

# Détection des violations d'inégalités triangulaires dans les systèmes de coordonnées

François Cantin\*, Bamba Gueye\*, Dali Kaafar\* et Guy Leduc\*

\*Research Unit in Networking (RUN)

Université de Liège (ULg) - Belgique

{francois.cantin, cabgueye, ma.kaafar, guy.leduc}@ulg.ac.be

## I. INTRODUCTION

Les systèmes de coordonnées attribuent une coordonnée dans un espace métrique à chaque nœud d'un réseau. Ces coordonnées sont calculées de telle sorte que la distance entre les coordonnées de deux nœuds donne une estimation du délais aller-retour (RTT) existant entre eux-ci. Il existe de nombreux systèmes de coordonnées. Dans le cadre de nos travaux, nous nous sommes concentrés sur le système de coordonnées appelé Vivaldi [1].

Une source d'imprécision importante pour les systèmes de coordonnées sont les violations du principe d'inégalité triangulaire. Dans [3], nous avons proposé une approche hiérarchique pour Vivaldi de manière à réduire l'impact de ces violations sur la qualité des coordonnées. Actuellement, étant donné que ces violations sont des raccourcis dans l'Internet, nous essayons de détecter ceux-ci en observant les perturbations du comportement du système de coordonnées.

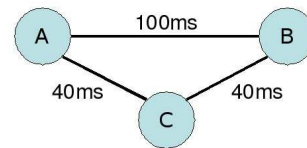
### A. Vivaldi

Vivaldi est un système de coordonnées dans lequel chaque nœud calcule ses coordonnées en réalisant des mesures de RTT avec un petit nombre d'autres nœuds appelés ses voisins. Au départ, un nœud choisit des coordonnées arbitraires et après chaque mesure réalisée avec un de ses voisins, il met celles-ci à jour : il se rapproche ou s'éloigne de son voisin de manière à ce que le RTT estimé à l'aide des coordonnées corresponde au RTT mesuré.

### B. Violations du principe d'inégalité triangulaire

Le principal problème des systèmes de coordonnées est qu'ils font tous l'hypothèse que le principe d'inégalité triangulaire est respecté par les RTT dans l'Internet. Ce principe stipule que la longueur du chemin direct entre deux nœuds est toujours inférieure à la longueur d'un chemin passant par un nœud intermédiaire :  $d(A, B) \leq d(A, C) + d(C, B)$  où  $d(X, Y)$  représente la distance entre les nœuds  $X$  et  $Y$ . Ce principe doit toujours être respecté dans un espace métrique. Il devrait donc également l'être par les RTT existant dans l'Internet puisqu'on désire représenter ces derniers par des distances dans un espace métrique. Or, il est bien connu que les RTT ne respectent pas ce principe [2]. Par exemple, il est tout à fait possible d'avoir la situation suivante :

François Cantin est financé par le Fonds pour la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture (F.R.I.A)



Comme  $100ms < 40ms + 40ms$ , il s'agit d'une violation du principe d'inégalité triangulaire (TIV - Triangular Inequality Violation). Dans ce cas, il est impossible d'attribuer des coordonnées aux nœuds de manière à obtenir une estimation exacte du RTT de chaque lien. Les TIV sont donc une source d'imprécision pour les systèmes de coordonnées.

## II. RÉDUCTION DE L'IMPACT DES TIV SUR VIVALDI

### A. Impact des TIV sur Vivaldi

Pour quantifier l'impact des TIV sur Vivaldi, nous avons comparé la qualité des coordonnées obtenues pour deux ensembles de nœuds : l'ensemble des nœuds d'une topologie et les nœuds de cette topologie les plus impliqués dans les TIV (c'est à dire les nœuds qui apparaissent le plus souvent dans des TIV).

Les résultats présentés dans [3] montrent que l'impact des TIV sur la qualité des coordonnées obtenues n'est pas négligeable : les coordonnées des nœuds les plus impliqués dans des TIV sont moins stables et les chemins faisant intervenir ces nœuds sont moins bien estimés que les autres.

### B. Analyse des TIV existant dans l'Internet

Nous avons réalisé cette analyse en observant deux matrices de RTT construites à partir de mesures réelles de l'Internet. Pour ces deux topologies, nous avons observé que les chemins qui ont un petit RTT (inférieur à 100ms) sont rarement des bases de TIV (c'est à dire des chemins  $AB$  pour lesquels il existe un nœud  $C$  tel que le triangle  $ABC$  est une TIV).

### C. Vivaldi hiérarchique

L'idée de base du Vivaldi hiérarchique est de construire des ensembles de nœuds proches. Les groupes ainsi obtenus peuvent être vus comme des sous-réseaux dans lesquels tous les RTT sont petits. Les chemins existant entre les nœuds d'un même groupe sont donc rarement des bases de TIV et les coordonnées calculées à l'aide d'un Vivaldi limité aux nœuds d'un groupe seront plus précises. Ces coordonnées sont

appelées coordonnées locales des nœuds et les Vivaldi limités aux groupes constituent le niveau inférieur de notre hiérarchie.

Les coordonnées locales ne peuvent pas être utilisées pour estimer des RTT entre des nœuds appartenant à des groupes différents car elles n'ont pas été calculées dans le même espace. Pour pouvoir estimer ces chemins, le niveau supérieur de notre hiérarchie est constitué d'un Vivaldi classique auquel tous les nœuds participent. Les coordonnées calculées à ce niveau sont appelées coordonnées globales.

Les coordonnées locales sont utilisées pour estimer les chemins intra-groupe et les coordonnées globales sont utilisées pour estimer les chemins inter-groupe.

Comme l'indiquent les résultats présentés dans [3], cette approche donne de bons résultats en simulation avec des groupes construits en observant la matrice de RTT de la topologie utilisée. Nous travaillons actuellement sur le développement d'une technique de construction des groupes distribuée, dynamique et auto-organisée.

### III. DÉTECTION DES TIV

Notre deuxième axe de recherche consiste à développer une technique de détection des TIV. Etant donné que ceux-ci perturbent le comportement des systèmes de coordonnées, nous essayons de les détecter en observant le comportement de Vivaldi.

Nous envisageons deux applications pour une telle technique : nous en aurons besoin pour la procédure de construction des groupes du Vivaldi hiérarchique que nous envisageons d'utiliser et nous envisageons d'utiliser cette technique pour la recherche d'un meilleur chemin que le chemin direct entre deux nœuds au sein d'un réseau. En effet, les raccourcis dans un réseau sont des TIV puisque ce sont des situations où passer par un nœud  $C$  intermédiaire est plus court que d'utiliser le chemin direct entre deux nœuds  $A$  et  $B$ . Pour la première application, pouvoir déterminer si un lien est une base de TIV est suffisant tandis que pour la seconde, il est nécessaire de pouvoir déterminer quels sont les nœuds  $C$  qui forment une TIV avec un lien  $AB$ .

#### A. Détection des bases de TIV

Dans un premier temps, nous avons envisagé de baser notre critère de détection sur les erreurs d'estimation relatives des liens car nous avons observé que 80% des liens qui sont des bases de TIV sont sous estimés par les coordonnées. Le problème de cette approche est qu'une partie non négligeable des liens qui ne sont pas des bases de TIV sont également sous-estimés : un tel critère donne donc un bon pourcentage de détection mais il génère également un grand nombre de faux positifs. Notons que dans le cadre de la détection, nous nous intéressons uniquement aux liens dont on peut calculer l'erreurs d'estimation, c'est à dire les liens impliqués dans la relation de voisinage de Vivaldi (il faut que les liens soient mesurés pour connaître leur RTT et pouvoir calculer leur erreur d'estimation).

Nous nous sommes donc tournés vers un autre critère de détection : la variance des erreurs d'estimation relatives (EER)

des liens. Nous avons observé que la variance de l'EER des liens qui ne sont pas des bases de TIV est beaucoup plus importante que celle des liens qui sont des bases de TIV. Sur la CDF de la figure 1(a), on voit que plus de 90% des liens qui sont des bases de TIV ont une variance d'EER inférieure à 0,01 tandis que moins de 25% des liens qui ne sont pas des bases de TIV ont une variance d'EER inférieure à cette valeur.

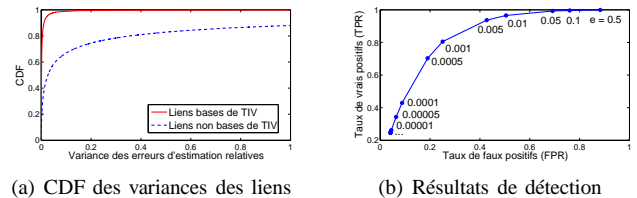


Fig. 1. Détection des TIV

Etant donné l'écart important existant entre les variances des EER des liens qui sont des bases de TIV et celles des liens qui n'en sont pas, une technique de détection possible au niveau des voisins d'un nœud consiste à considérer les liens de voisinage qui ont une petite variance d'EER comme étant des bases de TIV. Pour éviter d'avoir à fixer une borne arbitraire pour décider si une variance est petite ou pas, nous classons les variances des liens de voisinage d'un nœud par ordre croissant  $(v_0, \dots, v_n)$  et nous observons les écarts  $(e_0, \dots, e_{n-1})$  existant entre chaque paire de valeurs successives. Pour  $i > 1$ , si  $e_{i-1} < E(e_0, \dots, e_{i-2}) + e$  où  $e$  est une constante et  $E(x_1, \dots, x_n)$  désigne la moyenne des valeurs  $x_1, \dots, x_n$ , alors le lien qui a la variance  $v_i$  est considéré comme étant une base de TIV. Sinon, tous les liens qui ont les variances  $v_j$  avec  $j \geq i$  sont considérés comme n'étant pas des bases de TIV.

Les résultats de détection à l'aide de ce critère sont présentés à la figure 1(b). Cette courbe représente les taux de faux positifs en abscisse et les taux de vrais positifs en ordonnée pour différentes valeurs de la constante  $e$ . Par exemple, pour  $e = 0,001$ , on a un taux de vrais positifs égal à 80% et un taux de faux positifs égal à 25%. C'est un résultat satisfaisant à condition de vérifier ensuite que l'on ne s'est pas trompé en recherchant les éventuels nœuds  $C$  existant pour chaque lien suspecté d'être une base de TIV.

#### B. Recherche d'un raccourci pour une base de TIV

Si un lien  $AB$  est une base de TIV, nous espérons pouvoir détecter les nœuds  $C$  tels que  $ABC$  est une TIV à l'aide des coordonnées des nœuds : nous comparerons le RTT mesuré entre  $A$  et  $B$  au RTT du chemin  $ACB$  estimé à l'aide des coordonnées des nœuds.

### REFERENCES

- [1] F. Dabek, R. Cox, F. Kaashoek et R. Morris, *Vivaldi: A decentralized network coordinate system*, Sigcomm04, Portland, 2004.
- [2] H. Zheng, E. K. Lua, M. Pias et T. G. Griffin, *Internet Routing Policies and Round-Trip-Times*, Pam05, Boston, 2005.
- [3] M. A. Kaafar, B. Gueye, F. Cantin, G. Leduc et L. Mathy, *A Two-Tier Internet coordinate system to mitigate the impact of Triangle Inequality Violations*, Networking08, Singapour, 2008.