

Algorithme de Routage Multipoint à Contraintes Multiples pour les Applications Temps-réel et Multimédia sur Internet

Kaïs Mnif, Bo Rong et Michel Kadoch

LaGRIT, Laboratoire de Gestion des Réseaux
Informatiques et de Télécommunications
Département de Génie Électrique
École de Technologie Supérieure.
1100 Notre Dame O., Montréal (Qc)
H3C 1K3 Canada

Émail : kais.mnif.1@ens.etsmtl.ca, michel.kadoch@ele.etsmtl.ca

Résumé— Dans la mesure de supporter les applications temps réel et multimédia sur Internet, il est nécessaire de développer les algorithmes de routage qui tiennent compte des paramètres de QoS. C'est du fait que les nouveaux services et applications tels que la vidéo en demande, la vidéoconférence etc. exigent un niveau de QoS plus élevé que le Best Effort actuel. Les algorithmes de routage avec QoS doivent être adaptatifs et flexibles pour une gestion efficace des ressources dans le réseau. Dans ce travail, nous présentons une nouvelle proposition pour un algorithme de routage multipoint pour les applications temps réel et multimédia. Cet algorithme tient compte des contraintes de QoS telles que le délai, la gigue, le taux de perte de paquets et la bande passante. Les résultats préliminaires montrent que l'algorithme permet de trouver une solution optimale tout en gardant une charge équilibrée sur le réseau.

Mots Clés: — Routage multipoint, Routage avec QoS, Fonction coût

1 INTRODUCTION

La plupart des applications utilisant Internet ont été conçues pour utiliser le service *Best Effort*. Les nouvelles applications, y compris les applications multimédia et temps réel, ont des besoins additionnels en terme de Qualité de Service (QoS). Ces besoins peuvent être exprimés en terme de délai de bout en bout, de gigue, qui représente la variation de délai, de taux de perte de paquets, c'est le rapport des paquets perdus par rapport aux paquets envoyés, et la bande passante minimale requise pour véhiculer l'application. La plupart de ces applications impliquent le routage multipoint afin de réduire l'utilisation de la bande passante dans le réseau. Le besoin de contrôler les données multipoints appartenant aux différents types d'applications a

nécessité le développement de plusieurs algorithmes de routage et protocoles.

Le problème de routage avec QoS est l'un des problèmes qui préoccupe l'attention de plusieurs chercheurs ces dernières années [1-9]. Dans [10], il a été prouvé que le problème de trouver un chemin avec des contraintes multiples est *NP-Complexe*. Plusieurs propositions heuristiques ont été présentées pour résoudre ce problème. Ces propositions peuvent être classifiées suivant cinq catégories : la première approche consiste à minimiser un seul paramètre de QoS [11], les algorithmes de *Dijkstra* et *Bellman-Ford* et leurs variantes trouvent le plus court chemin entre la

source et la destination. La deuxième approche est basée sur la minimisation d'un paramètre de QoS sujet à une deuxième contrainte. *Salama* [8] a proposé un algorithme heuristique distribué pour le problème de *Delay-Constrained Unicast Routing* (DCUR). Cet algorithme utilise le coût et le délai calculés par un protocole vecteur-distance maintenu à chaque nœud. DCUR est simple et efficace, il a une complexité de message de $O(|V|^3)$ où $|V|$ est le nombre de nœuds dans le réseau, le point négatif de cet algorithme est que des boucles pourraient se former pendant la construction du chemin. *Sun* [3] a proposé une version améliorée de l'algorithme de *Salama* appelée *Delay Constrained Routing* (DCR) où les boucles ne se forment pas, cet algorithme a une complexité $O(V)$ pour les messages. La troisième approche pour le routage avec QoS consiste à construire le chemin sous deux contraintes simultanément (généralement délai et coût). *Chen* [9] a présenté deux algorithmes *Delay-Cost-Constrained* dérivés des algorithmes du plus court chemin *Dijkstra* et *Bellman-Ford*. *Jaff* a proposé une heuristique polynomiale pour résoudre le problème avec deux contraintes [12]. Les chemins formés par cet algorithme sont les chemins optimisés sous les contraintes de QoS. Cette proposition est plus complexe que les autres heuristiques et elle ne garantit pas le passage à l'échelle. La quatrième approche minimise différents paramètres selon un ordre spécifique. Les algorithmes *Widest-Shortest* et *Shortest-Widest* [10] sont des exemples de cette approche. Ces algorithmes produisent de meilleurs chemins par rapport aux algorithmes du plus court chemin. Cependant, le gain n'est pas considérable parce que dans la plupart des cas les paramètres auxiliaires ne sont pas pris en compte pendant la construction du chemin. La cinquième approche au problème de cheminement de QoS consiste à construire des chemins en utilisant une métrique combinée qui est calculée en fonction de deux (ou plus) contraintes. *Verma* [4] a combiné le coût et la largeur de bande dans une seule métrique. *Costa* [5, 6] a proposé de combiner le délai et le taux de perte de paquet dans une seule métrique et il utilise la technique *Shortest-Widest*. Les approches de routage avec QoS présentés précédemment possèdent une faiblesse commune, ils ne garantissent pas d'avoir un système équilibré au niveau de la distribution de la charge. Ils utilisent un ordre de priorité dans le choix des contraintes qui mène à la construction des chemins non équilibrés. Ces chemins sont optimaux en termes du premier paramètre de QoS choisi mais inefficaces pour les autres paramètres. Par exemple,

le routage sous contrainte de délai, le coût est minimisé mais on tient compte de délai de bout à bout comme contrainte dans le système à optimiser. Quand une application de vidéo-streaming utilise un tel chemin, de telles applications offrent leur plus mauvais (mais acceptable) service. C'est parce que le délai est trop proche de la contrainte annoncée par l'application, de plus, la qualité du service offert est mauvaise. Avoir un délai de bout en bout proche de la contrainte de délai peut être risquée dans le cas où on aurait une variation fréquente de la charge dans le réseau, parce que le délai de bout en bout va violer la contrainte de délai.

Le problème devient plus difficile quand on ajoute la notion du multipoint au problème de routage avec QoS. Le problème de routage multipoint avec QoS comporte la détermination des arbres de cheminement optimaux dans le réseau, tout en répondant à toutes les exigences de QoS. *Bertsekas* et *Gallager* [13] divisent la fonction de routage en deux composantes. La première consiste à choisir un chemin pour la session pendant la phase d'établissement et la deuxième est pour s'assurer que chaque paquet est expédié au chemin assigné. Dans ce travail, nous donnons plus d'attention aux algorithmes de construction d'arbre pour le multipoint. *Rouskas* [14] a présenté un algorithme heuristique pour construire l'arbre de multipoint qui garantissent certaines limites sur le délai de bout en bout de la source vers les nœuds de destination. Mais cet algorithme n'optimise pas l'arbre multipoint en termes de coût.

Cet article est organisé comme suit. La section II présente le modèle de réseau multipoint. La section 3 décrit l'algorithme proposé. Nous présentons l'exemple que nous avons étudié ainsi qu'une discussion dans la section 4. La conclusion sera présentée dans la section 5.

2 MODELE DE RESEAUX MULTIPOINT

Les contraintes de QoS, Pour une application temps réel et multimédia les contraintes (appelés aussi métriques) peut être exprimée en terme de délai de bout en bout (D), de gigue (J), de taux de perte de paquets (P), et de bande passante (B) nécessaire pour véhiculer l'application. Généralement, il existe trois lois de décompositions soit : additive, multiplicative et concave. Les contraintes de QoS identifiées ci-haut possèdent des

lois de décompositions différentes. En effet, le délai et la gigue sont des métriques additives, la bande passante et une métrique concave. La loi de décomposition pour le taux de perte de paquets est un peu complexe. Toutefois, en utilisant la notion de probabilité de succès, on peut montrer facilement que le taux de perte de paquets est une métrique multiplicative[10].

Modèle du réseau. Soit $G = (N, E)$ représente le réseau, avec N représente l'ensemble des nœuds et E représente l'ensemble des liens. Soit $s \in N$, le nœud source dans l'arbre multipoint, $M \subseteq \{V - \{s\}\}$ est l'ensemble des nœuds de destination et le chemin $PT(s, v)$ de la source, s , vers la destination, v , avec v est un membre du groupe multipoint. Chaque lien $l \in G$ avec $l = (p, q)$ du nœud p vers le nœud q possède une fonction coût. Pour un nœud source $s \in N$ et un ensemble de destinations $v \in M$, dans un arbre multipoint $T(s, M)$ et pour chaque chemin du nœud source s vers le nœud de destination v , nous avons les relations suivantes :

$$\text{Délai : } D_{PT} = \sum_{i \in PT(s, v)} d_i \quad (1)$$

$$\text{Gigue : } J_{PT} = \sum_{i \in PT(s, v)} j_i \quad (2)$$

$$\text{Perte de paquets : } P_{PT} = 1 - \prod_{i \in PT(s, v)} (1 - p_i) \quad (3)$$

$$\text{Bande passante : } B_{PT} = \min_{i \in PT(s, v)} b_i \quad (4)$$

La bande passante sur chaque lien dans le chemin PT doit être supérieure à la bande passante demandée par l'application. L'objectif du routage multipoint avec QoS est de déterminer l'arbre de routage multipoint $T(s, M)$ qui satisfait les relations suivantes:

- (1) pour le délai : $D_{PT} \leq D$
- (2) pour la gigue : $J_{PT} \leq J$
- (3) pour le taux de perte de paquets : $P_{PT} \leq P$
- (4) pour la bande passante : $B_{PT} \geq B$

Avec D, J, P et B représentent, respectivement, les contraintes du délai, de la gigue, du taux de pertes et de la bande passante nécessaires pour véhiculer l'application.

3 L'ALGORITHME PROPOSÉ

Afin d'avoir un mécanisme efficace, nous avons besoin d'un algorithme qui doit être le plus simple que possible. Partant de cette idée, nous avons proposé une nouvelle méthode de sélection pour déterminer le meilleur chemin. L'idée principale de notre approche est basée sur la détermination du chemin qui possède un coût minimum. Nous calculons une fonction coût comme étant la combinaison des coûts partiels relatifs à chacune des contraintes de QoS. La fonction coût est proportionnelle au coût relatif à la bande passante, c_B , et inversement proportionnelle aux coûts relatifs au délai, c_d , à la gigue, c_j , et au taux de pertes c_p . On peut écrire alors :

$$c_i = \frac{C_B}{C_d \times C_j \times C_p} \quad (5)$$

Dans la suite, nous allons déterminer l'expression des coûts relatifs. Étant donné que le délai et la gigue sont des métriques additives alors le coût relatif pour le délai (la gigue) sont données par les expressions suivantes :

$$c_d = \frac{D}{\sum_{i \in PT(s, v)} d_i} \text{ et } c_j = \frac{J}{\sum_{i \in PT(s, v)} j_i}$$

Le taux de perte de paquet est une métrique multiplicative alors c_p est exprimée par :

$$c_p = \frac{P}{1 - \prod_{i \in PT(s, v)} (1 - p_i)}$$

Matta et al. [15] ont étudié différentes fonctions coût pour la bande passante, où le coût relatif à la bande passante pour un lien est fonction de la bande passante réservée pour les connexions en cours et qui utilisent ce lien et fonction aussi de la bande passante réservée pour une nouvelle demande si elle va être admise. L'expression la plus intéressante dans cette étude est appelée EXP [15]. Cette expression est donnée par l'équation (6), elle donne de meilleurs résultats pour un réseau dynamique et garantit une charge balance dans le réseau.

$$c_{EXP} = \frac{1}{C_L - (B_r + B)} \quad (6)$$

avec C_L représente la capacité totale du lien, B_r est la quantité de bande passante utilisée par les

connexions en cours et B représente la bande passante demandée par une nouvelle demande de connexion. Afin de pouvoir utiliser cette expression dans l'équation du coût total (5), où nous avons besoin d'une expression sans unité. Nous multiplions l'équation (6) par la quantité B , nous déduisons alors l'expression du coût relatif à la bande passante et elle est exprimée par l'expression suivante :

$$c_B = B \times c_{EXP} = \frac{B}{C_L - (B_r + B)} \quad (7)$$

Procédure de construction de l'arbre multipoint

Nous présentons la procédure proposée dans [16] pour la construction de l'arbre multipoint pour une nouvelle demande de connexion dans un réseau donné. Nous supposons que nous possédons des liens de transmissions à grande vitesse où le taux de pertes dans les liens est négligeable. Pour chaque lien $l_i \in E$, nous avons les paramètres (d_i, j_i, b_i) qui représentent respectivement le délai, la gigue et la bande passante disponible et pour chaque nœud $n_i \in N$, nous avons les paramètres (d_i, j_i, p_i) qui représentent respectivement le délai, la gigue et le taux de pertes de paquets. La demande a pour contraintes de QoS les paramètres suivants (D, J, P, B) . La procédure de construction de l'arbre multipoint se fait suivant les étapes suivantes :

- 1) Initialisation $T := 0$
- 2) Éliminer tous les nœuds qui ne satisfont pas la contrainte de bande passante
- 3) Éliminer tous ceux qui ne satisfont pas la contrainte de taux de perte de paquets
- 4) Pour chaque destination d_i , on détermine tous les chemins réalisables de la source.
 - a. Calculer à chaque nœud le délai et la gigue.
 - b. Si D et J sont vérifiés, continuer avec le même chemin, Sinon changer pour un autre chemin.
- 5) Si pour une destination d_i on trouve des chemins multiples, on prend le chemin qui possède un coût minimum utilisant l'équation (5).

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans le but d'évaluer notre proposition, nous avons utilisé le réseau illustré par la figure 4-1, le

groupe multipoint est formé par les nœuds {1-2-5-7}, le nœud 1 représente la source et les nœuds 2, 5 et 7 sont les destinations. Les contraintes pour l'application sont $D=70$, $J=8$, $P=0.001$ et $B=70$. Pour simplifier le calcul, nous allons supposer que tous les liens possèdent une capacité totale égale à $C_L=150$.

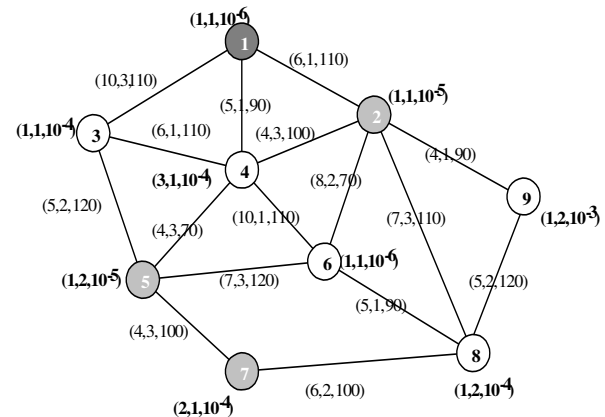


Figure 4-1 : exemple de réseau

En appliquant l'algorithme décrit dans la section précédente, on trouve l'arbre de routage multipoint illustré par la figure 4-2, (a) représente la configuration initiale, (b) la configuration après les étapes 2 et 3, et (c) la configuration finale de l'arbre multipoint. Afin d'évaluer l'efficacité de notre algorithme, nous allons modifier les valeurs de la bande passante dans le chemin 1-3-5, la bande passante disponible sur chacun des liens (1-3) et (3-5) est maintenant égale à 80. Nous appliquons notre algorithme pour cette nouvelle configuration et l'arbre multipoint obtenu est donné la figure 4-2-d. Nous pourrions remarquer que la solution obtenue tient compte de la charge du réseau et l'algorithme fournit une solution optimale tout en gardant une charge équilibrée sur le réseau. Ce résultat est très important pour la consommation des ressources dans le réseau.

5 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons proposé une nouvelle approche pour la construction de l'arbre multipoint qui tient compte des contraintes de QoS. Nous avons tenu compte de différents paramètres de QoS pour les applications temps réel et multimédia tels que le délai, la gigue, le taux de perte de paquets et la bande passante. L'algorithme proposé a les caractéristiques suivantes : (1) le coût est une

fonction des coûts relatifs à chacune des contraintes de QoS, ceci donne plus d'efficacité dans le choix du meilleur chemin. (2) le coût relatif à la bande passante (équation (7)) tient en considération de la bande passante utilisée par les autres connexions en cours, Ceci permet de garantir plus de contrôle au niveau de la consommation des ressources et la distribution de la charge du trafic dans le réseau.

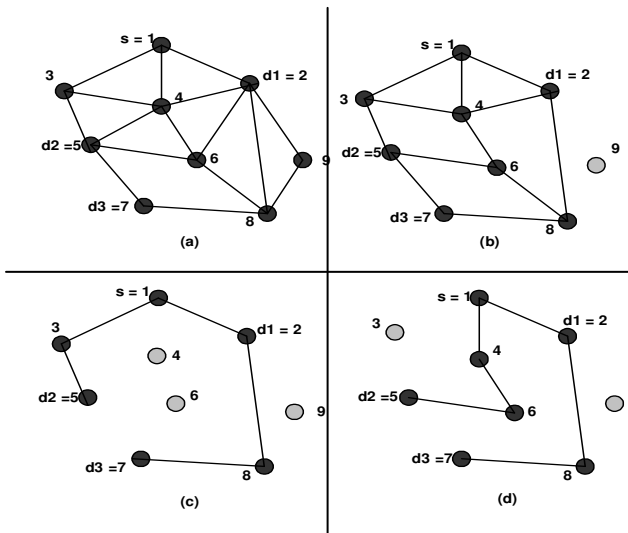


Figure 4-2 : (a) configuration initiale, (b) configuration après étape 2 et 3, (c) arbre multipoint finale (d) arbre multipoint après modification

RÉFÉRENCES

- [1] Yang Y., Muppala J. K., and Chanson S. T., *Quality of Service Routing Algorithms for Bandwidth-Delay Constrained Application*. IEEE, 2001. vol. 1: p. 62-70.
- [2] Bettahar H. and Bouabdallah A., *QoS Routing Protocol for the Generalized Multicast Routing Problem (GMRP)*. IEEE International Conference on Networking ICN'01, 2001.
- [3] Sun Q. and Langendorfer H, *A New Distributed Routing Algorithm for supporting Delay-Sensitive Applications*. Computer Communications, 1998. vol. 21 (6): p. 572-578.
- [4] Verma S., Pankaj R., and Leon-Garcia A., *QoS Based Multicast Routing for Multimedia Communications*. IEEE Workshop on QoS, 1997.
- [5] Costa L. H. M. K., Fdida S., and Durate O. C. M. B., *Distance-vector QoS based routing with three metrics*. IFIP Networking 2000/HPH High Performance Networking, 2000.
- [6] Costa L. H. M. K., Fdida S., and Durate O. C. M. B., *A Scalable Algorithm for Link-State QoS-based Routing with Three Metrics*. IEEE International Conference on ICC 2001, Helsinki Finland, 2001. vol. 8: p. 2603- 2607.
- [7] Van Mieghem P. and Kuipers F. A., *On the complexity of QoS Routing*. Computer Communications, 2003. vol. 26 (4): pp. 376-387.
- [8] Salama H. F., Reews D. S., and Viniotis Y., *Evaluation of Multicast Routing Algorithm for Real-Time Communications on High-Speed Networks*. IEEE JSAC, 1997. vol. 15 (3): p. 332-345.
- [9] Chen S. and Nahrstedt K., *An Overview of Quality of Service Routing for Next-Generation High Speed Networks: Problems and Solutions*. IEEE Network, 1998.
- [10] Wang Z. and Crowcroft J., *Quality-of-Service Routing for Supporting Multimedia Applications*. IEEE J. on Selected Areas in Comm., 1996. vol. 14 (7): p. 1228-12234.
- [11] Parsa M., Zhu Q., and Garcia L.A.J, *An Interactive Algorithm for Delay-Constrained Minimum Cost Multicasting*. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1998. 6 (4): p. 461-474.
- [12] Jaffe J. M., *Algorithms for Finding Paths with Multiple Constraints*. Networks, 1984. vol. 14: p. 95-116.
- [13] Bertsekas D. and Gallager R., *Data Networks*. 1992: Prentice Hall. 297-333.
- [14] Rouskas G. N. and Baldine I., *Multicast Routing with End-to-End Delay and Delay Variation Constraints*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997. vol. 15: p. 346-356.
- [15] Matta I. and Guo L., *On Routing Real-Time Multicast Connections*. Proc. Fourth IEEE Symposium on Computers and Communications ISCC'99, 1999. vol. 9: p. 65-71.
- [16] K. Mnif, *Mécanisme de routage à contraintes multiples dans les réseaux multipoints*. Rapport technique, LAGRIT-ETS Montréal, 2003



SETIT 2004
International Conference: Sciences of Electronic,
Technologies of Information and
Telecommunications
March 15-20, 2004 – TUNISIA

