

## Zastosowanie fuzji klasyfikatorów rozmytych i genetycznych w zadaniu sterowania sygnalizacją świetlną

*Application of Mergers and Genetic Fuzzy  
Classifiers in the Task of Controlling Traffic Lights*

**Katarzyna Topolska<sup>1,2</sup>, Mariusz Topolski<sup>2</sup>,  
Bartłomiej Błachut<sup>2</sup>, Marcin Haber<sup>2</sup>, Arkadiusz Piekarz<sup>2</sup>**

**Treść:** Artykuł prezentuje problematykę sterowania ruchem pojazdów w obrębie jednego skrzyżowania z zastosowaniem metod klasycznych, tradycyjnych i algorytmów genetycznych połączonych z klasyfikatorem rozmytym. Autorzy wykonując badania wskazali, że operatory genetyczne z klasyfikatorem rozmytym pozwalają o około 13% sprawniej sterować sygnalizacją świetlną niż metody klasyczne i o około 33% lepiej niż metody tradycyjne. Metody klasyczne zostały zdefiniowane jako modele bazujące tylko na czujnikach ruchu i na zasadzie kolejki fifo, a metoda tradycyjna to standardowe stałe cykle świetlne.

**Słowa kluczowe:** logika rozmyta, sterowanie sygnalizacją świetlną, algorytmy genetyczne.

**Abstract:** The article presents issues of the traffic guidance within one intersection with the application of classical and traditional methods along with genetic algorithms connected with the fuzzy classifier. Results presented by the authors show that genetic operators with the fuzzy classifier allow to control the traffic lights about 13% more efficiently than classic methods and about about 33% better than traditional methods. Classic methods were defined as models based only on movement sensors and on the principle of the FIFO queues, a traditional method is a standard permanent light cycles.

**Keywords:** fuzzu logic, traffic light control, genetic algorithms.

### 1. Wstęp

W artykule skupiono się głównie na prezentacji modelu sterowania sygnalizacją świetlną w obrębie wybranego skrzyżowania z wykorzystaniem fuzji operatorów genetycznych z klasyfikatorem rozmytym. Najważniejszym elementem, który usprawnia sterowanie ruchem drogowym jest - a w zasadzie są - sygnalizacje świetlne. Wyznaczane przez nie czasy przejazdu, postoju w znacznym stopniu wpływają na przebieg ruchu drogowego, a także na stopień wydzielania się w centrach miast szkodliwych substancji. Zbyt ograniczony ruch w obrębie skrzyżowań wywiera również wpływ na ekonomikę i organizację transportu miejskiego [2].

Początek ich rozwoju przypada na rok 1868, kiedy to w Londynie na skrzyżowaniu *New Palace Yard* i *Bridge Street* postawiono jeden z pierwszych sygnalizatorów. Były to urządzenia ręcznie sterowane, które wyposażone w lampę gazową wysyłały zielone bądź czerwone światło. Niestety, kilka dni po eksplozji tego urządzenia zaprzestano jego stosowania.

Ponowne próby wdrożenia urządzenia, które sterowałoby ruchem drogowym miały miejsce jeszcze przed pierwszą

wojną światową w USA, gdzie zainstalowano pierwszą elektrycznie sterowaną sygnalizację świetlną. Kolejnym etapem było zastosowanie trójkolorowych świateł a niedługo po tym w roku 1928 zainstalowano pierwszy sygnalizator, który potrafił zarządzać ruchem na podstawie sygnału klaksonu. W Polsce pierwsza sygnalizacja świetlna pojawiła się w 1926 roku w Warszawie, jednak pierwsze sygnalizatory w pełni akomodacyjne w naszym kraju zostały wprowadzone w latach siedemdziesiątych. Obecnie z roku na rok coraz śmielej postępujący postęp technologiczny pozwala przyjąć wyzwanie, jakie niesie ze sobą rozłożenie znacznie większego natężenia ruchu drogowego niż tego za czasów lat siedemdziesiątych, osiemdziesiątych.

W zależności od sytuacji mamy do wyboru następujące rodzaje systemów sygnalizacyjnych: system cykliczny, system akomodacyjny oraz ich odmiany.

Wszystkie wartości poszczególnych składników możemy uzyskać przy pomocy odpowiednio przemyślanego modelu ruchu drogowego, gdyż nie istnieją jeszcze detektory pozwalające śledzić wszystkie zmiany zachodzące podczas przemieszczania się pojazdów.

Systemy sterujące ruchem drogowym, zaprojektowane

<sup>1</sup>Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu

<sup>2</sup>Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej we Wrocławiu (K. Topolska, M. Topolski - wykładowcy; B. Błachut, M. Haber, A. Piekarz - studenci).

właśnie w ten sposób, powinny dążyć do uzyskania jak najmniejszej wartości reprezentującej natężenie ruchu, które możemy łatwo obliczyć  $Q = v \cdot k$ , gdzie  $Q$  to natężenie ruchu wyrażone w [P/h],  $v$  – średnia prędkość pojazdów na określonym odcinku wyrażona w [km/h],  $k$  – gęstość ruchu wyrażona w [P/km]. Dla odpowiednio małego  $Q$  możemy osiągnąć satysfakcjonującą płynność ruchu, analogicznie dość duża wartość  $Q$  może oznaczać bardzo powolną jazdę pojazdów bądź ich całkowite zatrzymanie. Natężenie ruchu drogowego w znacznym stopniu zależy od tego jak zaprojektowane jest samo skrzyżowanie (np. od tego ile posiada pasów do jazdy prosto, skrzyżowania w lewo i prawo), a także od tego w jaki sposób działają światła znajdujące się w pobliżu naszego epicentrum ruchu, gdyż nie można dopuszczać do sytuacji, w której korek uliczny będzie tworzył się tuż za skrzyżowaniem z powodu zainstalowania cyklicznego systemu świateł znajdujących się za naszym skrzyżowaniem. Sytuacja taka może doprowadzić do tego, że stojąc w korku na skrzyżowaniu i widząc zielone światło, będziemy zmuszeni do dalszego stania w tym samym miejscu, z powodu braku miejsca na pasie, na który chcemy wjechać.

Jednym z pożądanych rezultatów, jakich się spodziewamy po inteligentnych systemach zarządzających sygnalizacją jest płynne, bardziej ekonomiczne przemieszczanie się pojazdów w zatłoczonych miejscach. Nie chcemy również doprowadzać do sytuacji, gdy na ulicy, którą nikt nie jedzie, będzie paliło się zielone światło a samochody z dróg prostopadłych będą niepotrzebnie czekały. Dlatego w nasze życie coraz częściej, czy tego chcemy czy nie, będziemy wdrażać systemy oparte na sztucznej inteligencji, m.in. na algorytmach ewolucyjnych, które świetnie nadają się do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych.

## 2. Optymalizacja zarządzania sygnalizacją świetlną

W części badawczej zadanie optymalizacji zarządzania sygnalizacją świetlną zrealizowano z wykorzystaniem autorskiej metody wywodzącej się z metodyki algorytmów genetycznych i zbiorów rozmytych. Autorem owych metod fuzji klasyfikatorów rozmytych z algorytmem genetycznym jest Katarzyna i Mariusz Topolscy. Pomysł zastosowania algorytmów genetycznych w czystej postaci jest autorstwa studentów ujętych w niniejszym artykule.

Stosując algorytmy genetyczne każdą czynność można przedstawić w postaci zadania, z kolei jego rozwiązanie można rozumieć jako szukania możliwie „najlepszego” rozwiązania w danej przestrzeni. W zależności od wielkości przestrzeni używa się różnych metod rozwiązania danego problemu. W przypadku małych przestrzeni klasyczne metody oparte na teorii probalistyki zwykle wystarczają. Większe przestrzenie wymagają zastosowania specjalistycznych metod sztucznej inteligencji, wśród których wyróżnić można algorytmy genetyczne.

Twórcą algorytmów genetycznych był John Holland. Inspiracją do powstania takiej metody jest ewolucja i gene-

tyka, a dokładniej procesy w nich zachodzące. Osobniki danej populacji są prawdopodobieństwem rozwiązania występującego problemu. Osobniki te poddawane są procesowi reprodukcji. Zmieszanie materiału genetycznego pochodzące od obojga z rodziców powoduje powstanie nowego pokolenia- potomstwa. W środowisku naturalnym szansę na przetrwanie mają jedynie najsilniejsi, którzy są najbardziej przystosowani do otoczenia.

Algorytmy genetyczne znajdują zastosowanie w zadaniach optymalizacji takich jak:

- wytyczanie trasy,
- harmonogramowanie,
- zadania transportowe,
- problem komiwojażera.

Dla każdego zadania algorytm genetyczny składa się z elementów takich jak:

- stworzenie podstawowej bazy prawdopodobnych rozwiązań,
- wybór metody tworzenia początkowej populacji prawdopodobnych rozwiązań,
- zbudowanie odpowiedniej funkcji,
- obranie odpowiednich parametrów.

Prezentowane z artykułu badania mają na celu optymalizację przejazdu przez skrzyżowanie. Chcemy, aby przez skrzyżowanie przejeżdżało jak najwięcej samochodów w jak najkrótszym czasie pod warunkiem, że żaden nie będzie musiał czekać zbyt długo na swoją kolej. Celem takiego zabiegu jest redukcja szkodliwych spalin do atmosfery oraz pośrednio zwiększenie przepustowości na ulicach poprzez zlikwidowanie wąskich gardeł na skrzyżowaniach miejskich.

W badaniach zastosowano autorki model algorytmu genetycznego.

Korzystając z oznaczeń definiujemy formalnie poprawność chromosomu dla  $k$  - pojazdów

$$\forall_{i, j, k} (K_{G_{ijk}} \neq 1)$$

(1)

Oznaczenia:

- $i$  jest numerem grupy
- $j, k$  są indeksami elementów w danej grupie ( $k$  różne od  $j$ )

Niech na  $i$ -tym pasie będzie w danej chwili  $a_i$  samochodów (może być to też współczynnik natężenia ruchu na danym pasie, oczywiście odpowiednio przeskalowany). Wtedy funkcja oceny chromosomu  $C$  wygląda następująco:

$$E(C) = \frac{\int_{R_{k,o}} \left( \sum_{k=1}^n \min(\tilde{R}_{k,o}) - 0,1 * |\tilde{R}_{k,o}| \right) d\tilde{R}_{k,o}}{\sum_{k=1}^d t_{k,o} \cdot e^{\tilde{R}_{k,o}}}$$

(2)

i

$$\tilde{R}_{k,o} = \tilde{P}_{k,o} \cdot V \cdot t_{k,o} - \sum_{i \in G_{k,o}} a_{k,i,o}$$

(3)

Gdzie:

$V$  - współczynnik szybkości pojazdów,

$P_k$  - będzie rozmytą mocą zbioru  $G_k$  (liczbą elementów danej grupy podążającej w tym samym kierunku i zwrocie na skrzyżowaniu),

$t_k$  - jest czasem palenia się światła zielonego dla danej grupy  $k$  pojazdów,

$n$  - liczba grup,

$d$  - liczba wszystkich pojazdów na skrzyżowaniu,

$a_i$  - współczynnik występowania danej grupy pojazdów.

$$a_i = \begin{cases} 3,14 \cdot e^{-\frac{(\min(\tilde{R}_{k,o}) - \tilde{R}_{k,o})^2}{\tilde{R}_{k,o}^2}} & \text{dla } G_k > 0 \\ 0 & \text{dla } G_k = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Jeżeli przyjmiemy model analizujący ruch w obrębie kilku skrzyżowań z uwzględnieniem interakcji między wieloma  $W$  skrzyżowaniami będzie opisany za pomocą równania oceny poprawności chromosomu.

W wyniku wszelkich analiz wybierany jest taki cykl, który generuje największą ciągłość ruchu maksymalizując wartość funkcji oceny chromosomu zgodnie ze wzorem (2).

Ocena najlepszego chromosomu (2) jest realizowana przez zmodyfikowaną funkcję wiarygodności i funkcję wyostrażania środka ciężkości wywodzącą się z teorii logiki rozmytej. W ten sposób wyznaczamy najlepszy z cykli wielu skrzyżowań pozwalający przy danych parametrach uzyskać najlepszy płynny ruch pojazdów w ich obrębie.

Należy nadmienić, że w przypadku łączenia zależnych skrzyżowań mamy przykład systemu sekwencyjnego, który może być opisana z dużym powodzeniem modelem łączącym logikę rozmytą z teorią ewidencji matematycznej [1].

Równanie dane wzorem (2) możemy teraz rozmyć zbiorem rozmytymi [1], otrzymując rozmytą wartość oceny chromosomu:

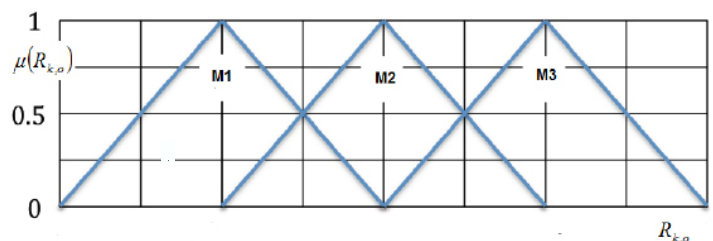
$$E_k(C) = \sup_{\tilde{R}_{k,o}} \left\{ \mu(\tilde{R}_{k,o}) \right\} \cdot \max_{1 < k < M} \mu(\tilde{R}_{k,o}) \quad (5)$$

### 3. Wyniki badań

W badaniach skupiono się na weryfikacji modelu opisanego wyżej wykorzystując do tego celu łańcuch składający się z jednego skrzyżowania i losowej ilości pojazdów samochodowych.

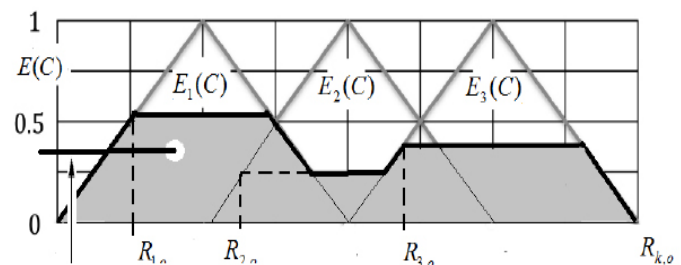
Wyniki jakie uzyskano z zastosowaniem modelu z algorytmem genetycznym z klasyfikatorem rozmytym porównano z modelem klasycznym i tradycyjnym. Model tradycyjny zakłada, że dane są stałe cykle świetlne. Natomiast model klasyczny zakłada, że sterowanie odbywa się z zastosowaniem czujników ruchu według algorytmu bazującego na zasadzie kolejki fifo. Badania wykonano z

zastosowaniem funkcji największej wiarygodności chromosomu dla każdego cyklu. Rozmytą wartość  $R_{k,o}$  uzyskano z rozmywając ową zmienną trzema trójkątnymi zbiorem rozmytymi rozłożonymi równomiernie. Podział taki przedstawiono na rysunku 1.



Ryc 1. Model rozmytej funkcji  $R_{k,o}$   
Ryc 1. Model of the blurred  $R_k$  function

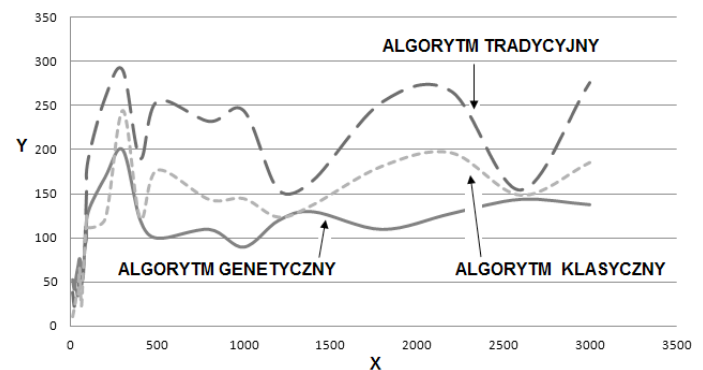
Etap wyostrażania funkcji oceny chromosomu danej równaniem 5 dla przykładowych  $k=3$  skrzyżowań można zobrazować na rysunku 2:



$$E(C) = \sup_{\tilde{R}_{k,o}} \left\{ \mu(\tilde{R}_{k,o}) \right\} \cdot \max_{1 < k < M} \mu(\tilde{R}_{k,o})$$

Ryc 2. Model wyostrażania oceny chromosomu  
Ryc 2. Model of sharpening the evaluation of the chromosome

W toku przeprowadzonych badań zbadano ruch między trzema skrzyżowaniami. Zbadano jak zmienia się płynność jazdy analizując czas pracy systemu i mierząc średni czas oczekiwania pojazdów samochodowych na przejazd przez skrzyżowanie. Uzyskane wyniki zobrazowano na rysunku 3.



Ryc 3. Wykres zależności średniego czasu oczekiwania kierowcy na opuszczenie skrzyżowania przez kierowcę w zależności od czasu działania systemu działającego na bazie algorytmu genetycznego i klasycznego. Y - średni czas przejazdu pojazdu przez skrzyżowanie w sekundach, X - czas działania systemu w minutach

Ryc 3. Graph of the relation of the average waiting time of the driver for leaving crossing the production system depending on the action time by the driver on the basis of the genetic algorithm and classical. Y - average transfer time of the vehicle through crossing in seconds, X - action time of the system in minutes

Uzyskane wyniki badań wykazały, że w przypadku sterowania ruchem pojazdów tradycyjnie z ustaloną ilością cykli uzyskano średni czas oczekiwania pojazdu samochodowego na skrzyżowaniu 152+/-91 sekund. Czas ten uzyskany za pomocą algorytmu klasycznego wynosi 125+/-37 sekund natomiast za pomocą algorytmu genetycznego uzyskano ten czas wynosił 122+/-10 sekund. Ponadto dla rozmytej oceny funkcji największej wiarygodności z zastosowaniem logiki rozmytej otrzymano porównywalne wyniki do tych zaprezentowanych na rysunku 1.

Algorytm genetyczny z klasyfikatorem rozmytym w pierwszej fazie sterowania uczył się najlepszych rozwiązań sterowania sygnalizacją i gorzej sterował sygnalizacją od tradycyjnej metody. Następnie na rysunku 3 widać, że inteligentne sterowanie okazuje się w dłuższej perspektywie czasu bardziej efektywne niż tradycyjna metoda. W toku bardziej szczegółowych badań i analiz zauważono, że algorytm genetyczny pozwala zwiększyć o około 33% płynność jazdy przez szereg skrzyżowań z porównaniu z tradycyjną metodą. Natomiast porównując wyniki uzyskane z zastosowaniem algorytmu genetycznego do metody klasycznej uzyskano poprawę o około 13%. Można zatem przyjąć, że metoda bazująca na inteligentnym sterowaniu sygnalizacją świetlną daje lepsze niż dostępne na rynku metody sterowania sygnalizacją świetlną. Nadmienić należy, że opracowane modele są rozwinięciem znanych z literatury przedmiotu algorytmów genetycznych. Zastosowanie owych metod w praktyce wiąże się z dodatkowymi symulacjami i optymalizacją rozwiązań zaproponowanych w artykule.

#### 4. Podsumowanie

W pracy udało się stworzyć operatory genetyczne z klasyfikatorem rozmytym pozwalające na optymalne sterowanie sygnalizacją świetlną w obrębie wybranego rozwiązania. Nie skupiano się na aparaturze pomiarowej prędkości i ilości pojazdów. Proponowana metoda może być z powodzeniem zastosowana do analizy przyczynowo skutkowej wąskich gardeł występującej w obrębie miasta. Analizując wyniki można nakreślić dalsze kierunki badań. Tutaj należy skupić się na innych metodach wspomagających sterowanie, tj. zbiory rozmyte czy sieci neuronowe, jak i również metody hybrydowe oraz heurystyki.

#### Literatura (References)

- [1] M. Topolski, *Komputerowe algorytmy rozpoznawania sekwencyjnego łączące teorię zbiorów rozmytych z teorią Dempstera-Shafera*. Rozprawa doktorska, PRE 01/2008, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2008.
- [2] *Transport miejski. Ekonomia i organizacja*, red. O. Wyszomirski, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2008,