

PURCZYŃSKI Jan¹

Estymacja prędkości pojazdu w warunkach silnych zakłóceń losowych metodą uśredniania sekwencji obrazów

Estymacja prędkości pojazdu,
Zakłócenia losowe obrazu
Symulacje komputerowe

Streszczenie

Zaproponowano metodę estymacji prędkości pojazdu poruszającego się po jednym pasie ruchu. Uwzględniono rozmycie obrazu pojazdu oraz występowanie szumów gaussowskich na poszczególnych etapach akwizycji obrazu. Algorytm bazuje na wstępnej obróbce sygnału polegającej na uśrednianiu sekwencji obrazów. Operacja uśrednienia zmniejsza poziom zakłócenia, jednocześnie wprowadzając błąd polegający na rozmyciu poruszającego się pojazdu. W dalszym etapie obliczeń wykorzystano metodę wygładzania wykładniczego Browna oraz metodę średniej ruchomej. Działanie algorytmu w warunkach silnych zakłóceń losowych zweryfikowano w wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych.

ESTIMATION OF A VEHICLE VELOCITY IN STRONG RANDOM NOISE CONDITIONS BY MEANS OF IMAGE SEQUENCE AVERAGING

Abstract

The method of estimating the velocity of a vehicle moving in one lane was proposed. Vehicle image blurring and the appearance of Gaussian noises at individual stages of image acquisition were taken into account. The algorithm is based on initial signal processing by means of image sequence averaging. In the subsequent phase of computations both Brown's exponential smoothing and moving average methods were applied. The working of the algorithm in strong random noise conditions was verified through computer simulations.

1. WSTĘP

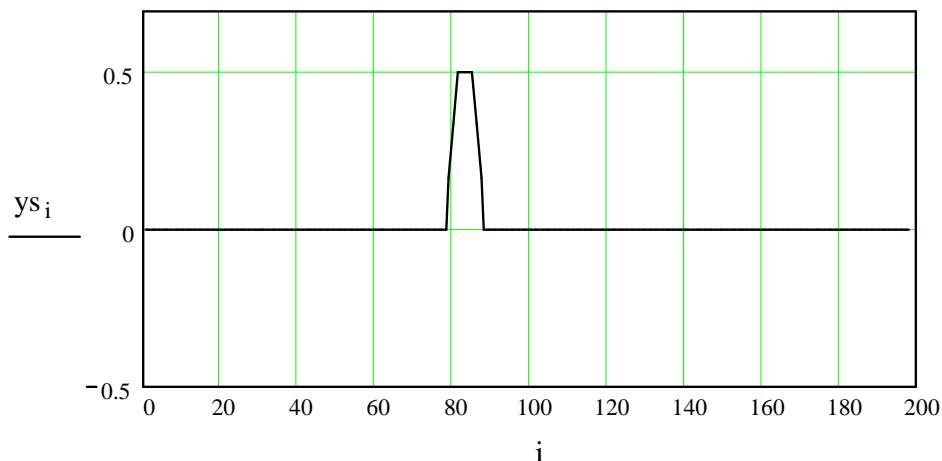
W pracy rozpatrzono zagadnienie estymacji prędkości pojazdu na podstawie obrazu zarejestrowanego przez kamerę video. W niniejszej pracy, gdzie uwzględnia się silne zakłócenia losowe, przyjęto, że dla poszczególnych klatek estymuje się położenie obiektu, natomiast prędkość wyznacza się na podstawie sekwencji obrazów (10, 20 klatek). Praca stanowi kontynuację tematyki rozpatrzonej we wcześniejszych pracach autora [2], [3],[4].

Przyjęto, że przed uruchomieniem pomiaru prędkości została zarejestrowana dostateczna liczba obrazów tła (np. 1000), na podstawie której dokonano uśrednienia, co pozwoliło określić charakterystyczne cechy tła. Zakłada się, że uśredniony obraz tła jest odejmowany od kolejnych, zarejestrowanych obrazów z poruszającym się obiektem. W efekcie, przyjmuje się, że tło posiada poziom równy zero i jest zakłócanie szumem gaussowskim identycznie jak pojazd. W celu uproszczenia rozważań rozpatruje się pojazdy w uproszczonej skali szarości: pojazdowi jasnemu przyporządkowana jest liczba 0,5, natomiast pojazdowi ciemnemu- liczba - 0,5. Zakładając, że prędkość pojazdu wynosi 90km/godz. oraz kamera rejestruje 25 klatek na sekundę, stwierdza się, że dwie kolejne klatki odpowiadają drodze 1m przebytego przez pojazd. Zakładając, że kamera ma rozdzielczość 320 pikseli oraz obraz obejmuje drogę o długości 320m, stwierdza się, że odległość dwóch sąsiadujących pikseli w obrazie odpowiada odległości 1m na drodze. Zakłada się, że ruch pojazdu, o długości 6m, odbywa się na jednym pasie ruchu a kamera umieszczona jest z boku drogi.

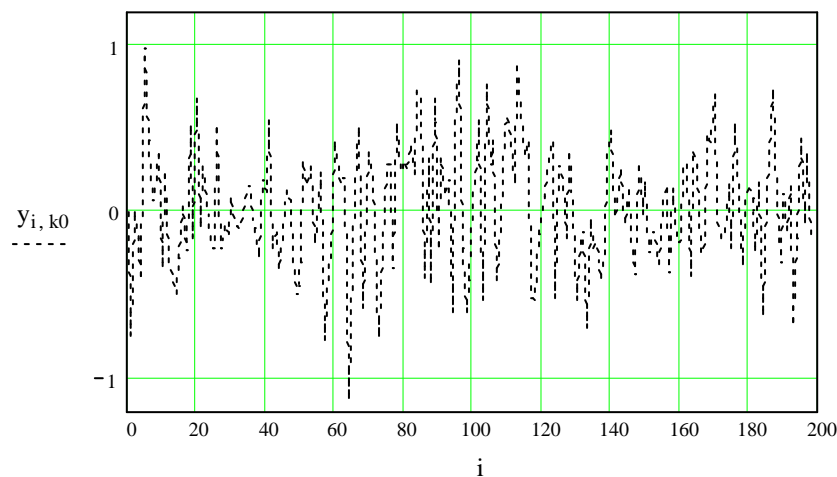
Model pojazdu, tzn. prostokąt o podstawie 6 pikseli został rozmyty za pomocą filtru średniej ruchomej przyjmując postać trapezu ys przedstawionego na rysunku 1.

Obraz przedstawiony na rysunku 1 został zakłócony szumem gaussowskim charakteryzującym się odchyleniem standardowym $\sigma = 0,4$, co zostało zaprezentowane na rysunku 2.

¹Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie, 71-244 Szczecin ul. Klonowica 14, Tel. 50708557
E-mail: janpurczynski@onet.eu



Rys. 1. Model pojazdu przyjęty do obliczeń.
Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Przykładowy obraz pojazdu w obecności zakłóceń losowych ($\sigma = 0,4$) uzyskany w ramach symulacji komputerowych.
Źródło; opracowanie własne.

2. METODA ESTYMACJI PRĘDKOŚCI POJAZDU

W celu estymacji położenia pojazdu w pracy [4] zaproponowano dwustronną metodę wygładzania opisaną wzorem:

$$yw2_j = a \cdot yw_{j+1} + (1-a)yw2_j; \quad j = N, N-1, \dots, 1; \quad (1)$$

gdzie: $yw2_j$ - sygnał wygładzony dwustronnie ; $yw2_N = yw_N$. $j = N, N-1, \dots, 1$;

yw_i - sygnał wygładzony wykładniczo [5] ; $yw_1 = y_1$.

$$yw_{i+1} = a \cdot y_{i+1} + (1-a)yw_i \quad (2)$$

gdzie: y_i - zarejestrowany sygnał ; $i = 1, 2, \dots, N$;

Zaproponowana w pracy [4] metoda estymacji położenia pojazdu polega na wyznaczeniu wartości $yw2$ i określeniu punktu i_{\max} występowania maksimum tej funkcji – metodę tę oznaczono jako W.

W przypadku pojazdu ciemnego reprezentowanego przez liczbę $-0,5$, należy poszukiwać minimum wartości wygładzonej $yw2$ - algorytm wyznaczał niezależnie obydwa ekstrema, a porównanie wyników końcowych jednoznacznie ustalało zaistniały wariant.

Algorytm estymacji prędkości pojazdu jest następujący. Dla kolejnych (np. 10-ciu) obrazów wyznacza się wartości pikseli dla których wystąpiło maksimum funkcji $yw2$ oraz ich medianę. Obserwacje, dla których odległość wartości pikseli od mediany przekraczają P zostają usunięte – nie uwzględnia się ich w dalszych obliczeniach. Dla uzyskanego zestawu wyznacza się trend liniowy, którego współczynnik kierunkowy prostej \hat{v}_1 określa prędkość pojazdu. Postępowanie powtarzamy dla kolejnych dwóch sekwencji 10-ciu obrazów, a następnie wyznaczamy wartość średnią współczynników kierunkowych:

$$\hat{v} = \frac{1}{2}(\hat{v}_1 + \hat{v}_2) \quad (3)$$

Zaproponowaną metodę oznaczono jako WS.

Również praca [3] dotyczyła estymacji prędkości pojazdu, przy czym, poszukiwano maksimum funkcji interkorelacji dla następujących modeli pojazdu: trapez, trójkąt i prostokąt. Należy zauważyć, że metoda interkorelacji dla modelu prostokątnego pokrywa się z metodą średniej ruchomej (Moving Average):

$$YS_i = \frac{1}{2L+1} \sum_{k=-L}^L y_{i+k} \quad (4)$$

Metoda została oznaczona jako MA. Metoda ta w połączeniu ze wzorem (3) została opisana jako MAS.

W pracy [4] badano przydatność metody zaproponowanej w pracy [2], która bazowała na opisie sygnału za pomocą paraboli. Stwierdzono dużą złożoność obliczeniową tej metody. W związku z czym metoda ta nie będzie brana pod uwagę. W niniejszej pracy zakłada się, że zastosowanie powyższych metod zostanie poprzedzone wstępną obróbką sygnału polegającą na uśrednianiu sekwencji obrazów. Operacja uśrednienia zmniejsza poziom zakłócenia, jednocześnie wprowadzając błąd polegający na rozmyciu poruszającego się pojazdu. W związku z tym powstaje problem określenia optymalnej liczby kolejnych obrazów podlegających uśrednieniu. W pracy rozpatrzono zmieniającą się liczbę uwzględnionych obrazów od $M=3$ do $M=7$.

3. WYNIKI SYMULACJI KOMPUTEROWYCH

Obliczenia wykonano dla sekwencji 20 obrazów, przy czym, omówioną procedurę estymacji prędkości pojazdu stosowano oddzielnie dla każdej sekwencji 10-ciu obrazów. Jako wynik końcowy przyjmowano średnią arytmetyczną z dwóch sekwencji. Zakłócenia losowe realizowano za pomocą generatora liczb losowych o rozkładzie normalnym o wartości przeciętnej równej zero oraz czterech wartościach odchylenia standardowego $\sigma = 0,25 ; 0,3 ; 0,35 ; 0,4$.

Symulacje komputerowe polegały na wykonaniu $K=400$ powtórzeń i wyznaczeniu na tej podstawie błędu estymacji. Jako pierwszy wyznaczany był błąd średnio kwadratowy MSE (Mean- Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\hat{v}_k - v_d)^2 \quad (5)$$

gdzie: \hat{v}_k - oszacowanie prędkości w k-tej symulacji

v_d - wartość dokładna prędkości.

Błąd średnio kwadratowy jest o tyle istotny, że ujmuje on łącznie błąd obciążenia estymatora jak również jego wariancję [1, s.17]:

$$MSE = V(\hat{v}) + b(\hat{v})^2 \quad (6)$$

gdzie: $V(\hat{v})$ - wariancja estymatora

$b(\hat{v})$ - obciążenie estymatora.

Kolejno wyznaczano wartość błędu RMSE (Root Mean- Squared Error):

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (7)$$

Jako ostatni, wyznaczano błąd RRMSE (Relative Root Mean- Squared Error):

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{\hat{v}_k - v_d}{v_d} \right)^2} \quad (8)$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze (5).

Przy poczynionych założeniach (p.1), prędkość pojazdu $v_d = 90 \frac{km}{godz.}$ odpowiadała przemieszczeniu modelu pojazdu o jeden piksel w ciągu jednej sekundy, tzn. położenie pojazdu w dwóch kolejnych obrazach różni się o jeden piksel. Oznacza to, że we wzorze (8) należy przyjąć $v_d = 1$, czyli wzór (8) prowadzi do tych samych wyników, co wzór (7).

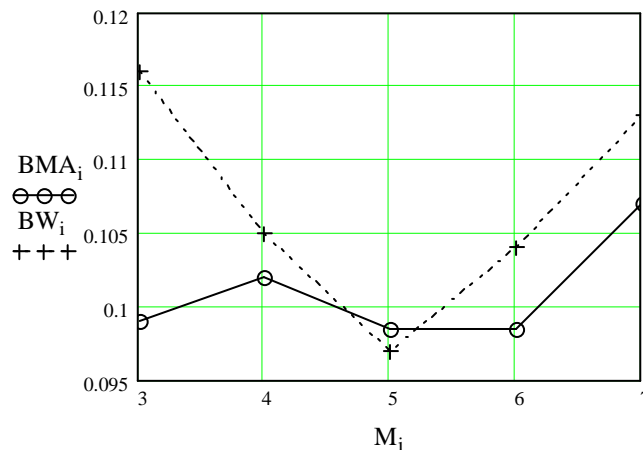
W pierwszej kolejności ustalono wartość P , decydującą o rezultatach testu odległości piksela od mediany – w wyniku testu obserwacja była odrzucana, bądź też uwzględniona. Dla obydwu metod: wygładzania wykładniczego (W1) oraz średniej ruchomej (MA1) wyznaczono wartość optymalną wynoszącą $PI=7$, która zapewniła minimalną wartość błędu średniokwadratowego dla sekwencji 10-ciu obrazów.

W następnej kolejności rozpatrzono problem określenia optymalnej liczby kolejnych obrazów podlegających uśrednieniu, które to poprzedza stosowanie obydwu metod.

Rozpatrzono zmieniającą się liczbę uwzględnionych obrazów $M=3,4,..,7$.

Na rysunku 3 przedstawiono wartości błędu średniokwadratowego, wyznaczonego w trakcie symulacji komputerowych dla poziomu zakłócenia $\sigma = 0,4$, w zależności od liczby obrazów podlegających wstępnemu uśrednieniu M . Linia ciągłą z kółkami BMA oznaczono błąd uzyskany dla metody MA1; linia kropkowana z plusami BW określa błąd metody W1. Z rysunku 3 wynika, że błąd BMA osiąga minimum dla $M=5$ oraz $M=6$ obrazów. Natomiast, błąd BW przyjmuje wartość minimalną dla $M=5$ obrazów. W dalszych obliczeniach wykorzystuje się dane wstępnie uśrednione dla pięciu kolejnych obrazów- poszczególne metody oznaczono MAU (średnia ruchoma ze wstępnym uśrednieniem danych) oraz WU (wygładzanie wykładnicze ze wstępnym uśrednieniem).

W ramach symulacji komputerowych uwzględniano następujące zestawy danych: 10 pierwszych obrazów (MA1U,W1U), 10 kolejnych obrazów (MA2U, W2U) oraz wartość średnią (wzór (3)) dla dwóch sekwencji obrazów (MASU, WSU).



Rys. 3. Zależność błędu średniokwadratowego od liczby obrazów podlegających wstępnemu uśrednieniu. BMA – błąd uzyskany dla metody MA1; BW- błąd metody W1
Źródło; opracowanie własne.

W trakcie obliczeń sprawdzono inny wariant polegający na uwzględnieniu sekwencji 20 obrazów bez rozbijania na segmenty 10-cio elementowe. Wyznaczona wartość optymalna – ze względu na najmniejszą wartość błędów odległości wartości pikseli od mediany wyniosła $PII=14$ dla obydwu metod oznaczonych: MAMU, WMU.

W tabeli 1 zamieszczono błędy wyników estymacji prędkości pojazdu uzyskane na drodze symulacji komputerowych ($K=400$) dla odchylenia standardowego zakłócenia $\sigma = 0,4$. Kolejne kolumny zawierają: zastosowaną metodę, wartość oszacowania prędkości \hat{v} , obciążenie estymatora $b(\hat{v})$ oraz błąd średnio kwadratowy RMSE.

Tab. 1 Błędy wyników estymacji prędkości pojazdu dla poziomu zakłócenia $\sigma = 0,4$

Metoda	\hat{v}	$b(\hat{v})$	RMSE	Metoda	\hat{v}	$b(\hat{v})$	RMSE
MA1U	0,9832	-0,0168	0,0914	W1U	0,9896	-0,0104	0,0984
MA2U	0,9824	-0,0176	0,1125	W2U	0,9934	-0,0066	0,0970
MASU	0,9830	-0,0170	0,0717	WSU	0,9844	-0,0156	0,0725
MAMU	1,0026	0,0026	0,0344	WMU	1,0022	0,0022	0,0407
MAS	0,9346	-0,0654	0,1582	WS	0,9151	-0,0849	0,1944
MAM	0,9344	-0,0654	0,1188	WM	0,9347	-0,0653	0,1223

Źródło: opracowanie własne

Oprócz wartości $PI=7$ oraz $PII=14$, które wyznaczono wspólnie dla obydwu metod, określono wartości dalszych parametrów, oddzielnie dla poszczególnych metod. Jako kryterium optymalności przyjęto minimum wartości błędów średniokwadratowych. W przypadku metody dwustronnego wygładzania wykładniczego określono wartość stałej wygładzania $a = 0,23$. Dla metody średniej ruchomej (wzór(3)) optymalna wartość wyniosła $L = 3$, co odpowiada oknu $2L+1 = 7$.

Podane powyżej wartości optymalne parametrów stanowią pewien kompromis. Mianowicie, w trakcie symulacji komputerowych zmieniano poziom zakłócenia poprzez zmianę odchylenia standardowego σ , które przyjmowało wartości $\sigma = 0,25; 0,30; 0,35; 0,40$. Okazało się, że dla konkretnej metody, zmiana poziomu zakłócenia wpływała na wielkość optymalnych wartości. Uwzględnienie tego faktu oznaczałoby opracowanie filtra adaptacyjnego. Filtr ten w pierwszej kolejności wyznaczałby poziom zakłócenia (wartość $\hat{\sigma}$) a następnie obliczał optymalne wartości parametrów zależne od oszacowania poziomu zakłócenia $\hat{\sigma}$. Filtr ten ma jednak podstawową wadę wyrażającą się dużą złożonością obliczeniową.

Cztery pierwsze wiersze tabeli 1 zawierają wyniki metody proponowanej w niniejszej pracy - ze wstępnym uśrednianiem danych. Dwa ostatnie wiersze zawierają wyniki zamieszczone w pracy [4], przy czym rozpatrzono tam sekwencję 30 obrazów. Metoda MAS (WS) oznacza wyniki średniej trzech sekwencji 10-ciu obrazów uzyskanych metodą średniej ruchomej (metodą wygładzania wykładniczego). Odpowiednio, MAM (WM) oznacza wyniki dla sekwencji 30-tu obrazów (wspólna mediana $PII=17$) uzyskanych metodą średniej ruchomej (metodą wygładzania wykładniczego).

Z tabeli 1 wynika, że obciążenie estymatora $b(\hat{v})$ jest kilkakrotnie mniejsze od wartości $rmse$. Oznacza to, że ocenę błędów metody można ograniczyć do wartości $rmse$. Porównując błędy metod: MASU (7,17%) oraz MAMU (3,44%) stwierdza, że nie należy wyznaczać wartości średniej dla dwóch sekwencji 10-ciu obrazów (wzór(3)), lecz prowadzić obliczenia dla całej sekwencji 20-tu obrazów. Analogiczny wniosek można wyciągnąć dla metody wygładzania wykładniczego, gdzie błędy wynoszą: dla WSU (7,25%) oraz dla WMU (4,07%).

Podobne zjawisko występowało dla wyników uzyskanych w pracy [4]. Mianowicie, błąd metody MAS (WS) wynosił 15,82% (19,44%) a błąd metody MAM (WM) wyniósł 11,88% (12,23%). W przypadku metody uśredniania wstępnego uzyskano dwukrotny zysk na dokładności, podczas gdy w pracy [4] zysk był około 50%. Różnica w zysku wynika z różnych wartości obrazów podlegających obróbce. Mianowicie w niniejszej pracy rozpatrywano sekwencję 20-tu obrazów a w pracy [4] była to sekwencja 30 obrazów, która prowadziła do dokładniejszej wartości średniej dla trzech, a nie dwóch, sekwencji.

Proponowana metoda prowadzi dla metody średniej ruchomej do następujących wartości błędów: 9,14% dla sekwencji 10-ciu pierwszych obrazów (MA1U); 11,25% dla 10-ciu następnych obrazów (MA2U) oraz 7,17% dla wartości średniej (MASU ,wzór(3)) Błąd metody MASU zmaleł, w przybliżeniu, $\sqrt{2}$ razy w stosunku do wartości błędów metody MA1U (MA2U). Jest to zgodne z teorią, ponieważ wzór (3) prowadzi do dwukrotnie mniejszej wariancji, a w konsekwencji, do $\sqrt{2}$ razy mniejszego odchylenia standardowego. Podobna sytuacja zaistniała w metodzie wygładzania wykładniczego, gdzie wzór (3) prowadził do błędów 7,25% (MASU), przy wartościach wyjściowych 9,84% (W1U) oraz 9,7% (W2U).

Proponowana metoda prowadzi do mniejszych błędów, niż metody omówione w pracy [4]. Mianowicie, w pracy [4] dla metody MA uzyskano błąd 15,82% (MAS), podczas gdy dla proponowanej metody błąd wynosi 7,17% przy niekorzystnej liczbie uwzględnionych sekwencji obrazów (2). Analogiczna uwaga dotyczy metody wygładzania- błąd 19,44% (WS) w pracy [4] w porównaniu z błędem 7,25% (WSU). Jeszcze większe dysproporcje występują dla metody wspólnej mediany dla pełnego zestawu obrazów. W pracy [4] uzyskano błędy: 11,88% (MAM) oraz 12,23% (WM). Natomiast proponowana metoda zapewnia następujące wartości błędów: 3,44% (MAMU) oraz 4,07% (WMU). Najmniejsze wartości błędów odnotowano dla metody wstępnego uśredniania z wyznaczeniem wartości mediany dla całego zestawu obrazów: 3,44% (MAMU) oraz 4,07% (WMU).

4. WNIOSKI

W pracy zaprezentowano metodę estymacji prędkości pojazdu na podstawie obrazu zarejestrowanego przez kamerę video, zawierającego zakłócenia o wysokim poziomie. Algorytm bazuje na wstępnej obróbce sygnału polegającej na uśrednianiu sekwencji obrazów. Operacja uśrednienia zmniejsza poziom zakłócenia, jednocześnie wprowadzając błąd polegający na rozmyciu poruszającego się pojazdu. W dalszym etapie obliczeń wykorzystano metodą wygładzania wykładniczego Browna oraz metodę średniej ruchomej. Działanie algorytmu w warunkach silnych zakłóceń losowych zweryfikowano w wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych. W wyniku obliczeń numerycznych wyznaczono wartości $rmse$ dla poszczególnych metod. Uwzględniając wartości błędów, należy polecić metodę wstępnego uśredniania z wyznaczeniem wartości mediany dla całego zestawu obrazów: metoda MAMU lub WMU.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Krzyśko M.: *Statystyka matematyczna. Cz.II*, Poznań, UAM 1997
- [2] Purczyński J.: *Estimation of the Mean Velocity of a Group of Vehicles in Strong Random Noise Conditions*, Series: Communications in Computer and Information Science No 104, TST, Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2010, pp.168-174
- [3] Purczyński J.: *Estymacja prędkości pojazdu w warunkach silnych zakłóceń losowych z wykorzystaniem funkcji interkorelacji*, Logistyka nr 6/2010 str. 2839-2846 (CD-ROM)
- [4] Purczyński J.: *Estymacja prędkości pojazdu w warunkach silnych zakłóceń losowych metodą wygładzania wykładniczego Browna*, Referat wygłoszony na Konferencji Transcomp 2011 – przyjęte do druku Logistyka nr 6 2011.
- [5] Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S.: *Prognozowanie ekonomiczne Teoria, Przykłady, Zadania*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2003

Praca finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Projekt badawczy Nr N N509 399136 „Estymacja trajektorii ruchu pojazdów z wykorzystaniem analizy bayesowskiej oraz algorytmów cyfrowego przetwarzania obrazów”).