

ZBIGNIEW BOCHENEK

USE OF THE CLASSIFIED SATELLITE IMAGERY FOR UPDATING TOPOGRAPHIC MAPS

1. INTRODUCTION

The presented work was a joint Polish-Belgian study, carried out within agreement established between the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw and SURFACES Laboratory, University of Liege. The aim of this study was to assess and compare different methods for updating topographic maps, using various types of satellite imagery. Two test areas were selected for research works: Warsaw area as a Polish test site and Liege area as a Belgian test site. Both test areas were analysed, using similar methods of data processing and results evaluation, in order to make comparable conclusions. Two types of satellite data, i.e. SPOT multispectral and panchromatic imagery, as well as KOSMOS images were used in this study. The article presents works concentrated on applying the classified satellite imagery for updating topographic maps; it includes the applied methodology and discussion of the results.

2. MATERIALS AND METHODS

In order to perform multispectral analysis of SPOT data, three images covering Warsaw area were applied:

- SPOT multispectral image collected on May 4, 1986
- SPOT multispectral image collected on June 30, 1992
- SPOT panchromatic image collected on July 30, 1992.

First SPOT image (May 1986) was analysed at first stage of the works, conducted at the SURFACES Laboratory in April 1993. After thorough analysis it was classified into 11 land cover categories: water, coniferous forests, deciduous forests, mixed forests, orchards/gardens, high-density built-up land, low-density built-up land, grassland, wetland, soils and crops. The resultant

classification was printed at a scale of 1 : 100 000 with the use of Versatec plotter. At final part of this work SPOT panchromatic image of July 1992 was also entered into INTERGRAPH system installed at the SURFACES Laboratory.

That image was next geometrically corrected, using image-to-map registration software of the INTERGRAPH system. Polish topographic maps at a scale of 1:50 000 were used for this purpose. About 60 points distributed evenly through the whole scene were chosen, to ensure sub-pixel registration accuracy. Next the whole image was transformed applying linear transformation and resampled with the use of nearest neighbour method, which keeps original pixel values. Extract of that image was finally transferred to the tape, to be further used in Warsaw.

Further works were continued at the Remote Sensing and Spatial Information Centre in Warsaw with the use of ERDAS image processing/GIS system. The geometrically corrected panchromatic image of Warsaw was transferred from the tape into the system. It was the base for correcting multispectral image of Warsaw, collected on June 30, 1992. Process of geometric correction has been done with the use of ERDAS image processing functions. Image-to-image registration was performed with one-pixel accuracy, using 36 points for transformation procedure. As a result of this work, four-band file for Warsaw area has been created; it contained three multispectral bands and panchromatic band of 1992 images.

In order to maintain high matching accuracy 1986 SPOT multispectral image was registered to the rectified 1992 four-band image. As a result of that procedure two image files were created: for 1986 and for 1992 with mutual registration accuracy better than 10 m. Two extracts (512 x 512 pixels) were made from these files, to perform detailed classification and change detection analysis. This extract covered central-eastern part of Warsaw, characterized by changeable urban landscape.

The main part of the work was concentrated on finding the optimum method for classification of both SPOT images and for their comparison. At first phase it was decided to perform supervised classification based on original SPOT spectral bands. Training fields, representing 12 land cover categories existing within the selected image, were created with the use of ground-truth information. Next, statistical parameters were derived from these fields, in order to assess class separability. After this analysis it was decided to distinguish the following land cover categories:

- high-density built-up land
- low-density built-up land
- mixed stands
- orchards/gardens
- grasslands

- open areas (dark soil, asphalt, etc.)
- sand (sandy soils)
- water (3 sub-classes).

The same set of training fields was used for performing supervised classifications for both images collected in 1986 and 1992. The maximum likelihood method was applied as a type of classifier. In case of 1992 scene two classification images have been created; first was based solely on three multispectral bands, while the second was formed with inclusion of panchromatic band for classification.

After completing this stage of the work it was decided to perform the same analysis and classification for both sets of SPOT multispectral data, re-computed from original DN values into reflectance values. The aim of this work was to verify, if this procedure can improve results of classification and to ensure better inputs for change detection analysis. Re-calculation was done with the use of ATCOR program, working within ERDAS environment. This program gives reflectance values of terrain features, taking into account atmospheric parameters and solar zenith angle at a particular date of image acquisition. As a result of that action two new sets of atmospherically corrected data have been created for May 1986 and June 1992. They were next classified, using previously chosen training fields for 8 land cover categories.

Besides the main approach concentrated on using original spectral bands, additional analysis has been done, in order to assess usefulness of the transformed data for classification. Principal component analysis was performed for both scenes and next supervised classification was done, using the same set of training fields, as previously.

Third approach applied in this work assumed use of unsupervised classification for obtaining land cover map for the selected part of Warsaw. The special unsupervised procedure existing within ERDAS software called ISODATA was utilized for that purpose. 20 clusters were obtained as a result of this procedure; they were finally merged into 8 land cover information classes.

The separate part of the work was aimed at assessment of usefulness of KOSMOS images combined with SPOT XS data for land cover classification. At first phase KOSMOS space photograph collected by KFA-1000 camera in August 1985 was used for this purpose. It was scanned at the Remote Sensing and Spatial Information Centre in Warsaw; as a result of this procedure digital image with 5 m ground resolution has been obtained. Next, that image was geometrically corrected to 1992 SPOT multispectral+panchromatic image. As a result of these transformation procedures all different images were geometrically matched, enabling further comparative analysis. KOSMOS KFA-1000 image was combined with three channels of 1986 SPOT multispectral image; this four-band file was next used for further analysis and classification, based on the same set of training fields.

At the second phase of these works, high-resolution KOSMOS image acquired by KVR-1000 camera in 1992, was utilized. This image is characterized by very high 2 m ground resolution. It was rectified to previously corrected SPOT image and resampled to 5.8 m pixel size for further works. Next, it was combined with SPOT bands and classified, using the same set of training fields, as previously.

So, applying various sets of data and their transformations 9 classification images were finally created. They were based on:

- 1986 original SPOT multispectral data
- 1992 original SPOT multispectral data
- 1992 original SPOT multispectral + panchromatic data
- 1986 atmospherically corrected SPOT multispectral data
- 1992 atmospherically corrected SPOT multispectral data
- 1986 SPOT data transformed through PC analysis
- 1992 SPOT data transformed through PC analysis
- 1985/86 - KOSMOS KFA-1000 + SPOT multispectral data
- 1992 - KOSMOS KVR-1000 + SPOT multispectral data.

All classifications were kept at the same digital database, which enabled comparison of different scenes and approaches. Such a comparison was done for two supervised classifications based on original 1986 and 1992 SPOT data. Using overlaying procedure existing within ERDAS GIS module two layers were intersected. As a result of this procedure new classification map has been created. This map comprises two new classes representing high-density and low-density built-up land, which appeared between 1986 and 1992.

Two other approaches have been also tested in order to make change detection analysis. First approach was based on studying results of principal component analysis, performed for the data set, combined from 1986 and 1992 multispectral data. This study revealed, that PC4 band includes residual image, which illustrates changes between two analyses scenes.

Second approach utilized regression analysis for change detection. Such an analysis was done using in-house developed software. 1986 SPOT image was correlated with 1992 SPOT image through regression equation

$$Y = 0.751X + 39.59.$$

Next, both images were subtracted forming residual image, which reflects changes between two analysed scenes.

At final stage of the works comparison of the obtained classifications with map information was performed. For this purpose topographic map of Warsaw at a scale of 1 : 50 000 , covering study area, was digitized using scanning process and matched with satellite images. Next, polygons representing four land cover categories, i.e. water, grasslands, gardens and mixed stands were

constructed on the basis of this map. They were finally compared qualitatively and quantitatively with the same classes, obtained on classification images.

3. DISCUSSION OF THE RESULTS

The resultant classification images were evaluated qualitatively and quantitatively, using set of test fields. At first phase of evaluation different classification approaches and various data sets were compared. The evaluation procedure based on test fields revealed, that some land cover categories can be classified with acceptable accuracy exceeding 80% (e.g. water, grasslands, high-density built-up land). Nevertheless, some spectral overlaps exist between low-density built-up land and orchards/gardens, decreasing accuracy of their classification. Comparison of two classifications based on original bands and on principal component transformed bands revealed only slight changes in accuracy. Use of atmospherically corrected data did not improve overall classification results. The unsupervised approach applied in the study proved to be inferior comparing to supervised procedure.

Temporal comparison of SPOT data collected in May 1986 and in June 1992 revealed, that image collected in summer 1992 gave higher overall classification accuracy (84.7% for 1992 and 79.8% for 1986). In particular, low-density built-up land, open areas and grasslands were classified better, while decrease of accuracy was observed for orchards/gardens. These differences were caused by changes in vegetation development between two analysed seasons.

Inclusion of SPOT panchromatic band into multispectral data file did not influence results of classification. Almost the same percentage accuracies were obtained for both XS and XS+PAN data sets.

Incorporation of high-resolution KOSMOS images into classification process gave satisfactory results in case of KVR-1000 image, improving slightly overall accuracy (86.8%). In particular, urban classes were classified more precisely, due to fine details, represented by KVR-1000 image.

Quantitative results of post-classification accuracy assessment are presented in table 1.

At the second phase evaluation of change detection map produced from 1986 and 1992 classification images was done. Analysis of that map gave unsatisfactory results, comparing to ground-truth information. Too much area is occupied by newly built-up land on that image. There are two main reasons explaining this situation. First reason relates to the dates of acquisition of both SPOT scenes. First scene was collected at the beginning of May, while the second at the end of June. Differences in response from vegetation cover both SPOT scenes. First scene was collected at the beginning of May, while

Table 1a. Post-classification accuracy assessment - users accuracy*

Name of class	1986	1986COR	1986PC	1986+KFA
High-density urban land	79.3	79.3	82.1	71.4
Low-density urban land	76.9	76.9	76.2	79.5
Mixed stands	67.3	68.0	70.2	75.6
Gardens	83.8	81.6	83.8	86.1
Grasslands	68.4	71.4	72.2	75.7
Open areas	80.0	80.0	73.3	68.0
Sand	100.0	100.0	100.0	75.0
Water	100.0	100.0	100.0	100.0
Overall accuracy	79.8	80.2	80.9	80.2

Table 1b. Post-classification accuracy assessment - users accuracy*

Name of class	1992	1992COR	1992PC	1992XS+P	1992+KVR
High-density urban land	77.4	67.6	70.0	70.6	96.7
Low-density urban land	80.4	78.7	85.4	78.7	70.8
Mixed stands	87.5	89.7	87.9	90.3	73.5
Gardens	78.1	78.1	78.6	81.2	91.9
Grasslands	77.6	73.1	74.5	77.6	100.0
Open areas	91.7	95.7	91.7	91.7	93.7
Sand	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Water	100.0	100.0	100.0	100.0	94.8
Overall accuracy	84.7	82.4	83.6	84.0	86.8

* Users accuracy: percentage of correctly classified pixels in each class of GIS file

between these two dates caused, that they influenced classification of low-density built-up land (comprising a certain percentage of vegetation). This situation is reflected by measures of class separability, higher for May than for June scene.

The second reason is connected with character of low-density built-up land within Warsaw area, which is often close to resolution of SPOT multispectral image. It causes mixed pixels, which can be classified correctly randomly, forming "fringe" or "salt-and-pepper" effect at the change detection image.

Final evaluation was related to assessment of usefulness of digital classifications based on satellite data for revision of topographic maps. Distribution and acreage of four land cover categories: water, grasslands, gardens and mixed stands were compared. The remaining land cover classes were not compared, due to difficulties in extracting from maps information concerning their distribution. Results of that evaluation pointed out, that two classes: water and grasslands can be updated with acceptable accuracy. For water class 1986 SPOT multispectral image proved to be optimum, while for grasslands 1992 SPOT multispectral + panchromatic image gave the best results. Discrepancies between two other analysed classes: gardens and mixed stands were large; it can be partly explained by non-comprehensive information about these vegetation categories on topographic maps at a scale of 1 : 50 000, which would imply opportunity of their updating with the use of satellite images.

Summing up, application of digital classifications of satellite data for revision of medium-scale topographic maps proved to be in this study quite limited, restricted to some land cover categories. The supporting solution can be use of satellite image map produced from high-resolution satellite data (including KVR-1000 images) as a basemap for delineating the desired map categories through digitizing procedures. Such a hybrid approach, which combines analog and digital methods for information extraction, can significantly enhance usefulness of high-resolution satellite data for map revision.

LITERATURE

- [1] Ahearn S.C., Wee., 1991: Data space volumes and classification optimization of SPOT and Landsat TM data. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*, Vol. LVII, No. 1
- [2] Bochenek Z., Połowski Z., 1992: Use of satellite data and GIS for evaluating urban environment. *Proceedings of the International Space Year Conference, Munich, Germany, 30 March - 4 April, 1992*

- [3] Csaplovics E., Kanonier J., Sindhuber A., 1993: High-resolution KFA-photography for integration with geoinformation systems - a case study of Ferto - to National Park. Proceedings of the 13th EARSeL Symposium, Dundee, Scotland, UK, 28 June-1 July, 1993
- [4] Donnay J.P., Binard M., Marchal D., Nadasdi I., 1992: Developpement urbain. Raport Final. TELSAT/II/06, Decembre 1992
- [5] Kaczyński R., 1994: Obrazowa mapa satelitarna Warszawy w skali 1:25 000. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, Tom XLI, z. 89
- [6] Ormsby J.P., 1992: Evaluation of natural and man-made features using Landsat TM data. International Journal of Remote Sensing, Vol. 13, No. 2

Przyjęto do opublikowania w styczniu 1995

Recenzent: prof. dr hab. A. Ciołkosz

ZBIGNIEW BOCHENEK

ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ SATELITARNYCH DO AKTUALIZACJI MAP TOPOGRAFICZNYCH

S t r e s z c z e n i e

Przedstawiona praca jest wynikiem wspólnego polsko-belgijskiego projektu, realizowanego w latach 1993-94 przez pracowników Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie oraz SURFACES Laboratory, University of Liege. Celem tego projektu była ocena możliwości wykorzystania wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych do aktualizacji map topograficznych. Do prac badawczych zostały wybrane dwa obszary aglomeracji miejskich: Warszawy oraz Liege. Do analizy obszaru aglomeracji warszawskiej wykorzystano następujące typy zdjęć satelitarnych:

- zdjęcie wielospektralne SPOT z 4 maja 1986 r.
- zdjęcie wielospektralne SPOT z 30 czerwca 1992 r.
- zdjęcie panchromatyczne SPOT z 30 lipca 1992 r.
- zdjęcie panchromatyczne KOSMOS KFA-1000 z sierpnia 1985 r.
- zdjęcie panchromatyczne KOSMOS KVR-1000 z sierpnia 1992 r.

W pierwszej, przygotowawczej fazie prac wykonano dostosowanie zdjęcia panchromatycznego SPOT do mapy topograficznej w skali 1 : 50 000. Zgeometryzowane zdjęcie panchromatyczne było podstawą do rektyfikacji pozostałych typów danych satelitarnych. Proces rektyfikacji był przeprowadzany z wykorzystaniem dwóch systemów przetwarzania obrazów: INTERGRAPH (University of Liege) oraz ERDAS (Instytut

Geodezji i Kartografii). W wyniku tych prac utworzono jednorodną bazę danych, umożliwiającą analizę porównawczą różnych obrazów klasyfikacyjnych.

Główną fazę pierwszego etapu prac stanowiła klasyfikacja i analiza porównawcza różnych typów zdjęć satelitarnych. W niniejszej pracy postanowiono zastosować jako podstawowe narzędzie analizy metodę klasyfikacji nadzorowanej. W tym celu wybrano na obszarze Warszawy pola treningowe reprezentujące 12 kategorii pokrycia terenu. Po wykonaniu statystycznej analizy rozdzielczości klas do wykonania procesu klasyfikacyjnego wykorzystano 8 kategorii pokrycia terenu, a mianowicie:

- obszary o zwartej zabudowie
- obszary o rozluźnionej zabudowie
- drzewostany mieszane
- sady i ogrody działkowe
- użytki zielone
- tereny otwarte (z odkrytą glebą)
- obszary piaszczyste
- wody.

Ten sam zestaw pól treningowych został zastosowany do sklasyfikowania różnych typów danych satelitarnych. W pierwszym etapie poddano klasyfikacji zbiory oparte na oryginalnych 3-kanalowych danych wielospektralnych SPOT z 1986 i 1992 r. oraz na danych panchromatycznych SPOT z 1992 r. Następnie przetworzono wyjściowe dane wielospektralne SPOT, poddając je korekcji atmosferycznej oraz stosując do przetworzenia metodę składowych głównych. Przetworzone dane SPOT zostały następnie sklasyfikowane z wykorzystaniem stałego zestawu pól treningowych. W kolejnym etapie prac utworzono zbiory wielospektralne, pochodzące z dwóch typów satelitów: SPOT i KOSMOS (KFA-1000 i KVR-1000) oraz poddano je procesowi klasyfikacyjnemu. W wyniku tych prac utworzono 9 obrazów klasyfikacyjnych, bazujących na wielospektralnych i panchromatycznych danych z dwóch typów satelitów.

W drugim etapie prac przeprowadzono analizę porównawczą otrzymanych klasyfikacji. Sporządzono także mapy zmian użytkowania ziemi w latach 1986-92, porównując obrazy klasyfikacyjne SPOT pochodzące z tych dwóch terminów rejestracji. Zastosowano w tym celu trzy metody: przecięcia 2 warstw informacyjnych, metodę składowych głównych oraz metodę korelacji obrazów. W końcowym etapie prac przeprowadzono porównanie utworzonych obrazów klasyfikacyjnych z mapą topograficzną w skali 1 : 50 000, w celu oceny możliwości wykorzystania tych obrazów do aktualizacji średnioskalowych map topograficznych.

Ilościowa i jakościowa ocena dokładności klasyfikacji pochodzących z różnych typów danych wykazała, iż wysoką dokładność przekraczającą 80% osiągnięto dla niektórych klas pokrycia terenu (wody, użytki zielone, obszary o zwartej zabudowie). Zastosowanie przetworzeń danych oryginalnych (metodą korekcji atmosferycznej lub składowych głównych), jak również włączenie zdjęcia panchromatycznego SPOT nie zmieniło w sposób istotny wyników klasyfikacji. Wykorzystanie obrazu panchromatycznego KOSMOS KVR-1000 spowodowało nieznaczne podniesienie dokładności klasyfikacji, zwłaszcza dla terenów zabudowanych.

Ocena jakości map zmian użytkowania ziemi w latach 1986-92 wykazała niedostateczną precyzję określania obszarów podlegających zmianom. Głównymi

причинами этого stanu rzeczy были разные окресы вегетации растений oraz rozdzielczość danych wielospektralnych SPOT, wywołująca w przypadku terenów zabudowanych tzw. efekty brzegowe.

Porównanie obrazów klasyfikacyjnych z mapą topograficzną wykazało, iż przydatność tych obrazów dla aktualizacji map jest ograniczona do niektórych klas pokrycia terenu (wody, użytki zielone). W podsumowaniu stwierdzono, iż najlepszą metodą dla aktualizacji map na podstawie zdjęć satelitarnych byłaby metoda hybrydowa, wykorzystująca wysokorozdzielcze obrazy typu KOSMOS KVR-1000 do wydzielania głównych typów pokrycia terenu w sposób analogowy i wprowadzenia wydzieleni w postaci cyfrowej do numerycznej mapy topograficznej.

ЗБИГНЕВ БОХЕНЕК

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Резюме

Представленная работа является результатом совместного польско-бельгийского проекта, осуществляемого в 1993-94 годах сотрудниками Института геодезии и картографии в Варшаве и SURFACES Laboratory, Университета в Льеж. Целью этого проекта была оценка возможности использования спутниковых снимков с большой разрешающей способностью для обновления топографических карт. Для исследовательских работ были избраны два фрагмента городских агломераций: Варшавы и Льеж. Для анализа пространства Варшавской агломерации были использованы следующие типы спутниковых снимков:

- многозональные снимки СПОТ от 4 мая 1986 г.
- многозональные снимки СПОТ от 30 июня 1992 г.
- панхроматические снимки СПОТ от 30 июля 1992 г.
- панхроматические снимки КОСМОС КОА-1000 с августа 1985 г.
- панхроматические снимки КОСМОС КВР-1000 с августа 1992 г.

В первой подготовительной фазе работ была произведена подгонка панхроматического снимка СПОТ к топографической карте в масштабе 1 : 50 000. Геометризованный панхроматический снимок был основой для ректификации остальных типов спутниковых данных. Процесс ректификации проводился с использованием двух систем преобразования изображений: INTERGRAPH (Университет в Льеж) и ERDAS (Институт геодезии и картографии). В результате этих работ была создана однородная база данных, дающая возможность производить сравнительный анализ разных классификационных изображений.

Главной фазой первого этапа была классификация и сравнительный анализ типов космических снимков. В данной работе было решено применить в качестве основного орудия анализа метод классификации "с учителем". С этой целью были подобраны

на территории Варшавы тренировочные поля, представляющие 12 категорий покрытия местности. После проведения статистического анализа разрешающей способности для проведения классификационного процесса были использованы 8 категорий покрытия местности, а именно:

- территории со сплошной застройкой
- территории с разреженной застройкой
- смешанные древостой
- сады и огороды-участки
- пастбищные угодья
- открытые территории (с открытой почвой)
- песчаные пространства
- воды.

Такой же набор тренировочных полей был применён для классификации разных типов спутниковых данных. На первом этапе были классифицированы файлы, основанные на оригинальных 3-х канальных многоспектральных данных СПОТ 1986 и 1992 гг. и панхроматических данных СПОТ 1992 г. Затем были преобразованы выходные многоспектральные данные СПОТ, подвергая их атмосферной коррекции и применяя для обработки метод главных составляющих. Преобразованные данные СПОТ были затем классифицированы с применением постоянного набора тренировочных полей. На следующем этапе работ были созданы многозональные файлы, выводящиеся с двух типов спутников: СПОТ и КОСМОС (КФА-1000 и КВР-1000), и затем были поданы классификационному процессу. В результате этих работ создано 9 классификационных изображений, базирующихся на многозональных и панхроматических данных с двух типов спутников.

На втором этапе был проведен сравнительный анализ полученных классификаций. Были составлены также карты изменений в землепользовании в 1986-92 годах, сравнивая классифицированные изображения Спот, происходящие из двух сроков регистрации. С этой целью применено три метода: разреза 2-х информационных слоев, метод главных составляющих, а также метод корреляции изображений. В конечной фазе работ произведено сравнение составленных классифицированных изображений с топографической картой в масштабе 1 : 50 000, с целью оценки возможности использования этих изображений для обновления среднemasштабных топографических карт.

Количественная и качественная оценка точностей классификации, происходящих из разных типов данных, показала, что высокую точность, превышающую 80, получено для некоторых классов покрытия местности (воды, пастбищные угодья, территории со сплошной застройкой). Применение преобразований оригинальных данных (метод атмосферной корреляции или главных составляющих), а также привлечение панхроматических снимков СПОТ, не изменило существенно образом результатов классификации. Использование панхроматического изображения КОСМОС КВР-1000 привело к небольшому повышению точности классификации, в особенности для застроенных территорий.

Оценка качества карт изменения землепользования в 1986-92 годах выявила недостаточную точность определения территорий подвергающихся изменениям. Главными причинами этого положения вещей были разные периоды вегетации

растений и разрешение многозональных данных СПОТ, вызывающее в случае застроенных территорий, так называемые, береговые (граничные) эффекты.

Сравнение классифицированных изображений с топографической картой выявило, что пригодность этих изображений для актуализации карт ограничивается до некоторых класс покрытия местности (воды, пастбищные угодья). В итоге установлено, что самым лучшим методом для актуализации карт на основе космических снимков был бы гибридный метод, использующий изображения с высоким разрешением типа КОСМОС КВР-1000 для выделения главных типов покрытия местности аналоговым способом и введения выделений в цифровом виде на цифровую топографическую карту.

Перевод: Róża Tolstikowa