MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

UMA ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS NEBULOSOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS UTILIZANDO OPERADORES DA MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Ronei Marcos de Moraes

Tese de Doutorado em Computação Aplicada, orientada pelo Dr. Gerald Jean Francis Banon e pela Dra. Sandra Aparecida Sandri, aprovada em fevereiro de 1998.

INPE
São José dos Campos - SP
Fevereiro de 1998

RESUMO

Neste trabalho propomos uma arquitetura de sistemas especialistas nebulosos para classificação de imagens. Nestes sistemas, as regras são construídas através de operadores da Morfologia Matemática invariantes a translação. A tradução das regras em seqüências de operadores da Morfologia Matemática é mostrada detalhadamente. Um sistema especialista com essa arquitetura é aplicado a uma área na Floresta Nacional do Tapajós, no estado brasileiro do Pará. Os resultados da classificação são comparados com uma imagem classificada visualmente.

A FUZZY EXPERT SYSTEMS ARCHITETURE FOR IMAGE CLASSIFICATION USING MATHEMATICAL MORPHOLOGY OPERATORS

ABSTRACT

In this work, we propose a fuzzy expert system architeture for image classification. In these expert systems, the rules are constructed through translation invariant Mathematical Morphology operators. The rule translation into Mathematical Morphology operators sequences is shown in details. An expert system constructed with this architeture is applied to area of Tapajós National Florest, in the Brasilian state of Pará. The classification results are compared with a visually classified image.

Sumário

pág

Lista de Figuras xv
Lista de Tabelas xvii

1 Introdução 1

2 Aspectos Gerais 3
2.1 Teoria dos Conjuntos Nebulosos ("Fuzzy Sets")..... 3
2.1.1 O que são “Fuzzy Sets” 3
2.1.2 Operações com Conjuntos Nebulosos 5
2.2 Sistemas Especialistas 8
2.3 Conceitos da Morfologia Matemática 14
2.3.1 A Função Distância 18
2.3.2 A Limiarização 20
2.3.3 A Abertura por Reconstrução 21
2.3.4 O Sup-gerador 21
2.4 O Sistema Khoros 21
2.5 Os Tipos de Classificação de Imagens 22
2.5.1 A Classificação Visual de Imagens 23
2.5.2 Classificação Assistida por Sistema Especialista 24

3 Sistemas especialistas para classificação de imagens 27
3.1 O Sistema de Interpretação de Imagens ICARE 28
3.2 Considerações Sobre o Sistema ICARE 38

4 Proposta de Um Sistema Especialista para Classificação de Imagens 41
4.1 A Arquitetura do Sistema 42
4.2 Considerações para a Implementação Usando Morfologia Matemática 49
4.2.1 A Modelagem das Regras 50

5 Utilização da Arquitetura Proposta 57
5.1 A Floresta Nacional do Tapajós 57
5.2 A Classificação Visual da Área 60
5.3 As Tabelas de Conhecimento 60
5.4 A Implementação das Regras 64
5.4.1 Isolando Atributos da Imagem 64
5.4.2 As Áreas Classificadas 87

6 Comparação com um mapa de referência 89
6.1 Os coeficientes de comparação 89
6.1.1 O Coeficiente de Exatidão Global 92
6.1.2 O Coeficiente Kappa 92

6.1.3 O Coeficiente Tau 93
6.2 Resultados 94

7 Conclusões Finais e Sugestões 97
7.1 Conclusões Finais 97
7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros 99

Referências Bibliográficas 101

Apêndice A - As Bandas do Satélite Landsat 109

Apêndice B - As Imagens Utilizadas 113

Lista de Figuras

pág

2.1 Raciocínio nebuloso simplificado com uma regra e com implicação ∇=~A$\vee$B e ∇=min, e com exemplo de 3 fatos precisos $x^* = x_i$. 12
2.2 Agregação com $\Diamond$=max para a função de implicação ∇=min 13
2.3 Transformação sobre imagens 15
2.4 Exemplos de operadores morfológicos elementares 16
2.5 Exemplos de alguns operadores morfológicos de dupla função 17
2.6 Aplicação da função distância a uma imagem binária com três círculos no Khoros 1.0.5 19
2.7 A função distância em termos de operadores morfológicos 20

3.1 Diagrama geral de um sistema de interpretação de imagens 29
3.2 As três fases do sistema ICARE 39
3.3 Diagrama de cálculo de appar(x,y) 40

4.1 Raciocínio nebuloso quando a implicação é A$\wedge$B e a agregação é dada pelo max 45
4.2 Seqüência de operações no Khoros representando um sistema especialista, com ∇=min e $\Diamond$=max 46
4.3 Seqüência de operações no Khoros 1.0.5 sobre uma imagem 48

5.1 Localização do Parque Nacional do Tapajós no Pará (fonte: Projeto RADAMBRASIL, 1983) 58
5.2 Composição colorida RGB da imagem da Floresta Nacional do Tapajós sobre a cidade de Aveiro 59
5.3 Resultado da classificação visual 61
5.4 Legenda da classificação da figura 5.3 61
5.5 “Workspace” que gera a classificação para uma imagem com quatro bandas 65
5.6 “Workspace” que extrai o atributo Rio da imagem 69
5.7 “Workspace” que obtém a componente Direita do Rio 69
5.8 “Workspace” que extrai o atributo Margem Direita do Rio 70
5.9 “Workspace” que extrai o atributo Área Antropizada 72
5.10 “Workspace” que extrai o atributo Cidade de Aveiro 74
5.11 “Workspace” que extrai o sub-atributo Floresta Ombrófila Densa Submontana 75
5.12 “Workspace” que extrai o atributo Drenagem Densa (regras R_8 e R_9) . 77
5.13 “Workspace” que implementa a segmentação no Khoros 2.1 78
5.14 Operadores que compõem a “caixinha” Componentes Conexas 79
5.15 “Workspace” que isola o atributo Floresta Aluvial 82
5.16 “Workspace” que isola o atributo Área de Contato de formações pioneiras com floresta 84

5.17 “Workspace” que isola o atributo Áreas de Mistura 86

6.1 Resultado final da classificação 90
6.2 Legendasda classificação da figura 6.1 91
6.3 Localização espacial dos erros de classificação 91

A.1 O satélite LANDSAT 109

Lista de Tabelas

pág

2.1 T-norams e T-conorams duais 6
2.2 Operadores de implicação 7
3.1 Exemplo de conhecimento sobre uma determinada zona ecoflorística por dados ecológicos e florísticos 30
3.2 Exemplo de conhecimento sobre uma determinada zona ecoflorística por dados de vegetação 31
5.1 Conhecimento do especialista sobre uma determinada classe, por dados de vegetação, localização e teledetecção 62
6.1 Matriz de erros da imagem classificada em relação à imagem de referência 94
6.2 Coeficiente de exatidão para as classes na imagem classificada 94
6.3 Valores percentuais dos coeficientes e respectivas variâncias por coeficiente 95
A.1 Características das bandas espectrais do satélite Landsat 5 e suas aplicações 110