Nouvelle technique d'identification des caractéristiques spatio-temporelles d un canal de propagation

Patrice Pajusco, Nadine Malhouroux-Gaffet, Ali Bazzi, Ghaïs El Zein

▶ **To cite this version:**

Patrice Pajusco, Nadine Malhouroux-Gaffet, Ali Bazzi, Ghaïs El Zein. Nouvelle technique d'identification des caractéristiques spatio-temporelles d un canal de propagation. JNM 2011 : Journées nationales micro-ondes, May 2011, Brest, France. hal-00623237

HAL Id: hal-00623237
https://hal.science/hal-00623237

Submitted on 1 Aug 2018

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.

Nouvelle technique d'identification des caractéristiques spatio-temporelles d'un canal de propagation

P. Pajusco[1], N. Malhouroux[2], A. Bazzi[1], G. El Zeïn[3]

[1]*Télécom Bretagne, Lab-STICC, UMR CNRS 3192, CS 83818, 29238 Brest*
[2]*France Télécom Orange Labs, 6 avenue des usines, 90000 Belfort*
[3]*IETR-UMR CNRS 6164, INSA, 35708 Rennes Cedex 7*
patrice.pajusco@telecom-bretagne.eu

Résumé

L'émergence de la technologie MIMO requiert des modélisations de canal de transmission de plus en plus avancées. L'approche la plus aboutie représente le canal par un ensemble de trajets respectant les propriétés spatio-temporelles. Toutefois, la véritable difficulté réside dans la complexité des algorithmes d'estimation des paramètres. Nous introduisons dans cet article une méthode à la fois simple et rapide pour estimer conjointement à l'émetteur et au récepteur les composantes déterministes du canal de propagation. L'algorithme est évalué par des simulations et appliqué à des données expérimentales. L'apport de la prise en compte de la composante diffuse est mis en évidence.

1. Introduction

La technologie multiple-input multiple-output (MIMO) a introduit une véritable rupture en termes d'efficacité spectrale. La plupart des standards de télécommunication (UMTS, WIMAX, 802.11n, LTE…) supportent l'utilisation de plusieurs antennes de part et d'autre de la liaison. Afin d'optimiser la géométrie des réseaux d'antennes qui possèdent un nombre de capteurs de plus en plus important, il convient de disposer de modèles de canaux aussi réalistes que possible.

Les modèles les plus évolués s'appuient sur une approche doublement directionnelle [1]. Le canal est représenté par un ensemble de trajets ayant chacun des caractéristiques propres : matrice d'atténuation, directions de départ et d'arrivée, temps de propagation et dans certains cas, réponse en fréquence ou spectre Doppler. Pour ajuster ces modèles, des algorithmes d'estimations de paramètres doivent être appliqués sur les données expérimentales.

Cet article propose une technique d'extraction dont l'originalité repose sur l'estimation conjointe en 3D des directions d'arrivée (DOA) et des directions de départ (DOD) à partir des rayonnements propres de la matrice MIMO. Il débute par un rappel des principales méthodes d'identification. La méthode proprement dite est ensuite présentée au paragraphe 3. Ses performances sont évaluées sur un modèle théorique puis sur des mesures respectivement aux paragraphes 4 et 5.

2. Les techniques d'identification

De nombreuses méthodes ont été explorées pour identifier les caractéristiques spatio-temporelles du canal de propagation. La plus ancienne consiste à exploiter le domaine temporel ou spatial par des transformées linéaires (Transformée de Fourier, formation de faisceau…). Ces techniques classiques sont très stables mais présentent des résolutions temporelle et angulaire limitées. Pour obtenir de meilleures résolutions, des techniques dites à haute résolution ont été proposées.

L'amélioration de la précision est obtenue par l'hypothèse a priori d'une représentation paramétrique du canal, généralement une somme finie d'ondes planes. Toutefois, le canal réel présente également un caractère diffus. Au delà de la résolution souvent relative en environnement réel, le principal objectif de ces méthodes est une représentation équivalente du canal sous forme discrète, compacte et parfaitement compatible avec les modélisations de canaux.

Parmi les techniques les plus connues, on peut citer MUSIC, ESPRIT, CLEAN et SAGE. La technique MUSIC [2] s'appuie sur une décomposition en sous-espaces. La solution est obtenue en minimisant une fonction, opération très coûteuse dès que le nombre de dimensions excède 2. Lorsque le réseau présente une invariance par translation, la méthode ESPRIT [3] est très attractive et fournit une solution sans minimisation de fonction. Par contre au delà de 2 dimensions, l'association des différents paramètres à un trajet pose des problèmes. La méthode CLEAN [4], initialement utilisée en astronomie, est très utilisée en contexte ultra large bande (ULB). De manière itérative, elle consiste à identifier par corrélation les caractéristiques des trajets et à retrancher leur contribution aux données initiales. Nous terminerons ce panorama très succinct par la méthode SAGE [5] qui appartient aux algorithmes à maximum de vraisemblance. Son principe consiste à ré-estimer à chaque itération les caractéristiques d'un trajet, les autres caractéristiques étant supposées exactes. A chaque itération, la solution est améliorée. En revanche, cette technique est longue et requiert une bonne solution initiale.

3. La méthode CLEAN SVD

3.a. Contexte

Afin de caractériser toutes les dimensions du canal indoor ULB, un sondeur de canal MIMO ULB a été développé [6]. Il utilise de part et d'autre de la liaison un réseau circulaire constitué de 180 éléments. Ce réseau permet une agilité de polarisation et de dépointage. L'équipement doit permettre d'identifier pour chaque trajet le temps de retard, les directions de départ et d'arrivée en 3D et la matrice d'atténuation 2×2 dans les deux polarisations. Face à tant de dimensions, aucune des méthodes précédentes n'est applicable directement. Soit la géométrie du réseau ne remplit pas les conditions d'invariance soit la complexité de calcul est trop importante. En général, la difficulté est contournée en remplaçant l'analyse MIMO par deux analyses successives MISO puis SIMO.

3.b. Principe

Nous proposons une solution beaucoup plus efficace qui exploite véritablement les données MIMO tout en réduisant la complexité d'estimation. L'approche proposée reprend le principe de la méthode CLEAN en accélérant de manière significative l'étape de recherche des trajets. En s'appuyant sur les relations entre les espaces propres engendrés par les valeurs singulières et les trajets physiques, il est possible d'obtenir rapidement une estimation de la direction du trajet dominant [7].

L'algorithme correspondant est détaillé à la figure 1. Les données initiales sont constituées par la réponse impulsionnelle MIMO. La première étape consiste à estimer le profil de puissance moyen et identifier le temps de retard concentrant le plus d'énergie. La seconde étape estime la direction de départ et d'arrivée au niveau de ce temps de retard en utilisant la direction principale des rayonnements propres de la première valeur singulière du canal. L'estimation précise des directions est obtenue par une optimisation au voisinage de la solution initiale. Les simulations ont montré que la simple recherche de l'amplitude maximale par formation de voie n'était pas suffisante pour identifier la direction d'un trajet avec précision. La minimisation de l'erreur entre la matrice MIMO initiale et estimée conduit à de bien meilleurs résultats. Les caractéristiques en gain du trajet, nécessaire à cette reconstruction, sont obtenues par la technique des moindres carrés.

En orientant les diagrammes synthétiques des réseaux de capteurs dans la direction du trajet, 4 canaux SISO correspondant aux 4 combinaisons de polarisation sont obtenus. Ce filtrage spatial diminue la complexité et isole le trajet. La recherche du maximum sur les profils interpolés permet d'estimer le temps de retard avec précision ainsi que la matrice gain du trajet. A ce stade, toutes les caractéristiques du trajet sont connues. Si l'amplitude du trajet identifié est suffisante, sa contribution est vectoriellement retranchée des données initiales. Dans le cas contraire, la contribution est considérée comme une composante diffuse ou du bruit. Le temps de retard correspondant ne sera plus exploré. Dans le cas contraire, l'algorithme continuerait d'extraire des rayons portant très peu d'énergie au voisinage d'un même temps de retard en négligeant d'explorer d'autres zones de la réponse impulsionnelle. A même nombre de rayons recherchés, cette solution extrait une quantité plus importante d'énergie.

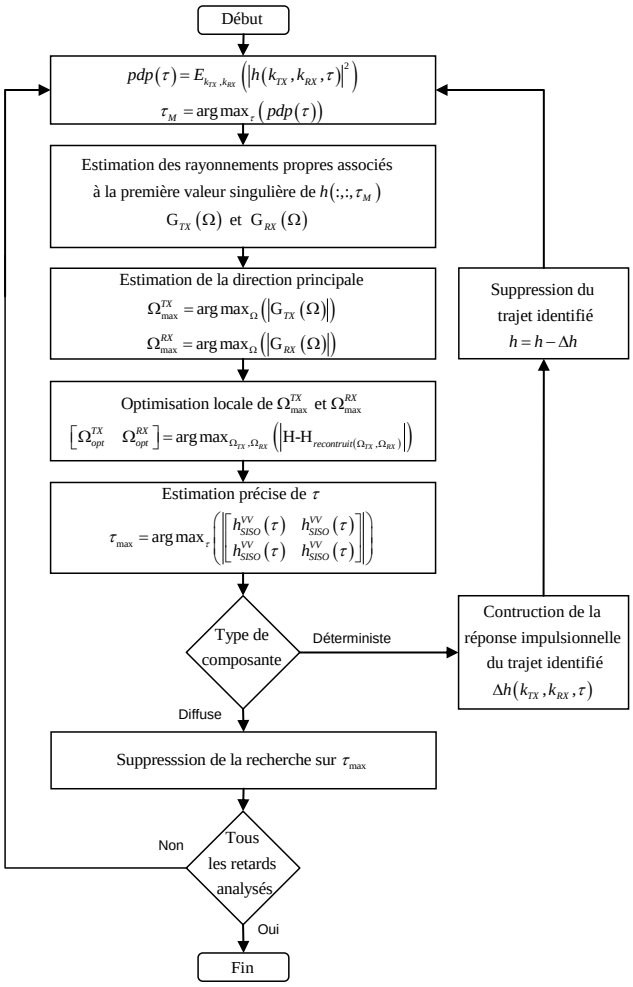

Figure 1. Description de l'algorithme d'estimation

4. Evaluation de l'algorithme

4.a. Configuration de la simulation

L'efficacité de l'algorithme a été évaluée au moyen de différentes simulations. La configuration antennaire MIMO 180×180 est celle du sondeur ULB introduit dans [6]. Une fréquence porteuse de 7 GHz, correspondant au centre de la bande analysée, a été retenue. La bande passante a été fixée à 500 MHz pour satisfaire l'hypothèse selon laquelle le front d'onde est reçu simultanément sur l'ensemble des capteurs. Enfin, l'approche doublement directionnelle [1] a été adoptée pour simuler le canal de transmission. Une première série de simulations non bruitées comportant un unique trajet avec des caractéristiques aléatoires a permis de vérifier le principe de l'algorithme. Quelles que soient les caractéristiques du trajet, ces dernières sont bien estimées et une parfaite reconstruction du canal est obtenue. On peut observer quelques différences au niveau du gain dont l'origine repose sur la précision angulaire d'exploration qui est limitée à un degré.

4.b. Identification multi-trajets

Un canal réel est composé de nombreux trajets de propagation et de bruit. Pour se placer dans une configuration à la fois simple et réaliste, un canal bruité composé de 20 trajets a été considéré. Comme précédemment, l'ensemble des caractéristiques des trajets est choisi aléatoirement. Pour respecter une densité réaliste de trajets dans le domaine temporel, les temps de retard ont été uniformément distribués dans un intervalle de 10 ns. Le rapport signal à bruit (SNR) a été fixé à 10 dB, soit une condition plus défavorable que celles rencontrées en expérimentation. Les 20 premiers trajets identifiés par la méthode CLEAN-SVD représentent 90 % de l'énergie totale. Les 10% restant correspondant au niveau de bruit, ceci indique que la totalité de la composante déterministe a bien été identifiée.

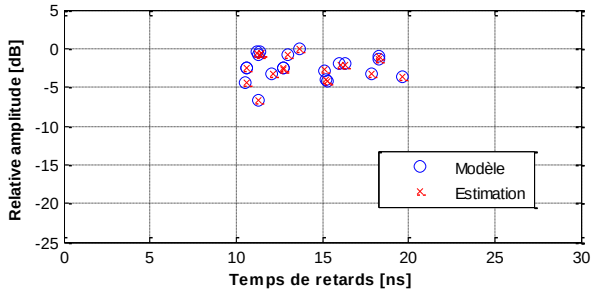

Figure 2. Canal à 20 trajets (domaine temporel)

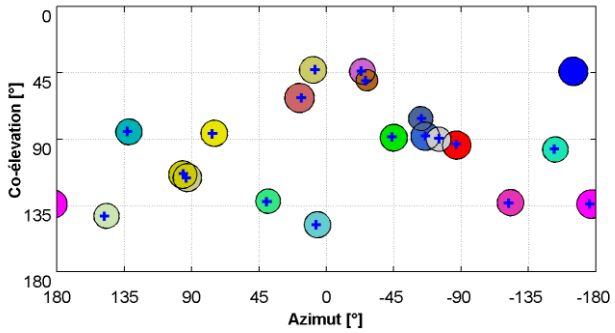

Figure 3. Canal à 20 trajets (domaine angulaire TX)

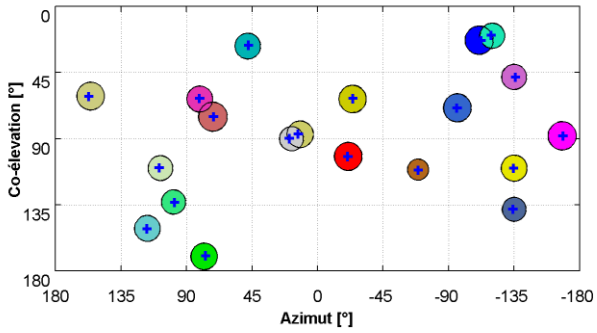

Figure 4. Canal à 20 trajets (domaine angulaire RX)

Comme pour la configuration à un trajet, l'estimation n'est pas parfaite mais les caractéristiques sont très proches. Rappelons que contrairement à des méthodes de type SAGE, il n'y a ici aucune phase d'optimisation a posteriori. Afin de mieux apprécier globalement cette estimation, la figure 2 compare les données initiales et les données estimées dans le domaine temporel. Les caractéristiques temps de retard et amplitude ont bien été identifiées pour l'ensemble des trajets. La figure 3 et la figure 4 établissent la comparaison dans le domaine angulaire. Les croix et les disques représentent respectivement la position des trajets simulés et des trajets estimés par l'algorithme. Le rayon des cercles est proportionnel à la puissance et la couleur permet d'associer les directions de départ et d'arrivée. Cet exemple montre clairement que les directions de chaque trajet ont bien été identifiées. Les directions des trajets du canal initial sont représentées par des croix et celles identifiées par la méthode par des disques de couleurs dont la taille est proportionnelle à l'amplitude du trajet. Cette figure fait également apparaître la bonne identification des directions des différents trajets.

5. Evaluation sur des mesures réelles

5.a. Analyse de la composante déterministe

Afin d'évaluer la pertinence de l'algorithme en environnement réel, une expérimentation a été réalisée dans une salle de réunion de dimensions 6,5×10 m. L'émetteur et le récepteur sont placés face à face sur la table à une distance de 4,75 mètres. Les conditions de transmission en visibilité sont très favorables et assurent un rapport signal à bruit (SNR) évalué à plus de 25 dB.

L'algorithme décrit précédemment a été appliqué sur des mesures. Seules les analyses effectuées à 7 GHz sont reportées. Chaque itération de l'algorithme correspond à l'identification d'un nouveau trajet potentiel. Le temps d'une itération est d'environ une seconde. Au total, 117 trajets ont été identifiés. Les répartitions des directions de départ et d'arrivée sont reportées respectivement sur la figure 5 et la figure 6. Comme précédemment, les couleurs des disques permettent d'associer direction de départ et d'arrivée. La plupart des trajets sont situés au voisinage du plan horizontal. Les principaux rayons identifiés correspondent aux réflexions d'ordre 1.

5.b. Influence de la composante diffuse

Le profil de puissance de la mesure et du modèle ainsi que les trajets estimés sont représentés sur la figure 7. L'ensemble des trajets identifiés ne permet pas de reconstruire parfaitement la réponse impulsionnelle car il existe une composante diffuse liée aux caractères aléatoires du canal réel. La composante déterministe représente ici 60% de la puissance totale initiale. Dans une configuration ULB similaire [8], l'extraction de 100 trajets par la méthode SAGE avait permis de représenter 73,4% de la puissance totale. Afin d'estimer l'influence de cette composante diffuse, des calculs de capacité MIMO ont été réalisés à partir du canal reconstruit. Deux configurations MIMO sont considérées :

- l'ensemble des sous-réseaux MIMO 4×4 constitué de capteurs consécutifs (~ 30000 combinaisons). Cette configuration est représentative des systèmes actuels.
- Le réseau MIMO 180×180 incluant l'ensemble des antennes. Cette configuration est représentative d'un système exploitant de nombreux degrés de liberté du canal.

Les résultats sont reportés sur la figure 8. Dans les deux cas, la capacité MIMO du modèle est sous-estimée. En configuration 4×4 pour un SNR de 30 dB, la sous-estimation est de 10%. Par contre en configuration 180×180, celle-ci atteint plus de 43% d'erreur. Cette sous-estimation est liée à l'absence de la composante diffuse qu'il convient d'introduire, notamment quand le nombre de capteurs augmente.

Des travaux de modélisation similaires avaient été réalisés en large bande à 2 GHz dans [9]. Dans le cas présent, la configuration est ULB avec un nombre de capteurs plus important. Pour prendre en compte la composante diffuse, des trajets ont été ajoutés. Ces derniers présentent des directions aléatoires et des amplitudes respectant le profil temporel du résidu. Le résultat est reporté sur la figure 8. On note une meilleure estimation de la capacité en utilisant le modèle avec la composante diffuse. L'écart est dans les deux cas inférieur à 10%.

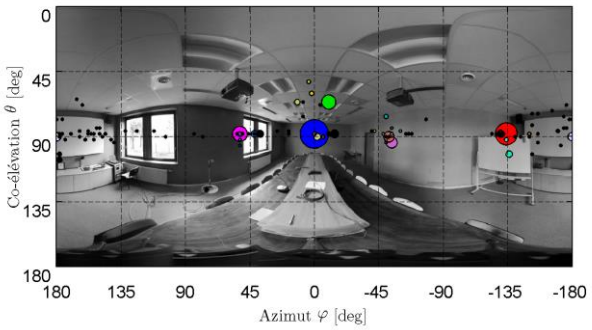

Figure 5. Répartition des directions d'arrivée

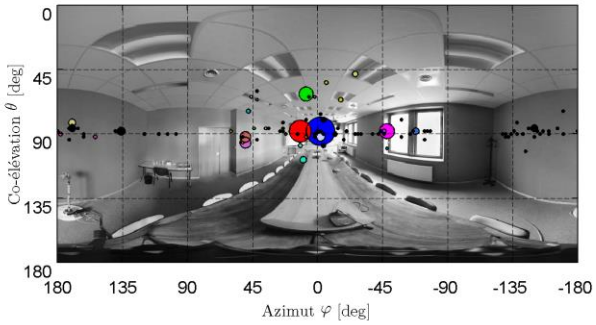

Figure 6. Répartition des directions de départ

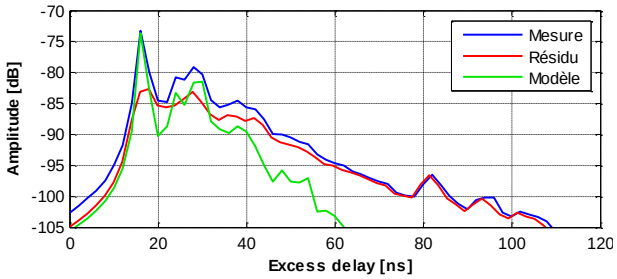

Figure 7. Comparaison des profils de puissance

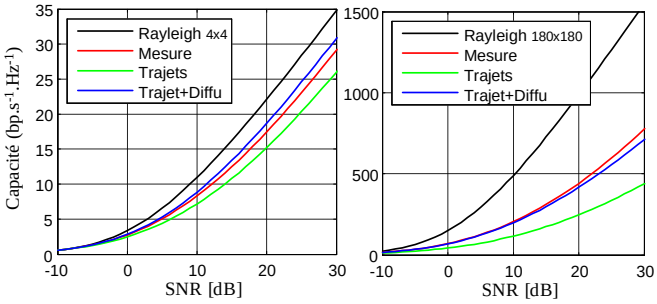

Figure 8. Comparaison des capacités des canaux

6. Conclusion

Une nouvelle méthode pour l'extraction conjointe et multidimensionnelle des caractéristiques du canal de propagation a été proposée. Elle a été validée par des simulations et appliquée sur des mesures MIMO ULB. L'importance de la composante diffuse a été montrée et modélisée.

Cette méthode va être prochainement appliquée à des campagnes de mesures afin de mener une caractérisation 3D approfondie du canal de propagation MIMO ULB. La dépendance fréquentielle des caractéristiques spatio-temporelle pourra ainsi être approfondie.

7. Bibliographie

[1] M. Steinbauer, A. F. Molisch, and E. Bonek, "The double-directional radio channel," *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 43, pp. 51, 2001.

[2] R. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 34, pp. 276, 1986.

[3] R. Roy and T. Kailath, "ESPRIT-estimation of signal parameters via rotational invariance techniques," *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 37, pp. 984, 1989.

[4] J. M. Cramer, R. A. Scholtz, and M. Z. Win, "On the analysis of UWB communication channels," presented at Military Communications Conference Proceedings, 1999. MILCOM 1999. IEEE, 1999.

[5] B. H. Fleury, M. Tschudin, R. Heddergott, D. Dahlhaus, and K. Ingeman Pedersen, "Channel parameter estimation in mobile radio environments using the SAGE algorithm," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 17, pp. 434, 1999.

[6] P. Pajusco, N. Malhouroux, and Y. Chartois, "Technique de caractérisation UWB doublement directionnelle," presented at JNM 2009, Grenoble, 2009.

[7] P. Pajusco and N. Malhouroux, "Relationship between physical and subspace propagation channels, Simulation and experimental study," presented at Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Istanbul, Turkey, 2010.

[8] K. Haneda, J. Takada, and T. Kobayashi, "Double Directional UltraWideband Channel Characterization in a Line-of-Sight Home Environment," *IEICE Trans. Fundamentals*, pp. 2264-2271, 2005.

[9] N. Czink, A. Richter, E. Bonek, J.-P. A. N. J.-P. Nuutinen, and J. A. Y. J. Ylitalo, "Including Diffuse Multipath Parameters in MIMO Channel Models," presented at Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th, 2007.