

УДК 519.68

С.В. Ленков¹, Ю.А. Царьов², П.Г. Охрименко³¹Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ²Національна Академія прикордонної служби України, Київ³Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ ОБМЕЖЕННЯХ НА ЧАСОВІ ТА ВАРТІСНІ ВИТРАТИ

Розроблено метод оптимізації функціонування складних систем, за допомогою якого забезпечується оптимальне планування і адаптивне управління роботою систем спеціального призначення. Запропонована модель багатокрокового адаптивного управління складними системами. У якості критерію ефективності функціонування системи вибрано ступінь досягнення мети роботи складної системи при обмеженнях на часові і вартісні витрати. Багатоетапна оптимізація функціонування складної системи здійснюється за допомогою метода динамічного програмування.

Ключеві слова: метод оптимізації, складна система, модель багатокрокового адаптивного управління, часові і вартісні витрати.

Вступ

Сучасна ефективна побудова, впровадження і розвиток складних систем (СС) спеціального призначення можливі лише із застосуванням спеціальних методів оптимізації та відповідних моделей відтворення характеристик функціонування різних систем. При цьому особлива увага на даний час приділяється розробці сучасних методів організації функціонування СС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що існуючі методи організації функціонування СС спираються на такі риси людини-проектанта як інтуїція, досвід, навички [1 – 3]. Таке традиційне проектування не здатне забезпечити оптимального функціонування СС, при якому забезпечується максимальне досягнення мети, що покладається на систему. Вивчення умов функціонування СС, її вдосконалення, розробка та експлуатація неможливе без використання спеціальних методів оптимізації функціонування СС.

Метою статті є розробка методу оптимізації функціонування СС спеціального призначення при обмеженнях на часові та вартісні витрати.

Виклад основного матеріалу дослідження

В основу побудови СС може бути покладена наступна багатоетапна модель її функціонування.

У першу чергу формулюється ціль роботи СС, яка формалізується у вигляді певного критерію ефективності (КЕ). Як правило, це ступінь досягнення поставленої мети функціонування СС. Для досягнення кінцевої цілі на основі використання статистичних даних попередніх періодів функціонування СС підготовляється оптимальний план поетапного вирішення типових функціональних завдань (ФЗ) на черговий період. У процесі функціонування СС,

поки ціль не досягнута, повторюється наступна послідовність дій:

відповідно до оптимального плану здійснюється послідовне відпрацювання такого набору типових ФЗ, при якому забезпечується досягнення необхідного (максимального) рівня КЕ;

на основі порівняння поточного КЕ по виконанню ФЗ із необхідним приймається рішення про подальший хід адаптивного управління процесом планування та управління СС. Якщо поточний КЕ не нижче необхідного – стратегія управління не змінюється. В інших випадках, в залежності від досягнутого рівня КЕ, виникає необхідність в адаптивній зміні (повторної оптимізації) плану відпрацювання різних типів ФЗ. При цьому процес функціонування СС являє собою керований динамічний процес, що характеризується двома видами параметрів – параметрами керування D (послідовністю відпрацювання типових ФЗ) і параметрами стану U (рівнем КЕ) [4]. У якості обмежень виступає сумарний ресурс часових (T) та вартісних витрат (C), що виділяється на вирішення ФЗ.

Тоді цільова функція рішення задачі адаптивного управління $W(D)$ може бути подана у виді

$$W(D) = \max, \quad (1)$$

$$\text{при} \quad T_n \leq T, \quad C_n \leq C, \quad (2)$$

де T_N – використований час вирішення ФЗ;

C_N – поточні витрати, необхідні для вирішення ФЗ за N тимчасових інтервалів (етапів, кроків), на кожному з яких (n -му) етапі відпрацьовувався свій набір ФЗ (D_n).

Застосування на кожному етапі роботи СС визначеного набору ФЗ є управляючим впливом на об'єкт керування, що змінює його параметри стану, тобто показники якості діяльності $\{U_i\}$. Керування в такій системі носить дискретний характер, зада-

ється в момент часу $\delta = \frac{(n-1)T}{N}$, $n = \overline{1, N}$ і залишається незмінним у межах кожного етапу (кроку), якщо функціонування СС проходить згідно з оптимальним планом. Максимальна кількість інтервалів керування протягом періоду T залежить від мінімального інтервалу формування управляючих впливів ($\min \Delta t D_{j \min}$) і визначається за формулою

$$N = \frac{T}{\min \Delta t D_{j \min}}. \quad (3)$$

При такому підході опис усього керованого багатетапового процесу функціонування СС може бути поданий у виді:

$$\begin{aligned} U(n+1) &= Q(U(n), D(n), n), \\ n &= 0, 1, \dots, N-1; \quad u(0) = u^0, \end{aligned} \quad (4)$$

де $U(n) = (U_1(n), \dots, U_i(n), \dots, U_r(n))$ – значення показників ефективності на момент часу n (параметри стану); r – число показників, необхідних для оцінки ефективності функціонування СС; $D(n) = (D_1(n), \dots, D_j(n))$ – послідовність управляючих впливів (ФЗ) на n -му інтервалі; $Q(u, D, n)$ – вектор-функція, тобто $Q = (Q_1, \dots, Q_n)$; $u(0)$ – значення показників ефективності на початку періоду (етапу).

З урахуванням дискретного опису процесу керування цільова функція (1) може бути подана сумою

$$\begin{aligned} W_N(D) &= \frac{1}{T} \int_0^{T/N} F_1[u_0(t), D_1(t)] dt + \\ &+ \frac{1}{T} \int_{T/N}^{2T/N} F_2[u_1(t), D_2(t)] dt + \\ &+ \frac{1}{T} \int_{\frac{(N-1)T}{N}}^T F_N[u_{N-1}(t), D_N(t)] dt = \max \end{aligned}$$

$$\text{або} \quad W_N(D) = \sum_{n=1}^N G_n[D_n] = \quad (5)$$

де $G_n[D_n]$ – значення цільової функції на n -ом етапі; u_{ik} – значення i -го показника ефективності на момент часу k ; $k = 1, \dots, K$; $K = n/h$; h – інтервал дискретизації n -го етапу процесу функціонування СС; u_{iTP} – нормативне значення i -го показника ефективності;

$$F_k = \begin{cases} 1, & \text{если } u_i \in U, \quad u_{ik} \geq u_{iTP}; \\ 0, & \text{если } u_i \notin U, \quad u_{ik} < u_{iTP}. \end{cases}$$

Задача максимізації функціоналу (5) при обмеженнях (2) є загальною задачею оптимального керування об'єктом з дискретним часом.

Вибір методу рішення задачі оптимізації зв'язаний, насамперед, з особливостями процесу функціонування СС спеціального призначення. До таких особливостей, як показує аналіз, відносяться такі:

процес представляє собою функціонування дискретної динамічної керованої системи;

змінні G_n і D_n у функціоналі (5) є багатомірними; самі рівняння (4) є векторними; вид функції, що оптимізується – невідомий.

Таким чином, задачу оптимального планування відпрацювання типових ФЗ можна представити як задачу пошуку оптимального режиму управління в динамічних дискретних керованих системах.

Специфіка цієї задачі в порівнянні з загальною задачею нелінійного програмування полягає в тому, що існує дві групи невідомих змінних: $U(n)$, $n = 0, 1, \dots, N$, і $D(n)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$.

Якщо ввести нові змінні $h = (U(0), \dots, U(N), D(0), \dots, D(N-1))$, то в цих змінних сформульована задача перетворюється в загальну задачу нелінійного програмування. У тому випадку, коли G_n (D_n) – опуклі (або увігнуті) функції, її рішення можна знайти, наприклад, методом невизначених множників Лагранжа. Якщо ж функції G_n (D_n) не є такими, то відомі методи знаходження рішення задач нелінійного програмування не дозволяють визначити глобальний максимум функції (5). Тоді рішення задачі (5) можна знайти за допомогою методу динамічного програмування, основною перевагою якого є те, що він не залежить від виду функції G_n (D_n) і добре пристосований до вирішення багатетапних або багатокрокових задач.

Кінцевою метою функціонування (W_N) є досягнення СС максимально можливого рівня КЕ.

Загалом задача оптимального планування та управління може бути подана наступним чином.

Знайти

$$\max W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n) \quad (6)$$

$$\text{при} \quad T_N \leq T, \quad (7)$$

де T_N – використаний час функціонування СС на протязі N етапів; m_n – кількість ФЗ, що вирішується на n -му етапі.

Процес функціонування СС в часі розбивається на N етапів і характеризується переходом СС з одного стану в інший.

З урахуванням дискретного опису процесу керування цільова функція ефективності СС може бути подана сумою

$$W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n(m_n), \quad (8)$$

де $P_n(m_n)$ – ймовірність вирішення СС ФЗ n -го типу на n -му етапі (визначається експериментально); N – загальна кількість етапів.

Таким чином, необхідно знайти таку кількість для відпрацювання типових ФЗ на кожному етапі щоб максимізувати цільову функцію (8) при наступних обмеженнях:

$$a) m_n = 0, 1, 2, \dots, \quad b) \sum_{n=1}^N t_n m_n \leq T, \quad (9)$$

де t_n – час виконання n -го типу ФЗ на n -му етапі.

Для знаходження оптимальних значень $\{m_n\}$ скористуємося методом динамічного програмування.

Позначимо

$$\max_{m_1, \dots, m_r} \sum_{n=1}^r G_n(m_n) \quad (10)$$

$$\text{при умові} \quad \sum_{n=1}^r t_n m_n \leq \xi \quad (11)$$

через $\Lambda_r(\xi)$.

Після нескладних перетворень переходимо до наступного рекурентного співвідношення динамічного програмування

$$\Lambda_r(\xi) = \max_{m_r} \left\{ G_r(m_r) + \Lambda_{r-1}(\xi - t_r m_r) \right\}, \quad (12)$$

$$(r = 1, \dots, N)$$

$$\text{при умові} \quad 0 \leq m_r \leq \frac{\xi}{t_r}. \quad (13)$$

Характерним для динамічного програмування є визначений методичний захід, а саме: процес планування та управління СС поділяється на N етапів і здійснюється послідовна оптимізація кожного з них. На кожному r -му етапі з урахуванням усіх можливих припущень результатів попереднього етапу обчислюється основне рекурентне співвідношення (12) та визначається умовний оптимальний параметр керування m_r . Приймаючи $\xi = T$ та припустивши у (12) $r=N$, приходимо до співвідношення

$$\Lambda_N(\xi = T) = \max_{m_N} \left\{ G_N(m_N) + \Lambda_{N-1}(T - t_N m_N) \right\} \quad (14)$$

$$\text{при умові} \quad 0 \leq m_N \leq T / t_N.$$

Знайшовши з (14) оптимальне значення $m_{N\text{opt}}$ та

припустивши $\xi_1 = T - t_N m_{N\text{opt}}(T)$, послідовно, починаючи з $(N-1)$ -го етапу, знаходяться оптимальні значення решти змінних: $m_{N-1}, m_{N-2}, \dots, m_1$. Необхідно відзначити, що метод динамічного програмування являє собою направлений послідовний перебір варіантів, що обов'язково приводить до глобального максимуму й оптимального вирішення задачі (6).

Висновки

Таким чином, за допомогою розробленого методу на кожному етапі (кроку) процесу функціонування СС забезпечується відпрацювання оптимального набору ФЗ з урахуванням поточного КЕ, обмежень по відведеному часу та вартісних витрат. При цьому забезпечується максимальне значення імовірності того, що в будь-який момент періоду функціонування СС буде не нижче необхідного, тобто такого, який забезпечить виконання поставлених задач у різних умовах обстановки.

Список літератури

1. Растрюгин Л.А. Обучающие системы / Л.А. Растрюгин // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1993. – № 2. – С. 153-163.
2. Palczewski B., Zasady modularyzacji w projektowaniu technologicznych systemow pakowania // Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 2006, № 230, MECHANIKA, z.67. – P. 51-60.
3. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем. – Львів: Світ, 2001. – 238 с.
4. Гунченко Ю.О. Модель функціонування адаптивної тренажерної системи для підготовки фахівців спеціалізованих підрозділів / Ю.О.Гунченко, С.В. Ленков // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2011. – № 3. – С. 260-265.

Надійшла до редколегії 8.08.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ЧАСОВЫЕ И СТОИМОСТНЫЕ РАСХОДЫ

С.В. Ленков, Ю.А. Царев, П.Г. Охрименко

Разработан метод оптимизации функционирования сложных систем, с помощью которого обеспечивается оптимальное планирование и адаптивное управление работой систем специального назначения. Предложенная модель многошагового адаптивного управления сложными системами. В качестве критерия эффективности функционирования системы выбрана степень достижения цели работы сложной системы при ограничениях на часовые и стоимостные расходы. Многоэтапная оптимизация функционирования сложной системы осуществляется с помощью метода динамического программирования.

Ключевые слова: метод оптимизации, сложная система, модель многошагового адаптивного управления, часовые и стоимостные расходы.

METHOD OF OPTIMIZATION OF FUNCTIONING OF DIFFICULT SYSTEMS OF THE SPECIAL SETTING AT LIMITS ON SENTINEL AND COST CHARGES

S.V. Lenkov, Y.A. Carev, P.G. Okhrimenko

Developed method of optimization of functioning of the difficult systems, which the optimum planning and adaptive control work of the systems of the special setting is provided by. Offered multistep adaptive case the difficult systems frame. As a criterion of efficiency of functioning of the system the degree of gaining end work of the difficult system is chosen at limits on sentinel and cost charges. A multistage optimization of functioning of the difficult system is carried out by the method of the dynamic programming.

Keywords: method of optimization, difficult system, multistep adaptive case frame, sentinel and cost charges.