Capítulo 1

Introdução

1.1 Visão Computacional

A área de Visão Computacional tem como objetivo principal a extração de informação a partir de imagens digitais. Historicamente, este problema vem sendo abordado por um conjunto de técnicas de naturezas diversas: filtragem linear, reconhecimento de padrões, teoria da informação, modelagem estatística, etc. [5, 16, 31]. Dentre essas técnicas, uma das mais promissoras é a Morfologia Matemática (MM) [41, 42].

1.2 Morfologia Matemática

A MM, fundada por J. Serra e G. Matheron nos anos sessenta, tornou-se uma disciplina muito importante na área de Visão Computacional. Seu domínio de atuação cobre um largo espectro de aplicações em Processamento de Imagens que vai desde o tratamento de imagens microscópicas até o processamento de imagens de satélites, passando por aplicações industriais, médicas, automação de escritório, etc. [41, 42].

O paradigma central da MM é a decomposição de operadores entre reticulados completos em termos de um conjunto de operadores elementares da MM, que pode ser descrito através de uma linguagem formal, a Linguagem Morfológica (LM) [9]. Uma implementação da LM é chamada de Máquina Morfológica (MaqM) [8, 9] e um programa da MaqM é uma implementação de um operador para esta máquina.

Assim, resolver um problema de Visão Computacional por MM pode ser entendido como encontrar uma frase da LM (ou equivalentemente, um programa para uma MaqM), que seja capaz de extrair a informação desejada.

Classicamente, a tarefa de criar programas para MaqM's é realizada empiricamente, baseada na experiência do analista no uso de operadores da MM. Embora esta metodologia tenha trazido muitos resultados práticos, que evidenciam a potencialidade da MM, ela restringe o universo de usuários capazes de criarem novos programas para MaqM's aos especialistas em MM.

Para permitir que especialistas em áreas de aplicação (médicos, geólogos, astrônomos, etc.), que não têm grande conhecimento em MM, possam independentemente programar MaqM's, começam a ser pesquisadas técnicas para geração automática de programas para MaqM's [10, 11]. O princípio básico dessas técnicas consiste em:

(1) descrever os operadores em estruturas de representação de conhecimento de alto nível de abstração;

(2) traduzir automaticamente a descrição de alto nível dos operadores em uma frase da LM;

(3) Buscar uma representação econômica da frase da LM estimada no Passo (2), ou seja, uma outra frase equivalente de tal forma que o número de operações executadas pela MaqM seja menor possível.

A teoria apresentada neste trabalho é útil para efetuar o Passo (3). Para um estudo mais aprofundado dos Passos (1) e (2) veja os trabalhos [10, 11, 12].

Para uma frase da LM, podem existir um número infinito de outras frases (da LM) que são sinônimas, ou seja, diferentes frases podem expressar um mesmo operador [12]. Dessa forma, estamos interessados em encontrar uma estrutura de representação otimizada do operador estimado, no sentido de envolver operadores elementares de tal forma que o número de operações executadas pela MaqM seja mínimo. No caso geral, este problema é de complexidade exponencial.

1.2.1 Decomposição Canônica de Operadores

Um teorema chave em MM é o seguinte: qualquer operador entre reticulados completos pode ser decomposto em termos de um conjunto de operadores elementares da MM. Este teorema foi provado pela apresentação de duas expressões canônicas de decomposição, que têm uma estrutura puramente paralela [6, 7].

Este resultado garante a completude da LM para expressar operadores entre reticulados completos, isto é, ele garante que qualquer operador entre reticulados completos pode ser programável em uma MaqM.

Por outro lado, as formas canônicas de representação nem sempre constituem a estrutura de decomposição mais adequada para representar operadores. De fato, são conhecidos muitos exemplos de decomposição de operadores particulares, com estruturas seqüenciais de operadores elementares de modo que o número de operações executadas pela MaqM é consideravelmente menor [7, 6].

1.2.2 Otimização da Estrutura de Decomposição

Os operadores elementares usados na decomposição canônica são caracterizados por uma coleção de intervalos fechados, conhecida como base do operador [12]. Barrera e Salas [12] estudaram operações sobre intervalos fechados para geração automática de frases da LM. Estas operações podem ser utilizadas para construir a base de um operador a partir de uma representação desse operador por uma frase da LM. Uma aplicação deste estudo é verificar se frases da LM são sinônimas, uma vez que qualquer representação pode ser reduzida à base que determina unicamente o operador [12]. Agora, o problema inverso, ou seja, a transformação da representação canônica em outras estruturas de representação que usam operadores elementares de forma que o número de operações na MaqM seja mínimo, no caso geral, é extremamente complexo, mas tem um papel importante em programação automática de MaqM's.

Dois operadores elementares da MM são a dilatação e a erosão. Esses operadores, quando invariantes por translação, são caracterizados por um elemento estruturante, e em algumas MaqM's a eficiência de um programa depende fortemente do tamanho desses elementos estruturantes. Desta forma, muitos pesquisadores têm estudado a decomposição de um elemento estruturante por somas de Minkowski e proposto diferentes algoritmos. Xu [49] desenvolveu um algoritmo para encontrar uma decomposição ótima de elementos estruturantes convexos e Park e Chin [35] propuseram um algoritmo para elementos estruturantes 8-conexos e sem "buracos". Estudamos o problema de decompor elementos estruturantes e propomos um algoritmo guloso para decompor elementos estruturantes convexos e um outro algoritmo que usa a estratégia de "branch and bound" para decompor elementos estruturantes arbitrários.

1.3 Contribuição e Organização da Tese

O problema geral de mudança da representação canônica em outras estruturas de representação que usam operadores elementares de forma que o número de operações na MaqM seja mínimo foi pouco explorado até o presente momento. Na literatura encontramos poucas referências a respeito deste problema. Dessa forma, a principal contribuição deste trabalho é fazer um estudo detalhado e bem acabado deste problema e abrir, ou indicar, caminhos para pesquisas futuras nesta área ainda pouco explorada.

Nesta tese, os capítulos estão organizados da seguinte forma. Seguindo a introdução, neste capítulo, o Capítulo 2 introduz a base matemática para a compreensão da pesquisa desenvolvida nesta tese. No Capítulo 3, descrevemos alguns aspectos do estado da arte em MM no que se refere à decomposição de operadores entre reticulados completos e à transformação de estruturas de decomposição. No Capítulo 4, apresentamos os fundamentos matemáticos para se obter uma decomposição de um elemento estruturante e que servem de apoio para os Capítulos 5, 6 e 7. No Capítulo 5 apresentamos um algoritmo guloso para decompor elementos estruturantes convexos. No Capítulo 6, mostramos que o algoritmo de Park e Chin [35] é limitado, pois ele não é capaz de decompor três famílias infinitas de elementos estruturantes decomponíveis simplesmente conexos. No Capítulo 7, apresentamos um algoritmo que usa uma estratégia de "branch and bound" para decompor elementos estruturantes arbitrários. No Capítulo 8, apresentamos uma nova representação mais compacta (ou seja, que utiliza um número menor de operadores elementares) que a decomposição na forma canônica. No Capítulo 9, formalizamos e apresentamos um algoritmo para transformar uma decomposição canônica de um operador (que tem uma estrutura puramente paralela) em representações puramente seqüenciais do mesmo operador (quando elas existem). Finalmente, no Capítulo 10, concluimos e discutimos algumas possíveis direções para pesquisas futuras.

Esta tese possui ainda dois apêndices. No Apêndice A mostramos um exemplo de aplicação de transformações morfológicas para classificação de texturas de revestimento de paredes. E no Apêndice B, apresentamos as publicações decorridas deste trabalho.

A partir do Capítulo 4, todos resultados são contribuições originais desta tese.