



HAL
open science

Détails d'un système de positionnement “ symbolique ” fiable

Nel Samama

► **To cite this version:**

Nel Samama. Détails d'un système de positionnement “ symbolique ” fiable. 23ème Journées Nationales Microondes(JNM), Jun 2024, Antibes (06), France. hal-04876591

HAL Id: hal-04876591

<https://hal.science/hal-04876591v1>

Submitted on 9 Jan 2025

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.

Détails d'un Système de Positionnement « Symbolique » Fiable

N. Samama

SAMOVAR, Télécom SudParis, Institut Polytechnique de Paris, 91120 Palaiseau, France
Nel.samama@telecom-sudparis.eu

Résumé – Les solutions techniques de positionnement sont très nombreuses. Les limitations reposent, toutes technologies confondues, sur des problèmes de propagations des signaux : obstacles, absorption, réflexions, etc. Ainsi, dans les milieux intérieurs qui sont les plus complexes dans ce domaine, les solutions actuelles montrent toutes des limites importantes. Il en découle des performances non satisfaisantes, sauf dans des conditions particulières qui restent alors des niches.

La combinaison de l'approche symbolique (par zone de très haute probabilité de présence) qui additionne simplicité de mise en œuvre et fiabilité, est le déclencheur, selon nous, de déploiements à grande échelle.

1. Introduction et principes

La navigation dans les milieux intérieurs reste un défi. Les techniques actuelles cherchent généralement à reproduire ce que les systèmes de navigation extérieurs offrent [1, 2], c'est-à-dire une "bonne" précision. De nombreuses approches ont été proposées, y compris celles utilisant des réseaux de neurones [3, 4]. Dans de nombreuses applications, la fiabilité est bien plus importante que la précision. Nous montrons qu'il est possible de réaliser un système simple et fiable et qui remplit parfaitement la tâche qui lui est assignée dans le cas particulier du suivi de brancards dans un hôpital. Le fait de disposer de leurs positions en temps réel ainsi que d'un indicateur sur le temps nécessaire pour les déplacer entre deux services permet de prévoir ou d'estimer la charge et éventuellement de dimensionner le nombre de brancards nécessaires. Dans cet article, une approche est proposée, dite "symbolique", de la localisation. Le principe est décrit à la suite d'une succincte discussion sur les modèles classiques. Ensuite, une analyse des résultats obtenus est donnée dans deux directions : la localisation des brancards et la détermination des temps de parcours. La méthodologie suivie est décrite et il est démontré qu'un taux de positionnement correct de 90% est atteint, légèrement inférieur à ce qui était attendu, ce qui s'explique par l'implémentation pratique choisie. Une optimisation du déploiement permet d'améliorer ce taux à 97%. En outre, l'erreur moyenne sur la détermination des temps de parcours est d'environ dix secondes sur les trajets de 2 à 7 minutes. La "fiabilité" des résultats est liée à la simplicité de l'approche.

Le système de géolocalisation proposé se compose de Tags qui vont être localisés, de Modules qui vont permettre de collecter les émissions des Tags et de

renvoyer les niveaux de réception de ces émissions, auxquels un horodatage est ajouté, au réseau Internet du bâtiment, par une liaison WiFi. Les données sont alors stockées sur des serveurs qui vont également procéder à l'ensemble des traitements nécessaires (filtrage et géolocalisation). Notez que les positions des modules sont intégrées à la cartographie.

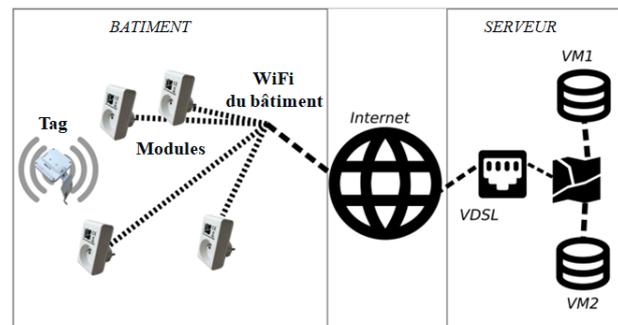


Figure 1. Architecture du système proposé

La cartographie est un élément fondamental du système, pour des aspects de restitution graphique des positions, mais de façon plus spécifique pour le calcul de la position des Tags. Les modules y sont positionnés et l'architecture (les murs, les étages, les espaces ouverts, les zones de navigation, etc.) est intégrée aux calculs.

2. Modèles classiques de localisation

De très nombreuses approches techniques existent pour réaliser la fonction « localisation ». En général, le point de fixation en termes de performances concerne la précision. Le problème de ce paramètre est qu'il est très difficile à caractériser de façon satisfaisante car la propagation des signaux est un phénomène particulièrement complexe en intérieur. Ainsi, deux orientations sont classiquement suivies :

- la mesure d'un paramètre physique caractéristique (méthode du *fingerprint*) sur une grille couvrant l'espace considéré. Le principe de base est de considérer qu'une fois la zone calibrée, la mesure restera pérenne dans le temps. Ainsi, la localisation s'effectue par recherche de la plus proche valeur dans la grille correspondant à la mesure in-situ en temps réel. L'avantage de cette approche réside dans la prise en compte, de façon intrinsèque, de l'environnement réel (murs, réflexions, etc.). L'inconvénient est la grande variabilité des mesures qui rend la recherche du proche voisin dans la grille

peu fiable et très dépendante d'un quelconque changement dans l'environnement (personnes déambulant, déplacement de mobilier, changement de récepteur, etc.).

- la modélisation de la propagation physique afin de permettre la traduction d'une mesure physique en une distance ou en un temps de propagation afin de revenir à des approches classiques de localisation par intersections géométriques. La complexité des milieux intérieurs est alors un obstacle important. Il est utile ici de bien comprendre qu'il existe une différence majeure entre un réseau de télécommunication et un système de géolocalisation. Pour le premier cité, il s'agit de proposer une qualité de connectivité suffisante pour l'échange de données, alors que pour le second, c'est la mesure qui se doit d'être de bonne qualité. La différence est fondamentale.

Les modèles déterministes de cette propagation des signaux n'ont pas vraiment de sens dans le cas général (murs, plafond, sols, cloisons diverses, vitrages, etc.) car la situation réelle dépend de conditions environnementales qu'il n'est pas possible de décrire (portes ouvertes ou fermées, constitution physique des cloisons, sols et plafonds, présence de matériels ou de personnes, etc.). De fait, les performances des systèmes utilisant ces modèles sont médiocres, sauf à les mettre en œuvre dans des environnements très spécifiques (une seule pièce de grande dimension par exemple).

Les modèles statistiques, comme ceux utilisés pour dimensionner les réseaux locaux de télécommunication (WiFi par exemple) sont quant à eux peu compatibles avec une utilisation en géolocalisation car trop imprécis pour proposer un positionnement en temps réel. La très grande majorité des travaux repose cependant sur de telles approches, rendant les performances qu'il est possible d'obtenir dans des environnements réels souvent médiocres, rarement en correspondance avec les attentes, et surtout peu fiables.

Nous proposons une approche différente qui cherche à prendre en compte les incertitudes et variations des signaux, parfois très importantes, liées à l'environnement, directement dans les fondements des algorithmes. Il en découle l'approche dite « symbolique » décrite succinctement au paragraphe suivant. Le principe est de toujours considérer un « pire cas » permettant de proposer une zone de très haute probabilité de présence du dispositif, rendant l'approche particulièrement fiable, c'est-à-dire que la zone en question risque d'être plus grande que la réalité, mais la présence dans cette zone est garantie. Un autre avantage de l'approche repose sur le fait qu'elle rend le système très robuste en lui permettant de fonctionner en mode dégradé, dans toutes les zones où la couverture du système reste assurée, même partiellement.

Notre approche se distingue ainsi également du très classique *fingerprint* consistant à établir une base de données des niveaux de puissance reçue d'émetteurs

radio disséminés dans le bâtiment. La principale difficulté de cette technique repose là encore sur la grande variabilité des mesures en fonction des conditions environnementales réelles, rendant le maintien de la base de données cohérente très aléatoire. Le principe de base est en effet que cette base est immuable dans le temps, pour tous les terminaux, et pour toutes les conditions d'usage. Ces diverses hypothèses sont tout inadaptées à la propagation des signaux en intérieur.

3. Principe de la localisation symbolique

Le principe de l'approche symbolique, utilisant dans le cas retenu ici pour l'exemple, des signaux Bluetooth issus d'un dispositif porté par une personne ou un matériel (tag spécifique ou téléphone mobile), repose sur une infrastructure de balises de réception. Ces dernières, réparties dans le bâtiment (de façon continue dans l'espace ou pas), permettent d'enregistrer les signaux issus des tags, et de les remonter à un serveur qui en réalise une interprétation menant à la position des tags. Dans une réalisation actuelle, ces données peuvent ensuite être transmises à tout terminal connecté autorisé à les recevoir. De façon schématique la figure 2 en donne une interprétation graphique simple :

- les deux étoiles, bleue et rouge symbolisent les balises de réception,
- les deux cercles, bleu clair et orange clair, représentent les surfaces de présence déterminées respectivement par l'étoile bleue et l'étoile rouge, en correspondance avec les puissances reçues par les balises (bleue et rouge), si le bâtiment n'existait pas,
- les deux zones délimitées par le bâtiment en bleu foncé et orange foncé correspondent à la combinaison algorithmique de localisation employée, combinant les cercles bleu et orange, ainsi que la cartographie intérieure du bâtiment. Il s'agit là des deux zones de présence du dispositif respectivement pour la balise bleue et la balise rouge (considérées chacune seule),
- une zone verte est alors obtenue par intersection des zones bleue et orange foncées : il s'agit ici du résultat du positionnement symbolique.

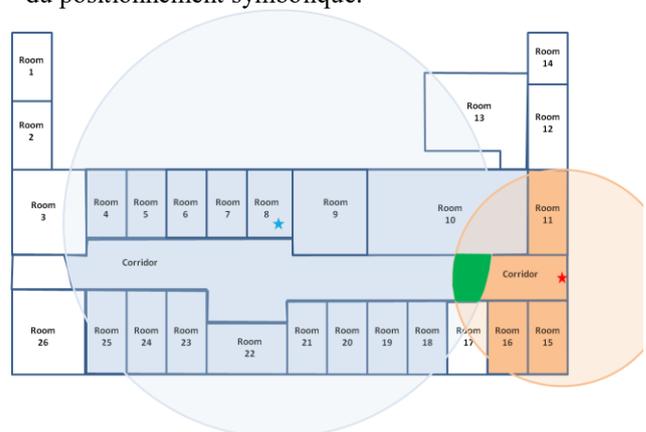


Figure 2. Description schématique du positionnement symbolique

Le principe permet plusieurs avancées significatives par rapport aux approches classiques, et en particulier :

- ✓ une grande fiabilité de la zone résultante due aux marges prises (pire cas considéré),
- ✓ une réelle robustesse en situation réelle (présence d'obstacles, panne d'une balise, différents modèles de tags, etc.) qui engendrent alors une modification de la taille et de la forme de la zone résultante (en général en l'agrandissant par rapport à l'optimum). Cela peut être vu comme un inconvénient mais est cependant une traduction fidèle des phénomènes physiques se produisant et conduisant mécaniquement à une plus grande incertitude sur la position,
- ✓ un fonctionnement ne réclamant pas obligatoirement une pluralité de balises,
- ✓ une mise à l'échelle extrêmement simple,
- ✓ une capacité d'ajustement aux besoins de l'utilisateur par un déploiement adaptatif en fonction des performances souhaitées, du coût ou de toute autre contrainte.

Il sera légitime de s'interroger sur les limites de notre approche. Nous nous sommes placés dans un cas favorable où les deux zones, bleu foncé et orange foncé, sont optimales. Dans de nombreux cas, la mesure de la puissance issue du tag sera bruitée, voire très bruitée, engendrant une dégradation des performances de notre algorithme symbolique. La figure 3 illustre une telle situation dans laquelle la mesure réalisée par la balise rouge est dégradée. La zone orange foncé de la figure 2 devient bleu foncé de la figure 3 : elle s'en trouve alors agrandie et l'intersection également. Le positionnement fourni par l'algorithme symbolique sera cette nouvelle zone verte, plus grande que la précédente. Ce que nous disons est qu'il s'agit là de la traduction fidèle de ce qui se passe physiquement et qu'il n'est pas possible, si l'objectif de fiabilité est important, de faire mieux sans éléments additionnels (mesures, information sur l'environnement, contraintes imposées à l'utilisateur, etc.).



Figure 3. Dégradation du positionnement

4. Quelques résultats obtenus en conditions réelles

Depuis plusieurs années, des travaux spécifiques au monde hospitalier ont été publiés [5-8]. Dans notre cas, les besoins d'un service des urgences sont de pouvoir

localiser en temps réel l'ensemble de ses brancards afin de rapatrier efficacement certains d'entre eux si nécessaire, mais aussi de permettre des analyses statistiques des temps de trajet vers et depuis le service et les divers services d'imagerie, principales destinations à partir des urgences. Ces données pourraient être utiles dans le cas d'un jumeau numérique de l'hôpital [9]. Ce second traitement a pour objectif d'estimer la probabilité d'une pénurie de brancards et de pouvoir prédire la disponibilité de ces derniers.

Deux types de comparaisons sont effectués entre les données réelles et les données enregistrées et calculées par le système :

- Afin de déterminer l'efficacité de détection des zones de présence des brancards
- Afin d'estimer la précision de la détermination de la durée d'un trajet.

Probabilité de présence dans une zone donnée

Le principe de la validation est relativement simple : à partir d'une vérité terrain pour un tag donné (identifié par son adresse MAC dans le fichier "serveur"), l'heure de lecture est relevée. L'algorithme recherche dans le fichier "serveur", pour cette adresse MAC, ce que donne la détermination de la zone et la compare avec la zone réelle enregistrée lors des expériences. Cette opération est effectuée pour 90 tests réalisés. 90% des zones ont été correctement estimées. Ce résultat n'est pas très satisfaisant car la fiabilité du système est généralement beaucoup plus élevée que cela. La raison de cette relative sous-performance résidait dans la mauvaise répartition des modules dans le bâtiment. Un travail d'optimisation des déploiements a été considéré en supprimant les quelques situations problématiques : une fiabilité de 97% est alors obtenue.

Discussion sur la précision du positionnement

Une question récurrente concerne la précision de positionnement que l'on peut obtenir avec cette méthode. Répétons ici que ce paramètre n'est évidemment pas celui qui est recherché dans l'approche symbolique et que le déploiement effectué présente une faible densité de modules au regard de la surface couverte (26 modules pour près de 7000 mètres carrés). La question mérite cependant d'être posée. Nous proposons de comparer deux méthodes de calcul de cette précision, comme suit :

- la première consiste à définir comme position le centre de l'aire symbolique déterminée puis à mesurer la distance réelle entre la position vraie et ce centre (colonne "Symb Acc" du tableau 1),
- la seconde est basée sur la détermination du module qui reçoit l'étiquette avec la puissance la plus élevée (colonne "Near Acc" dans le tableau).

Les résultats fournis dans le tableau 1 montrent d'une part que la notion de précision n'est pas bien adaptée à notre approche si l'on considère les surfaces résultantes comme des références, mais aussi qu'il est encore possible, toujours avec une approche symbolique, de fournir un indicateur de précision de quelques mètres (approche du "module le plus proche").

Points	Heure	Symb Acc (m)	Near Acc (m)
B	10:25:45	16,0	3,5
D	10:27:08	4,5	3,0
F	10:28:34	1,0	6,0
H	10:30:11	12,5	4,0
J	10:30:39	12,5	3,0
L	10:31:54	1,0	4,0
N	10:32:56	4,5	2,5
P	10:34:08	7,5	6,0
<i>Précision moyenne</i>		7,4	4,0
<i>Ecart type</i>		5,7	1,3

Tableau 1. Précision de positionnement.

Précision de l'estimation du temps de parcours

Il est possible d'estimer la précision du temps de trajet à partir des mêmes données. Il s'agit alors de comparer le temps réellement mis pour aller du service des urgences à l'un des services d'imagerie avec le temps système entre le départ du service et l'arrivée au service d'imagerie. La procédure suivante est appliquée :

- Le départ est défini comme le moment où le système détecte la sortie de la zone initiale. Dans certains cas, comme ce point n'est en fait pas toujours dans une zone bien définie, une erreur apparaît au début de l'estimation
- L'arrivée, plus facile à définir, correspond à la première détection de la zone de destination.

Ces analyses ont été effectuées pour l'ensemble des 90 itinéraires et le tableau 2 présente la synthèse des résultats, qui montre une précision de l'ordre d'une quinzaine de secondes sur des trajets d'une durée typique de deux à trois minutes. On remarque que la durée moyenne du trajet retour est légèrement inférieure à celle du trajet aller. De plus, on peut observer qu'il y a une réelle différence d'amplitude entre le temps de trajet aller le plus rapide et le temps de trajet retour le plus lent, et qu'il en va de même pour le trajet aller-retour.

Trajet	<i>Aller (min)</i>		<i>Retour (min)</i>	
	Min	00:01:50	Min	00:02:06
Réel	Max	00:03:23	Max	00:02:42
	Moyen	00:02:42	Moyen	00:02:26
	Min	00:01:40	Min	00:01:50
Mesuré	Max	00:03:00	Max	00:03:00
	Moyen	00:02:29	Moyen	00:02:22
	Δ (s)	15		13

Tableau 2. Précision du temps de trajet.

Commentaires sur les déploiements

Les tags utilisés (5x5x1,8 cm³, 2 batteries ER14250, autonomie 18 mois) ont tous été configurés de façon identique (puissance, récurrence) et accrochés aux brancards à l'aide de colliers en plastique. La répartition géographique des récepteurs n'a pas fait l'objet d'une attention particulière (répartition à peu près uniforme dans les services). Les récepteurs (de dimension 8,6x4,8x3,2 cm³) sont visibles à la figure 1 et sont enfichables dans des prises électriques classiques.

5. Conclusion

Ces résultats montrent qu'il est possible à la fois d'avoir une valeur moyenne des déplacements avec une précision d'une dizaine de secondes, mais aussi une capacité à suivre en temps réel la disparité des mouvements des brancards. C'est la combinaison de ces deux aspects du problème qui nous amène à qualifier le système de "fiable". Il existe donc un moyen autre que la recherche absolue de la précision du positionnement (qui reste bien sûr une solution pertinente) pour obtenir des données géolocalisées utiles.

Références

- [1] P.S. Farahsari, et al., «A Survey on Indoor Positioning Systems for IoT-Based Applications», *IEEE Internet Things J.* **2022**, 9, 7680–7699.
- [2] C. Liu, et al., «Research and Analysis of Indoor Positioning Technology», in *Proceedings of the 2021 4th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE), Changsha, China, 26–28 March 2021*.
- [3] Y. Lukito, et al., «Recurrent neural networks model for WiFi-based indoor positioning system», in *Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS), Yogyakarta, Indonesia, 8–10 November 2017*.
- [4] M.T. Hoang, et al., «Recurrent Neural Networks for Accurate RSSI Indoor Localization», *IEEE Internet Things J.* **2019**, 6, 10639–10651.
- [5] G. Shipkovenski, et al., «A Beacon-Based Indoor Positioning System for Location Tracking of Patients in a Hospital», in *Proceedings of the 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), Ankara, Turkey, 26–28 June 2020*.
- [6] G. Jiangtao, et al., «A Mental Patient Positioning Management System in Hospital Based on ZigBee», in *Proceedings of the 2017 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), Huaian, China, 15–16 October 2017*.
- [7] G.G. Anagnostopoulos, et al., «Navigational needs and requirements of hospital staff: Geneva University hospitals case study», in *Proceedings of the 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sapporo, Japan, 18–21 September 2017*.
- [8] S. Ravali, et al., «Design and Implementation of Smart Hospital using IoT», in *Proceedings of the 2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, India, 8–10 April 2021*.
- [9] A. Karakra, et al., «HospiT'Win: A Predictive Simulation-Based Digital Twin for Patients Pathways in Hospital», in *Proceedings of the 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI), Chicago, IL, USA, 19–22 May 2019*.