

А.Семенюк

Чернівецький державний університет

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Впроваджено спеціальні показники значущості елемента системи за надійністю і на їх основі вироблено ефективний алгоритм спрямованого перебору варіантів для розв'язування оптимізаційних задач надійності технічних систем керування.

Основною рисою сучасних методів надійнісного проектування технічних систем керування є прагнення до оптимальності розв'язків у певних економічних, технічних і експлуатаційних умовах. Розглянемо деякі оптимізаційні задачі надійності, які виникають при надійнісному проектуванні складних технічних систем керування. Як шлях забезпечення надійності таких систем, тобто поліпшення показників надійності, може використовуватися резервування, заміна менш надійних елементів більш надійними (і, можливо, більш дорогими), технічне обслуговування, використання засобів діагностики, поліпшення умов експлуатації та ін. Враховуючи, що технічні системи керування є багатофункціональними, і вимоги до їх надійності визначаються для кожної з виконуваних функцій, формальну постановку задачі забезпечення потрібного рівня надійності таких систем можна сформулювати так.

Знайти оптимальний вектор керованих змінних

$$\left(x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}\right)_{opt}, \quad (1)$$

який забезпечує

$$W\left(x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}, y_1, \dots, y_s, \dots, y_l\right) \rightarrow extr, \quad (2)$$

при умовах

$$H_r\left(x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}, y_1, \dots, y_s, \dots, y_l\right) \geq H_{TP_r}, \\ x_{ij} \in G_r, \quad y_s \in G_r, \quad r = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

і обмеженнях

$$x_{ij} \in U, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, h, \quad (4)$$

де n – кількість елементів системи; m – кількість функцій, які виконуються системою; h – кількість шляхів підвищення надійності; x_{ij} – керовані змінні (j - ий шлях підвищення надійності i -го елемента); y_s – некеровані параметри; $W\left(x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}, y_1, \dots, y_s, \dots, y_l\right)$ – цільова функція; $H_r\left(x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}, y_1, \dots, y_s, \dots, y_l\right)$ – показник надійності r -ої функції; H_{TP_r} – значення показника надійності r -ої функції, якого потрібно досягти; G_r – підмножина параметрів технічних засобів, що беруть участь у виконанні r - ої функції; U – область зміни керованих параметрів системи.

Критеріями оптимізації (2) можуть бути економічні критерії (вартість системи, прибуток та ін.) [1] та інші характеристики системи (вага, розмір та ін.).

Показниками надійності можуть бути: середнє напрацювання на відмову для кожної із виконуваних системою функцій

$$T_r\left(x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}, y_1, \dots, y_s, \dots, y_l\right), \quad (5)$$

імовірність безвідмовної роботи за час t

$$P_r\left(t \mid x_{11}, \dots, x_{1h}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nh}, y_1, \dots, y_s, \dots, y_l\right) \quad (6)$$

та інші.

Обмеження (4) формулюються на основі економічних, технічних і експлуатаційних умов функціонування системи і мають бути несуперечними.

Оптимізаційні задачі (1)-(4) належать до класу багатопараметричних цілочисельних або частково цілочисельних і суттєво нелінійних задач. Розв'язування таких задач надзвичайно складне, і це ускладнюється тим, що у такій загальній постановці неможливо отримати аналітичні вирази для цільових функцій (2) і умов (3). Тільки при жорстких обмеженнях на структуру системи, типи законів розподілу часу безвідмовної роботи і часу відновлення елементів системи, показників надійності, що використовуються, шляхів підвищення надійності, що використовуються, та ін., вдається отримати аналітичні вирази для цільових функцій і умов та використати для розв'язку вказаних задач деякі методи лінійного, нелінійного і динамічного програмування та їх модифікацій [1].

Коли нема аналітичних виразів для цільових функцій і умов, а є можливість обчислювати їх оцінки методом імовірнісного моделювання [2], то можна побудувати ефективні алгоритми спрямованого перебору варіантів для розв'язування оптимізаційних задач (1)-(4).

Алгоритм спрямованого перебору варіантів розв'язування оптимізаційних задач надійності (1)-(4) побудуємо як багатокроковий процес оптимізації, на кожному кроку якого оцінюється та аналізується поточний варіант і генерується черговий поліпшений варіант досліджуваної системи. Процес оптимізації завершується при виконанні умов (3).

Оцінка початкового і всіх генерованих варіантів системи у випадку використання показників надійності (5) або (6) може здійснюватися відповідно за допомогою моделюючих програм Модель-1М, Модель-3М [2].

У процедурі генерації чергового варіанта системи визначаються критичні елементи (тобто елементи системи, надійність яких доцільно підвищувати на даному кроці) і шляхи підвищення їх надійності. На основі цієї інформації генерується черговий варіант системи.

Для побудови процедури генерації чергового варіанта системи впровадимо поняття показника значущості елемента системи з надійності і дамо його статистичне визначення

$$Z_H = \frac{k_E}{k_C}, \quad (7)$$

де k_E – кількість відмов елемента, які приводять до відмови системи, k_C – кількість відмов системи.

Інформація для визначення критичних елементів системи на l -му кроці процесу оптимізації нашромаджується в процесі оцінки поточного варіанта системи у вигляді матриці відмов елементів щодо функцій у виконанні яких вони беруть участь

$$\begin{pmatrix} k_{E11} & k_{E21} & \dots & k_{Ei1} & \dots & k_{En1} \\ k_{E12} & k_{E22} & \dots & k_{Ei2} & \dots & k_{En2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{E1r} & k_{E2r} & \dots & k_{Eir} & \dots & k_{Enr} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{E1m} & k_{E2m} & \dots & k_{Eim} & \dots & k_{Enm} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

та вектора відмов функцій

$$\left(k_{F1}, k_{F2}, \dots, k_{Fr}, \dots, k_{Fm} \right)^l, \quad (9)$$

де k_{Eir} – кількість відмов i -го елемента, які приводять до відмови r -ої функції, k_{Fr} – кількість відмов r -ої функції.

На основі (8) і (9) обчислюється матриця показників значимості елементів системи з надійності

$$\begin{pmatrix} Z_{H11} & Z_{H21} & \dots & Z_{Hi1} & \dots & Z_{Hn1} \\ Z_{H12} & Z_{H22} & \dots & Z_{Hi2} & \dots & Z_{Hn2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{H1r} & Z_{H2r} & \dots & Z_{Hir} & \dots & Z_{Hnr} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{H1m} & Z_{H2m} & \dots & Z_{Him} & \dots & Z_{Hnm} \end{pmatrix}^l, \quad (10)$$

де

$$Z_{Hir} = \frac{k_{Eir}}{k_{Fr}}, \quad (11)$$

показник значущості i - го елемента для r - ої функції.

Координати вектора критичних елементів для кожної із виконуваних системою функцій на l -му кроці процесу оптимізації

$$(i_1, i_2, \dots, i_r, \dots, i_m)^l, \quad (12)$$

визначаються як значення індексів максимальних елементів рядків матриці (10)

$$i_r = i, \text{ якщо } (Z_{Hir}) = \max_{1 \leq i \leq n} (Z_{Hir}), \quad (13)$$

$$r = 1, 2, \dots, m.$$

Тепер побудуємо вектор шляхів підвищення надійності критичних елементів

$$(j_1, j_2, \dots, j_r, \dots, j_m)^l, \quad (14)$$

де $j_r - j$ - ий шлях підвищення надійності i_r -го елемента, який є критичним для r -ої функції.

Для побудови вектора (14) використаємо прямий перебір варіантів шляхів підвищення надійності критичних елементів. При цьому на l -му кроці процесу оптимізації потрібно оцінити h варіантів системи (надійність критичних елементів підвищується h можливими шляхами). У результаті отримаємо матрицю показників надійності оцінюваних варіантів системи

$$\begin{pmatrix} H_{i_1 1} & H_{i_1 2} & \dots & H_{i_1 j} & \dots & H_{i_1 h} \\ H_{i_2 1} & H_{i_2 2} & \dots & H_{i_2 j} & \dots & H_{i_2 h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{i_r 1} & H_{i_r 2} & \dots & H_{i_r j} & \dots & H_{i_r h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{i_m 1} & H_{i_m 2} & \dots & H_{i_m j} & \dots & H_{i_m h} \end{pmatrix}^l, \quad (15)$$

де $(H_{i_r j})^l$ – значення показника надійності r -ої функції на l -му кроці процесу оптимізації при умові, що надійність i_r -го елемента, критичного для r -ої функції, підвищувалася j -им шляхом.

Для аналізу варіантів системи і побудови вектора шляхів підвищення надійності критичних елементів (14) на основі (15) і (2) обчислюється матриця

$$\begin{pmatrix} P_{i_1 1} & P_{i_1 2} & \dots & P_{i_1 j} & \dots & P_{i_1 h} \\ P_{i_2 1} & P_{i_2 2} & \dots & P_{i_2 j} & \dots & P_{i_2 h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i_r 1} & P_{i_r 2} & \dots & P_{i_r j} & \dots & P_{i_r h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i_m 1} & P_{i_m 2} & \dots & P_{i_m j} & \dots & P_{i_m h} \end{pmatrix}^l, \quad (16)$$

за правилом

$$(p_{i,j})^l = \begin{cases} \frac{(H_{i,j})^l - (H_r)^{(l-1)}}{(W_{i,j})^l - (W)^{(l-1)}}, & \text{якщо } (H_{i,j})^l - (H_r)^{(l-1)} > 0 \\ & \text{і підвищення надійності } i_r \text{ - го елемента} \\ & \text{ } j \text{ - им шляхом не порушує умов (4),} \\ 0, & \text{якщо } (H_{i,j})^l - (H_r)^{(l-1)} \leq 0, \\ & \text{або підвищення надійності } i_r \text{ - го елемента} \\ & \text{ } j \text{ - им шляхом приводить до порушення умов(4),} \\ & \text{або підвищення надійності } i_r \text{ - го елемента} \\ & \text{ } j \text{ - им шляхом не використовується,} \end{cases} \quad (17)$$

де $(H_{i,j})^l$ – значення показника надійності r -ої функції на l -му кроці при умові, що надійність i_r -го елемента підвищувалася j -им шляхом; $(H_r)^{(l-1)}$ – значення показника надійності r -ої функції на $(l-1)$ -му кроці; $(W_{i,j})^l$ – значення цільової функції на l -му кроці при умові, що надійність i_r -го елемента, підвищувалася j -им шляхом; $(W)^{(l-1)}$ – значення цільової функції на $(l-1)$ -му кроці.

Координати вектора (14) визначаються як значення індексів максимальних елементів рядків матриці (16)

$$j_{i_r} = \begin{cases} j, & \text{якщо } (p_{i,j})^l = \max_{1 \leq q \leq h} (p_{i,q})^l \neq 0, \\ 0, & \text{якщо } (p_{i,j})^l = \max_{1 \leq q \leq h} (p_{i,q})^l = 0, \end{cases} \quad (18)$$

$$r = 1, 2, \dots, m.$$

На основі векторів (12) і (14) генерується черговий варіант системи.

Таким чином, алгоритм оптимізації надійності технічних систем керування з використанням імовірнісного моделювання виглядає так:

1. Впровадження початкового варіанту системи. Він проектується на основі технічних та експлуатаційних умов функціонування системи і має забезпечувати виконання всіх передбачених функцій.
2. Оцінка початкового і поточних варіантів системи методом імовірнісного моделювання та нагромадження інформації для генерації чергового варіанта системи.
3. Перевірка умов завершення процесу оптимізації (3). Умови (3) виконуватимуться не одночасно, тому при виконанні деяких із них відповідні функції системи із процесу оптимізації вилучаються, оскільки їх надійність досягла заданого значення. Але далі у процесі оптимізації надійність цих функцій може підвищуватися не прямо, а за рахунок елементів, що беруть участь у виконанні як даних, так інших функцій, для яких умови (3) ще не виконалися. Для таких функцій перерозподіляються ресурси. А це полягає у тому, що надлишковий ресурс з даної функції вилучається і розподіляється між функціями, для яких умови (3) ще не виконані. Номер елемента, з якого вилучається ресурс, визначається як значення індексу мінімального елемента матриці (10). Мінімум визначається серед тих елементів матриці (10), надійність яких підвищувалася на попередніх кроках оптимізації. Зняття ресурсу може привести до того, що умови (3) для деяких функцій перестануть виконуватися, тому ці функції знову включаються до загального процесу оптимізації.

Процес оптимізації завершується, якщо виконуються всі умови (3): здійснюється перехід до п.5, інакше до п.4 .

4. Генерація чергового варіанту системи. Перехід до п. 2.
5. Виведення оптимального варіанту системи та його оцінки.

Special indexes of importance of system element on safe are introduced and on these base effective algorithm of directed looking over of variants for solving of the optimization problems of safety of technical operate systems is elaborated.

Література

1. Ушаков И.А. Опимальные задачи надежности.– Москва: Знание, 1972.–53 с.
2. Заренин Ю.Г. Надежность и эффективность АСУ. – Киев: Техніка, 1975. – 368 с.

Одержано 20.06.2000 р.