

Expérimentations avec 802.11 dans des configurations ad-hoc

Dominique Dhoutaut and Isabelle Guérin-Lassous

*Equipe ARES / CITI - Bât. Léonard de Vinci
21, av. Jean Capelle - 69621 Villeurbanne - FRANCE
Nom.Prénom@ens-lyon.fr*

Les réseaux ad-hoc sont des réseaux mobiles, sans fil, et sans infrastructure fixe. Les recherches dans le domaine des réseaux ad-hoc ont désormais atteint un point où les expérimentations deviennent nécessaires. En effet, la plupart des travaux dans ce domaine concernent les protocoles de routage et leurs évaluations par des moyens théoriques ou des simulations. Mais les simulations ne fournissent pas des résultats toujours réalistes dans le contexte particulier des réseaux ad-hoc où les facteurs environnementaux sont prépondérants. Les principales mesures obtenues par bancs d'essai concernent les protocoles de routage. Mais il est extrêmement difficile d'extraire de ces mesures les effets des couches physique et MAC, et de les séparer des effets des couches supérieures. Puisque la majeure partie des cartes réseau sans fil suivent les standards 802.11x, nous nous attachons dans ce papier à déterminer quels services nous pouvons en attendre dans le cadre des réseaux ad-hoc. Nous avons développé un outil logiciel pour déployer des scénarios et analyser le trafic. A partir d'expérimentations, nous mesurons la capacité du médium sous différentes configurations ainsi que la zone d'interférence, nous montrons les effets de flux diffusés ou émis en mode point-à-point sur leur voisinage, et nous montrons les problèmes d'asymétrie des cartes utilisées.

Keywords: expérimentations, 802.11, ad hoc

1 Introduction et objectifs

Les recherches dans le domaine des réseaux ad-hoc ont atteint un point où les expérimentations deviennent nécessaires. La plupart des travaux concernent la conception de protocoles (MAC, routage, multicast, qualité de service, sécurité) qui sont essentiellement évalués par des études théoriques ou par des simulations (avec des simulateurs comme NS2, GloMoSim ou OPNet). Il est difficile de réaliser des simulations précises et détaillées à cause des nombreuses couches logicielles à prendre en compte, et en particulier à cause de la dépendance envers des facteurs environnementaux. Afin de permettre aux chercheurs de tester rapidement le comportement des protocoles qu'ils développent, les simulateurs les plus utilisés sont obligés d'accepter certains compromis. Actuellement, la communauté s'entend sur le fait que l'on manque d'expérimentations pour ces protocoles en environnement réel. Quelques bancs d'essais réels ont été proposés dans [1, 2, 3, 4], mais ils s'attachent à montrer les comportements de protocoles de routage (DSR pour [3, 4], ABR pour [1] et AODV ainsi que OLSR pour [2]). Cependant dans leurs résultats, il est extrêmement difficile de séparer les effets dûs aux couches physique et MAC des effets des protocoles de routage ou des autres couches supérieures.

Actuellement, les cartes les plus utilisées implémentent les standards 802.11x [5] (802.11 pour les cartes les plus anciennes, 802.11b pour la majorité des cartes actuelles, et 802.11a pour la nouvelle génération). De par leur disponibilité, ces cartes sont largement utilisées pour les réseaux ad-hoc. Cependant, certains travaux, comme [6, 7, 8, 9], tendent à montrer que 802.11 n'est pas adapté pour ce type de réseaux. Or, tous ces travaux sont basés sur des simulations.

Notre objectif principal est de comprendre quels services peuvent être fournis par 802.11 dans le contexte des réseaux ad-hoc. Pour commencer, nous avons donc étudié les effets de sources "gloutonnes" (i.e. des émetteurs qui cherchent à utiliser toute la bande passante disponible). Ce choix s'explique en particulier par les résultats présentés dans [9] et qui montrent des problèmes d'inéquité dans certaines configurations. Pour

mesurer les effets de 802.11 dans des scénarios de type ad-hoc, nous avons dû développer nos propres outils de mesure. Notre programme nous permet de déployer des scénarios sur un véritable réseau ad-hoc et de mesurer de nombreux paramètres au cours des expérimentations.

Dans la Section 2 nous décrivons notre outil. Dans la Section 3 nous présentons les premiers résultats obtenus. Nous étudions la portée de communication dans différentes situations (en faisant varier la distance entre les mobiles et en modifiant l'orientation des cartes réseau sans fil), l'évolution de l'équité du partage du médium en fonction du nombre de stations en concurrence, les effets des paquets diffusés sur les paquets envoyés en mode point-à-point, et enfin la zone d'interférence.

2 Protocole expérimental

A notre connaissance, deux environnements existent pour tester des scénarios ad-hoc. **MobiEmu** est un outil permettant d'émuler un environnement ad-hoc à partir d'un réseau fixe [10]. **APE** quant à lui permet d'évaluer les protocoles de routage dans un contexte réellement sans fils [2]. APE a pour but de simplifier autant que possible les mesures en environnement réel. Mais APE est conçu avant tout pour mesurer les performances des protocoles de routages alors que nous cherchons plutôt à évaluer 802.11 lui-même ; de plus APE n'était pas finalisé au moment où nous avons commencé nos travaux.

Nous avons donc développé un outil de mesure adapté à nos besoins, i.e. qui déploie des scénarios sur des réseaux ad hoc réels et qui permet de tracer l'évolution des paquets lors des expérimentations. Notre programme fonctionne sur des portables équipés de Linux. Pour chaque mobile, des scripts permettent de configurer l'émission de différents flux. Nous utilisons des flux de paquets UDP à débit constant car TCP ou d'autres protocoles évolués auraient masqué en partie le comportement de 802.11. Comme nous cherchons aussi à nous affranchir des effets des protocoles de routage (timeouts, paquets de contrôle perdus, ...), notre application se limite à établir sur chaque mobile des règles de répétition des paquets en fonction du flux auquel ils appartiennent (et autorise ainsi néanmoins l'étude de flux "multi-sauts"). Les traces obtenues à l'issue de l'expérimentation permettent de connaître le devenir des paquets : quand et par qui un paquet a été envoyé et reçu, avec quelle puissance et sous quel niveau de bruit.

3 Résultats

Il est rapidement apparu que même les scénarios les plus simples pouvaient soulever des problèmes qui n'apparaissent pas dans les simulations. Nous avons donc décidé dans un premier temps de nous concentrer sur des configurations simples, ne mettant pas en œuvre de communications multi-sauts mais permettant de mieux connaître et comprendre la capacité du médium. Les mesures ont été effectuées avec des portables sous Linux (noyau 2.4.19) et équipés de cartes WaveLan de Lucent Technologies.

3.1 Mesures étalon

Nous avons tout d'abord cherché à mesurer la capacité du médium en absence de contention, et sans utiliser les RTS/CTS. Nous avons donc mesuré la bande passante entre deux ordinateurs proches l'un de l'autre. L'expérience consiste à envoyer des rafales de paquets UDP de taille croissante (50 octets de plus à chaque étape).

La seuil de fragmentation ethernet est la première chose que l'on remarque sur la Figure 1, puisque le débit chute brusquement lorsque la taille des paquets dépasse 1500 octets. Bien que 802.11 autorise des paquets plus grands (2346 octets d'après [5]), la couche réseau n'en tient pas compte et cherche à optimiser la taille des paquets pour un réseau de type ethernet. Dans nos mesures, la bande passante utile maximale de 5.87Mb/s est obtenue avec des paquets UDP comportant 1432 octets de données.

Un fort impact du WEP est également visible lorsque l'on fonctionne à 11Mb/s. Une analyse approfondie des résultats montrent que la perte de bande passante pour les paquets supérieurs à 1000 octets est due à la perte d'un certain pourcentage de paquets (et non à un allongement du temps de traitement de chaque paquet). Ce problème est lié à la manière dont le WEP est programmé dans le firmware des cartes, et varie donc d'un modèle à l'autre. Dans la suite de nos travaux, nous avons donc choisi de ne pas utiliser le WEP.

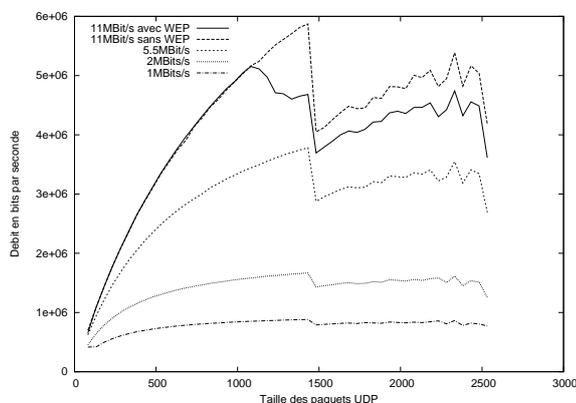


FIG. 1: Débit en fonction de la taille des paquets

La portée réelle de communication est un autre paramètre important que nous voulions mesurer, en particulier à cause de son impact sur le fonctionnement des protocoles de routage. Nous avons utilisé nos cartes WaveLan à leur puissance d'émission par défaut, soit 15 dBm, et nous avons placé les portables suivant les orientations présentées à gauche sur la Figure 2. Nous avons travaillé en espace ouvert et en n'utilisant que deux ordinateurs. Chaque étape consistait en l'envoi de rafales de paquets UDP de 200, 500, 1000 et 1400 octets, durant 20 secondes chacune. L'émetteur s'éloignait du récepteur de 15 mètres supplémentaires à chaque étape. Les bandes passantes mesurées sont présentées sur la Figure 2. Nous pouvons voir que l'orientation des antennes de ce type de carte a un impact très important sur leur portée effective. En particulier, dans la position la plus défavorable (position 2 sur la Figure 2), le débit est déjà fortement réduit à partir de 45 mètres. Ceci est également visible sur les courbes des niveaux de signal et de bruit (Figures 3 et 4), où le niveau de signal est nettement plus élevé à distance égale quand les cartes se font face. Il est aussi intéressant de noter, en comparant les positions 1 et 3 de la figure 2, que l'orientation des cartes sur les mobiles récepteurs a aussi un impact sur la portée de communication.

Il est important de préciser que durant toutes ces mesures, les cartes sont bien restées en mode 11Mb/s et n'ont pas été dégradées à des débits inférieurs (5.5 ou 2Mb/s). La chute du débit est donc bien due à une perte des paquets. On remarque également que la taille des paquets n'a pas un impact très grand sur le taux de perte. Un analyse détaillée a montré que les paquets étaient en général perdus par rafale. Ceci est important, en particulier puisque dans les simulations on utilise souvent un taux d'erreur par bit, qui conduit à penser que les grands paquets sont plus souvent perdus que les petits. Le fait que des forts taux de perte apparaissent à des distances finalement très courtes est également important pour les protocoles de routage, puisque ces derniers utilisent généralement des paquets diffusés, que 802.11 n'acquiesce donc pas. Beaucoup de ces paquets vont se perdre, ce qui peut avoir un impact très négatif sur les protocoles de routage.

3.2 Le partage du médium

Dans une seconde série d'expériences, nous nous sommes intéressés au partage du médium entre un nombre croissant de mobiles à portée de communication les uns des autres. Pour ce faire, nous avons configuré un portable en récepteur, et 7 autres en émetteurs. Au début de l'expérience, un seul émetteur est actif et envoie des flux à débit constant de paquets UDP de 200, 500, 1000, 1400 et 2000 octets. Nous activons un nouvel émetteur à chaque étape, jusqu'à ce que les sept soient en concurrence. Les débits agrégés sont présentés sur la Figure 5. On remarque que le débit total augmente avec le nombre de sources. Ceci s'explique par le fait que lorsque le médium est libre plusieurs mobiles décrémentent simultanément leurs backoffs, ce qui diminue le temps moyen séparant deux paquets envoyés sur le médium. Bien entendu

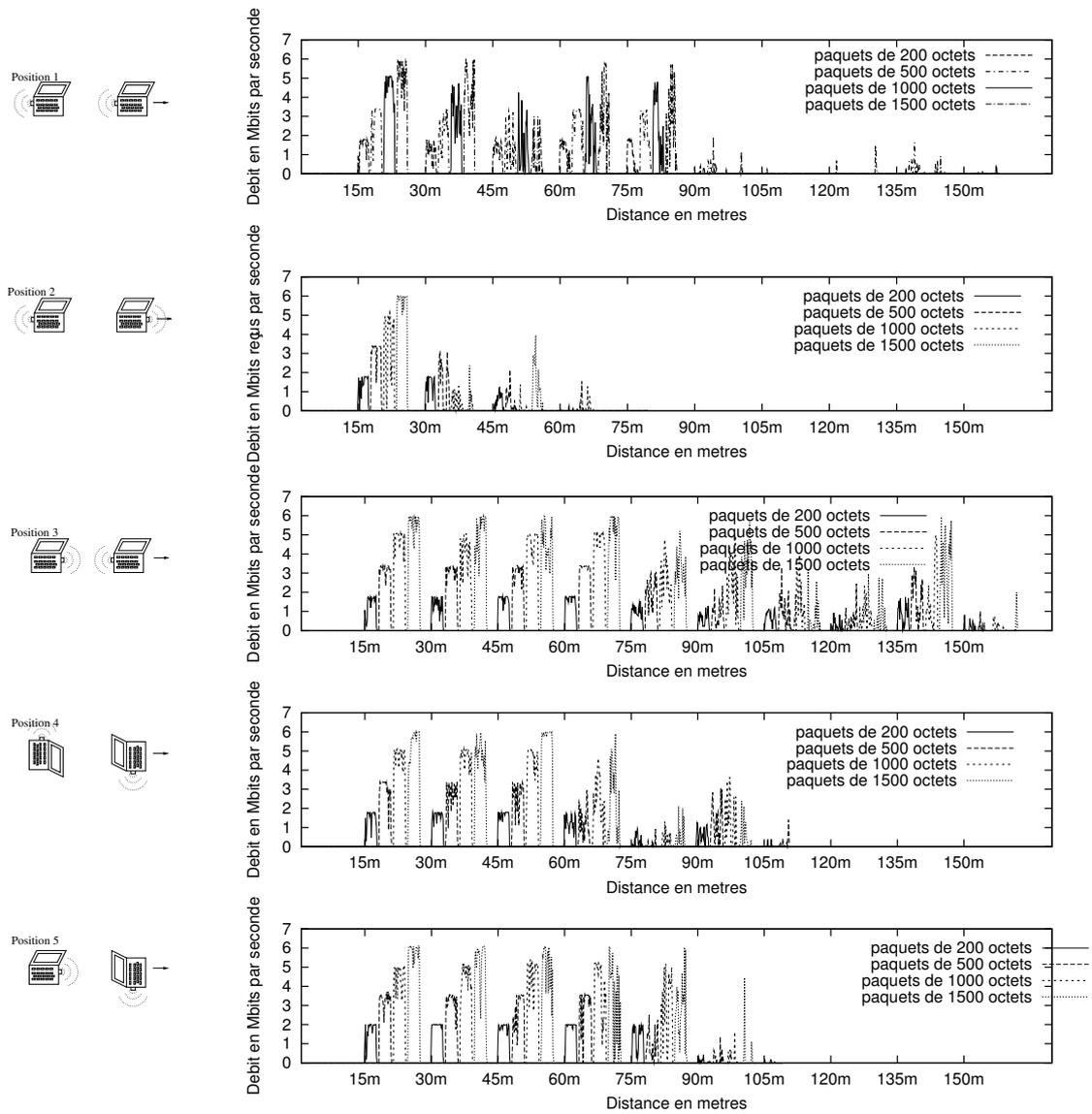


FIG. 2: Débits mesurés en fonction de la distance et de l'orientation des antennes

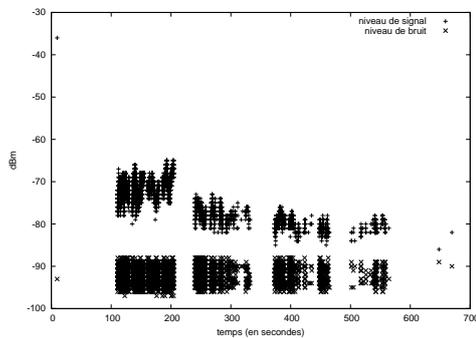


FIG. 3: Niveaux de signal et de bruit pour la position 2

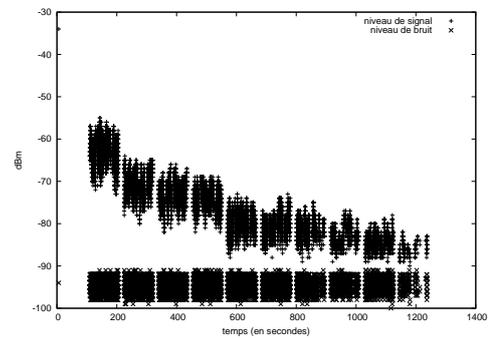


FIG. 4: Niveaux de signal et de bruit pour la position 3

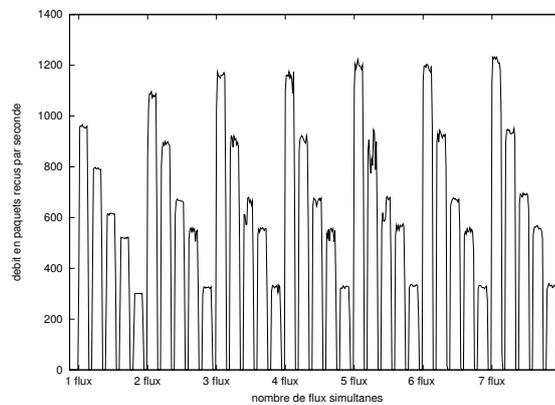


FIG. 5: Débits totaux mesurés pour un nombre croissant de flux en compétition

les chances de collisions augmentent avec le nombre de mobiles en concurrence. Mais une analyse des temps de transmission des paquets nous a montré que dans la période où sept mobiles cherchent à émettre, le taux de collision est de seulement 6,25% environ.

3.3 La diffusion et la portée d'interférence

En utilisant 4 portables et au maximum 2 flux simultanés de données, nous avons essayé d'évaluer les interférences qu'un émetteur peut provoquer dans son voisinage direct et indirect. Dans ce but, nous avons répartis les portables en deux paires d'émetteur/récepteur. Les deux mobiles d'une paire restent toujours très proches l'un de l'autre. Au départ tous les portables sont côte-à-côte, mais à chaque étape on augmente la distance entre les deux paires (Figure 6). Chaque étape dure 100 secondes. Durant chacune d'entre elles nous utilisons des flux de paquets UDP de 1000 octets de données en alternant entre la diffusion à 2Mb/s et l'émission point-à-point à 11Mb/s (Figure 7). Il faut noter que les cartes sont orientées de la même manière que dans la position 4 présentée sur la Figure 2. La Figure 8 montre les paquets reçus par le mobile numéro 2. Cette figure donne de nombreuses informations et nous allons la considérer segment par segment.

Nous commençons par les deux premières étapes (0 et 25.5 mètres). Ici, tous les mobiles sont en portée directe de communication. Durant les secondes 0-20 de ces étapes, un flux à 11Mb/s est en concurrence avec un flux à 2Mb/s. Comme on pouvait s'y attendre avec 802.11, le débit effectif est le même pour les deux flux, même si celui à 2Mb/s utilise le canal pendant un temps plus important. Durant les secondes 20-35, les deux flux à 2Mb/s sont en concurrence, durant les secondes 40-55 on est dans une situation symétrique

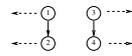


FIG. 6: position des 2 paires

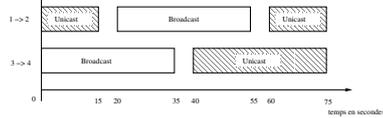


FIG. 7: Schéma de communication dans le scénario des 2 paires

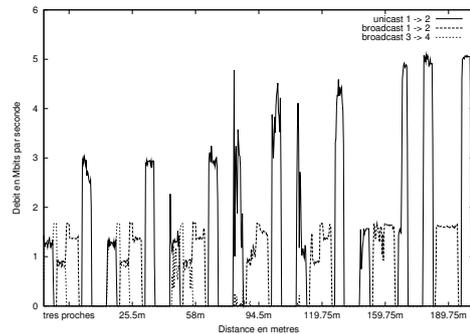


FIG. 8: Paquets reçus par le mobile 2 dans le scénario des deux paires qui s'éloignent

à celle des secondes 0-20, et durant les secondes 60-75, les deux flux à 11Mb/s sont en concurrence et se partagent équitablement la bande passante.

Le second segment inclue les étapes 3 à 6 (de 58 à 159 mètres). Nous sommes alors dans ce que l'on peut appeler la "zone d'interférences". Seulement certains paquets envoyés par l'émetteur de l'autre paire sont reçus, mais le mécanisme de détection de porteuse détecte néanmoins de l'activité sur le canal quand le signal est trop faible pour une réception correcte. Les émetteurs sont donc obligés de se mettre en attente (mécanisme de *deffering* de 802.11). Dans les étapes 4, 5 et 6, on peut mettre en lumière un phénomène intéressant : comme les diffusions sont effectuées à 2Mb/s, elle peuvent être perçus à une distance plus grande. Dans les réseaux ad-hoc, cela peut conduire à ce qui est appelé "zone grise" dans [11]. Dans cette zone, les paquets diffusés par les protocoles de routage pour détecter leur voisinage ou découvrir des routes sont reçus, mais les paquets de données envoyés ensuite à 11Mb/s sur ces routes ne le sont pas. Ce phénomène de "zone grise" n'est pas visible directement dans ce scénario (il nous aurait fallu un flux point-à-point supplémentaire entre les mobiles 3 et 2), mais les zones d'interférences sont sujettes au même phénomène, particulièrement visible dans les périodes 0-20 et 60-75 à 159 mètres. Au début (0-20), notre flux à 11Mb/s local doit visiblement partager le canal avec le flux diffusé par l'autre paire. Mais il n'a plus besoin de le partager à la fin (60-75) quand l'autre émetteur fonctionne aussi à 11Mb/s.

Finalement, les deux paires sortent complètement de leur zones d'interférence respectives. C'est le troisième segment (189 mètres et au-delà), où chaque émetteur obtient la totalité de la bande passante.

De ces mesures, nous pouvons voir que la zone d'interférence est au moins deux fois plus large que la zone de communication qui est liée au débit d'émission (car les techniques de codage sont différentes suivant les débits utilisés). Ceci est en accord avec les résultats des simulateurs. Mais la grande variance que l'on peut observer dans les débits même lorsque les émetteurs/récepteurs sont fixes ainsi que l'impact de la "zone grise" sont absents des simulateurs (en particulier NS2). Ceci est préjudiciable car de nombreux protocoles de routage ne prennent par conséquent pas en compte ces phénomènes.

3.4 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté très succinctement un outil qui permet de déployer des scénarios sur des réseaux ad hoc et de collecter les traces concernant l'évolution des paquets. Le but de cet outil est de mesurer et de comprendre les effets de 802.11 dans des réseaux ad hoc en s'affranchissant des caractéristiques des protocoles de routage. Avec les résultats présentés, les principales conclusions sont :

- le débit maximal obtenu à 11 Mbits/s pour une station est de 5.87 Mbits/s avec des paquets de données de 1432 octets.
- Le débit total augmente avec le nombre de stations en compétition pour l'accès au médium.
- Peu de collisions ont été détectées, même avec 7 flux en compétition.
- L'équité est acceptable pour les scénarios testés.
- La portée de communication dépend très fortement de l'orientation des cartes sans fil (sur les émetteurs et les récepteurs).
- Au-delà de la zone de communication, il existe une zone très instable où les communications sont

difficilement prédictibles.

- Les flux envoyés en mode broadcast réduisent le débit des flux envoyés en mode point-à-point.
- La zone grise a bien été perçue.
- La zone d'interférences est au moins deux fois plus grande que la zone de communication en environnement extérieur.

Par la suite, nous pensons intensifier nos expériences en nous intéressant au problème d'inégalité de 802.11 qui apparaît avec certaines simulations et en incluant les caractéristiques multi-sauts des réseaux ad hoc.

Références

- [1] C.-K. Toh, Richard Chen, Minar Delwar, and Donald Allen. Experimenting with an ad hoc wireless network on campus : insights and experiences. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 28(3) :21–29, December 2000.
- [2] H. Lundgren, D. Lundberg, J. Nielsen, E. Nordstrom, and C Tschudin. A large-scale testbed for reproducible ad hoc protocol evaluations. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Orlando, USA, March 2002.
- [3] David A. Maltz, Josh Broch, and David B Johnson. Quantitative lessons from a full-scale multi-hop wireless ad hoc network testbed. In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Network Conference 2000*, September 2000.
- [4] David A. Maltz, Josh Broch, and David B Johnson. Experiences designing and building a multi-hop wireless ad hoc network testbed. Technical report, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1999.
- [5] Wireless Lan Media Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999.
- [6] T. Nandagopal, T.-E. Kim, X. Gao, and V. Bharghavan. Achieving MAC Layer Fairness in Wireless Packets Networks. In *Proceedings of MOBICOM*, 2000.
- [7] Y. Wang and B. Bensaou. Achieving Fairness in IEEE 802.11 DFWMAC with Variables Packet Lengths. In *Proceedings of IEEE GLOBECOM*, November 2001.
- [8] S. XU and T. Saadawi. Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work Well in Multihop Wireless Ad Hoc Networks. *IEEE Communications Magazine*, 2001.
- [9] D. Dhoutaut and I. Guérin Lassous. Impact of Heavy Traffic Beyond Communication Range in Multi-Hops Ad Hoc Networks. In *Third International Network Conference*, Plymouth, Angleterre, 2002.
- [10] Zhang Yongguang and Li Wei. An Integrated Environment for Testing Mobile Ad-Hoc Networks. In *Proceedings of the Third ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'02)*, Lausanne, Switzerland, July 2002.
- [11] Henrik Lundgren, Erik Nordström, and Christian Tschudin. Coping with communication gray zones in IEEE 802.11b based ad hoc networks. In *The Fifth International Workshop on Wireless Mobile Multimedia, WOWMOM 2002*, Atlanta, Georgia, September 2002.