



L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

Titre: Solution ASF pour un simulateur matériel du canal de propagation MIMO hétérogène

Title: ASF solution for a hardware simulator of MIMO heterogeneous propagation channel

Bachir Habib, Gheorghe Zaharia, Ghàis El Zein

IETR-INSA Rennes, France, bachir.habib@insa-rennes.fr

Mots-clefs: Simulateur matériel; canal MIMO; FPGA; Facteur Automatique d'Echelle (ASF)
Hardware simulator; MIMO channel; FPGA; Automatic Scale Factor (ASF).

Résumé

Un simulateur matériel permet de reproduire un canal radio souhaité et de tester au laboratoire divers systèmes de radiocommunications. Le changement des environnements est nécessaire pour simuler le canal de propagation hétérogène d'une manière continue. Cet article présente un simulateur matériel pour un scénario qui consiste à suivre une personne qui utilise le WLAN 802.11ac et se déplace d'abord d'un environnement bureautique vers un environnement indoor moyen, puis indoor large. Les réponses impulsionnelles du canal peuvent être obtenues à l'aide d'un sondeur de canal MIMO. Cependant, dans cet article, nous utilisons les modèles de canal TGn standardisés. L'architecture proposée est mise en œuvre sur un FPGA Virtex-IV. La précision, le taux d'occupation sur le FPGA et la latence de cette architecture sont analysées. Une solution d'amélioration de la précision basée sur un facteur d'échelle automatique (Auto-Scale Factor : ASF) est également présentée.

Introduction

L'architecture du bloc numérique du simulateur matériel est réalisée sur un FPGA Virtex-IV [1] qui a une grande flexibilité dans l'implémentation d'algorithmes. Les modèles de canaux utilisés par le simulateur peuvent être des modèles standards, comme le TGn [2], ou des mesures obtenues à l'aide d'un sondeur MIMO conçu à l'IETR [3]. En général, les canaux de propagation radio sont simulés en utilisant un filtre à Réponse Impulsionnelle Finie (FIR) ou par la Transformée de Fourier Rapide (FFT) [4-5]. Dans [6], nous avons montré que l'architecture temporelle est la meilleure en termes d'occupation sur FPGA, de précision des signaux de sortie et de latence. C'est elle qui sera considérée dans cet article. Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet CEDRE. Les principales contributions de cet article sont les suivantes :

- Des tests ont été réalisés à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments [6] pour des environnements fixes. Dans cet article, les tests sont faits pour une succession d'environnements « indoor ».
- Un Facteur Automatique d'Echelle (ASF) est introduit dans l'architecture du simulateur. Une étude approfondie montre que ce facteur augmente le Rapport Signal à Bruit (SNR) lorsque les signaux d'entrée du simulateur du canal MIMO (x) ou ses réponses impulsionnelles (h) sont atténués.

Le reste de ce papier est organisé comme suit. La section 1 présente les caractéristiques du canal. La section 2 décrit la mise en œuvre matérielle, alors que la section 3 analyse la précision. Enfin, section 4 présente quelques conclusions.

1. Caractéristiques du canal

Une description détaillée des modèles TGn est présentée dans [2]. La fréquence centrale est $f_c = 5$ GHz et la fréquence d'échantillonnage des signaux est $f_s = 180$ MHz pour une largeur de bande $B = 80$ MHz. Pour obtenir un canal variant dans le temps, des évanouissements de type Rayleigh sont générés [2]. Le scénario proposé est représenté par la Fig. 1. Il contient trois environnements dont les caractéristiques sont données dans le Tableau 1. v est la vitesse du mobile, f_d est la fréquence Doppler, f_{ref} est la fréquence de rafraîchissement des profils MIMO, t est la durée de la simulation, d est la distance parcourue et N_p le nombre de profils MIMO utilisés.

2. Architecture du bloc numérique

Quatre filtres FIR sont utilisés pour mettre en œuvre un canal MIMO 2x2. L'architecture d'un filtre FIR est présentée dans [6]. Dans cet article, le ASF est introduit. La solution proposée consiste à multiplier x et h par des facteurs k_x , respectivement k_h , qui augmentent les signaux de sortie et qui permet de les quantifier sur un grand nombre de bits afin de réduire l'erreur à la sortie. Si $x_{max} = \max(|x|) < 0.25$ V, les signaux d'entrée seront multipliés par 2^{k_x} où k_x est l'unique entier qui vérifie:

$$0.5 < 2^{k_x} \cdot x_{max} < 1, \text{ alors: } k_x = \left\lceil \log_2\left(\frac{1}{x_{max}}\right) \right\rceil - 1 \quad (1)$$

où $\lceil u \rceil$ est le plus petit entier qui est supérieur ou égal à u . Si $h_{max} = \max(|h|) < 0.5$, h seront multipliées par 2^{k_h} où:

$$k_h = \left\lceil \log_2\left(\frac{1}{h_{max}}\right) \right\rceil - 1 \quad (2)$$

La troncature brutale, réalisée avant le convertisseur numérique-analogique (CNA), est nécessaire pour quantifier le signal de sortie sur 14 bits (à cause du CNA). Une meilleure solution est la troncature glissante [6] qui sélectionne les bits significatifs de poids fort. Dans ce cas, le facteur de glissement est 2^{k_y} . Ainsi, ASF = $k_x + k_h - k_y$, est envoyé à un amplificateur à gain contrôlable pour rétablir la vraie valeur des signaux de sortie. Le résumé d'utilisation du Virtex-IV SX35 est donné dans le Tableau 2 avec le circuit utilisé pour recharger automatiquement les coefficients du canal. Pour les trois environnements, le nombre maximum de trajets est 18 pour chaque canal SISO. Pour chaque profil MIMO, les atténuations des trajets sont stockées dans un bloc RAM. Pour passer d'un environnement à un autre et pour être capable de contrôler le changement des retards des trajets, il suffit de connecter une entrée de chaque multiplieur du filtre FIR à la sortie du bloc du registre à décalage correspondant à ce retard.

3. Précision

Pour déterminer la précision des signaux de sortie assurée par cette architecture, une comparaison est faite entre les signaux théoriques et les signaux Xilinx obtenus à la sortie du simulateur. A l'entrée du simulateur on considère des signaux Gaussiens $x_1(t)$ et $x_2(t)$ où $W_t = 400T_s$, $m_x = 200T_s$, $\sigma = 50T_s$, $x_m = 0.5$ V et $T_s = 1/f_s$:

$$x_1(t) = x_2(t) = x_m e^{-\frac{(t-m_x)^2}{2\sigma^2}}, \quad 0 \leq t \leq W_t \quad (3)$$

L'erreur relative et le SNR sont donnés dans [6]. Fig. 2 présente la variation du SNR global pour tous les profils.

4. Conclusion

Cet article présente un simulateur matériel du canal de propagation MIMO pour des environnements hétérogènes avec différents retards. Le facteur ASF est introduit pour augmenter le SNR des signaux de sortie. L'architecture proposée est implémentée sur un FPGA Virtex-IV pour un canal MIMO 2x2. Les simulations faites en utilisant un FPGA Virtex-VII nous permettront de simuler des canaux MIMO de taille 8x8. Une interface graphique est conçue pour permettre à l'utilisateur de sélectionner les paramètres du canal.

Références bibliographiques

- 1- 'Xilinx: FPGA, CPLD and EPP solutions', www.xilinx.com.
- 2- Erceg, V., Shumacher, L., Kyritsi, P., et al. : 'TGn Channel Models', IEEE 802.11-03/940r4, May 10, 2004.
- 3- H. Farhat, et al., 'A dual band MIMO channel sounder at 2.2 and 3.5 GHz', IMTC, Victoria, BC, Canada, May 2008.
- 4- S. Picol, et al., 'Features of the Digital Block of a Hardware Simulator for MIMO Radio Channels', IEEE ISSCS, Romania, 2007.
- 5- H. Eslami, S.V. Tran and A.M. Eltawil, 'Design and implementation of a scalable channel Emulator for wideband MIMO systems', IEEE Trans. on Veh. Technol., vol. 58, no. 9, pp. 4698-4708, Nov. 2009.
- 6- B. Habib, et al., 'Digital Block Design of MIMO Hardware Simulator for LTE Applications', IEEE ICC, Ottawa, Canada, 2012.

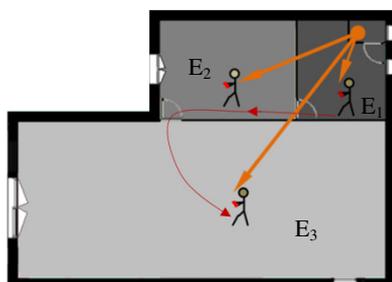


Figure 1. Scénario étudié : émetteur fixe Tx et récepteur mobile Rx

Tableau 1. Caractéristiques des environnements

	Modèle	v (km/h)	f_d (Hz)	f_{ref} (Hz)	t (s)	d (m)	N_p
E ₁	TGn B	3	14	30	2,4	2	72
E ₂	TGn C	3	14	30	4,8	4	144
E ₃	TGn E	3	14	30	7,2	6	216

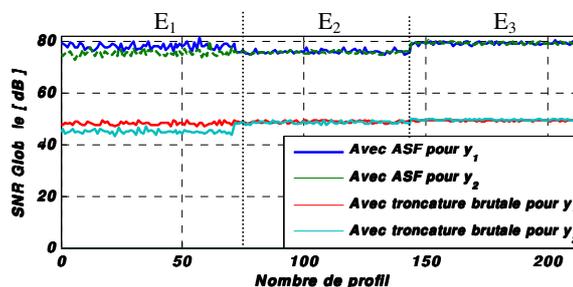


Figure 2. Variation du SNR global

Tableau 2. Occupation sur Virtex-IV

	Utilisé	Disponible	Utilisation
Bascules	2096	30720	7 %
Slices occupées	2681	15360	18 %
Buffers IO	40	448	8 %
FIFO16/RAMB16s	164	192	86 %
DSP48s	72	192	38 %