

Raphael Belo da Silva Meloni

**Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto
usando SVM**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Ruy Luiz Milidiú

Rio de Janeiro, março de 2009

Raphael Belo da Silva Meloni

Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto

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

Prof. Ruy Luiz Milidiú

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Casanova

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Karin Koogan Breitman

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de março de 2009

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

Raphael Belo da Silva Meloni

Graduou-se Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal Fluminense em 2004. Trabalha junto ao INPE no desenvolvimento de um aplicativo de sensoriamento remoto.

Ficha Catalográfica

<p>Meloni, Raphael Belo da Silva</p> <p>Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto usando SVM / Raphael Belo da Silva Meloni; orientador: Ruy Luiz Milidiú. — 2009.</p> <p>64 f: Il.(color); 29,7 cm</p> <p>Dissertação (Mestrado em Informática) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.</p> <p>Incluí bibliografia.</p> <p>1. Informática — Teses. 2. Sensoriamento remoto. 3. Classificação de imagem. 4. Support Vector Machines. 5. Espaço de cores. 6. Valores altimétricos. 7. Canal infravermelho. I. Milidiú, Ruy Luiz. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.</p>
--

CDD: 004

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer a minha família que sempre me incentivou, apoiou e torceu incondicionalmente nessa batalha, mesmo distante de 90 quilômetros.

À minha namorada, Juliana, pelo carinho, hospitalidade e compreensão em todos os momentos tanto os fáceis quanto os difíceis.

Ao meu professor e orientador Ruy Luiz Milidiú pela orientação, apoio, críticas, correções e sugestões ao longo de meu aprendizado.

Agradeço à K2 Sistemas pelo financiamento desta etapa de minha vida.

Agradeço ao Departamento de Informática e à PUC-Rio pelo apoio.

Finalmente, agradeço a Deus!

Resumo

Meloni, Raphael Belo da Silva; Milidiú, Ruy Luiz. **Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto usando SVM**. Rio de Janeiro, 2009. 64 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Classificação de imagens é o processo de extração de informação em imagens digitais para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos, que em sensoriamento remoto propõe-se a encontrar padrões entre os pixels pertencentes a uma imagem digital e áreas da superfície terrestre, para uma análise posterior por um especialista. Nesta dissertação, utilizamos a metodologia de aprendizado de máquina support vector machines para o problema de classificação de imagens, devido a possibilidade de trabalhar com grande quantidades de características. Construímos classificadores para o problema, utilizando imagens distintas que contém as informações de espaços de cores RGB e HSB, dos valores altimétricos e do canal infravermelho de uma região. Os valores de relevo ou altimétricos contribuíram de forma excelente nos resultados, uma vez que esses valores são características fundamentais de uma região e os mesmos não tinham sido analisados em classificação de imagens de sensoriamento remoto. Destacamos o resultado final, do problema de classificação de imagens, para o problema de identificação de piscinas com vizinhança dois. Os resultados obtidos são 99% de acurácia, 100% de precisão, 93,75% de recall, 96,77% de F-Score e 96,18% de índice Kappa.

Palavras-chave

Sensoriamento Remoto; Classificação de Imagem; Support Vector Machines; Espaços de Cores; Valores Altimétricos; Infravermelho

Abstract

Meloni, Raphael Belo da Silva; Milidiú, Ruy Luiz. **Remote sensing image classification using SVM**. Rio de Janeiro, 2009. 64 p. Msc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Image Classification is an information extraction process in digital images for pattern and homogeneous objects recognition. In remote sensing it aims to find patterns from digital images pixels, covering an area of earth surface, for subsequent analysis by a specialist. In this dissertation, to this images classification problem we employ Support Vector Machines, a machine learning methodology, due the possibility of working with large quantities of features. We built classifiers to the problem using different image information, such as RGB and HSB color spaces, altimetric values and infrared channel of a region. The altimetric values contributed to excellent results, since these values are fundamental characteristics of a region and they were not previously considered in remote sensing images classification. We highlight the final result, for the identifying swimming pools problem, when neighborhood is two. The results have 99% accuracy, 100% precision, 93.75% of recall, 96.77% F-Score and 96.18% of Kappa index.

Keywords

Remote Sensing; Image Classification; Support Vector Machines; Color Space; Altimetric Values; Infrared

Sumário

1	Introdução	13
2	Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto	16
2.1.	Processamento Digital de Imagens	16
2.1.1.	Conceitos Básicos	16
2.1.2.	Nomenclatura	18
2.2.	A Tarefa	20
3	Classificação Supervisionada	23
3.1.	Aprendizado de Máquina	23
3.2.	Máxima Verossimilhança	23
3.3.	Support Vector Machines	24
3.3.1.	Hiperplanos de Separação Ótima	26
3.3.2.	Support Vector Machines Não Lineares	31
3.3.3.	Support Vector Machines Multiclasses	34
4	Construção dos Classificadores	36
4.1.	Modelagem	36
4.2.	Conjunto de Treinamento	37
4.3.	Treinamento	38
4.4.	Os Classificadores	39
4.5.	Codificação	43
5	Experimentos	46
5.1.	Corpus	46
5.2.	Metodologia de Testes	48
5.3.	Descrição dos Experimentos	51
5.4.	Resultados	52
5.4.1.	Numéricos	52
5.4.2.	Visuais	54
5.4.3	Tempo de Execução	57

6 Conclusão e trabalhos futuros	61
7 Referência Bibliográfica	63

Lista de figuras

Figura 1 Apresenta o esquema dos passos fundamentais de Processamento de Imagem Digital	17
Figura 2 Apresenta a mistura de cores do modelo RGB	18
Figura 3 Apresenta as componentes do modelo de cor HSB	19
Figura 4 Apresentação de uma mesma imagem com resoluções diferentes	19
Figura 5 Exemplo de uma imagem SRTM, na qual quanto mais escuro, menor a altitude	20
Figura 6 Imagem Classificada informando uma área desmatada, em que o verde simboliza a floresta e o rosa o desmatamento	21
Figura 7 Espaço de características linearmente separável	25
Figura 8 Espaço de características linearmente inseparável	25
Figura 9 (a) Um hiperplano de separação com margem pequena. (b) Um Hiperplano de Margem Máxima	26
Figura 10 Hiperplano de separação para o caso linearmente separável. Os vetores de suporte estão circulados.	28
Figura 11 Hiperplano de separação para o caso linearmente inseparável.	32
Figura 12 Ilustração da estratégia de Support Vector Machines	33
Figura 13 Mapeamento do espaço de entrada via função de Kernel	33
Figura 14 Exemplifica a técnica de decomposição <i>One-Against-All</i> para três classes	35
Figura 15 Exemplifica a técnica de decomposição <i>One-Against-One</i> para três classes	35
Figura 16 Exemplificação de um conjunto de exemplos	36
Figura 17 Região de Montego Bay, Jamaica, etiquetada por um especialista	38
Figura 18 Exemplificação do contexto de um pixel, com contexto de cores em nível dois e contexto de altimetria em nível cinco.	40
Figura 19 Exemplo de como uma imagem pode ser classificada separadamente em quatro <i>threads</i> distintas.	42
Figura 20 Miniatura de uma região de Resende, Rio de Janeiro, Brasil.	46
Figura 21 Miniatura de uma região de Arraial do Cabo, RJ, Brasil.	47
Figura 22 Miniatura da imagem referente à região de Boulder,	

Colorado, EUA.	48
Figura 23 Apresenta o funcionamento do método de validação cruzada para 4 subconjuntos	49
Figura 24 Exibe um exemplo de uso do índice Kappa com concordância Moderada	50
Figura 25 Imagem classificada de uma parte da região de Resende	54
Figura 26 Parte da imagem classificada de Resende apresentando falsos positivos	54
Figura 27 Imagem de uma parte da região de Arraial do Cabo	55
Figura 28 Parte da região de Arraial do Cabo, classificada pelo modelo RGB+HSB	55
Figura 29 Parte da região de Arraial do Cabo, classificada pelo modelo RGB+HSB + Altimetria	56
Figura 30 Parte da imagem classificada pelo modelo, relativo à região de Boulder	57
Figura 31 Gráfico do tempo de execução do classificador RGB + HSB para Resende	58
Figura 32 Gráfico do tempo de execução dos classificadores para a região de Boulder	59
Figura 33 Gráfico do tempo de execução dos classificadores para a região de Arraial com vizinhança três	60
Figura 34 Gráfico do tempo de execução dos classificadores para a região de Arraial com vizinhança cinco	60

Lista de tabelas

Tabela 1 Dimensão dos experimentos realizados no protótipo	14
Tabela 2 Informações RGB e HSB de alguns exemplos do conjunto de treinamento	38
Tabela 3 Interpretação dos valores do coeficiente Kappa	50
Tabela 4 Informações dos conjuntos de treinamento dos experimentos	51
Tabela 5 Resultados numéricos para o <i>corpus</i> de Resende	52
Tabela 6 Resultados numéricos da região de Arraial do Cabo, com nível de vizinhança 3	53
Tabela 7 Resultados numéricos da região de Arraial do Cabo, com nível de vizinhança 5	53
Tabela 8 Resultados numéricos para a região de Boulder, com nível de vizinhança 3	53
Tabela 9 Correspondência entre as classes e as cores da imagem de Arraial do Cabo	56
Tabela 10 Correspondência entre as classes e as cores da imagem de Boulder	57
Tabela 11 Apresentação dos tempos médios de execução do classificador RGB + HSB em 10 execuções para a imagem de Resende	58
Tabela 12 Apresentação dos tempos médios de execução de cada classificador SVM, com nível de vizinhança 3, em 10 execuções para a imagem de Boulder	58
Tabela 13 Apresentação dos tempos médios de execução de cada classificador SVM em 10 execuções para a imagem de Arraial do Cabo	59

Lista de algoritmos

Algoritmo 1 Pseudo algoritmo referente à iteração do usuário com o protótipo	43
Algoritmo 2 Pseudo algoritmo referente à etapa de aprendizagem do conjunto de treinamento	44
Algoritmo 3 Pseudo algoritmo referente à etapa de classificação	44
Algoritmo 4 Pseudo algoritmo referente à execução de uma thread responsável em classificar uma parte da imagem de entrada	45