

МЕТОД ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОИДОВ В УПРАВЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова

Предложен метод эллиптических центроидов для решения задач выбора эффективных значений управляемых параметров, анализа рисков принятия неэффективных решений и рисков пропусков эффективных решений при управлении технологическими процессами. Предложенный метод рассматривается как основа построения экспертной системы поддержки принятия решений по управлению эффективностью технологических процессов.

Ключевые слова: интегрированное планирование ресурсов, энергетическая эффективность, экспертная система.

Введение

Управление энергоемкими технологическим объектами предполагает, чтобы соответствующее управление не только обеспечивало ведение технологического процесса в рамках технологического регламента, но и обеспечивало повышенную эффективность процессов. Достижение высокой эффективности процессов может быть осуществлено на основе двух стадий управления. На первой стадии осуществляется приведение режимных параметров в рамки технологических допусков на основе факторных или иных зависимостей показателей производительности и объемов потребления ресурсов от режимных факторов. На второй стадии управления обычно осуществляется стабилизация режимных параметров в рамках технологических допусков при действии различных возмущений.

Обе стадии управления в настоящее время хорошо изучены по данной проблематике имеется обширная литература [1–5]. Однако современное производство требует достижения повышенных показателей производительности в рамках технологических допусков. Данная задача в настоящее время исследована недостаточно. Для ее решения в работе предлагается метод, основанный на выделении целевых областей повышенной производительности в пространстве режимных параметров.

Методика оперативного выбора значений управляемых параметров

Допустим дано множество режимных параметров технологического объекта

$$\{x_i : i \in I\}. \quad (1)$$

Данное множество параметров разбивается на две подгруппы: управляемые параметры и неуправляемые,

$$\{x_i : i \in I_y\}, \{x_i : i \in I_n\}. \quad (2)$$

Формируется индексное множество всевозможных упорядоченных пар параметров

$$I_c = \{(i, j) : (i, j) \in I \times I\}. \quad (3)$$

Предположим, что режимные параметры в области технологических допусков представляют собой случайные величины. В рамках технологических допусков выделяется области повышенного качества на основе кластеризации. Далее определяются центры каждого эффективного кластера и производится центрирование режимных параметров.

Для описания областей повышенного качества будем использовать представление данных областей в виде эллипсов для каждой упорядоченной пары параметров (x_i, x_j) . Кроме того, находятся коэффициенты линейной регрессии K_{ij} , в зависимости параметров x_i, x_j .

С этой целью нормализации представления области повышенного качества производится замена переменных:

$$\begin{aligned} y_1 &= b_{11}x_1 + b_{12}x_2, \\ y_2 &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Формулы замены переменных:

$$\begin{aligned} \text{а) } i = j, \\ b_{11} = 1, \quad b_{12} = 0, \\ b_{21} = 0, \quad b_{22} = 1; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{б) } i \neq j, \\ b_{11} = \frac{s_{ij}}{\sqrt{1 + K_{ij}^2}}, \quad b_{12} = \frac{s_{ij}K_{ij}}{\sqrt{1 + K_{ij}^2}}, \\ b_{21} = -\frac{K_{ij}}{\sqrt{1 + K_{ij}^2}}, \quad b_{22} = \frac{s_{ij}}{\sqrt{1 + K_{ij}^2}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Вводятся дискриминантные функции эллиптических центроидов:

$$\begin{aligned} \text{а) } i = j, \\ \frac{y_i^2}{\sigma_i^2} \leq r_{ii}^2 R_0^2; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{б) } i \neq j, \\ \frac{y_i^2}{\sigma_i^2} + \frac{y_j^2}{\sigma_j^2} \leq r_{ij}^2 R_0^2. \end{aligned} \quad (8)$$

В нормализованном виде дискриминантные функции представляются системой неравенств

$$f_{ij}(x_i, x_j) \leq 0, \quad (i, j) \in I_c. \quad (9)$$

Здесь а) $i = j$,

$$f_{ij}(x_i, x_j) = \frac{y_i^2}{\sigma_i^2} - r_{ii}^2 R_0^2; \quad (10)$$

б) $i \neq j$,

$$f_{ij}(x_i, x_j) = \frac{y_i^2}{\sigma_i^2} + \frac{y_j^2}{\sigma_j^2} - r_{ij}^2 R_0^2. \quad (11)$$

Базовая задача состоит в выборе значений управляемых параметров $\{x_i : i \in I_y\}$ при заданных значениях неуправляемых параметров $\{x_i : i \in I_n\}$.

С этой целью формулируется квадратичная невязка решения системы неравенств (9)

$$E_c^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (f_{ij}(x_i, x_j))^+{}^2, \quad (12)$$

$$\text{где } (f_{ij}(x_i, x_j))^+ = \begin{cases} f_{ij}(x_i, x_j), & \text{при } f_{ij}(x_i, x_j) > 0; \\ 0, & \text{при } f_{ij}(x_i, x_j) \leq 0. \end{cases} \quad (13)$$

На допустимые значения параметров накладываются ограничения в виде неравенств

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i \in I. \quad (14)$$

Квадратичная невязка ограничений (14):

$$E_x^2 = \sum_{i=1}^n \left((-x_i + x_i^{\min})^+{}^2 + (x_i - x_i^{\max})^+{}^2 \right). \quad (15)$$

Общая невязка решения неравенств (9), (14) формулируется в виде штрафной функции

$$E_0^2 = E_c^2 + \lambda E_x^2. \quad (16)$$

Ставится задача: найти допустимое значение управляемых параметров по критерию минимума невязки ограничений (12) при условии, что неуправляемые параметры в рамках заданных ограничений стремятся напротив обеспечить максимум указанной невязки. Формально данная задача может быть представлена как минимаксная задача математического программирования:

$$\min_{\{x_i \in I_y\}} \max_{\{x_i \in I_n\}} E_c^2(\{x_i : i \in I\}), \text{ при } \min_{\{x_i \in I\}} E_x^2(\{x_i : i \in I\}). \quad (17)$$

Решение задачи (17) будем осуществлять градиентным методом. В этом случае рекуррентное соотношение алгоритма решения задачи будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \Delta_1 x_i &= f_{ii}^+ \frac{y_i}{\sigma_i^2} + \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n f_{ij}^+ \left(b_{11} \frac{y_i}{\sigma_i^2} + b_{21} \frac{y_j}{\sigma_j^2} \right), \\ \Delta_2 x_i &= \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n f_{ij}^+ \left(b_{12} \frac{y_i}{\sigma_i^2} + b_{22} \frac{y_j}{\sigma_j^2} \right), \\ \Delta_3 x_i &= \lambda \left((-x_i - x_{ic} + x_i^{\min})^+ + (x_i + x_{ic} - x_i^{\max})^+ \right), \\ x_{i,k+1} &= x_{i,k} - \gamma (\Delta_1 x_i + \Delta_2 x_i + \Delta_3 x_i). \end{aligned}$$

Если рекуррентный процесс сходится, то в результате получаем обобщенное решение задачи (17). При этом возможны два случая.

В первом случае полученное решение удовлетворяет всем неравенствам постановки задачи. Здесь необходимо на основе итерационной процедуры повторного решения задачи (17) последовательно уменьшать величину R_0^2 до получения несовместной системы неравенств. Минимальная величина R_0^2 , при которой система неравенств совместна, определяет искомое решение задачи в целом.

Во втором случае полученное решение не удовлетворяет всем неравенствам системы. Здесь на основе итерационной процедуры повторного решения задачи (17) последовательно увеличивают величину R_0^2 до получения совместного решения. Минимальная величина R_0^2 , при которой система неравенств совместна, определяет искомое решение задачи в целом.

Выводы

Представленный метод эллиптических центроидов целесообразно рассматривать как основу экспертной системы поддержки управления эффективностью производственного процесса. Он используется в качестве советчика технологическому персоналу для осуществления поддержания управляемых факторов в области повышенной эффективности.

В работе предложена методика оперативного выбора значений управляемых параметров и анализа рисков принятия неэффективного решения и риска пропуска эффективного решения.

Литература

1. Kumar, S.A. *Production and Operations Management* / S.A. Kumar, N. Suresh. – New Age International (P) Ltd., 2009. – 284 p.
2. Modrak, V. *Operations Management Research and Cellular Manufacturing Systems: Innovative Methods and Approaches* / V. Modrak, R.S. Pandian. – IGI Global Snippet, 2011. – 456 p.
3. Gobetto, M. *Operations Management in Automotive Industries: From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process* / M. Gobetto. – Springer Science + Business Media Dordrecht, 2014. – XXII. – 245 p.
4. Казаринов, Л.С. Упреждающее управление энергетической эффективностью предприятий / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 35 (294). – С. 85–98.
5. Казаринов, Л.С. Система управления энергетическими потоками в теплоэнергетическом комплексе металлургического предприятия / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 23. – С. 21–25.

Казаринов Лев Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, декан приборостроительного факультета (КТУР), Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); kazarinov@ait.susu.ac.ru.

Барбасова Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); barbasovata@susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 15 января 2015 г.

***Bulletin of the South Ural State University
Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics"
2015, vol. 15, no. 1, pp. 152–155***

ELLIPTIC CENTROID METHOD IN PROCESS EFFICIENCY CONTROL

L.S. Kazarinov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
kazarinov@ait.susu.ac.ru,

T.A. Barbasova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
barbasovata@susu.ac.ru

This article presents an elliptic centroid method to solution to the task of selection the effective control parameters, risks of making inefficient decision and risks of skipping the efficient solutions. The proposed method is considered as a basis of construction a decision support expert system on energy management of technological processes.

Keywords: integrated resource planning, energy efficiency, expert system.

References

1. Kumar S.A., Suresh N. Production and Operations Management. New Age International (P) Ltd., 2009. 284 p.
2. Modrak V., Pandian R.S. Operations Management Research and Cellular Manufacturing Systems: Innovative Methods and Approaches. IGI Global Snippet, 2011. 456 p.
3. Gobetto M. Operations Management in Automotive Industries: From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process. Springer Science + Business Media Dordrecht, 2014, XXII. 245 p.
4. Kazarinov L.S., Barbasova T.A. [Energy efficiency anticipatory control of an enterprise]. *The Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technology, Control, Electronics*, 2012, no. 35 (294), pp 85–98. (in Russ.)
5. Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Zakharova A.A. [Automated Information Decision Support System on Control and Planning Energy Resources Usage]. *The Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technology, Control, Electronics*, 2012, no. 23, pp. 118–122. (in Russ.)

Received 15 January 2015