



HAL
open science

Principe d'une sonde endoluminale IRM fibrée avec conversion électro-optique

R. Aydé, A.-L. Perrier, R. Sablong, L. Duvillaret, G. Gaborit, O. Beuf

► To cite this version:

R. Aydé, A.-L. Perrier, R. Sablong, L. Duvillaret, G. Gaborit, et al.. Principe d'une sonde endoluminale IRM fibrée avec conversion électro-optique. Congrès inaugural de la Société Française de Résonance Magnétique en Biologie et Médecine (SFRMBM), Mar 2012, Marseille, France. hal-00840299

HAL Id: hal-00840299

<https://hal.science/hal-00840299v1>

Submitted on 19 Jun 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.

Principe d'une sonde endoluminale IRM fibrée avec conversion électro-optique

Reina Ayde¹, Anne-Laure Perrier¹, Raphael Sablong¹, Lionel Duveillaret^{2,3}, Gwenaël Gaborit^{2,3}, Olivier Beur¹
¹Université de Lyon ; CREATIS; CNRS UMR 5220; Inserm U1044; INSA-Lyon; Université Lyon 1, Villeurbanne, France,
²IMEP-LAHC, UMR CNRS 5130, Université de Savoie, Campus Scientifique, 73376 Le Bourget du Lac Cedex, France,
³Kapteos, Savoie Technolac 73376 Le Bourget du Lac Cedex, France

Introduction

Malgré les progrès réalisés avec les réseaux de capteurs, l'exploration de zones profondes par IRM utilisant des capteurs externes ne permet pas de réaliser des images avec une résolution spatiale suffisante. La diminution de la taille des capteurs permet d'augmenter la sensibilité à proximité de la boucle magnétique de mesure. Ainsi l'acquisition d'images de résolution spatiale submillimétrique nécessite la réalisation de capteurs endoluminaux placés au plus proche de la zone à explorer. Les développements prometteurs de ce type de capteur ont été compromis par des aspects liés à la sécurité du patient en raison des échauffements localisés dus principalement à la liaison galvanique reliant le capteur au système d'imagerie. Pour pallier ces problèmes de sécurité, quelques équipes ont développé des capteurs déportés grâce à une transmission par fibre optique [1,2]. Deux principales techniques sont utilisées : la modulation directe de la source optique et la modulation externe. Dans ce travail nous discutons des avantages et inconvénients de ces deux approches puis nous présentons une solution innovante basée sur une modulation externe utilisant une conversion électro-optique (EO).

Techniques optiques existantes

En *Modulation directe*, le signal RMN reçu par le dipôle magnétique est amplifié puis module directement le courant de polarisation d'une diode laser placée à l'intérieur du capteur. Ce signal est transmis par fibre optique et converti de nouveau en signal électrique afin d'être traité par le système d'acquisition de l'imageur [1,2]. Cette technique a été utilisée pour s'affranchir des interactions électromagnétiques entre les liaisons galvaniques des différents éléments d'un réseau d'antenne [1] ou pour réaliser un micro-capteur intravasculaire [3]. Cette technique a aussi été utilisée pour concevoir un capteur endoluminal [2]. Ce capteur offre un gain de 33 dB et un facteur de bruit de 1 dB. Il est par ailleurs de faible coût (utilisation d'une diode laser unique). Néanmoins, ce capteur incluant la boucle magnétique, des amplificateurs ULNA et LNA, la diode laser ainsi qu'une alimentation est de dimension trop importante (longueur 143mm et diamètre 23mm) pour une application clinique [2]. D'autre part, l'inconvénient majeur de cette modulation directe réside dans l'incapacité de stabiliser la température au niveau de la diode laser ce qui engendre des fluctuations de la puissance optique déterminante du signal.

Dans le cas de la *Modulation externe*, le capteur est composé de la boucle magnétique, de son amplificateur et d'un modulateur EO. La diode laser se trouve déportée à l'extérieur de l'aimant et fournit une intensité optique constante au modulateur à travers une liaison optique. Le signal optique traversant le modulateur EO est modulé par le signal RMN. Une seconde liaison optique permet de renvoyer le signal vers un convertisseur optoélectronique avant son traitement par le système d'acquisition de l'imageur. Nous avons répertorié une seule référence utilisant cette méthode de modulation externe pour une application à des réseaux d'antennes [5]. Ce modulateur est un interféromètre de type Mach-Zehnder constitué de matériaux magnétiques, ce qui limite son utilisation à l'extérieur de l'aimant. Une utilisation endoluminale n'est donc pas envisageable avec ce type de modulateur.

Principe de la sonde endoluminale à conversion électro-optique

Nous réalisons une sonde endoluminale à liaison optique pour l'exploration du système digestif pour un système d'IRM à 3 Tesla (MR750, GE HealthCare). Le schéma de principe de notre sonde est présenté sur la figure 1. Elle est constituée d'un système de découplage actif optique [5] adapté au système GEHC qui permet de séparer la phase d'émission de la phase de réception de RF. Cette sonde est basée sur la technique de modulation externe. Le modulateur utilisé est un cristal EO qui permet une modulation de l'état de polarisation du faisceau optique incident. Cette méthode de conversion nous permet d'intégrer le modulateur à l'intérieur de la sonde puisque le cristal EO est amagnétique et peut avoir des dimensions millimétriques. Les fluctuations de la température affectent la réponse du cristal EO. A l'aide d'un système asservi, des travaux ont permis de stabiliser la réponse en champ électrique. La sonde ainsi réalisée propose une réponse indépendante de la température [7].

Le tableau 1 récapitule les avantages et les inconvénients des différentes méthodes de modulation. Les valeurs du gain et de la figure de bruit présentes dans ce tableau sont extraites de la référence [8].

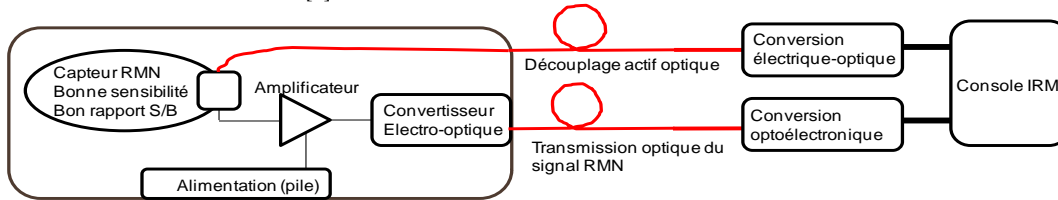


Figure1 : Schéma de la sonde endoluminale à modulation externe électro-optique avec découplage actif

	Modulation directe	Modulation externe électro-optique	
		de phase Mach-Zehnder	d'état de polarisation optique
Gain sans amplificateur	~18dB		~2dB
Figure de bruit sans amplificateur	~29dB		~22dB
Coût	Bas Coût	Elevé	Elevé
Dimensions (longueur, diamètre)/ Alimentation du convertisseur électro-optique	143mm, 23mm/active [2]	~1cm, 10cm/active	~7cm, 6mm (envisagé)/passive
Indépendance vis à vis de la température	Non	Non	Oui

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de différentes méthodes de modulation

Conclusion : Les différentes techniques de mesure IRM déportée par voie optique sont comparées. Nous démontrons ici la pertinence de la modulation externe par voie électro-optique pour la mesure IRM endoluminale. En effet, les capteurs fibrés EO sont de dimension millimétrique et leur réponse est indépendante de la température. Elles permettront l'exploration du système digestif par un système d'IRM 3T.

Remerciement : Ce projet est financé par la région Rhône Alpes par un AAP CIBLE ainsi que par la DGA dans le cadre d'un projet d'innovation duale RAPID. Reina Ayde est soutenue par une Allocation Doctorale de Recherche de la Région Rhône-Alpes.

Références:

- [1] J. Yuan, J. Wei, G. X. Shen, "A 4-channel coil Array Interconnection by analog Direct Modulation Optical Link For 1.5-T MRI", IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 27, pp.1432, October 2008.
- [2] O. G. Memis, Y. Eryaman, O. Aytur and E. Atalar, "Miniaturized Fiber-Optic Transmission System for MRI Signals", Magnetic Resonance in Medicine, Vol. 59, pp. 165173, 2008.
- [3] S. Fandrey, S. Weiss and J. Müller, "Miniature Optical Signal Transmission System for an Active Intravascular Device", 15th ISMRM, pp.444, 2007.
- [4] G. P. Koste, M. C. Nielsen, T. R. Tolliver, R. L. Frey, R. D. Watkins, "Optical MR Receive Coil Array Interconnect", 13th ISMRM, pp.411, 2005.
- [5] M. Korn, R. Umathum, J. Schulz, W. Semmler and M. Bock, "Optically Detunable, Inductively Coupled Coil for Self-Gating in Small Animal Magnetic Resonance Imaging", Magnetic Resonance in Medicine, Vol. 65, pp.882, 2011.
- [6] E. Suzuki, S. Arakawa, H. Ota, Member, IEEE, K. I. Arai, and R. Sato, Life Member, IEEE, "Optical Magnetic Field Probe With a Loop Antenna Element Doubly Loaded With Electrooptic Crystals", IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 46, pp.641, 2004.
- [7] M. Bernier, G.Gaborit, L.Duvillaret, A.Paupert, and J.Lasserre, "Electric field and temperature measurement using ultra wide bandwidth pigtailed electro-optic probes Applied Optics", Vol. 47, pp.61, 2008.
- [8] J. Yuan, J. Wei, G. X. Shen, "Comparison of Optical Modulation Methods for RF Coil Interlinks", 14th ISMRM, pp.784, 2006.