
УДК 004.728 : 519.87

Г.А. Кучук¹, А.А. Коваленко², А.А. Янковский²

¹ Харьковський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

² Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭВОЛЮЦИИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Сформулирована проблема, возникающая при построении моделей топологических структур, учитывающих динамику развития конкретных компонент компьютерной сети, лежащей в основе системы управления. Предложена математическая модель, позволяющая проанализировать процесс эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения в течение фиксированного временного интервала.

Ключевые слова: управление, эволюция, структура, система, уровень, компонент, связь.

Введение

В настоящее время обширный спектр задач, неразрывно связанных с жизненным циклом систем управления (СУ) различными объектами, является недостаточно изученной задачей вследствие существования множества факторов, подходов и применимых критериев. Особую актуальность такие задачи имеют в аспекте реализации процессов мониторинга и управления объектами критического применения (КП).

В [1 – 6] 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; оптимизацию распределения задач управления по компонентам КС.

Формализация задач, связанных с планированием эволюции топологических структур компьютерных систем, подразумевает, как правило, по-

строение моделей, учитывающих динамику развития конкретных компонент. Основная проблема, возникающая при построении таких моделей, заключается в выборе наилучшего способа формализации процесса динамической эволюции компонент КС и их компьютерных сетей, что особенно важно для КС объектами КП.

Целью данной статьи является разработка подходов к моделированию процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения в течение фиксированного временного интервала.

Результаты исследований

При моделировании процесса эволюции топологической структуры КС (и лежащих в их основе компьютерных сетей) СУ основными объектами являются следующие компоненты: источники информации, адресаты информации, а также характер и количество связей между ними. Поэтому при формализации задачи для компонент КС необходимо

задавать как возможные сценарии их эволюции, так и характеристики информационных потоков, связанных с ними. При формализации задачи, в наиболее общем случае, можно говорить об одном из двух возможных сценариев эволюции: фиксированном либо управляемом. Фиксированный сценарий подразумевает априорную регламентацию деятельности СУ и неразрывно связан с используемыми для эволюции технологиями. При реализации управляемого сценария, при котором планирование эволюции выполняется динамически и существует ряд внешних ограничений разнообразного характера, решение задачи наиболее рационально искать в определенном классе специфических вектор-функций, что, в свою очередь, может приводить как к существенному усложнению формализации и решения задачи, так и к отрыву от реально доступных технологий для реализации такой эволюции.

Нахождение оптимального варианта процесса эволюции КС заключается, в общем случае, в определении конкретных вариантов эволюции компонент из множества возможных вариантов при существующих ограничениях и определенных временных событиях, а также характере и динамике существующих информационных потоков.

Модель эволюции узлов компьютерной сети. Процесс эволюции компьютерной сети будем рассматривать на временном интервале $[0, T]$, разбитом на M временных участков возможного развития топологии сети.

$$[0, T] = \bigcup_{m=1}^M [\tau_{m-1}, \tau_m], \tau_0 = 0, \tau_M = T.$$

Будем рассматривать J автономных компонент компьютерной сети (каждый j -й компонент ($j = \overline{1, J}$) предполагает возможность автономного ввода и частичной обработки информации СУ объектом КС). Каждый из компонент включает I_j узлов ввода и V_j узлов обработки, причем данные множества могут пересекаться.

Введем следующие переменные: $z_{i,jm}$ – затраты на развитие узла ввода i_j ($i_j = \overline{1, I_j}$) в период m ; $z_{v,jm}$ – затраты на развитие узла обработки v_j ($v_j = \overline{1, V_j}$) в период m ; P_{jm} – резерв вычислительного ресурса компонента j для обработки информации на начало периода m ; $P_{i,jm}$ – размер вычислительного ресурса, необходимого для обработки дополнительной информации, полученной в результате развития узла i_j в m -й период; $\ell, (\ell = \overline{1, L})$ – один из возможных вариантов развития узлов обработки; $P_{v,jm}(\ell)$ – увеличение вычислительного ресурса узла v_j в период m при варианте развития ℓ .

Также введем следующие булевы переменные:

$$x_{i,jm} = \begin{cases} 0, & \text{если узел } i_j \\ & \text{не развивается в } m - \text{й период;} \\ 1, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$y_{v,jm} = \begin{cases} 0, & \text{если узел } v_j \\ & \text{не развивается в } m - \text{й период;} \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases}$$

В принятых обозначениях общий уровень затрат на развитие компонента j за рассматриваемый период равен

$$Z_j = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i_j=1}^{I_j} z_{i,jm} \cdot x_{i,jm} + \sum_{v_j=1}^{V_j} z_{v,jm} \cdot y_{i,jm} \right). \quad (1)$$

Если ресурс средств на развитие компьютерной сети не должен превышать $Z_{\text{зад}}$, то

$$\sum_{j=1}^J Z_j \leq Z_{\text{зад}}. \quad (2)$$

Для определения варианта развития узлов обработки воспользуемся неравенством, выполнение которого обеспечивает возможность обработки возникающей дополнительной нагрузки:

$$P_j^{(0)} = \sum_{v_j=1}^{V_j} P_{v,jm}(\ell) \geq H \left(\sum_{i_j=1}^{I_j} P_{i,jm} - P_{jm} \right) \forall m, \quad (3)$$

где H – функция Хевисайда. При этом значения резерва моделируются рекуррентно:

$$P_{j(m+1)} = H \left(P_{jm} - \sum_{v_j=1}^{V_j} P_{v,jm}(\ell) \right). \quad (4)$$

При выполнении ограничений (2)-(4) можно в качестве критерия рассмотреть вариант оптимального использования выделенных средств. Тогда целевая функция задачи оптимизации будет иметь вид:

$$P_j^{(0)} \rightarrow \max. \quad (5)$$

Модель эволюции транзитных узлов в компьютерной сети. Наибольшее влияние на эволюцию топологии компьютерной сети оказывает динамика эволюции связей и характеристики передаваемой посредством их информации. Разницу интенсивностей между исходящим и входящим информационными потоками в компоненте j за период m можно вычислить как

$$Q_{jm} = Q_{jm}^0 + Q_{jm}^H - Q_{jm}^B,$$

где Q_{jm}^0 – значение разницы в начальный период;

Q_{jm}^H – интенсивность исходящего информационного потока; Q_{jm}^B – интенсивность входящего информационного потока.

Введем следующие переменные: $x_{(ij)m}$ – интенсивность информационного потока между ком-

понентами j и j' в период m ; $\hat{\theta}$ – множество связей в компьютерной сети, направление передачи данных в которых строго регламентировано; $\tilde{\theta}$ – множество связей в компьютерной сети, направление передачи данных в которых априорно неизвестно; θ_j^1 – подмножество θ , для всех элементов которого вторым индексом в паре $(j'j)$ является индекс j ; θ_j^2 – подмножество θ , для всех элементов которого первым индексом в паре (jj') является индекс j ; $z_{(jj')m}^\xi$ – булева переменная, принимающая единичное значение только в случае, когда между компонентами j и j' в период планирования m начата реализация промежуточного компонента типа ξ ($\xi = \overline{1, L_{(jj')}}$, $(jj' \in \theta)$); $s_{(jj')}^\xi$ – пропускная способность промежуточного компонента (jj') типа ξ .

Можно утверждать, что в каждый период планирования m для всех компонент компьютерной сети справедливо утверждение: суммарный объем отправляемой информации не меньше величины доставляемой информации и, соответственно, справедливо следующее неравенство:

$$\sum_{j=1}^J Q_{jm} \leq 0.$$

Таким образом, можно записать следующее балансное соотношение для компонента j в период планирования эволюции m :

$$\sum_{(jj') \in \theta_j^1} x_{(jj')m} - \sum_{(jj') \in \theta_j^2} x_{(jj')m} = Q_{jm}. \quad (6)$$

Ограничение на интенсивность информационного потока между двумя компонентами в каждый из периодов планирования эволюции можно записать в следующем виде:

$$\sum_{\xi=1}^{L_{(jj')}} \sum_{m=1}^{t-M_{jj'}^\xi} s_{(jj')}^\xi z_{(jj')m}^\xi \geq x_{(jj')m} + x_{(jj')m}, \quad (jj' \in \theta). \quad (7)$$

Далее введем такие переменные: R_m – суммарный ресурс, выделенный для промежуточных компонентов в период планирования m ; $R_{(jj')\eta}^\xi$ – затраты ресурса на реализацию участка сети типа ξ между парой компонентов (jj') в период η ; $M_{(jj')}^\xi$ – продолжительность реализации транспортного компонента типа ξ между парой компонентов (jj') .

Теперь можно записать условие ограниченного потребления ресурса в период планирования m :

$$\sum_{(jj') \in \theta} \sum_{\xi=1}^{L_{(jj')}} \sum_{\eta=1}^{L_{(jj')\eta}^\xi} R_{(jj')\eta}^\xi z_{(jj')m-\eta+1}^\xi \leq R_m, \quad (8)$$

$$L_{(jj')m}^\xi = \min \left\{ M_{(jj')m}^\xi \right\}.$$

С точки зрения оптимизации процесса эволюции компьютерной сети, проблема заключается в решении двух связанных задач: оптимального планирования развития компонент и оптимального планирования развития сети. В таком случае, целевая функция будет иметь следующий вид, при ограничениях (6)-(8):

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^I K_{i,jm} + \sum_{v=1}^V K_{v,jm} \right) + \sum_{m=1}^M \left(\sum_{(jj') \in \theta} Q_{(jj')m} x_{(jj')m} + \sum_{\xi=1}^{L_{(jj')}} K_{(jj')m}^\xi z_{(jj')m}^\xi \right) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $Q_{(jj')m}$ – удельные эксплуатационные затраты в период планирования m , $K_{(jj')m}^\xi$ – капитальные затраты на реализацию промежуточного компонента типа ξ между компонентами j и j' , K_{imj} – капитальные затраты на реализацию узла i комплексного компонента j , K_{vmj} – капитальные затраты на реализацию узла v комплексного компонента j (рассчитываются при решении задачи (2) – (5)).

Выводы

В статье сформулирована проблема, возникающая при построении моделей топологических структур, учитывающих динамику развития конкретных компонент компьютерной сети, лежащей в основе системы управления. Предложена математическая модель, позволяющая проанализировать процесс эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения в течение фиксированного временного интервала. Предложенная модель учитывает динамику развития конкретных компонент сети в зависимости от их типа и назначения.

Направлением дальнейших исследований является разработка алгоритма реализации предложенной модели.

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. – X.: ХУ ПС, 2014. – Вип. 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. – X.: ХУ ПС, 2014. – Вип. 1(38). – С. 116 – 119.
3. Коваленко, А.А. Подходы к оптимизации распределения задач управления по компонентам компьютер-

ной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – 2014. – Вип. 2(15). – С. 158 – 160.

4. 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.: ХУПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.

5. Кучук, Г.А. Моделювання трафіка мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук,

І.Г. Кіріллов, А.А. Пашичев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 50-59.

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

Поступила в редколлегию 16.07.2014

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

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЕВОЛЮЦІЇ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, О.А. Янковський

Сформульована проблема, що виникає при побудові моделей топологічних структур, котрі враховують динаміку розвитку конкретних компонент комп'ютерної мережі, базової для системи управління. Запропонована математична модель, що дозволяє проаналізувати процес еволюції топологічної структури комп'ютерної мережі системи управління об'єктом критичного застосування на протязі фіксованого часового інтервалу.

Ключові слова: управління, еволюція, структура, система, рівень, компонент, зв'язок.

MODEL OF PROCESS OF EVOLUTION OF TOPOLOGY COMPUTER NETWORK OF CONTROL THE SYSTEM BY OBJECT OF CRITICAL APPLICATION STRUCTURE

G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, O.A. Yankovskiy

A problem, which arises during creation of topology structure's models, which, in turn, take into account the development dynamic of certain component of the computer network that forms the basis of the control system, is formulated. A mathematical model was proposed; such model allows to analyze the topology evolution process of a computer network, related to critical application object's control system, during fixed time interval.

Keywords: control, evolution, structure, system, layer, component, connection.