

УДК 621.3

О.О. Морозов¹, Ю.С. Долгий²¹Академія Внутрішніх військ МВС України, Харків²Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ВИБІР ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІЄРАРХІЧНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Запропонована методика вибору функціональної структури ієрархічної автоматизованої системи управління. Приведені загальні принципи та підходи до процесу синтезу функціональної структури автоматизованої системи управління, обґрунтовані основні етапи цього процесу, сформульована задача синтезу функціональної структури АСУ з урахуванням обмежень.

Ключові слова: ієрархічна автоматизована система управління, синтез, функціональна структура інформаційно-управляючої системи.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні автоматизовані системи управління уявляють собою складні, ієрархічні, багатofункціональні та багатоконтурні комплекси з розвиненими засобами зв'язку між управляючими вузлами. Під час синтезу структури даних систем стоїть задача раціонального відображення множини взаємопов'язаних функцій, які виконуються системою управління, на множину взаємопов'язаних вузлів з відповідними технічними засобами. При цьому необхідно враховувати витрати на створення або реконструкцію системи, витрати на експлуатацію та функціонування та вимоги до оперативності управління та надійності технічних засобів.

Аналіз літератури [1 – 10] показав, що проблема синтезу структури сучасних автоматизованих систем управління включає вибір алгоритмів реалізації функцій управління; вибір комплексу технічних засобів, що забезпечують виконання функцій управління з урахуванням просторового розміщення комплексу та доступності вузлів; розподіл множини виконуваних функцій по вузлах системи з урахуванням взаємозв'язку по технологіям обробки інформації та управління. При цьому повинні виконуватися вимоги до якості управління в системі. При цьому повинні виконуватися вимоги до якості управління в системі

Метою даної статті є подальший розвиток методів синтезу структури автоматизованих інформаційно-управляючих систем відповідно до АСУ критичного застосування.

Основна частина

Під час синтезу структури автоматизованих систем управління виникають задачі розподілення функцій між управляючими комплексами та рештою вузлів системи, вибору технічних засобів та каналів зв'язку з урахуванням різних техніко-економічних характеристик системи, а саме:

- витрати на створення та експлуатацію;

- оперативність, яка характеризується тривалістю виконання циклу управління;
- надійність;
- завантаження вузлів, тощо.

Для вирішення даних проблем існують моделі та алгоритми послідовного синтезу структури системи. Ці моделі та алгоритми можна об'єднати в умовний комплекс, який дозволить визначити наступні характеристики:

- оптимальну кількість та розміщення вузлів управління з урахуванням їх характеристик;
- необхідні заходи для забезпечення живучості системи з урахуванням витрат та заданих ймовірностей несприятливих зовнішніх впливів;
- оптимальне розподілення функцій для сукупності взаємопов'язаних підсистем по заданій множині можливих рівнів та вузлів системи з урахуванням витрат на оснащення вузлів відповідною апаратурою.

Послідовний синтез структури автоматизованої системи управління в загальному випадку можна розбити на чотири етапи. Так, на *першому етапі* визначається кількість та розташування вузлів управління а також склад вузлів, які управляють об'єктами різних класів. При цьому мінімізуються витрати на організацію вузлів з урахуванням доступності об'єктів управління, глобальності управління та ряду інших вимог.

На *другому етапі* визначаються варіанти побудови вузлів та зв'язків між ними, виходячи з вимог до живучості системи управління, при цьому мінімізуються витрати на забезпечення живучості системи з урахуванням заданих ймовірностей несприятливих зовнішніх впливів та можливих захисних заходів, уточнюється склад вузлів, які управляють об'єктами різних класів.

На *третьому етапі* оптимізується розподілення функцій та задач управління за рівнями та вузлами системи, а також обирається комплекс технічних засобів. При цьому мінімізуються витрати на осна-

щення вузлів технічними засобами та їх експлуатацію, враховуються обмеження за оперативністю, апаратною надійністю, тощо.

На *четвертому етапі* аналізується динаміка роботи вузлів обраного варіанту структури системи з використанням імітаційних моделей.

Таким чином, перші два етапи дозволяють обрати топологічну структуру системи, а третій – визначає його функціональну структуру.

Отже, при виборі функціональної структури системи для множини вузлів управління, що працюють з об'єктами різних класів, та заданих функцій управління по кожному класу об'єктів визначається оптимальне розподілення задач взаємозв'язаних підсистем за рівнями та вузлами системи та обирається склад комплексу технічних засобів. Функції управління задаються у вигляді множини задач, які виконуються різними підсистемами (контурами) управління. Для об'єктів різних класів задаються варіанти реалізації задач, які виконуються підсистемами, та їх розподілення за рівнями та вузлами системи. Необхідно так розподілити задачі за рівнями та вузлами системи та обрати такий набір технічних засобів, щоб мінімізувати витрати на оснащення вузлів технічними засобами та їх експлуатацію.

Варіанти розподілення функцій та задач за рівнями та вузлами системи формалізуються в вигляді сукупності взаємозв'язаних альтернативних графів варіантів реалізації структури системи G_0 [11]. Специфіка АСУ критичного застосування закладається в тому, що кожний шлях окремого альтернативного графу відповідає деякому варіанту побудови відповідного контуру управління системи. Підграф, що складається з набору шляхів альтернативних графів, задає структуру всієї системи.

В загальному випадку задача розподілення функцій та комплексу технічних засобів за рівнями та вузлами системи формулюється в наступному вигляді. Нехай Π_{im} – шлях альтернативного графу G_0 варіантів побудови m -го ($m = \overline{1, M}$) контуру управління для i -го класу об'єктів ($i = \overline{1, I}$). Позначимо через F_0 цільову функцію, значення якої визначається обраною сукупністю варіантів побудови окремих контурів, тобто $F_0(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM})$; $F_\alpha(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}) \leq B_\alpha$ – обмеження для всіх контурів об'єктів ($\alpha = \overline{1, \alpha_0}$); $F_\beta(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}) \leq B_\beta$ – обмеження за сукупністю контурів одного об'єкту ($\beta = \overline{1, \beta_0}$); $F_\gamma(\Pi_{im}) \leq B_\gamma$ – обмеження за окремими контурами ($\gamma = \overline{1, \gamma_0}$).

Тоді задача синтезу оптимальної структури АСУ можна записати у вигляді

$$\text{extr } F_0(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}); \quad (1)$$

$$F_\alpha(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}) \leq B_\alpha, \quad \alpha = \overline{1, \alpha_0}; \quad (2)$$

$$F_\beta(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{IM}) \leq B_\beta, \quad \beta = \overline{1, \beta_0}; \quad (3)$$

$$F_\gamma(\Pi_{im}) \leq B_\gamma, \quad \gamma = \overline{1, \gamma_0}, \quad m = \overline{1, M}, \quad i = \overline{1, I}; \quad (4)$$

$$\Pi_{IM} \in G_0. \quad (5)$$

В якості обмежень (2) виступало завантаження технічних засобів вузлів різних рівнів, в якості обмежень (3) – допустиме енергоспоживання об'єктів різних класів, в якості обмежень (4) – оперативність та апаратна надійність по різних контурах. Умова (5) враховує взаємозв'язки логічного типу.

Введемо змінну $x_{nku}^{im} = 1$, якщо k -й варіант n -ї задачі m -го контуру управління i -го об'єкту виконується на u -му рівні, та $x_{nku}^{im} = 0$ – в іншому випадку. Сукупність індексів $\{imnku\}$ однозначно визначає тип засобів, що використовуються l ($l = \overline{1, L}$). Нехай y_{lju} – цілочисленна змінна, яка дорівнює кількості комплексів апаратури l -го типу, яка використовується в j -му вузлі на u -му рівні. Змінні y_{lju} однозначно визначаються обраною сукупністю змінних x_{nku}^{im} . Нехай також λ^{im} – частота виконання задач m -го контуру i -го об'єкту; t_{nku}^{im} – час виконання k -го варіанту n -ї задачі m -го контуру управління i -го об'єкту на u -му рівні; ρ_{lu} – допустиме завантаження технічних засобів l -го типу на u -му рівні.

Очевидно, що

$$\sum_{imnk} \lambda^{im} t_{nku}^{im} x_{nku}^{im} \leq \rho_{lu} y_{lju}, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (6)$$

З урахуванням введених змінних задача формалізується як нелінійна задача математичного програмування з цілочисельними змінними. Детальна постановка задачі для окремого контуру управління та методи її розв'язання в даній публікації не розглядаються.

Оскільки в оптимальне рішення входить лише один з можливих шляхів кожного альтернативного графу варіантів побудови контурів управління, то перейдемо від змінних x_{nku}^{im} до агрегованих змінних $x_{im}^{\mu} = 1$, якщо для побудови m -го контуру управління i -го об'єкту обирається μ -й варіант (μ -й шлях на альтернативному графі G_0), та $x_{im}^{\mu} = 0$ – в іншому випадку. Очевидно, що

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} x_{im}^{\mu} = 1, \quad i = \overline{1, I}, \quad m = \overline{1, M}. \quad (7)$$

Для характеристик варіантів побудови контурів введемо позначення t_{mi}^{μ} – оперативність; R_{mi}^{μ} – апаратна надійність; P_{mi}^{μ} – маса апаратури; E_{mi}^{μ} –

енергоспоживання апаратури; b_{mi}^μ – витрати на експлуатацію апаратури; ρ_{kimj}^μ – загрузка технічних засобів 1-го типу j -го вузла в μ -му варіанті побудови контуру (mi). Данні характеристики визначаються через введені вище характеристики для окремих задач, що виконуються контурами управління.

Змінна y_{lju} дорівнює кількості комплексів апаратури 1-го типу, якою оснащується вузол j ($j = \overline{1, J}$) на u -му рівні ($u = \overline{1, u_0}$), та однозначно визнається обраною сукупністю варіантів побудови контурів управління (набором змінних x_{im}^μ).

З урахуванням введених позначень та змінних задача (1) – (5) записується у вигляді

$$\min \left(\sum_{l,j,u} c_l y_{lju} + \sum_{m,i,\mu} b_{mi}^\mu x_{mi}^\mu \right); \quad (8)$$

$$\sum_{mi} \left(\sum_{\mu=1}^{\mu_0} \rho_{milju}^\mu x_{mi}^\mu \right) \leq y_{lju} \rho_l, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, J}, \quad u = \overline{1, u_0}; \quad (9)$$

$$\sum_{l=1}^L P_l y_{lj' u'} \leq P_{j' u'}^{\text{доп}} \quad \text{для заданих } (j' u'); \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^L E_l y_{lj' u'} \leq E_{j' u'}^{\text{доп}} \quad \text{для заданих } (j' u'); \quad (11)$$

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} t_{mi}^\mu x_{mi}^\mu \leq t_{mi}^{\text{доп}}, \quad i = \overline{1, I}, \quad m = \overline{1, M}; \quad (12)$$

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} \ln R_{mi}^\mu x_{mi}^\mu \leq \ln R_{mi}^{\text{доп}}, \quad i = \overline{1, I}, \quad m = \overline{1, M}; \quad (13)$$

$$\sum_{\mu=1}^{\mu_0} x_{mi}^\mu = 1, \quad i = \overline{1, I}, \quad m = \overline{1, M}; \quad (14)$$

$$\prod_{\mu' m' i' \in V_{mi}^\mu} (x_{m' i'}^{\mu'} - 1) x_{mi}^\mu = 0 \quad \text{для заданих } (\mu' m' i'); \quad (15)$$

$$\sum_{\mu' m' i' \in W_{mi}^\mu} (x_{m' i'}^{\mu'} - 1) x_{mi}^\mu = 0 \quad \text{для заданих } (\mu' m' i'). \quad (16)$$

В (8) перший доданок враховує витрати на оснащення вузлів апаратурою, які приведені до відповідної одиниці часу з урахуванням нормативних коефіцієнтів, другий доданок – витрати на експлуатацію апаратури. В (9) ρ_l – допустиме завантаження одного комплексу апаратури 1-го типу. В (10) – (13) $P_{ju}^{\text{доп}}$, $E_{ju}^{\text{доп}}$, $t_{mi}^{\text{доп}}$, $R_{mi}^{\text{доп}}$ – відповідно допустимі величини маси, енергоспоживання, оперативності та апаратної надійності. Обмеження (15) та (16) враховують логічні взаємозв'язки між побудови контурів типу «ГА» і «АБО»: v_{mi}^μ – множина індексів варіантів, які повинні бути обрані, якщо обирається μ -й варіант m -го контуру i -го класу об'єктів, а w_{mi}^μ – множина індексів варіантів, серед яких буде обрано один, якщо обирається μ -й варіант m -го

контуру i -го класу об'єктів. Обмеження (9) може бути записано у вигляді

$$\sum_{mi} \left(\sum_{\mu} (\rho_{milju}^\mu / \rho_l) x_{mi}^\mu \right) \leq y_{lju}, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, J}, \quad u = \overline{1, u_0}.$$

Позначимо $\rho_{milju}^\mu / \rho_l = \bar{\rho}_{milju}^\mu$, тоді

$$\sum_{mi} \left(\sum_{\mu} \bar{\rho}_{milju}^\mu x_{mi}^\mu \right) \leq y_{lju}, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (17)$$

Для розв'язання задачі (8) – (17) існує алгоритм, який використовує схему «гілок» і «границь» та локальної оптимізації. На першому етапі роботи алгоритму перелічуються можливі варіанти побудови окремих контурів управління та виключаються варіанти, які є неприпустимими за локальними обмеженнями контурів (за оперативністю виконання задач контуру та апаратної надійності). Обчислюються агреговані характеристики варіантів. Після цього виключаються неприпустимі комбінації варіантів за загальними для окремих класів об'єктів обмеженнями (масі та енергоспоживанню апаратури). Для цього в кожному з контурів, крім одного, який відноситься до деякого класу об'єктів, обираються варіанти з мінімальним значенням відповідних параметрів, а в одному з контурів послідовно перебираються всі варіанти. Варіанти даного контуру, що не задовольняють загальним обмеженням, відкидаються. Ця процедура виконується і в процесі розгалуження задачі після фіксації варіантів, в яких задачі виконуються на об'єктах управління.

Розгалуження відбувається за припустимими варіантами побудови окремих контурів управління (за припустимими шляхами альтернативних графів розподілення функцій за рівнями управління G_{mi} , $i = \overline{1, I}$, $m = \overline{1, M}$). При цьому кількість рівнів розгалуження не перевищує IM .

Оцінка для цільової функції (8) визначається відношенням

$$\sum_{mi} \min_{\mu \in \{mi\}} \left\{ \sum_{lj} c_l \bar{\rho}_{milj}^\mu + b_{mi}^\mu \right\}.$$

Оцінка на h -у кроці розгалуження обчислюється наступним чином:

$$\sum_{lj} c_l y_{lj}^h + \sum_{\{mi\}_h} b_{mi}^h + \sum_{mi \in \{mi\}_h} \min \left\{ \sum_{lj} (c_{lj}^h \bar{\rho}_{milj}^\mu) + b_{mi}^\mu \right\}, \quad (18)$$

Де перші два доданки враховують витрати для зафіксованих до h -го кроку розгалуження варіантів побудови контурів, а частина що залишається враховує витрати на варіанти побудови контурів, які не зафіксовані до h -го кроку розгалуження; $\mu_h \in \{mi\}_h$ – зафіксований варіант, що належить до множини $\{mi\}_h$ зафіксованих варіантів до h -го

кроку; y_{ij}^h – найближче найбільше за абсолютною величиною ціле число; $\bar{c}_i^h = c_{ij}$, якщо $y_{ij}^h = 0$, або $y_{ij}^h > 0$ та $\sum_{mi \in \{mi\}_h} \min \rho_{mij}^\mu \geq y_{ij}^h - \sum \bar{\rho}_{mij}^\mu$, в іншому випадку $\bar{c}_i^h = 0$. В процесі розгалуження враховуються обмеження (9) – (16). Якщо на h -у кроці розгалуження для умови (10) маємо

$$\sum_{mi \in \{mi\}_h} \min_{\mu} P_{ij}^\mu + \sum P_{ij} > P_j^{\text{доп}}, \quad j = \bar{I}, \bar{J},$$

то дана вершина виключається з дерева розгалуження. Аналогічні відношення перевіряються для умови (11).

Логічні обмеження (15) та (16) враховуються в процесі розгалуження.

При виділенні множини перспективних варіантів побудови окремих контурів витрати на спеціалізовані технічні засоби враховуються повністю, а витрати на універсальні технічні засоби включається лише їх частина, яка пропорційна завантаженню задачами даного контуру.

Нехай $\bar{c}_{mi} = \min_{\mu} c_{mi}^\mu$ та $\bar{c}_{\text{сист}}$ – величина критерію (8) задачі (8) – (16), яка була отримана на поєднанні виділених варіантів для окремих контурів. Тоді значення критерію (8) для оптимального рішення c^* задовольняє співвідношенню

$$\sum_{mi} \bar{c}_{mi} \leq c^* \leq c_{\text{сист}}. \quad (19)$$

Нерівність (19) дозволяє оцінити близькість отриманих рішень до оптимального за значенням цільової функції. Отримане рішення може бути покращене за допомогою ітеративної процедури локальної оптимізації. Для цього необхідно розв'язати задачу мінімізації (8) для кожного контуру. Якщо в результаті з'ясується, що технічні засоби, що використовуються в контурі, який розглядається, використовуються також в рішеннях, отриманих для

інших контурів управління, то при локальній оптимізації їх вартість приймається рівній нулю. На виділених таким чином множинах варіантів побудови контурів знову розв'язується задача (8) – (16). В результаті отримуємо декілька варіантів рішень, серед яких обирається найкращий.

Список літератури

1. Гургенидзе А.Т. *Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа* / А.Т. Гургенидзе, В.И. Кореш. – М.: Наука и техника, 2003. – 400 с.
2. Еришов В.А. *Мультисервисные телекоммуникационные сети* / В.А. Еришов, Н.А. Кузнецов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 432 с.
3. Куроуз Дж. *Компьютерные сети. 2-е изд* / Дж. Куроуз, К. Росс. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.
4. Гольдштейн А.Б. *Технология и протоколы MPLS* / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2005. – 304 с.
5. Кучук Г.А. *Управление ресурсами инфотелекоммуникаций* / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Пашнев. – М.: Физматлит, 2006. – 220 с.
6. *Математичні основи теорії телекомунікаційних систем* / За заг. ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ». – 2006. – 564 с.
7. Пилькин А.Н. *Моделирование и синтез оптимальной структуры сети Ethernet* / А.Н. Пилькин, А.В. Благодаров, Д.М. Скуднев. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2011. – 112 с.
8. Ромашикова О.Н. *Обработка пакетной нагрузки в информационных сетях* / О.Н. Ромашикова. – М.: МИИТ, 2001. – 244 с.
9. Сирота А.А. *Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем [Текст]* / А.А. Сирота. – М.: Техносфера, 2006. – 280 с.
10. Сергиенко И.В. *Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации* / И.В. Сергиенко, М.Ф. Кастищук. – К.: Наук. думка, 1981. – 287 с.
11. Морозов О.О. *Синтез структуры информационной системы в среде гетерогенной сети* / О.О. Морозов, Ю.С. Долгий, О.Г. Симонова // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 2 (118). – С. 180-183.

Надійшла до редколегії 11.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВЫБОР ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А.А. Морозов, Ю.С. Долгий

Предложена методика выбора функциональной структуры иерархической автоматизированной системы управления. Приведены общие принципы и подходы к процессу синтеза функциональной структуры автоматизированной системы управления, обоснованные основные этапы этого процесса, сформулирована задача синтеза функциональной структуры АСУ с учетом ограничений.

Ключевые слова: иерархическая автоматизированная система управления, синтез, функциональная структура информационно-управляющей системы.

CHOICE OF FUNCTIONAL STRUCTURE HIERARCHICAL AUTOMATED CONTROL THE SYSTEM

A.A. Morozov, Y.S. Dolguy

The method of choice of functional structure of hierarchical automated control the system is offered. General principles and going are resulted near the process of synthesis of functional structure of automated control the system, grounded basic stages of this process, the task of synthesis of functional structure is formulated to ACE taking into account limitations.

Keywords: hierarchical automated control the system, synthesis, functional structure of the informatively-managing system.