

EVA-Flo : Evaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

EVA-Flo, Canet-en-Roussillon, mai 2010

Nathalie Revol



Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Garantir/améliorer la précision numérique d'une implémentation

Spécification

$$x^2+2x+1=(x+1)^2=...$$

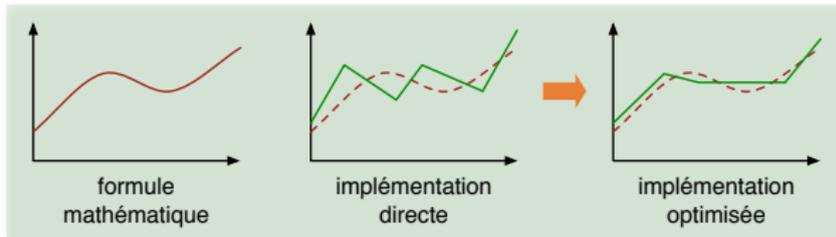
Implémentation

$$((x*x)+(2*x))+1 \\ \neq (x+1)*(x+1)$$

Première sémantique : Arithmétique usuelle (nombres réels)
Précision infinie, lois algébriques (associativité, distributivité, etc.)

Seconde sémantique :

Arithmétique des ordinateurs : erreurs d'arrondis, pas de lois algébriques



EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Objet : évaluation d'une formule mathématique en arithmétique à virgule flottante sur ordinateur.

Objectifs : meilleur code flottant, obtenu plus rapidement, avec une garantie sur la qualité du résultat calculé.

Qualité du résultat :

- ▶ par exemple, précision (erreur petite), fiabilité (pas d'over/underflow), portabilité. . . ;
- ▶ doit être quantifiée et garantie, prouvée.

Automatisation du développement et de la validation.

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Fonctionnement et résultats attendus

Réunions :

Lyon, avril 2007 Saclay, avril 2008 Perpignan, mai 2010
Perpignan, oct. 2007 Lyon, sept. 2009 Lyon, oct. 2010

Financement : 130 500 €

- ▶ un an d'ingénieur (en cours) 47 k€
- ▶ matériel : 18 k€
- ▶ réunions du projet : 31,5 k€
- ▶ présentation des résultats (conférences) : 29 k€

Résultats attendus :

- ▶ prototype logiciel ;
- ▶ dissémination : auprès de nos partenaires industriels (ST,...) ;
organisation de SCAN'2010 à Lyon.

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Évaluation

Objectif : calculer une valeur flottante proche d'une valeur mathématique exacte.

Difficultés :

- ▶ décrire la valeur mathématique exacte, ce que l'on veut calculer ;
- ▶ construire un bon approximant, critères = proximité mathématique, respect de certaines contraintes, mais aussi erreurs d'arrondi ;
- ▶ déterminer un bon schéma d'évaluation : précis, rapide ;
- ▶ tenir compte des contraintes architecturales.

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Évaluation : réalisations

- ▶ approximation par un polynôme à coefficients flottants
- ▶ approximations hiérarchiques
- ▶ schéma d'évaluation
- ▶ algorithmes compensés
- ▶ calculs sur GPU

Perspectives :

- ▶ évaluation de polynômes rapide et précise
- ▶ approximation par un polynôme à plusieurs variables
- ▶ approximation par des sommes trigo. à coefficients flottants
- ▶ évaluation de polynômes en virgule fixe
- ▶ modélisation des architectures

Évaluation : coup de projecteur sur Sollya

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Validation

Vocabulaire : validation, certification, calcul garanti, calcul fiable ?

Validation numérique :

- ▶ utilisation de propriétés de l'arithmétique flottante ;
- ▶ différentiation automatique (Tapenade, modèles de Taylor, conditionnement) ;
- ▶ calcul par intervalles.

Preuve formelle :

- ▶ vérifier les preuves à l'aide d'un assistant de preuve ;
- ▶ générer, avec le code, les indications permettant la preuve ;
- ▶ quelles indications, comment les établir, comment les transmettre entre les différents outils ?

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Validation : réalisations

Réalisations :

- ▶ tests exhaustifs pour les pires cas
- ▶ norme sup
- ▶ algorithmes compensés
- ▶ Fluctuat
- ▶ Gappa
- ▶ différentiation automatique

Travaux en cours

- ▶ calcul par intervalles
- ▶ différentiation automatique et conditionnement

Validation : coup de projecteur sur Sardanes

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Automatisation : problème

▶ Difficultés :

- ▶ beaucoup de détails à traiter ;
- ▶ expertise humaine et validation manuelle \Rightarrow petits codes ;
- ▶ beaucoup d'erreurs, chronophage et non réutilisable.

▶ But :

- ▶ automatiser cette expertise ;
- ▶ traiter des codes plus conséquents.

▶ Directions :

- ▶ spécification et analyse de l'objet mathématique ;
- ▶ génération du code flottant ;
- ▶ validation (incluant la preuve).

EVA-Flo : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant

Automatisation : réalisations

Réalisations

- ▶ amélioration de la précision
- ▶ Sollya
- ▶ Flip
- ▶ FloPoCo

Travaux en cours

- ▶ LEMA, un Langage pour les Expressions Mathématiques Annotées : la partie glu, qui permet à des outils différents de communiquer

À venir

- ▶ LEMA : aspects de transformation

Automatisation : coup de projecteur sur FLIP

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Cahiers de l'ANR

21 juillet 2009 : demande

Afin de valoriser les recherches scientifiques financées par l'ANR, cette dernière lance une collection. Le Numéro 1 est déjà paru. Nous vous sollicitons pour le Numéro 3 de cette collection. Pour le numéro 3 nous proposons de traiter le sujet suivant (titre provisoire) : « Calcul haute performance : une technologie clé pour de multiples applications ». Ce choix du sujet nous a conduit à retenir votre projet pour ce numéro spécial (d'une centaine de pages) qui sera organisé ainsi : 1 à 15 pages d'introduction puis 1 fiche d'une page par projet (dans ce cas 100 projets, environ, sont sélectionnés)

Cahiers de l'ANR - 1er août 2009 : fiche

Programme « Blanc », édition 2006

Projet EVA-Flo

Maîtriser les erreurs d'arrondi commises par votre ordinateur

Une exigence de qualité pour les calculs numériques en arithmétique flottante

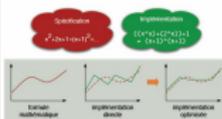
Lors du passage d'une formulation mathématique à un calcul numérique sur ordinateur, on aimerait que les résultats calculés soient proches des valeurs exactes. Or les ordinateurs calculent le plus souvent en arithmétique flottante : ils utilisent une représentation de taille finie et fixe pour les nombres et commettent donc, entre autres, des erreurs d'arrondi. Le premier objectif du projet EVA-Flo est d'évaluer numériquement une formule mathématique, de façon rapide et précise. On veut pouvoir spécifier la qualité du résultat calculé, par exemple une erreur absolue ou relative entre le résultat calculé et le résultat exact, ou la garantie qu'aucun débordement ne se produise (nombres trop grands, arrondis en « ou trop petits »).

Le deuxième objectif est que cette qualité soit quantifiée (par exemple « erreur relative $\leq 10^{-4}$ ») et garantie, le dernier objectif étant que ce processus d'évaluation et de validation soit automatisé.

Les formules mathématiques visées strictement à l'aide d'opérations arithmétiques ou algébriques et de fonctions mathématiques (exp, sin, atanh...) ainsi que de branchements conditionnels et de boucles. Il s'agit typiquement de petites portions critiques de plus gros codes numériques.

Automatiser, automatiser, automatiser l'expertise acquise

De nombreux exemples ont été traités à la main par le passé, le stade actuel est d'automatiser l'expertise ainsi acquise pour chacune des étapes. Tout d'abord, il s'agit de définir précisément le résultat mathématique cherché et de construire de bons approximations (faible erreur relative) qui conduisent à une implantation adaptée à un calcul sur ordinateur, typiquement des polynômes à coefficients flottants. Ensuite on détermine des schémas d'évaluation rapides et précis pour ces approximations, par explosion exhaustive ; il faut ici tenir compte des contraintes architecturales. Pour atteindre une précision satisfaisante, différentes techniques sont envisagées : utilisation de double-double, de schémas compensés... La mise au point de la preuve de la qualité du résultat ainsi calculé fait appel à des propriétés fines de l'arithmétique flottante, à des calculs en arithmétique par intervalles et en arithmétique à précision étendue... Ces preuves sont établies de façon à pouvoir être vérifiées par un assistant de preuve (Coq dans notre cas) : en effet ces preuves, impliquant beaucoup de cas particuliers, sont sujettes aux oublis et erreurs, d'où l'importance de les vérifier automatiquement.



La formulation mathématique, par exemple une fonction (à gauche) peut donner lieu à une implémentation qui est une mauvaise approximation (au centre). On aimerait obtenir une meilleure implémentation (à droite) et de façon la plus automatisée possible.

Le projet « EVA-Flo Evaluation and Validation Automatique pour le calcul Flottant - New Automatic Tools for Validated Floating-point Computations » est un projet de recherche fondamentale / recherche industrielle / développement expérimental coordonné par Arénaire (LIP, ENS Lyon). Il associe aussi Dal (L2PA, U. Perpignan), MeASI (LIST, CEA Saclay), et Tropics (IRISA, Sorbonne Arénaire - Méditerranée). Le projet a commencé en janvier 2006 pour une durée de 48 mois ; il bénéficie d'une aide ANR de 130 K€ pour un coût global de l'ordre de 1,5 M€.

IMPACTS

Résultats majeurs

Notre objectif d'automatisation s'est concrétisé par la création de logiciels :

- Sofly : recherche d'un bon approximat ;
- Gappa : preuve de qualité numérique, vérifiable par Coq ;
- CRlibm : fonctions mathématiques avec arrondi correct ;
- l'origine de la recommandation de la norme IEEE 754-2008 d'inclure les fonctions mathématiques avec arrondi correct ;
- Flop : arithmétique flottante sur certains DSP ;
- calcul numérique sur GPU ;
- Fluctuat : analyse de la qualité numérique de codes scientifiques (pré-existant au projet) ;
- projet Stantanes : analyse et amélioration de la qualité d'expressions mathématiques.

Production scientifique et brevets

Outre les logiciels déjà cités, six thèses ont été soutenues. Une quinzaine d'articles de revues et une vingtaine de présentations lors de conférences internationales ont été produits. Enfin, l'expertise du groupe sur l'arithmétique flottante a donné lieu à un livre collectif, The Handbook of Floating-Point Arithmetic, à paraître à l'automne 2009. À noter aussi, la participation active et la présidence du groupe IEEE de normalisation de l'arithmétique par intervalles.

Contact : Nathalie REVOL, Nathalie.Revol@ens-lyon.fr, www.ens-lyon.fr/~revol/nathalie.revold@ens-lyon.fr

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Colloque ANR STIC

- ▶ [10 – 07 – 2009] : L'Agence Nationale de la Recherche (ANR), avec l'appui logistique et scientifique de l'unité-support SUPCOR-INRIA, organise du 5 au 7 janvier 2010 à la Cité des Sciences à Paris un grand colloque STIC. Nous vous remercions de bien vouloir réserver ces dates.
- ▶ [06 – 10 – 2009] : Le projet ANR dont vous êtes le coordinateur a été présélectionné en vue d'une présentation orale lors du grand colloque ANR STIC (5-7 janvier 2010, La Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris). Nous vous remercions de bien vouloir bloquer ces dates dans votre agenda, et nous confirmer votre participation.
- ▶ [05/07 – 01 – 2010] à la Cité des Sciences, « Colloque ANR STIC 2010 - Quelle recherche pour les STIC de demain ? » : 100 exposés, 220 posters, 700 participants.

Colloque ANR STIC : poster



EVA-Flo : Evaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant
New Automatic Tools for Validated Floating-point Computations

Demanding quality for numerical computations using Floating-point arithmetic

When a computer scientist is required to compute a floating-point value, it is required that computer results are valid to the corresponding exact value. However, computers are only floating-point computers, and errors are made. The main goal of the EVA-Flo project is to evaluate the quality of floating-point computations. The quality of the result can be specified, such as a specific absolute error (between the exact value and the computed result), or the assurance that the floating-point result is the nearest floating-point value to the exact value. The main goal of the EVA-Flo project is to evaluate the quality of floating-point computations. The quality of the result can be specified, such as a specific absolute error (between the exact value and the computed result), or the assurance that the floating-point result is the nearest floating-point value to the exact value.

Taming roundoff errors... as well as other numerical errors made by your computer

Automatic, automatic, automate the accumulated expertise

Numerical problems have been the mainstay of digital computers since the beginning of the history of these computers. The first need is to be able to compute a value, and the second is to be able to validate the result. The EVA-Flo project is to automate the accumulated expertise of numerical analysts. The EVA-Flo project is to automate the accumulated expertise of numerical analysts. The EVA-Flo project is to automate the accumulated expertise of numerical analysts.

Most significant outcomes

Software production

Scientific production

The EVA-Flo project is supported by the ANR (Agence Nationale de la Recherche) under the reference number ANR-07-STIC-001-01. The EVA-Flo project is supported by the ANR (Agence Nationale de la Recherche) under the reference number ANR-07-STIC-001-01.



Colloque ANR STIC : exposé

dont celui-ci est la quintessence.

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Fiche projet : 19 février 2010

Cette fiche doit permettre d'établir un bilan de l'Édition 2006 des Programmes Blanc et Jeunes Chercheurs Jeunes Chercheuses avec publication d'un recueil regroupant les fiches projet de tous les projets financés, même s'ils ne sont pas complètement achevés au moment de la publication.

NB : Ces informations sont destinées à une très large diffusion et ne doivent donc pas contenir de données sensibles.

Date limite pour déposer la fiche : 1er mars 2010

Fiche projet : 4 mars 2010

- ▶ Informations administratives (acronyme, titre, discipline, montant du financement, partenaires)
- ▶ mots clés (5 principaux)
- ▶ résumé du projet (15 lignes maximum)
item verrous ou points durs (scientifiques, technologiques, organisationnels Idots) à dépasser (8 lignes maximum)
- ▶ résultats majeurs (8 lignes maximum)
- ▶ production scientifique depuis le début du projet (publications, invitées ou non, et logiciels)
- ▶ personnel (en hommes x mois)
- ▶ 3 images maximum.

Plan de l'exposé

Présentation générale du projet EVA-Flo

Introduction

Évaluation

Validation

Automatisation

Année 2009-2010

Cahiers de l'ANR

Colloque ANR STIC

Fiche projet

Pour conclure

Pour conclure

- ▶ perspectives : à extraire des exposés à venir
- ▶ futur d'EVA-Flo : à discuter demain
- ▶ merci aux organisateurs de ces journées
- ▶ en guise de transition :

Pour conclure

- ▶ perspectives : à extraire des exposés à venir
- ▶ futur d'EVA-Flo : à discuter demain
- ▶ merci aux organisateurs de ces journées
- ▶ en guise de transition :

Pour conclure

- ▶ perspectives : à extraire des exposés à venir
- ▶ futur d'EVA-Flo : à discuter demain
- ▶ merci aux organisateurs de ces journées
- ▶ en guise de transition :

