ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992
Seria: AUTOMATYKA z. 110 Nr kol. 1176

Jerzy Świątek, Andrzej Plata
Politechnika Wrocławska

PAKIET PROGRAMÓW DO MODELOWANIA I IDENTYFIKACJI KOMPLEKSÓW OPERACJI

THE PACKAGE FOR MODELLING AND IDENTIFICATION OF COMPLEX OF OPERATIONS SYSTEMS

ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ОПЕРАЦИЙ

Streszczenie: W pracy przedstawiono opis pakietu umożliwiającego modelowanie i identyfikację kompleksu operacji o strukturze równoległej przy dowolnych statycznych opisach operacji. W szczególności pakiet ten daje możliwość symulacji różnych sytuacji pomiarowych prowadzących do różnych zadań identyfikacji systemów złożonych. Są to zadania identyfikacji lokalnej i globalnej oraz zadania estymacji przy ograniczonych możliwościach pomiarowych.

Summary: In the paper the package for modelling and identification of complex of operation system with parallel structure and any static description of operations is presented. Particularly, it gives the possibility to simulate the different measurement situations which allow to formulate the different cases of identification of complex systems. There are tasks of local and global identification and parameter estimation with restricted measurement possibilities.

Резюме: В работе представлено описание пакета, дающего возможность моделирования и идентификации комплекса операций с параллельной структурой при произвольных статических описаниях операций. В частности этот пакет дает возможность имитационного моделирования различных измерительных ситуаций, ведущих к различным задачам идентификации сложных систем. Это задачи локальной и глобальной идентификации а также задачи оценки при ограниченных измерительных возможностях.

1. Wstęp

Rozwój problematyki sterowania złożonymi procesami wiąże się z nowymi zadaniami identyfikacji systemów złożonych. Obok złożonych systemów wejściowo - wyjściowych pojawia się konieczność rozpatrywania tzw. systemów o strukturze sieciowej (kompleksów operacji). W szczególności systemy o takiej strukturze możemy spotkać przy analizie złożonych systemów produkcyjnych, których elementami są operacje, a powiązania pomiędzy operacjami zadane są pewnymi uwarunkowaniami czasowymi. Klasyczne już zadanie sterowania kompleksem operacji [m.in. 2, 3, 4, 10] polega na takim przydziale zadań (zasobów) do poszczególnych operacji, aby minimalizować czas realizacji kompleksu. Rozwiązanie tego zadania wymaga znajomości opisów poszczególnych operacji. Uzyskanie takich modeli wiąże się z problematyką identyfikacji systemów o strukturze sieciowej (kompleksów operacji). Tematyce tej poświęcono wiele opracowań w ostatnich latach. Prace [1, 5, 6, 7, 8. 9, 11] przedstawiają zadania identyfikacji globalnej i lokalnej. W opracowaniu [12] rozpatrywano zagadnienie identyfikacji kompleksów operacji przy ograniczonych możliwościach pomiarowych. Przedmiotem opracowania jest pakiet programów powalający na rozwiązanie typowych zadań identyfikacji kompleksu operacji o strukturze równoległej.

2. Funkcje pakietu

Proponowany pakiet pozwala na zapoznanie się z podstawowymi problemami związanymi z opisem i analizą kompleksów operacji. W związku z tym przewidziano następujące funkcje:

- Symulacja,
- Wyznaczanie parametrów operacji - przypadek deterministyczny,
- Estymacja parametrów operacji - przypadek probabilistyczny,
- Wybór optymalnych parametrów modeli operacji.

Opcja SYMULACJA umożliwia analizę kompleksu operacji o dowolnej strukturze z opisami operacji w postaci równań różniczkowych oraz charakterystyk statycznych. Dla zadanego stanu początkowego i stanu końcowego operacji oraz przydzielonych zasobów wyznaczany jest przebieg w czasie stanu realizacji poszczególnych operacji w kompleksie, a wyniki symulacji są wizualizowane w postaci diagramów Gantta oraz przechowywane w odpowiednich plikach i mogą być wykorzystane w zadaniach identyfikacji. (Przyjęty opis kompleksu przedstawiono w p.3.). Kolejne opcje związane są z typowymi zadaniami identyfikacji kompleksów operacji, zależnymi od możliwości pomiarowych. Pakiet w obecnej postaci pozwala na rozwiązanie tych zadań dla kompleksu o strukturze równoległej. Szczegółowe założenia dotyczące pomiarów oraz sformułowania odpowiednich zadań identyfikacji zawierają punkty 4 -6.

Pakiet został napisany w języku TURBO PASCAL 5.5. Rozbudowany system okien oraz informacji pomocniczych prowadzi użytownika po wszystkich zadaniach. Opis pojedynczych operacji zadawany jest tekstowo, co pozwala na modelowanie i identyfikację operacji o dowolnych opisach. W problemach prowadzących do nieliniowych zadań optymalizacyjnych wykorzystywane są numeryczne metody optymalizacji.

3. Opis kompleksu operacji

Przez kompleks operacji rozumiemy system złożony, którego elementami są operacje. Struktura kompleksu opiera się na zależnościach i uwarunkowaniach czasowych związanych z kolejnością wykonywania operacji. Czas wykonywania kolejnych operacji w systemie zależy od wielkości zadania oraz zasobów przydzielonych do jego wykonania. W ogólnym przypadku dla m-tej operacji można zaproponować opis postaci:

$$\dot{x}_m = f_m(x_m, \bar{u}_m), \ x_m^o, \ x_m^*, \ m = 1,2,\dots,M, \tag{1}$$

gdzie: $x_m(t)$ - wektor stanu m-tej operacji, x_m^o - stan początkowy m-tej operacji, x_m^* - stan końcowy m-tej operacji, $\bar{u}_m$ - zasób przydzielony do wykonania zadania, f_m - dana funkcja, M - liczba operacji w kompleksie. Operacje uważa się za zakończoną, jeśli składowe wektora stanu przyjmą wartości x_m^*, tj.

$$x_m(T_m) = x_m^*, \ m = 1,2,\dots,M, \tag{2}$$

gdzie: T_m - czas realizacji m-tej operacji. Dla zadanych warunków początkowych x_m^o, określonych zasobów $\bar{u}_m$ oraz danej funkcji f_m z równania (1) możemy wyznaczyć stan operacji w chwili t, tj.:

$$x_m(t) = \mathcal{F}_m(\bar{u}_m, x_m^o, t), \quad m = 1,2,\dots,M,$$

gdzie $\mathcal{F}_m$ - oznacza rozwiązanie zadania (1). Korzystając z (2) otrzymujemy:

$$x_m(T_m) = x_m^* = \mathcal{F}_m(\bar{u}_m, x_m^o, T_m), \quad m = 1,2,\dots,M, \tag{3}$$

W wyniku rozwiązania równania (3) względem T_m uzyskamy zależność na czas realizacji m-tej operacji czyli:

$$T_m = \bar{F}_m(\bar{u}_m, \bar{\bar{u}}_m), \tag{4}$$

gdzie: $\bar{\bar{u}}_m$ - wielkość zadania zależna od x_m^o i x_m^*, F_m - znana funkcja. Równanie (4) jest charakterystyką statyczną m-tej operacji i określa ono czas wykonania operacji jako funkcję zasobu i zadania przydzielonego m-tej operacji. W szczególnym przypadku tylko jedna z tych wielkości może być zmienna. W dalszych rozważaniach do opisu operacji wykorzystamy zależność czasu wykonania operacji jako funkcję wielkości zadania i/lub zasobu, tj.:

$$T_m = F_m(u_m) \tag{5}$$

gdzie: u_m - s_m-wymiarowy wektor wielkości wejściowych w m-tej operacji, $u_m \in \mathcal{U}_m \subseteq \mathcal{R}^{+s_m}$, F_m - dana funkcja, $F_m : \mathcal{U}_m \longrightarrow \mathcal{R}^+$. Składowe wektora u_m mogą oznaczać ilość zasobu i/lub rozmiary zadań dla m-tej operacji. W pierwszym przypadku F_m jest nierosnącą funkcją ze względu na składową u_m, $F_m(\bar{0}) = \infty$. W drugim przypadku F_m jest niemalejącą funkcją ze względu na składową u_m, $F_m(\bar{0}) = 0$. Struktura systemu opisana jest za pomocą znanego grafu $G \subset \{1,2,\dots,M\} \times \{1,2,\dots,M\}$. Element $(k,j) \in G$ oznacza, że element k-ta operacja poprzedza j-tą. Czas realizacji całego kompleksu zależy od czasu wykonywania poszczególnych operacji oraz struktury kompleksu i dany jest zależnością:

$$T = H(T_1,\dots,T_M), \tag{6}$$

gdzie: H - dana funkcja zależna od struktury kompleksu. Dla struktury równoległej funkcja H ma postać:

$$T = \max_{1 \le m \le M} \left\{ T_m \right\}. \tag{7}$$

4. Wyznaczenie parametrów opisów operacji - przypadek deterministyczny

Obecnie rozważymy przypadek, w którym opis operacji postaci (5) znany jest z dokładnością do parametrów, tj.:

$$T_m = F_m(u_m, a_m) \tag{8}$$

gdzie: a_m - r_m-wymiarowy wektor parametrów, $a_m \in \mathcal{A}_m \subseteq \mathcal{R}^{r_m}$, F_m - znana funkcja, $F_m : \mathcal{U}_m \times \mathcal{A}_m \longrightarrow \mathcal{R}^+$.

Zadanie identyfikacji sprowadza się do wyznaczenia nieznanych parametrów a_m, $m = 1,2,\dots,M$ w opisie (8) na podstawie pomiarów. Różne możliwości pomiarowe prowadzą do następujących zadań identyfikacji:

A. Obserwacja czasu realizacji kompleksu operacji przy zadanym rozdziale zadań (zasobów)

Zakładamy, że istnieje możliwość wielokrotnej realizacji kompleksu, dla różnych, znanych rozdziałów zadań i/lub przydzielonych zasobów dla każdej operacji, ale do pomiaru dostępny jest tylko czas realizacji całego kompleksu, tj. w wyniku eksperymentu otrzymujemy następujące serie pomiarowe:

$$\left[u_m(1) \quad u_m(2) \quad \dots \quad u_m(N)\right] \triangleq U_{Nm}, \quad m = 1,2,\dots,M, \tag{9}$$

$$\left[T(1) \quad T(2) \quad \dots \quad T(N)\right] \triangleq T_N, \tag{10}$$

gdzie: $u_m(n)$ - wielkość zadania (zasobu) przydzielona do realizacji dla m-tej operacji w n-tej realizacji kompleksu, $T(n)$ - czas n-tej realizacji kompleksu operacji, $n = 1,2,\dots,N$, N - liczba realizacji kompleksu.

Po podstawieniu (8) do (6) otrzymujemy:

$$T = H\left[F_1(u_1,a_1),\dots,F_M(u_M,a_M)\right] \triangleq F(u_1,\dots,u_M,a), \tag{11}$$

gdzie: a - r-wymiarowy wektor parametrów kompleksu, $a \triangleq [a_1^T \ a_2^T \ \dots \ a_M^T]^T$,

$r = \sum_{m=1}^{M} r_m$, $a \in \mathcal{A} = \mathcal{A}_1 \times \mathcal{A}_2 \times \dots \times \mathcal{A}_M$.

Wyznaczenie algorytmu identyfikacji sprowadza się do rozwiązania układu równań:

$$T(n) = F\left(u_1(n),\dots,u_M(n),a\right), \quad n = 1,2,\dots,N. \tag{12}$$

Dla kompleksu operacji równoległych układ równań (12) ma postać:

$$T(n) = \max_{1 \le m \le M} \left\{F_m(u_m(n),a_m)\right\}, \quad n = 1,2,\dots,N. \tag{13}$$

B. Obserwacja czasu realizacji kompleksu operacji sterowanego optymalnie

Obecne rozważania ograniczymy do przypadku, gdy do wykonania kolejnych operacji potrzebny jest tego samego rodzaju jednowymiarowy zasób ($s_m = 1$), którego ilość jest ograniczona lub w kolejnych operacjach jest wykonywana część całego, jednowymiarowego zadania realizowanego w kompleksie. Oznaczmy przez u zasób przeznaczony do wykonywania określonego zadania w kompleksie lub wielkość zadania przewidziana do realizacji w kompleksie. Nie są znane zasoby (zadania) przydzielone do poszczególnych operacji, natomiast wiemy, że czasy kolejnych realizacji kompleksu są optymalne. Tak więc w wyniku eksperymentu otrzymujemy:

$$\left[u(1) \quad u(2) \quad \dots \quad u(N)\right] \triangleq U_N, \tag{14}$$

$$\left[T^*(1) \quad T^*(2) \quad \dots \quad T^*(N)\right] \triangleq T_N^*, \tag{15}$$

gdzie: $u(n)$ - całkowity zasób (zadanie) w n-tej realizacji, $T^*(n)$ - optymalny czas n-tej realizacji, $n = 1,2,\dots,N$, N - liczba realizacji kompleksu. Ponieważ obserwowany czas realizacji kompleksu operacji jest optymalny, możemy przyjąć, że dokonano takiego rozdziału $u_1^*, u_2^*, \ldots, u_M^*$, dla którego czas realizacji kompleksu jest minimalny. W szczególności $u_1^*, u_2^*, \ldots, u_M^*$ są wynikiem rozwiązania zadania:

$$u_1^* = G_1(u,a), \ldots, u_M^* = G_M(u,a) \longrightarrow \min_{(u_1,u_2,\ldots,u_M)\in \mathcal{D}_u} F(u_1,\ldots,u_M,a) \tag{16}$$

przy ograniczeniach:

$$\mathcal{D}_u = \left\{(u_1,\ldots,u_M) \in \mathcal{U}_1 \times \ldots \times \mathcal{U}_M : \sum_{m=1}^{M} u_m \le u\right\} \tag{17}$$

dla rozdziału zasobów lub:

$$\mathcal{D}_u = \left\{(u_1,\ldots,u_M) \in \mathcal{U}_1 \times \ldots \times \mathcal{U}_M : \sum_{m=1}^{M} u_m = u\right\} \tag{18}$$

dla rozdziału zadań, a optymalny czas realizacji kompleksu T^*

$$T^* = F\left[G_1(u,a),\ldots,G_M(u,a)\right] \stackrel{\Delta}{=} F_G(u,a), \tag{19}$$

Wyznaczenie algorytmu identyfikacji sprowadza się do rozwiązania układu:

$$T^*(n) = F_G\big(u(n),a\big), \quad n = 1,2,\ldots,N, \tag{20}$$

Dla kompleksu o strukturze równoległej układ ten ma postać:

$$T^*(n) = \min_{u_1,\ldots,u_M\in\mathcal{D}_u(n)} \max_{1\le m\le M} \left\{F_m(u_m,a_m)\right\}, \quad n = 1,2,\ldots,N, \tag{21a}$$

gdzie $\mathcal{D}_u(n)$ dane jest zależnościami (17) lub (18), przy czym $u = u(n)$.
Przy ograniczonych możliwościach pomiarowych dodatkowo może pojawić się tzw. problem separowalności. Problem ten może wystąpić wówczas, gdy zależność (19) sprowadza się do postaci:

$$F_G(u,a) = \bar{F}\big(u,\varphi(a)\big), \tag{21b}$$

gdzie: φ - znana funkcja, $\varphi: \mathcal{A} \longrightarrow \bar{\mathcal{B}} \subseteq \mathcal{R}^{\bar{r}}$. W tym przypadku na podstawie pomiarów (14) i (15) można wyznaczyć $\bar{r}$-wymiarowy wektor b, który jest funkcją parametrów a, tj.:

$$b = \varphi(a). \tag{22}$$

Jeżeli funkcja φ nie jest wzajemnie jednoznaczna, to na podstawie pomiarów (14) i (15) nie można jednoznacznie wyznaczyć parametrów poszczególnych operacji i taki system jest nieseparowalny. Ma to miejsce, gdy $\bar{r} < r$.

5. Estymacja parametrów operacji na podstawie zakłóconych obserwacji czasu realizacji kompleksu

Obecnie rozważymy analogiczne przypadki jak w p.4, z tą różnicą, że czas wykonania kompleksu operacji obserwowany jest z zakłóceniami.

A. Obserwacja czasu realizacji kompleksu operacji przy zadanym rozdziale zadań (zasobów)

Dla różnych, znanych rozdziałów zadań i/lub przydzielonych zasobów dla każdej operacji do pomiaru dostępny jest czas realizacji całego kompleksu. Czas ten mierzony jest z zakłóceniami z(n). W wyniku eksperymentu dla zadanej serii wielkości wejściowych (9) otrzymujemy:

$$\left[\tau(1)\ \tau(2)\ \dots\ \tau(N)\right] \triangleq \tau_N, \tag{23}$$

gdzie: $\tau(n)$ - czas n-tej realizacji kompleksu łącznie z zakłóceniami $z(n)$. O zakłóceniach zakładamy, że dla każdego n - $z(n)$ są niezależnymi realizacjami zmiennej losowej $\underline{z}$ o znanym rozkładzie $f_z(z)$, a ich sposób nakładania się na mierzony czas wykonania kompleksu operacji w n-tej realizacji - $T(n)$ dany jest zależnością:

$$\tau(n) = h\left[T(n), z(n)\right], \tag{24}$$

gdzie: h - znana funkcja, wzajemnie jednoznaczna względem $z(n)$, tj. istnieje funkcja odwrotna

$$z(n) = h^{-1}\left[T(n), \tau(n)\right]. \tag{25}$$

W przypadku gdy zakłócenia są addytywne, tzn. $\tau(n) = T(n) + z(n)$ oraz $E(\underline{z}) = 0$ i $Var(\underline{z}) < \infty$, można stosować metodę najmniejszych kwadratów. wyznaczenia $\bar{a}_N$ - estymatora wektora parametrów, a prowadzi to do następującego zadania optymalizacyjnego:

$$\bar{a}_N \longrightarrow \min_{a \in \mathcal{A}} \sum_{n=1}^{N} \left[\tau(n) - T(n)\right]^2. \tag{26}$$

Przy dowolnych rozkładach $f_z(z)$ oraz funkcji h metoda maksymalnej wiarogodności prowadzi do następującego zadania:

$$\bar{a}_N \longrightarrow \max_{a \in \mathcal{A}} \prod_{n=1}^{N} f_z\left[h^{-1}\left(T(n), \tau(n)\right)\right] |J|, \tag{27}$$

gdzie: J - Jakobian przekształcenia (25). Gdy dodatkowo założymy, że parametry kompleksu operacji - a są realizacją zmiennej losowej $\underline{a}$ o łącznym rozkładzie $f_a(a)$, wówczas skorzystamy z Bayesowskich metod estymacji. Estymator $\bar{a}_N$ wyliczamy minimalizując względem $\bar{a}$ ryzyko warunkowe określone:

$$r(\bar{a}; \tau_N) = \underset{\underline{a}}{E}\left[L(\underline{a}, \bar{a}) | \tau_N\right] = \int_{\mathcal{A}} L(a, \bar{a})\ f(a|\tau_N)\ da, \tag{28}$$

gdzie: $L(a, \bar{a})$ - funkcja strat, $f(a|\tau_N)$ - rozkład prawdopodobieństwa a posteriori, który dla przyjętych oznaczeń dany jest zależnością:

$$f(a|\tau_N) = \frac{f_a(a) \prod_{n=1}^{N} f_z\left[h^{-1}\left(T(n), \tau(n)\right)\right] |J|}{\int_{\mathcal{A}} f_a(a) \prod_{n=1}^{N} f_z\left[h^{-1}\left(T(n), \tau(n)\right)\right] |J| da}. \tag{29}$$

W zadaniach (26) - (28) czas realizacji kompleksu operacji T(n) wyznaczamy według zależności (11), a dla struktury równoległej ma ona postać (13).

B. Obserwacja czasu realizacji kompleksu operacji sterowanego optymalnie

Analogicznie jak w p. 4 obecne rozważania ograniczymy do przypadku, gdy do wykonania kolejnych operacji potrzebny jest tego samego rodzaju jednowymiarowy zasób lub w kolejnych operacjach jest wykonywana część całego, jednowymiarowego zadania ($s_m = 1$). W kolejnych realizacjach obserwujemy z zakłóceniami optymalne czasy wykonania kompleksu operacji przy zadanej wielkości zadania (zasobu) przydzielonego do realizacji. W wyniku eksperymentu dla zadanej serii wejść (14) otrzymujemy:

$$\left[\tau^*(1)\ \tau^*(2)\ \ldots\ \tau^*(N)\right] \overset{\Delta}{=} \tau_N^*, \tag{30}$$

gdzie: $\tau^*(n)$ - optymalny czas n-tej realizacji kompleksu łącznie z zakłóceniami $z(n)$. Założenia o zakłóceniach są analogiczne jak w przypadku A. p. 5. Wyznaczenie estymatora wektora parametrów a prowadzi do zadań (27), (27) i (28) z tą różnicą, że w miejsce $\tau(n)$ wstawiamy $\tau^*(n)$, natomiast $T(n)$ zastępujemy $T^*(n)$ dane zależnością (20) lub odpowiednio (21) dla struktury równoległej. W omawianym przypadku bardzo często pojawia się tzw. problem separowalności, tj. na podstawie dostępnych pomiarów możemy wyznaczyć estymator wektora parametrów b (22). Wówczas jedynie metody Bayesa prowadzą do jednoznacznego rozwiązania. Przykładowo dla kompleksu operacji o strukturze równoległej z opisami postaci:

$$T_m = a_m u_m^{\alpha},\quad \alpha < 0,\qquad m = 1,2,\ldots,M \tag{31}$$

optymalny rozdział zasobów jest następujący:

$$u_m^* = u\left[a_m^{\frac{1}{\alpha}} \sum_{m=1}^{M} \left(\frac{1}{a_m}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right]^{-1}, \tag{32}$$

a optymalny czas realizacji kompleksu wyraża się wzorem:

$$T^* = u\left[\sum_{m=1}^{M} \left(\frac{1}{a_m}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right]^{-\alpha}. \tag{33}$$

Dla tego przykładu na podstawie pomiarów (14), (30) przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów możemy wyznaczyć jedynie:

$$b_N = \sum_{m=1}^{M} \left(\frac{1}{a_{mN}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \sum_{m=1}^{N} u(n)\left[\tau^*(n)\right]^{\frac{1}{\alpha}} \left[\sum_{m=1}^{N} u^2(n)\right]^{-1}, \tag{34}$$

czyli taka sytuacja pomiarowa nie daje jednoznacznego rozwiązania zadania estymacji proponowaną metodą bez względu na dobór serii identyfikującej - system jest nieseparowalny. Rozwiązanie jednoznaczne można uzyskać korzystając z dodatkowej informacji a'priorycznej w postaci rozkładu prawdopodobieństwa parametrów kompleksu operacji. Przykładowo, dla rozpatrywanego systemu estymator $\bar{a}_N$ wyznaczony metodą średniej a posteriori ma postać:

$$\bar{a}_N = \frac{\displaystyle\int_{\mathcal{A}} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_M \end{bmatrix} \prod_{m=1}^{M} f_m(a_m) \prod_{n=1}^{N} f_z\left[\tau^*(n) - u(n)\left(\sum_{m=1}^{M}\left(\frac{1}{a_m}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right)^{-\alpha}\right] d\begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_M \end{bmatrix}}{\displaystyle\int_{\mathcal{A}} \prod_{m=1}^{M} f_m(a_m) \prod_{n=1}^{N} f_z\left[\tau^*(n) - u(n)\left(\sum_{m=1}^{M}\left(\frac{1}{a_m}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right)^{-\alpha}\right] d\begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_M \end{bmatrix}}, \tag{35}$$

gdzie: a_m są realizacjami niezależnych zmiennych losowych $\underline{a}_m$, o rozkładach $f_m(a_m)$, $m=1,2,\ldots,M$.

6. Wybór optymalnych parametrów modeli operacji

Obecnie rozważymy przypadek, w którym opis operacji nie jest znany i przyjmujemy model postaci:

$$\overline{T}_m = \Phi_m(u_m, a_m), \quad m = 1,2,\dots,M, \tag{36}$$

gdzie: $\overline{T}_m$ - czas realizacji m-tej operacji wyznaczony z modelu, a_m - r_m - wymiarowy wektor parametrów modelu, $a_m \in \mathcal{A}_m \subseteq R^{r_m}$, Φ_m - zadana funkcja $\Phi_m: \mathcal{U}_m \times \mathcal{A}_m \longrightarrow R^+$.

Zadanie identyfikacji sprowadza się do wyznaczenia optymalnych parametrów a_m, m = 1,2,...,M w modelu (36) na podstawie pomiarów. Ponieważ kompleks operacji jest systemem złożonym, w zadaniu wyboru optymalnego modelu możliwe są różne sformułowania zadania identyfikacji biorąc pod uwagę ocenę każdej operacji oddzielnie lub kompleksu operacji jako całości. Prowadzi to do zadania identyfikacji lokalnej lub globalnej. W zadaniu identyfikacji lokalnej i globalnej zakładać będziemy, że istnieje możliwość wielokrotnej realizacji kompleksu operacji i dla zadanych wielkości wejściowych - wielkość zasobu (zadania) dostępny jest pomiar czasu realizacji poszczególnych operacji, tj. dla zadanej wartości $u_m(n)$ mierzymy $T_m(n)$, n = 1,2, ...,N, m = 1,2,...,M, gdzie: $u_m(n)$ - wielkość zadania (zasobu) przydzielona m-tej operacji w n-tej realizacji kompleksu, N - liczba realizacji kompleksu. W wyniku eksperymentu otrzymujemy:

$$\left[u_m(1)\ u_m(2)\ \dots\ u_m(N)\right] \triangleq U_{Nm}, \qquad m = 1,2,\dots,M, \tag{37}$$

$$\left[T_m(1)\ T_m(2)\ \dots\ T_m(N)\right] \triangleq T_{Nm}, \qquad m = 1,2,\dots,M. \tag{38}$$

A. Identyfikacja lokalna

Jest to klasyczne zadanie wyboru optymalnych parametrów modelu. Obiektem identyfikacji jest każda z operacji niezależnie od struktury kompleksu, gdzie wejściem jest rozmiar zadania i/lub wielkość zasobu, a wyjściem czs realizacji operacji. W zadaniu identyfikacji lokalnej problem wyboru optymalnego modelu sprowadza się do wyznaczenia takich wartości parametrów a_m w opisach (36), które minimalizują wskaźnik jakości identyfikacji oceniający różnicę między czasem realizacji m-tej operacji - T_m a odpowiednim czasem wyznaczonym z przyjętego modelu - $\overline{T}_m$. Należy wyznaczyć takie a^*_{Nm}, które minimalizuje lokalny wskaźnik jakości identyfikacji:

$$Q_{Nm}(a_m) = \sum_{n=1}^{N} q_m\left[T_m(n), \overline{T}_m(n)\right] = \sum_{n=1}^{N} q_m\left[T_m(n), \Phi_m[u_m(n), a_m]\right], \quad m=1,2,\dots,M, \tag{39}$$

gdzie: q_m - funkcja oceniająca różnicę pomiędzy T_m i $\overline{T}_m$ spełniająca warunki: $q_m(T_m, \overline{T}_m) \geq 0$, $q_m(T_m, \overline{T}_m) = 0 \Leftrightarrow T_m = \overline{T}_m$, np. $q_m(T_m, \overline{T}_m) = (T_m - \overline{T}_m)^2$. Prowadzi to do rozwiązania M następujących problemów optymalizacyjnych:

$$a^*_{Nm} \longrightarrow Q_m(a^*_{Nm}) = \min_{a_m \in \mathcal{A}_m} Q_{Nm}(a_{Nm}), \quad m = 1,2,\dots,M, \tag{40}$$

gdzie: a^*_{Nm} - lokalnie optymalne parametry modeli (36).

B. Identyfikacja globalna

W zadaniu identyfikacji globalnej problem wyboru optymalnego modelu polega na wyznaczeniu takich wartości parametrów a_m $m=1,2,\dots,M$ w opisach (36), dla których ocena różnicy pomiędzy czasem realizacji kompleksu oraz odpowiednim czasem wyznaczonym z modelu jest minimalna. Czas realizacji kompleksu operacji - $\bar{T}$ wynikający z przyjętych modeli wyznaczymy podstawiając (36) do (6), tj.:

$$\bar{T} = H\left[\Phi_1(u_1,a_1),\dots,\Phi_M(u_M,a_M)\right] \stackrel{\Delta}{=} \Phi(u_1,u_2,\dots,u_M,a), \tag{41}$$

Globalny wskaźnik jakości identyfikacji ma postać:

$$Q_N(a) = \sum_{n=1}^{N} q\left[T(n),\bar{T}(n)\right] = \sum_{n=1}^{N} q\left[T(n),\Phi\left(u_1(n),u_2(n),\dots,u_M(n),a\right)\right], \tag{42}$$

gdzie: q - funkcja oceniająca różnicę pomiędzy T i $\bar{T}$ - analogiczna do q_m w (39), T(n) - czas realizacji kompleksu wyznaczony z pomiarów, dla n-tej realizacji kompleksu wg zależności (6). Globalnie optymalne parametry modelu uzyskamy rozwiązując następujące zadanie: wyznaczyć taki wektor parametrów $\bar{a}_N$, dla których globalny wskaźnik jakości identyfikacji (42) przyjmuje wartość minimalną, tj.:

$$\bar{a}_N \longrightarrow Q_N(\bar{a}_N) = \min_{a\in\mathcal{A}} Q_N(a). \tag{43}$$

Zwróćmy uwagę, że ze względu na różne sposoby oceny modeli uzyskamy na ogół różne wartości parametrów lokalnie i globalnie optymalnych.

6. Uwagi końcowe

Omawiany pakiet w obecnej postaci wykorzystywany jest dla celów dydaktycznych. Na bazie pakietu opracowano zestaw ćwiczeń laboratoryjnych ilustrujących zagadnienia identyfikacji systemów złożonych. Zestaw ten wdrożono w laboratorium Instytutu Sterowania i Techniki Systemów Politechniki Wrocławskiej. Obecnie trwają prace nad rozszerzeniem możliwości pakietu o zadania identyfikacji kompleksów operacji dla typowych struktur, m.in. szeregowo - równoległej, równoległo - szeregowej oraz dowolnej struktury.

LITERATURA

[1] Bubnicki Z.: Identification of Control Plants. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, 1980.

[2] Bubnicki Z., Staroświecki M., Lebrun M.: Optimal planning of production under uncertain operating conditions. Proc. of 8th IFAC World Congress, Kyoto, Vol.9, 1981.

[3] Bubnicki Z.: Optymalizacja kompleksów operacji w sterowaniu dyskretnymi systemami produkcyjnymi. Prace VII KKA, t. 3. Referaty plenarne i przeglądowe, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, 1983.

[4] Bubnicki Z: Optimal control of the complex of operations with random parameters. Podstawy Sterowania, Vol.1, No 1, 1984.

[5] Bubnicki Z.: Optimization problems in large-scale systems modelling and identification. Large Scale Syst.: Theory and Appl., Pergamon Press, Oxford 1984.

[6] Bubnicki Z.: Optimal models of complex operation systems. Congres International de Cybernetique et de Systemique, College de Systemique de AFCET, Paris 1984.

[7] Bubnicki Z.: Global modelling and identification of network systems. Proc. of 3rd Int. Conference on Syst. Engineering, Wright State Univ., Dayton, USA, 1984.

[8] Bubnicki Z.: Global modelling and identification of network systems, Proc. of 7th IFAC/IFORS Symp. on Identification, York, UK, Vol.1, 1985.

[9] Bubnicki Z.: Time optimal control of large scale operation systems with the use of globally optimal models. Systems Science, Vol.13, No. 3-4, 1987.

[10] Bubnicki Z.: Two level optimization and control of the complex of operations. Proc. of 7th World Congress of IFAC, Pergamon Press, Oxford, 1988.

[11] Świątek J. Plata A., Podstawy teoretyczne i algorytmy komputerowe identyfikacji złożonych systemów statycznych. Etap IV, Raport serii SPR/I-17/10/89, PWr, Wrocław 1989.

[12] Świątek J.: Wybrane problemy identyfikacji kompleksów operacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Z.94, Gliwice, 1988.

Recenzent: Prof.dr h.inż. Jerzy Klamka

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992r.

Abstract: The package for modelling and identification of complex of operations system has been presented. The formulation of typical identification tasks which are possible to be solved by the presented package are given. The description of complex of operation system in general case is proposed. Using the described package the simulation of complex of operation systems with any structure is possible. The operations in this case can be described by the differential equation or by static characteristic. The identification tasks are restricted to the parallel structure and any static characteristic of operation. Particularly the problem of parameter estimation can be solved by this package in the deterministic and probabilistic cases. The following measurement possibilities are considered: A. - for the known resourses allocation the execution time for complex is measured, B. - only the whole resources for the system are known, but it is assumed that resources are optimally alocated and the respective execution time is measured. The choice of the globally and locally optimal parameters of operations can be solved by this package also.