

Titre en français : Tomographie ultrasonore quantitative utilisant l'inversion de forme d'onde complète acoustique et élastique : Application à l'imagerie des tissus musculosquelettiques chez l'enfant

Titre en anglais : Quantitative Ultrasound Computed Tomography using acoustic and elastic Full Waveform Inversion: Application to Imaging Musculoskeletal Tissues in Children

Nom du directeur de thèse : Lasaygues Philippe

Tel : 33 (0)484 524 283

E-Mail : lasaygues@lma.cnrs-mrs.fr

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique / Laboratory of Mechanics and Acoustics

Financement : demandé

Type de financement : Allocation

Résumé en français :

L'échographie est aujourd'hui l'examen de première intention pour le diagnostic de nombreuses maladies des tissus musculosquelettiques chez l'enfant. L'échographie est particulièrement adaptée à l'usage pédiatrique (indolore, non ionisante, faible coût) permettant d'augmenter le nombre de procédures sans effets néfastes. Cependant, les ultrasons ont du mal à pénétrer dans les structures osseuses entourées de muscles et de tissus mous, de sorte qu'ils ne peuvent voir que leur surface extérieure, et non leur intérieur (moelle, endoste, cavité médullaire). Depuis plusieurs années, le LMA associé à l'hôpital des enfants (APHM) étudie la tomographie numérique ultrasonore (*Ultrasound Computed Tomography* - USCT) appliquée aux tissus osseux infantiles [1]. En raison du contraste d'impédance important entre les structures échogènes et les tissus mous environnants, les algorithmes de USCT classique (linéaires, essentiellement dédiés à l'imagerie du sein) ont été adaptés en introduisant des algorithmes de traitement du signal et de l'image [2]. Malgré des résultats très encourageants, l'approche linéaire est limitée et ne permet pas de paramétrer les images reconstruites. Or cette quantification est essentielle pour apporter au radiologue des informations qu'il n'a pas par les autres modalités, y compris l'échographie telle l'élasticité des tissus musculosquelettiques par exemple. Dans ce contexte, nous avons proposé une méthode numérique non linéaire d'inversion de forme d'onde complète. L'objectif ambitieux est de rendre l'imagerie des tissus musculosquelettiques morphologique et paramétrique. Dans un premier temps, l'écriture du problème à résoudre a été réalisée en modélisation acoustique (fluide) uniquement, et des tests sur des cibles académiques ont été effectués [3]. Dans le cadre de la thèse proposée, nous envisageons une modélisation élastique du problème direct et des tests sur des fantômes mimant des organes (bras d'enfant) ainsi que sur des tissus animaux réels. Des essais cliniques pourraient être envisagés pendant la thèse dans le département de radiologie pédiatrique et prénatale de l'hôpital d'enfants de la Timone à Marseille (APHM).

Résumé en anglais :

Nowadays, the B-mode ultrasound is the first-line examination for the diagnosis of many musculoskeletal tissue diseases in children. The B-mode ultrasound is particularly dedicated to pediatric use (painless, non-ionizing, low cost), allowing to increase the number of procedures without harmful effects. However, ultrasound has difficulty penetrating bone structures surrounded by muscle and soft tissue, so it can only see their outer surface, not what is inside (marrow, endosteum, medullary cavity). For several years, the LMA associated with Children's hospital (APHM) has been studying the diffraction-mode Ultrasound Computed Tomography (USCT) of bone tissue in

children [1]. Due to the large impedance contrast between the echogenic structures and the surrounding soft tissues, the classical USCT algorithms (linear, mainly dedicated to breast imaging) have been adapted by introducing signal and image processing algorithms [2]. Despite very encouraging results, the linear approach is limited and does not allow parameterization of the reconstructed images. However, this quantification is essential to provide the radiologist with information that is not available with other modalities, including ultrasound, such as the elasticity of musculoskeletal tissues.

In that context, we have suggested a numerical non-linear full waveform inversion method. The ambitious goal is to make musculoskeletal tissue imaging become morphological and parametric. Initially the writing of the forward problem was done in acoustic (fluid) modeling only, and tests on academic targets were performed [3]. In the proposed PhD-thesis, we envisage elastic modeling of the forward problem and tests with organ mimicking phantom (child's arm) as well as with real animal tissues. Clinical trials could be considered during the thesis in the Department of Pediatric and Prenatal Radiology at Timone Children's Hospital in Marseille (APHM).

Profil du candidat recherché :

Les candidats auront un intérêt marqué pour la recherche dans les domaines des applications (bio)mécaniques et/ou acoustiques, avec des aspects théoriques, numériques et expérimentaux. Nous recherchons des étudiants très motivés qui peuvent s'attaquer à des problèmes scientifiques complexes sur les approches d'inversion. Les candidats auront d'excellentes capacités à communiquer à l'écrit et à l'oral, à travailler harmonieusement et en autonomie au sein d'une équipe où il/elle prendra ses responsabilités, et exprimera son dynamisme et sa disponibilité.

Suitable candidates will have strong interests in conducting research in the areas of (bio)mechanical and/or acoustical applications, with theoretical, numerical and experimental aspects. We are looking for highly motivated students who can tackle scientific problems on inversion approaches. Candidates will have excellent written and verbal communication skills, ability to work harmoniously in a collaborative research team, and to present a large autonomy in the work, responsibilities, dynamism and availability.

Publications sur le sujet :

- [1] P. Lasaygues, L. Espinosa, S. Bernard, P. Petit, and R. Guillermin, "Ultrasound Computed Tomography," in *Bone Quantitative Ultrasound*, vol. 1364, P. Laugier and Q. Grimal, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 227–250. doi: 10.1007/978-3-030-91979-5_11.
- [2] E. Doveri, L. Sabatier, V. Long, and P. Lasaygues, "Reflection-Mode Ultrasound Computed Tomography Based on Wavelet Processing for High-Contrast Anatomical and Morphometric Imaging," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 20, p. 9368, Oct. 2021, doi: 10.3390/app11209368.
- [3] L. Espinosa, E. Doveri, S. Bernard, V. Monteiller, R. Guillermin, and P. Lasaygues, "Ultrasonic Imaging of High-contrasted Objects Based on Full-waveform Inversion: Limits under Fluid Modeling," *Ultrason. Imaging*, vol. 43, no. 2, pp. 88–99, Mar. 2021, doi: 10.1177/0161734621990011.

Insertion professionnelle après thèse : L'insertion pourrait être publique ; le candidat effectuant un ou plusieurs stages postdoctoraux, ou privée, intégrant des entreprises spécialisées dans l'imagerie ultrasonore médicale, y compris dans le domaine de la tomographie ultrasonore.