

ED STIC - Proposition de Sujets de Thèse pour la campagne d'Allocation de thèses 2015

Axe Sophi@Stic :

Titre du sujet :

Mention de thèse :

HDR Directeur de thèse inscrit à l'ED STIC :

Co-encadrant de thèse éventuel :

Nom :

Prénom :

Email :

Téléphone :

Email de contact pour ce sujet :

Laboratoire d'accueil :

Description du sujet :

Dans le monde des petits objets communicants, la mise à disposition de technologies robustes sans fils permettant des transferts de données à des débits toujours plus élevés est une préoccupation majeure des acteurs académiques et industriels. En effet, la commercialisation de systèmes radiofréquences fonctionnant à 60 GHz est aujourd'hui une réalité et s'inscrit dans la continuité de la technologie WiFi afin de proposer une solution triple bande fonctionnant à 2,5 GHz, 5 GHz et 60 GHz. Les applications visées concernent principalement les communications à courte portée au sein de réseaux locaux personnels ou encore les réseaux d'entreprises. Il est cependant nécessaire de garder à l'esprit que la saturation future de ces bandes de fréquences est une forte réalité, très probablement à moyen terme. Par conséquent, il est nécessaire que les laboratoires académiques soient innovants et investiguent le plus rapidement possible des

alternatives viables et performantes.

A l'échelle d'une pièce, les objets communicants concernés (appareils photos, smartphones, PC, téléviseur rétroprojecteur, set-top box etc...) se trouvent tout au plus espacés d'une dizaine de mètres. Si l'on considère que les bandes de fréquences disponibles seront un jour saturées, une alternative réaliste consiste à connecter les objets qui doivent communiquer par l'intermédiaire d'un câble. Les solutions existantes (HDMI et USB3.0) utilisent des paires torsadées de cuivre à isolation renforcée (blindage pour éviter les perturbations électromagnétiques) ce qui en fait des solutions de plus en plus coûteuses mais également limitées en termes de bande passante. A l'heure actuelle, seule la fibre optique présente des débits suffisants pour répondre aux besoins anticipés (>10 Gbit/s) mais son usage est néanmoins réservé aux professionnels en raison d'un coût prohibitif en partie lié à l'indispensable présence de composants de conversion électro-optique.

Une solution novatrice consisterait à utiliser un guide diélectrique comme support de propagation d'ondes électromagnétiques millimétriques. Avec l'essor des nouvelles solutions de prototypage rapide (impression 3D), l'utilisation d'un matériau plastique comme structure de guidage (comme dans une fibre) permettrait de combiner astucieusement les avantages de la transmission sans fil et de la fibre optique. Mais c'est uniquement dans les bandes de fréquences millimétriques que les guides diélectriques pourraient être intéressants d'un point de vue propagation (pertes et bande passante).

Dans son fonctionnement, un système de communication par guide d'ondes plastique nécessite également des circuits de modulation et de démodulation millimétriques. Ces circuits devant être alimentés, on parle alors de câble "actif" par opposition aux câbles dits "passifs". Les intérêts potentiels de cette technique seraient donc le très haut débit, le faible coût (du plastique), une longue portée (jusqu'à 10 mètres), la flexibilité des câbles (contrairement à la fibre optique), le multiplexage en fréquence ou en polarisation etc ...

Ces premiers travaux pourraient alors servir de preuve de concept et de fondation pour les futurs développements industriels de solutions filaires d'échanges de données à très haut débit en bande millimétrique pour le grand public.

Les travaux de thèse proposés visent donc à débloquer plusieurs verrous théoriques, scientifiques et technologiques.

- Il s'agira dans un premier temps d'effectuer une étude théorique détaillée des modes de propagation qui peuvent exister dans un guide diélectrique. A ce jour, il n'existe que des solutions approchées et surtout peu de solutions efficaces pour exciter efficacement ces modes de propagation.

- Il s'agira également d'effectuer en parallèle une étude approfondie et une sélection des matériaux les plus appropriés (Téflon, Polystyrène, ABS-M30, Polyéthylène etc ...) pour la réalisation de ces guides notamment dans la bande des fréquences millimétriques. Pour cela, il sera nécessaire de mettre en œuvre une instrumentation de qualité permettant de caractériser efficacement ces matériaux en termes de permittivité complexe. A ce jour, il existe peu de solutions fiables et maîtrisées au-delà de 60 GHz. La caractérisation d'échantillons insérés dans des guides métalliques classiques est une possibilité mais il faudra améliorer les traitements numériques associés compte tenu des petites tailles mises en jeu qui peuvent notamment engendrer des imperfections de positionnement. A ce jour, il n'est pas exclu d'innover dans ce

domaine en imaginant de nouvelles solutions spécifiquement dédiées à la caractérisation de guides diélectriques plastiques.

-□L'évaluation des technologies d'impression 3D avec possibilité de métallisation pour un fonctionnement aux fréquences millimétriques sera également d'une importance majeure pour ces travaux de thèse. A ce jour, de nombreuses technologies plus ou moins sophistiquées et rapides existent et il faudra donc être en mesure de sélectionner les solutions qui permettent de sécuriser les étapes de fabrication de prototypes mais également songer à une compatibilité pour une fabrication d'échantillons en grosses série et à faible coût.

-□Enfin, la conception de circuits microélectroniques en bandes millimétriques à 120 et 240GHz (procédé B55nm de STMicroelectronics) ayant une faible consommation sera nécessaire pour le câble actif. Pour cela, le doctorant sélectionné pourra bénéficier de la collaboration étroite existante entre le laboratoire EpOC et l'Université de Stanford et STMicroelectronics dans le cadre des travaux de thèse d'Aimeric Bisognin.

-□Enfin, un des points les plus importants de ces travaux consistera à effectuer une intégration et un assemblage efficace de l'ensemble (guide plastique et circuits microélectroniques). Il faudra pour cela concevoir une transition (Flange) efficace et novatrice, performante dans les bandes de fréquences millimétriques. Des transitions génériques existantes pourront être pré-sélectionnées mais il est évident qu'elles devront être optimisées et améliorées pour satisfaire à nos besoins spécifiques d'intégration. Il faut souligner que peu de transitions de ce type existent aux fréquences millimétriques visées.

Le travail de thèse se déroulera dans les locaux de l'URE EpOC à Polytech-Sophia et s'appuiera sur les compétences internes de cette équipe en termes de conception de circuits microélectroniques et métrologie aux fréquences millimétriques. ST microelectronics sera également un collaborateur compte tenu du procédé microélectronique utilisé. L'Université de Stanford (Prof. Arbabian) mettra à disposition son expertise dans le domaine de la conception de circuits. Tout au long de cette thèse, de nombreux prototypes seront conçus, fabriqués et testés pour pouvoir valider les concepts proposés.

[1] Yeh, Shimabukuro, Chu, Dielectric Ribbon Waveguide: An Optimum Configuration for Ultra-Lowloss Millimeter/Submillimeter Dielectric Waveguide, IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol. 38, No.6 (1990), 691-702.

[2] Hajimiri, Fukuda, Hino, Ohashi, Takeda, Yamagishi, Shinke, Komori, Uno, Akiyama, Kawasaki, A 12.5+12.5 Gb/s Full-Duplex plastic Waveguide Interconnect, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 46, No.12 (2011), 3113-3125.

[3] Tytgat, Reynaert, A plastic waveguide receiver in 40nm CMOS with on-chip bondwire antenna, Proceedings of the ESSCIRC, (2013), 335-338.

[4] Kim, Nan, Cong, Chang, High-Speed mm-Wave Data-Link Based on Hollow Plastic Cable and CMOS Transceiver, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 23, No. 12 (2013), 674 - 67.

[5] Tang, Chahat, Decrossas, Chattopadhyay, Mehdi, A 94 GHz Multi-Casting Data-Link Based on 3-D Printing Compatible Dielectric Ribbon Interconnects, IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), (2014).

[6] Fernandes and Costa, Permittivity Measurement and Anisotropy Evaluation of Dielectric

Materials at Millimeter-waves, IMEKO World Congress 2009, Lisboa, Portugal, Sept. 2009.

[7] Silveirinha, Fernandes, Costa, A Graphical Aid for the Complex Permittivity Measurement at Microwave and Millimeter Wavelengths, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 24, No. 6, June 2014.

[8] Sakakibara, Kikuma, Microstrip-to-waveguide Transition using Waveguide with Large Broad-wall in Millimeter-wave Band, IEEE International Conference on Ultra-Wideband, ICUWB2010, Sep. (2010). ICUWB.2010.5614169, 1, 209-212.

English version:

In the world of small communicating devices, the necessity for robust wireless technologies allowing high data rate transfer is a main concern for academics and industrials. Indeed, the availability of stable 60 GHz transceivers for tri-band (2.4/5/60 GHz) frequency WiFi standards is a key enabler. Targeted applications deal with short range communications in WPAN or WLAN. However, one should keep in mind that the saturation of those frequency bands will indeed happen in the near future. Therefore, it is mandatory for academic labs to drive innovation by investigating viable and efficient alternatives.

Within a room, communicating devices like cameras, smartphones, laptops, TVs, video-projectors, set-top boxes are separated 10m away each at maximum. If we consider that the high-data rate WiFi bands will be saturated one day, one solution consists in connecting two of those devices via a wire. Current existing solutions are HDMI and USB3.0. They are built with copper twisted wires and high isolation feature namely shielding to avoid EMC which in turn results in a costly cable with limited bandwidth. Also, optic fibers deliver enough bandwidth to address the targeted needs (>10Gbit/s) but these fibers are indeed dedicated for professional use due to their extremely high cost mainly coming from the additional electro-optic components needed for proper operation.

A novel solution could consist in using a dielectric waveguide as a possible transmission line for electromagnetic millimeter-waves. With the advent of novel rapid prototyping techniques (3D printing), the use of plastic material as the guiding structure (as in optic fiber) could combine the benefit of both wireless transmissions and optic fibers. However, it's only in the millimeter-wave bands that the dielectric waveguides could be interesting for propagation in terms of losses and bandwidth.

In a practical scheme, a communicating system with dielectric waveguides will need modulating and demodulating millimeter-wave microelectronic circuits. They could be classified as active wires in contrast with passive wires. The benefits of this technique could be high data rates, low-cost (plastic material), long range (until 10 m), flexible wires (in contrast with optic fibers), frequency and/or polarization duplexing etc ...

First designs could serve as proof-of-concept and strong basis for future industrial developments of active wires for high data rate exchanges dedicated to consumer market.

The proposed work will lead to investigate several theoretical, scientific and technological show stoppers.

-□ Firstly, a detailed theoretical study of the possible propagating modes that could exist in a dielectric waveguide should be performed. Today, only approximations exist and more than this,

few excitations scheme have been demonstrated with efficiency.

-□In parallel, it will be necessary to perform in-depth study of the most appropriate materials (Teflon, Polystyrene, ABS-M30, Polyethylene etc ...) for the fabrication of waveguides operating in the mm-wave bands. It will be necessary to set-up an accurate measurement system for those characterizations enabling to retrieve the complex permittivity of the measured material. Few solutions exist at 60 GHz. Inserting a plastic sample in a metallic waveguide is one of them but it will be mandatory to enhance the associated data processing considering that small samples will obviously introduce positioning errors. Innovative and dedicated novel measurement set-up could be developed on purpose for extracting the complex permittivity of plastic dielectric waveguides.

-□Evaluating 3D printing technologies with metallization coating to operate in the mm-wave bands will be also of paramount importance. Several sophisticated and rapid 3D printing techniques will be investigated to be both efficient and low-cost for prototyping and medium production stages.

-□Finally, design of microelectronic low-power circuits in mm-wave frequency bands (120 and 240 GHz) in B55 process from ST microelectronics will be mandatory do demonstrate a full system experiment with active wires. In this task, the PhD Student will benefit from the existing collaboration between EpOC laboratory, Stanford Univ. and ST Microelectronics initiated during the PhD thesis of Aimeric Bisognin.

-□Then, one of the most important points of this work will consist in efficiently integrating the microelectronic circuits and the plastic waveguide. To achieve this task, the PhD student will have to design a novel and efficient flange, having good performance in the mm-wave bands. Generic existing flanges could be pre-selected but they will have to be optimized and enhanced to satisfy our specific needs.

The thesis work will be achieved in the URE EpOC at Polytech Nice-Sophia with the competencies from the members of this lab in terms of microelectronics circuit design and millimeter-wave measurements. ST Microelectronics will be a strong partner as well as Stanford Univ. for microelectronics design and measurement. During the thesis, several prototypes will be designed, fabricated and tested to validate the proposed concepts.

[1] Yeh, Shimabukuro, Chu, Dielectric Ribbon Waveguide: An Optimum Configuration for Ultra-Lowloss Millimeter/Submillimeter Dielectric Waveguide, IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol. 38, No.6 (1990), 691-702.

[2] Hajimiri, Fukuda, Hino, Ohashi, Takeda, Yamagishi, Shinke, Komori, Uno, Akiyama, Kawasaki, A 12.5+12.5 Gb/s Full-Duplex plastic Waveguide Interconnect, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 46, No.12 (2011), 3113-3125.

[3] Tytgat, Reynaert, A plastic waveguide receiver in 40nm CMOS with on-chip bondwire antenna, Proceedings of the ESSCIRC, (2013), 335-338.

[4] Kim, Nan, Cong, Chang, High-Speed mm-Wave Data-Link Based on Hollow Plastic Cable and CMOS Transceiver, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 23, No. 12 (2013), 674 - 67.

[5] Tang, Chahat, Decrossas, Chattopadhyay, Mehdi, A 94 GHz Multi-Casting Data-Link Based on 3-D Printing Compatible Dielectric Ribbon Interconnects, IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), (2014).

- [6] Fernandes and Costa, Permittivity Measurement and Anisotropy Evaluation of Dielectric Materials at Millimeter-waves, IMEKO World Congress 2009, Lisboa, Portugal, Sept. 2009.
- [7] Silveirinha, Fernandes, Costa, A Graphical Aid for the Complex Permittivity Measurement at Microwave and Millimeter Wavelengths, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 24, No. 6, June 2014.
- [8] Sakakibara, Kikuma, Microstrip-to-waveguide Transition using Waveguide with Large Broad-wall in Millimeter-wave Band, IEEE International Conference on Ultra-Wideband, ICUWB2010, Sep. (2010). ICUWB.2010.5614169, 1, 209-212.