

## ROZDZIAŁ 16

### KONCEPCJA SYSTEMU I ALGORYTMY DLA AUTOMATYCZNEGO WYKRYWANIA WYKROCZEŃ DROGOWYCH

Łukasz KAMIŃSKI<sup>1</sup>, Michał ŁYCZEK<sup>2</sup>

W rozdziale przedstawiono koncepcję systemu automatycznej detekcji wykroczeń drogowych, opartego na przetwarzaniu obrazu i rozproszonej bazie danych, wykorzystującej sieć GSM jako kanał transmisyjny. Omówiono całościową koncepcję realizacji systemu oraz opisano architekturę i wyniki działania instalacji testowej. Zaprezentowano w nim także algorytmy używane do analizy obrazu oraz porównano rozwiązanie do innych instalacji na świecie.

#### 1. WPROWADZENIE

Rozwój technologii i spadek cen sprzętu komputerowego oraz kamer video daje w chwili obecnej możliwość budowy nowych systemów automatycznej analizy obrazu video. W szczególności możliwa jest analiza obrazu w czasie rzeczywistym. Analizie mogą podlegać różnorodne obrazy, a jednym ze specyficznych obszarów analizy jest ruch uliczny. Założeniem dla takich systemów jest w pełni zautomatyzowana całodobowa analiza sygnałów video w celu automatycznego uzyskiwania danych i przekazywania ich w postaci przetworzonej.

Obecnie istnieje wiele opisanych koncepcji analizy różnych elementów ruchu ulicznego. Wśród występujących w Polsce systemów analizy ruchu ulicznego można wyróżnić systemy informacyjne oraz systemy wykrywania wykroczeń. Systemami informacyjnymi nazywa się systemy, których celem jest dostarczanie informacji na temat pewnych, ściśle określonych zdarzeń w obszarze badawczym. Przykładami takich systemów są pętle indukcyjne liczące osie samochodów albo systemy wykrywające kolizje lub pożary w tunelach. Typowymi systemami do wykrywania wykroczeń są fotoradary.

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki; ul. Banacha 2, 02-097 Warszawa; kamis@mimuw.edu.pl.

<sup>2</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki; ul. Banacha 2, 02-097 Warszawa; m.lyczek@students.mimuw.edu.pl.

W niniejszym rozdziale zostanie przedstawiona koncepcja realizacji zaawansowanego systemu automatycznego wykrywania wykroczeń. W odniesieniu do problemów z bezpieczeństwem na drogach system ten będzie mógł być wykorzystany do podniesienia owego bezpieczeństwa. Klasycznym przykładem, bazującym na automatycznym rozpoznawaniu tablic rejestracyjnych, jest system obsługujący London Congestion Charge [2]. System składa się z ponad 1500 kamer CCTV. Ich sygnał jest przesyłany do oprogramowania ANPR (ang. *automatic number plate recognition*), które identyfikuje pojazdy. Dane o pojazdach znajdujących się w strefie są porównywane z bazą wykupionych licencji uprawniających do wjazdu do strefy. W przypadku stwierdzenia wykroczenia system automatycznie wysyła mandat do właściciela pojazdu. Cały proces – od wykrycia wykroczenia do wystawienia mandatu – nie wymaga ingerencji człowieka.

W Polsce powszechnie używanymi systemami wykrywania wykroczeń są fotoradary, które pozwalają na stwierdzanie przekroczenia prędkości. Zgodnie z podanymi wcześniej danymi funkcjonujący system automatyzuje tylko rejestrację wykroczenia.

Istotnym aspektem takiego systemu musi być niski koszt jego wykonania. Prezentowana koncepcja zakłada wykorzystanie powszechnie dostępnych, a przez to tanich, rozwiązań i specjalnych algorytmów, które wymagają niskiej mocy obliczeniowej oraz działają na sygnałe video niskiej jakości, co znacząco obniża koszty całego rozwiązania.

W podrozdziale 2 zostaną przedstawione dotychczasowe wyniki analizy ruchu, ze szczególnym uwzględnieniem ruchu ulicznego oraz działające na świecie systemy tego typu. W następnym podrozdziale zawarto opis koncepcji realizacji systemu automatycznego wykrywania wykroczeń oraz jego budowę, założenia dotyczące wykorzystanych urządzeń, a także schemat komunikacji pomiędzy poszczególnymi elementami systemu. W podrozdziale 4 znalazły się wyniki testów działania systemu na stworzonej instalacji testowej. Ostatni podrozdział stanowi podsumowanie uzyskanych wyników oraz omówienie dalszych planów badawczych i możliwych dróg pogłębiania analizy problemu.

## **2. OMÓWIENIE ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ**

W przeciwieństwie do naszego kraju na świecie powszechnie wykorzystuje się systemy automatycznej identyfikacji i kontroli pojazdów. Systemy bazujące na przetwarzaniu obrazu są stosowane głównie do:

- automatycznej detekcji, klasyfikacji i zliczania pojazdów,
- wspomagania zarządzania ruchem,
- systemów kontroli i pobierania opłat.

Podstawowym elementem wymienionych systemów jest moduł ANPR. Moduł ten wykorzystuje obraz z kamery do automatycznego odczytu numeru rejestracyjnego.

Dzięki tej technologii możliwa jest szybka, jednoznaczna i wiarygodna identyfikacja pojazdu. Przykładem systemu wykorzystującego powyższe rozwiązanie jest system SPECS [6], który powstał w Wielkiej Brytanii w 1999 roku. Za pomocą sieci połączonych ze sobą kamer wykrywa pojazdy na kolejnych odcinkach drogi. Razem z informacją o numerze tablicy rejestracyjnej system przechowuje lokalizację i czas, w których dokonano detekcji. Dzięki znajomości odległości pomiędzy punktami pomiarowymi system jest w stanie obliczyć średnią prędkość, z jaką poruszał się pojazd, i wykryć ewentualne naruszenie ograniczenia prędkości. Wyniki działania systemu w różnych lokalizacjach Wielkiej Brytanii są pozytywne: zaobserwowano znaczącą poprawę bezpieczeństwa. Na drogach objętych kontrolą systemu statyczna liczba wypadków spadła o ponad połowę. Przestrzeganie przez kierowców zalecanej prędkości dodatkowo poprawiło płynność ruchu. Powyższy przykład dowiódł, że systemy analizujące średnią prędkość sprawdzają się lepiej niż tradycyjne fotoradary. Wymuszając na kierowcach stałe utrzymywanie prędkości zgodnej z ograniczeniami, nie prowokują ich do cyklicznego hamowania przed punktem pomiarowym i przyspieszania tuż za nim.

Innym przykładem podobnego systemu jest system Safe-T-Cam, należący do Roads and Traffic Authority w Australii [7]. Powstał w 1995 roku i miał na celu ograniczenie liczby wypadków z udziałem ciężkich pojazdów poprzez wykrywanie takich wykroczeń, jak: łamanie ograniczeń prędkości, jazda poza wyznaczonymi godzinami jazdy, wykrywanie pojazdów niezarejestrowanych, omijanie punktów kontrolnych. Na system składają się 24 kamery na głównych arteriach New South Wales, które uzupełniają system punktów kontrolnych i inspektorów.

Poza wymienionymi analogiczne systemy funkcjonują również w innych krajach, między innymi w Holandii (Trajectcontrole), we Włoszech (Tutor), w Austrii (Abschnittskontrolle).

### **3. KONCEPCJA ROZWIĄZANIA**

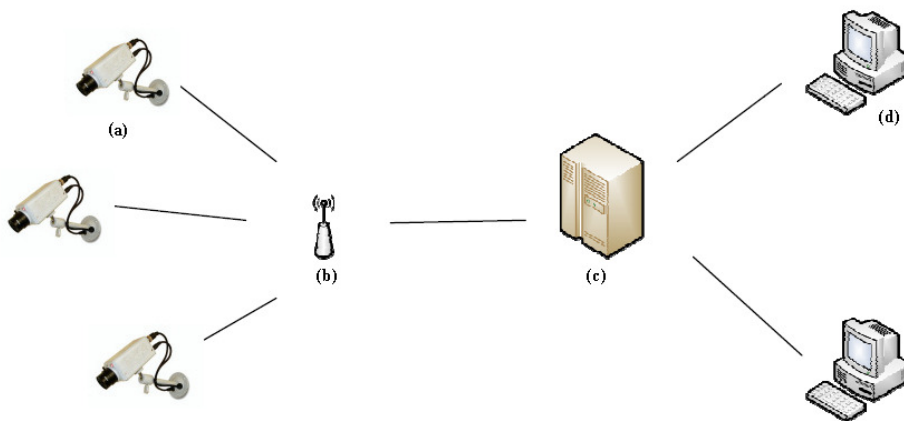
Jak wspomniano, podstawowym postulatem, który wpływa na sposób realizacji, jest niski koszt całego rozwiązania. Dlatego należy:

- użyć gotowych, powszechnie używanych technologii/rozwiązań,
- uniezależnić się od tworzenia jakiegokolwiek infrastruktury (na przykład okablowania).

Powyższe wymagania wymuszają w praktyce użycie jako nośnika komunikacyjnego istniejącej sieci GSM, oferowanej przez operatorów komórkowych. Specyfika tej sieci jest taka, że nie można transmitować obrazu z kamery do centralnego serwera. Z tego powodu postulowane rozwiązanie zakłada wstępne przetwarzanie obrazu z kamery za pomocą dodatkowych urządzeń podłączonych bezpośrednio do kamery. Ograniczenie kosztów wymusza analizę obrazu na

urządzeniach o małej mocy obliczeniowej. Podsumowując tę część rozważań, optymalne rozwiązanie przy wymienionych wymaganiach składa się z (rys. 1):

- urządzenia rejestrującego i wstępnie analizującego dane z kamery (jego podstawowe elementy to kamera video oraz urządzenie do przetwarzania danych),
- algorytmu automatycznej detekcji, klasyfikacji i zliczania pojazdów,
- istniejącej infrastruktury GSM do przesyłania danych do centralnego serwera danych,
- centralnego serwera danych, który przechowuje dane na temat zdarzeń,
- aplikacji dostępowej dla obsługujących system funkcjonariuszy Policji.



Rys. 1. Schemat systemu

- a) urządzenie rejestrujące; b) infrastruktura GSM;  
c) centralny serwer danych; d) aplikacja dostępowa

Aby zaprojektować sposób realizacji funkcjonalności urządzenia analizy obrazu oraz sposobu przesyłania danych na serwer centralny, konieczne jest przeanalizowanie charakterystyk poszczególnych wykroczeń, które mają być wspierane przez system. Poniżej przedstawiono ramową listę wykroczeń, znajdujących się potencjalnie w zakresie zainteresowań systemu. Analiza sposobów realizacji automatycznego wykrywania niniejszych wykroczeń znajduje się w dalszej części tego podrozdziału.

Wykroczeniami, które mogą być wspierane przez system, są:

- zintegrowana kontrola prędkości pojazdów (kontrola na wielu urządzeniach w sieci dróg, na przykład w miastach),
- wyprzedzanie w miejscach niedozwolonych,
- wyprzedzanie „na trzeciego”,
- jazda po fragmentach dróg wyłączonych z ruchu,
- oślepianie światłami drogowymi,
- rozmowa przez telefon komórkowy w czasie jazdy,

- jazda po pasie dla autobusów,
- jazda pod prąd,
- cofanie na drodze jednokierunkowej,
- łamanie zakazów zatrzymywania i postoju,
- zignorowanie znaku STOP,
- przejazd na czerwonym świetle,
- jazda bez świateł,
- jazda na światłach przeciwmgielnych przy dobrych warunkach pogodowych.

Projektując system, trzeba wziąć pod uwagę możliwy stopień jego automatyzacji. W tym aspekcie istotne są dwa czynniki. Pierwszy z nich to obowiązujący stan prawny. Obecnie nie jest możliwe całkowicie automatyczne karanie kierowców za popełnione wykroczenia. Dlatego też w całym procesie – od wykroczenia do wystawienia mandatu za owo wykroczenie – musi znajdować się policjant, który potwierdzi zaistnienie wykroczenia i podejmie decyzję o nałożeniu kary. Drugim czynnikiem jest stopień niezawodności metod wykrywania wykroczeń. W przypadku systemu całkowicie automatycznego konieczna jest jego bardzo wysoka skuteczność. Absolutnie podstawowym wymogiem jest brak możliwości wykrycia wykroczenia w momencie, gdy w istocie nie miało ono miejsca. Jeśli system automatyczny nie spełnia tego warunku, to jest praktycznie bezużyteczny. Jednocześnie dobrym wymaganiem jest maksymalizacja liczby wykrywanych wykroczeń w stosunku do wszystkich wykroczeń.

W tym zakresie trudno obiektywnie stwierdzić, jaki poziom skuteczności jest akceptowalny. Ze względu na działanie prewencyjne całego systemu można postulować, że nawet skuteczność na poziomie 20-25% daje uzasadnienie dla realizacji systemu.

Kwestia automatycznego wykrywania wykroczeń jest tym trudniejsza, że bardzo wiele regulacji kodeksu ruchu drogowego ma charakter nieobiektywny, zależny od warunków panujących na drodze. W ten sposób, aby móc rzetelnie zweryfikować zaistnienie wykroczenia, konieczne jest wzięcie pod uwagę także wielu czynników pozadrogowych, takich jak pogoda czy lokalne okresowe zmiany organizacji ruchu (między innymi wypadki, kierowanie ruchem przez funkcjonariuszy Policji). Przykładem może być zakaz wjazdu, który nie dotyczy pojazdów budowy. Dlatego też w praktyce automatyczne wykrywanie wykroczeń w żaden sposób nie ma przesądzać, że zdarzenia te rzeczywiście miały miejsce, a jedynie ma stanowić optymalizację pracy funkcjonariuszy, którzy obsługują system. Nie muszą oni śledzić non stop nagrań, lecz tylko oceniać specyficznie wyselekcjonowane zdarzenia drogowe. Tak działający system znacznie optymalizuje liczbę możliwych do obsługi urzędzeń, co nie zmienia faktu, że elementem decyzyjnym w systemie jest człowiek. Dzięki temu nie są konieczne żadne zmiany w istniejącym prawie.

Wynika z tego, że system będzie dostarczał obsługującemu informacji na temat zarejestrowanych zdarzeń. Wykryte zdarzenia będą przechowywane w bazie danych, która powinna zawierać następujące informacje:

- unikalny w systemie identyfikator zdarzenia (złożony z identyfikatora urządzenia i identyfikatora zdarzenia w urządzeniu),
- czas wystąpienia zdarzenia,
- miejsce wystąpienia zdarzenia (identyfikator urządzenia rejestrującego wraz z lokalizacją pola pomiarowego),
- identyfikacja pojazdu popełniającego wykroczenie (numer rejestracyjny),
- klasyfikacja wykrytego zdarzenia (podstawowy typ wykroczenia i dodatkowe dane zależne od typu wykroczenia),
- dowód popełnienia wykroczenia (nagranie video).

Jak wspomniano na początku podrozdziału, komunikacja między urządzeniami będzie odbywać się za pomocą sieci GSM. Dlatego można oszacować przepustowości kanałów komunikacyjnych. W sieciach GSM możliwe są trzy zasadnicze przepustowości transmisji: GPRS, EDGE i HSDPA. Co prawda zasięg sieci HSDPA sukcesywnie się zwiększa, ale ten system z założenia ma być możliwy do wdrożenia z minimalną infrastrukturą, więc istnienie takiego połączenia jest wątpliwe. Uwzględniając możliwości zwielokrotniania łącz oraz istniejącą infrastrukturę, można założyć, że realna przepustowość łącza to 5 kB/s. Warto zwrócić też uwagę, że istnieje korelacja pomiędzy istniejącą infrastrukturą sieci GSM a potencjalną liczbą rejestrowanych zdarzeń, która jest pochodną natężenia ruchu. Największa liczba zdarzeń będzie rejestrowana prawdopodobnie na obszarach najgęściej zaludnionych, gdzie w perspektywie można oczekiwać usług telefonii 3G, a co za tym idzie – większej przepustowości sieci.

Ze względu na ograniczenia łącza konieczne jest rozproszenie bazy danych zdarzeń. Trzeba rozdzielić dane na temat zdarzenia, aby zminimalizować liczbę danych przesyłanych z urządzeń monitorowania do systemu centralnego. Z wymienionych elementów przechowywanych z każdym zdarzeniem jedynym, którego objętość stanowi problem, jest dowód popełnienia wykroczenia.

Biorąc pod uwagę sposób korzystania z aplikacji przez użytkowników, sama informacja o fakcie popełnienia wykroczenia jest bezużyteczna, ponieważ funkcjonariusz musi zweryfikować fakt zajścia wykroczenia. Dlatego konieczne jest – na podstawie dowodu zajścia wydarzenia – stworzenie skróconej części dowodu, która pozwoli na efektywne odrzucanie zdarzeń, które nie kwalifikują się do uznania jako wykroczenia. Owa skrócona postać musi zależeć od rodzaju wykrytego zdarzenia. Na przykład dla stwierdzenia, że pojazd poruszał się bez świateł, potrzeba dwóch dowolnych zdjęć pojazdu, aby wykazać przejazd pojazdu na czerwonym świetle – dwóch specjalnie wyselekcjonowanych zdjęć, zaś aby potwierdzić obecność pojazdu na pasie dla autobusów wystarczy jedno zdjęcie pojazdu.

Konkludując, baza danych będzie podzielona: część danych znajdzie się na urządzeniach rejestrujących zdarzenia, a część w bazie centralnej. Pojedyncze zdarzenie przesyłane z urządzenia rejestrującego do serwera będzie się składać z:

- unikalnego w systemie identyfikatora zdarzenia,
- czasu wystąpienia zdarzenia,
- miejsca wystąpienia zdarzenia,

- identyfikacji pojazdu popełniającego wykroczenie,
- klasyfikacji wykrytego zdarzenia,
- skróconego dowodu popełnienia wykroczenia (zależnego od rodzaju zdarzenia).

W normalnych warunkach eksploatacji urządzenie rejestrujące będzie rozpoznawać zdarzenia i zapisywać je w lokalnej bazie danych. Następnie w zależności od możliwości łącza powyższe dane na temat pojedynczego zdarzenia będą przesyłane do serwera centralnego. Zdarzenia będą wysyłane w kolejności ich klasyfikacji. Klasyfikator będzie wybierał zdarzenia w zależności od czasu ich wystąpienia oraz innych kryteriów, takich jak na przykład wpływ zdarzenia na bezpieczeństwo ruchu. Zdarzenia, które z różnych przyczyn nie zostaną zgłoszone do centralnej bazy danych, będą po określonym czasie kasowane.

Ze względu na konieczność optymalizacji kosztów urządzenia należy ograniczyć jego dostępną pamięć masową. Zakładając, że pełne dane na temat zdarzenia będą zajmować około 2 MB, to na dysku o pojemności 16 GB można przechować ponad 8000 zdarzeń. To daje operatorom systemu odpowiednio dużo czasu na obsługę każdego zdarzenia. Czas ten jest zależny od liczby zdarzeń, które są rejestrowane przez urządzenie, ale można nim swobodnie zarządzać, także w czasie działania systemu, zmieniając parametry algorytmu odpowiedzialnego za usuwanie starych wpisów z pamięci urządzenia.

Zdarzenia zgłoszone do systemu są widoczne dla operatorów i podlegają ocenie pod względem wystąpienia wykroczeń. Przy każdym zdarzeniu funkcjonariusz oceniający sytuację może odrzucić zdarzenie, zaakceptować je lub zażądać pobrania pełnych danych na temat zdarzenia, aby móc obejrzeć pełny materiał w celu podjęcia decyzji. Odrzucenie zdarzenia jest odnotowywane w systemie centralnym, a pełne dane są kasowane z urządzenia rejestrującego. W obu pozostałych przypadkach pełne dane na temat zdarzenia (pełny dowód popełnienia wykroczenia) są kopiowane do centralnej bazy danych i kasowane z urządzenia rejestrującego. Pobranie danych na żądanie funkcjonariusza jest oczywiste. Pobieranie danych w przypadku akceptacji zdarzenia jest także konieczne, ponieważ każdemu kierowcy przysługuje prawo odmowy mandatu. Dlatego jeśli zajdzie konieczność zaprezentowania materiału przez sądem, trzeba będzie przedstawić pełną wersję dowodu zdarzenia. Żądania pobrania danych z urządzeń do serwera są realizowane przez system w tle, ponieważ mogą być długotrwałe, ale tego typu komunikacja ma najwyższy priorytet.

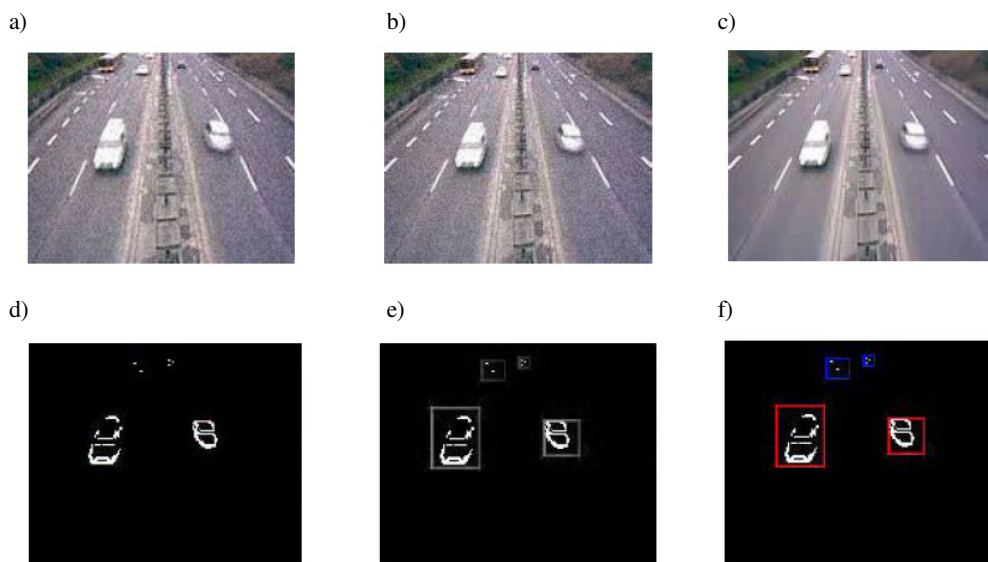
Uwzględniając przyjęte parametry połączenia oraz powyższe założenia dotyczące przesyłania danych, pojedyncze zgłoszenie zdarzenia nie powinno przekraczać 50 kB. Natomiast pełen kontekst popełnionego wykroczenia, składający się z 15 sekund nagrania video, nie powinien być większy niż 2 MB. Stąd wynika, że dzienna liczba transmitowanych danych ograniczona przez przepustowość łącza to 420 MB, co umożliwia przesłanie 8600 zdarzeń oraz 205 pełnych materiałów dowodowych. Z całą pewnością można zakładać pełne wykorzystanie łącza, ponieważ informacje są składowane lokalnie na urządzeniach analizy video i nie muszą być przesyłane od razu do serwera centralnego.

Opcjonalnie można wykorzystać także inne kanały komunikacji niż GSM. Można użyć równoległe zarówno wielu urządzeń GSM, jak i jakiegokolwiek innej dostępnej w miejscu instalacji technologii.

Aby system w ogóle działał, konieczne jest opracowanie nowych algorytmów do analizy sygnału video i automatycznego rozpoznawania wymienionych sytuacji na drodze. Zgodnie z informacjami zawartymi w poprzednim podrozdziale istnieją już na świecie systemy, które wykorzystują przynajmniej częściowo podobne rozwiązania. Dlatego z jednej strony należy rozwijać już istniejące rozwiązania w celu ich aplikacji do rozważanego projektu, z drugiej zaś strony opracować szybkie wersje algorytmów, które będą mogły działać na urządzeniach o niskiej mocy obliczeniowej.

Algorytmy służące do analizy obrazu video są przeważnie zaprojektowane zgodnie ze schematem:

- wstępne przetwarzanie,
- detekcja obiektów,
- klasyfikacja,
- śledzenie.



Rys. 2. Fazy działania algorytmu

- a) oryginalny obraz; b) rekonstrukcja geometrii; c) odsumianie;  
d) detekcja ruchu; e) detekcja obiektów; f) klasyfikacja obiektów

Wstępne przetwarzanie (ang. *preprocessing*) – jako faza wstępna służy poprawie jakości i przygotowaniu materiału wejściowego do kolejnych faz działania algorytmu. W trakcie rejestracji obrazu powstają zakłócenia, takie jak na przykład: szum na matrycy CCD czy zniekształcenia geometrii obrazu spowodowane słabą jakością układu optycznego kamery. Obecny w sygnale szum często powoduje pogorszenie działania algorytmów służących do detekcji obiektów. W związku z tym w fazie preprocessingu obraz z kamery jest poddawany odsumianiu i poprawie



geometrii. Współcześnie istnieją rozwinięte metody wykorzystywane w analizie obrazu (między innymi filtry Kalmana, zob. [1, 3, 9]), jednak często zadowalające rezultaty daje wykorzystanie dużo prostszych w implementacji metod, takich jak na przykład lokalna detekcja przesunięć, zob. [5, 8]. W przedstawionej koncepcji systemu kluczową fazą działania algorytmu jest detekcja i śledzenie pojazdów. To dzięki odpowiednio dokładnej i poprawnej detekcji możliwe staje się wykrywanie wykroczeń związanych z nieprawidłowym poruszaniem się pojazdów po drodze.

W przypadku analizy ruchu drogowego z obrazu video najczęściej stosuje się techniki detekcji obiektów, bazujące na detekcji krawędzi lub na detekcji ruchu. Pierwsze z wymienionych metod wykorzystują obraz krawędziowy (uzyskany po zaaplikowaniu jednego z filtrów krawędziujących, takich jak Sobel, Canny czy lokalne odchylenie standardowe). Inne metody polegają na podziale klatki na obszary, w których dla każdego obszaru z osobna jest wykrywany ruch. Zbierając informacje z poszczególnych obszarów, algorytm wykrywa ruch większych obiektów. Po uzyskaniu informacji o wykrytych obiektach algorytm dokonuje ich klasyfikacji. W tej fazie może nastąpić odrzucenie niektórych obiektów jako nieistotnych z punktu widzenia dalszej analizy.

#### **4. WYNIKI TESTÓW**

Dotychczasowe prace pozwoliły na stworzenie instalacji testowej, która znajduje się w Jabłonowie Pomorskim. Składa się ona z dwóch urządzeń pomiarowych. Każde urządzenie jest wyposażone w kamerę do rejestracji danych, jednostkę obliczeniową oraz modem GSM. Pierwsze urządzenie zamontowano w sąsiedztwie urzędu miasta i ustawiono na drodze lokalnej w kierunku miejscowości Górale. Drugie urządzenie zostało zainstalowane przy drodze wojewódzkiej nr 543 i usytuowane w kierunku Brodnicy.

Obszarem roboczym urządzenia są dwa pasy ruchu. W ramach tych pasów system analizuje ruch uliczny i rejestruje zdarzenia. Obecnie rejestrowany jest każdy pojazd znajdujący się w obszarze roboczym. Ponadto określa się prędkość każdego pojazdu między liniami pomiarowymi. Dla każdego zdarzenia system generuje film testowy, na którym za pomocą prostokąta zaznaczony jest pojazd, którego dotyczy pomiar. Dodatkowo generowane są także dwa zdjęcia z pomiaru. Zatem w działającej obecnie instalacji testowej dla każdego zdarzenia przechowywane są wszystkie założone dla niego parametry.

Z obserwacji wynika, że rozwiązanie całkowicie spełnia swoją funkcję. Urządzenie rejestruje dziennie średnio 200-300 zdarzeń. Dane, które z każdym zdarzeniem są przesłane do serwera centralnego, składają się z informacji o samym zdarzeniu oraz ze zdjęcia kontrolnego. Dane o zdarzeniu zajmują nie więcej niż 256 bajtów, a wielkość zdjęcia kontrolnego (w rozdzielczości 640 × 480 pikseli) waha się

w granicach od 40 do 60 kB. Wyniki testów pokazują, że przyjęta wielkość zdjęcia oraz stopień kompresji są adekwatne do celów kontrolnych pracy systemu.

Długość filmu dla zdarzenia zależy od prędkości poruszającego się pojazdu. W przypadku kamery umieszczonej na budynku urzędu miasta obszar roboczy ma długość 20 m, zaś całkowity obszar obejmowany przez kamerę – 50 m. Przy takim ustawieniu kamery dla pojazdu poruszającego się z prędkością 70 km/h film przedstawiający zdarzenie będzie miał długość 3 sekund i objętość w granicach 500 kB. Dla samochodu poruszającego się z prędkością 150 km/h film będzie miał długość 1,5 sekundy i będzie zajmował 250 kB. Oczywiście są to dane tej konkretnej instalacji. W przypadku dłuższego obszaru roboczego i dłuższego odcinka drogi obejmowanego przez kamerę filmy będą dłuższe.

Zgodnie z deklaracją sieci Plus w obszarze testowym powinien być zasięg EDGE, jednak w praktyce okazuje się niemożliwe utrzymanie stabilnego połączenia EDGE i wykorzystanie go do transmisji danych. Jednocześnie nawiązywane jest połączenie GPRS, działające stabilnie, i obserwowana wartość przepustowości, z którą urządzenie jest w stanie przesyłać dane do sieci operatora, wynosi 3 kB/s. Jest to realna wartość średnia, obserwowana w ciągu miesiąca pracy urządzeń. Oczywiście z powodu uzależnienia się od operatora GSM jako dostawcy infrastruktury sieciowej z jednej strony system jest podatny na awarie, a z drugiej jego wymagania nie mają wpływu na postać i wydajność infrastruktury teraz oraz w przyszłości.

Kolejny czynnik, stanowiący element testów, to wpływ warunków pogodowych oraz oświetlenia na działanie systemu. Niestety, ograniczony okres testowy uniemożliwił sprawdzenie systemu w innych warunkach. Testy były prowadzone w listopadzie i w grudniu, przez co poziom oświetlenia oraz opadów był charakterystyczny właśnie dla tych miesięcy. Dlatego o działaniu systemu w miesiącach letnich można mówić jedynie przypuszczalnie. Uwzględniając jednak wiedzę na temat użytych algorytmów analizy obrazu oraz warunków atmosferycznych w miesiącach zimowych, które są najmniej korzystne dla pracy systemu, można założyć, że w miesiącach letnich skuteczność systemu polepszy się.

Analiza poziomu skuteczności systemu w zależności od warunków pogodowych miała na celu stwierdzenie, czy pogorszenie tych warunków spowoduje niższą skuteczność wykrywania zdarzeń. Jeśli teza ta miałaby mieć potwierdzenie w praktyce, to pogorszenie warunków atmosferycznych powinno mieć odzwierciedlenie w niższej liczbie wykrywanych zdarzeń. Takie zjawisko nie wystąpiło podczas testów systemu, pomimo że w tym samym czasie występowały dni zarówno obfitych opadów śniegu, jak i deszczu. Zaobserwowano natomiast spadek liczby zdarzeń związany ze zmniejszeniem oświetlenia, jednak przypuszczalnie nie jest to spowodowane pogarszającą się skutecznością działania systemu, ale mniejszym ruchem pojazdów.

Na podstawie powyższych wyników stwierdzono, że system z pewnością ma niezerową skuteczność w każdych warunkach, które występowały w czasie testów. Jeśli nawet istnieje korelacja pomiędzy złymi warunkami pogodowymi lub oświetleniowymi a skutecznością działania systemu, to jest ona na tyle mała, że nie ogranicza prewencyjnego charakteru systemu.

Działanie instalacji testowej można zobaczyć na stronie Urzędu Miasta i Gminy w Jabłonowie Pomorskim: <http://jablonowo.neostrada.pl/>.

## 5. PODSUMOWANIE

Obecnie prace koncentrują się na rozwinięciu algorytmu klasyfikacji i detekcji pojazdów. Umożliwi to zwiększenie funkcjonalności systemu. Ponadto rozwijany jest bardziej zaawansowany model tła, którego zaimplementowanie powinno przyczynić się do zwiększenia niezawodności działania systemu.

Konieczne jest także rozbudowanie infrastruktury testowej, aby móc sprawdzać na bieżąco działanie algorytmów w różnorodnych lokalizacjach przy różnych warunkach atmosferycznych i różnych ustawieniach kamer. W tym kontekście ważne będzie zainteresowanie i wsparcie ze strony docelowych odbiorców systemu, czyli Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji, Policji oraz innych jednostek administracji publicznej.

Podstawowym elementem niezbędnym do dalszego rozwijania systemu jest algorytm rozpoznawania tablic rejestracyjnych (ANPR), dedykowany do systemu. Biorąc pod uwagę wyniki testów i obserwowaną jakość obrazu, użycie istniejących systemów nie wchodzi w grę. Konieczne są równoległe badania nad rozwojem istniejących algorytmów w kierunku wykrywania określonych zdarzeń. Najprostsze wydają się algorytmy wykrywające takie zdarzenia, jak: obecność pojazdów w określonych miejscach, czyli łamanie zakazu parkowania, jazda przez obszary wyłączone z ruchu czy łamanie zakazu wyprzedzania. Zdecydowanie trudniejsze wydają się algorytmy, które muszą analizować dynamicznie zmieniającą się sytuację na drodze, takie jak zignorowanie znaku stop. Kolejnym typem zagadnień są wykroczenia, do których stwierdzenia konieczna jest identyfikacja specyficznych elementów pojazdu, takich jak pasy albo światła, oraz stwierdzenie, że kierowca ma niezapięte pasy czy też że używa świateł w sposób nieodpowiedni. Te kwestie nastroczają wiele problemów, szczególnie przy analizie obrazu niskiej jakości.

## LITERATURA DO ROZDZIAŁU

- [1] Cheung S., Kamath C.: Robust Background Subtraction with Foreground Validation for Urban Traffic Video. *Journal on Applied Signal Processing*, 2005, nr 14, s. 2330-2340.
- [2] Congestion Charging Technology Trials. Stage 3 Final Report, London 2008.
- [3] Cucchiara R., Grana C., Piccardi M., Prati A.: Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, t. 25, nr 10, s. 1337-1342.
- [4] Lo B., Velastin S.: Automatic congestion detection system for underground platforms. *Proceedings of International Symposium on Intelligent Multimedia, Video, and Speech Processing*, 2001, s. 158-

161.

- [5] Łyczek M., Butryn P., Chrobak A., Kulka A.: Image acquisition for city traffic models based on image analysis. Proceedings of 22nd European Conference on Modelling and Simulation, Nikozja 2008.
- [6] Speed Check Services Limited: <http://www.speedcheck.co.uk/>.
- [7] Safe-T-Cam Brochure. Roads and Traffic Authority, 2003.
- [8] Torre V., Poggio T.: On edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, t. 8, nr 2, s. 147-163.
- [9] Wang, J.M., Chung, Y.C., Chang, C.L., Chen, S.W.: Shadow detection and removal for traffic images. Proceedings of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, 2004, t. 1, s. 649-654.