

AUTOMATYCZNA DETEKCJA ZMIAN URBANISTYCZNYCH NA ZDJĘCIACH LOTNICZYCH

AUTOMATIC URBAN CHANGE DETECTION IN AERIAL IMAGES

Jacek Jelonek¹, Ireneusz Wyczałek²

¹Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska

²Zakład Geodezji, Politechnika Poznańska

SŁOWA KLUCZOWE: eksploracja zdjęcia lotniczego, detekcja zmian zabudowy, SIP

STRESZCZENIE: Obrazy lotnicze lub satelitarne odgrywają coraz większą rolę podczas kontroli i aktualizacji baz danych miejskich systemów informacji. Podejmuje się próby wykorzystywania informacji bazodanowej jako inicjalnych danych uczących dla modułu rozpoznawania obiektów. Zestawienie rastrowego obrazu lotniczego z danymi wektorowymi pozwala zintegrować informację semantyczną dotyczącą określonych obiektów pokrycia terenu z odpowiednimi podobszarami obrazu rastrowego. Dzięki takiemu podejściu gromadzenie danych uczących jest w dużej mierze zautomatyzowane i tym samym znacznie przyspiesza stosowane procedury fotointerpretacyjne. Zaproponowana tu metodologia została zastosowana do analizy zmian zabudowy terenu. Ustalono, że monitorowanie powinno uwzględniać zarówno powstawanie nowych obiektów budowlanych jak i usuwanie starych. Procedura eksploracyjna ma charakter interaktywny, w którym system wskazuje operatorowi miejsca podejrzane o możliwość wystąpienia zmiany, zaś operator dokonuje ostatecznej weryfikacji wyboru i ręcznie wektoryzuje obiekty zakwalifikowane do zmiany. Do przetestowania przedstawionego tu podejścia, wykorzystano zdjęcie lotnicze obejmujące peryferia miasta Nekla wraz z przylegającym obszarem rolniczym. Opracowano algorytm obejmujący wczytanie wybranej informacji z bazy systemu Geo-Info, wygenerowanie modelu wektorowego dla aktualnego stanu zabudowy, przetworzenie ortofotomapy pod kątem wykrywania krawędzi oraz porównanie wyników z modelem wektorowym (algorytmy dylatacji i erozji). Efektem jest zbiór wskazań miejsc, gdzie mogło nastąpić wyburzenie budynku lub powstanie nowego. Omawiana procedura może działać w ramach programu Geo-Info, co znacznie ułatwia wybór obiektów do aktualizacji bazy.

1. WPROWADZENIE

Monitorowanie zmian rozmieszczenia i kształtu obiektów terenowych w środowisku urbanistycznym jest jednym z rutynowych zadań miejskiego SIP. Wiele miast realizuje program częstego odnawiania wielkoskalowej ortofotomapy. Jednocześnie prowadzone są mniej lub bardziej szczegółowe systemy informacji przestrzennej o logice wektorowej. Wdrażane są ponadto krajowe systemy informacji topograficznej (polski TBD, niemiecki ATKIS, kanadyjski NTBD, fiński NLS itp.), których celem jest dostarczenie uniwersalnej, aktualnej informacji wektorowej do różnych zastosowań. W tym zakresie także mieszczą się bazy dla miast. Jako źródło danych przestrzennych do aktualizacji baz topograficznych

również wskazuje się dane obrazowe. Dla zapewnienia zgodności semantycznej obu zbiorów danych niezbędne jest aktualizowanie zawartości baz na podstawie informacji obrazowej. Sprawne podejmowanie decyzji o charakterze lokalizacyjnym wymaga, aby proces aktualizacji przebiegał możliwie szybko i z dużą efektywnością. Fotogrametria i teledetekcja od dawna są uznawane jako dziedziny stwarzające najkorzystniejsze warunki na rozwiązanie tego zadania. Konsekwencją takiego podejścia powinno być opracowanie teledetekcyjnych metod aktualizacji tychże baz (Kressler *et al.*, 2005; Lim *et al.*, 2004).

Prowadzone są liczne prace badawcze i wdrożeniowe dotyczące opracowania mniej lub bardziej zautomatyzowanych metod aktualizacji baz danych wektorowych, począwszy od klasycznego, w pełni ręcznego procesu wektoryzacji (Lim *et al.*, 2004), poprzez próby wykorzystania różnych procedur klasyfikacyjnych, do prac podejmowanych w celu opracowania automatycznych procedur wykrywania zmian (Olsen, 2004; Shakelford *et al.*, 2005). W celu uzyskania możliwie najlepszych wyników opracowuje się różne podejścia wspomagające klasyfikację: zaawansowane metody pikselowe lub coraz częściej stosowane metody obiektowe (Kressler *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2005). Wprowadza się różne dane dodatkowe, takie jak charakterystyczny kształt budynków (Croitoru, 2003) lub inne ich cechy (Gonzalez *et al.*, 2005), a także numeryczne modele powierzchni terenu, czy też dane wysokościowe pozyskiwane metodą radarową (Esch *et al.*, 2004), skanerem laserowym (Matikainen *et al.*, 2004) lub z pomocą lidar (Sampath *et al.*, 2004). Rozwija się podejścia wywodzące się z innych dziedzin nauki, jak metody transformacji probabilistycznej (Liu *et al.*, 2005) lub falkowej (Bian, 2003), sieci neuronowe (Iwaniak *et al.*, 2005), metody decyzyjne (Croitoru, 2003) oraz sztuczną inteligencję (Samadzagedan *et al.*, 2003).

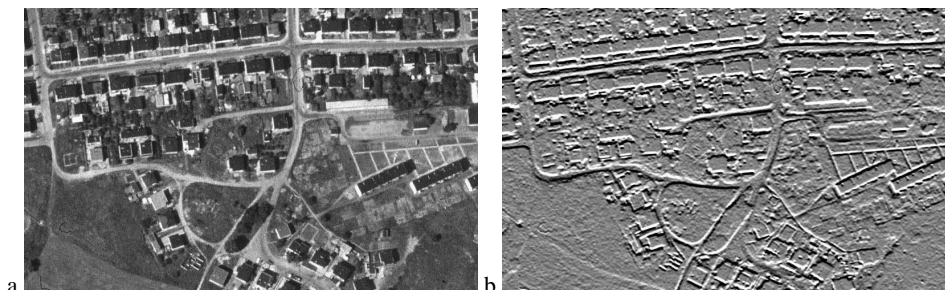
Z reguły zadaniem automatycznych procedur fotointerpretacyjnych jest opracowanie nowej mapy pokrycia terenu lub jej odpowiednika bazodanowego. Autorzy opisywanego tu podejścia przyjęli za cel opracowanie takiego algorytmu, który umożliwiłby wyszukiwanie i wskazywanie miejsc, gdzie informacja bazodanowa różni się od treści obrazowej. Aby to osiągnąć, przeprowadzono szereg analiz i prac informatycznych, których efektem jest metoda bazująca na wykrywaniu wzajemnie prostopadłych krawędzi i porównywaniu ich położenia względem obiektów zapisanych w wektorowej bazie danych. Wskazywane są wszystkie rozbieżności między tymi dwoma zbiorami, zarówno w zakresie braków (możliwe wyburzenia) jak i nadmiaru informacji pozyskanych ze zdjęcia (nowe obiekty). W celu ograniczenia liczby wskazań stosowane są filtry wykluczające obszary, gdzie zabudowy być nie może (drogi, wody, zwarte kompleksy leśne...), a także eliminujące obiekty odbiegające rozmiarami od oczekiwanych rozmiarów budynków.

Algorytm zaimplementowano do systemu informacji przestrzennej Geo-Info, który także może pełnić funkcje miejskiego SIP. Procedura automatycznie naprowadza operatora na miejsca wybrane przez moduł detekcji zmian w celu akceptacji lub odrzucenia tego wyboru i ewentualnej wektoryzacji zmiany (oraz uzupełnienia rekordu bazy o informacje opisowe). Moduł znajduje się obecnie z stadium testów. Badania sprawności procedury prowadzone są na obszarze testowym Nekla, dla którego istnieje aktualna baza Geo-Info. Dostępna jest też ortofotomapa tego terenu. W pracy wybrano fragment obejmujący nowopowstałe osiedle domów jednorodzinnych, graniczące ze starą strukturą gruntów ornych, będącą wciąż w stanie zabiegów agrotechnicznych. Poniżej opisane są podstawy teoretyczne przyjętego rozwiązania oraz zilustrowany proces wskazywania wykrytych zmian.

2. AUTOMATYCZNA DETEKcja ZMIAN ZABUDOWY

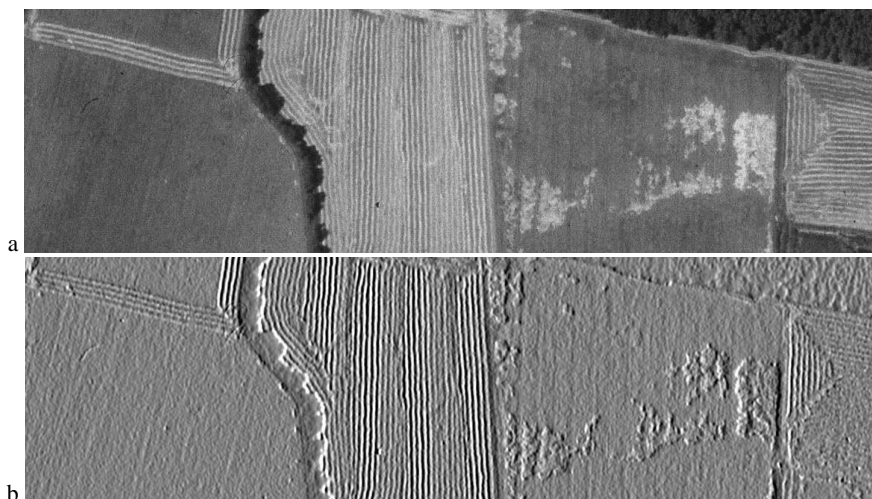
2.1. Podstawy teoretyczne selekcji zmian na podstawie wykrywania krawędzi

Z uwagi na znane problemy fotointerpretacji, takie jak nierównomierność oświetlenia, cienie czy zachodzenie na siebie obiektów, uznano, że składowe barwne obrazów nie będą rozpatrywane jako podstawowe kryterium ich identyfikacji. W odniesieniu do budynków dochodzi ponadto problem zróżnicowanej kolorystyki dachów oraz bogactwa różnych detali zainstalowanych na tychże dachach. Podjęto zatem próbę wykrywania obiektów budowlanych w oparciu o analizę ich kształtu, zakładając że istotną rolę będą tu odgrywały krawędzie i relacje przestrzenne między nimi. Zatem na wstępie procedury barwny obraz przetwarzany jest do postaci tonalnej. Najlepsze wyniki daje wykorzystanie składowej L z formatu Lab, do którego należy wcześniej przetworzyć obraz zapisany w formacie RGB. Jako filtr do wykrywania ścian budynków użyto operatora Sobela (rys. 1).



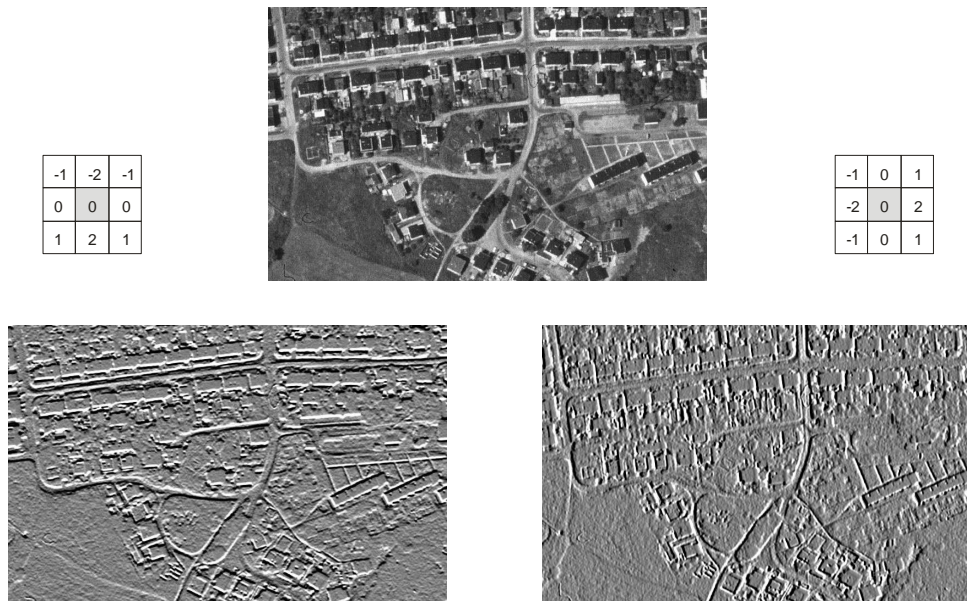
Rys. 1. Sposób wykrywania krawędzi na tonalnym obrazie terenu zabudowanego, przy użyciu operatora Sobela: (a) oryginalny obraz tonalny, (b) uwypuklone krawędzie

Operator ten może być z równym skutkiem wykorzystywany do uwypuklenia charakterystyki teksturalnej gruntów ornych (rys. 2) i innych klas obiektów terenowych.



Rys. 2. Zastosowanie operatora krawędziowego do oceny tekstury gruntów rolnych

Krawędzie budynków są najczęściej wzajemnie prostopadłe, dlatego tę ich cechę wykorzystano w procedurze wykrywania zmian zabudowy. Aby wykryć prostopadłość proces uwypuklenia krawędzi wykonuje się dwukrotnie, dla dwóch prostopadłych postaci operatora. Rysunek 3 ilustruje wyniki tych dwóch operacji, a rysunek 4 – efekt złożenia obrazów powstałych w wyniku ich zastosowania.



Rys. 3. Wynik operacji uwypuklenia krawędzi w dwóch prostopadłych kierunkach

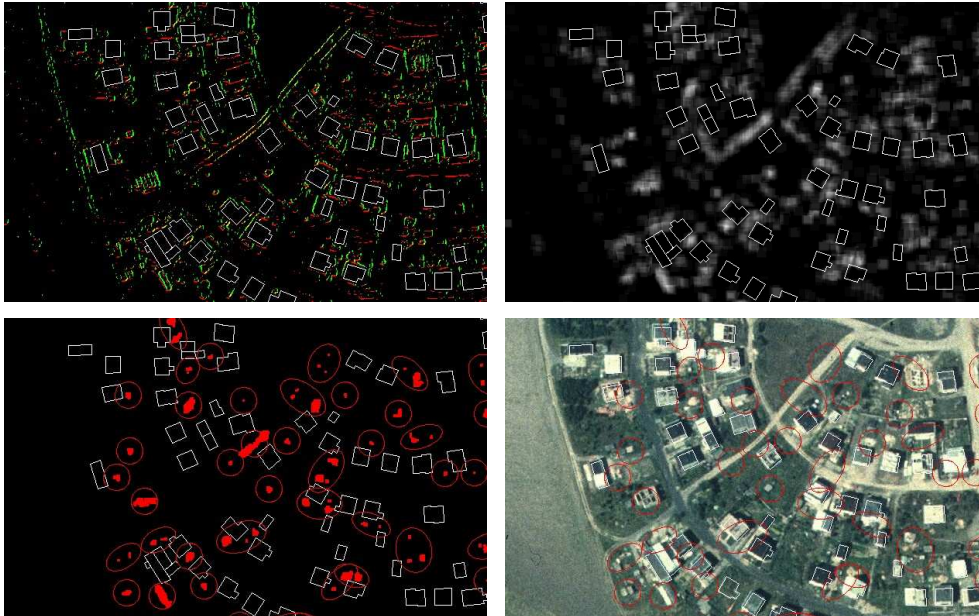


Rys. 4. Złożenie efektów wskazania wzajemnie prostopadłych krawędzi

Dalsze etapy procedury wykrywania zmian obejmują następujące czynności:

1. Binaryzacja otrzymanych obrazów krawędziowych.
2. Detekcja obszarów graniczących z pionowymi i poziomymi krawędziami.
3. Filtracja obrazu wynikowego za pomocą wybranych filtrów geometrycznych (powierzchnie, kształt).
4. Selekcja (i ewentualne łączenie) obszarów rozłącznych.
5. Wizualizacja wyników.

Poszczególne kroki algorytmu zilustrowane są w kolejnych fragmentach rysunku 5.



Rys. 5. Kolejne fazy opracowania obrazu w celu wskazania potencjalnych zmian: poziome i pionowe krawędzie, miejsca ich przecięć, wynik binaryzacji i porównanie z oryginałem

2.2. Powiązanie procedury z informacją bazodanową

Zakładając możliwość użycia omawianej tu procedury zarówno jako niezależnego programu, jak też jako modułu w ramach wektorowego systemu informacji przestrzennej, opracowano jego dwie wersje implementacyjne. W pierwszej wyjściowe dane wektorowe pozyskiwane są za pośrednictwem uniwersalnego pliku eksportu, zaś w drugiej – system łączy się z procedurą za pomocą oddzielnie opracowanego interfejsu. Dla czytelności przytoczymy tu przykład bazujący na danych z pliku eksportowanego z poziomu systemu Geo-Info. Fragment pliku dla obiektu testowego zamieszczono w tabeli 1.

Dane pozyskane z pliku służą do określenia obszarów zajmowanych przez kolejne budynki, co następnie jest wykorzystywane do ich powiązania z leżącymi w bezpośrednim sąsiedztwie wykrytymi prostopadłymi krawędziami. Aby ułatwić pracę operatorowi, poszczególne zmiany są ponumerowane, a system umożliwia przechodzenie między nimi za pomocą klawiszy strzałek lub poprzez wpisanie numeru zmiany. Na rysunku 6a pokazano wykryte wolne miejsce po usuniętym budynku, a na rysunku 6b podobne wskazanie spowodowane przekryciem istniejącego budynku przez koronę drzewa. Po prawej stronie rysunku 6b znajduje się nowy budynek, którego położenie podane jest w zestawie wskazań nowych budynków.

Tabela 1. Fragment źródłowego pliku tekstowego w standardzie eksportu Geo-Info

```
# EKSPORT z układu 1965_S4, osnowa 1965_S4, gmina 63641, operator Operator DEMO
# DATA: 27-02-2004, GODZ: 11:09
# _WERSJA=2000
# _SEPARATOR=;
# BUDYNKI=Kod;Nowy_numer;Dotychczasowy_numer;Metoda_pozysk_danych;Numer_operatu;Liczba_kondygnacji;Typ_budynku;Numer_arkusza_ew;Numer_obrębu;Miejscowość;Ulica;Numer_porządkowy;Uwagi
# PUNKTY=Kod;Numer_obrębu;Numer_arkusza_ew;Nowy_numer;X_w_ukł_bieżącym;Y_w_ukł_bieżącym
# _SEPARATOR=|

ESBZO|140||1 Pomiar na osnowę i obliczenia w tym pom. GPS powiąz. z osnową|KERG 12-135/03 |||1|1|3 Inny
w tym technicznego uzbrojenia terenu||1 Ognioodporny| 12| 209|Nekla|Zawodzie|9|
EPINN| 209| 12| 8671| 5704518.125| 3753442.234
EPINN| 209| 12| 8668| 5704519.167| 3753434.135
EPINN| 209| 12| 8672| 5704512.224| 3753433.242
EPINN| 209| 12| 8674| 5704511.182| 3753441.341
ESBZO|141||1 Pomiar na osnowę i obliczenia w tym pom. GPS powiąz. z osnową|KERG 12-135/03 |||1|1|1
Mieszkalny||1 Ognioodporny| 12| 209|Nekla|Zawodzie|9|
EPINN| 209| 12| 8705| 5704519.786| 3753452.054
EPINN| 209| 12| 8706| 5704520.371| 3753447.844
EPINN| 209| 12| 8704| 5704517.499| 3753447.445
EPINN| 209| 12| 8671| 5704518.125| 3753442.234
EPINN| 209| 12| 8674| 5704511.182| 3753441.341
EPPGS| 209| 12|1200193| 5704509.98| 3753450.697
...
```



Rys. 6a. Przykłady miejsc wskazanych przez system jako elementy usunięte – wskazanie poprawne



Rys. 6b. Przykłady miejsc wskazanych przez system jako elementy usunięte – błąd spowodowany zasłonięciem przez konary drzewa

Za każdym razem ostateczną decyzję interpretacyjną, co do charakteru zmiany podejmuje operator, jednak praca jego jest ułatwiona o tyle, że odnosi się jedynie do wskazanych przez procedurę miejsc.

3. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych testów praktycznych sformułowano następujące wnioski odnośnie zaproponowanego podejścia do detekcji zmian zabudowy:

1. Zaproponowany algorytm detekcji zmian urbanistycznych charakteryzuje się zarówno dużą efektywnością (krótki czas przetwarzania i analizy obrazu) jak również stosunkowo dobrymi wynikami rozpoznawania zmian środowiskowych.
2. Algorytm, ze względu na stosowaną analizę kształtu a nie charakterystykę barwną obiektów, odporny jest na zmienne warunki pogodowe ekspozycji zdjęć.
3. Lepsze wyniki uzyskuje się w zakresie wykrywania „wyburzonych” budynków niż wykrywania miejsc, gdzie powstały nowe zabudowania.
4. W celu zmniejszenia liczby „fałszywych alarmów” podczas detekcji nowych zabudowań, podejmowane są kroki w kierunku uzupełnienia zbioru analizowanych cech o atrybuty barwne.

Przedstawiony algorytm (podobnie jak większość algorytmów przetwarzania i analizy obrazu) wymaga eksperymentalnego ustalania wartości parametrów, jednak optymalny dobór wartości parametrów algorytmu może zostać zautomatyzowany i będzie przedmiotem dalszych prac.

4. LITERATURA

- Bian L., 2003. Retrieving urban objects using a wavelet transform approach. *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, 69 (2), s. 133-141.
- Croitoru A., Doytsher Y., 2003, Monocular right-angle building hypothesis generation in regularized urban areas by pose clustering. *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, 69 (2), s. 151-169.
- Esch T., Roth A., 2004. Semi-automated classification of urban areas by means of high-resolution radar data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, Com. 7, s. 478-482.
- Gonzalez A.J., Docampo G., Guerrero C.I., Sanz O.J., 2005. Rural buildings study and characterization through QuickBird satellite images and analysis. Proceedings of Intern. Cartographic Conference ICC2005, La Coruna, Spain, 9-16 July 2005 (CD).
- Iwaniak A., Kubik T., Paluszyński W., Tymków P., 2005. Classification of features in high-resolution aerial photographs using neural networks, Proceedings of International Cartographic Conference ICC2005, La Coruna, Spain, 9-16 July 2005 (CD).
- Kressler F.P., Steinnocher K., Frazen M., 2005. Object-oriented classification of orthophotos to support update of spatial databases. <http://www.definiens.com/pdf/publications/IGARSSkressler.pdf>
- Lim Y.J., Kim H.G., Jeong S., 2003. A design of change detection system based on visual interpretation of high-resolution satellite imagery. Proceedings ISPRS Commission IV Joint Workshop "Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II", s. 69-72.
- Liu Z.J., Wang J., Liu W.P., Building extraction from high resolution imagery based on multi-scale object oriented classification and probabilistic Hough transform. <http://www.definiens-imaging.com/documents/publications/IGARSSliu.pdf>
- Marangoz A.M., Oruc M., Buyuksalih G., 2005. Object oriented image analysis and semantic network for extracting the roads and buildings from IKONOS pan-sharpened images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, Com. 3.
- Matikainen L., Hyypä J., Kaartinen H., 2004. Automatic detection of changes from laser scanner and aerial image data for updating building maps. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, Com. 2., s. 434-439.
- Olsen B.P., 2004. Automatic change detection for validation of digital map databases. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV (B2), s. 569-574.
- Samadzadegan F., Azizi A., Hahn M., 2003. Automatic change detection of urban geospatial databases based on high resolution satellite images using AI concepts. Proceedings ISPRS Commission IV Joint Workshop "Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II", s. 61-66.
- Sampath A., Shan J., 2005. Urban modeling based on segmentation and regularization of airborne Lidar point clouds. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, Com. 3., s. 937-941.
- Shackelford A.K., Davis C.H., 2005. Automated processing of high resolution satellite imagery for feature extraction and mapping of urban areas. <http://www.eomonline.com/Archives/2005Jan/EOMJan05.pdf>, s. 17-19.

Praca została wykonana w ramach grantu KBN nr 4T12E 016 26 realizowanego w latach 2004-2007.

AUTOMATIC URBAN CHANGE DETECTION IN AERIAL IMAGES

KEY WORDS: exploration of aerial image, building change detection, GIS

Summary

In order to keep urban spatial databases up-to-date, it is necessary to inspect permanent changes to the environment and input new data into the system. Monitoring urban databases is increasingly conducted by analysis of aerial or satellite images. However, digital information can also be used as learning data for object recognition procedures. Comparison of raster aerial photographs with vector data makes it possible to integrate semantic information about the object's land cover with corresponding sub areas of the image. Thanks to this, it is possible to automatize the collection of learning data, which greatly increases the speed of used interpretation procedures.

The methodology described here was developed for building change detection. It was stated that monitoring should include the detection of both new and removed buildings. The procedure is interactive: the system shows places where new buildings may be in the image or where buildings existing in the database are not present, and the user can make a decision about the nature of the change and digitize a new object if necessary, and add any necessary descriptive information.

The solution was implemented in the Polish Geo-Info spatial information system. The orthophotomap of the part of the city of Nekla with surrounding agricultural areas was used for building change detection, and the corresponding database information was used as well. The algorithm includes:

- reading necessary information from the database to define places under existing buildings,
- color image conversion into grayscale form,
- use a Sobel operator to extract perpendicular edges,
- image binarization using heuristically defined threshold values,
- extraction of places differing from vector data,
- indicating each place subsequently on the screen.

The procedure works independently or within the Geo-Info system. The former approach uses imported vector data and has its own GUI, and the latter works as an internal procedure making it possible to update the existing database.

Dr inż. Jacek Jelonek
e-mail: jacek.jelonek@cs.put.poznan.pl
tel. +61 6657 637

Dr inż. Ireneusz Wyczałek
e-mail: ireneusz.wyczalek@put.poznan.pl
tel. +61 6652 420