# Mudança de Estrutura de Representação de Operadores em Morfologia Matemática

Ronaldo Fumio Hashimoto

TESE APRESENTADA
AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR
EM
MATEMÁTICA APLICADA

Área de Concentração: **Ciência da Computação**
Orientador: **Prof. Dr. Junior Barrera**

—São Paulo, julho de 2000—

# Mudança de Estrutura de Representação de Operadores em Morfologia Matemática

Este exemplar corresponde à redação
final da tese devidamente corrigida
e defendida por Ronaldo Fumio Hashimoto
e aprovada pela comissão julgadora.

São Paulo, 11 de agosto de 2000.

Banca examinadora:

- Prof. Dr. Junior Barrera (orientador) - IME-USP
- Profa. Dra. Cristina Gomes Fernandes - IME-USP
- Prof. Dr. Gerald Jean Francis Banon - DPI-INPE
- Prof. Dr. Nelson Delfino d'Avila Mascarenhas - DC-UFSCar
- Prof. Dr. Roberto de Alencar Lotufo - DCA-UNICAMP

“Depois de uma longa jornada, o viajante pára, às vezes, e volvendo os olhos para trás, contempla mais uma vez todo caminho andado, revivendo as emoções passadas. Isto lhe dá novo alento para prosseguir a caminhada corajosamente. Assemelhamo-nos a ele. Já percorremos um trecho do caminho. O mundo da ‘ciência’ já não é terra tão estranha para nós. Passo por passo, aprendemos a conhecê-la e amá-la melhor.”

*Para Angélica e Beatriz*

# Agradecimentos

Tenho certeza de que há muitas pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, e que não é possível enumerá-las todas aqui. Mas, gostaria de agradecer de uma forma muito especial:

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Junior Barrera, pela sugestão do problema, pela excelente orientação, pelas discussões, pelo apoio nos momentos difíceis, pelos "puxões de orelha" quando necessário, pela paciência e compreensão durante todo o doutorado.

Ao Prof. Serra, que me abriu as portas para passar quase um ano no "Centre de Morfologie Mathématique (CMM) de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris", em Fontainebleau. Foi um período muito enriquecedor, tanto no aspecto humano como profissional.

Ao Prof. Jeulin, pela orientação no trabalho de classificação de texturas de amostras de revestimento de paredes. Ao Antoine Aubert, pela prestativa ajuda e paciência durante o meu estágio no CMM.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação, que contribuíram para a minha formação acadêmica.

À minha esposa Angélica e à minha filha Beatriz, pela compreensão, pelo apoio e pela presença constante durante os momentos cruciais do meu doutorado.

Aos amigos de Fontainebleau, em especial modo às famílias Gérard e Brigitte, Flavio e Sylvie, que sempre se mostraram muito hospitaleiras. Não poderia deixar de citar também a família Pires que, em Fontainebleau, sempre apoiou a minha estadia por lá.

Ao José, que sempre me mostrou que todo trabalho é digno de ser bem feito.

À Mariana, pela demonstração de carinho e pela companhia durante todo este doutorado.

À Dona Mira, pela paciência nas aulas de francês.

A todos meus amigos, que souberam me apoiar durante a realização deste trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para a realização do doutorado sanduíche na França.

E finalmente, aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e contribuições que enriqueceram bastante esta tese.

**A todos, meu muito obrigado!**

# Resumo

A área de Visão Computacional tem como objetivo principal a extração de informação a partir de imagens digitais. Uma das técnicas mais promissoras para abordar este problema é a Morfologia Matemática.

O paradigma central da Morfologia Matemática é a decomposição de operadores entre reticulados completos em termos de um conjunto de operadores elementares da Morfologia Matemática, que pode ser descrito através de uma linguagem formal, a Linguagem Morfológica. Uma implementação da Linguagem Morfológica é chamada de Máquina Morfológica e um programa da Máquina Morfológica é uma implementação de um operador para esta máquina.

Assim, resolver um problema de Visão Computacional por Morfologia Matemática pode ser entendido como encontrar uma frase da Linguagem Morfológica (ou equivalentemente, um programa para uma Máquina Morfológica), que seja capaz de extrair a informação desejada.

Para uma frase da Linguagem Morfológica, pode existir um número infinito de outras frases (da Linguagem Morfológica) que são sinônimas, ou seja, diferentes frases podem expressar um mesmo operador.

Um teorema chave em Morfologia Matemática é o seguinte: qualquer operador entre reticulados completos pode ser decomposto em termos de um conjunto de operadores elementares da Morfologia Matemática. Este teorema foi provado pela apresentação de duas expressões canônicas de decomposição, chamadas de sup-decomposição e inf-decomposição, que têm uma estrutura puramente paralela.

Neste trabalho apresentamos resultados no sentido de, dada uma representação canônica de um operador entre reticulados que resolve um problema de Visão Computacional, encontrar uma frase da Linguagem Morfológica que envolva um número mínimo de operadores elementares. Este problema é extremamente complexo e o abordamos utilizando técnicas de Otimização Combinatória (como, por exemplo, método de "branch and bound" e estratégia gulosa).

Como a representação canônica tem uma estrutura puramente paralela e representações seqüenciais são usualmente mais eficientes em máquinas seqüenciais convencionais, apresentamos resultados no sentido de mudar a representação canônica para estruturas seqüenciais.

# Abstract


The main aim of Computer Vision problems is the extraction of information from digital images. A powerful technique to solve these problems is Mathematical Morphology.

A central paradigm in Mathematical Morphology is the decomposition of operators between Complete Lattices by a set of elementary operators of Mathematical Morphology. This paradigm can be formalized by the use of a formal language, called the Morphological Language. An implementation of the Morphological Language is called Morphological Machine and a program for a Morphological Machine is just an implementation of an operator for this machine.

Therefore, solving a problem of Computer Vision by Mathematical Morphology can be understood as finding a phrase of the Morphological Language (or equivalently, a program for a Morphological Machine) that can extract the desired information.

A phrase of the Morphological Language can have infinite synonymous phrases (of the Morphological Language), that is, different phrases can express the same operator.

A key theorem in Mathematical Morphology is the following: any operator between Complete Lattices can be decomposed by a set of elementary operators of Mathematical Morphology. This theorem was proved by showing two canonical structures called sup-decomposition and inf-decomposition. These canonical structures are strongly parallel.

In this work, we formalize and present results for the following problem: given an operator between Complete Lattices that solves a problem of Computer Vision, from its sup-decompositon (or inf-decompositon), find a synonymous phrase of the Morphological Language that has a minimal number of elementary operators. This problem is extremely complex and we study it by using Combinatorial Optimation techniques (for example, branch and bound method and greedy strategy).

Since the sup-decomposition and inf-decomposition of an operator have parallel structures and sequential representations are usually more efficient for computation in conventional sequential machines, we present techniques for transforming the canonical decompositions into purely sequential decompositions.