

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Patrick Nigri Happ**

**Segmentação de imagens em GPUs: uma abordagem  
paralela para crescimento de regiões**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Raul Queiroz Feitosa  
Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Cristiana Bentes

Rio de Janeiro

Abril de 2011



**Patrick Nigri Happ**

**Segmentação de imagens em GPUs: uma abordagem  
paralela para crescimento de regiões**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.  
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Raul Queiroz Feitosa**  
Orientador  
PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Cristiana Bentes**  
Co-Orientadora  
UERJ

**Prof. Ricardo Farias**  
UFRJ

**Prof<sup>a</sup>. Cristina Nader Vasconcelos**  
UFF

**Prof. José Eugênio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de abril de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

### **Patrick Nigri Happ**

Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas e Computação pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2008) e curso técnico-profissionalizante pelo Instituto de Tecnologia ORT (2003). Desenvolve pesquisas na área de Visão Computacional, principalmente sobre interpretação automática de imagens baseada em conhecimento.

#### Ficha Catalográfica

Happ, Patrick Nigri

Segmentação de imagens em GPUs : uma abordagem paralela para crescimento de regiões / Patrick Nigri Happ ; orientador: Raul Queiroz Feitosa ; co-orientadora: Cristiana Bentes. – 2011.

88 f. : il. (color.) ; 29,7 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Processamento de imagens. 3. Processamento paralelo. 4. GPU. 5. Sensoriamento remoto. I. Feitosa, Raul Queiroz. II. Bentes, Cristiana. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

À memória de minha mãe.  
À minha namorada Aline

## Agradecimentos

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta auxiliariam na execução dessa Dissertação de Mestrado e em especial:

Aos meus orientadores, Prof. Raul Queiroz Feitosa e Prof.<sup>a</sup> Cristiana Bentes, pela dedicação, contribuições e também pela cobrança.

Ao CNPq e à PUC-Rio pelos auxílios prestados, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha namorada Aline por toda ajuda, incentivo, paciência, amor, carinho e compreensão.

À minha mãe Faride (*in memoriam*) por ser fonte de inspiração e ter me tornado quem sou.

Ao meu irmão Philippe pelo apoio constante.

Aos meus colegas do Laboratório de Visão Computacional (LVC) da PUC-Rio.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam e me ajudaram para que este trabalho pudesse ser concluído.

## Resumo

Happ, Patrick Nigri; Feitosa, Raul Queiroz; Bentes, Cristiana. **Segmentação de imagens em GPUs: uma abordagem paralela para crescimento de regiões**. Rio de Janeiro, 2011. 88p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Ultimamente, sensores orbitais de alta resolução espacial estão fornecendo uma quantidade crescente de dados sobre a superfície da Terra. A análise destes dados implica em uma alta carga computacional, que tem motivado pesquisas envolvendo hardwares e softwares mais eficientes para estas aplicações. Neste contexto, uma questão importante reside na segmentação de imagens que envolve longos tempos de processamento e é etapa fundamental na análise de imagens baseada em objetos. Os avanços recentes das modernas unidades de processamento gráfico ou GPUs abriram a possibilidade de se explorar a capacidade de processamento paralelo para melhorar o desempenho da segmentação. Este trabalho apresenta uma versão paralela do algoritmo de segmentação multicritério, introduzido originalmente por Baatz e Schäppe (2000), concebido para ser executado por GPUs. A arquitetura do hardware subjacente consiste em um sistema massivamente paralelo com múltiplos elementos processadores projetado especialmente para o processamento de imagens. O algoritmo paralelo é baseado no processamento de cada pixel em uma diferente linha de controle (*thread*) de modo a aproveitar a capacidade paralela da GPU. Esta dissertação também sugere alterações no cálculo de heterogeneidade do algoritmo, o que aumenta o desempenho computacional da segmentação. Os experimentos com o algoritmo paralelo proposto apresentaram uma aceleração maior do que 7 em relação à versão seqüencial.

## Palavras-chave

Processamento de Imagens; Processamento Paralelo; GPU; Sensoriamento Remoto

## Abstract

Happ, Patrick Nigri; Feitosa, Raul Queiroz (Advisor); Bentes, Cristiana (Co-Advisor). **Image segmentation on GPUs: a parallel approach to region growing**. Rio de Janeiro, 2011. 88p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Lately, orbital sensors of high spatial resolution are providing an increasing amount of data about the Earth surface. Analysis of these data implies in a high computational load, which has motivated researches on more efficient hardware and software for these applications. In this context, an important issue lies in the image segmentation that involves long processing times and is a key step in object based image analysis. The recent advances in modern programmable graphics units or GPUs have opened the possibility of exploiting the parallel processing capabilities to improve the segmentation performance. This work presents a parallel version of the multicriterion segmentation algorithm, introduced originally by Baatz & Schäppe (2000), implemented in a GPU. The underlying hardware architecture consists of a massive parallel system with multiple processing elements designed especially for image processing. The parallel algorithm is based on processing each pixel as a different thread so as to take advantage of the fine-grain parallel capability of the GPU. In addition to the parallel algorithm, this dissertation also suggests a modification to the heterogeneity computation that improves the segmentation performance. The experiments under the proposed parallel algorithm present a speedup greater than 7 in relation to the sequential version.

## Keywords

Image Processing; Parallel Processing; GPU; Remote Sensing

## Sumário

1	Introdução	13
1.1.	Motivação	14
1.2.	Objetivos	15
1.3.	Estrutura da dissertação	16
2	Trabalhos relacionados	17
2.1.	Abordagens paralelas para segmentação de imagens	17
2.2.	Abordagens paralelas para crescimento de regiões	18
2.3.	Abordagens paralelas aplicadas a GPUs	19
3	Fundamentos teóricos	21
3.1.	Segmentação de imagens	21
3.1.1.	Segmentação por descontinuidades	21
3.1.2.	Segmentação por similaridades	22
3.2.	Modelo de segmentação utilizado	25
3.2.1.	Cálculo dos atributos de forma	27
3.2.2.	Heurísticas de decisão para fusão de segmentos	30
3.3.	Ajuste de Parâmetros	31
3.3.1.	Algoritmos genéticos	31
3.3.2.	Função de disparidade	32
3.4.	Computação paralela	33
3.4.1.	Máquinas paralelas	33
3.4.2.	Processadores paralelos	36
3.5.	GPUs	36
3.5.1.	Arquitetura de GPU	37
3.5.2.	Programação em GPUs	39
4	Metodologia	42
4.1.	Alteração na estrutura de dados	42
4.2.	Algoritmo paralelo	44

4.3. Versão PBF	45
4.3.1. Função <i>Inicializar Sementes</i>	45
4.3.2. Função <i>Encontrar Vizinhos</i>	45
4.3.3. Função <i>Realizar Fusões</i>	46
4.3.4. Função <i>Redefinir Segmentos</i>	47
4.3.5. Função <i>Recalcular Bordas</i>	47
4.3.6. Função <i>Escrever Imagem</i>	47
4.4. Versão PLMBF	48
4.5. Cálculo dos atributos espaciais	49
4.6. Supersegmentação no modelo de melhor vizinho mútuo	50
5 Análise experimental e resultados	53
5.1. Impacto da substituição de atributos de forma	53
5.1.1. Base de dados	54
5.1.2. Ferramenta de avaliação	55
5.1.3. Resultados e discussões	55
5.2. Comparação das segmentações seqüenciais e paralelas	57
5.2.1. Base de dados	57
5.2.2. Ferramentas de avaliação	58
5.2.3. Resultados e discussões	58
5.3. Aceleração das versões paralelas em relação às seqüenciais	62
5.3.1. Ambientes de teste	62
5.3.2. Base de dados	62
5.3.3. Configuração de <i>threads</i> por blocos	67
5.3.4. Parâmetros de segmentação	70
5.3.5. Resultados e discussões	71
6 Conclusão	78
6.1. Trabalhos futuros	79
6.2. Considerações finais	79
Referências bibliográficas	81

## Lista de figuras

Figura 3.1 Etapa de divisão ao longo das iterações	24
Figura 3.2. Etapa de união ao longo das iterações	24
Figura 3.3. Esquema da segmentação por divisor de águas	25
Figura 3.4. Um objeto com comprimento de borda igual a 20 representado em vermelho.	28
Figura 3.5. Um objeto com área igual a 7.	28
Figura 3.6. Definição do retângulo envolvente mínimo de um objeto através da elipse ajustada.	30
Figura 3.7. Esquema da arquitetura SISD	34
Figura 3.8. Esquema da arquitetura SIMD	34
Figura 3.9. Esquema da arquitetura MISD	35
Figura 3.10. Esquema da arquitetura MIMD	35
Figura 3.11. Esquema genérico de um multiprocessador da GPU (SM)	38
Figura 3.12. Hierarquia de grade de blocos de threads presente na GPU	39
Figura 3.13. Hierarquia de memória na GPU	40
Figura 3.14. Esquema de processamento alternado entre CPU (seqüencial) e GPU (paralelo)	41
Figura 4.1. Estrutura de dados contendo características do pixel e do segmento	43
Figura 4.2. Esquema do algoritmo paralelo de segmentação	44
Figura 4.3. Exemplo de caso onde há problemas de crescimento devido a erro de arredondamento	51
Figura 5.1. Recorte utilizado para avaliação dos atributos de forma.	54
Figura 5.2. Conjuntos de referências: homogêneos (esq.), heterogêneos (centro) e mesclados (dir.)	55
Figura 5.3. Resultado da segmentação utilizando os parâmetros <b>Comp</b> e <b>Svd</b> para objetos homogêneos (a), heterogêneos (b) e mesclados (c) e utilizando os parâmetros <b>CompRuss</b> e <b>SolRuss</b> também para objetos homogêneos (d), heterogêneos (e) e mesclados (f).	56
Figura 5.4. Imagem denominada Refinaria	57

Figura 5.5. Imagem Refinaria após rebatimento horizontal	58
Figura 5.6. Resultado da segmentação no Definiens para imagem original (cima) e rebatida (baixo). Retângulos em azul representam áreas com diferenças.	59
Figura 5.7. Resultado da segmentação no SPRING para imagem original (cima) e rebatida (baixo). Retângulos em azul representam áreas com diferenças.	60
Figura 5.8. Resultado da segmentação no segmentador proposto: versão seqüencial (cima) e paralela (baixo). Retângulos em azul representam áreas com diferenças.	61
Figura 5.9. Imagem de teste Resende_4300	63
Figura 5.10. Imagem de teste Quadra	65
Figura 5.11. Imagem de teste Serra	65
Figura 5.12. Imagem de teste Morros	66
Figura 5.13. Imagem de teste Maracanã	66
Figura 5.14. Imagem de teste Rio das Pedras	67
Figura 5.15. Aceleração do grupo de recortes da imagem Resende para o ambiente Win_9600 utilizando Melhor Vizinho.	71
Figura 5.16. Aceleração do grupo de recortes da imagem Resende para o ambiente Win_9600 utilizando Melhor Vizinho Mútuo.	72
Figura 5.17. Aceleração do grupo de recortes da imagem Resende para o ambiente Lnx_Tesla utilizando Melhor Vizinho.	73
Figura 5.18. Aceleração do grupo de recortes da imagem Resende para o ambiente Lnx_Tesla utilizando Melhor Vizinho Mútuo.	73
Figura 5.19. Aceleração do grupo de diferentes imagens para o ambiente Win_9600 utilizando Melhor Vizinho	74
Figura 5.20. Aceleração do grupo de diferentes imagens para o ambiente Win_9600 utilizando Melhor Vizinho Mútuo	75
Figura 5.21. Aceleração do grupo de diferentes imagens para o ambiente Lnx_Tesla utilizando Melhor Vizinho	75
Figura 5.22. Aceleração do grupo de diferentes imagens para o ambiente Lnx_Tesla utilizando Melhor Vizinho Mútuo	76

## Lista de tabelas

Tabela 5.1. Valor da disparidade por parâmetros utilizados e tipos de objetos	56
Tabela 5.2. Recortes da imagem Resende e seus respectivos tamanhos	63
Tabela 5.3. Imagens de teste e seus respectivos tamanhos	64
Tabela 5.4. Tempo de Execução por número de <i>threads</i> por bloco para PBF em Win_9600.	68
Tabela 5.5. Tempo de Execução por número de <i>threads</i> por bloco para PLMBF em Win_9600.	68
Tabela 5.6. Tempo de Execução por número de <i>threads</i> por bloco para PBF em Lnx_Tesla.	69
Tabela 5.7. Tempo de Execução por número de <i>threads</i> por bloco para PLMBF em Lnx_Tesla.	69
Tabela 5.8. Número de <i>threads</i> por bloco por ambiente e método para cada <i>kernel</i> .	70
Tabela 5.9. Valores utilizados para os parâmetros de segmentação.	70