



Qualité de service et réseaux ad-hoc - un état de l'art

Claude Chaudet

► To cite this version:

Claude Chaudet. Qualité de service et réseaux ad-hoc - un état de l'art. RR-4325, INRIA. 2001. inria-00072262

HAL Id: inria-00072262

<https://inria.hal.science/inria-00072262>

Submitted on 23 May 2006

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.

Qualité de service et réseaux ad-hoc – un état de l’art

Claude CHAUDET

No 4325

12 novembre 2001

_____ THÈME 1 _____



***rapport
de recherche***

Qualité de service et réseaux ad-hoc – un état de l’art

Claude CHAUDET

Thème 1 — Réseaux et systèmes
Projet ReMaP

Rapport de recherche n° 4325 — 12 novembre 2001 — 10 pages

Résumé : Les réseaux locaux sans fil suscitent un engouement important depuis l’apparition de produits commerciaux basés sur la norme IEEE 802.11. Les débits atteints aujourd’hui par ces réseaux permettent d’exécuter des applications complexes nécessitant des garanties sur le débit, le délai ou encore la gigue des communications. Les travaux autour de Mobile IP ou d’UMTS devraient donner naissance à un certain nombre de protocoles de qualité de service pour les réseaux sans fil avec point d’accès, dans lesquels le réseau est divisé en zones géographiques administrées par des stations fixes. Ces travaux ne peuvent être transposés directement aux réseaux ad-hoc, dans lesquels aucune infrastructure fixe n’est présente. Ces réseaux ne disposent pas encore de protocoles de qualité de service standards adaptés à leurs spécificités. Cet article présente un état de l’art des recherches dans ce domaine.

Mots-clé : Réseaux sans fil, réseaux ad-hoc, qualité de service.

(Abstract: pto)

A survey of QoS in mobile ad hoc networks

Abstract: Local wireless networks have known a great success since commercial solutions based on the IEEE 802.11 standard were released. With the important throughput obtained today, these networks now allow the use of complex applications that require guarantees regarding communications bandwidth, delay or jitter. All the work around Mobile IP and UMTS should lead to QoS protocols for wireless networks with access points in which the network is divided into geographical zones managed by base stations. Most of these works cannot be directly transposed to mobile ad-hoc networks in which no structure is available. These networks do not have standard QoS protocols that are suited to their specificities yet. This article presents a state of the art of this subject.

Key-words: Wireless networks, ad hoc networks, quality of service, QoS.

Introduction

Les réseaux ad-hoc se distinguent des autres formes de réseaux sans fil par une absence totale d'infrastructure fixe. Un nombre quelconque de mobiles équipés de cartes d'interface radio et des couches protocolaires adéquates suffisent pour former un réseau ad-hoc. Les débits atteints aujourd'hui sur ce type de réseaux rendent possible le transfert de flux multimédia soumis à de fortes contraintes. Dès lors, il est légitime de chercher à fournir aux applications des garanties sur le délai, sur les taux de pertes ou encore sur la bande passante. Les solutions utilisées dans le monde filaire sont inadaptées aux contraintes liées à l'utilisation du médium radio et à l'absence d'administration centralisée.

En effet, les ondes hertziennes se propagent moins vite que la lumière. En conséquence, les réseaux radio sont moins rapides que les réseaux filaires utilisant des fibres optiques. De plus, la propagation des ondes radio est très sensible à l'environnement. Une onde radio peut être fortement atténuée par un obstacle. Le médium radio est donc moins fiable que son homologue filaire. Plusieurs signaux peuvent aussi entrer en collision et il n'est pas possible d'isoler des parties du réseau au moyen de commutateurs. En conséquence, la bande passante est partagée entre les mobiles proches les uns des autres.

Le fonctionnement ad-hoc ajoute d'autres contraintes à celles-ci. D'une part, l'absence totale d'administration centralisée rend complexe et coûteuse l'utilisation des techniques de multiplexage des communications utilisées dans les réseaux avec point d'accès (FDMA, TDMA etc.). En effet, pour utiliser ce type de mécanismes, il faut concevoir un protocole distribué permettant aux nœuds de se partager les fréquences, les codes ou les unités de temps. D'autre part, la mobilité des nœuds d'un tel réseau provoque des changements fréquents de topologie. Le routage dans de tels réseaux étant aussi distribué, les routeurs sont les mobiles et un transfert de données peut aisément être interrompu par le départ d'un nœud sur la route utilisée.

La plupart des algorithmes de qualité de service du monde filaire reposent sur la connaissance d'informations précises sur l'état du réseau, considèrent que les pertes sont faibles, que la bande passante disponible est large ou encore que la topologie du réseau est globalement stable. Plusieurs travaux ont été réalisés mais il est encore trop tôt pour que l'un d'entre eux s'impose comme étant la solution de qualité de service pour les réseaux ad-hoc. Le but de cet article est de dresser un état de l'art de ce domaine afin de déterminer les problèmes qui subsistent. Ce travail se base sur un article de synthèse [11] et vient l'enrichir en apportant la description de nouveaux protocoles.

Les recherches concernant la qualité de service dans les réseaux ad-hoc sont souvent classées en quatre grandes catégories : les modèles de qualité de service définissent des architectures globales dans lesquelles des garanties peuvent être fournies ; les protocoles d'accès au médium cherchent à ajouter des fonctionnalités aux couches basses du modèle OSI afin de pouvoir offrir des garanties ; les protocoles de routage avec qualité de service recherchent les routes ayant suffisamment de ressources disponibles pour satisfaire une requête ; les protocoles de signalisation cherchent à offrir des mécanismes de réservation de ressources indépendants du protocole de routage sous jacent.

1 Modèles de qualité de service

Un modèle de qualité de service définit quels types de service peuvent être fournis dans un réseau et certains mécanismes utilisés afin d'offrir ces services (quelles fonctionnalités doit fournir le protocole de routage, quelle est l'architecture des nœuds, etc.). IntServ / RSVP [3] et DiffServ [2] sont les modèles de qualité de service proposés par l'IETF pour les réseaux filaires. Les études menées montrent que les modèles filaires sont peu adaptés aux contraintes des réseaux ad-hoc [11]. IntServ requiert un volume de traitement important, ce qui engendre des problèmes de consommation dans les mobiles. De plus, la signalisation de type RSVP n'est pas adaptée à ce type de réseaux car trop volumineuse par rapport à la bande passante limitée des réseaux sans fil. Enfin, le processus de maintenance des routes n'est pas adapté au caractère dynamique des réseaux ad-hoc. Le modèle DiffServ semble plus adapté. Cependant, il a été conçu pour des réseaux possédant une bande passante importante et dont la topologie est relativement statique.

1.1 FQMM

Les concepteurs du modèle FQMM [12] prennent en compte le fait que les réseaux ad-hoc pourraient, à terme, être connectés à des réseaux filaires de type Internet. Il apparaît dès lors nécessaire d'offrir un mécanisme de qualité de service suffisamment proche des protocoles filaires afin de s'interfacer avec ces derniers. L'approche examinée concerne les réseaux de petite à moyenne taille (50 nœuds au plus). Le modèle proposé se situe entre les approches IntServ et DiffServ. Afin d'obtenir les deux types de granularité (par flot ou par classe) de ces modèles filaires, FQMM définit plusieurs classes de service dont la plus haute permet à chaque flux de spécifier les contraintes qui lui sont propres.

A l'image de DiffServ, FQMM définit trois types de nœuds : les nœuds d'entrée (émetteurs), les nœuds intermédiaires et les nœuds de sortie (récepteurs). Compte tenu du fait que dans un réseau ad-hoc, chaque nœud assure la fonction de routeur, chaque mobile joue différents rôles pour différents flux. Le conditionnement du trafic (lissage, marquage, etc.) est à la charge des émetteurs. FQMM requiert l'utilisation d'un protocole de routage capable d'offrir une certaine qualité de service, c'est à dire capable de rechercher des routes satisfaisant certaines contraintes.

Par son approche hybride, FQMM entend résoudre certains problèmes liés aux modèles filaires. Si les problèmes d'extensibilité du modèle IntServ semblent pouvoir être résolus de cette manière, il semble difficile d'offrir les deux types de granularité en n'utilisant que le champ *Type Of Service* de l'entête IPv4. De plus, la résolution de la plupart des problèmes liés au fonctionnement ad-hoc (volume de signalisation, consommation d'énergie, bande passante limitée et difficile à estimer) est laissée à la charge du protocole de routage sous-jacent.

2 Couche MAC

Les spécificités du médium radio rendent l'utilisation d'un protocole d'accès au médium efficace primordiale. Le rôle du protocole d'accès au médium est multiple. Il est en charge d'éviter les collisions, d'assurer le partage de la bande passante et de résoudre certains problèmes spécifiques aux transmissions hertziennes (stations cachées ou exposées). Cependant, beaucoup de protocoles de routage avec qualité de service pour les réseaux ad-hoc pourraient tirer parti de protocoles de niveau 2 capables de gérer une certaine qualité de service.

2.1 Différenciation de services pour 802.11

Dans [1], les auteurs proposent de doter le protocole IEEE 802.11 d'un mécanisme de priorités entre les trames afin de concevoir des mécanismes de différenciation de services efficaces. Pour ce faire, les auteurs proposent d'adapter certains paramètres de la fonction de coordination distribuée (DCF) du protocole selon la priorité des paquets.

La fonction de coordination distribuée repose sur la détection de porteuse (CSMA). Avant d'émettre sur le médium, tout nœud doit s'assurer que le canal radio est libre depuis un certain temps (DIFS – *DCF Inter Frame Spacing*), afin de privilégier certains paquets de signalisation dont la transmission peut s'effectuer dès que le médium a été libre durant un temps SIFS (*Short Inter Frame Spacing*) plus court que le DIFS.

On ajoute au DIFS, constant, un délai supplémentaire aléatoire permettant d'éviter que deux mobiles ne commencent à émettre au même moment. Dans ce cas, si une collision survient, le processus est réinitialisé et le délai aléatoire supplémentaire est allongé.

Un certain nombre de ces paramètres peuvent être adaptés dynamiquement afin d'offrir un mécanisme de priorités au protocole 802.11 :

- Lorsqu'une collision survient, les délais avant retransmission sont allongés aléatoirement. Il est possible d'incrémenter ces délais différemment selon le niveau de priorité.
- Il est possible d'utiliser différentes valeurs du délai de silence avant une transmission (DIFS) selon le niveau de priorité de la transmission.
- Enfin, il est possible de limiter la longueur des trames selon le niveau de priorité, les trames peu prioritaires occupant le canal moins longtemps.

Les trois principes ont été testés sur des flots UDP et TCP. De ces trois méthodes, la deuxième, consistant à jouer sur le délai DIFS, semble la plus stable et la plus performante.

2.2 MACA / PR

Le protocole MACA/PR (Multiple Access Collision Avoidance with Piggyback Reservation) [6] propose de différencier la politique d'accès au médium selon la nature des flux. Les paquets des flux non privilégiés sont traités de façon standard.

Pour les flux temps réel, une unique demande d'autorisation à transmettre (échange RTS-CTS) est effectuée en début de flux. Tous les paquets suivants sont transmis directement

et doivent être acquittés par le récepteur. Dès qu'un paquet n'est pas acquitté, une nouvelle demande d'autorisation est émise. Afin de traiter les réservations de bande passante, l'émetteur inclut des informations dans chaque paquet sur l'ordonnancement du paquet suivant. Tous les voisins du nœud récepteur, en écoutant l'acquittement d'un paquet de données possèdent des informations sur la date d'arrivée du prochain paquet et peuvent différer leurs transmissions. Ce mécanisme permet de résoudre le problème des stations cachées sans avoir recours à des paquets de signalisation particuliers.

3 Routage avec qualité de service

Le principe du routage avec qualité de service est de rechercher un chemin entre deux nœuds satisfaisant certaines contraintes. Plusieurs métriques peuvent être utilisées telles que le délai, la bande passante ou encore le coût de transmission. Selon le type de contraintes, la recherche de routes optimales peut devenir un problème NP-complet. Le routage avec qualité de service ajoute en général à des protocoles de routage usuels un contrôle d'admission afin de sélectionner parmi les routes disponibles celles qui satisfont les contraintes du flux. Le principal problème de ce type de protocole est le surcoût engendré.

3.1 Routage QoS sur DSDV

Dans [5], les auteurs présentent un protocole de routage avec qualité de service tentant de résoudre les problèmes de station cachée par une allocation dynamique d'unités TDMA (division du temps en unités appelées *slots*). Lors d'une demande de réservation, le protocole proposé évalue la quantité de bande passante disponible sur la route principale fournie par le protocole de routage DSDV [9] en évaluant le nombre d'unités TDMA disponibles sur chaque lien tout au long de la route.

Afin de résoudre les problèmes de stations cachées, il est nécessaire de ne pas utiliser les mêmes unités pour les transmissions dans deux liens adjacents. Aussi, une politique d'allocation d'unités est utilisée dès l'établissement de la route. Lorsque la demande de route arrive au destinataire, ce dernier renvoie à l'émetteur une confirmation contenant la politique d'allocation des unités sur le chemin. Les ressources sont alors effectivement réservées au fur et à mesure que ce message traverse le réseau en direction de l'émetteur. Les problèmes liés à la mobilité sont traités en maintenant une route secondaire non optimale en terme de nombre de sauts.

Ce protocole semble obtenir de bons résultats en ce qui concerne l'évaluation de la bande passante disponible sur un chemin et la probabilité de rejet des appels lors des simulations. Cependant, il est loin de résoudre tous les problèmes d'interférences, en particulier si deux nœuds utilisant les mêmes unités TDMA se rapprochent et arrivent à portée d'émission l'un de l'autre.

3.2 Ticket Based Probing

Compte tenu du coût d'accès au médium élevé dans les réseaux ad-hoc, la recherche de routes par inondation peut devenir très coûteuse. Le but de Ticket Based Probing [4] est de limiter ce surcoût et de fournir des garanties de qualité de service. Ce protocole de routage QoS a été conçu pour des réseaux dans lesquels la mobilité est suffisamment faible pour ne pas poser de réel problème (scénario de type salle de conférence). La durée de vie des routes doit être grande devant le temps nécessaire à l'établissement ou à la restauration d'une route. Le protocole utilise une technique de réparation locale des routes.

La découverte de route est limitée car l'émetteur va associer à une demande de route un certain nombre de tickets qui va limiter la diffusion des requêtes. Un nœud a la connaissance des caractéristiques des liens vers ses voisins immédiats grâce à la transmission périodique de paquets de signalisation. Il peut donc ainsi sélectionner efficacement les voisins à qui transmettre les demandes de route. Plus un flux de données aura de contraintes, plus on associera de tickets à la demande correspondante. Deux problèmes sont étudiés : établir des routes, les plus proches de l'optimal possible, de moindre coût avec des contraintes de délai (NP complet) et établir des routes de moindre coût avec des contraintes de débit (solvable en temps polynomial). Afin d'augmenter la probabilité de trouver une route, on utilise deux types de tickets : les tickets jaunes permettent de rechercher des chemins respectant la contrainte imposée et les tickets verts permettent d'obtenir des solutions de faible coût.

Malgré le fait que les nœuds ne connaissent que leur voisinage immédiat, Ticket Based Probing est efficace puisqu'il permet de trouver des routes avec une probabilité proche des algorithmes basés sur l'inondation du réseau et meilleure que des algorithmes recherchant un plus court chemin. Il permet en outre de trouver des routes de plus faible coût que ces deux types d'algorithmes.

3.3 CEDAR

CEDAR [10] repose sur l'élection dynamique par les nœuds d'un cœur de réseau stable approxime un ensemble dominant minimum. Le processus distribué d'élection de ces nœuds est local et dynamique. Le rôle des nœuds du cœur est de propager efficacement des informations sur la bande passante disponible dans les liens, d'assurer le routage dans le réseau en impliquant un minimum de nœuds dans ce processus et de limiter autant que possible les diffusions. La distance de propagation des informations dépend de la qualité du lien en terme de stabilité et de bande passante disponible.

Le routage est réactif car la propagation d'états globaux engendre un trop grand surcoût lors des changements de topologie. La découverte de route est effectuée par les nœuds du cœur et les routes ne sont calculées qu'entre deux nœuds du cœur. N'importe quel protocole de routage réactif peut être utilisé. CEDAR repose sur l'utilisation de protocoles d'accès au médium de type CSMA / CA minimisant les risques de collision qui doivent être capables d'estimer la bande passante disponible sur les liens. Les nœuds à l'extrémité des liens mesurent les variations de bande passante sur ces liens et propagent ces informations. Afin de résoudre les problèmes liés à la mobilité, on conserve des routes de secours utilisées pendant

le temps de reconstruction de la route principale lorsque celle-ci est perdue. La reconstruction peut être locale, à l'endroit de la cassure ou être à l'initiative de la source. Les routes calculées par CEDAR convergent vers des routes optimales lorsque la topologie se stabilise. Toutefois, si l'optimalité en nombre de sauts est un paramètre important dans les réseaux filaires, cette mesure n'est pas forcément la plus pertinente dans un réseau ad-hoc. C'est pourquoi l'approche de CEDAR consistant à privilégier les routes stables et à traiter la mobilité des nœuds semble être mieux adaptée à ce type de réseaux.

4 Protocoles de signalisation

Le but des protocoles de signalisation est de fournir un moyen de propager des informations de contrôle à travers un réseau. Les informations transmises peuvent être de différentes natures. Il peut s'agir d'informations topologiques, de demandes de recherche de routes satisfaisant certaines contraintes ou encore de rapports sur l'état du réseau et la disponibilité des ressources. Concevoir un protocole de signalisation consiste à définir les données à échanger afin de réaliser une tâche particulière ainsi que la manière de les échanger.

4.1 INSIGNIA

INSIGNIA [7] est un protocole de signalisation *in-band* (la signalisation est incluse dans les entêtes des paquets de données) permettant d'effectuer des réservations de bande passante dans les réseaux ad-hoc.

INSIGNIA offre des garanties sur la base d'une granularité par flot aux applications adaptatives capables de modifier leur comportement en fonction de la quantité de bande passante qui leur est allouée. Chaque application spécifie deux niveaux de qualité de service. Le niveau de base permet de spécifier la bande passante minimale nécessaire au trafic et le niveau amélioré le débit optimal à atteindre lorsque les ressources sont disponibles. Ce protocole a été conçu pour réagir rapidement aux changements de topologie. INSIGNIA n'est pas lié à un protocole de routage particulier.

Les informations transmises par INSIGNIA sont incluses dans chaque paquet de données, sous la forme d'une option de l'entête IPv4. Ce champ de 26 bits indique si un paquet fait partie d'un flux privilégié ou non, le niveau de qualité de service requis par l'application adaptative émettrice ainsi que l'importance de chaque paquet dans le flux de données.

Au départ, le champ est rempli par l'émetteur du flux de données. Il pourra être modifié tout au long du chemin afin d'acheminer des informations sur l'état actuel du réseau jusqu'au destinataire. Des rapports sont émis périodiquement par le récepteur d'un flux afin de permettre à l'émetteur d'adapter son transfert à l'état de la route. Les demandes de réservation de bande passante sont effectuées dans l'entête du premier paquet du flux. De plus, INSIGNIA comporte un mécanisme de reconstruction locale de routes.

INSIGNIA offre des performances encourageantes pour des réseaux dans lesquels la mobilité est moyenne. L'innovation de ce protocole est d'inclure une grande partie de la signa-

lisation dans les paquets de données, ce qui réduit le nombre de contentions pour l'accès au médium.

4.2 dynamic QoS / dRSVP

Dans les protocoles usuels, les applications demandent une quantité précise de bande passante. Très souvent, le même niveau de service est conservé durant toute la transmission. Les auteurs de dynamic QoS [8] remettent en cause cet aspect statique de la réservation de bande passante. Lors de la demande de réservation, les applications ne spécifient pas une valeur précise mais un intervalle de valeurs. La borne inférieure représente le débit nécessaire au fonctionnement de l'application et la borne supérieure le débit maximal qui pourra être atteint. Lors de la confirmation de réservation, le réseau indique à l'émetteur la quantité de bande passante qui lui a été effectivement allouée.

D'autre part, on considère souvent qu'un lien a une capacité fixe mais sur le médium radio, cette capacité est variable. Dans dynamic QoS, la quantité de bande passante réservée par les applications peut être modifiée en cours de transmission, soit à l'initiative du réseau dans le cas où les ressources deviennent rares ou se libèrent, soit à l'initiative de l'application émettrice elle-même afin de libérer des ressources dans le réseau.

Si cette approche est originale et peut permettre de diminuer la probabilité de rejet des demandes de réservation, elle nécessite un accord entre les différents émetteurs s'il n'y a pas d'administration centralisée. Elle pourrait être très efficace dans des réseaux avec point d'accès.

Conclusion

Si un certain nombre de solutions sont aujourd'hui proposées pour fournir de la qualité de service aux réseaux ad-hoc, beaucoup reste à faire. Chaque protocole présenté ici ne traite qu'un aspect particulier de la transmission dans les réseaux ad-hoc. De plus, les tests effectués pour évaluer chaque protocole sont très différents. Les topologies, ainsi que les types de trafic utilisés sont propres à chaque protocole, c'est pourquoi il est difficile de comparer ces différentes solutions. Il semble maintenant utile de proposer des scénarios de test qui permettraient de comparer ces différents protocoles entre eux.

Si certaines spécificités des réseaux ad-hoc comme la fiabilité du médium, les problèmes d'accès concurrents ou encore le coût d'envoi d'un message sont aujourd'hui largement étudiées, beaucoup de paramètres sont encore à considérer. La propagation radio est un phénomène complexe et dans la plupart des solutions proposées, de nombreuses simplifications sont faites. Les liens sont souvent considérés comme étant symétriques, tout comme les zones de réception. La décision d'accepter ou de refuser les trafics se base essentiellement sur la connaissance de la zone de couverture de chaque mobile. L'impact des interférences entre les transmissions est souvent sous-estimé.

Dans un futur proche, un grand nombre de travaux similaires devront être menés pour aboutir à une connaissance suffisante des spécificités de ces réseaux. Alors, un travail fédérateur

pourra peut-être être effectué afin de concevoir LA solution de qualité de service pour les réseaux ad-hoc.

Références

- [1] I. Aad and C. Castelluccia. Differentiation mechanisms for IEEE 802.11. In *to appear in IEEE Infocom 2001*, april 2001.
- [2] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss. An architecture for differentiated services. Internet Request For Comments RFC 2475, IETF, December 1998.
- [3] R. Braden, D. Clark, and S. Shenker. Integrated services in the internet architecture : an overview. Internet Request For Comments RFC 1633, IETF, June 1994.
- [4] S. Chen and K. Nahrstedt. Distributed quality-of-service routing in ad hoc networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, special issue on Wireless Ad Hoc Networks*, 17(8) :1488–1505, august 1999.
- [5] R.L. Chunhung and L. Jain-Shing. Qos routing in ad hoc wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, August 1999.
- [6] M. Gerla and C.R. Lin. MACA/PR : An asynchronous multimedia multihop wireless network. In *IEEE INFOCOM 97*, Japan, 1997.
- [7] S.B. Lee, G.S. Ahn, X. Zhang, and A.T. Campbell. INSIGNIA : An ip-based quality of service framework for mobile ad hoc network. *Journal of Parallel and Distributed Computing (Academic Press) – Special issue on Wireless and Mobile Computing and Communications*, 60(4) :374–406, 2000.
- [8] M. Mirhakkak, N. Schult, and D. Thomson. Dynamic quality-of-service for mobile ad hoc networks. In *IEEE MobiHoc 2000*, Boston, Massachusetts, USA, August 2000.
- [9] C.E. Perkins and P. Bhagwat. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. In *Proceedings of the SIGCOMM '94 – Conference on Communications, Architectures, Protocols, and Applications*, pages 234–244, London, UK, September 1994.
- [10] P. Sinha, R. Sivakumar, and V. Bharghavan. CEDAR : a core extraction distributed ad hoc routing algorithm. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, special issue on Wireless Ad Hoc Networks*, 17(8) :1454–1465, august 1999.
- [11] K. Wu and J. Harms. Qos support in mobile ad hoc networks – *not yet published*.
- [12] H. Xiao, W.K.G. Seah, A. Lo, and K.C. Chua. A flexible quality of service model for mobile ad hoc networks. In *IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 445–449, Tokyo, Japan, Mai 2000.



Unité de recherche INRIA Lorraine, Technopôle de Nancy-Brabois, Campus scientifique,
615 rue du Jardin Botanique, BP 101, 54600 VILLERS LÈS NANCY
Unité de recherche INRIA Rennes, Irista, Campus universitaire de Beaulieu, 35042 RENNES Cedex
Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes, 655, avenue de l'Europe, 38330 MONTBONNOT ST MARTIN
Unité de recherche INRIA Rocquencourt, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex
Unité de recherche INRIA Sophia-Antipolis, 2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex

Éditeur
INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex (France)
<http://www.inria.fr>
ISSN 0249-6399