

IDENTIFICATION OF DRIVER REACTION TIME IN SAFETY OF MOVEMENT OF AGRICULTURAL MACHINES

Summary

Vehicle driven by driver may be considered as control system with driver as a controller and vehicle as controlled system. Changeable vehicle environment is the source of outer forces reaching driver and having effect on vehicle dynamics. Driver efficiency depends on situation on the road, vehicle characteristic and psychical and physical driver features. Driver is included in road-vehicle-driver system as feedback element. His functions can be described as concerning running vehicle input data processing into control of vehicle systems. Parameters describing driver's behaviour (e.g. τ - driver reaction time delay) can be identified basing on model of system in frequency domain (from transmissibility) or in time domain (from correlation).

IDENTYFIKACJA CZASU REAKCJI KIEROWCY W ASPEKTCIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU MASZYN ROLNICZYCH

Streszczenie

Sterowany przez kierowcę pojazd może być rozpatrywany jako system regulacji, w którym kierowca jest regulatorem a maszyna rolnicza obiektem regulowanym. Źródłem sił zewnętrznych docierających do kierującego i wywierających wpływ na dynamikę samochodu jest zmieniające się otoczenie pojazdu. Efektywność działań kierowcy zależy od sytuacji na drodze, własności pojazdu oraz od cech psychofizycznych kierowcy. Kierowca jest włączony w układ droga – pojazd – kierowca jako ogniwo sprzężenia zwrotnego. Jego funkcje dają się opisać jako przetwarzanie pochodzących z zewnątrz informacji dotyczących ruchu pojazdu na sterowanie stanem poszczególnych układów. Parametry opisujące zachowania kierowcy (np. τ - czas reakcji kierowcy) można wyznaczyć na podstawie znajomości modelu układu opisanego w dziedzinie widma za pomocą transmitancji widmowych lub w dziedzinie czasu za pomocą korelacji.

1. Wprowadzenie

W latach 1990-2003 w wypadkach śmiertelnych w rolnictwie polskim zginęło ponad 3.700 osób. Z danych statystycznych wynika, że przejazdy maszyn rolniczych na miejsce pracy oraz ich przemieszczanie się podczas pracy jest źródłem wielu poważnych wypadków. Najgroźniejsze w skutkach okazują się wypadki podczas prac transportowych oraz związanych z manewrowaniem ciągnikami i maszynami (około 30% wszystkich wypadków śmiertelnych). W 2006 r. zanotowano 541 wypadków zgłoszonych do KRUS (w tym 38 wypadków śmiertelnych) w grupie: przejechanie, uderzenie, pochwylenie przez środek transportu w ruchu. Można przypuszczać, że przynajmniej część z tych wypadków została spowodowana pośrednio cechami konstrukcyjnymi maszyn rolniczych niekorzystnie wpływającymi na ich własności trakcyjne.

2. Przetwarzania przez kierowcę informacji w modelu ze sprzężeniem zwrotnym

O zachowaniu się pojazdu w ruchu decyduje wzajemne oddziaływanie trzech elementów: operatora, pojazdu i otoczenia. Zachowanie kierowcy obejmuje pobranie informacji ze środowiska, ich selekcję (wykrycie sytuacji wymagającej reakcji) oraz scalenie informacji i rozpoznanie sytuacji, a następnie podjęcie decyzji o przeprowadzeniu manewru i wysłaniu sygnałów sterujących. Zdaniem niektórych autorów każdy z kierowców ma kilka niezależnych kanałów przetwarzania informacji i podejmowania decyzji.

Informacje docierające do świadomości bezpośrednio przez zmysły wykorzystywane przez operatora przy kierowaniu pojazdem mogą być trójakiego rodzaju:

a/ optyczne - najważniejsze dla operatora, informujące o przebiegu drogi przed pojazdem, położeniu przeszkód,
b/ uzyskane ze zmysłu równowagi, dające informacje o przemieszczeniach kątowych (np. o przechyle poprzecznym) i przyśpieszeniach,
c/ dotykowe, uzyskiwane na podstawie sił działających między ciałem operatora i fotelem oraz na podstawie wartości momentu przykładanego do koła kierownicy.

Oprócz sygnałów docierających bezpośrednio przez zmysły są też informacje docierające w postaci informacji werbalnych (znaki drogowe, warunki atmosferyczne).

Istnieje wiele modeli obliczeniowych opisujących pojazd w różnych aspektach i o dowolnym stopniu uszczegółowienia - od najprostszych, np. jednomasowy model drgań pionowych, czy najczęściej stosowany do opisu ruchu krzywoliniowego model płaski pojazdu jednośladowego, tzw. *bicycle model*, po modele bardziej złożone (przestrzenne) uwzględniające własności zawieszenia, układu kierowniczego i nieliniowe charakterystyki opon.

Najważniejszymi parametrami opisującymi ruch pojazdu są: jego prędkość podłużna oraz pozycja względem założonego toru jazdy.

Największe trudności przy badaniu układu operator – pojazd – otoczenie sprawia formalny opis działania kierowcy. Stworzenie uniwersalnego modelu operatora adekwatnego do różnorodnych sytuacji na drodze wydaje

się być niemożliwe. Prace dotyczące modelowania kierowcy samochodu prowadzone są już od dawna. Do sterowania samochodem używano modeli opartych na nieliniowym rozprężaniu, metodach klasyfikacji, z zastosowaniem sieci neuronowych lub logiki rozmytej. Wyniki te nie były jednak przenoszone na maszyny rolnicze. Wymaga to bowiem z jednej strony uwzględnienia specyfiki budowy maszyn rolniczych (niesymetryczne położenie środka ciężkości, rozmaite ogumienie, niekiedy niesymetryczne położenie kół) i ich połączenia z ciągnikiem (maszyny zawieszane, półzawieszane, przyczepiane, itd.) a z drugiej analizy zachowania maszyny na różnorodnym podłożu (drogi polne, pola) o złożonych i zmiennych właściwościach.

Dobrze opisują zachowania kierowcy modele ze sprzężeniem zwrotnym. Mają one budowę modułową, składającą się z modelu otoczenie, modelu kierowcy i modelu pojazdu. Sterowany przez kierowcę pojazd może być rozpatrywany jako system regulacji, w którym kierowca jest regulatorem a samochód obiektem regulowanym. Taka budowa umożliwia doskonalenie każdego modelu z osobna a także porównywanie różnych modeli poprzez wymianę modułów. Zamknięciem pętli sprzężenia zwrotnego jest operator który reaguje na zachowanie pojazdu i błędy położenia. Formalny opis działania kierowcy jest możliwy, jeżeli potraktuje się go jako element układu sterowania. Jego funkcje dają się opisać jako przetwarzanie pochodzących z zewnątrz informacji, dotyczących ruchu pojazdu, na sterowanie stanem poszczególnych układów. Model kierowcy obejmuje dwa bloki: „kierowanie” i „ocena”.

Przez kierowanie rozumiane jest oddziaływanie na układ sterowania pojazdem. Realizacja sygnałów kierowania dokonywana jest na drodze oceny. Wynikiem oceny jest zmiana prędkości jazdy lub toru jazdy. Na rys 1 przedstawiono model procesu przetwarzania informacji przez człowieka w układzie ze sprzężeniem zwrotnym.

Krótkoterminowa pamięć pozwala na czasowe przechowywanie informacji od 1 sekundy dla kanału wizyjnego do kilku sekund dla kanału informacji werbalnych. Informacje nie są tu poddawane żadnej obróbce. W bloku oceny włączone zostają wyższe ośrodki układu nerwowego powiązane z pamięcią długoterminową, gdzie gromadzone są doświadczenia wynikające z procesu nauki. Sygnał zostaje oceniony i podjęta decyzja, jakie działanie należy wykonać. Odbywa się to w bloku *decyzja i wybór odpowiedzi*. Wytworzona informacja albo wywołuje od razu reakcje albo jest magazynowana w pamięci roboczej, aby wywołać reakcje w późniejszym czasie. Jeżeli podjęta zostanie decyzja o wykonaniu konkretnej czynności, to w bloku realizacja odpowiedzi wypracowywane są w kolejnych krokach rozkazy dla mięśni. W wyniku tego działania powstaje sygnał zwrotny, przekazywany do modułu wejściowego.

3. Matematyczny model układu kierowca – pojazd

Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat regulacji droga – kierowca – pojazd ze sprzężeniem zwrotnym. Model ten opisuje zależności pomiędzy drogą, kierowcą a pojazdem realizującym odchylenie kątowe i liniowe od warunków początkowych ruchu.

Dla ruchu po prostej kąt obrotu koła kierownicy $\beta(t)$ i kąt odchylenia samochodu $\Psi(t)$ oraz przemieszczenie poprzeczne samochodu $y(t)$ z warunkiem początkowym $y_0=0$ są określone przez układ równań:

$$\begin{cases} \beta = H\delta_y - Hy \\ y = A_1\delta_\beta + A_1\beta \\ \Psi = A_2A_1^{-1}y + \Delta_H \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: δ_y , δ_β , Δ_H , - zakłócenia, H - transmitancja widmowa modelu kierowcy, A_1 , A_2 - operatory pojazdu.

Na podstawie układu równań (1) i własnych gęstości widmowych oraz wzajemnych gęstości widmowych zmierzonych sygnałów można uzyskać zależności określające transmitancję H modelu kierowcy.

Na podstawie przedstawionego układu równań (1) można uzyskać zależność opisującą transmitancję widmową H modelu kierowcy przez operatory pojazdu A_1 , A_2 i gęstości widmowe G (wzajemne i własne) zmierzonych sygnałów w postaci:

$$H = \frac{G_{\beta\beta} - A_1^{*-1}G_{y\beta}}{A_1^{*-1}G_{yy} - G_{y\beta}^*} \quad (2)$$

W przypadku, gdy $\Delta_H=0$ z równania (2) uzyskuje się zależność:

$$H = \frac{G_{\beta\beta} - A_2^{*-1}G_{\psi\beta}}{A_1^{*-1} | A_1 A_2^{-1} |^{-2} G_{\psi\psi} - A_1 A_2^{-1} G_{\psi\beta}^*} \quad (3)$$

Bezpośrednie wykorzystanie tych równań jest utrudnione ze względu na trudności z dokładnym określeniem wartości gęstości widmowych procesów losowych. Niewielkie nawet błędy w określeniu funkcji transmitancji H mogą spowodować, że wyniki otrzymywane z analizowanego modelu będą istotnie różnić się od zachowań układu rzeczywistego.

4. Wyznaczanie eksperymentalne parametrów opisujących zachowania kierowcy

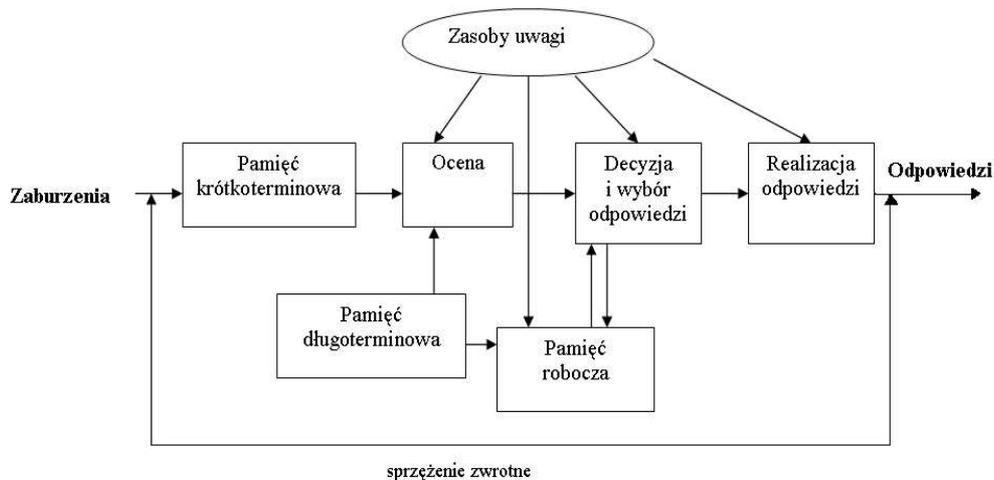
Na podstawie znajomości modelu matematycznego *kierowca – pojazd – droga* po przeprowadzeniu identyfikacji można wyznaczyć parametry czasowe opisujące czas reakcji kierowcy.

W trakcie badań polowych agregatu maszynowego rejestrowano 20 parametrów pracy agregatu (między innymi kąty skrętu koła i kierownicy, przyspieszenia drgań mechanicznych).

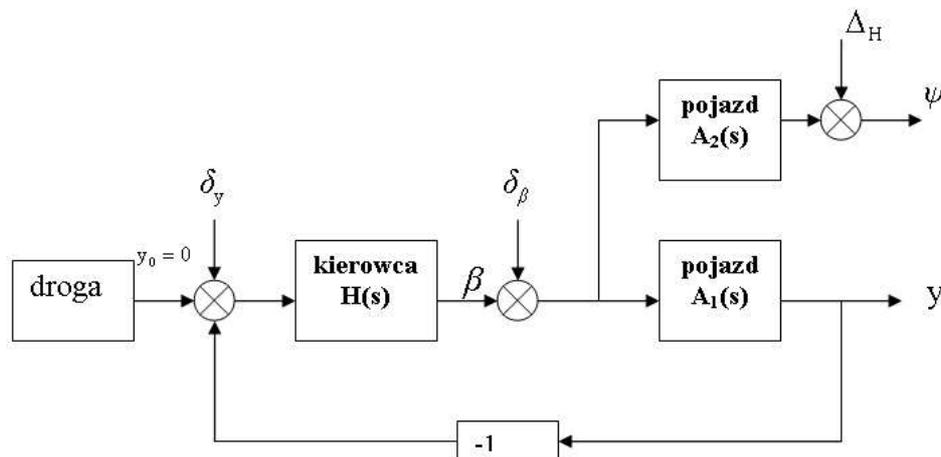
Przyjęto funkcję transmitancji kierowcy zależną od parametrów opisujących czas reakcji kierowcy oraz błąd oceny odchylenia agregatu od zadanej osi drogi. Po przekształceniu równania (3) można uzyskać następującą funkcję transmitancji kierowcy zależną od parametrów opisujących czas reakcji kierowcy (τ) oraz stałych związanych z czasem reakcji kierowcy:

$$H(\omega) = \frac{(j\omega)^2 [1 + (\tau + T_1 + T_2 + T_4 \sqrt{2}) / j\omega]}{k_1 (1 + T_1 j\omega) [1 + T_2 j\omega + T_3^2 (j\omega)^2] [1 + T_4 \sqrt{2} j\omega + T_4^2 (j\omega)^2] - e^{-j\omega\tau} [1 + (\tau + T_1 + T_2 + T_4 \sqrt{2}) j\omega]} \quad (4)$$

Stałe te można wyznaczyć na podstawie badań eksperymentalnych.



Rys. 1. Schemat przetwarzania przez kierowcę informacji w modelu ze sprzężeniem zwrotnym [3]
 Fig. 1. A control model with feedback for driver information processing [3]



Rys. 2. Uproszczony schemat powiązań elementów układu droga – kierowca – pojazd z uwzględnieniem sprzężenia zwrotnego
 Fig. 2. Simplified diagram of road – driver – vehicle system with feedback



Rys. 3. Agregat ciągnik – sadzarka do ziemniaków podczas badań: praca na polu
 Fig. 3. Semi mounted potato planter during field works

Znając gęstości widmowe można, korzystając z twierdzenia Wienera-Chinczyna, wyznaczyć funkcje korelacji:

$$k_{\beta\beta}(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} G_{\beta\beta}(\omega) e^{i\omega\theta} d\omega. \quad (5)$$

Znormalizowane funkcje korelacji wyznacza się z zależności:

$$\rho_{\beta\beta}(\theta) = k_{\beta\beta}(\theta) / D_{\beta}. \quad (6)$$

Na przykład znormalizowaną korelację dla kąta β można przedstawić za pomocą zależności:

$$G_{\beta\beta} = G_{\delta\beta} (1 + b^2 T_{\beta}^2 \omega^2) / (1 + T_{\beta}^2 \omega^2)^3, \quad (7)$$

gdzie: $b = T_{\beta}^{-1}(\tau + 3T_{\beta} + \sqrt{2}T_{\delta})$.

Wyznaczając przekształcenie Fouriera wyrażenia (7) otrzymuje się zależności na funkcje korelacji dla kąta β :

$$k_{\beta\beta}(\theta) = \frac{G_{\delta\beta}}{T_{\beta}} e^{-\frac{|\theta|}{T_{\beta}}} \left\{ \frac{3 + b^2}{16} \left(1 + \frac{|\theta|}{T_{\beta}} \right) + \frac{1 - b^2}{16} \left(\frac{|\theta|}{T_{\beta}} \right)^2 \right\} \quad (8)$$

Przyjmując $\theta=0$ znajdujemy dyspersję kąta β :

$$D_{\beta} = k_{\beta\beta}(0) = \frac{G_{\delta\beta}}{T_{\beta}} \frac{3 + b^2}{16} \quad (9)$$

Znormalizowana funkcja korelacji dla kąta β :

$$\rho_{\beta\beta}(\theta) = \frac{k_{\beta\beta}(0)}{D_{\beta}} = e^{-\frac{|\theta|}{T_{\beta}}} \left[1 + \frac{|\theta|}{T_{\beta}} + \frac{1 - b^2}{3 + b^2} \left(\frac{|\theta|}{T_{\beta}} \right)^2 \right] \quad (10)$$

Wartości parametrów T_1, T_2, T_3, T_4, k_1 i τ opisujących transmitancję kierowcy oraz wartości parametrów $T_{\beta}, \tau, T_{\delta}$ opisujących znormalizowane współczynniki korelacji (τ - czas reakcji kierowcy, T_{β}, T_{δ} - stałe związane z czasem reakcji kierowcy) można wyznaczyć po przeprowadzeniu optymalizacji z zastosowaniem metody Neldera – Meada.

Podjęto badania mierzące do eksperymentalnego wyznaczenia parametrów opisujących zachowania kierowcy (stałe czasowe i czas reakcji kierowcy) dla następujących wariantów agregatu:

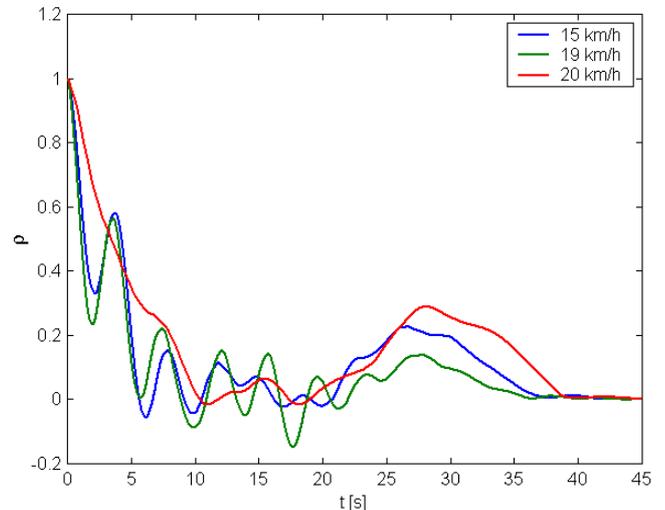
- praca agregatu z różnymi kierowcami o odmiennym doświadczeniu,
- praca agregatu z różnymi prędkościami roboczymi,
- zmiana kierunku ruchu agregatu (zmiana pasa ruchu oraz ruch po okręgu).

Jako przykład zamieszczono wyznaczone wartości czasu reakcji kierowcy w przypadku pracy agregatu ciągnik - sadzarka do ziemniaków dla różnych prędkości jazdy. Na rys. 4 zamieszczono przebiegi unormowanych funkcji korelacji dla kąta β wyznaczone eksperymentalnie dla różnych prędkości pracy agregatu.

Przeprowadzono optymalizację z zastosowaniem metody Neldera i Meada w celu uzyskania wartości parametrów $T_{\beta}, \tau, T_{\delta}$ opisujących znormalizowane

współczynniki korelacji. Wyznaczone czasy opóźnienia reakcji kierowcy wynoszą 0,24 s dla prędkości 15-19 km/h oraz 0,14 s - dla prędkości 20 km/h.

Uzyskana z obliczeń wartość czasu reakcji kierowcy jest podobna do czasów reakcji kierowcy pojazdów samochodowych. Dla tego samego kierowcy ten czas może się zmieniać w szerokim zakresie w zależności od stanu kierowcy i warunków pracy agregatu.



Rys.4. Porównanie znormalizowanych funkcji korelacji własnej wyznaczonych dla różnych prędkości jazdy sadzarki do ziemniaków

Fig. 4. Correlogram comparison for different tractor - potato planter speed

5. Wnioski

Na podstawie znajomości modelu matematycznego kierowca-pojazd-droga po przeprowadzeniu identyfikacji parametrycznej można wyznaczyć parametry czasowe opisujące czas reakcji kierowcy. Przeprowadzone obliczenia wstępne wykazały, że zaproponowany model poprawnie odwzorowuje kierowność agregatu ciągnik – sadzarka do ziemniaków. Opracowany model może być podstawą dalszych badań i uściśleń.

6. Literatura

- [1] Doman D.: Projection Methods for Order Reduction of Optimal Human Operator Models, praca doktorska, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia 1998.
- [2] Liu Zhaoheng: Characterisation of optimal human driver model and stability of a tractor-semitrailer vehicle system with time delay, Mechanical Systems and Signal Processing, 2007, 21.
- [3] Reński A.: Modelowanie działania kierowcy w układzie kierowca – pojazd- otoczenie. Prace Naukowe, Mechanika, z. 184, Politechnika Warszawska, Warszawa 2000.
- [4] Schafer F.R.: Generalized Feedback Control and Application to Vehicle Path Following Control. TU, Berlin 2004.
- [5] Szczepaniak C.: Podstawy modelowania systemu człowiek – pojazd – otoczenie. PWN, Warszawa 1999.