

WOJCIECH BYCHAWSKI

[528.71:629.785:621.398].001.33

Klasyfikacja nadzorowana przy użyciu metody weryfikacji hipotez statystycznych

Zarys treści. Przedstawia się prosty sposób wykonywania nadzorowanej klasyfikacji treści zdjęć lotniczych i satelitarnych. Sposób ten polega na weryfikowaniu hipotezy statystycznej o przynależności zbioru wzorca i zbiorów obszarów klasyfikowanych do jednej populacji odpowiedzi spektralnych. Wartość średnią odpowiedzi spektralnej określonej klasy oraz odchylenie standardowe traktuje się jako cechy rozpoznawcze. Przedstawiony sposób klasyfikacji zachowuje swą istotę dla każdej liczby kanałów informacji, nie tylko teledetekcyjnych. Algorytm postępowania klasyfikacyjnego jest na tyle prosty, że może być on realizowany nawet przy użyciu kalkulatora programowanego.

Osoba wizualnie analizująca obraz lotniczy lub satelitarny wykorzystuje, oprócz fototonu (bądź barwy) będącego miarą odpowiedzi spektralnej obiektu, wiele innych cech rozpoznawczych, a zwłaszcza cechy kształtu, struktury oraz tekstury rozpoznawanego obiektu. Bez łącznego percepcowania tych cech, jak i innych — pomocniczych — interpretator ma znikome szanse na skuteczne zadziałanie jego psychologicznego systemu kojarzenia treści obrazu z zasobem posiadanej wiedzy o przedmiocie. Ten system jest tak skomplikowany, tak bardzo zależny od okoliczności, od indywidualnych cech interpretatora, jest wreszcie tak mało poznany, że jak dotąd nie udało się sformułować użytecznego algorytmu klasyfikacji wizualnej.

Wizualna interpretacja zdjęć preferuje cechy kształtu i tekstury podczas, gdy jedyną jak dotąd użyteczną drogą ku automatyzacji jest posługiwanie się li tylko wartością odpowiedzi spektralnej.

Wszystkie cechy rozpoznawcze, zarówno bezpośrednio (kształt, struktura, tekstura), jak i pośrednie (np. cień) wywodzą się z różnie uporządkowanych zbiorów elementarnych powierzchni obrazu. Obraz w granicach kadru lub sceny może być traktowany jako uporządkowany zbiór elementarnych powierzchni, z których każdej można przyporządkować trzy współrzędne (X , Y , Z). Współrzędne X , Y określają położenie elementu obrazu w jego płaszczyźnie, natomiast trzecia współrzędna (Z) charakteryzuje odpowiedź spektralną fragmentu obiektu odpowiadającego elementarnej powierzchni obrazu.

Obraz w granicach kadru lub sceny może być także traktowany jako zbiór zbiorów, z których każdy reprezentuje sobą obraz jakiegoś obiektu

(przedmiotu). Dążenie do wyodrębnienia z ogółu elementarnych powierzchni obrazu tylko tych, które przynależą do zbioru reprezentującego określony rodzaj obiektów zwykle się nazywało klasyfikacją treści obrazu.

Obecnie istnieje wiele różnych, na ogół bardzo skomplikowanych systemów klasyfikacji. W tej pracy pragnę zaproponować i poddać pod rozwagę pewien sposób rozumowania, który — moim zdaniem — przy użyciu prostego algorytmu prowadzi do skutecznych rozwiązań w zakresie nadzorowanej klasyfikacji treści obrazów i to bez względu na liczbę wyciągów spektralnych, a nawet — mówiąc jeszcze ogólniej — bez względu na liczbę kanałów dopływu informacji.

Rozpocznijmy rozumowanie od sytuacji najprostszej, w której mamy do czynienia tylko z jednym wyciągiem spektralnym (z jednym zobrazowaniem przedmiotu). Przyjmuję, że potrafię — w jakiś sposób — wybrać z całego zbioru stanowiącego scenę lub kadr wszystkie te elementarne powierzchnie obrazu, które swymi współrzędnymi (X , Y , Z) określają usytuowanie i charakterystykę odpowiedzi spektralnych określonego typu obiektu. Taki zbiór nazwijmy klasą.

Gdyby typ obiektu stanowiący klasę był jednorodny w sensie spektralnym, wówczas wielkości współrzędnej Z tego zbioru byłyby sobie równe. Taka sytuacja odpowiada w teorii amorficznej strukturze obrazu obiektu. Gdybyśmy rozpatrywali obiekty, których obrazy coraz to bardziej tracą swój amorficzny charakter, to zbiór odpowiedzi spektralnych będzie coraz to bardziej zróżnicowany. Wyrazi się to między innymi wzrostem odchylen wielkości odpowiedzi spektralnych wyrażonych współrzędną Z poszczególnych elementarnych powierzchni obrazu tworzących klasę od średniej odpowiedzi spektralnej tej klasy (\bar{Z}). Miarą takiej cechy jest wariancja lub odchylenie standardowe.

Zwykłą, dwuparametrową charakterystyką zbioru np. $Z(\bar{Z}, \sigma_z)$ dana w postaci statystyk \bar{Z} (średnia arytmetyczna) i σ_z (odchylenie standardowe) zawiera w sobie więcej niż jedną cechę rozpoznawczą. Parametr \bar{Z} (średnia arytmetyczna) odpowiada pojęciowo natężeniu fototonu, natomiast parametr σ_z (odchylenie standardowe) zawiera w sobie — przynajmniej pojęciowo — te informacje, jakie wynikają z cech struktury i tekstury razem wziętych niestety bez możliwości ich rozdzielenia.

Dotychczas przyjmowaliśmy, że mamy do czynienia ze zbiorem wszystkich elementarnych powierzchni obrazu tworzących klasę. Rozpatrywaliśmy zatem sytuację, do jakiej się dopiero dąży, a więc odwrotną do takiej, z jaką ma się do czynienia w rzeczywistości.

Przystępując do klasyfikacji z reguły nie znamy charakterystyk zbiorów poszczególnych klas. Skoro jednak przyjmuje się pojęciowo uzasadnione przekonanie o tym, że statystyki zbiorów klas mają charakter teledetekcyjnych cech rozpoznawczych, to można wprowadzić do rozwa-

zań o klasyfikacji sposoby zaczerpnięte z arsenału środków statystyki matematycznej.

Potraktujmy — zgodnie z rzeczywistością — zbiór odpowiedzi spektralnych obiektów klasy jako badaną populację generalną o nieznanym charakterystyce. Jak wiadomo, poszukiwaną charakterystykę populacji generalnej można oszacować na podstawie prób pobranych z tej populacji. Jeżeli próby będą określone znaczeniowo, tzn. jeżeli będą się składać z odpowiedzi spektralnych elementarnych powierzchni obiektu należącego do danej klasy, to mogą być one traktowane jako punkt wyjścia do określenia wzorca klasy. Dla zachowania jasności wyводу pomijam ogół spraw związanych z reprezentatywnością prób przyjmując, że próby są reprezentatywne.

Jeżeli próbą jest n elementowy zbiór elementarnych powierzchni obrazu przedmiotów należących do danej klasy, to oszacowanie parametrów zbioru klasy może nastąpić na podstawie dwóch statystyk:

— średniej odpowiedzi spektralnej

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} Z_i \quad (1)$$

— odchylenia standardowego

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\bar{Z} - Z_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Celem postępowania klasyfikacyjnego jest wskazanie, które elementarne powierzchnie obrazu rozpatrywanego obszaru (np. sceny lub kadru) należą do populacji generalnej określonej klasy. Takie wskazanie można uzyskać przez weryfikowanie hipotezy H o nie istotności różnicy między średnią odpowiedzią spektralną klasy (1) a odpowiedzią spektralną klasyfikowanego fragmentu obszaru.

Niech średnią odpowiedzią spektralną klasy oszacowaną na podstawie n_w elementowej próby symbolizuje oznaczenie \bar{Z}_w . Symbolem \bar{Z}_p oznaczmy wielkość (średnią) odpowiedzi spektralnej obszaru klasyfikowanego określoną na podstawie odpowiedzi spektralnych pewnej liczby n_p elementarnych powierzchni obrazu.

Obie te wielkości (tj. \bar{Z}_w oraz \bar{Z}_p) można traktować (z założenia) jako estymatory nieznaną jedną i tej samej średniej odpowiedzi spektralnej wszystkich obiektów danej klasy. Gdyby tak w istocie było, to wielkości te powinny być sobie równe.

Mówiąc o równości wielkości średnich (\bar{Z}_w oraz \bar{Z}_p) jako o warunku przynależności obu tych zbiorów do jednej populacji generalnej (klasy)

trzeba pamiętać o ich przybliżonym charakterze, zależnym także od liczebności n_w oraz n_p .

Intuicyjnie uzasadniony warunek $\bar{Z}_w = \bar{Z}_p$, tj. warunek przynależności pola klasyfikowanego do wzorca klasy, musi być zatem zastąpiony innym warunkiem, uwzględniającym przybliżenie (w tym także przedział zmienności) z jakim są dane obie te wielkości. Takim warunkiem może być wyrażenie:

$$|\bar{Z}_w - \bar{Z}_p| \leq t_\alpha |m_\Delta| \quad (3)$$

Wzór (3) reprezentuje sobą następującą treść: obszar klasyfikowany P określony odpowiedzią spektralną \bar{Z}_p może być uznany jako tożsamy jakościowo z wzorcem \bar{Z}_w reprezentującym klasę obiektów W , jeżeli wartość bezwzględna różnicy tych wielkości nie będzie większa od wielokrotności t_α błędu określenia tej różnicy (m_Δ).

Warunek zapisany wzorem (3) może być zatem traktowany jako ten, który pozwala utożsamiać lub wykluczać przynależność obszaru klasyfikowanego do wzorcowego czyli pozwala prowadzić klasyfikację treści obrazu lotniczego lub satelitarnego.

W praktyce otwartą kwestią pozostaje wielkość t_α , czyli kwestia określenia właściwej krotności wielkości średniego błędu (szerokości wstęgi wahań wzorca). Właściwe rozwiązanie tej kwestii może nastąpić dopiero wtedy, gdy przyjmie się jakiś test weryfikujący hipotezę

$$H_0; \bar{Z}_w = \bar{Z}_p \quad (4)$$

uwzględniający pewne uwarunkowania wynikające z istoty teledetekcji oraz z zasad statystyki matematycznej.

Z punktu widzenia teledetekcji jest ważne, aby test weryfikujący hipotezę H_0 (4) był sprawny zwłaszcza dla małych liczebności próby wzorca (n_w) oraz pola klasyfikowanego (n_p). Dążenie do małej liczebności próby wzorca jest ściśle związane z kosztami prac terenowych natomiast liczebność pola klasyfikowanego decyduje o szczegółowości klasyfikacji (rozdzielczość), zwłaszcza ilościowej. Warto zauważyć, że te wymagania stoją niejako w sprzeczności z ogólną zasadą o wiarygodności wniosku statystycznego, która — jak wiadomo — rośnie w miarę wzrostu liczebności prób.

Poszukiwany test powinien ponadto uwzględniać już wcześniej uzasadnioną możliwość przypisywania odchyleniu standardowemu znaczenia cechy rozpoznawczej w zrozumieniu teledetekcji. Warunek zapisany wzorem (3) mieści bowiem w sobie to pojęcie, ukryte w znaczeniu symbolu m_Δ .

Testy weryfikujące hipotezy statystyczne są z reguły konstruowane z myślą o stosowaniu ich w sytuacjach, w których jest znany typ roz-

kładu. W przypadku zbiorów odpowiedzi spektralnych elementarnych powierzchni obiektów będących przedmiotem zainteresowania teledetekcji zdefiniowanie typu rozkładu jest kwestią dyskusyjną. Są jednak przesłanki, aby rozkład traktować jako normalny.

Pierwszą z przesłanek jest często wyrażane przekonanie, że zjawiskom przyrodniczym — a takie są właśnie w przewadze przedmiotem badań metodą teledetekcji — towarzyszy z reguły rozkład w przybliżeniu normalny [4]. Inną przesłanką, która niejako rozszerza przyzwolenie traktowania rozkładu jako normalny również i na obiekty nie przyrodnicze, jest wniosek wynikający z centralnego twierdzenia granicznego Lapunowa ([1] str. 147). Mówi się tam bowiem o tym, że jeżeli badana populacja jest zbiorem dużej liczby wzajemnie niezależnych zmiennych losowych, a co za tym idzie wpływ każdej z nich na średnią jest znikomo mały, to rozkład jest w przybliżeniu normalny.

Tak więc, aczkolwiek należy się liczyć z koniecznością śledzenia histogramów w trakcie klasyfikacji, to jednak poszukiwany test weryfikujący hipotezę H_0 (4) może być oparty na przekonaniu o normalności rozkładu. Nie jest to zresztą najbardziej istotne z punktu widzenia meritum przedstawianego sposobu klasyfikacji. Gdyby się bowiem kiedyś okazało, że założenie o normalności rozkładu jest nieścisłe, to w proponowanym sposobie klasyfikacji zmieni się jedynie postać testu weryfikującego hipotezę H_0 bez potrzeby zmiany istoty sposobu klasyfikacji.

Testem, który spełnia wymienione warunki jest parametryczny test istotności dla dwóch średnich, opisany między innymi przez J. Grenia [2].

Test ten służy badaniu dwóch populacji mających rozkłady normalne w sytuacji, gdy odchylenia standardowe tych populacji są nieznanne lecz jednakowe. Test umożliwia weryfikowanie hipotezy zerowej H_0 ; $Z_w = Z_p$ wobec hipotezy alternatywnej H_1 ; $Z_w \neq Z_p$ wówczas, gdy nieznanne średnie Z_w i Z_p obu populacji są oszacowane średnimi \bar{Z}_w oraz \bar{Z}_p określonymi na podstawie małych prób o liczebnościach odpowiednio n_w oraz n_p . Z wyników tych prób oblicza się także wariancje S_w^2 oraz S_p^2 (2), a następnie wartość statystyki t z wzoru:

$$t = \frac{\bar{Z}_w - \bar{Z}_p}{\sqrt{\frac{n_w S_w^2 + n_p S_p^2}{n_w + n_p - 2} \left(\frac{1}{n_w} + \frac{1}{n_p} \right)}} \quad (5)$$

Ta statystyka, przy założeniu prawdziwości hipotezy H_0 , ma rozkład t -Studenta przy $r = n_w + n_p - 2$ stopniach swobody. Z tablic rozkładu t -Studenta można odczytać dla r stopni swobody i dla z góry założonego poziomu istotności α wartość krytyczną t_α . W ten sposób otrzymuje się wszystkie dane do weryfikacji hipotezy zerowej (H_0).

Jeżeli zachodzi nierówność

$$|t| \geq t_\alpha \quad (6)$$

to sprawdzaną hipotezę H_0 ; $Z_w = Z_p$ odrzucamy na poziomie istotności α . W postępowaniu klasyfikacyjnym oznacza to, że obszar pola klasyfikacyjnego nie wywodzi się z populacji, której miano zostało określone wzorcem klasy. Mówiąc prościej: pole klasyfikowane P nie może być w takim przypadku zaliczone do klasy W zdefiniowanej wzorcem $W(Z_w, S_w)$ z tym jednak, że istnieje prawdopodobieństwo α , że ten wniosek może być błędny.

Gdy zajdzie nierówność przeciwna tj.:

$$|t| < t_\alpha \quad (7)$$

wówczas nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 o równości średnich.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na szczególną cechę tego wnioskowania, a mianowicie: Klasyfikując treść obrazu lotniczego lub satelitarnego zadajemy sobie pytanie, czy mamy prawo uznać badany obszar za tożsamy jakościowo z ustanowionym wzorcem. W wyniku weryfikacji hipotezy H_0 wnioskowanie (na przyjętym poziomie istotności) dotyczy tylko przypadku negacji. Innymi słowy jako pewną (w sensie statystycznym) można traktować tylko informację o nieprzynależności obszaru P do klasy W . Do sklasyfikowania, czyli do przyporządkowania badanemu obszarowi cech wzorca dochodzi się pojęciowo dość okrężną drogą. Podstawą do sklasyfikowania może być tylko stwierdzenie nierówności (7), czyli stwierdzenie braku podstaw do odrzucenia hipotezy o przynależności obszarów P i W do jednej klasy. A zatem mniemanie o sklasyfikowaniu opiera się nie na stwierdzeniu (statystycznym) przynależności porównywanych obszarów do jednej klasy lecz na braku podstaw do zaprzeczenia temu. Obiegowe twierdzenie po klasyfikacji np. „to jest żyto” w istocie brzmi: „nie mam podstaw do twierdzenia, że to nie jest żyto”.

Różnica między tymi stwierdzeniami jest dość znamienna. Mógłby ktoś powiedzieć, że wnioskowanie właściwe („nie mam podstaw do twierdzenia, że to nie jest żyto”) jest nadto ostrożne, że jest tylko ekwilibrystyką słowną i że zastąpienie go stwierdzeniem kategoriycznym („to jest żyto”) nie powinno budzić zastrzeżeń.

Może tak byłoby rzeczywiście gdyby nie to, że nigdy nie można z całą pewnością stwierdzić, iż oprócz zbioru W (np. „żyto”), którego wzorzec służył do zweryfikowania hipotezy H_0 nie istnieje jeszcze inny zbiór odpowiedzi spektralnych nie należących do klasy W lecz mających taką samą charakterystykę. A taka sytuacja może przecież zaistnieć. Analiza tylko fototonu na zdjęciach panchromatycznych aż nadto potwierdza tę obawę.

Z drugiej strony trzeba przyznać, że ewentualne zaniechanie przejścia od wnioskowania na zasadzie podwójnej negacji do klasyfikacji utrzymanej w tonie kategoriowym nie idzie w parze z atmosferą zaufania, którą chciałoby się otoczyć opracowania wykonywane metodą teledetekcji.

Stosownym sposobem zwiększenia ufności do opisu jakiegoś zdarzenia jest porównanie takiego opisu z innymi, wykonanymi niezależnie, przy odmiennym spojrzeniu. W teledetekcji drogą ku temu jest zobrazowanie *wielospektralne*.

Omówiony dotąd sposób klasyfikacji zakładał istnienie jednego kanału informacji. Zwiększenie liczby kanałów (analiza wielospektralna) umożliwia stawianie hipotez i ich weryfikację niezależnie, osobno dla każdego z kanałów.

Analizując tylko jeden kanał mieliśmy, w efekcie końcowym gromadzenia danych, wzorec klasy W dany w postaci estymatora średniej arytmetycznej odpowiedzi spektralnych czyli \bar{Z}_w oraz odchylenia standardowego S_w :

$$W(\bar{Z}_w, S_w) \quad (8)$$

Podobnie można było zapisać charakterystykę obszaru klasyfikowanego, czyli

$$P(\bar{Z}_p, S_p) \quad (9)$$

Wielkości ukryte w symbolach wzorów (8) i (9) wystarczały do przeprowadzenia weryfikacji hipotezy H_0 szczegółowo już opisanym parametrycznym testem istotności dla dwóch średnich.

Stosując ten sam sposób zapisu wzorec klasy W oraz obszar klasyfikowany P w przypadku k kanałowego zobrazowania można zapisać w postaci:

$$W(\bar{Z}_w^{(1)}, S_w^{(1)}, \bar{Z}_w^{(2)}, S_w^{(2)}, \dots, \bar{Z}_w^{(k)}, S_w^{(k)}) \quad (10)$$

$$P(\bar{Z}_p^{(1)}, S_p^{(1)}, \bar{Z}_p^{(2)}, S_p^{(2)}, \dots, \bar{Z}_p^{(k)}, S_p^{(k)}) \quad (11)$$

Każda para zespołów:

$$\bar{Z}_w^{(i)}, S_w^{(i)} \quad (12)$$

$$\bar{Z}_p^{(i)}, S_p^{(i)} \quad (13)$$

dla $i = 1, 2, \dots, k$

może być traktowana jako przedmiot odrębnej klasyfikacji przeprowadzonej wg już ustalonych reguł klasyfikacji jednokanałowej. Teraz już nie raz, ale k razy (tj. tyle, ile jest kanałów) wydajemy opinię; albo kategoriowo wykluczającą przynależność wzorca i obszaru klasyfikowanego do jednej klasy (owo sakramentalne „to nie jest żyto”), albo

wydajemy opinię klasyfikującą warunkowo, wynikającą z zasady podwójnej negacji („nie mam podstaw do twierdzenia, że to nie jest żyto”).

Statystyczna pewność negacji czyni, że wystarczy aby jeden tylko raz (tzn. w jednym z kanałów) hipoteza H_0 o równości średnich była odrzucona, by można było orzec negatywny wynik klasyfikacji obszaru P do klasy W .

Otrzymanie w wyniku klasyfikacji w jednym kanale odpowiedzi nie zaprzeczającej zgodności z wzorcem (7) upoważnia do mniemania, iż sklasyfikowanie nie jest wykluczone, lecz ryzykowne. Jeżeli jednak taki wynik weryfikacji będzie się powtarzał w innych kanałach, to ryzyko przedwczesnego sklasyfikowania będzie coraz mniejsze. Wielkość tego ryzyka w miarę wzrostu liczby kanałów maleje, jak sędzę, asymptotycznie do zera.

Warunkiem koniecznym sklasyfikowania jest otrzymanie we wszystkich będących w dyspozycji kanałach odpowiedzi nie wykluczających przynależności obszaru klasyfikowanego do obszaru reprezentowanego przez wzorzec klasy.

Tak więc, w przypadku analizy treści obrazów wielospektralnych proponowane postępowanie klasyfikacyjne po uporządkowaniu można zapisać następująco:

Punktem wyjścia jest tabela wzorców reprezentująca wyróżnialne klasy od 1 do W

$$\begin{array}{l} W_1(\bar{Z}_{W1}^{(1)}, S_{W1}^{(1)}; \dots \dots \dots \bar{Z}_{W1}^{(k)}, S_{W1}^{(k)}) \\ \vdots \\ W_w(\bar{Z}_{Ww}^{(1)}, S_{Ww}^{(1)}; \dots \dots \dots \bar{Z}_{Ww}^{(k)}, S_{Ww}^{(k)}) \end{array} \quad (14)$$

gdzie k jest liczbą kanałów a W liczbą klas.

W następnej kolejności określa się statystyki obszaru klasyfikowanego P :

$$P(\bar{Z}_p^{(1)}, S_p^{(1)}; \dots \dots \dots \bar{Z}_p^{(k)}, S_p^{(k)}) \quad (15)$$

Klasyfikację rozpoczyna się od weryfikowania hipotezy o równości średnich odpowiedzi spektralnych obszaru klasyfikowanego P oraz wzorca klasy W_1 .

Dla każdej pary zespołu liczb

$$\bar{Z}_p^{(i)}, S_p^{(i)}; \bar{Z}_{W1}^{(i)}, S_{W1}^{(i)} \quad (16)$$

dla $i = 1, 2, 3, \dots, k$ określa się wielkość t (5) oraz wielkości krytyczne t_α .

Jeżeli w przynajmniej jednym przypadku jest spełniona nierówność (6), to orzekamy, że obszar P nie należy do klasy W_1 . Jeżeli dla każdego

i od 1 do k jest spełniona nierówność (7), to orzekamy, że obszar klasyfikowany P może przybrać miano klasy W_1 na określonym poziomie istotności.

Następnie powtarza się opisane czynności badając przyporządkowanie obszaru P następnym wzorcom, aż do wyczerpania ich listy.

Po zakończeniu tych czynności może zaistnieć jedna z trzech następujących sytuacji:

1) obszarowi P nie przyporządkowano miana żadnej z klas tworzących tabelę wzorców,

2) obszarowi P przyporządkowano miano jednej z klas,

3) obszarowi P przyporządkowano miano więcej niż jednej klasy.

W pierwszym i drugim przypadku sprawa jest prosta. Dalsze działanie jest bezprzedmiotowe wobec wyczerpania wszystkich dostępnych możliwości.

Sprawa się komplikuje, gdy obszar klasyfikowany został przyporządkowany do więcej niż jednej klasy. Warto dodać, że jest to sytuacja typowa zwłaszcza wtedy, gdy odpowiedzi spektralne w wykorzystywanych kanałach są nie dość zróżnicowane (zmiennosc zjawiska ujętego w klasę jest znaczna) tj. gdy przedziały ufności wzorców klas w części zachodzą na siebie.

W takiej sytuacji wydaje się uzasadnione uzyskanie wskazania co do sposobu wyboru jednej z przyporządkowujących się klas metodą największego prawdopodobieństwa. W praktyce uzyskuje się takie wskazanie bardzo prostymi środkami.

Wystarczającym warunkiem uściślającym alternatywną klasyfikację jest warunek:

$$[vv] \text{ minimum} \quad (17)$$

gdzie $v_i = \bar{Z}_p - \bar{Z}_{W_i}$

Wielkość $[vv]$ może być policzona tylokrotnie, ilokrotnie obszar P otrzymał miano klasy. I aczkolwiek ten obszar został formalnie przyporządkowany każdej z tych klas, to jednak największym zaufaniem należy obdarzyć miano tej klasy, dla której wielkość $[vv]$ jest najmniejsza. Uzasadnienie opisanego warunku uściślającego klasyfikację wynika wprost z normalnego rozkładu prawdopodobieństw.

Przedstawiony proces klasyfikacji w zasadzie wyczerpuje to, co miałem zamiar przedstawić Czytelnikowi w tej pracy.

Jest zrozumiałe, że dla sklasyfikowania treści obrazu w pożądanym granicach, obszarów klasyfikowanych będzie więcej niż jeden. Nie zmienia to jednak w niczym proponowanego sposobu klasyfikacji. Obszarami klasyfikowanymi mogą być zbiory sąsiadujących ze sobą elementarnych powierzchni obrazu pobieranych ze zbioru kadru lub sceny bądź syste-

matycznie, w określonym porządku, bądź też wybiórczo, tylko z tych fragmentów obrazu, które chcemy sklasyfikować. Z punktu widzenia metody klasyfikacji jest to bez znaczenia. Również bez znaczenia jest sposób, w jaki zostały uzyskane odpowiedzi spektralne i w jakich jednostkach są wyrażone.

Algorytm klasyfikacji może być zbudowany albo z wykorzystaniem parametrycznego testu dla dwóch średnich (5) albo z wykorzystaniem warunku zapisanego wzorem (3). To drugie rozwiązanie zdaje w praktyce egzamin wówczas, gdy liczebność prób pobieranych z obszarów klasyfikowanych nie ulega większym zmianom.

Opisana w niniejszej pracy metoda klasyfikacji nadzorowanej po przetestowaniu jej na modelach była zastosowana z dobrym skutkiem przy klasyfikacji użytków rolnych poligonu doświadczalnego w okolicach Warszawy. Algorytm oparty na realizacji warunku (3) posłużył do oprogramowania kalkulatora programowanego Compucorp 326 Scientist. Został również opracowany program dla EMC typu Odra.

Proponowany sposób klasyfikacji ma jeszcze jedną cechę godną, jak się wydaje, uwagi. Mam na myśli brak ograniczeń liczby kanałów informacji. Dotychczas pod pojęciem kanału informacji kryła się odpowiedź spektralna w wybranym zakresie spektrum oraz przedział jej zmienności. Ale przecież nic nie stoi na przeszkodzie, aby bez jakiegokolwiek zmiany sposobu klasyfikacji (w sensie technicznym) wprowadzać do rozważań jeszcze inne informacje o klasyfikowanych obiektach. Wyobrażam sobie, że takimi dodatkowymi kryteriami klasyfikacyjnymi mogłaby być np. pora fotografowania oraz jej dopuszczalny przedział, dla którego jest słuszny wzorzec; kąt padania promieni słonecznych, wilgotność gleby itp. Gdy te parametry, jak i wiele innych do pomysłenia, nabiorą w wyniku prac badawczych cech rozpoznawczych, to będą one mogły być wprowadzone do klasyfikacji jako dodatkowe kanały informacji.

Zdaję sobie sprawę ze spekulatywnego charakteru tych końcowych uwag. Wydaje się jednak, że świadomość istnienia tej dodatkowej możliwości prezentowanego sposobu klasyfikacji ułatwi prace mające na celu stworzenie banku wzorców definiowanych już nie w wyniku prób pobieranych z pól testowych lecz opartych na znajomości charakterystyk spektralnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gmuran W.J.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna*. Wyd. N-T Warszawa 1975.
- [2] Greń J.: *Statystyka matematyczna, modele i zadania*. PWN W-wa 1976.
- [3] Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.: *Interpretacja zdjęć lotniczych*. PWN Warszawa 1978.

- [4] Boczarow M. K.: *Metody statystyki matematycznej w geografii*. PWN Warszawa 1976.
- [5] Ney B.: *Metody statystyczne w geodezji*. AGH Kraków 1976.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Bogdan Ney

ВОЙЦЕХ БЫХАВСКИ

КОНТРОЛИРУЕМАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВЕРИФИКАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ

Резюме

Предметом работы является контролируемая классификация содержания аэроснимков и космических изображений. Аэроснимок или космическое изображение рассматривается как набор элементарных поверхностей изображения, из которых каждая характеризуется величиной спектрального отражения в нескольких диапазонах спектра. Предлагаемый в этой работе способ контролируемой классификации заключается в проверке истинности статистической гипотезы о принадлежности двух множеств к одной совокупности.

Одним из указанных множеств является множество спектрального отражения элементарных поверхностей изображения, покрывающих собой изображение эталона класса, а другим является множество таких поверхностей, являющихся изображением классифицируемого пространства. В процессе классификации учитывается двухпараметровая характеристика множеств (средняя величина и стандартное отклонение). Оба эти параметра трактуются как опознавательные черты. Представленный способ классификации не изменяет своей сущности в зависимости от числа каналов (диапазонов спектра). Алгоритм классификационного процесса очень простой и дает возможность проводить классификацию даже с использованием только программированного калькулятора. В заключении автор подсказывает возможность легкого введения в классификацию информации, не касающихся дистанционного зондирования.

Перевод: Róża Tołstikowa

WOJCIECH BYCHAWSKI

THE SUPERVISED CLASSIFICATION WITH THE USE OF THE
VERIFICATION METHOD OF STATISTICAL HYPOTHESIS

Summary

The purpose of the presented paper is the supervised classification of contents of aerial photographs and satellite imageries. The aerial photograph or the satellite imagery is assumed to be a collection of elementary image areas and every of them is characterized by the value of spectral response in several parts of the spectrum. The method of the supervised classification proposed in this paper relies upon the revision of statistical hypothesis of affiliation of two sets to one population.

One of the sets mentioned above is the set of spectral responses of elementary image areas covering the image of class pattern and the second sets is the sets of areas, being the images of classified area.

Two-parametric characteristic of sets (i.e. mean value and standard deviation) is considered during the classification process. Both parameters are treated as the recognition features.

The essence of the presented method of classification is kept unchanged when the number of channels (spectral bands) is altered. The algorithm of the classification process is very simple and enables the classification using only the programmable calculator.

In the last part of the paper, the author suggests the passibility of simple introduction of non remote sensing data to the classification process.

Translation: Jacek Domański