

Notification de mobilité dans les réseaux hybrides avec infrastructure sans-fil

Guillaume Chelius ; Claude Chaudet ; Natalie Whitlock

Projet INRIA ARES — Laboratoire CITI — INSA de Lyon
21, Avenue Jean Capelle
69621 VILLEURBANNE Cedex, France
{Guillaume.Chelius ; Claude.Chaudet ; Natalie.Whitlock}@insa-lyon.fr

Les réseaux hybrides constitués d'une infrastructure sans-fil fournissant des services et un accès à l'Internet à un réseau *ad hoc* présentent un réel attrait dû à leurs facilité et faible coût d'installation. Cependant, les limitations en terme de bande passante introduites par l'utilisation d'un médium radio rendent le problème de l'optimisation des protocoles de contrôle primordial. Du fait de la mobilité des terminaux, ces réseaux sont appelés à être fortement dynamiques et les protocoles de gestion du réseau doivent à la fois être particulièrement réactifs aux changements de topologie et ne pas générer un volume de trafic de contrôle trop important. Cet article présente et étudie diverses optimisations, effectuées à divers niveaux, pouvant être apportées à un protocole de gestion de micro-mobilité.

Keywords: Micro-mobilité ; Réseaux Hybrides ; *handoff*

1 Introduction

Le succès de la téléphonie cellulaire et de l'Internet mobile ont permis aux réseaux sans fil de connaître un essor important. Les produits basés sur la norme IEEE 802.11 [IEE97, IEE99] sont aujourd'hui très largement répandus. L'Internet devient omniprésent et dans ce contexte, des réseaux locaux composés de multiples stations de base interconnectées au sein d'un même domaine fournissant un accès sans-fil à un ensemble de terminaux mobiles suscitent un intérêt croissant.

Toutefois, la gestion de la mobilité IP dans ce type de réseaux doit être adaptée. L'architecture Mobile IP [Per96] permet de conserver une adresse IP constante tout en changeant de point d'attachement au réseau. Toutefois, dans un réseau fortement dynamique, les changements fréquents de point d'attachement des mobiles induisent des échanges fréquents de messages devant transiter par l'Internet, provoquant un délai important ainsi qu'une surcharge de trafic de contrôle.

Une architecture hiérarchique basée sur Mobile IP a été définie pour gérer la mobilité au sein d'un même domaine, appelée micro-mobilité. Cellular IP [Val99], basé sur l'organisation des réseaux cellulaires de deuxième génération, propose un ensemble de mécanisme pour le support de changements rapides de points d'accès (*handoffs*).

La fusion de ces réseaux hiérarchiques et des réseaux *ad hoc* autonomes de par leur absence d'infrastructure fixe permet aisément d'étendre la portée des réseaux radio. Un réseau hybride constitué d'un réseau d'accès sans fil offrant connectivité et services à un réseau *ad hoc* représente un moyen rapide et peu coûteux de couvrir une zone géographique étendue.

Toutefois, le médium radio différant grandement d'un médium filaire, les performances des protocoles de micro-mobilité doivent être réévalués et leur comportement éventuellement modifié. En effet, le médium radio souffre d'une bande passante limitée et partagée ainsi que de délais accrus. En conséquence, un soin particulier doit être apporté à la conception du protocole de micro-mobilité afin de préserver une certaine réactivité aux changements de topologie fréquents tout en ne surchargeant pas le réseau de trafic de contrôle.

Dans cet article, après une présentation de l'architecture considérée en section 2, nous présentons en section 3 différentes stratégies permettant de gérer la mobilité des terminaux. Ces optimisations, concernant

aussi bien le protocole d'accès au médium que le protocole de routage sont étudiées et comparées par simulation en section 4.

2 Gestion de la micro-mobilité

Les réseaux que nous considérerons dans la suite sont analogues à celui représenté en figure 1. Une passerelle assure l'interface entre Mobile IP utilisé pour le routage inter-domaines et le protocole de micro-mobilité utilisé à l'intérieur d'un domaine. Un réseau d'infrastructure sans-fil fournit un ensemble de stations de base à un réseau *ad-hoc* sous-jacent.

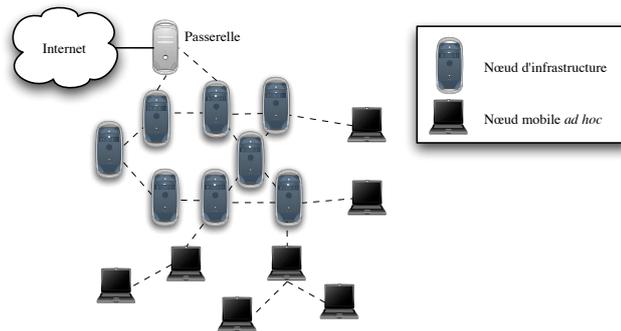


FIG. 1: Architecture du réseau hybride considéré

Un certain nombre de protocoles de micro-mobilité tels que Cellular IP [Val99], Hawaii [RLPT⁺02], Hierarchical Mobile IP [GJP03] ou Edge mobility [OCT00] ont été conçus pour des réseaux d'infrastructure filaires. Leurs buts principaux sont de permettre un routage intra-domaine efficace, de fournir un service de localisation des mobiles (*paging*) et de permettre aux mobiles de changer de station de base d'attachement de façon rapide et sûre (*handoffs*). Des études comparatives de ces différents protocoles ont été publiées dans [CGK⁺02, CGC00]. Nous nous intéresserons par la suite particulièrement au protocole Cellular IP en raison de son déploiement important et du nombre de propositions concernant son interaction avec un réseau *ad hoc* sous-jacent. Ce protocole est présenté ci-dessous dans une version qui a été adaptée pour une infrastructure sans-fil et une interaction avec un réseau *ad hoc* disposant de son propre protocole de routage distinct du routage hiérarchique utilisé dans le réseau d'infrastructure.

Le routage inter-stations de base est réalisé de façon hiérarchique. Chaque station de base administre une zone logique, conformément à l'architecture définie dans [CF03] et lorsqu'un message transite par le réseau d'accès, il remonte dans l'arbre jusqu'à trouver une route en direction de la station de base à laquelle est attachée la destination. Si aucune route n'est trouvée, le paquet remonte jusqu'à la passerelle qui, si elle ne dispose pas d'une route appropriée détruit le paquet.

La maintenance du lien descendant (de la passerelle vers les mobiles) est effectuée par la transmission périodique par la passerelle de messages de contrôle Gateway Advertisement. Ces messages sont diffusés à travers tout le réseau d'accès.

Le réseau garde une trace de la localisation des mobiles par le biais des paquets Hello envoyés périodiquement par le protocole de routage *ad hoc* (qu'il s'agisse d'un protocole de type proactif comme OLSR [CJ03, JMQ⁺01] ou réactif comme AODV [PR99, PBRD03]). La station de base convertit ces paquets Hello en paquets Route Update qui sont transmis en direction de la passerelle dans le réseau d'accès, permettant ainsi une maintenance régulière des routes montantes et renouant ainsi avec le comportement usuel de Cellular IP.

Chaque mobile élit une station de base à laquelle s'attacher. La détection de la station de base à laquelle s'attacher est réalisée grâce aux paquets Hello émis par cette dernière qui participe elle aussi au routage *ad hoc*. Les paquets Hello remplacent ici les paquets BS advertisement usuels de Cellular IP.

L'agrégation des messages de contrôle de Cellular IP et du protocole de routage *ad hoc* permet à la fois de diminuer le volume de trafic nécessaire à la gestion du réseau et d'accorder les deux protocoles sur la même réactivité à la mobilité. La seule différence perceptible par le protocole de micro-mobilité est que les paquets `Route Update` sont initialement émis en *broadcast* et non en *unicast*.

Toutefois, utiliser un médium radio en lieu et place d'un médium filaire dans le réseau d'infrastructure introduit un certain nombre de modifications dans le comportement du protocole de micro-mobilité. Tout d'abord, le médium est partagé entre les trafics de contrôle et les trafics de données, ce qui veut dire que les paquets de contrôle, responsables de la maintenance des routes seront eux aussi soumis à des pertes dues aux collisions fréquentes lorsque le médium radio devient surchargé. D'autre part, la latence du lien radio est plus importante qu'en filaire et ces mêmes paquets de contrôle seront retardés, rendant la mise à jour des tables de routage plus lente.

Les optimisations présentées dans la suite de cet article tâcheront de concilier fiabilité et rapidité dans la transmission des paquets de contrôle afin de s'assurer que la vision de la topologie dont disposent les nœuds en charge du routage est la plus précise possible.

3 Optimisations

L'objectif des optimisations que nous souhaitons apporter à la notification de mobilité, c'est-à-dire à la transmission des messages `Route Update`, est de minimiser les pertes en terme de paquets de données. Nous ne nous intéresserons pas ici à l'optimisation du mécanisme de routage. Examiner les différentes causes de ces pertes nous permettra de définir les axes selon lesquels nous agirons.

Tout d'abord, des paquets peuvent être perdus à cause de l'inconsistance des tables de routage dans le réseau d'infrastructure. Des routes périmées peuvent exister dans les tables de routage des différents nœuds de l'infrastructure, du fait d'une mobilité non détectée. La station de base incriminée continuera à émettre des paquets à destination de mobiles absents. À l'inverse, des mobiles peuvent être momentanément injoignables du fait d'une lenteur dans la propagation des notifications de mobilité. Le paquet va alors parcourir le réseau d'infrastructure jusqu'à atteindre la passerelle qui, ne possédant pas de route à destination du mobile, détruira le paquet.

Pour optimiser les notifications de mobilité, nous pouvons donc agir à différents niveaux. Tout d'abord, le rôle des messages `Route Update` est primordial. Idéalement, ils devraient donc bénéficier d'une transmission rapide et robuste afin d'éviter pertes et délais. Toutefois ces deux objectifs semblent antagonistes. En effet, si l'on considère les différents modes de transmission offerts par la norme IEEE 802.11, assurer une transmission robuste est possible en transmettant les notifications de mobilité en mode *unicast* et privilégier une transmission rapide revient à transmettre ces trames en mode *broadcast*. En effet, les transmissions *unicast* sont acquittées par le récepteur et peuvent bénéficier d'un certain nombre de retransmissions. Elles peuvent par ailleurs être protégées contre les phénomènes de stations cachées par un échange RTS/CTS préalable. Ajouter ces trames de contrôle a cependant un coût en terme d'utilisation du médium et de délai de transmission.

En outre du gain qu'il représente en terme de performances, le *broadcast* présente l'avantage de permettre à plusieurs stations de base de bénéficier du même message de notification. Ainsi, la création d'une nouvelle route et la suppression de l'ancienne peuvent être agrégées. Afin d'étudier les différentes stratégies, nous étudierons les performances des deux stratégies de transmission des messages `Route Update`, ainsi qu'une troisième possibilité intermédiaire que nous appellerons *Broadcast acquitté*. Ce dernier mode correspond à une transmission à destination de toutes les autres stations de base pour laquelle seule la station parente dans l'arbre de routage d'infrastructure répondra par un acquittement. Ce mode nous permettra de bénéficier à la fois de la robustesse engendrée par les acquittements de trames et de l'obtention gratuite d'informations.

À mesure que la charge du réseau augmente, le remplissage des files d'attente croîtra. Dès lors, les paquets de notification de mobilité seront retardés dans ces files et les informations véhiculées seront peut-être périmées lors de leur envoi. Ceci résultera en pertes de paquets de données dues à l'inconsistance des tables de routage. Afin d'optimiser la notification de mobilité, il paraît donc possible d'agir sur les tailles de ces files d'attente afin de favoriser délai ou robustesse.

Enfin, dans un réseau dense, le volume de trafic de contrôle sera rapidement important. En effet, chaque mobile transmet périodiquement des paquets de contrôle qui seront relayés par les nœuds d'infrastructure. Lorsqu'un mobile vient de changer de point d'attache, il est important de s'assurer de la bonne notification du réseau d'infrastructure et donc de transmettre fréquemment des notifications afin de s'assurer de leur bonne réception. En revanche, lorsqu'un nœud reste attaché à la même station de base, il n'a pas besoin de l'indiquer régulièrement. Pour réduire le volume de trafic de contrôle, nous proposons d'accroître l'intervalle entre transmissions consécutives de notifications de mobilité. Cette optimisation sera nommée *Differential Route Update* par la suite.

Toutefois, l'utilisation de *Differential Route Update* peut provoquer des inconsistances dans les tables de routage. En effet, émettre moins de notifications de mobilité veut dire avoir un délai d'expiration des routes dans le réseau d'infrastructure plus important. Dans cette situation, une station de base détectant le départ d'un nœud de sa zone d'influence détruira l'entrée correspondante dans sa table de routage. Si le réseau d'infrastructure n'en est pas notifié, il est aisé de créer une boucle de routage temporaire, la station de base ne possédant aucune route vers le mobile transmettant les paquets vers son père qui possède une route passant par cette dernière pour joindre le mobile. Aussi, lorsqu'une station de base détectera le départ d'un mobile, elle devra notifier explicitement tout le réseau d'infrastructure. Cette optimisation représentant des émissions de paquets supplémentaires, elle sera étudiée séparément, sous le nom *Nack Route*.

En poussant le raisonnement à l'extrême, il est possible d'adopter une stratégie optimiste consistant à ne transmettre qu'une seule fois un message *Route Update* lors d'un *handoff*, de supposer que ce message sera bien reçu et provoquera la création d'une nouvelle route ainsi que la destruction explicite de l'ancienne. Les routes n'auraient alors plus de délai d'expiration. Si cette stratégie, que nous nommerons *Nack Only*, semble très fragile, car la perte d'un paquet *Route Update* aura des conséquences importantes, elle permettrait de réduire de façon drastique le volume de trafic de contrôle.

4 Évaluation

Toutes les optimisations présentées dans la section précédente présentent des avantages ainsi que des inconvénients évidents. Afin d'évaluer leurs performances, nous avons réalisé des simulations sous NS-2[†] en version 2.26 en utilisant un débit de 2 Mb/s (par défaut sous NS-2) afin d'utiliser le même débit pour les paquets *unicast* et *broadcast*. Chaque résultat présenté ici est une moyenne sur 20 simulations distinctes.

La topologie considérée est constituée de 9 nœuds d'infrastructure et de 2 à 64 mobiles se déplaçant selon un modèle de mobilité *Random Waypoint*. Les mobiles choisissent une destination aléatoire, s'y rendent à une vitesse aléatoire, y demeurent un temps aléatoire puis recommencent. La vitesse des mobiles est aléatoire avec un maximum de 50 m/s. Le réseau sera chargé par 2 à 32 flux CBR allant d'un mobile à un autre représentant chacun une émission de cinq paquets de 500 octets par seconde (soit un débit effectif de 20 kb/s). Seul un petit nombre de résultats seront présentés ici, pour une étude plus exhaustive, le lecteur est invité à se référer à [CCW04].

La figure 2 présente le nombre total de paquets correctement transmis en utilisant les différentes stratégies au niveau MAC pour l'émission des *Route Update*. Il est intéressant de remarquer que transmettre les paquets *Route Update* en mode *broadcast* permet d'obtenir les meilleures performances lorsque le réseau est moyennement chargé, et que les performances des trois modes sont comparables dans le cas contraire. Lorsque le réseau est peu chargé, le surcoût introduit par les modes de transmission fiables ne provoque aucune surcharge du réseau. Ce surcoût provoque une saturation de la capacité du réseau plus rapide lorsque la charge augmente. Lorsque le réseau est saturé, les pertes de paquets sont comparables même si les causes de ces pertes diffèrent selon le mode de transmission. Il apparaît donc plus important de privilégier les délais de transmission et l'utilisation du médium par rapport à la robustesse des transmissions.

Accroître la longueur des files d'attentes résulte dans une diminution des pertes dues au remplissage de ces dernières mais conduit à un accroissement des pertes dues aux entrées erronées dans les tables de routage, les paquets de contrôle souffrant d'un plus grand délai d'acheminement. Les résultats obtenus (non présentés ici) montrent que l'accroissement de la longueur des files d'attente n'est profitable que lorsque le médium n'est pas saturé.

[†] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

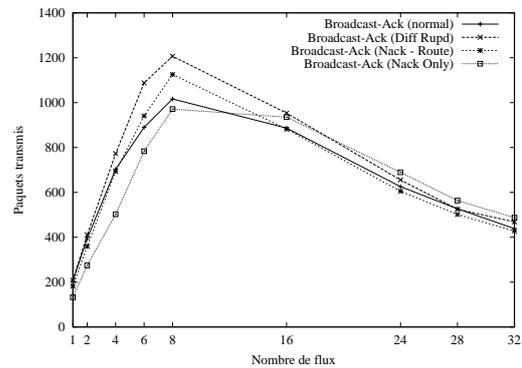
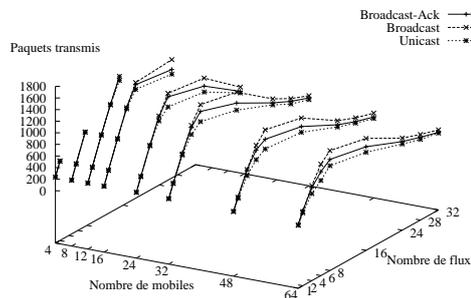


FIG. 2: Comparaison de l'influence du mode de transmission des notifications sur le débit total. FIG. 3: Résultats comparés de l'utilisation des différentes optimisations

La figure 3 représente le total de paquets de données correctement transmis en utilisant les optimisations *Differential Route Update*, *Nack Route* et *Nack Only* pour 64 mobiles en mode Broadcast acquitté. Les résultats sont similaires quelque soit le mode de transmission ou le nombre de mobiles considérés, seule l'échelle change. Les différentes optimisations générant un plus faible trafic de contrôle permettent de retarder le point de saturation du médium mais provoquent une persistance des routes périmées de plus en plus grande. Finalement, si l'optimisation *Differential Route Update* semble toujours profitable, le gain des autres optimisations est très lié à l'occupation du médium. Elles ne devraient par conséquent être activées que dans des cas très précis.

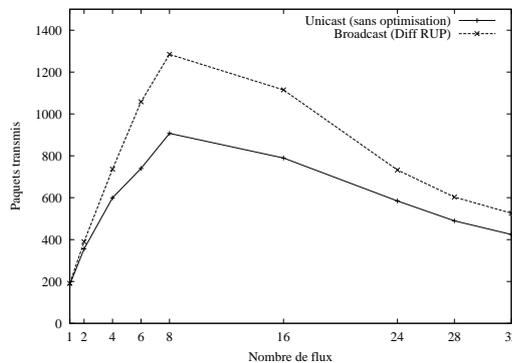


FIG. 4: Gain de performances obtenu avec toutes les optimisations.

Enfin, la figure 4 présente une comparaison entre le mode par défaut défini par Cellular IP (transmission des notifications en *Unicast*) et une version intégrant toutes les optimisations présentées ici (*Differential Route Update* et *broadcast*). On constate un accroissement notable des performances du réseau due à une réduction conséquente des pertes liées à une mauvaise politique de gestion de la mobilité.

5 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté plusieurs propositions de modifications de Cellular IP pour une utilisation dans un réseau hybride sans-fil. Ces modifications concernent aussi bien la couche de routage, la couche MAC que l'architecture inter-couches. Les résultats présentés montrent qu'il est clairement possible d'améliorer les performances de Cellular IP puisque nous obtenons une amélioration du taux d'acheminement des paquets allant jusqu'à 40 % dans le meilleur cas. Ces résultats peuvent certainement être encore améliorés en prenant par exemple en compte les optimisations de routage liées à l'utilisation du *broadcast*

pour la transmission des trames de signalisation. Ces résultats montrent finalement à quel point les protocoles de micro-mobilité développés suivant les contraintes d'un médium filaire ne sont pas appropriés au médium radio. Leur fonctionnement doit être complètement repensé en fonction du médium radio et les idées couramment répandues dans les réseaux classiques doivent être laissées de côté. Par exemple, l'utilisation de trames *unicast* pour la signalisation, pourtant fiabilisées par le protocole MAC, n'accroît pas la fiabilité du routage, bien au contraire.

S'il est difficile d'espérer des performances similaires à celles d'un réseau d'accès filaire, l'efficacité des réseaux hybrides sans-fil peut être accrue. Notre travail montre que le point crucial vis à vis des performances est la charge du médium. Cette charge doit être réduite à la fois en diminuant la signalisation, thème de cette étude, qu'en adaptant les interfaces radio et les protocoles d'accès au médium. Une idée déjà développée dans le domaine de la téléphonie cellulaire consiste à attribuer une partie du médium au seul trafic de signalisation par la réservation de *time-slot*. L'utilisation d'interfaces radio multi-canaux permet de séparer les trafics de données et de signalisation et semble être une autre proposition prometteuse.

Références

- [CCW04] Guillaume Chelius, Claude Chaudet, and Natalie Whitlock. Ad hoc mobility notification in wireless infrastructure networks. Technical Report 5113, INRIA, February 2004.
- [CF03] G. Chelius and É. Fleury. Design of a hybrid routing architecture. In *IEEE MWCN*, Singapore, November 2003. IEEE Communications Society.
- [CGC00] A. Campbell and J. Gomez-Castellanos. Ip micromobility protocols. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 4(4) :45–53, October 2000.
- [CGK⁺02] A. Campbell, J. Gomez, S. Kim, Z. Turanyi, C-Y. Wan, and A. Valkó. Comparison of ip micromobility protocols. *IEEE Wireless Communications*, 9(1) :72–82, February 2002.
- [CJ03] T. Clausen and P. Jacquet. Optimized link state routing protocol. RFC 3626, IETF, September 2003.
- [GJP03] E. Gustafsson, A. Jonsson, and C. Perkins. Mobile ipv4 regional registration. Internet draft – draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-08.txt, November 2003.
- [IEE97] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange between Systems. *Local and Metropolitan Area Network – Specific Requirements –Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, 1997.
- [IEE99] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange between Systems. *Local and Metropolitan Area Network – Specific Requirements –Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications — Higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band*, 1999.
- [JMQ⁺01] P. Jacquet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, A. Laouiti, T. Clausen, and L. Viennot. Optimized link state routing protocol. In *INMIC*, Pakistan, December 2001. IEEE.
- [OCT00] A. O'Neill, M. S. Corson, and G. Tsirtsis. Routing and handoff in the edge mobility architecture. *SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 4(4) :54–66, 2000.
- [PBRD03] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. RFC 3561, IETF, July 2003.
- [Per96] C. Perkins. Ip mobility support. Internet RFC 2002, October 1996.
- [PR99] C. Perkins and E. Royer. Ad hoc on-demand distance vector routing. In *Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pages 90–100, New Orleans, LA, USA, February 1999. IEEE.
- [RLPT⁺02] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, and S-Y. Wang. HAWAII : A domain-based approach for supporting mobility in wide-area wireless networks. *ACM/Kluwer Wireless Networks Journal*, 8(5), September 2002.
- [Val99] A. Valkó. Cellular ip - a new approach to internet host mobility. *ACM Computer Communication Review*, 29(1) :50–65, January 1999.