

DISS. ETH NO. 15915

**ADAPTIVE MULTI-IMAGE MATCHING
FOR DSM GENERATION
FROM AIRBORNE LINEAR ARRAY CCD DATA**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
MARIA N. PATERAKI
Dipl. Eng., Aristotle University of Thessaloniki
born 27.01.1977
citizen of Greece

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A. Grün, examiner
Dr. E. Baltsavias, co-examiner
Prof. Dr. C.S. Fraser, co-examiner

2005

Abstract

This thesis investigates the topic of automatic image matching with focus on the generation of Digital Surface Models (DSMs) by using imagery acquired from airborne linear array CCD sensors. The research has been motivated by the recent developments in photogrammetric equipment related to sensor technology, which have introduced a new field of research. Airborne digital cameras that employ linear array CCD sensors, exhibit different radiometric and geometric characteristics compared to conventional film based cameras and new methods are required for processing the data from these sensors and generating products for different applications. In addition, with respect to matching, existing algorithms are geared towards frame imagery, plus the degree of automation is limited. In most cases, current commercial systems show poor success rate and require manual interaction for editing the matching results.

This study is embedded in the framework of the AIM project (Adaptive Image Matching), in which data from the airborne digital camera (ADS40) of LGGM (Leica Geosystems GIS & Mapping) are used as input. Existing matching algorithms are analyzed, further modified and new ones are developed aiming at integrating information from the special characteristics of the sensor in the matching philosophy. First, the camera architecture, the radiometric and geometric properties of the sensor, the calibration of the system, the ground processing workflow and the sensor model are investigated. Then, this research is focused on two main issues, namely the evaluation and enhancement of the image quality and the development of the matching strategy. The radiometric analysis and the preprocessing part include methods for noise estimation, noise reduction, contrast and edge enhancement, radiometric balancing, reduction to 8-bit and processing of multispectral channels. This part is important and if omitted, the matching performance is influenced. The matching strategy consists of different modules that are evaluated individually but also on an integrated basis. In a nutshell, the individual matching aspects that are investigated are: the implementation of geometrical constraints, the derivation of approximate values, the extraction of features, the integration of different matching methods and the quality control and error detection. Geometrical constraints are used to strengthen matching and are employed by means of *quasi*-epipolar lines. Due to the complex geometry of the images (position and attitude information for each line), epipolar lines do not really exist and the epipolar trajectory is modelled over a short length by a second or first degree polynomial equation. Moreover, hierarchical techniques are utilized to gradually refine the matching results. The investigations are performed with respect to generation of image pyramids, for which different filters are utilized and evaluated, and to the selection of the doublets as an optimal strategy towards better time performance and reduction of propagation of matching errors to lower levels. Apart from the above, in the matching strategy feature- and area-based methods, plus methods that aim

at higher reliability and/or at precision, are combined and different primitives (grid points, edgels and edges) are used. The selection of edges, as matching entities, resulted from the evaluation of different feature extraction algorithms (points and edges), based on a set of criteria. Then, the efforts have been mainly focused on edge matching, in order to improve modelling of discontinuities. Different approaches were investigated that led to significant improvements: the use of height and continuity constraints for contour points and extensions of LSM for edge features. In the LSM for edge features both edgels and long, straight edges are handled. Moreover, the ADS40 with the configuration of the channels on the focal plane and their viewing angles permits the use of more than one template and to facilitate the identification of errors occurring in matching, especially occlusions. The role of the different combinations of channels in matching is discussed and the matching block, based either on a single- or multi-template strategy, is described.

Other major aspects of these investigations are the quality control and error detection strategy. Each individual ray is checked based on a set of criteria and pre-defined error types. In the quality control, measures derived from different matching methods (multi-patch matching, LSM, edge matching) are combined, problematic rays are excluded and each 3D point is computed from the good rays only. The performance of the system has been evaluated over different areas of land cover and for different point classes (breaklines and points, on the ground and on anthropogenic objects). A detailed analysis of the results and the statistical measures that have been derived from the tests are presented and discussed. The derived accuracy of the automatic measurements is close to the accuracy of the manual measurements. According to the studies, blunders in the results of AIM are significantly less compared to the results of the commercial system Socet Set 4.4.1 (SS). For AIM the matching accuracy on anthropogenic objects was 0.5-0.66 m, whereas for SS it was > 1 m, especially in dense built areas.

Résumé

Cette thèse étudie le sujet de la mise en correspondance (*matching*) automatique des images et focalise sur la génération des modèles numériques de surface (DSMs), en employant l'imagerie acquise par senseurs linéaires CCD aéroportés. La recherche a été motivée par les développements récents sur les équipements photogrammétriques liés à la technologie de senseur, qui ont ouverts un nouveau domaine de recherche. Les caméras numériques aéroportées qui utilisent les senseurs linéaires CCD, présentent des caractéristiques radiométriques et géométriques, comparées aux caméras conventionnelles à film. De nouvelles méthodes sont nécessaires à traiter les données de ces senseurs et générer des produits pour différentes applications. En outre, en ce qui concerne le mis en correspondance, les algorithmes existants sont orientés vers l'imagerie conventionnelle, de plus le degré d'automatisation est limité. Dans la plupart des cas, les systèmes commerciaux courants montrent un faible taux de succès et exigent une interaction manuelle pour éditer les résultats du *matching*.

Cette étude est incluse dans le cadre du projet AIM. (*Adaptive Image Matching*), dans lequel les données de caméra numérique aéroportée (ADS40) de LGGM sont employées comme entrée (*input*). Les algorithmes de *matching* existants sont analysés, puis modifiés et de nouveaux algorithmes sont développés avec l'effort d'intégrer l'information des caractéristiques spéciales du senseur dans la philosophie du *matching*. Premièrement, l'architecture de la caméra, les propriétés radiométriques et géométriques du senseur, le calibrage de système, le déroulement des opérations de traitement (*ground processing*) ainsi que le modèle de senseur sont étudiés. Ensuite, la recherche est concentrée sur deux thèmes principaux : l'évaluation et l'optimisation de la qualité d'image, puis le développement de la stratégie du *matching*. L'analyse radiométrique et le prétraitement incluent des méthodes pour l'estimation de bruit, la réduction de bruit, l'optimisation de contraste et des contours, l'équilibrage radiométrique, la réduction à 8 bits et le traitement des canaux de couleur. Cette partie est importante et si omise, la performance du *matching* est influencée. La stratégie du *matching* se compose de différents modules qui sont évalués à la fois individuellement mais aussi sur une base intégrée. En un mot, les différents aspects du *matching* qui sont étudiés sont : l'implémentation de contraintes géométriques, la dérivation de valeurs approximatives, l'extraction de traits, l'intégration de différentes méthodes de *matching* ainsi que le contrôle de qualité et la détection d'erreurs grossières. Les contraintes géométriques sont employées pour renforcer le *matching* et sont utilisées au moyen de lignes *quasi* épipolaires. En raison de la géométrie complexe des images (l'information de position et d'attitude pour chaque ligne), les lignes épipolaires n'existent pas vraiment et la trajectoire épipolaire est modélisée sur une courte longueur par une équation de polynôme de deuxième ou de première degré. D'ailleurs, des techniques hiérarchiques sont utilisées pour raffiner graduellement

les résultats du matching. Les investigations sont effectuées en respectant la génération de la pyramide d' image, pour laquelle différents filtres sont utilisés et évalués, et le choix d' une stratégie optimale en terme de temps d' exécution et de réduction d' erreurs de matching à des niveaux plus bas. Indépendamment de ce qui précède, les méthodes basées sur les traits et les secteurs, plus les méthodes qui visent soit la fiabilité et soit l' exactitude, sont combinées dans le stratégie de matching et différents primitifs (grid points, edgels, edges) sont employés. La sélection des contours, comme les entités du matching, a résulté de l' évaluation de différents algorithmes d' extraction de traits (points et contours), basée sur un ensemble de critères. Puis, les efforts ont été principalement concentrés sur le mis en correspondance des contours, afin d' améliorer la modélisation des discontinuités. On a recherché différentes approches qui ont mené à des améliorations significatives : l' utilisation de contraintes de hauteur et de continuité pour les points de contour et les prolongements de LSM pour des traits de contours. D' ailleurs, ADS40 permet avec la configuration des canaux sur le plan focal et leurs angles de vue son employer plus que un template, et facilite l' identification des erreurs se produisant dans le matching, particulièrement les occlusions. Le rôle des différentes combinaisons de canaux dans le matching est discuté et le bloc de matching, basé d' une stratégie mono ou multi-template est décrit.

Un autre aspect principal de cette recherche est le contrôle de qualité et la détection des erreurs grossières. Chaque rayon individuel est vérifié sur la base d' un ensemble de critères et des classes d' erreur prédéfinies. Dans le contrôle de qualité les mesures dérivées de différentes méthodes de matching (multi-patch matching, LSM, edge matching) sont combinées, les rayons problématiques sont exclus et le point 3D est calculé par les bons rayons seulement. La performance du système a été évaluée aux divers secteurs de couverture de terrain et aux différentes classes de point (breaklines et points, sur le sol et sur les objets). Une analyse détaillée des résultats et des mesures statistiques qui ont été dérivées des essais sont présentées et discutées. L' exactitude des mesures automatiques est proche de l' exactitude des mesures manuelles. Selon l' analyse, les erreurs grossières dans les résultats du AIM sont significativement moins comparées aux résultats du système Socet Set 4.4.1. Pour AIM l' exactitude de matching sur les objets était de 0.5 -0.65 m et pour SS était > 1 m.