HAL
open science

Arbres de diffusion pour sessions MVoIP avec flux hétérogènes

Christelle Al Hasrouty, Vincent Autefage, Cristian Olariu, Damien Magoni, John Murphy

To cite this version:

Christelle Al Hasrouty, Vincent Autefage, Cristian Olariu, Damien Magoni, John Murphy. Arbres de diffusion pour sessions MVoIP avec flux hétérogènes. ALGOTEL 2016 - 18èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, May 2016, Bayonne, France. hal-01302292

HAL Id: hal-01302292

https://hal.science/hal-01302292v1

Submitted on 13 Apr 2016

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.

Arbres de diffusion pour sessions MVoIP avec flux hétérogènes

Christelle Al Hasrouty[1], Vincent Autefage[1], Cristian Olariu[2], Damien Magoni[1] et John Murphy[2]

[1]*Univ. Bordeaux, LaBRI, UMR 5800, F-33400, Talence, France*
[2]*Univ. Coll. Dublin, School of Computer Science, Belfield, Dublin 4, Ireland*

Réaliser des audio-conférences de qualité sur Internet est une tâche complexe. En effet, l'hétérogénéité des terminaux mobiles et la dynamique du réseau doivent être prises en compte par les systèmes MVoIP (*Multiparty VoIP*) afin d'assurer une qualité d'expérience suffisante aux utilisateurs. Dans cette contribution, nous présentons un nouveau système MVoIP tirant partie de la technologie SDN. Notre système effectue une distribution multipoint ainsi qu'une adaptation des débits des différents flux audio afin d'optimiser la qualité d'appel pour chaque participant. Notre proposition repose sur des arbres couvrant les participants dont la construction peut être réalisée selon deux stratégies distinctes : chemins minimisés ou plus courts chemins. Les simulations que nous avons menées montrent qu'un compromis existe entre la latence générée et la bande passante consommée par ces deux approches. Ainsi, lorsque le nombre de participants augmente, notre système utilise beaucoup moins de bande passante qu'un système MVoIP classique au prix d'une très légère augmentation de la latence.

Mots-clefs : SDN ; Conférence VoIP ; Arbres de diffusion multipoint ; Débits adaptatifs.

1 Introduction

Les conférences téléphoniques en VoIP (aussi appelées *Multiparty VoIP calls* (MVoIP)) sont devenues très populaires depuis l'avènement d'Internet, permettant de réduire significativement les coûts en comparaison de la mise en place d'une infrastructure de communication privée. Néanmoins les propriétés de connexion (*e.g.* bande passante, délai) des utilisateurs n'étant généralement pas homogènes, il est nécessaire de recourir à un certain nombre de mécanismes particuliers afin d'assurer une qualité d'expérience (QoE) suffisante à l'ensemble des participants à une telle conférence. Par exemple, certains codecs audio tels qu'Opus [VVT12] permettent d'adapter dynamiquement la qualité des flux en fonction des caractéristiques de la connexion de chaque utilisateur. Cette adaptation n'est néanmoins possible que sur les terminaux utilisateurs et non dans le cœur du réseau. Or, une augmentation du nombre de participants requiert d'effectuer ces adaptations sur les nœuds du cœur du réseau où sont opérées les duplications des flux. Afin de résoudre ce problème, nous proposons un nouvel algorithme centralisé, opérant dans un contrôleur SDN, qui permet la construction de sessions MVoIP en tenant compte de la bande passante de réception de chaque utilisateur tout en minimisant le volume du trafic global généré dans le réseau. À notre connaissance, aucune étude n'a pour le moment été menée sur l'optimisation des applications MVoIP en s'appuyant sur un réseau SDN.

2 Algorithme de construction d'une session multipoint MVoIP

Une session MVoIP est une conférence VoIP entre plus de deux clients appelés participants ; chacun d'entre eux étant à la fois émetteur et récepteur de flux audio. Par souci de réalisme, nous supposons que chaque participant utilise un terminal mobile connecté en 3G, les bandes passantes étant ainsi limitées. Le cœur du réseau repose sur un ensemble de commutateurs OpenFlow [MAB+08] connectés à un contrôleur SDN. Les flux audio peuvent être encodés selon différents débits, généralement compris entre 8 et 64 kbps. Dans la mesure où une faible variation de ces débits n'a pas d'effet significatif sur la qualité audio, les débits possibles sont le plus souvent cantonnés à quelques valeurs prédéterminées. Les connexions sans fils étant sensibles aux

perturbations (*e.g.* interférences), nous considérons que la bande passante de chaque utilisateur est limitée, ne permettant ainsi pas la transmission ou la réception de flux dont l'encodage est trop élevé. Une solution à ce problème est d'utiliser un encodage correspondant au client ayant la plus petite bande passante en réception. Cette stratégie nuit néanmoins à la QoE des utilisateurs dont la bande passante est suffisante pour pouvoir supporter des débits plus élevés. Une autre solution consiste à établir une connexion individuelle (*i.e. unicast*) entre chaque participant permettant ainsi de faire correspondre au mieux débits du codec et bande passante. Cette solution génère néanmoins un volume de trafic excessif dans le cœur du réseau.

Notre proposition repose sur la construction d'arbres multipoints (*i.e. multicast*) afin de concilier les bénéfices des deux stratégies décrites ci-dessus. Chaque participant diffuse ainsi son flux audio avec l'encodage maximal autorisé par sa bande passante en émission. Il favorise ainsi les clients dont la bande passante en réception est importante tandis que les autres participants recevront une version dégradée du même flux. Cette adaptation du débit du codec à la volée (appelé transcodage) est opérée au cœur du réseau, l'emplacement des nœuds transcodeurs étant l'objet de l'algorithme présenté dans le paragraphe suivant. Nous considérons que chaque commutateur OpenFlow présent dans le cœur du réseau est relié à une machine permettant d'effectuer ce transcodage. Le contrôleur SDN permet quant à lui d'activer et de paramétrer les différentes règles de transcodage.

L'algorithme de construction des sessions MVoIP, décrit en figure 1, construit un arbre multipoint orienté par participant émetteur. Pour chacun de ces arbres, la racine représente le nœud émetteur et les feuilles, les autres participants. Cet algorithme impose un certain nombre de contraintes (qui pourront évoluer dans nos futurs travaux) :

— les propriétés de connexion de chaque participant sont statiques durant la durée de la session ;
— la bande passante des liens au cœur du réseau est supposée suffisante ;
— le contrôleur SDN à connaissance de la topologie complète du réseau ;
— nous ne réalisons pas de mixage audio, nous n'effectuons que du transcodage ;
— chaque commutateur OpenFlow dispose d'un transcodeur capable de traiter simultanément plusieurs flux ;
— nous n'autorisons qu'un seul transcodage par flux entre un émetteur et un récepteur ; une opération de transcodage ayant un impact sur la latence, cette contrainte nous permet de limiter l'effet de cette dernière.

La première étape de l'algorithme consiste à récupérer la bande passante de réception de chaque participant, cette information est fournie par les commutateurs sur lesquels sont branchés les utilisateurs (ligne 1). Dans la seconde étape, le contrôleur calcule le débit maximal de réception de chaque participant. Ce débit est obtenu en divisant la bande passante de réception de ce dernier par le nombre total de participants (en s'excluant lui même). Le plus haut débit d'encodage inférieur ou égal au débit calculé correspond à l'encodage maximum des flux que pourra recevoir le participant (ligne 2). Chaque récepteur s'attend donc à recevoir des flux dont l'encodage correspond à la valeur choisie. Le débit d'émission correspond au débit maximal de réception des autres participants noté B_l (ligne 3). Lors de la troisième étape, un arbre multipoint est créé indépendamment pour chaque participant considéré alors comme émetteur (ligne 4). Les débits d'encodage sont classés dans l'ordre décroissant, *i.e.* de B_1 jusqu'à B_m (ligne 6). Les récepteurs R_j sont également classés dans l'ordre décroissant en fonction de leur débit de réception. Pour un même débit de réception, le classement des récepteurs est effectué de façon croissante en fonction de la distance en sauts les séparant de la source (ligne 7). Un plus court chemin est créé de l'émetteur vers le récepteur le plus proche ayant le plus haut débit de réception (ligne 12). Pour les autres récepteurs partageant ce même débit, deux modes distincts sont définis afin de les connecter à l'émetteur. Le premier mode, appelé MST (Minimizing Spanning Tree), construit le chemin le plus court vers le nœud le plus proche du récepteur concerné faisant déjà partie de l'arbre (ligne 15). Cette stratégie revient à construire un arbre en essayant, de façon simple, de minimiser le nombre total d'arêtes, limitant ainsi le volume de trafic généré au cœur du réseau. Le second mode, appelé SPT (Shortest Path Tree), construit le plus court chemin entre le récepteur concerné et l'émetteur du flux (ligne 17). Ce mode permet potentiellement d'obtenir des chemins plus courts et donc de réduire la latence partiellement liée au nombre de sauts mais il augmente aussi la taille de l'arbre et donc sa consommation en bande passante. Pour ces deux modes, le flux est dupliqué par chaque commutateur dont l'arité est supérieure à 1 (ligne 18). Lorsque tous les récepteurs possédant le plus haut débit de réception sont connectés à l'émetteur, on obtient un arbre orienté $T_i = F_{i,l}$. L'opération est répétée pour chacun des récepteurs restants possédant un débit d'encodage moins élevé. Le classement est toujours

effectué en fonction du débit de réception puis en fonction de la distance à l'émetteur. Dans la mesure où nous fixons le nombre de transcodages maximum à 1 entre un émetteur S_i et un récepteur R_j, les récepteurs ayant pour débit d'encodage k ne peuvent être connectés qu'à un commutateur distribuant un flux d'encodage B_k ou B_l. En effet, un encodage inférieur à B_k bride la qualité sonore de réception tandis qu'un encodage entre B_k et B_l implique qu'un transcodage a déjà été opéré, augmentant ainsi la latence.

```
BuildMVoIPSession()
SC collects all D_i
SC computes all d_i = max_{1≤k≤m} (B_k) | B_k ≤ D_i/(n−1)
SC computes all u_i = max_{1≤i≤n} (d_i) = B_l
foreach S_i, i ∈ [[1,n]] do
    T_i ← {0}
    foreach B_k, k ∈ [[l,m]] | ∀0 < k < m, B_k > B_{k+1} do
        foreach R_j, j ∈ [[1,n]] | R_j ≠ S_i ∧ d_j = B_k
        ∧ dist(R_j,S_i) ≤ dist(R_{j'},S_i) ∀ j' > j do
            P_j ← {0}
            N ← {0}
            if B_k = B_l then
                if j = 1 then
                    P_j ← BuildShortestPath(R_j,S_i)
                else
                    if mode = MST then
                        P_j ←BuildShortestPath(R_j,
                        N ∈ T_i)
                    else if mode = SPT then
                        P_j ←BuildShortestPath(R_j,S_i)
                          stopping at N ∈ T_i
                    Set N to duplicate B_l
            else
                if mode = MST then
                    P_j ←BuildShortestPath(R_j,
                    N ∈ F_{i,l} ∪ F_{i,k})
                else if mode = SPT then
                    P_j ←BuildShortestPath(R_j,S_i)
                      stopping at N ∈ F_{i,l} ∪ F_{i,k}
                if N ∈ F_{i,l} then
                    Set N to transcode B_l → B_k
                Set N to duplicate B_k
            T_i = T_i ∪ P_j
```

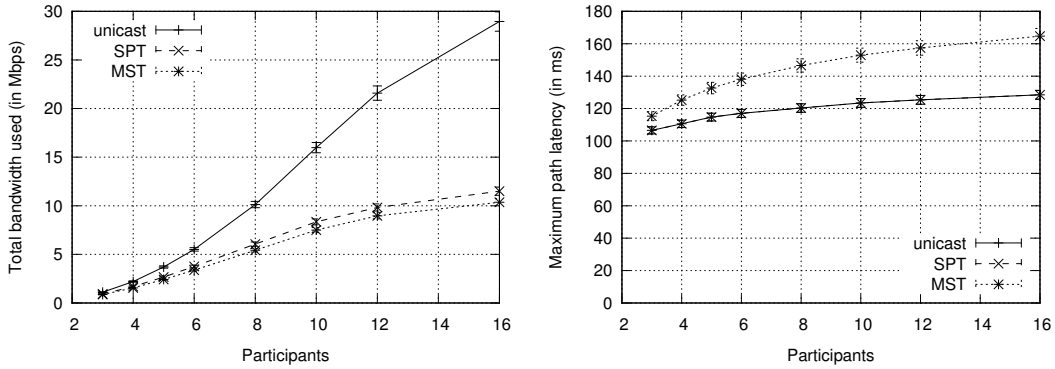
Variable	Définition
B_k	Débit d'encodage $k \in [\![1,m]\!]$
S_i	Émetteur $i \in [\![1,n]\!]$
U_i	Bande passante d'émission de S_i
u_i	Débit d'émission de S_i ($u_i = B_l$)
T_i	Arbre ayant pour source S_i
$F_{i,k}$	Sous-arbre de T_i où les liens ont un débit de k
R_j	Récepteur $j \in [\![1,n]\!]$
D_j	Bande passante de réception de R_j
d_j	Débit de réception R_j
N	Commutateur réseau et transcodeur associé
P_j	Chemin de R_j vers S_i ou vers T_i
SC	Contrôleur SDN

FIGURE 1: Algorithme de construction de sessions MVoIP

3 Résultats de simulation et conclusion

Les sessions MVoIP peuvent être construites sur la base d'un arbre orienté selon deux modes opératoires (*i.e.* STP et MST) ou bien en utilisant de simples liens individuels (*i.e. unicast*) entre chaque couple émetteur-récepteur (cas de la majorité des applications existantes). Cette section vise à évaluer ces trois approches en termes de bande passante totale générée dans le réseau ainsi qu'en latence maximale induite sur l'ensemble des flux. La bande passante de chaque participant est choisie aléatoirement entre 144 kbps et 384 kbps en réception et fixée à 64 kbps en émission ; ces valeurs étant communément observées sur les réseaux 3G UTMS [GHS07]. Comme évoqué dans la section précédente, nous considérons que la capacité des liens au cœur du réseau est suffisante ; la limitation de la charge induite au cœur du réseau fera l'objet d'une prochaine étude. Les délais des liens sans-fils sont fixés à 30 ms et ceux des liens dans le cœur du réseau à 10 ms ; ces valeurs correspondant également à des observations réelles [LSR12]. Nous avons généré aléatoirement 10 topologies réseaux différentes et 100 sessions sur chacune d'entre elles ; nous avons donc simulé en tout 1000 configurations distinctes. La figure 2a montre l'impact du nombre de participants sur la bande passante totale générée par une session en moyenne. Nous pouvons constater que l'approche MST est la plus économe en terme de bande passante, suivie de près par l'approche STP. Pour ces deux stratégies, la consommation de bande passante augmente linéairement avec le nombre de participants. L'approche *unicast* consomme quant à elle plus de bande

passante en évoluant de façon polynomiale avec le nombre total de participants. Ce phénomène est principalement dû à la duplication des flux inhérent à cette approche. Ainsi, lorsque pour 8 participants, les stratégies STP et MST consomment 60% de la bande passante nécessaire à l'approche *unicast*, ce ratio passe à 43% avec 16 participants. La latence maximale, *i.e* la latence la plus importante mesurée parmi tous les couples émetteur-récepteur d'une même session, est présentée en figure 2b. Nous constatons que la latence maximale augmente linéairement avec le nombre de participants pour les trois stratégies. Les approches STP et *unicast* produisent des résultats similaires dans la mesure où elles reposent sur la construction du plus court chemin entre la source d'un flux et chaque récepteur. L'approche MST implique des latences maximales jusqu'à 32% plus importantes dans le cas d'une conférences à 16 participants ; cette latence restant néanmoins en dessous de 180 ms, ce qui est une valeur acceptable pour une audio-conférence. Ce phénomène est principalement dû à la construction de l'arbre multipoint qui ne repose pas sur une stratégie de plus court chemin entre émetteur et récepteur.



(a) Consommation totale de BP *vs* participants (b) Latence maximale *vs* participants

FIGURE 2: Résultats de simulation

Dans cette contribution, nous avons présenté un nouveau système MVoIP s'appuyant sur un réseau SDN afin d'adapter les débits d'encodage en fonction de la bande passante de chaque participant. Notre approche s'appuie sur la mise en place d'un arbre multipoint orienté construit selon deux stratégies distinctes. Nous avons montré au travers de simulations que notre solution permet d'optimiser la consommation globale de bande passante tout en limitant l'impact sur la latence. Plus spécifiquement, l'approche STP permet d'optimiser la bande passante tout en conservant les latences obtenues avec une stratégie classique (*i.e. unicast*). L'approche MST permet quant à elle de réduire encore davantage le volume de trafic généré au prix d'une latence légèrement plus élevée. Dans nos futurs travaux, nous prévoyons d'améliorer notre système en prenant en compte plusieurs sessions simultanées dans la construction de l'arbre multipoint. Nous souhaitons également valider notre approche sur des réseaux dont les propriétés de connexion des participants évolueraient durant la session.

Références

[GHS07] M. Glabowski, S. Hanczewski, and M. Stasiak. Calculation of available bandwidth for umts-hsdpa/hsupa users. In *EUROCON, 2007. The International Conference on Computer as a Tool*, pages 1145–1152, 2007.

[LSR12] Markus Laner, Philipp Svoboda, and Markus Rupp. Latency analysis of 3g network components. In *European Wireless, 2012. EW. 18th European Wireless Conference*, pages 1–8, 2012.

[MAB+08] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker, and J. Turner. Openflow : Enabling innovation in campus networks. *Comput. Commun. Rev.*, 38(2) :69–74, 2008.

[VVT12] JM. Valin, K. Vos, and T. Terriberry. *Definition of the Opus Audio Codec*, September 2012. RFC 6716.