nous avons simulé aussi l'utilisation de la fréquence à 5 MHz et visualisé que ce nombre de paquets transmis est très faible. Par ailleurs, l'ancien standard IEEE 802.11a a connu beaucoup de perte de paquets par rapport à la nouvelle technologie donc il n'est pas très satisfaisant mais quand même il atteint le même niveau de paquets transmis que le nouveau standard à la fin de ladite transmission. L'illustration du taux d'erreurs de paquets lors de la transmission est présentée par la figure suivante :

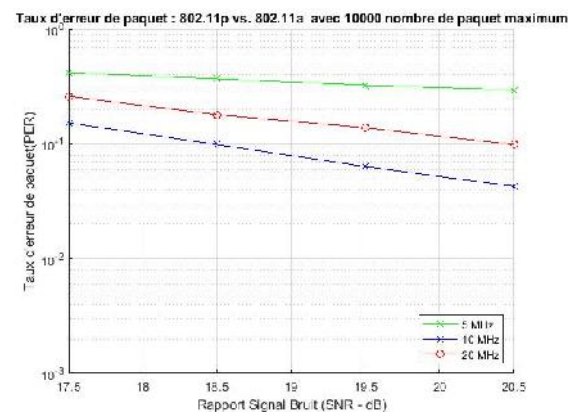


Figure 3 : Taux d'erreurs de paquets avec OFDM 5, 10 et 20 MHz

Nous pouvons remarquer par cette figure que le taux d'erreurs de paquets est moindre pour la technologie IEEE 802.11p compte tenu de la réduction de la fréquence en 10 MHz par rapport à celui de 20 MHz pour l'IEEE 802.11a.

Pour la suite, nous avons pris d'autres nombres de paquets pour cette simulation comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Résumé des données pour la fréquence à 5 MHz

SNR	Max : 200		Max : 10 000	
	Pqts	PER	Transmis	PER
17.5	44	0.47727	2384	0.41988
18.5	67	0.31343	2697	0.37115
19.5	53	0.39623	3073	0.32574
20.5	64	0.32813	3371	0.29694

Tableau 4 : Résumé des données pour la fréquence à 10 MHz

SNR	Max : 200		Max : 10 000	
	Pqts	PER	Transmis	PER
17.5	169	0.12426	6539	0.15308
18.5	200	0.084577	10000	0.09909
19.5	200	0.084577	10000	0.063794
20.5	200	0.039801	10000	0.042896

Tableau 5 : Résumé des données pour la fréquence à 20 MHz

SNR	Max : 200		Max : 10 000	
	Pqts	PER	Transmis	PER
17.5	79	0.26582	3841	0.26061
18.5	156	0.13462	5532	0.18095
19.5	143	0.14685	7227	0.13851
20.5	200	0.074627	10000	0.09909

Compte tenu de ces tableaux qui représentent les détails sur les paquets transmis et l'erreur de paquets lors de transmission, nous pouvons dire que tous les paquets sont transmis en utilisant l'IEEE 802.11p quelque que soit le nombre de paquets à transmettre. La figure suivante illustre le temps d'exécution de transfert de données en fonction de leurs tailles en utilisant les deux fréquences 10 MHz et 20 MHz.

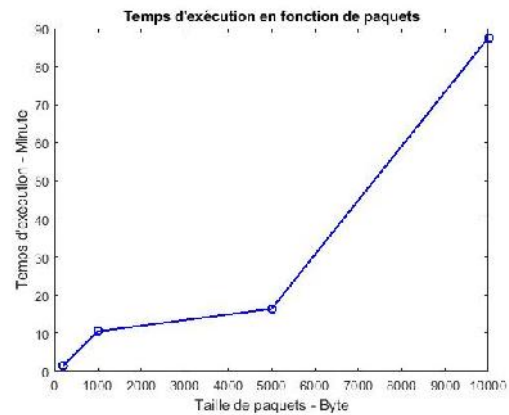


Figure 4 : Temps d'exécution lors d'un transfert de données

Nous constatons que le temps d'exécution s'accroît suivant le nombre de paquets. Mais pour la suite nous détaillerons le temps d'exécution à chaque utilisation des deux technologies.

Nous avons pris les mêmes paramètres que le tableau 2 pour la comparaison des temps d'exécution entre IEEE 802.11a et IEEE 802.11p.

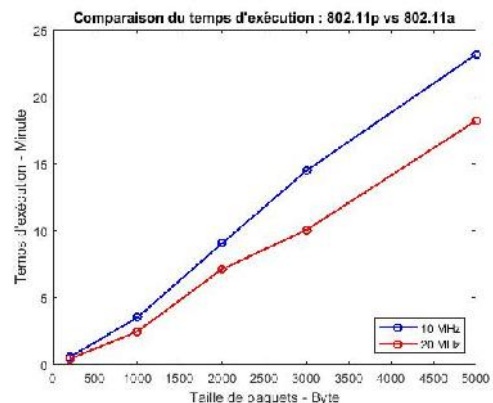


Figure 5 : Comparaison de temps d'exécution lors d'un transfert de données entre 802.11p et 802.11a

Nous pouvons dire à partir de cette figure que la nouvelle technologie IEEE 802.11p pour le transfert des données sur un environnement véhiculaire a pris beaucoup de temps par rapport l'ancienne technologie. Pourtant, nous pouvons transmettre plus de paquets avec elle comme nous avons déjà présenté sur la figure 2.

5. Discussions

Dans cet article, nous avons évalué les performances de la technologie PHY IEEE 802.11p. En fait, nous l'avons comparé avec l'ancienne version IEEE 802.11a de sorte que nous avons constaté que le taux d'erreur et le taux de transfert de paquets sont meilleurs pour la nouvelle technologie dans un contexte dynamique et automobile. Cependant, le temps nécessaire au transfert au sein de la nouvelle technologie est difficile. Pour nos travaux futurs, nous nous concentrerons davantage sur le temps d'exécution en fonction de la quantité d'informations à transmettre.

6. Références

- [1]. Heintzleman W.R., Chandrakasan A., Balakrishnan H. "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui", HI, USA, 4-7 January 2000.
- [2]. DU Lei, LIU Nan, SONG Xiang-hui. "Evaluation of IEEE 802.11p in Vehicular Communication via Simulation". Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2014, 8(1): 95-100.
- [3]. Saajid Hussain et al., "Vehicular Ad Hoc Network (VANET)Connectivity Analysis of a Highway Toll Plaza", 2019.
- [4]. L. Cheng, B. E. Henty, D. D. Stancil, F. Bai, and P. Mudalige, "Mobile Vehicle-to-Vehicle Narrow-Band Channel Measurement and Characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC)

Frequency Band," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, no. 8, pp. 1501-1516, Oct 2007.

- [5]. M. Boban, T. T. V. Vinhoza, M. Ferreira, J. Barros, and O. K. Tonguz, "Impact of Vehicles as Obstacles in Vehicular Ad Hoc Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 29, no. 1, pp. 15-28, January 2011.