



Doctoral thesis reader's report

Doctoral thesis: Connected Component Tree Construction for Embedded Systems

Applicant: Ing. Petr Matas

Reader: doc.RNDr. Petr Matula, Ph.D.

The doctoral thesis by Ing. Petr Matas is well structured, clearly written, and the language quality is high. The thesis therefore reads smoothly. This shows good understanding of presented topic. I liked a large number of illustrative figures which appropriately accompanied the technical descriptions.

The main results of the thesis are the design of a parallel algorithm for the construction of connected component trees in embedded systems (Chapter 4) and its hardware realization (Chapter 5). Both results were published on an international conference. The proposed algorithm is a combination of known ideas (comes from 1D algorithm by Menotti 2007 and tree merging algorithm by Meijster 2004), but the combination is non-trivial and has clear advantages for embedded systems as compared to the state-of-the-art algorithms, in particular due to its lower memory requirements. The designed algorithm can therefore be considered as a novel contribution.

Although a connected component tree is an attractive image representation with a wide area of applications in image analysis I see the impact of the contribution as limited. The thesis is focused on just one particular problem (construction of component trees) without any effort to find general conclusions or general implementation strategies applicable to similar problems. I would like to see some general results. Besides, I consider the publication activity as poor. I would welcome at least one journal publication on the main contribution.

I want to ask the following questions:

- Are there some general findings that could be used to develop image analysis algorithms appropriate for embedded systems?
- Although it was discussed thoroughly why the performance of Wilkinson's algorithm cannot be directly compared to the proposed algorithm (Page 62) I still would like to see some performance comparison on the same hardware. Would it be possible to show it?

Considering all aspects together I see the thesis as borderline. In total, however, the pros outweigh cons and in my opinion the candidate **should be granted the doctoral degree**.

In Brno, June 5th, 2014


Petr Matula

Doc. Ing. Vlastimil Vavříčka, CSc.
Katedra informatiky a výpočetní techniky
Fakulta aplikovaných věd
Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: Ing. Petr Matas

Název práce: Connected Component Tree Construction for Embedded Systems

Předložená disertační práce je věnována studiu a rozvoji určité třídy metod založených na teorii grafů a určených pro zpracování obrazové informace hlavně v oblasti vestavěných systémů.

Za cíl práce si autor klade vytvořit a optimalizovat specifický popis zobrazované scény pomocí stromu souvisejících komponent a využít specifických vlastností tohoto popisu pro další operace vyšší úrovně. Pro takové zpracování výchozího obrazu jsou vyvíjeny algoritmy i specifické technické vybavení na bázi obvodů FPGA, dovolující značnou míru paralelní činnosti.

Disertace se skládá z úvodu, pěti kapitol a závěru. Nakonec je uveden seznam publikací autora, dvě přílohy, seznam obrázků, tabulek a algoritmů. Práce má rozsah 102 stránek.

Úvodní dvě kapitoly uvádí čtenáře do problematiky reprezentace obrazu pomocí stromu souvisejících komponent. Obsahují základní definice z teorie grafů, které jsou pak v další části práce využívány. Na několika příkladech autor ukazuje výhody zvolené reprezentace zobrazené scény.

Třetí kapitola se zabývá vyhodnocením známých algoritmů, které lze využít pro převod obrazu do reprezentace stromem souvisejících komponent, a to jak sériových, tak i paralelních verzí.

Čtvrtá kapitola, která spolu s pátou kapitolou tvoří těžiště celé práce, popisuje popis nového algoritmu tvorby stromu souvisejících komponent. Vychází z původního Menottiova algoritmu a je navržen tak, aby se při jeho implementaci mohlo výrazně uplatnit paralelní činnost. Je nenáročný na zdroje (nízké nároky na paměť, nevyžaduje setřídění vstupních dat) a tak je vhodný pro použití ve vestavěných systémech. V této fázi byl testován simulačním způsobem a výsledku jsou v přehledné formě rovněž uvedeny ve čtvrté kapitole a dokumentovány v grafické podobě. Testy byly prováděny se vstupními obrazy rozdílné složitosti na několika strojích různého výkonu. Jako nevýhodu těchto testů spatřuji v tom, že byly prováděny vlastně na jediné architektuře (X86).

Pátá kapitola je věnována jednak modifikaci navrhovaného algoritmu s ohledem na realizační základnu, vedoucí k vyšší míře paralelní činnosti a pak i návrhu originální paralelní architektury určené k sestrojení stromu souvisejících komponent z výchozí obrazové informace na bázi obvodů FPGA. K popisu architektury byl použit jazyk VHDL, zdrojové texty práce neobsahuje. V práci nejsou zmíněny žádné problémy, které by souvisely

s vlastním návrhem tohoto poměrně složitěho zařízení, i když se dá předpokládat, že patrně musely vzniknout. Domnívám se, že v tomto místě se mohl autor práce se čtenářem více podělit o poznatky, získané právě v procesu návrhu a odlaďování. Uvedeny jsou jen výsledky (benchmarky), které dokumentují úspěšnou implementaci zařízení a v porovnání s jinými implementacemi i vyšší výkon. Většina výsledků je prezentována přehledně grafickou formou.

Seznam publikací autora není nijak rozsáhlý (tři články a jedna prezentace), ale nutno poznamenat, že se jedná o poměrně významné publikace, některé se značným počtem citací.

K práci mám několik připomínek, které ale nejsou zásadního charakteru:

1. Jako trochu omezující (trochu neobjektivní) považuji porovnávání výkonnosti a úspěšnosti algoritmu na strojích jedné architektury. Zajímalo by mne, zda autor uvažoval i jiné typy, např. Cuda, které se v oblasti grafických algoritmů docela úspěšně prosazují.
2. Považoval bych za přínos, kdyby autor nebyl zejména v páté kapitole tolik stručný a věnoval procesu návrhu architektury více prostoru.
3. Jako testovací vstupy byly používány dva statické obrazy rozdílné složitosti. Zajímalo by mne, zda autor uvažoval také zpracování dynamické scény a zda považuje navrženou architekturu způsobilou i pro takové určení.
4. Protože v soupisu publikací vlastně nikde nevystupuje jako jediný autor, považoval bych za vhodné, aby v práci „preventivně“ vymezil svůj podíl na celém návrhu.

Práce je psána v anglickém jazyce a to na velmi dobré úrovni.

Po formální stránce je práce napsána přehledně a srozumitelně. Představuje ucelený přístup k řešení specifického problému a je vyvážená, co se týká teoretické části i praktického návrhu. Pseudokód, který autor použil k popisu algoritmů, je poměrně dobře čitelný a srozumitelný, i když vlastní algoritmy příliš jednoduché nejsou.

Navržené algoritmy, metody zpracování a nakonec i vlastní specializovaná architektura představují přínos pro rozvoj metod zpracování obrazové informace nejen ve vestavěných systémech.

Závěrem konstatuji, že předložená disertační práce a výsledky Ing. Petra Matase splňují požadavky kladené na disertační práce doktorského studijního „Elektronika“ na Fakultě elektrotechnické ZČU v Plzni v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a s čl. 107 odst. 1 a 2 Studijního a zkušebního řádu ZČU. Práci tímto doporučuji k obhajobě.



Doc. Ing. Vlastimil Vavříčka, CSc.

Plzeň 1. června 2014

Nancy le, 6 juin 2014

RAPPORT de Serge WEBER,
Professeur à l'Université de Lorraine
Sur le mémoire présenté par
Petr MATAS

En vue d'obtenir le doctorat de l'Université de Bohême occidentale
et de l'Université de Paris-Est

Titre de la thèse : « Connected Component Tree Construction for Embedded Systems »

Le traitement des images est caractérisé à la fois par des analyses locale de l'image et des analyses globales. Traitements locaux et traitements globaux sont par nature difficiles à concilier. La complexité algorithmique et les performances, en particulier par l'accès aux données, s'en trouvent pénalisés. La représentation récente par arbre de composantes connexes ou Component Connected Tree (CCT) ouvre de nouvelles voies d'exploration dans le sens où elle concilie aussi bien les relations locales et que les relations globales de l'image. La construction des CCT est une tâche très lourde qui demande le plus de temps de calcul dans l'ensemble des tâches de traitement d'images.

Ainsi l'objectif principal de M. Petr Matas est d'étudier les possibilités de parallélisation de la construction du CCT et également la définition et l'évaluation d'une architecture matérielle spécifique capable de réaliser la CCT en un temps très court avec un objectif de minimisation des ressources.

Le rapport de thèse est écrit en anglais. Il est très concis, utilisant au maximum les formalismes mathématiques ou algorithmiques pour présenter les solutions proposées. Il est organisé en 4 chapitres principaux précédé d'un premier chapitre d'introduction et suivi d'une conclusion et de deux annexes complétant les résultats expérimentaux.

Après une introduction fixant les motivations de la thèse et les objectifs visés, le chapitre deux débute avec la définition de la notion d'arbre de composantes connexes (CCT) pour l'image. Une définition formelle associée à quelques illustrations précise bien la représentation CCT. Pour les applications en traitement d'image telles que l'extraction de caractéristiques d'objets des informations supplémentaires peuvent être rattachées à chaque composante connexe de l'image. Ces informations sont appelées attributs et une liste importante de ces attributs et de leur définition précise et formelle est faite dans le paragraphe qui suit. La dernière partie du chapitre porte sur la présentation d'applications comme le filtrage ou la segmentation. Cette partie ne met pas, selon mon opinion suffisamment en avant les avantages de l'utilisation de

la CCT pour aboutir aux résultats comparées aux méthodes directes et plus anciennes. C'est tout particulièrement vrai pour le filtrage qui n'est pas clair à mon sens.

Après avoir défini la représentation CCT et ses applications, le chapitre 3 fait un état de l'art en matière d'implémentation de la transformation, puisque c'est un des objectifs visés par ce travail de recherche. Le chapitre débute par une présentation des 4 grandes classes d'algorithmes pour la construction d'un CCT. L'algorithme par inondation est présenté en détail et complété par une analyse des besoins en ressources mémoire. Une analyse comparative des complexités et besoins en ressources des différentes solutions de la littérature finalise le paragraphe. Enfin l'auteur présente différentes notions qui seront utilisées par la suite concernant l'implémentation parallèle et l'évaluation de l'amélioration des performances, l'accélération ou encore l'efficacité. L'ensemble est assez clair et précis. En conclusion les algorithmes à une dimension sont considérés par M. Matas comme assez prometteurs et il est proposé d'examiner les problématiques liées à la fusion de lignes 1D.

Dans le chapitre 4 il est justement question d'analyser la possibilité d'implémenter de manière parallèle la construction d'un CCT. Le choix s'est porté sur une solution algorithmique de type 1D suivi par un ensemble d'opérateurs de fusion. Le principe est judicieux intuitivement puisqu'il permet a priori de traiter toutes les lignes d'une image en parallèle. Donc potentiellement le parallélisme est très important. Il est même jugé trop important au vu des machines parallèles facilement disponibles qui comportent en général guère plus de 16 cœurs de calcul parallèle. Dans le chapitre précédent il a été fait l'hypothèse qui est vérifiée dans ce chapitre qu'un nombre de thread logiciel supérieur au nombre de thread matériels n'apportait pas d'accélération bien au contraire. Une première partie porte sur la description des blocs de fusion et de construction en ligne. Ces descriptions auraient gagnées à être présentées de manières plus pédagogiques en y associant quelques illustrations en particulier pour la phase de fusion qu'il est difficile d'imaginer.

Ensuite 3 stratégies d'ordonnancement (regroupement de tâches) sont proposées en vue de l'implantation sur machine parallèle. Il est regrettable que la stratégie 3 n'ait pas fait l'objet comme les deux autres d'une illustration. Il est par exemple difficile de comprendre pourquoi cette stratégie intègre un mécanisme d'équilibre de charge et non les autres, tel que c'est indiqué dans le chapitre 5. L'analyse de performance produite ensuite est difficilement vérifiable puisque le détail de son obtention n'est pas donné au lecteur. Le chapitre s'achève avec une analyse expérimentale menée sur une machine à 16 cœurs OPTERON d'AMD et les résultats sont conformes à ce que l'on pouvait attendre. Une accélération de 13,3 est obtenue avec une efficacité d'utilisation des cœurs de 83%.

Dans le dernier chapitre l'objectif est de concevoir une machine dédiée à base de FPGA capable d'effectuer cette représentation de manière rapide et peu coûteuse en ressources. L'approche proposée consiste à traiter l'image par division en P colonnes. Chaque partie étant traitée par l'un des P blocs matériels. Chaque bloc matériel est composé d'une fonction de construction 1D, d'une fonction de fusion, de 2 FIFO de communication et d'une mémoire d'image, de CCT et d'attributs. Un quadruple réseau d'interconnexion relie les P blocs. Le réseau d'accès aux données de la mémoire est très sophistiqué et malgré les tableaux présentés il est très difficile de comprendre les mécanismes qui prévalent à cette organisation d'autant que la fonction de fusion qui est à la source de cette sophistication est elle-même peu explicitée dans les chapitres précédents.

L'architecture est par construction scalable et une analyse fournit des indications sur les ressources nécessaires en fonction de la taille de l'image à traiter. Le chapitre s'achève avec

une expérimentation sur plateforme FPGA XILINX V5. Le prototype en VHDL a porté sur 16 blocs matériels. On peut imaginer que le nombre de 16 a été choisi pour faire une comparaison avec la solution à 16 cœurs OPTERON. Les résultats semblent à la hauteur des attentes. Toutefois, une analyse préliminaire des performances potentielles aurait été intéressante.

Il faut souligner que malgré, des ressources tout à fait raisonnables, l'architecture matérielle proposée est de loin supérieure aux solutions software sur machines parallèles puisque on multiplie par 1,7 la vitesse de traitement avec une horloge système 20 fois plus lente. Il aurait pu être intéressant d'extrapoler ces résultats sur davantage de blocs et analyser où serait le goulet d'étranglement.

Le chapitre 6 est constitué par une conclusion sous forme de synthèse des travaux. Les perspectives proposées se limitent à envisager des applications de filtrage et de segmentation.

En synthèse, le travail présenté est écrit avec précision et avec toute la rigueur scientifique nécessaire et en utilisant le formalisme mathématique adéquat. On peut regretter un manque d'illustrations. Les solutions sont analysées avec rigueur et l'architecture proposée est à la fois originale et performantes. Les travaux ont fait l'objet de publications dans des congrès internationaux à comité de lecture.

Compte-tenu de tous ces éléments positifs d'appréciation, j'émet un avis favorable à la soutenance de thèse de M. Petr Matas.



Serge Weber
Professeur des Universités