

УДК 681.322

Л.Д. ГРЕКОВ, К.О. ЗАПАДНЯ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ РЕИНЖИНИРИНГА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ КОМПАНИИ

Ставится и решается актуальная задача реинжиниринга системы управления территориально распределенной компании (ТРК). Проводится анализ многоуровневой распределенной архитектуры информационно управляющей системы (ИУС) ТРК. Учитывается появление новых функциональных задач и модернизация телекоммуникационных средств ТРК. Для решения задачи структурной оптимизации введены булевы переменные, которые учитывают многоуровневое компонентное представление ИУС ТРК. Решение поставленной задачи осуществляется в два этапа: оптимизация локальных критериев реинжиниринга; многокритериальная оптимизация модернизируемой ИУС ТРК.

Ключевые слова: *реинжиниринг архитектуры системы управления, территориально распределенная компания, многоуровневая архитектура системы управления, многокритериальная структурная оптимизация*

Введение

Развитие распределенных производств привело к созданию территориально распределенных компаний (ТРК), которые имеют длительный жизненный цикл создания и развития [1]. Поэтому актуальна задача реинжиниринга таких систем, так как она связана с большими возможными затратами на модернизацию и развитие ТРК [2]. В рассматриваемой статье решается задача реинжиниринга архитектуры системы управления ТРК, которая имеет многоуровневый и распределенный характер.

Постановка задачи исследования

Вариантность проектных решений реинжиниринга приводит к задаче исследования множества возможных вариантов модернизации ИУС ТРК [3]. При небольшом числе вариантов такое исследование сводится к оценке каждого из них и дальнейшему сравнению с целью выбора наилучшего. Затруднения возникают в случае большого количества вариантов реинжиниринга, когда полный перебор и оценка вариантов вызывает значительные трудности.

В данной статье рассматривается структурная оптимизация реинжиниринга архитектуры системы управления ТРК, которая связана с поиском рационального состава и структуры модернизируемой ИУС ТРК. Оптимизация осуществляется с учетом задаваемого множества критериев и ограничений в реинжиниринге ИУС ТРК.

Рассмотрим многоуровневое представление модернизируемой структуры ИУС ТРК. Пусть оценка результатов реинжиниринга ИУС ТРК осуществляется с помощью задаваемых критериев: надежность (живучесть); производительность; затраты на модернизацию и т.д. Тогда для узлов модернизируемой архитектуры ИУС ТРК требуется выбрать и закрепить аппаратно-программные модули, которые участвуют в реинжиниринге, а также рационально распределить новые или модернизируемые функциональные задачи (ФЗ) таким образом, чтобы получить рациональное решение для реинжиниринга ИУС ТРК по заданным критериям.

Решение задачи исследования

Для решения задачи структурной оптимизации архитектуры ИУС ТРК, воспользуемся методом целочисленного булевого программирования.

Введем булевы переменные:

$$X_{e_{\eta} S_{jQ}; j_{Q1}} = \begin{cases} 1, & \text{если выбрана } e\text{-я версия } \eta\text{-ой ФЗ,} \\ & \text{которая реализуется } S\text{-м модернизируемым} \\ & \text{модулем, который помещен на место} \\ & j_Q\text{-ой компоненты в } j_{Q-1}\text{-ой компоненте} \\ & \text{соседнего верхнего уровня детализации} \\ & \text{ИУС ТРК, которая входит в состав } j_{Q-2}\text{-ой} \\ & \text{компоненты следующего уровня, ...,} \\ & \text{которая входит в } j_1\text{-ю подсистему ИУС ТРК;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В качестве примера структурной оптимизации реинжиниринга многоуровневой архитектуры системы

управління, розглянемо надійність модернізуваної ІУС ТРК в вигляді ймовірності відмови системи:

$$Q = N \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_Q=1}^{n_Q} \sum_{S=1}^{m_Q} \sum_{\eta=1}^{m_Q} \sum_{e=1}^{m_{\eta Q}^Q} P_{\eta} \lambda_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} \times X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} + \lambda^1 t^1 \tau_1 + \lambda^2 t^2 \tau_2 + \dots + \lambda^Q t^Q \tau_Q, \quad (1)$$

де N – загальна кількість нових або модернізуваних ФЗ, використовуваних в реінжинірингу ІУС ТРК; P_{η} – ймовірна частота появи η -ї ФЗ (в шкалі від 0 до 1), $\sum_{\eta} P_{\eta} = 1$; $t_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}$ – час рішення e -ї версії η -ї ФЗ на S -му рівні, в j_Q -му модулі, який входить в j_1 -ю підсистему; $\lambda_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}$ – інтенсивність відмов S -го модуля, який поміщений на місце j_Q -ї компоненти, ..., яка входить в j_1 -ю підсистему при реалізації e -ї версії η -ї ФЗ; λ^i – інтенсивність відмов розподіленої телекомунікаційної мережі (ТМ) ІУС ТРК i -го рівня деталізації; t^i – оцінка часу роботи ТМ i -го рівня архітектури ІУС ТРК.

В компактній формі представлення для будь-якого критерію вигляду (1) багаторівневої архітектури ІУС ТРК має вигляд:

$$C^{(0)}(X) = \sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(0)} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} + \sum_i C_i^{(0)} \tau_i,$$

де

$$C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(0)} = N P_{\eta} \lambda_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} t_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}, \quad C_i^{(0)} = \lambda^i t^i. \quad (2)$$

Для структурної оптимізації реінжинірингу ІУС ТРК необхідно розв'язати наступну задачу цілочисельного лінійного програмування:

Знайти мінімум (2) при обмеженнях:

$$C^{(K)}(X) = \sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(K)} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} + \sum_i C_i^{(K)} \tau_i \leq C_0^{(K)}, \quad K = \overline{1, a}; \quad (3)$$

$$C^{(K'')}(X) = \sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(K'')} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} + \sum_i C_i^{(K'')} \tau_i \leq C_0^{(K'')}, \quad K'' = \overline{a+1, M}; \quad (4)$$

$$\sum_{e, \eta, S} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} = 1, \quad \text{по всім } j_Q \dots j_1; \quad (5)$$

$$\sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(K''')} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} = 1, \quad K''' = \overline{1, m_Q}; \quad (6)$$

$$\sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(K''')} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} \leq 1, \quad S = \overline{1, n_Q}, \quad (7)$$

де $C^{(K')}(X)$ – критерій реінжинірингу, залежачий тільки від характеристик апаратних засобів, наприклад, вартість обладнання; $C^{(K'')}(X)$ – критерій реінжинірингу, залежачий від характеристик ФЗ і апаратних засобів, на яких вони реалізуються, наприклад, продуктивність системи управління; $C_{S j_Q \dots j_1}^{(K')}$ – характеристика S -го модуля

по K' -му критерію реінжинірингу, залежача тільки від типу модуля і куди він поміщений; $C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(K'')}$ – характеристика S -го модуля по K'' -му

критерію, залежача від ФЗ, типу модуля і куди він поміщений; $C^{(K)}$ – характеристика телекомунікаційної мережі i -го рівня деталізації, по K -му критерію якості; $C_0^{(K)}$ – обмеження по значенню K -го критерію, $K = \overline{1, M}$.

Умова (5) означає, що на $j_Q \dots j_1$ -е місце в архітектурі ІУС ТРК поміщені e -я версія η -ї ФЗ і S -й модуль. Умова (6) – на S -й модуль, який знаходиться на місці $j_Q \dots j_1$ компоненти поміщена тільки одна версія η -ї ФЗ. Умова (7) – S -й модуль якщо використовується в модернізації, то в конкретному вузлі ІУС ТРК.

Багатокритеріальну задачу реінжинірингу розв'яземо поетапно.

На першому етапі виробимо незалежні оптимізації найбільш важливих критеріїв реінжинірингу ІУС ТРК.

Необхідно знайти мінімум локальних критеріїв:

$$C^{(K)}(X), \quad k = \overline{1, M}$$

при обмеженнях:

$$\sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} C_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(K)} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} + \sum_i C_i^{(K)} \tau_i \leq C_0^{(K)}, \quad (8)$$

і (3) – (7). В результаті отримаємо екстремальні значення $C^{(K)*}$ по всім заданим критеріям реінжинірингу, $K = \overline{1, M}$.

На другому етапі, внаслідок, проноормуємо задані критерії реінжинірингу:

$$\hat{C}^{(0)}(X) = \alpha_0 \left[\frac{C^{(0)}(X) - C^{(0)*}}{C_0^{(0)} - C^{(0)*}} \right] = \sum_{j_1 \dots j_Q} \sum_{e, \eta, S} \hat{C}_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}}^{(0)} X_{e_{\eta S j_Q \dots j_1}} + Q^{(0)};$$

$$\hat{C}^{(K')} (X) = \sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(K'')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} \times X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K')}, \quad (9)$$

$$\hat{C}^{(K'')} (X) = \sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(K')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} \times X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K'')},$$

где

$$\hat{C}^{(0)} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} = \frac{\alpha_0 C^{(0)} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}}{C_0^{(0)} - C^{(0)*}};$$

$$\hat{C}^{(K')} s_{j_{Q \dots j_1}} = \frac{\alpha_{K'} \hat{C}^{(K')} s_{j_{Q \dots j_1}}}{C_0^{(K')} - C^{(K')*}};$$

$$\hat{C}^{(K'')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} = \frac{\alpha_{K''} \hat{C}^{(K'')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}}{C^{(K'')} - C^{(K'')*}};$$

$$\hat{Q}^{(K)} = \frac{\alpha_K (\sum_i C^{i(K)} r_i - C^{(K)*})}{C_0^{(K)} - C^{(K)*}}, \quad K = \overline{1, M},$$

α_K – весовые коэффициенты критериев реинжиниринга ИУС ТРК, которые можно задать, например, с помощью экспертных оценок

$$\alpha_K \geq 0, \quad \sum_{K=0}^M \alpha_K = 1.$$

Для решения многокритериальной задачи структурного реинжиниринга ИУС ТРК воспользуемся следующими подходами:

1. Проведем минимизацию глобального критерия реинжиниринга, полученного путем суммирования взвешенных локальных критериев (с учетом $\alpha_K, K = \overline{1, M}$).

Тогда необходимо минимизировать:

$$\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(0)} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(0)} +$$

$$+ \sum_{K'} \left(\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(K')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K')} \right) +$$

$$+ \sum_{K''} \left(\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(K'')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K'')} \right), \quad (10)$$

при ограничениях (8), (3) – (7).

2. Минимизация функции максимума:

$$Y(X) = \max_K \hat{C}^{(K)} (X), \quad K = \overline{0, M}.$$

Необходимо найти минимум:

$$L = Y(x^*) = \min_X \max_K \hat{C}^{(K)} (X).$$

Представим набор критериев реинжиниринга ИУС ТРК в виде системы линейных неравенств:

$$\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \tilde{C}^{(0)} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(0)} \geq 0;$$

$$\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \tilde{C}^{(K')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K')} \geq 0, \quad K' = \overline{1, a};$$

$$\sum_{K''} \left(\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \tilde{C}^{(K'')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K'')} \right) \geq 0, \quad K'' = \overline{a+1, M}.$$

В ходе оптимизации превращения неравенства в равенство означает достижение экстремума по данному критерию реинжиниринга ИУС ТРК.

Воспользуемся чебышевскими приближениями для системы линейных неравенств [4]. Тогда минимаксная задача сводится к следующей эквивалентной задаче линейного программирования:

Найти минимум линейной формы:

$$Z = \xi \quad (11)$$

при ограничениях:

$$\xi - \sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(0)} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(0)} \geq 0;$$

$$\xi - \sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(K')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K')} \geq 0, \quad K' = \overline{1, a};$$

$$\xi - \sum_{K''} \left(\sum_{j_1} \dots \sum_{j_{Q \dots j_1}} \sum_{e_{\eta s}} \hat{C}^{(K'')} e_{\eta s j_{Q \dots j_1}} X_{e_{\eta s j_{Q \dots j_1}}} + Q^{(K'')} \right) \geq 0, \quad K'' = \overline{a+1, M},$$

и (8), (3) – (7), где ξ – вспомогательная переменная.

Выводы

Предложенный подход целесообразно использовать в задачах планирования развития территориально распределенных компаний, когда на этапе системной модернизации (реинжиниринга) необходимо выбрать и обосновать рациональную архитектуру модернизируемой системы управления ТРК.

Литература

1. Петров Э.Г. Методология системного анализа и проектирования крупномасштабных ИУС /

Э.Г. Петров, С.И. Чайников, А.Д. Овезгельдыев. – Х.: Рубикон, 1997. – 140 с.

2. Ткачук Н.В. Пространственно-траекторный подход к моделированию процессов адаптивной разработки и реинжиниринга сложных информационно-управляющих систем / Н.В. Ткачук // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – Вып. 4. – С. 93-96.

3. Греков Л.Д. Анализ множества структур-

ных решений реинжиниринга информационной управляющей системы территориально распределенной компании / Л.Д. Греков, О.Е. Федорович // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – Вип. 4. – С. 45-47.

4. Сергиенко И.В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации / И.В. Сергиенко. – К.: Наук. думка, 1988. – 472 с.

Поступила в редакцию: 2.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНИХ РІШЕНЬ РЕІНЖІНІРИНГУ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗПОДІЛЕНОЇ КОМПАНІЇ

Л.Д. Греков, К.О. Западня

Становиться та вирішується актуальна задача реінжинірингу системи управління територіально розподіленою компанією (ТРК). Проводиться аналіз багаторівневої розподіленої архітектури інформаційної управляючої системи (ІУС) ТРК. Враховуючи появу нових функціональних задач і моделювання телекомунікаційних засобів ТРК. Для вирішення задачі структурної оптимізації введено булеві перемінні, які враховують багаторівневе компонентне представлення ІУС ТРК. Рішення поставленої задачі здійснюється в два етапи: оптимізація локальних критеріїв реінжинірингу; багатокритеріальна оптимізація ІУС ТРК, що модернізується.

Ключові слова: реінжиніринг архітектури системи управління, територіально розподілена компанія, багаторівнева архітектура системи управління, багатокритеріальна структура оптимізації.

OPTIMIZATION OF STRUCTURAL SOLUTIONS OF THE TERRITORY-DISTRIBUTED COMPANY CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE REENGINEERING

L.D. Grekov, K.O. Zapadnya

The actual problem of the territory-distributed company (TRC) control system reengineering is stated and solved. The analysis of the multi-level distributed architecture of the TRC information control system (ICS) has been made. The appearance of the new functional tasks and modernization of TRC telecommunication means is taken into account. To solve the problem of structural optimization the Boolean variables were presented. Such variables take into account the multilevel component representation of TRC ICS. The solution of the stated task has been made in two stages: optimization of local reengineering criteria; multi-criteria optimization of modernized TRC ICS.

Key words: reengineering of the control system architecture, territory distributed company, multilevel architecture of the control system, multi-criteria structural optimization

Греков Леонид Дмитриевич – канд. техн. наук, докторант, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Западня Ксения Олеговна – канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.