ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: TRANSPORT z. 42 Nr kol. 1524

Jan PIECHA, Rafał WĄSIK

SIEĆ NEURONOWA O SKOŃCZONEJ LICZBIE WEKTORÓW WEJŚCIOWYCH JAKO AUTOMAT STERUJĄCY WĘZŁEM SYGNALIZACJI DROGOWEJ

Streszczenie. Praca zawiera opis badań statutowych realizowanych w Zakładzie Informatyki Transportu Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej. Jest to główne zadanie badawcze związane z tematem „Badania symulacyjne i optymalizacja systemów transportowych" (BK 225/RM10/2001). Celem prac było opracowanie modelu automatu neuronowego spełniającego rolę układu sterującego węzłem sygnalizacji drogowej na pojedynczym skrzyżowaniu.

THE NEURAL NETWORK WITH FINITE NUMBER OF INPUT VECTORS AS AN AUTOMATA CONTROLLING A SINGLE TRAFFIC NODE

Summary. The described work continues the project defined several years ago, concerning simulation technologies in transportation systems. The main goal of the work was to imply for a single crossroad the neural network technologies in traffic controlling automata development.

1. WSTĘP

Sygnalizatory świateł w systemach transportu miejskiego o dużym natężeniu ruchu są koordynowane w centrach sterowania globalnego, za pośrednictwem hierarchicznych automatów mikroprogramowanych [1]. Wyliczanie procedur sterujących sygnalizatorami złożonych układów skrzyżowań wiąże się z określonymi ograniczenia szybkości przetwarzania danych.

W realizacji układów sterowania binarnego (w tym sygnalizacją świetlną skrzyżowania ulic) można zastosować model układów decyzyjnych wykorzystujących sztuczne sieci

neuronowe. Ich podstawową zaletą jest znacznie większa szybkość podejmowania decyzji sterujących niż klasycznych układów sterowania mikroprogramowanego [2].

Układy automatycznego wnioskowania dokonują porównywania i klasyfikacji wektorów danych wejściowych na podstawie wzorców poznanych w procesie ich uczenia. Prawidłowo wytrenowana sztuczna sieć neuronowa umożliwia uogólnienia oznaczające umiejętność klasyfikacji dowolnej kombinacji wartości zmiennych wejściowych.

Pojęcie prawidłowego treningu sieci dotyczy głównie:

- dostatecznej liczby wektorów wejściowych,
- prawidłowego rozpoznania i klasyfikacji bieżących wektorów wejściowych.

Jeśli ciąg uczący sieć neuronową jest jednorodny lub proces jej uczenia trwa zbyt krótko, wtedy liczba sklasyfikowanych odpowiedzi może być zbyt mała. Tak wytrenowana sieć rozpoznaje tylko te wektory, które zostały do niej wprowadzone w trakcie uczenia. Jest to przypadek wnioskowania ograniczonego - „na pamięć". Sieć nie nabyła umiejętności uogólniania decyzji wnioskowania.

Ta ułomność sieci może się jednak stać jej zaletą dla rozwiązania automatu sterującego pracą węzła transportowego o skończonej liczbie wektorów wejściowych. Można wykorzystać taką sieć neuronową do realizacji automatu sterującego sygnalizacją świetlną pojedynczego węzła drogowego.

W opisanych badaniach zastosowano teorię sieci neuronowych do programowania sekwencji sterujących automatu lokalnego sterownika węzła sygnalizacji świetlnej. Automat decyzyjny wybiera jedną z odpowiedzi zapamiętanych przez sztuczną sieć neuronową, jako odpowiedź na stan wektora wejściowego tej sieci. Zamiast złożonego, dedykowanego systemu sterowania można zastosować moduł uniwersalny, którego tablica decyzyjna określona zostaje na podstawie treningu odpowiedzi sieci neuronowej.

2. ELEMENTARNY AUTOMAT STERUJĄCY

Skrzyżowanie ulic jest elementem sieci transportowej wpływającym na płynność ruchu oraz na przepustowość ciągów transportowych [3], [4]. W ocenie jakości sterowania ruchem posługujemy się wskaźnikami, których wartości odwzorowują stopień obciążenia i przepustowości pasów ruchu elementu sieci transportowej.

Wysoka cena profesjonalnych pakietów symulacji ruchu drogowego, jak: TrafNetSim, HutSim, Texas, CorSim, czy Integration, była główną przyczyną podjęcia wysiłków na polu

opracowań własnych, których część (OPTYMAL [5]) wykorzystano w niniejszych badaniach. Jedną z opcji pakietu OPTYMAL jest narzędzie automatycznego generowania programów sygnalizacji świetlnej metodą TRRL [6], będącą narzędziem badania przepustowości skrzyżowań. Argumentami funkcji analizy jakości są parametry natężenia ruchu oraz geometria skrzyżowania. Zastosowano w nim podstawowe funkcje analizy jakości, dla:

- badania przepustowości skrzyżowania,
- badania czasu przejazdu potoku pojazdów lub czasu strat wynikających z zatrzymań pojazdów,
- analizy kosztów przejazdu,
- oceny płynności ruchu pojazdów,
- ochrony parametrów środowiska (poziomu hałasu, emisji spalin),
- oceny bezpieczeństwa ruchu.

W zaproponowanym w pracy systemie wnioskowania zaimplementowano jeden z modeli sieci neuronowych, której zmienne wejściowe określają miary natężeń ruchu na poszczególnych wlotach (pasach ruchu) pojedynczego skrzyżowania. Wartości zmiennych wyjściowych odwzorowują czasy trwania zielonego światła dla poszczególnych sygnalizatorów [7].

Automat neuronowy zamodelowany w pakiecie NEURO-OPTYMAL poddany zostaje treningowi za pomocą wektorów sterowań wyliczonych za pomocą pakietu OPTYMAL. Procedury obliczeniowe, a następnie trening sieci neuronowej uruchamiane są losowo w module wejściowym pakietu.

Przy takim rozwiązaniu sterownika uzyskujemy zdecydowane skrócenie czasu obliczeń wykonywanych przez układ sterujący, co pozwala zwiększyć częstotliwość aktualizacji programów sygnalizacji.

Danymi wejściowymi wyznaczanego stanu obiektu są wartości pomiarowe natężenia ruchu (w poj. um/godzinę). Na ich podstawie określany jest harmonogram sterowania (rys.1).

$$X_{we} = [600 \quad 356 \quad 0 \quad 0 \quad 245 \quad 0 \quad 0 \quad 459 \quad 234 \quad 79 \quad 0 \quad 78 \quad 0 \quad 0]$$

wartość nat. ruchu pojazdów na pasie 1 — wartość nat. ruchu pojazdów na pasie 14

Rys.1. Przykładowy wektor wejściowy automatu neuronowego
Fig. 1. The example input vector of neural network automata

2.1. Sterowanie *on-line*

Duża szybkość wyznaczania sterowań w automacie z siecią neuronową pozwala na realizację systemu sterowania bieżącego (*on-line*). Wtedy wektor wartości zmiennych wejściowych automatu neuronowego określa w krótkim, np. sekundowym, interwale czasu kolejne sterowania (rys.2).

$$Y_o = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

element odp. ster. fazą 2

Rys. 2. Przykładowy wektor wyjściowy automatu neuronowego w trybie *on line*
Fig. 2. The example output vector for neural network automata in on-line mode

2.2. Sterowanie sekwencyjne

W tym przypadku wektorem wyjściowym jest zestaw czasów trwania światła zielonego w poszczególnych fazach, jak w przykładzie na rys.3. Dla przypadku sygnalizacji liczby faz mniejszej niż 5 wartość *0* oznacza brak danej fazy.

$$Y_s = [21 \quad 35 \quad 25 \quad 0 \quad 0]$$

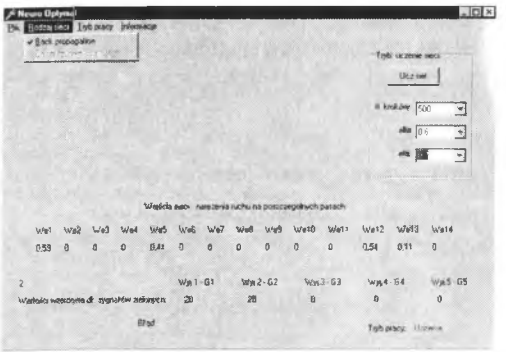
el. określ. dł. czasu trw. G1 el. określ. dł. czasu trw. G5

Rys. 3. Przykładowy wektor wyjściowy automatu neuronowego w trybie sekwencyjnym
Fig. 3. The example output vector of neural network automata in sequential mode

3. INTERFEJS UŻYTKOWNIKA AUTOMATU NEURONOWEGO

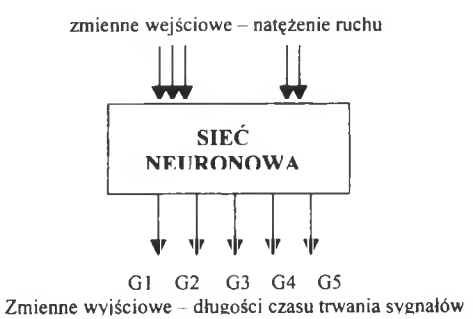
Interfejs użytkownika pakietu programowego o nazwie NEURO-OPTYMAL pokazano na rys.4, natomiast opis zmiennych we/wy sieci neuronowej na rys.5.

Na wejścia sieci podawane są średnie natężenia ruchu, które mogą być zarejestrowane przez np. pętle indukcyjne lub inne czujniki ruchu zainstalowane na skrzyżowaniu. Na ich podstawie system wylicza odpowiedzi w postaci czasu trwania sygnału zielonego w poszczególnych fazach (G1 – G5).



Rys. 4. Pulpit operatora pakietu NEURO-OPTYMAL
Fig. 4. The user interface of NEURO-OPTYMAL package

Sieć neuronowa klasyfikuje zadany zestaw danych wejściowych dwustanowo - *TAK* lub *NIE*. Ponieważ w przypadku określenia długości czasu trwania potrzebujemy pewnego, ściśle określonego, przedziału wartości, decyzja w postaci odpowiedzi *0* lub *1* na jednym wyjściu reprezentującym długość czasu trwania światła zielonego w danej fazie nie jest przydatna. Zastosowano rozwiązanie umożliwiające uzyskanie żądanej formy wyniku, a jednocześnie pozwalające na pracę sieci w trybie odpowiedzi *TAK* lub *NIE* na poszczególnych jej wyjściach. Każda faza sygnalizacji świetlnej otrzymała nie jedno, lecz cały zestaw wyjść, przy czym każdemu z nich przyporządkowana jest określona długość czasu trwania światła zielonego.



Rys. 5. Opis zmiennych sieci neuronowej
Fig. 5. The neural network variables description

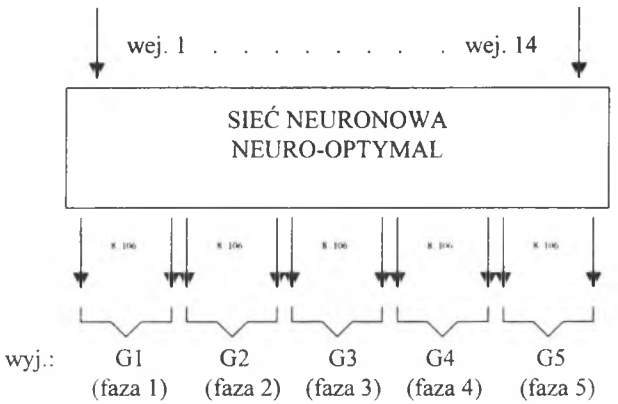
Sterowanie siecią polegające na pobudzeniu jednego neuronu z warstwy wyjściowej, a więc zgodne z „tradycyjnym" generowaniem odpowiedzi, daje jednoznaczne określenie interwału czasowego G_i dla sygnalizacji świetlnej. Przy jednosekundowej dokładności odpowiedzi i uwzględnieniu ograniczeń dotyczących projektowania programów sygnalizacji dla każdej fazy światła otrzymujemy 98 wyjść. Dla przyjętych założeń dotyczących geometrii skrzyżowania uzyskamy sieć, której schemat przedstawiono na rys.6. Tak zdefiniowana sieć ma zbyt duży wymiar, dlatego niezbędne są jej uproszczenia.

Na rys. 7 pokazano model równoległej sieci neuronowej o rozdzielonych fazach sterowania. Zawiera on pięć niezależnych sieci neuronowych o identycznej strukturze połączeń i równolegle połączonych wejściach.

Takie uproszczenie daje dwie zasadnicze korzyści:

- mniejszą złożoność obliczeniową (mniejsza liczba neuronów w jednym układzie),

- możliwość wstępnej eliminacji obliczeń dla nadmiarowych fragmentów sieci (wykluczenie zbędnych faz).



Rys. 6. Wielowyjściowa sieć neuronowa automatu sterującego
Fig. 6. The multi-output neural network of controlling automata

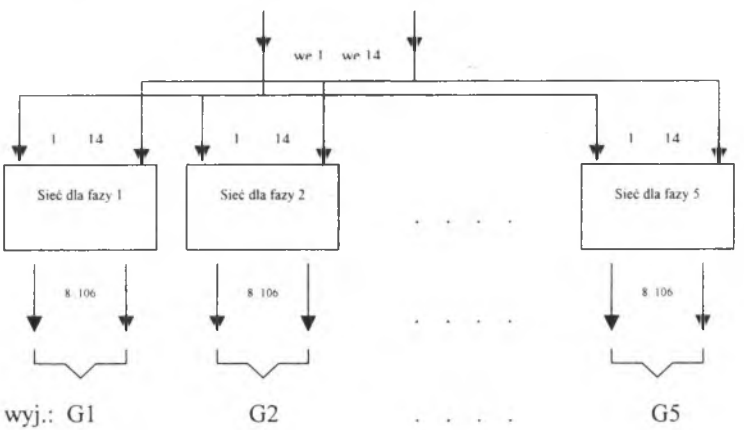
Dla uproszczenia procedur obliczeniowych zastosowano podstawowy model sieci neuronowej, z trójwarstwową sigmoidalną funkcją przejścia:

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-\beta \cdot \varphi)}$$

gdzie: y – odpowiedź neuronu,

β – zadany parametr,

φ – sumaryczny ważony sygnał wejściowy neuronu.



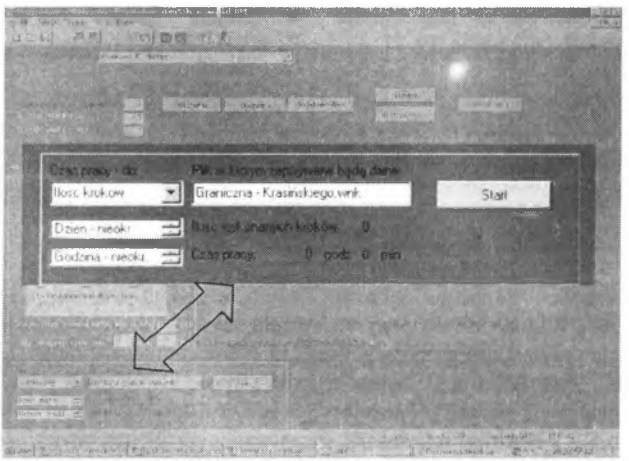
Rys. 7. Równoległa sieć neuronowa automatu sterującego
Fig. 7. The parallel neural network of controlling automata

Odpowiedzi sieci modelowano za pomocą pakietu „OPTYMAL" o odpowiednio zmodyfikowanym interfejsie użytkownika (rys. 8).

Dane wejściowe zawierają:

- pełny opis natężeń ruchu na poszczególnych pasach,
- program sygnalizacji.

Wyliczone zbiory danych wyjściowych (ciągi uczące sieci neuronowej) zostają zapisane w odpowiednich plikach przejściowych.



Rys. 8. Interfejs generatora ciągów uczących
Fig. 8. The interface for a training sequence generator

Do ważnych elementów badań można również zaliczyć:

- wpływ sposobów uczenia sieci na dokładność generowanych przez nią wyników,
- zastosowanie sieci o innej strukturze wewnętrznej (np. sieć Hopfielda, ze sprzężeniami zwrotnymi).

4. PODSUMOWANIE

Sieci neuronowe z założenia przeznaczone są do pracy w systemach porównujących i klasyfikujących pewne (najczęściej niepełne) wektory danych wejściowych do wzorców poznanych na etapie uczenia. W module NEURO-OPTYMAL danymi wejściowymi są wartości natężeń ruchu pojazdów, które z pewną dokładnością powtarzają się w cyklach dziennych lub tygodniowych dla poszczególnych wlotów lub pasów ruchu. Łatwo dowieść, że istnieje skończona liczba możliwych kombinacji tych wartości. W związku z tym występuje efekt uczenia się sieci neuronowej „na pamięć", czyli dokładnego zapamiętywania poszczególnych elementów ciągu uczącego. Przy założeniu skończonej liczby możliwych kombinacji

danych wejściowych ta słabość sieci neuronowej staje się jej zaletą, pomimo iż ta cecha dyskwalifikuje skuteczność tradycyjnie pojmowanych neuronowych systemów wnioskowania.

Aktualna wersja modułu obliczeniowego obejmuje pojedyncze skrzyżowania. Możliwe jest jednak poszerzenie niniejszego algorytmu na ciąg lub sieć wielu skrzyżowań. Należy jednak zmodyfikować układ wejść i wyjść sieci, co się wiąże ze zmianą jej wewnętrznej struktury oraz innej interpretacji wyników wnioskowania.

Literatura

1. Piecha J.: The dispatch system and out-cities parking zones for a car-traffic management, Proceedings GIS Croatia 2000, HIZ – Zagreb-Croatia pp. 205-212.
2. Wąsik R.: Zastosowanie technik sieci neuronowych w systemie sterowania sygnalizacją świetlną – Zeszyty Nauk. Polit. Śl. 2000, Seria: Transport z.41.
3. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria Ruchu, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1997.
4. Tracz M., Tarko A., Chodur J.: Przepustowość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1992.
5. Doroz R., Piecha J., Wąsik R., Widuch S.: System "Optymal" dla symulacji procedur sterowania sygnalizacją świetlną pojedynczego skrzyżowania ulic, Informatyka 10/2000.
6. Bohatkiewicz J., Przebinda B., Tracz M.: TRRL Nowa brytyjska metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Transport Miejski nr 5/89.
7. Doroz R., Wąsik R., Widuch S.: Wskaźniki jakości dla sterowania sygnalizacją świetlną w systemie „Optymal" – Zeszyty Nauk. Polit. Śl. 2000, Seria: Transport z.41.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Piecha

Abstract

The paper presents description of the research project being under development in the recent year in frames of a status research program of the Institute of Transport, Department of Informatics. The described works done in this year continue the project defined several years ago, concerning simulation technologies in transportation systems. The main goal of this works was to imply for a single crossroad the neural network technologies in traffic controlling automata development.

Praca wykonana w ramach badań statutowych realizowanych w Zakładzie Informatyki Transportu Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej: „Badania symulacyjne i optymalizacja systemów transportowych" (BK 225/RM10/2001).