

Rubrique

Optimisation du Routage par la détection des Violations d'Inégalité Triangulaire dans les Systèmes de Coordonnées Internet

Papa Ousmane Sanghare — Bamba Gueye — Ibrahima Niang

Département Mathématiques Informatiques
Faculté des Sciences et Techniques
Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD)
Dakar
SENEGAL
{papa.sanghare, bamba.gueye}@ucad.edu.sn, inian@ucad.sn



RÉSUMÉ. Aujourd'hui nous assistons à l'émergence de nouveaux services réseau et d'applications distribuées, qui peuvent choisir leurs chemins de communication, en utilisant un nombre élevé de mesures directes RTT (Round Time Trip), causant ainsi une surcharge du réseau. Les Systèmes de Coordonnées Internet (SCI) sont une solution permettant de diminuer ces mesures directes en utilisant des prédictions de distances réseau. Cependant en présence de Violation d'Inégalité Triangulaire (TIV), les SCI deviennent imprecis dans la prédiction de distance. Dans cet article, nous montrons les limites des solutions de détection de TIVs, et proposons une nouvelle métrique de détection de TIVs nommée "RPMO". Ensuite, nous proposons d'utiliser les TIVs en vu d'améliorer le routage dans les réseaux de recouvrement.

ABSTRACT. Nowadays, new services networks and distributed applications have emerged. These systems can choose their ways of communication among so much of others by using a large number of measurements of times (Round Time Trip (RTT)) which are sources of overload in the network. Network Coordinate Systems (NCS) are solution allowing to reduce measurements overhead by using the predictions of network distances. However, NCS are confronted with problems of inaccuracies in the prediction of distance, when the measured distances violate the principle of the triangular inequality (TIV-Triangle Inequality Violation). In this paper, we show the limits of the previous solutions for detecting TIVs, and propose a new metrique for detecting TIVs named "RPMO". afterward, we propose to use the detour paths offered by TIVs to optimize the routing in Overlay Network.

MOTS-CLÉS : Systèmes de coordonnées, Violation d'inégalités triangulaire, Mesures, Routage

KEYWORDS : Network Coordinate Systems, Triangular Inequality Violation, Measurement, Routing



1. Introduction

De nos jours, les systèmes de coordonnées Internet sont largement utilisés dans les services et applications réseaux à large échelle et globalement distribués [1]. En effet, les SCI [2,3,4] permettent aux noeuds du réseau d'estimer les délais entre eux sans pour autant effectuer des mesures, ce qui permet d'éviter le surchage du réseau. L'idée principale des SCI est de modéliser l'internet dans un espace géométrique, et de caractériser la position de chaque noeud par un ensemble de coordonnées. ce qui fait que La distance réseau entre deux noeuds peut être prédite comme étant la distance géométrique entre leurs coordonnées dans l'espace euclidien.

Cependant, les congestions et les politiques de routage [5] peuvent entraîner des violations du principe de l'inégalité triangulaire (Triangle Inequality Violation - TIV)[2]. Ces TIVs sont effet la cause de distorsions et d'erreurs de prédiction au niveau des SCI [6]. Soit trois noeuds A, B et C tels que $d(A,B)$ est de 36 ms, $d(B,C)$ est de 16 ms et $d(A,C)$ est de 9 ms, où $d(X,Y)$ dénote le délai existant entre les noeud X et Y. Dans ce cas, le principe de l'inégalité triangulaire est violé car $d(A,B) > d(A,C) + d(C,B)$. Nous disons alors que le triangle ABC est une TIV et que le lien AB est la base de cette TIV. Cependant, la présence d'une base de TIV indique qu'il existe un raccourci qui peut être utilisé entre les deux noeuds qui forment le lien base de TIV, et puisque l'Inégalité Triangulaire doit être respectée dans l'espace métrique, trouver des coordonnées précises dans le but d'obtenir de bonnes estimations de distances réseau est impossible [6, 7].

Suivant les imprécisions que les TIVs engendrent dans les SCI, certains chercheurs ont proposé des métriques de détection de TIVs [7, 8], permettant aux SCI de les éviter lors des mesures de délais. Toute fois ces métriques présentent des inconvénients. Cependant, la présence de TIVs dans l'Internet offre la possibilité d'améliorer le routage des applications de distribution de jeux en ligne, de partage de fichier, ou de VOIP, en exploitant les raccourcis offerts par les TIVs.

Dans cet article, nous présentons dans un premier temps notre métrique de détection de TIVs **RPMO (Ratio de Prédiction sur la Moyenne des Oscillations)**, plus efficace que les métriques proposées précédemment [7, 8].

Dans un deuxième temps, nous proposons d'optimiser le routage dans les réseaux de recouvrement en utilisant une nouvelle métrique de détection de meilleurs raccourcis appelée **MDGD (Metric for Detecting Good Detours)**.

Cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous dressons un petit état de l'art sur les systèmes de coordonnées Internet et ensuite présentons les métriques de détection de TIVs, à savoir le ratio de prédiction [7] et OREE [8]. Dans la section 3, nous présentons notre métrique RPMO, ainsi que les résultats obtenus lors de son évaluation. Dans la section 4, nous montrons les travaux que nous avons effectués sur l'optimisation du routage dans les réseaux de recouvrement avec l'utilisation des raccourcis offerts par les TIVs. Nous terminons cet article par une conclusion.

2. Etat de l'art

2.1. Les Systemes de Coordonnées Internet

L'idée principale de tels systèmes est de modeler l'internet comme un espace géométrique. La distance réseau entre deux noeuds est ainsi prédite comme étant la distance

entre leurs coordonnées, sans faire de mesures explicites. Considérons l'exemple de la figure 1, où nous avons 4 noeuds (**A**, **B**, **C**, **D**) représentés dans un espace géométrique à trois dimensions. la distance entre deux noeuds dans le réseau est prédite comme étant la distance entre leurs coordonnées dans l'espace géométrique. En d'autres mots, si le noeud A connaît les coordonnées du noeud D, A n'aura pas besoin d'effectuer des mesures directes vers le noeud D pour connaître la distance RTT entre eux. A calcule la distance géométrique entre lui et le noeud D, ainsi la distance obtenue représente la distance RTT estimée entre les noeuds A et D.

Il existe deux classes principales de systèmes de coordonnées Internet :

- *Les systèmes de coordonnées centralisés* : ces derniers impliquent un composant centralisé (un ensemble de noeuds balises appelés "Landmarks" ou Hôtes références), à partir duquel les autres noeuds calculent leurs propres coordonnées suivant des mesures vers ces "Landmarks". Nous pouvons donner comme exemple *GNP* [2].

- *Les systèmes de coordonnées décentralisés* : ces systèmes généralisent le rôle des landmarks à tout noeud présent dans le système. Les systèmes de coordonnées décentralisés d'internet peuvent être vus comme des systèmes de positionnement réseau pair-à-pair. Exemple *Vivaldi* [4].

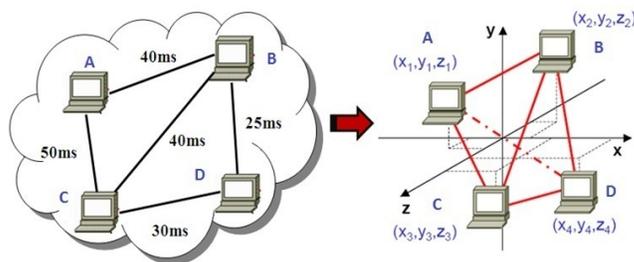


Figure 1. *Modèle de l'espace géométrique de l'Internet*

2.2. Les métriques de détection de TIVs

Dans la littérature, deux paramètres de détection de TIVs ont été proposés : le Ratio de Prédiction [7] et la métrique OREE (Oscillation and Relative Estimation Error) [8].

Le ratio de prédiction est la relation qui existe entre la distance estimée et la distance mesurée. Dans [7] les auteurs montrent que les cotés qui ont de petit ratio de prédiction, c'est-à-dire les cotés qui ont subi un rétrécissement dans l'espace euclidien ont tendance à causer de sévères TIV. Toutefois, cette métrique présente un inconvénient sur la mise à jour des voisins d'un noeud. En effet, chaque noeud du réseau choisit périodiquement 32 autres voisins au hasard, qu'il ajoute sur ses 32 voisins déjà disponibles. Les 64 voisins sont ainsi triés suivant la valeur de leur ratio de prédiction. Si le ratio de prédiction d'un lien est très petit, ceci implique que le lien est sous estimé et cause probablement de sévères TIVs. Par la suite, le noeud élimine de sa liste de voisins, les 32 noeuds ayant des ratio de prédictions les plus petits (qui sont en générale les voisins éloignés), et utilise les 32 noeuds restant comme voisins dans la prochaine itération. En ce qui concerne la OREE, sa valeur est obtenue par la différence entre la variance des distances estimées et la distance réelle le tout sur la moyenne des distances estimées. Les auteurs de [8] montrent que si la valeur de OREE est petite le lien sera considéré comme base TIV, et vice versa.

L'inconvénient du paramètre OREE est qu'il utilise un nombre important d'informations pour la détection de TIVs. Ainsi, l'utilisation de cette technique dans de très larges réseaux, entraîne des temps de calcul considérables, causant une contre performance des applications distribuées.

3. Detection des TIVs Basée sur la métrique RPMO

Pour surmonter la limitation des précédentes métriques [8, 7], nous proposons dans cette section une nouvelle métrique prenant en compte le ratio de prédiction et les oscillations des noeuds dans le réseau.

3.1. RPMO (Ratio de Prédiction sur la Moyenne des Oscillations)

Notre objectif est de trouver une métrique qui nous permet de détecter les TIVs avec précision, sans altérer l'hétérogénéité des voisins d'un noeud dans Vivaldi et utilisant peu de données dans ses calculs. La métrique proposée est appelée RPMO, il met en relation trois paramètres (l'oscillation, la distance estimée et la distance réelle d'un lien).

$$RPMO = \frac{Distance\ estimée}{RTT} \times \frac{1}{Moyenne\ des\ oscillations} \quad [1]$$

Par définition, un tick représente un pas où un noeud donné met à jour ses propres coordonnées. L'oscillation est la différence des distances estimées entre deux ticks successifs. Par exemple, supposons d_1 la distance estimée du lien AB pendant le premier tick (tick1), d_2 la distance estimée pendant le second tick (tick2), et d_3 la distance estimée pendant le troisième tick (tick3). Par conséquent, la moyenne des oscillations de distance du lien AB pendant ces trois ticks peut être calculée comme suit :

$$Moyenne\ des\ oscillations = \frac{(|d_1 - d_2| + |d_2 - d_3|)}{2}$$

Par conséquent, la valeur du RPMO est obtenue par :

$$RPMO = \frac{d_n}{RTT} \times \frac{(n-1)}{\sum_{i=1}^n |d_i - d_{i+1}|} \quad [2]$$

3.2. Evaluation de la métrique RPMO

Pour évaluer la métrique RPMO, nous avons utilisé le simulateur P2PSim [9] qui fournit une implémentation de Vivaldi. Les résultats de nos simulations sont obtenus en utilisant un espace euclidien à 9 dimensions. Dans Vivaldi, chaque noeud a 32 voisins et La valeur de la constante C_c est mise à 0.25 comme recommandée dans [4]. Nous avons utilisé aussi deux matrices de délai : *P2PSim King* (1740 noeuds) [9] et *Meridian* (2500 noeuds) [10]. Notons que, les matrices de délai *King* et *Meridian* sont obtenues en suivant la technique de mesure de *King* [11]. Pour l'étude des caractéristiques des TIVs, deux critères ont été définis pour indiquer leur sévérité :

la sévérité absolue :

$$Ga = d(A, B) - (d(A, C) + d(C, B)) \quad [3]$$

la sévérité relative :

$$Gr = \frac{d(A, B) - (d(A, C) + d(C, B))}{d(A, B)} \quad [4]$$

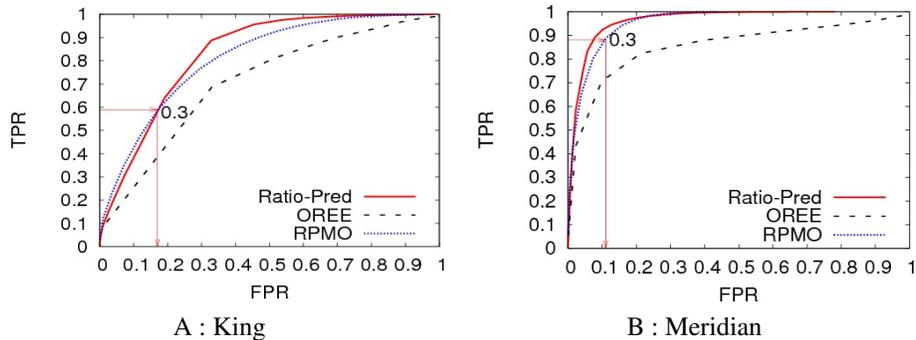


Figure 2. Comparaison entre les métriques RPMO, Ratio Prédiction et OREE.

Ces critères reflètent les gains possibles qu'on peut atteindre en détectant les TIVs. Pour une $G_a = 10\text{ms}$ montre que, au lieu de passer par le chemin direct de A à B, passer par le chemin via le noeud C nous fait gagner 10ms de rapidité. Cependant un grand G_a et G_r ne montrent aussi la sévérité de la TIV. Dans notre travail on s'intéresse aux TIVs qui satisfont les deux critères, à savoir une $G_a > 10\text{ms}$ et une $G_r > 0,1$ et considère les autres comme des non-TIVs.

3.3. Résultats

Pour étudier les performances de ces métriques de détection de TIVs (RPMO, Ratio de prédiction et OREE) et pour en déterminer le meilleur, nous avons effectué la comparaison de leurs courbes ROC (Receiver Operating Characteristic) : le rapport TPR (True Positive Rate) sur FPR (False Positive Rate) au niveau des réseaux (*King* et *Meridian*). Le TPR " pourcentage de vrai positif " concerne les liens bases de TIV détectés et le FPR " pourcentage de faux positif " les liens non base de TIV détectés comme bases de TIV suivant une valeur seuil de la métrique. La figure 2 montre les courbes ROC des métriques de détection de TIVs tels que le Ratio de Prédiction, OREE et RPMO dans les réseaux King et Meridian. Chaque point de chaque courbe représente une valeur seuil de la métrique de détection correspondante avec un FPR en abscisse et un TPR en ordonnée.

Nous avons pris différentes valeurs seuil allant de 0.5 à 9 par pas de 0.5. il est important de savoir aussi que dans une courbe ROC, plus la courbe est proche du coin supérieur gauche du graphe mieux la détection est meilleure.

La valeur 0.3 étiquetée dans la figure 2 représente la valeur seuil nous permettant d'avoir les meilleurs résultats parmi les autres. Pour la métrique RPMO au niveau de la figure 2(A), un pourcentage de détection de 59% de lien base de TIV avec 17% de FPR correspond à une valeur seuil fixée à 0.3. Cette dernière donne le meilleur compromis.

En fait, le RPMO et le Ratio de Prédiction ont la même tendance. Pour un FPR inférieur à 20%, le RPMO est plus performant que le Ratio de Prédiction. Toutefois, OREE est moins efficace comparée au RPMO et au Ratio de Prédiction. La figure 2(B) montre les courbes ROC obtenues suivant la matrice de délai *Meridian*. La tendance qu'on peut observer par rapport à la figure 2(A), est le fait que nous avons des détections de TPR plus élevés avec les mêmes FPR (par exemple 11%). Suivant la métrique RPMO, la valeur seuil donnant un 88% de TPR avec un FPR égale à 11%, est de 0.3 (figure2(B)).

En résumé, suivant la figure 2(A), on remarque que pour un TPR inférieur à 60%, la métrique RPMO est meilleure comparée à OREE et au Ratio de Prédiction. De l'autre côté, pour un TPR supérieur à 60%, le Ratio de Prédiction devient un peu meilleur que

la métrique RPMO avec un FPR supérieur à 30%. Suivant la matrice de délai Meridian (Figure 2(B)), le gap est réduit entre le Ratio de Prédiction et RPMO.

Il apparait clairement que notre métrique de détection de TIVs (RPMO), est plus efficace comparée à OREE suivant les matrices de délai (voir Figure2(A), figure2(B)), comparée au Ratio de Prédiction, le gap est réduit et on observe souvent la même tendance.

Cependant, le Ratio de Prédiction présente un inconvénient sur le mécanisme de sélection de voisin d'un noeud dans Vivaldi. Le Ratio de Prédiction tend à ne sélectionner que les voisins proches, ce qui ne convient pas pour l'algorithme de Vivaldi [4,3]. Nous en déduisons alors que la métrique RPMO est plus convenable pour la détection des TIVs quand on utilise des systèmes de coordonnées distribués tel que Vivaldi.

4. Optimisation du routage dans les reseaux de recouvrement grâce aux TIVs

Comme les TIVs sont inhérents à l'internet, elles peuvent être utilisées pour l'amélioration du routage dans les réseaux de recouvrement. En effet, si le côté AB d'un triangle ABC est un lien base de TIV, il existe un raccourci pour aller de A à B en passant par le point C au lieu d'utiliser le chemin direct allant de A à B.

Notre objectif dans ce travail est, pour chaque lien AB base de TIVs, de détecter les meilleurs points C nous permettant de gagner plus de temps en aller de A à B.

4.1. La métrique MDGD (Metric for Detecting Good Detours)

Le but dans ce travail est de trouver une métrique nous indiquant si un détour fait partie des meilleurs raccourcis (c.à.d. offrant un gain de temps supérieur à 10ms). Pour cela, nous avons étudié le lien possible qui peut exister entre la distance D' qui est égale à $d(A, B) - (d(A, C) + d(C, B))$ et le pseudo gain d'un triangle qui est égale à $d(AB) - (Est(A, C) + Est(C, B))$. $d(X, Y)$ représente la distance RTT entre les noeuds X et Y et $Est(X, Y)$ représente la distance estimée du liens (X, Y).

Nous avons mis des triangles dans des bins (groupes) de 10ms en nous basant sur leurs pseudo gains. Dans chaque bin, nous calculons la médiane de la distance D' des triangles présents dans le bin, ainsi que la plus grande et la plus petite. Nous illustrons ces trois derniers suivant leurs pseudo gains sur la figure 3. L'axe des x représente la sévérité des TIVs (D') et l'axe des y les pseudo gains en millisecondes. nous remarquons que, de plus en plus que le pseudo gain augmente, La courbe médiane de la distance D' croît, c'est à dire les triangles bases de TIVs offrent des gains de temps de plus en plus importants.

Sachant que le pseudo gain peut nous aider à trouver un certain nombre de liens bases de TIVs offrant des gains de temps intéressants, nous nous sommes basés sur l'erreur d'estimation relative (Er) = $d(AB)/Estim(AB)$, l'erreur d'estimation absolue (Ea) = $d(AB) - Estim(AB)$ et le pseudo gain, pour mettre en place une métrique permettant de détecter les meilleurs points C, c'est-à-dire les points C nous offrant des raccourcis où le gain de temps est supérieur à 10 ms. La métrique proposée est la suivante :

$$MDGD = \frac{(Er \times Ea)}{PG} \quad [5]$$

4.1.1. Evaluation et resultats de la metrique MDGD

Pour étudier l'efficacité de cette métrique, nous avons cherché la valeur seuil à partir de laquelle la détection est meilleure. Pour cela nous nous sommes basés sur le TPR (True

Positif Rate) et le FPR (False Positif Rate) de chaque valeur seuil de MDGD. Ici le TPR représente le pourcentage de point C détecté offrant un raccourcis avec un gain de temps supérieur à 10ms , et le FPR représente le pourcentage de points C détectés offrant un raccourcis avec un gain de temps inférieur à 10ms. Le résultat est illustré sur la figure 4.

En nous basant sur la figure 4, nous pouvons noter que les valeurs seuil suivantes (1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3) sont plus proche du haut coin gauche du graphe.

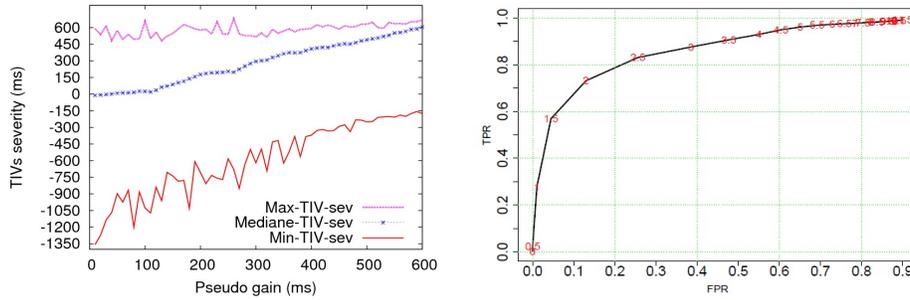


Figure 3. King dataset : Relation entre le pseudo gain et la sévérité des TIVs . **Figure 4.** King : Courbe ROC de la métrique MDGD.

Pour déterminer la meilleure parmi ces valeurs seuil, avec bon compromis de détection TPR/FPR, nous avons eu à calculer leurs précisions de détection (ACC).

$$ACC = \frac{TP + TN}{P + N} \quad [6]$$

TP et TN représentent respectivement le nombre de vrai positif et le nombre de vrai négatif. P exprime le nombre total de raccourcis offrant un gain supérieur à 10ms, contrairement à N qui représente le nombre total de raccourcis offrant un gain inférieur à 10ms. Le tableau 1 montre qu'avec le seuil 2,5 nous avons 83% de vrai positif et 26% de faux

Seuils	TPR	FPR	Précision (ACC)
1.5	0.57	0.04	0.68
2	0.73	0.13	0.77
2.5	0.83	0.26	0.81
3	0.88	0.38	0.80

Tableau 1. Evaluation de la métrique MDGD

positif, avec une précision de 81%, donc il reste le plus précis des seuils pour la détection de meilleurs points C.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé un nouveau paramètre de détection de TIV appelé RPMO permettant aux systèmes de coordonnées d'éviter ces TIV. Comparé aux paramètres ratio de prédiction et OREE, nous avons montré que le paramètre RPMO reste le plus performant en matière de détection de TIV. Il sauvegarde mieux les performances de Vivaldi, et aussi utilise moins de données.

Bien que les TIVs soient nuisibles aux systèmes de coordonnées, ils présentent des opportunités d'améliorer le routage dans les réseaux de recouvrement, en offrant des chemins de détour entre les noeuds avec de petits délais. Ainsi, nous avons proposé la métrique MDGD qui permet de détecter les points C offrant les meilleurs raccourcis d'un lien AB base de TIV. Les résultats obtenus sont satisfaisant, car montrent une précision de détection de 81% avec une valeur seuil de 2,5.

6. Bibliographie

- [1] SYLVIA RATNASAMY, MARK HANDLEY, RICHARD M. KARP, SCOTT SHENKER, « Topologically-Aware Overlay Construction and Server Selection », *INFOCOM*, 2002.
- [2] NG T. S. E., ZHANG HUI, « Predicting Internet network distance with coordinates-based approaches », *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 1, 2002.
- [3] BENOIT DONNET, BAMBA GUEYE, MOHAMED ALI KAAFAR, « A Survey on Network Coordinates Systems, Design, and Security », *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 12, n° 4, 2010.
- [4] DABEK FRANK, COX RUSS, KAASHOEK FRANS, MORRIS ROBERT « Vivaldi : a decentralized network coordinate system », *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 34, 2004.
- [5] HAN ZHENG, ENG KEONG LUA, MARCELO PIAS, TIMOTHY G. GRIFFIN, « Internet routing policies and round-trip-times », *In PAM*, 2005.
- [6] KAAFAR MOHAMED ALI, BAMBA GUEYE, CANTIN FRANCOIS, LEDUC GUY, MATHY LAURENT, « Towards a two-tier internet coordinate system to mitigate the impact of triangle inequality violations », *Proceedings of the 7th international IFIP-TC6 networking conference on AdHoc and sensor networks, wireless networks, next generation internet*, 2008.
- [7] WANG GUOHUI, ZHANG BO, NG T. S. EUGENE, « Towards network triangle inequality violation aware distributed systems », *Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, 2007.
- [8] LIAO YONGJUN, AND KAAFAR MOHAMED ALI, GUEYE BAMBA, CANTIN FRANÇOIS, GEURTS PIERRE, LEDUC GUY, « Detecting Triangle Inequality Violations in Internet Coordinate Systems by Supervised Learning », *Proceedings of the 8th International IFIP-TC 6 Networking Conference*, 2009.
- [9] RYOICHI KAWAHARA, ENG KEONG LUA, MASATO UCHIDA, SATOSHI KAMEI, HIDEAKI YOSHINO, « On the Quality of Triangle Inequality Violation Aware Routing Overlay Architecture », *INFOCOM*, 2009.
- [9] P2PSIM « A simulator for peer-to-peer protocols », <http://www9.limewire.com/developer/gnutella/protocol/0.4.pdf>.
- [10] BERNARD WONG, ALEKSANDRS SLIVKINS, EMIN SIRER, « Meridian : A Lightweight Network Location Service without Virtual Coordinates », *IN SIGCOMM*, 2005.
- [11] KRISHNA P. GUMMADI, STEFAN SAROIU, STEVEN D. GRIBBLE, « King : Estimating Latency between Arbitrary Internet End Hosts », *SIGCOMM Internet Measurement Workshop 2002*, 2002.