

Prédiction de Couverture Radio pour les Réseaux locaux sans fil par une approche 2D multi-résolution.

Guillaume de la Roche, Raphaël Rebeyrotte, Katia Runser, Jean-Marie Gorce
laboratoire CITI, INSA Lyon, Villeurbanne, 69621 France

I. Introduction

Avec la démocratisation des réseaux mobiles en milieu indoor, de nombreux logiciels de simulation de propagation des ondes ont été proposés dans le but d'aider les intégrateurs à développer leurs réseaux. Des méthodes basées sur l'optique géométrique sont fréquemment utilisées comme les méthodes de Ray Tracing [VAL 93, D.L 04]. Ces méthodes se montrent bien adaptées aux réseaux outdoor car on peut se contenter d'un nombre de réflexions assez faibles pour avoir un résultat acceptable. Par contre, les milieux Indoor de par leur complexité (nombreux obstacles) imposent de calculer de nombreuses réflexions et diffractions. Notre but est donc de proposer une alternative aux méthodes de lancer de rayons, prenant mieux en compte ces phénomènes. Nous présentons brièvement la méthode et donnons quelques résultats au niveau temps, mémoire et précision des résultats, à l'aide d'un exemple de déploiement.

II. La méthode ParFlow Fréquentielle multirésolution

II.1 Méthode ParFlow

La méthode ParFlow 2D dans le domaine temporel a été utilisée la première fois pour les réseaux sans fil par B. Chopard [CHO 97]. Le principe de cette méthode est similaire aux approches TLM [JOH 87]. Le champ électrique est décomposé en 5 flux : 4 flux correspondant aux 4 directions nord, sud, est, ouest, et une composante représentant un flux interne. Dans le domaine fréquentiel la méthode parflow (FDPF) s'assimile à un problème d'inversion de matrice de très grandes dimensions. Nous avons donc proposé dans [GOR 03] d'utiliser un algorithme multi-résolution (MR-FDPF) en décomposant le problème de manière pyramidale comme représenté à la figure 1 (a). Cette approche permet d'atteindre des temps de calcul compatibles avec les objectifs de planification de réseaux sans fil.

II.2 Agrégation de blocs

Comme dans le domaine temporel, l'approche FDPF, peut être implémentée par un automate cellulaire. Chaque cellule représente un des noeuds (pixel) du maillage. Chaque noeud est connecté à ces 4 voisins, et le calcul du régime harmonique se fait par propagation le long des branches de connexion entre cellules voisines.

Dans l'approche multi-résolution, nous généralisons la cellule à la notion de macro-cellule, ou bloc. Un bloc contient N cellules élémentaires (cf. figure 1b), et la propagation dans l'environnement se calcule à partir des échanges de flux entre blocs adjacents.

Finalement la structure multi-résolution est introduite en proposant de construire chaque bloc par l'agrégation de blocs de taille inférieure, comme illustré à la figure 1.

Le calcul de la propagation repose alors sur la connaissance des matrices de diffusion associées à chaque bloc, qui peuvent se calculer de façon récursive. En effet, la matrice de diffusion associée à un bloc se calcule à partir de la connaissance des matrices de diffusion des blocs fils. Ce calcul se fait indépendamment des sources, et est intégré dans un prétraitement. Ce prétraitement requiert une inversion de matrice.

Enfin, la propagation d'une source se calcule verticalement dans la structure multi-résolution. Il s'agit de partir de la cellule source, et de calculer la propagation interne dans le bloc père. Ce bloc père constitue lui-même une nouvelle source, et ses flux sortants sont calculés. Il est alors lui-même agrégé dans son bloc père et conduit à une nouvelle source, ainsi de suite, jusqu'à ce que le haut de la pyramide soit atteint.

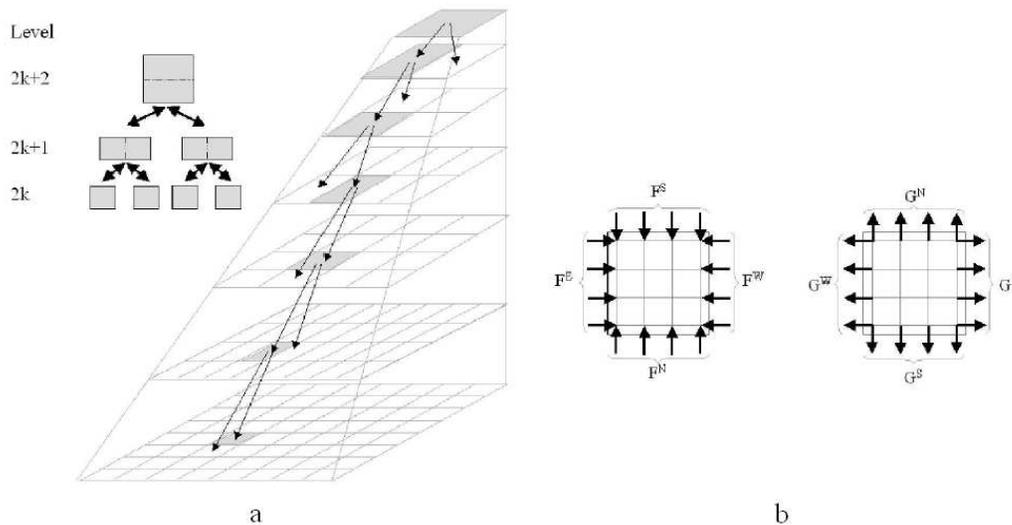


Figure 1 – (a) : décomposition pyramidale de l’environnement,(b) : les 4 flux entrants et les 4 flux sortants associés à chaque bloc

La deuxième phase du processus de propagation consiste à rétropropager tous les flux internes de ces sources empilées vers le reste de l’espace.

On a montré [GOR 03] que le temps de calcul permettant d’effectuer cette propagation est proportionnel au calcul de $\log(N)$ itérations de l’algorithme élémentaire de type automate cellulaire, N étant égal à la plus grande longueur en pixels de l’espace de propagation.

III. Implémentation de la méthode

III.1 Construction de la pyramide irrégulière

Pour construire la pyramide, on part de l’image de l’environnement discrétisée à un certain pas (en pratique de l’ordre de 10 cm). Cette image constitue le bloc initial (haut de la pyramide) qu’on découpe de manière récursive en deux blocs fils jusqu’à arriver à des blocs de la taille d’un pixel. A chaque bloc sont associés les flux entrants et les flux sortants comme représentés à la figure 1 (b).

L’étape de prétraitement qui permet de calculer les matrices de transition entre blocs pères et fils est l’étape la plus coûteuse en temps de calcul. Pour éviter de calculer plusieurs fois les mêmes matrices de passage, on a défini la notion de bloc type, qui permet d’associer à des blocs identiques dans l’environnement, les mêmes matrices de propagation. Cette approche permet de réduire fortement le temps de calcul en exploitant en particulier les zones homogènes. Par exemple, pour un espace libre, un seul bloc type est défini pour chaque taille de bloc.

La problématique consiste dès lors à trouver un découpage qui permet d’optimiser plusieurs paramètres comme le temps de calcul ou la mémoire.

III.2 Critère de découpage de l’environnement

La taille des blocs définit la taille des matrices de propagation dont dépend directement la place mémoire occupée ($O(N^2)$) et le temps de calcul ($O(N^3)$), où N est le nombre de pixels adjacents entre les 2 blocs fils du bloc traité. On distingue deux modes de découpage :

- Un découpage régulier de l’environnement. Chaque bloc est découpé selon son axe médian le long de sa plus courte dimension, ce qui mène à la construction d’une pyramide régulière. Ce découpage est optimal en nombre de blocs. Par contre, comme il ne tient pas compte des discontinuités physiques dans l’environnement, la réutilisation des bloc types est faible, car seuls les blocs de petite taille sont redondants.
- Un découpage adaptatif de l’environnement. Chaque bloc est découpé le long de sa plus grande ligne de discontinuité.

C'est à dire qu'on cherche à aligner le découpage le long des murs. Cela permet d'obtenir très rapidement des blocs homogènes (air, béton, etc...). Dans ce cas de figure, on élimine la contrainte sur la taille de l'environnement et les blocs ainsi découpés sont plus nombreux à posséder les mêmes propriétés physiques donc les mêmes matrices de passages ce qui tend à réduire la complexité des calculs. Cependant, cela conduit à la création de blocs en moyenne, de plus grandes dimensions et dont les matrices requièrent un temps de calcul supérieur.

L'approche irrégulière présente un autre avantage fondamental pour la planification de réseaux radio. En effet, elle permet de favoriser l'obtention de blocs homogènes de grande dimension. Lors du calcul de propagation, on peut envisager d'arrêter le calcul descendant à cette résolution, et d'affecter comme valeur de champ à chaque pixel de ces blocs, une estimation de puissance à partir des flux entrants associés à chaque bloc homogène. Nous verrons comment cela permet de réduire considérablement le temps de calcul associé au test d'une position potentielle d'un point d'accès.

Nous avons défini une approche qui permet de faire un compromis entre un découpage au centre des blocs et un découpage le long des discontinuités. Dans cette approche, nous découpons chaque bloc en 2 sous blocs dans la plus grande dimension. Le long de cette dimension, on calcule pour chaque ligne de séparation possible i , un coefficient de discontinuité $D(i)$ égal au nombre de discontinuités le long de cette ligne. On pondère alors ce coefficient par un critère qui dépend de la distance entre cette ligne et le centre du bloc. Ce critère est défini par :

$$C(i) = 1 - \left| \frac{i - \text{centre}}{\text{centre}} \right|^{power} \quad (1)$$

avec centre l'indice du centre du bloc, i l'indice auquel on se place et $power = K * |(\max(0, \min(1, \ln_2(\text{centre}) - L)))|$.

On choisit alors de découper le bloc le long de la ligne i , pour laquelle le produit $D(i) \cdot C(i)$ est maximal. Ce critère permet de couper les petits blocs en leur centre, alors que les grands blocs seront coupés le long des discontinuités les plus fortes.

IV. Résultats

IV.1 Conditions expérimentales

La méthode de calcul a été implémentée dans un logiciel développé en Java par souci de portabilité. Mais pour le calcul intensif en algèbre matriciel, Java ne se révèle pas performant car n'étant pas optimisé, il n'exploite pas au maximum les ressources matérielles. C'est pourquoi on a recours à l'utilisation de BLAS (Basic Linear Algebra Subprogram) pour les opérations de multiplications matricielles. On compile ainsi une librairie BLAS spécialement optimisée pour le processeur sur lequel on souhaite exécuter le simulateur. Ainsi, on a la garantie d'exploiter au maximum les ressources matérielles de la machine pour offrir un temps de calcul le plus court possible. Pour le stockage des matrices nous avons utilisé la bibliothèque Colt développée par le CERN à Genève. Nous travaillons sur un pentium IV 1.2 GHz et 1 Go de RAM.

La figure 2 représente la zone de couverture d'une source dans un bâtiment pour deux résolutions différentes avec un pas de discrétisation de l'environnement de 5 cm. (échelle de couleur variant de -40 dBm (rouge) à -80 dBm (bleu)). Les blocs homogènes sont définis comme les plus gros blocs ne contenant que de l'air. On arrive bien à observer sur la zone de couverture la plus fine (c) les phénomènes de diffraction. En revanche lors de la planification des points d'accès la précision obtenue au niveau des blocs homogènes (b) est suffisante.

IV.2 Performances en temps et mémoire

Nous avons calculé les temps de traitement et la mémoire nécessaires au calcul de la couverture de cet environnement pour différents pas de discrétisation (Tableau 1).

Tableau 1 – temps et mémoire nécessaires à la simulation

pas	temps preprocess	mémoire utilisée	temps propag homogène	temps propag maxi
5 cm	23.5 s	79.0 Mo	1.10 s	15.40 s
10 cm	4.29 s	19.6 Mo	0.56 s	3.59 s
20 cm	1.31 s	5.2 Mo	0.28 s	0.90 s

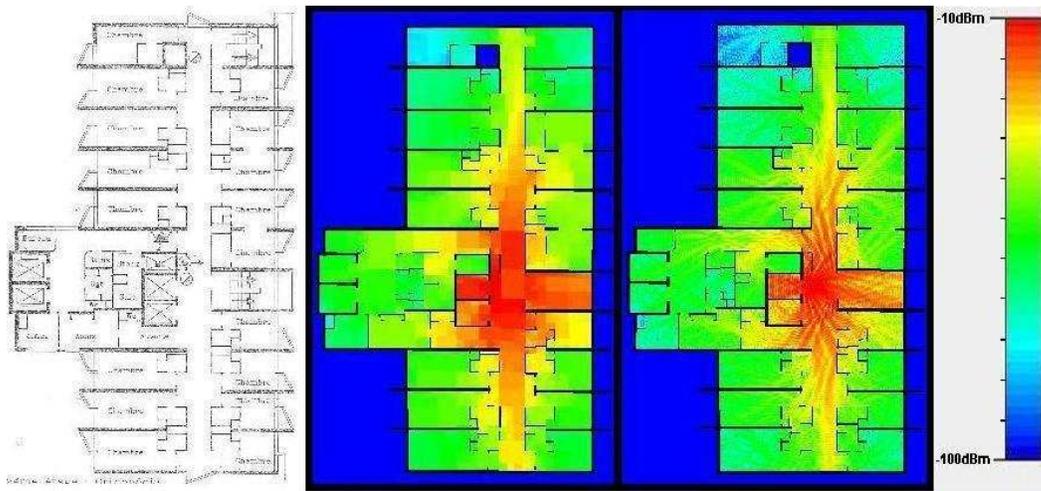


Figure 2 – Plan du bâtiment de test choisi, et zones de couvertures calculées, au centre : à la résolution des blocs homogènes, à droite : à la résolution maximale

Il est intéressant de noter que la phase de calcul la plus lourde (calcul de la pyramide et des matrices de passage) n'a besoin d'être exécutée qu'une seule fois car elle ne dépend que des caractéristiques de l'environnement et non de la source à propager.

On observe bien l'intérêt des blocs homogènes, permettant de mettre en oeuvre une planification de réseaux sans fil avec un temps de calcul d'une source inférieur à la seconde.

IV.3 Précision des résultats

Pour évaluer la précision de notre logiciel de simulation nous avons réalisé des mesures réelles sur site. Après calibration du logiciel, les mesures nous donnent une erreur quadratique moyenne entre les valeurs prédites et les valeurs mesurée inférieure à 5dB[RUN 05], ce qui est tout à fait acceptable compte tenu de la sensibilité des différents récepteurs.

V. Conclusion

La méthode que nous présentons ici est particulièrement adaptée au calcul de la propagation des ondes en milieu indoor. Elle est efficace pour simuler les phénomènes physiques, et elle permet de pouvoir travailler à plusieurs résolutions. Malgré un modèle de propagation en 2 dimensions, les prédictions sont satisfaisantes en précision et avec un temps de calcul tout à fait raisonnable. Un de nos objectifs futurs concerne l'extension de cette méthode au 3D.

Références

- [CHO 97] CHOPARD B., LUTHI P.WAGEN J., A lattice boltzmann method for wave propagation in urban microcells, *IEEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*, 144, 251–255, 1997.
- [D.L 04] D.LUD.RUTLEDGE, Indoor wireless Channel Modelling from 2.4 to 24Ghz using a combined E/H-Plane 2D Ray Tracing method, *International Symposium on Antennas and Propagation*, Canada, 2004.
- [GOR 03] GORCE J., JULLO E.RUNSER K., An adaptative multi-resolution algorithm for 2D simulations of indoor propagation, *Proceedings of the 12th International Conference on Antennas and Propagation*, Exeter, UK, IEE, 216–219, April 2003.
- [JOH 87] JOHNS P., A symmetrical condensed node for the TLM method, *IEEE trans. on Microwave theory Techniques*, 35, 370-377, 1987.
- [RUN 05] RUNSER K., DE LA ROCHE G.GORCE J.-M., Assessment of a new indoor propagation prediction model based on a multi-resolution algorithm, *VTC'spring*, Suède, Mai 2005.
- [VAL 93] VALENZUELA R., Ray Tracing approach to predicting indoor wireless transmission., *Proceedings of the 43rd IEEE Vehicular Technology Conference*, 214–218, May 1993.