



Przemysław MAZUREK

PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW Z CZUJNIKÓW NACISKU Z WYKORZYSTANIEM BANKU FILTRÓW

Streszczenie

W artykule zaproponowano algorytm do analizy sygnałów z czujnika nacisku (światłowodowego). Czujniki tego typu stosowane są do pomiaru obecności, prędkości oraz wagi (poprzez pomiar tzw. wagi w locie) pojazdu drogowego lub szynowego. Wykorzystując zespół czujników można wyznaczyć parametry te pod warunkiem prawidłowej rejestracji. Algorytmy detekcji, bazujące na progowaniu, nie są w stanie poradzić sobie z detekcją słabych sygnałów, co ma miejsce, gdy pojazd jest lekki lub nacisk osi zmienia się na skutek nierówności, przykładowo nawierzchni. Bank filtrów pozwala na poprawę pracy zespołu czujników poprzez czasowe i międzyczujnikowe odszumianie sygnału. W artykule przedstawiono i omówiono kilka przypadków, oraz przeprowadzono analizę Monte Carlo wpływu szumu na pomiar prędkości.

WSTĘP

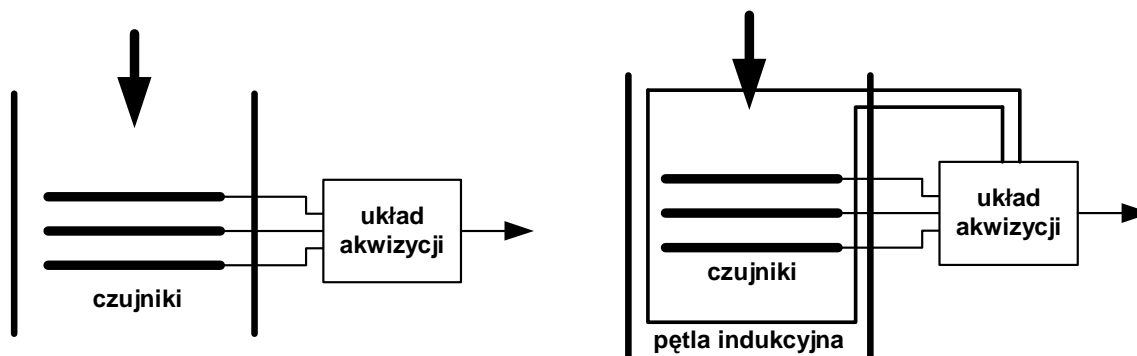
Pomiar parametrów pojazdów zarówno szynowych, jak i drogowych podczas ruchu jest kluczowy do realizacji różnych systemów monitorowania lub sterowania ruchem. Inteligentne systemy transportowe (ITS) pozwalają na redukcję czasu przejazdów, zużycia paliwa oraz zwiększenia bezpieczeństwa transportu [2,4]. Podsystem pomiarowy jest niezbędny do wyznaczenia parametrów pojazdów w ruchu. Stosuje się w tym celu różne czujniki w zależności od oczekiwanych estymowanych parametrów, typu pojazdu oraz warunków stosowalności danego czujnika. Systemy wizyjne z wykorzystaniem kamer pozwalają na estymację wielu parametrów, jednak są one ograniczone warunkami pogodowymi (deszczem, opadami śniegu, mgłą). Pomiar wagi jest możliwy po zatrzymaniu pojazdu za pomocą czujników nacisku (pneumatycznych, pojemnościowych, piezoelektrycznych, magnetostrykcyjnych oraz światłowodowych) [2]. Wyznaczenie wagi pojazdu bez zatrzymywania go lub ograniczenia prędkości wymaga zastosowania szybkich i dokładnych czujników, odpornych na pracę z w szerokim spektrum zmian nacisku osi na czujnik. Czujniki tego typu mają tą zaletę, że instalowane są w nawierzchni, pod drogą, pod pokładami kolejowymi i są w większości odporne na czynniki klimatyczne. Nawet w przypadku pomiarów, nie mających na celu estymację wagi, a jedynie prędkość pojazdu są one niezwykle użyteczne. Zmiany nacisku osi pochodzące od pojazdu w ruchu wpływają na pomiar wagi, a nawet na możliwość detekcji samego pojazdu (dokładnie osi). Silny wpływ na wynik ma degradacja nawierzchni lub szyn. Ruch wertykalny pojazdu potrafi zmienić nacisk tak, że sygnał z czujnika jest zredukowany, a nawet nie obecny w pomiarze. W skrajnym przypadku możliwy jest brak detekcji pojazdu.

1. ŚWIATŁOWODOWE CZUJNIKI NACISKU

Istnieje szereg rozwiązań dla realizacji czujnika nacisku z wykorzystaniem światłowodów. Najczęściej stosowany jest układ interferometru mikrowygięciowego, gdzie światłowodów poddawany jest odkształceniu na możliwie długim odcinku [1,3,5]. W celu zwiększenia długości stosuje się światłowodów, przykładowo nawinięty na odkształcalny walec. Układ optoelektroniczny pozwala na zamianę sygnałów optycznych na elektryczne (napięciowe lub prądowe). Zakres zmian elektrycznych odwzorowuje w dużym stopniu zmiany nacisku na czujnik.

Zaletą światłowodowych czujników nacisku jest odporność na zakłócenia elektromagnetyczne, szeroki zakres temperatur pracy oraz czas życia [3]. Zamiana wartości nieelektrycznej na elektryczną i dalej cyfrową jest stosunkowo prosta. Czujnik tego typu mają niewielką grubość, co ułatwia instalację w nawierzchni oraz pomiar punktowy, co nie występuje w często stosowanych czujnikach typu pętla indukcyjna, gdzie obszar pomiaru jest rzędu kilku lub kilkunastu metrów kwadratowych.

Czujniki światłowodowe są łączone w zespoły w celu pomiaru prędkości pojazdu. Z jednej strony jest to zaleta, która pozwala na realizację różnych parametrów, np. rozstawu kół w osi dla samochodów, z drugiej strony powoduje to zwiększenie kosztów. Najprostsza konfiguracja wykorzystuje dwa czujniki zainstalowane równoległe na pasie.



Rys. 1. Konfiguracje podstawowe dla czujników światłowodowych

Źródło: [opracowanie własne]

W celu detekcji obecności pojazdu i powiązania mierzonych sygnałów z pojazdem wykorzystuje się jednocześnie pętlę indukcyjną oraz zespół dwóch lub trzech czujników światłowodowych (Rys.1). Bez pętli indukcyjnej nie jest możliwy pomiar obecności pojazdu nad czujnikami światłowodowymi, z uwagi na to, że o ile pętla indukcyjna jest czujnikiem obszarowym to czujniki światłowodowe są czujnikami praktycznie punktowymi. Pętla indukcyjna jest szczególnie przydatna, gdy pojazd porusza się bardzo wolno.

Zwiększenie ilości czujników światłowodowych ma na celu zwiększenie odporności systemu pomiarowego. Do pomiaru prędkości wystarczą dwa czujniki, jednak z uwagi na możliwość zagubienia pomiaru przez jeden z nich konieczne jest zwiększenie ich liczby. Według teorii niezawodności dla tolerowania jednego urządzenia w stanie awarii, które może także dostarczać fałszywe wyniki pomiarów, konieczne jest wykorzystanie trzech lub więcej urządzeń pomiarowych. Wykonując analizę większościową można określić, który z nich jest uszkodzony oraz jaki jest poprawny wynik.

2. KONWENCJONALNA METODA POMIARU PRĘDKOŚCI

Czujnik światłowodowy nacisku można modelować jako źródło sygnału o gaussowskim kształcie impulsu oraz addytywnym szumie gaussowskim. Jest to w rzeczywistości tylko

model, ponieważ nacisk osi na czujnik może ulec zmianie w trakcie pomiaru, co powoduje deformacje przebiegu.

Detekcja impulsu wymaga operacji progowania, jednak wartość maksymalna sygnału jest zależna od nacisku. Chcąc zrealizować detekcję impulsu o małej amplitudzie konieczne jest ustawienie małej wartości progu. Mała wartość progu jednak jest kłopotliwa, ponieważ powoduje to zmniejszenie odstepu między sygnałem a szumem tła. Bardzo małe wartości impulsu giną wtedy w szumie tła i nie można wykryć impulsu. Wykorzystanie małej wartości progu powoduje zwiększenie ilości przypadkowych detekcji zakłóceń.

Konwencjonalne rozwiązanie detekcji bazuje na pomiarze odstepu czasu między impulsami dla poszczególnych czujników (1,2,3). W przypadku prawidłowej detekcji impulsów na wszystkich trzech czujnikach spełniona jest zależność

$$T_{obj} = T_{12} = T_{23} \quad (1)$$

W przypadku braku impulsu z czujnika 1:

$$T_{obj} = T_{23} \quad (2)$$

W przypadku braku impulsu z czujnika 2:

$$T_{obj} = \frac{T_{13}}{2} \quad (3)$$

W przypadku braku impulsu z czujnika 3:

$$T_{obj} = T_{12} \quad (4)$$

W przypadku braku sygnału z dwóch czujników na skutek tego, że sygnał jest poniżej wartości progu nie jest możliwy pomiar prędkości (z wykorzystaniem pomiaru na jeden osi).

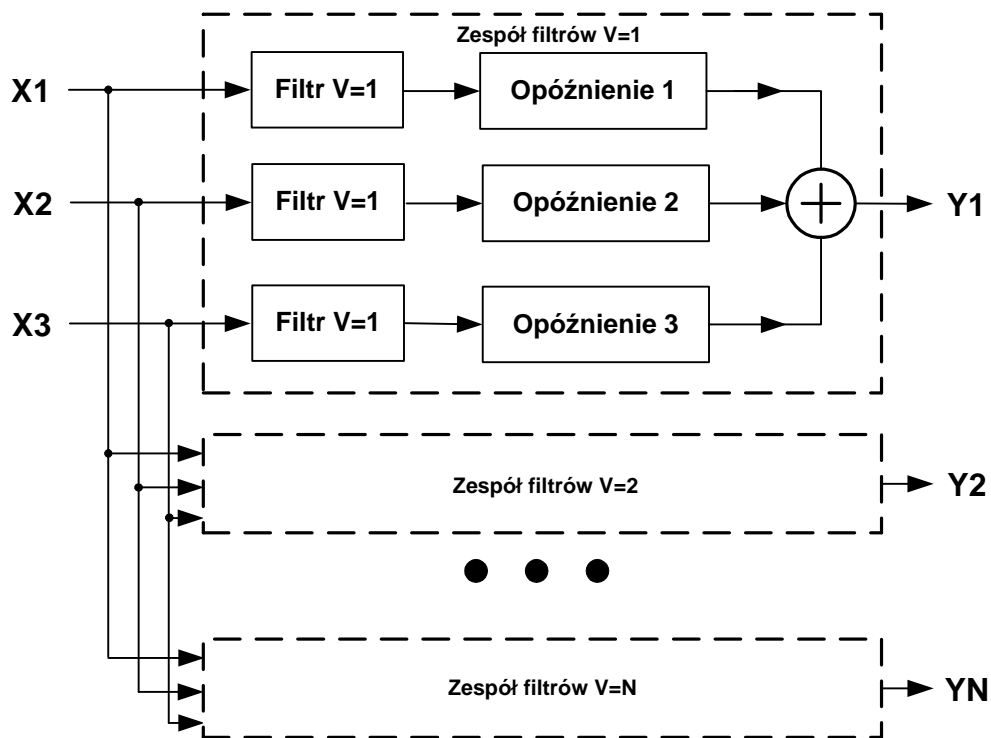
3. BANK FILTRÓW DO POMIARU PRĘDKOŚCI

Niski poziom sygnału do szumu może zostać poprawiony poprzez wykorzystanie sygnałów surowych (zarejestrowanych przez zestaw czujników) bez detekcji impulsów. Wykorzystać do tego można strukturę filtrów skończonej odpowiedzi impulsowej (w pracy zastosowano filtr 29 rzędu) w konfiguracji banku filtrów (Rys.2), którego współczynniki odzwierciedlają gaussowski kształt sygnału (Rys.3).

Uproszczona postać banku filtrów jest realizowana wzorem:

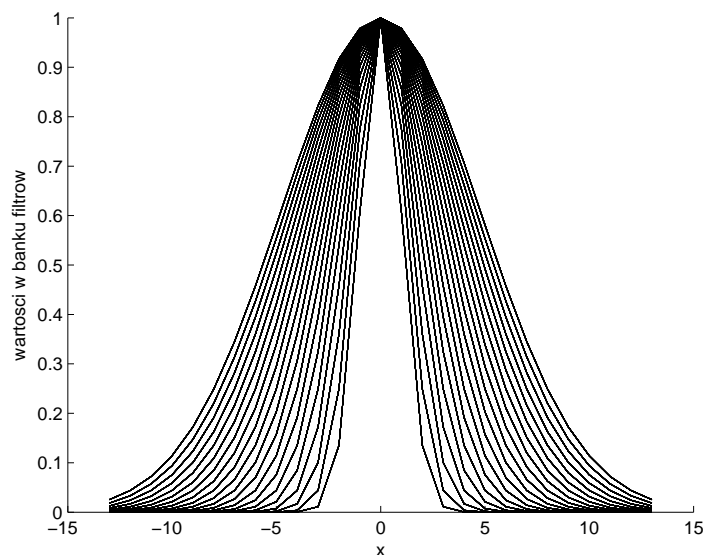
$$Y_v(n) = FIR_i^1(n) + FIR_i^2(n - V) + FIR_i^3(n - 2V) \quad (5)$$

gdzie opóźnienia odpowiadają prędkościom. Opóźnienie dla czujnika 1 wynosi 0, dla czujnika 2 jest to V, a dla czujnika 3 jest to 2V. W zależności od potrzeb można realizować dowolne bank w celu uzyskania dowolnej precyzji, poprzez rozbudowę ilości zespołu filtrów i poprzez dobór wag do filtrów.



Rys. 2. Schemat banku filtrów

Źródło: [opracowanie własne]



Rys. 3. Kształty impulsów gaussowskich jako wagi filtrów

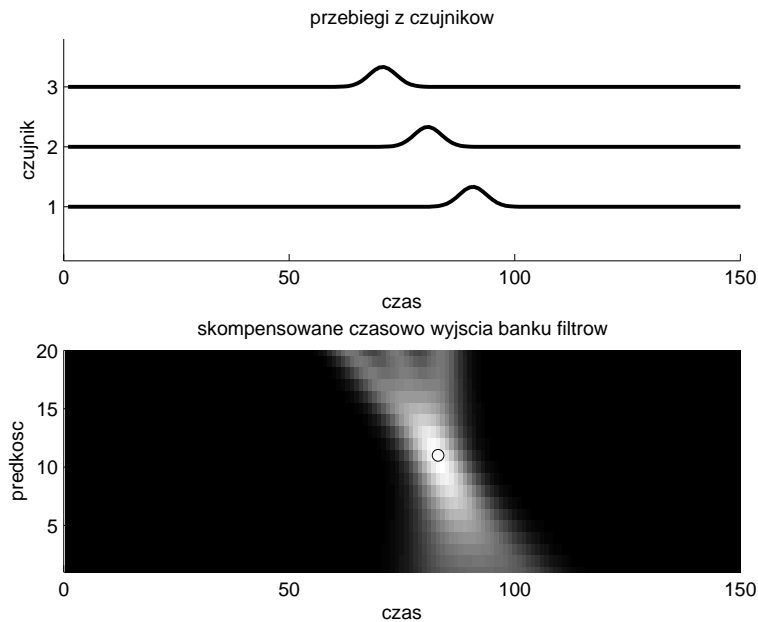
Źródło: [opracowanie własne]

Impulsy wąskie odpowiadają impulsom z czujnika, dla których czas pobudzenia jest krótki (duża prędkość pojazdu). Impulsy szerokie odpowiadają impulsom z czujnika, dla którego czas pobudzenia jest długi (mała prędkość pojazdu).

Opóźnienie o zmiennym czasie umożliwia skompensowanie w czasie przebiegów, tak by wyznaczenie sumy (lub wartości średniej) było niezależne od prędkości dla trzech sygnałów z filtrów przeznaczonych dla tej samej prędkości. Wyniki (Y) mogą być porównywane ze sobą

w celu wyznaczenia, który zespół filtrów daje największą wartość, co odpowiada zarazem prędkości. Konieczna jest też operacja progowania, by wyeliminować fałszywe detekcje.

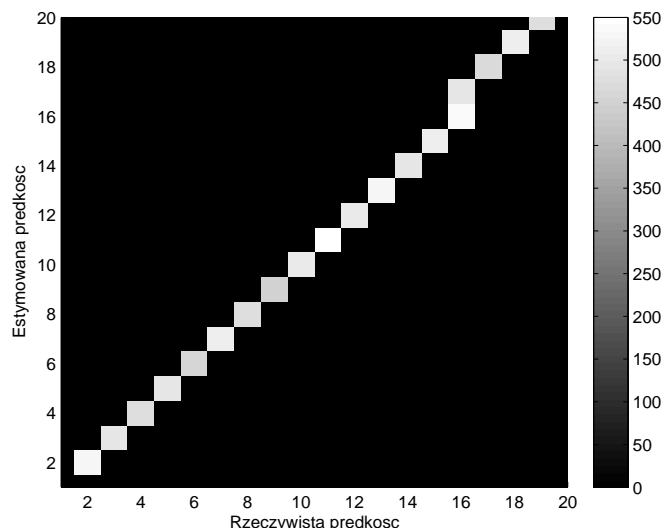
Lepszym rozwiązaniem jest analiza w szerszym odcinku czasu, w celu wykrycia maksimum. Dzięki temu nie ma zagrożenia, że lokalnym wynikiem, dla danego momentu czasu, będzie odpowiadał zły prędkości. Na Rys.4 przedstawiono przypadek, gdy sygnał z czujników nie jest zaszumiony. Wyniki pracy banku filtrów z zaznaczonym maksimum pokazują, że dla danej chwili czasowej mogą występować lokalne maksima, nie odpowiadające optimum, które analiza w szerszym odcinku czasu potrafi wyeliminować.



Rys. 4. Przykład sygnałów wejściowych oraz przestrzeń wyjściowa (największa wartość zaznaczona okręgiem), dla przypadku idealnego bez szumu

Źródło: [opracowanie własne]

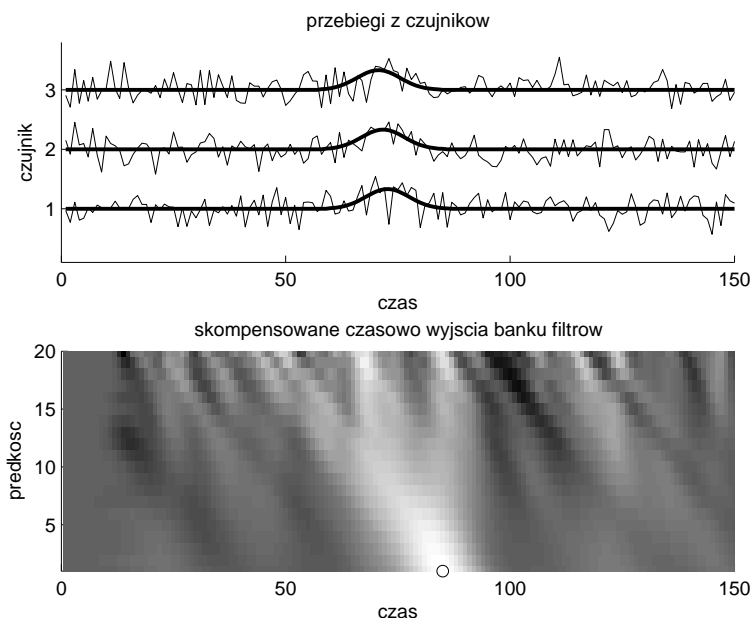
Czujniki pobudzone są kolejności 3, 2, 1 dając impulsy gaussowskie o podobnym kształcie, co wynika z małej odległości między czujnikami (zwykle rzędu 10-15cm). Zmiany prędkości między kolejnymi pomiarami w przypadku rzeczywistych obiektów są małe na takim odcinku. Rzeczywista i estymowana prędkość są przedstawione na Rys.5.



Rys. 5. Rzeczywista i estymowana prędkość, dla przypadku idealnego bez szumu

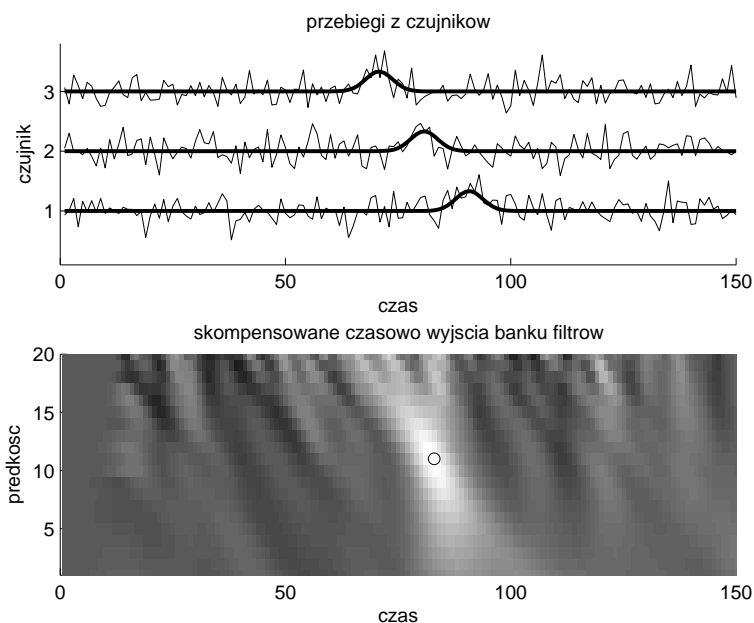
Źródło: [opracowanie własne]

Błędy występujące przy większych prędkościach (wykonano test Monte Carlo dla 10000 przypadków pojazdów o różnej prędkości – około 500 przypadków tej samej prędkości) wynikają z doboru filtrów i mogą być dodatkowo skompensowane. W rzeczywistym przypadku pomiaru są zaszumione (Rys.6,7,8). Stopień zaszumienia zależy od układ przetwarzania sygnału optycznego na analogowy oraz sposobu komunikacji między tym układem a układem cyfrowego przetwarzania sygnałów realizującego fuzję sygnałów (Rys.2).



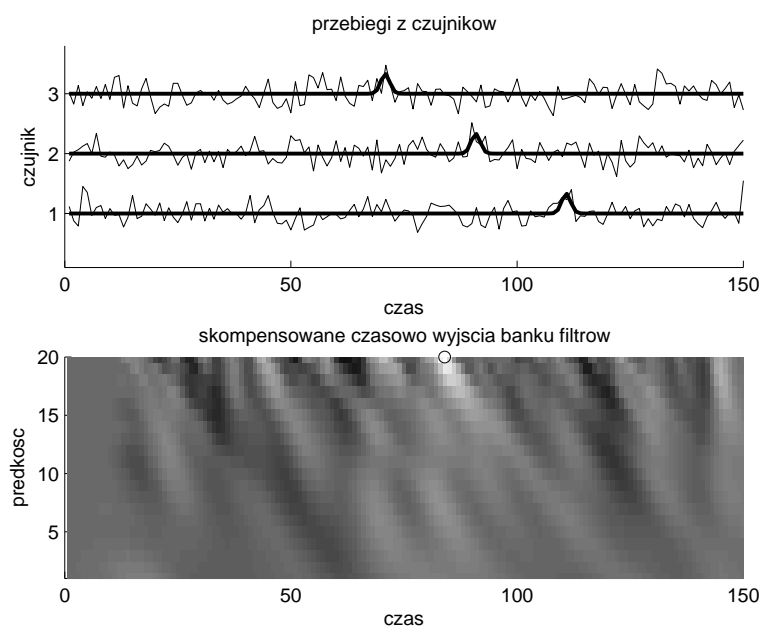
Rys. 6. Przypadek detekcji dla zakłóceń gaussowskich o odchyleniu standardowym 1.0, prędkość $V=1$

Źródło: [opracowanie własne]



Rys. 7. Przypadek detekcji dla zakłóceń gaussowskich o odchyleniu standardowym 1.0, prędkość $V=10$

Źródło: [opracowanie własne]



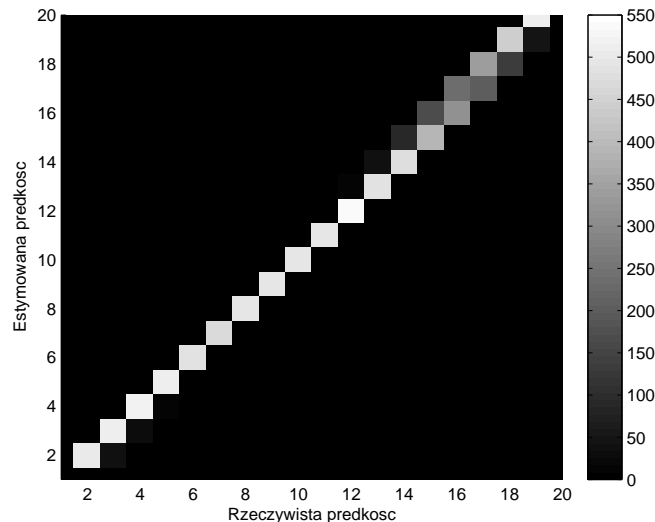
Rys. 8. Przypadek detekcji dla zakłóceń gaussowskich o odchyleniu standardowym 1.0, prędkość $V=20$

Źródło: [opracowanie własne]

Szumy takie jak na Rys.6-8, występujące w sygnałach z czujników są bardzo duże. Nie jest możliwe zastosowanie progowania, ponieważ progowanie będzie powodowało powstawanie fałszywych detekcji lub brak detekcji.

Na Rys.6 i Rys.8 przedstawiono przykładowy wygląd przebiegów dla pojazdu poruszającego się ze skrajnymi prędkościami zakresu pomiarowego systemu.

Na Rys.9 przedstawiono efektywność pracy takiego systemu. Wykorzystano badanie Monte Carlo dla 10000 przypadków i można zauważyć, że precyzja estymacji położenia maleje wraz ze wzrostem prędkości. Przyczyną tego zjawiska jest zmniejszenie się szerokości impulsu. Ponieważ bank filtrów realizuje filtr dolnoprzepustowy a impulsy są węższe, to wynik końcowy w większym stopniu zawiera szum.



Rys. 9 Rzeczywista i estymowana prędkość, dla przypadku z szumem gaussowskim o odchyleniu standardowym 1.0

Źródło: [opracowanie własne]

Na Rys.8 widoczne jest to zjawisko jak znacznie mniejszy obszar o dużej wartości (jasny) wokoło wyniku estymacji w porównaniu do średnich i małych prędkości (Rys.7 i 6).

PODSUMOWANIE

W artykule zaproponowano rozwiązanie wykorzystujące bank filtrów w celu umożliwienia detekcji sygnałów z zespołu czujników nacisku, w szczególności światłowodowych. Dzięki temu możliwe jest estymacja prędkości pojazdu mimo małej wagi lub przy zakłóceniach. Zaproponowany algorytm wykorzystuje sygnał tak, jaki jest dostępny z czujników, i wykonuje filtrację i estymację prędkości. Dzięki temu wykorzystana jest w stopniu maksymalnym informacja dostępna w sygnale. Rozwiązanie tego typu nie wymaga dużego kosztu obliczeniowego. Możliwe jest dostosowanie banku filtrów do innych niż gaussowska charakterystyk nacisku, w celu lepszej estymacji, poprzez dobór współczynników wagowych.

SIGNAL PROCESSING USING FILTER BANKS FOR WEIGH-IN-MOTION SENSORS

Abstract

The algorithm for analysis of signals from the weigh-in-motion (fiber) sensors is proposed. Such sensors are used for the detection of the presence, velocity and weigh (weigh-in-motion) of vehicle. Application of the set of sensors allows estimation of such parameters, if the signals are correctly

measured. The detection algorithms, like threshold based, are not suitable for small signals. Such signals occurs when the weigh of vehicle is small, or the pressure of axis changes due to road surface roughness. Filter banks improves signal processing by the temporal and intersensor denoising. A few case studies are shown. Monte Carlo analysis is applied for the robustness of velocity estimation..

BIBLIOGRAFIA

1. Batenko A., Grakovski A., Kabashkin I., Petersons E., Sikerzhicki Y., *Problems of Fibre Optics Sensor Applications in Weight-in-Motion (WIM) Systems*, Proceedings of the 11th International Conference “Reliability and Statistics in Transportation and Communication”, 311-316
2. Klein L.A.: *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*. Artech House 2001.
3. Safaai-Jazi A., Ardekani S.A., Mehdikhani M., *A Low-Cost Fiber Optic Weigh-In-Motion Sensor*, Strategic Highway Research Program, 1990
4. Williams B.: *Intelligent Transport Systems Standards*, Artech House Publishers, 2008.
5. Zhaojing T., Xiuhua S., Zhaojing T., Qunpo L., Dahu W., *Weigh-in-Motion Based on Multi-sensor and RBF Neural Network*, 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 944-947, 2011

Autor: dr inż. Przemysław Mazurek – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej