

Un Modèle de Propagation Quasi 3D Déterministe et Rapide pour une Configuration Micro-Cellule; Application: Réseaux de Capteurs

T. Alwajeeh¹, P. Combeau¹, R. Vauzelle¹, A. Bounceur²

¹Institut de recherche XLIM, UMR CNRS 7252, Bvd Marie et Pierre Curie BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil.

²Lab-STICC, UMR CNRS 6285 20, Avenue Victor Le Gorgeu 29238, Brest

taha.al.wajeeh@univ-poitiers.fr

Résumé — Ce papier propose un modèle de propagation déterministe quasi 3D et rapide pour une configuration micro-cellule, appliqué aux réseaux de capteurs pour les villes intelligentes dont les noeuds se trouvent en-dessous du niveau moyen des toits. Ce modèle rapide repose, d'un côté, sur une structure accélératrice calculée dans un plan 2D horizontal et intègre, d'un autre côté, d'autres optimisations reposant notamment sur l'exploitation de la portée des noeuds et d'un ensemble d'arbres de visibilité pré-calculés. Les résultats de la simulation du modèle reposant sur l'arbre de visibilité seul ont été validés par comparaison avec des mesures. Ensuite, les stratégies d'accélération ont été intégrées dans ce modèle. L'ensemble de ces approches permet de réduire considérablement les temps de calcul sans perte significative de la précision.

1. Introduction

Les smart cities, ou villes intelligentes, sont des villes connectées qui utilisent les technologies des télécommunications pour améliorer la vie des habitants. Elles proposent une variété de services publics urbains dans tous les domaines; éducation, santé, sécurité, business, transports, agriculture, énergie, etc. Citons l'exemple de l'application lancée en 2013 par la ville de Nice permettant de trouver en temps réel une place de parking libre.

Les travaux de ce papier s'inscrivent dans le cadre du projet de recherche ANR-PERSEPTEUR « Plate-forme virtuelle 3D pour la Simulation des réseaux de capteurs ». PERSEPTEUR a pour objectif de construire des outils exploitant des descriptions urbaines libres, afin de permettre le déploiement, la visualisation et l'analyse des réseaux de capteurs urbains, et plus particulièrement, la faisabilité de la mise en oeuvre des réseaux de capteurs.

Dans le cadre du projet, notre contribution consiste à estimer les liaisons radios entre les noeuds communicants d'une manière réaliste et rapide. Les outils de conception doivent répondre à trois contraintes : la précision, la prise en compte de l'environnement de propagation et de la mobilité des noeuds, mais aussi le temps de calcul qui doit être raisonnable.

Les modèles de propagation existants ne répondent pas parfaitement à ces contraintes. Citons deux catégories de modèles : d'une part, les modèles déterministes 3D qui sont précis mais très lents, particulièrement, quand un

grand nombre de noeuds est traité, d'autre part, les modèles empiriques, théoriques, ou statistiques qui semblent intéressants du point de vue de leurs temps de calcul mais au détriment de la précision. À cette fin, la voie de recherche dans ce papier est donc de trouver un modèle qui représente un compromis satisfaisant entre ces deux extrêmes.

Dans ce papier, nous proposons un modèle qui respecte les contraintes citées via une implémentation efficace d'un modèle déterministe reposant sur un calcul d'arbre de visibilité 2D présenté en section 2, suivi d'une technique d'accélération exploitant la portée radio théorique des noeuds présenté en section 3. Enfin, en section 4, nous proposons une autre technique d'accélération qui consiste à pré-calculer un ensemble d'arbres de visibilité afin de construire très rapidement les trajets.

2. Modèle déterministe quasi 3D

2.a. L'arbre de visibilité

L'arbre de visibilité 2D est une technique purement géométrique permettant de partitionner l'espace à partir d'une position particulière de l'émetteur et selon des critères physiques particuliers (*i.e.* réflexion, diffraction, transmission)[1]. Il est donc possible, à partir d'un récepteur donné, de déterminer l'ensemble des trajets géométriques ayant subi une combinaison d'interactions donnée dans le plan horizontal. Les trajets 2D sont ensuite transformés en 3D en ajustant la hauteur des points de réflexion/diffraction conformément au principe de Fermat. De plus, nous avons intégré le trajet réfléchi sur le sol. Toutefois, le modèle résultant ne considère pas les trajets diffractés sur les toits d'où sa qualification de quasi 3D.

Après avoir identifié les trajets géométriques, le calcul des champs électromagnétiques se fait par le biais de la théorie de l'Optique Géométrique (OG) et la Théorie Uniforme de la Diffraction (TUD).

2.b. Validation du modèle

Le modèle proposé a été comparé avec des mesures effectuées en bande étroite sur un parcours de 5 km (corresponds à 1650 points de réception équidistants) dans la ville de Paris dans une configuration micro-cellulaire. Les résultats de simulation du modèle semblent confirmer la validité du modèle *cf.* Figure 1 en indiquant une erreur

absolue moyenne d'environ 7.5 dB par à rapport aux mesures. La majeure partie de l'erreur vient du fait que le trafic et la végétation n'ont pas été considérés dans la simulation, et du fait que la scène modélisée ne comprend pas tous les détails de l'environnement de propagation.

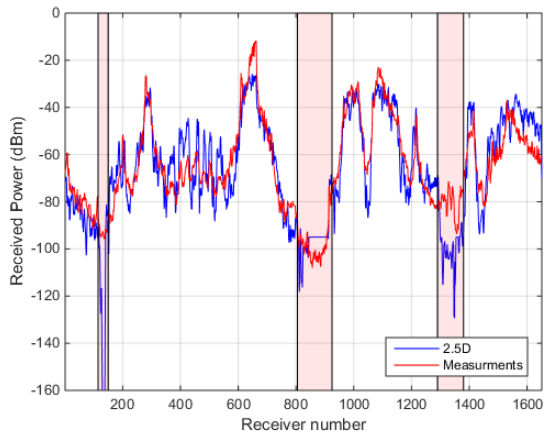


Figure 1. Comparaison simulations et mesures.

2.c. Gain en temps

Les résultats de simulation sont encourageants non seulement en terme d'erreur moyenne par à rapport aux mesures, mais aussi en terme de temps de calcul qui est beaucoup plus rapide qu'un modèle déterministe 3D comme le montre le tableau 1.

Nbr d'interactions (Réflexion, Diffraction)	Modèle proposé (1650 récepteurs)	Modèle 3D (1650 récepteurs)
1R1D	1.2 s	17h 25m
2R1D	6.2 s	incalculable
3R1D	19.8 s	incalculable
4R1D	52 s	incalculable

Tableau 1. Gain de temps

3. Exploitation des portées théoriques des noeuds

3.a. Principe

Une deuxième technique permettant de réduire encore les temps de calcul consiste à ne considérer que la portion de l'environnement qui a un impact significatif sur l'estimation du canal. À cette fin, nous exploitons le fait que la portée soit limitée à quelques centaines de mètres (pour les capteurs du standard IEEE 802.15.4). Simplement, l'idée est de prendre en compte dans le calcul les bâtiments qui se trouvent entièrement ou partiellement dans la portée radio théorique des noeuds.

3.b. Précision Vs Gain en temps

Pour évaluer l'impact de la scène limitée à la portée des noeuds sur la précision et sur le temps de calcul, nous

avons évalué l'erreur absolue moyenne en utilisant une scène limitée à une portée de 150 m, et également le gain en temps de calcul comme le montre le tableau 2.

Impact de la scène limitée		
Portée	150 m	Toute la scène
Erreur [dB]	0.1	–
Temps [s]	6.5	22

Tableau 2. Gain en temps vs précision

4. Pré-calcul de l'arbre de visibilité 2D

Une dernière stratégie pour diminuer encore les temps de calcul consiste à pré-calculer les arbres de visibilité pour les utiliser de manière très rapide et simple à la demande. Pour ce faire, nous avons stocké un ensemble d'arbres de visibilité calculés sur une grille fictive d'émetteurs sous une forme très compacte. Pour un émetteur donné, nous utilisons l'arbre de visibilité le plus proche en introduisant une erreur minime. Cette stratégie permet de réduire considérablement les temps de calcul sans une perte importante de la précision (temps de calcul de l'ordre de dizaines de millisecondes pour 4R1D par lien). Dans la version finale du papier, nous montrerons l'impact du pas de la grille d'émetteurs sur la précision.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé un modèle déterministe quasi 3D basé sur le calcul d'un arbre de visibilité 2D horizontal. Nous avons validé le modèle avec des mesures effectuées dans une configuration microcellulaire. Les résultats de simulation sont très encourageants en terme d'erreur moyenne et aussi en terme de temps de calcul. Ensuite, nous avons intégré dans ce modèle d'autres stratégies d'accélération. Dans un premier temps, en limitant la scène à la portée théorique pour réduire la complexité de l'environnement de propagation. Dans un deuxième temps, en utilisant la stratégie du pré-calcul. L'ensemble de ces approches nous a permis d'avoir un modèle assez précis et un temps de calcul très faible. Finalement, ce modèle sera intégré dans le simulateur de réseau CupCarbon développé dans le cadre du projet PERSEPTEUR[2].

6. Remerciements

Nous tenons à remercier l'agence nationale de la recherche qui finance le projet de recherche PERSEPTEUR.

Références

- [1] P. Combeau, L. Aveneau, R. Vauzelle, and Y. Pousset, "Efficient 2-d ray-tracing method for narrow and wideband channel characterisation in microcellular configurations," *IEEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 153, pp. 502–509, 2006.
- [2] "Site internet de cupcarbon," <http://www.cupcarbon.com/>.