

Automatyzacja inspekcji wizyjnej w obszarach zurbanizowanych

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Agata Chmielewska

Promotor: prof. dr hab. ing. Adam Dąbrowski

Promotor pomocniczy: dr ing. Tomasz Marciniak

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki
Instytut Automatyki i Robotyki
Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów

Poznań, 2018

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Standardowe metody inteligentnej analizy wideo	5
3. Przetwarzanie wstępne sekwencji wideo z CCTV	5
4. Poprawa efektywności procedur makro-biometrycznych.....	10
5. Analiza technik mikro-biometrycznych	14
6. Szybkie prototypowanie modułów inteligentnej analizy wideo	16
7. Podsumowanie i wnioski	17
8. Wybrane publikacje autora z podziałem na tematykę badawczą.....	18

Rozdział 1

Wstęp

Monitoring miejski wraz ze stosowaną w nim technologią CCTV (ang. closed circuit television) są w ciągłym rozwoju. Dzięki rozwojowi systemów obrazowania rośnie powszechność oraz rola systemów monitoringu w nadzorze i zarządzaniu miejską infrastrukturą. Jednak pomimo tego, większość systemów monitoringu nadal działa w standardzie analogowym i posiada małe rozdzielczości obrazów. Dodatkowo, systemy te wymagają manualnej obserwacji ekranów przez operatorów monitoringu. W związku z tym, niezbędna jest zatem automatyzacja tych systemów.

Istnieje szereg algorytmów wspierających przetwarzanie sekwencji wideo i detekcji zdarzeń. Algorytmy te ułatwiają i wspierają implementację tzw. „inteligentnego monitoringu”, lecz są często nieefektywne. Dlatego, w tej pracy doktorskiej, rozwijane są systemy monitoringu używane w przestrzeni miejskiej. Dzięki propozycjom rozwiązań, wzrasta skuteczność analizowanych algorytmów, a omawiane w pracy zagadnienia są istotne z praktycznego punktu widzenia.

Badania zawarte w pracy doktorskiej dotyczą automatyzacji inspekcji wizyjnej w monitoringu obszarów zurbanizowanych z uwzględnieniem zagadnień od makro do mikro biometrii. Głównym problemem systemów monitoringu zainstalowanych w przestrzeni zurbanizowanej jest ich niska efektywność w przypadku automatycznej analizy sekwencji wideo, a w szczególności, fałszywych alarmów podczas detekcji zdarzeń. Inne problemy są związane ze złą klasyfikacją obiektów ruchomych (na przykład na typy: „pieszy”, „pojazd”) lub nieprawidłowymi wynikami algorytmu w złej pogodzie.

Praca zawiera szereg innowacyjnych podejść do rozpoznawania sceny, m.in. do detekcji sytuacji zagrożeń bezpieczeństwa w obszarach miejskich. Opracowane metody mają na celu wspomaganie operatorów monitoringu w czasie rzeczywistym – mają zwrócić ich uwagę oraz poprawić wydajność pracy.

Praca doktorska dotyczy również badań nad precyzyjnym rozpoznawaniem osób na podstawie twarzy oraz tęczówki oka. Standardowe systemy weryfikacji osób na podstawie twarzy i jej elementów wymagają stosowania wyłącznie frontalnych zdjęć twarzy w pełnym, stałym oświetleniu. Autorka pracy zdecydowała się odejść od tego założenia. Zbadła i stwierdziła, że wykrycie i rozpoznawanie twarzy jest możliwe nawet w przypadku, gdy twarz jest zwrócona pod kątem w stosunku do kamery, jest słabo lub nierównomiernie oświetlona lub obszar twarzy w badanej ramce wideo zajmuje małą liczbę pikseli (tzw. *low-resolution*).

Implementacja wybranych algorytmów na procesorze sygnałowym (DSP – ang. *digital signal processor*), co również przeanalizowano w pracy, pozwoli na działanie systemu w trybie autonomicznym oraz przyczyni się do zwiększenia jego funkcjonalności przy braku konieczności wykorzystania jednostek typu PC. Autorka pracy zwraca uwagę na redukcję czasochłonności obliczeń bez utraty niezbędnych informacji i działanie modułów w czasie rzeczywistym.

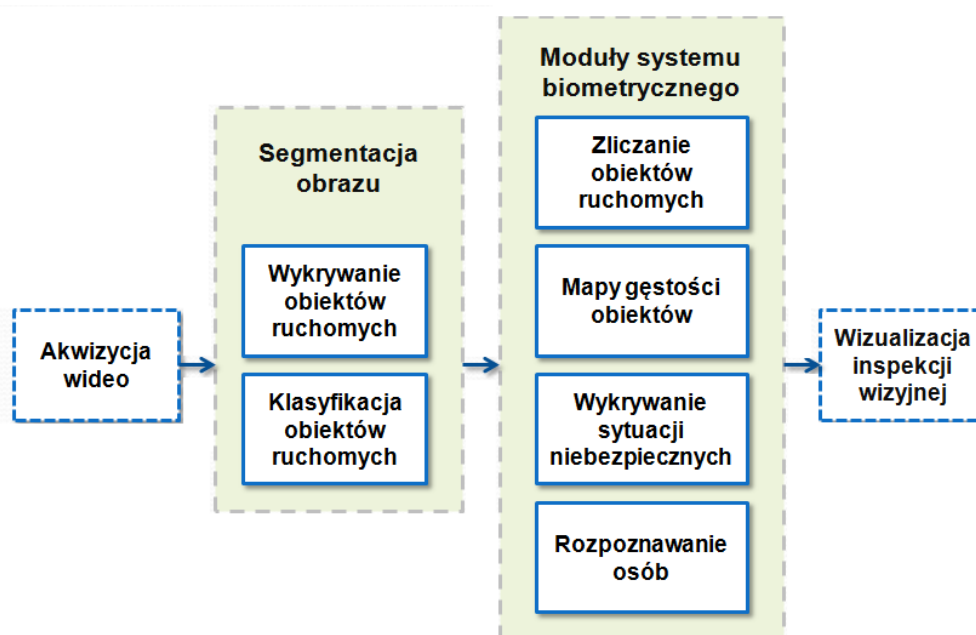
Praca została podzielona na 6 głównych części:

- wstęp - opis automatycznego, hierarchicznego systemu monitoringu wideo
- opis standardowych metod przetwarzania sekwencji wideo
- akwizycja wideo, detekcja i klasyfikacja obiektów ruchomych w scenie
- inteligentna makro biometria – generacja map gęstości poruszania się osób, zliczanie osób, wykrywanie sytuacji niebezpiecznych
- mikro biometria – detekcja i rozpoznawanie twarzy i tęczy oka
- implementacja wybranych algorytmów z użyciem procesora sygnałowego.

Motyacją w pracy było stworzenie modeli działających w czasie rzeczywistym, np. modelu wykrywającego obiekty ruchome, modelu klasyfikującego obiekty, modelu zliczającego obiekty, itp. (Rys. 1). Celem naukowym pracy jest stworzenie nowych, jak i poprawa istniejących algorytmów przetwarzających sekwencje wideo, w celu wykrycia zdarzeń w środowisku zurbanizowanym.

Celem pracy jest stworzenie efektywnych metod automatycznej analizy wideo w celu analizy obiektów ruchomych w obszarach zurbanizowanych. Celem pracy jest również dobór elementów systemu służących do szybkiego prototypowania.

Teza pracy brzmi następująco: „stworzone i eksperymentalnie przetestowane metody inteligentnej analizy wideo przyczyniają się do zwiększenia efektywności monitoringu w obszarach zurbanizowanych”.



Rys. 1. Problem badawczy – wyodrębnione zagadnienia

Rozdział 2

Standardowe metody inteligentnej analizy wideo

Opisane w pracy doktorskiej metody inteligentnej analizy wideo dotyczą bezpośrednio zagadnień zawartych w rozprawie doktorskiej. Są to:

- techniki detekcji obiektów ruchomych: odejmowanie od tła, odejmowanie od siebie następujących po sobie klatek wideo, metoda Optical Flow, metoda Gaussian mixture model (GMM);
- zagadnienia klasyfikacji obiektów ruchomych:
 - klasyfikacja obiektów na typy „pieszy” oraz „pojazd”; metody: współczynnik Fereta, metoda SVM (ang. support vector machines);
 - klasyfikacja obiektów w celu estymacji liczby osób w pojedynczym obiekcie binarnym typu BLOB; metody: klasyfikator Bayesa, analiza histogramu;
- metody generacji map gęstości oparte na czasie oraz oparte na obserwacji indeksów obiektów ruchomych;
- rozwiązania dotyczące zliczania osób; rozwiązania są wylistowane w zależności od typu i lokalizacji kamery w obserwowanej przestrzeni;
- analiza modeli zagrożeń bezpieczeństwa; w pracy opisane są różne przykłady algorytmów, które również są wylistowane w zależności od lokalizacji kamery i obserwowanej przestrzeni;
- techniki mikro-biometryczne:
 - detekcja i rozpoznawanie twarzy; metody detekcji: za pomocą filtru koloru skóry, za pomocą modeli geometrycznych, za pomocą cech Haar’a; metody rozpoznawania: PCA (ang. principal komponent analysis), LBP (ang. local binary pattern), ICA (ang. independent komponent analysis);
 - detekcja i rozpoznawanie tęczówki oka; metody: Booles’a, Wildes’a, Daugman’a;
- metody szybkiego prototypowania algorytmów; prototypowanie przy użyciu środowiska Matlab/Simulink w połączeniu z Code Composer Studio, prototypowanie przy użyciu LabVIEW oraz National Instruments Vision Builder for Automated Inspection.

Rozdział 3

Przetwarzanie wstępne sekwencji wideo z CCTV

Rozdział przetwarzania wstępnego zawiera zagadnienia detekcji i klasyfikacji obiektów ruchomych z sekwencji wideo. Rozdział ten przedstawia ważne cechy omawianych modeli, dla przykładu: możliwość działania programu przetwarzającego sekwencję wideo w warunkach zewnętrznych. Poza detekcją obiektów ruchomych w scenie, omówione zostały także zagadnienia klasyfikacji.

Pierwszy typ klasyfikacji dzieli obiekty na „pieszych” i „pojazdy”. Drugi typ klasyfikacji, przewiduje liczbę osób w pojedynczym obiekcie binarnym w przypadku, gdy osoby idą blisko siebie.

Pierwszy etap przetwarzania sekwencji wideo to obserwacja i detekcja obiektów ruchomych w scenie. Czasami, np. podczas obserwacji sceny, sama detekcja jest wystarczająca, na przykład, dla algorytmu, który wykrywa wejście osoby w strefę zakazaną.

W rozprawie doktorskiej zawarta jest szczegółowa analiza metod detekcji obiektów ruchomych oraz badanie ilościowych zależności pomiędzy jakością detekcji, a parametrami obrazu związanymi np. ze zmianą oświetlenia, warunkami pogodowymi, itp.

W wyniku szczegółowej analizy metod detekcji obiektów ruchomych została wyłoniona metoda GMM, która daje najlepsze wyniki i jest bardziej odporna na zmiany warunków oświetlenia i pogody, np. w porównaniu z detekcją obiektów ruchomych z odejmowaniem tła.

Poza wyborem metody wykrywania obiektów ruchomych, równie istotny jest dobór odpowiednich parametrów modelu. Parametry omawianego modelu, zostały przedstawione na Rys. 2. W wyniku badań eksperymentalnych zostały dobrane wszystkie parametry modelu, by umożliwić najdokładniejsze wykrycie obiektów ruchomych w warunkach zewnętrznych.

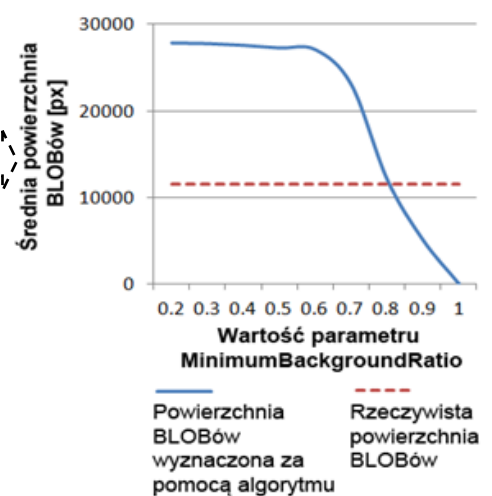
Podczas badań została zweryfikowana precyzja działania algorytmu przy użyciu 2,6 tys. obiektów binarnych. Do wykrytych obiektów zostały przypisywane wagi od 1 do 5. Waga nr „1” oznaczała bardzo małą, a waga nr „5” oznaczała bardzo wysoką precyzję detekcji. Przykłady nadawania wag znajdują się na Rys. 3.

Z przeprowadzonych badań, wynika, że 71,15 % obiektów ruchomych zostało ocenionych z wagą: „dobra (4)” i „bardzo dobra (5)” jakość detekcji. Około 22,39 % obiektów ruchomych, zostało ocenionych jako „średnia (3)” jakość detekcji. Natomiast 6,49 % zostało ocenionych jako „niska (2)” i „bardzo niska (1)” jakość detekcji. Niemniej jednak, zaznaczyć trzeba, że wyłącznie jeden obiekt nie był w ogóle wykryty w scenie, co świadczy o wysokiej skuteczności działania algorytmu GMM.

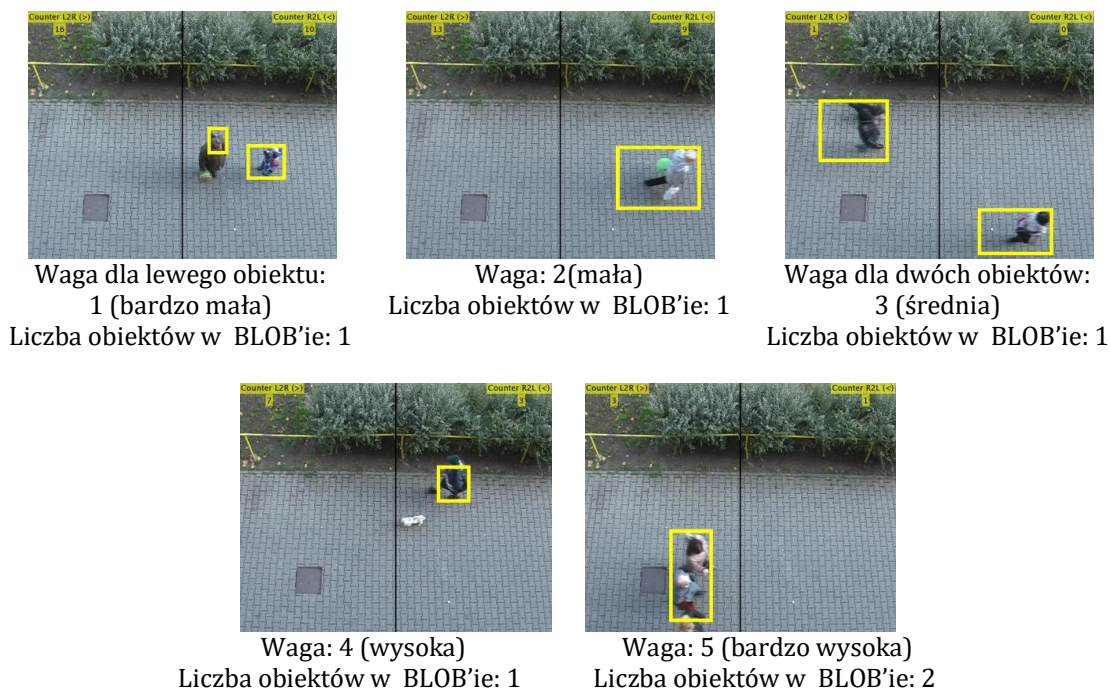
Modyfikacje parametrów wykrycia obiektów ruchomych [1] - metoda mieszanin Gaussa

Moduły modelu	Parametry modelu	Typowo	Modyfikacje
obiekt: vision Foreground Detector	NumTrainingFrames [ramki] MinimumBackground Ratio	40 0,7	10 0,87
obiekt: visionBlob Analysis	MinimumBlobArea [px] MaximumBlobArea [px] Connectivity ExcludeBorderBlobs	400 - - false	1000 100000 8 false
funkcja: detect Object	Imopen ('rectangle', u) [px] Imclose ('rectangle', v) [px]	[u, u] = [3, 3] [v, v] = [15, 15]	[u, u] = [3, 3] [v, v] = [9, 9]

Dobór parametru estymacji obiektów ruchomych Minimum Background Ratio



Rys. 2. Modyfikacje parametrów wykrycia obiektów ruchomych za pomocą metody mieszanin Gaussa



Rys. 3. Przykłady przypisania wag dla poszczególnych obiektów ruchomych wykrytych w scenie

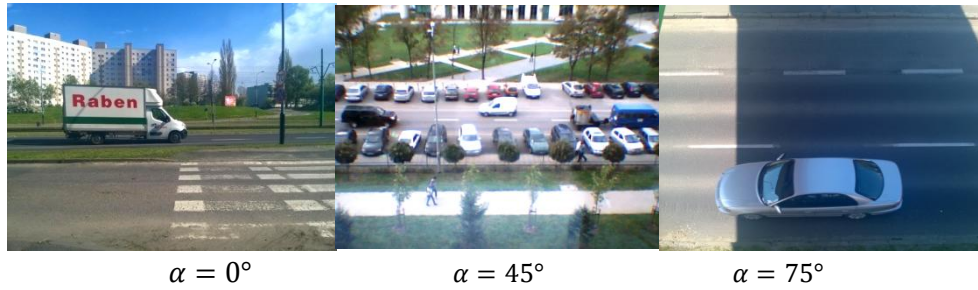
Następnym etapem automatycznej obserwacji obiektów w sekwencji wideo, jest operacja klasyfikacji obiektów. Wykrycie obiektów ruchomych w scenie i ich klasyfikacja na typy jest niezwykle ważna – dzięki klasyfikacji istnieje możliwość automatycznego rozróżnienia rodzajów obiektów ruchomych, np. odróżnienia samochodu od pieszego. Taka klasyfikacja może zostać użyta w przypadku, gdy chcemy wiedzieć, jaki typ obiektu obserwujemy w sposób automatyczny (typy: „pieszy”, „pojazd”).

W opisywanej rozprawie doktorskiej, zostały przedstawione dwa typy klasyfikacji. Opracowane zostały relatywnie proste, ale skuteczne rozwiązania klasyfikacji wybranych obiektów ruchomych. Dodatkowo, proste metody są użyteczne w przypadku założenia, że sekwencja wideo ma być przetwarzana w czasie rzeczywistym - w szczególności jest to użyteczne w systemach wbudowanych, gdzie procesor taktuje z wolniejszą częstotliwością, niż standardowy komputer typu PC.

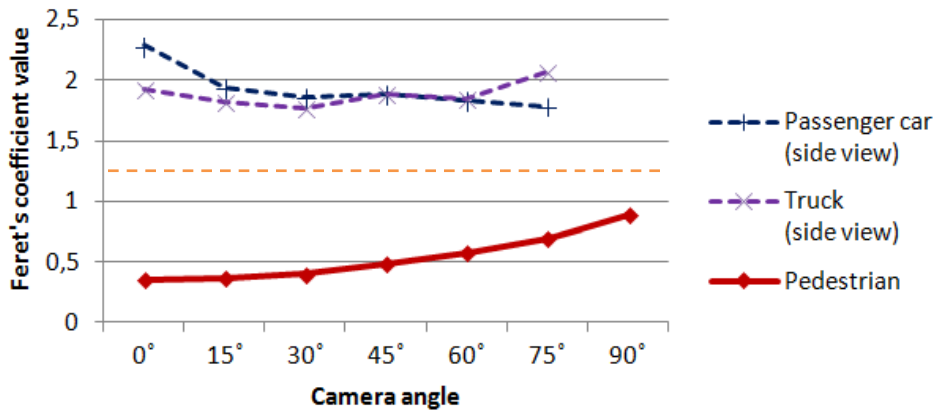
Pierwszy typ klasyfikacji, to podział obiektów ruchomych na typy „pieszy” „pojazd”. Drugi typ klasyfikacji, to klasyfikacja pozwalająca na estymację liczby osób w pojedynczym obiekcie typu BLOB. Drugi typ klasyfikacji jest niezwykle istotny w momencie, gdy osoby idą blisko siebie i tworzą jeden wspólny obiekt na obrazie binarnym.

W pracy zaproponowano podział obiektów na „pieszy” i „pojazd” za pomocą współczynnika Fereta. Podczas rozważań nad progiem klasyfikacji wzięto pod uwagę kąt widzenia kamery w stosunku do podłoża oraz jej lokalizację. Przykład z widokiem sceny umieszczono na Rys. 4.

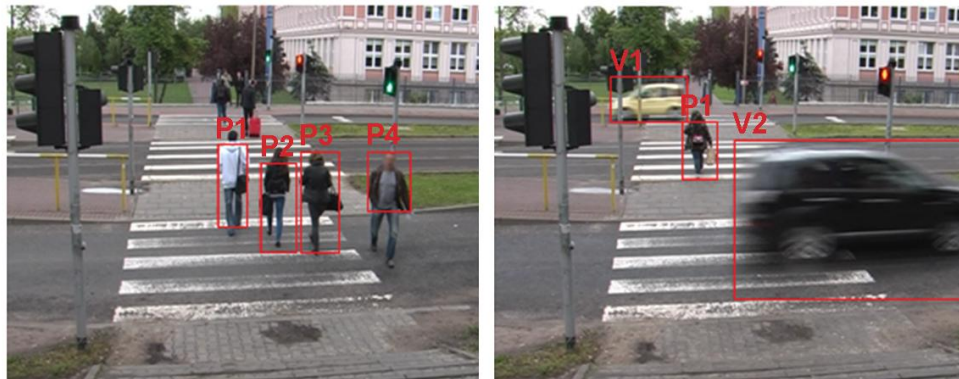
Przykładowo, jeśli kamera jest ustawiona prostopadłe do drogi i obiekty w scenie widziane są od boku, nie ma najmniejszego problemu, by sklasyfikować obiekt na typ „pieszy” „pojazd”. Jak widać na Rys. 5, który przedstawia wykres współczynników Fereta (w zależności od kąta umieszczenia kamery biorąc pod uwagę typ obiektu), możemy bez większego problemu wyznaczyć próg działania klasyfikatora. Przykład klasyfikacji obiektów na typy, umieszczono na Rys. 6. Więcej rozważań na ten temat można znaleźć w tekście rozprawy.



Rys. 4. Wizualizacja kąta umieszczenia kamery w stosunku do podłoża, sytuacji, gdy kamera umieszczona jest prostopadle do drogi



Rys. 5. Wykres ze współczynnikami Fereta dla danego typu obiektu w zależności od kąta umieszczenia kamery w stosunku do podłoża



P1=0.35
P2=0.41
P3=0.39
P4=0.71

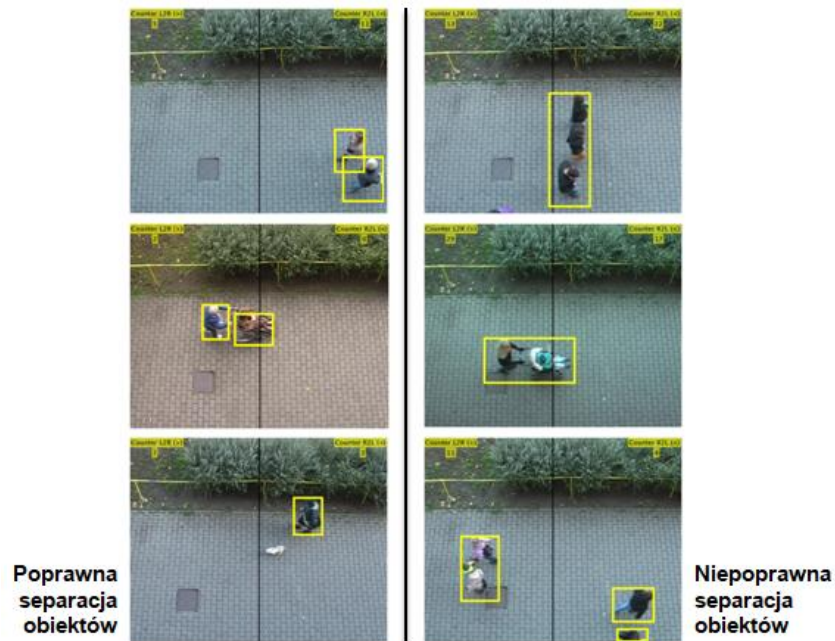
V1=1.67
P1=0.59
V2=1.44

Rys. 6. Klasyfikacja ruchomych obiektów na typy („P” – osoba; „V - pojazd”)

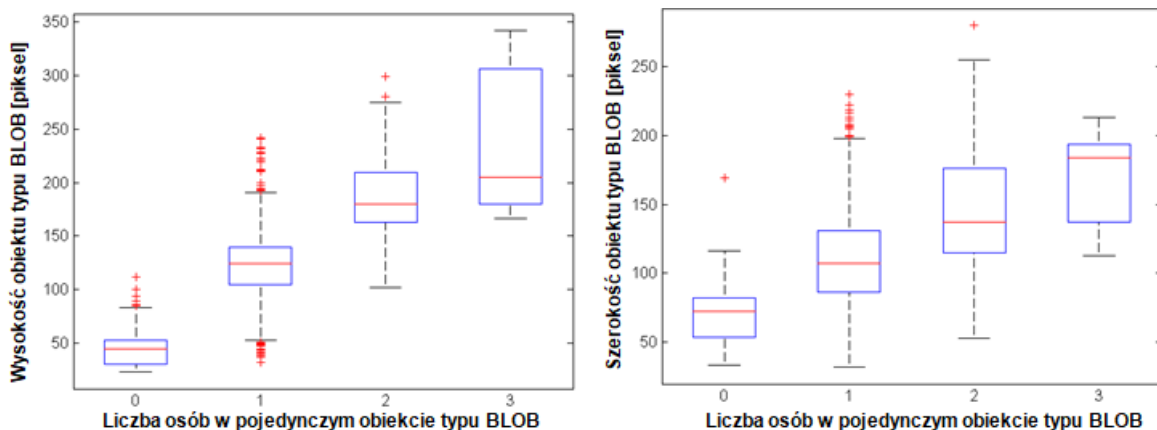
Drugi typ klasyfikacji przedstawiony w rozprawie doktorskiej to estymacja liczby osób w pojedynczym obiekcie na obrazie binarnym, w przypadku, gdy osoby znajdują się blisko siebie – przykłady na Rys. 7. Jest niezwykle istotne, by na obrazie, oddzielać obiekty od siebie –

w szczególności gdy wyniki detekcji obiektów ruchomych, chcemy wykorzystać na przykład do zadania precyzyjnego zliczania osób. Z badań przeprowadzonych w rozprawie wynika, że sytuacja, gdy obiekty są połączone na obrazie binarnym (dwa lub więcej obiektów w BLOBie), to 13% wszystkich wykrytych obiektów ruchomych.

Z powyższych przyczyn, w pracy doktorskiej, został wykonany model, który estymuje liczbę osób w pojedynczym obiekcie typu BLOB. 2,5 tys. obiektów zostało ocenionych i użytych w celu wykonania treningu klasyfikatora. Wysokość, szerokość i pole powierzchni BLOB'a zostało wyciągniętych z sekwencji wideo (obraz binarny). Wyniki tej analizy przedstawiono w rozprawie doktorskiej. W streszczeniu, dla przykładu, podano rozkład wysokości i szerokości BLOB'a w zależności od liczby osób w pojedynczym obiekcie typu BLOB (Rys. 8).



Rys. 7. Przykłady prawidłowego i nieprawidłowego wykrycia obiektów ruchomych za pomocą zoptymalizowanego algorytmu GMM; wykrywane obiekty są zaznaczone przy użyciu żółtego prostokąta



Rys. 8. Wysokość i szerokość obiektu typu BLOB w zależności od liczby osób, które się w nim znajdują

Jak widać na Rys. 8 cechy fizyczne obiektów binarnych na obrazie, takie jak wysokość i szerokość, nie rosną liniowo wraz z liczbą osób w obiekcie typu BLOB. Dane pomiędzy klasami nachodzą na siebie i trudno jest przewidzieć liczbę osób w obiekcie typu BLOB w sposób liniowy.

W celu prawidłowej klasyfikacji został użyty klasyfikator Bayes'a. Najlepsze wyniki klasyfikacji otrzymano dla cech: szerokość i wysokość – 66% testu. Z tego względu wykorzystano wspomniane cechy do treningu klasyfikatora. Wszystkie wyniki przedstawiono w Tab. 1.

Poza doborem samego klasyfikatora oraz jego parametrów wejściowych, dostosowano również jego parametry działania. Szczegółowe wyniki przedstawiono i opisano w rozprawie doktorskiej.

Metody przetwarzania wstępnego opisane w tym rozdziale, są używane w dalszych etapach pracy. Na przykład, klasyfikator, który rozdziela obiekty ruchome w scenie na typy „pieszy” oraz „pojazd”, jest użyty podczas generowania map gęstości poruszania się osób, a klasyfikator estymujący liczbę osób w BLOB'ie jest użyty w zadaniu precyzyjnego, dwukierunkowego zliczania obiektów.

Tabela. 1. Precyzja klasyfikatora Bayes'a dla poszczególnych cech obiektu typu BLOB, gdzie: A. szerokość i powierzchnia BLOB'a; B. – wysokość i powierzchnia BLOB'a; C. szerokość i wysokość BLOB'a; D. – szerokość, wysokość i powierzchnia BLOB'a

		Cechy BLOBa			
		A.	B.	C.	D.
Korelacja:		0,8	0,84	0,55	-
Sekwencja wideo (nazwa – czas rozpoczęcia nagrania, czas trwania – 1h)					
Trening	Test				
13:00	14:00	85,74	92,51	92,16	91,09
14:00	15:00	77,02	82,93	84,01	83,06
15:00	16:00	69,47	71,18	71,53	66,72
16:00	13:00	72,91	88,76	76,80	77,52
13:00, 14:00	15:00, 16:00	76,11	81,31	82,06	81,69
14:00, 15:00	16:00, 13:00	78,86	79,56	82,54	78,86
15:00, 16:00	13:00, 14:00	75,54	90,44	86,06	82,79
16:00, 13:00	14:00, 15:00	83,49	88,35	89,73	86,90
13:00, 14:00, 15:00	16:00	83,45	72,21	74,61	71,87
14:00, 15:00, 16:00	13:00	81,84	88,90	89,63	86,02
15:00, 16:00, 13:00	14:00	84,14	91,62	92,16	87,89
16:00, 13:00, 14:00	15:00	80,24	85,48	87,10	84,27

Rozdział 4

Poprawa efektywności procedur makro-biometrycznych

Rozdział zawiera moduły biometryczne, które pomagają w analizie zawartości sekwencji wideo. W rozprawie doktorskiej istnieje podział biometrii na dwa terminy „makro-biometria” i „mikro-biometria”.

Koncept „mikro-biometrii” dotyczy precyzyjnych technik analizy struktury ciała człowieka, np. twarzy, dłoni, odcisków palca, tęczęwki lub OCT (ang. optical coherent tomography). Cechy te są używane do celów detekcji i rozpoznawania ludzi.

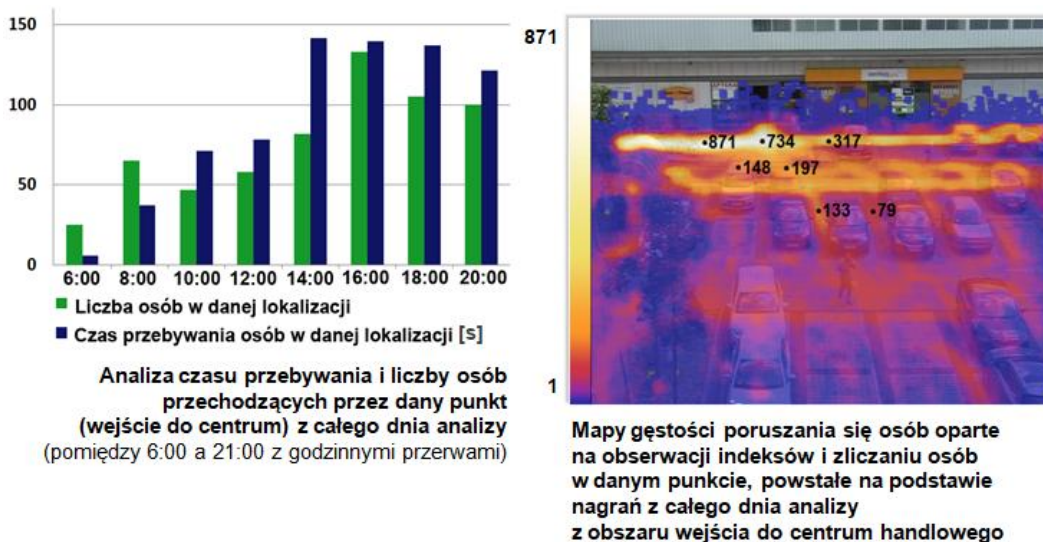
Koncept „makro-biometrii”, z drugiej strony, dotyczy użycia CCTV do monitorowania obszarów, które mają dużą gęstość populacji. Wspomniane obszary, np. parkingi, publiczne budynki, szkoły, stacje kolejowe, centra handlowe, itp., są obserwowane i możliwe jest wykrycie zdarzenia powodującego potencjalne zagrożenie bezpieczeństwa. W tym przypadku niezwykle istotne jest wykrywanie samego zdarzenia, jak i odpowiednia reakcja na nie.

W poniższym rozdziale streszczone są następujące modele makro-biometryczne:

- generacja map gęstości poruszania się ludzi – jest to analiza liczby osób, które przeszły przez dany punkt w przestrzeni lub analiza, przez jaki czas osoby przebywały w danym punkcie przestrzeni;
- precyzyjne, dwukierunkowe zliczanie obiektów;
- detekcja zagrożeń w środowisku zurbanizowanym.

Wszystkie wymienione powyżej modele, działają w warunkach zewnętrznych, w których występuje zmienność warunków pogodowych i oświetlenia.

Po etapie klasyfikacji na typy „pieszy” oraz „pojazd”, wykryte cechy obiektów ruchomych (np. „pieszych”) mogą zostać wykorzystane do stworzenia map gęstości poruszania się osób. Jako, że większość przestrzeni zurbanizowanych jest wyposażona w kamery, naturalnym wydaje się wykorzystanie sygnału wizyjnego do generacji map gęstości (Rys. 9), w przeciwieństwie do manualnego zliczania ludzi w danym miejscu. Dodatkowo, mapy takie mogą być używane do obserwacji ludzi w wąskich i jednocześnie niebezpiecznych przejściach, mogą być używane do efektywnego i bezpiecznego zarządzania przestrzenią, czy mogą analizować obciążenie krytycznych odcinków komunikacyjnych.



Rys. 9. Analiza czasu przebywania osób w danym punkcie oraz liczba osób przechodzących przez dany punkt

Dodatkowo, podczas badań nad generacją map gęstości wykorzystano normalizację i transformację rzutową oraz oceniono korelację pomiędzy wybranymi parametrami przestrzennymi obrazu. Opracowane metody przyczyniły się do znacznej poprawy jakości wizualizacji map gęstości poruszających się osób.

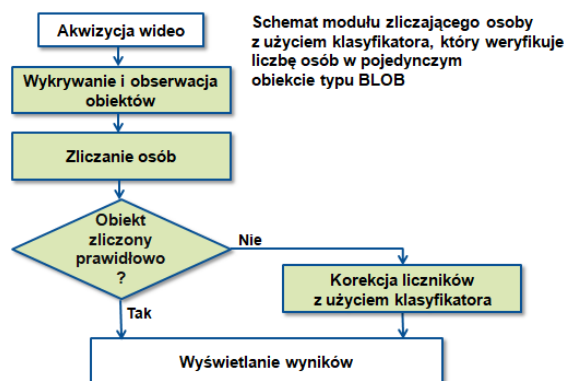
Poza generacją map gęstości występowania ludzi, indywidualne osoby mogą być zliczane (Rys. 10). Dokładność i precyzja zliczania są niezwykle istotne, w szczególności w przypadku, gdy dwie osoby idą obok siebie i są traktowane przez algorytm jako jeden obiekt. W takich przypadkach wymagane jest dodatkowy moduł w algorytmie zliczania. W rozprawie doktorskiej zaproponowano wspomniany moduł - klasyfikator, który oszacuje liczbę osób w pojedynczym BLOB'ie w przypadku, gdy osoby idą blisko siebie i tworzą pojedynczy obiekt na obrazie binarnym.

Model precyzyjnego zliczania został wyposażony w efektywną metodę szacowania liczby osób wykrywanych w pojedynczym obiekcie typu BLOB. W przypadkach, w których zarejestrowane osoby znajdują się blisko siebie, wprowadzana jest korekta do algorytmu zliczającego ludzi poruszających się w dwóch kierunkach. Dodatkowo, w systemie został wykorzystany zoptymalizowany model wykrywania obiektów ruchomych w scenie. Uproszczony schemat blokowy algorytmu zliczającego osoby, przedstawiono na Rys. 11.

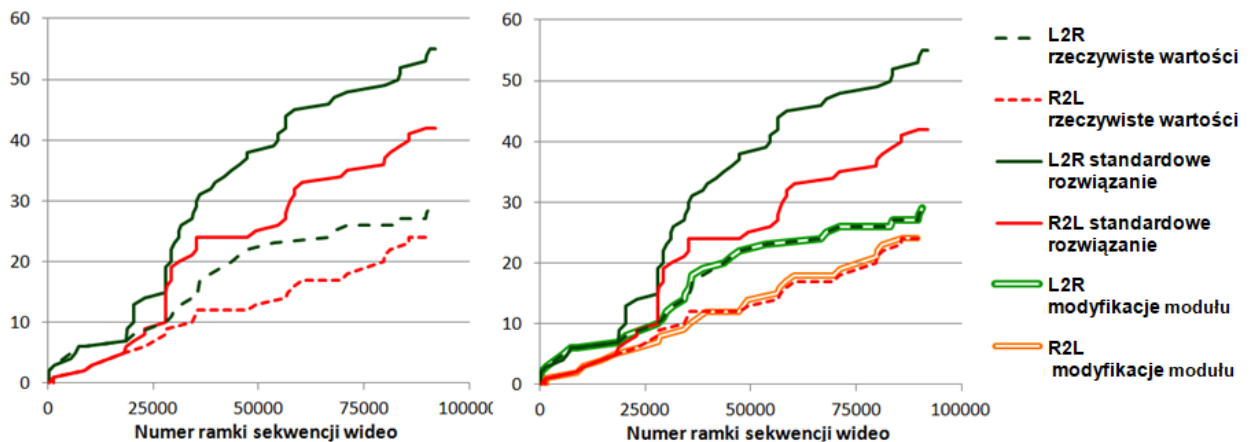
W trakcie badań, przeprowadzono testy efektywności zaproponowanego rozwiązania zliczającego osoby z uwzględnieniem klasyfikatora, jak i bez klasyfikatora. Wyniki zliczania przedstawiono na Rys. 12. Jak widać na Rys. 12, optymalizacja poszczególnych modułów wpłynęła bardzo pozytywnie na efektywność zliczania, która jest zbliżona do wyników zliczania wykonanych w sposób manualny (wyniki rzeczywiste). Szczegółowy opis modelu, wraz z opisem optymalizacji, znajduje się w rozprawie doktorskiej.



Rys. 10. Lokalizacja kamery w systemie dwukierunkowego zliczania osób



Rys. 11. Schemat blokowy algorytmu zliczającego osoby; moduły, które zostały poddane optymalizacji zaznaczono na schemacie kolorem zielonym



Rys. 12. Wartości poszczególnych liczników (rzeczywiste, bez ulepszenia, po ulepszeniu) dla poszczególnych ramek wideo na podstawie analizy nagrania o długości 1h, gdzie:
 L2R – liczba osób przechodzących ze strony lewej na prawą;
 R2L – liczba osób przechodzących ze strony prawej na lewą

Każdego roku, w przestrzeni zurbanizowanej, zdarza się wiele wypadków i wiele osób traci swoje życia, lub jest rannych. Problemem jest ostrzeżenie przed zagrożeniami w sytuacjach takich jak na przykład przebieganie ludzi przez ulicę na czerwonym świetle. Innymi przykładami algorytmów wykrywających sytuacje zagrożenia są: detekcja ognia, zniszczenia mienia publicznego, wykrywanie porzuconych obiektów na lotnisku, czy wtargnięcie w strefę zakazaną.

Algorytmy wykrywające sytuacje zagrożenia powinny być używane w systemach CCTV zależnie od możliwości zaistnienia danej sytuacji, oraz w zależności od lokalizacji kamery. W chwili obecnej, nie ma uniwersalnych algorytmów, które mogłyby być używane do wykrywania wszystkich zagrożeń we wszystkich dostępnych lokalizacjach. Ważne jest zatem podkreślenie, że wybór algorytmu powinien ściśle zależeć od lokalizacji kamery i typu/miejsca obserwowanej sceny.

Automatyczna detekcja sytuacji zagrożeń bezpieczeństwa jest również potrzebna do podniesienia koncentracji operatora monitoringu. Systemy tego typu podnoszą (za pomocą oznaczeń graficznych) koncentrację operatora monitoringu, który po 20 minutach monotonnego patrzenia w ekrany monitorów, staje się zmęczony i traci swoją uwagę.

W opisywanej rozprawie doktorskiej został stworzony model wykrywania osób na przejściu dla pieszych w sytuacji, kiedy jest zapalone dla nich czerwone światło. Wysoka skuteczność zaproponowanego rozwiązania została oceniona ilościowo, poprzez wskazanie efektywności algorytmu (94%). Zobrazowane przykłady detekcji zdarzeń niebezpiecznych umieszczono w tekście rozprawy.

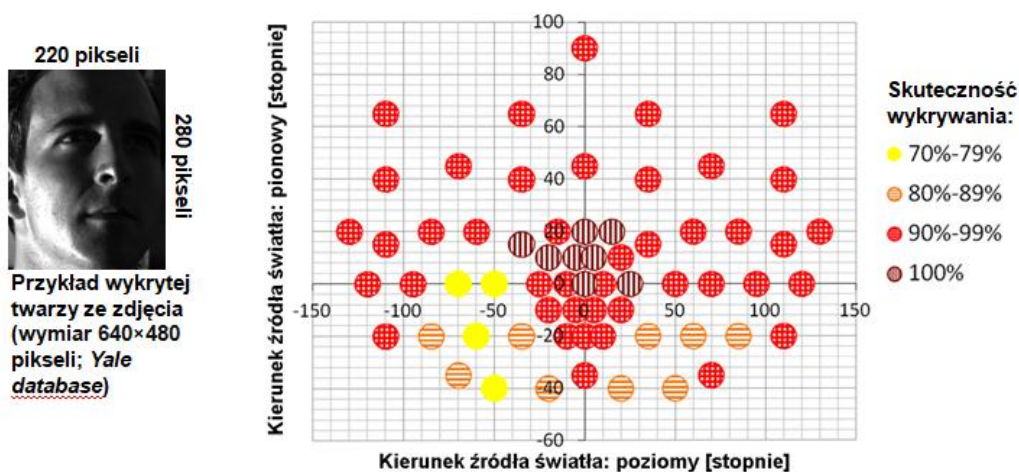
Analiza technik mikro-biometrycznych

W przypadku, gdy system wykrywa sytuację zagrożenia, powinien również rozpoznawać osobę, która tą sytuację powoduje. To zagadnienie może być zrealizowane przy użyciu systemu CCTV oraz przy użyciu modeli wykrywania i rozpoznawania twarzy. Jak pokazują badania zawarte w rozprawie doktorskiej, twarze chuliganów powodujących sytuacje zagrożenia, mogą być rozpoznane nawet w przypadku, gdy twarz jest częściowo zakryta za pomocą szalika, lub czapki.

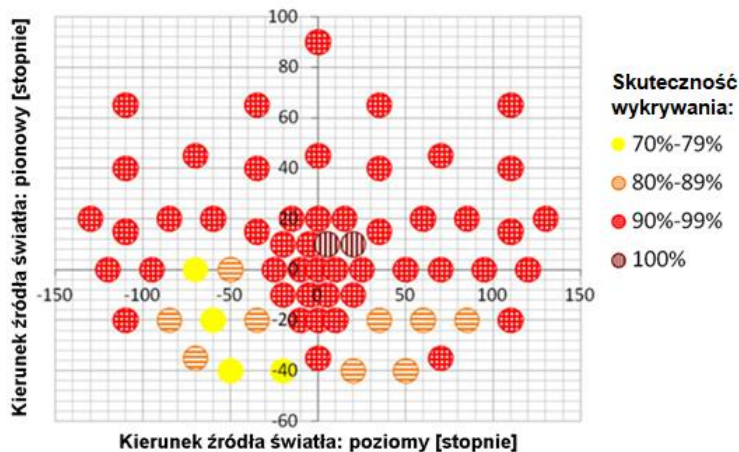
W poniższym rozdziale opisana została możliwość wykrycia osoby za pomocą systemu monitoringu, zamiast tradycyjnego systemu biometrycznego służącego do rozpoznawania twarzy. Badania skuteczności algorytmu detekcji i rozpoznawania twarzy przeprowadzono dla różnych warunków oświetlenia oraz lokalizacji osoby stosunku do kamery. Dodatkowo, pozycja twarzy w stosunku do systemu pobierającego obraz była zmienna. Zbadano również wpływ ograniczonej rozdzielczości obrazu na skuteczność detekcji i rozpoznawania osób. Ograniczona rozdzielczość twarzy na zdjęciu wynika z akwizycji obrazu z dużej odległości.

Wyniki tych badań (zmiennie oświetlenie, zmienna pozycja twarzy, niska rozdzielczość) znajdują praktyczne zastosowanie przy projektowaniu systemów identyfikacji lub uwierzytelniania osób na podstawie obrazu twarzy, ponieważ określają warunki brzegowe poprawnego działania (mierzonego odpowiednimi wskaźnikami ilościowymi) analizowanych algorytmów. Pokazano graniczne parametry, przy których rozpoznawanie może być zadowalające. Są to wyniki o dużej wartości praktycznej.

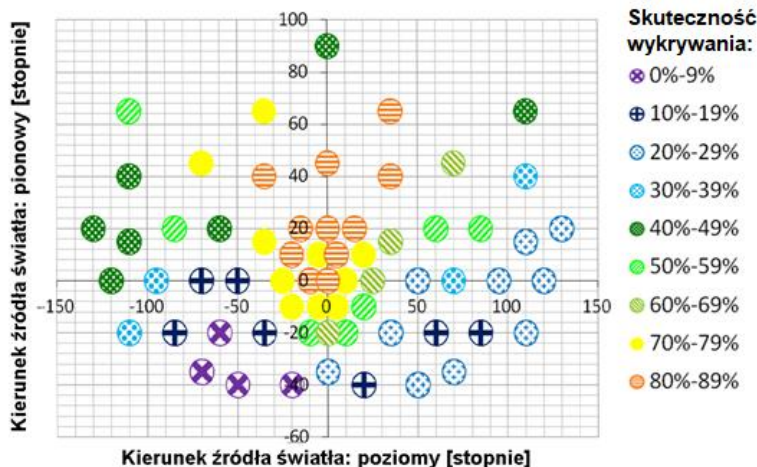
W niniejszym streszczeniu, dla przykładu pokazano jak zmienia się skuteczność detekcji twarzy na zdjęciu przy różnych kątach oświetlenia twarzy (Rys. 13-15). W tekście rozprawy doktorskiej, dodatkowo przeprowadzono badania nad detekcją i rozpoznawaniem twarzy przypadku, gdy twarz nie jest skierowana prostopadle do kamery.



Rys. 13. Wykrywanie twarzy nierównomiernie oświetlonej ze zdjęć o niskiej rozdzielczości (220×280 pikseli)

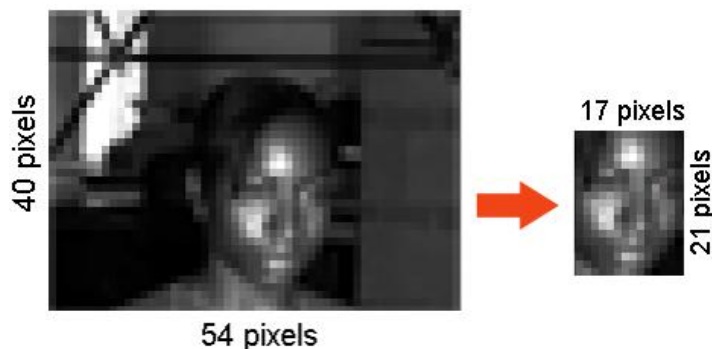


Rys. 14. Wykrywanie twarzy nierównomiernie oświetlonej ze zdjęć o niskiej rozdzielczości (114×141 pikseli)



Rys. 15. Wykrywanie twarzy nierównomiernie oświetlonej ze zdjęć o niskiej rozdzielczości (17×21 pikseli)

Ważne jest, by zwrócić uwagę na fakt, jakie są warunki graniczne detekcji i rozpoznawania twarzy pod kątem rozdzielczości zdjęcia i rozdzielczości samej twarzy na zdjęciu. Badania wykazały, że detekcja i rozpoznawanie twarzy jest możliwe np. dla zdjęcia o wymiarach 54×40 pikseli, gdzie sama twarz na zdjęciu, ma wymiary 17×21 pikseli. Przykład pokazano na Rys. 16.



Rys. 16. Przykład detekcji twarzy ze zdjęcia o niskiej rozdzielczości (zdjęcie pochodzi z bazy „Yale database”)

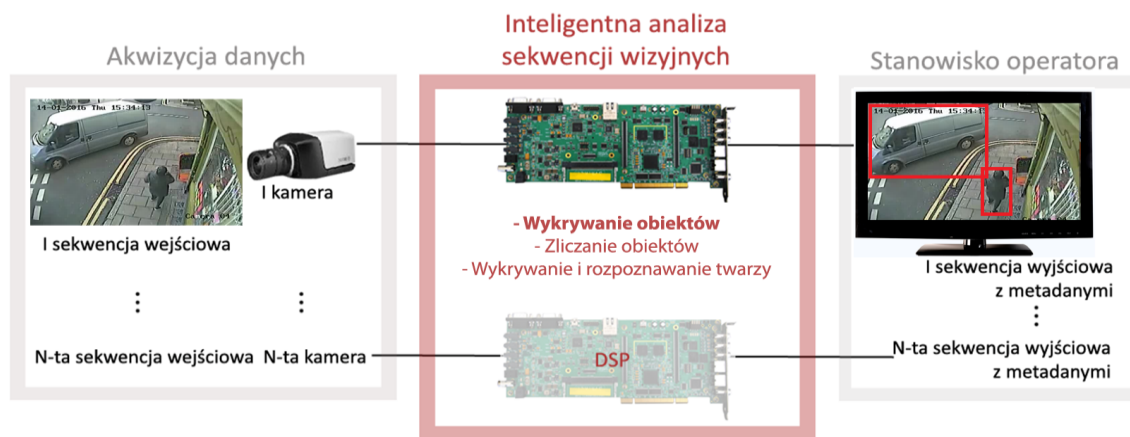
Dla opracowanych algorytmów określono również warunki ich poprawnego działania, podając wymagania dotyczące lokalizacji kamery oraz parametrów rejestrowanych sekwencji wideo. Algorytmy te mają istotne praktyczne znaczenie z punktu widzenia ich zastosowania w systemie monitoringu miejskiego.

Poza detekcją i rozpoznawaniem na podstawie zdjęcia twarzy, opisywana rozprawa doktorska zawiera również dobór algorytmów i parametrów detekcji i rozpoznawania osób na podstawie zdjęcia tęczówki oka. Sprawdzana jest również czasochłonność obliczeń poszczególnych etapów analizy pod kątem możliwości działania w czasie rzeczywistym.

Rozdział 6

Szybkie prototypowanie modułów inteligentnej analizy wideo

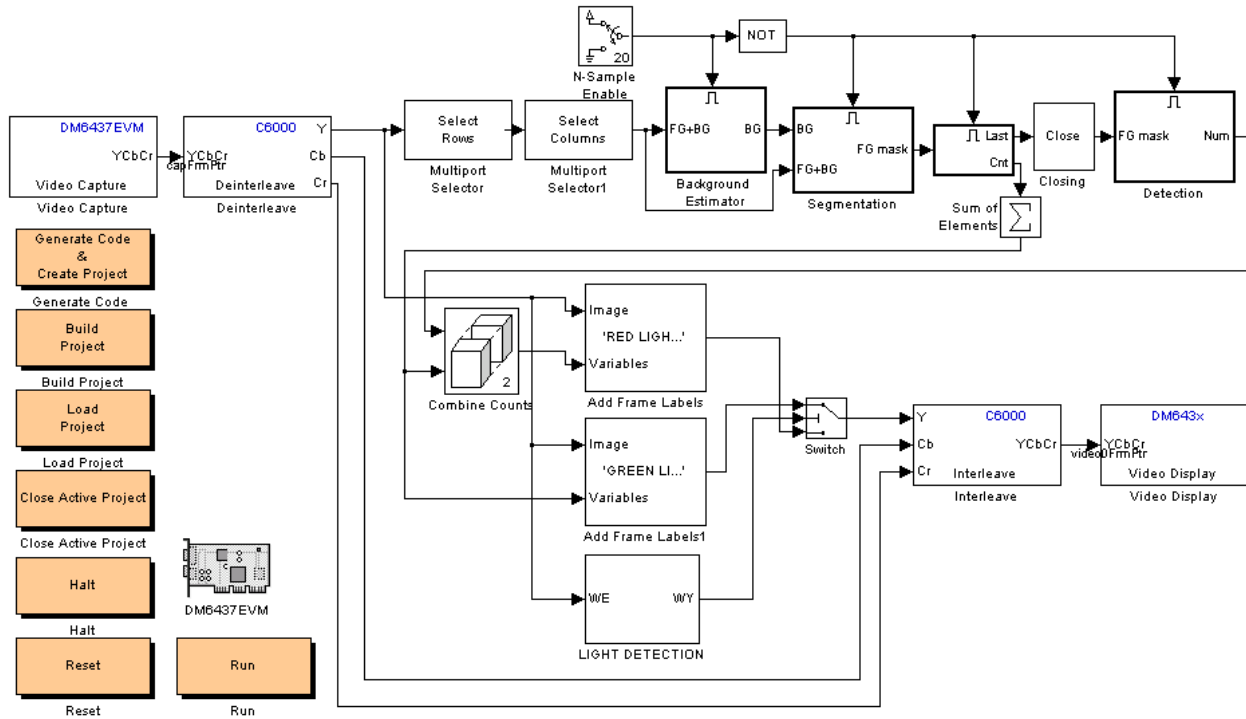
W ostatnim rozdziale pracy doktorskiej przedstawiono możliwości ewaluacji algorytmów w czasie rzeczywistym na procesorze sygnałowym. Po lewej stronie Rys. 17 przedstawiono akwizycję obrazu z kamery. W następnym etapie wykonywana jest inteligentna analiza sekwencji wideo (ang. intelligent video analysis) przy użyciu procesora sygnałowego (DSP). Wyjściem systemu jest ta sama sekwencja wideo z dodatkowymi meta danymi. Wprowadzone w sekwencję wideo meta dane skupiają uwagę operatora monitoringu (ang. monitoring operator) poprzez informacje graficzne, np. poprzez otoczenie czerwonym prostokątem obiektów ruchomych (Rys. 17).



Rys. 17. Schemat systemu inteligentnej analizy wideo przy użyciu procesora sygnałowego

Na praktyczne zastosowanie wybranych algorytmów rozpoznawania zagrożeń wskazuje fakt, że w pracy doktorskiej rozpatrzone zostały takie parametry, jak jakość i szybkość rozpoznawania oraz jakość (rozdzielczość) analizowanego obrazu pochodzącego bezpośrednio z kamery.

Rozdział opisuje zagadnienie szybkiego prototypowania za pomocą środowiska Matlab/Simulink (hardware: TMS320DM6437; Texas Instruments) oraz NI Vision Builder AI (hardware: Smart Camera NI 1742; National Instruments). W pracy przedstawiona jest jedna realizacja algorytmu wykrywającego sytuacje niebezpieczne w przestrzeni miejskiej za pomocą dwóch wspomnianych środowisk na dwóch różnych systemach wbudowanych. W niniejszym streszczeniu, dla przykładu, na Rys. 18 pokazano model detekcji osób na przejściu dla pieszych podczas zapalonego czerwonego światła, który zrealizowany jest w środowisku Matlab/Simulink przy użyciu TMS320DM6437 firmy Texas Instruments. Dokładny opis modelu znajduje się w rozprawie doktorskiej.



Rys. 18. Model detekcji osób na przejściu dla pieszych podczas zapalonego czerwonego światła (środowisko Matlab/Simulink; TMS320DM6437)

Rozdział 7

Podsumowanie i wnioski

Opisywana rozprawa doktorska miała na celu poprawę modeli inteligentnej analizy sekwencji wideo używanych w monitoringu w obszarach zurbanizowanych. Badania były skupione wokół algorytmów przetwarzania sekwencji wideo wspierających np. detekcję obiektów ruchomych, czy analizę cech biometrycznych.

Podczas badań powstał wielozadaniowy, zoptymalizowany system, którego efektywność została sprawdzona. W wyniku tego, w pracy zostały przedstawione następujące zagadnienia:

- dopasowanie parametrów detekcji obiektów ruchomych w celu prawidłowego działania modelu w warunkach zewnętrznych;
- klasyfikacja obiektów na typy „pieszy” oraz „pojazd” z uwzględnieniem lokalizacji kamery i jej kąta widzenia;
- estymacja liczby osób w obiekcie binarnym typu BLOB za pomocą klasyfikatora, w sytuacji, gdy osoby idą blisko siebie ;
- poprawa jakości wizualizacji map gęstości poruszania się osób przy użyciu normalizacji i transformaty rzutowej w sytuacji, gdy kamera nie może być zamontowana bezpośrednio nad obserwowaną sceną;
- korekcja algorytmu do dwukierunkowego zliczania osób przy użyciu zoptymalizowanego modelu detekcji obiektów ruchomych i aplikacji klasyfikatora, który koryguje liczniki w przypadku wielokrotnego, nieprawidłowego zliczania obiektów;
- detekcja sytuacji zagrożeń bezpieczeństwa zobrazowana na przykładzie wykrycia pieszego na przejściu dla pieszych podczas zapalonego czerwonego światła;
- badania nad efektywnością algorytmu detekcji i rozpoznawania twarzy w przypadku zmiennego oświetlenia, zmiennej pozycji twarzy i w przypadku, kiedy twarz na zdjęciu ma bardzo niską rozdzielczość;
- wybór parametrów procesu rozpoznawania osoby za pomocą zdjęcia tęczówki oka;
- aplikacja innowacyjnego podejścia do rozpoznawania zagrożeń w środowisku zurbanizowanym przy użyciu systemów wbudowanych, takich jak DSP oraz „inteligentna kamera”.

Modularny system do inteligentnej analizy sekwencji wizyjnych i jego wysoka funkcjonalność pozwoli na dopasowanie algorytmów dla potrzeb instytucji, na przykład instytucji zapewniających bezpieczeństwo, i wpłynie pozytywnie na automatyczne wykrycie zdarzeń, często niebezpiecznych.

Rozdział 8

Wybrane publikacje autora z podziałem na tematykę badawczą

Generacja map gęstości

A. Chmielewska, M. Parzych, T. Marciniak, A. Dabrowski, „New approach to traffic density estimation based on indoor and outdoor scenes from CCTV”, Foundations of Computing and Decision Sciences, Vol. 40 No.2, s. 119-132, 2015

Zliczanie osób

T. Marciniak, A. Chmielewska, A. Dabrowski i in., „People counting vision system based on ARM processor programmed using Simulink environment”, Electronics – constructions, technologies, applications, No. 6/2014, s. 55-59, 2014

A. Chmielewska, T. Marciniak, A. Dabrowski, „Improved video-based people counting algorithm using BLOB classification”, Bulletin of the Polish Academy of Sciences (praca do publikacji)

A. Chmielewska, T. Marciniak, A. Dabrowski, „Application of the naive Bayes classifier for bidirectional people counting”, International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences (praca do publikacji)

A. Chmielewska, A. Dąbrowski, T. Marciniak, i in., „The automatic counting of objects in the urban area (System automatycznego liczenia obiektów w ruchu miejskim)”, The theory and application of computer science, Teoria i zastosowanie informatyki, Vol. 10, No. 2, s. 83-93, 2012

Wykrywanie sytuacji niebezpiecznych

A. Chmielewska, P. Pawłowski, A. Dąbrowski, „Application of video sequence processing methods to support CCTV (Zastosowanie metod przetwarzania sekwencji wideo do wspomagania monitoringu miejskiego)”, The theory and application of computer science (Teoria i zastosowanie informatyki), Vol. 9, No. 3, s. 65-83, 2011

Detekcja i rozpoznawanie na podstawie zdjęcia twarzy

T. Marciniak, A. Chmielewska, R. Weychan, i in., „Influence of low resolution of images on reliability of face detection and recognition”, Multimedia Tools and Applications, Vol. 74, No. 12, s. 4329-4349, 2013

T. Marciniak, A. Dąbrowski, A. Chmielewska, i in., „Face Recognition from Low Resolution Images”, Communications in Computer and Information Science, No. 287, s. 220-229, 2012

Detekcja i rozpoznawanie na podstawie zdjęcia tęczówki oka

T. Marciniak, A. Dabrowski, A. Chmielewska, i in., „Selection of parameters in iris recognition system”, Multimedia Tools and Applications, Vol. 68, s.193-208, 2014

T. Marciniak, P. Pawłowski, A. Dąbrowski, i in., „Dobór elementów sprzętowo-programowalnych w systemie akwizycji obrazu tęczówki do celów identyfikacji osób (The selection of hardware and software elements of iris image acquisition system for people identification)”, Electrical Review, No. 11b, s. 18-22, 2012

T. Marciniak, A. Dabrowski, A. Chmielewska, i in., „Analysis of Particular Iris Recognition Stages”, Communications in Computer and Information Science, Vol. 149, s. 198-206, 2011

Szybkie prototypowanie algorytmów

A. Chmielewska, R. Weychan, T. Marciniak, i in., „Fast Prototyping for Video Monitoring Systems with the Use of DSP Module”, International Journal of Electronics and Telecommunications, Vol. 59, No. 4, s. 375-381, 2013

A. Chmielewska, A. Dabrowski, A. Namerla, i in., „Comparison of NI LabVIEW and NI Vision Builder AI environments in fast prototyping of video processing algorithms for CCTV using smart camera”, Electronics – constructions, technologies, applications, No. 5, s. 72-76, 2011