

Teresa PAMUŁA, Aleksander KRÓL

STATYSTYCZNY MODEL MONITOROWANIA RUCHU DROGOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję modelu monitorowania ruchu drogowego. Przyjęto założenie, że wejściem będą dane z sieci punktów wideodetekcji (węzłów) zapisane w macierzy natężeń ruchu. Wyjściem modelu będą dane o strumieniach pojazdów pomiędzy badanymi węzłami. W celu weryfikacji modelu oraz optymalizacji rozmieszczenia punktów wideodetekcji zaproponowano standardowy system monitorowania złożony z kamery wyposażonej w moduł ANPR oraz komputer PC.

THE STATISTICAL MODEL OF ROAD TRAFFIC MONITORING

Summary. The paper presents a concept of a statistical model of road traffic monitoring. Input data is collected from a network of videodetection posts and placed into road traffic intensity matrices. Model outputs consist of road traffic stream data between defined traffic nodes. In order to verify the model assumptions and optimize the positions of videodetection posts an ANPR based monitoring system is proposed.

1. WSTĘP

Przy rozwiązywaniu wielu problemów w dziedzinie transportu zachodzi potrzeba znajomości natężenia ruchu pojazdów pomiędzy dwoma węzłami. Istotne bywa też poznanie zmienności tego natężenia w czasie zarówno w skali dobowej i tygodniowej, jak i dla dłuższych okresów. Często pożądaną informacją jest też struktura tego ruchu w rozbiciu na kategorie pojazdów.

Jako przykłady działań, w których powyższa informacja odgrywa kluczową rolę, można wymienić:

- planowanie nowych połączeń drogowych,
- planowanie modernizacji lub rozbudowy istniejących połączeń lub ich sieci,
- planowanie zmian w organizacji ruchu w istniejącej sieci połączeń,
- tworzenie nowych koncepcji transportowych, np. zastąpienie ruchu kołowego transportem kolejowym albo zastąpienie dalekich podróży samochodami osobowymi transportem lotniczym z małych, lokalnych lotnisk,
- wykrywanie miejsc krytycznych dla przepustowości w sieci połączeń,
- optymalizację rozmieszczenia parkingów,
- projektowanie topologii dróg osiedlowych lub na terenie parkingów,
- modelowanie zagadnień transportowych, badania zwiększające rozumienie zjawisk w sieciach transportowych.

W zależności zatem od istoty problemu zmienia się rozległość terytorialna obszaru podległego badaniom: od obszaru pokrywającego cały kraj, poprzez obszar odpowiadający regionowi lub miastu aż do skali lokalnej.

Uzyskanie wiarygodnych danych jest kluczowym zagadnieniem dla ścisłego rozwiązania problemu. Niestety, zwłaszcza dla badań przy dużej rozległości terytorialnej, trudno o pełne i rzeczywiste dane tego typu dla długiego okresu. Stosowane do niedawna powszechnie szacowanie natężenia ruchu, systemy wykorzystujące ankietowanie albo ręczne zliczanie z natury rzeczy dają informację wrywkową, uśrednioną oraz obciążoną dużą i bliżej nieznaną niepewnością.

Najlepszym wyjściem w tej sytuacji jest zastosowanie monitoringu opartego na wideodetekcji. System monitoringu składa się z sieci punktów, których głównym elementem są kamery oraz centralnej bazy danych. Obraz z kamery jest na bieżąco analizowany przez dedykowane oprogramowanie, będące elementem składowym punktu wideodetekcji, a uzyskane dane są on-line przekazywane do centrali i zapisywane w bazie danych. Interpretacja obrazu z kamery polega głównie na zidentyfikowaniu tablicy rejestracyjnej pojazdu i odczytaniu jej. Oprogramowanie może być również rozbudowane o procedury pozwalające na rozpoznanie typu pojazdu. Dane pochodzące z analizy obrazu wraz z informacją o czasie rejestracji, identyfikatorem punktu oraz kierunkiem ruchu pojazdu stanowią podstawowy i kompletny element przechowywany w bazie danych.

Punkty wideodetekcji są kluczowymi i autonomicznymi składnikami systemu monitoringu. Łączność z centralną bazą danych może być realizowana bezprzewodowo, a po uwzględnieniu możliwości zasilania z ogniw słonecznych lokalizacja takiego punktu może być praktycznie dowolna. Ze względu na szybko malejące ceny potrzebnego wyposażenia również liczba punktów składających się na sieć monitoringu może być wystarczająco duża dla zapewnienia spójności danych.

Już pojedynczy punkt wideodetekcji może stanowić wygodne narzędzie do pozyskiwania wiarygodnych danych potrzebnych przy podejmowaniu decyzji w wymiarze lokalnym (np. modernizacja nawierzchni odcinka drogi czy przebudowa skrzyżowania). Jednak dopiero budowa sieci monitoringu wyposażonej w centralną bazę danych jest źródłem informacji o charakterze całościowym. Takie podejście pozwala na uzyskanie danych o strumieniach pojazdów pomiędzy węzłami będącymi przedmiotem zainteresowania w rozwiązywanym problemie.

Rozważmy badanie natężenia strumienia pojazdów pomiędzy wybranymi miastami w pewnym regionie. Uzyskanie danych o natężeniach strumieni pojazdów będzie wymagało rozmieszczenia punktów wideodetekcji na drogach wylotowych z każdego miasta. Decyzje o liczbie punktów i ich lokalizacji będą zależeć od obecnej topologii połączeń drogowych: zasadnicze znaczenia będzie miał ruch po drogach głównych, ale należałoby rozważyć również alternatywne możliwości przejazdu pomiędzy badanymi miastami. Optymalny wybór lokalizacji punktów wideodetekcji zależy od możliwości ekonomicznych projektu, ale prawdopodobnie przy każdym rozwiązaniu pewna część ruchu zostanie niezauważona przez system. Niestety, tę część można określić jedynie przez oszacowanie.

Wyznaczanie natężenia strumienia pojazdów pomiędzy miastami węzłami sieci monitoringu odbywa się przez analizę zapisów w bazie danych. Dopiero zebranie i porównanie informacji z dwóch lub więcej punktów monitoringu pozwala na wykrycie pojazdu przemieszczającego się pomiędzy węzłami. Kluczem jest oczywiście numer rejestracyjny pojazdu powtarzający się w kilku rekordach oraz lokalizacja punktu i czas rejestracji. Rekordy, w których zapisany jest numer rejestracyjny niepowtarzający się w innych rekordach w odpowiednim odstępie czasowym, prawdopodobnie odzwierciedlają ruch lokalny w sąsiedztwie punktu monitoringu. Taka informacja, choć nie jest istotna dla badania sieci może być również użyteczna w wymiarze lokalnym.

Rezultatem analizy danych z sieci punktów wideodetekcji jest macierz natężeń ruchu (rys. 1) pomiędzy i-tym a j-tym punktem. Elementy diagonalne macierzy nie mają oczywiście sensu w znaczeniu natężenia strumienia ruchu pomiędzy punktami, ale można je wykorzystać, umieszczając tam wartość zarejestrowanego przez dany punkt natężenia strumienia pojazdów. Macierz ta nie musi być symetryczna, ale w długich okresach czasu jej asymetria powinna być niewielka.

	W_1	W_2	...	W_n
W_1	-	I_{12}	I_{1j}	I_{1n}
W_2	I_{21}	-	I_{2j}	I_{2n}
...	I_{i1}	I_{i2}	-	I_{in}
W_n	I_{n1}	I_{n2}	I_{nj}	-

Rys. 1. Macierz natężeń ruchu

Fig. 1. A road traffic intensity matrix

Lokalizacja punktów wideodetekcji jest znana, więc macierz natężeń ruchu pomiędzy punktami może być w razie potrzeby przekształcona w macierz natężeń ruchu pomiędzy miastami:

$$I_{pq}^M = \sum_{i \in M_p, j \in M_q} I_{ij}$$

Natężenia zapisane w takiej macierzy są oczywiście obliczane dla jakiegoś określonego odcinka czasu i mogą mieć charakter chwilowy, maksymalny lub uśredniony. Dysponując zapisami w bazie danych, można łatwo generować takie macierze, zawierające dowolną wymaganą charakterystykę czasową. Jest też możliwość rozbicia tych danych w zależności od innych zmiennych: kategorii pojazdu albo czasu przejazdu czy średniej prędkości pojazdu.

Macierze natężeń ruchu powinny być podstawowymi źródłami danych przy rozwiązywaniu problemów wspomnianych na wstępie. Rozpatrując jako przykład model optymalizacyjny sieci transportowej, szukamy takiej topologii (zagadnienie Steinera) sieci i kształtu pojedynczych połączeń drogowych, aby minimalizować łączny koszt konstrukcji, utrzymania oraz transportu.

$$\sum_i K_i^k + K_i^u + K_i^t = \min$$

gdzie: K_i^k - koszt konstrukcji, K_i^u - koszt utrzymania, a K_i^t - koszt transportu dla i-tego odcinka. Przy założeniu zmienności warunków terenowych i geograficznych można w uproszczeniu przedstawić łącznie koszt konstrukcji i utrzymania pojedynczego połączenia S :

$$K_i^k + K_i^u = \int_S k(s) ds$$

gdzie $k(s)$ jest funkcją reprezentującą zmienne koszty jednostkowe. Koszty transportu są zaś wprost proporcjonalne do natężenia ruchu na danym odcinku:

$$K_i^t = aI_i$$

Równie istotne mogą być informacje otrzymane po statystycznej obróbce danych o natężeniach ruchu. Może być tak, że wypracowane rozwiązanie problemu jest niestabilne i drobna zmiana w danych wejściowych prowadzi do istotnie innego rozwiązania. Zatem, konieczne jest uwzględnienie informacji o możliwych odchyleniach wartości danych od wartości przyjętych do obliczeń i sprawdzenie jak zachowuje się otrzymane rozwiązanie dla danych zaburzonych. Stała sieć monitoringu pozwala również na wykrycie długoterminowych trendów w natężeniu ruchu pojazdów i, wobec tego, na uwzględnienie ich w rozpatrywanych rozwiązaniach.

2. ELEMENTY SYSTEMU MONITOROWANIA RUCHU

Na rysunku 2 został przedstawiony poglądowy schemat systemu monitorowania ruchu drogowego na podstawie danych szczególnych pojazdów, takich jak tablice rejestracyjne.

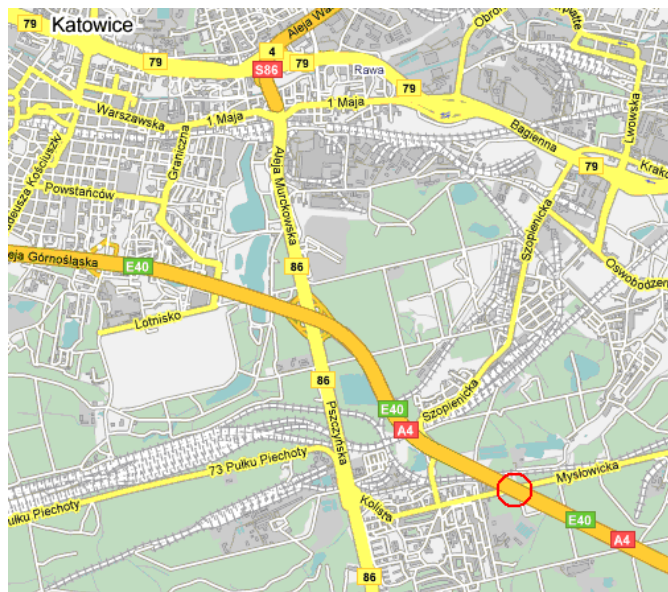


Rys. 2. Poglądowy schemat systemu monitorowania ruchu drogowego
Fig. 2. Block diagram of the road traffic monitoring system

Zastosowane specjalnie do tego celu kamery umieszczone będą nad pasami ruchu i na bieżąco będą monitorować ruch przejeżdżających pojazdów. Kamery wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie, które rejestruje nadjeżdżające pojazdy i odczytuje z nich tablice rejestracyjne. Zebrane dane przenoszone są do komputera w celu dalszej obróbki. Pozyskane w tym procesie materiały tworzą komputerowe bazy danych tablic rejestracyjnych, które służą do analizowania otrzymanych wyników.

2.1. Określenie miejsc lokalizacji kamer

Pierwszy etap procesu rozpoczyna się określeniem miejsc lokalizacji kamer, co w znacznym stopniu wpływa na prawidłowy pomiar ruchu drogowego. Kamery usytuowane będą na wlotach i wylotach badanych miast (Katowice – Bielsko-Biała, Katowice – Kraków).



Rys. 3. Umiejscowienie kamer na wlocie i wylocie z Katowic w kierunku Krakowa

Fig. 3. Position of monitoring cameras on the inlet and outlet of the Katowice in the direction Kraków

Przy połączeniu Katowice – Kraków w Katowicach (rys. 3) kamery zostaną umieszczone na autostradzie A4 w obrębie wiaduktu nad ulicą Mysłowicką, natomiast w Krakowie w okolicach punktu poboru opłat Balice, również na autostradzie A4.

W obu analizowanych przypadkach mamy do czynienia z monitorowaniem ruchu na 2-pasmowych drogach szybkiego ruchu, więc konieczne jest wykorzystanie 8 kamer, po 2 dla każdego kierunku ruchu. Kamery zostaną zainstalowane na słupach metalowych na wysokości 5 metrów. Obiektyw kamery będzie ustawiony pod kątem 30 stopni w stosunku do jezdni.

2.2. Rodzaj zastosowanych kamer

Kolejnym etapem w procesie monitorowania ruchu drogowego jest wybór odpowiedniej kamery. Dzisiejsze kamery posiadają różnorodne zastosowania. Pomijając segment zastosowań filmowych, obecnie na rynku możemy spotkać kamery internetowe, telewizji przemysłowej oraz kamery do zastosowań specjalnych.

Kamery telewizji przemysłowej, zwane też kamerami CCTV (Closed-Circuit Television), oferują wyższą jakość obrazu, a także znacznie większe możliwości zastosowania. Stosowane są powszechnie w monitoringu we wszelkiego rodzaju instalacjach ochronno-zabezpieczeniowych. Przy budowie kamer CCTV ważnym elementem jest odporność na próby zniszczenia, system umożliwiający zdalne obracanie kamery oraz możliwość dużych przybliżeń. Różnorodność kamer telewizji przemysłowej pozwala na zastosowanie ich w prawie każdych warunkach.

Do monitoringu wizyjnego często wykorzystuje się technologię kamer IP. Umożliwia ona oglądanie obrazu z kamery na żywo lub wcześniej zapisanego za pośrednictwem sieci komputerowej lub Internetu. Kamery IP są urządzeniami wykorzystywanymi powszechnie oraz należą do urządzeń tanich w instalacji. System w połączeniu z wideoserwerem zapewnia natychmiastowy dostęp do obrazu ze wszystkich kamer ze wszystkich lokalizacji. Podstawową zaletą technologii kamer IP jest możliwość zorganizowania jednego centrum nadzoru dla wielu obiektów.

W projekcie zostanie wykorzystana kamera firmy Tattile z modulem ARTR (Automatyczne Rozpoznawanie Tablic Rejestracyjnych, ang. ANPR – Automatic Number Plate Recognition). Tattile jest firmą zajmującą się monitorowaniem włoskich autostrad oraz tuneli. Cechą różniącą produkty Tattile od pozostałych kamer są wbudowane algorytmy służące do analizy obrazu. Obraz pobrany przez kamerę jest przetwarzany na postać cyfrową, a następnie jest poddawany obróbce, tworząc wiele użytecznych informacji. Kamery te charakteryzuje również niewielki pobór mocy. Daje to możliwość zasilania z akumulatorów oraz ogniw słonecznych. Kamery Tattile wyposażone są w obudowy, które są przystosowane do pracy w trudnych warunkach atmosferycznych. Charakteryzuje je obraz o bardzo dobrej jakości, co wpływa na bardzo niski współczynnik błędów. Zebrane dane mogą być przesyłane do komputera centralnego za pomocą kabla, a także opcjonalnie, drogą bezprzewodową (radiową). Wykorzystanie drogi radiowej jest przydatne w miejscach trudno dostępnych oraz tam, gdzie prowadzenie przewodów jest bezzasadne i nieoptyczne, a dodatkowo łatwo jest tworzyć nowe punkty monitorowania ruchu.



Rys. 4. Kamera Tattile

Fig. 4. A video camera Tattile

Następnym etapem przy tworzeniu systemu monitorowania ruchu drogowego jest sposób identyfikacji pojazdu.

2.3. Sposoby identyfikacji pojazdu

Identyfikacja pojazdów w systemach automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych występuje w dwóch wariantach:

- automatycznym – tryb pracy ciągłej,
- asynchronicznym – tryb wyzwania.

Systemy działające w trybie pracy ciągłej na bieżąco analizują strumień wideo z kamery w celu poszukiwania tablicy rejestracyjnej wszystkich przejeżdżających samochodów. System w czasie rzeczywistym, na podstawie wygenerowanych zdjęć, dokonuje detekcji pojazdu i następnie rozpoznaje numery tablicy rejestracyjnej. Zasada działania opiera się na przetwarzaniu przez moduły obrazu dostarczonego przez kamery. Strefa detekcji zastosowanej kamery firmy Tattile zawiera się w obszarze od 11,5 m do 4.7 m. Ze względu na zastosowanie kamer na drogach szybkiego ruchu, gdzie prędkości pojazdów sięgają nawet 160 km/h, w celu detekcji obecności pojazdu i odczytania jego tablicy rejestracyjnej wystarczy, że system będzie analizował co 4 klatkę pobranego obrazu. Zaproponowana w projekcie kamera firmy Tattile pracuje z prędkością 25 klatek na sekundę, co pozwala na zrobienie dużo większej liczby zdjęć, a tym samym wpływa to na poprawę jakości odczytu numerów tablic rejestracyjnych pojazdów.

Systemy pracujące w trybie wyzwolenia wykorzystują natomiast specjalne czujniki służące do detekcji nadjeżdżających pojazdów. Rozpoznanie numeru tablicy rejestracyjnej nastąpi po otrzymaniu sygnału z zewnętrznego urządzenia sterującego, np. z pętli indukcyjnej. W systemach asynchronicznych znaczącą rolę pełnią systemy detekcji, które służą do wykrywania obecności pojazdów w ściśle określonym punkcie pomiarowym.

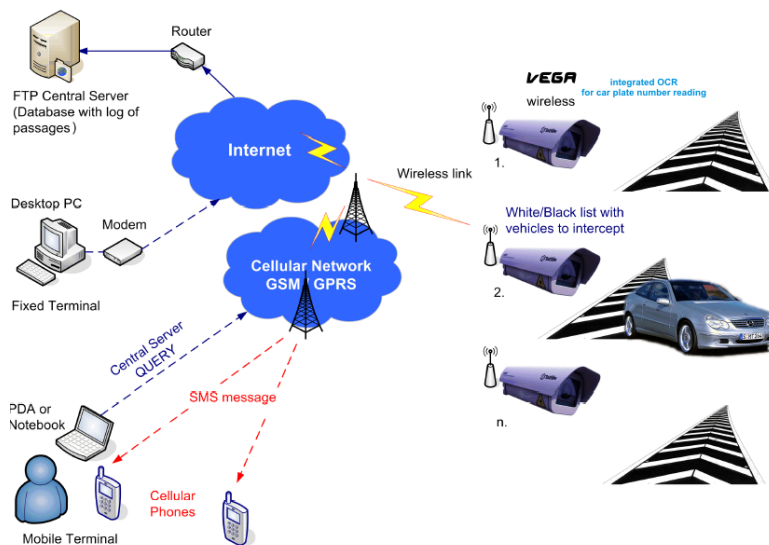
W projekcie zostanie wykorzystana identyfikacja pojazdów w trybie pracy ciągłej. Mając na uwadze fakt, że kamery będą zainstalowane przy drogach szybkiego ruchu, rozwiązanie to jest skuteczniejsze do detekcji poruszających się pojazdów. Zastosowanie trybu automatycznego pozwoli również na obniżenie kosztów przez rezygnację z elementów wyzwalających wykonanie zdjęć.

Następnym etapem w procesie monitorowania ruchu drogowego jest sposób przekazywania danych do centrum.

2.4. Sposób przekazywania danych do centrum

Zastosowana w projekcie kamera Astat Vega Wireless jest wyposażona zarówno w interfejs Ethernet, jak i w łącze szeregowe RS 232 oraz modem GSM/GPRS. Dzięki tym rozwiązaniom możliwe jest przesyłanie zebranych danych za pomocą łącza kablowego oraz łącza radiowego.

W projekcie zostanie wykorzystana transmisja danych za pomocą modemu GSM/GPRS. Bezprzewodowa transmisja danych jest alternatywą dla systemów przewodowych, w szczególności gdy obiekt pomiarowy znajduje się w znacznej odległości od centrum systemu. Zaletą systemu jest jego zasięg, obejmujący cały obszar działania sieci GSM oraz brak konieczności inwestowania na budowę infrastruktury telekomunikacyjnej. Na rysunku 5 został przedstawiony schemat budowy sieci z wykorzystaniem bezprzewodowej transmisji danych.



Rys. 5. Budowa systemu z wykorzystaniem transmisji GPRS

Fig. 5. A scheme for monitoring system utilizing GPRS data transmission

Rozpoznany przez kamerę numer rejestracyjny pojazdu jest wysyłany za pomocą transmisji bezprzewodowej do centrali systemu, gdzie zostaje umieszczony w bazie danych pojazdów. Dodatkową funkcją systemu jest możliwość powiadamiania użytkownika o błędach i nieprawidłowościach w działaniu za pomocą komunikacji SMS.

2.5. Baza danych zarejestrowanych pojazdów

Baza danych zarejestrowanych pojazdów to jeden z najważniejszych elementów systemu monitorowania ruchu drogowego. To na jej podstawie możemy na przykład wyznaczyć natężenie ruchu panujące na danym odcinku drogi oraz odpowiedzieć na pytanie czy istnieje konieczność budowy nowych bądź rozbudowy istniejących lotnisk dla małych samolotów.

Bazy danych wykorzystane w projekcie zawierać będą dane o umiejscowieniu kamer, numerze rejestracyjnym pojazdu, dacie i godzinie dokonania pomiaru oraz o czasie przejazdu badanego połączenia.

3. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy wynika, że zaproponowany model oraz opracowany projekt systemu monitorowania ruchu drogowego umożliwią wybranie optymalnych punktów wideodetekcji na wybranych obszarach, a tym samym na określenie natężenia ruchu i wykonanie innych badań statystycznych na wybranych odcinkach dróg, np. na trasie Katowice – Kraków lub Katowice–Bielsko-Biała. W projekcie zaproponowano kamery oraz ustalono ich lokalizację na wlotach i wylotach badanych miast. Wybrano sposób identyfikacji pojazdu oraz metodę przekazywania danych na centrum.

Zaproponowano aktualnie dostępne na rynku kamery firmy Tattile z modułem ARTR ze względu na ich szybkość pracy oraz wbudowany modem radiowy GSM/GPRS. Największą zaletą kamer Tattile jest zintegrowany czytnik numerów rejestracyjnych. Kamery można by zastąpić kamerami pracującymi w technologii IP, jednakże jakość uzyskiwanego w ten sposób obrazu jest gorsza i do identyfikacji numerów tablic rejestracyjnych potrzebne byłoby specjalne oprogramowanie. Zaproponowany sposób identyfikacji pojazdów odbywa się w sposób ciągły, tzn. system na bieżąco analizuje obraz w celu detekcji pojazdu i odczytania jego tablicy rejestracyjnej. Tryb pracy ciągłej nie wymaga instalacji żadnego urządzenia zewnętrznego w celu wykrycia obecności pojazdu, a więc koszty instalacji takiego systemu są mniejsze. Pozyskane przez kamerę dane, ze względu na odległość między punktami pomiarowymi, będą transmitowane do centrum za pomocą sieci GPRS. Nie jest to najtańszy sposób przesyłania danych, ale do jego zalet należą brak konieczności instalowania przewodów oraz duży zasięg sieci w porównaniu do sieci Wi-Fi.

W zależności od zastosowanego oprogramowania oraz jakości obrazu dostarczonego przez kamerę systemy monitoringu mogą służyć do wysoce wyspecjalizowanych zadań. Ponadto, systemy monitoringu mogą dostarczać wielu danych potrzebnych do analizy ruchu drogowego oraz są w stanie zarządzać, kontrolować i sterować ruchem drogowym.

Bibliografia

1. Ratajczak W.: Modelowanie sieci transportowych. Wyd. Naukowe UAM, Poznań 1999.
2. Setchell Ch. J.: Applications of Computer Vision to Road-traffic Monitoring, praca doktorska University of Bristol 1997.
3. Polvision, <http://www.polvision.com.pl>
4. Neurosoft, <http://www.neurosoft.pl>
5. Automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych, <http://artr.pl>

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Romuald Szopa