ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993

Seria: AUTOMATYKA z. 107 Nr kol. 1149

Krzysztof SIMEK

Konrad WOJCIECHOWSKI

SYNTEZA PRAWA STEROWANIA W STRUKTURZE OTWARTEJ ZE SPRZĘŻENIEM*

Streszczenie. W pracy przedstawiono dwa prawa sterowania rozwiązujące problem nadążania za trajektorią zadaną w wersji deterministycznej lub losowej. Założono strukturę otwartą ze sprzężeniem (OLF), pomiarową dostępność stanu oraz kwadratowy wskaźnik odchyłki od trajektorii zadanej określony na ruchomym horyzoncie związanym z chwilą bieżącą. Pierwsze z praw odpowiada linearyzacji modelu, drugie uwzględnia niektóre wyrazy rzędu drugiego. Dla obu przypadków minimalizowany wskaźnik przedstawiono jako jawną kwadratową formę stanu i ciągu sterowań z założonego ruchomego horyzontu.

CONTROL LAW DESIGN IN THE OLF STRUCTURE

Summary. In the paper a problem of 3D aircraft motion is formulated as a problem of follow-up of the reference trajectory and two control laws which are solutions of the deterministic and the stochastic versionsof the problem are presented. The first control law corresponds with the linearized plant model, the second one takes into account some second order terms. In both cases the minimized performacne index id represented by an explicit quadratic form of the state variables and the sequence of the controls of the moving horizon.

СИНТЕЗ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ В ОТКРЫТОЙ СТРУКТУРЕ СО СВЯЗЬЮ

Резюме. В работе представлены два закона управления решающее проблемы следования за траекторией, которая задана в детерминистической или в вероятностной версии. Предположена открытая структура со связью (OLF), измерительная доступность состояния и квадратный показатель отклонения отзаданной траектории, который определен на подвижном горизонте связанном с текущим моментом. Первый закон отвечает линеаризации модели а второй учитывает некоторые члены второй степени. Для обоих случаев минимизированный показатель представлен как явная квадратня жорма состояния и последоватевльности управлений из предложенного подвижного горизонта.

* Praca finansowana z CPBP 02.13 oraz grantu BK-301/RAu1/91.

1. WPROWADZENIE

Rozpatrując problem syntezy prawa sterowania dla przypadku dyskretnego czasu i w warunkach niepewności wprowadza się pojęcie struktury informacyjnej. Struktura ta jest określona przez przyporządkowanie należącym do założonego horyzontu numerom sterowań podzbiorów pomiarów wybranych ze zbioru wszystkich pomiarów dostępnych w założonym horyzoncie. Typową strukturą informacyjną jest taka, w której zbiór pomiarów przyporządkowanych danemu sterowaniu zawiera każdy ze zbiorów pomiarów przyporządkowanych sterowaniom o numerach od niego niższych (wcześniejszych w czasie). Jeżeli przyporządkowanie określające strukturę informacyjną jest stałe, mówimy o tzw. strukturze "closed loop" (CL). Jeżeli natomiast zmienia się ono wraz z numerem chwili dyskretnej i dodatkowo sterowania przyszłej względem numeru chwili bieżącej mają przyporządkowane te same pomiary, to strukturę taką nazywamy "open loop feedback" (OLF) lub otwartą ze sprzężeniem.

Struktura OLF pozwala na zastąpienie zadania syntezy prawa sterowania (dobór funkcji) ciągiem zadań doboru wartości sterowań, łatwiejszych z numerycznego punktu widzenia. Parametrem tych zadań jest aktualna informacja pomiarowa (wartości pomiarów).

W zastosowaniach założenie o strukturze OLF uzupełnia się ruchomym horyzontem optymalizacji przesuwnym wraz z chwilą bieżącą. Dobierana eksperymentalnie "długość" horyzontu powinna zapewniać wystarczające "wyprzedzenie" w stosunku do dynamiki sterowanego obiektu, a jednocześnie wymiarowość rozwiązywanego (względem wartości sterowań) zadania nie powinna być zbyt wysoka.

W wersji przedstawionej w pracy zakłada się dodatkowo kwadratową postać wskaźnika jakości w funkcji stanu i ciągu sterowań z założonego ruchomego horyzontu. Pozwala to na zastosowanie dobrze sprawdzonych algorytmów programowania kwadratowego przy jednoczesnej możliwości uwzględnienia ograniczeń wartości sterowań i trajektorii.

W punkcie 2 pracy przedstawiono sformułowanie zadania sterowania w dwu wersjach: z niepewnością losową oraz równoważne zadanie deterministyczne.

W punkcie 3 przedstawiono algorytm sterowania oparty na linearyzacji modelu dynamicznego wykonanej w danym punkcie oraz wynikową postać formy kwadratowej.

W punkcie 4 przedstawiono oryginalny algorytm sterowania wykorzystujący model dynamiczny rozwinięty do wyrazów rzędu drugiego, odpowiadającą mu postać formy kwadratowej i jej porównanie z formą otrzymaną przy linearyzacji modelu.

Punkt 5 zawiera uwagi uzupełniające oraz wnioski końcowe.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Sterowanie na podstawie informacji wizyjnej przestrzennym ruchem obiektów dynamicznych takich, jak samochód, samolot jest traktowane jako problem nadążania [4]. System wizji i współpracujący z nim układ przetwarzania pozwalają na określenie przyszłych "pożądanych" stanów obiektu podlegającego sterowaniu [4]. Dla dyskretnej chwili bieżącej "i" stany te będziemy oznaczać przez x_k^o oraz x_l^o, gdzie $k \ll l$. Pierwszy z nich określa pożądany stan obiektu z wyprzedzeniem o k chwil dyskretnych, drugi odpowiednio o l chwil dyskretnych.

Zakładając, że model obiektu podlegającego sterowaniu jest dany oraz informacja pomiarowa przyporządkowana sterowaniu u_i pozwala na określenie stanu x_i, należy wyznaczyć ciąg sterowań $u_l^{*T} = \left[u_i^T, \dots, u_{i+k-1}^T, \dots, u_{i+l-1}^T\right]$ minimalizując wskaźnik:

$$I_i = E\Big\{(x_{i+k} - x_k^o)^T K_1 (x_{i+k} - x_k^o) + $$
$$+ (x_{i+l} - x_l^o)^T K_2 (x_{i+l} - x_l^o) + u_l^{*T} K\, u_l^*\Big\} \tag{1}$$

przy ograniczeniach:

$$\underline{u}_l^* \le u_l^* \le \bar{u}_l^*$$

Jeżeli model obiektu nie zawiera zmiennych losowych, stan x_i jest określany dokładnie, a struktura sterowania jest typu OLF, to operacja uśredniania dotyczy jedynie tych składników wskaźnika (1) które zawierają stan x_k^o lub x_l^o traktowane jako zmienne losowe i powoduje zastąpienie ich wartości średnimi. Składniki będące formami kwadratowymi lub mieszanymi zmiennych x_k^o, x_l^o nie mają wpływu na wynik minimalizacji.

3. ALGORYTM STEROWANIA NA PODSTAWIE MODELU ZLINEARYZOWANEGO

Niech model dyskretny badanego obiektu, otrzymany na drodze dyskretyzacji zlinearyzowanego modelu ciągłego ma następującą postać:

$$x_{i+1} = Px_i + Qu_i, \tag{2}$$

gdzie:

x_i - wektor stanu (1 x n),

u_i - wektor sterowań (1 x m)

Korzystają z zależności:

$$x_{i+k} = \overset{\bullet}{P}_k x_i + \overset{\bullet}{Q}_k \overset{\bullet}{u}_k \quad \text{gdzie} \quad \overset{\bullet}{u}{}_k^T = \left[u_i^T u_{i+1}^T, \dots, u_{i+k-1}^T\right] \tag{3}$$

oraz

$$x_{i+l} = \overset{\bullet}{P}_l x_i + \overset{\bullet}{Q}_l \overset{\bullet}{u}_k \quad \text{gdzie} \quad \overset{\bullet}{u}{}_l^T = \left[u_i^T u_{i+1}^T, \dots, u_{i+l-1}^T\right] \tag{4}$$

a macierz $\overset{\bullet}{P}_i$ oraz $\overset{\bullet}{Q}_i$ mają odpowiednio wymiary (n x n) oraz (n x (i·m)), wskaźnik I_i (1) można przedstawić następująco:

$$I_i = (\overset{\bullet}{P}_k x_i + \overset{\bullet}{Q}_k \overset{\bullet}{u}_k - x_k^o)^T K_1 (\overset{\bullet}{P}_k x_i + \overset{\bullet}{Q}_k \overset{\bullet}{u}_k - x_k^o) +$$

$$+ (\overset{\bullet}{P}_l x_i + \overset{\bullet}{Q}_l u_l - x_l^o)^T K_2 (\overset{\bullet}{P}_l x_l + \overset{\bullet}{Q}_l u_l - x_l^o) + \overset{\bullet}{u}{}_l^T K \overset{\bullet}{u}_l \tag{5}$$

Po przekształceniach i pominięciu wyrazów niezależnych od sterowań $\overset{\bullet}{u}_l$ uzyskujemy następującą pełną formę kwadaratową:

$$\overset{\bullet}{I}_i = \overset{\bullet}{u}{}_k^T \overset{\bullet}{Q}{}_k^T K_1 \overset{\bullet}{Q}_k \overset{\bullet}{u}_k + 2\,(x_i^T \overset{\bullet}{P}_k K_1 \overset{\bullet}{Q}_k - x_k^{oT} K_1 \overset{\bullet}{Q}_k) \overset{\bullet}{u}_k +$$

$$+ \overset{\bullet}{u}{}_l^T \overset{\bullet}{Q}{}_l^T K_2 \overset{\bullet}{Q}_l \overset{\bullet}{u}_l + 2\,(x_i^T \overset{\bullet}{P}_l K_2 \overset{\bullet}{Q}_l - x_i^{oT} K_2 \overset{\bullet}{Q}_l) u_k + \overset{\bullet}{u}{}_l^T K \overset{\bullet}{u}_l =$$

$$= \overset{\bullet}{u}{}_l^T F_1 \overset{\bullet}{u}_l + D_1 \overset{\bullet}{u}_l + \overset{\bullet}{u}{}_l^T F_2 \overset{\bullet}{u}_l + D_2 \overset{\bullet}{u}_l + \overset{\bullet}{u}{}_l^T K \overset{\bullet}{u}_l = \overset{\bullet}{u}{}_l^T F u_l + D \overset{\bullet}{u}_l \tag{6}$$

gdzie:

$$
\begin{aligned}
F &= F_1 + F_2 + K \\
D &= D_1 + D_2 \\
F_2 &= Q_1^{*T} K_2 Q_1^{*} \\
D_2 &= 2(x_o^T P_1^{*} - x^{oT}) K_2 Q_1^{*}
\end{aligned}
\tag{7}
$$

a macierze F_1 oraz D_1 powstały odpowiednio z macierzy $Q_k^{*T} K_1 Q_k^{*}$ oraz $2(x_l^T P_k^{*} - x_k^{oT}) K_1 Q_k^{*}$, przez ich uzupełnienie blokami zerowymi od odpowiednich wymiarów:

$$
F_1 = \begin{bmatrix} Q_k^{*T} K_1 Q_k^{*} & 0 \\ & \\ 0 & 0 \end{bmatrix}
\tag{7a}
$$

gdzie: 0 - macierz zerowa o wymiarach $((l-k)\cdot m \times (l-k)\cdot m)$

$$
P_1 = \left[2\cdot (x_l^T P_k^{*} - x_k^{oT}) \cdot K_1 Q_k^{*}, 0_1 \right],
$$

gdzie: 0_1 - macierz zerowa o wymiarach $(n \times (l-k)\cdot m)$.

Otrzymany wskaźnik I_l^{*} (6) jest formą kwadratową sterowań od chwili i do chwili (i+l-1)-tej. W wyniku nałożenia ograniczeń na sterowania, problem syntezy sterowania sprowadzony został do statycznego problemu minimalizacji kwadratowego wskaźnika jakości, przy liniowych ograniczeniach.

Problem ten można rozwiązać numerycznie, wykorzystując jedną z metod programowania kwadratowego, np. metodą Wolfe'a. Pełną postać macierzy (7), (7a) można uzyskać wykorzystując obowiązującą dla układów liniowych zależność:

$$
\begin{aligned}
P_j^{*} &= P^j \\
Q_j^{*} &= \left[P^{j-1}Q, P^{j-2}Q, \dots, PQ, Q \right]
\end{aligned}
\tag{8}
$$

gdzie macierze P, Q są macierzami występującymi w równaniu stanu (2).

4. ALGORYTM STEROWANIA NA PODSTAWIE MODELU UWZGLĘDNIAJĄCEGO WYRAZY RZĘDU DRUGIEGO

Załóżmy, że nieliniowy model obiektu ma następującą postać:

$$x_{i+1} = Px_i + Qu_i + m_i + s_i + r_i \tag{9}$$

gdzie: P, Q są macierzami zdefiniowanymi we wzorze (2) a wektory m_i, r_i, s_i zdefiniowane są następująco:

$$m_i = \begin{bmatrix} x_i^T M_1 x_i \\ x_i^T M_2 x_i \\ \vdots \\ x_i^T M_n x_i \end{bmatrix}, \quad s_i = \begin{bmatrix} x_i^T S_1 u_i \\ x_i^T S_2 u_i \\ \vdots \\ x_i^T S_n u_i \end{bmatrix}, \quad r_i = \begin{bmatrix} u_i^T R_1 u_i \\ u_i^T R_2 u_i \\ \vdots \\ u_i^T S_n u_i \end{bmatrix} \tag{10}$$

gdzie macierze M_i, S_i oraz R_i mają wymiary: $(n \times n)$, $(n \times m)$, $(m \times m)$. Określają one wyrazy kwadratowe w modelu obiektu.

Zakładając, że:

$$x_{i+j} = \dot{P}_j x_i + \dot{Q}_j \dot{u}_j + \dot{m}_j + s_j + \dot{r}_j \tag{11}$$

gdzie:

$$\dot{m}_j = \begin{bmatrix} x_i^T & \dot{M}_{1,j} & x_i^T \\ & \vdots & \\ x_i^T & \dot{M}_{n,j} & x_i^T \end{bmatrix} \qquad s_j = \begin{bmatrix} x_i^T & \dot{S}_{1,j} & u_j \\ & \vdots & \\ x_i^T & \dot{S}_{n,j} & u_j \end{bmatrix}$$

$$\dot{r}_j = \begin{bmatrix} u_j^T & \dot{R}_{1,j} & u_j \\ & \vdots & \\ u_j^T & \dot{R}_{n,j} & u_j \end{bmatrix} \tag{11a}$$

$\dot{M}_{i,j}$ - macierze o wymiarze $(n \times n)$

$\dot{S}_{i,j}$ - macierze o wymiarze $(n \times (m \cdot j))$

$\dot{R}_{i,j}$ - macierze o wymiarze $((m \cdot j) \times (m \cdot j))$

wskaźnik I_i można obecnie zapisać następująco:

$$I_i = (\dot{P}_k x_i + \dot{Q}_k \dot{u}_k + \dot{m}_k + s_k + \dot{r}_k - x_k^o)^T K_1 (\dot{P}_k x_i + \dot{Q}_k \dot{u}_k + \dot{m}_k + s_k + \dot{r}_k - x_k^o)$$

$$+ (\dot{P}_l x_i + \dot{Q}_l \dot{u}_l + \dot{m}_l + s_l + \dot{r}_l - x_l^o)^T K_2 (\dot{P}_l x_i + \dot{Q}_l \dot{u}_l + \dot{m}_l + s_l + \dot{r}_l - x_l^o) +$$

$$+ \dot{u}_l^T K \dot{u}_l \tag{12}$$

Tak zdefiniowany wskaźnik jakości nie jest formą kwadratową wektora sterowań $\dot{u}_l$. Zawiera również wyrazy wyższego rzędu. Po pominięciu tych wyrazów oraz wyrazów niezależnych od sterowań wskaźnik przybiera postać:

$$\dot{I}_i = \dot{u}_k^T \dot{Q}_k^T K_1 \dot{Q}_k \dot{u}_k + 2(x_i^T \dot{P}_k^T + \dot{m}_k^T - x_k^{oT}) K_1 \dot{r}_k + 2\dot{u}_k^T \dot{Q}_k^T K_1 \dot{s}_k +$$

$$+ 2(x_i^T \dot{P}_k^T - x_k^{oT}) K_1 \dot{Q}_k \dot{u}_k + 2\dot{m}_k^T K_1 \dot{Q}_k \dot{u}_k + 2\,(x_i^T \dot{P}_k^T + \dot{m}_k - x_k^{oT}) K_1 \dot{s}_k +$$

$$+ \dot{u}_l^T \dot{Q}_l^T K_2 \dot{Q}_l \dot{u}_l + 2(x_i^T \dot{P}_l^T + \dot{m}_l^T - x_l^{oT}) K_2 \dot{r}_l + 2\dot{u}_l^T \dot{Q}_l^T K_2 \dot{s}_l +$$

$$+ 2(x_i^T P_l^T - x_l^{oT}) K_2 Q_l u_l + 2m_l^T u_2 Q_l u_l + 2(x_i P_l^T + m_l - x_l^{oT}) K_2 s_l + u_l^T K u_l$$

Przekształcając dalej otrzymujemy:

$$\dot{I}_i = \dot{u}_k^T \dot{Q}_k^T K_1 \dot{Q}_k \dot{u}_k + K_k'^T \dot{r}_k + 2\dot{u}_k^T \dot{Q}_k^T K_1 \dot{s}_k +$$

$$+ 2(x_i^T \dot{P}_k^T - x_k^{oT}) K_1 \dot{Q}_k \dot{u}_k + 2\dot{m}_k K_1 \dot{Q}_k \dot{u}_k + K_k'^T \dot{s}_k +$$

$$+ \dot{u}_l^T \dot{Q}_l^T K_2 \dot{Q}_l \dot{u}_l + K_l'^T \dot{r}_l + 2\dot{u}_l^T \dot{Q}_l^T K_2 \dot{s}_l +$$

$$+ 2(x_o^T \dot{P}_l^T - x_l^{oT}) K_2 \dot{Q}_l \dot{u}_l + 2\dot{m}_l K_2 \dot{Q}_l \dot{u}_l + K_l'^T \dot{s}_l + \dot{u}_l^T K \dot{u}_l; \tag{13}$$

gdzie wektor:

$$K'^{T}_{j} = 2(x_o^T \dot{P}_j^T + \dot{m}_j - x_j^{oT})K. \tag{14}$$

Dalej po wykorzystaniu (11a) mamy:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_i = {} & \dot{u}_k^T \dot{Q}_k^T K_l Q_k \dot{u}_k + K'^{T}_{k} \cdot \begin{bmatrix} \dot{u}_k^T \dot{R}_{1,k} \dot{u}_k \\ \cdots\cdots\cdots \\ \dot{u}_k^T \dot{R}_{n,k} \dot{u}_k \end{bmatrix} + 2u_k^T Q_k^T K_l \cdot \begin{bmatrix} x_i^T \dot{S}_{1,k} \\ \cdots\cdots \\ x_i^T \dot{S}_{n,k} \end{bmatrix} \dot{u}_k + \\
& + 2(x_i^T \dot{P}_k^T - x_k^{oT})K_l \dot{Q}_k \dot{u}_k + 2\dot{m}_k K_l \dot{Q}_k \dot{u}_k + K'^{T}_{k} \cdot \begin{bmatrix} x_i^T \dot{S}_{1,k} \\ \cdots\cdots \\ x_i^T \dot{S}_{n,k} \end{bmatrix} \dot{u}_k + \\
& + \dot{u}_l \dot{Q}_l^T K_2 \dot{Q}_l \dot{u}_l + K'^{T}_{l} \cdot \begin{bmatrix} \dot{u}_l^T \dot{R}_{1,l} \dot{u}_l \\ \cdots\cdots\cdots \\ \dot{u}_l^T \dot{R}_{n,l} \dot{u}_l \end{bmatrix} + 2\dot{u}_l^T \dot{Q}_l^T K_2 \cdot \begin{bmatrix} x_i^T \dot{S}_{1,l} \\ \cdots\cdots \\ x_i^T \dot{S}_{n,l} \end{bmatrix} \dot{u}_l + \\
& + 2(x_i^T \dot{P}_l^T - x_l^{oT})K_2 \dot{Q}_l \dot{u}_l + 2\dot{m}_l^T K_2 \dot{Q}_l^T \dot{u}_l + K'^{T}_{l} \cdot \begin{bmatrix} x_i^T \dot{S}_{1,l} \\ \cdots\cdots \\ x_i^T \dot{S}_{n,l} \end{bmatrix} \dot{u}_l + \\
& + \dot{u}_l^T K \dot{u}_l
\end{aligned}$$

by ostatecznie otrzymać:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_i = {} & \dot{u}_l^T F_1 \dot{u}_l + \dot{u}_l^T F_{11} \dot{u}_l^T + \dot{u}_l^T F_{12} \dot{u}_l + \\
& + D_1 \dot{u}_l + D_{11} \dot{u}_l + D_{12} \dot{u}_l + \\
& + \dot{u}_l^T F_2 \dot{u}_l + \dot{u}_l^T F_{21} \dot{u}_l + \dot{u}_l^T F_{22} \dot{u}_l + D_2 \dot{u}_l + D_{21} \dot{u}_l + D_{22} \dot{u}_l + \\
& + \dot{u}_l K \dot{u}_l^T = \dot{u}_l F \dot{u}_l + \dot{u}_l F' \dot{u}_l + D \dot{u}_l + D' \dot{u}_l
\end{aligned} \tag{15}$$

gdzie: macierze F_1, F_2, F, D_1, D_2, D zdefiniowano w (7) oraz

$$F_{21} = \left[K_1'^{1} \overset{\bullet}{R}_{1,1} + K_1'^{2} R_{21} + \ldots + K_1'^{n} \overset{\bullet}{R}_{n,1} \right]$$

$$F_{22} = 2\overset{\bullet}{Q}{}_1^{T} K_2 \cdot \begin{bmatrix} x_1^T \cdot \overset{\bullet}{S}_{1,1} \\ \cdots\cdots\cdots \\ x_1^T \cdot \overset{\bullet}{S}_{n,1} \end{bmatrix}$$

$$D_{21} = 2\overset{\bullet}{m}{}_1^{T} K_2 \overset{\bullet}{Q}_1 \tag{16}$$

$$D_{22} = K_k'^{T} \cdot \begin{bmatrix} x_1^T \cdot \overset{\bullet}{S}_{1,1} \\ \cdots\cdots\cdots \\ x_1^T \cdot \overset{\bullet}{S}_{n,1} \end{bmatrix}$$

a macierze F_{11}, F_{12}, D_{11}, D_{12} powstały tak, jak przedstawione powyżej odpowiadające im macierze F_{21}, F_{22}, D_{21}, D_{22} i zostały rozszerzone do odpowiedniego wymiaru blokami zerowymi, w sposób prezentowany we wzorze (7a).

Tak więc doprowadziliśmy wskaźnik jakości do postaci formy kwadratowej ciągu sterowań:

$$\overset{\bullet}{I}_1 = \overset{\bullet}{u}{}_1^{T} FF \overset{\bullet}{u}_1 + DD \overset{\bullet}{u}_1 \tag{17}$$

Warto zauważyć, że macierze FF oraz DD składają się z elementu, który występował we wskaźniku dla modelu zlinearyzowanego (odpowiednio F i D) oraz z elementu dodatkowego wynikającego z przyjęcia nieliniowego ("kwadratowego") równania stanu obiektu (odpowiednio F′, D′). Najogólniej rzecz biorąc, macierze F′ oraz D′ zależą od stanu bieżącego x_1 oraz zadanych wektorów stanu x_k^o i x_1^o. Tak więc stany te wpływają na wartość obu macierzy formy kwadratowej, modyfikując zarówno jej "przesunięcie" (macierz DD), jak i kształt (macierz FF). Własności tej nie posiadał wskaźnik dla modelu liniowego, gdyż macierz F zależy wyłącznie od parametrów modelu.

3. UWAGI KOŃCOWE

Rozważania przedstawione w pracy były podstawą programu syntezy praw sterowania dla przykładowego zadania nadążania pojazdu samochodowego za drogą rozpatrywanego jako ruch w jednej płaszczyźnie [4]. Model samochodu oraz jego parametry liczbowe zaczerpnięto z prac [1]-[3]. Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały poprawność sterowania przy odpowiednim doborze współczynników wagowych występujących w składniku $u_1^{*T} K u_1^*$, przyjętego do minimalizacji wskaźnika jakości.

W dalszym rozwoju przedstawionej metody możliwe jest zastąpienie dwu "punktów" pożądanej trajektorii przez jej aproksymację, co wymaga wprowadzenia układu identyfikacji trajektorii, za którą odbywa się nadążanie. Koncepcja takiego układu była przedstawiona w pracy [4].

LITERATURA

[1] Dickmanns E.D., Zapp A.: Autonomous High Road Vehcle Guidance by Computer Vision, IFAC, Monachnium 1987.

[2] Karnopp D.: Passive and active control of road vehicle heave and pitch motion, IFAC, Monachium 1987.

[3] Momot W.: Badanie stateczności prostoliniowego ruchu samochodu (Problem prędkości krytycznych), ZN Przemysłowego Instytutu Motoryzacji, z. 1. 1977.

[4] Wojciechowski K., Ordys A., Polański A.: Algorytm sterowania obiektem dynamicznym na podstawie informacji wizyjnej, ZN Pol. Śl., (przyjęto do druku).

Recenzent: Doc. dr inż. Bohdan WOŁCZAK

Wpłynęło do Redakcji 30.05.1989 r.

A b s t r a c t

In the paper a problem of 3D aircraft motion control is formulated as a problem of follow-up of the reference trajectory and two control laws which are solutions of the deterministic and the stochastic versions of the problem are presented.

The OLF information structure, the measurement access to the state variables and the quadratic form of a deviation index from reference trajectory defined on a moving horizon connected with the current moment is assumed. It enables to replace the control law design by a sequence of control value choice problems of less numerical complexity. The experimentally chosen horizon should ensure sufficient comparing to the controlled plant dynamics but at the same time the problem dimension (in relation to the control values) should be not too large.

The first control law corresponds with the linearized plant model, the second one takes into account some second order terms. In both cases the minimized performance index is represented by an explicit quadratic form of the state variables and the sequence of the controls of the moving horizon. It enables to find the control values using one of quadratic programming algorithms.