

Avis de Soutenance

Monsieur Giulio BONCIANI

Acoustique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
Développement et mise en œuvre d'algorithmes innovants pour l'échographie à fréquence d'images élevée

Travaux dirigés par Monsieur Damien GARCIA, Monsieur Alessandro RAMALLI et Monsieur Enrico BONI
Cotutelle avec l'université "Université de Florence" (ITALIE)

Soutenance prévue le **jeudi 07 mai 2026** à 10h00

Lieu : University of Firenze (Italy), Via di Santa Marta 3, Department of Information Engineering,
50139, Florence.

Salle : Meeting room, Second Floor

Composition du jury proposé

M. Damien GARCIA	Directeur de recherche	INSERM Lyon	Directeur de thèse
Mme Solveig FADNES	Chercheure	Université Norvégienne de sciences et de technologie Trondheim	Rapporteure
Mme Simona TURCO	Professeure assistante	Université de technologie d'Eindhoven Pays-Bas	Rapporteure
M. Hervé LIEBGOTT	Professeur des universités	Université Lyon 1	Examineur
M. Alessandro Ovidio Paris RAMALLI	Professeur associé	Université de Florence Italie	Directeur de thèse
M. Massimiliano PIERACCINI	Professeur	Université de Florence Italie	Examineur
M. Enrico BONI	Université de Florence Italie	Invité	
M. François VARRAY	Université Lyon 1	Invité	

Mots-clés : GPU, Doppler, échographie

Résumé :

L'imagerie ultrasonore à haut taux d'images (High Frame Rate, HFR) a révolutionné la manière d'observer les phénomènes dynamiques dans les tissus et dans le flux sanguin, en permettant la reconstruction de milliers d'images par seconde à partir de transmissions non focalisées, telles que les ondes planes ou divergentes. Cependant, la mise en œuvre en temps réel de techniques HFR avancées, telles que le Color Flow Mapping (CFM), le Power Doppler (PD) et le Vector Doppler Imaging (VDI), nécessite une puissance de calcul élevée et une gestion efficace des données,

difficiles à atteindre avec les systèmes échographiques conventionnels. L'objectif de ce travail de doctorat a été le développement d'une plateforme échographique hétérogène capable de combiner les avantages des systèmes orientés matériel (basés sur FPGA et DSP) et des systèmes orientés logiciel (basés sur GPU), afin de permettre l'implémentation en temps réel d'algorithmes complexes d'imagerie ultrasonore. À cet effet, un module GPU a été intégré au système de recherche orienté matériel ULA-OP 256, développé au laboratoire MSDLab de l'Université de Florence, donnant naissance à la version hétérogène ULA-OP 256G. À titre d'étude de cas, le système a d'abord été validé en implémentant sur GPU la méthode HFR CFM, qui a montré des performances en temps réel supérieures à celles des versions basées sur DSP. Par la suite, la méthode de Vector Doppler Imaging en temps réel a été réalisée sur la plateforme ULA-OP 256G, permettant la reconstruction du champ de vitesse bidimensionnel en combinant les informations provenant de deux directions d'observation. De plus, une technique Doppler sans repliement spectral (alias-free) basée sur des séquences staggered de fréquences de répétition d'impulsions (Staggered Pulse Repetition Frequency, S-PRF) a été implémentée, capable d'étendre la limite de Nyquist et de corriger en temps réel les artéfacts de repliement. Enfin, un cadre de filtrage en temps réel basé sur la décomposition en valeurs singulières (SVD) a été développé afin d'améliorer la suppression du clutter et d'accroître la sensibilité aux signaux sanguins faibles, démontrant la faisabilité d'un traitement spatio-temporel avancé directement sur le GPU intégré. Les validations expérimentales, menées sur des fantômes de flux à l'aide de sondes linéaires, ont confirmé la capacité des méthodes développées à produire des cartes de vitesse précises et exemptes de repliement, avec des taux d'images supérieurs au kilohertz. Les solutions proposées démontrent le potentiel des architectures hétérogènes pour l'imagerie ultrasonore avancée et représentent une étape significative vers la translation clinique des techniques Doppler HFR en temps réel.

Summary:

High-frame-rate (HFR) ultrasound imaging has revolutionized the way dynamic phenomena in tissues and blood flow are observed, enabling the reconstruction of thousands of images per second through unfocused transmissions such as plane or diverging waves. However, the real-time implementation of advanced HFR techniques, such as Color Flow Mapping (CFM), Power Doppler (PD), and Vector Doppler Imaging (VDI), requires high computational power and efficient data handling, which are difficult to achieve with conventional ultrasound systems. The aim of this Ph.D. work was the development of a heterogeneous ultrasound platform capable of combining the advantages of hardware-oriented systems (based on FPGAs and DSPs) and software-oriented systems (based on GPUs), in order to enable the real-time implementation of complex ultrasound imaging algorithms. To this end, a GPU module was integrated into the hardware-oriented ULA-OP 256 research system, developed at the MSDLab of the University of Florence, resulting in the heterogeneous system ULA-OP 256G. As a case study, the system was first validated by implementing the HFR CFM method on the GPU, which exhibited real-time performance superior to DSP-based implementations. Subsequently, the Vector Doppler Imaging method was implemented in real time on the ULA-OP 256G platform, enabling the reconstruction of bidimensional velocity fields by combining information from two different observation directions. In addition, an alias-free Doppler technique based on staggered pulse repetition frequency sequences (Staggered Pulse Repetition Frequency, S-PRF) was implemented, extending the Nyquist limit and correcting aliasing artifacts in real time. Finally, a real-time Singular Value Decomposition (SVD) filtering framework was developed to improve clutter suppression and enhance sensitivity to weak blood signals, demonstrating the feasibility of advanced spatiotemporal filtering directly on the embedded GPU. Experimental validations, performed on flow phantoms using linear probes, confirmed the ability of the developed methods to produce accurate and alias-free velocity maps. The proposed solutions demonstrate the potential of heterogeneous architectures for advanced ultrasound imaging and represent a significant step toward the clinical translation of real-time HFR Doppler techniques.