

Konrad WOJCIECHOWSKI

Andrzej ORDYS

Andrzej POLAŃSKI

ALGORYTM STEROWANIA POJAZDEM NA PODSTAWIE INFORMACJI WIZYJNEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono propozycję układu sterowania pojazdem na podstawie informacji wizyjnej. Sformułowano cel sterowania oraz podstawowe założenia. Zaproponowano różne modele drogi i pokazano, że problem filtracji parametrów ruchu powinien być rozwiązany na podstawie łącznego modelu pojazdu i drogi. Omówiono system wizji realizujący przetwarzanie ciągu obrazów do postaci parametrów ruchu. Zaproponowano niezależną regulację prędkości pojazdu oraz sprzężenie zwrotne i kompensację w torze sterowania kół przednich.

THE ALGORITHM FOR ROAD VEHICLE CONTROL USING VISUAL INFORMATION

Summary. In the paper the problem of automatic control of a vehicle was investigated. The idea described in this paper is different of those described in the literature. The most important original elements are:

- a) aggregation of information from sequence of images to the form of motion parameters;
- b) introducing and justifying the joint (cumulative) model of a vehicle and a road in the filtration algorithm.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАШИНОЙ НА ОСНОВЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Резюме. В работе представлено предложение системы управления транспортным средством на основе зрительной информации. Дана формулировка цели управления и основные предпосылки. Предложены различные модели дороги и доказано, что проблема фильтрации параметров движения должна быть решена на основе совместной модели транспортного средства и дороги. Обсуждается система технического зрения преобразовывающая последовательность изображений на параметры движения. Предложено независимое регулирование скорости транспортного средства, обратная связь и компенсация непосредственно управления передними колесами.

1. WPROWADZENIE

W praktycznych zastosowaniach teorii sterowania idea sprzężenia zwrotnego jest podstawowa. Jej realizacja uwarunkowana jest jednak możliwością bezpośredniego lub pośredniego pomiaru odchyłki pomiędzy wartością pożądaną wielkości sterowania a wartością zrealizowaną na wyjściu obiektu. Fizyczny charakter wielkości wyjściowej oraz zadanej może być przy tym bardzo różny. Stąd istnieje grupa zadań sterowania takich, że pomiar wymagany w celu zrealizowania sprzężenia zwrotnego nie jest wykonalny przy użyciu klasycznej techniki pomiarowej. Typowym przykładem takiego zadania jest "nadażanie" samochodu za drogą. Wartość odchyłki pomiędzy aktualnym położeniem samochodu względem drogi a jego położeniem pożądanym, warunkująca zastosowanie sprzężenia zwrotnego, może być uzyskana tylko przy wykorzystaniu toru wizji. Wprowadzenie informacji wizyjnej umożliwia dodatkowo predykcję przyszłego pożądanego położenia.

Badania nad układami wykorzystującymi tor wizji dla celów sterowania układami dynamicznymi są obecnie prowadzone w wielu ośrodkach [1; 2; 3].

W pracy przykład zastosowania odnosi się do pojazdu samochodowego. Różnica w stosunku do innych prac o podobnej tematyce polega na oryginalnej i ogólnej koncepcji przetwarzania ciągu obrazów do postaci parametrów ruchu. Tak zagregowana informacja wykorzystywana jest dalej według klasycznych schematów teorii sterowania.

W punkcie 2 pracy przedstawiono podstawowe sformułowania określające cel sterowania oraz zdefiniowano stosowane dalej układy współrzędnych.

Punkt 3 poświęcony jest omówieniu proponowanych modeli drogi oraz związku między modelami z argumentem długości i czasu.

W punkcie 4 przedstawia się przyjęty przykładowy model pojazdu zaczerpnięty z prac [2; 3]. Zmiana modelu na inny nie zmienia ogólnej koncepcji sterowania.

Punkt 5 dotyczy systemu wizji, w którym przetwarzanie obrazu wykonywane jest według algorytmów z prac [4; 5; 6; 7]. System ten może być traktowany jako specjalny rodzaj układu pomiarowego.

W punkcie 6 przedstawia się koncepcję układu filtracji pracującego na potrzeby układu sterowania oraz układu identyfikacji modelu drogi.

Punkt 7 przedstawia koncepcję układu identyfikacji modelu drogi.

Punkt 8 przedstawia proponowaną strukturę układu sterowania proponowane typy regulatorów oraz metodykę wyznaczania ich parametrów.

Punkt 9 zamykający pracę poświęcono wnioskowi dotyczącemu podstaw teoretycznych, jak również możliwościom hardwarowej realizacji przedstawionej koncepcji.

2. PROBLEM STEROWANIA I PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA

Rozpatrywany w pracy problem dotyczy sterowania w czasie obiektem dynamicznym. Jako przykładowy obiekt wybrano pojazd samochodowy. Odpowiednio do tego za cel sterowania przyjmuje się utrzymanie pożądanego prędkości ruchu v_z oraz nadążanie za drogą.

Pożądana prędkość ruchu [2] wyraża się zależnością:

$$v_z = (a_y / C_d(t))^{1/2} \quad (1)$$

gdzie a_y jest zadany parametrem liczbowym i określa maksymalne dopuszczalne przyspieszenia w kierunku osi O_y (rys. 1b).

Przyspieszenia wzdłuż osi O_z określone są natomiast wyrażeniem:

$$a_z = k_a v_z (v_z - v) \quad \text{dla } v \leq v_z \quad (2)$$

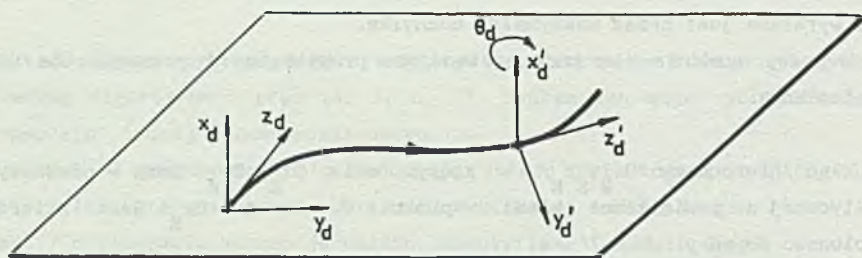
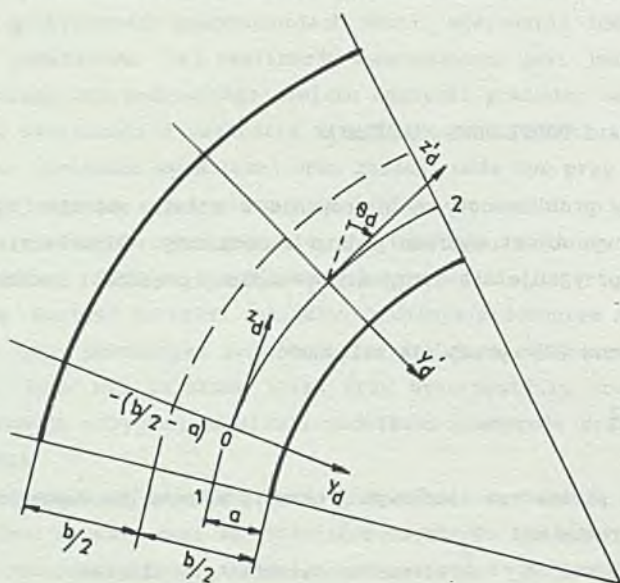
$$a_z = k_h v (v_z - v) \quad \text{dla } v > v_z$$

Zależności (1), (2) traktowane łącznie pozwalają na określenie prędkości v_z jako funkcji czasu.

Nadążanie za drogą jest równoważne utrzymaniu środka ciężkości pojazdu na trajektorii odległej o wielkość a od prawego skraju drogi i posiadającej taką samą krzywiznę. Jakość utrzymania środka ciężkości na zadanej trajektorii wyrażana jest przez maksymalną odchyłkę.

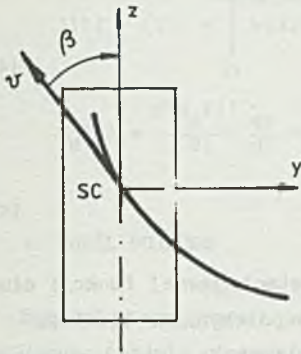
W pracy wyróżnia się trzy następujące prostokątne i prawoskrętne układy odniesienia:

- Układ nieruchomy $Ox_g y_g z_g$, w którym osie Oz_g, Oy_g leżą w płaszczyźnie stycznej do powierzchni ziemi w punkcie O , zaś oś Ox_g jest skierowana pionowo do góry.
- Układ ruchomy $Oxyz$ związany sztywno z pojazdem. Punkt O umieszczony jest w środku ciężkości SC pojazdu (rys. 2). Oś Oz jest równoległa do osi



Rys. 1. Układy współrzędnych związane z drogą

Fig. 1. Coordinate systems connected with the road



Rys. 2. Układ współrzędnych związanych z pojazdem
Fig. 2. Coordinate system connected with the vehicle

podłużnej pojazdu zwrocie zgodnym z jego wektorem prędkości. Oś Oy jest równoległa do osi podłużnej pojazdu o zwrocie zgodnym z jego wektorem prędkości. Oś Oy jest równoległa do osi poprzecznej pojazdu i skierowana tak, by łącznie z osią Ox prostopadła do płaszczyzny Oyz tworzyła układ prawoskrętny.

- Układ ruchomy $Ox_d y_d z_d$ związany z drogą (rys. 1a, 1b). Punkt O tego układu leży na pożądaney trajektorii pojazdu, oś Oz jest styczna w punkcie O do tej trajektorii i posiada zwrot zgodny ze strzałką ruchu. Oś Oy jest prostopadła do osi Oz i leży w płaszczyźnie drogi. Jej zwrot wskazuje prawe pobocze drogi. Oś Ox jest prostopadła do płaszczyzny drogi i razem z osiami Oz i Oy tworzy układ prawoskrętny.

3. MODEL DROGI

Model drogi w rozumieniu pracy równoważny jest modelowi pożądaney trajektorii środka ciężkości pojazdu. Stanowi go krzywa płaska, która w postaci parametrycznej może być określona przez funkcję $\theta_d(l)$ (rys. 1a, 1b), gdzie parametr l jest długością mierzoną wzdłuż krzywej.

Jeżeli położenie krzywej w nieruchomym układzie współrzędnych jest dowolne, może być ona określona również przez funkcję krzywizny $C_d(l)$, gdzie $C_d(l) = d \theta_d(l)/dl$.

W przypadku ogólnym przyjmuje się model w postaci:

$$\frac{d^n C_d}{dl^n} + a_1 \frac{d^{n-1} C_d}{dl^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dC_d}{dl} + a_n C_d = b w_d \quad (3)$$

gdzie w_d jest białym szumem gaussowskim o wartości średniej równej zero i wariancji σ .

Model (3) może być przedstawiony w zmiennych stanu jako:

$$d \underline{C}_d / dl - A_d \underline{C}_d + B_d w_d \quad (4)$$

i w razie potrzeby rozszerzony o równanie

$$d \theta_d / dl = \underline{C}_d \quad (5)$$

Model drogi może być również przedstawiony w postaci jawnej funkcji długości l wyrażonej w danym układzie funkcji przez współczynniki liczbowe.

Niech będzie dany układ funkcji $\{1, l, l^2, \dots\}$, funkcja $C_d(l)$ może być przedstawiona w postaci:

$$C_d(l) = c_0 + c_1 l + c_2 l^2 \quad (6)$$

gdzie $c_1 = (1/1!) (d C_d(l)/dl) |_{l=0}$

Niech będzie dany układ funkcji ortonormalnych $\{\varphi_l(l), l = 0, 1, \dots\}$, z których każda określona jest na przedziale $[0, L]$.

Funkcja $C_d(l)$ określona na tym samym przedziale wyraża się wzorem:

$$C_d(l) = c_0 \varphi_0(l) + c_1 \varphi_1(l) + c_2 \varphi_2(l) + \dots \quad (7)$$

gdzie: $c_1 = \langle C_d(l), \varphi_1(l) \rangle$

Przedstawione modele drogi w postaciach (4), (6), (7) są propozycjami ogólnymi. W przypadku wyboru konkretnego modelu określające go współczynniki liczbowe są identyfikowane na bieżąco. W niektórych przypadkach możliwe jest dodatkowo określenie dopuszczalnych wartości krzywizn wynikających z "klasy" drogi.

Niezależnym argumentem we wszystkich przedstawionych powyżej modelach drogi jest jej długości l . Ponieważ z kolei argumentem procesu sterowania jest czas (ciągły lub dyskretny), występuje potrzeba przeliczania modelu drogi na argument czasu. Zachodzą następujące związki:

$$\theta_d(t) = \theta_d(l(t)) \quad (8)$$

$$l(t) = l(0) + \int_0^t v(\lambda) d\lambda \quad (9)$$

$$C_d(t) = \frac{d \theta_d(1)}{d l} \frac{d l}{d t} = v C_d(1) \quad (10)$$

4. MODEL POJAZDU

Synteza regulatora realizującego postawione zadanie sterowania wymaga znajomości modelu sterowanego obiektu.

Model pojazdu wykorzystywany w pracy zaczerpnięto z [2, 3]. W modelu tym wyróżnia się następujące wielkości sterujące:

- u_1 - napięcie wejściowe silnika krokowego ustawiającego położenia δ kół przednich,
- u_2 - napięcie wejściowe silnika krokowego ustawiającego kąt γ otwarcia przepustnicy¹,
- u_3 - napięcie wejściowe elektrohydraulicznego układu hamowania.

Wielkościami wyjściowymi modelu są:

- v - prędkość pojazdu,
- β - kąt poślizgu pomiędzy wektorem prędkości a osią podłużną pojazdu,
- $\dot{\theta}$ - prędkość obrotowa pojazdu.

Równanie wyrażające związek pomiędzy wielkościami wejściowymi a sterującymi mają postać:

$$\dot{v} = \frac{1}{m r \eta} (i M_n(\omega, \gamma) - M_r - M_h(u_3)) \quad (11)$$

¹Zakłada się, że pojazd wyposażony jest w automatyczną skrzynię biegów, której przełożenie jest funkcją prędkości.

$$m\dot{v}\beta + (U_f + U_r + \mu(c_f + c_r))\beta - (mV + \frac{\mu}{v}(\frac{l_f}{c_f} - \frac{l_r}{c_r}))\dot{\theta} =$$

$$= (U_f + \mu c_f)\delta \quad (12)$$

$$I_x \ddot{\theta} + \frac{\mu}{v} (c_f l_f^2 + c_r l_r^2) \dot{\theta} - \mu (c_f l_f - c_r l_r) \beta =$$

$$= (U_f l_f + \mu c_f l_f) \beta \quad (13)$$

$$\dot{\delta} = k_s u_1 \quad (14)$$

$$\dot{\gamma} = k_\gamma u_2 \quad (15)$$

gdzie:

- m - masa pojazdu,
- r - promień koła,
- η - współczynnik,
- i - przełożenie przekładni,
- M_n - moment obrotowy silnika,
- ω - prędkość obrotowa silnika,
- M_r - moment obciążenia trakcyjnego,
- M_h - moment hamujący,
- U_f, U_r - siły obwodowe odpowiednio na kołach osi przedniej i tylnej,
- c_f, c_r - współczynniki odpowiednio dla osi przedniej i tylnej,
- l_f, l_r - odległość środka ciężkości od osi przedniej, tylnej,
- μ - współczynnik tarcia kół o nawierzchnię,
- I_x - moment bezwładności względem osi pionowej Ox .

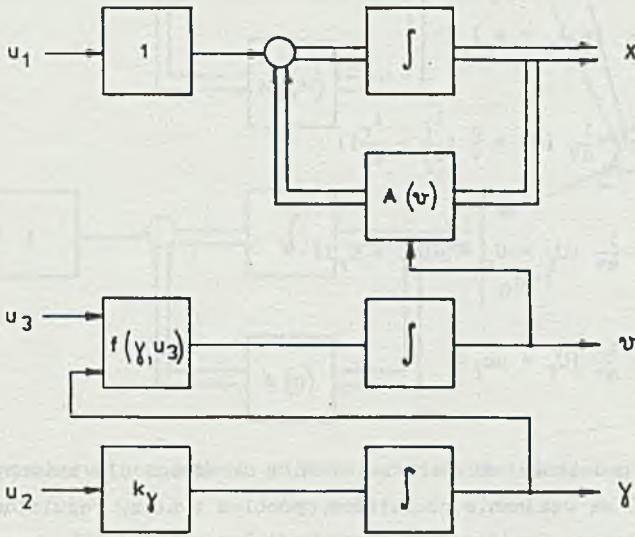
Wektorem stanu w przestrzeni fazowej dla układu równań (11), (12), (13), (14), (15) jest:

$$[v, \dot{\theta}, \beta, \delta, \gamma]$$

Mierzonymi wielkościami wyjściowymi są prędkość v oraz δ i γ , tj. równanie pomiarowe ma postać:

$$z = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1] [v, \theta, \beta, \delta, \gamma]^T$$

Łatwo zauważyć, że szczególna struktura równań modelu pozwala przedstawić go w postaci (rys. 3):



Rys. 3. Blokowa struktura modelu pojazdu

Fig. 3. The vehicle model block structure

$$\dot{v} = f(\gamma, u_3) \quad (16)$$

$$\dot{\gamma} = k_{\gamma} u_2$$

$$\dot{x} = A(v)x + Bu_1 \quad (17)$$

gdzie:

$$x^T = [\dot{\theta} \ \beta \ \delta]$$

$$A(v) = \begin{bmatrix} a_{11}(v) & a_{12} & a \\ a_{21}(v) & a_{22}(v) & a_{23}(v) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$a_{11}(v) = \frac{\mu}{I_x v} (c_f l_f^2 + c_r l_r^2)$$

$$a_{12} = \frac{\mu}{I_x} (c_f l_f + c_r l_r)$$

$$a_{21}(v) = -\frac{1}{mV} (mV + \frac{\mu}{v} (\frac{l_f}{c_f} - \frac{l_r}{c_r}))$$

$$a_{22}(v) = \frac{1}{mV} (U_f + U_r + \mu(c_f + c_r))$$

$$a_{23}(v) = \frac{1}{mV} (U_f + \mu c_f)$$

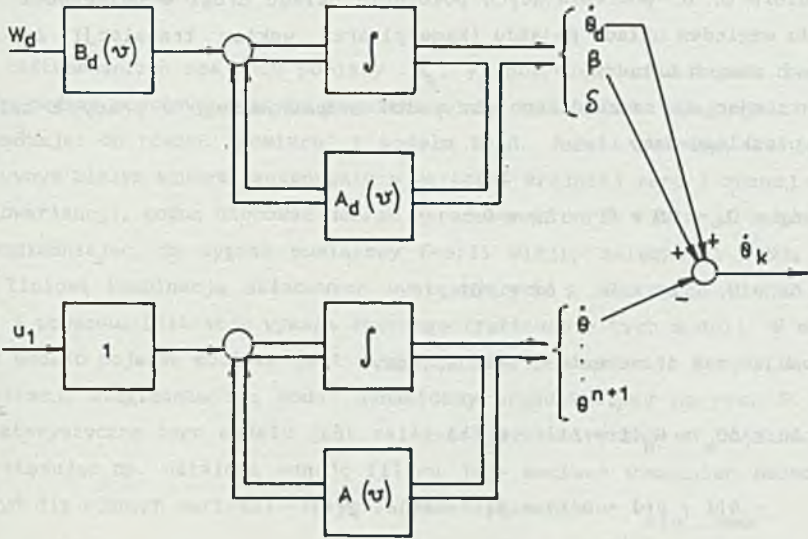
Zakładając dodatkowo, że cele sterowania określone dla zmiennych wejściowych v i $\dot{\theta}$, β są wzajemnie niezależne, problem syntezy regulatorów określających sterowania u_1 , u_2 , u_3 dekomponuje się na:

- Problem syntezy regulatorów dla sterowań u_2 , u_3 odpowiednio dla celu sterowania określonego dla zmiennej wyjściowej v . W syntezie tej uwzględnia się tylko część pełnego modelu dynamiki pojazdu, tj. równania (16).
- Problem syntezy regulatora dla u_1 odpowiednio do celu sterowania określonego dla zmiennych $\dot{\theta}$, β . W syntezie tej uwzględnia się częściowy model dynamiki pojazdu dany układem (17), zaś występująca w nich wielkość v traktuje jako zadany parametr modelu częściowego.

5. SYSTEM WIZJI

Fizycznie system wizji stanowi kamera TV, sztywnie powiązana z pojazdem o osi pokrywającej się z osią podłużną pojazdu.

W rozwiązaniach przedstawionych w literaturze, np. [2], stosuje się kamerę CCD dającą obraz $256 \times 256 \times 8$ bitów. Współpracujący z kamerą układ przetwarzania obrazu zawiera 14 mikroprocesorów realizujących w czasie rzeczywistym



Rys. 4. Blokowastruktura modelu pojazdu wraz ze związanym z nim systemem wizyjnym

Fig. 4. The vehicle and its vision system block structure

wybrane funkcje przetwarzania. Możliwe jest stosowanie dwu kamer, co było rozpatrywane w [6], jak również można dopuścić obrotowy ruch kamery względem pojazdu, na którym jest umieszczona.

Odpowiednio do ogólnej koncepcji pracy podstawowymi funkcjami układu przetwarzania obrazu są:

- 1) wyznaczenie liniowej odchyłki położenia pojazdu na zadanej trajektorii,
- 2) wyznaczenie parametrów ruchu pojazdu względem układu związanego z drogą.

Pierwsza z wymienionych funkcji realizowana jest przez przetwarzanie pojedynczego obrazu. Jej wynikiem jest aktualne położenie środka ciężkości pojazdu z układzie związanym z drogą (rys. 1a, 1b), w odległości \underline{l} wzdłuż jej długości. W wyniku odpowiedniego przyjęcia początku układu drogi położenie to jest zarazem odchyłką od położenia pożądanego.

Druga funkcja wymaga przetwarzania pary obrazów odpowiadających chwilom t , $t + \Delta t$, zaś jej wynikiem są parametry ruchu. Nawiązując do ogólnych prac [6, 7] i stosowanych w nich oznaczeń, są to przyrosty $\Delta\varphi$, $\Delta\theta$, $\Delta\psi$ trzech ką-

tów Eulera φ , θ , ψ określających położenie układu drogi w odległości \bar{L} od pojazdu względem układu pojazdu (kamery) oraz wektor translacji Δx , Δy , Δz dla tych samych układów.

Powracając do szczególnego przypadku rozpatrywanego w pracy z założenia ruchu płaskiego mamy:

$$\Delta\varphi = 0, \quad \Delta\theta \neq 0, \quad \Delta\psi = 0$$

$$\Delta x = 0, \quad \Delta y = 0, \quad \Delta z = v\Delta t$$

Stosując zaś oznaczenia z rys. 4, mamy:

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \Delta\theta_k = \theta_d(t + \Delta t) - \theta_d(t) + \\ &\quad - \theta(t + \Delta t) + \theta(t) + \beta(t + \Delta t) - \beta(t) \end{aligned} \quad (18)$$

Przyjmując $\Delta\theta_k(\Delta t \approx \dot{\theta}_k)$, $\Delta\theta_d(\Delta t \approx \dot{\theta}_d)$, $\Delta\beta(\Delta t \approx \dot{\beta})$ otrzymujemy:

$$\dot{\theta}_d = \dot{\theta}_k - \dot{\theta} + \dot{\beta} \quad (19)$$

Podobnie:

$$\dot{y}_k = \dot{y}_d \quad (20)$$

Łatwo zauważyć również, że wielkość y_d wyznaczana w wyniku przetwarzania pojedynczego obrazu (patrz pierwsza funkcja układu przetwarzania) może być wyznaczana w wyniku całkowania po czasie zależności (20). W praktyce ograniczeniem takiego podejścia jest wymaganie, by wartość średnia ewentualnego błędu y_k była równa zeru.

Podsumowując, system wizji w zakresie swojej drugiej funkcji może być interpretowany jako szczególnego rodzaju układ pomiarowy, którego wielkości wyjściowe $\dot{\theta}_y$, \dot{y}_k są określone przez równania (19) i (20).

6. UKŁAD FILTRACJI

W zastosowaniach realnych pomiary $\hat{\theta}_k, \hat{y}_k$ obarczone są błędami, podobnie modele będące podstawą syntezy regulatora nie są idealne. Uwzględnia się to wprowadzając do równań "pomiaru" i modelu błęd. Jeżeli założyć, że jest on addytywnym białym szumem gaussowskim o wartości średniej zero i znanej macierzy kowariancji, można stosować dobrze opracowaną teorię filtacji optymalnej.

Uwzględniając, że sygnał pomiarowy teorii wizji, zależności (19), (20), jest liniową kombinacją składowych występujących w wektorach stanu modelu drogi i pojazdu, filtracja wymaga łącznego traktowania tych modeli. W stosunku do modelu pojazdu możliwe jest uwzględnienie dekompozycji z rys. 3, zatem w filtracji uwzględnia się model dynamiczny przedstawiony na rys. 5. Cechą charakterystyczną tego modelu jest zależność parametryczna od prędkości v , stąd stosując np. ustaloną wersję filtru jego macierz wzmocnień należy wyznaczyć dla różnych wartości v wybranych z przedziału v_{\min}, v_{\max} .

7. UKŁAD IDENTYFIKACJI

Model drogi zaproponowane w punkcie 2 zawierają określające je parametry. Parametry te mogą być dane przed rozpoczęciem procesu sterowania lub mogą być identyfikowane już w czasie jego trwania.

Informacją wejściową układu identyfikacji są oceny krzywizny drogi otrzymywane z układu filtracji. Oceny te są funkcjami czasu i należy je przed rozpoczęciem identyfikacji przeliczyć na funkcje długości drogi l według zależności (10).

Proponuje się prowadzenie identyfikacji metodą największej wiarygodności.

8. UKŁAD STEROWANIA

W konsekwencji przyjętej struktury modelu oraz celu sterowania układ sterowania dekomponuje się na podukład sterowania w torze prędkości i podukład sterowania ustawieniem kół przednich pojazdu.

Tor sterowania prędkości zawiera dwie pętle sprzężenia zwrotnego. W pierwszej z nich na podstawie wyznaczonej odchyłki prędkości w chwili bieżącej

wprowadza się w zależności od jej znaku proporcjonalną składową sterowania w torach u_2 lub u_3 . Mamy zatem:

$$u_{2,1} = -k_m(v_z(t) - v(t)), \quad u_{3,1} = 0 \quad \text{jeżeli} \quad v_z(t) \geq v(t) \quad (21)$$

$$u_{2,1} = 0 \quad u_{3,1} = -k_h(v_h(t) - v(t)) \quad \text{jeżeli} \quad sv_z(t) < v(t) \quad (22)$$

gdzie $v(t)$ jest wynikiem pomiaru, zaś $v_z(t)$ jest wyznaczone według zależności (1).

W drugiej pętli wyznacza się składowe $u_{2,2}$, $u_{3,2}$ w torach u_2 , u_3 związane z pożądaną prędkością v_z w chwili $t + \bar{L}/v$, gdzie \bar{L} jest wyprzedzeniem, z jakim wyznaczona jest krzywizna drogi. Na podstawie zależności (1) mamy zatem:

$$v_z(t + \bar{L}/v) = (a_y/c_d(t + \bar{L}/v))^{1/2} \quad (23)$$

$$c_d(t + \bar{L}/v) = \hat{\theta}_d(t + \bar{L}/v)$$

Zakładając, że pochodna \dot{v} może być aproksymowana wyrażeniem

$$v = (v_z(t + \bar{L}/v) - v)(\bar{L}/v) \quad (24)$$

oraz rozwikłując równanie (11) modelu względem:

a) u_2 , jeżeli $v_z(t + \bar{L}/v) \geq v$ przy $u_3 = u_{3,2} = 0$ oraz względem

b) u_3 , jeżeli $v_z(t + \bar{L}/v) < v$ przy $\gamma = 0$ otrzymujemy składowe $u_{2,2}$, $u_{3,2}$ sterowań generowane w drugiej pętli.

Ostatecznie przyjmuje się:

$$u_2 = u_{2,1} + u_{2,2} \quad (25)$$

$$u_3 = u_{3,1} + u_{3,2} \quad (26)$$

Sterowanie u_1 kątowym ustawieniem kół przednich pojazdu jest również sumą dwu składowych. Przyjmuje się regulatory proporcjonalne o współczynnikach wzmocnień zależnych od aktualnej prędkości pojazdu. Mamy zatem:

$$u_{1,1} = k_1(v)y_d \quad (27)$$

$$u_{1,2} = k_2(v)\dot{\theta}_d \quad (28)$$

ostatecznie

$$u_1 = u_{1,1} + u_{1,2} \quad (29)$$

Zależności: (25), (26) z odpowiednimi podstawieniami oraz (29) z podstawieniem (27), (28) określają regulatory w torach sterowania prędkością i kątem ustawienia kół przednich.

9. WNIOSKI

Przedstawione w pracy przykładowe rozwiązanie sterowania obiektem dynamicznym porządkuje ogólną strukturę tego typu rozwiązań. Występujące w niej problemy częściowe, takie jak konstrukcja modeli trajektorii zadanej i obiektu, układów identyfikacja i filtracji mogą być rozwiązywane w szczegółach w sposób różny do przedstawionego w pracy, jednak ogólna struktura nie ulega zmianie.

Przyjęta w pracy koncepcja sterowania wprowadzająca sprzężenie typu "feed-forward" oprócz klasycznego sprzężenia zwrotnego ma na celu wykorzystanie informacji o przyszłych parametrach trajektorii, którą dysponujemy dzięki torowi wizji.

Realizacja fizyczna koncepcji przedstawionych w pracy jest uzależniona od możliwości hardwarowego skonfigurowania toru wizji zdolnego do przetwarzania obrazów w czasie rzeczywistym.

LITERATURA

- [1] Dickmanns E.D., Zapp A.: Guiding Land Vehicles along Roadways by Computer Vision Proc. Congres Autmatique, Toulouse 1985.
- [2] Dickmanns E.D., Zapp A.: Autonomous High Road Vehicle Guidance by Computer Vision IFAC, Monachium 1987.
- [3] Mitschke M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. Band A, Springer-Verlag, Berlin 1982.
- [4] Ordys A., Wojciechowski K.: Metody wyznaczania pola prędkości na podstawie sekwencji obrazów. ZN Pol. Śl., przyjęte do druku.
- [5] Ordys A., Wojciechowski K.: Wybrane algorytmy przetwarzania wstępnego obrazu w zagadnieniach wyznaczania pola prędkości. ZN Pol. Śl., przyjęte do druku.
- [6] Polański A.: Określanie parametrów ruchu w przestrzeni trójwymiarowej na podstawie obrazów z dwóch kamer. ZN Pol. Śl., przyjęte do druku.
- [7] Polański A.: Algorytm wyznaczania parametrów ruchu na podstawie pola prędkości. ZN Pol. Śl., przyjęte do druku.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Mariusz NIENIEWSKI

Wpłynęło do Redakcji 15.11.1987 r.

A b s t r a c t

In the paper the problem of automatic control of a vehicle was investigated. It is one of the examples when the application of a vision channel in a control system is strongly motivated. In many scientific centers around the world [1], [2], [3] researches in this area are held. A level of pilot applications was achieved.

The considered control systems consist of optical, electronic, mechanical elements and are very complicated. Many different ways of their configuration are possible [1], [2], [3].

The idea of the structure of these systems is very important in their subsequent reliable work.

In the paper the idea of the structure of the vehicle control system using visual information is presented. The described idea is different of those described in the literatur. The most important original elements are:

- a) aggregation of information from sequence of images to the form of motion parameters;
- b) introducing and justifying the joint (cumulative) model of a vehicle and a road in the filtration algorithm.

STEROWANIE PRZEKTYM DYNAMICZNYM NA PODSTAWIE INFORMACJI WIZYJNEJ

W artykule przedstawiono koncepcję struktury systemu sterowania pojazdem z wykorzystaniem informacji wizyjnej. Opisana koncepcja różni się od opisanych w literaturze. Najważniejsze oryginalne elementy to:

THE DYNAMIC CONTROL SYSTEM USING VISUAL INFORMATION

The paper presents the idea of the structure of the vehicle control system using visual information. The described idea is different of those described in the literatur. The most important original elements are:

DYNAMIC CONTROL SYSTEM USING VISUAL INFORMATION

The paper presents the idea of the structure of the vehicle control system using visual information. The described idea is different of those described in the literatur. The most important original elements are: