

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ (НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОФ. АВРАМЕНКО В.П.)

УДК 681. 5. 01: 658. 5

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

ПАНФЕРОВА И.Ю.

Показывается, что система управления сложными объектами должна быть построена на основании принципа обеспечения рационального распределения функциональных задач между составными частями системы на этапе синтеза ее структуры. Классифицируются традиционные методы построения иерархических систем управления, выявляется, что для построения иерархической структуры системы управления необходимо комбинировать известные методы декомпозиции с учетом их особенностей.

Современное производство имеет достаточно сложную структуру систем планирования и управления, что обуславливает трудность принятия эффективных решений в таких системах. При разработке систем управления такими объектами возникает ряд проблем, обусловленных их спецификой. Наиболее полный учет специфики объекта управления, в первую очередь, определяет качество применяемых методов математического описания. Современное производство представляет собой сложный многомерный объект управления, который характеризуется большим числом технологических и информационных связей между подсистемами, множеством управляющих и возмущающих воздействий, отсутствием полного математического описания, многокритериальностью, которая обуславливается разнообразием целей отдельных подсистем, а также разнообразием требований, предъявляемых к системе со стороны других систем.

Многообразие структур обуславливается разнообразием структур подсистем и структур их объединения в единую систему, а также многообразием природы подсистем, которое характеризуется их различной физической сущностью.

Это позволяет отнести системы управления современным производством к сложным системам. В связи с этим исследование и проектирование таких систем требует нового подхода к постановке задачи синтеза систем управления. Этот подход должен предусмат-

ривать рассмотрение сложной системы управления как некоторого множества взаимосвязанных подсистем, которые выступают как единое целое с иерархической организацией взаимодействия между ними. Это связано с тем, что управление такими системами является слишком сложной задачей для одного управляющего органа, который имеет ограниченные возможности по переработке информации. Поэтому при проектировании систем управления должен быть предусмотрен процесс распараллеливания вычислений для организации управления в реальном масштабе времени.

При проектировании таких систем управления необходимо взаимосвязанное решение двух групп вопросов. К первой относятся вопросы построения структуры управляемой системы, т.е. определение оптимального состава элементов и их взаимосвязей, распределение функций по элементам и т.д. Ко второй – вопросы развития структуры системы управления, включающие выбор иерархии управления, распределение выполняемых функций управления между уровнями и узлами системы.

Задача синтеза структуры системы управления обычно ставится для различных уровней детализации описания системы. На верхнем уровне формализуются цели, реализуемые системой управления, выполняемые ею функции и задачи управления. Основу рассмотренной формализации составляет агрегативно-декомпозиционный подход, состоящий в представлении системы в виде совокупности взаимосвязанных элементов различной степени детализации. Агрегативно-декомпозиционный подход включает два взаимосвязанных этапа: последовательную декомпозицию выполняемых системой целей, функций, задач и агрегирование на соответствующих уровнях детализации элементов для генерирования вариантов построения системы в целом на рассматриваемом уровне детализации [1].

В настоящее время значительное внимание уделяется совершенствованию структуры систем управления производством. Это оптимальная организация структуры управляемых объектов, оптимальная организация структуры управляющих органов, а также тех средств, которые используются для их реализации: мультипроцессорные системы, сети ЭВМ и т.п. [2]. Обзор литературы показывает, что математическая теория иерархических систем далека от завершения. В связи с этим разработка конкретных процедур математического моделирования иерархических систем управления с применением к различным областям применений представляет большую ценность.

Существуют два подхода к синтезу структуры системы управления. При первом иерархическая структура системы управления считается заданной, производится оптимизация распределения выполняемых системой функций по узлам системы, а также согласование целей и оптимизация взаимодействия узлов различных уров-

ней. При втором структура системы определяется в результате синтеза основных или одной ведущей функции с использованием методов декомпозиции, агрегации и координации. Каждый из этих подходов имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Поэтому применение одного из этих подходов рассматривается в каждом конкретном случае отдельно.

При проектировании многоуровневых систем необходимо решить следующие взаимосвязанные проблемы [3]:

- декомпозиция общей задачи управления на подзадачи нижних уровней с тем условием, чтобы решения локальных подзадач были координируемыми по отношению к задачам вышестоящих уровней;

- синтез координирующего элемента (задачи), обеспечивающего достижение глобальной цели путем согласования локальных решений посредством вмешательства в работу элементов нижних уровней;

- разработка методов и алгоритмов координации, обеспечивающих эффективное формирование координирующих сигналов, способных скоординировать декомпозированную систему и обеспечить ее целостность;

- обеспечение модифицируемости задач нижних уровней в целях получения такой их формы, которая бы гарантировала координируемость относительно сформулированной задачи координации.

Из проведенного анализа видно, что, несмотря на большое количество работ, посвященных проблеме синтеза структур децентрализованных систем управления сложными объектами, в этой области остаются нерешенные проблемы. Общеизвестные методы предполагают наличие естественной композиционной природы объекта, и во многих случаях не учитываются важные взаимосвязи подзадач при построении процедур координации. Кроме того, остается нерешенной проблема преобразования декомпозированной системы в систему с иерархической структурой.

В большинстве случаев многоуровневая иерархическая структура характеризуется сложными и неравнозначными по силе связями между элементами как одного и того же иерархического уровня (горизонтальные связи), так и разных уровней (вертикальные связи). Следует полагать, что основным назначением горизонтальных связей является системообразование, реализующее специфическое для системы единство и целостность, выражающуюся в появлении у системы новых интегральных свойств, несводимых к суперпозиции свойств составляющих ее подсистем. Вертикальные связи предполагают наличие отношений упорядоченности, обеспечивающих приоритет действий и целей элементов (подсистем) верхнего уровня и зависимости действий этих подсистем от фактического исполнения нижними уровнями своих функций. Такая взаимная зависимость между вертикально расположенными подсистемами отражает приоритет

всей иерархической системы как единого целого над ее частью и задает границы осуществления горизонтальных связей, создавая основу внутреннего единства системы.

При этом особую значимость приобретают методы построения единого обобщенного критерия оценки качества функционирования всей системы, декомпозиции этого критерия таким образом, чтобы обеспечивался компромисс между локальными управляющими подсистемами различных уровней и требованиями локальной эффективности их функционирования.

Так, в большинстве случаев при проектировании систем управления критерии качества выражаются через динамические свойства объекта. При этом важно получить удельную динамическую характеристику управляемой системы, но вместе с тем необходимо учитывать и другие факторы, которые представляют интерес для проектировщика системы управления: стоимость оборудования, надежность, ремонтпригодность, скорость переналадки, граничные значения экономической и технической эффективности всего организационно-технологического комплекса и т.д. Все эти факторы влияют на процесс выбора проектируемой системы, и их следует учитывать с самого начала процесса проектирования, причем выбранная система должна обеспечивать достижение оптимума глобального критерия качества.

Следует отметить, что в сложных системах управления с иерархической структурой оказывается недостаточным выбирать оптимальную стратегию для подсистем нижних уровней, двигаясь по дереву целей вниз, так как при этом возможно установление таких требований к управляющим подсистемам, которые приведут к нежелательным и даже опасным режимам функционирования локальных объектов управления. Кроме того, подсистемы нижних уровней могут нести потери по своим локальным критериям оптимальности. Все это приводит к несовпадению интересов подсистем верхних и нижних уровней, что и является причиной необходимости формирования координирующих воздействий с целью поддержать работоспособность всей системы в целом на требуемом уровне. Это приводит к задаче модификации критериев качества функционирования подсистем, исходя из заданного качества функционирования всей системы.

Отметим, что разбиение сложной системы управления на подсистемы обуславливается большой размерностью задач управления сложными объектами и вытекающими из этого трудностями, связанными со сбором и обработкой информации об их состоянии при выборе управляющих воздействий. Структура взаимодействия подсистем, входящих в состав сложной системы, может быть различной, но в большинстве случаев она является иерархической. Построение системы управления сложными организационно-технологиче-

ческими объектами по иерархическому принципу требует учета особых характерных черт таких систем [3-6]:

- наличия приоритета в принятии решения между подсистемами, входящими в состав исследуемой сложной системы;

- расположения подсистем с явно выраженными локальными свойствами по уровням иерархии в соответствии с приоритетом принимаемых ими решений, причем подсистемы одного уровня по отношению друг к другу обладают одинаковым приоритетом в выборе решений;

- решения каждой из подсистем, кроме подсистем первого уровня, двух задач по своим локальным критериям оптимальности: задачи самоуправления (локальная задача) и задачи координации подчиненных ей подсистем нижнего уровня;

- осуществления связи подсистем нижнего уровня с подсистемами верхних по отношению к ним уровней путем передачи предварительно обобщенной (агрегированной) информации;

- осуществления связи подсистем верхних уровней с подчиненными им подсистемами нижнего уровня через управляющие воздействия, выдаваемые подсистемами верхних уровней;

- осуществления связи между подсистемами одного уровня как непосредственно через выходные переменные, описывающие их состояние, так и через управляющие воздействия, вырабатываемые при решении задачи координации в подсистеме верхнего уровня;

- построения задач координации в каждой из подсистем, кроме подсистем первого уровня, использующих обобщенную информацию о поведении всей совокупности подчиненных ей систем нижних уровней; формирование параметров задач координации при решении задач самоуправления в каждой из подсистем;

- существования тактов в решении задач самоуправления и координации в каждой из подсистем и связанных с этим тактов выдачи как обобщенной информации, так и управляющих воздействий;

- большей длительности периодов решения задач в подсистемах верхних уровней, чем в нижних;

- наличия права для подсистем нижних уровней между двумя соседними тактами решения задач координации в подсистеме верхнего уровня принимать самостоятельное решение при заданном с верхнего уровня управляющем воздействии;

- действия на каждую подсистему как локальных внешних возмущений, так и внутренних, связанных с изменением обобщенной информации нижних уровней.

В наиболее общей математической форме проблема оптимизации описывается множеством U и функцией J , определенной на U

со значениями в R . Таким образом, задача состоит в том, чтобы найти решение u^* такое, что

$$\begin{aligned} J(u^*) \leq J(u), \forall u \in U ; \\ u^* \in U. \end{aligned} \quad (1)$$

В общем случае, U представляет собой множество возможных способов достижения определенной цели или множество способов функционирования какой-либо системы. В прикладных задачах часто принадлежность к U выражается при помощи соответствующих ограничений. Поэтому множество U является областью (множеством точек), где ограничения выполняются. Оно описывается обычно с помощью уравнений и/или неравенств, которые связывают различные параметры системы. Функция представляет собой критерий, который предопределяет соответствующий выбор из множества возможных решений. В задаче (1) речь идет о том, чтобы выбрать решение u^* , минимизирующее значение J на множестве U . Если заменить J на $-J$, то задача минимизации преобразуется в задачу максимизации. На практике функцией J может быть стоимость, выработка, прибыль, время и т.д. Переменная u может быть вектором, а его компоненты – функциями (например, функциями времени). В этом случае критерий $J(u)$ будет представлять собой функционал

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_1} v(u; t) dt, \quad (2)$$

а множество U будет определяться системой интегральных и/или дифференциальных уравнений и/или неравенств.

Отметим, что решение задачи (1) не обязательно существует. В этом случае ищется реализуемое решение u^* , такое, чтобы $J(u^*)$ было "достаточно близко" к $\inf J(u)$, $\forall u \in U$.

В общем случае невозможно получить аналитическое выражение для оптимального решения поставленной задачи оптимизации. Поэтому задача сводится к поиску численного приближенного решения, поиск же с помощью численных методов тесно связан с возможностями вычислительных машин. Поэтому, как правило, в численных методах решение общей задачи оптимизации сводится к решению последовательности подзадач меньшей размерности, решение которых обеспечит решение основной задачи.

К настоящему времени определилось несколько подходов к декомпозиции оптимизационных задач на подзадачи: метод разделения (позволяет, используя композиционную природу глобальной задачи, разделить ее на несколько независимых подзадач); метод параметрической декомпозиции (применим к оптимизаци-

онным задачам двух и более переменных и позволяет декомпозировать глобальную задачу на совокупность взаимосвязанных подзадач посредством параметризации переменных в подзадачах); метод структурной декомпозиции (предполагает разделение основной задачи на две взаимосвязанные подзадачи посредством модификации критерия оптимальности и пространства допустимых решений); метод замены переменных (глобальная задача заменяется совокупностью подзадач путем введения новых переменных, которые функционально связаны с первичными переменными); декомпозиция с использованием множителей Лагранжа (позволяет упростить решение оптимизационной задачи с ограничениями путем соответствующего введения системы множителей Лагранжа); декомпозиция методом преобразования глобальной оптимизационной задачи (применима для задач, в которых допускается некоторое изменение как критериальной функции, так и допустимого множества решений).

Следует отметить, что ни один из рассмотренных подходов не дает регулярного метода получения иерархически связанных подзадач. Поэтому необходимо комбинировать упомянутые выше методы, чтобы построить процедуру синтеза системы иерархически связанных подзадач. Это требует более подробно исследовать основные методы декомпозиции, рассмотреть проблему решения оптимизационной задачи (1) относительно существования и единственности неподвижной точки при некотором отображении соответствующего метрического пространства в себя. Среди различных критериев существования и единственности неподвижной точки при такого рода отображениях одним из простейших и в то же время наиболее важных является так называемый принцип сжимающих отображений.

Литература: 1. Цвиркун А.Д., Акинориев В.К., Соловьев М.М. Моделирование развития крупномасштабных систем. М.: Экономика, 1983. 176 с. 2. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. М.: Сов. радио, 1975. 200 с. 3. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М.: Наука, 1982. 286 с. 4. Волик Б.Г., Буянов Б.Б., Лубков Н.В. и др. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем/ Под ред. Б.Г. Волика. М.: Энергоатомиздат, 1988. 296 с. 5. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с. 6. Чернышев М.К., Гаджиев М.Ю. Математическое моделирование иерархических систем с приложением к биологии и экономике. М.: Наука, 1983. 192 с.

Поступила в редколлегию 16.04.98