

Joanna Grabska-Chrzastowska*, Wojciech Lazar**

Automatyzacja procesu badania neuronowego systemu wnioskującego opartego na programie Statistica w praktycznym zastosowaniu***

1. Wprowadzenie

Sieci neuronowe [1] są uznanym i powszechnie stosowanym narzędziem do zagadnień klasyfikacji. Zwłaszcza w medycynie poszukuje się wiarygodnych testów wstępnie rozdzielających, na podstawie badania przesiewowego, pacjentów zdrowych od potencjalnie chorych. Używając jednej sieci neuronowej z wyjściem z przedziału domkniętego $\langle 0, 1 \rangle$, gdzie skrajne wartości rozdzielają normę od zaburzenia, trudno określić, gdzie przebiega granica, od której wysyłamy wybrane osoby na dodatkowe badania, często obciążające organizm pacjenta.

W pracy [3] przedstawiono neuronowy system wnioskujący bazujący na założeniu, że mamy możliwość stworzenia, po pierwsze, uniwersalnej sieci oddzielającej normę od zaburzenia, a po drugie zbudowanie co najmniej dwóch struktur rozdzielających różne rodzaje zaburzeń od podanej normy. Na tak przygotowanym zestawie sieci przeprowadzamy szereg eksperymentów mających na celu dobranie dla każdej gotowej sieci progów rozdzielającego zdrowych pacjentów od chorych. Ręczne szukanie optymalnego zestawu co najmniej 3 liczb z przedziału $(0, 1)$ jest niezwykle żmudne i czasochłonne.

Celem zadania opisanego w tej pracy było stworzenie oprogramowania wspomagającego właściwe zastosowanie systemy wnioskującego. Automatyczny system został przetestowany na przykładzie badania spirometrycznego opisanego w [3]. Wyniki otrzymane w wyniku działania programu uległy niewielkiej poprawie w stosunku do poprzednich czasochłonnych poszukiwań. Automatyczny system poszukiwań optymalnych sieci i progów oceniania wyników działania tych struktur zostanie w przyszłości zastosowany do innego problemu mającego podobne własności np. do oceny przeżywalności w przypadku raka jajnika [4].

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

** student Informatyki Stosowanej, Wydział EAIiE, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

*** Pracę sfinansowano z funduszu badań własnych (umowa AGH nr 10.10.120.783)

Wszystkie przeprowadzone eksperymenty neuronowe wykonano za pomocą programu Statistica firmy StatSoft [2]. Używano modułu Automatycznego Projektanta, który z 200 przebadanych sieci uczonych metodą wstecznej propagacji błędów wybiera sieć o najlepszych wynikach przystosowania do zadanych sterowań.

2. Idea systemu wnioskującego

W zastosowaniach medycznych, przy budowie testów rozdzielających pacjentów zdrowych od potencjalnie chorych, czyli podział na normę i zaburzenie przedstawia się w standardowych tabelach (tab. 1), podając w poszczególnych polach liczby odpowiadające przypisaniu do odpowiedniej kategorii. Przy doborze testu dąży się do sytuacji, w której liczby b i c przyjmują możliwie najmniejszą wartość.

Tabela 1
Sposób przedstawiania wyników klasyfikacji

	TEST	
EKSPERT	norma	zaburzenie
norma	a	c
zaburzenie	b	d

Uwagi: a, b, c, d – zgodne z przyjętymi we wzorze (1).

Jakość testu czyli liczbę poprawnych klasyfikacji oblicza się za pomocą następującego wzoru:

$$\text{liczba poprawnych klasyfikacji} = \frac{a + d}{a + b + c + d} * 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- a – liczba przypadków klasyfikowanych w normie przez eksperta i sieć – przypadki prawdziwie ujemne,
- b – liczba przypadków klasyfikowanych przez eksperta jako zaburzenie, a przez sieć jako norma – fałszywie ujemne,
- c – liczba przypadków uznanych przez eksperta za normę, a przez sieć za zaburzenie – fałszywie dodatnie,
- d – liczba przypadków kwalifikowanych przez eksperta i sieć jako zaburzenie – prawdziwie dodatnie.

Oprócz jakości klasyfikacji wprowadza się także dwa parametry statystyczne charakteryzujące wartość diagnostyczną zaproponowanego testu. Zdolność testu do wykrywania choroby u rzeczywiście chorych pacjentów nazywamy czułością metody, a umiejętność testu wykluczenia choroby u osób rzeczywiście zdrowych jej swoistością. Wyniki podane

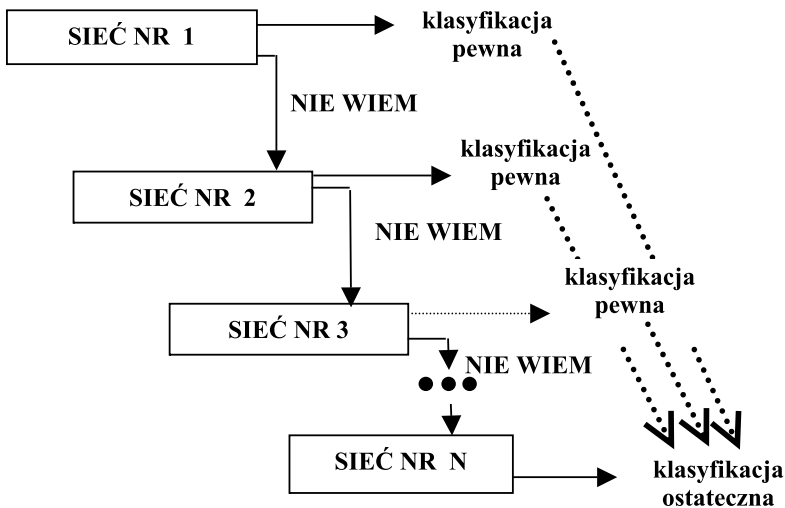
przez eksperta przyjmuje się za całkowicie pewne i wiarygodne. Wartości parametrów czułości i swoistości oblicza się według następujących wzorów:

$$\text{czułość} = \frac{d}{b+d} * 100\% \quad (2)$$

$$\text{swoistość} = \frac{a}{a+c} * 100\% \quad (3)$$

gdzie: a, b, c, d – zgodne z przyjętymi w tabeli 1.

Przy wyjściu z założenia binarnym, a w praktyce ciągłym w przedziale obustronnie domkniętym $\langle 0,1 \rangle$, stosowano zasadę przypisywania odpowiedzi zero (norma), gdy wyjściowa wartość otrzymana jako odpowiedź sieci wynosiła mniej, niż przyjęta wartość progowa (np. 0,5) i wartości 1 (zaburzenie), gdy rezultat osiągał lub przekraczał zadany próg. Można to nazwać testem o zadanym progu (np. 0,5). Okazało się, że można sterować wartością przypadków fałszywie ujemnych (b) i fałszywie dodatnich (c), zmieniając ten wcześniej arbitralnie przyjęty próg binaryzacji. Dla pojedynczej sieci nie można jednocześnie zwiększenia progu binaryzacji tak, aby otrzymać jak najmniej przypadków w polu b i zmniejszenia progu, aby otrzymać małą liczbę w polu c . Stąd pomysł systemu sieci z różnymi progami binaryzacji. Ideę systemu wnioskującego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Struktura systemu wnioskującego (N – liczba sieci w systemie)

Przy wyborze uznanym za ostateczny (klasyfikacja pewna) dopuszcza się niewielki błąd, którego przy takim podejściu nie da się uniknąć. Dobór progu przy interpretacji odpowiedzi sieci 1 ma jak najbardziej zmniejszyć ten wstępny błąd. Przy ostatecznej klasyfikacji

(sieć nr N) należy tak ustawić próg binaryzacji, aby możliwie najmniej przypadków pozostało w polu b przy rozsądnej liczbie przypadków w polu c.

Sieć o numerze 1 (rys. 1) jest siecią uniwersalną, czyli najlepszą siecią rozdzielającą normę od zaburzenia. Natomiast sieci 2 do N, to neuronowe struktury rozdzielające poszczególne rodzaje zaburzenia od szeroko pojętej normy (wszystkie wyniki osób o innym charakterze zaburzenia oddechowego są chwilowo pomijane).

Przy eksploatacji tak zbudowanego systemu wnioskującego należy na wejście sieci nr 1 wprowadzić zestaw wszystkich wektorów, które chcemy poddać klasyfikacji. Tych pacjentów, których uznamy za chorych, dopisujemy do rejestru klasyfikacji pewnych, uznanych za nie będących w normie. Resztę wektorów, czyli wyniki pacjentów uznanych za zdrowych wprowadzamy na wejście sieci nr 2. I znowu część pacjentów zostanie (z pewnym błędem) wpisana do klasyfikacji pewnych. Po przejściu przez wszystkie etapy systemu, na końcu zostajemy z rejestrem pacjentów uznanych za chorych i pozostałych (uznanych za zdrowych przez sieć o numerze N) ostatecznie sklasyfikowanych jako będących w normie.

3. Automatyzacja procesu badania systemu wnioskującego

Statistica udostępnia interfejs programistyczny wykorzystując standard COM (*Component Object Model*) [2]. Architektura oparta na tym standardzie umożliwia dostęp do bibliotek oraz modułów systemu Statistica z poziomu języków programowania takich jak: Visual Basic .NET, C# oraz C++ . Główny interfejs systemu znajduje się w bibliotece DLL Statistica Object Library.

W czasie instalacji systemu biblioteka jest rejestrowana w systemie operacyjnym. Udostępniony przez system interfejs pozwala wywoływać funkcje i biblioteki systemu Statistica z zewnętrznej aplikacji.

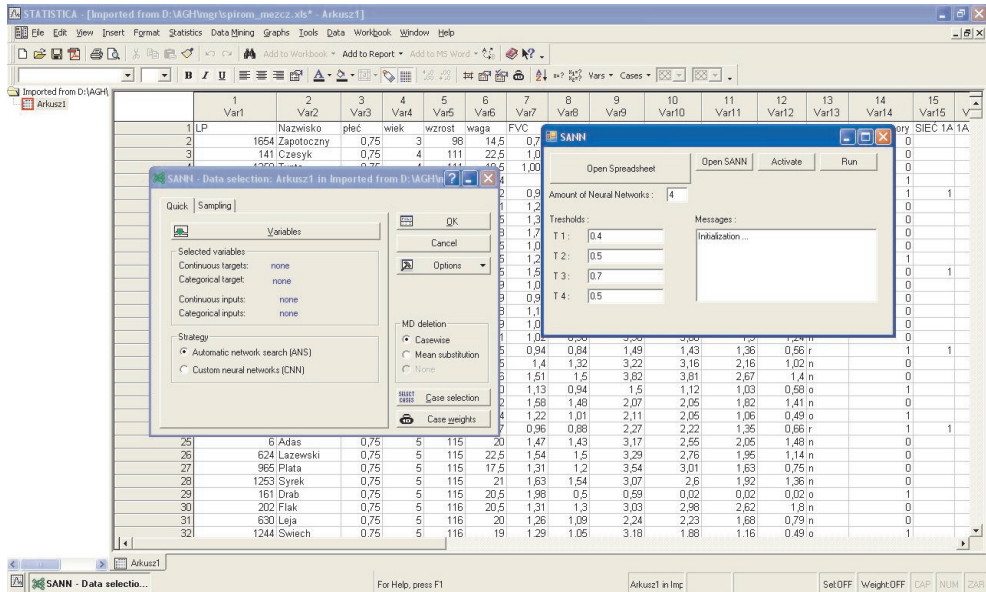
Aplikacja wykorzystuje silnik systemu Statistica do wygenerowania sieci neuronowych. Statystyki wygenerowane przez system dla poszczególnych sieci są wykorzystywane na dalszym etapie analizy. Aplikacja działa na zasadzie kontrolera przepływu danych pomiędzy systemem Statistica a bazą danych.

Statistica w swoim pakiecie dostarcza użytkownikowi moduł Automatyczne Sieci Neuronowe. Z poziomu aplikacji wczytujemy dane do systemu Statistica, aby następnie wywołać nową instancję analizy typu Automatyczne Sieci Neuronowe

Aplikacja uruchamia instancję Statistica i wywołuje moduł SANN (rys. 2). W aplikacji ustalamy ilość warstw sieci neuronowych, przez które będą przechodzić dane w kolejnych iteracjach. W panelu „Thresholds” ustalamy progi binaryzacji na wyjściu poszczególnych warstw. Po każdej iteracji wyekstrahowane dane zostają zapisane w bazie danych, a następnie ładowane do kolejnej warstwy.

Użytkownik aplikacji podaje z ilu sieci ma składać się system wnioskujący i interakcyjnie dobiera parametry Automatycznego Projektanta w programie Statistica. Po ustale-

niu, które sieci zostaną wybrane, aplikacja testuje wszystkie sieci z różnymi programami binaryzacji odpowiedzi i generuje końcowe wyniki w formie odpowiednich tabel i wartości jakości testów.



Rys. 2. Zrzut z ekranu działającej aplikacji

4. Wyniki otrzymane dla klasyfikacji badań spirometrycznych

Do testowania aplikacji automatycznie szukającej najlepszej struktury systemu wnioskującego użyto wyników badań nad klasyfikatorem do zadania spirometrycznego przedstawionych w pracy [3].

Na podstawie standardowego testu diagnostycznego należy określić, czy dany pacjent przejawia zaburzenia oddechowe czy też nie. W razie podejrzeń o występowanie pewnych nieprawidłowości badana osoba zostanie skierowana na dodatkowe, specjalistyczne testy.

Testy przeprowadzono na podstawie 1022 wyników badań spirometrycznych (samych chłopców), które zostały wykonane w Zakładzie Fizjopatologii Układu Oddychania Instytutu Gruźlicy i Chorób Płuc w Rabce.

Przy ręcznym badaniu systemu wnioskującego, jako pierwszy element systemu wykorzystano sieć uczoną tylko 6 elementami badania spirometrycznego, oddzielającą normę od zaburzenia, czyli strukturę z jednym wyjściem binarnym. Ustalono próg na 0,3 (mała wartość progu zmniejsza liczbę przypadków w polu c). Wyniki uzyskane dla 1022 wektorów wejściowych pokazano w tabeli 2.

Na wejście sieci nr 2 podaje się wektory z pól a i b, czyli uznane przez sieć nr 1 za będące w normie. W tym miejscu wprowadza się już wstępny błąd (około 2%) związany z 20 wektorami, które zostały błędnie zaklasyfikowane i już nie zostaną zweryfikowane. Ta część pacjentów potencjalnie zdrowych zostanie wysłana do dalszych badań.

Tabela 2

Sieć nr 1: 6 parametrów na wejściu – próg 0,3

	SIEĆ	
EKSPERT	norma	zaburzenie
norma	607	20
zaburzenie	147	248

Tabela 3

Sieć nr 2 – oddzielająca normę od obturacji – próg 0,6

	SIEĆ	
EKSPERT	norma	zaburzenie
norma	585	42
zaburzenie	80	315

Na podstawie analizy rodzajów i częstości występowania zaburzeń w 1022 danych rozpoznano ustalono, że sieć nr 2 oddzieli normę od obturacji, a sieć nr 3 umożliwi separację normy od restrykcji. Na wejściu sieci 2 i 3 dodano parametr wzrostu, który ułatwia uczenie sieci (tab. 3 i 4).

Tabela 4

Wyniki systemu wnioskującego – próg sieci 3 – 0,6

	SYSTEM WNIOSKUJĄCY	
EKSPERT	norma	zaburzenie
norma	574	53
zaburzenie	47	364

Zbiór uczący i testowy obejmował wszystkich pacjentów uznanych przez eksperta za zdrowych, w przypadku sieci 2 cierpiących na zaburzenie obturacyjne, a dla sieci 3 zaburzenie typu restrykcyjnego. Pacjenci z zaburzeniem mieszanym chwilowo nie zostali wzięci pod uwagę. Obydwie sieci zostały poddane uczeniu.

Na wejście wcześniej wytrenowanej sieci 2 wprowadzamy 754 wektory (przypadki z pól a i b tab. 1) jako elementy testowe. Wyniki dla wszystkich wektorów ze zbioru danych przedstawia tabela 3.

Podobnie jak poprzednio, przypadki z pól c i d uznajemy za pewne, a 665 wektorów na razie uznanych przez sieć za normę, wprowadzamy jako zbiór testowy do wcześniej nauczanej sieci nr 3, separującej normę od restrykcji. Rezultaty całego systemu otrzymane przy zastosowaniu różnych progów klasyfikacji sieci nr 3 zawarto w tabeli 4.

5. Podsumowanie

Zbudowana aplikacja spełniła oczekiwania autorów pracy i dla znanego rozpracowanego wcześniej problemu z ręcznie, pracochłannie dobieranymi progami dla kolejnych sieci, uzyskano podobne, a nawet odrobinę lepsze wyniki ostatecznej klasyfikacji (tab. 5).

Tabela 5
Zestawienie wyników

	Jakość klasyfikacji [%]	Czułość [%]	Swoistość [%]
Automatyczny system wnioskujący (progi 0,3, 0,7, 07)	91,1	92,9	89,1
System wnioskujący (progi 0,3, 0,6, 0,6)	90,2	92	87

Właściwym celem budowy tak zaawansowanej aplikacji jest jej testowanie dla innych strukturalnie podobnych problemów. Do takich zagadnień należy ocena przeżycia kobiet w przypadku wystąpienia u nich raka jajnika. Ten problem również można rozdzielić na trzy sieci: jedną uniwersalną, a dwie uwzględniające wyniki badań krwi przed i po chemioterapii. W tym wypadku wyższe wskaźniki poprawności klasyfikacji są niezwykle istotne z punktu widzenia planowania bardziej agresywnych metod dalszego leczenia w źle rokujących przypadkach.

Literatura

- [1] Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe*. PWN, Warszawa, 1993.
- [2] Tadeusiewicz R., Lula P., *Wprowadzenie do sieci neuronowych*. Dokumentacja polskiej wersji Statistica Neural Networks, StatSoft 2001.
- [3] Grabska-Chrzastowska J., Tomalak W., *Zastosowanie neuronowego systemu wnioskującego do klasyfikacji wyników badania spirometrycznego*. Materiały konferencyjne „Sztuczna inteligencja”, Kraków, 2004.
- [4] Grabska-Chrzastowska J., Kulpa J., Rychlik U., *Zastosowanie sieci neuronowych do predykcji przeżycia w przypadku raka jajnika*. Automatyka (półrocznik AGH), t. 11, z. 3, 2007, 345–354.