Conception d'un système d'alerte coopératif basé sur les ADAS communicants

Nadeen Salameh, Stephane Mousset, Abdelaziz Bensrhair

► To cite this version:

Nadeen Salameh, Stephane Mousset, Abdelaziz Bensrhair. Conception d'un système d'alerte coopératif basé sur les ADAS communicants. RTS - Recherche Transports Sécurité, 2013, 2013 (02), pp.141-151. 10.4074/S0761898013002057 . hal-01670618

HAL Id: hal-01670618

<https://hal.science/hal-01670618>

Submitted on 21 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception d'un système d'alerte coopératif basé sur les ADAS communicants

Design of collision warning system based on cooperative Advanced Driver Assistance systems

N. Salameh · S. Mousset · A. Bensrhair

Reçu le 14 juin 2012 ; accepté le 9 février 2013
© IFSTTAR et Éditions NecPlus 2013

Résumé Cet article propose une nouvelle méthodologie de développement dédiée aux systèmes ADAS coopératifs. Cette méthodologie nous a conduit à mettre en œuvre un nouveau cadre de prototypage des systèmes ADAS communicants. Dans ce cadre, nous combinons les données de plusieurs modules, un module de vision, un module de communication V2V et un module de géolocalisation GPS, pour réaliser un système d'alerte coopératif. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons développé un système de prototypage basé sur le principe de la réalité augmentée, dans lequel nous pouvons rejouer des données réelles et modifier les caractéristiques du système de communication. Les données du système de géolocalisation GPS et les protocoles de routage ont été des éléments primordiaux pour la simulation de la communication V2V réalisée avec le simulateur ns-2. Nous avons effectué différents scénarios réels sur la plate-forme du prototype LaRA composée de véhicules instrumentés. Plusieurs résultats sont présentés pour illustrer la compatibilité et l'efficacité de l'intégration des données réelles issues de plusieurs capteurs dans ce nouveau système de prototypage pour les applications d'alerte. La mise en œuvre du système d'alerte a permis d'estimer le nombre de pré-collisions détectées dans deux situations, une réelle et une simulée. L'écart entre ces deux configurations a été étudié et analysé pour plusieurs scénarios qui correspondent

aux différentes situations routières. Les résultats ont montré que les simulations de communications V2V fournissent des données complémentaires qui améliorent la mise en œuvre de ces nouveaux ADAS et permettent d'évaluer leurs performances.

Mots clés ADAS · communications V2V · protocoles de routage · système de prototypage temps-réel · données réelles · plate-forme LaRA

Abstract In this paper we propose a new methodology of development dedicated to cooperative ADAS. This methodology led us to implement a new framework for prototyping a communicating ADAS system. Within this framework, we combine the data from multiple modules: a vision module, a V2V communication module and Geo-localization GPS module, in order to accomplish a cooperative warning system. To achieve this goal, we have developed a prototyping system based on the principle of augmented reality, in which we replay real data and change the characteristics of the communication system. The GPS data and routing protocols were crucial elements for V2V communication simulation made with ns-2 simulator. We conducted different scenarios on real experimental platform consists of LaRA vehicles. Multiple results are presented to show up the compatibility and the performance efficiency of real-time multi sensors in an integrated framework for collision avoidance applications. The implementation of the warning system was used to estimate the number of pre-collisions detected in both real and simulated situations. The difference between these two situations was analyzed for several scenarios corresponding to different road situations. The results showed that the simulation of V2V communication provide additional data that improve the implementation of these new ADAS and to assess their performance.

Keywords ADAS · V2V communication · Routing protocols · Real-time prototyping system · Real data · LaRA vehicles

Nadeen Salameh (✉)
Litis Laboratoire EA 4108, INSA de Rouen
Technopôle de Madrillet, Avenue de l'université, BP 08
76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex, France.
e-mail : nadeen.salameh1@univ-rouen.fr

S. Mousset
Litis Laboratoire EA 4108, INSA de Rouen
Technopôle de Madrillet, Avenue de l'université, BP 08
76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex, France.
e-mail : stephane.mousset@insa-rouen.fr

A. Bensrhair
Litis Laboratoire EA 4108, INSA de Rouen
Technopôle de Madrillet, Avenue de l'université, BP 08
76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex, France.
e-mail : abdelaziz.bensrhair@insa-rouen.fr

Introduction et état de l'art

Dans le domaine des systèmes de transports intelligents, les thèmes relatifs à la sécurité et à la mobilité ont une place importante. Ces deux thèmes sont souvent liés, ainsi plusieurs projets de recherche ont été menés afin de rendre les routes plus sûres et plus fluides, tels que Car2Car [29], CVIS [30] et SafeSPOT [31] et SCORE@F [32]. Lors du développement de ces projets, de nouveaux systèmes d'aide à la conduite ont été proposés, comme les systèmes de prévention de collision, d'aide à la vision de nuit et d'aide à la navigation. Ces études ont permis de proposer de nouvelles perspectives telles que les systèmes d'aide à la conduite coopératifs, en utilisant principalement les communications entre véhicules ou entre les véhicules et l'infrastructure en se basant sur la technologie VANETs. Ces nouvelles techniques aident à réaliser des services qui rendent les transports plus sûrs et plus efficaces comme l'alerte en cas de pré-collision, la prévention des collisions ou le contrôle longitudinal de trajectoire [1, 23]. Par conséquent, les véhicules communicants seront bientôt une réalité et de nombreuses applications d'aide à la conduite, d'aide à la navigation, de gestion et régulation de trafic peuvent être envisagées. Pour évaluer l'impact des systèmes ADAS (*Advanced driver assistance systems*) communicants sur l'amélioration de la sécurité routière et sur les réactions des conducteurs, il est indispensable d'utiliser des outils flexibles et efficaces. D'ailleurs, la mise en œuvre de véhicules communicants dans les systèmes de transport, est délicate et nécessite des systèmes temps réel et des simulateurs de réseaux et de trafic routier restituant toute la complexité des situations réelles.

La simulation du trafic routier qui constitue une description des trajectoires complexes des véhicules est l'un des axes clés des études relatives aux réseaux communicants V2V. Il est nécessaire d'utiliser un modèle de mobilité réaliste, pour décrire les trajectoires, avec un niveau de détails suffisant sur le trafic et pour obtenir des résultats précis lors de la simulation du réseau V2V [4, 5, 6]. Afin de tester les applications associées aux systèmes de transports, des nombreux travaux de recherche ont été menés dans le but de combiner des simulateurs de réseaux sans fil avec des simulateurs de trafic routier [2,3]. Pour obtenir des résultats fiables, il est important d'intégrer un modèle de mobilité réaliste dans les simulations V2V comme TraNS [2], STRAW [7] et VanetMobiSim [8]. Une autre solution consiste à utiliser des systèmes complexes comme TraCI [3] qui met en œuvre une technique d'interconnection entre un simulateur de réseaux et un simulateur de trafic. Ces modèles de mobilité réalistes sont plus efficaces que les modèles de mobilité classiques. Ils restituent des traces de trajectoire de véhicule proches de celle observée. Ces

traces sont exploitables par les simulateurs, mais elles n'ont pas toutes les caractéristiques des traces réelles, surtout au niveau de la micro-mobilité. Cela nous a conduits à choisir le logiciel RTMaps pour récupérer des traces réelles datées de véhicules et ainsi reproduire les détails du trafic routier. Dans cet article, nous proposons une approche coopérative pour intégrer les communications V2V dans les systèmes ADAS. Elle est réalisée avec le couplage de deux systèmes logiciels. L'application visée est une application d'alerte anti-collision. Pour atteindre notre objectif, les différents capteurs doivent être compatibles, calibrés, synchronisés. L'article se décompose selon le plan suivant. La première partie décrit l'architecture et le développement de système. Nous détaillons ensuite la plate-forme LaRA et le système d'acquisition des données capteurs. Dans la seconde partie, nous présentons la méthode utilisée pour réaliser notre approche. L'évaluation du système d'alerte coopératif et les résultats seront présentés dans la troisième partie. La conclusion met l'accent sur les perspectives de notre travail.

Architecture et développement du système

Description de la plate-forme LaRA

La Route automatisée (LaRA) est un consortium constitué de l'équipe Imara de l'Inria et l'équipe CAOR-École des Mines de Paris (ENSM) [9]. Ce consortium a développé une plate-forme de tests constituée de quatre véhicules instrumentés communicants (de type Citroën C3). L'architecture interne d'un véhicule LaRA est composée d'un ensemble de capteurs articulés autour d'un système informatique intégré. Cette architecture comporte :

- un capteur de vision constitué d'une caméra CCD dirigée vers l'avant, permettant de récupérer un flux de 30 images par secondes ;
- deux récepteurs GPS : un DGPS Trimble AG332 et un second GPS de type grand public dont la fréquence est de 1 Hz ;
- un système de communication sans fil (WiFi, norme IEEE 802.11g) ;
- un écran tactile utilisé comme interface graphique par le copilote pour les applications développées ;
- un scanner du BusCAN constitué d'un décodeur (spécialement construit par PSA pour le centre de la robotique). Il fournit un accès à des informations provenant des capteurs internes, telles que : a) Vitesse longitudinale du véhicule, b) Vitesse des deux roues arrière, c) Angle du volant, d) État des freins (freinage ou libre), e) État de la boîte de vitesses, f) Informations sur tous les feux du véhicule.

Acquisition de données réelles

Au cours des expérimentations, trois véhicules LaRA ont été utilisés. Les données réelles et datées des capteurs sont enregistrées dans une base de données. Cette base de données contient les différentes mesures telles que la position, la vitesse, des données de vision et des données circulant sur le BusCAN du véhicule. Tous les enregistrements ont été effectués sur une même plate-forme logicielle fonctionnant en temps réel, appelé RTMaps [10]. RTMaps est une solution logicielle pour des applications multi-capteurs temps réel, comme les applications automobiles, pour un prototypage rapide ou pour une fusion de données.

Architecture du système

Le système de prototypage représenté dans la figure 1 est conçu de telle façon que nous puissions élaborer une application d'alerte coopérative. Nous avons utilisé la plateforme LaRA et son système de communication développé au Robotique centre à Paris pour effectuer les expérimentations et récupérer des données GPS réelles. Ce système est basé sur le principe de la réalité augmentée, dans lequel nous avons rejoué les données réelles dans le cadre de simulations V2V.

Nous avons combiné, dans ce nouvel ensemble de prototypage, les données provenant de plusieurs modules, tels que le module de vision, le module de communication V2V et le module de géolocalisation GPS. Les données

de géolocalisation d'un véhicule sont diffusées vers les autres véhicules par les médias de communications sans fil. Le système de vision est utilisé pour calculer la distance entre deux véhicules consécutifs. En outre, nous intégrons les résultats de simulations de communications V2V dans cet ensemble afin d'étudier l'impact des modes de communication sur l'application d'alerte anti-collision. En effet, il n'est pas facile de mettre en œuvre une application de type anti-collision puisque les données de capteurs sont difficiles à simuler.

La solution proposée pour réaliser cette application est de faire collaborer deux simulateurs :

- (RTMaps) qui réalise l'acquisition de données de différentes sources en temps réel ;
- simulateur de réseau (ns-2) qui simule la transmission des paquets dans un réseau sans fil en utilisant un protocole de routage.

Grâce à cette nouvelle structure qui caractérise l'originalité de notre travail, un nouveau ADAS coopératif est développé et analysé en fonction des différents types de scénarios de communications et de conduite.

Système de communication

Les véhicules LaRA sont équipés de dispositifs de communication WiFi pour échanger des données entre les nœuds d'un même groupe. Dans nos tests, nous utilisons des bornes DLink DWL 2100+ à la norme 802.11g+. Cette borne est améliorée avec une antenne 8 dB. La norme IEEE 802.11 a été adoptée pour ses performances théoriques et sa facilité d'utilisation et d'intégration dans la plate-forme LaRA [12]. Cette norme a l'avantage d'être robuste aux vitesses différentielles qui existent entre les véhicules. La bande de fréquence utilisée par les réseaux V2V est située sur la plage de 2,4 GHz-5,9 GHz. Actuellement la plage 5,8 GHz est en train de devenir la plage la plus utilisée avec le futur protocole 802.11p. Ces dispositifs sont contrôlés en temps réel par le logiciel RTMaps.

Pour la mise en œuvre de notre réseau, la bibliothèque Pcap a été choisie [13]. Cette bibliothèque est largement utilisée pour la conception d'applications et la gestion des réseaux informatiques. Elle a été développée par le laboratoire CAOR de l'ENSMP. Elle utilise un logiciel de type *sniffer* qui peut « écouter » les canaux de transmission [24]. Cette configuration est utile pour capturer les paquets circulant et pour extraire des informations nécessaires à la couche application. Cependant cette configuration ne peut être envisagée pour une application réelle car aucun protocole de routage n'est alors utilisé.

Figure 1 Architecture du système

Figure 2 Scénarios de communications entre véhicules

La durée des scénarios est comprise entre 4 et 7 minutes. Différents scénarios de déplacement et de communication ont été réalisés pour représenter un maximum de scènes urbaines réelles (Figure 2). Nous avons ainsi les scénarios suivants [25] :

- a) convoi de trois véhicules ;
- b) croisement de deux véhicules ;
- c) insertion d'un véhicule dans une configuration de type *platooning* ;
- d) dépassement d'un véhicule.

La figure 3 représente la trajectoire des trois véhicules LaRA communicants visualisée avec le logiciel Google Earth.

Les données enregistrées par chaque véhicule sont ensuite traitées pour obtenir des informations sur les temps de communication. Cela nous permet de créer des scripts décrivant le mouvement réel des véhicules. Puis ces scripts sont utilisés par le logiciel de simulation de réseaux ns-2 [11]. Les trois véhicules LaRA se déplacent dans l'enceinte de l'Inria-Rocquencourt avec une vitesse limite de 30 km/h imposée par la réglementation. Cette limitation de vitesse nous contraint à assimiler nos scénarios à des scénarios urbains où la vitesse moyenne des véhicules est de 27 km/h [15]. Toutefois, cette limitation a permis de minimiser les erreurs de mesures dues à la différence de vitesse entre deux véhicules.

Figure 3 Trajectoire de trois véhicules visualisée avec le logiciel Google Earth (campus de Paris-Rocquencourt)

Système de vision

Le système de vision embarqué dans les véhicules instrumentés est décrit dans les travaux de G. Challita [16]. Ce système permet de calculer la distance entre deux véhicules et de localiser un véhicule en 3D dans le repère absolu [17], comme illustré dans la figure 4. Il est formé d'un capteur de vision placé derrière le pare-brise centré à l'emplacement habituel du rétroviseur intérieur et dirigé vers l'avant du véhicule, et permet de détecter des véhicules sur la route ainsi que la présence de pluie [18]. Il s'agit d'une caméra CCD couleur de type Sony EV 1-40DR de 1/3 inch et ayant une focale de 5,6 mm. Elle fournit des images de taille 768x576 pixels. Cette caméra est représentative des caméras utilisées en automobile pour les systèmes ADAS.

Le module de détection, développé par le laboratoire CAOR, est basé sur l'analyse des gradients négatifs horizontaux. Cela permet de détecter la position des ombres du véhicule [14]. Cet algorithme fournit le point de contact entre le véhicule et la chaussée.

Ainsi, en prenant en considération l'hypothèse « route plane » et en ayant localisé le véhicule dans l'image, nous pouvons calculer la distance inter-véhicules [16]. Selon le modèle sténopé présenté dans les figures 4 et 5, nous pouvons extraire la distance entre deux véhicules comme suit :

$$Z_p = \frac{H \left(f^2 + p^2 \left(\frac{N_H}{2} - y_h \right) \left(\frac{N_H}{2} - y_p \right) \right)}{f \cdot p \cdot (y_p - y_h)} \quad (1)$$

Où :

- Z_p : distance entre deux véhicules ;
- H : hauteur de la caméra par rapport au sol ;
- p : pitch du capteur (taille de pixel) $p = 8,8\mu\text{m}$;
- N_H : nombre de lignes dans l'image ;
- y_h : numéro de ligne de l'horizon (en pixel) ;
- y_p : numéro de ligne correspondant à l'obstacle (en pixel) ;
- f : focale de la caméra en (m).

Cette distance est aussi exprimée par l'équation (2) en fonction du vecteur d'état par : (x_1, y_1) : coordonnées du véhicule 1, (x_2, y_2) : coordonnées du véhicule 2.

$$Z_p = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

En effet, cet algorithme de détection et de localisation [14] a été testé sur plusieurs scénarios, de type autoroute, interurbain et urbain, à différents moments de la journée. Ce système peut détecter et localiser un véhicule jusqu'à

Figure 4 Caractéristiques du système de vision

Figure 5 Modèle sténopé de la caméra

60 mètres avec une précision de 20 %. La précision dépend essentiellement de la localisation de la ligne d'horizon.

Caractéristiques et contraintes des données GPS

Précision du GPS

La qualité des mesures du système GPS dépend de deux paramètres : la latence et l'erreur de mesure sur la position. Les erreurs se produisent en raison des retards lors de la transmission du signal satellite dans les différentes couches de l'atmosphère et à cause de l'imprécision des horloges intégrées. Les erreurs dues au

Tableau 1 Paramètres statiques calculés à partir des mesures réelles (gps)

Mesures	Param	Stat	Horiz
POS	MES	Mes	Theo
X _{MEAN}	559 662,4	h _{MEAN}	1,395
Y _{MEAN}	6 922 407	h _{RMS}	1,594
Z _{MEAN}	82,07	h _{CEP}	1,263
		h _{R95}	2,85
			2,790

retard atmosphérique sont corrélées spatialement lorsque deux récepteurs sont proches l'un de l'autre. L'erreur dans la mesure de position est représentée par l'écart entre la position mesurée et la position réelle. Dans le cadre du projet FUI E'MOTIVE [26], nous avons effectué une série de mesures permettant de calibrer les capteurs GPS. L'erreur sur la position horizontale est calculée par la formule suivante :

$$dh = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (3)$$

Où l'écart de position est donné par :

$$dx = X - X_0, dy = Y - Y_0$$

Où (X, Y) correspond à la position mesurée par le GPS, et (X₀, Y₀) à la position exacte géo-référencée. Ensuite, les coordonnées planes sont traitées pour extraire des paramètres statistiques :

- h_{MEAN} correspond à l'erreur moyenne ;
- h_{RMS} correspond à l'écart quadratique moyen (*Root Mean Squared error*) ;
- h_{CEP} correspond à l'erreur circulaire probable (*Circular Error Probable*) ;
- h_{R95} correspond à l'erreur probable à 95 %.

Avant d'utiliser les données GPS réelles, nous devons estimer les erreurs et l'incertitude de positionnement ainsi que les latences associées avec les récepteurs GPS [18]. Les différents paramètres statistiques, relatifs aux erreurs horizontales, sont récapitulés dans le tableau 1.

Toutes les mesures sont définies en mètre. L'écart moyen mesuré h_{MEAN} est de l'ordre de 1,4 m. Cette valeur ne peut être considérée comme négligeable. Nous allons devoir en tenir compte lors des transformations des données GPS pour pouvoir les utiliser dans le simulateur ns-2.

Après avoir analysé les trames des données GPS nous avons constaté que pour avoir une base de données réelles utilisable, nous devons la réduire en effectuant un

sous-échantillonnage spatio-temporel. Pour cela, nous avons fixé deux conditions à respecter :

- au maximum 1 mesure par seconde,
- un déplacement minimum de 1,4 m.

Le déplacement de 1,4 m correspond à l'écart-type moyen h_{MEAN} .

Synchronisation des données GPS

Les véhicules LaRA devaient évoluer dans un réseau *ad hoc* dont la configuration est fortement dynamique. Ils ne sont pas configurés pour être synchronisés entre eux avec ce réseau. Nous avons donc été confrontés au problème de non-synchronisation temporelle des mesures de géolocalisation GPS. Afin de résoudre ce problème, une analyse et un pré-traitement ont été nécessaires pour valider les données de géolocalisation. Pour synchroniser les bases de temps, nous avons analysé les temps pour un même événement enregistré par les trois véhicules. Un événement peut être défini par la position particulière d'un véhicule. Nous avons remarqué que les variations temporelles sont dues à :

- la désynchronisation des bases de temps,
- la latence de la transmission de l'événement,
- les délais de la réception.

Nous avons estimé les temps de latence dans la chaîne de traitement, ce qui nous a permis d'estimer le décalage temporel entre les trois bases de temps. Les données des trois véhicules ont ensuite été reconstruites dans une base de temps unique. Cela permet d'obtenir un seul flux de données synchronisées. La figure 6 présente le problème de synchronisation entre trois bases de données enregistrées.

Figure 6 Bases de temps des données enregistrées dans les véhicules LaRA

Les relations entre les bases de temps sont exprimées par les équations suivantes :

$$T_{(Ai/B)} = T_{(Ai/A)} + \Delta T_{r(Ai/AB)} - \Delta_{BA} \quad (4)$$

$$T_{(Bi/A)} = T_{(Bi/B)} + \Delta T_{r(Bi/AB)} - \Delta_{BA} \quad (5)$$

Où :

- A, B, C sont les véhicules de l'essai ;
- $T_{(Bi/A)}$: date de l'événement (i) observé par le véhicule B, référencée dans la base de temps du véhicule A après sa réception. Cette date est donnée avec une erreur à cause des latences, des délais de transmission et du décalage entre les bases de temps ;
- $T_{(Ai/B)}$: date de l'événement (i) observé par le véhicule A, référencée dans la base de temps du véhicule B après sa réception ;
- $\Delta T_{r(Ai/AB)}$: temps de la latence dans la transmission entre les véhicules A et B de l'événement (i) observé par le véhicule A ;
- Δ_{BA} : différence entre les deux bases de temps.

Pour estimer le décalage dans les bases de temps, nous posons les hypothèses suivantes :

1. la datation d'un événement perçu par un véhicule est correcte seulement dans sa propre base de temps ;
2. les latences sont constantes, les délais sont variables ;
3. les systèmes de communications sont symétriques.

Ainsi, on considère que les temps de transfert minimums sont équivalents entre les trois véhicules et exprimés par l'équation suivante :

$$\Delta_{BA} = \frac{\min \{T_{A/B_i} - T_{B/B_i}\} - \min \{T_{B/A_i} - T_{A/A_i}\}}{2} \quad (6)$$

Où $T_{(N/Mi)}$ est la référence dans la base de temps du véhicule N liée à un événement (i) reçu par le véhicule M. La durée $\Delta T_{r(Mi/MN)}$ est le temps de transmission entre le véhicule M et le véhicule N liée à l'événement perçu par le véhicule M. En traitant les fichiers des données de géolocalisation, nous avons un grand nombre d'événements, ce qui nous permet d'obtenir une bonne estimation de Δ_{BA} .

Description de la méthode

Intégration de données GPS réelles dans les simulations V2V

Nous avons traité les données de positions réelles et de vitesse de chaque véhicule à chaque instant donné. Nous les avons intégrées dans nos simulations V2V sous le simulateur ns-2. Nous avons généré des traces qui forment la trajectoire des véhicules communicants à l'aide de données de géolocalisation réelles.

Dans cette partie, nous présentons les résultats de simulations des protocoles de routage effectués dans ns-2 en intégrant les traces de véhicules prétraitées.

Nous expliquons les scénarios de simulations V2V :

D'une part, pour simuler la propagation des signaux, dans le cadre de réseaux WiFi, le simulateur ns-2 utilise, par défaut, un modèle de propagation simple qui ne prend pas en compte les obstacles de l'environnement et qui caractérise approximativement le monde réel où circulent les véhicules [19, 20]. C'est pour cela que nous avons choisi d'utiliser le modèle de propagation TwoRayGround qui est le modèle le plus utilisé pour les simulations V2V. Chaque véhicule envoie ses informations de position et de vitesse en utilisant un protocole de routage. L'efficacité de la transmission des données peut être améliorée grâce à la conception de la couche MAC qui est relative au protocole de routage. De plus, les protocoles associés aux couches applicatives peuvent aussi s'adapter à l'évolution des conditions de transmissions entre les nœuds. Une augmentation de taille du paquet est observée pour augmenter le débit lorsque la distance entre les véhicules est petite et que la qualité de la liaison est bonne [21].

D'autre part, les protocoles de routage testés tels que le protocole AODV et le protocole DSR font partie des protocoles réactifs. Par contre, le protocole DSDV est un protocole proactif. D'une manière générale, ces protocoles de routage (proactifs et réactifs) sont bien adaptés aux réseaux ad hoc avec une étendue faible ou moyenne, mais atteignent leurs limites pour des réseaux ayant un nombre élevé de nœuds [28].

Ainsi, le protocole géographique GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) est proposé par Karp et Kung [22]. Ce protocole est basé sur la localisation d'information. Il utilise en général un mécanisme de *forwarding* et les informations géographiques des nœuds qui sont proches des destinations, afin de transmettre les paquets de données et d'établir une meilleure communication. Ce protocole a de meilleures performances que le protocole AODV dans des environnements de type autoroute ou urbains. Par contre, cet algorithme est confronté à quelques problèmes lorsqu'il est utilisé dans les grandes villes. En effet, l'existence

d'obstacles, tels que les bâtiments, dans les environnements urbains peut interrompre la communication entre véhicules [33].

Dans ce contexte, nos résultats de simulations montrent que les protocoles DSR et DSDV atteignent la plus grande valeur de PDR (*Packet Delivery Ratio*) qui est de 100 % par rapport aux valeurs obtenues avec le protocole AODV. Par contre, le protocole de routage GPSR est caractérisé par une valeur faible de PDR, de l'ordre de 65 %. En effet, dans le routage géographique, les paquets de données sont transmis de la source à la destination à l'aide des informations fournies par le système de géolocalisation. Dans cette catégorie de routage, il est connu que le taux de livraison des paquets est acceptable et le délai de bout en bout est faible [21]. Les résultats obtenus sont justifiés par le fait que les nœuds inondent le réseau en envoyant des paquets de signalement contenant la position et l'identifiant du nœud. Cela provoque un plus grand nombre de collisions entre les paquets.

En dernière analyse de cette partie, les protocoles de routage AODV, DSR, DSDV et GPSR ont été choisis et simulés en utilisant les données réelles des GPS (positions et de vitesses). La topologie des simulations V2V est la même que celle utilisée dans les scénarios expérimentaux. Nous obtenons en sortie un fichier de trace qui contient toutes les informations sur les transferts de paquets lors de la simulation (type de routage des paquets, un protocole de transport, l'instant de réception, la taille des paquets). Les fichiers des traces sont traités et injectés dans RTMaps pour évaluer la performance des ADAS communicants selon les scénarios de communication simulés dans ns-2.

Intégration de résultats de simulation dans le système de prototypage

Notre plate-forme permet de simuler la communication et de réaliser la fusion de données provenant de différents systèmes, comme nous l'avons mentionné dans la première partie. Pour évaluer notre système, nous proposons de tester les protocoles de routage en intégrant les positions réelles des véhicules. Nous souhaitons ainsi améliorer la précision des simulations des systèmes de communication entre véhicules. Pour cela, les informations extraites des fichiers résultats de la simulation de réseau sous ns-2 sont transférées vers le système de prototypage sous RTMaps.

Évaluation d'un système d'alerte coopératif et résultats

Le travail effectué constitue une preuve de concept de l'ADAS coopératif, basée sur les technologies de

communication existantes. Notre évaluation consiste à déterminer la probabilité de collision entre véhicules. En utilisant notre base de données réelle et simulée, nous calculons le risque de pré-collision entre véhicules. L'indicateur de risque doit communiquer le risque de collision prévu au conducteur et l'assister dans une manœuvre de changement de voie exigé. Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à déterminer des valeurs caractéristiques pour l'estimation du risque. L'application d'alerte coopérative que nous avons développée intègre les données de deux systèmes de simulations (le simulateur ns-2 et RTMaps) dans le cadre d'une nouvelle plate-forme de prototypage. Dans ce but, nous avons implémenté un composant RTMaps pour fusionner les informations issues de la simulation du réseau V2V avec les enregistrements des données capteurs. Ce composant permet de rejouer les données des véhicules acquises sous RTMaps avec des caractéristiques de réseaux V2V calculées par le simulateur ns-2.

Dans cette évaluation, nous testons la performance des algorithmes de routage et leurs conséquences sur les systèmes ADAS communicants. Dans l'objectif d'évaluer et de déterminer la probabilité des risques de collision, le système ADAS communicant peut être analysé à travers les deux paramètres suivants :

Le *Temps à collision* (TTC) représente la période de temps précédant une collision probable. Ce temps donne une marge de manœuvre nécessaire pour éviter la collision ou déterminer son impact si la collision est inévitable. Ce paramètre est donné avec l'équation suivante :

$$TTC \text{ (sec)} = D/V \quad (7)$$

Où D est la distance entre les véhicules (m), V est la vitesse relative entre les véhicules (m/s)

La *distance inter-véhiculaire* représente la distance qui existe entre deux véhicules qui se suivent.

La courbe de la figure 7 illustre la fonction classique du risque de collision qui est formée de deux zones où le niveau de risque est constant :

Figure 7 Fonction du risque [27]

1. si le TTC est inférieur à 3 secondes : le risque est maximal et la collision est inévitable si un événement survient, comme par exemple un freinage brusque ;
2. si le TTC est supérieur à 5 secondes : ce temps donne la possibilité au conducteur d'anticiper le risque et de réagir correctement. Dans ce cas, le risque est minimal. Entre ces deux zones, il existe une partie où la variation du niveau de risque est linéaire en fonction du TTC. Jusqu'à maintenant, le TTC est toujours le principal indicateur de risque.

Pour évaluer un système d'alerte dans notre système de prototypage, nous considérons les deux types d'événements suivants :

Collision : cette situation se produit lorsque deux véhicules ont la même position à un instant donné.

Pré-collision : lorsque la distance inter-véhicules est inférieure à un seuil de sécurité ou la valeur du TTC est inférieur à 3 secondes, ce qui est le cas dans notre étude, le nombre de pré-collisions peut être considéré comme un indice de comparaison pour étudier la corrélation entre les données de référence enregistrées avec RTMaps et celles résultantes des situations du réseau V2V. Les données de référence permettent d'avoir la vérité terrain et donc de déterminer le nombre exact de situations de pré-collision. Nous nous intéressons à l'indice de pré-collision car nous ne disposons pas d'information concernant une vraie collision. Les valeurs de la distance entre véhicules et les temps à collision sont calculés en utilisant des données GPS transmises et les données obtenues par le réseau V2V simulé. Nous avons donc implémenté un module d'alerte qui envoie un signal d'alerte s'il existe un risque. La figure 8 montre le temps à collision entre les véhicules LaRA dans le scénario d'insertion.

Nous avons pour objectif de comparer la situation simulée avec celle de la vérité terrain et d'analyser le système d'ADAS communicant. Nous avons défini un indice, noté « écart par rapport à la Référence réelle E_{REF} », qui représente le rapport entre la simulation et la référence réelle. Cet indice est exprimé par l'équation suivante :

$$E_{REF} = N_{BD}/N_{REF} \quad (8)$$

Où :

N_{BD} représente le Nombre de bonnes détections de risque.
 N_{REF} représente le Nombre de situations de risque issues de la référence terrain. Le tableau 2 récapitule les valeurs de paramètres d'évaluation obtenues pour le système d'alerte prototypé.

Figure 8 TTC entre les véhicules communicants

Tableau 2 Paramètres d'évaluation du système d'alerte prototype

Scénario de communication (AODV)	Platooning	Croisement des véhicules
N(Risque) REF	949	1013
N(Risque) Simulation	1 079	393
Nombre de mauvaises détections du risque	130	620
Écart par rapport à la référence réelle	0,14	0,61

Avec l'intégration des données simulées, plus précisément les données des paquets envoyés et reçus dans RTMaps, nous avons évalué notre système d'alerte en calculant les valeurs de la distance et du temps à collision. Comme le soulignent les données récapitulées dans le tableau 3, le nombre de risques détectés par un ADAS coopératif simulé en utilisant le protocole AODV est très proche de celui obtenu avec la vérité terrain. Cependant, ce protocole n'est pas idéal car il a généré 145 mauvaises

alertes. En comparant ce protocole avec les autres protocoles étudiés, nous trouvons que son écart par rapport à la référence E_{REF} est élevé. Ceci est justifié par le fait que ce protocole avait un taux de livraison de paquets élevé et un délai de bout en bout assez faible. Les protocoles DSDV et GPSR sont caractérisés par un écart E_{REF} très faible mais avec un nombre de détection de pré-collision très faible. Avec le protocole GPSR, le taux de livraison de paquets est faible générant ainsi de mauvaises détections de risque qui peuvent influencer le bon fonctionnement du système ADAS. Pour le protocole DSR, le délai de bout en bout est très élevé. Cela justifie les mauvais résultats de détection du risque. Cependant, il faut noter que ces quatre protocoles ne sont pas les mieux adaptés pour des applications ADAS car ils présentent un nombre N_{MD} très élevé, en notant que ce nombre doit être quasi nul dans les situations idéales.

Tableau 4 donne aussi le pourcentage de pré-collisions en utilisant les protocoles de routage dans le scénario « insertion de véhicule ».

Nous pouvons observer qu'avec chaque protocole nous obtenons un pourcentage différent d'alerte pré-collision. Ceci signifie que la réaction et le fonctionnement des systèmes ADAS ne sont pas stables. Il change selon le protocole utilisé quelle que soit la vitesse des véhicules. Cela est

Tableau 4 Pourcentage d'alertes pré-collision correctes par rapport aux pré-collisions détectées en utilisant le protocole de routage (intersection scénario)

Pré-collision (en %)	Vitesse	
	15 km/h	30 km/h
GPSR	22,74	36,96
AODV	36,08	56,70
DSR	53,08	76,51
DSDV	29,77	40,88

Tableau 3 E_{REF} dans le scénario d'insertion du véhicule

Scénario d'insertion du véhicule	AODV	DSR	DSDV	GPSR
Nombre de risques détectés (référence réelle)	311	311	311	311
Nombre de risques détectés (simulation)	291	193	23	39
Nombre de bonnes détections du risque	146	75	7	17
Nombre de mauvaises détections du risque	145	118	16	22
Nombre de non-détection du risque	165	236	304	294
Écart par rapport à la référence	0,46	0,24	0,022	0,054

illustré avec le protocole GPSR, où le pourcentage de pré-collisions détectées correctes est de 22,74 % à 15 km/h et de 36,96 % à 30 km/h. Le meilleur résultat est obtenu avec le protocole DSR, et cela quelle que soit la vitesse (Tableau 4).

Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une étude de couplage entre plusieurs systèmes afin de réaliser un système de prototypage d'ADAS communicants. Dans cette étude nous avons évoqué l'idée de coopération entre deux plateformes logicielles RTMaps et le simulateur ns-2. Ce couplage nous a permis d'améliorer la mise en œuvre du système de perception et du système de communication par l'utilisation des données réelles issues de véhicules instrumentés. Les scénarios de communications ont été reproduits dans ns-2 en utilisant différents protocoles de routage et des données réelles de géolocalisation : positions et vitesses. Cela contribue à tester les systèmes ADAS communicants et à améliorer leurs qualités et robustesse en ajoutant de nouvelles fonctionnalités. Dans les simulations V2V, les comportements des différents protocoles de routage et des différents modèles de propagation ont été simulés, puis intégrés dans notre système de prototypage. Enfin, la mise en œuvre d'un système d'alerte coopératif a été utilisée pour comparer le nombre de situations de type pré-collision obtenues dans les scénarios réels et simulés. La différence entre ces deux situations a été étudiée et testée pour différents scénarios routiers. Ce modèle, testé sur trois véhicules, peut être étendu à un plus grand nombre de véhicules instrumentés. Pour améliorer notre système d'alerte coopératif, certains points nécessitent d'être renforcés en commençant par l'enrichissement de la base de données de trafic utilisée dans le simulateur ns-2. Une autre perspective est d'intégrer le module de la norme IEEE 802.11P qui a été développé pour les applications V2V dans nos simulations. Nous souhaitons réaliser des simulations plus précises avec de nouveaux protocoles de routage mieux adaptés aux réseaux V2V et surtout avec un modèle de propagation plus réaliste. Ceci nous permettra de continuer à analyser le lien qui existe entre les algorithmes des systèmes ADAS et les différentes technologies des réseaux V2V.

Références

1. Laughery KR (2006) Safety communications: Warnings, *Appl. Ergonom* 37(4): 467–478.
2. Piorkowski M, Raya M, Raya M, Lugo AL, Papadimitratos P (2008) TraNS: Realistic joint traffic and network simulator for vanets, *ACM Mobile Computing and Communications Review*, 12(1): 31–33.
3. Wegener A, Piorkowski M, Raya M, Hellbrück H, Fischer S, Hubaux JP (2008) Traci: an interface for coupling road traffic and network simulators, In *CNS '08: Proceedings of the 11th Communications and Networking Simulation Symposium*, pp. 155–163.
4. Saha AK, Johnson DB (2004) Modeling Mobility for Vehicular Ad Hoc Networks, *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks* New York, US, pp. 91–92.
5. Karnadi FK, Mo ZH, Lan KC (2007) Rapid Generation of Realistic Mobility Models for VANET, *Wireless Communications and Networking Conference*, WCNC, Australia, pp. 2506–2511.
6. Naumov V, Baumann R, Gross T (2006) An Evaluation of Inter-Vehicule Ad Hoc Networks Based on Realistic Vehicular Traces, *ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (Mobihoc)*, Italie, pp. 108–119.
7. Choffnes DR, Bustamante FE (2005) An integrated mobility and traffic model for vehicular wireless networks, *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, US, pp. 69–78.
8. Harri J, Fiore M, Filali F, Bonnet C (2006) “VanetMobiSim : generating realistic mobility patterns for VANETs,” *3rd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks* 29, Los Angeles, US.
9. LaRA LA Route Automatisée (2003) <http://www-roc.inria.fr/imara/LaRA2>.
10. Nashashibi F (2000) RT-MAPS : A framework for prototyping automotive multi-sensor applications, *Intelligent vehicles symposium*, vol. 8, pp. 99–103.
11. Network simulator (1995) The officiel site, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
12. Khaled Y, Ducourthial B, Shawky M (2005) IEEE 802.11 Performances for Inter-vehicle Communication Networks, In *IEEE Vehicular Technology Conference - VTC'05 61st, Vol.5*, pp. 2925–2929.
13. www.winpcap.org
14. Khammari A, Nashashibi F, Abramson Y, Laugeau C (2005) Vehicle detection combining gradient analysis and AdaBoost classification, *IEEE ITS*, Vienna, Austria.
15. Joly I (2003) *Les rapports Espace-Temps de la Mobilité quotidienne et les systèmes productifs des transports urbains* Atelier technique du Plan sur les transports urbain, Laboratoire d'économie des transports-ENTPE Lyon 2-UMR CNRS 5593.
16. Challita G (2009) *Amélioration du positionnement des véhicules communicants utilisant des récepteurs GPS et des systèmes de vision* Thèse Litis-INSA de Rouen.
17. Challita G, Mousset S, Nashashibi F, Bensrhair A (2009) Particle filters for accurate localization of communicant vehicles using GPS and vision systems, *Computer Systems and Applications. AICCSA*.
18. Challita G, Bensrhair A, Rebut J, Lelevé (2007) Method for detecting rain on a windscreen, patent extended to USA, UK and European Application, N od publication: US 2007/0267993A1, 22 November. <http://www.freepatentsonline.com/y2007/0267993.html>.
19. Martinez FJ, Toh CK, Cano JC, Calafate CT, Manzoni P (2009) *Realistic Radio Propagation Models (RPMs) for VANET*

- Simulations*, IEEE Wireless Communications and Networking Conference.
20. Ledy J, Boeglen H, Hilt B, Abouaissa A, Vauzelle R (2009) *An Enhanced AODV Protocol for VANETs with Realistic Radio Propagation Model Validation*, ITS-T conference, Lille, France.
 21. Guo H (2009) *Automotive Informatics and Communicative Systems: Principles in vehicular networks and Data exchange*. Information Science Reference.
 22. Karp B, Kung HT (2000) *GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks*. MobiCom.
 23. Marchau VAWJ, Van Der Heijden RECM, Molin EJE (2005), Desirability of advanced driver assistance from road safety perspective: the case of ISA *Safety Sci.* 43(1): 11–27.
 24. Ammoun S (2007) *Contribution des communications intervéhiculaires pour la conception de systèmes avancés d'aide à la conduite*, Thèse de Doctorat, Mines Paris, Paris Tech, Paris.
 25. Salameh N, Mousset S, Bensrhair A (2011) Evaluating New Prototyping Framework Based on Combining Embedded Sensors Data and ns2 Simulations, In *The 11th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2011-IEEE)*, St. Petersburg, Russia, pp. 571-578.
 26. Malek M (2011) *Rapport de Modélisation GPS*, dans le cadre du projet FUI E'MOTIVE, LITIS-INSA, Rouen.
 27. Ammoun S, Nashashibi F (2009) Real time trajectory prediction for collision risk estimation between vehicles. In *IEEE 5th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, pages 417-422.
 28. Jerbi M (2008) *Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain: Routage et geocast basés sur les intersections*, thèse de doctorat, Université d'Evry-Val d'Essonne.
 29. Deegener M, Festag A, Franz W, Kellum CC, Baldessari R, Bodeker B, et al. (2007) Car-2-car communication consortium-manifesto.
 30. The Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems (CVIS) (2006) www.cvisproject.org.
 31. Karnadi FK, Mo ZH, Lan K-C (2007) *Rapid Generation of Realistic Mobility Models for VANET*, Wireless Communications and Networking Conference, IEEE, pp. 2506-2511.
 32. Guo H (2009) *Automotive Informatics and Communicative Systems: Principles in vehicular networks and Data exchange*. Information Science Reference.