

Інформаційні технології

УДК 004.728 : 519.87

А.А. Коваленко, Г.А. Кучук

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РЕКОНФИГУРАЦИЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ

В статье предложен метод управления реконfigurацией информационной структуры компьютерной системы объекта критического применения при включении оперативных задач в систему управления. Проведен анализ особенностей, возникающих при реконfigurации таких систем без ограничений и с ограничениями на ресурсы. Предложены выражения, позволяющие определить параметры оптимальной информационной структуры системы относительно количества средних потерь в единицу времени.

Ключевые слова: информационная структура, система управления, иерархический уровень управления, компонент, оперативная задача.

Введение

Эволюция и реконfigurация компьютерных систем (КС) на сегодняшний день представляют собой плохо формализованные задачи, вследствие динамического характера изменений потребностей абонентов КС, разнообразных характеристик компонентов КС и принципов управления, реализованных в них [1 – 4]. Кроме того обширный спектр задач, связанных с активностями жизненного цикла систем управления (СУ) объектами критического применения (КП), являются слабо изученными, поскольку уже существует и еще разрабатывается множество факторов, подходов и соответствующих критериев.

С точки зрения синтеза различных структур систем управления, одной из актуальных задач является оценка качества варианта такой структуры, и, в свою очередь, соответствующая динамика функционирования составляющих ее компонент.

К важным подзадачам, подлежащим решению в процессе синтеза структуры СУ, относятся определение оптимального числа уровней иерархии, оптимальное распределение решаемых задач по таким уровням, а также выбор конкретных компонент уровней для решения поставленных задач [5 – 8]. Такие подзадачи подлежат решению при множестве наложенных совместимых ограничений. Таким образом, основная задача состоит в обеспечении такого функционирования СУ, которое позволит минимизировать технические потери и экономические затраты для всей иерархической структуры СУ.

Целью данной статьи является разработка метода управления реконfigurацией информационной структуры компьютерной системы объекта критического применения при включении оперативных задач в систему управления.

1. Особенности реконfigurации информационной структуры компьютерной системы объекта критического применения при включении оперативных задач в систему управления

Требованием к иерархической структуре СУ является ее полнота – должна быть реализована полная функциональность, от получения заявок от объекта КП до их обработки конечным компонентом СУ и выдачи соответствующего результата.

При формализации связей между множествами компонент и уровней СУ объектом КП удобно использовать вероятностный подход, когда факт окончания обслуживания заявки некоторым компонентом приводит к появлению заявки на одном или определенном множестве других компонент с заданной вероятностью. Таким образом, становится возможным использовать следующие модели для представления СУ:

– системы сбора и предварительной обработки информации: на нижних уровнях содержат компоненты, позволяющие собирать и обрабатывать информацию, при этом на более высокие уровни иерархии передается лишь незначительная часть информации;

– СУ с вертикалью управления: сбор и обработка информации производится исключительно компонентами нижних уровней, не оказывая влияния на загрузку верхних уровней; при этом последние управляют загрузкой нижних уровней;

– сложные СУ сбора и обработки информации: сбор и обработка информации может производиться компонентами каждого из уровней иерархии СУ.

Выбор структуры СУ объектом КП на сегодняшний день может осуществляться с использова-

нием множества моделей и методов, основанных на теории массового и имитационном моделировании. Исследование таких СУ, в свою очередь, производится посредством методов статистического моделирования.

В общем случае, каждый компонент более высокого уровня иерархии СУ получает меньшее количество заявок, причем такой поток можно рассматривать как простейший. Это приводит к возможности анализа функционирования каждого из компонент определенного уровня независимо от функционирования компонент более низкого уровня.

В стационарном режиме работы СУ, удобно выбрать критерием функционирования i -го ее компонента количество средних потерь в единицу времени, описываемое линейной зависимостью с коэффициентами c_i и d_i [9]:

$$\mathfrak{Z}_i = c_i n_i + d_i, \quad (1)$$

где n_i – среднее количество задач в i -м компоненте, а коэффициент c_i – среднее значение потерь в единицу времени вследствие пребывания задачи в системе обслуживания компонента.

Таким образом, выражение (1) представляет собой сумму потерь в единицу времени вследствие задержек передачи команд по вертикали управления и расходов в единицу времени на эксплуатацию компонента СУ. Сумму всех издержек СУ несложно получить суммированием потерь, описанных выражением (1), по всем компонентам рассматриваемой СУ. При однородности структуры СУ объектом КП в рамках каждого из уровней, величина общего критерия функционирования такой СУ, состоящей из ξ иерархических уровней, может быть вычислена достаточно просто, используя следующее рекуррентное выражение:

$$\mathfrak{Z}(\xi) = z_{\xi-1} \mathfrak{Z}(\xi-1) + \mathfrak{Z}_{\xi},$$

где $\mathfrak{Z}(\xi)$ – оценка критерия функционирования для ξ -уровневой системы, $\mathfrak{Z}(\xi-1)$ – соответствующая средняя оценка критерия функционирования в узлах предшествующего уровня, причем количество таких подсистем равно $z_{\xi-1}$, \mathfrak{Z}_{ξ} – оценка критерия функционирования в узле высшего уровня.

На основании вышеприведенного рекуррентного выражения можно записать что

$$\mathfrak{Z}(\xi) = \sum_{i=1}^{\xi} \mathfrak{Z}_i \prod_{j=1}^{\xi} z_j, \quad (2)$$

где z_j – количество компонент уровня j , связанных с одним компонентом уровня $j+1$.

При условии наличия в СУ исключительно простейших потоков, распределение длительностей их обслуживания можно описать, используя показа-

тельные законы, компоненты являются надежными, каждая из заявок равновероятно может поступить на следующий уровень иерархии и допускается пренебрегать длиной очереди в компонентах. Это позволяет использовать выражение (2) для оценивания различных вариантов построения СУ с целью выявления наиболее перспективных. В таком случае интенсивность входного потока заявок для каждого из компонент СУ уровня i может быть вычислена с использованием следующего выражения:

$$\lambda_i = \Lambda \cdot \left(\prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=1}^{\xi} z_j \right)^{-1},$$

где Λ – суммарная интенсивность потока заявок от объекта КП к СУ, k_j – коэффициент обратный вероятности передачи заявки на следующий уровень иерархии внутри СУ.

Принимая во внимание выражения (1) и (2), получим:

$$\mathfrak{Z}(\xi) = \sum_{i=1}^{\xi} c_i \Lambda \left(d_i + \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=1}^{\xi} z_j - \Lambda \right)^{-1} \right) \cdot \prod_{j=1}^{\xi} z_j.$$

При дальнейшей детализации структуры и состава СУ, в терминах уровней и компонент (c_i, μ_i, k_i), используя вышеприведенное выражение, становится возможным определение оптимальных параметров структуры СУ объектом КП. Таким образом, можно записать следующую структуру системы уравнений относительно оптимальных значений z_i^* :

$$c_i \Lambda \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=1}^{\xi} z_j - \Lambda \right)^{-1} = d_i, \quad i = \overline{1, \xi-1},$$

решением которой есть следующее рекуррентное соотношение:

$$z_i^* = \Lambda \cdot \left(1 + \sqrt{c_i/d_i} \right) / \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=i+1}^{\xi} z_j^* \right).$$

Если дополнительно задать условие, что стоимость эксплуатации компонент уровня i пропорциональна их интенсивности обслуживания заявок с коэффициентами γ_i и δ_i ($d_i = \gamma_i \mu_i + \delta_i$) [9], то соответствующее оптимальное значение последнего может быть вычислено следующим образом:

$$\mu_i^* = \Lambda / \left(\prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=1}^{\xi} z_j + \sqrt{c_i \cdot \Lambda} / \left(\gamma_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=1}^{\xi} z_j \right) \right).$$

С целью дальнейшего описания, предположим, что имеет место типовой случай с моделью СУ с вертикалью управления, когда сбор и обработка ин-

формации производится исключительно компонентами нижних уровней, не оказывая влияния на загрузку верхних уровней. Таким образом, на каждый уровень иерархии СУ поступает поток заявок Λ_i , где $i = \overline{1, \xi}$. В результате их обслуживания компонентами уровня иерархии генерируются сигналы управления и соответствующие заявки для низлежащих (либо подчиненных) уровней. Пусть, интенсивность такого потока заявок для компонента уровня i равна

$$\lambda_i = \left(\sum_{j=1}^{\xi} \Lambda_j \right) \cdot \left(\prod_{j=i}^{\xi-1} z_j \right)^{-1},$$

где $i = \overline{1, \xi}$, z_j – число управляемых компонент низлежащего уровня, ξ – общее число уровней.

В таком случае, в единицу времени, суммарные издержки в СУ можно вычислить таким образом:

$$W(\xi) = \sum_{i=1}^{\xi} \left[\frac{c_i \sum_{j=1}^{\xi} \Lambda_j}{\mu_i \prod_{j=1}^{\xi-1} z_j - \sum_{j=1}^{\xi} \Lambda_j + d_i} \right] \cdot \prod_{j=1}^{\xi} z_j.$$

При дальнейшей детализации структуры и состава СУ, в терминах уровней и компонент ($c_i, d_i, \mu_i, \Lambda_i$), становится возможным определение оптимальных параметров структуры СУ объектом КП для минимизации $\mathfrak{Z}(\xi)$. Таким образом, можно записать следующую структуры системы уравнений относительно оптимальных значений z_i^* :

$$\alpha_i \sum_{j=1}^m \Lambda_j \left(\mu_i \prod_{j=i}^m x_j^* - \sum_{j=1}^m \Lambda_j \right)^{-1} = \beta_i, \quad i = \overline{1, m-1},$$

решением которой есть следующее рекуррентное соотношение:

$$z_i^* = \sum_{j=1}^{\xi} \Lambda_j \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i}} \right) \cdot \left(\mu_i \prod_{j=i+1}^{\xi} z_j^* \right)^{-1}, \quad i = \overline{1, \xi-1}.$$

2. Особенности реконфигурации информационной структуры при наличии ограничений

При наличии ограничений на количество компонент СУ (\aleph), имеем следующее:

$$\sum_{i=1}^{\xi} \prod_{j=1}^{\xi} z_j \leq \aleph. \quad (3)$$

Если полученное множество оптимальных значений z_i^* не удовлетворяет такому соотношению, то необходимо вычислить новое множество $\{z_i\}$, обеспечивающих минимизацию $\mathfrak{Z}(\xi)$ при выполнении

соотношения (3). Это становится возможным, например, при использовании метода множителей Лагранжа. Получим:

$$F(x_1, \dots, x_{\xi-1}, f) = \mathfrak{Z}(\xi + fg),$$

где $g = \sum_{i=1}^{\xi} \prod_{j=1}^{\xi} z_j - \aleph$, f – множитель Лагранжа.

Тогда:

$$\bar{z}_i = \Lambda \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=i+1}^{\xi} \bar{z}_j \right)^{-1} \cdot \left(1 + \sqrt{c_i (d_i + f)} \right)^{-1},$$

при этом $i = \overline{1, \xi-1}$, а f можно найти используя следующее выражение:

$$\sum_{i=1}^{\xi-1} \Lambda \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} z_j \right) \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i + f}} \right) = \aleph - 1.$$

При ограничении, равном Ξ , для расходов g на эксплуатацию СУ в единицу времени, можно записать следующее выражение:

$$g = \sum_{i=1}^{\xi} d_i \prod_{j=1}^{\xi} d_j - \Xi = 0. \quad (4)$$

Теперь становится возможным определить параметры оптимальной структуры СУ:

$$\bar{z}_i = \Lambda \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=i+1}^{\xi} \bar{z}_j \right)^{-1} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i \cdot (1+f)}} \right);$$

$$\sum_{i=1}^{\xi} d_i \Lambda \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i \cdot (1+f)}} \right) \cdot \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \right)^{-1} = \Xi - \beta_{\xi}.$$

При одновременном соблюдении равенств (3) и (4) имеем:

$$F(x_1, \dots, x_{\xi-1}, f_1, f_2) = \mathfrak{Z}(\xi) + f_1 g_1 + f_2 g_2;$$

$$g_1 = \sum_{i=1}^{\xi} c_i \prod_{j=1}^{\xi} z_j - \Xi;$$

$$g_2 = \sum_{i=1}^{\xi} d_i \prod_{j=1}^{\xi} z_j - \aleph$$

и искомое число управляемых компонент каждого из низлежащих уровней иерархии системы управления объектом критического применения одним компонентом вышестоящего уровня может быть получено следующим образом:

$$\bar{z}_i = \frac{\Lambda \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i (1+f_1) + f_2}} \right)}{\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \prod_{j=i+1}^{\xi} \bar{z}_j}; \quad i = \overline{1, m-1}; \quad m \geq 4.$$

Для нахождения значений f_1 и f_2 , в свою очередь, можно использовать следующую систему:

$$\sum_{i=1}^{\xi-1} d_i \Lambda \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i(1+f_1)+f_2}} \right) \cdot \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} k_j \right)^{-1} = \Xi - \beta \xi;$$

$$\sum_{i=1}^{\xi-1} \Lambda \left(1 + \sqrt{\frac{c_i}{d_i(1+f_1)+f_2}} \right) \cdot \left(\mu_i \prod_{j=1}^{i-1} x_j \right)^{-1} = \Xi - 1.$$

Выводы

В статье рассмотрен метод управления реконфигурацией информационной структуры компьютерной системы объекта критического применения при включении оперативных задач в систему управления. Проведен анализ особенностей, возникающих при реконфигурации таких систем без ограничений и с ограничениями на ресурсы. Предложены и обоснованы выражения, позволяющие определить параметры оптимальной информационной структуры системы относительно количества средних потерь в единицу времени.

Ближайшим направлением дальнейших исследований является разработка алгоритма, реализующего предложенный метод.

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. Коваленко, А.А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Сборник научных трудов Харьковского университета Воздушных Сил. – Х.: ХУ ВС, 2014. – Вып. 1(38). – С. 116 – 119.

3. Коваленко, А.А. Подходы к оптимизации распределения задач управления по компонентам компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Наука у техника Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2014. – Вып. 2(15). – С. 158 – 160.

4. Кучук, Г.А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Х.: ХУ ВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 93 – 96.

5. Кучук, Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення / Г.А. Кучук. – Х.: ХУПС, 2013. – 264 с..

6. 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. Вып. 2. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1994. – С. 90 – 93.

7. 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.

8. 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.

9. 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 // Сб. трудов ИПУ. – М.: ИПУ, 1975. – Вып. 6. – С. 80 – 84.

Надійшла до редколегії 1.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харківський національний економічний університет імені Саймона Кузнеця, Харків.

МЕТОД УПРАВЛІННЯ РЕКОНФІГУРАЦІЄЮ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТА КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ВКЛЮЧЕННІ ОПЕРАТИВНИХ ЗАВДАНЬ В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ

А.А. Коваленко, Г.А. Кучук

У статті запропоновано метод управління реконфигурацією інформаційної структури комп'ютерної системи об'єкта критичного застосування при включенні оперативних завдань в систему управління. Проведено аналіз особливостей, що виникають при реконфигурації таких систем без обмежень і з обмеженнями на ресурси. Запропоновано вирази, що дозволяють визначити параметри оптимальної інформаційної структури системи щодо кількості середніх втрат в одиницю часу.

Ключові слова: інформаційна структура, система управління, ієрархічний рівень управління, компонент, оперативне завдання.

CONTROL METHOD FOR RECONFIGURATION OF INFORMATIONAL STRUCTURE OF A CRITICAL APPLICATION OBJECT'S CONTROL SYSTEM CONTAINING OPERATIONAL TASKS

A. A. Kovalenko, G. A. Kuchuk

The paper proposes control method for reconfiguration of informational structure of a critical application object's control system containing operational tasks. It was performed an analysis concerning features related to reconfiguration of such systems Considering both cases: presence and absence of restrictions on resources. Expressions are proposed that allow to determine the parameters of the optimal informational structure of the system relative to the number of average losses per time unit.

Keywords: information structure, control system, hierarchical level of control, component, operational task.