

Gestion adaptative des ressources radio dans un scénario de coexistence M2M/H2H

Safa Hamdoun¹ and Abderrezak Rachedi¹ and Yacine Ghamri-Doudane²

¹Université Paris-Est, LIGM (UMR 8049), CNRS, ENPC, ESIEE, UPEM, F-77454, Marne-la-Vallée, France

²L3i Lab (Pôle Sciences et Technologie), Université de La Rochelle, France

L'introduction des communications machine à machine (M2M) dans les futurs réseaux cellulaires fera l'objet d'une dégradation considérable des performances des applications traditionnelles existantes dites humain à humain (H2H). Dans cet article, nous considérons l'accès simultané aux ressources radio dans un scénario de coexistence M2M/H2H et ce à travers la technologie device-to-device (D2D). D'abord, nous formulons le problème de partage de ressources par un graphe biparti. Ensuite, nous proposons un mécanisme de contrôle de puissance pour les noeuds M2M basé sur une probabilité fixée par un contrôleur PID (proportionnel, intégrateur, dérivateur) reflétant le niveau d'interférence introduit par les noeuds M2M sur les services H2H. Enfin, nous évaluons l'impact de l'introduction des services M2M sur les performances des applications H2H en termes de débit et d'équité. Les résultats de simulation montrent que notre algorithme adaptatif de contrôle de puissance réduit l'impact des communications M2M sur les services H2H.

Keywords: Machine-to-machine (M2M), human-to-human (H2H), device-to-device (D2D), graphe biparti

1 Introduction

Les communications *machine à machine* (M2M) désignent un nouveau paradigme qui permet à une myriade de machines de communiquer entre elles de façon autonome [CL14]. Le M2M permet ainsi l'apparition de nouveaux services appartenant à différents domaines d'application tels que le transport, la santé et la surveillance améliorant ainsi le quotidien de la vie humaine. Le M2M a été normalisé dans les réseaux cellulaires LTE-A (Long term Evolution and its Advancement) par les *communications de type machine* (MTC). Deux scénarios peuvent être envisagés pour le M2M à savoir : le modèle client-serveur et le modèle *pair à pair* (P2P). Le premier scénario considère la communication entre *équipements MTC* (MTCDs) et un ou plusieurs *serveurs MTC* (MTCS) alors que le deuxième scénario considère la communication entre les MTCDs voisins. Le P2P est aussi connu dans les réseaux cellulaires 4G et ultérieurs sous *device-to-device* (D2D) [AWM14]. Bien que l'utilisation efficace des ressources ainsi que l'augmentation du débit soient les principaux avantages de la communication D2D, le problème de gestion d'interférence dû à la perte d'orthogonalité des sous canaux reste le principal enjeu. Dans cet article, nous réalisons les contributions suivantes :

- Nous proposons un algorithme flexible et dynamique d'allocation de ressources radio pour les communications M2M. Notre but est de gérer les situations d'interférences afin de garantir la qualité de service (QoS) des services H2H et ceci à travers le contrôle de puissance des MTCDs établie par un contrôleur PID de la théorie de contrôle.
- Nous étudions l'impact de l'algorithme d'ordonnancement adaptatif proposé sur les performances des services H2H en termes de débit et d'équité et nous le comparons avec d'autres algorithmes.

Le reste de cet article est organisé comme suit : dans la Section 2, le problème de partage de ressources est formulé. Nous présentons notre algorithme d'allocation de ressources pour MTCDs dans la Section 3. L'évaluation des performances de notre proposition est illustrée dans la Section 4, suivie par la conclusion dans la Section 5.

2 Formulation du problème

Nous considérons le problème de partage de ressources dans un scénario de coexistence M2M/H2H. Nous nous focalisons sur les sens uplink dans une seule cellule où la station de base (eNB) est située au centre comme illustrée sur la figure 1. Les MTCs communiquent à travers la technologie D2D. Pour plus de simplicité et sans perte de généralité, nous supposons que les communications D2D correspondent à la liaison entre MTCs et une machine de type tête de groupe appelée (MTCH). Nous supposons que

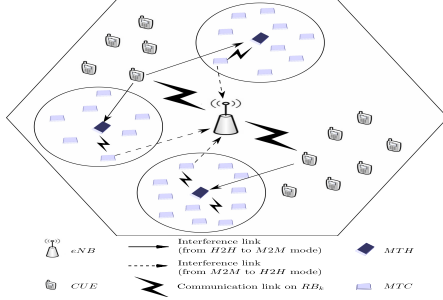


FIGURE 1: Scénario évalué

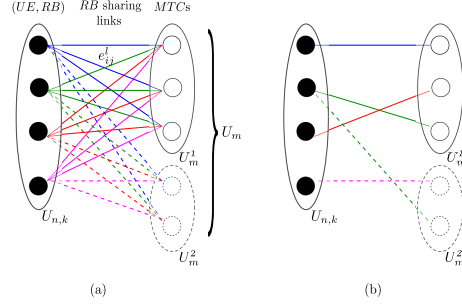


FIGURE 2: Exemple d'un graphe biparti

le partage de ressources radio RBs (unité minimale du processus d'allocation de ressources), entre les équipements utilisateurs (UEs) est interdit en raison de leur puissance de transmission relativement élevée (P_n). Par ailleurs, il n'y a pas de problème d'interférence à gérer entre UEs. Les MTCs seront attribués au plus un RB en raison de leur session limitée de transmission de données. Les MTCs appartenant au même groupe ne peuvent pas partager les ressources, ce qui permet d'éviter les interférences au sein du même groupe (proximité). Le partage de ressources entre les UEs et MTCs ainsi que parmi les différents groupes de MTCs est permis grâce à la faible puissance de transmission de ces derniers (P_m). Nous nous focalisons sur l'interférence intra-cellulaire, en particulier l'interférence à partir des UE à MTCH (*interférence du mode H2H sur le mode M2M*) et l'interférence à partir du MTC au eNB (*interférence du mode M2M sur le mode H2H*) [HRGD16]. Les gains de canaux de différents liens de communication et d'interférence sont déterminés à partir de l'affaiblissement de propagation (PL) et de l'évanouissement à petite échelle. Le débit (en bits par seconde) obtenu par un UE émettant sur la ressource RB_k , est donné par :

$$R_{U_n}^k = \beta \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_n g_{U_n}^k}{\sum_{l \in L} \sum_{j \in M} P_m g_{D_{j,l}^k, eNB}^k + \sigma^2} \right) \quad (1)$$

où le premier terme du dénominateur représente l'interférence produite par les MTCs de différents groupes sur l'eNB, tandis que le second terme représente la variance du bruit thermique, notée σ^2 .

$$R_{D_{m,t}^k}^k = \beta \cdot \log_2 \left(\frac{P_m g_{D_{m,t}^k, D_{m,r}^k}^k}{\sum_{i \in N, U_i} P_n g_{U_i, D_{m,r}^k}^k + \sum_{l \in L, l \neq t} \sum_{j \in M} P_m g_{D_{j,l}^k, D_{m,r}^k}^k + \sigma^2} \right) \quad (2)$$

où le premier terme du dénominateur représente l'interférence générée par le UE sur le MTCH, et le second terme du dénominateur représente l'interférence inter-groupes.

3 Algorithme adaptatif de partage de ressources radio pour M2M (A-M2M-RRSA)

3.1 Modélisation du problème de partage de ressources à l'aide d'un graphe biparti pondéré

Etant donné que les UEs sont prioritaires (les utilisateurs primaires), ces derniers seront attribués des ressources radio, RBs, exclusivement par des algorithmes d'ordonnancement conventionnels (tels que Round

Robin (RR), Proportional fair (PF)). Ensuite, nous modélisons le problème de partage de ressources une fois que les MTCDs sont introduits par un graphe biparti pondéré comme l'illustre la figure 2. Les sommets sont répartis en deux sous ensembles U_{n-k} et U_m . Le premier représente la paire (UE, RB) étant la solution α d'allocation de ressources des algorithmes conventionnels. Selon le scénario proposé dans la figure 1, les noeuds de l'ensemble U_m sont répartis en L groupes, $U = U_m \cup U_{n,k}$ and $U_m \cap U_{n,k} = \emptyset$. Chaque arête $e_{i,j}$ avec un sommet dans U_{n-k} et l'autre dans U_m représente les RBs partagés. Nous exprimons le poids associé à chaque arête par la somme des débits des UEs et MTCDs partageant la même ressource radio.

3.2 Affectation du poids à l'aide du régulateur PID

Après la modélisation du problème en graphe biparti, nous présentons une nouvelle méthode d'attribution de poids en se basant sur un contrôleur PID [Vis06]. Le régulateur PID prend comme entrée le signal d'erreur $e(t)$ qui représente l'écart entre le débit dit de référence du UE dans un scénario exclusif H2H et le débit actuel dégradé du UE dans un environnement de coexistence H2H/M2M et donne comme sortie le signal, $u(t)$ déterminée par la somme pondérée suivante :

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad (3)$$

où K_p , K_i et K_d , sont les gains définis positifs du régulateur PID ; proportionnels, d'intégration et dérivés, respectivement. Le principe de base d'un correcteur PID est d'approcher le signal de sortie mesuré (débit du UE actuel dans un scénario de coexistence M2M/H2H) à une consigne (débit du UE de référence dans un scénario H2H) quelle que soit la variation des paramètres du système. Le régulateur PID possède trois composantes de contrôle différentes à savoir : La composante proportionnelle qui utilise l'information actuelle et réagit immédiatement à l'erreur détectée. La composante intégrale qui intègre l'historique de l'erreur et la composante dérivée dont le rôle est de prédire le futur immédiat puis faire des corrections à la base de l'erreur estimée. Selon la sortie $u(t)$ du régulateur PID, nous proposons un mécanisme de contrôle de puissance et d'adaptation de débit pour les communications M2M ayant comme principal objectif la protection des services H2H. Ainsi, si la situation d'interférence est importante, le PID décroît la puissance de transmission M2M. La communication M2M ne sera établie que si la qualité de service des communications H2H soit satisfaite et que la puissance de transmission M2M supérieure ou égale à sa valeur minimale.

3.3 Algorithme de partage de ressources M2M

Pour chaque MTCH (D_{m-r}^l), nous obtenons un couplage G noté par M^l (voir figure 2.b). M^l consiste en l'ensemble des arêtes de G où chaque paire d'arête dans U_m^l ne possède aucun sommet commun. L'eNB agit comme un opérateur d'ordonnancement et communique les décisions sur l'allocation de RBs à chaque MTCH. Après la régulation de la puissance de transmission des MTCDs par le PID, nous cherchons à résoudre le problème de couplage maximum pondéré par l'algorithme *Kuhn munkres* [Kuh55] :

$$W_{opt} = \max \sum_{e_{i,j}^l \in M^l} w(e_{i,j}^l) = \max \sum_{e_{i,j}^l \in M^l} (R_{U_i}^k + R_{D_{m,j-r}^k}), l \in \mathcal{L} \quad (4)$$

4 Evaluation des performances

Nous évaluons l'efficacité de l'algorithme proposé A-M2M-RRSA en se basant sur le système modèle 3GPP LTE. Nous considérons une bande passante LTE-A de 20 Mhz. Nous considérons dans ce qui suit un seul groupe de MTCDs ($M=70$). Par souci de simplicité et sans perte de généralité, nous supposons qu'au plus un RB par TTI est attribué à chaque UE ($N=100$). Ainsi, nous considérons les applications H2H à bas débit nécessitant un débit de 64 Kbps. De l'autre côté, un seul RB est supposée être suffisant pour répondre aux exigences des services M2M. La puissance de transmission du MTCD initial P_m est de 15 dBm et celle du UE est de 24dBm. Nous utilisons également les algorithmes d'ordonnancement RR et PF traditionnels pour les UEs (services H2H). Les résultats de simulation sont obtenus grâce à une moyenne de 50 réalisations différentes. L'impact des communications M2M sur la performance des services H2H existants sont évalués en termes de débit et d'équité à travers l'indice du max-min. Les nomenclatures, *H2H* et *H2H + M2M* mentionnées dans les légendes réfèrent aux scénario sans et avec les communications M2M respectivement. Dans la figure 3, nous évaluons l'impact de trois algorithmes d'ordonnancement M2M sur

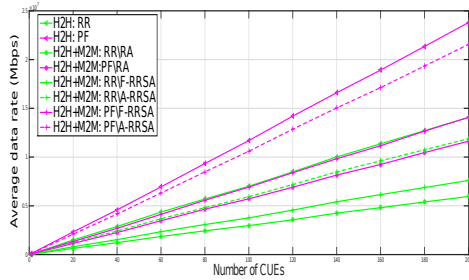


FIGURE 3: Débit moyen des UEs

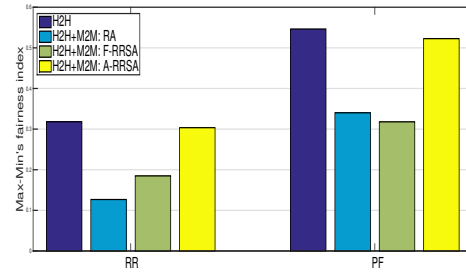


FIGURE 4: Indice max-min du débit des UEs

la politique d'ordonnement des UEs à savoir PF et RR. Nous comparons notre algorithme adaptatif (A-M2M-RRSA) avec : Un algorithme d'allocation M2M aléatoire (M2M-RA) où les ressources sont distribués aléatoirement aux MTCs et un algorithme de stratégie de partage de ressources fixe (F-M2M-RRSA) [HRGD15] visant à maximiser le débit total. La meilleure performance est obtenue lorsqu'il n'y a pas de partage de ressources. L'algorithme d'ordonnement PF pour les services H2H offre un meilleur débit en comparaison avec RR. En effet PF alloue les ressources aux UEs satisfaisant un compromis débit-équité. Nous observons aussi que le débit offert par A-M2M-RRSA est proche de celui obtenu dans un scénario exclusif H2H. Ceci prouve que A-M2M-RRSA réduit significativement l'interférence introduite par les communications M2M grâce à la politique de contrôle de puissance. A partir de la figure 4, nous observons que PF offre un niveau d'équité plus élevé que RR. En effet, PF alloue des ressources en satisfaisant les contraintes débit-équité. On remarque aussi que malgré le fait que le niveau d'équité en termes de débit des services H2H soit réduit considérablement dans un scénario de coexistence H2H-M2M, l'algorithme proposé A-M2M-RRSA permet de se rapprocher du niveau d'équité obtenu dans un scénario H2H exclusif.

5 Conclusions

Dans ce travail, nous avons proposé un algorithme adaptatif de partage de ressources radio pour les communications M2M visant à améliorer le débit du réseau tout en préservant la qualité de services H2H et ceci grâce à l'utilisation d'un régulateur PID. Le problème de partage de ressources est modélisé par un graphe biparti. Ensuite, nous avons développé un système de contrôle de puissance pour les MTCs suivant une probabilité établie sur la base d'un régulateur PID. Enfin l'algorithme KM est utilisé pour résoudre le problème de couplage maximum (MWM). Les résultats de simulation montrent que notre algorithme protège en termes de débit et d'équité les services H2H. Dans les travaux ultérieurs, nous visons à régler les paramètres de contrôle PID pour évaluer le compromis entre le débit H2H et le débit total.

Références

- [AWM14] Arash Asadi, Qing Wang, and Vincenzo Mancuso. A survey on device-to-device communication in cellular networks. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 16 :1801–1819, 2014.
- [CL14] Kwang-Cheng Chen and Shao-Yu Lien. Machine-to-machine communications : Technologies and challenges. *Ad Hoc Networks*, 18 :3–23, 2014.
- [HRGD15] Safa Hamdoun, Abderrezak Rachedi, and Yacine Ghamri-Doudane. Radio resource sharing for mtc in lte-a : An interference-aware bipartite graph approach. In *IEEE Globecom*, 2015.
- [HRGD16] Safa Hamdoun, Abderrezak Rachedi, and Yacine Ghamri-Doudane. A flexible m2m radio resource sharing scheme in lte networks within an m2m/h2h coexistence scenario. In *IEEE International Conference on Communications, ICC*, 2016.
- [Kuh55] Harold W Kuhn. The hungarian method for the assignment problem. *Naval research logistics quarterly*, 2(1-2) :83–97, 1955.
- [Vis06] Antonio Visioli. *Practical PID control*. Springer Science & Business Media, 2006.