

DETECÇÃO DE MUDANÇAS NA SUPERFÍCIE TERRESTRE USANDO IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

Thales Alfredo de Avila Carneiro

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Computação – Área de Concentração Geomática.

Orientadora: Maria Luiza Fernandes Velloso

Co-orientador: Flávio Joaquim de Souza

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Rio de Janeiro
Setembro – 2004

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os amigos do mestrado pelo companheirismo e auxílio prestado nos momentos de maior dificuldade e pela imprescindível confiança que depositaram em mim desde o início do curso.

Aos meus orientadores e amigos, Flávio Joaquim de Souza e Maria Luiza Fernandes Velloso, pelo excelente Tema de Dissertação que propuseram e pela constante cooperação e incentivo.

À amiga Angela Belmiro pelo apoio e pela revisão do texto.

Resumo da Dissertação apresentada à FEN/UERJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

DETECÇÃO DE MUDANÇAS NA SUPERFÍCIE TERRESTRE USANDO IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

Thales Alfredo de Avila Carneiro

Setembro/2004

Orientadora: Maria Luiza Fernandes Velloso, DSc., UERJ.

Co-orientador: Flávio Joaquim de Souza, DSc., UERJ.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação – Área de Concentração Geomática.

Esta dissertação tem o objetivo de propor uma metodologia para a detecção de mudanças na superfície terrestre, a partir de imagens multiespectrais e multitemporais de sensoriamento remoto, empregando técnicas de inteligência computacional para gerar uma imagem com a classificação das áreas de ocorrência de mudanças e das áreas onde não ocorreu mudança na superfície da Terra. Avaliaram-se duas metodologias de detecção de mudanças: abordagem com pré-classificação espectral e abordagem pós-classificação. Nas duas metodologias foi inicialmente realizado um procedimento de correção radiométrica relativa, através de uma regressão não paramétrica. A abordagem com pré-classificação espectral, que se mostrou mais eficaz na detecção das mudanças, foi implementada pela técnica denominada análise do vetor mudança (CVA, *Change Vector Analysis*) e pelo algoritmo de rede neural por centróide (CNN, Centroid Neural Network).

Palavras-chave: Detecção de mudanças, Processamento Digital de Imagem, Redes Neurais.

Abstract of the dissertation presented to FEN/UERJ as part of the necessary requirements to obtain the degree of Master in Science.

CHANGE DETECTION ON THE EARTH SURFACE USING REMOTE SENSING IMAGES AND COMPUTER INTELLIGENCE TECHNICS

Thales Alfredo de Avila Carneiro

September/2004

Advisors: Maria Luiza Fernandes Velloso, DSc., UERJ

Flávio Joaquim de Souza, DSc., UERJ

Post Graduation Program in Computer Engineering – Field: Geomatics.

This dissertation proposes a methodology to assess change detection on the Earth surface using remote sensing multispectral and multitemporal images, applying computer intelligence technics to generate an image with the classification of the areas where changes have occurred and the areas where changes have not occurred on the Earth surface. Two change detection methodologies were analyzed: spectral pre-classification approach and post-classification approach. In these two methodologies a relative radiometric correction procedure was performed at first, by means of a non parametric regression. Spectral pre-classification approach, which proved to be more accurate in detecting changes, was implemented by the CVA-Change Vector Analysis technic and by algorithm CNN- Centroid Neural Network.

Keywords: Change detection, Image Digital Processing, Neural Network..

SUMÁRIO

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Sumário	v
Lista de abreviaturas e siglas.....	vii
Lista de símbolos.....	viii
1. Introdução.....	1
1.1 Justificativas.....	1
1.2 Motivações.....	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Descrição do Trabalho	3
1.5 Organização da Dissertação	5
2. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto	6
2.1 Sensoriamento Remoto	6
2.2 Processamento Digital de Imagem	9
2.3 Imagens de Sensoriamento Remoto	10
2.3.1 Estrutura das Imagens de Sensoriamento Remoto	10
2.3.2 Resolução das Imagens de Sensoriamento Remoto	12
2.3.2.1 Resolução Espacial	12
2.3.2.2 Resolução Espectral	13
2.3.2.3 Resolução Radiométrica	15
2.3.2.4 Resolução Temporal	16
2.4 Pré-processamento de Imagens	17
2.4.1 Correção Radiométrica	18
2.4.2 Correção Geométrica e Registro de Imagem	18
2.4.2.1 Transformação Baseada no Modelo de Geometria Orbital	19
2.4.2.2 Transformação Baseada em Pontos de Controle no Terreno	19
2.4.2.3 Registro de Imagem	20
3. Redes Neurais Artificiais	21
3.1 Definição de uma Rede Neural Artificial	21
3.2 Modelo do Neurônio Artificial	22
3.3 Topologia das Redes Neurais Artificiais	25
3.4 Processo de Aprendizado de uma Rede Neural Artificial	25
3.4.1 Paradigmas de Aprendizagem	26
3.4.2 Algoritmos de Aprendizagem.....	26
3.5 Redes Neurais de Aprendizado Competitivo	27
3.6 Mapas Auto-organizáveis	28
3.7 Desenvolvimento de Aplicações	30
3.7.1 Coleta de Dados e Preparação do Conjunto de Dados de Treinamento.....	31
3.7.2 Configuração da Rede	31
3.7.3 Treinamento	32
3.7.4 Verificação da Rede	32
3.7.5 Integração ou Utilização da Rede	33
4. Correção Radiométrica	34
4.1 Correção dos Efeitos Atmosféricos	34

4.2	Correção dos Erros Instrumentais	35
4.3	Correção Radiométrica Relativa	35
4.3.1	Extração Automatizada do Conjunto de Treinamento	37
4.3.2	Regressão Paramétrica e não Paramétrica	39
4.3.3	Regressão Linear e Regressão Linear Robusta	40
4.3.4	Regressão não Paramétrica	41
5.	Métodos de Análise de Mudanças na Superfície Terrestre	44
5.1	Detecção de Mudanças com Pré-Classificação Espectral	44
5.1.1	Métodos de Identificação Espectral de Mudanças com Operações no Pixel	44
5.1.1.1	Diferença de Imagem	45
5.1.1.2	Análise do Vetor Mudança	45
5.1.2	Métodos de Identificação Espectral de Mudanças com Operações na Cena.....	46
5.2	Método de Detecção de Mudanças Pós-classificação	46
6.	Classificação.....	47
6.1	Classificação Supervisionada	49
6.1.1	Classificadores Estatísticos	50
6.1.1.1	Método do Paralelepípedo	50
6.1.1.2	Método da Distância Mínima	52
6.1.1.3	Método da Máxima Verossimilhança	53
6.1.2	Classificadores Neurais	55
6.2	Classificação Não Supervisionada	56
6.2.1	Classificadores Estatísticos.....	56
6.2.1.1	Bases Geométricas da Classificação	57
6.2.1.2	O Algoritmo K-Means	60
6.2.1.3	O Algoritmo Isodata	61
6.2.2	Classificador Neural de Aprendizado Competitivo	63
6.2.3	Classificador CNN	63
6.2.3.1	Configuração da Rede CNN.....	64
6.2.3.2	O Algoritmo CNN	65
6.2.3.3	Característica Vantajosas do CNN	67
7.	Testes e Experimentos	68
7.1	Testes e Experimentos do Procedimento de Correção Radiométrica Relativa	68
7.2	Testes e Experimentos das Metodologias Avaliadas: Pré-classificação Espectral e Pós-classificação	74
7.2.1	Testes e Experimentos para Abordagem Pós-classificação	77
7.2.2	Testes e Experimentos para Abordagem com Pré-classificação Espectral.....	80
8.	Conclusão	82
	Bibliografia	84
	Apêndice A	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- bit** – dígito binário (*binary digit*)
- BP** – Retropagação (*Back-propagation*)
- CNN** – Rede Neural por Centróide (*Centroid Neural Network*)
- CVA** – Análise do Vetor Mudança (*Change Vector Analysis*)
- DCL** – Aprendizado Competitivo Diferencial (*Differential Competitive Learning*)
- DN** – Número Digital (*Digital Number*)
- EP** – Elemento de Processamento
- GCP** – Pontos de Controle no Terreno (*Ground Control Point*)
- GPS** – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning Point*)
- IFOV** – Campo Instantâneo de Visada (*Instantaneous Field of View*)
- INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- INPE-DSR** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Sensoriamento Remoto
- Isodata** – Técnica interativa de análise de dados auto-organizável (*Iterative Self-Organising Data Analysis*)
- k-NN** – vizinho mais próximo k (*k-Nearest Neighbor*)
- MMS** – Imageador Multiespectral (*Multispectral Scanner Subsystem*)
- pixel** – elemento de pintura (*picture element*)
- qq-plot** – (*quantile-quantile plot*)
- RNA** – Rede Neural Artificial
- SELPER** – Sociedade Latino Americana de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Espaciais
- SNR** – Relação Sinal Ruído (*Signal Noise Ratio*)
- SOM** – Mapa Auto-organizável (*Self-Organizing Map*)
- SR** – Sensoriamento Remoto
- TM** – Imageador Temático (*Thematic Mapper*)

LISTA DE SÍMBOLOS

$\| x \|$ - norma Euclidiana (comprimento) do vetor x .

$[a,b]$ – intervalo fechado de uma variável x , significa $a \leq x \leq b$.

$\arg \min_k (w)$ – significa o índice do elemento de menor valor do vetor w , de k elementos.

μ - micro, equivale a 10^{-6} .