

średnimi ocen równości występującymi na granicy sąsiednich odcinków jednorodnych przyjęto, mimo stwierdzonego braku homoskedastyczności, stosowane do wielokrotnych porównań trzy testy: najmniejszych istotnych różnic (NIR), rozsądnej istotnej różnicy (RIR) i Scheffego. W tabeli 1 zestawiono otrzymane liczby wykrytych niejednorodności typu uskok na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Za pomocą testu NIR potwierdzono występowanie największej liczby istotnych uskoków, około 90%, a najmniej testem Scheffego, około 3%.

Z tego wynika, że zastosowana do wydzielenia odcinków jednorodnych metoda eliminacji autokorelacji reszt przez dzielenie zbiorów obserwacji charakteryzuje się względnie dużą skutecznością rozpoznawania niejednorodności typu skokowego w zbiorze danych drogowych.

W drugiej części artykułu, na przykładzie wybranych zbiorów danych drogowych, pochodzących z czteroletnich, systemowych pomiarów równości podłużnej nawierzchni jezdni autostrady A2, w okresie eksploatacji poprzedzającym jej remont generalny, pokazano i porównano wielkości zmian stanu technicznego opisanego za pomocą zbioru obserwacji, zwyczajowo podzielonego na odcinki jednokilometrowe oraz na charakteryzujące się brakiem autokorelacji odcinki jednorodne. Jak wykazano, w wyniku zastosowania metody statystycznej otrzymano bardziej precyzyjne oszacowanie aktualnego stanu technicznego nawierzchni jezdni i jego prognozy.

Tabela 1. Wyniki badań istotności różnic w podzielonych zbiorach danych drogowych

Zbiór	Łączna liczba występujących uskoków na A2L i A2P	Test	Liczba istotnych uskoków
y	338	NIR	291 / 86,1%
		RIR	89 / 26,3%
		Scheffego	13 / 3,8%
ln(y)	334	NIR	308 / 92,2%
		RIR	91 / 27,2%
		Scheffego	7 / 2,1%

Bibliografia

- [1] J. Greń, *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*, PWN, Warszawa 1984
- [2] S. Szpinek, *Zastosowanie wybranych metod badań szeregów czasowych do analizy zbiorów danych drogowych z wydzielonymi odcinkami jednorodnymi na przykładzie zbiorów ocen równości nawierzchni autostrady A2 Września – Konin z okresu trzyletniej eksploatacji w latach 1997 – 2000*, Praca Dyplomowa pod kierunkiem: prof. UEK dra hab. Andrzeja Sokołowskiego, Studia podyplomowe *Praktyczne prognozowanie i analiza szeregów czasowych*, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków 2009



MARZENA
NOWAKOWSKA

Politechnika Świętokrzyska
spimn@tu.kielce.pl

Analiza typologiczna wypadków drogowych z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej Kohonena

Realizowane od wielu lat badania związane z zagrożeniami na drodze i analizami bezpieczeństwa ruchu drogowego (brd) zaowocowały roz-

wojem metod badawczych oraz opracowaniem wielu modeli, zarówno w zakresie teoretycznym, jak i eksploracyjnym, które pomagają poszerzyć i wzbogacić wiedzę o przyczynach zdarzeń drogowych. Ze względu na sposób podejścia, badania brd można sklasyfikować w dwóch grupach.

W jednej grupie mieszczą się analizy związane z budowaniem modeli, które na bazie danych zagregowanych opisują zależności pomiędzy różnymi miarami bezpieczeństwa a czynnikami charakteryzującymi ruch, drogę i jej otoczenie. Estymowana miara – zmienna celu – ma tu charakter ilościowy (np. liczba zdarzeń na określonym odcinku drogi, liczba ofiar) i jest objaśniana za pomocą modeli ilościowych: w większości wielokrotnych modeli regresyjnych liniowych lub nieliniowych oraz modeli neuronowych i drzewiastych. W każdym przypadku zagregowany charakter estymowanej

miary wskazuje na konieczność doboru zmiennych objaśniających, które również są wynikiem agregacji (np. średnia prędkość pojazdów na odcinku drogi). Wiele modeli tego typu zostało już w Polsce opracowanych (por. np. [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 31]).

Druga grupa to modele szczegółowe. Są one modelami warunkowymi, w których zmienna celu jest objaśniana pod warunkiem zarejestrowania zdarzenia drogowego. Badaną jednostką jest wypadek (lub zdarzenie). Jakościowa zmienna celu opisuje zagrożenie na drodze. Najczęściej jest to status zdarzenia definiowany przez stopień najcięższej uszkodzonej ofiary, dużo rzadziej – rodzaj zdarzenia czy zachowanie sprawcy. Do klasyfikowania takich cech jakościowych stosuje się narzędzia analiz danych jakościowych, w których bierze się pod uwagę różne czynniki, na różnym poziomie szczegółowości. W modelach szczegółowych zmienne wejściowe powinny mieć charakter szczegółowy i dotyczyć badanej jednostki, ponieważ obecność wśród nich zmiennych będących wynikiem agregacji wartości ich

dziedzin może generować mylące wyniki, np. kilka łuków poziomych o dużym promieniu i jeden łuk z bardzo małym promieniem oraz kilka łuków łagodnych dostarczają tego samego agregatu – średni promień łuku poziomego, ale oddzielnie mogą mieć zupełnie inny wpływ na zmienną celu. Wyniki uzyskane z modeli zagregowanych nie zawsze przenoszą się na wyniki z modeli szczegółowych, ponieważ np. czynniki, które wpływają na wzrost wskaźników wypadkowych nie zawsze tak samo wpływają na wzrost ryzyka ciężkości wypadku. Aktualnie brakuje modeli szczegółowych dotyczących warunków polskich.

Opisane badania, w których fundamentalną jednostką analizy jest zdarzenie drogowe, są prowadzone przez autorkę od wielu lat [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28], a opisane w niniejszym artykule są kontynuacją rozwoju metod badawczych i dotyczą zastosowania sieci neuronowych w analizach typologicznych wypadków drogowych.

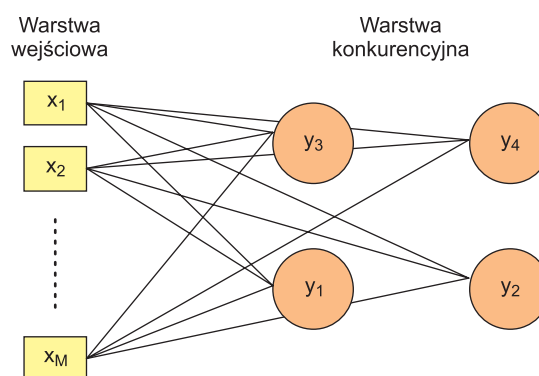
Sztuczna sieć neuronowa (ssn) jest programem komputerowym, którego działanie jest oparte o model matematyczny biologicznych sieci nerwowych istot żywych. Powstała na bazie wiedzy o działaniu systemów nerwowych (w szczególności człowieka) i stanowi próbę wykorzystania zachodzących w nich zjawisk przy poszukiwaniu nowych rozwiązań technologicznych silnie skorelowanych z techniką komputerową. Funkcje pełnione przez ssn można ująć w kilka podstawowych grup: aproksymacja i interpolacja, rozpoznawanie i klasyfikacja wzorców, predykcja, identyfikacja i sterowanie oraz asocjacja. Sieć neuronowa pełni w każdym z tych zastosowań rolę uniwersalnego aproksymatora funkcji wielu zmiennych, przy czym bardzo często jest to funkcja nieliniowa.

Jednym z istotnych czynników decydujących o sposobie pracy ssn jest wybór strategii uczenia [17, 30]. Wyróżnia się dwa podejścia: uczenie z nauczycielem, zwane również uczeniem z nadzorem (ang. *supervised learning*) i uczenie bez nauczyciela, zwane uczeniem bez nadzoru (ang. *unsupervised learning*).

W trybie uczenia z nauczycielem przyjmuje się, że oprócz sygnałów wejściowych tworzących wektor X znane są również pożądane sygnały wyjściowe, a dobór wag musi być poprowadzony w taki sposób, aby aktualny sygnał wyjściowy był najbliższy zadanej wartości. Istotnym elementem jest tu znajomość wyniku (zmienną zależną Y), zwanego również nauczycielem.

W trybie uczenia nienadzorowanego nie ma nauczyciela – nie jest znana wartość sygnału wyjściowego, oczekiwanego jako pożądana reakcja sieci. Dane uczące dla sieci obejmują tylko zmienne wejściowe. Sieć musi odkrywać sama dla siebie wzorce, właściwości, regularności i kategorie w danych oraz kojarzyć podobne klasy danych, bez względu na to ile ich jest i jakie są kryteria podobieństwa między nimi. Do takich ssn należy sieć Kohonena [15, 16], która realizuje zadanie grupowania pojęciowego (klasyfikującego się do metod analizy współzależności). W wersji samoorganizującej się mapy SOM (ang. *Self-Organizing Maps*) dokonuje kompresji informacji w wielowymiarowym zbiorze danych. Może więc być stosowana do wykrywania i definiowania wzorców. Sieć posiada tylko dwie warstwy: wejściową i wyjściową – por. rysunek 1. Ta ostatnia znana jest jako warstwa tworząca dwuwymiarową (najczęściej) mapę topologiczną, zwaną również mapą cech [17]. Sieć Kohonena wy-

korzystuje sposób uczenia się w trybie konkurencyjnym, przy wykorzystaniu algorytmu iteracyjnego. Rozpoczynając od początkowych, wybranych losowo centrów, algorytm stopniowo modyfikuje je w ten sposób, aby odzwierciedlić skupienia występujące w danych uczących. Celem jest wyodrębnienie rozłącznych podzbiorów danych, które byłyby wewnątrz maksymalnie homogeniczne i jednocześnie maksymalnie zróżnicowane między sobą. W ten sposób dokonuje się podziału heterogenicznego zbioru danych (opisanych przez cechy ilościowe i jakościowe) na grupy, które reprezentowałyby w tym zbiorze wzorce typologiczne. Wzorcom tym, będącym elementami mapy topologicznej, można przypisać określone etykiety.



Rys. 1. Schemat przykładowej prostej mapy Kohonena z czterema skupieniami w warstwie wyjściowej (konkurencyjnej).

Sieć SOM Kohonena w wersji uczenia sekwencyjnego i jej implementacja w systemie SAS® została wybrana do identyfikowania wzorców wypadków drogowych w oparciu o wybrane cechy opisujące zdarzenie drogowe i miejsce jego lokalizacji. Analizy i interpretacji mapy dokonuje się na podstawie profili dostarczonych do każdego skupienia w postaci częstości wystąpień wartości cech jakościowych oraz średnich wartości cech ilościowych charakteryzujących dane do analizy, realizując w ten sposób zadanie profilowania wzorców.

Mapy Kohonena (podobnie jak inne narzędzia grupowania) są wrażliwe na dane nieznormalizowane, co przejawia się tym, że wpływ jednych wejść może być niwelowany przez wpływ innych. Aby tego uniknąć i uzyskać wielkości niemiarowane i porównywalne, atrybuty uczestniczące w zadaniu identyfikacji wzorców wypadkowych poddano normalizacji *min-max*, czyli przekształceniu względem rozstępu [4, 18]. Dzięki temu zarówno cechy ilościowe, jak i zakodowane cechy jakościowe mają zakres zmienności zdefiniowany w przedziale $<0; 1>$.

Dobór cech uwzględnianych w wyodrębnianiu wzorców wypadkowych

Dane do analizy dotyczące wypadków bez pieszych z udziałem jednego pojazdu silnikowego, zarejestrowano na jednojezdniowych dwukierunkowych zamiejscich drogach

krajowych woj. świętokrzyskiego w okresie 2004÷2007. Dotychczasowe badania autorki wykazały, że zasadne jest wyodrębnianie wzorców niezależnie w stosunku do danych o wypadkach z udziałem jednego pojazdu i między pojazdami. Niniejsza analiza jest kontynuacją wcześniejszej, w której profilowano wypadki z udziałem co najmniej dwóch pojazdów [29].

Zbiór do analizy liczy 211 rekordów i jest opisany przez cechy charakteryzujące miejsce zdarzenia drogowego oraz cechy wypadku definiujące zagrożenie: zachowanie sprawcy, rodzaj zdarzenia i status wypadku. Atrybuty uwzględniane w identyfikacji wzorców są następujące:

- **CHD**; informacja o obecności chodnika w miejscu zdarzenia: *BCh* – brak chodnika, *JCh* – chodnik obecny po jednej lub po obu stronach drogi,
- **OBSZ**; rodzaj obszaru: *Nzb* – niezabudowany, *Zb* – zabudowany,
- **OSW**; jakość oświetlenia drogi: *Nc* – brak oświetlenia w nocy, *NpSw* – niepełne światło (zmrok, świt, sztuczne oświetlenie w nocy), *SwDz* – światło dzienne,
- **STNW**; stan nawierzchni: *LdSg* – oblodzona lub ośnieżona, *Mkr* – mokra, *Sch* – sucha,
- **PBK**; rodzaj poboczy: *B* – brak poboczy, *B1* – pobocze po jednej stronie jezdni, *M* – pobocza umocnione, *R* – różne rodzaje poboczy po obu stronach jezdni, *T* – pobocza utwardzone, *Z* – pobocza ziemne,
- **PRZ**; obecność przystanku autobusowego: *T* – jest, *N* – nie ma,
- **DRGPLN**; przebieg drogi w planie w miejscu lokalizacji zdarzenia w postaci informacji o wielkości promienia łuku poziomego, brak łuku jest opisany wielkością promienia równą 10000 m,
- **JZS**; szerokość jezdni wyrażona w [m],
- **LZOM**; liczba zjazdów w otoczeniu miejsca zdarzenia po obu stronach drogi,
- **PBSS**; sumaryczna szerokość poboczy wyrażona w [m],
- **PCHBZ**; pochylenie bezwzględne wyrażone w [%],
- **PRPN**; promień łuku pionowego, brak łuku jest oznaczony przez wielkość promienia równą 10000 m (w kilku przypadkach jest zarejestrowany w bazach danych promień łuku poziomego o większym promieniu, ale ponieważ krzywizna takiego łuku jest bardzo mała, więc jest on traktowany jako prosty odcinek drogi),
- **ZCHKR**; zachowanie kierującego sprawcy będące przyczyną zdarzenia zdefiniowane przez wartości: *NdsPr* – niedostosowanie prędkości do warunków ruchu, *NspKr* – niesprawny kierujący; agregat dwóch kategorii: ograniczenie sprawności psychomotorycznej oraz zmęczenie lub zaśnięcie kierującego, *RznZch* – różne zachowania; agregat zawierający kategorie: jazda niewłaściwą stroną drogi, nieprawidłowe omijanie, skręcanie, wyprzedzanie, zatrzymanie lub postój pojazdu, oraz inne zachowania,
- **RDZD**; rodzaj zdarzenia zdefiniowany przez wartości: *NjObSt* – najechanie na obiekt stały przy jezdni (drodze); agregat kategorii: najechanie na drzewo, słup, znak, barierę ochronną, *WwPjz* – wywrócenie pojazdu, *Inn* – inne rodzaje zdarzenia (wartość oryginalna z policyjnej Karty Zdarzenia Drogowego),
- **STSZD**; status wypadku opisujący ciężkość zdarzenia drogowego zgodnie ze stopniem najbardziej poszkodowanej

ofiary: *WL* – wypadek lekki, gdy ofiary zdarzenia zostały zaklasyfikowane jako co najwyżej lekko ranne, tzn. skutki poszkodowania stwierdzone przez lekarza trwały nie dłużej niż 7 dni, *WC* – wypadek ciężki, gdy brak jest ofiar śmiertelnych, a jest co najmniej jedna ofiara ciężko ranna, tzn. taka, która doznała kalectwa, nieuleczalnej lub długotrwałej choroby, urazów, np. złamań, poważnych ran ciętych i szarpawych, itp., *WS* – wypadek śmiertelny, gdy co najmniej jedna ofiara została zabita na miejscu zdarzenia lub zmarła w ciągu 30 dni od daty zajścia zdarzenia na skutek doznanych obrażeń.

Informacja o parametrach projektowych drogi: odcinek o długości 100 m przed i za miejscem lokalizacji wypadku.

Ogólna charakterystyka podziału

Nie ma zaleceń odnośnie liczby skupień docelowych – zazwyczaj jest to decyzja badacza. Jednak dokonując podziału zbioru należy uwzględnić następujące zagadnienia:

- liczba skupień nie może być zbyt mała; w przeciwnym przypadku dopuszcza się dużą wariację w grupach i charakterystyka wzorca zdefiniowanego przez określone skupienie może nie być wystarczająca (zbyt ogólna),
- liczba skupień nie może być zbyt duża; w przeciwnym przypadku podobne obserwacje mogą być zakwalifikowane do różnych grup i wyniki mogą być trudne do interpretacji.

Realizując postawione zadanie badawcze wykonano serię eksperymentów z różną liczbą skupień w zbiorze danych, poszukując najlepszego podziału. Uwzględniając liczebność zbioru (211 obserwacji) analizowano mapy o niewielkich rozmiarach (1×3 i 2×2 elementy), jednak ich stopień uogólnienia okazał się zbyt duży, a otrzymane wzorce nie odbiegały zbyt wiele od przeciętnej w całym zbiorze danych, bez wyraźnie wyodrębnionych charakterystyk poszczególnych grup. Ostatecznie ustalono mapę Kohonena o pięciu elementach (rozmiar 1×5). Sieci nadano identyfikator *SK_1Pj* (skupienia dla danych o wypadkach z udziałem jednego pojazdu), który następnie jest wykorzystany w oznaczaniu jej elementów (skupień).

Wynik oszacowano za pomocą *MSZ* – miary separacji zewnętrznej (odległość od środka najbliższego skupienia) oraz *MSW* – miary spójności wewnętrznej (odchylenie wewnętrzskupieniowe). Znaczenie każdej cechy w procesie podziału oceniono za pomocą wskaźnika *Importance*, wywodzącego się z techniki drzew decyzyjnych [9, 11, 19]. Wskaźnik *Importance* jest równy jeden dla atrybutu odgrywającego najważniejszą rolę w definiowaniu profili skupień, a dla atrybutu najmniej ważnego jest równy zero.

W tabeli 1 dla każdego skupienia mapy zestawiono jego liczebność, promień oraz miary *MSZ* i *MSW*. Grupy są identyfikowane symbolami od *SK_1Pj-1* do *SK_1Pj-5* (identyfikator mapy i numer wyodrębnionego w niej skupienia). Zaprezentowano również wyniki podziału: wartości średnie cech uwzględnionych w analizie w stosunku do poszczególnych skupień. Te same miary podano dla całego zbioru, co umożliwia odniesienie otrzymanych wzorców do profilu tego zbioru. Jeżeli dla cechy jakościowej odsetek określonej wartości w skupieniu jest większy niż jej odsetek w całym zbiorze to

mówi się o nadwyżce tej wartości, w przeciwnym przypadku – o niedoborze.

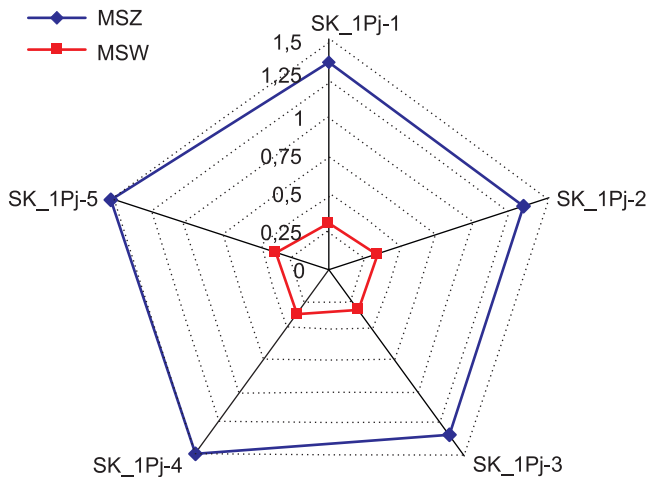
Rysunek 2 ilustruje miary charakteryzujące grupy w mapie Kohonena, a na rysunku 3 zaprezentowano miary *Importance* ww. cech. Separacja grup w otrzymanym podziale mapy jest dość dobra – największa wartość *MSW* nie przekracza 0,36 a najmniejsza wartość *MSZ* nie jest niższa niż 1,33. Wartości miary *Importance* wskazują, że najważniejszymi cechami w tworzeniu profili dla mapy *SK_1Pj* są: status zdarzenia *STSZD* (*Importance* = 1), obszar *OBSZ* (*Importance* = 0,964), zachowanie kierującego sprawcy *ZCHKR* (*Importance* = 0,817), rodzaj poboczy *PBK* (*Importance* = 0,737), stan nawierzchni *STNW* (*Importance* = 0,693), oświetlenie *OSW* (*Importance* = 0,33) oraz liczba zjazdów w otoczeniu miejsca zdarzenia *LZOM* (*Importance* = 0,274).

Cechą mającą bardzo dużą siłę dyskryminacyjną jest rodzaj obszaru *OBSZ*, dlatego w tabeli 1 wzorce dotyczące obszarów niezabudowanych odróżniono za pomocą kolorów zimnych a wzorce dla obszarów zabudowanych – za pomocą kolorów ciepłych. Im intensywniejszy kolor kolum-

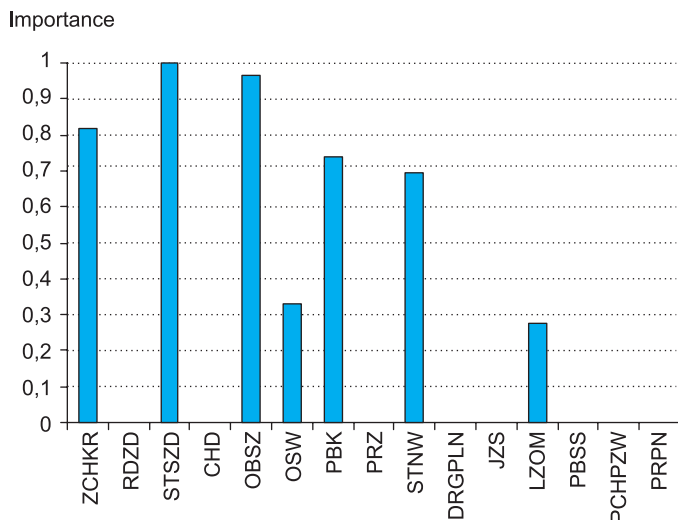
ny opisującej skupienie tym większy w nim udział zdarzeń o poważniejszym statusie wypadku (z ciężkimi lub śmiertelnymi ofiarami wśród ludzi).

Tabela 1. Statystyki sekwencyjnej mapy Kohonena wypadków drogowych z udziałem jednego pojazdu

Wyszczególnienie	Cały zbiór danych	SK_1 Pj-1	SK_1 Pj-2	SK_1 Pj-3	SK_1 Pj-4	SK_1 Pj-5
Liczba obserwacji	211	58	35	48	36	34
Promień skupienia		2.62	2.40	2.27	2.99	2.55
MSZ		1,35	1,33	1,33	1,48	1,48
MSW		0,30	0,33	0,33	0,36	0,36
Atrybut	Wartości średnie atrybutu					
CHD-BCh	0,86	0,98	1	1	0,67	0,53
CHD-JCh	0,14	0,02	0	0	0,33	0,47
OBSZ-Nzb	0,64	1	1	0,83	0,03	0,06
OBSZ-Zb	0,36	0	0	0,17	0,97	0,94
OSW-Nc	0,24	0,24	0,23	0,44	0,19	0,03
OSW-NpSw	0,19	0,09	0,11	0,13	0,47	0,26
OSW-SwDz	0,56	0,67	0,66	0,44	0,33	0,71
PBK-B	0,08	0,19	0,06	0,02	0,06	0
PBK-B1	0,04	0,02	0,06	0,00	0,11	0,06
PBK-M	0,14	0,05	0,03	0,08	0,22	0,41
PBK-R	0,09	0,07	0,23	0,08	0,08	0,03
PBK-T	0,21	0,34	0,11	0,25	0,14	0,12
PBK-Z	0,43	0,33	0,51	0,56	0,39	0,38
PRZ-N	0,82	0,91	0,91	0,88	0,81	0,50
PRZ-T	0,18	0,09	0,09	0,13	0,19	0,50
STNW-LdSn	0,08	0,14	0	0,13	0,08	0
STNW-Mkr	0,29	0,33	0,09	0,29	0,67	0,03
STNW-Sch	0,63	0,53	0,91	0,58	0,25	0,97
DRGPLN	7250	5706,84	9171,43	5979,44	5902,72	7555,88
JZS	7,22	7,04	7,29	6,95	7,00	6,98
LZOM	3,45	1,34	2,66	2,73	5,31	8,26
PBSS	3,00	2,84	3,03	3,35	3,02	3,47
PCHBZW	1,14	1,45	1,07	1,44	1,59	1,24
PRPN	9717	9581,03	9720,00	9245,83	10131	9591,18
ZCHKR-NdsPr	0,71	0,90	0,26	0,96	0,86	0,32
ZCHKR-NspKr	0,16	0,05	0,29	0,02	0,08	0,50
ZCHKR-RznZch	0,06	0,05	0,46	0,02	0,06	0,18
RDZD-NjObSt	0,42	0,29	0,49	0,48	0,36	0,53
RDZD-WwPjz	0,41	0,64	0,09	0,40	0,44	0,32
RDZD-WpPsr	0,07	0,02	0,09	0,10	0,11	0,03
RDZD-Inn	0,11	0,05	0,34	0,02	0,08	0,12
STSZD-WL	0,57	1	0,51	0	0,78	0,47
STSZD-WC	0,31	0	0,31	0,71	0,14	0,44
STSZD-WS	0,12	0	0,17	0,29	0,08	0,09



Rys. 2. Miary separacji zewnętrznej *MSZ* oraz spójności wewnętrznej *MSW* wzorców wypadkowych w mapie Kohonena *SK_1Pj*.



Rys. 3. Wartości wskaźnika *Importance* cech definiujących wzorce wypadkowe w mapie Kohonena *SK_1Pj*.

Profilowanie wzorców wypadkowych

Wyniki podziału wskazują na odmienne profile wzorców wypadkowych, szczególnie pod kątem cech zagrożenia. Otrzymane wzorce zostały zaetykietowane. Opis każdej grupy, z uwzględnieniem zachowania sprawcy, rodzaju i statusu zdarzenia oraz atrybutów drogi i otoczenia miejsca wypadku przedstawiono poniżej.

Grupa SK_1Pj-1; wypadki lekkie o zróżnicowanych cechach środowiska ruchu: $n = 58$

W tej grupie, najliczniejszej w całej mapie SK_1Pj, nie ma wypadków kończących się śmiercią lub kalectwem. Występujące w dużej nadwyżce niedostosowanie prędkości do warunków ruchu jest tu zasadniczą przyczyną zdarzenia (90% obserwacji), którego następstwem jest wywrócenie się pojazdu. Stopniowe wyzwalanie się energii kinetycznej w wypadku takiego rodzaju (brak zderzenia) może przyczyniać się do tego, że ofiary odnoszą lżejsze obrażenia ciała.

Istotną rolę w łagodzeniu skutków może odgrywać w tym skupieniu otoczenie miejsca zdarzenia. Wszystkie obserwacje tej grupy dotyczą obszarów niezabudowanych, z nielicznymi zjazdami (*Średnia (LZOM) = 1,3*). Najmniejsza wśród wszystkich skupień średnia promienia łuku poziomego może wskazywać na większą obecność zakrętów w tej grupie. Mała wartość przeciętnej sumarycznej szerokości poboczny PBSS (2,84 m) wynika ze stosunkowo dużego udziału braku poboczny (19%, nadwyżka) lub poboczny ziemnych (33%, niedobór), co może powodować wrażenie ograniczenia przestrzeni, wpływać na ostrożniejsze prowadzenie pojazdu i łagodniejsze skutki wypadku. Z drugiej strony, odsetek poboczny utwardzonych występuje w dużej nadwyżce i jest największy w całej mapie SK_1Pj (34%). Taki parametr drogi zazwyczaj zachęca do nadmiernych prędkości, ale jednocześnie może pełnić rolę wybaczącą, dostarczając większej przestrzeni jezdnej na wykonanie manewru uniknięcia przyczyniającego się do uratowania życia w sytuacjach krytycznych.

Stan nawierzchni jezdni w skupieniu SK_1Pj-1 ma prawie tak samo liczne przeciwstawne wartości: 53% dla nawierzchni suchej, stąd zbyt duża prędkość wynikająca z pewności prowadzenia pojazdu, oraz 47% dla nawierzchni mokrej, oblodzonej lub ośnieżonej, stąd niedostosowanie prędkości wynikające z niewłaściwej oceny warunków drogowych.

Światło dzienne występuje w nadwyżce (67%), a niepełne oświetlenie w niedoborze (9%).

Grupa SK_1Pj-2; wypadki o zróżnicowanym statusie w dobrych warunkach środowiska ruchu : $n = 35$

Odsetek lekkich obrażeń ciała oraz łącznie obrażeń ciężkich lub śmiertelnych jest w skupieniu SK_1Pj-2, mniej więcej taki sam. Rozkład statusu wypadku jest najbardziej zbliżony do tego w całym zbiorze. Niedostosowanie prędkości występuje w bardzo dużym niedoborze: 26% wobec 71% w całym zbiorze danych. Jest to jedyne skupienie, w którym przyczyny wypadku ze strony kierującego określone przez agregaty *NspKr* oraz *RznZch* są obecne w dużej i bardzo dużej nadwyżce (odpowiednio 25% i 46%). Tutaj również jest mocno zaznaczony rodzaj zdarzenia o wartości *Inny* (np. wpadnięcie do rzeki, rowu, uderzenie w skarpe): aż 34% klasyfikacji nie dotyczy żadnej z dwunastu kategorii sprecyzowanych w formularzu policyjnym.

Grupa obejmuje wypadki przy dość dobrych warunkach środowiska ruchu: na prostych odcinkach dróg obszarów niezabudowanych (brak konfliktów z lokalnym ruchem kołowym i pieszym), z przeciętnie największą spośród wszystkich grup szerokością jezdni (7,29 m), przeciętnie najmniejszą wartością pochylenia bezwzględnego (1,07%), przy suchej nawierzchni jezdni i najmniejszym wśród skupień z obszarów niezabudowanych udziałem wypadków w nocy.

Średnie szerokości jezdni i poboczny, pochylenia bezwzględnego oraz promienia łuku pionowego są prawie takie same jak w całym zbiorze. Pobocza umocnione i utwardzone występują w grupie SK_1Pj-2 w dużych niedoborach (odpowiednio 3% i 11%), a pobocza ziemne – w nadwyżce (51%).

Zgodnie z profilem tego wzorca, skutki wypadku mogą być w równym stopniu lekkie, jak i poważniejsze (ciężkie lub śmiertelne poszkodowanie ofiary).

Grupa SK_1Pj-3; wypadki tragiczne: $n = 48$

Skupienie reprezentuje najbardziej tragiczne w skutkach wypadki drogowe, kończące się kalectwem lub śmiercią (71% i 29%, bardzo duże nadwyżki obu statusów wypadku), spowodowane niedostosowaniem prędkości do warunków ruchu (96%), których skutkiem częściej jest najechanie na obiekt stały (48%) niż wywrócenie się pojazdu (40%).

Wzorzec definiuje profil dla obszarów niezabudowanych. Ma najmniejszą przeciętną szerokość jezdni wśród wszystkich grup a jego średnia szerokość poboczny jest największa w grupach obszaru niezabudowanego. Pobocza ziemne występują tu w 56% przypadków, stanowiąc największą nadwyżkę w całym podziale zbioru. Niewielką nadwyżką charakteryzują się pobocza utwardzone, chociaż jest ich prawie o połowę mniej. Średnia wartość promienia łuku pionowego jest najmniejsza w całym podziale, a spadki i wzniesienia są przeciętnie większe niż w całym zbiorze danych, charakteryzując to skupienie jako najbardziej zróżnicowane w przebiegu niwelety.

W grupie SK_1Pj-3 jakość oświetlenia drogi ma rozkład dwumodalny o wartościach przeciwnych: odsetek wypadków przy świetle dziennym jest równy 44% i taki sam jest dla zdarzeń nocnych (duża nadwyżka i jednocześnie największa wartość wśród wszystkich skupień). Sucha nawierzchnia jezdni występuje częściej (58%) niż w innym stanie. Niewielką nadwyżką charakteryzuje się nawierzchnia oblodzona lub ośnieżona.

W opisanych okolicznościach kierujący mogą mieć nieuświadomione poczucie bezpieczeństwa, wynikające z następujących elementów (każdego osobno lub występujących łącznie): brak zabudowy, mniejsze natężenia ruchu (noc), zwiększenie zakresu pola widzenia spowodowanego szerokością drogi (głównie w ciągu dnia) – jezdni w połączeniu z poboczami przeciętnie szerszymi niż w innych skupieniach obszaru niezabudowanego. Stąd wynikające zmniejszenie ostrożności i obniżenie czujności oraz pozorne odczucie mniejszej niż w rzeczywistości prędkości.

Grupa SK_1Pj-5; ciężkie i lekkie wypadki na obszarze o intensywnej zabudowie: $n = 34$

Wypadki drogowe w czwartej grupie są w zasadzie wypadkami bez ofiar śmiertelnych, głównie lekkimi (78%, duża nadwyżka) z niewielkim udziałem ciężkich obrażeń ciała (14%,

niedobór). Spowodowane niedostosowaniem prędkości do warunków ruchu (nadwyżka), nieco częściej skutkują wywróceniem się pojazdu niż najechaniem na obiekt stały.

Skupienie dotyczy obszarów zabudowanych, z niezbyt gęstą zabudową: zjazd wypadu średnio co 38 m, w blisko 70% zdarzeń nie ma chodnika w otoczeniu miejsca zdarzenia, a przystanek jest nieobecny w ponad 80% przypadków. Rozkład wartości rodzaju poboczy najbardziej przypomina rozkład tej cechy w całym zbiorze danych. Grupa ma największą spośród wszystkich skupień średnią wartość pochylenia bezwzględnego (1,59%), ale również największy średni promień łuku pionowego (10131 m). Przeciętna szerokość poboczy nie odbiega od przeciętnej w zbiorze.

Skupienie *SK_1Pj-4* w dwóch trzecich przypadków charakteryzuje się brakiem światła dziennego (duża nadwyżka dla niepełnego oświetlenia) i w trzech czwartych brakiem dobrej przyczepności z powodu mokrej, oblodzonej lub ośnieżonej nawierzchni jezdni w chwili zajścia zdarzenia.

Będąc główną przyczyną wypadku niedostosowanie prędkości do warunków ruchu odnosi się do limitu dla obszarów zabudowanych, więc prędkość pojazdu sprawcy jest mniejsza niż mogłaby być w analogicznych okolicznościach dla obszarów niezabudowanych, dlatego w skupieniu prawie nie ma ofiar śmiertelnych i mało jest ofiar ciężko rannych.

Grupa *SK_1Pj-5*; ciężkie i lekkie wypadki obszaru o intensywnej zabudowie: $n = 34$

Grupa opisuje wypadki lekkie (47%, niedobór) i ciężkie (44%, nadwyżka) w mniej więcej podobnych proporcjach. Występującym najczęściej i w dość dużej nadwyżce rodzajem zdarzenia jest najechanie na obiekt stały (53%), dużo rzadziej i w niedoborze występuje wywrócenie się pojazdu (32%). W przeciwieństwie do pozostałych skupień, grupa ta dotyczy wypadków spowodowanych głównie złą kondycją psychofizyczną kierującego sprawcy (50%, bardzo duża nadwyżka), znacznie rzadziej niedostosowaniem prędkości do sytuacji w ruchu (32%, duży niedobór).

Skupienie *SK_1Pj-5* definiuje wzorzec dla obszarów z intensywną zabudową i zagospodarowanym otoczeniem w miejscu zdarzenia drogowego: średnia liczba zjazdów jest równa 8,3 a w 50% przypadków jest obecny przystanek i z podobną częstością chodnik po jednej lub obu stronach drogi. Pobocza są obecne zawsze. Taki sam ich rodzaj po obu stronach jezdni występuje w ponad 90% przypadków, mocniejsze pobocza (utwardzone lub umocnione) stanowią ponad 50% wszystkich obserwacji. Przeciętna szerokość poboczy jest największa w całym podziale.

Prawie wszystkie zdarzenia zarejestrowano dla suchej nawierzchni. Brak oświetlenia w nocy dotyczy tylko 3% wypadków. Nawet, jeżeli zdarzenie miało miejsce w porze nocnej, to droga w miejscu wypadku była oświetlona (kategoria *NpSw* występuje w 26% obserwacji).

Cięższe niż w skupieniu *SK_1Pj-4* skutki wypadku mogą z jednej strony wynikać ze zmniejszonej ostrożności kierujących w dobrych lub bardzo dobrych warunkach środowiska ruchu, ale z drugiej strony z potencjalnie częstszych sytuacji kolizyjnych związanych z intensywniejszym natężeniem lokalnego ruchu pieszego i kołowego. Intensywniejsza zabudowa może również bardziej sprzyjać niebezpieczniejszemu rodzajowi zdarzenia, jakim jest najechanie na obiekt stały.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano analizę wykrywania wzorców w zbiorze danych o wypadkach drogowych z wykorzystaniem samoorganizującej się mapy Kohonena (ssn bez nauczyciela). Analiza jest częścią szerszych badań, które obejmują profilowanie wypadków drogowych bez pieszych z udziałem pojazdów silnikowych na jednojezdniowych zamieszanych drogach krajowych woj. świętokrzyskiego. Badania te wykazały zasadność niezależnych analiz wypadków z udziałem jednego pojazdu i między pojazdami (co najmniej dwoma).

Zaprezentowane wyniki dotyczą wypadków z udziałem jednego pojazdu. Charakterystyki wzorców dla tej grupy danych są różne od wzorców dla danych o wypadkach między pojazdami. Jednak w każdym przypadku, zdefiniowane profile są w dużej mierze determinowane przez możliwe konflikty i związaną z tym swobodę poruszania się oraz interakcje z cechami środowiska ruchu.

Analiza typologiczna wypadków z udziałem jednego pojazdu wskazuje na istnienie wyraźnie wyodrębnionych wzorców wypadkowych dla obszarów zabudowanych i niezabudowanych. Można opisać profile zagrożeń klasyfikowane od najłżejszego do najcięższego w zależności od stopnia uszkodzenia ofiary wypadku: trzy dla obszarów niezabudowanych i dwa dla zabudowanych.

Wprawdzie, jak wskazują wyniki wielu badań, człowiek jest najsłabszym ogniwem w sprawnym funkcjonowaniu systemu *człowiek-pojazd-droga*, ale znaczenie wpływu cech środowiska ruchu może być większe niż się powszechnie sądzi. Najważniejszym atrybutem mającym znaczenie w procesie wyodrębniania wzorców dla wypadków z jednym pojazdem jest status zdarzenia opisywany przez stopień obrażeń najbardziej uszkodzonej ofiary (cecha zagrożenia). W dalszej kolejności zidentyfikowano: rodzaj obszaru, zachowanie sprawcy (cecha zagrożenia), rodzaj poboczy, stan nawierzchni, oświetlenie oraz liczbę zjazdów w otoczeniu miejsca wypadku. Brak w ww. grupie rodzaju zdarzenia (cecha zagrożenia) może być związany z przejęciem informacji niesionej przez tę cechę przez status zdarzenia i zachowanie sprawcy. Informacja o obecności lub nieobecności chodnika może być z kolei przejęta przez rodzaj obszaru i liczbę zjazdów w otoczeniu miejsca zdarzenia. W porównaniu z wyżej wymienionymi, znaczenie pozostałych cech (opisujących drogę) nie okazało się na tyle duże, aby były one uwzględnione w procesie wyodrębniania grup.

Analizy wykonano na przykładzie woj. świętokrzyskiego – regionu o określonym profilu homogeniczności, charakteryzującym się prawie jednolitymi cechami geograficznymi i klimatycznymi. Podobnie jak wskazują to inni badacze, zasadne jest prowadzenie analiz brd na obszarze regionu, dzięki temu dostarczone wyniki mogą być wykorzystane przez władze lokalne, w tym przez lokalnych zarządców dróg do wdrożenia działań podnoszących bezpieczeństwo ruchu drogowego.

Bibliografia

- [1] G. Bebyn, *Metoda szacowania liczby zdarzeń drogowych na sieci dróg miejskich*. Rozprawa doktorska na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Lądowej Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2004

- [2] G. Bebyn, J. Chmielewski, T. Szczuraszek, *Method for risk assessment on newly-designed and reconstructed elements of municipal road network*. Archives of Transport, 3, 2005
- [3] M. Budzyński, W. Kustra, *Analiza zagrożeń na jednorodnych odcinkach dróg*. Drogownictwo, 4, 2012
- [4] D. Delen, R. Sharda, M. Bessonov, *Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks*. Accident Analysis and Prevention, 38, 2006
- [5] S. Gaca, *Regression models of accidents and accident rates*. Archives of Transport, 3, 2002
- [6] S. Gaca, *Regresyjne modele predykcji wypadków na odcinkach dróg i ulic*. XLVIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB „Krynica 2002”, tom 4, Opole – Krynica, 15-20 września, 2002
- [7] S. Gaca, *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, nr 75, Inżynieria Lądowa, Kraków 2002
- [8] S. Gaca, *Zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego i możliwości ich eliminacji na przejściach drogowych przez miejscowości*, Drogownictwo, 12, 2005
- [9] P. Guidici, *Applied Data Mining. Statistical Methods for Business and Industry*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester 2003
- [10] K. Jamroz, *Rozwój społeczno-gospodarczy głównym uwarunkowaniem bezpieczeństwa ruchu drogowego*. Transport Miejski i Regionalny, 4, 2012
- [11] M. Kantardzic, *Data Mining. Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. IEEE Press and WILEY-INTERSCIENCE, JohnWiley & Sons Inc., 2003
- [12] M. Kieć, *Wpływ dostępności do dróg na warunki i bezpieczeństwo ruchu*. Rozprawa doktorska na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Kraków 2009
- [13] M. Kieć, *Badania czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu na przejściach dróg tranzytowych przez miejscowości*, Drogownictwo, 4, 2012
- [14] B.A. Kierus-Gogacz, *Badania wpływu otoczenia drogi na bezpieczeństwo ruchu drogowego*. VII Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT 2008, Gdańsk, 23-25 kwietnia, 2008
- [15] T. Kohonen, *How many kinds of Kohonen network exists? And what is k-means?*. SAS FAQ pages, USA, ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html#A_Kohonen, dostęp: 2010-07-07
- [16] T. Kohonen, *The Self-Organizing Map (SOM)*. Finland, <http://www.cis.hut.fi/somtoolbox/theory/somalgorithm.shtml>, dostęp: 2010-07-07
- [17] J. Korbicz, A. Obuchowicz, D. Uciński, *Sztuczne Sieci Neuronowe. Podstawy i Zastosowania*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994
- [18] M. Krzyśko, W. Wołyński, T. Górecki, M. Skorzybut, *Systemy uczące się, rozpoznawanie wzorców, analiza skupień i redukcja wymiarowości*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008
- [19] D.T. Larose, *Odkrywanie wiedzy z danych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006
- [20] H. Major, M. Nowakowska, *Cause-effect relationships of road incidents using decision tree method*, ARCHIVES OF CIVIL ENGINEERING, LII, 3, Warszawa 2006
- [21] M. Nowakowska, *Identifying similarities and dissimilarities among road accident patterns*. "Transportation and Traffic Theory in the 21st Century". 15-th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. Edited by Michael A P Taylor, Pergamon (Elsevier Science), Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Singapore, Tokyo, 2002
- [22] M. Nowakowska, *Związki przyczynowo-skutkowe wypadków drogowych*. Drogownictwo, 3, 2008
- [23] M. Nowakowska, *Wypadki drogowe: mity czy rzeczywistość*. VI Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT 2008: „Badania bezpieczeństwa transportu – czas na integrację”, wydawca: Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdańsk, 23-25 kwietnia 2008
- [24] M. Nowakowska, *Metody identyfikacji czynników drogi wpływających na ciężkość wypadku drogowego*. Logistyka, 6, Listopad-Grudzień 2009, referat na płycie CD załączonej do czasopisma
- [25] M. Nowakowska, *Finding threat patterns in the interaction between road transportation and pedestrian traffic using market basket analysis*. Monografie Zespołu Systemów Eksploatacji PROBLEMS OF MAINTENANCE OF SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL SYSTEMS, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Tom II, Warszawa 2010
- [26] M. Nowakowska, *Klasyfikator statystyczny do modelowania ciężkości wypadku między pojazdami na drogach zamiejskich*. Drogi – lądowe, powietrzne, wodne, 4, 2010
- [27] M. Nowakowska, *Logistic models in the crash severity classification on the basis of chosen road characteristics*. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, no. 2148, Highway Safety Data, Analysis, and Evaluation 2010, Volume 2, Washington D.C., 2010
- [28] M. Nowakowska, *Random forests in the evaluation of threat for pedestrian accidents in towns*. 24th ICTCT Workshop on Traffic safety management: tackling the problems in urban areas and at other hot spots”, Warszawa, 27-28 October, 2011. Pen Drive proceedings and Internet publication
- [29] M. Nowakowska, *Road traffic accident patterns: a conceptual grouping approach to evaluate crash clusters*. Archives of Transport, Vol. 24, Iss. 1, Warsaw 2012
- [30] S. Osowski, *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- T. Szczuraszek, M. Obluj, M. Stanek, *Badania wpływu wybranych cech drogi i ruchu na liczbę zdarzeń drogowych w polskich miastach*, Transport Miejski i Regionalny, 3, 2007 ■

Z prasy zagranicznej

Świecące znaki

Jedna z firm wprowadziła łatwe w przemieszczaniu znaki (ang. *Swift-Sign*). Ich główną zaletą jest szybki i łatwy sposób uaktywnienia oznakowania drogowego lub treści zdalnej tablicy informacyjnej. System składa się m.in. ze znaku obrotowego, panelu solarowego oraz modułu sterowniczego. Migające światło może być dodane do znaku drogowego, aby zwiększyć jego widoczność w nocy lub zwrócić uwagę kierowców w szczególnych okolicznościach.



Fot. Świecący znak zamieszczony wokół oznakowania kierunkowego

Znak, który jest niezależny od instalacji elektrycznych może być aktywowany z telefonu komórkowego lub przez aplikację internetową. Według autorów systemu, jest on doskonałym rozwiązaniem pomiędzy statycznymi i zmiennymi informacjami drogowymi. Aktywacja na żądanie sprawia, że system ten jest bardziej ekonomiczny niż zmienne znaki informacyjne.

(ITS 11/12 2010)

MR