

# Routage multicast dans les reseaux ad hoc : l'approche Jumbo

Guillaume Chelius, Eric Fleury

► **To cite this version:**

Guillaume Chelius, Eric Fleury. Routage multicast dans les reseaux ad hoc : l'approche Jumbo. Colloque sur les Services liés à la mobilité et réseaux mobiles 3G - MS3G'2001, Dec 2001, Lyon, France, 6 p, 2001. <inria-00099398>

**HAL Id: inria-00099398**

**<https://hal.inria.fr/inria-00099398>**

Submitted on 26 Sep 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.

# Routage multicast dans les réseaux ad hoc : l'approche Jumbo

Guillaume Chelius<sup>†</sup> and Eric Fleury<sup>‡</sup>

INRIA & LORIA, campus scientifique, BP 239, F-54506 Vandœuvre lès Nancy, France

---

**Mots-clé** : réseaux ad hoc, routage multicast, routage unicast, cliques

La diffusion de données vers des destinations multiples est un scénario très probable dans les contextes d'utilisation des réseaux ad hoc. Ces réseaux sont constitués de nœuds mobiles communiquant grâce au médium radio et se forment de manière spontanée lorsque plusieurs hôtes se trouvent à distance de communication, chaque hôte prenant partie dans le processus de routage. Nous proposons un nouveau protocole de routage multicast : Jumbo. A la différence des approches conventionnelles, les contraintes dictant le développement de Jumbo proviennent de la problématique du multicast et non de celle de l'unicast. Jumbo assure une diffusion d'une couverture par cliques de la topologie du réseau et propose une gestion centralisée du multicast. Il se révèle très efficace dans de nombreux scénarios d'utilisation. Nous présentons des simulations ainsi que des comparaisons avec d'autres protocoles actuels.

---

## 1 Introduction

Un réseau ad hoc est un réseau basé sur un médium de communication radio et n'étant constitué d'aucune architecture ou infrastructure fixe. Les hôtes sont libres de se déplacer, de se connecter ou de se déconnecter du réseau sans avertissement. Une des caractéristiques du ad hoc est donc la très forte mobilité des nœuds. Parmi les particularités majeures du médium radio, les deux plus importantes sont les concepts de *partage* et de *réutilisation spatiale* du médium. La notion de partage est expliquée par le caractère diffus d'une émission radio. Lorsqu'un nœud émet, il utilise la ressource radio sur toute sa zone de couverture et empêche les nœuds compris dans cette zone d'émettre ou bien de recevoir d'autres paquets. La notion de réutilisation spatiale signifie que deux nœuds ne se trouvant pas à portée de communications peuvent simultanément accéder au médium radio et émettre. Ces deux caractéristiques induisent des contraintes ou des potentialités particulières notamment dans le domaine du routage.

Comme la zone de couverture radio d'un mobile est limitée, la mise en place de mécanismes de routage est nécessaire. Deux nœuds à distance trop élevées ont besoin de la participation d'hôtes comme relais pour communiquer. La découverte des routes entre nœuds, le choix des relais sont autant de problèmes qu'il est nécessaire d'étudier et d'implanter. Des mécanismes doivent également être développés pour la diffusion vers des hôtes multiples, le broadcast ou le multicast. De nombreuses travaux sont réalisées dans ce domaine notamment au sein du groupe MANet (*Mobile Ad hoc Network*) de l'IETF [CM99]. Nous nous intéressons dans cette étude à la mise en place d'un service de communication de groupe (multicast). Le multicast est un service permettant l'envoi de données vers des hôtes multiples selon le modèle de Deering. Comme dans le monde du filaire, le multicast prend de plus en plus d'importance comme moyen de réduire l'utilisation de la bande passante pour la diffusion de données à des hôtes multiples. La diffusion de données vers des destinations multiples est un scénario très probable dû au contexte d'utilisation des réseaux ad hoc; ils doivent en effet être en mesure d'offrir les mêmes services que ceux proposés dans les réseaux filaires.

Les divers protocoles de multicast proposés jusqu'à maintenant sont souvent mal adaptés et présentent des défauts flagrants. Ce sont généralement des adaptations de protocoles de routage unicast à la diffusion

---

<sup>†</sup>Guillaume.Chelius@ens-lyon.fr

<sup>‡</sup>Eric.Fleury@loria.fr

de groupe. Cette approche semble inadaptée car les contraintes dictées par la problématique du multicast sont différentes de celles de l'unicast. Nous proposons dans cette étude un protocole de routage adapté au multicast. Ce protocole, nommé Jumbo, repose sur deux mécanismes distincts : le premier assure la diffusion de la topologie du réseau ad hoc au sein de tous les nœuds et le second gère la création d'arbres de diffusion dans le réseau ainsi que la maintenance des groupes. Cette dernière partie n'est pas présentée ici mais sa description peut être trouvée dans [Che01].

Après une présentation de la modélisation d'un réseau ad hoc ainsi que de la problématique du routage multicast dans cette architecture, section 2, nous présenterons les mécanismes utilisés par Jumbo pour diffuser la topologie du réseau au sein de chaque nœud dans la section 3. La section 4 conclut cette étude et présente les perspectives qu'elle soulève.

## 2 Routage dans les réseaux ad hoc

### 2.1 Modélisation d'un réseau ad hoc

Un réseau ad hoc est généralement assimilé à un graphe  $G = (V, E)$ .  $V$  représente l'ensemble des hôtes du réseau et  $(u, v) \in E$  si et seulement si les mobiles représentés par les sommets  $u$  et  $v$  sont à distance de communication. Les phénomènes de partage et de réutilisation spatiale du médium dictent des règles de communication. Lorsqu'un nœud  $u$  émet un paquet, ce dernier emprunte toutes les arêtes adjacentes à  $u$ . Deux paquets ne peuvent transiter à la fois sur un même lien (liens half-duplex) où ne peuvent mener à un même nœud (contentions).

La validation des études sur les réseaux ad hoc passe par une phase de simulation ou de tests. La mise en place de ces derniers nécessite une logistique et un protocole expérimental complexe. La solution la plus abordable est donc la simulation. Nous présentons ici deux types de graphes généralement utilisés pour reproduire des situations courantes d'utilisation ou supposées telles et utilisables dans le cadre de simulations : les graphes aléatoires et les graphes géométriques aléatoires. Si la simplicité de ces modèles les rend moins réalistes, elle permet néanmoins de réaliser des études analytiques ainsi que de systématiser la génération des graphes.

Dans le domaine des réseaux ad hoc, les graphes aléatoires sont utilisés pour générer des graphes correspondant à une configuration de type *Grande Salle* [JL99]. C'est le scénario où un grand nombre de nœuds sont réunis dans une salle. Dans ce cas, un mobile peut communiquer avec quasiment tous les autres mobiles. Ces configurations peuvent être produites en utilisant des graphes aléatoires ayant une probabilité d'arêtes  $p$  proche de 1. Les graphes géométriques sont utiles pour représenter des configurations de réseaux ad hoc correspondant à de nombreux scénarios. Un certain nombre de ces scénarios sont présentés dans [JV00], par exemple : le cas de la grille parsemée où les nœuds sont placés à l'intersection d'un quadrillage. Un autre type de scénario est l'utilisation out-door ou in-door étendue. Dans ce cas, les nœuds sont placés aléatoirement sur une surface donnée.

### 2.2 Routage multicast

Les réseaux ad hoc ajoutent plusieurs problématiques à celles déjà identifiées dans le couple multicast et réseaux classiques; par exemple la gestion de la forte mobilité du réseau. Un point particulier est l'identification critère à optimiser lors de la création de l'arbre. Si, dans un réseau classique, on cherche à trouver un arbre couvrant minimum (algorithme de Steiner [Win87]) on peut, dans un réseau ad hoc, chercher à minimiser la pollution créée par la diffusion d'un paquet de multicast. D'autres critères peuvent être de minimiser le nombre de rediffusions sur l'arbre ou bien la profondeur de l'arbre. Bien souvent, la relation entre ces différents critères n'est que très faible.

Il existe plusieurs modèles pour implanter le routage multicast. D'abord, l'arbre de diffusion peut-être partagé - un arbre par groupe multicast - ou non - un arbre par groupe multicast et par source. Ensuite, l'arbre peut-être construit statiquement, en général par la racine, ou bien de manière dynamique. Dans le premier cas, la racine doit connaître tous les membres du réseau, posséder une certaine vision de la topologie et créer un arbre en fonction de ces informations (routage par la source). Dans le second cas, les branches sont construites de manière dynamique lorsqu'un nœud tente de se raccrocher à l'arbre. Divers protocoles de routage multicast ont été proposés jusqu'à maintenant; ils correspondent souvent à une extension d'un protocole de routage unicast comme pour *Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector* (MAODV [RP00] [DRP00]) ou *Multicast Optimized Link State Routing* (M-OLSR [JLV<sup>+</sup>01] [JMQ<sup>+</sup>00]).

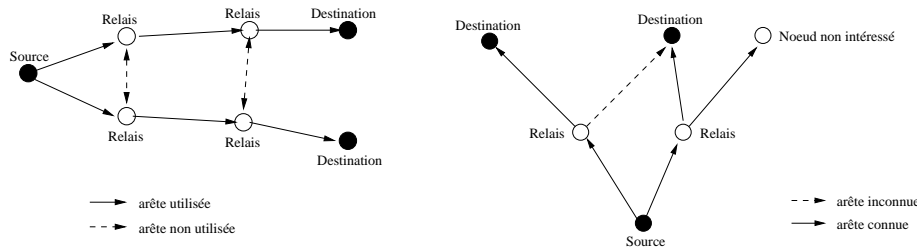


FIG. 1 – Arbres construits par M-OLSR

### 2.3 Limitations

Dans le domaine du ad hoc, les algorithmes de création d'arbres de diffusion sont inadapés : les structures qu'ils créent peuvent avoir de trop nombreux défauts. Par exemple, l'utilisation d'un mécanisme de découverte de route mène à la création de branches non optimales en terme de distance. L'étude proposée par [JV00] montre que cela entraîne en moyenne dans un modèle de graphe aléatoire unidimensionnel une sur-utilisation de 33% de la bande passante. Si l'utilisation d'une approche proactive (calcul des routes) permet de résoudre ce problème, les algorithmes actuels adoptant cette approche ne sont pourtant pas efficaces. Par exemple, l'algorithme distribué mis en œuvre par M-OLSR peut entraîner la création d'un arbre à deux branches parallèles très longues comme illustré figure 1. Ce genre de phénomène, déjà mauvais dans le cas des réseaux filaires, est terrible dans les réseaux ad hoc où le médium de communication est précieux. La vision partielle du réseau que propose M-OLSR est également source de gaspillage du médium. La restriction sur les arêtes pouvant être utilisées dans la construction de l'arbre peut entraîner des aberrations dans l'arbre comme celle illustrée figure 1.

Il est donc nécessaire d'avoir une vision globale du réseau. La construction de l'arbre doit être réalisée de manière centralisée. C'est la stratégie la plus simple pour mettre en place des optimisations à une échelle supérieure au local et permettant d'éviter le type d'erreurs illustrées figure 1. A partir de ces constats, deux problèmes se posent. Le premier est de trouver un moyen de diffuser la topologie du réseau à moindre coût. Le second est d'écrire un algorithme efficace de construction d'arbres à partir de cette vision. Il est intéressant de noter que la réponse au premier problème permet de résoudre le problème du routage unicast. Il serait dommage de ne pas se servir de la connaissance du réseau pour créer des routes point à point. La différence avec les approches conventionnelles est que les contraintes sont dictées par la problématique du multicast et non par celle de l'unicast. Nous réalisons de l'unicast à partir des informations collectées pour le multicast et ne cherchons pas à étendre l'unicast au multicast.

## 3 Jumbo

Nous avons vu section 2.3 que la connaissance de la topologie complète du réseau peut permettre d'améliorer l'efficacité du multicast dans les réseaux ad hoc. C'est dans cette optique que nous avons développé le protocole **Jumbo**. Il peut être séparé en deux parties indépendantes. La première assure la diffusion de la topologie en utilisant des mécanismes de représentation de graphes particuliers. C'est un protocole proactif qui fournit à chaque nœud un aperçu du réseau. Contrairement à OLSR, cette vision est complète. La seconde partie de Jumbo, *Multicast-Jumbo* (M-Jumbo), est le routeur multicast. Il crée les arbres de diffusion et configure les nœuds relais en se fondant sur les informations d'adjacence fournies par la partie précédente. Il propose une gestion centralisée de la cohésion des groupes multicast similaire à celle de M-AODV. M-Jumbo n'est pas présenté dans cet article. Pour avoir une description du protocole ainsi que de l'algorithme de création d'arbre, se référer à [Che01].

### 3.1 Une vision en cliques

Pour permettre à chaque nœud de reconstruire en local la topologie du réseau, il est nécessaire de diffuser l'ensemble des liens à l'ensemble des nœuds. Cela peut-être fait en imposant à chaque nœud d'émettre par broadcast l'ensemble de ses voisins. Ce processus, quoique parfois efficace, est souvent trop coûteux et réduit considérablement les possibilités d'utilisation utile du réseau. Pour réduire le volume d'informations nécessaire à la représentation du réseau, Jumbo utilise la notion d'*hyper-arête* ou de *clique*. Dans un graphe, une clique - ou hyper-arête - est un sous-graphe complet. Interprété pour les réseaux ad

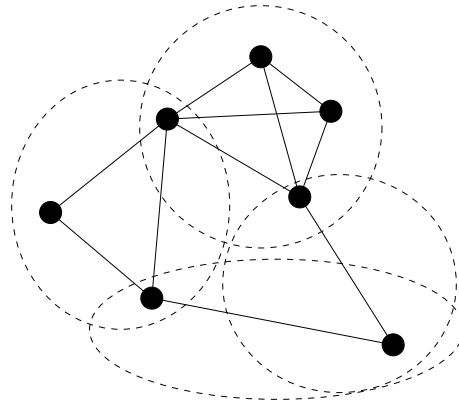


FIG. 2 – Une vue en clique d'un réseau

hoc, une clique est un ensemble de nœuds complètement interconnectés, tel qu'un paquet émis par un nœud est reçu par tous les autres nœuds de la clique. L'intérêt des cliques est de permettre la représentation de  $k^2$  arêtes avec une information de taille  $k$ , *i.e.*, l'ensemble des nœuds de la clique. Un exemple de décomposition en cliques du réseau est donné figure 2. Jumbo permet à chaque nœud de se représenter le réseau en diffusant une couverture par cliques de ce dernier.

### 3.2 Description du protocole

Jumbo maintient au sein de chaque nœud l'adjacence de tous les nœuds du réseau. Pour cela il échange des voisinages en local et diffuse des cliques sur le réseau. L'algorithme gérant les créations, destructions et évolutions des cliques est le cœur du protocole. C'est un algorithme distribué dont le coût en calcul doit demeurer faible pour chaque nœud. Il doit également proposer une décomposition satisfaisante du réseau en cliques. Cela signifie que la somme des tailles des cliques créées doit être aussi faible que possible. Plusieurs algorithmes peuvent remplir cette tâche avec une efficacité plus ou moins grande. Ils agissent globalement de la même manière: chaque nœud est propriétaire de cliques qu'il a créées pour couvrir certains de ses liens et qu'il diffuse dans le réseau. Deux algorithmes sensiblement différents ont été évalués. Dans le premier, chaque nœud gère ses cliques de manière dynamique. Une fois créées, les cliques sont conservées, modifiées pour inclure de nouveaux nœuds ou bien détruites si redondantes ou invalides. Dans le second, les nœuds créent des cliques éphémères à la demande, c'est à dire lorsqu'un lien a besoin d'être couvert. Après différentes simulations, cette dernière stratégie a été choisie pour des raisons de performance.

Certains problèmes se posent dans la mise en œuvre de Jumbo. L'un d'entre eux consiste à maintenir la matrice d'adjacence entre nœuds à partir de la vision des cliques. Cela peut-être réalisé trivialement mais à un coût prohibitif. Il est donc nécessaire de trouver un algorithme qui minimise le volume en coût de calcul au sein de chaque nœud. Deux implémentations ont été envisagées. La première consiste à garder une vision dégradée dans le temps des cliques couvrant le réseau et à en extraire les modifications de topologie. Comme le nombre de cliques utilisées pour décomposer le réseau peut-être élevé ( $O(n^2)$ ), la gestion d'une liste des cliques est coûteuse. Le second algorithme maintient les adjacences des sommets sans conserver les cliques reçues. Il consiste à garder une vision dégradée dans le temps de la topologie du réseau. Pour des raisons de coûts mémoire et calcul, la seconde méthode s'avère plus efficace.

### 3.3 Performances

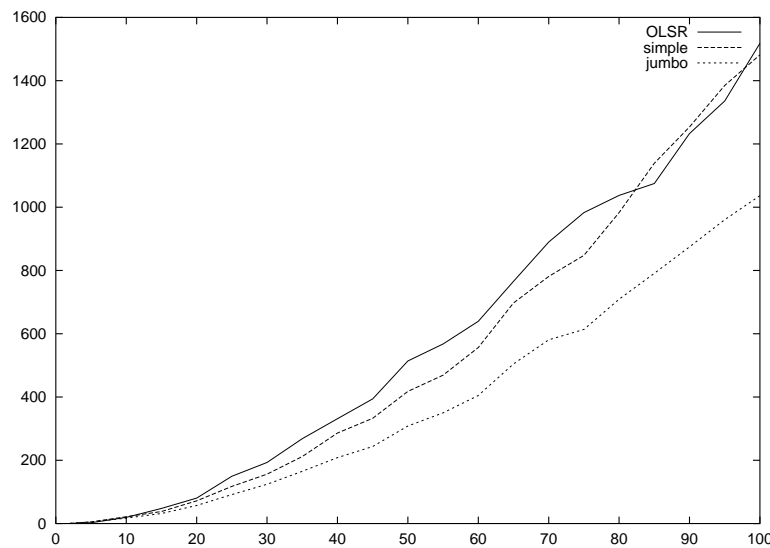
Différents protocoles ont été simulés : OLSR, le protocole *simple* (diffusion par chaque nœud de ses adjacences) et Jumbo. Ces simulations ont pour but d'évaluer le volume des paquets de contrôle échangés par les protocoles pour des configurations acceptées comme réalistes. Les modèles de graphes utilisés sont les graphes aléatoires ainsi que les graphes géométriques aléatoires, présentés section 2.1. Le graphe présenté illustre le nombre cumulé d'identificateurs de nœuds inclus dans les paquets de contrôle en fonction de la taille du graphe.

### 3.3.1 Graphes aléatoires

Pour l'étude des scénarios de type *Grande Salle*, les protocoles sont simulés dans des graphes aléatoires de taille et de probabilité d'arête variables. Lorsque la probabilité d'arête est élevée, 0.9 dans notre simulation, Jumbo se révèle beaucoup moins efficace qu'OLSR. Le rapport du nombre de nœuds échangés entre Jumbo et OLSR croît 12.5. Par contre, systématiquement, le protocole simple échange plus d'information que Jumbo ou qu'OLSR. Ces rapports sont modifiés dans le cas de graphes moins denses, avec une probabilité d'arête de 0.5 par exemple. Jumbo se révèle d'avantage efficace. Il échange moins de 4.5 fois plus d'informations qu'OLSR.

De manière générale, pour les graphes aléatoires, le protocole le plus efficace est OLSR. Cette suprématie est accentuée avec l'accroissement de la densité. Si Jumbo est inefficace pour des graphes fortement connectés, son sur-coût est acceptable pour des graphes moins denses.

### 3.3.2 Graphes géométriques



**FIG. 3** – Nombre d'identificateurs de nœuds échangés en fonction de la taille d'un graphe géométrique aléatoire de rayon 0.5 (moyenne sur 20 graphes)

Les graphes géométriques sont utiles pour l'étude des scénarios dans lesquels les mobiles sont répartis sur une surface dont les distances sont supérieures à la portée des émetteurs. Les utilisations en extérieur ou même en intérieur si des nœuds sont trop loin pour s'atteindre, sont généralement bien représentées par ces graphes. Pour les simulations de la figure 3, nous avons choisi un rayon d'adjacence égal à 0.5. Le diamètre des graphes ne peut donc pas être supérieur à 3, ce qui est faible. Contrairement au cas des graphes aléatoires, OLSR est le protocole le moins efficace. Jusqu'à un nombre de nœuds atteignant 85, le protocole simple est moins volumineux qu'OLSR alors qu'il diffuse une information plus complète. Jumbo offre des résultats intéressants, meilleurs que ceux OLSR ou que du protocole simple. Le rapport entre les volumes de données échangées par OLSR et Jumbo avoisine 1.5. Si le rayon d'adjacence est réduit, l'écart entre Jumbo et OLSR augmente. S'il est réduit, la différence diminue.

Les résultats obtenus pour ces graphes sont importants car ils valident l'approche proposée par Jumbo. Diffuser, l'ensemble du réseau n'est pas forcément plus coûteux qu'en diffuser une partie (OLSR). Pour une grande famille de graphes, c'est même avantageux. Combiné au fait que Jumbo diffuse une vision complète du réseau, son utilisation est justifiée. Un autre point intéressant est que pour tous les graphes étudiés, Jumbo obtient des meilleurs résultats que le protocole simple. Le choix de la représentation par cliques du réseau est validé.

## 4 Conclusion

Dans les réseaux spontanés (ad hoc) comme dans les réseaux classiques, le support du multicast est considéré comme une étape nécessaire pour l'intégration de services dans le réseau. Le développement de protocoles efficaces, assurant une diffusion vers des hôtes multiples à des coûts faibles, permet d'augmenter la disponibilité du médium. Cette efficacité revêt une importance toute particulière dans le domaine de ad hoc où le médium est précieux. Les protocoles actuels comportent de nombreux défauts. Certains utilisent des routes trop longues et entraînent une sur-utilisation du médium proportionnelle au volume de données échangées. D'autres créent des schémas de diffusion imparfaits basés sur une vision partielle de la topologie.

Nous proposons un nouveau protocole de routage multicast : Jumbo. A la différence des approches conventionnelles, les contraintes dictant le développement de Jumbo proviennent de la problématique du multicast et non de celle de l'unicast. Jumbo donne à tous les mobiles une vision complète de la topologie. Le maintien de cette vision est réalisé par la diffusion d'une représentation en cliques du réseau. L'utilisation des cliques permet de réduire le volume d'information échangé par le protocole. A partir de cette vision, Jumbo crée des structures de diffusion. Grâce à une gestion centralisée du multicast, il peut espérer créer des schémas efficaces en procédant notamment à des optimisations.

Après études et simulations de différentes stratégies de couverture par cliques, Jumbo a été comparé à d'autres protocoles de type proactif. Pour certaines catégories de graphes, le volume de données qu'il échange est significativement supérieur à celui échangé par OLSR : les graphes aléatoires denses. Par contre, Jumbo se révèle très efficace dans les graphes géométriques aléatoires. Ces derniers représentent des configurations probables notamment lors d'utilisations en extérieur ou en intérieur. Il est moins volumineux qu'OLSR et diffuse néanmoins une vision plus complète la topologie.

Les différentes réflexions qui ont guidé le développement de Jumbo ont ouvert un certain nombre de perspectives comme par exemple son extension au routage unicast avec intégration d'une qualité de service. La vision complète du réseau permet non seulement de calculer des routes unicast mais également de répartir la charge du routage d'un même flux entre plusieurs chemins dans le réseau. Une autre alternative est de définir des classes de trafic et de leur associer une ou plusieurs routes propres en fonction de critères de performance particuliers.

## Références

- [Che01] G. Chelius. Routage multicast dans les réseaux ad hoc. Mémoire de DEA A01-R-024, LORIA, Juin 2001.
- [CM99] S. Corson and J. Macker. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. Technical report, IETF Request for Comments: 2501, January 1999.
- [DRP00] S. Das, E. Royer, and C. Perkins. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. Technical report, IETF Internet Draft, November 2000. draft-ietf-manet-aodv-07.txt.
- [JL99] P. Jacquet and A. Laouiti. Analysis of Mobile Ad hoc network routing protocols in random graph models. Research Report 3835, INRIA, 1999.
- [JLV<sup>+</sup>01] P. Jacquet, A. Laouiti, L. Viennot, T. Clausen, and P. Minet. Optimized Link State Routing Protocol Extensions. Technical report, IETF Internet Draft, March 2001. draft-ietf-manet-olsr-extensions-00.txt.
- [JMQ<sup>+</sup>00] P. Jacquet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, A. Laouiti, L. Viennot, and T. Clausen. Optimized Link State Routing Protocol. Technical report, IETF Internet Draft, November 2000. draft-ietf-manet-olsr-03.txt.
- [JV00] P. Jacquet and L. Viennot. Overhead in Mobile Ad-hoc Network Protocols. Research Report 3965, INRIA, June 2000.
- [RP00] E. Royer and C. Perkins. Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector (MAODV) Routing. Technical report, IETF Internet Draft, July 2000. draft-ietf-manet-maodv-00.txt.
- [Win87] P. Winter. Steiner problem in networks: a survey. *Networks*, pages 129–167, 1987.