



Calcul de champ ultrasonore interactif pour le contrôle non destructif

Jason Lambert, Gilles Rougeron, Lionel Lacassagne

► To cite this version:

Jason Lambert, Gilles Rougeron, Lionel Lacassagne. Calcul de champ ultrasonore interactif pour le contrôle non destructif: modèles et méthodes de simulation de contrôle non-destructif par ultrason massivement parallèles. LES JOURNÉES COFREND 2014, May 2014, Bordeaux, France. . hal-01093131

HAL Id: hal-01093131

<https://inria.hal.science/hal-01093131>

Submitted on 10 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

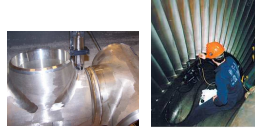
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contexte

Le Contrôle Non Destructif (CND)

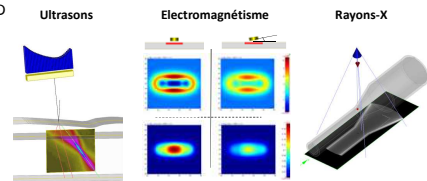
Ensemble des techniques non invasives utilisées pour la détection de défauts dans des pièces industrielles

- Examen en production et à la maintenance
- Nombreux secteurs d'application (énergie, pétrochimie, aéronautique, transports...)
- Enjeux importants financiers et de sécurité
- Multi-techniques : ultrasons, courants de Foucault, radiographie X ou gamma...



CIVA

- Plateforme de simulation et d'analyse CND
 - Conception de nouvelles méthodes d'inspection et de nouveaux capteurs
 - Qualification de méthodes
 - Interprétation de résultats complexes
 - Tests Virtuels et conception de pièces
 - Formation des opérateurs
- 200 clients, distribué mondialement par EXTENDE, nombreux contextes et cas d'utilisation.



Simulation de champ

Principes généraux du calcul de champ en un point

Calcul des pinceaux

Capturer échantillonner
Recherche d'un trajet valide selon les lois de Snell-Descartes
Construction du pinceau (matrice de divergence...)

Prise en compte des retards et formation de la Réponse Impulsionnelle

Décalage par les retards
Somme des contributions des pinceaux sur la Réponse Impulsionnelle (RI)
Résultat = RI de déplacement

Extraction de l'amplitude

Convolution avec le signal du transducteur
Extraction du module de déplacement
Recherche du maximum d'amplitude

Calcul des trajets

- Capturer conforme : calcul géométrique direct
- Capturer en immersion ou contact adapté :
 - Application de la loi de Snell-Descartes à l'interface
 - Résoudre $\frac{x_1 - x_1'}{c_1 \sqrt{(x_1 - x_1')^2 + z_1^2}} = \frac{x_1' - x}{c_2 \sqrt{(x_1' - x)^2 + z^2}}$ en X à l'aide de la méthode de Newton pour obtenir le trajet (méthode itérative)
- Utilisation des nombres flottants simple précision (32bits)
- Vérification de validité du trajet (point d'émergence sur la surface d'entrée, passage par le fond du sabot si présent, occlusion...)
- Trajets directs et indirects (rebond fond)

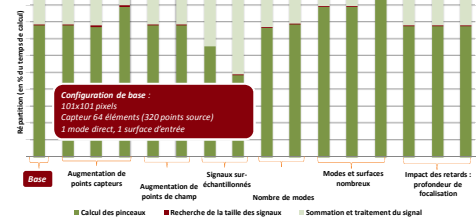
Implémentation de référence

- Validée par rapport à CIVA 11
- Code C/C++ calculant en trois étapes successives
 - Permet d'analyser facilement les résultats pour chaque étape de calcul
 - Nécessite beaucoup de mémoire pour stocker les données temporaires
 - Multithreading via OpenMP
 - Utilise la librairie MKL pour les FFT
 - Jeu complet de configurations faisant varier les paramètres séparément : N_{px} , N_{py} , N_{pt} , N_{modes} , $N_{surfaces}$ et $F_{échantillonnage}$
 - Tests de non-régression par rapport à cette référence pour les futures autres versions
 - MSVC2013 compilé en `/fp:strict` et optimisation maximale pour la vitesse d'exécution
- 3 ÉTAPES DE CALCUL
 - Sur toute la config. → Calcul des pinceaux
 - Sur toute la config. → Recherche de la taille des signaux
 - Sur toute la config. → Somme R.I. & Traitement du signal

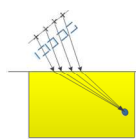
Analyse et vectorisation

Analyse de la répartition des traitements

- Tests réalisés sur une machine 2x12 cœurs @2.70 GHz (2x E5-2697v2)
- Mesures des performances sur l'implémentation de référence



Vectorisation du Calcul des pinceaux



- Travail sur plusieurs pinceaux en simultané
- Même point de champ, plusieurs points capteur
- Même mode et surfaces traversées
- Résolution du trajet par méthode de Newton
- Mutualisation des vérifications de traversée de surface
- Calcul des coefficients des pinceaux entièrement régularisé vectorisé

Gain sur toutes les configurations	Calcul des pinceaux
Moyenne	x4,1
Variance	0,2

- Bonne accélération du calcul du module, proche de l'optimal théorique
- vecteurs SSE4.2 – 128bits : 4 flottants 32bits par registre/instruction

Vectorisation du Traitement du signal

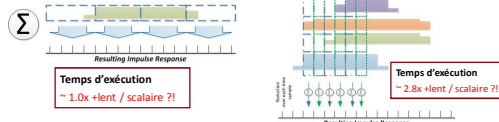
- Traitement du signal : vectorisation signal par signal
- Calcul du module
- Configuration de base
- Configuration aux signaux sur-échantillonnés
- Gain toutes configs
- Moyenne
- Variance
- Convolution
- Module
- Enveloppe
- Gain toutes configs
- Moyenne
- Variance
- Convolution
- Module
- Enveloppe
- Gains sur-linéaires de la convolution : calculs à bas coût SIMD (shuffle dans les registres) + calcul combiné de plusieurs valeurs du signal par donnée chargée
- Bonne accélération du calcul du module de l'ordre de l'optimal théorique (vecteurs SSE4.2 – 128bits : 4 flottants par registre/instruction)
- Accélération limitée du calcul de l'enveloppe (utilisation des FFT MKL déjà optimisées)

Optimisations

Sommation sur les Réponses Impulsionnelles – 2 approches

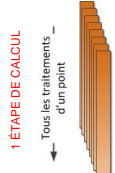
Horizontalement

Verticalement



- Calculs vectorisés moins performants que le calcul scalaire
- Nombreux traitements pour transformer les données en registres SIMD (calculs non réguliers, bornes variables selon les pinceaux...)
- Algorithmie peu adaptée aux contraintes du calcul SIMD (faible régularité...)
- Analyse en vue d'amélioration à l'étude (pré traitement, tri des données...)
- Sur GPU, approche SIMD obligatoire : problème de synchronisation de l'algorithme de base (proche de l'horizontal) ; espérance de gain avec l'algorithme vertical (absence de synchro.)

Calcul de champ par point en une étape



Calcul des pinceaux
Recherche de la taille des signaux
Somme R.I.
Traitement du signal

- Regroupement des traitements par point pour la parallélisation multithread
- 1 thread calcule le champ depuis les pinceaux jusqu'à l'amplitude finale en 1 point
- Réduit le besoin mémoire pour des données temporaires (jetées à la volée)
- Augmente les opportunités de réutilisation des caches
- Augmente le gain du parallélisme (+ de traitements par thread)

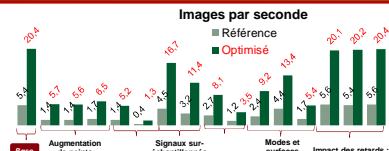
Synthèse des résultats – SIMD SSE 4.2

Machine	Config Base	Gain SIMD	Moyenne		Gain SIMD
			Scalaire	SIMD	
Machine 2x12 cœurs Architecture Ivy Bridge	Scalaire	x19,6	x19,6	x18,4	
	Variance	+0,3	+0,3	+0,5	
	Efficacité	19,6/24 = 81,5%	18,4/24 = 76,6%		
	Moyenne	x14,1	x13,5		
	Variance	+0,1	+0,1		
Machine 2x8 cœurs Architecture Ivy Bridge	Moyenne	x14,1	x13,5		
	Variance	+0,1	+0,1		

Conclusions et Perspectives

Conclusions

- Obtention de bonnes accélérations par la vectorisation des codes de calcul des pinceaux et de traitement du signal
- L'étape de sommation des pinceaux sur les RI ne bénéficie pas d'accélération satisfaisantes. Etude en cours pour en déterminer l'origine
- Mise à l'échelle tirant partie des cœurs de calculs disponibles sur les processeurs récents
- Jusqu'à 20 images par seconde sur la configuration de base
- L'objectif de calcul interactif est atteint sur CPU !



Perspectives

- Vectorisation utilisant les instructions AVX (jeu d'instruction 256bits – 8 flottants/registre)
- Utilisation de cartes Xeon Phi – bonnes perspectives de passage à l'échelle manycore
- Calcul d'écho sur CPU profitant des optimisations de calcul de champ présentées
- Codes d'écho et de champ sur architectures GPU
- Bibliographie
 - N. Gengembre, "Pencil method for ultrasonic beam computation", World Congress on Ultrasonics 2003.
 - J. Lambert, L. Lacassagne, S. Le Berre, G. Rougeron, and S. Chatillon, "High performance simulation of ultrasonic fields for Non Destructive Testing", SNA-MC 2013.
 - D. Romero-Laorden, O. Martinez-Graullera; C. J. Martn; M. Pérez and L. G. Ullate "Field modelling acceleration on ultrasonic systems using graphic hardware Computer Physics Communications", 2011