

"Signature acoustique non linéaire d'un milieu complexe par optimisation d'excitation: formalisme et applications en imagerie ultrasonore"

Serge DOS SANTOS, Maître de Conférences à l'ENI Val de Loire

[Unité U930 « Imagerie et Cerveau »](#), Équipe 5, Université François Rabelais-INSERM-CNRS

Jeudi 25 mars 2010

L'analyse des processus dynamiques complexes nécessite des outils du traitement du signal performants permettant d'extraire des grandeurs intrinsèques susceptibles de posséder une signature informationnelle du système analysé. Dans le cas des systèmes non linéaires, l'approche peut être effectuée à partir d'une démarche analogue à celle de Fourier pour les systèmes linéaires: la recherche de représentations dont les fonctions de bases sont les fonctions propres des opérateurs d'invariance du système. Le formalisme s'inspire des méthodes algébriques, reconnues efficaces dans le cas des systèmes stochastiques non linéaires, développées dans le cadre de l'optique non linéaire (propagation solitons), et dont portée sensibilise désormais le domaine de l'acoustique non linéaire (Équations KZK, Burgers, Reyleigh-Plesset). Ce formalisme existe déjà dans le contexte des méthodes avancées de traitement du signal dans lesquelles on trouve les méthodes de diffusion inverse, multiéchelles et fractales[1]. Cette approche systémique exploite l'analyse des symétries des groupes de Lie associés au modèle du système et s'implémente désormais aisément *via* les logiciels de calcul symbolique standards permettant de définir, pour chaque système, un ensemble d'invariants possédant la signature d'une structure informationnelle du système, qui sera extraite par une excitation *ad hoc* [2].

C'est en explorant ces nouvelles avancées en terme d'optimisation d'excitations que l'on peut extraire la signature acoustique non linéaire localisée d'un milieu complexe. Une partie de l'approche consiste en outre à considérer l'excitation qui, par optimisation de type codage, retournement temporel (TR) ou réciprocité, exploite la prise en compte des informations *a priori* du milieu complexe à analyser. En utilisant un codage d'excitation (inversion d'impulsion, codage en balayage de fréquence) exploitant les invariances du système, cette approche a permis de mettre à jour le concept TR-NEWS qui permet de localiser la signature acoustique non linéaire (NEWS) par focalisation ultrasonore. Ces différentes méthodes d'optimisation seront présentées dans ce contexte et leur intérêt sera discuté avec le support de quelques résultats expérimentaux obtenus dans le cadre du projet AERONEWS (<http://www.kuleuven-kortrijk.be/aeronews>). Initialement appliquée au contexte de l'industrie aéronautique, la méthodologie TR-NEWS a permis de démontrer la faisabilité de l'approche pour l'analyse qualitative des microfissures dans les structures aéronautiques complexes sous contraintes.

Nous présentons ensuite quelques pistes permettant d'adapter, aux problématiques de l'imagerie des biomatériaux, les avancées TR-NEWS publiées très récemment[3]. La première application explorée consiste à analyser la dégradation de l'interface email-dentine par ultrasons[4]. Le dispositif expérimental est constitué d'un système d'émission-réception laser-transducteur, initialement développé en 2005 pour l'étude d'un milieu liquide à bulles[5], constitué d'un émetteur CND ultrasonore HF de 20 MHz collé sur une molaire humaine et d'un interféromètre laser mesurant les vibrations acoustiques à la surface de cette dent. La signature non linéaire caractéristique de la région dégradée, se déduit alors de la nonlinéarité mesurée dans la réponse obtenue à partir de la méthode TR-NEWS. Cette réponse est extraite en exploitant la signature de la nonlinéarité évoquée plus haut (dépendance en amplitude, invariance par corrélation, par inversion d'impulsion, etc.). Nous présenterons enfin quelques résultats préliminaires d'une méthode de pseudo-tomographie ultrasonore combinant la signature non linéaire extraite par symétrisation d'excitation et la localisation par des méthodes DORT[6].

Par la symbiose de ces deux principes d'analyses que sont les méthodes NEWS d'une part, et l'utilisation des propriétés d'invariance (inversion d'impulsion, réciprocité, retournement temporel) d'autre part, les méthodes TR-NEWS constituent une association profitable et performante pour des perspectives d'imagerie ultrasonore des milieux bio-mécaniques suivants: dent, implants dentaires, os, prothèses composites, etc. Elles pourraient également permettre de relever le défi du verrou technologique associé à l'imagerie ultrasonore du cerveau.

[1] Vijay K Madisetti and Douglas Williams, *Digital Signal Processing Handbook*, Boca Raton (Fla), New York, IEEE Press (1998)

[2] Cantwell, B. J., *Introduction to Symmetry Analysis*, Cambridge University Press (ed.) (612 pages) (2002)

[3] J. Ulrich *et al*, Phys. Rev. Lett. **98**, 104301 (2007); T. Goursolle *et al*. JASA, **122** (6), 3220-3229, (2007); A. Sutin *et al*, JASA, **125**, 1906-1910 (2009); C. L. E. Bruno *et al*, Phys. Rev. B, **79**, 064108 (2009); Bou Matar *et al*, Appl. Phys. Lett., **95**, 141913 (2009)

[4] S. Dos Santos *et al*, Physics Procedia, **3**, 913-918 (2010)

[5] S. Dos Santos *et al*, in Proc of the CFA, Tours (2006) et <http://www.artannlabs.com/tra-based.html#4>

[6] Z. Prevorovsky *et al*, to appear in Proc of the CFA, Lyon (2010) et <http://cfa.sfa.asso.fr/prog.html>