



Przemysław MAZUREK, Krzysztof OKARMA, Piotr LECH

WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA TECHNIKI SUPER-ROZDZIELCZOŚCI DLA ZNANEGO RUCHU KAMERY ZASTOSOWANEJ DO ŚLEDZENIA RUCHU POJAZDÓW

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały wyniki weryfikacji eksperymentalnej uprzednio zaproponowanej metody polegającej na wykorzystaniu techniki super-rozdzielczości w celu śledzenia ruchu pojazdów opartego na algorytmie Spatio-Temporal Track-Before-Detect. W przeprowadzonych badaniach wykorzystano rzeczywiste sekwencje wideo przy założeniu znanego ruchu kamery, który może być sterowany za pomocą rozwiązań mechatronicznych. Dzięki kontrolowanemu niewielkiemu przesunięciu kamery uzyskiwane są dodatkowe dane wykorzystywane w algorytmach super-rozdzielczości oraz śledzenia przed detekcją, co pozwala na precyzyjniejsze wyznaczenie trajektorii ruchu oraz zwiększenie separacji pojazdów.

WSTĘP

Jednym z najistotniejszych elementów współczesnych Inteligentnych Systemów Transportowych stanowią techniki śledzenia ruchu pojazdów na podstawie analizy obrazów pozyskiwanych z kamer. Dzięki zastosowaniu tego rodzaju rozwiązań możliwa jest nie tylko znacząca poprawa zarówno przepustowości skrzyżowań dzięki wykorzystaniu danych z kamer do dynamicznego sterowania sygnalizacją świetlną, ale również pozyskiwanie dodatkowych informacji dotyczących poruszających się pojazdów.

Prawidłowe określenie trajektorii ruchu pojazdów znajdujących się w obszarze monitorowanym uzależnione jest od rozdzielczości obrazów rejestrowanych przez kamerę. W sytuacjach, kiedy pole obserwacji kamery stanowi znaczny obszar, reprezentacja poszczególnych pojazdów w kolejnych klatkach sekwencji wideo stanowić może zaledwie kilka lub kilkanaście pikseli. Typowym przykładem może być wykorzystanie kamer monitoringu miejskiego, niekoniecznie umiejscowionych w bezpośrednim sąsiedztwie drogi. Podobna sytuacja ma zazwyczaj miejsce przy śledzeniu obiektów odległych.

Warto zauważyć, iż tego rodzaju rozwiązania mają odmienny charakter od systemów wizyjnych wykorzystywanych w celu identyfikacji pojazdów, w których kamery montowane są nad drogą lub w bezpośrednim jej sąsiedztwie, co zapewnić może uzyskanie obrazu o rozdzielczości w zupełności wystarczającej do poprawnego rozpoznania numeru rejestracyjnego, także na podstawie naklejki umieszczonej na przedniej szybie pojazdu.

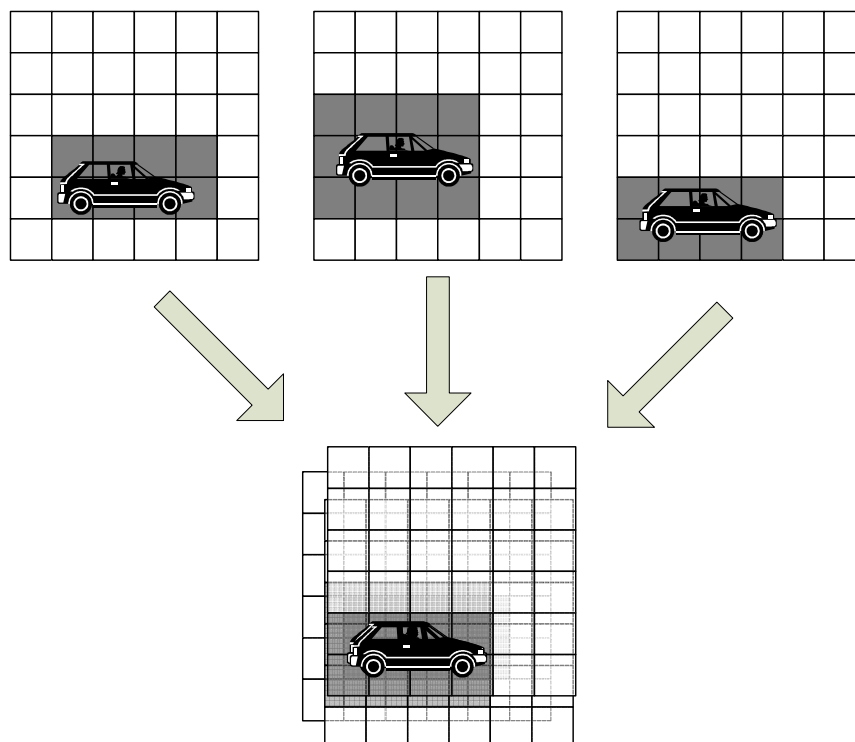
Zarówno w zastosowaniach związanych z wizyjną identyfikacją pojazdów, jak również śledzenia trajektorii ich ruchu, przy niewystarczającej rozdzielczości obrazu, możliwe jest

uzyskanie poprawy dokładności rozpoznawania znaków, czy też określenia trajektorii ruchu, z wykorzystaniem techniki super-rozdzielczości. Tego rodzaju algorytmy pozwalają na uzyskanie obrazu o podwyższonej rozdzielczości, a także większej czytelności ze względu na zauważalność szczegółów obrazu, na podstawie serii klatek o niższej rozdzielczości [3].

Warunkiem poprawnego działania algorytmu super-rozdzielczości, stanowiącym źródło dodatkowych informacji, jest występowanie przesunięć pomiędzy kolejnymi klatkami sekwencji wideo o niecałkowitą liczbę pikseli, dzięki czemu możliwe jest odtworzenie informacji traconych w związku ze skończoną liczbą pikseli w klatkach oryginalnych. Należy podkreślić odmienną technikę super-rozdzielczości od metod interpolacji obrazów, ponieważ w przeciwieństwie do super-rozdzielczości interpolacja nie wprowadza żadnych dodatkowych informacji do obrazu.

Ze względu na poprawę dokładności reprezentacji śledzonego pojazdu za pomocą algorytmu super-rozdzielczości celowe jest jego wykorzystanie także w celu zwiększenia precyzji śledzenia ruchu. Może być to zrealizowane w odniesieniu do algorytmów śledzenia przed detekcją (Track-Before-Detect), co jest szczególnie istotne dla śledzenia obiektów odległych, także w obecności szumu [1, 2, 6]. Podczas badań przeprowadzonych na potrzeby artykułu założono, iż ruch kamery jest znany, co może mieć miejsce np. dla sztywnego mocowania kamery sterowanej za pomocą silników lub wykorzystania innych rozwiązań mechatronicznych. Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie dodatkowych ruchów kamery w obecności wiatru, jednak wymaga to dodatkowej estymacji losowych zmian położenia, co zwiększa złożoność obliczeniową i nie jest przedmiotem artykułu.

Metoda estymacji ruchu kamery może być wykorzystana także do poprawy działania algorytmów usuwania tła wykorzystywanych w technikach śledzenia ruchu obiektów, co przedstawiono w jednej z wcześniejszych publikacji [4]. Wyniki badań przeprowadzonych dla syntetycznych danych jednowymiarowych zamieszczono natomiast w pracy [5].



Rys. 1. Ilustracja idei wykorzystania przesunięć subpikselowych w algorytmie super-rozdzielczości

Źródło: opracowanie własne

1. ŚLEDZENIE POJAZDÓW W ROZWIĄZANIACH ITS

Śledzenie ruchu pojazdów odległych, w szczególności w trudnych warunkach atmosferycznych lub w obecności zakłóceń wymaga zastosowania innego podejścia, aniżeli typowo stosowane dla dobrej jakości obrazów o stosunkowo wysokiej rozdzielczości. W typowych metodach śledzenia wykorzystywane jest podejście klasyczne, dla którego wyróżnić można cztery podstawowe etapy:

- przetwarzanie wstępne,
- detekcja,
- śledzenie,
- zarządzanie trajektoriami.

1.1. Wstępne przetwarzanie obrazu

W pierwszym z etapów wykonuje się zazwyczaj podstawowe operacje przetwarzania obrazów mające na celu zarówno zmniejszenie ilości obliczeń wykonywanych w kolejnych etapach, jak również poprawę jakości danych wejściowych. W celu usunięcia zbędnych fragmentów obrazu, które nie są przydatne w dalszej analizie należy wykonać kadrowanie obrazu zmniejszające liczbę pikseli. Dla wygodniejszej analizy obrazu można również wykonać zmianę projekcji, co dotyczy może systemów stereowizyjnych, a także systemów wielokamerowych, jak również pojedynczych kamer zainstalowanych nad drogą (projekcja perspektywiczna).

Ze względu na wpływ zakłóceń mogących pojawić się w obrazie rejestrowanym przez kamery ITS możliwe jest również wykonywanie operacji filtracji eliminującej lub redukującej zakłócenia o różnym charakterze, tj. przestrzennym, czasowym lub mieszanym (czasowo-przestrzennym). Ponadto często wykonywaną operacją jest normalizacja obrazu związana z korekcją wartości pikseli powodującą zmianę kontrastu. Tego rodzaju operacje wykonywane są również przy poszerzeniu zakresu tonalnego przy łączeniu obrazów z kilku kamer, czy też kompensacji bieli dla kamer kolorowych, co wynikać może ze specyfiki oświetlenia obserwowanej sceny.

Do grupy operacji geometrycznych związanych ze wstępnym przetwarzaniem obrazu zaliczyć można korekcję zniekształceń obiektywów, zarówno wynikających ze zniekształceń beczkowych i trapezoidalnych, jak również chromatycznych dla kamer kolorowych.

Jedną z najistotniejszych operacji zaliczanych do przetwarzania wstępnego jest estymacja i eliminacja tła powodująca radykalne zmniejszenie ilości informacji w toku dalszej analizy. W celu pozyskania dodatkowych informacji można ponadto wykorzystać algorytmy rozpoznawania obiektów, które może być także wykonywane po śledzeniu np. w celu identyfikacji pojazdu lub jego typu.

Operacje wstępnego przetwarzania obrazu mogą być wykonywane w różnej kolejności w zależności od potrzeb i konkretnej implementacji, jednak ze względu na efektywność obliczeniową zazwyczaj pierwszą z nich stanowi kadrowanie obrazu.

1.2. Detekcja

Algorytmy detekcji w wielu implementacjach, zwłaszcza przy założeniu lokalizacji kamery bezpośrednio nad drogą i pozyskiwania obrazów z góry, są zintegrowane z metodami estymacji tła używanymi w operacjach przetwarzania wstępnego. Przy tego rodzaju podejściu detekcja obiektów ruchomych następuje w wyniku zakwalifikowaniu wszystkich pikseli nie reprezentujących tła jako odpowiadających śledzonym obiektom.

Nieco bardziej skomplikowanym zadaniem jest detekcja pojazdów wzajemnie się przesłaniających, co jest typowe przy obserwacji drogi z boku ze stosunkowo niewielkiej wysokości, a także znad drogi przy założeniu widoku perspektywicznego. Tego rodzaju konfiguracja jest często spotykana, zwłaszcza poza obszarami wielkomiastowymi, gdzie znajdują się wysokie budynki, które mogą być potencjalnie wykorzystane do montażu kamer.

1.3. Śledzenie oraz zarządzanie trajektoriami

Zasadniczym elementem całego algorytmu śledzenia ruchu jest wyznaczenie przewidywanego położenia pojazdu dla kolejnej klatki sekwencji wideo. W wyniku połączenia przewidywanych położenia pojazdu dla kolejnych klatek uzyskuje się trajektorię ruchu poszczególnych pojazdów. W wielu systemach algorytmy śledzenia są połączone z metodami zarządzania trajektoriami, co pozwala na wyznaczenie położenia każdego pojazdu, a także określenie ich liczby w dowolnym momencie.

Wykorzystywane algorytmy są uzależnione m.in. od rodzaju systemu i jego przeznaczenia, a zatem mogą się w istotny sposób różnić dla systemów jednokamerowych przeznaczonych do śledzenia pojedynczych pojazdów oraz wielokamerowych wykorzystywanych do śledzenia wielu pojazdów. Stosowane są także rozwiązania „hybrydowe” tj. systemy jednokamerowe do śledzenia wielu pojazdów, jak również systemy wielokamerowe do śledzenia jednego pojazdu.

Specyficzną grupę algorytmów stanowią metody śledzenia przed detekcją (TBD), w których występuje możliwość śledzenia obiektów reprezentowanych przez sygnały o poziomie niższym od poziomu szumu. Jest to istotne szczególnie przy śledzeniu wielu pojazdów przy małej separacji między obrazem pojazdu a szumem tła.

1.4. Algorytmy śledzenia przed detekcją

Z punktu widzenia wydajności obliczeniowej można wyróżnić algorytmy TBD z pełnym oraz zredukowanym przetwarzaniem trajektorii. Czasochłonna pełna analiza trajektorii jest zależna od rozdzielczości obrazu wejściowego oraz liczby możliwych wektorów ruchu. Aktualnie jedyną możliwością efektywnej ich implementacji pozostają urządzenia umożliwiające równoległe przetwarzanie danych (procesory graficzne, klastry, reprogramowalne układy logiczne, czy też procesory wielordzeniowe).

Redukcja liczby rozpatrywanych trajektorii pozwalająca na zmniejszenie kosztu obliczeniowego jest zazwyczaj powiązana z wykryciem położenia obiektu lub wiedzy dotyczącej liczby obiektów w zasięgu systemu. W tego rodzaju implementacjach istnieje jednak pewne ryzyko związane z błędną estymacją, stąd nie są one wykorzystywane w niektórych rodzajach systemów (np. w zastosowaniach militarnych).

Ze względu na wzrost liczby potencjalnych trajektorii wraz z kolejnymi klatkami sekwencji wideo stosuje się ograniczenia dotyczące wykorzystywania informacji z poprzednich klatek. Zasadniczy podział algorytmów TBD według tego kryterium obejmuje metody rekursywne i nierekursywne.

Podjęcie pierwsze pozwala na zredukowanie ilości przechowywanych i przetwarzanych danych wynikających z poprzednich kroków kosztem trudności związanych z opracowaniem przestrzeni stanów dla oczekiwanych trajektorii ruchu. W przypadku algorytmów nierekursywnych możliwe jest swobodne definiowanie trajektorii ruchu, co jednak odbywa się przy zwiększonej złożoności obliczeniowej algorytmu.

1.5. Przestrzenno-czasowy algorytm śledzenia przed detekcją

Algorytm śledzenia określany jako Spatio-Temporal Track-Before-Detect należy do grupy metod rekursywnych wykorzystujących bieżący obraz oraz wynik poprzedniej predykcji. Może on być przedstawiony w formie następującego pseudokodu:

Start

//inicjalizacja

$$P(k=0, s) = 0 \quad (1)$$

For $k \geq 1, s \in S$

//korekcja ruchu

$$P^-(k, s) = \int_S q_k(s | s_{k-1}) P(k-1, s_{k-1}) ds_{k-1} \quad (2)$$

//korekcja informacji

$$P(k, s) = \alpha P^-(k, s) + (1 - \alpha) X(k, s) \quad (3)$$

EndFor

End

gdzie:

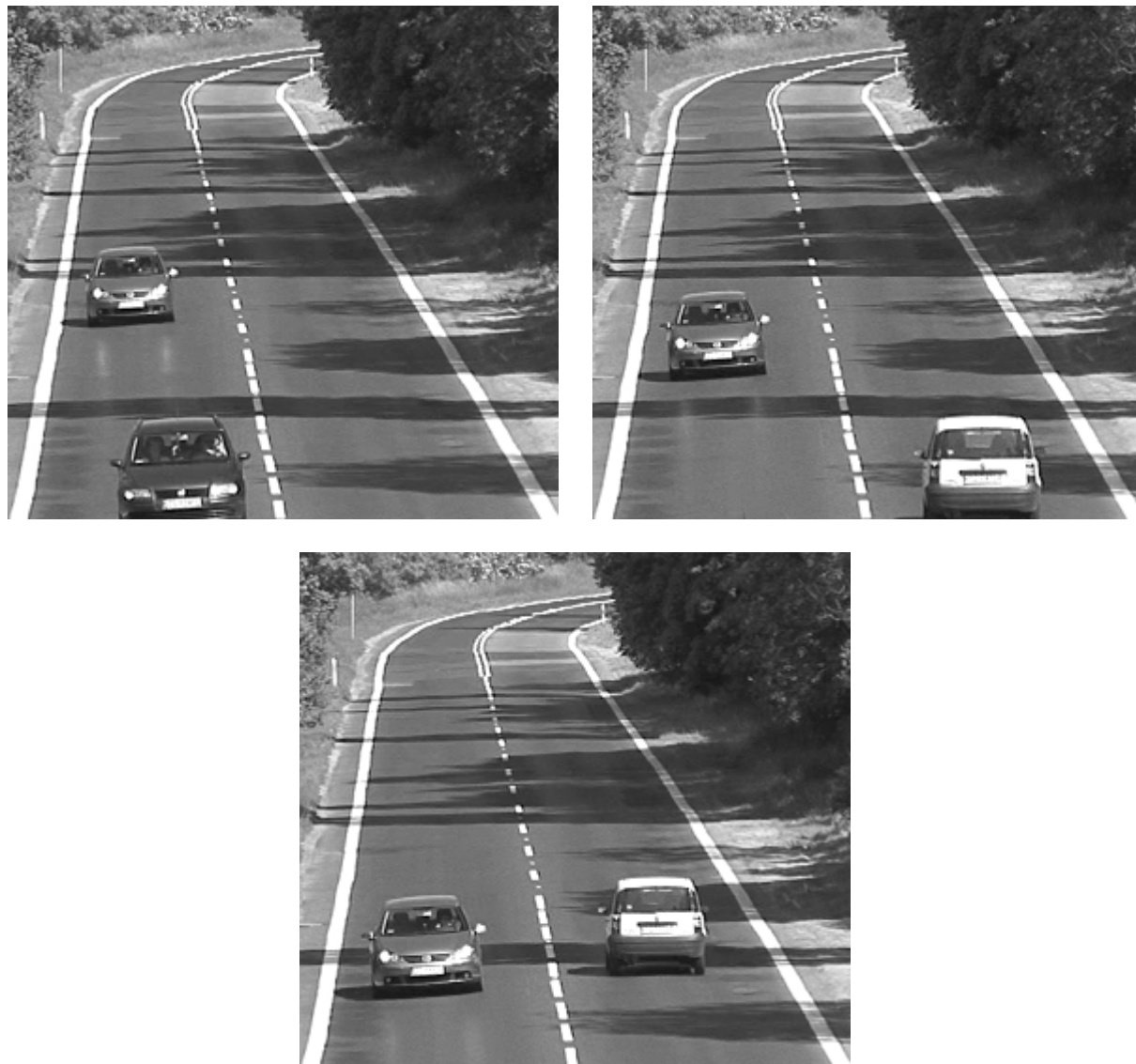
- k – numer iteracji,
- S – wielowymiarowa przestrzeń stanów,
- s – komórka przestrzeni stanów (stan),
- X – dane wejściowe (obraz),
- P^- – predykcja przestrzeni stanów,
- P – zaktualizowana estymowana przestrzeń stanów,
- α – waga (współczynnik wygładzania),
- $q_k(s | s_{k-1})$ – macierz tranzycji Markowa.

Pierwszą z operacji realizowanych przez ten algorytm jest predykcja wykonywana na podstawie macierzy Markowa, natomiast drugą stanowi aktualizacja przestrzeni stanów. Wprowadzanie danych do przestrzeni stanów wykonywane jest przy użyciu współczynnika wygładzania α , tak aby możliwe było określenie wagi wpływu nowych danych na przestrzeń stanów. Wynik działania algorytmu stanowi nowa przestrzeń stanów.

W trakcie pracy algorytmu ST-TBD mają miejsce dwa przeciwstawne procesy. Pierwszym z nich jest rozmywanie danych realizowane poprzez równanie korekcji ruchu (następuje wówczas przestrzenna filtracja sygnału), natomiast drugi stanowi operacja wyostrzania danych zachodząca w wyniku aktualizacji informacji.

Kluczowym elementem algorytmu jest macierz Markowa, pozwalająca na opisanie prawdopodobieństwa przejścia (tranzycji) z określonego stanu do innego. Odpowiada ona za realizację poszczególnych wektorów ruchu, które służą do przekazywania informacji dotyczących położenia i prędkości pomiędzy różnymi komórkami przestrzeni stanów. Może ona definiować przejście ze stanu o określonym położeniu do innego, realizując śledzenie z uwzględnieniem dynamiki, lub też przejście ze stanu o określonej prędkości do innej, co pozwala na korekcję położenia śledzonego pojazdu bez konieczności zwiększania liczny wektorów ruchu.

Ze względu na lokalny charakter zmian w obrazie odpowiadających poruszającym się pojazdom (przy założeniu, iż określono maksymalną prędkość śledzonego ruchu) wartości prawdopodobieństw dla przejść „odległych” są zerowe, co powoduje, iż macierz Markowa jest zazwyczaj macierzą rzadką. Jej zaletą jest ponadto możliwość zastosowania zarówno do opisu procesów liniowych, jak również nieliniowych [6].



Rys. 2. Przykładowe klatki analizowanej sekwencji wideo przed zmniejszeniem rozdzielczości

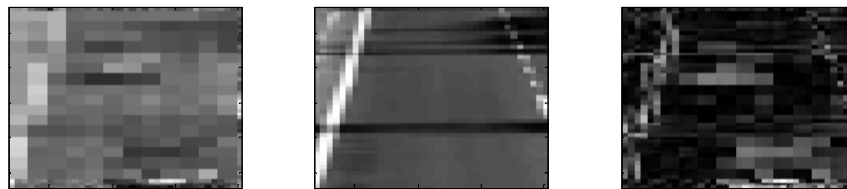
Źródło: opracowanie własne

2. PROPONOWANE PODEJŚCIE I UZYSKANE WYNIKI

Informacje o znanym ruchu kamery mogą być wykorzystane w algorytmie super-rozdzielczości wbudowanym w proces śledzenia ruchu metodą TBD, co jest jedną z istotnych zalet techniki śledzenia przed detekcją. Zakładając znajomość wzajemnego położenia poszczególnych obrazów z rozdzielczością subpikselową możliwe jest nawet częściowe odzyskanie kształtu pojazdu zamiast plamy odpowiadającej estymowanemu jego położeniu, także dla małej separacji pomiędzy tłem a pojazdem.

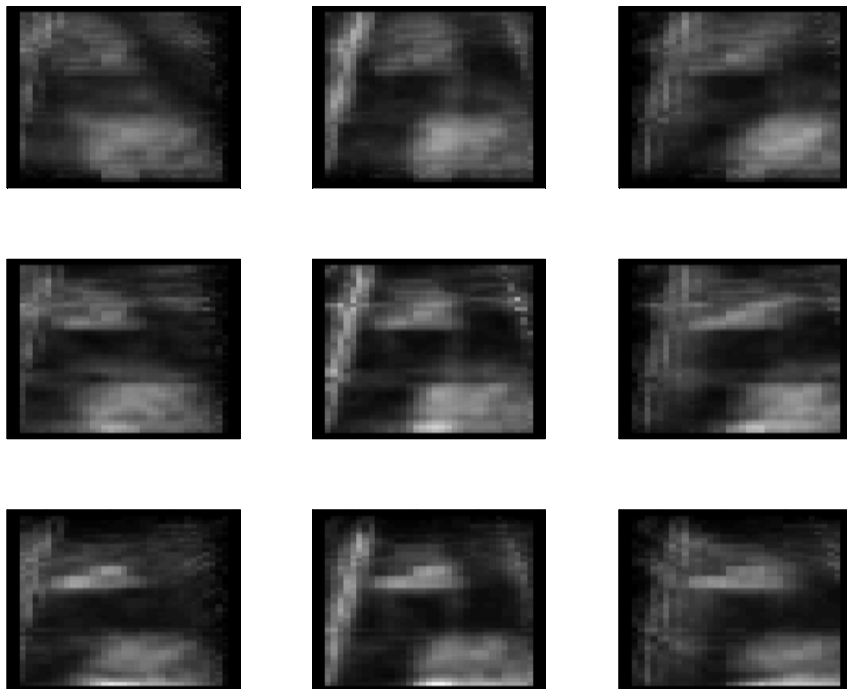
Realizacja przesunięcia kamery może być oparta na wykorzystaniu materiałów elektroaktywnych zmieniających wymiary pod wpływem prądu elektrycznego lub rozwiązań bazujących na silnikach lub elektromagnesach. Ponadto możliwe jest interpolowanie obrazu, co również powoduje zwiększenie rozdzielczości przestrzeni stanów, jak również dokonanie fuzji obrazów z wielu kamer.

Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych przedstawione zostały na rysunkach 3-8, na których znajdują się zaszumione obrazy wejściowe o obniżonej rozdzielczości po wcześniejszej operacji kadrowania, estymowane tło dla tej samej chwili czasu (uzyskane na podstawie analizy klatek poprzednich), obrazy różnicowe (rysunki 3, 5, 7) oraz przestrzeń stanów (rysunki 4, 6, 8) zilustrowana w postaci obrazów. Jaśniejsze fragmenty dla przestrzeni stanów oznaczają większe prawdopodobieństwa wystąpienia obiektu, przy czym każda z 9 macierzy odpowiada określonemu kierunkowi ruchu (macierz środkowa odpowiada brakowi ruchu). Jak można zauważyć śledzenie ruchu pojazdu zbliżającego się do kamery (obrazy wejściowe były odpowiednio kadrowane) proponowaną metodą pozwala określić położenie pojazdu na podstawie np. środka ciężkości macierzy stanów, jak również dominujący kierunek ruchu poprzez porównanie jasności oraz ostrości obrazów reprezentujących 9 macierzy stanów.



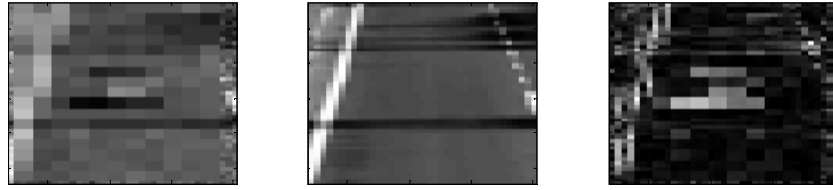
Rys. 3. Obraz niskiej rozdzielczości, estymowane tło (podwyższona rozdzielczość) oraz uzyskany obraz różnicowy (wartości bezwzględne) dla drugiej z przykładowych klatek

Źródło: opracowanie własne



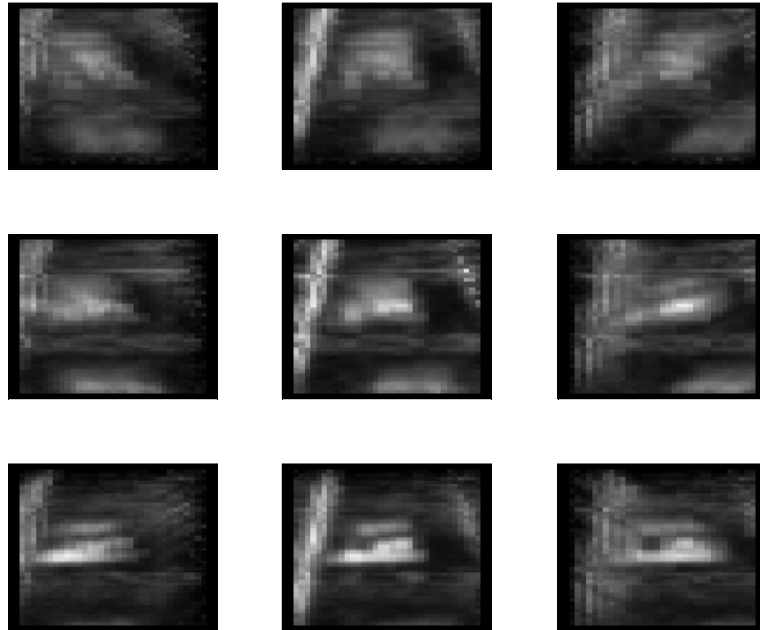
Rys. 4. Wynik estymacji (uzyskane macierze stanów) dla pierwszej z przykładowych klatek

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Obraz niskiej rozdzielczości, estymowane tło (podwyższona rozdzielczość) oraz uzyskany obraz różnicowy (wartości bezwzględne) dla drugiej z przykładowych klatek

Źródło: opracowanie własne

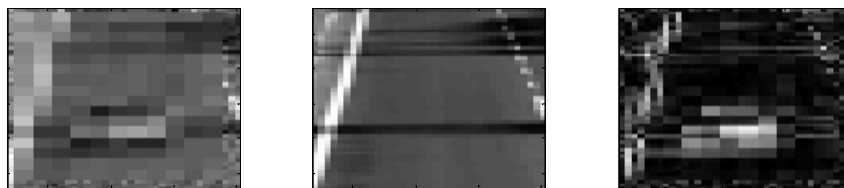


Rys. 6. Wynik estymacji (uzyskane macierze stanów) dla drugiej z przykładowych klatek

Źródło: opracowanie własne

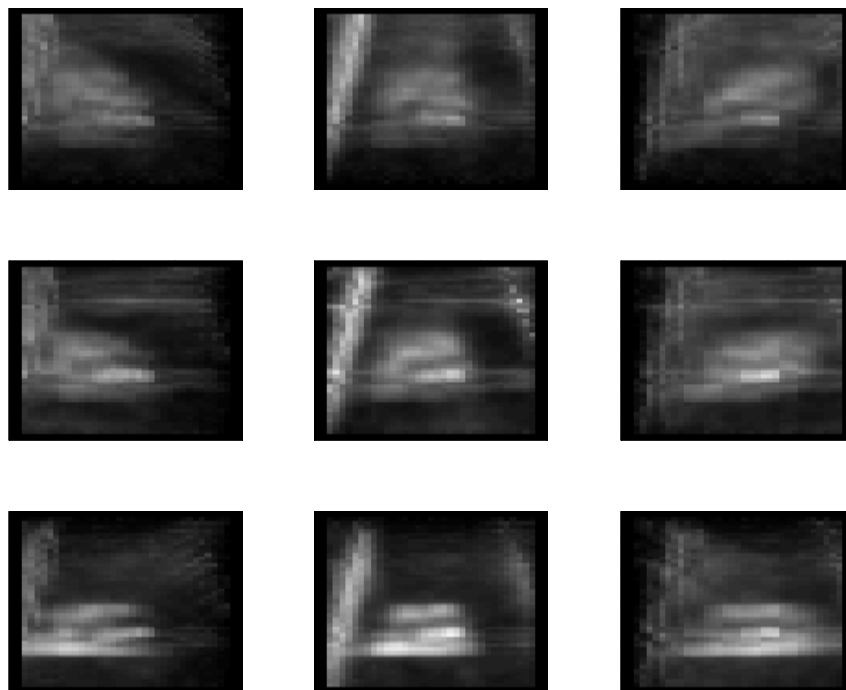
PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda wykorzystania informacji o znanym przesunięciu kamery zaproponowana we wcześniejszej pracy [5] dla sygnałów jednowymiarowych może być z powodzeniem zastosowana do śledzenia ruchu pojazdów na obrazach 2D, co zostało zweryfikowane dla rzeczywistych sekwencji wideo przedstawiających poruszające się pojazdy. W pracy zaprezentowano reprezentatywne wyniki uzyskane dla kilku przykładowych klatek sekwencji wideo, jednak przeprowadzone badania z wykorzystaniem większej liczby sekwencji testowych w pełni potwierdzają zalety proponowanego podejścia.



Rys. 7. Obraz niskiej rozdzielczości, estymowane tło (podwyższona rozdzielczość) oraz uzyskany obraz różnicowy (wartości bezwzględne) dla trzeciej z przykładowych klatek

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Wynik estymacji (uzyskane macierze stanów) dla trzeciej z przykładowych klatek

Źródło: opracowanie własne

THE EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE SUPER-RESOLUTION ALGORITHM FOR KNOWN CAMERA MOVEMENTS APPLIED FOR THE VEHICLES' MOTION TRACKING

Abstract

In the paper some results of the experimental verification of previously proposed method, based on the application of the super-resolution technique for vehicles' tracking based on the Spatio-Temporal Track-Before-Detect algorithm, are presented. During the conducted experiments some real video sequences have been used assuming known camera motion, which can be obtained using some mechatronic solutions. Due to the controlled small shifts of the camera, some additional data are gathered, which can be utilised by the super-resolution algorithms as well as in the Track-Before-Detect methods, leading to more precise motion tracking and better separation of vehicles.

BIBLIOGRAFIA

1. Blackman S., Popoli R.: *Design and analysis of modern tracking systems*. Artech House, Norwood, 1999.
2. Boers Y., Ehlers F., Koch W., Luginbuhl T. , Stone L.D., Streit R.L.: *Track before detect algorithms*. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008. Art. ID 413932.
3. Irani M., Pelag S.: *Super resolution from image sequences*. Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR), vol. 2, pp. 115–120, 1990.
4. Mazurek P., Okarma K.: *Background suppression for video vehicle tracking systems with moving cameras using camera motion estimation*. Communications in Computer and

Information Science vol. 329: Telematics in the Transport Environment, pp. 372-379, Springer-Verlag 2012.

5. Mazurek P., Okarma K.: *Superrozdzielczość ze znanego ruchu kamery do śledzenia ruchu pojazdu z wykorzystaniem algorytmu Spatio-Temporal Track-Before-Detect*. Logistyka 2012, nr 3, str. 1469-1474.
6. Stone L.D., Barlow C.A., Corwin T.L.: *Bayesian multiple target tracking*. Artech House, Norwood, 1999.

PODZIĘKOWANIA

Artykuł powstał częściowo dzięki wsparciu w ramach grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N509 399136 „Estymacja trajektorii ruchu pojazdów z wykorzystaniem analizy bayesowskiej oraz algorytmów cyfrowego przetwarzania obrazów“.

Autorzy:

dr inż. Przemysław MAZUREK – Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie

dr inż. Krzysztof OKARMA – Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie

dr inż. Piotr LECH – Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie