

МЕТОДИКА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ МОДЕЛІ КОНТРОЛЬОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕКОМПОЗИЦІЇ МОДЕЛІ

Orlov Ye. V. Technique of structural synthesis of model of controlled object by means of decomposition of model. The problem of choice and grounding of number and specific features of key performance indicators in complex technical systems is rather urgent and important of general problem of optimization such systems. In the last few years the developers of telecommunication networks all more frequent decide the tasks of planning of difficult control system by objects telecommunication. Therefore objects for which a task of making of new conceptions is at the construction of control system that large systems, present the special interest. The article a technique of structural synthesis of model of controlled object by means of decomposition of model is offered. Also, some recommendations of rather optimum choice of depth of decomposition process are provided. In particular, with the increase of level of decomposition complication of every element of model of the controlled object diminishes not so intensively, that and results in the increase of complication of decomposition object. An optimum decomposition minimizes complication of the decomposition system. The purpose of decomposition of model consists in simplification of the subsequent synthesis of model of object by its “breakdown” on more simpler elements. This process shall be followed taking into account prior information on structural features of object.

Keywords: telecommunications, complex system, structural synthesis, control the system, optimization, decomposition, control system, optimization, management criteria

Орлов Є. В. Методика структурного синтезу моделі контрольованого об'єкту за допомогою декомпозиції моделі. У роботі запропонована методика структурного синтезу моделі контрольованого об'єкту за допомогою декомпозиції моделі. Також, наведені деякі рекомендації щодо оптимального вибору глибини декомпозиційного процесу. Ціль декомпозиції моделі полягає у спрощенні наступного синтезу моделі об'єкту шляхом її “розщеплення” на більш прості елементи. Цей процес обов'язково повинен супроводжуватись з урахуванням апріорної інформації про структурні особливості об'єкту.

Ключові слова: телекомунікації, складна система, структурний синтез, декомпозиція, система управління, оптимізація, критерії управління

Орлов Е. В. Методика структурного синтеза модели контролируемого объекта с помощью декомпозиции модели.

В работе предложена методика структурного синтеза модели контролируемого объекта с помощью декомпозиции модели. Также, приведены некоторые рекомендации относительно оптимального выбора глубины декомпозиционного процесса. Цель декомпозиции модели заключается в упрощении последующего синтеза модели объекта путем ее “расщепление” на более простые элементы. Этот процесс обязательно должен сопровождаться с учетом априорной информации о структурных особенностях объекта.

Ключевые слова: телекоммуникации, сложная система, структурный синтез, декомпозиция, система управления, оптимизация, критерии управления

1. Введення та постановка задачі. За останні роки розробники все частіше вирішують задачі проектування складних систем управління (СУ) об'єктами телекомунікації.

Тому об'єкти, для яких виникає задача вироблення нових концепцій при побудові СУ, тобто великих систем, представляють особливий інтерес. Проаналізуємо характерні риси СУ та їх моделей, які виникають при проектуванні таких систем.

1. Здатність до еволюціонування в часі. Структура таких систем і їх функціонування не залишаються незмінними в часі. Нині телекомунікаційна мережа, яка виникла шляхом еволюції від розрізнених локальних мереж через об'єднання мереж в єдину інформаційну інфраструктуру, використовується не тільки за своїм прямим призначенням, але і є мережею передавання даних між обчислювальними машинами.

Складність прогнозування можливої еволюції структури для об'єкту типу різномірної телекомунікаційної мережі унеможливорює застосування централізованої СУ, яка забезпечила б роботу мережі. Лише перехід до децентралізованого управління, управління локальними підсистемами з локальними функціями забезпечив би доцільне використання можливостей різномірної телекомунікаційної мережі.

2. *Наявність великої кількості суперечливих критеріїв управління.* Як правило, ці критерії навіть не підлягають чіткому формулюванню. Це, насамперед, вірогідність управляючої інформації, її мінімальна кількість, затримка, вартість.

3. *Присутність контрольованого об'єкту (КО),* поведінка яких значною мірою визначає поведінку всього об'єкту. На відміну від автоматів КО мають не жорстко детерміновану поведінку, а поведінку пов'язану з багатьма можливими режимами роботи. Це ускладнює прогнозування поведінки об'єкту управління, особливо тоді, коли є великий спектр зовнішніх впливів. У цьому разі доцільно використовувати вірогідність моделі прогнозування.

4. *При побудові моделі КО в теорії управління розглядали за початковий не унікальний об'єкт, а деякий типовий.* Як тільки модель об'єкту (наприклад, у вигляді диференціального управління) була складена, її можна було використовувати для всіх об'єктів аналогічного типу. Модель управління первинною мережею не може використовуватися при управлінні інтелектуальною мережею. Щоразу модель має складатися заново, оскільки в ній повинні відображатися всі особливості, властиві саме даному об'єкту. Крім того, внаслідок еволюціонування структури і функціонування об'єкту, потрібно мати модель відкритого типу, яка під час свого функціонування має збагачуватися та змінюватися.

2. Методика структурного синтезу моделі контрольованого об'єкту за допомогою декомпозиції моделі. Структура моделі об'єкту управління визначає вид та характер зв'язку між входами (U) і виходами (W) моделі об'єкту [1].

У більшості випадків об'єкт розглядається як “чорний ящик”, про внутрішній склад якого нічого не відомо, і модель представляється багатополюсником з невідомою структурою [2, 3].

На стадії структурного синтезу моделі використовується додаткова інформація про об'єкт як про систему взаємодіючих елементів. Наприклад, такий об'єкт управління, як автоматична телефонна станція, являє собою систему взаємодіючих комутаційних пристроїв; технологічний процес – систему взаємодіючих операцій; організм – систему взаємодіючих органів; а колектив – систему взаємодіючих членів цього колективу і т.д. [4].

Інформація про подібні структурні особливості об'єкту і є початковою для декомпозиції моделі об'єкту, тобто для “розщеплення” моделі на взаємодіючі елементи, що відображають складну багатоелементну структуру об'єкту [5, 6]. Приклад такої декомпозиції показаний на Рис. 1, де модель із трьома входами та чотирма виходами представлена шістьма більш простими елементами.

Зміст декомпозиції полягає в тому, щоб, скориставшись апріорними відомостями про структуру об'єкту, спростити задачу синтезу моделі [7]. Це спрощення може йти за двома напрямками. З одного боку, кожний елемент декомпозиційної системи простіше первинної (недекомпозиційної) системи, що полегшує синтез моделі цього елемента та, в остаточному результаті, моделі всього об'єкту. З іншого боку, спростити задачу синтезу можна незалежно від складності елементів, зменшивши число входів-виходів кожного елемента в порівнянні з вихідним об'єктом.

Складність моделі як “чорного ящика” визначається чисельною мірою. В основі цієї міри покладено трудомісткість синтезу моделі, тобто витрати, які необхідні для створення моделі. Складність на стадії аналізу (стадії “чорного ящика”) повинна враховувати лише число входів m і виходів h моделі (для спрощення розрахунків управляемі та неуправляемі входи розрізнятися не будуть). Нехай складність має вигляд

$$V = V(m, h)$$

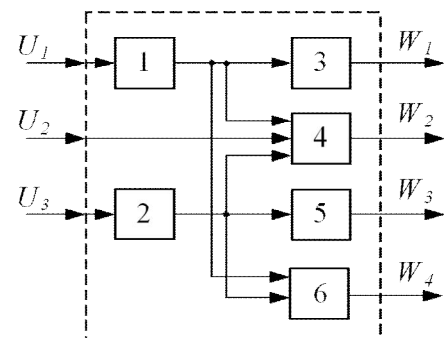


Рис. 1. Приклад декомпозиції моделі КО

Щодо виду цієї функції можна сформулювати наступні вимоги. По-перше, вона повинна монотонно зростати по m та h . По-друге, число входів m , як правило, сильніше впливає на складність, чим число виходів. І останнє: цю функцію можна вважати адитивною, тобто якщо об'єкт складається з декількох g підсистем, то її складність дорівнює сумі складностей цих підсистем, тобто

$$V = \sum_{i=1}^g V_i, \quad (1)$$

де V_i – складність i -ї підсистеми первинного об'єкту (при великому g це твердження невірне, тому що складна система не є сума своїх частин. Вираз (1) не враховує труднощів, пов'язаних з поділом об'єкту на його складові). Всім цим вимогам задовольняє наступний вираз:

$$V = m^\gamma h, \quad (2)$$

де $\gamma > 1$, тому що число входів сильніше впливає на складність, чим число виходів. Величину γ варто визначати залежно від того, у скільки разів збільшується трудомісткість синтезу моделі при збільшенні числа її входів на одиницю. Нехай трудомісткість збільшилася в q разів, тоді з (2) маємо

$$(m+1)^\gamma h = qm^\gamma h,$$

звідки легко одержати вираз для показника γ :

$$\gamma = \lg q / \lg(m + \frac{1}{m}), \quad (3)$$

Застосовуючи цю формулу для приклада декомпозиції моделі, показаної на Рис. 1, одержуємо для первинної системи $V = 3^\gamma \cdot 4$, а для декомпозиційної –

$$V_D = \sum_{i=1}^6 v_i = 1+1+1+3^\gamma + 1+2^\gamma = 4+3^\gamma + 2^\gamma.$$

Як видно, $V > V_D$ навіть при $\gamma = 1$, $V = 12$, а $V_D = 9$. При невідомому γ його можна вважати рівним одиниці, що дає явно занижену оцінку складності V .

Процес декомпозиції моделі можна розглядати як процес мінімізації її складності, тобто як рішення наступної мінімізаційної задачі [8]:

$$V_D \rightarrow \min_{S \in \{S\}} \Rightarrow S^*,$$

де S – операція декомпозиції; $\{S\}$ – множина припустимих даним об'єктом декомпозицій; S^* – оптимальна декомпозиція, мінімізуюча складність V декомповованої системи.

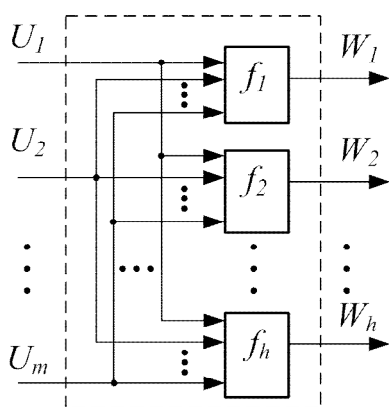


Рис. 2. Декомпозиція $(m \times h)$ -полюсника без врахування апріорних відомостей про структуру об'єкту

Застосовавши формулу (2) до декомпозиції, що не опирається на апріорні відомості про структуру об'єкту Рис. 2.

Одержуємо

$$V_D = \sum_{i=1}^h V_i = \sum_{i=1}^h m^\gamma \cdot 1 = m^\gamma h,$$

тобто складність декомповованої системи не зменшилася в порівнянні з первинною V , тому що така декомпозиція відображає лише можливість подання векторної моделі $W=F(U)$ у скалярній формі

$$W_i = f_i(U), \quad i = 1, \dots, h \quad (4)$$

що не спрощує задачу. Однак, якщо з апріорних відомостей про об'єкт відомо, що деякі виходи W_i в (4) не залежать від деяких входів, то облік цієї інформації в процесі такої декомпозиції зменшує складність

декомповованої системи, тобто $V_D < V$.

В цьому випадку $V_D = \sum_{i=1}^h m_i^y$, тобто $V_D < V$, де m_i – число входів i -го елемента декомповованої моделі ($m_i \leq m$).

Приклад декомпозиції об'єкту на два різних елементи N різними способами Рис. 3. Це означає, що множина $\{L\}$ складається з N варіантів, причому для різних варіантів декомпозиції числа k і g приймають різні значення. Очевидно, що успішною декомпозицією варто вважати ту, у якій ці числа мінімальні.

Дійсно, з (1) та (2) одержуємо для задачі

$$V(k, g) = (m + g)^y k + k^y (h + g) \rightarrow \min_{\{L\}} \Rightarrow L^*.$$

Оптимальною декомпозицією L^* з $\{L\}$ буде та, котра мінімізує $V(k, g)$. Нехай L_i – i -я декомпозиція, що визначається двома числами:

$$L_i = \langle k_i, g_i \rangle, \quad i = 1, \dots, N.$$

Рішення поставленої задачі має вигляд $L^* = L_i$, якщо

$$V(k_i, g_i) = \min_{i=1, \dots, N} \{V(k_i, g_i)\}.$$

Таким чином, ціль декомпозиції моделі складається у спрощенні наступного синтезу моделі об'єкту шляхом її “розщеплення” на більш прості елементи. Цей процес обов'язково повинен супроводжуватись з урахуванням апріорної інформації про структурні особливості об'єкту [9...11].

У результаті декомпозиції об'єкту на q елементів задача синтезу моделі об'єкту зводиться до q задач синтезу моделі кожного елемента, тобто до більш простих задач.

Процес декомпозиції можна (а іноді й доцільно) застосувати й до отриманих елементів, декомповуючи їх на більш дрібні складові. Однак цей процес доцільно закінчувати на певній стадії, коли подальше дроблення об'єкту лише ускладнює задачу. На Рис. 4 а показано залежність числа елементів та їхньої складності від рівня декомпозиції.

Зі збільшенням рівня декомпозиції складність кожного елемента зменшується не настільки інтенсивно, що й приводить до збільшення складності декомпозиційного об'єкту Рис. 4 б. Оптимальна декомпозиція мінімізує складність декомпозиційної системи.

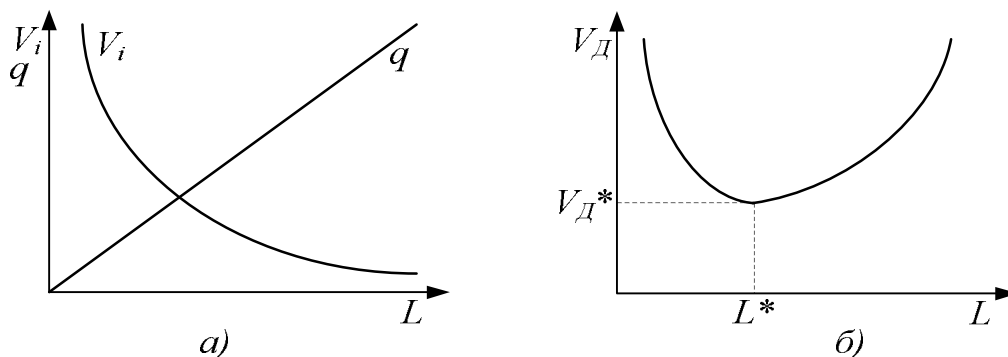


Рис. 4. Вплив рівня декомпозиції на складність елементів L_i та q – (а), а також на складність декомпозиційного об'єкту – (б)

За допомогою декомпозиції первинний $(m \times h)$ -полюсник (“чорний ящик”) вдається звести до набору більш простих “чорних шухлядок”, щоб на наступній стадії структурного синтезу

визначити тільки їхню структуру. Сам по собі процес декомпозиції зводиться, таким чином, до визначення елементів об'єкту та встановленню взаємозв'язку цих елементів в об'єкті.

3. Висновки. У статті надається методика структурного синтезу моделі контрольованого об'єкту за допомогою декомпозиції моделі. Також, наведені деякі рекомендації щодо оптимального вибору глибини декомпозиційного процесу. Зокрема, зі збільшенням рівня декомпозиції складність кожного елемента зменшується не настільки інтенсивно, що й призводить до збільшення складності декомпозиційного об'єкту. Оптимальна декомпозиція мінімізує складність декомпозиційної системи. Ціль декомпозиції моделі полягає у спрощенні наступного синтезу моделі об'єкту шляхом її “розщеплення” на більш прості елементи. Цей процес обов'язково повинен супроводжуватись з урахуванням апіорної інформації про структурні особливості об'єкту.

Література

1. Гостев В. И. Синтез цифровых регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев, Д. А. Худолий, А. А. Баранов. – Киев: Радиоаматор. – 2000. – 400 с.
2. Бесекерский В. А. Микропроцессорные системы автоматического управления / В. А. Бесекерский, Н. Б. Ефимов, С. И. Зиятдинов, В. В. Изранцев, А. В. Небылов, Н. Г. Соколов, Е. А. Фабрикант ; под ред. В. А. Бесекерский. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 365 с.
3. Карякин В. Л. Оптимизация систем передачи информации по каналам связи / В. Л. Карякин // Сб. науч. тр. учеб. ин-тов связи. ЛЭИС. – Ленинград : 1986. – С. 107-112.
4. Дружинин В. В. Введение в теорию конфликта / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. – Москва : Радио и связь, 1989. – 288 с.
5. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика / Г. Крон. – Москва : Наука, 1972. – 542 с.
6. Klymash M. Traffic routing in telecommunication nets and its diakoptics representation / M. Klymash, B. Strykhalyuk, M. Kaidan, I. Demydov // Обчислювальні проблеми електротехніки. – 2011. – №1(1). – Р.15-19.
7. Сингх М. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / М. Сингх, А. Титли. – Москва : Машиностроение, 1986. – 494 с.
8. Кочура А. Е. Диакоптика в анализе многомерных балансовых моделей больших экономических систем / А. Е. Кочура // Инструмент и технологии. – 2000. – № 11, 12. – С. 14-24.
9. Цурков В. И. Декомпозиция в задачах большой размерности / В. И. Цурков. – Москва : Наука, 1981. – 352 с.
10. Баранов В. Л. Відновлення та оптимізація інформації в системах прийняття рішень : підручник / В. Л. Баранов, М. М. Браїловський, А. А. Засядько, Н. Ф. Казакова, В. О. Хорошко. – Київ : ДУІКТ, 2009. – 134 с.
11. Захарченко М. В. Мережі та системи телекомунікацій: Т.1 : Інформаційні мережі. Стандарти та рекомендації. ЄНМЗУ. Аналогові та комп'ютерні мережі / М. В. Захарченко, Г. С. Гайворонська, О. О. Скопа [та ін.] ; за ред. М. В. Захарченка. – Київ : Техніка, 2000. – 304 с.

Автор статті

Орлов Євгеній Володимирович, аспірант кафедри телекомунікаційних систем, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (96) 372 76 55. E-mail: evorlov@ukr.net

Дата надходження в редакцію: 01.08.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л. Н. Беркман