

ANALIZA TERENU DLA CELÓW WOJSKOWYCH NA PODSTAWIE CYFROWYCH ZOBRAZOWAŃ POWIERZCHNI ZIEMI

TERRAIN ANALYSIS FOR MILITARY NEEDS WITH THE USE OF DIGITAL IMAGERY

Leszek Paszkowski

6. Samodzielny Oddział Geograficzny – JW 1440 Toruń

Słowa kluczowe: rozpoznanie obrazowe, ocena terenu, systemy eksperckie, zobrażenia cyfrowe

Keywords: imagery intelligence, terrain evaluation, expert system technology, digital imagery

Wprowadzenie

Teren jest podstawowym elementem w każdym scenariuszu operacyjnym. Wykorzystanie wiedzy o terenie pozwala na uzyskanie przewagi na polu walki. Produkty oceny terenu, takie jak mapa przejezdności terenu, mają na celu uwypuklenie tych obszarów, które samodzielnie lub w połączeniu z innymi elementami oddziałują pozytywnie lub negatywnie na możliwości wykonywania poszczególnych działań operacyjnych. Wykonując produkty oceny terenu należy przeanalizować wiele różnych czynników, które mają wpływ na mobilność wykorzystywanych sił i środków, warunki widoczności i prowadzenia ognia oraz maskowania i ukrycia. Niemniej ważne jest pozyskanie informacji o uzbrojeniu, wyposażeniu czy ruchach wojsk przeciwnika. Rozpoznanie jego sił i środków determinuje naszą taktykę i możliwości wykorzystania warunków terenowych. Środowisko przyrodnicze zmienia się nieustannie. Poza zmianami rocznymi związanymi z następstwem pór roku, dochodzą zmiany związane z eksploatacją zasobów oraz intensywnym rozwojem obszarów zurbanizowanych. Dla użytkowników wojskowych szczególne znaczenie ma aktualność danych, bowiem tylko takie źródła pozwalają na modelowanie rzeczywistego pola walki. Korzystając z map wojskowych różnego typu musimy się liczyć z pewną dezaktualizacją ich treści. Wykonanie produktu w postaci mapy cyfrowej, a następnie analogowej jest procesem złożonym. Zwykle dokonuje się wektoryzacji istniejących map o różnym stopniu aktualności, a następnie aktualizacji treści tematycznej. Zaktualizowane dane muszą zostać sprawdzone w terenie. Następnie mapa przechodzi etapy kartograficzne by wreszcie trafić do druku. Cały proces może trwać od kilku miesięcy do nawet kilku lat, co sprawia, że treść powstających map dezaktualizuje się. Ma to szczególne znaczenie dla map w dużych skalach, gdzie ilość szcze-

głów jest bardzo duża (np. plany miast), wykorzystywanych przede wszystkim na szczeblu taktycznym. Aktualność danych ma tu znaczenie priorytetowe, bowiem od niej może zależeć powodzenie całej misji i życie żołnierzy. Nie ma chyba obecnie lepszej metody uzyskania aktualnych danych o sytuacji na dowolnym fragmencie powierzchni ziemi jak pozyskanie cyfrowego zobrazowania czy to z pułapu satelitarnego czy lotniczego (rys. 1). Dane te są szczególnie cennym źródłem rozpoznania wojskowego. Można je również wykorzystać jako materiały podkładowe do aktualizacji różnego typu produktów geograficznych, np. map cyfrowych, jest to jednak proces złożony i przede wszystkim czasochłonny. Lepszym rozwiązaniem wydaje się, zatem pozyskanie żądanych informacji bezpośrednio z zobrazowania, a więc takie przetworzenie obrazu cyfrowego, by dokonać ekstrakcji danych istotnych ze względów wojskowych. Niniejszy artykuł opisuje kontynuację prowadzonych przez autora badań dotyczących wykorzystania do tego celu systemów eksperckich.

System ekspercki

Systemy eksperckie wykorzystują procedury wnioskowania do rozwiązywania tych problemów, które są na tyle trudne, że wymagają znaczącej wiedzy specjalistów. Systemy eksperckie są gałęzią stosowanej sztucznej inteligencji. Podstawowa idea polega na przeniesieniu zasobów wiedzy eksperta do komputera, który wyposażony jest w specjalne reguły wnioskowania i język komunikacji z użytkownikiem. Przetwarzanie obrazów jest dziedziną niezwykle obszerną i specjalistyczną, a ich interpretacja wymaga ogromnej wiedzy praktycznej, i technicznej. System ekspercki stara się naśladować decyzje eksperta – człowieka w konkretnej wybranej dziedzinie i może to robić w wielokrotnie powtarzalny i przyjazny dla użytkownika sposób. Statystyczne procedury przetwarzania obrazów, takie jak np. algorytm ISODATA czy klasyfikator maksymalnego podobieństwa działają bardzo dobrze wykonując analizę obrazów piksel po pikselu, identyfikując np. typy pokrycia terenu na podstawie ich sygnatury spektralnej. System ekspercki daje dużo większe możliwości przez detekcję i identyfikację obiektów na podstawie analizy związków przestrzennych z innymi cechami i ich kontekstem w obrazie. Proponowany system ekspercki stanowi zbiór reguł decyzyjnych, które testują te związki przestrzenne i zawartość obrazu. Reguły te są zgrupowane w postaci drzewa decyzyjnego, którego poszczególne gałęzie stanowią odpowiednie zapytania, warunki i hipotezy, które muszą być spełnione. Każda pozytywna lub negatywna odpowiedź kieruje analizę do kolejnej gałęzi – kolejnego zestawu zapytań. Wykorzystując utworzoną bazę wiedzy identyfikujemy obiekty stosując zapytania i hipotezy, które testują wartości radiometryczne pikseli w połączeniu z innymi cechami i warunkami przestrzennymi takimi, jak: wysokość n.p.m., spadki terenu, kształt, tekstura itp. W ten sposób możemy dokonywać ekstrakcji z zobrazowania dowolnego obiektu lub grupy obiektów spełniających złożony zestaw warunków sprecyzowanych przez eksperta. Możliwości ekstrakcji określonego typu informacji zależą od danych źródłowych, a więc posiadanych materiałów obrazowych. Czynniki determinującymi są tu oczywiście rozdzielczość przestrzenna, spektralna, radiometryczna i czasowa zarejestrowanych zobrazowań. Stosowane metody przetworzenia obrazu, są zatem uzależnione od posiadanych danych obrazowych. Przy czym sprawdza się zasada, że im bardziej zróżnicowany jest ten zbiór tym lepsze otrzymamy wyniki wykonywanej analizy. Analizowany zbiór danych zawiera monochromatyczne i wielospektralne sceny sate-

litarne LANDSAT, SPOT, IRS, IKONOS oraz zdjęcia lotnicze. Różna rozdzielczość terenu i spektralna pozwala na wyodrębnienie różnych cech ilościowych i jakościowych z zobrażenia, pokazując zależności pomiędzy rozdzielczością a możliwością ekstrakcji różnych typów informacji.

Rozpoznanie obrazowe

W poprzednich publikacjach (Paszkowski 2005, 2006), rozpatrywane były przede wszystkim aspekty wykorzystania cyfrowych zobrażeń powierzchni ziemi do wykonywania produktów oceny terenu szczebla taktycznego i operacyjnego, takich jak np. mapa przejezdności terenu czy mapa oceny terenu. W niniejszym opracowaniu schodzimy na dużo większy poziom dokładności i szczegółowości. Główny nacisk położony został na detekcję i identyfikację szczegółów typowych dla wojskowego rozpoznania obrazowego (ang. *imagery intelligence*) takich jak wyposażenie wojskowe i infrastruktura obronna. Przy projektowaniu systemu eksperckiego przyjęto jako podstawowe założenie, że będzie on miał architekturę obiektową. Zespoły obiektów powiązanych ze sobą, połączone będą wzajemnymi relacjami. Zmiana jakiegokolwiek elementu należącego do danej rodziny będzie automatycznie oddziaływać na całą rodzinę. Dla każdego obiektu należy gromadzić jak najbardziej kompletną wiedzę z danej dziedziny oraz możliwość jej permanentnej aktualizacji zgodnie z następującym w niej postępem naukowo-technicznym. Zaproponowany system ekspercki ma na celu poszukiwanie ściśle określonych obiektów, które gromadzone będą w bazie wiedzy (ang. *knowledge base*). Podstawowym zagadnieniem jest tutaj modelowanie obiektów znajdujących się w bazie. Jak zatem opisany powinien być obiekt, którego poszukiwać będziemy na zobrażowaniu? Znajac naturę zobrażeń cyfrowych i dostępne techniki ich przetwarzania możemy wyodrębnić dla każdego obiektu na zobrażowaniu następujące cechy charakterystyczne:

- kształt i wielkość – model 2D lub 3D,
- tekstura,
- sygnatura spektralna,
- inne cechy charakterystyczne (wynikające z opisu taktyczno-technicznego).

Kształt. W bazie wiedzy gromadzone powinny być „sylwetki” obiektów pozyskiwane bezpośrednio z zobrażeń, zarówno dwu- jak i trójwymiarowe. Każdy typ uzbrojenia posiadałby bibliotekę takich obiektów; pozytywny wynik kolejnych interpretacji, może być dodany do biblioteki jako materiał referencyjny. System pozyskuje w ten sposób kolejne dane i podobnie jak to jest w przypadku sieci neuronowych jego wiedza zwiększa się (następuje swoisty proces „uczenia się”). Im więcej analiz zostanie wykonanych (im większa liczba rozpoznanych obiektów), tym lepsze są wyniki późniejszych interpretacji. Wstępna analiza może się opierać na obiektach 2D, jednak dopiero trzeci wymiar w zdecydowany sposób zwiększa możliwości analityczne. Analizy przeprowadzane na numerycznych modelach terenu pokazują, że kryteria kształtu i wielkości znacznie redukują szum informacyjny (ogromna ilość obiektów zostaje wyeliminowana już na tym etapie). Jednak dodanie trzeciego wymiaru redukuje drastycznie liczbę obiektów zakwalifikowanych pozytywnie.

Sygnatura spektralna. Dla każdego pozytywnie zinterpretowanego obiektu w bibliotece, możemy pomierzyć i zapisać jako informację towarzyszącą, odpowiadające mu wartości

radiometryczne dla każdego pasma spektralnego, w jakim zobrazowanie zostało pozyskane. Taką sygnaturę spektralną opisuje się najlepiej przez statystyczne wartości charakterystyczne danej próbki takie jak: wartość średnia, maksimum, minimum, minority, majority, odchylenie standardowe. Rozbudowywana w ten sposób baza wiedzy zawierać będzie coraz to nowsze sygnatury różnych obiektów. Po uzyskaniu kolejnej próbki wyliczane są parametry statystyczne dla całej grupy. W ten sposób uzyskujemy po pewnym czasie, wartości progowe dla określonego obiektu i przedziały, w jakich zawierać się może odpowiadająca mu sygnatura spektralna. Dla obiektów wyodrębnionych w pierwszym etapie (analiza kształtu i wielkości) możemy, zatem dodatkowo zbadać sygnaturę spektralną, co pozwoli nam uzyskać miejsca, gdzie prawdopodobieństwo wystąpienia poszukiwanego obiektu jest jeszcze większe.

Tekstura. Jak wiadomo tekstura jest miarą różnorodności (zmienności) obrazu. Większość elementów środowiska naturalnego cechuje się wysoką teksturą (jak np. lasy – rys. 1). Z kolei obiekty antropogeniczne charakteryzują się, przeważnie, niską wartością tekstury (dużą jednorodnością). Najpopularniejsze metody badania tekstury obrazów cyfrowych bazują na filtrach statystycznych. W odróżnieniu od statystyki sygnatur spektralnych piksele obrazu zostają jednak najpierw fokalnie przetworzone. Uzyskujemy więc nowy obraz, na podstawie którego możemy obliczać parametry zmienności treści obrazu – teksturę. Wartości te stanowią kolejny element charakterystyczny interpretowanego obiektu.

Szczegółowe dane taktyczno-techniczne. Analiza kształtu, radiometrii i tekstury zalicza obiekty do określonej grupy. Każdy rodzaj uzbrojenia, wyposażenia wojskowego czy też inne obiekty zainteresowania posiadają charakterystyczne parametry techniczne, których potwierdzenie pozwala na uściślenie wyników interpretacji. Mogą to być takie dane jak: umiejscowienie wieżyczki, długość lufy, rozmieszczenie karabinów itd. Informacje takie możemy pozyskiwać wykorzystując profesjonalne biblioteki wyposażenia i urządzeń naziemnych istotnych ze względów obronnych, takie jak np. Jane's Defence Equipment Library. Wykonywane na tym etapie analizy, to przede wszystkim różnego rodzaju wymiarowanie, porównywanie z wzorcem, obliczenia stosunków i inne metody poszukiwania cech wspólnych.

W omawianym systemie analizy wykorzystano wykonany metodami fotogrametrycznymi numeryczny model pokrycia terenu (NMPT – rys. 2) oraz numeryczny model rzeźby terenu (NMT). Następnie odjęto od NMPT model rzeźby terenu. W wyniku takiej operacji otrzymujemy warstwę tematyczną zawierającą wszystkie obiekty na powierzchni ziemi (wszystko, co wystaje ponad teren).

Otrzymujemy zatem plik z obiektami trójwymiarowymi, wśród których poszukujemy tych najbardziej nas interesujących. Uzyskana w ten sposób warstwa jest następnie analizowana przez system. W pierwszym etapie oczyszczamy model, usuwając wszystkie obiekty, które nie są przydatne. Podstawowym kryterium jest tu wielkość obiektu. Mając w bazie wiedzy informacje dotyczące parametrów uzbrojenia wiemy, że istniejący obiekt nie może być ani większy ani mniejszy od jakiejś konkretnej wartości. Przy czym pod uwagę bierzemy tu wszystkie trzy wymiary: szerokość, długość i oczywiście wysokość. Zatem wszystkie obiekty, które przy założonym poziomie dokładności, nie spełniają wymagań, zostają odrzucone. Uzyskujemy w ten sposób warstwę z obiektami, które potencjalnie mogą stanowić dany typ uzbrojenia. Analiza ta jest szczególnie cenna i korzystna, gdy szybko chcemy odpowiedzieć na pytanie czy w danym obszarze znajduje się konkretny typ uzbrojenia, który z kolei może świadczyć o występowaniu określonego typu sił, czy prowadzeniu określonego typu działań. W jej wyniku uzyskujemy w sposób niemal automatyczny wykaz współrzed-

nych obiektów, które mogą odzwierciedlać określony typ uzbrojenia. Analitycy nie muszą, zatem przeglądać szeregu zdjęć dużego obszaru, lecz w pierwszej kolejności sprawdzają obszary wytypowane przez system. W przypadku potwierdzenia wyników interpretacji nakazuje się systemowi poszukiwanie obiektów najbardziej podobnych do zlokalizowanego.

Obiektowa architektura proponowanego systemu pozwala na wykonywanie wielu zadań (operacji, wątków) jednocześnie w jego poszczególnych węzłach. Dla każdego typu materiału wejściowego obowiązuje inny algorytm postępowania. Wykorzystywać możemy różne dane o różnym stopniu przetworzenia, dlatego ważne jest by na każdym etapie analizy możliwe było wykorzystanie danych już istniejących. Nie ma na przykład potrzeby generowania za każdym razem od początku numerycznego modelu rzeźby terenu, bowiem jest to produkt, który niemal nie ulega zmianom, a jego generowanie jest procesem czasochłonnym. Część analiz wykonywana jest na obrazach pierwotnych, inne na obrazach powstałych w wyniku ich przetworzenia. Właściwe określenie kolejności tworzenia produktów czy półproduktów ma kluczowe znaczenie dla sprawności systemu. Danymi wejściowymi są nie tylko dane obrazowe, lecz również wektorowe i towarzyszące im, bądź autonomiczne, informacje opisowe, których głównym zadaniem jest dostarczanie parametrów do analizy podczas ekstrakcji informacji z zobrazowań.

Produkty oceny terenu

Na każdym etapie planowania czy prowadzenia działań wojskowych wykorzystywane są różne produkty oceny terenu, takie jak na przykład: mapa oceny terenu, czy mapa przejezdności. Produkty te możemy z powodzeniem otrzymać w wyniku przetworzenia cyfrowych zobrazowań powierzchni ziemi. Jest to proces złożony, gdyż analizie podlega wiele typów informacji, jednak wykorzystanie technologii systemów eksperckich pozwala na efektywne przetworzenie takiego zbioru informacji. Zagadnienie wykorzystania zobrazowań cyfrowych i technologii systemów eksperckich do wykonywania produktów oceny terenu zostały szczegółowo omówione w poprzednich publikacjach (Paszkowski, 2005, 2006).

Podsumowanie

Istniejące obecnie systemy rozpoznania obrazowego to przede wszystkim systemy wspomagania decyzji. Operator jest na pewnym etapie interpretacyjnym wspomagany przez dane zawarte w bibliotekach wyposażenia wojskowego lub dane o elementach infrastruktury. Brak tu właściwie automatyzacji procesów rozpoznawania. Od początku do końca interpretacji i wnioskowania dokonuje sam operator – ekspert, system zaś wspiera jego decyzję dostarczając mu wiedzy opisowej. Przedstawione powyżej rozważania prezentują w ogromnym skrócie problematykę automatyzacji procesu interpretacji w rozpoznaniu wojskowym. Przedstawiona powyżej zautomatyzowana analiza nie daje stuprocentowej pewności interpretacji. Pozwala jednak, przy dużej ilości materiału obrazowego (dla dużych obszarów) na ograniczenie szumu informacyjnego i wyodrębnienie w całym zestawie obrazów tych obszarów, dla których prawdopodobieństwo wystąpienia danego obiektu jest największe. Oczywiście konieczne jest potwierdzenie tych informacji przez operatora, ale w przypadku zadań

rozpoznawczych czas ma znaczenie kluczowe. Wprowadzenie elementów automatyki i wskazanie obszarów potencjalnego występowania poszczególnych obiektów wielokrotnie skraca czas analizy. Opracowywanie i wdrażanie technik automatyzacji, skracających czas powstania informacji rozpoznawczej jest sprawą priorytetową. Rozwój systemów rozpoznania obrazowego musi iść nieustannie właśnie w tym kierunku. Zaletą systemów eksperckich jest to, że ilekroć pojawi się nowy algorytm pozyskiwania informacji lub nowe źródło danych, mogą być one łatwo adoptowane do istniejącego systemu, zwiększając dokładność i efektywność wykonywanej analizy.

Literatura

- Mather P.M., 2004: Computer processing of remotely-sensed data, The university of Nottingham.
- Lach Z., Łaszczuk A., Nowak Z., 2000: Ocena terenu według NATO, Warszawa.
- Paszkowski L., 2003: Analiza możliwości odzyskania utraconej informacji zobrazowania cyfrowego dla celów utworzenia Numerycznego Modelu Terenu, praca dyplomowa, WAT.
- Paszkowski L., 2005: Ekstrakcja informacji z obrazowań cyfrowych dla celów militarnej oceny środowiska geograficznego, *Roczniki Geomatyki* 2005, Tom III, Zeszyt 4.
- Paszkowski L., 2005: Wykorzystanie środowiska ERDAS IMAGINE w procesie analizy i oceny terenu dla potrzeb wsparcia geograficznego Sił Zbrojnych RP, V Konferencja użytkowników Systemu ERDAS i LPS, Warszawa.
- Paszkowski L., 2006: Using digital imagery in cross-country movement assessments, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 15, No. 3C .
- Rutkowski L., 2005: Metody i techniki sztucznej inteligencji – inteligencja obliczeniowa, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Smith C., Brown N., Margaret D., Strater S., 1977: ERDAS Field Guide, ERDAS Inc.
- Swan P., Davis S., 1978: Remote Sensing: The Quantitative Approach. New York, McGraw Hill Book Company.
- Ocena terenu na szczeblu operacyjnym i taktycznym, Wydział topograficzny i operacyjnej oceny terenu w G-2, Kraków 2000.
- FM 5-33 Terrain Analysis, Department of the Army, Washington 1993.
- FM 5-105 Topographic Operations, Department of the Army, Washington 1994.

Summary

The digital imagery is a powerful source of information for military use. This paper describes author's research in the analysis of digital image data in terrain evaluation for military needs. It includes qualitative and quantitative definition of information and elaboration methods of information extraction. The proposed methodology is based on extraction of supplementary information from imagery with the use of the expert system technology for military intelligence and terrain evaluation. Expert system technology takes the classification concept a giant step further by analyzing and identifying features based on spatial relationships with other features and their context within an image. The knowledge base identifies features by applying questions and hypotheses that examine pixel values, relationships with other features and spatial conditions. Analyzed dataset contain panchromatic and multispectral satellite scene: LANDSAT, SPOT, IRS, IKONOS and aerial photos. The paper points to problems connected with extraction of information from imagery.

por. mgr inż. Leszek Paszkowski
paszkowski_leszek@o2.pl
tel. (056) 690 27 71



Rys. 2. Numeryczny model powierzchni terenu (NMPT) wykonany z przetworzonych zdjęć lotniczych (Warszawa Bemowo – miasteczko akademickie WAT) z wykorzystaniem modułu LPS pakietu ERDAS (wizualizacja VirtualGIS)