PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa

A Knowledge-Based Approach for Automatic Interpretation of Multidate Remote Sensing Data

Tese de Doutorado

Thesis presented to the Postgraduate Program in Electrical Engineering of the Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Engenharia Elétrica.

Advisor: Raul Queiroz Feitosa

Rio de Janeiro
March 2009

Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa

A Knowledge-Based Approach for Automatic Interpretation of Multidate Remote Sensing Data

Thesis presented to the Postgraduate Program in Electrical Engineering of the Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Engenharia Elétrica.

Raul Queiroz Feitosa
Advisor
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Gilberto Câmara Neto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Bruno Feijó
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Christian Heipke
Leibniz Universität Hannover

Antonio Maria Garcia Tommaselli
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Marley Maria Bernardes Rebuzzi Vellasco
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

José Eugênio Leal
Coordinator of the Centro Técnico Científico da PUC-Rio

Rio de Janeiro
March 2nd, 2009

Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa

Graduated in Computer Engineering at the Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) in 1991, having specialized professionally in the development of geographic information systems and remote sensing applications. Obtained the degree of Mestre, in Computer Engineering with emphasis on Geomatics, at the Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) in 2003. Since then has worked in the field of remote sensing image analysis.

Bibliographic Data

Costa, Gilson Alexandre Ostwald Pedro da

A Knowledge-Based Approach for Automatic Interpretation of Multidate Remote Sensing Data / Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa; advisor: Raul Queiroz Feitosa. – 2009.

149 f. : il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Processamento digital de imagens. 3. Interpretação baseada em conhecimento. 4. Imagens multi-temporais. 5. Sensoriamento remoto. 6. Cadeias nebulosas de Markov. I. Feitosa, Raul Queiroz. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Para Marta, meu grande amor.

Acknowledgments

Foremost, I am heartily thankful to my advisor, Prof. Raul Queiroz Feitosa, for the encouragement, stimulating suggestions and generous support throughout the development of my PhD research.

It was an honor to have Prof. Claus-Eberhard Liedtke as my advisor during my internship at University of Hannover. I thank him specially for sharing his views of science and of the world.

I would also like to express my sincere gratitude to Luiz Felipe Guanaes Rego for enticing me into this journey.

I am deeply indebted to the colleagues from TNT for all the help and support during my stay at the Institute. I thank specially Sönke Müller and Christian Becker for me helping me feel at home in Hannover.

I am also much obliged to all my colleagues from LVC, for the companionship and valuable scientific discussions.

I thank my parents, Gustavo and Antônia, for planting the seed and helping it grow.

I also gratefully acknowledge the financial support of CAPES and FAPERJ.

Lastly, I would like to give very special thanks to Marta, Olivia and João, my treasures, for the unconditional love and support.

Resumo

Costa, Gilson Alexandre Ostwald Pedro da; Feitosa, Raul Queiroz. **Uma Abordagem Baseada em Conhecimento para a Interpretação Automática de Dados de Sensoriamento Remoto Multi-Data**. Rio de Janeiro, 2009, 149p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo genérico desta Tese foi o desenvolvimento de técnicas computacionais baseadas em conhecimento para apoiar a interpretação automática de dados de sensoriamento remoto multi-temporais, com ênfase na investigação da aquisição e representação explícita de conhecimento temporal, bem como na sua integração com outros tipos de conhecimento dentro do processo de interpretação. Dois objetivos específicos, inter-relacionados, foram perseguidos: (*i*) o desenvolvimento de um novo método de classificação baseado no conceito de cadeias nebulosas de Markov (CNM), que provê meios para a estimação de seus parâmetros temporais e para a utilização de conhecimento temporal no processo de classificação; e (*ii*) a modelagem e implementação de um ambiente baseado em conhecimento, de código livre, para a interpretação de dados de sensoriamento remoto. Para validar o novo método de classificação multi-temporal, foram realizados experimentos voltados à interpretação de uma seqüência de três imagens LANDSAT de uma área na Região Centro-Oeste do Brasil, utilizando um método estocástico e outro analítico para a estimação das matrizes de transição de classes que compõem o modelo CNM. Enquanto os classificadores mono-temporais obtiveram uma acurácia média por classe de 55%, o esquema multi-temporal alcançou acurácias entre 63% e 94%. Resultados semelhantes em termos de acurácia global foram verificados. Além disso, quando comparado a abordagens multi-temporais correlatas, o método proposto obteve melhores resultados. De forma a validar o ambiente baseado em conhecimento aqui proposto, o método CNM foi implementado através de suas funcionalidades. Um conjunto de experimentos nos quais diferentes variações do método CNM, estruturadas no novo ambiente, foi executado satisfatoriamente.

Palavras-chave

Processamento digital de imagens; Interpretação baseada em conhecimento; Imagens multi-temporais; Sensoriamento Remoto; Cadeias nebulosas de Markov.

Abstract

Costa, Gilson Alexandre Ostwald Pedro da; Feitosa, Raul Queiroz (Advisor). **A Knowledge-Based Approach for Automatic Interpretation of Multidate Remote Sensing Data**. Rio de Janeiro, 2009, 149p. PhD Thesis – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The general objective of this research was the development of knowledge-based computational techniques to support the interpretation of multitemporal remote sensing data, focusing on the investigation of the explicit representation of temporal knowledge and its integration to other types of knowledge; and also on the processing and acquisition of temporal knowledge. Two interrelated, specific objectives were pursued: (*i*) the development of a novel multitemporal classification method based on the concept of fuzzy Markov chain (FMC) that provides for the automatic estimation of its temporal related parameters and for the exploration of temporal knowledge in the classification process; and (*ii*) the design and implementation of an open-source, knowledge-based framework for multitemporal interpretation of remote sensing data. In order to validate the new multitemporal classification method, experiments were carried out aiming at the interpretation of a sequence of three LANDSAT images from the central region of Brazil, using both a stochastic and an analytical technique to estimate the class transition possibilities that compose the FMC model. While the monotemporal classifiers used in the experiments attained an average class accuracy of approximately 55%, the multitemporal scheme reached accuracies between 65% and 94%. Similar results in terms of overall accuracy were also observed. Furthermore, when compared to two alternative multitemporal classification approaches, the devised method consistently showed better results. In order to validate the proposed multitemporal framework, the FCM-based method was implemented using its temporal functionalities, and a number of experiments in which different variants of the FCM-based method were structured through the framework were successfully carried out.

Keywords

Digital image processing; Knowledge-based image interpretation; Multitemporal image classification; Remote sensing; Fuzzy Markov chains.

Table of contents

List of figures

List of tables