ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993
Seria: AUTOMATYKA z. 107 Nr kol. 1149

Andrzej ORDYS, Andrzej POLAŃSKI
Joanna POLAŃSKA, Krzysztof SIMEK
Konrad WOJCIECHOWSKI

SYSTEM SYMULACYJNEGO BADANIA ALGORYTMÓW STEROWANIA OBIEKTAMI DYNAMICZNYMI Z WYKORZYSTANIEM INFORMACJI WIZYJNEJ*

Streszczenie. W pracy przedstawiono system symulacyjnego badania algorytmów sterowania obiektami dynamicznymi w wykorzystaniem informacji wizyjnej. W systemie wyróżniono podsystemy symulacji obiektu, generacji obrazu i sterowania, w skład którego wchodzą przetwarzanie ciągu obrazów do postaci parametrów ruchu oraz prawo sterowania dla problemu nadążania.

THE SIMULATION SYSTEM FOR CONTROL ALGORITHMS BASED ON THE VISUAL INFORMATION

Summary. In the paper a simulation system for verifying the ideas of control an information processing algorithms is presented. The advantage of the described system is its modular structure with the systems of plant simulation, image generation and control.

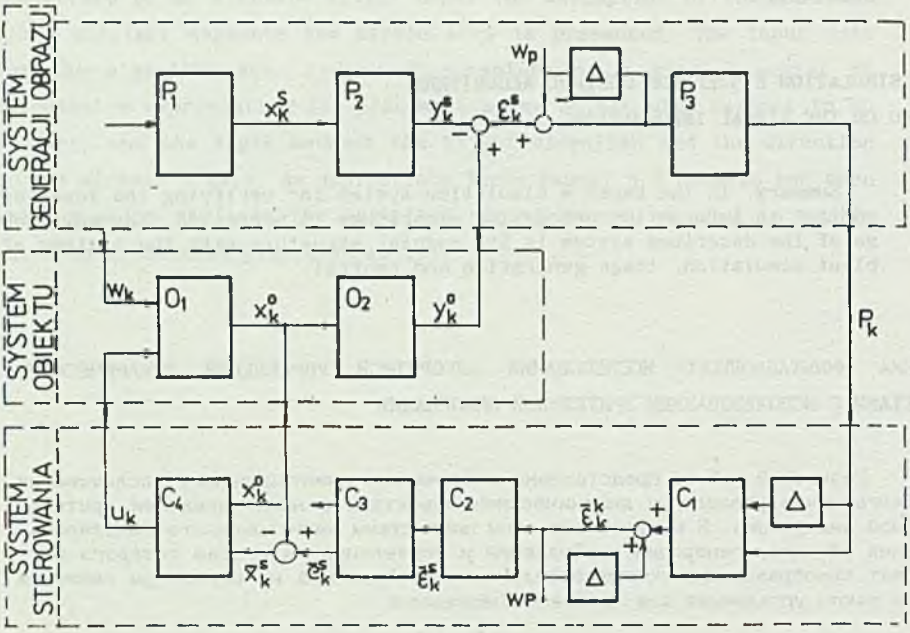
СИСТЕМА ИММИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Резюме. В работе представлена система для иммитационного исследования алгоритмов управления динамическими объектами с использованием зрительной инжормации. В системе выделены подсистемы иммитационного моделирования объекта, генерации изображений и управления, в состав которого входят преобразование последовательности изображений на параметры движения и закон управления для проблемы следования.

* Praca finansowana z CPBP 02.13 "Układy ze sztuczną inteligencją do maszyn roboczych i pojazdów "oraz grantu BK 301.

1. WPROWADZENIE

Fizyczna realizacja sterowania obiektami dynamicznymi z wykorzystaniem informacji wizyjnej powinna być poprzedzona badaniami symulacyjnymi. Badania takie mogą mieć strukturę etapową. W pierwszym etapie symulowany jest nie tylko obiekt dynamiczny podlegający sterowaniu, ale również jego otoczenie będące źródłem informacji wizyjnej wykorzystywanej w torze sprzężenia zwrotnego. Zaletą jest możliwość uzyskania na tej drodze idealnego toru wizji pozbawionego zakłóceń związanych z pozyskiwaniem i przetwarzaniem ciągu obrazów przy równoczesnej możliwości wprowadzania sztucznych zakłóceń o założonym charakterze i kontrolowanej wielkości. Kolejną zaletą wspomnianego podejścia jest możliwość wyróżnienia w otoczeniu sterowanego obiektu również innych obiektów poruszających się według zadanej lub losowej trajektorii i formuło-



Rys. 1. Schemat systemu symulacyjnego badania algorytmów sterowania obiektami dynamicznymi

Fig. 1. The scheme of system for the dynamic plant control algorithms simulation research

wanie zadania sterowania względem tych obiektów. Podejście to jest równocześnie bardzo elastyczne, umożliwia proste formowanie i równie prostą zmianę parametrów toru wizji, takich jak: kąt widzenia kamery względem osi sterowanego obiektu, ruch kamery względem tego obiektu, ogniskowa kamery, zasięg widzenia i inne oraz formowanie i zmianę otoczenia w którym odbywa się ruch.

Mając na uwadze powyższe zalety, w pracy zdecydowano się na taką właśnie koncepcję, która uzupełniona o modułową realizację poszczególnych funkcji daje uniwersalny, przedstawiony na rys. 1, system symulacyjnego badania algorytmów sterowania obiektami dynamicznymi z wykorzystaniem informacji wizyjnej.

Na kolejnych etapach badań symulacyjnych zastępuje się symulowany tor wizji torem fizycznym, zaś model otoczenia projekcją filmową wybranego otoczenia rzeczywistego. Na ostatnim etapie model obiektu zastępuje się obiektem rzeczywistym.

W poszczególnych punktach pracy przedstawiono kolejno system symulacji obiektu (punkt 2), system generacji obrazu (punkt 3) system sterowania (punkt 4). W punkcie 5 zamieszczono uwagi dodatkowe i wnioski.

2. SYSTEM SYMULACJI OBIEKTU

Podlegający sterowaniu obiekt dynamiczny symulowany jest przez model matematyczny. Wielkościami wejściowymi są zakłócenia generowane losowo oraz sterowania przekazywane z systemu sterowania. Wyjściowy wektor stanu x_k^o obiektu redukowany jest do położeń i kątów Eulera (wektor y_k^o) względem ustalonego inercyjnego układu współrzędnych [4, 5] przekazywanych do układu generacji obrazu.

Przewidziano dwa typy obiektów: pojazd samochodowy, którego trajektoria ruchu z założenia należy do przestrzeni dwuwymiarowej i samolot posiadający swobodę ruchu w przestrzeni trójwymiarowej. Parametry liczbowe modeli symulujących wybrane obiekty mogą być przyjmowane dowolne, w wyniku czego ich "własności dynamiczne" zmieniają się w szerokim zakresie.

Model pojazdu samochodowego przyjęty w systemie symulacji obiektu przedstawiony jest w pracy [13], zaś model samolotu w pracy [14]. Wymienione modele stanowiły podstawę do budowy odpowiadających im programów symulacyjnych.

3. SYSTEM STEROWANIA

System sterowania zawiera dwa podsystemy. W pierwszym podsystemie (według kierunku przepływu informacji), składającym się z bloków C1, C2, C3, ciąg obrazów przekształcany jest do postaci parametrów ruchu. W drugim podsystemie (blok C4) odtwarzany jest wektor x_k^s stanu obiektu, na którym odbywa się nadążanie i na tej podstawie przy znajomości własnego wektora stanu obiektu x_k^o wyznaczana jest wartość sterowania.

Obraz cyfrowy P_k przekazywany w torze wizji w chwili dyskretnej k jest zapamiętywany i z obrazem P_{k-1} zapamiętanym w chwili poprzedniej stanowi informację wejściową bloku C1, gdzie wykonywane jest wyznaczanie pola przemieszczeń oraz określone są przyrosty położenia i kątów Eulera układu kamery względem układu związanego z widzianym przez nią obiektem (otoczeniem). Algorytmy wyznaczania pola przemieszczeń oraz przyrostów położenia i kątów Eulera przedstawiono w pracach [1+8; 11]. Na podstawie powyższych przyrostów i zadanego warunku początkowego odtwarzane są trzy składowe położenia i kąty Eulera układu kamery w chwili dyskretnej k względem układu obiektu (otoczenia). Parametry te są zawarte w wektorze $\bar{\varepsilon}_k^k$.

Biorąc pod uwagę, że oś widzenia kamery nie musi pokrywać się z osią podłużną obiektu lub kamera może poruszać się względem osi obiektu, wektor $\bar{\varepsilon}_k^k$ przeliczany jest w bloku C2 na wektor $\bar{\varepsilon}_k^k$.

Składowe położenia oraz kąty Eulera zawarte w wektorze $\bar{\varepsilon}_k^s = [\overline{\Delta x}_k, \overline{\Delta y}_k, \overline{\Delta z}_k, \overline{\Delta\varphi}_k, \overline{\Delta\vartheta}_k, \overline{\Delta\psi}_k]$ nie stanowią w przypadku ruchu bryły sztywnej pełnego wektora stanu. Brakujące trzy składowe prędkości postępowej i odpowiednie trzy składowe prędkości obrotowej w najprostszym przypadku mogą zostać odtworzone w bloku C3 przez wykorzystanie związków kinematycznych [14] i aproksymację pochodnych względem czasu odpowiednimi ilorazami różnicowymi. Mamy:

$$\begin{bmatrix} \overline{\Delta V}_{x,k} \\ \overline{\Delta V}_{y,k} \\ \overline{\Delta V}_{z,k} \end{bmatrix} = D_{SG}(\overline{\Delta\varphi}_k, \overline{\Delta\vartheta}_k, \overline{\Delta\psi}_k)\,\frac{1}{\Delta t} \begin{bmatrix} \overline{\Delta x}_k - \overline{\Delta x}_{k-1} \\ \overline{\Delta y}_k - \overline{\Delta y}_{k-1} \\ \overline{\Delta z}_k - \overline{\Delta z}_{k-1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \overline{\Delta\omega}_{x,k} \\ \overline{\Delta\omega}_{y,k} \\ \overline{\Delta\omega}_{z,k} \end{bmatrix} = \Omega\,(\overline{\Delta\varphi}_k,\ \overline{\Delta\vartheta}_k)\ \frac{1}{\Delta t} \begin{bmatrix} \overline{\Delta\varphi}_k - \overline{\Delta\varphi}_{k-1} \\ \overline{\Delta\vartheta}_k - \overline{\Delta\vartheta}_{k-1} \\ \overline{\Delta\psi}_k - \overline{\Delta\psi}_{k-1} \end{bmatrix}$$

Ostatecznie na wyjściu pierwszego z podsystemów systemu sterowania dysponujemy wszystkimi składowymi wektora odchyłki $\bar{e}_k$ pomiędzy znanym stanem x_k^o sterowanego obiektu z nieznanym stanem x_k^s obiektu, za którym odbywa się nadążanie. Możliwe jest zatem odtworzenie nieznanego stanu jako $\bar{x}_k^s = x_k^o + \bar{e}_k$.

Opisana powyżej sytuacja jest najbardziej ogólna. W przeciwnym do niej przypadku najprostszy obiekt może być sterowany względem fragmentu otoczenia, który jest nieruchomy względem przyjętego inercyjnego układu odniesienia, a początki układów pokrywają się ze sobą. W takim przypadku $x_k^s \equiv 0$ i informacja wizyjna służy jedynie do poprawy dokładności wyznaczania własnego wektora stanu x_k^o. W przypadkach pośrednich jedynie niektóre ze składowych wektora x_k^s mogą być z założenia równe zeru (np. wykluczenie ruchu obrotowego).

Blok C4 jest "konwencjonalnym" układem sterowania, dla którego informację wejściową stanowią aktualny stan x_k^o sterowanego obiektu oraz odtworzony stan $\bar{x}_k^s$ obiektu, za którym odbywa się nadążanie. Jedną w możliwych realizacji szczegółowych bloku C4 przedstawiono w [13].

4. SYSTEM GENERACJI OBRAZU

Odpowiednio do przyjętej w pracy koncepcji, przestrzeń, w której odbywa się ruch, jest ograniczona do prostopadłościanu o założonych wymiarach. Jeden z jego wierzchołków wraz z układem związanych z nim krawędzi stanowi inercyjny układ odniesienia. Wnętrze prostopadłościanu wypełnione jest wielościanami zadanymi przez swoje wierzchołki, tworząc tzw. "świat blokowy".

System generacji obrazu składa się z bloków P1, P2, P3. Blok P1 umożliwia nadanie ruchu wybranemu wielościanowi względem układu inercyjnego. Wektor stanu opisujący ten ruch w chwili dyskretnej k oznaczony jest przez x_k^s. Blok P2 pozwala na wybranie z pełnego wektora stanu tylko tych składowych, które mają wpływ na obraz. Są nimi trzy składowe przesunięcia i kąty Eulera.

Wektor różnic ε_k^s pomiędzy przesunięciami i kątami Eulera "ruchomego" wielościanu a przesunięciami i kątami Eulera obiektu decyduje o obrazie tego wielościanu widzianym przez kamerę umieszczoną na obiekcie. Blok P3 modyfikuje obraz w zależności od tego, czy wspomniana różnica uległa zmianie czy nie.

W uproszczonej wersji systemu generacji obrazu założono $x_k^s \equiv 0$.

5. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawiony w pracy system symulacyjnego badania algorytmów sterowania obiektami dynamicznymi z wykorzystaniem informacji wizyjnej stanowi podsumowanie prac wykonywanych w Zakładzie Teorii Sterowania Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej i finansowanych z CPBP 02.13 oraz grantu BK 301.

Uniwersalna modułowa struktura systemu jest zorientowana głównie na badanie różnych algorytmów sterowania realizowanych przez blok C4 z rys. 1. Możliwe realizacje szczegółowe bloku C4 przedstawiono w pracach [9], [12], [13]). W przypadku wysokiego poziomu niepewności wyznaczanych parametrów ruchu, zmodyfikowany będzie również sposób odtwarzania (estymacji) brakujących składowych wektora odchyłek e_k^s, przeprowadzony w bloku C3. Wymiana modelu sterowanego obiektu na inny nie nastręcza problemów, jeśli odpowiadający mu program symulacyjny wykonany zostanie w odpowiednim standardzie. Podobnie, z ograniczeniem do wielościennej struktury, może być dowolnie aranżowana przestrzeń, w której odbywa się ruch.

LITERATURA

[1] Ordys A., Wojciechowski K.: Wybrane algorytmy przetwarzania wstępnego obrazu w zagadnieniach wyznaczania pola prędkości. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[2] Ordys A., Wojciechowski K.: Metody wyznaczania pola prędkości na podstawie sekwencji obrazów. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[3] Ordys A.: Numeryczne wyznaczanie pola prędkości na podstawie analizy przesuniętych w czasie obrazów. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[4] Polański A.: Algorytm wyznaczania parametrów ruchu na podstawie pola przemieszczeń. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[5] Polański A., Wojciechowski K.: Wyniki numerycznych badań algorytmu wyznaczania parametrów ruchu. Prace Nauk. Inst. Cybernetyki Techn. Pol. Wrocławskiej, Wrocław 1988.

[6] Polański A.: Określenie parametrów ruchu w przestrzeni trójwymiarowej na podstawie obrazów z dwóch kamer. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[7] Polański A., Wojciechowski K.: Analiza pola przemieszczeń. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[8] Polański A., Wojciechowski K.: Dobór funkcji celu w algorytmach wyznaczania parametrów ruchu. ZN Pol. Śl., (złożone w redakcji).

[9] Simek K., Wojciechowski K.: Synteza prawa sterowania w strukturze otwartej ze sprzężeniem, ZN Pol. Śl., (złożone w redakcji).

[10] Simek K., Wojciechowski K.: Dyskretne przekształcenia sumacyjne dla funkcji Walsha. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[11] Świerniak A.: Wyznaczanie parametrów ruchu obiektu na podstawie długiego ciągu obrazów. ZN Pol. Śl., seria Automatyka, nr 97, Gliwice (w druku).

[12] Świerniak A., Polańska J.: Dobór regulatora metodami H^{∞} dla modelu samolotu linearyzowanego przedziałami. ZN Pol. Śl. (złożone w redakcji).

[13] Wojciechowski K., Ordys A., Polański A.: Algorytm sterowania wybranym obiektem dynamicznym na podstawie informacji wizyjnej. Prace Nauk. Inst. Cyb. Techn. Pol. Wrocławskiej nr 75, Wrocław 1988.

[14] Wojciechowski K., Ordys A., Polańska J.: Model przestrzennego ruchu samolotu dla celów symulacji i sterowania. ZN Pol. Śl. (złożone w redakcji).

Recenzent: Doc. dr inż. Bohdan WOŁCZAK

Wpłynęło do Redakcji 30.05.1989 r.

A b s t r a c t

Physical realization of dynamic system control based on visual information should be proceded by simulation investigations. The construction of a simulation system for a control system with an object makes it possible to verify the ideas of control and information processing algorithms. The next stage of investigations is a gradual bringing into concrete each individual part of the system. The last step is the installation of control system with a vision channel on a real plant.

In the paper a simulation system for the first stage of investigations is presented. All elements of the control system are simulated on computer. The advantage of the presented system is its modular structure with the systems of plant simulation, image generation and control.