

УДК 004.728 : 519.87

А.А. Коваленко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ТЕХНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В статье рассмотрены подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, лежащей в основе современных систем управления объектами критического применения. Выделены и описаны основные этапы синтеза, а также характерные задачи, решаемые на них. Кроме того произведена постановка и формализация соответствующих задач синтеза при учете требований по доступности компонентов системы и требований к процессу ее функционирования в контексте окружающей среды при условии возможных воздействий.

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

Введение

Существующие системы управления (СУ) представлены сложными распределенными иерархическими многокомпонентными, зачастую географически разделенными, комплексами с высокоскоростными гетерогенными связями между компонентами. При этом необходимо соблюдение требований к качеству реализации функций управления.

Проблема синтеза СУ различными современными объектами представляет собой комплексную проблему, решение которой невозможно без предварительной декомпозиции, структуризации и формализации [1–5].

В [1] были приведены и описаны следующие основные этапы синтеза СУ:

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

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

Целью данной статьи является разработка формализованных описаний задач, возникающих при синтезе технической структуры КС СУ объектом КП.

Подходы к синтезу технической структуры КС СУ

В процессе синтеза СУ объектом КП одними из возникающих частных задач являются оптимальное отображение множества взаимосвязанных функций управления на множество взаимосвязанных компонентов КС, представленных определенными техническими средствами (ТС).

К таким ТС существует ряд предъявляемых требований, включая экономические требования на их создание, эксплуатацию и модификацию, требования к оперативности реализации функций, а также требования к надежности.

Во время синтеза СУ объектом КП, кроме задач распределения функций СУ между множеством компонентов системы в соответствии с определенными критериями, возникают задачи выбора ТС и каналов связи в контексте гарантирования определенных характеристик СУ.

В настоящее время существуют различные подходы и модели, используемые для решения задач синтеза СУ и предусматривающие последовательность характерных этапов [5]:

- определение числа, расположения и состава компонентов КС СУ для каждого из возможных классов управления, что позволяет выполнить минимизацию затрат на реализацию таких компонентов;
- определение вариантов реализации и состава компонентов и их взаимосвязей на основе требований к СУ, что позволяет выполнить минимизацию затрат на обеспечение требуемого уровня надежности при определенных условиях эксплуатации;
- разработка топологической структуры СУ на основе решений двух предыдущих этапов, включая определение функциональной структуры, распределение функций СУ по множеству ее компонентов и

оптимизацию такого процесса, а также непосредственный выбор комплекса ТС для реализации компонентов КС СУ, что позволяет выполнить минимизацию затрат на реализацию и эксплуатацию компонентов;

– анализ процесса функционирования компонентов для выбранного варианта реализации КС СУ посредством имитационного моделирования.

Таким образом, последующий материал данной статьи будет покрывать первые два из рассмотренных этапов.

Синтез технической структуры КС СУ объектом КП

Прежде всего, при синтезе технической структуры КС СУ объектом КП на уровне компонентов и соответствующих связей, возникает ряд задач, неуклонно подлежащих оптимизации. В общем случае, процесс синтеза технической структуры можно разбить на два составных этапа, применимых к формализации посредством аппарата графов [1]:

1) синтез наименьшей возможной совокупности компонентов для реализации СУ, их расположения в рамках соответствующей КС, а также количества и характера взаимосвязей между компонентами; входной информацией для такого этапа служат требования по доступности компонентов СУ;

2) синтез приемлемых вариантов реализации каждого из компонентов и взаимосвязей; входной информацией являются требования к надежности СУ объектом КП, в контексте как окружающей среды, так и возможных воздействий на СУ во время ее функционирования.

Сущность *первого из этапов* заключается в решении задачи нахождения минимального количества компонентов КС при соблюдении требований применимости СУ для заданного множества задач управления, включая, возможно, также специфические требования (например, требования по диверсности компонентов для определенного типа задач). Такую задачу можно удобно сформулировать в виде линейной целочисленной задачи математического программирования, что показано ниже.

Пусть, $i = \overline{1, I}$ – совокупность задач управления, подлежащих решению СУ, $j = \overline{1, J}$ – совокупность компонентов КС СУ, а $\ell = \overline{1, L}$ – физические области КС СУ, в которых реализуется управление посредством определенных компонентов в зависимости от типа задач управления. Тогда L_i представляют собой области КС, в которых производится решение задач i -го типа. С помощью m_i обозначим совокупность компонентов КС, доступных для решения задач i -го типа, а с помощью τ_ℓ – время, за которое требуется решить задачу компонентами КС в ее ℓ -й области. Кроме того, необходимо ввести

следующие булевы переменные, отражающие использование компонента и области КС СУ при решении задач управления:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если используется компонент } j, \\ 0 & \text{– иначе;} \end{cases}$$

$$y_\ell = \begin{cases} 1, & \text{если используется область } \ell, \\ 0 & \text{– иначе.} \end{cases}$$

Теперь можно утверждать, что основная задача, подлежащая решению, заключается в минимизации затрат на реализацию таких компонентов:

$$\min \sum_{j=1}^J c_j x_j,$$

где c_j – затраты на создание j -го компонента КС СУ.

Если заданы требования к применимости СУ для заданного множества задач управления, то необходимо учитывать что

$$\sum_{\ell \in L_i} \tau_\ell y_\ell \leq \tau_i,$$

где τ_i – ограничение на время решения задачи управления i -го типа; а при наличии еще и специальных ограничений (например, по диверсности компонентов для i -го типа задач), что

$$\sum_{j \in m_i} x_j \geq k_i.$$

Кроме того, необходимо задать следующую взаимосвязь между введенными переменными, учитывая что n_ℓ – совокупность компонентов, применимых для решения задачи соответствующего типа в ℓ -й области КС:

$$\sum_{j \in n_\ell} x_j \geq y_\ell \geq \frac{1}{|n_\ell|} \sum_{j \in n_\ell} x_j.$$

В процессе реализации *второго этапа*, для каждого из возможных в конкретной КС СУ типов задач управления задается минимальная совокупность компонентов и взаимосвязей между ними, обеспечивающая корректное функционирование КС СУ.

Множества вариантов реализации компонентов КС и их взаимосвязей определяются как в контексте минимизации соответствующих затрат, так и в контексте обеспечиваемой надежности.

Введем следующие обозначения, применительно к рассматриваемому временному интервалу функционирования СУ объектом КП и наличие допустимых воздействий на СУ во время функционирования:

$P_{ik} (k = \overline{1, K_i})$ – вероятность безотказного функционирования части КС, реализующей решение k -го варианта i -й задачи управления;

$P_{jk} (k = \overline{1, K_j})$ – вероятность безотказного функционирования k -го варианта реализации j -го компонента КС СУ;

$P_{Rk}(k = \overline{1, K_r})$ – вероятность безотказного функционирования k -го варианта реализации R -го сетевого компонента, обеспечивающего функционирование КС СУ;

P_{dk} – вероятность безотказного функционирования составного канала связи, имеющего k -й вариант реализации, и образующего определенный маршрут (d) соединения при решении задачи управления;

$c_{ik}, c_{jk}, c_{Rk}, c_{dk}$ – затраты на физическую и логическую реализацию соответствующих компонентов, включая узлы обработки и передачи информации, а также каналы связи (образующие составной канал связи маршрута соединения для решения задачи).

Таким образом, становится возможным выделение агрегированных вариантов реализации определенных областей КС СУ, с учетом множества и характеристик необходимых компонентов.

Введем следующие булевы переменные, принимающие единичные значения только в случае выбора k вариантов построения:

θ_{ik} – i -й задачи,

θ_{jk} – j -го компонента КС,

θ_{Rk} – R -го промежуточного узла сети КС,

θ_{dk} – каналов связи на маршруте соединения

для решения задачи.

Таким образом, для нахождения оптимального распределения необходимо найти матрицу Θ , при которой затраты минимизируются.

Теперь можно утверждать, что основная задача, подлежащая решению на втором этапе, заключается в минимизации затрат на построение компонентов, описываемая следующим выражением

$$C = \sum_{\alpha} \sum_k c_{\alpha k} \theta_{\alpha k} + \sum_{\beta} \sum_k c_{\beta k} \theta_{\beta k} \rightarrow \min$$

при ограничениях, описываемых следующими выражениями:

$$P_{i0}(\theta_{ik}, \theta_{ok}) \times \left[\begin{aligned} &P_{Rk}(\theta_{Rk}, \theta_{iRk})(1 - P_{ijk}(\theta_{ijk}, \theta_{Rjk}, \theta_{jk})) + \\ &+ (1 - P_{Rk}(\theta_{Rk}, \theta_{iRk}))(1 - P_{ij}(\theta_{ijk}, \theta_{jk})) \end{aligned} \right] \geq P_i^*;$$

$$\sum_k \theta_{\alpha k} = 1, \alpha = i, j, R,$$

$$\sum_k \theta_{\beta k} = 1, \beta = \{iR, ij, jR, j0\},$$

$$\text{где } P_{Rk}(\theta_{Rk}, \theta_{iRk}) = \left(\sum_k P_{Rk} \theta_{Rk} \right) \left(\sum_k P_{iRk} \theta_{iRk} \right);$$

$$P_{ijk}(\theta_{ijk}, \theta_{Rjk}, \theta_{jk}) = \prod_j \left[1 - \left(1 - \sum_k P_{ijk} \theta_{ijk} \right) \left(1 - \sum_k P_{Rjk} \theta_{Rjk} \right) \left(\sum_k P_{jk} \theta_{jk} \right) \right],$$

$$P_{ik}(\theta_{ik}, \theta_{ok}) = \left(\sum_k P_{ik} \theta_{ik} \right) \left(\sum_k P_{ok} \theta_{ok} \right),$$

$$P_{ij}(\theta_{ijk}, \theta_{jk}) = \prod_j \left[1 - \left(\sum_k P_{ijk} \theta_{ijk} \right) \left(\sum_k P_{jk} \theta_{jk} \right) \right].$$

Выводы

В работе предложен подход к синтезу технической структуры системы управления объектом критического применения.

Решение такой задачи подразумевает два этапа, включающие синтез наименьшей возможной совокупности компонентов для реализации системы управления, их расположения в рамках соответствующей компьютерной системы, количества и характера взаимосвязей между компонентами, а также синтез приемлемых вариантов реализации каждого из компонентов и взаимосвязей.

В процессе синтеза учитываются требования по доступности компонентов СУ, процесс ее функционирования в контексте окружающей среды при условии возможных воздействий.

Ближайшим направлением дальнейших исследований является выработка подходов к оптимизации возможных распределений для множеств решаемых задач управления и доступных компонентов КС СУ.

Список литературы

1. Коваленко, А.А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Х.: ХУ ВС, 2014. – Вып. 1 (117). – С. 180-184.
2. Кучук, Г.А. Синтез структуры вычислительной сети для иерархической системы управления / Г.А. Кучук, А.В. Королев, О.В. Муравьев, О.Ю. Набока // Сб. научн. трудов. Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1994. – Вып. 2. – С. 90-93.
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. – Вип. 7 (114). – С. 106-112.
4. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.
5. Мамиконов, А.Г. Математическая модель и алгоритм выбора оптимальной структуры типового контура управления ЛА / А.Г. Мамиконов, А.Д. Цвиркун, В.Н. Новиков, В.К. Атинфиев // М.: Сб. трудов ИПУ, 1975. – Вып. 6. – С. 180-184.

Поступила в редколлегию 4.01.2014

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

**ПІДХОДИ ДО СИНТЕЗУ ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ,
ЩО ФОРМУЄ СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

А.А. Коваленко

У статті розглянуто підходи до синтезу технічної структури комп'ютерної системи, що лежить в основі сучасних систем управління об'єктами критичного застосування. Виділено та описано основні етапи синтезу, а також характерні задачі, що розв'язуються на них. Крім того, зроблено постановку та формалізацію відповідних задач синтезу при урахуванні вимог до доступності компонентів системи і вимог до процесу її функціонування в контексті оточуючого середовища при умові можливих зовнішніх впливів.

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

**APPROACHES TO SYNTHESIS OF TECHNICAL STRUCTURE OF A COMPUTER SYSTEM,
WHICH FORMS CONTROL SYSTEM FOR CRITICAL APPLICATION OBJECT**

A.A. Kovalenko

The paper discusses approaches to synthesis of technical structure of a computer system, which is underlying for modern critical application objects' control systems. The main stages of the synthesis are marked out and described, as well as appropriate problems that should be resolved. Moreover, appropriate synthesis tasks were raised and formalized subject to requirements to the system's components availability and requirements to operation process under environment conditions and possible impact.

Keywords: synthesis, control, problem, route, interval, structure, system, stage, component, formalization, connection.