

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w psychologii klinicznej i psychiatrii

The use of artificial neural networks in clinical psychology and psychiatry

Małgorzata Starzomska

Z Katedry Psychologii Akademii Pedagogiki Specjalnej w Warszawie
Kierownik: prof. dr hab. W. Dobrołowicz

Summary: Artificial neural networks make a highly specialised tools in data transformation. The human brain has become an inspiration for the makers of artificial neural networks. Although even though artificial neural networks are more fragmently used in areas like financial analysis, marketing studies or economical modelling, their application in psychology and medicine has given a lot of promising and fascinating discoveries. It is worth that artificial neural networks are succesfully used in the diagnosis and etiopathogenesis description of various psychiatric disorders such as eating disorders, compulsions, depression or schizophrenia. To sum up, artificial neural networks offer a very promising option of research methodology for modern clinical psychology and psychiatry. The aim of this article is only an illustration of the applications of artificial neural networks in clinical psychology and psychiatry.

Słowa klucze: sztuczne sieci neuronowe, psychiatria
Key words: artificial neural networks, psychiatry

Wprowadzenie

Analiza za pomocą sieci neuronowych jest nowoczesną techniką analizy danych wywodzącą się z pogranicza biologii i nauk technicznych. Neurokomputery, zwane także sieciami neuronowymi, są nowoczesnymi systemami obliczeniowymi, których struktura i działanie wzorowane są na ludzkim mózgu.

O biologicznej genezie sieci neuronowych mówi się dlatego, że to obserwacja ludzkiego mózgu oraz podstawowych komórek, z jakich się składa, doprowadziły do prób modelowania niedużych układów połączonych neuronów, które określa się, posługując się terminologią biologiczną, jako sieci neuronowe lub sieci neuropodobne albo – używając terminologii informatycznej – jako neurokomputery (ang. artificial

neural network). Wykazują one pewne cechy zbliżone do cech mózgu. Są to na przykład zdolność uczenia się i kojarzenia. Można zatem powiedzieć, że pierwowzorem sztucznej sieci neuronowej jest biologiczny układ nerwowy. Podstawowymi elementami, z których buduje się sieci neuronowe, są sztuczne neurony. Z biologicznego punktu widzenia właściwości sztucznego neuronu odpowiadają wybranym właściwościom neuronu biologicznego, jednak nie jest on wierną kopią neuronu biologicznego, lecz elementem, który powinien spełniać określone funkcje w sztucznej sieci neuronowej. Zatem badacze wystrzegają się nazywania sieci neuronowych „modelem mózgu”.

Sztuczny neuron można także rozpatrywać z czysto technicznego punktu widzenia. Można go uważać za specyficzny przetwornik sygnałów działający według ustalonych zasad. Na wejściu przetwornika podawane są sygnały, które następnie są mnożone przez odpowiednie współczynniki wag. „Ważone” sygnały wejściowe są następnie sumowane i na tej podstawie wyznacza się aktywność neuronu.

Okazuje się, iż nawet sieć oparta na bardzo prostym modelu neuronu, mającym kilka wejść i jedno wyjście, także ma wspomniane wyżej zdolności do uczenia się i kojarzenia. Istotą działania sieci jest to, że poszczególne sztuczne neurony są, tak jak neurony biologiczne, powiązane ze sobą połączeniami będącymi odpowiednikiem połączeń synaptycznych. To, co jest w sieci modyfikowane, to tzw. wagi połączeń. Na zmianach wag połączeń polega uczenie sieci [1]. Istota procesu uczenia polega na tym, że sieci przedstawia się przykłady zadań poprawnie rozwiązanych, a sieć najpierw sama próbuje rozwiązać zadania, potem porównuje wynik swojego działania z rozwiązaniem podanym przez nauczyciela, którym jest eksperymentator. Zwykle oczywiście w wyniku takiego porównania na początku procesu uczenia stwierdza się, że występuje pewien błąd, gdyż taka nie nauczona sieć na początku „nie wie”, czego żąda od niej nauczyciel. Jeśli jednak błąd zostanie wykryty, to wówczas sieć sama tak zmienia wartości wag połączeń, żeby ten błąd zmniejszyć [2].

Tadeusiewicz [2] stwierdza, że „Jako obiekt badań sieci neuronowe stanowią bardzo uproszczony (przez co łatwiejszy do ogarnięcia myślą lub do modelowania w komputerze), ale zaskakująco bogaty i pasjonujący model rzeczywistego, biologicznego systemu nerwowego, a więc pewnych fragmentów naszego własnego mózgu”. (s. 2–3).

Zalety sztucznych sieci neuronowych

Sieci neuronowe mają cztery zasadnicze zalety.

Po pierwsze – tysiące sztucznych neuronów składających się na sieć wykonują przypadające im zadania obliczeniowe równocześnie, w związku z czym szybkość pracy sieci neuronowych może przewyższać szybkość aktualnie eksploatowanych komputerów [2].

Po drugie – sieci nie trzeba programować. Mogą one uczyć się same. Można powiedzieć, iż sieć programuje się sama w wyniku procesu uczenia się. Oczywiście użytkownik może na własną rękę „douceć sieć”, adaptując jej zachowania do swoich szczegółowych wymagań, przy czym wysiłek, jaki w ten trening wkłada, może być naprawdę minimalny (w skrajnych przypadkach sieć może douczać się sama, obserwując wyniki swojego działania i korygując ewentualne błędy) [2]. W procesie uczenia się

sieci neuronowe analizują podawane im przykłady, wydobywają i przyswajają sobie wiedzę, jaka jest w tych przykładach zawarta, oraz potrafią uogólnić tę wiedzę na przypadki (zadania), które są im nieznane, ale w jakimś stopniu są analogiczne do tych, na podstawie których nabywały one wiedzę. Dzięki tej unikatowej właściwości sieci neuronowe znalazły obecnie mnóstwo praktycznych zastosowań, ponieważ dosyć często stajemy przed nowymi zadaniami, nie wiedząc, jak im podołać – można wtedy skorzystać z przykładowych rozwiązań, w miarę łatwo dostępnych w sieci. Dlatego sieci neuronowe są często stosowane w ekonomii (np. do prognozowania zjawisk na giełdzie), w medycynie (np. do diagnozowania chorób), a także w sterowaniu pracą maszyn i robotów czy w systemach monitoringu i bezpieczeństwa. Powyżej wymieniono jedynie drobny fragment spośród tysięcy znanych obecnie zastosowań sieci neuronowych, które w związku z umiejętnością uczenia się okazały się jednym z najbardziej obiecujących narzędzi nauki i techniki przełomu XX i XXI wieku [3]. W rzeczywistości sieci neuronowe mogą być zastosowane wszędzie tam, gdzie pojawiają się problemy związane z predykcją, klasyfikacją i sterowaniem [4].

Po trzecie – sieci neuronowe są bardzo wyrafinowaną techniką modelowania, zdolną do odwzorowywania nadzwyczaj złożonych funkcji. Sieci neuronowe mają charakter nieliniowy, co istotnie wzbogaca możliwości ich zastosowań [4].

Po czwarte – zalety sieci neuronowych nie ograniczają się jedynie do tego, że umożliwiają swobodne, łatwe tworzenie modeli nieliniowych [5–8]. Sieci umożliwiają także kontrolę nad złożonym problemem wielowymiarowości. W innych metodach wielowymiarowość znacznie utrudnia próby modelowania funkcji nieliniowych z dużą liczbą zmiennych niezależnych. Sieci neuronowe w praktyce same konstruują potrzebne użytkownikom modele, ponieważ automatycznie uczą się na podanych przez nich przykładach [4]. Reasumując, sieci neuronowe dają o wiele rozleglejsze możliwości analizy danych niż tradycyjne techniki statystyczne, chociaż Abdi i współpracownicy [9] stwierdzają pewną analogię między analizą za pomocą sieci neuronowych i analizą dyskryminacyjną¹.

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w psychologii klinicznej i psychiatrii

Garson [10] wymienia takie przykłady zastosowań sieci neuronowych w psychologii, jak:

- usprawnienie neuropsychologicznej oceny asocjacji słów w stosunku do standardowych technik pomiaru,
- modelowanie zjawisk związanych z pamięcią, w tym amnezji,
- modelowanie jednobiegunowej depresji,

¹ Tę analogię można zauważyć, gdy porówna się:

- dane wejściowe w przypadku analizy za pomocą sieci neuronowych ze zmiennymi niezależnymi (wyjaśniającymi) w przypadku analizy dyskryminacyjnej,
- dane wyjściowe w przypadku analizy za pomocą sieci neuronowych ze zmiennymi zależnymi (wyjaśnianymi) w przypadku analizy dyskryminacyjnej.

- modelowanie praw Gestalt,
- modelowanie przetwarzania koloru i światła,
- rozpoznawanie struktury osobowości,
- symulowanie nabywania wiedzy przez człowieka,
- symulowanie myślenia symbolicznego,
- symulowanie dysleksji spowodowanej urazami,
- symulowanie halucynacji słuchowych i związanych z nimi zaburzeń mowy w schizofrenii [11].

Dotychczas analiza za pomocą sieci neuronowych została zastosowana na szeroką skalę w diagnozowaniu takich zaburzeń psychicznych, jak:

- nałogi (alkoholizm i narkomania),
- zaburzenia odżywiania się (anoreksja i bulimia) oraz w badaniu przyczyn takich chorób psychicznych, jak:
- depresja dwubiegunowa,
- schizofrenia.

Sieci neuronowe odgrywają coraz większą rolę we wspomaganiu diagnostyki medycznej, w tym diagnostyki psychiatrycznej, oraz w wielu innych dziedzinach związanych z medycyną.

Speri i współpracownicy [12] badali użyteczność sztucznych sieci neuronowych w diagnozie i predykcji autodestruktywnych zachowań takich, jak nadużywanie leków, alkoholu i narkotyków. Badania przeprowadzono na Oddziale Neuropsychiatrycznym Szpitala Wojskowego w Weronie. Badano trzy grupy: grupę żołnierzy nadużywających substancji, grupę żołnierzy z problemami interpersonalnymi i psychicznymi niekoniecznie związanymi z nadużywaniem substancji oraz grupę bez zaburzeń psychicznych. W sumie zbadano 170 osób, które poproszono o wypełnienie kilku kwestionariuszy dotyczących zmiennych demograficznych, socjoekonomicznych i psychologicznych. Następnie wszystkie dane z trzech grup łącznie poddano analizie za pomocą wytrenowanych w rozpoznawaniu osób nadużywających substancji sieci neuronowych. Użyteczność sieci neuronowych w trafnym rozpoznawaniu jednostek nadużywających substancji porównywano z użytecznością standardowych metod psychiatrycznych i psychodiagnostycznych. Autorzy odkryli dużą (90%) trafność sztucznych sieci neuronowych (równą trafności standardowych metod) w rozpoznawaniu jednostek podatnych na nadużywanie substancji.

Z kolei Buscema i współpracownicy [13] opisali interesujący eksperyment w zakresie wykorzystania sieci neuronowych do trafnego rozpoznawania osób z zaburzeniami odżywiania się. Zbadano 179 osób z anoreksją i bulimią oraz bez stwierdzonych zaburzeń psychicznych i zebrano następujące dane (w liczbie 124 dla każdej osoby).

Po pierwsze były to dane określane jako wejściowe (początek sieci neuronowej):

- dane demograficzne na temat wieku, zawodu, wykształcenia,
- dane na temat zachowań związanych z jedzeniem uzyskiwane drogą samoopisu (lęk przed przytyciem, poczucie, że jest się otyłym, poczucie braku kontroli nad jedzeniem, intensywne ćwiczenia fizyczne),
- dane na temat ewentualnego leczenia,
- dane na temat nadużywania alkoholu, narkotyków i leków,

- dane na temat cykli menstruacyjnych,
- dane na temat wagi, wzrostu i BMI (Body Mass Index),
- dane z wyników badań somatycznych (poziom cukru, leukocytów, białka etc.),
- dane z wyników badań psychodiagnostycznych (MMPI, EAT oraz EDI, SCL 90, BITE).

Po drugie były to dane określone jako wyjściowe (koniec sieci neuronowej):

- dane związane z diagnozą zaburzenia odżywiania się (anoreksja lub bulimia).

Sieć wytrenowaną w 500 cyklach, uczących rozpoznawania anoreksji i bulimii (dane wyjściowe) na podstawie danych wejściowych, zastosowano w ramach sześciu eksperymentów do rozpoznawania na podstawie układów danych wejściowych określonego zaburzenia jedzenia. Wyniki wskazały na dużą trafność, z jaką na podstawie określonego zespołu danych wejściowych sieć rozpoznaje anoreksję i bulimię, ale co było najważniejszym odkryciem – sieć najtrafniej (100%) rozpoznawała anoreksję w przypadkach, gdy z analizy usuwano ważne, jak się wydawało, dane, które korespondują z kryteriami diagnostycznymi anoreksji i bulimii², takie, jak chociażby informacje o zaburzeniach obrazu własnego ciała, wadze, wzroście i BMI oraz o obecności lub braku menstruacji. Zatem sieć neuronowa trafnie rozpoznawała osoby z anoreksją i bulimią, chociaż pozbawiona była dostępu do informacji, które decydują o psychiatrycznej diagnozie anoreksji czy bulimii. Reasumując, można stwierdzić, iż sieci neuronowe mogą być wykorzystywane do rozpoznawania takich zaburzeń odżywiania się, jak anoreksja i bulimia bez dostarczania im danych na temat osiowych objawów tych jednostek chorobowych. W związku z tym Buscema i współpracownicy [13] wskazują na perspektywę wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do wczesnego (to znaczy w momencie, gdy nie ma jeszcze pełnego obrazu klinicznego) diagnozowania zaburzeń odżywiania się.

Ważnym zastosowaniem sieci neuronowych są też symulacje komputerowe funkcjonowania różnych obszarów mózgu, które umożliwiają badanie przyczyn chorób psychicznych. Poprawnie wykonane symulacje mogą uchwycić na tyle dokładnie

² Do kryteriów diagnostycznych anoreksji należą:

- znaczny spadek wagi ciała,
- silny lęk przed przybieraniem na wadze lub utyciem, nawet przy niedowadze,
- zaburzenie sposobu, w jaki waga, rozmiar lub kształt ciała są doświadczane, na przykład jednostka może twierdzić, że czuje się gruba, nawet jeśli jest wychudzona,
- u kobiet, u których wystąpiła pierwsza miesiączka (postmenarcheal females), brak przynajmniej trzech kolejnych cykli menstruacyjnych [14].

W DSM-IV [14] wymienionych jest pięć kryteriów diagnostycznych bulimii. Jako pierwsze kryterium wymienia się nawracające ataki, którym towarzyszy poczucie braku kontroli nad tym, co i w jakich ilościach jest jedzone. Jako drugie kryterium wymienia się nawracające zachowania zapobiegające wzrostowi masy ciała, takie jak: prowokowanie wymiotów, nadużywanie środków przeczyszczających, diuretyków, lewatyw lub innych środków medycznych. Trzecim kryterium diagnostycznym jest występowanie napadów obżarstwa i wymienionych wyżej niewłaściwych zachowań co najmniej dwa razy w tygodniu przez trzy miesiące. Czwartym kryterium jest nadmierny wpływ kształtów i wagi ciała na samoocenę, a piątym stwierdzenie, że opisywane zaburzenie nie występuje wyłącznie podczas przebiegu anoreksji.

mechanizmy przyczynowe, by można było za ich pomocą badać wpływ różnych uszkodzeń mózgu na jego działanie. Celem tych badań jest zrozumienie związków między specyficznymi uszkodzeniami neuroanatomicznymi i zmianami neuropatologicznymi a wynikającymi stąd symptomami³. Choroby psychiczne nie mają dobrze zlokalizowanych przyczyn i mogą być wynikiem na przykład zaburzeń równowagi biochemicznej różnych części mózgu. Wśród wielu systemów klasyfikacji chorób psychicznych najbardziej znany jest DSM-IV [14], opierający się na objawowej klasyfikacji tych chorób. Jedynie nieliczne z chorób psychicznych próbowano badać w sensie mechanizmów ich powstawania za pomocą sieci neuronowych. Stosunkowo wiele miejsca poświęcono schizofrenii i depresji [15–17].

Patogeneza schizofrenii nie jest dokładnie znana, jest jednak bardzo prawdopodobne, że istotną rolę pełni tu niedobór dopaminy, zwłaszcza w płatach czołowych oraz nadmiar dopaminy w układzie limbicznym. Nie ma na razie przyjętej powszechnej teorii schizofrenii i istnieje wiele niejasności na temat jej objawów. Zagadką dla psychiatrów było na przykład powtarzanie się podobnych, natrętnych tematów stanowiących podstawę urojeń i halucynacji. Próbuąc odpowiedzieć na to pytanie, poddano symulacji sieć neuronową, w której neurony odpowiadające tym z obszarów kory przedczołowej połączone są z neuronami odpowiadającymi tym z obszarów kory skroniowej [15]. Podczas symulacji założono silniejsze przypadkowe usuwanie słabych i przestrzennie odległych połączeń. W efekcie zaczęły występować tak zwane „stany fragmentaryczne”, to jest grupy neuronów, w których pojawiały się nieistniejące poprzednio połączenia synaptyczne, które określono ostatecznie jako nowe ślady pamięci. Wysłunięto przypuszczenie, że takie ślady, wpływające na ośrodki mowy, mogą wywoływać wrażenie głosów wewnętrznych [15, 16].

Należy dodać, że z badań opartych na symulacji sieci neuronowych i uwzględniających zarówno fonetyczne, jak i semantyczne struktury związane z językiem, wynika, że:

- halucynacje słuchowe powinny być skorelowane z zaburzeniami mowy,
- najbardziej prawdopodobną przyczyną halucynacji słuchowych są zmiany neurodegradacyjne połączone z neuromodulacyjnymi (a więc zarówno zanikanie połączeń między neuronami, jak i zbyt niski poziom dopaminy),
- leki neuromodulacyjne (zmieniające profil pobudzenia neuronów) mogą być efektywne nawet wtedy, gdy główne zmiany mają charakter anatomiczny,
- przy większych uszkodzeniach neuroanatomicznych halucynacje mogą być stłumione kosztem przytłumionej percepcji [15, 16].

Ciekawą hipotezę postawiono w przypadku choroby maniakalno-depresyjnej. Jak wiadomo, epizod maniakalny charakteryzuje się hiperaktywnością, gonitwą myśli, przekonaniem o swojej wielkości. U osób chorych nie zaobserwowano zmian neuroanatomicznych, wiadomo natomiast, że dobre efekty odnoszą sole litu wpływające

³ National Institute of Mental Health (NIMH, USA) finansuje symulacje komputerowe w psychiatrii od 1988 roku.

na procesy metaboliczne neuronów. Wysunięto hipotezę, opartą na symulacji sieci neuronowych, że przyczyną hiperaktywności umysłowej w manii jest zwiększenie szumu w układzie nerwowym, a co za tym idzie większe prawdopodobieństwo kontaktów między różnymi połączeniami. Z kolei można przypuszczać, że zmniejszenie liczby połączeń wpływa na pojawienie się depresji w przebiegu choroby maniako-depresyjnej [18].

Zakończenie

Sieci neuronowe w bardzo dużym stopniu mogą w istotny sposób przyczynić się do diagnozowania i zrozumienia przyczyn chorób psychicznych, a także natury zaburzeń mowy. Mimo że sieci neuronowe nie mogą być rozważane jako modele prawdziwego mózgu [3, 19], są niezwykle inspirujące dla badaczy zmagających się do dziś z trudnymi pytaniami z zakresu psychologii klinicznej i psychiatrii, dotyczącymi zwłaszcza przyczyn chorób psychicznych oraz ich wczesnej diagnozy [20].

Čndřeüçiarříčl čněónnnálııúó íledříıáúó nılńlé
á eččíc=lıęęé d'ńcőıęıäčč č d'ńcőčřndčč

Nıäđčřıčl

Čněónnnálııúó íledříıáúł nılńč 'äé'řnn' aüñęınd'łöčřččđıarııúé éłorıčçęıé d'ldıđrıáñęč äřııúó. Čındčđřöčlé äé' čněónnnálııúó řáđřıarıčé íledříıáúó nılńlé aüř éıäleü éıçăr. Íłńęınd' íř nı, +nı čněónnnálııúł íledříıáúł nılńč ánl áıéll +řnnı d'đčélı'řnn' á nřęčó d'đřó łnnřó eřę öčřıřııáúł řıřččü, řölıęř đüıęř ččč éł ýęıñęč=lıęęıl éřálečđıarıčéł č n.ä., d'đčélıřıčéł á d'ńcőıęıäčč č éłäčöčıl d'đčáleı e řčđęęéó =čněó řálıřřúčó č řřóářmúářřúčó íñęđüñčé. Éıçıř d'đčářáčnü, +nı čněónnnálııúł íledříıáúł nılńč n ónd'łöıé d'đčélı'řnn' eřę d'đč äčřáıřnnčéł, nřę č íd'čńřıčéł ýñčıđřmálıřıčř đřęčč=ıúó d'ńcőč=lıęęčó řřđóřlıčé, nřęčó eřę řřđóřlıčé' đčńřıčé', řřęıäč, áld'đłnnčč ččč řęçıđđlıčé'. Nöéččđó', éıçıř nęřçřmü, +nı íledříıáúł nılńč nınnřäé'řn řálıřřúóđ đđıäđřęéó éłnıäıęıäčč čnnéłıarıčé äé' nıäđłélıııé eččıc=lıęęé d'ńcőıęıäčč č d'ńcőčřndčč.

Čřarıčéł é řřnnı'úłáı řnıáulčé' 'äé'łnn', łäčınnálııı, ččęřnnđřöč' d'đčélıřıčé' čněónnnálııúó íledříıáúó nılńlé á d'ńcőıęıäčč č d'ńcőčřndčč.

Die Anwendung künstlicher Neuronetze in der klinischen Psychologie und Psychiatrie

Zusammenfassung

Künstliche Neuronetze bilden ein hochspezialisiertes Mittel zur Datenbearbeitung. Die Idee für die Schöpfer der künstlichen Neuronetze bildete das Gehirnmodell. Obwohl die künstlichen Neuronetze immer häufiger in solchen Bereichen wie Finanzanalysen, Marktforschung oder ökonomisches Modellieren angewandt werden, war ihre Anwendung in der Psychologie und Medizin wegen viel versprechender und faszinierender Entdeckungen schnell erfolgreich. Es lohnt sich hinzufügen, dass die künstlichen Neuronetze mit Erfolg sowohl beim Diagnostizieren als auch bei der Beschreibung der Ätiopathogenese unterschiedlicher psychischer Störungen wie Ernährungsstörungen, Sucht, Depression oder Schizophrenie angewandt werden. Die künstlichen Neuronetze sind eine vielversprechende Option der Methodologie der Forschungen für die zeitgenössische klinische Psychologie und Psychiatrie. Das Ziel des Artikels war nur die Anwendung der künstlichen Neuronetze in der klinischen Psychologie und Psychiatrie aufzuzeichnen.

L'usage des réseaux neuroniques artificiels dans la psychologie clinique et dans la psychiatrie

Résumé

Les réseaux neuronniques artificiels constituent des instruments très spécialisés de la transformation des données. Le modèle du cerveau inspire les créateurs des réseaux neuronniques artificiels. Bien que ces réseaux soient utilisés surtout dans les analyses économiques et du marché, dans le modelage économique, leur usage dans la psychologie et dans la médecine résulte de fascinantes recherches. Il faut ajouter que ces réseaux sont appliqués avec succès dans le diagnostic et dans la description de différents troubles psychiques tels que : troubles d'alimentation, mauvaises habitudes, dépression, schizophrénie. En somme les réseaux neuronniques artificiels constituent une option méthodologique pleine de promesses pour la psychologie clinique contemporaine ainsi que pour la psychiatrie. Cet article a comme objectif la présentation d'usage de ces réseaux dans ces domaines.

Piśmiennictwo

1. Osowski S. *Sieci neuronowe w ujęciu logarytmicznym*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne; 1996.
2. Tadeusiewicz R. *Elementarne wprowadzenie do techniki sieci neuronowych z przykładowymi programami*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ; 1998.
3. Tadeusiewicz R. *Quasi-psychiczne zjawiska obserwowane w komputerach*. 2001. Strona www dostępna pod adresem: http://www.agh.edu.pl/dydaktyka/sieci_neuronowe.
4. Wójtowicz P. *Polska wersja Statistica Neural Networks*. W: *Statystyka w badaniach naukowych. Materiały na seminaria organizowane przez StatSoft Polska 9 października 2000 roku w Warszawie*. Kraków: Statsoft; 2000, s. 51–70.
5. Cutting JE, Brady NP, Bruno N, Moore C. *Selectivity, scope and simplicity of models: A lesson from fitting judgments of perceived depth*. *J. Exp. Psychol.* 1992; 121, 3: 364–381.
6. Cutting JE. *Accuracy, scope, and flexibility of models*. *J. Math. Psychol.* 2000; 44: 3–19.
7. Forster MR. *Key concepts in model selection: performance and generalizability*. *J. Math. Psychol.* 2000; 44: 205–231.
8. Golden R. *Statistical tests for comparing possibly misspecified and nonnested models*. *J. Math. Psychol.* 2000; 44: 153–170.
9. Abdi H, Valentin D, Edelman B. *Neural networks*. A Sage University Paper. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences 1999; 124: 5–20.
10. Garson GD. *Neural networks. An introductory guide for social scientists*. London: Sage Publications; 1998.
11. Roth WM. *Artificial neural networks for modeling knowing and learning in science*. *J. Res. Sc. Teach.* 2000; 37, 1: 63–80.
12. Speri L, Schiliro G, Bezzetto A, Cifelli G, Battisti L, Marchi S, Modonese M, Varalta F, Consigliere F. *The use of artificial neural networks methodology in the assessment of „vulnerability” to heroin use among army corps soldiers: A preliminary study of 170 cases inside the Military Hospital of Legal Medicine of Verona*. *Subst. Use Misuse* 1998; 33, 3: 555–586.
13. Buscema M, Pietralata MM, Salvemini V, Intraligi M, Indrimi M. *Application of artificial neural networks to eating disorders*. *Subst. Use Misuse* 1998; 33, 3: 765–791.
14. *Diagnostyczny i statystyczny podręcznik chorób psychicznych (DSM-IV)*. Washington: American Psychological Association; 1994.
15. Duch W. *Sieci neuronowe w modelowaniu zaburzeń neuropsychologicznych i chorób psychicznych*. 2001. Strona www dostępna pod adresem <http://www.phys.uni.torun.pl/~duch>.
16. Hoffman RE, Rapaport JR, Rezvan A, McGlashan TH, Harcherik D, Servan-Schreiber D. *A neural network simulation of hallucinated voices and associated speech perception impairments in schizophrenic patients*. *J. Cogn. Neurosc.* 1995; 7: 479–497.
17. Tadeusiewicz R. *Wybrane obszary biomedycznych zastosowań sieci neuronowych*. W: Nałęcz

M, red. *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna*, tom 6. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT; 2000, s. 495–519.

18. Luciano JS. *Neural network modeling of unipolar depression: patterns of recovery and prediction of outcome*. Doctoral dissertation: Boston University; 1996.
19. Tadeusiewicz R. *Sieci neuronowe*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza RM; 1993.
20. Buscema M. *Theory: Foundations of artificial neural networks*. *Subst. Use Misuse* 1998; 33, 1: 17–199.

Otrzymano: 2.04.2002

Zrecenzowano: 23.04.2002

Przyjęto do druku: 12.12.2002

Adres: Małgorzata Starzomska
02-353 Warszawa, ul. Szczęśliwicka
40
e-mail: eltram@life.pl

