

## ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОМЕРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ДЕКОМПОЗИЦИЕЙ ПО СИТУАЦИЯМ

Рассмотрены вопросы декомпозиции задач управления многомерными объектами на основе учета возникающих ситуаций. Указанное направление исследований представляется весьма перспективным, так как предлагает повышение эффективности управления за счет приближения его к принципам естественного управления, реализуемого человеком. Его научная значимость определяется возможностями повышения уровня интеллекта систем управления, придания им более высокой гибкости и больших степеней свободы в принятии решений.

Одним из факторов современного научно-технического прогресса является повышение эффективности управления производственными процессами на основе все более полной автоматизации с использованием новейших методов, средств и технологий, в первую очередь информационных технологий и компьютерных систем. Возрастающую актуальность приобретают проблемы создания более совершенных автоматизированных систем управления, придания им новых свойств и возможностей. Особое значение имеют проблемы создания эффективных систем оптимального управления крупномасштабными объектами, для которых характерны высокая сложность рассматриваемых процессов и большое число контролируемых параметров.

Возникающие задачи управления здесь отличаются большой размерностью и многообразием функциональных связей между переменными, что существенным образом затрудняет их постановку на компьютерное решение в рамках автоматизированных систем управления, использующих обычные методы и алгоритмы управления. Современный уровень развития средств вычислительной техники и теории управления позволяет создавать высокоэффективные

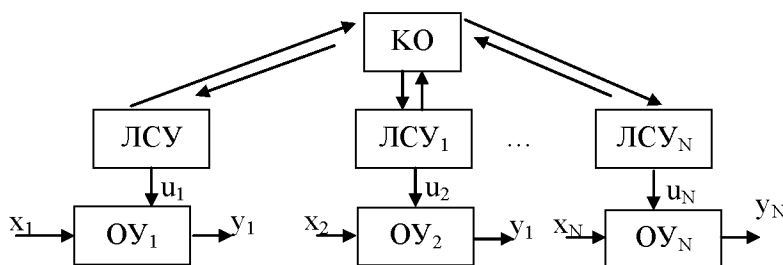
распределенные системы управления подобными объектами с использованием специальных методов для решения задач управления.

В оптимальном управлении сложными объектами являются два основополагающих направления. Первое из них исходит из традиционных представлений о целостной структуре управляемых объектов и ориентировано на создание централизованных систем управления.

Такие системы характеризуются тем, что создаются на основе единого вычислительного центра, который обеспечивает решение задачи управления рассматриваемым объектом в пространстве всех ее переменных с последующей реализацией на объекте вычисленных оптимальных управлений. Задача управления ставится и решается в виде

$$\begin{aligned} & \max_{u \in U} F(x, u, y), \\ U = & \left\{ u : \begin{aligned} & g(x, u, y) = 0, \\ & h(x, u, y) \geq 0, \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $F$  – критерий оптимального управления;  $g$  – заданная векторно-значная функция в ограничениях типа равенств;  $h$  – заданная векторно-значная функция в ограничениях типа неравенств;



$x$  – вектор входов объекта управления;  $u$  – вектор управлений;  $y$  – вектор выходов объекта;  $U$  – множество допустимых управлений.

Основная проблема в данном случае заключается в том, что при большом числе функционально взаимосвязанных параметров объекта управления возникают сложные многомерные математические модели, которые затруднены для оперативного и точного решения в системе управления. В связи с этим требуются значительные вычислительные ресурсы, которые превышают возможности обычных вычислительных систем, используемых в промышленных системах управления, установки вычислительных систем повышенной производительности, отличающихся высокой стоимостью.

Альтернативное направление связано с разбиением исходного объекта управления на совокупность менее сложных объектов с определенной структурой связей между ними. Соответственно управление организуется в рамках распределенной (децентрализованной) системы, которой присуща иерархическая структура. Обычно такая система является двухуровневой (см. рис.) с наличием некоторого числа локальных подсистем управления (ЛСУ) на нижнем уровне и координирующего органа (КО) на верхнем уровне. Каждая из ЛСУ автономно решает собственную задачу управления отдельным элементом декомпозированного объекта, тогда как КО осуществляет координацию всех ЛСУ в целях решения задачи управления объектом в целом.

Решение исходной задачи управления достигается в рамках итеративной процедуры информационного взаимодействия между КО и ЛСУ, в процессе которого КО задает в ЛСУ значения координирующих параметров, а ЛСУ решают свои задачи с учетом заданных координирующих параметров и сообщают КО полученные оптимальные решения. Процедура информационного

взаимообмена завершается в момент достижения оптимума исходной задачи, при котором имеет место полное согласование задач ЛСУ и задачи КО.

Различают два основополагающих подхода к созданию распределенных систем с пространственной декомпозицией объекта управления. Первый из них предполагает децентрализацию управления на основе метода неявной декомпозиции, второй – на основе метода явной декомпозиции [1]. Указанные методы применимы в задачах с аддитивным критерием и полностью структурированными ограничениями, допускающими естественное разбиение на составляющие подзадачи. Такие задачи управления имеют вид

$$\sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i, y_i) \rightarrow \max_{u_i \in U_i},$$

$$U_i = \left\{ u : \begin{cases} g_i(x_i, u_i, y_i) = 0, \\ h_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0, \end{cases} \right.$$

$$i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Метод неявной декомпозиции предполагает разбиение Лагранжиана данной задачи вида

$$L(x, u, y, \lambda, \mu) =$$

$$= \sum_{i=1}^N [f_i(x_i, u_i, y_i) + \lambda_i g_i(x_i, u_i, y_i) +$$

$$+ \mu_i h_i(x_i, u_i, y_i)] = \sum_{i=1}^N L_i(x_i, u_i, y_i, \lambda_i, \mu_i).$$

(3)

Здесь  $\lambda$ ,  $\mu$  – векторы неопределенных множителей Лагранжа для ограничений типа равенств и неравенств соответственно.

При декомпозиции данного выражения возникают  $N$  локальных задач управления для ЛСУ:

$$\max_{x_i, u_i, y_i} L_i \left( x_i, u_i, y_i, \overset{0}{\lambda}_i, \overset{0}{\mu}_i \right),$$

$$i = 1, N \tag{4}$$

и задача координации ЛСУ:

$$\sum_{i=1}^N L_i \left( x_i, u_i, y_i, \lambda, \mu \right) \rightarrow \max_{\lambda, \mu},$$

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N),$$

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N), \tag{5}$$

где  $\overset{0}{\lambda}_i, \overset{0}{\mu}_i$  – значения координирующих переменных, вырабатываемые в задаче координации;  $\overset{0}{x}_i, \overset{0}{y}_i, \overset{0}{u}_i$  – оптимальные значения переменных локальных задач.

Данный метод имеет содержательную интерпретацию, согласно которой множители Лагранжа трактуются как цены на разделяемые параметры исходного объекта управления, которые назначаются в рамках решения задачи координации. Решение задачи КО ставит целью согласовать значения разделяемых параметров, при котором и достигается оптимум исходной задачи управления.

В случае метода явной декомпозиции исходная задача управления (2) разбивается на N локальных подзадач:

$$\max_{u_i \in U_i} f_i \left( x_i, u_i, y_i \right),$$

$$u_i = \left\{ \begin{array}{l} \overset{0}{g}_i(x_i, u_i, y_i) = 0, \\ u_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0, \end{array} \right.$$

$$i = \overline{1, N}, \tag{6}$$

координируемых в рамках решения задачи КО:

$$\sum_{i=1}^N f_i \left( x_i, u, y_i \right) \rightarrow \max_{x, y},$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_N),$$

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_N),$$

$$y_i = x_{i-1}, \quad i = 1, N. \tag{7}$$

Здесь  $\overset{0}{x}_i, \overset{0}{y}_i$  – значения координирующих пара-

метров, вырабатываемых в процессе решения задачи КО;  $\overset{0}{u}_i$  – оптимальные решения локальных задач ЛСУ.

Содержательная интерпретация метода состоит в том, что параметры координации имеют смысл согласованных переменных связи между параметрами локальных объектов управления, с учетом которых ЛСУ решают собственные задачи управления.

Методы явной и неявной декомпозиции исходят из пространственной декомпозиции объекта управления, при котором система управления оперирует вектором управляющих параметров, покомпонентный состав и структура которого остаются неизменными в любой момент времени. Изменения возможны лишь в значениях компонентов вектора. В этом смысле система управления может быть охарактеризована как стационарная во времени.

Авторами предлагается новый подход к распределенному управлению на основе декомпозиции объекта управления с учетом возникающих ситуаций. Идея метода заключается в том, что исходный объект управления и исходная задача в каждый момент принятия управляющих решений модифицируются по составу учитываемых переменных и используемым математическим моделям. При этом модификация задачи ставит целью ее максимальное упрощение на основе сведения к минимуму числа учитываемых переменных и соответствующего преобразования математической модели объекта. Упрощенная подобным образом задача управления становится доступной для эффективного решения в рамках системы управления, которая не предъявляет особых требований в отношении вычислительных ресурсов и таким образом способствует ее удешевлению.

Декомпозиция задачи управления в данном случае может трактоваться с позиций распределения во времени. Однако это не означает прямого учета в задаче фактора времени. В данном случае он отражает очередную модификацию задачи управления в момент принятия управляющих решений.

Исходная задача управления формулируется в виде задачи (1). В момент принятия решения она преобразуется к модифицированной задаче:

$$\begin{aligned} & \max_{u_i \in U_i \subset U} F_i(x_i, u_i, y_i), \\ U_i = & \left\{ u_i : \begin{aligned} & g_i(x_i, u_i, y_i) = 0, \\ & h_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0, \end{aligned} \right\} \\ & \text{I } U_i = U. \end{aligned} \quad (8)$$

Модификация данной задачи управления может осуществляться на основе учета типовых ситуаций на объекте управления, которые распределяются по номерам и систематизируются в виде множества из  $N$  возможных ситуаций. Каждой учитываемой ситуации соответствует свой состав учитываемых переменных исходной задачи, исходя из которого осуществляется преобразование критерия управления и ограничений.

При выработке управляющих решений система управления оценивает текущую ситуацию на объекте путем ее идентификации на множестве учитываемых ситуаций и на этой основе формирует структуру модифицированной задачи, исключая в ней переменные, которые могут быть опущены из рассмотрения. При этом покомпонентный состав векторов переменных может быть различным и представлять собой некоторое подмножество множества полного состава переменных. Отбор компонентов векторов переменных, в частности компонентов вектора управления, осуществляется по критерию максимальной эффективности в заданной ситуации.

Таким образом, система управления приобретает свойство системы переменной структуры, а объект управления становится декомпозированным по ситуациям. Такая система управления является и централизованной, и распределенной одновременно, объединяя в себе принцип централизованного управления в рамках текущей ситуации с декомпозицией объекта управления по ситуациям.

Указанное направление исследований представляется весьма перспективным, так как предлагает повышение эффективности управления за счет приближения его к принципам естественно-го управления, реализуемого человеком. Научная значимость соответствующих работ определяется возможностями повышения уровня интеллекта систем управления, придания им более высокой гибкости и больших степеней свободы в принятии решений [2].

Предложенный подход характеризует научная новизна вследствие отсутствия аналогичных или близких по тематике направлений исследования в Казахстане, СНГ и других странах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Володин В.М., Ху Вен-Цен. Об одном алгоритме декомпозиции в задачах оптимизации химико-технологических систем // ТОХТ АН СССР. 1978. Т. 12, № 6. С. 889-895.
2. Володин В.М., Умбетов У., Ху Вен-Цен. Проблемы разработки декомпозиционного управления сложными системами // Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие-основа устойчивой экономики Казахстана». Шымкент, 2006. Т. 1. С. 383-386.

#### Резюме

Көп өлшемді объектіні децентрализациялық басқару мақсатындағы декомпозицияның ситуацияға байланыстылығы қарастырылады. Бұл бағыт – бүгінгі таңдағы көп өлшемді объектіні басқаруды зерттеудің алдыңғы қатарлы бағыты. Жұмыстың құндылығы басқару жүйесін интеллектуальды деңгейін көтеру, ықшамдылығы және басқару мақсатындағы шешім қабылдаудың диапазонының кең және ықшамдылығымен артық.

#### Summary

Questions of decomposition of problems of management by multivariate objects on the basis of the account of arising situations are considered. The specified direction of researches is represented rather perspective as offers increase of a management efficiency due to its approach principles of the natural management sold by the person. Its scientific importance is defined by opportunities of increase of I.Q. of control systems, giving of higher flexibility by it and greater degrees of freedom in decision-making.

Южно-Казахстанский  
государственный университет  
им. М. Ауезова

Поступила 04.01.07г.