

Towards GPU-accelerated Direct and Iterative Solvers for Computational Wave Scattering in HELM

Auteur : Distrée, Florent

Promoteur(s) : Arnst, Maarten

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil physicien, à finalité approfondie

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/24701>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Towards GPU-accelerated Direct and Iterative Solvers for Computational Wave Scattering in *HELM*

21 August 2025

1 Informations

- Author : Distrée Florent
- Section : Physics Engineering
- Year : Academic Year 2024-2025
- Supervisor : Maarten Arnst

2 Summary

This thesis contributes towards the development of GPU-accelerated direct and iterative solvers for computational wave scattering. This research was carried out in the context of experimental *Finite Element* code *HELM* developed in a computational stochastic research group.

The research extends the physical modeling capabilities of the *HELM* C++ framework by formalizing a scattered-field weak formulation with *Perfectly Matched Layers* to accurately model complex, heterogeneous media.

The core of the work investigates two primary solution strategies on modern GPU architectures.

First, a numerical performance evaluation of GPU-accelerated direct solvers is presented, demonstrating that the *NVIDIA cuDSS* library offers a performance advantage over both its predecessor, *cuSOLVER*, and CPU-based solvers like *KLU2*, achieving speedups of up to an order of magnitude on a single GPU.

Second, an iterative solver based on a *Multigrid Shifted Laplacian* preconditioner is explored. In particular, an implementation of this preconditioner in the *MueLu* package from *Trilinos* is used. Several contributions were made to the *MueLu* implementation to enable its use with general ordinal types, as well as to permit a nearly complete GPU-resident multigrid V-cycle for complex arithmetic.

A comparative scaling analysis reveals that while the GPU direct solver is faster for the tested 2D problems, the iterative multigrid method exhibits superior asymptotic complexity, suggesting it is a viable path for large-scale 3D and parallel problems. Key limitations, including the parallel scalability of the *Restricted Additive Schwarz* smoother and remaining host-bound computations, are identified. Future work could focus on integrating *Optimized Schwarz methods* and achieving a fully GPU-resident workflow by offloading the coarse-grid solve and matrix reordering.