

MAZUREK Przemysław¹
OKARMA Krzysztof¹

PRZETWARZANIE DANYCH SUROWYCH W BAYESOWSKICH ALGORYTMACH ŚLEDZENIA POJAZDÓW

Artykuł dotyczy jednego z istotnych zagadnień związanych z wykorzystaniem technik śledzenia pojazdów w Inteligentnych Systemach Transportowych, jakim jest kwestia przygotowania danych wejściowych dla algorytmu śledzenia. Ze względu na fakt, iż typowe algorytmy śledzenia nie są zdolne do prawidłowego wyznaczenia trajektorii ruchu dla obiektów reprezentowanych przez sygnały o poziomie zbliżonym do szumu, wykorzystywana jest w tym celu technologia Track-Before-Detect (TBD). Tego rodzaju algorytmy oparte są na podejściu bayesowskim z wykorzystaniem pełnej informacji o obiekcie. W artykule zilustrowane zostały efekty śledzenia możliwe do uzyskania dzięki wykorzystaniu danych surowych, co pozwala na efektywne śledzenie obiektów zlokalizowanych blisko siebie, charakteryzujących się odmiennymi kolorami. Wyjątek stanowią obiekty o kolorze zbliżonym do tła, które podlega estymacji i eliminacji.

PROCESSING OF RAW DATA IN BAYESIAN VEHICLE TRACKING ALGORITHMS

The paper is related to an important issue related to the application of vehicles tracking technology for the Intelligent Transportation System, which is the preprocessing of the input data for the tracking algorithm. Since typical tracking algorithms are unable to detect the motion trajectories properly for the objects represented by the signals when their level is similar to the noise, the Track-Before-Detect (TBD) approach is used in such cases. Such algorithms are based on the Bayesian approach utilising full information about the object. In the paper some results of tracking are demonstrated, which can be obtained due to the usage of the raw data, allowing an effective tracking of objects located close to each other, which are characterised by different colours. An exception is related to the objects with similar colour to the background, which is estimated and eliminated.

¹ Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie, Wydział Transportu Samochodowego;
71-244 Szczecin; ul. Klonowica 14. Tel: +48 91 424-08-75, Fax: +48 91 424-08-76,
e-mail: mazurek@wste.szczecin.pl, okarma@wste.szczecin.pl

1. WSTĘP

Efektywne wykorzystanie możliwości systemów teleinformatycznych w transporcie samochodowych jest szczególnie widoczne w aspekcie rozwoju Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS) [6], dzięki którym możliwe jest nie tylko usprawnienie procesów elektronicznego poboru opłat, zastosowanie „inteligentnej” sygnalizacji świetlnej, czy też zastosowanie znaków o zmiennej treści do sterowania ruchem, lecz także wykorzystanie informacji o ruchu pojedynczych pojazdów m.in. do celów statystycznych (np. szczegółowe badanie natężenia ruchu). Zakładając wykorzystanie infrastruktury bazującej na różnego rodzaju czujnikach, czy też pętlach indukcyjnych, pozyskanie szczegółowych informacji o ruchu pojedynczych pojazdów jest utrudnione, a często wręcz niemożliwe. Istotnym elementem stymulującym rozwój tego rodzaju systemów jest wykorzystanie technik wizyjnych opartych na przetwarzaniu i analizie obrazów i sekwencji wideo pozyskanych z kamer montowanych bezpośrednio nad drogą lub w jej pobliżu. Systemy takie umożliwiają często wiarygodne rozpoznanie numeru tablicy rejestracyjnej, jak również marki pojazdu znajdującego się w ruchu, jednak uwarunkowane jest to odpowiednią jakością i rozdzielczością pozyskanego obrazu. Szczególnie przydatne w takich zastosowaniach mogą być m.in. techniki superrozdzielczości, analizowane także we wcześniejszych pracach [7], podobnie jak wykorzystanie technologii HDR [9].

Jednym z najważniejszych aspektów zastosowania danych wizyjnych w ITS jest możliwość ich wykorzystania do śledzenia ruchu pojazdów, co jest jednak utrudnione dla obiektów odległych reprezentowanych przez sygnały o poziomie zbliżonym do szumu. Ze względu na fakt, iż w typowym algorytmie śledzenia wykorzystywane są dane uzyskane po zastosowaniu algorytmu estymacji i eliminacji tła, możliwa jest utrata danych na tym etapie, która utrudnia odtworzenie prawidłowej trajektorii ruchu poszczególnych pojazdów przez algorytm śledzenia. Z tego względu w dalszej części pracy przedstawiono możliwości wykorzystania danych surowych, dzięki czemu zachowana zostaje dobra wzajemna separowalność śledzonych obiektów, jak również możliwość poprawnego śledzenia różniących się od siebie obiektów zlokalizowanych blisko siebie.

W dalszej części publikacji omówione zostaną pokrótce techniki estymacji tła, algorytm śledzenia przed detekcją [1-4], a także przedstawione zostaną wyniki wstępnych badań dotyczących wykorzystania danych surowych jako informacji wejściowej dla algorytmu TBD.

2. ALGORYTMY ESTYMACJI TŁA

Prawidłowa detekcja pojazdów znajdujących się w ruchu uwarunkowana jest poprawną estymacją tła tj. drogi i jej nieruchomego otoczenia. Dzięki usunięciu tła możliwe jest uzyskanie danych wejściowych dla algorytmu śledzenia zawierających znacznie zredukowaną ilość informacji, co zmniejsza złożoność obliczeniową procedury śledzenia. Jest to szczególnie istotne w wypadku śledzenia przed detekcją ze względu na konieczność testowania wielu możliwych trajektorii ruchu.

W najprostszym algorytmie opartym na porównaniu dwóch sąsiednich klatek sekwencji wideo wykorzystywane jest proste progowanie, co jednak prowadzi do wyników silnie uzależnionych od wpływu zaszumienia oraz zmian warunków oświetleniowych i pogody. Z tego względu próg detekcji powinien być dynamicznie zmieniany, co prowadzi do

algorytmów adaptacyjnych, które powinny być również odporne na gwałtowne lokalne zmiany koloru np. rozbłyski spowodowane krótkotrwałym kierunkowym odbiciem światła, moką jezdnią, czy też nawet ruchem liści na wietrze.

Oczywiście algorytmy estymacji tła mają swoje ograniczenia, które są niezależne od sposobu obliczeń wykorzystanego w procesie estymacji. Przykładowo w sytuacji, gdy zaparkowany przez dłuższy czas pojazd włącza się do ruchu, piksele reprezentujące opuszczone przez niego miejsce parkingowe nie będą początkowo klasyfikowane jako tło.

Podstawowy różnicowy algorytm estymacji tła może być wykorzystywany jedynie przy stałych warunkach oświetleniowych i założeniu, iż wszystkie elementy sceny poza śledzonym obiektem pozostają nieruchome. Alternatywnym rozwiązaniem jest uśrednianie określonej liczby kolejnych klatek sekwencji wideo, w którym zakłada się, iż obiekty ruchome występują na nich w różnych miejscach, dzięki czemu ich wpływ na uśrednioną wartość koloru każdego piksela jest stosunkowo niewielki. Ze względu na powolność działania tego algorytmu oraz zajętość pamięci zazwyczaj stosuje się jego modyfikację w postaci filtru średniej ruchomej lub wygładzania wykładniczego. Możliwe jest również wykorzystanie technik nieliniowych, takich jak filtracja medianowa, a także kombinacji różnych technik, co przedstawiono w jednej z wcześniejszych publikacji [8].

3. PRZETWARZANIE DANYCH SUROWYCH

Dane uzyskane w wyniku eliminacji tła stanowią informacje wejściowe dla algorytmu śledzenia ruchu. W wypadku śledzenia obiektów odległych reprezentowanych na obrazie przez kilka bądź kilkanaście pikseli bardzo dobre wyniki można uzyskać stosując algorytm śledzenia przed detekcją (*Track-Before-Detect*). Zazwyczaj danymi wejściowymi dla algorytmu TBD są pozycje obiektów, jednak w artykule rozpatrzono możliwość wykorzystania danych surowych, dzięki czemu możliwe jest rozróżnienie obiektów, które są ciemniejsze od tła od obiektów od niego jaśniejszych i ich jednoczesne śledzenie.

W odróżnieniu od klasycznego podejścia do śledzenia opartego na detekcji, śledzeniu i przypisaniu obiektu do ścieżki, w rozważanym algorytmie detekcja następuje po śledzeniu i przypisaniu obiektu do trajektorii. Oparta jest ona na progowaniu skumulowanego sygnału reprezentującego obiekt widoczny na kolejnych klatkach sekwencji wideo. Wymaga to jednak czasochłonnego testowania potencjalnych trajektorii ruchu, co jest szczególnie utrudnione dla obiektów reprezentowanych przez sygnały o poziomie zbliżonym do szumu, co jest charakterystyczne dla śledzenia obiektów odległych.

W zależności od przyjętych założeń oraz potrzeb systemu możliwe jest zastosowanie różnych wariantów algorytmu śledzenia przed detekcją. Można je podzielić zasadniczo na algorytmy rekurencyjne i nierekurencyjne. Pierwsza grupa algorytmów charakteryzuje się mniejszym zapotrzebowaniem na pamięć oraz mniejszą złożonością obliczeniową.

Typowym podejściem jest algorytm czasoprzestrzenny (Spatio-Temporal TBD), w którym wykorzystywana jest wyłącznie uprzednio obliczona przestrzeń stanów oraz dokonywana jest jej korekcja na podstawie danych z nowych obserwacji. Może być on opisany w postaci pseudo-kodu jako [10]:

Start

$$P(k=0, s) = 0 \quad // \text{inicjalizacja} \quad (1a)$$

For $k \geq 1$

$$P^-(k, s) = \int_S q_k(s | s_{k-1}) P(k-1, s_{k-1}) ds_{k-1} \quad // \text{korekcja ruchu} \quad (1b)$$

$$P(k, s) = \alpha P^-(k, s) + (1 - \alpha) X(k, s) \quad // \text{korekcja informacji} \quad (1c)$$

EndFor**Stop**

gdzie:

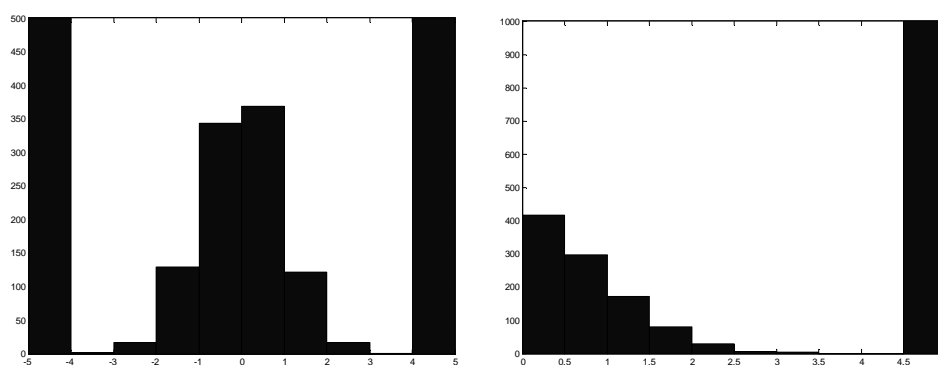
- k – numer iteracji,
- s – stan (określony przez położenie i prędkość),
- X – dane wejściowe (surowe),
- $q_k(s | s_{k-1})$ – macierz przejścia stanów (macierz Markowa),
- P^- – przewidywane wyjście TBD,
- P – wyjście TBD,
- α – wagowy współczynnik wygładzający $\alpha \in (0,1)$.

Informacje binarne uzyskane w efekcie detekcji obiektów w przestrzeni pomiarowej stosowane typowo jako dane wejściowe dla konwencjonalnego algorytmu śledzenia mogą być efektywnie zastąpione danymi surowymi. Do celów tego rodzaju detekcji wykorzystywane mogą być klasyczne algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów, czy też np. adaptacyjne progowanie. W szczególnym wypadku dla algorytmów TBD wykorzystujących podejście bayesowskie możliwe jest śledzenie obiektów reprezentowanych przez sygnały o poziomie nawet poniżej szumu tła, co wymaga jednak wykorzystania pełnej informacji o obiekcie. W najprostszym przypadku może być to związane z uśrednianiem wielu wartości po zadanej trajektorii. Dzięki wykorzystaniu danych surowych możliwe jest zmniejszenie wpływu zakłóceń i wydobywanie dodatkowych informacji użytecznych dla algorytmu śledzenia.

Wykorzystanie danych surowych w postaci obrazu z kamery jest jednak nieefektywne ze względu na fakt, iż tego rodzaju obrazy zawierają w dużej części tło. Usunięcie tła z danych surowych pozwala uniknąć całkowania pikseli reprezentujących tło, gdyż po jego usunięciu wartości te są równe zero. W rezultacie zastosowanie algorytmu estymacji i usunięcia tła dane wejściowe zawierają tylko niezerowe informacje dotyczące obiektów ruchomych, wyjątkiem może być jedynie pojazd w kolorze tła (zazwyczaj nawierzchni, choć w ogólności zależy to m.in. od kąta nachylenia kamery względem drogi).

W typowych algorytmach estymacji tła często wykorzystuje się operację wyznaczenia wartości bezwzględnej normalizującą dane wejściowe dla algorytmów śledzenia do postaci, w której wartości zerowe reprezentują tło, a relatywnie duże wartości dodatnie reprezentują obiekty ruchome niezależnie od ich jasności. W systemach śledzenia pojazdów mamy jednak zazwyczaj do czynienia z nawierzchnią w kolorze szarym oraz ruchomymi pojazdami, które mogą być od niej zarówno jaśniejsze, jak również ciemniejsze. Obliczenie

wartości bezwzględnej utrudnia rozróżnienie pojazdów o znacząco różnych „przeciwnych” w stosunku do siebie barwach znajdujących się blisko siebie, podczas gdy np. na pojedynczym obrazie kolorowym obiekty te są relatywnie łatwo separowalne. Wartość średnia dla tła po śledzeniu bez obliczania wartości bezwzględnej ma wartość 0, jednak przy obliczaniu wartości bezwzględnej rozkład prawdopodobieństwa szumu zmienia swój charakter na asymetryczny, co jest uwidocznione na przykładowych histogramach przedstawionych na rysunku 1. Na rysunku tym, przy założeniu rozkładu normalnego szumu, uwidoczony jest również problem nierozróżnialności obiektów reprezentowanych pierwotnie przez sygnały o przeciwnych znakach, lecz tej samej wartości bezwzględnej w odniesieniu do tła.



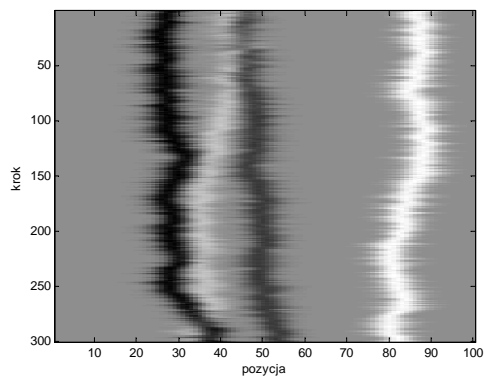
Rys.1. Histogramy przykładowego szumu Gaussa oraz dwóch obiektów (z lewej) oraz wartości bezwzględnej tego samego sygnału (z prawej).

4. PORÓWNANIE WYNIKÓW ŚLEDZENIA

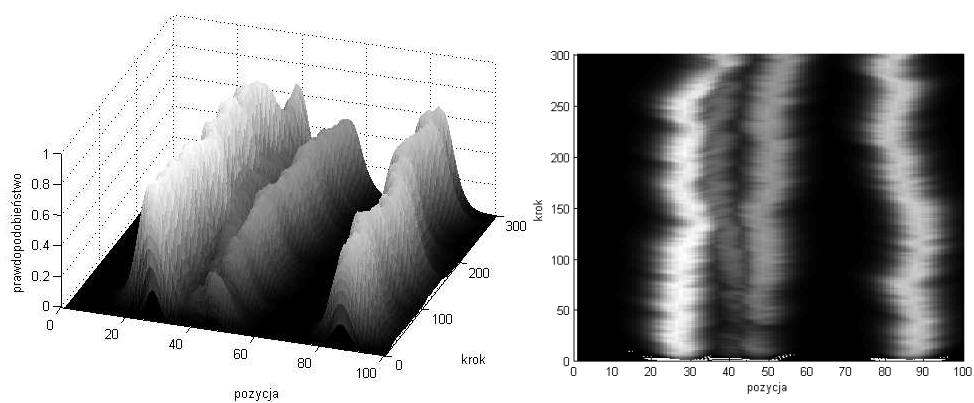
W celu porównania wyników śledzenia zaimplementowane zostały obie wersje metody śledzenia dla przykładowych danych zawierających 4 śledzone obiekty zarówno ciemniejsze, jak również jaśniejsze od tła. Trajektorie ruchu obiektów zostały wygenerowane losowo. W celu ilustracji właściwości obu metod wybrano scenariusz, w którym jeden z ciemnych obiektów zlokalizowany jest w małej odległości pomiędzy dwoma jaśniejszymi. Trajektorie ruchu śledzonych obiektów przedstawiono na rysunku 2.

Na rysunkach 3-6 zilustrowano prawdopodobieństwa występowania obiektów w określonych lokalizacjach stanowiące wynik działania algorytmu TBD, a także uzyskane w wyniku rzutowania tych wykresów odpowiednie trajektorie ruchu.

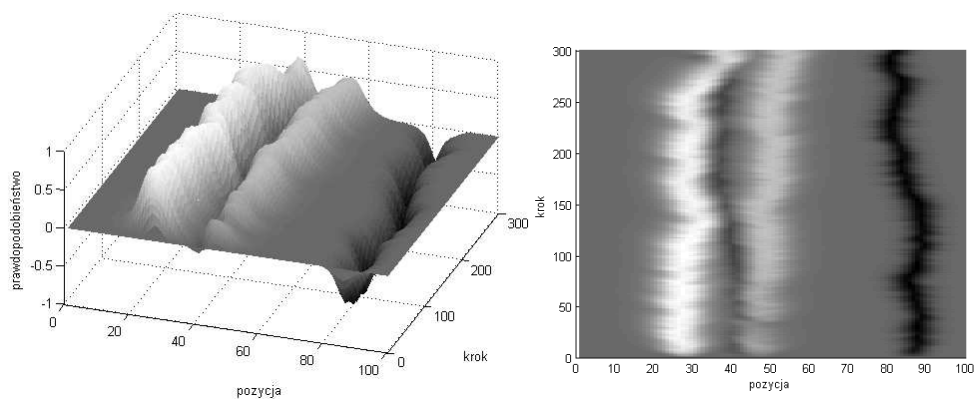
Porównując wyniki uzyskane dla braku zaszumienia danych wejściowych (rysunki 3 oraz 4) można uznać, iż obie metody pozwalają na detekcję wszystkich obiektów ze względu na odpowiednio wysoki poziom sygnału ich reprezentującego (wysoki stosunek sygnału do szumu). W przypadku obecności szumu (rysunki 5 oraz 6) zauważalna jest jednak przewaga algorytmu wykorzystującego dane surowe, ponieważ przy standardowym podejściu jeden z ciemnych obiektów jest trudny do jednoznacznego wykrycia.



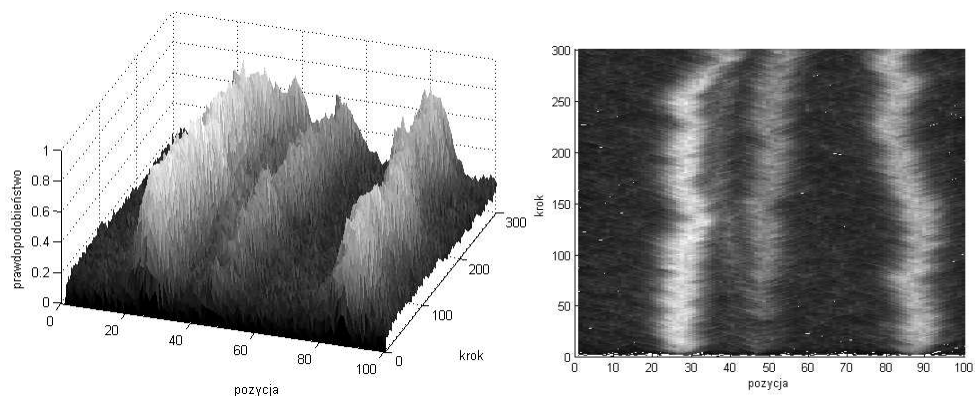
Rys.2. Trajektorie ruchu śledzonych obiektów.



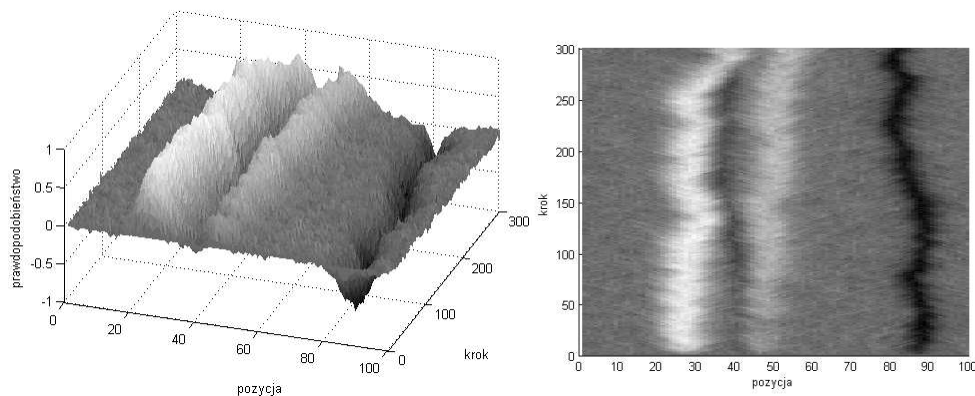
Rys.3. Wyniki śledzenia przy braku zakłóceń danych wejściowych – metoda standardowa.



Rys.4. Wyniki śledzenia przy braku zakłóceń danych wejściowych – metoda proponowana z wykorzystaniem danych surowych.



Rys.5. Wyniki śledzenia w obecności zakłóceń danych wejściowych – metoda standardowa.



Rys.6. Wyniki śledzenia w obecności zakłóceń danych wejściowych – metoda proponowana z wykorzystaniem danych surowych.

5. WNIOSKI

Techniki śledzenia pojazdów możliwe do wykorzystania w Inteligentnych Systemach Transportowych powinny z jednej strony cechować się dużą wydajnością z obliczeniowego punktu widzenia, jednak z drugiej strony powinny pozwalać na niezawodne śledzenie pojazdów i ich prawidłowe rozróżnianie, także w obecności zakłóceń spowodowanych np. trudnymi warunkami atmosferycznymi (np. intensywnymi opadami). Z tego względu szczególnie interesujące wydaje się wykorzystanie danych surowych, zwłaszcza dla techniki śledzenia przed detekcją. Zaprezentowane we artykule wyniki potwierdzają tę tezę, przy czym warto zauważyć, iż wykorzystanie danych surowych w proponowanej postaci łącznie z algorytmami estymacji i usuwania tła nie powoduje znaczącego wzrostu nakładu obliczeniowego dla całego algorytmu śledzenia.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Barniv, Y.: *Dynamic Programming Algorithms for Detecting Dim Moving Targets*. In: Bar-Shalom, Y. (ed.): *Multitarget-Multisensor Tracking*. Artech House 1990.
- [2] Blackman, S., Popoli, R.: *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*. Artech House 1999.
- [3] Blackman, S.: *Multiple-Target Tracking with Radar Applications*. Artech House 1992.
- [4] Boers, Y., Ehlers, F., Koch, W., Luginbuhl, T., Stone, L.D., Streit, R.L.: *Track Before Detect Algorithm*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Hindawi 2008.
- [5] Kalman, R.E.: *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*. Transactions of the ASME–Journal of Basic Engineering 82, Series D pp. 35–46, 1960.
- [6] Klein L.A.: *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*. Norwood, Massachusetts, Artech House ITS library 2001.
- [7] Mazurek, P., Okarma, K.: *Subpikselowe śledzenie ruchu pojazdów na drodze w dużej odległości od kamery*. Logistyka nr 3, str. 1815–1824, 2011.
- [8] Okarma, K., Mazurek, P.: *Nonlinear Background Estimation Methods for Video Vehicle Tracking Systems*. Archives of Transport Systems Telematics, 2011.
- [9] Okarma, K., Mazurek, P.: *Vehicle Tracking Using the High Dynamic Range Technology*. Communications in Computer and Information Science vol. 329 (TST 2011), pp. 172–179, Springer Verlag 2011.
- [10] Stone L. D., Barlow C. A., Corwin T. L.: *Bayesian Multiple Target Tracking*. Artech House Publishers. August 1999.

7. PODZIĘKOWANIA

Artykuł powstał 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“.