

Jan PURCZYŃSKI¹

ESTYMACJA PRĘDKOŚCI POJAZDU W WARUNKACH SILNYCH ZAKŁÓCEŃ LOSOWYCH Z WYKORZYSTANIEM FUNKCJI INTERKORELACJI

Zaproponowano metodę estymacji prędkości pojazdu poruszającego się po jednym pasie ruchu. Uwzględniono rozmycie obrazu pojazdu oraz występowanie szumów gaussowskich na poszczególnych etapach akwizycji obrazu. Metoda bazuje na funkcji korelacji wzajemnej (interkorelacji) wyznaczonej pomiędzy obrazem zakłóconym a modelem pojazdu. Działanie algorytmu w warunkach silnych zakłóceń losowych zweryfikowano w wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych.

ESTIMATION OF THE VELOCITY OF A VEHICLE IN STRONG RANDOM NOISE CONDITIONS BY MEANS CROSS CORRELATION FUNCTION

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 considered. The method is based on the cross correlation function (mutual correlation) determined between a distorted image and a vehicle model. The working of an 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 wideo. W przypadku niskiego poziomu zakłóceń stosuje się metodę polegającą na odejmowaniu kolejnych klatek obrazu, co pozwala zidentyfikować poruszające się obiekty. Przykładem może być algorytm zaproponowany przez Lucas B.D i Kanade T. [2]. Jedną z wersji tego algorytmu przewiduje wykorzystanie pochodnej obrazu. Wykonanie operacji różniczkowania sygnału w obecności zakłóceń losowych może być przyczyną dużych błędów [3]. W przypadku wysokiego poziomu zakłócenia metoda odejmowania kolejnych sekwencji obrazu staje się nieprzydatna, ponieważ prowadzi do wzrostu poziomu zakłócenia- następuje sumowanie wariancji szumu. W niniejszej pracy, gdzie uwzględnia się silne zakłócenia losowe, przyjęto, że dla poszczególnych klatek

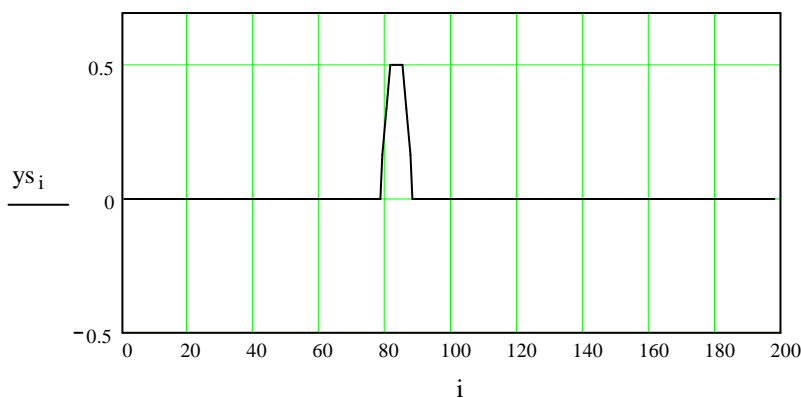
¹ Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie, e, 71-244 Szczecin ul. Klonowica 14, Tel. 507085577
E-mail: janpurczynski@onet.eu

estymuje się położenie obiektu, natomiast prędkość wyznacza się na podstawie sekwencji obrazów (10, 20, 30 klatek).

2. METODA ESTYMACJI PRĘDKOŚCI POJAZDU

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.

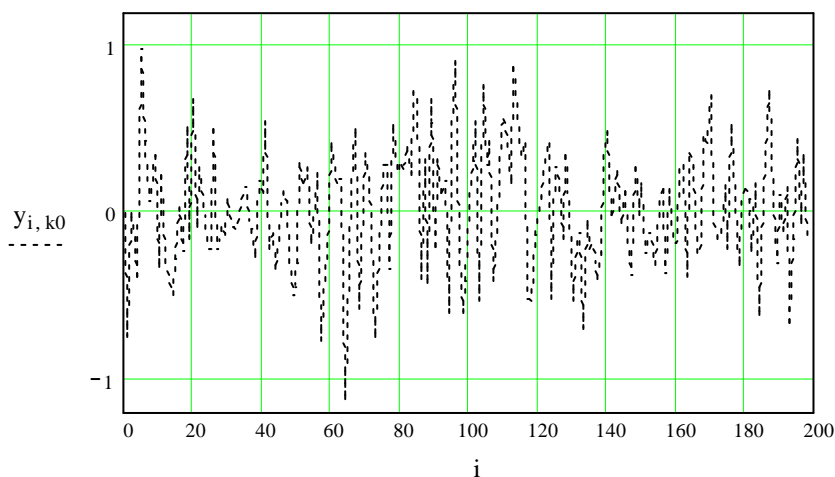
Model pojazdu, tzn. prostokąt o podstawie 6 pikseli został rozmyty za pomocą filtru średniej ruchomej przyjmując postać trapezu y_s przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Model pojazdu przyjęty do obliczeń.

Źródło: opracowanie własne

Obraz przedstawiony na rysunku 1 został zakłócony szumem gaussowskim charakteryzującym się odchyleniem standardowym $\sigma = 0,35$, co zostało zaprezentowane na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy obraz pojazdu w obecności zakłóceń losowych ($\sigma = 0,35$) uzyskany w ramach symulacji komputerowych.
Źródło; opracowanie własne.

W celu estymacji położenia pojazdu wykorzystano funkcję korelacji wzajemnej (interkorelacji) o postaci [5, s.82]:

$$\Phi_{yx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot x(t - \tau) dt \quad (1)$$

gdzie: $y(t)$ - zarejestrowany sygnał
 $x(t)$ - założony model obrazu pojazdu

Dokonując dyskretyzacji oraz uwzględniając przyjęte założenie (jeden piksel odpowiada jednej sekundzie), otrzymuje się:

$$t_i = i; \tau_n = n \quad \text{gdzie } i = 1, 2, \dots, N; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Zastępując całkę (1) sumą oraz uwzględniając wzór (2), funkcja korelacji wzajemnej wyrazi się zależnością:

$$\Phi_n = \sum_{i=0}^N y_i x(i - n) \quad (3)$$

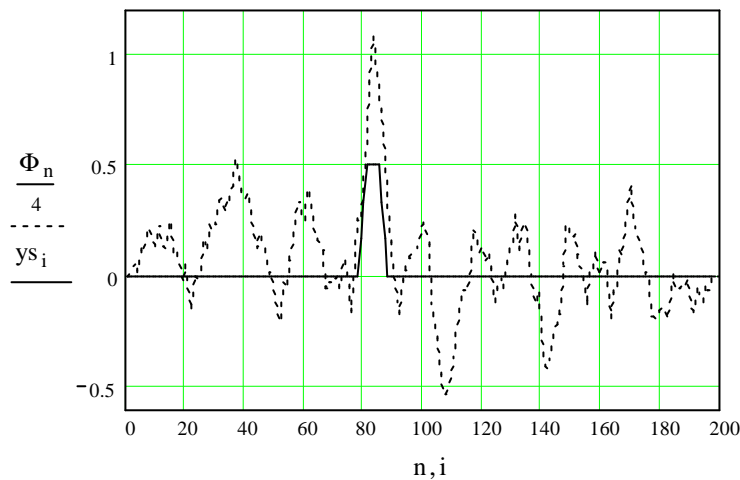
Jako założony model obrazu pojazdu $x(t)$ przyjęto trapez, który w postaci dyskretnej wyraża się wzorem:

$$x(i-n) = A \begin{cases} 1 & \text{dla } |i-n| \leq d \\ \frac{D-|i-n|}{D-d} & \text{dla } d < |i-n| \leq D \\ 0 & \text{dla } |i-n| > D \end{cases} \quad (4)$$

gdzie: $2D$ – dolna (dłuższa) podstawa trapezu
 $2d$ – górna (krótsza) podstawa trapezu.

Jako szczególne przypadki wzoru (4) zostaną rozpatrzone: $D = d$ – prostokąt oraz $d = 0$ – trójkąt.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową realizację funkcji korelacji wzajemnej Φ_n (linia kropkowana) uzyskaną dla $D = d = 3$, $A = 1$ (wzór (4)) oraz model pojazdu oznaczony linią ciągłą ys_i .



Rys.3. Przykładowa realizacja funkcji korelacji wzajemnej Φ_n (linia kropkowana) dla $A=1$ oraz $D=d=3$ (wzór (4)). Linią ciągłą ys_i oznaczono model pojazdu.

Źródło; opracowanie własne.

Zgodnie z rysunkiem 3, funkcja interkorelacji osiąga maksimum w punkcie odpowiadającym środkowi pojazdu. Proponowana metoda estymacji położenia pojazdu polega na wyznaczeniu wartości funkcji Φ_n i określeniu punktu n_{\max} występowania

maksimum funkcji interkorelacji – metodę tę oznaczono jako MI. Uwzględniając trzy modele pojazdu, zastosowano następujące oznaczenia pierwszej metody : MPI – prostokąt, MTI – trapez oraz $M\Delta I$ - trójkąt. Rozpatrzono również modyfikację metody MI polegającą na poszukiwaniu wartości maksymalnej iloczynu P kolejnych wartości funkcji Φ_n - MII oraz odpowiednio MPII, MTII i $M\Delta II$.

Sytuacja obserwowana na rysunku 3 występuje stosunkowo rzadko – w wyniku dużego poziomu zakłócenia maksimum funkcji Φ_n może wystąpić w dowolnym punkcie n .

W przypadku pojazdu ciemnego reprezentowanego przez liczbę $-0,5$, należy poszukiwać minimum funkcji korelacji wzajemnej- 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 Φ_n oraz ich medianę. Obserwacje, dla których odległość wartości pikseli od mediany przekraczają L zostają usunięte – nie uwzględnia się ich w dalszych obliczeniach. Dla uzyskanego zestawu wyznacza się trend liniowy, którego współczynnik kierunkowy prostej określa prędkość pojazdu.

3 .WYNIKI SYMULACJI KOMPUTEROWYCH

W pierwszej kolejności rozpatrzono dobór wartości A i $D = d$ występujących we wzorze (4) – parametr A określa amplitudę impulsu prostokątnego, natomiast, $2D$ jego długość.

W wyniku eksperymentu numerycznego ustalono, że parametr A nie ma wpływu na położenie maksimum funkcji interkorelacji (wpływa jedynie na wartość ekstremum). Natomiast, parametr D ma istotny wpływ na jakość uzyskanych wyników – najmniejszy błąd wartości estymowanej prędkości uzyskano dla $DP=3$. Oznacza to, że optymalny impuls prostokątny $x(i-n)$ ma szerokość zgodną z założoną długością pojazdu ($2D=6$).

W rzeczywistych warunkach, gdzie nie znamy długości pojazdu, zaleca się wykonanie obliczeń dla kilku wartości D . Jako optymalną wartość D należy przyjąć tę, dla której uzyskano najmniejszą liczbę obserwacji odrzuconych w wyniku zastosowania kryterium odległości od mediany (p.2).

Kolejno, ustalono optymalną wartość L , decydującą o wynikach testu odległości pikseli od mediany, wynoszącą $LPI=11$. W przypadku metody MII optymalna wartość L , dla wszystkich modeli sygnału (prostokąt, trapez, trójkąt), wynosi $LII = 8$. W metodzie tej wyznacza się ekstremum dla R kolejnych wartości funkcji interkorelacji, gdzie optymalna wartość wynosi $R = 5$ (dla trzech modeli).

Analogicznie, w wyniku eksperymentu numerycznego ustalono optymalne parametry impulsu trapezowego: $DT=5$, $dT=2$, $LTI= 10$ oraz impulsu trójkątnego: $D\Delta = 6$, $L\Delta I = 11$.

Obliczenia wykonano dla sekwencji 30 obrazów, przy czym, omówioną procedurę estymacji prędkości pojazdu stosowano oddzielnie dla każdej sekwencji 10-ciu obrazów. Jako wynik końcowy przyjmowano średnią arytmetyczną z trzech sekwencji. Zakłócenia losowe realizowano za pomocą generatora liczb losowych o rozkładzie normalnym o wartości przeciętnej równej zero oraz trzech wartościach odchylenia standardowego $\sigma = 0,25 ; 0,3 ; 0,35$.

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):

$$MSE = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\hat{v}_k - v_d)^2 \quad (4)$$

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]:

$$MSE = V(\hat{v}) + b(\hat{v})^2 \quad (5)$$

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

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

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (6)$$

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

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{\hat{v}_k - v_d}{v_d} \right)^2} \quad (7)$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze (4).

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 (7) należy przyjąć $v_d = 1$, czyli wzór (7) prowadzi do tych samych wyników, co wzór (6).

W tabeli 1 zamieszczono błędy wyników estymacji prędkości pojazdu uzyskane na drodze symulacji komputerowych ($K=400$). Kolejne kolumny zawierają: odchylenie standardowe zakłócenia σ , wartość oszacowania prędkości \hat{v} , obciążenie estymatora $b(\hat{v})$ oraz błąd średnio kwadratowy $RMSE$.

Rozpatrywany problem był tematem pracy [4], gdzie estymacja położenia pojazdu została wykonana w wyniku aproksymacji parabolicznej wartości obserwacji y_i . Następnie, wyznaczano wartość maksymalną paraboli, która pokrywała się z wartością wyrazu wolnego równania paraboli $a0_i$ (metoda PI). Modyfikacja metody pierwszej

polegała na wyznaczaniu maksimum iloczynu $R=6$ kolejnych wartości wyrazu a_0 ; (metoda PII). Stosując zaproponowany tam algorytm, wykonano obliczenia dla tych samych poziomów zakłócenia. Wyniki symulacji komputerowych zamieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1 Błędy wyników estymacji prędkości pojazdu

σ	Metoda MPI			Metoda MPII		
	\hat{v}	$b(\hat{v})$	RMSE	\hat{v}	$b(\hat{v})$	RMSE
0,25	0,9945	-0,0055	0,0641	1,0027	0,0027	0,0577
0,30	0,9877	-0,0123	0,0849	1,0009	0,0009	0,0721
0,35	0,9756	-0,0244	0,1117	0,9917	-0,0083	0,0947
	Metoda MTI			Metoda MTII		
0,25	0,9972	-0,0028	0,0546	1,0015	0,0015	0,0539
0,30	0,9930	-0,0070	0,0743	1,0002	0,0002	0,0683
0,35	0,9856	-0,0144	0,1083	0,9926	-0,0074	0,0893
	Metoda MΔI			Metoda MΔII		
0,25	1,0016	0,0016	0,0659	1,0012	0,0012	0,0546
0,30	0,9985	-0,0015	0,0851	1,0048	0,0048	0,0676
0,35	0,9864	-0,0136	0,1162	0,9951	-0,0049	0,0884
	Metoda PI (wg algorytmu [4])			Metoda PII (wg algorytmu [4])		
0,25	0,9970	-0,0030	0,0650	0,9983	-0,0017	0,0554
0,30	0,9908	-0,0092	0,0833	0,9938	-0,0062	0,0726
0,35	0,9773	-0,0227	0,1056	0,9835	-0,0165	0,1011

Źródło: opracowanie własne

Porównując wyniki estymacji prędkości metodą MI (MPI , MTI , $MΔI$) stwierdza się najmniejsze wartości błędów $RMSE$ dla metody MTI (okno trapezowe), które są porównywalne z wartościami błędów $RMSE$ metody PI ([4]). Odnośnie metody MII , najmniejsze wartości błędów zapewniają metody $MΔII$ (okno trójkątne) i $MTII$ (okno trapezowe), które okazują się dokładniejsze, niż metoda PII .

Z tabeli 1 wynika, że metoda MII prowadzi do mniejszych wartości błędów niż metoda MI , zarówno co do błędu $RMSE$, jaki błędu obciążenia $b(\hat{v})$. Ponadto, stwierdza się, że wartości błędu obciążenia $b(\hat{v})$ są wielokrotnie mniejsze, niż wartości błędu $RMSE$. Oznacza to, zgodnie ze wzorem (5), że zasadniczym źródłem błędów jest wariancja estymatora $V(\hat{v})$.

4. WNIOSKI

W pracy zaproponowano metodę estymacji prędkości pojazdu na podstawie obrazu zarejestrowanego przez kamerę wideo, zawierającego zakłócenia o wysokim poziomie. Algorytm wykorzystuje funkcję korelacji wzajemnej rejestrowanego sygnału oraz trapezowego okna czasowego (wzór (4)). Jako szczególne przypadki trapezu rozpatrzono okno prostokątne i okno trójkątne. Stosując metodę MI , polegającą na estymacji położenia ekstremum (maksimum lub minimum) funkcji korelacji wzajemnej, najmniejsze wartości

błędów odnotowano dla okna trapezowego o podstawach $2DT=10$ i $2dT=4$. Dla metody MII, w której wyznacza się ekstremum dla $R=5$ kolejnych wartości funkcji interkorelacji, najlepsze wyniki uzyskano dla okna trójkątnego o podstawie $2D\Delta = 12$ oraz trapezowego o podstawach jak wyżej. W obydwu przypadkach stwierdza się mniejsze wartości błędów, niż w metodzie PII [4].

Z danych zawartych w tabeli 1 wynika, że najlepsze wyniki uzyskano dla metod $M\Delta II$ i $MTIII$. Jednakże stosowanie okna trapezowego jest uciążliwe, ponieważ wymaga określenia dwóch parametrów (długości podstaw).

Z tego powodu należy zarekomendować metodę $M\Delta II$, gdzie w wyniku zastosowania kryterium odległości od mediany (p.2), określa się tylko jeden parametr (długość podstawy). Za stosowaniem okna trójkątnego przemawia dodatkowo fakt, że w przypadku silniejszego rozmycia obrazu pojazdu, niż to ma miejsce na rysunku 1, model pojazdu jeszcze bardziej upodobni się do trójkąta.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Krzyśko M.: *Statystyka matematyczna. Cz.II*, Poznań, UAM 1997
- [2] Lucas B.D. Kanade T.: *An iterative image registration technique with an application to stereo vision*, Proceeding of Imaging understanding workshop, pp.121—130, 1981.
- [3] Purczyński J.: *Algorithms for differentiation of signals with random noise*. Computer Applications in Electrical Engineering, pp. 21-31, Poznań 2009.
- [4] Purczyński J.: *Estimation of the Mean Velocity of a Group of Vehicles in Strong Random Noise Conditions*, Materiały 10 Konferencji TST 2010, Series: Communications in Computer and Information Science, Vol. 104 – w druku.
- [5] Szbatin J.: *Podstawy teorii sygnałów*, Warszawa, WKiŁ 2000

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”).