

Zbigniew Mikrut*

Badanie stopnia zróżnicowania sygnatur generowanych przez sieć impulsującą ICM**

1. Wprowadzenie

Impulsujące sieci neuronowe to technika przetwarzania i analizy obrazu stosowana od niedawna. W odróżnieniu od klasycznych sieci neuronowych, służących do klasyfikacji [13] lub rozpoznawania obiektów z obrazów na podstawie uprzednio wydzielonych cech [12], sieci impulsujące dokonują *bezpośredniego* przetwarzania cyfrowego obrazu. Konstrukcja sieci, model neuronu i zastosowane sprzężenia zwrotne upodabniają tę sieć do *biologicznych* sieci neuronowych. Nie ma w tym nic dziwnego: sieć PCNN (*Pulse Coupled Neural Network*) powstała w wyniku badań systemu wzrokowego kota, prowadzonych pod kierunkiem Eckhorna [2]. Jej zasada działania została opisana w pracach [1, 2, 6, 9, 11]. Zastosowania, które obejmują detekcję krawędzi, wydzielanie obiektów czy też generowanie sygnatur (*image signatures*) wyczerpująco opisano w pracach [6, 9].

Szczególnie to ostatnie zastosowanie sieci impulsujących wydaje się godne zainteresowania. Sygnatura obrazu jest wektorem powstałym w wyniku sumowania impulsów generowanych przez sieć w kolejnych krokach (iteracjach). Szczegóły tego procesu opisano w pracach [1, 4, 6, 11]. Zostaną one krótko przypomniane w rozdziale 2.

Autor niniejszej pracy wykorzystał sygnatury do analizy zdjęć lotniczych [11]. Podczas procesu dopasowywania kolejnych zdjęć można wyróżnić dwa etapy [8]:

- 1) wybór obszarów zawierających cechy ułatwiające późniejsze dopasowywanie,
- 2) wskazywanie konkretnych punktów i ich odpowiedników na kolejnym zdjęciu.

Sygnatury posłużyły do realizacji etapu pierwszego, czyli klasyfikacji obszarów na bardziej i mniej informatywne.

Zanim przystąpi się do realizacji etapu drugiego, czyli dopasowywania, niezbędne jest sprawdzenie czy sygnatury pobrane z wielu podobszarów obrazu zdjęcia lotniczego znacząco się od siebie różnią. Temu zagadnieniu poświęcona jest niniejsza praca.

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

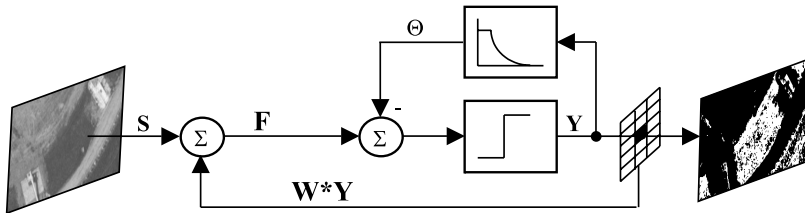
** Wykonano w ramach badań własnych – umowa AGH nr 10.10.120.783

Określony wyżej cel ma zostać zrealizowany poprzez przeprowadzenie odpowiednich eksperymentów i dokonanie ich analizy. Eksperymenty mają udzielić odpowiedzi na następujące – bardziej szczegółowe – pytania:

- jakie przyjąć kryteria porównywania jakości różnicowania za pomocą sygnatur,
- sygnatury o jakiej długości lepiej odróżniają od siebie podobszary,
- czy wielkość analizowanego podobszaru ma wpływ na jakość różnicowania.

2. Sieci ICM generujące sygnatury

Sieć ICM (*Intersecting Cortical Model*), która zostanie wykorzystana do generacji sygnatur, jest uproszczoną wersją sieci PCNN, zdefiniowaną przez Kinsera [7]. Podobnie jak PCNN składa się z warstwy neuronów połączonych ze sobą sprzężeniem zwrotnym od elementów sąsiednich. Sposób połączeń schematycznie przedstawiono na rysunku 1. Rozmiar sieci jest równy wielkości przetwarzanego obrazu cyfrowego. Kombinacja wartości piksela obrazu S z sygnałami sprzężenia zwrotnego $W*Y$ tworzy sumaryczny sygnał F (*internal activity*), który jest porównywany z progiem neuronu Θ . Po przekroczeniu progu następuje generacja impulsu (wyjście neuronu Y przyjmuje wartość 1). W tym momencie próg rośnie, a później stopniowo opada do wartości spoczynkowej, umożliwiając generowanie następnych impulsów. Sygnał $W*Y$ odzwierciedla aktywność sąsiednich neuronów poprzez odpowiednio zdefiniowaną macierz współczynników W . Wartość sygnału F – podobnie jak próg – także maleje w miarę upływu czasu.



Rys. 1. Schemat blokowy modelu neuronu, tworzącego sieć ICM. Po prawej: przykład binarnego obrazu $Y[n]$ wygenerowanego przez sieć w n -tym kroku symulacji ($n = 21$)

Równania opisujące działanie pojedynczego impulsującego neuronu mają postać:

$$F_{ij}[n+1] = fF_{ij}[n] + S_{ij} + \sum_{kl} W_{ijkl} Y_{kl}[n] \quad (1)$$

$$\Theta_{ij}[n+1] = g\Theta_{ij}[n] + hY_{ij}[n+1] \quad (2)$$

$$Y_{ij}[n+1] = \begin{cases} 1, & \text{gdzie } F_{ij}[n+1] > \Theta_{ij}[n] \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

S_{ij} – pobudzenie (piksel obrazu wejściowego przeskalowany do zakresu $[0, 1]$),

F_{ij} – pobudzenie neuronu o współrzędnych i, j ,

Θ_{ij} – próg neuronu,

Y_{ij} – stan zewnętrzny neuronu (1 – jest impuls, 0 – brak impulsu),

W_{ijkl} – współczynniki sąsiedztwa neuronu ij o współrzędnych kl ,

n – numer iteracji ($n = 1, \dots, N$).

Współczynniki f i g określają stałe czasowe zmian sygnałów F i Θ ($f, g < 1, f > g$). Wyjściem sieci jest ciąg binarnych obrazów $Y[n]$ (por. rys. 1) o rozmiarach równych obrazowi wejściowemu S . Na początku symulacji F i Θ są równe 0.

Sieci impulsujące generują sekwencje obrazów binarnych, na których w kolejnych krokach obliczeniowych uwypuklane są różne fragmenty obrazu wejściowego. Dzieje się tak dzięki działaniu sprzężenia zwrotnego, które podtrzymuje wewnętrzne aktywności neuronów F . W zależności od zadanych parametrów sieci rozkłady pobudzeń F różnicują się w czasie, powodując impulsacje różnych obszarów sieci. Przykład binarnego obrazu Y wygenerowanego przez sieć w kroku symulacji $n = 21$ przedstawiono na rysunku 1. Białe punkty odpowiadają neuronom, które w danym kroku symulacji wygenerowały impuls.

Koncepcja sygnaturow obrazów (obiektów) została wprowadzona przez Johnsona w 1994 roku [9]. Podstawą obliczania sygnaturow jest funkcja czasowa $G[n]$, otrzymywana w wyniku sumowania wyjść Y neuronów („białych pikseli”) w każdym kroku obliczeniowym:

$$G[n] = \sum_{i,j} Y_{ij}[n] \quad (4)$$

Johnson stwierdził, że w przypadku analizy prostych obiektów znajdujących się na jednolitym tle po pewnej liczbie iteracji funkcja $G[n]$ staje się okresowa. Powtarzający się fragment został nazwany sygnaturow. Dla prostych obrazów pokazano, że kształt sygnaturow jest niezależny od rotacji, przesunięcia, zmiany skali, a nawet zmiany kąta widzenia obiektu [3, 6, 9].

Zwykle rzeczywisty obraz nie zawiera prostych obiektów na czarnym tle, dlatego inni autorzy [1, 4] jako sygnaturow przyjmują przebieg funkcji G w pierwszych kilkudziesięciu krokach symulacji (przeważnie uwzględnia się 25 lub 50 kroków). W przypadku zdjęć lotniczych dodatkowo analizowano sygnaturow 100-elementowe. Przykłady generowania sygnaturow na podstawie fragmentu zdjęcia lotniczego pokazano w pracy [11]. Założenia dla eksperymentów oraz ich uzasadnienie sformułowano w rozdziale 3.

3. Opis eksperymentów

Do testowania sygnatur wykorzystano fragmenty dwóch zdjęć lotniczych okolic Krakowa i Bytomia, które zostały zaklasyfikowane przez ekspertów fotogrametrów jako nadające się do późniejszego dopasowywania. Z fragmentów o rozmiarach 540×460 pikseli wybrano dwa środkowe obszary, o rozmiarach 240×160 i 80×80 pikseli, jako obrazy bazowe do porównań sygnatur. Ze względu na konieczność generowania długich sygnatur, obliczenia przeprowadzono dla obrazów w skali 1:4. Podobraz o wielkości 80×80 pikseli został uwzględniony w testach z dwóch powodów: dla celów porównawczych z podobrazem większym oraz po uwzględnieniu wyników zamieszczonych w pracy [5], w której określono podobną optymalną wielkość okna dopasowania metodą klasyczną (korelacyjną).

Obliczenia przeprowadzono w środowisku Matlab [10]. Polegały one na wycinaniu z fragmentu zdjęcia lotniczego kolejnych podobrazów o podanych wyżej rozmiarach i generowaniu dla nich sygnatur. Sygnatury normalizowano do przedziału $[0, 1]$. Następnie porównywano je z sygnaturami podobrazów środkowych (większym i mniejszym) stosując dwie metody:

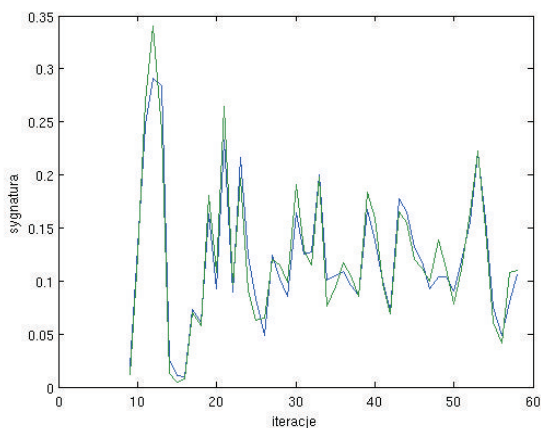
- 1) ogólną, w której miarą różnicy była suma wartości bezwzględnych różnic kolejnych elementów sygnatur;
- 2) szczegółową, w której sporządzano statystyki dla pojedynczych różnic kolejnych elementów sygnatur.

Na rysunku 2a pokazano jeden z fragmentów zdjęcia lotniczego z zaznaczonymi obszarami środkowymi, z którymi porównywano pozostałe sygnatury. Na rysunku 2b porównano (wizualnie) dwie sygnatury, wygenerowane dla dwóch skal (1:1 oraz 1:4) przez sieć ICM dołączoną do jednego z obrazów środkowych.

a)



b)



Rys. 2. Fragment obrazu „Kraków” z zaznaczonymi obszarami, z którymi porównywano sygnatury (a), sygnatury dla dwóch skal obrazu środkowego (b)

4. Wyniki

W celu szczegółowej analizy wyników porównania sygnatur zaproponowano – jako miarę główną – funkcję $\bar{G}[n]$ będącą średnią ze wszystkich wartości bezwzględnych odchyłek kolejnych n elementów sygnatur:

$$\bar{G}[n] = \frac{1}{k_s l_s} \sum_{k=1, l=1}^{k=k_f-k_s+1, l=l_f-l_s+1} |G_{k,l}[n] - G_s[n]|, \quad n = 1, \dots, sig \quad (5)$$

gdzie:

k_s, l_s – rozmiary podobrazu środkowego (por. rys. 2a),

k_f, l_f – rozmiary fragmentu obrazu,

$G_{k,l}[n]$ – sygnatura wygenerowana dla podobrazu o współrzędnych lewego górnego rogu równych k, l ,

$G_s[n]$ – sygnatura wygenerowana dla środkowego podobrazu,

sig – długość sygnatury.

Im wyższe i częstsze odchyłki dla poszczególnych składowych sygnatury, tym bardziej sygnatury – analizowane dla różnych zakresów długości – będą się różnić. Można także analizować sytuację odwrotną, to znaczy zbadać, ile odchyłek *zerowych* wystąpiło dla poszczególnych elementów sygnatur:

$$\bar{G}_z[n] = \sum_{k=1, l=1}^{k=k_f-k_s+1, l=l_f-l_s+1} (G_z[n]) \quad (6)$$

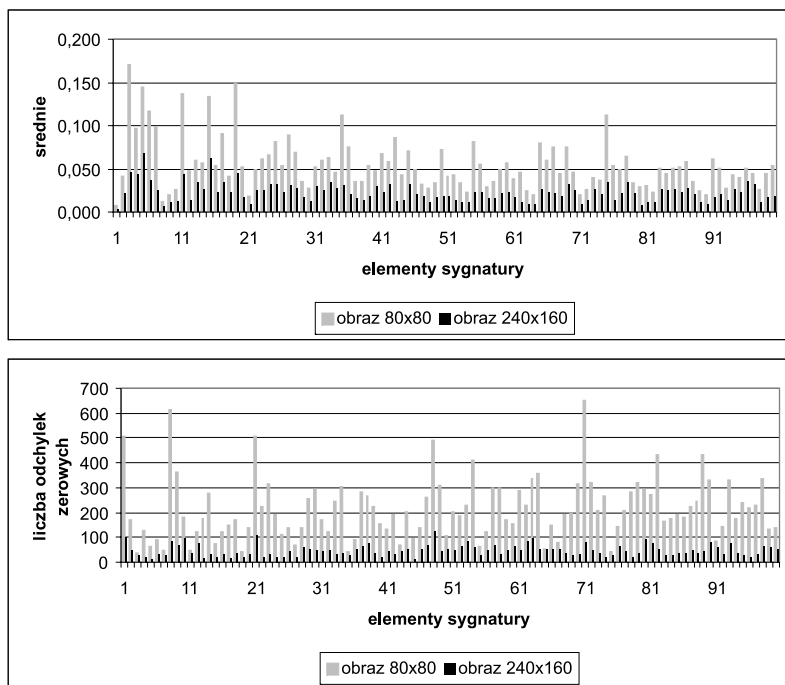
przy czym:

$$G_z[n] = \begin{cases} 1, & \text{gdy } G_{k,l}[n] - G_s[n] = 0, \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

Często występujące wysokie wartości elementów tej funkcji będą świadczyć o zgodności sygnatur. Podobnie jak poprzednio, wykres tej funkcji należy analizować dla kilku długości sygnatur.

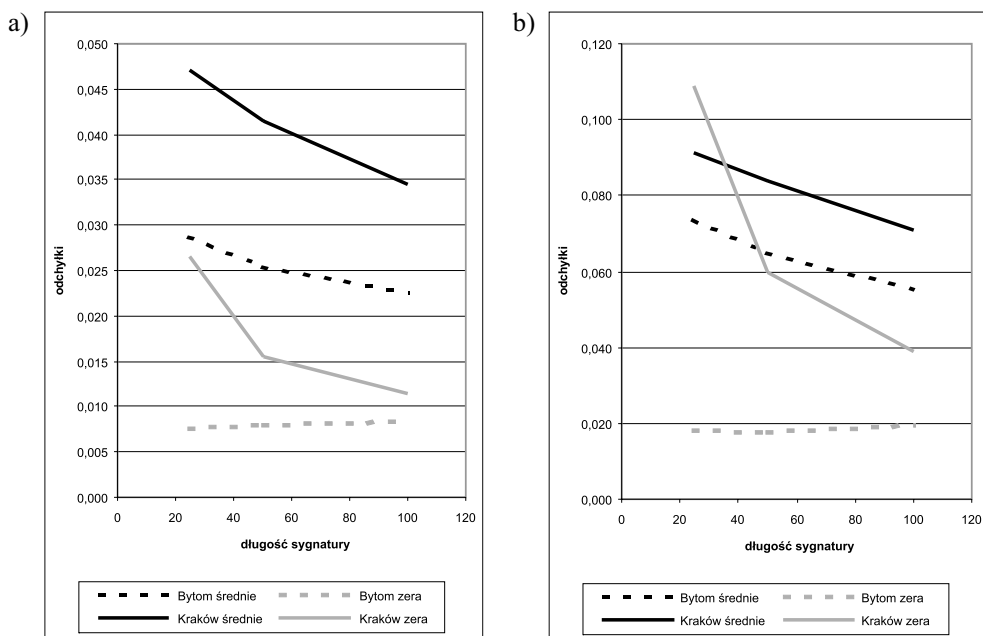
Wykresy ilustrujące zależności (5) i (6) przedstawiono na rysunku 3 dla dwóch wielkości podobrazów środkowych fragmentu zdjęcia lotniczego Bytomia (na fragmencie zdjęcia Krakowa można zaobserwować podobne tendencje). Najwyższe średnie odchyłki występują dla elementów początkowych sygnatur, w przedziale od 1 do 20. W tym samym przedziale obserwuje się, że wysokie wartości zerowych odchyłek występują rzadziej niż w dalszych fragmentach sygnatur. Obie te uwagi dotyczą w większym stopniu podobrazów mniejszych (80×80 pikseli) niż podobrazów większych (240×160 pikseli).

Obydwa wykresy w dużym stopniu uzupełniają się wzajemnie. Jest to zrozumiałe, ponieważ znaczące liczby odchyłek zerowych wpływają na obniżenie średniej wartości odchyłek. Regularność występowania dużych wartości odchyłek zerowych mogłaby świadczyć o pojawianiu się cykliczności sygnatur, obserwowanych dla prostych obiektów [6]. Wydaje się, że w analizowanym zakresie sygnatury (100 elementów) takie procesy nie mają miejsca.



Rys. 3. Średnie odchyłki oraz odchyłki zerowe dla kolejnych elementów (iteracji) sygnatur (fragment zdjęcia lotniczego Bytomia)

Dopełnienie powyższej analizy stało się możliwe dzięki rysunkowi 4, na którym pokazano średnie wartości odchyłek i odchyłek zerowych, obliczone dla trzech długości sygnatur: 25-, 50- i 100-elementowych. Wartości te obliczono, biorąc pod uwagę wszystkie elementy sygnatur porównywanych w całych fragmentach zdjęć lotniczych Bytomia i Krakowa. Potwierdza się tendencja obserwowana na rysunku 3 – średnie wartości odchyłek i liczby zerowych odchyłek są o wiele wyższe dla podobrazów mniejszych (por. skale na obu wykresach na rys. 4). Te ostatnie wartości różnie kształtują swój przebieg w zależności od obrazu. W przypadku obrazu Bytomia przebieg praktycznie nie zależy od długości sygnatury, w odróżnieniu od analogicznego przebiegu uzyskanego na podstawie obrazu Krakowa. Wartości średnie odchyłek mają podobny przebieg dla obu obrazów – zmniejszają się ze wzrostem długości sygnatury.



Rys. 4. Uśrednione wartości odchyłek funkcji sygnatur oraz wystąpień odchyłek zerowych.
Wykresy dla podobrazu 240×160 pikseli (a), wykresy dla podobrazu 80×80 pikseli (b)

5. Podsumowanie

W pracy eksperymentalnie sprawdzono, jak zróżnicowane są sygnatury o różnej długości generowane dla dwóch przykładów zdjęć lotniczych i dwóch wielkości podobrazów. Kryterium wizualne (por. rys. 3) dostarczyło informacji o rozkładzie bezwzględnych wartości odchyłek i odchyłek zerowych kolejnych elementów sygnatur. W badanym zakresie długości sygnatur (do 100 elementów) nie stwierdzono pojawiania się cykliczności.

Z kolei na podstawie kryterium globalnego, uwzględniającego wartości średnie obliczone dla sygnatur o różnych długościach, można stwierdzić, że stopień różnicowania jest większy dla sygnatur krótszych. Równocześnie okazuje się, że dla mniejszych podobrazów stopień różnicowania także jest większy.

Literatura

- [1] Atmer J., *Image Signatures from PCNN using Computers*. Dept. of Physics, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2003 (Diploma Work).
- [2] Eckhorn R., Reitboeck H.J., Arndt M., Dicke P., *Feature Linking via Synchronisation among Distributed Assemblies: Simulations of Results from Cat Cortex*. Neural Computation, vol. 2, 1990, 293–307.

- [3] Ekblad U., Kinser J. M., Atmer J., Zetterlund N., *The intersecting cortical model in image processing*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. 525, Issue: 1–2, June 1, 2004, 392–396.
- [4] Forgáč R., Mokriš I., *Pulse Coupled Neural Network Models for Dimension Reduction of Classification Space*. Proc. WIKT, Bratislava, 2006.
- [5] Gryboś P., Mikrut S., *Analiza możliwości wykorzystania funkcji biblioteki „OpenCV 1.0” do automatycznego dopasowania zdjęć lotniczych*. Automatyka (półrocznik AGH), vol. 11, z. 3, 2007, 89–102.
- [6] Johnson J.L., Padgett M.L., *PCNN Models and Applications*. IEEE Trans. on Neural Networks, vol. 10, No 3, 1999, 480–498.
- [7] Kinser J.M., *A Simplified Pulse-Coupled Neural Network*. Proc. SPIE, vol. 2760, No. 3, 1996.
- [8] Kurczyński Z.: *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2006.
- [9] Lindblad T., Kinser J.M., *Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag 2005.
- [10] Matlab. The Language of Technical Computing. The Mathworks, Inc., Natick, 1999.
- [11] Mikrut Z., *Tworzenie reprezentacji obszarów zdjęć lotniczych za pomocą sieci neuronowych klasy PCNN*. Automatyka (półrocznik AGH), vol. 11, z. 3, 2007, 355–364.
- [12] Mikrut Z., Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe w przetwarzaniu i rozpoznawaniu obrazów*. [w:] Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, t. 6, Sieci Neuronowe, AOW EXIT, Warszawa 2000, 459–493.
- [13] Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe*. Warszawa, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM 1993.