

Sondes et capteurs de champs électromagnétiques à liaisons optiques pour la sécurité en IRM

L'imagerie par résonance magnétique est une méthode d'imagerie non-invasive et présentant peu de risque mais qui nécessite néanmoins des précautions. Ainsi, les conditions qui permettent d'assurer la sécurité du patient restreignent ou contraignent l'accès de porteurs d'implants et limitent certaines applications, comme l'imagerie endoluminale. Le champ magnétique radiofréquence impulsionnel peut induire des effets dans les éléments conducteurs qui constituent ou relient le capteur et augmenter localement le dépôt d'énergie dans les tissus. Or, l'imagerie endoluminale permettrait par exemple d'améliorer la prise en charge des malades atteints d'un cancer colorectal par l'analyse pariétale de l'intestin.

Dans ce contexte, l'objectif principal de la thèse est d'évaluer la faisabilité de la transmission optique du signal RMN pour remplacer les câbles coaxiaux. La conversion électrooptique étudiée est la modulation d'état de la polarisation, qui présente l'avantage d'être passive. La principale difficulté identifiée est de conserver le rapport signal sur bruit du signal dans un environnement et des contraintes à la fois compatible avec l'IRM et les conditions endoluminales. L'étude des sources de bruit a permis dans un premier temps de proposer une configuration optique fournissant, sans les contraintes endoluminales, une image similaire à la transmission galvanique et conduisant à des pistes d'amélioration quantifiables pour une extension à l'endoluminal pour s'affranchir des risques liés à la présence d'une connexion galvanique. Un deuxième axe de recherche concerne l'estimation directe du champ électrique et la validation des sondes optiques de champ électrique Kapteos pour les mesures de débit d'absorption spécifique (DAS) en IRM. Le DAS est une donnée clef pour garantir la sécurité du patient, et les méthodes prédictives numériques doivent être corrélées à des mesures in-situ. Des mesures ont été réalisées à 7 et 11,7T dans des fantômes calibrés, démontrant l'absence de perturbation introduite par la sonde et l'intérêt des mesures locales et vectorielles du champ électrique.

Mots clefs : Conversion électro-optique, capteur fibré DAS, Sécurité en IRM, imagerie endoluminale, instrumentation IRM

Optical conversion and transmission of RF coils and electric-field sensors for MRI safety

Magnetic resonance imaging is a non-invasive, low-risk imaging method that nevertheless requires some precautions. The conditions that allow a safe examination restrict the access to some implant carriers, and some applications, such as endoluminal imaging. The radiofrequency magnetic field can interact with conducting elements (as the cables connecting receive coils) and augment locally the energy absorbed by the patient's tissues. Endoluminal imaging could however improve the medical care of colorectal cancer patients, through accurate analysis of the colon walls.

In this context, the main objective of this thesis is to evaluate the feasibility of converting and transmitting optically the NMR signal to replace coaxial cables. The electro-optical conversion considered is polarization state modulation, as this technique has the advantage of being passive. The main difficulty identified is to preserve the signal dynamics while being compatible with the MRI environment and the conditions imposed by endoluminal imaging. The study of the noise sources allowed proposing a receiver chain with optical configuration providing a similar image to the galvanic transmission without taking into account the endoluminal constraints, but leading to quantified improvement solutions for an endoluminal configuration in order to avoid the risks related to the presence of a galvanic connection to transport the signal. The second research axis was to evaluate the absolute electric field and to validate the use of probes developed by the company Kapteos for specific absorption rate (SAR) assessment. The SAR is a key information to guaranty the safety of the patient, and the numerical methods estimating SAR must be correlated with measurements to validate the model. Measurements have been performed at 7T and 11.7T in calibrated phantoms, underlining the lack of perturbation induced by the probes and the relevance of vectorial E-field measurements.

Keywords: Electro-optical conversion, Fibered sensor, SAR, MRI safety, Endoluminal imaging, MRI instrumentation