

УДК 004.728 : 519.87

А.А. Коваленко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПО КОМПОНЕНТАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В статье рассмотрены подходы к этапу синтеза систем управления объектами критического применения, являющегося логически неразрывным с этапом синтеза технической структуры компьютерной системы, и заключающегося в распределении оптимальным образом решаемых задач управления по компонентам компьютерной системы. Выделены, описаны и формализованы основные составляющие этапы и соответствующие, подлежащие решению, задачи.

Ключевые слова: синтез, управление, задача, структура, система, этап, компонент, формализация, связь.

Введение

Синтез систем управления (СУ) объектами в настоящее время является недостаточно изученной задачей вследствие существования множества факторов, подходов и соответствующих критериев. Особую актуальность такие задачи имеют в аспекте реализации мониторинга и управления объектами критического применения (КП).

В [1 – 4] сформулированы и формализованы основополагающие этапы синтеза СУ объектом КП, включая:

- синтез организационной структуры СУ объектом;
- синтез информационной структуры компьютерной системы (КС), обеспечивающей функционирование СУ;
- синтез технической структуры КС.

В [1] были предложены подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом КП, учитывающие выбор задач управления компонентами СУ, реализации алгоритмов и методов решения задач и распределение задач по компонентам в процессе их решения. В дополнение, сформулирован критерий качества и возможные соответствующие ограничения, а также затронут вопрос синтеза организационной структуры СУ, как являющийся одним из основополагающих.

Статья [2] формулирует ряд актуальных задач, связанных с разработкой формализованных описаний задач, возникающих при синтезе технической структуры КС СУ объектом КП. Так, предложен подход к синтезу технической структуры, заключающийся в последовательной реализации определенных этапов, связанных с синтезом наименьшей возможной совокупности компонентов для реализации СУ (включая их расположение в рамках соответствующей КС, характеризацию количества и качества взаимосвязей между компонентами) и синтезом прием-

лемых вариантов реализации каждого из компонентов и взаимосвязей.

Целью данной статьи является разработка подходов к оптимизации возможных распределений для множеств решаемых задач управления и доступных компонентов КС СУ.

Подходы к выполнению оптимизации

Исходной информацией для выполнения оптимизации является следующая, определяемая в соответствии с подходами, описанными в [2]:

- множество компонентов КС, решающих определенные типы задач управления;
- множество функций управления, реализуемых СУ, применительно к каждому из типов задач.

Таким образом, решение оптимизационной задачи подразумевает решение следующих неразрывных по смыслу задач:

1. нахождение оптимального распределения взаимосвязанных множеств средств, необходимых для реализации определенной функциональности, по логическим уровням (сформулированным в [1]) и конкретным компонентам КС СУ;

2. выбор состава таких компонентов, образующих КС СУ объектом КП.

При решении СУ задач управления, производится процесс их разбиения на приемлемые варианты решения, которые допустимы для решения имеющимися множествами компонентов КС, а также последующее распределение по конкретным компонентам для поэтапного решения. Основополагающим ограничением при реализации такого процесса является учет требований к суммарному размеру комплексных затрат, включая затраты на реализацию, эксплуатацию и обслуживание компонентов соответствующего состава.

Удобным вариантом и одновременно логически непротиворечивым таковому в [1], является вариант формализации сформулированной в начале

подраздела оптимизационной задачи посредством аппарата графов. Удобство, кроме самой формализации, заключается в том, что, в общем случае, вариант реализации области КС СУ будет соответствовать определенному пути на альтернативном графе, а целостная структура КС СУ объектом КП – подграфу, построенному из полного набора путей.

Итак, теперь можно сформулировать *первую задачу* целевой оптимизационной задачи. Пусть, Π_{im} – путь альтернативного графа вариантов построения m -го ($m = \overline{1, M}$) маршрута соединения для решения задачи управления i -го типа ($i = \overline{1, I}$). Тогда значения целевой функции F_0 будут определяться выбранной совокупностью возможных вариантов построения отдельных маршрутов $F_0(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM})$. Ограничения для всех маршрутов решения задач могут быть представлены в виде $F_\alpha(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}) \leq B_\alpha$. Ограничения по количеству маршрутов для одной задачи управления β ($\beta = \overline{1, \beta_0}$) представляются как $F_\beta(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}) \leq B_\beta$, а ограничения по отдельным маршрутам ($\gamma = \overline{1, \gamma_0}$) – как $F_\gamma(\Pi_{im}) \leq B_\gamma$.

В итоге становится возможной формализация целевой оптимизационной задачи в следующем виде:

$$\mathfrak{R}_{\text{техн}}^{(\text{опт})} = \text{extr}_{\Pi_i} F_0(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}), \quad (1)$$

где $\mathfrak{R}_{\text{техн}}^{(\text{опт})}$ – оптимальное распределение взаимосвязанных множеств средств, необходимых для реализации определенной функциональности, по компонентам КС СУ.

Для решения *второй задачи* необходимо ввести следующие переменные и индексы:

- $\theta_{nv_iu}^{im}$ – булева переменная, принимающее значение «1» в случае, когда маршрут решения m варианта v_i этапа ℓ_{iv_i} задачи i реализуется на логическом уровне u СУ ($u = \overline{1, u_0}$);

- $u_{\Lambda ju}$ – положительная целочисленная переменная, характеризующая количество средств типа Λ ($\Lambda = \overline{1, L}$), однозначно определяемого совокупностью $\{i \ell_{iv_i} m v_i u\}$, реализующих решение задач управления, необходимых для реализации в компоненте j КС ($j = \overline{1, J}$) на логическом уровне u СУ;

- λ^{im} – частота использования маршрута m для решения задачи i ;

- $\tau_{\ell_{iv_i} v_i u}^{im}$ – время решения варианта v_i этапа ℓ_{iv_i} задачи i маршрутом решения m , реализованным на логическом уровне u СУ;

- $\rho_{\Lambda u}$ – допустимый коэффициент загрузки средств типа Λ на логическом уровне u СУ.

Теперь можно однозначно определять любые переменные $u_{\Lambda ju}$ посредством совокупности пере-

менных $\theta_{\ell_{iv_i} v_i u}^{im}$. Кроме того, справедлива следующая формализация данной задачи:

$$M_{\mathfrak{R}} = \left\{ \mathfrak{R}_{\text{компл}} \left(\mathfrak{R}_{\text{техн}}^{(\text{опт})} \right) \middle| \sum_{imnk} \lambda^{im} \tau_{\ell_{iv_i} v_i u}^{im} \theta_{\ell_{iv_i} v_i u}^{im} \leq \rho_{\Lambda u} u_{\Lambda ju} \right\}, \quad (2)$$

где $M_{\mathfrak{R}}$ – множество возможных вариантов выбора состава компонентов КС.

Выбор оптимального решения

Таким образом, с учетом сформулированной задачи (2), на следующем шаге необходимо осуществить выбор единственного решения. Такое решение представляет собой множество, составленное из одного пути каждого альтернативного графа варианта установления маршрутов для решения задачи управления.

Актуальная задача, подлежащая решению на данном шаге, заключается в определении характеристик и выделении возможных вариантов установления маршрутов, требующихся для решения задачи управления.

Введем агрегированную булеву переменную θ_{im}^μ , которая принимает значение «1», когда для установления маршрута m для решения задачи i используется вариант μ . Тогда

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} \theta_{im}^\mu = 1.$$

В прикладном аспекте этапов синтеза КС СУ объектом КП, разумно рассматривать следующие характеристики:

c_{mi}^μ – эксплуатационные затраты компонента КС;

R_{mi}^μ – надежность компонента КС;

E_{mi}^μ – энергопотребление компонента КС;

$\rho_{\Lambda mij}^\mu$ – коэффициент загрузки средств типа Λ ,

относящихся к компоненту j КС при варианте μ установления маршрута;

- τ_{mi}^μ – оперативность.

Теперь становится возможным переформулирование оптимизационной задачи (1), с учетом затрат на создание и эксплуатацию компонентов КС, в следующем виде:

$$\mathfrak{R}_{\text{техн}}^{(\text{опт})} = \left\{ \bar{\Pi}_0 \middle| Z_{\min} = \min \left(\sum_{\Lambda, j, u} c_{\Lambda u} u_{\Lambda ju} + \sum_{m, i, \mu} c_{mi}^\mu \theta_{mi}^\mu \right) \right\}, \quad (3)$$

где $\bar{\Pi} = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM})$, $\bar{\Pi}_0$ – вектор маршрутов, удовлетворяющий условию минимизации затрат при нижеприведенных ограничениях.

Ограничение по коэффициенту загрузки компонентов имеет вид

$$\sum_{mi} \left(\sum_{\mu=1}^{\mu_0} \rho_{mi\Lambda u}^{\mu} \theta_{mi}^{\mu} \right) \leq \gamma_{\Lambda ju} \rho_{\Lambda} \quad (4)$$

Ограничения, связанные с надежностью, энергопотреблением и оперативностью, соответственно, могут быть сформулированы следующим образом:

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} \ln R_{mi}^{\mu} \theta_{mi}^{\mu} \geq \ln R_{mi}^{\text{доп}}, \quad (5)$$

$$\sum_{\ell=1}^L E_{\Lambda} \gamma_{\Lambda j' u'} \leq E_{j' u'}^{\text{доп}}, \quad (6)$$

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} \tau_{mi}^{\mu} \theta_{mi}^{\mu} \geq \tau_{mi}^{\text{доп}}. \quad (7)$$

Для учета логических взаимосвязей между вариантами установления маршрутов в КС необходимо также ввести ограничения:

$$\prod_{\mu' m' i' \in V_{mi}^{\mu}} (\theta_{m' i'}^{\mu'} - 1) \theta_{mi}^{\mu} = 0, \quad \prod_{\mu' m' i' \in W_{mi}^{\mu}} (\theta_{m' i'}^{\mu'} - 1) \theta_{mi}^{\mu} = 0 \quad (8)$$

где V_{mi}^{μ} – множество допустимых вариантов, все элементы которого выбираются в случае, когда выбирается вариант μ маршрута m задач типа i ; W_{mi}^{μ} – аналогичное множество, но в котором при аналогичных условиях выбирается один элемент.

Теперь возможно переформулировать выражение (3) до вида

$$\sum_{mi} \left(\sum_{\mu} \left(\frac{\rho_{mi\Lambda ju}^{\mu}}{\rho_{\Lambda}} \right) \theta_{mi}^{\mu} \right) \leq \gamma_{\Lambda ju} \quad (9)$$

Таким образом, оптимальное решение для возможных распределений для множеств решаемых задач управления и доступных компонентов КС СУ может быть получено при решении оптимизационной задачи (3), (5-9). Такая задача сводится к задаче дискретного нелинейного программирования с нелинейными ограничениями и линейной целевой функцией (переменные $\gamma_{\Lambda ju}$ и θ).

Выводы

В работе предложены решения, позволяющие на высоком уровне решить задачу оптимизации распределения задач управления по компонентам компьютерной системы в процессе синтеза системы управления объектом критического применения.

Таким образом, произведено разбиение глобальной оптимизационной задачи на отдельные неразрывные подзадачи. Кроме того, выделены и формализованы возможные распределения для допустимых множеств решаемых задач управления и доступных компонентов КС синтезируемой СУ объектом КП. Для выбора оптимального решения для таких распределений произведен учет основных характеристик КС, соответствующих ограничений и возможных логических взаимосвязей.

Ближайшим направлением дальнейших исследований является разработка метода решения оптимизационной задачи, сформулированной выражением (3) и ограничениями (5-10).

Список литературы

1. Коваленко, А.А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системы обработки информации: збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2014. – Вып. 1 (117). – С. 180 – 184.
2. Коваленко, А.А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУ ПС, 2014. – Вып. 1(38). – С. 116 – 119.
3. Кучук, Г.А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук, І.В. Рубан, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вып. 7 (114). – С. 106 – 112.

Поступила в редколлегию 6.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ ПО КОМПОНЕНТАМ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ, ЩО ФОРМУЄ СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

А.А. Коваленко

У статті розглянуто підходи до етапу синтезу систем управління об'єктами критичного застосування, що є логічно нерозривним з етапом синтезу технічної структури комп'ютерної системи, та який полягає в розподіленні оптимальним чином задач управління, що розв'язуються, по компонентах комп'ютерної системи. Виділено, описано та формалізовано основні складові етапи, та відповідні задачі, що повинні бути розв'язані.

Ключові слова: синтез, управління, задача, структура, система, етап, компонент, формалізація, зв'язок.

APPROACHES TO DISTRIBUTION OPTIMIZATION FOR CONTROL TASKS AMONG COMPONENTS OF A COMPUTER SYSTEM, WHICH FORMS CONTROL SYSTEM FOR CRITICAL APPLICATION OBJECT

A.A. Kovalenko

The paper discusses approaches to a stage of critical application object control system's that is logically inseparable with computer system's technical structure synthesis and that consists of distribution, in optimal way, control tasks among the components of computer system. The main stages, as well as appropriate tasks that should be solved, are marked out, described and formalized.

Keywords: synthesis, control, task, structure, system, stage, component, formalization, connection.