

ZINTEGROWANA METODA PROGNOZOWANIA W ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘBIORSTWEM

Tadeusz A. Grzeszczyk

Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych, Politechnika Warszawska, Warszawa

1 WPROWADZENIE I SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Podstawą sukcesu każdego przedsiębiorstwa jest efektywne podejmowanie decyzji w odpowiednim czasie. Ważnym czynnikiem umożliwiającym ich podejmowanie jest znajomość odpowiednich założeń lub przesłanek, dotyczących przyszłości. Prognozowanie należy do ważnych działań, między innymi, wspomagających proces podejmowania decyzji oraz planowania w przedsiębiorstwie. Jednakże przedsiębiorstwa nie dysponują skutecznymi narzędziami prognostycznymi.

Jak wiadomo, do prognozowania (predykcji, przewidywania) najczęściej wykorzystuje się, znane od wielu lat i bardzo rozpowszechnione, metody statystyczne [1]. Niekiedy prognozy są oparte na opiniach doświadczonych i obdarzonych dużą intuicją ekspertów. Oba te podejścia nie gwarantują jednak minimalizacji błędów prognozy. Niekiedy, zależnie od potrzeb, stosuje się większą liczbę zróżnicowanych metod, zaliczanych do jednej, lub obu wymienionych rodzajów. W efekcie, ostateczna prognoza jest najczęściej wyznaczana jako średnia prosta lub średnia ważona prognoz cząstkowych (tzw. prognoza kombinowana).

Jednakże, nawet prognozy kombinowane, nie zawsze charakteryzują się wystarczającą precyzją. W związku z tym, próbuje się stosować inne metody prognozowania, np. wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe (ang. *artificial neural network*), np. [4, 8]. Eksperymentatorzy posługujący się pojedynczymi sieciami neuronowymi, w większości przypadków, uzyskują efekty lepsze niż w przypadku zastosowania

konwencjonalnych metod statystycznych. Występują jednak badania, które dowodzą, że niekiedy walory tych ostatnich metod przeważają nad korzyściami, wynikającymi z zastosowania pojedynczych sieci neuronowych (np. [9]). Nie ulega wątpliwości, że wszystkie wymienione wyżej rodzaje metod nie sprawdzają się, gdy występują różne, nietypowe sytuacje, np. w przypadku podjęcia dużej kampanii reklamowej, promocji określonego towaru lub usługi itp.

W przypadku metod zintegrowanych (hybrydowych) łączy się różne podejścia, tak aby funkcjonowały w jednym spójnym systemie. Umiejętna integracja kilku metod, w celu stworzenia jednej zintegrowanej metody prognozowania, pozwala na przejmowanie najlepszych cech pojedynczych systemów oraz na eliminowanie ich wad. W ramach zintegrowanych metod prognozowania, należy wprowadzić rozróżnienie między trzema grupami metod. Integracja metod może bowiem odbywać się hybrydowo lub w sposób zespolony (szeregowo, względnie równoległe). Nowy sposób prognozowania nazwano zespoloną metodą prognozowania. Można w niej wyodrębnić samodzielnie funkcjonujące podsystemy. Informacje wyjściowe z jednych podsystemów trafiają na wejścia innego (integrującego). Liczba podsystemów zależy od rodzaju problemu do rozwiązania. W przypadku zespolonej metody prognozowania, analizowanej przez autora na przykładzie prognozowania sprzedaży, występują trzy podsystemy. Realizacja systemu zespolonego polega na projektowaniu i implementacji (stosunkowo prostych) samodzielnych części całego systemu. Badany system prognozowania można określić jako zespolony-równoległy.

W literaturze [5], występuje zespolona metoda oceny efektywności przedsięwzięć techniczno-organizacyjnych, w fazie projektowania, wdrażania i eksploatacji. Może ona być stosowana zarówno przed podjęciem decyzji (*ex ante*), jak również po jej realizacji (*ex post*). Istnieje potrzeba i możliwość stworzenia oraz wykorzystania zespolonej metody prognozowania.

2 CHARAKTERYSTYKA PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Rozwiązanie problemu badawczego polegało na stworzeniu metody prognozowania krótkookresowego w przedsiębiorstwie, bardziej efektywnej - tzn. zapewniającej mniejszy błąd prognozy niż przewidywanie oparte na wykorzystaniu pojedynczych sieci neuronowych.

Badany zintegrowany (zespolony – równoległy) system prognozowania obejmuje następujące trzy główne podsystemy:

- 1 analizy ilościowej (wykorzystującej sieć neuronową);
- 2 analizy jakościowej (opartej na teorii zbiorów przybliżonych, opisanej w: [6]);
- 3 podsystemu integrującego wyniki pochodzące z obu wymienionych wyżej podsystemów (zrealizowanego przy użyciu sieci neuronowej).

Przyjęto założenie, że istnieje możliwość i potrzeba integracji sieci neuronowych i metody zbiorów przybliżonych dla prognozowania w przedsiębiorstwie. Ta nowa zespolona metoda prognozowania powinna opierać się na analizie zarówno parametrów ilościowych jak również jakościowych. Wykazano, że zintegrowana (zespolona - równoległa) metoda prognozowania (predykcji) jest bardziej efektywna, tzn. o mniejszym średnim względnym błędzie prognoz, od metod opartych na zastosowaniu pojedynczych sieci neuronowych dla krótkookresowego prognozowania w przedsiębiorstwie. Wartości średnich względnych błędów prognoz porównywanych metod są wymierne.

Przedmiotem badań były: sieci neuronowe stosowane w procesie prognozowania szeregów czasowych, metoda zbiorów przybliżonych oraz implementacja nowej zespolonej – równoległej metody, integrującej sztuczne sieci neuronowe i zbiory przybliżone. Zakres eksperymentów

ograniczono do oceny możliwości zastosowania omawianych metod do prognozowania sprzedaży w dużym przedsiębiorstwie handlowym.

W procesie weryfikacji (zarówno podsystemu ilościowego jak i podsystemu integrującego prognozę ilościową z atrybutem decyzyjnym) zastosowano program *STATISTICA Neural Networks PL* opracowany przez przedsiębiorstwo Statsoft [7]. Z kolei, do implementacji jakościowego podsystemu wykorzystano system programowania Delphi firmy Borland w wersji 5.0. Przy jego wykorzystaniu stworzono system wspomagający prognozowanie (wykorzystujący algorytmy bazujące na teorii zbiorów przybliżonych, do wyznaczania wartości atrybutu decyzyjnego).

Eksperymenty zrealizowano w następujących trzech płaszczyznach:

- 1 badania możliwości wykorzystania sieci neuronowych do krótkookresowej ilościowej predykcji szeregów czasowych,
- 2 zastosowanie teorii zbiorów przybliżonych w jakościowej analizie zagadnień związanych z występowaniem nietypowych zjawisk rozpatrywanych na przykładzie promocji i reklamy jej towarzyszącej,
- 3 implementacja i badania systemu prognostycznego zintegrowanego w sposób zespolony – równoległy.

3 ANALIZA PRZYDATNOŚCI SIECI NEURONOWYCH

W badaniach zastosowano następujące rodzaje sieci:

- liniowe,
- jednokierunkowe trójwarstwowe (inaczej: perceptrony) – MLP (ang. *Multilayer Perceptron*),
- o radialnych funkcjach bazowych – RBF (ang. *Radial Basis Function*),
- realizujące regresję uogólnioną – GRNN (ang. *Generalized Regression Neural Networks*).

Analizę przydatności sieci neuronowych do prognozowania podzielono na dwa etapy:

- empiryczną weryfikację metod prognozowania opartych na wykorzystaniu pojedynczych sieci neuronowych,
- opracowywanie modelu dla potrzeb realizacyjnych podsystemu analizy ilościowej zespolonego systemu prognostycznego.

Badania umożliwiły sformułowanie następujących wniosków.

- 1 Sieci neuronowe są użytecznym narzędziem do analizy szeregów czasowych, które można wykorzystać w zintegrowanym systemie prognostycznym.
- 2 Modele oparte na pojedynczych sieciach neuronowych nie są przydatne do krótkookresowego prognozowania, gdy występują nietypowe zjawiska (w analizowanym przypadku - promocja). Świadczą o tym parametry regresyjne uzyskane dla badanego szeregu czasowego.
- 3 Modele tworzone przez szeregowe połączenie sieci neuronowych realizujących analizę ilościową są nieefektywne w przypadku występowania nietypowych zjawisk.
- 4 Jest możliwe stworzenie (przy wykorzystaniu pojedynczej sieci neuronowej) modelu koniecznego do realizacji podsystemu analizy ilościowej zespolonego systemu prognostycznego.
- 5 W analizowanej sytuacji możliwe i przydatne jest też zbudowanie modelu sieci wykorzystywanego do integracji wyników: ilościowego oraz jakościowego współczynnika – atrybutu decyzyjnego.
- 6 Do realizacji podsystemu ilościowego oraz sieci integracyjnej można zastosować różne typy sieci przeznaczone do badania problemów regresyjnych.

4 METODA ZBIORÓW PRZYBLIŻONYCH

Wyznaczany przy wykorzystaniu teorii zbiorów przybliżonych współczynnik wystarczający i konieczny do podjęcia optymalnej w danych warunkach decyzji prognostycznej określono jako atrybut decyzyjny. Współczynnik ten samoistnie nie stanowi prognozy, lecz tylko wpływa (łącznie z wynikami analizy ilościowej) na proces prognostycznego wnioskowania.

Badania jakościowe umożliwiły wprowadzenie do tworzonego systemu prognostycznego trudno wymiernego „czynnika ludzkiego”. W wyniku funkcjonowania podsystemu ilościowego otrzymuje się konkretną przewidywaną wartość sprzedaży, wynikającą z krótkookresowej analizy szeregów czasowych, dziennych przychodów przedsiębiorstwa. Jest to w zasadzie wystarczające do przewidywań przeprowadzanych w typowych dniach. Natomiast, w przy-

padku występowania nietypowych sytuacji np. promocji, z reguły występuje potrzeba korygowania predykcji ilościowej. W tym kontekście interesujące wydaje się uwzględnianie opinii ekspertów oraz materiałów zebranych w wyniku badań marketingowych, zawierających podsumowania reakcji klientów na oferowane im zniżki, prezenty itp.

Z wyżej wymienionych powodów, w procesie prognozowania, staje się przydatna tzw. wiedza ekspercka. Może ona wynikać z wieloletnich doświadczeń i opublikowanych wyników analiz zachowań klientów, w reakcji na określone bodźce. Dopuszczalne jest również wykorzystywanie ocen kierownictwa danego przedsiębiorstwa, opinii pracowników działu marketingu itp. Istotne jest właściwe uporządkowanie informacji oraz późniejsze prawidłowe ich wykorzystanie. Znajomość poszczególnych zagadnień można łącznie zawrzeć w regułowej bazie wiedzy, która składa się z reguł zawierających atrybuty o wartościach wynikających z doświadczeń zgromadzonych w określonych sytuacjach biznesowych. Na jej podstawie można określić poszukiwane wartości atrybutu decyzyjnego.

Możliwość wykorzystania teorii zbiorów przybliżonych w zintegrowanym systemie została najpierw udowodniona teoretycznie, a następnie dokonano implementacji jakościowego podsystemu oraz sprawdzono jego przydatność do wspomagania procesu prognostycznego. Głównymi zaletami metod wspomagających prognozowanie, opartych na teorii zbiorów przybliżonych – w relacji do tradycyjnych analiz statystycznych – są przede wszystkim następujące cechy.

- 1 Teoria zbiorów przybliżonych może być instrumentem prognostycznym służącym do zapisywania doświadczeń ekspertów w formie reguł decyzyjnych. Powstają one na bazie materiałów empirycznych i umożliwiają stosunkowo łatwe przetwarzanie informacji.
- 2 Istnieje duże prawdopodobieństwo, że nie zostanie pominięta żadna istotna zależność między atrybutami warunkowymi a atrybutem decyzyjnym.
- 3 Teoria zbiorów przybliżonych dobrze nadaje się do badania procesów słabo ustrukturalizowanych, niemożliwych do scharakteryzowania zgodnie z klasycznym ujęciem teorii zbiorów (zwłaszcza społeczno-ekonomicznych) oraz umożliwia identyfikację reguł decyzyjnych trudnych do intuicyjnego zdefiniowania.

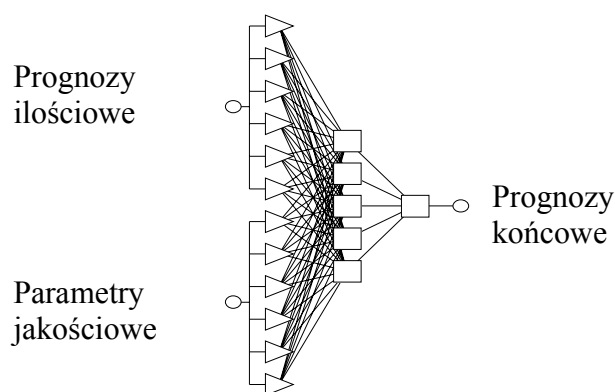
- 4 Występuje względna łatwość modyfikowania tablic decyzyjnych, w celu tworzenia innych reguł decyzyjnych opisujących nowe sytuacje biznesowe.
- 5 Stworzona aplikacja (w postaci pliku wykonywalnego) potwierdziła swoją użyteczność w toku empirycznej weryfikacji założeń badawczych.

Przedstawienie w pracy gotowego (praktycznie użytecznego rozwiązania) tworzy podstawę (także dla innych badaczy) do dalszych prac nad zespoloną metodą prognozowania np. w dziedzinie zastosowania jej w praktyce gospodarczej.

5 INTEGRACJA WYNIKÓW ILOŚCIOWYCH I JAKOŚCIOWYCH

W przypadku realizacji integracyjnej sieci neuronowej występował problem stworzenia modelu predykcji szeregu czasowego na podstawie określonej liczby wcześniejszych wartości oraz analogicznej liczby wartości przyjmowanych przez atrybut decyzyjny (wyznaczany przy wykorzystaniu teorii zbiorów przybliżonych). W efekcie przeprowadzenia wielu testów zdecydowano się na zastosowanie sieci typu MLP (o sześciu neuronach wejściowych) do realizacji podsystemu integracyjnego. Schemat sieci wykorzystanej w procesie integracji wyników ilościowych i jakościowych zaprezentowano na rys. 1. Analiza szeregu czasowego (właściwie dwóch szeregów: wyników ilościowych i wartości współczynników jakościowych) stanowiła rozwiązywanie zadania należącego do problemów regresyjnych. Do oceny modelu zastosowano więc statystyki regresyjne.

Parametr jakościowy (atrybut decyzyjny) przyjmował następujące trzy wartości ułamkowe: 0,2, 0,5, 0,8. Przyjęcie określonej wartości dla danego punktu szeregu czasowego wynikało z procesu wnioskowania przeprowadzanego w podsystemie jakościowym, w którym na podstawie podanych wartości atrybutów warunkowych (przy zastosowaniu reguł decyzyjnych) wyznaczano konkretne wartości przyjmowane przez atrybut decyzyjny. Parametry regresyjne, uzyskane dla sieci MLP wykorzystywanej w procesie integracji wyników ilościowych oraz wartości wynikających z analizy jakościowej, zaprezentowano w tab. 1. oraz 2.



Rys. 1. Schemat sieci integracyjnej (MLP 12 – 5 – 1) wykorzystanej do predykcji zespolonej.

Zgromadzone w tabeli 1. wyniki są podzielone na trzy części odpowiadające odpowiednim podzbiорom danych wykorzystywanych w procesie tworzenia modelu. Zbliżone wartości parametrów zapisane w trzech kolumnach świadczą o dobrej zdolności tej sieci zarówno do aproksymacji (zobacz wyniki dla podzbioru uczącego) jak i generalizacji (zbiór walidacyjny i testowy).

Tabela 1. Parametry regresyjne podsystemu integracyjnego.

	Uc. VAR1	Wa. VAR1	Te. VAR1
Średnia	13,0763	14,02207	13,43357
Odch. std.	5,214087	6,293788	5,715262
Średni błąd	0,2244212	-0,1436	0,2999298
Odch. błędu	1,642225	1,889649	1,855863
Śr. bł. bezwz.	1,279551	1,486854	1,43317
Iloraz odch.	0,3149592	0,3002403	0,3247205
Korelacja	0,949176	0,9549971	0,9470425

Ostatnie dwa parametry (z tabeli 1) potwierdzają dobrą jakość stworzonego modelu MLP. Iloraz odchyłeń standardowych (błędów i danych) dla trzech podzbiорów – z dokładnością do pierwszego miejsca po przecinku – osiągnęły tę samą (małą) wartość 0,3. Odchylenie standardowe danych (występujące w mianowniku ilorazu) jest określone dla danych podlegających analizie. Stosunkowo mała wartość ilorazu świadczy zatem o niedużej wartości odchylenia standardowego błędów (znajdującego się w liczniku ilorazu) w relacji do odchylenia danych rzeczywistych. Uznano tę wartość ilorazu za zadowalającą. Współczynniki korelacji między wartościami rzeczywistymi i wyznaczonymi za

pomocą modelu MLP dla trzech podzbiorów osiągnęły bardzo dobre wartości (rzędu 0,95).

Parametry zapisane w tabeli 1 stanowiły podstawę do podjęcia decyzji o kontynuowaniu eksperymentów z modelem MLP (12 – 5 – 1). W tabeli 2 zaprezentowane zostały parametry związane z obliczeniami przeprowadzonymi dla zbioru danych zarezerwowanych dla wyznaczenia prognoz pozornych.

Tabela 2. Statystyki regresyjne dla obliczeń prognoz pozornych.

	Prognozy jednodniowe	Prognozy pięciodniowe
Średnia	12,79744	13,60029
Odch. std.	6,129125	5,894798
Średni błąd	-0,0007616	-1,209961
Odch. błędu	0,865924	1,301256
Śr. bł. bezwz.	0,6961551	1,501071
Iloraz odch.	0,1412802	0,2207464
Korelacja	0,9899777	0,9756788
RMSE	0,8548	1,763
MSE	0,73	3,12
SSE	28,47	109,2
Średni błąd względny	7,47%	11,47%

Opracowany wcześniej model MLP zastosowano do wyznaczania prognoz pozornych z dwoma horyzontami: jedno- i pięciodniowymi. Podstawowy parametr (tzn. iloraz odchyłeń standardowych błędów i danych) świadczący o jakości zastosowanego modelu osiągnął zadowalające wartości. Dla prognoz jednodniowych uzyskano wartość rzędu 0,1, natomiast dla pięciodniowych rzędu 0,2. Korelacja na poziomie 0,9 też dobrze świadczy o zastosowanym modelu.

Ostatnim miernikiem (tab. 2.) potwierdzającym użyteczność zaproponowanej metody zespolonego prognozowania, jest średni błąd względny prognoz. Uzyskane wartości (dla prognoz jedno- i pięciodniowych, odpowiednio: 7,47% oraz 11,47%) są dla analizowanego szeregu czasowego zadowalające. Dla porównania, w przypadku zastosowania pojedynczych sieci neuronowych uzyskano odpowiednio wartości: 28,77% oraz 35,62%.

Empiryczna weryfikacja uzasadnia sformułowanie następujących wniosków o praktycznej przydatności zespolonej metody prognozowania.

- 1 Zastosowanie sieci neuronowych do krótkookresowej predykcji szeregu czasowego pozabawionego nietypowych skokowych zmian wartości umożliwia stworzenie wielu modeli prognostycznych o stosunkowo małych błędach prognoz *ex post*. Jeden z nich można wykorzystać do stworzenia podsystemu analizy ilościowej niezbędnego do zbudowania zespolonego systemu prognostycznego.
- 2 Za pomocą algorytmów, wynikających z teorii zbiorów przybliżonych, można zbudować regulową bazę wiedzy uwzględniającą ważne zależności między atrybutami warunkowymi a decyzyjnymi. Odzwierciedlają one wpływ czynników nietypowych dla danego systemu pominiętych w analizie ilościowej, a silnie wpływających na prognozowaną wielkość (np. sprzedaż) w stosunkowo krótkim okresie.
- 3 Podsystem analizy jakościowej oparty na metodzie zbiorów przybliżonych umożliwia uwzględnienie (we względnie prosty i skuteczny sposób) w procesie prognostycznym jakościowej wiedzy ekspertów niedostępnej do empirycznego wykorzystania w wyłącznie ilościowej analizie szeregów czasowych.
- 4 Prognoza wynikająca z integracji (syntezy) wyników: podsystemu ilościowego oraz podsystemu jakościowego, daje lepsze rezultaty (tzn. mniejszy błąd prognozy) w porównaniu z predykcją realizowaną za pomocą pojedynczej sieci neuronowej analizującej cały nieprzetworzony szereg czasowy zawierający nietypowe skokowe zmiany wartości wynikające np. z promocji.
- 5 Sieć neuronowa jest sprawnym narzędziem integracji wyników analiz jakościowych i ilościowych w zintegrowanym systemie prognostycznym.

Przeprowadzone badania empiryczne potwierdziły fakt dobrego funkcjonowania i praktycznej użyteczności modeli zbudowanych na bazie różnych typów sieci. Ustalenie to odnosiło się do przypadku braku występowania nietypowych zjawisk, powodujących stosunkowo duże, skokowe zmiany prognozowanych wielkości. Sieci neuronowe potrzebują bowiem dużo danych do uczenia, a potem walidacji oraz testowania. Sieci uczone za pomocą odpowiednio przygotowanego, dużego zbioru danych (pozbawionego nietypowych zmian), charakteryzowały się dobrymi parametrami regresyjnymi oraz stosunkowo małymi błędami *ex post*, wyzna-

czanymi dla zbioru danych, zarezerwowanego dla określania predykcji pozornych.

Występowanie okresów promocji w analizowanych danych powodowało znaczne błędy w procesie uczenia sieci, a potem w eksploatacji opracowanych modeli. W badaniach nie można było zastosować dwóch różnych sieci do modelowania zależności występujących w okresie stosowania promocji oraz poza nim, ponieważ liczba danych, związanych z nietypowymi zdarzeniami, była zbyt mała aby wystarczyła do nauczenia sieci. Jest to często spotykany w praktyce, problem prognostyczny, dotyczący występowania krótkotrwałych, nietypowych zjawisk – w tym przypadku promocji. Takie nietypowe wydarzenia, są praktycznie niemożliwe do analiz, za pomocą modeli, zbudowanych na bazie pojedynczych sieci neuronowych.

6 PODSUMOWANIE

Analiza teoretyczna i badania empiryczne [3] wykazały, że jest możliwe oraz przydatne w praktyce integrowanie sieci neuronowych oraz metody wynikającej z zastosowania teorii zbiorów przybliżonych. Teoretycznie określono oraz empirycznie zbadano nową metodę prognozowania krótkookresowego w przedsiębiorstwie - opierającą się na analizie zarówno parametrów ilościowych jak również jakościowych. Udowodniono założenie badawcze, że zespolona (zintegrowana) metoda prognozowania jest bardziej efektywna, tzn. o mniejszym błędzie *ex post* od metod opartych na zastosowaniu pojedynczych sieci neuronowych.

Sformułowano i empirycznie pozytywnie zweryfikowano następujące nowe problemy.

- ◆ Przedstawiono podział metod prognozowania. Dotychczas zazwyczaj metody prognozowania dzielono na ilościowe i jakościowe. Uporządkowano typologię metod prognozowania kładąc szczególny nacisk na metody zintegrowane, w ramach których wprowadzono podział na metody hybrydowe oraz zespolone (szeregowo lub równoległe). Stosując ten podział, przy podaniu nazwy metody, otrzymuje się informację o sposobie przeprowadzenia integracji i o budowie systemu prognozowania.
- ◆ Na przykładzie oceny wpływu promocji na sprzedaż w przedsiębiorstwie handlowym wykazano użyteczność teorii zbiorów przyb-

liżonych do jakościowej analizy wpływu nietypowych zjawisk na szereg czasowy.

- ◆ Udowodniono możliwość i potrzebę integracji sieci neuronowych i zbiorów przybliżonych dla prognozowania krótkookresowego w przedsiębiorstwie.
 - ◆ Zaprojektowano nową metodę służącą analizie parametrów ilościowych i jakościowych.
 - ◆ Opracowana zespolona metoda prognozowania jest nieliniowa i nieparametryczna, nie wymaga określania relacji między wejściem i wyjściem, jest odporna na zakłócenia występujące w systemach rzeczywistych oraz umożliwia pozyskiwanie dodatkowej wiedzy użytecznej w prognozowaniu.
 - ◆ Ustalono, że dla uzyskania przewidywań o małym błędzie *ex post* w przypadku występowania nietypowych zdarzeń niezbędny jest jakościowy współczynnik (atrybut decyzyjny), który samoistnie nie stanowi prognozy ale tylko wpływa (łącznie z wynikami analizy ilościowej) na końcowy wynik predykcji. Wyznacza się go w procesie wnioskowania opartego na bazie wiedzy stworzonej, jako efekt analizy tablic decyzyjnych.
 - ◆ Dzięki zastosowaniu teorii zbiorów przybliżonych, w zespolonym systemie predykcji w procesie prognozowania, można wykorzystywać tzw. wiedzę ekspercką. Jej źródłem mogą być np. wieloletnie doświadczenia kierownictwa przedsiębiorstwa oraz pracowników działów marketingowych. Wiedza ta jest reprezentowana w postaci „regułowych baz wiedzy”.
 - ◆ W przypadku przeprowadzania analiz za pomocą metody zbiorów przybliżonych tablice są najwygodniejszą formą zapisu informacji niezbędnej dla prawidłowego funkcjonowania systemu predykcji.
- Badania obecnie zakończone motywują do dalszych działań nad poprawieniem funkcjonowania zespolonej metody prognozowania oraz nad innymi nowymi metodami predykcji. Uzyskane wyniki stanowią zachętę do prowadzenia dalszych prac w dziedzinie wykorzystania złożonych (zintegrowanych) metod sztucznej inteligencji w krótkookresowym prognozowaniu szeregów czasowych. Dotyczy to zwłaszcza następujących problemów.
- ◆ Efektywność nowej zintegrowanej metody prognostycznej wykazano na przykładzie krótkookresowego prognozowania sprzedaży

w przedsiębiorstwie. Interesujące wydaje się zbadanie w przyszłości zastosowania tej metody także dla innych (dłuższych) horyzontów prognozy oraz dla przewidywań innych (niż sprzedaż w przedsiębiorstwie) zjawisk o charakterze społeczno-ekonomicznym. W tym kontekście interesujące wydaje się rozważenie zastosowania algorytmów adaptacyjnych (w podsystemie jakościowym uniwersalnego systemu prognozowania). Mogłyby one modyfikować swoje działanie dostosowując funkcjonowanie systemu predykcyjnego do aktualnych wymagań. Taki system przewidywania można by określić mianem „inteligentnego systemu prognozowania”.

- ◆ Zaproponowany algorytm do tworzenia reguł decyzyjnych może być dalej udoskonalany. Przy opracowywaniu i późniejszym wykorzystywaniu algorytmu przyjęto bowiem założenie o możliwości wyznaczania wartości atrybutu decyzyjnego przy wykorzystaniu reguł decyzyjnych otrzymanych w wyniku analizy tablicy decyzyjnej. Można jednak wyobrazić sobie algorytm (wykorzystujący teorię zbiorów przybliżonych) obliczania tych wartości bezpośrednio na podstawie tablicy decyzyjnej – bez potrzeby wcześniejszego wyznaczania reguł decyzyjnych.
- ◆ Do nowych problemów, którymi autor mógłby się zająć w przyszłości, należą inne sposoby realizacji podsystemu analizy jakościowej. Wnioskowanie przy użyciu zbiorów przybliżonych można próbować zastąpić zastosowaniem siostrzanej teorii zbiorów rozmytych. Do jakościowej analizy można także wykorzystać system ekspercki np. stworzony przy użyciu języków programowania specjalnie przeznaczonych do tego celu (jak np. Prolog, Lisp, Clips i inne). Systemy eksperckie bowiem funkcjonują na bazie wiedzy, która może zawierać reguły prowadzące do wyznaczania konkretnych wartości współczynników jakościowych, podlegających w dalszej fazie integracji z wynikami analizy ilościowej.
- ◆ Kolejnym problemem jest możliwość badań struktur molekularnych. Istotę procesu jakościowej analizy danych mogą bowiem stanowić reakcje biochemiczne. Idea realizacji molekularnego systemu eksperckiego mogącego służyć celom prognostycznym, jest jednak bardzo odległa. Opis matematyczny

zjawisk zachodzących w DNA jest dotychczas naukowo niedostatecznie opracowany. Występują trudności ze skuteczną identyfikacją obliczeń przeprowadzanych w czasie reakcji chemicznych. Powtarzalność informacyjnych reakcji chemicznych jest również niewielka.

- ◆ Można rozważyć także przeprowadzenie eksperymentów z algorytmami genetycznymi. W powyżej przedstawionych badaniach wykorzystano je do określania (redukcji) przestrzeni danych wejściowych, co było równoznaczne z wyznaczaniem liczby neuronów występujących w warstwie wejściowej danego modelu. Obecnie można badać przydatność algorytmów genetycznych do analizy jakościowej w zintegrowanym systemie prognostycznym. Wymaga to jednak dokładnego, teoretycznego opracowania założeń oraz sposobu rozwiązania tego problemu.
- ◆ Dzięki powyższym badaniom wykazano możliwości wykorzystania zespolonych metod prognozowania w wersji równoległej. Dalsze próby i eksperymenty, mogą dotyczyć zatem szeregowych zespolonych metod predykcyjnych. Szczególnie interesujące wydaje się prowadzenie dalszych badań z hybrydowymi systemami prognostycznymi, takimi jak np. przybliżone sieci neuronowe (ang. rough neural networks). Tworzony i badany obecnie przez autora, predykcyjny system hybrydowy do prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie nazwano: „Rough Sales Forecasting System” [2]. Takie systemy są trudniejsze do modelowania, ponieważ nie występuje w ich przypadku możliwość wprowadzenia podziału na względnie nieskomplikowane, stosunkowo łatwe w realizacji, podsystemy. Trudności wynikają także z potrzeby stworzenia czytelnego i praktycznie użytecznego opisu matematycznego, koniecznego przy modelowaniu hybrydowych systemów prognostycznych.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Dittmann P. 1999. Metody prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie. Wrocław. Wydawnictwo AE im. Oskara Langego we Wrocławiu.
- 2) Grzeszczyk T. A. 2000. Rough Sales Forecasting System, Informations Systems – Research, Teaching and Practice. Cardiff. Proceedings of the 5th UKAIS Conference University of Wales Institute.

- 3) Grzeszczyk T. A. 2002. Metoda prognozowania integrująca sieci neuronowe i zbiory przybliżone w zastosowaniach organizatorskich. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska.
- 4) Lula P. 1999. Jednokierunkowe sieci neuronowe w modelowaniu zjawisk ekonomicznych. Kraków. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie.
- 5) Marciniak S. 2001. Controlling, filozofia, projektowanie. Warszawa. Difin.
- 6) Pawlak Z. 1982. Rough sets. International Journal of Computer and Information Sciences. 11/1982.
- 7) Statsoft 2001. Opis do programu *STATISTICA Neural Networks* 4.0 PL. Opracowanie dla Statsoft: R. Tadeusiewicz, P. Lula. Kraków.
- 8) Tadeusiewicz R. 1993. Sieci neuronowe. Warszawa. Akademicka Oficyna Wydawnicza RM.
- 9) Tang Z., Almeida C., Fishwick P. A. 1991. Times series forecasting using neural networks vs. Box-Jenkins methodology, Simulations Councils, Nov.