

Assistance de l'infrastructure RSU pour l'allocation de ressources NR V2X mode 2

Jean-Christophe SIBEL, Qianrui LI

Mitsubishi Electric R&D Centre Europe
1 allée de Beaulieu, CS 10806, 35708 Rennes Cedex 7, France

{j.sibel,q.li}@fr.mercedes-mee.com

Résumé – Le mécanisme d'Inter-User Coordination (IUC) de la Rel-17 du 3GPP NR V2X solutionne le problème du nœud caché observé dans la réservation de ressources prévue par le mode 2 du standard. Dans le cadre d'une réservation avec Semi-Persistent Scheduling (SPS), la réservation SPS peut durer jusqu'à 15sec. Par conséquent, avec des véhicules à vitesse élevée, le résultat du sensing au début de la réservation SPS n'est plus pertinent durant cette même réservation, le sensing étant locale en espace et en temps. Se pose ainsi le problème que nous appelons le *Hidden Incoming Node Problem* (HINP): deux réservations SPS réalisées chacune par un couple de véhicules initialement hors de portée risquent de rentrer en collision au moment où les couples se trouvent à portée l'un de l'autre. Le HINP n'étant pas prévu par l'IUC, nous proposons une solution Rel-17 compliant fonctionnant grâce à l'intervention de l'infrastructure de bord de route, à savoir les Road-Side Units (RSU). Cette solution a pour but d'enrichir l'information délivrée par l'IUC de sorte que le HINP se trouve significativement diminué.

Abstract – The Inter-User Coordination (IUC) mechanism from the Rel-17 of 3GPP NR V2X solves the hidden node problem observed in the resource reservation of the standard mode 2. In case of a Semi-Persistent Scheduling (SPS) reservation, the whole duration of the reservation can reach 15sec. When working with high speed vehicles, the sensing result at the beginning of the reservation becomes irrelevant during the said reservation, because of the inner local nature of the sensing in space and time. Here comes a new problem that we call the *Hidden Incoming Node Problem*: two couples of vehicles that perform each one an SPS reservation at a moment when they are out of their respective range are likely to suffer from packets collisions as soon as one couple enters in the other couple range. HINP is not handled by IUC, therefore, we propose a Rel-17 compliant solution based on the use of the infrastructure embodied by the Road-Side Units (RSUs). The solution is aimed at enriching the information provided by IUC in such a way that HINP is significantly reduced.

1 Introduction

L'avenir du système de transport intelligent implique un transfert des fonctionnalités manuellement contrôlées vers le paradigme de l'automatisation. Les applications émergentes telles que la conduite autonome et le platooning de véhicules [1] ont imposé des contraintes strictes en matière de connectivité, de débit, de fiabilité et de latence sur la conception de la couche d'accès radio 5G pour le Vehicule-to-everything (V2X).

Le 3GPP a mis en place un ensemble de procédures au niveau de cette couche d'accès [2] permettant d'atteindre les exigences de performances définies préalablement [3], dont l'allocation de ressources. D'après les spécifications, il existe un mode d'allocation, noté mode 2 [4] où les UEs gèrent les ressources en autonomie sans intervention du réseau.

Dans ce mode, un UE réserve en une fois un certain nombre de ressources. Chaque ressource est un bloc contigu d'un certain nombre de sous-porteuses (subchannel) sur un ensemble contigu d'un certain nombre de symboles OFDM (slot). L'ensemble des ressources réservées par le UE est alors utilisé pour transmettre des données à l'aide de mécanismes de transmission-retransmission comme l'HARQ. Les ressources sont sélectionnées à partir du résultat de sensing du UE trans-

metteur, en charge par défaut de la réservation. Seule une ressource considérée libre peut alors être sélectionnée.

Le défaut majeur de ce mécanisme est le Hidden Node Problem (HNP) issu du fait que le UE transmetteur ne prend en compte que son sensing. Le HNP est résolu en Rel-17 [5] par l'Inter-User Coordination (IUC) qui autorise le UE transmetteur à recevoir le résultat de sensing de son UE récepteur afin d'affiner sa sélection de ressources.

Dans cet article, nous abordons une extension du HNP, le *Hidden Incoming Node Problem* (HINP). Le HINP survient dans le cas d'une réservation de ressources longue durée, typiquement par le Semi-Persistent Scheduling (SPS) déjà proposé en Rel-14/15 [6]. Le SPS, utilisé pour bien contrôler la latence au niveau applicatif dans le cas d'un trafic périodique, engendre une durée totale de réservation bien plus longue qu'une réservation sans SPS. Cette longue durée provoque une obsolescence du résultat de sensing qui a mené à la dite réservation du fait de la mobilité des UEs. Cette obsolescence engendre alors de potentielles collisions de paquets, voire des interférences entre les UEs. Nous proposons ici une solution 3GPP compliant, appelée *EXT-ASSIST*, qui fait intervenir les Road-Side Units (RSU) pour enrichir l'information délivrée par l'IUC. Nous obtenons alors des performances de commu-

nication significativement meilleures par rapport à l'IUC seule dans un scénario où la congestion s'avère importante.

L'article est organisé comme suit : dans le paragraphe 2 nous faisons un rappel sur la réservation de ressources et l'IUC, dans le paragraphe 3 nous présentons le HINP, nous en détaillons la solution dans le paragraphe 4 et nous terminons par une analyse d'évaluations en paragraphe 5.

2 Réserveation de ressources

Nous présentons ici les fondamentaux de la réservation de ressource du 3GPP NR V2X mode 2, à savoir, les trois étapes sensing/selection/réserveation ainsi que l'IUC.

2.1 Procédure de réserveation de ressource

La réserveation de ressources est une procédure en trois étapes [2]. La première étape est le sensing. Lorsqu'il n'émet pas, un UE extrait sur une fenêtre temporelle donnée les ressources disponibles parmi un pool de ressources pré-configuré et partagé avec plusieurs autres UEs. Par « disponible » nous entendons ici une ressource dont le canal de contrôle (SCI) n'a pas pu être décodé ou dont le SCI a été décodé mais la puissance reçue (RSRP) par le UE est trop faible par rapport à un seuil pré-configuré. Le SCI contenant également les informations de réserveations complètes et les paramètres SPS, le UE extrapole les informations pour prédire quelles ressources seront utilisées durant sa période de réserveation souhaitée.

Dans la deuxième étape, le sous-ensemble de ressources disponibles définit le pool de candidats pour transmettre un paquet dans la fenêtre de sélection à venir. Ce pool doit représenter au moins 20% (ou 35% ou 50% selon la priorité du trafic) du pool de départ, sans quoi le seuil RSRP est augmenté par pas de +3dB jusqu'à atteindre cette taille. Le UE sélectionne de manière aléatoire N_r ressources parmi les candidats retenues pour sa transmission et ses éventuelles retransmissions (dans ce cas $N_r > 1$). La troisième et dernière étape est la réserveation de ressources à proprement parlé où le UE transmet sur ces ressources ce qui permet de signaler aux autres UEs via le SCI les ressources réservées ainsi que les paramètres SPS.

La couche de SPS vient par-dessus la réserveation ci-dessus. Elle consiste à répéter N_{RRI} fois la réserveation de ressources à intervalles réguliers, notés RRI , ce qui permet d'éviter cette procédure en trois étapes à chaque fin de période. La période étant déterminée par le trafic au niveau applicatif, on assure ainsi par ce biais un bon contrôle de la latence.

2.2 Inter-User Coordination

La réserveation de ressources est sujette au HNP décrit dans la Fig. 1. Dans cet exemple, TX1 sélectionne des ressources pour transmettre un paquet à RX1 selon un pool de candidats issus de son propre sensing. Le véhicule noté « Hidden » est hors de portée de TX1 et il transmet des paquets vers un récepteur quelconque. TX1 sélectionne alors des ressources dont certaines

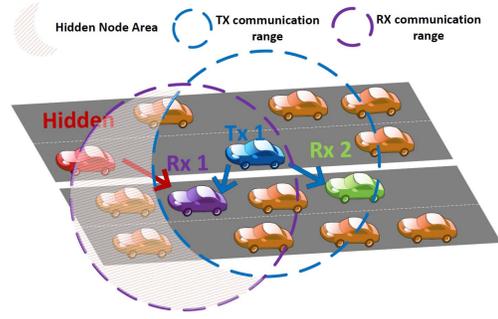


Figure 1 – Le problème du nœud caché.

sont déjà prises par Hidden. RX1 subit alors une collision car il se trouve dans la portée de TX1 et Hidden, c'est le HNP.

Dans l'une des variantes de l'IUC, on résout le HNP en laissant RX1 communiquer à TX1 un ensemble de ressources dites « non préférées », par exemple les ressources utilisées par Hidden. TX1 affine alors son pool de candidats pour la sélection de ressources. On peut interpréter cette assistance comme une extension spatiale du sensing de TX1. Les évaluations au niveau des discussions RAN1 du 3GPP ont montré des gains significatifs de performance par l'IUC.

3 Hidden Incoming Node Problem

Pour présenter le HINP, nous considérons deux couples de UE, cf. Fig. 2, où le premier couple C_k en vert est constitué d'un master $T_{k,M}$ et d'un slave $T_{k,S}$ et le second couple C_j en bleu est constitué d'un master $T_{j,M}$ et d'un slave $T_{j,S}$. Le couple C_k démarre sa réserveation à l'instant $t_1^{(k)}$ et la termine à l'instant $N_k t_2^{(k)}$ où N_k est la valeur de N_{RRI} choisie par $T_{k,M}$. De la même façon, nous définissons $t_1^{(j)}, N_j, N_j t_2^{(j)}$ pour le couple C_j . Nous définissons l'intervalle temporel d'intersection entre les réserveations $I_{k,j} = [t_1^{(k)}; N_k t_2^{(k)}] \cap [t_1^{(j)}; N_j t_2^{(j)}]$. Notons $d_{k,j}(t)$ la distance géométrique entre les couples à l'instant t . Nous définissons ainsi $tt_{k,j} = \{t \in I_{k,j} | d_{k,j}(t) \leq R\}$ l'intervalle temporel où les couples sont à portée, où R est la portée supposée ici égale pour les deux couples.

Le HINP survient si on trouve durant $tt_{k,j}$ au moins une ressource réservée par C_k mais aussi par C_j , autrement dit s'il y a collision de paquets dans $tt_{k,j}$. Cette collision de paquets peut devenir une interférence qui dégrade le SINR et qui, par

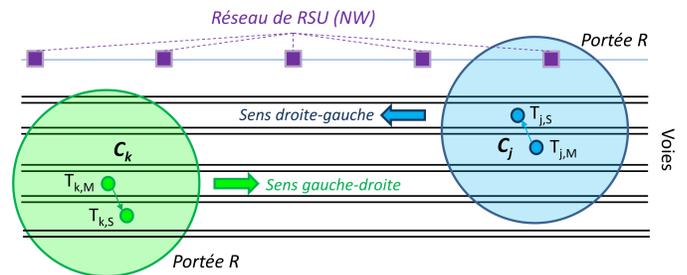


Figure 2 – Scénario pour la description du HINP.

conséquent, augmente le taux d'erreur paquet des liens. Le HINP est donc une prédiction au niveau de la couche MAC qui a une conséquence potentielle au niveau de la couche PHY. Le HINP n'est pas traité par l'IUC parce que l'IUC génère une assistance qui est locale dans l'espace et dans le temps. L'IUC ne peut pas rendre compte des interférences à venir durant $tt_{k,j}$.

Nous pouvons observer le HINP en observant la valeur du RSRP mesuré au moment de la sélection de ressources en comparaison de la valeur du RSRP mesuré lorsque les couples se croisent, cf. Fig. 3. Comme expliqué dans le paragraphe 2, le RSRP influe sur la décision de considérer comme candidate une ressource mesurée. D'après la figure Fig. 3, avec un seuil arbitraire de -70dBm, avec une sélection faite à $t = 1000$ ms alors que les couples sont hors de portée, on comprend qu'une ressource prévue libre par C_j avec un RSRP de -91dBm devient zone de collision avec C_k au moment où les couples se croisent à $t = 13000$ ms, le RSRP mesuré par C_j atteignant -57dBm et étant au-delà du seuil.

4 Solution: assistance étendue

Nous mettons en place un service auquel souscrivent l'ensemble des UEs le long des voies sur lesquelles ils circulent. Ce service est déployé dans les UEs et dans les RSUs distribués régulièrement le long des voies comme le montre Fig. 2. Les RSUs forment alors un réseau NW de RSUs qui dispose d'un serveur applicatif SRV. Nous supposons que les RSUs ont une connexion parfaite entre eux de sorte que toute information remontée au SRV est à disposition de n'importe quel RSU. Le service permet au SRV de connaître à chaque instant position et vitesse de tout UE de sorte que sa trajectoire est prédictible. A partir de ces trajectoires, SRV est capable de prédire pour n'importe quel couple de UEs les valeurs de RSRP étant donné un modèle de canal comme on peut le voir Fig. 3. Nous proposons alors l'algorithme suivant comme solution:

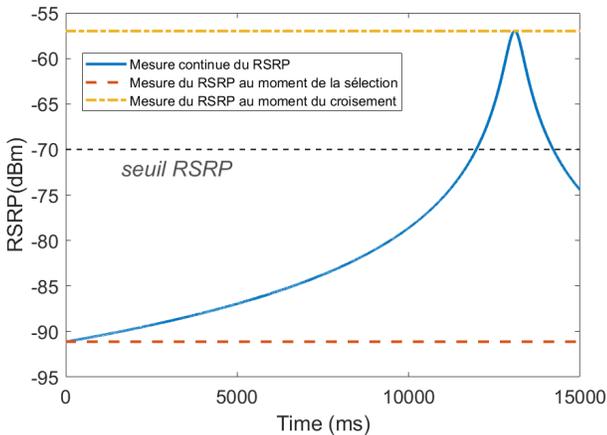


Figure 3 – Evolution du RSRP.

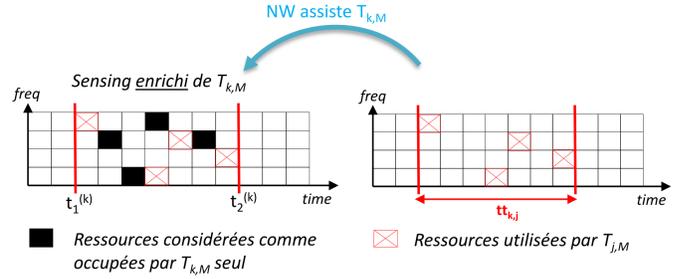


Figure 4 – Assistance de SRV.

Algorithm EXT-ASSIST: Pour chaque UE master $T_{k,M}$ qui démarre une sélection de ressources, $T_{k,M}$ donne une estimation de $t_1^{(k)}, N_k, t_2^{(k)}$ à SRV. Pour chaque autre UE master $T_{j,M}$, SRV évalue alors $I_{k,j}$. Si $I_{k,j}$ est non-vidé, SRV évalue $tt_{k,j}$. Si $tt_{k,j}$ est non-vidé alors SRV déclenche l'assistance du NW. Pour que l'assistance du NW soit Rel-17 compliant, nous la générons comme l'ensemble des ressources utilisée par $T_{j,M}$, cf. Fig. 4. Elles seront ainsi comprises comme « non préférées » par $T_{k,M}$ qui les retirera ainsi du pool de sélection.

Le fonctionnement du EXT-ASSIST s'apparente à l'IUC au sens où le NW fournit une assistance pour étendre le résultat du sensing. Il s'apparente également à la réévaluation de ressources, une procédure de la Rel-17 autorisant $T_{k,M}$ à changer sa sélection juste avant sa réservation s'il constate que les ressources qu'il s'apprête à utiliser pour ses transmissions ne sont plus disponibles car d'autres UEs ont entre-temps démarré leurs transmissions. Le EXT-ASSIST propose une réévaluation prédictive au sens où c'est à partir des usages futurs et non présents des ressources qu'elle se réalise.

5 Evaluations

Dans ce paragraphe, nous testons la solution EXT-ASSIST par rapport à l'IUC couplée à la réévaluation.

5.1 Hypothèses

Nous considérons le scénario présenté Fig. 2 mais avec deux groupes de 100 véhicules à la place des deux couples. Les véhicules circulent sur un tronçon autoroutier de deux-fois-trois voies d'une longueur de 2km. Les groupes sont initialement distants de plus de 400m, la valeur R de la portée de communication, et se déplacent à une vitesse de ± 140 km/h. Ce déploiement revient à une distribution uniforme par groupe et par voie d'un véhicule tous les 10m. Tous les véhicules ont le même $RRI = 1000$ msec et le même $N_{RRI} = 15$ et démarrent leur réservation de ressources quasiment en même temps. Les paramètres radio issus de [7] sont décrits dans le tableau 1.

Table 1 – Paramètres radio.

| Canal | MCS | Bande | f_c | SCS |
|--------------------|---------------|-------|------------------|-------|
| LoS V2X CDL [8] | 16 QAM 1/2 | 20MHz | 6GHz | 15kHz |
| P_t | G_t | G_r | Taille d'un slot | |
| 23dBm | 3dB | 3dB | 14 symboles OFDM | |

5.2 Résultats et analyses

Nous considérons un cas avec $N_{SCH} = 4$ subcanaux (20MHz) où les UEs ont une très faible chance de s'interférer localement et un cas avec $N_{SCH} = 1$ subchannel (5MHz) proche de la congestion où les utilisateurs se challengent beaucoup pour accéder à la ressource et ont de grande chance de s'interférer (chaque subchannel s'étale toujours sur le même nombre de sous-porteuses). Les résultats sont présentés en Fig. 5 où la métrique de performance est le Packet Received Ratio (PRR) mesuré au fur et à mesure de la réservation de ressources jusqu'à un temps de $N_{RRIRRI} = 15$ sec. Le PRR est calculé comme le nombre total de paquets bien décodés divisé par le nombre total de paquets émis pour tous les UEs.

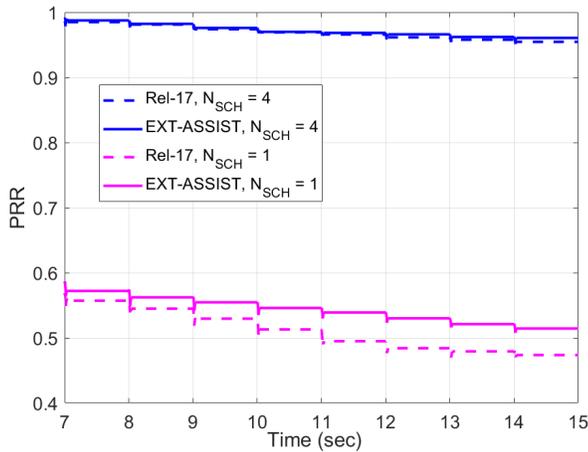


Figure 5 – Performance de EXT-ASSIST par rapport à l'IUC.

Nous observons à partir de $t = 7$ sec une diminution du PRR quelle que soit la solution et quelque soit le niveau de congestion. Compte-tenu de la mobilité des UEs, on peut montrer que les deux groupes de UEs commencent en effet à se détecter aux alentours de cet instant révélant ainsi le HINP. Par conséquent, les interférences engendrées dégradent les performances. Dans le cas $N_{SCH} = 4$, cette dégradation est cependant de 2% seulement alors qu'elle est de 14% dans le cas $N_{SCH} = 1$. Le HINP n'a d'impact que dans le cas d'une congestion significative, ce qui est logique compte-tenu de la probabilité de collision qui est plus grande. Ainsi, appliquer EXT-ASSIST dans le cas $N_{SCH} = 4$ n'apporte qu'un très faible gain de moins de 1%. En revanche, appliquer EXT-ASSIST dans le cas $N_{SCH} = 1$ s'avère plus pertinent puisqu'on observe un gain significatif de plus de 8% lorsque $t = 15$ sec.

6 Conclusion

L'allocation de ressources de la Rel-17 du 3GPP NR V2X présente des faiblesses car elle est fondée sur une procédure de sensing qui ne peut pas gérer la mobilité des véhicules en même temps que les longues durée de réservations SPS. Dans le cas d'un scénario autoroutier, nous profitons de l'existence des RSUs pour mettre en place un service déployé sur tous les véhicules pour relaxer la contrainte locale du sensing dans le temps et dans l'espace. Cette solution est construite pour être compliant avec le standard de manière à raffiner l'information fournie par l'IUC à l'aide d'une prédiction simple de l'environnement radio. La solution offre alors des performances significativement meilleures, surtout pour des cas de congestion.

References

- [1] "TR38.885: Study on NR Vehicle-to-Everything (V2X)," Technical Specification Group Radio Access Network, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Tech. Rep., March 2019.
- [2] "TR37.985: Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR," Technical Specification Group Radio Access Network, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Tech. Rep., December 2021.
- [3] "TR38.913: Study on scenarios and requirements for next generation access technologies," Technical Specification Group Radio Access Network, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Tech. Rep., June 2018.
- [4] M. H. C. Garcia, A. Molina-Galan, M. Boban, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, T. Şahin, and A. Kousaridas, "A Tutorial on 5G NR V2X Communications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2021.
- [5] M. Shehata, C. Ciocchina, and J.-C. Sibel, "On the performance of inter user coordination for resource allocation enhancement in nr v2x mode 2," in *Communication Technologies for Vehicles*. Springer International Publishing, 2021, pp. 3–14.
- [6] A. Mansouri, V. Martinez, and J. Härrı, "A first investigation of congestion control for lte-v2x mode 4," in *2019 15th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, 2019, pp. 56–63.
- [7] "TR37.885: Study on evaluation methodology of new Vehicle-to-Everything(V2X) use cases for LTE and NR," Technical Specification Group Radio Access Network, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Tech. Rep., December 2018.
- [8] "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 14)," Technical Specification Group Radio Access Network, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Tech. Rep., March 2017.