Performances d'une méthode de localisation dans les réseaux sans fil mobiles

Mathieu Bouet, Erwan Ermel, Guy Pujolle

Résumé—**Avec la multiplication des objets communicants, la localisation est une composante majeure des futurs services informatiques. De nombreuses méthodes de localisation ont vu le jour pour les réseaux ad hoc mais rares sont celles qui s'adaptent à tous les types d'environnement et qui supportent les nombreuses contraintes inhérentes aux communications sans fil. Dans cet article nous présentons une méthode de localisation distribuée, légère et robuste. Elle repose sur la connectivité des nœuds du réseau, sur le tri des informations de voisinage et sur des calculs géométriques simples. Nous étudions aussi les performances de cet algorithme lorsque les nœuds sont mobiles et montrons qu'une sélection des voisins par enveloppe convexe simple augmente sensiblement la précision du positionnement.**

***Mots-clés*—Localisation, mobilité, réseaux sans fil.**

I. Introduction

Le développement des communications et des réseaux sans fil s'est considérablement accéléré ces dernières années. De telles avancées ont amené à la notion d'ubiquité. De plus, la possibilité de connaître le contexte et de s'en servir dans les processus de communication est désormais devenue un besoin crucial. La localisation physique est l'une des plus importantes composantes de la connaissance du contexte. De nombreuses méthodes de localisation dans les réseaux sans fil ont été développées et plusieurs systèmes sont déjà commercialisés et répandus.

Dans cet article, nous présentons une méthode de localisation pour les réseaux sans fil hétérogènes. Elle est basée sur la connectivité des nœuds, sur la sélection des informations de voisinage et sur des calculs d'estimation de position simples et efficaces.

Nous étudions dans cet article les performances d'un algorithme simple d'estimation de position [1] lorsque les nœuds sont mobiles. Ainsi, trois modèles de mobilité ont été implémentés afin de couvrir tous les types de déplacements, des plus rectilignes aux plus browniens.

Dans la Section II nous présentons un état de l'art de la localisation dans les réseaux sans fil. Dans la Section III, nous détaillons l'algorithme d'estimation de position utilisé. Le simulateur et les modèles de mobilité implémentés sont traités dans la Section IV et la Section V montre les résultats obtenus. Enfin la Section VI conclut cet article.

Mathieu Bouet, Erwan Ermel et Guy Pujolle sont du LIP6, Université Pierre et Marie Curie, 8 rue du Capitaine Scott, 75015 Paris, France (e-mail : {Mathieu.Bouet, Erwan.Ermel, Guy.Pujolle}@lip6.fr).

II. Etat de l'art

Les deux techniques de base pour la localisation sont la trilatération et la triangulation. Elles reposent sur des propriétés très simples et bien connues des triangles. La trilatération consiste à s'appuyer sur trois points de référence, c'est à dire des nœuds dont on connaît la position, et sur les distances qui les séparent du nœud dont on cherche à estimer la position. Cette dernière correspond alors au point d'intersection des trois cercles. La triangulation est semblable à la trilatération puisqu'elle s'appuie également sur trois nœuds de référence. La position est calculée à partir de leurs angles d'incidence.

La plupart des systèmes de localisation pour les réseaux sans fil reposent sur au moins une de ces deux techniques. Afin de calculer les distances ou les angles, plusieurs paramètres des communications sans fil sont utilisés.

Le premier paramètre est le temps de propagation des signaux. En effet, si on connaît l'instant d'émission d'un paquet, en regardant à quel instant celui-ci a été reçu, on peut calculer la distance qui sépare l'émetteur du destinataire grâce au temps de propagation et à la vitesse de propagation. Lorsque les entités sont parfaitement synchronisées, ce procédé s'appelle Time Of Arrival (TOA). En revanche, lorsqu'il n'y a pas de synchronisation forte, on parle de Time Difference Of Arrival (TDOA) et il s'agit alors d'effectuer le calcul sur plusieurs paquets. Le Global Positioning System (GPS) repose sur cette technique.

Un autre paramètre des communications sans fil sur lequel on peut s'appuyer pour la localisation est l'angle d'incidence ou Angle Of Arrival (AOA). Si on connaît les angles de trois nœuds distincts alors on peut effectuer une triangulation. Cela nécessite cependant un matériel spécifique car capable d'évaluer l'incidence. La référence [2] propose de combiner AOA et TOA afin de réduire les erreurs.

Enfin, le dernier paramètre utilisé pour calculer une position avec une trilatération est la puissance d'émission. En effet, la puissance de réception du signal ou Received Signal Strength (RSS) dépend de la puissance d'émission et de la distance. Donc à partir de l'atténuation du signal, on peut obtenir la distance qui sépare l'émetteur du destinataire. Des systèmes [3]-[4] reposent sur ce procédé et consistent à établir

une carte du signal. Celle-ci possède, pour chaque point, la puissance reçue en fonction de tous les nœuds de référence, en général des points d'accès. Ainsi, pour connaître la position d'un nœud, il suffit de regarder sur la carte quel point correspond aux puissances reçues.

Ces paramètres souffrent d'interférences notamment à l'intérieur de bâtiments. Des systèmes basés sur la connectivité ont été proposés. Ainsi MultiDimensional Scaling (MDS) [5] est un algorithme centralisé qui s'appuie sur des nœuds ancres et sur la connectivité des nœuds pour calculer les positions à partir d'opérations très simples telles que les rotations, les homothéties et les réflexions. D'autres méthodes s'affranchissent de toute mesure physique. L'approche par centroïde [6] est très basique : les ancres diffusent leur position et pour se localiser les autres nœuds effectuent un simple calcul barycentrique. DV-HOP [7], quant à elle, utilise aussi des ancres qui diffusent leur position mais consiste à calculer la taille moyenne d'un saut. Cette dernière permet alors d'estimer les distances et donc les positions. L'approche amorphe [8] part du principe que la densité de nœud est connue a priori et par extension la taille moyenne d'un saut.

Enfin des techniques de localisation basées sur les contraintes ont été proposées [9]-[10] Cette approche prend en compte les informations dites inclusives, c'est-à-dire les informations qui renseignent sur une zone de présence d'un nœud, et les informations dites exclusives, c'est-à-dire les zones dans lesquelles ne peut se situer un nœud. En combinant toutes ces données, on obtient une zone dans laquelle se trouve le nœud dont on cherche à connaître la position.

III. SIMPA: SIMPLE POSITIONING ALGORITHM

Simple Positioning Algorithm (SimPA) [1] est algorithme de localisation pour les réseaux sans fil. Il se distingue des méthodes présentées dans la Section II puisqu'il repose sur des principes très simples afin de respecter au mieux les contraintes des Mobile Ad-hoc NETworks (MANET) : l'autonomie, le coût, la mobilité etc. SimPA requière que quelques nœuds du réseau connaissent leur position afin d'avoir un système de coordonnées absolues, avec GPS par exemple. Enfin il est totalement distribué.

L'algorithme est composé de quatre étapes et d'un jeu de méthodes. La première est la collecte des données. Le nœud qui cherche à connaître sa position récupère les coordonnées des nœuds qui sont dans sa couverture radio. Ensuite, ces informations sont triées grâce à une des méthodes de sélection de nœuds afin d'améliorer le résultat de la troisième étape : l'estimation de la position via une des méthodes de positionnement. Enfin, la dernière étape correspond à l'évaluation de l'erreur du calcul. L'algorithme est itératif et effectué par l'ensemble des nœuds du réseau.

SimPA a un coût faible et est léger et robuste puisque ne nécessite que peu de GPS, aucun matériel spécifique pour calculer les angles d'incidence ou encore les temps de propagation et peu de communications.

A. *Méthodes d'estimation de la position*

Les méthodes d'estimation de la position permettent de calculer la position d'un nœud à partir des coordonnées de ses voisins. Elles sont au nombre de quatre :

1) Méthode du barycentre simple : la méthode barycentrique est la méthode la plus utilisée dans les algorithmes de localisation. Il s'agit de calculer le centre de gravité, ou encore centre d'inertie ou centre de masse, d'un ensemble de points. Dans SimPA, ces points sont les voisins.

$$(x, y, z) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_i \right) \tag{1}$$

2) Méthode du barycentre pondéré : cette méthode repose sur les mêmes propriétés que la précédente à la différence prés qu'à chaque point est attribué un coefficient de pondération. Dans SimPA, la pondération correspond au coefficient de précision des positions de chaque voisin.

$$(x, y, z) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}, \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}, \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i} \right) \tag{2}$$

3) Méthode du centre d'Euler : en géométrie, le cercle d'Euler d'un triangle est le cercle passant par chacun des milieux des trois côtés du triangle, par chacun des pieds des trois hauteurs et par chacun des milieux des trois segments reliant l'orthocentre à un sommet du triangle. De nombreux points remarquables du triangle sont situés sur ce cercle et ce dernier est communément appelé cercle des neuf points ou cercle de Feuerbach. Le centre d'Euler est le centre du cercle d'Euler et a la propriété d'être le centre du segment formé par le centre du cercle circonscrit au triangle et l'orthocentre. SimPA estime la position du nœud considéré en calculant les coordonnées du centre d'Euler avec trois voisins. Si le nombre de voisins est supérieur à trois, l'algorithme calcule le barycentre des centres d'Euler de tous les triangles possibles.

4) Méthode des moindres carrés : la méthode des moindres carrés est également beaucoup utilisée par les algorithmes de localisation. Généralement, elle sert à comparer des données expérimentales, donc entachées d'erreurs, avec un modèle et à trouver un modèle qui s'approche au mieux des données expérimentales. Dans SimPA, il s'agit de calculer les coordonnées d'un point à partir de la position antérieure de ce point et des variations des positions de ses voisins. Ainsi, la nouvelle position est fonction des positions des voisins à l'itération i-1 et de leurs positions à l'itération i.

B. *Méthodes de sélection*

Les méthodes de sélection des nœuds ont pour but d'améliorer le résultat des méthodes d'estimation de la position notamment en homogénéisant la distribution des voisins. Elles sont au nombre de cinq :

1) Sans sélection : la sélection la plus simple possible consiste tout simplement à ne pas faire de sélection. Elle sert à

comparer les résultats des différentes méthodes d'estimation de la position ainsi que les résultats des différentes méthodes de sélection.

2) Méthode de sélection angulaire : la méthode de sélection angulaire est relativement simple. Il s'agit de découper la couverture radio en un nombre donné de secteurs et de sélectionner dans chaque secteur le meilleur nœud. Ce dernier correspond au voisin le plus éloigné du nœud considéré. Il est à noter que cette méthode nécessite que le nœud ait déjà une première estimation de sa position afin de calculer les angles et d'élire les meilleurs voisins.

3) Méthode de sélection par cluster : la méthode de sélection par cluster consiste à regrouper les voisins selon leur position et à calculer le barycentre de chaque groupe (cluster). Ainsi, les zones où les voisins sont en grand nombre ne sont plus représentées que par un nœud. Cela donne une meilleure distribution des nœuds utilisés dans l'estimation de la position.

4) Méthode de sélection par enveloppe convexe simple : la méthode de sélection par enveloppe convexe simple consiste à sélectionner les voisins de telle sorte qu'ils forment une enveloppe de l'ensemble des voisins. Une enveloppe simple d'un ensemble d'objets, ou encore enveloppe convexe, est, en mathématiques, l'ensemble convexe de taille minimale qui contient tous ces objets. De façon plus imagée, on peut dire que trouver l'enveloppe simple d'un ensemble de points revient à lâcher un élastique sur cet ensemble et à sélectionner les points sur lesquels repose l'élastique. L'algorithme implémenté dans SimPA est QuickHull, complexité en $O(n \cdot \log n)$.

5) Méthode de sélection par enveloppe convexe complexe : la méthode de sélection par enveloppe complexe repose sur les mêmes bases que celle par enveloppe simple à la différence prés que la sélection des nœuds est multicritère puisque la précision sur la position de chaque nœud est prise en compte en plus de la position. Ainsi, les points appartenant à l'enveloppe simple sont dans un premier temps sélectionnés. Puis dans un second temps les nœuds proches de l'enveloppe sont évalués et sélectionnés ou non selon que le critère (3) qui dépend à la fois de leur position et de leur précision est strictement supérieur à 1 ou non.

$$C_i(A,B) = \frac{\sqrt{(x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2 + (z_i - z_A)^2} \times C_{acc}^A}{\sqrt{(x_i - x_B)^2 + (y_i - y_B)^2 + (z_i - z_B)^2} \times C_{acc}^B}$$

(3)

Où i est le nœud à partir duquel est calculée l'enveloppe convexe, A un voisin quelconque de i, B un nœud de l'enveloppe des voisins de i et C_{acc}^A et C_{acc}^B les coefficients de précision respectivement des noeuds A et B.

C. Calcul de la précision de l'estimation

La précision de l'estimation d'une position est exprimée sous la forme d'un coefficient compris entre 0 et 1. Les nœuds possédant un GPS ont une position absolue et ont donc un coefficient égale à 1. Au contraire, les nœuds qui n'ont pas de position ont une précision nulle. Pour les autres nœuds, deux méthodes permettent de calculer la précision de leur position estimée.

1) Calcul de la précision avec la distance euclidienne : cette méthode consiste à comparer la position réelle d'un nœud avec sa position calculée en utilisant la distance euclidienne (4).

$$\Delta = \sqrt{(x_{calc} - x_{reelle})^2 + (y_{calc} - y_{reelle})^2 + (z_{calc} - z_{reelle})^2} \quad (4)$$

Le coefficient de précision est alors :

$$C_{acc} = 1 - \frac{\min(R_{\max}, \Delta)}{R_{\max}} \quad (5)$$

Où $R_{\max}$ est le rayon de couverture maximale.

Si la distance entre la position estimée et la position réelle est supérieure au rayon de couverture maximale, l'estimation est incohérente et la précision est nulle.

2) Calcul de la précision avec l'aire de recouvrement : cette méthode repose sur l'aire de recouvrement des couvertures radio. Cette dernière est formée par le recoupement de toutes les couvertures radios des voisins du nœud considéré. Ainsi, la précision de l'estimation (6) va dépendre étroitement de la taille de l'aire de recouvrement, plus celle-ci sera petite plus la précision sera bonne et inversement.

$$C_{acc} = 1 - \frac{\mathrm{A}_{\mathrm{Re}couvrement}}{\mathrm{A}_{Radio}} \quad (6)$$

Où $\mathrm{A}_{\mathrm{Re}couvrement}$ est l'aire de recouvrement des couvertures radio des voisins et A_{Radio} l'aire de recouvrement radio d'un noeud.

SimPA est donc un algorithme de localisation robuste puisqu'il ne repose sur aucune mesure de la distance entre les nœuds et léger car les méthodes utilisées sont peu complexes. Il ne requière que quelques nœuds munis de GPS ou d'un système similaire. L'estimation de la position de chaque nœud se déroule en plusieurs étapes : premièrement la récupération des coordonnées des voisins, puis la sélection de ces nœuds et enfin l'estimation de la position. Le résultat obtenu est une localisation dite à « précision fine ». Des méthodes d'estimation de la précision des calculs ont également été définies afin d'évaluer les performances de SimPA.

IV. SIMULATIONS

A. Simulateur

Un simulateur a été développé afin d'évaluer les performances des différentes combinaisons de méthodes de sélection et d'estimation de la position. Le simulateur est codé en java pour sa portabilité et dans l'optique de mesures de performances en grandeur nature.

Les paramètres peuvent bien sûr être changés mais, de base, les nœuds sont au nombre de 100, dont au plus la moitié est GPS, et sont distribués aléatoirement sur une aire de 1000 par 1000 unités de côté. La couverture radio des nœuds est supposée être un disque parfait de 170 unités de rayon. Enfin les résultats sont recueillis sous la forme d'une matrice dont le numéro de la ligne correspond au nombre de voisins GPS, le numéro de la colonne au nombre de voisins non GPS et les données à la moyenne de la précision basée sur la distance euclidienne de tous les nœuds ayant cette configuration de voisins. L'algorithme est itéré 10 fois sur la distribution de nœuds afin que les estimations des positions convergent, les résultats sont enregistrés, puis les nœuds sont redistribués aléatoirement, l'algorithme est itéré 10 fois sur la nouvelle distribution ainsi de suite jusqu'à ce que la matrice converge vers une matrice fixe à un facteur de différence prés.

De la sorte, on est en mesure d'avoir une matrice de précision pour chaque association entre une méthode de sélection et une méthode d'estimation de la position et de comparer ces associations entre elles afin d'évaluer leurs performances.

B. Modèles de mobilité implémentés

Trois modèles de mobilité sont utilisés pour évaluer les performances de SimPA lorsque les nœuds sont mobiles.

1) Random Waypoint Mobility Model (RWM): le modèle RWM [11] est le modèle de mobilité le plus simple et est très souvent utilisé dans l'évaluation des algorithmes de positionnement. L'intérêt de son implémentation réside dans le fait qu'il fournit des résultats bruts sur les performances de SimPA avec une mobilité très basique.

Le modèle RWM inclut des temps de pause entre chaque changement de direction et/ou de vitesse. Un nœud commence donc par rester sur sa position pendant un temps de pause. Puis il choisit une destination de façon aléatoire sur l'ensemble de l'aire de simulation et une vitesse distribuée uniformément entre un seuil minimum et un seuil maximum et s'achemine jusqu'à la destination à la vitesse choisie. Une fois arrivé à destination, il reste sur place durant le temps de pause et recommence ce processus.

Le problème majeur de RWM est que les nœuds ont tendance à se concentrer au cœur de l'aire de simulation. Les vitesses choisies furent donc : 10 et 20 unités par itération car au-delà les nœuds étaient trop regroupés au centre.

2) Boundless Simulation Area Mobility Model (BSAM): l'intérêt du modèle BSAM [11] réside dans le fait qu'il s'affranchit des bordures de l'aire de simulation. En effet, dans les modèles de mobilité traditionnels, les nœuds mobiles se réfléchissent sur les bords tendant ainsi à se concentrer au centre. Ici, les nœuds traversent les limites de la zone de simulation : lorsqu'ils atteignent une bordure, ils continuent leur chemin et réapparaissent du côté opposé. Les bordures sont donc reliées deux par deux et l'aire de simulation prend alors la forme d'un tore.

Les nœuds sont distribués aléatoirement sur l'aire de simulation et se déplacent selon (7). Au bout de 25 itérations, ils restent en pause pendant 5 itérations puis choisissent aléatoirement une nouvelle direction.

$$\begin{cases} x_i = x_{i-1} + v * \cos(d) \\ y_i = y_{i-1} + v * \sin(d) \end{cases} \tag{7}$$

Où v est la vitesse et d la direction.

3) Gauss-Markov Mobility Model (GMM): le modèle GMM a été conçu pour s'adapter à différents degrés d'entropie via un unique paramètre [11]. Tout d'abord, les nœuds sont distribués aléatoirement sur l'aire de simulation. Puis, à chaque itération, comme indiqué dans (8), la vitesse et la direction de chaque nœud sont calculées ; ces deux paramètres dépendent respectivement de la vitesse et de la direction à l'instant précédent ainsi que d'une variable aléatoire. A chaque itération, sont également évaluées les nouvelles coordonnées des points qui dépendent de la vitesse et de la direction calculées.

$$\begin{cases} s_i = \alpha \cdot s_{i-1} + (\alpha - 1) \cdot \bar{s} + \sqrt{(1-\alpha^2)} \cdot s_{x_{i-1}} \\ d_i = \alpha \cdot d_{i-1} + (\alpha - 1) \cdot \bar{d} + \sqrt{(1-\alpha^2)} \cdot d_{x_{i-1}} \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} x_i = x_{i-1} + v * \cos(d) \\ y_i = y_{i-1} + v * \sin(d) \end{cases}$$

Où s_i est la vitesse à l'itération i, d_i est la direction à l'itération i ; $\bar{s}$ et $\bar{d}$ sont des constantes correspondant à la moyenne de la vitesse et de la direction ; $s_{x_{i-1}}$ et $d_{x_{i-1}}$ sont des variables aléatoires issues d'une distribution gaussienne ; α est une valeur comprise entre 0 et 1.

Pour s'assurer que les noeuds ne restent pas dans les coins ou proches des bords, lorsqu'ils s'approchent de ces zones, la valeur de $\bar{d}$ est modifiée. De plus, le degré d'entropie dépend de la valeur de α ; des valeurs totalement aléatoires (mouvement Brownien) sont obtenues en mettant α égale à 0 et au contraire les déplacements sont linéaires quand α est égale à 1.

Lors de nos simulations, nous avons choisi les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} &\alpha = 0{,}75 \\ &s_o = 0 \\ &d_o \in [0, 2\pi] \\ &\bar{d} = \frac{\pi}{2} \\ &s_{x_{i-1}}, d_{x_{i-1}} \in N(0, \frac{\pi}{8}) \end{aligned} \tag{9}$$

Ces trois modèles ont chacun des caractéristiques intéressantes pour l'étude des performances de SimPA. En effet, le modèle RWM offre une première approche de la

mobilité. Celle-ci est très basique et donne donc des résultats bruts. De son côté le modèle BSAM fournit des résultats d'une tout autre nature puisqu'il n'y a pas de bordure. Les nœuds, au lieu d'avoir tendance à toujours aller au centre comme c'est le cas avec RWM, seront mieux répartis sur l'aire de simulation. Enfin le modèle GMM offre des déplacements relativement aléatoires ce qui le différencie des deux premiers modèles.

V. Resultats

La précision est calculée en utilisant la technique basée sur la distance euclidienne.

A. RWM

La Fig. 1 montre les résultats obtenus avec le modèle RWM. Lorsqu'il n'y a pas de sélection, la précision est inférieure de 13 points à celle obtenue quand les nœuds sont statiques. Cela est du à la mobilité intrinsèque des nœuds mais également au fait qu'ils ont tendance à tous se situer vers le centre de l'aire de simulation. Ce phénomène a pour conséquence une mauvaise répartition des voisins dans la couverture radio du nœud considéré. Comme il n'y a pas de sélection, la position estimée va être aspirée vers la zone où se concentrent les voisins ce qui explique la perte de précision.

Au contraire, lorsque les nœuds sont sélectionnés avec la méthode par enveloppe simple, Fig. 1(b), la précision est pratiquement la même que dans le cas statique. La précision chute au-delà de 7 voisins simples car les résultats sont alors extrêmement peu nombreux ; il s'agit d'un effet de bord des simulations. Il en va de même pour la Fig. 3(b) et la Fig. 4(b).

Les simulations ont été réalisées avec des vitesses peu élevées, 10 et 20 unités par itération, car au-delà les nœuds sont tous au cœur de l'aire de simulation ce qui donne des résultats sans sens.

La sélection par enveloppe convexe simple permet donc d'une part de limiter l'imprécision causée par les déplacements des nœuds et d'autre part de choisir efficacement les voisins.

B. BSAM

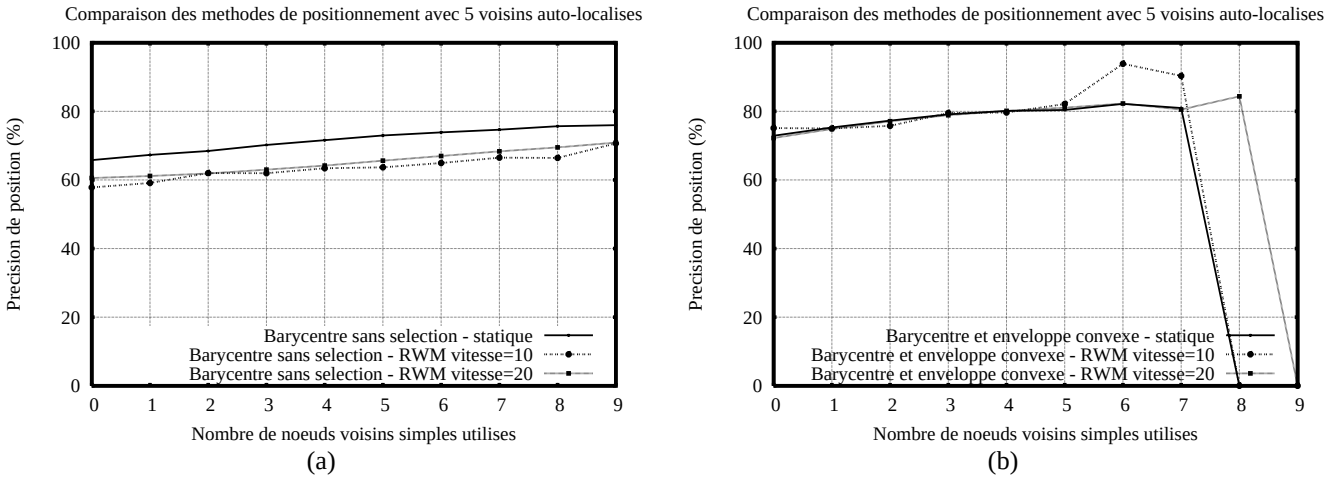
La Fig. 2 montre les résultats obtenus avec le modèle BSAM sans sélection des nœuds. Lorsque les vitesses sont peu élevées, 10 et 20 unités par itération, la précision de SimPA est quasiment égale à celle du cas où les nœuds sont statiques. Les déplacements font que les nœuds sont répartis de façon homogène sur toute l'aire de simulation. L'effet d'aspiration constaté avec RWM n'a ici pas lieu.

Lorsque les nœuds se déplacent avec une grande vitesse, ici 100 unités par itération, SimPA perd jusqu'à 8 points de précision. Ce résultat demeure très satisfaisant et montre que SimPA supporte bien ce type de mobilité sans même effectuer une sélection des voisins.

C. GMM

La Fig. 3 montre les résultats obtenus avec le modèle GMM. Lorsque les nœuds se déplacent à vitesse modérée, ici 20 unités par itération, la précision est quasiment égale à celle des cas statiques que l'on fasse une sélection par enveloppe convexe ou non. Cependant quand la vitesse est élevée, 100 unités par itération, la perte de précision est très importante. Elle est de l'ordre de 20 points dans le cas sans sélection, Fig. 3 (a), et de l'ordre de 16 points dans le cas d'une sélection par enveloppe convexe simple, Fig. 3 (b).

SimPA supporte donc bien une mobilité de type GMM lorsque la vitesse est peu élevée. Au contraire, quand la vitesse devient grande, la précision chute. Cependant, une sélection par enveloppe convexe simple permet de réduire l'imprécision due à la forte mobilité des nœuds.



(a) (b)

Fig. 1. Modèle RWM. (a) sans sélection. (b) avec une sélection par enveloppe convexe simple.

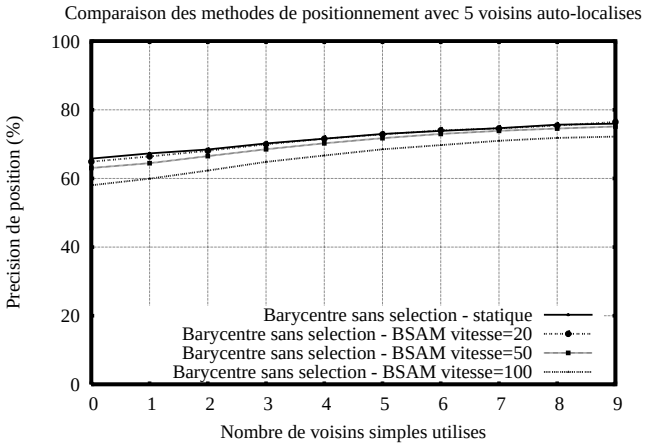
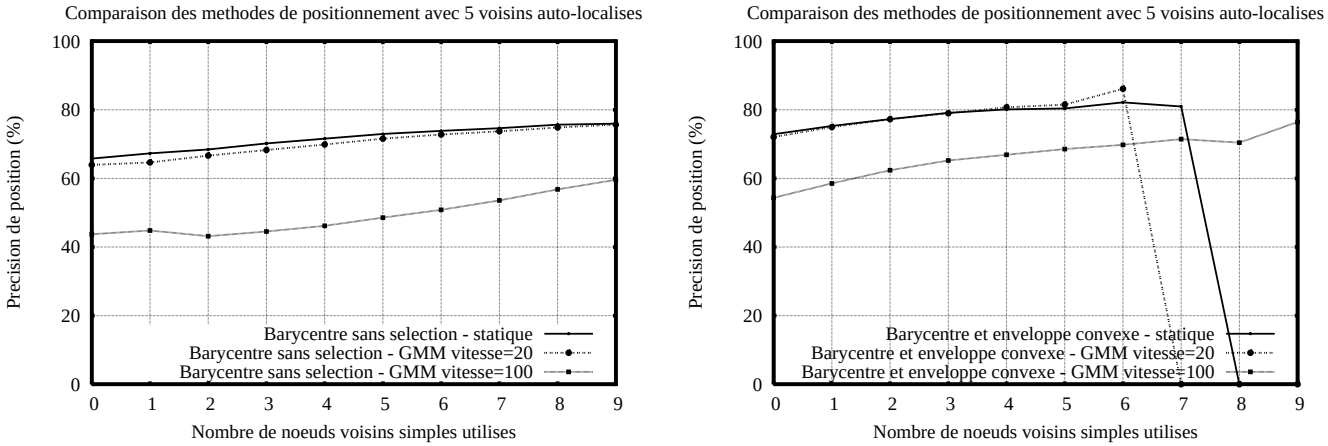
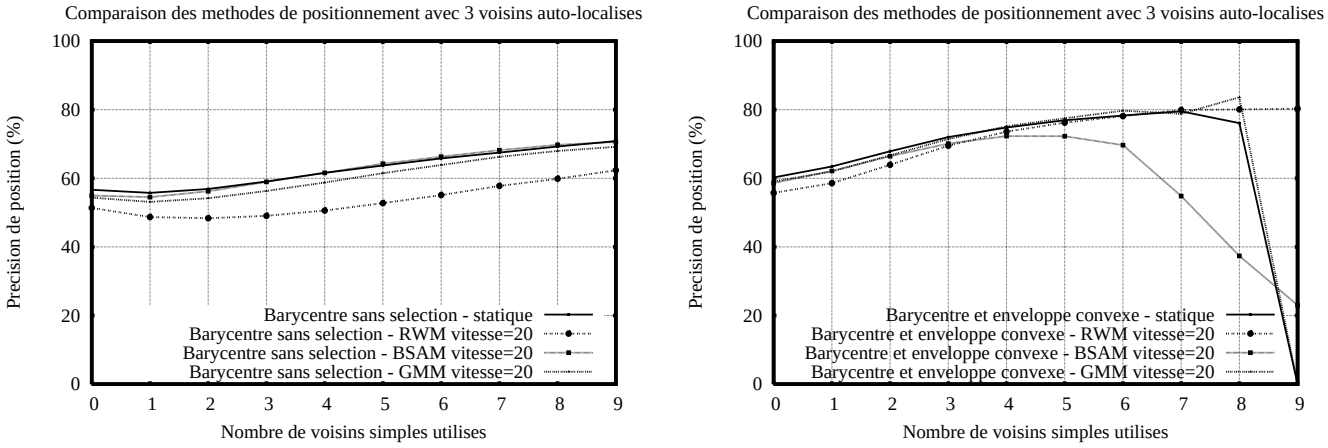


Fig. 2. Modèle BSAM sans sélection.



(a) (b)

Fig. 3. Modèle GMM. (a) sans sélection. (b) avec une sélection par enveloppe convexe simple.



(a) (b)

Fig. 4. Comparaison des différents modèles de mobilité. (a) sans sélection. (b) avec une sélection par enveloppe convexe simple.

D. Synthèse

Nous avons donc soumis SimPA à différents types de mobilité. Le premier modèle, RWM, fournit des résultats très basics. Et nous avons pu constater que la perte de précision lorsqu'il n'y a pas de sélection, Fig. 4 (a), peut être palliée en effectuant une sélection par enveloppe convexe simple, Fig. 4 (b). Le deuxième modèle, BSAM, a

pour principale caractéristique de faire évoluer les nœuds sur un tore, c'est-à-dire sur une surface complètement fermée. Que ce soit avec ou sans sélection, SimPA a les mêmes performances que dans le cas où les nœuds sont statiques, Fig. 4. Enfin, le dernier modèle de mobilité utilisé, GMM, s'approche plus du mouvement brownien que les deux autres modèles employés. Cependant, les résultats des simulations avec ce type de déplacements, Fig. 4, sont quasiment égaux à ceux obtenus avec des nœuds statiques. SimPA résiste donc bien à la mobilité lorsque la vitesse est peu élevée, ici 20 unités par itération, et une sélection par enveloppe convexe simple permet non seulement de corriger les éventuels effets dus aux déplacements des nœuds mais aussi d'améliorer la précision des estimations de position.

Lorsque la vitesse est élevée, la précision baisse mais une sélection par enveloppe simple permet quand même de limiter notablement cette chute.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons évalué les performances de SimPA, une méthode de localisation dans les réseaux sans fil hétérogènes, dans un environnement où les nœuds sont mobiles. Pour cela, nous avons implémenté trois modèles de mobilité aux propriétés bien différentes : Random Waypoint Mobility Model, Boundless Simulation Area Mobility Model et Gauss-Markov Mobility Model.

Les résultats des simulations ont montré que lorsque la vitesse est peu élevée SimPA résiste bien puisque l'algorithme offre les mêmes performances que dans le cas où les nœuds sont statiques. La sélection par enveloppe convexe simple permet de corriger les quelques baisses de précision dues à la mobilité et améliore les résultats par rapport à une absence de sélection. Quand la vitesse est beaucoup plus élevée, la précision de SimPA chute mais une sélection par enveloppe convexe simple permet aussi d'endiguer cette baisse.

SimPA est donc une méthode de localisation très efficace car d'une part elle est distribuée, légère et robuste et d'autre part elle résiste très bien à la mobilité. Il serait intéressant de regarder les résultats de SimPA lorsque les nœuds ont des rayons bien inférieurs à ceux du WiFi, c'est à dire inférieurs à ceux utilisés pour réaliser les simulations. Cela permettrait entre autre d'évaluer les performances de l'algorithme dans des réseaux de capteurs. Il serait également intéressant d'implanter cette méthode dans un environnement réel afin de voir si les simulations ne sont pas trop éloignées de par les modèles utilisés.

REFERENCES

[1] E. Ermel, "Localisation et routage géographique dans les réseaux sans fil hétérogènes », Phd. thesis, LIP6, Pierre et Marie Curie Univ., Paris, France, 2001.

[2] A.H. Sayed, A. Tarighat, and N. Khajehnouri, "Network-based wireless location", IEEE Signal Processing Magazine page 24-40, July 2005.

[3] Y. Wang, X. Jia, and H.K. Lee, "An indoors wireless positioning system based on wireless local area network infrastructure », The 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services, Melbourne, Australia 22–25 July 2003.

[4] A. Kushki, K. Plataniotis, A. Venetsanopoulos, and C. Regazzoni, "Radio map fusion for indoor positioning in wireless local area networks", 8th International Conference on Information Fusion, July 2005.

[5] X. Ji, and H. Zha, "Sensor positioning in wireless ad-hoc sensor networks using multidimensional scaling", IEEE Infocom, 2004.

[6] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices", IEEE Personal Communications Magazine, 7(5):28-34, October 2000.

[7] D. Niculescu and B. Nath, "DV based positioning in ad hoc networks", In Journal of Telecommunication Systems, 2003.

[8] R. Nagpal, H. Shrobe, and J. Bachrach, "Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network", In the 2nd International Workshop on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '03), Palo Alto, April, 2003.

[9] S. Guha, R. Murty, and E.G. Sirer, "Sextant: a unified node and event localization framework using non-convex constraints", The 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2005.

[10] R. McNally, K. J. Wong, and D. Arvind, "A distributed algorithm for logical location estimation in speckled computing", Procs of IEEE Conference on Wireless Communications and Networking Conference, 2005.

[11] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, Vol. 2, No. 5. (2002), pp. 483-502, 2002.