

**МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ И ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА****МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦІЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗА ФУНКЦІЙНИМИ
ОЗНАКАМИ ТА ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ****METHOD OF DECOMPOSITION OF AN INFOCOMMUNICATION SYSTEM
BY THE FUNCTIONAL FEATURES AND QUALITY FACTORS**

Аннотация. Предложен метод декомпозиции инфокоммуникационной системы на подсистемы и/или объекты. Этот метод позволяет по выбранным показателям качества реализации функций системы найти оптимальный состав её подсистем и/или объектов.

Анотація. Запропоновано метод декомпозиції інфокомунікаційної системи на підсистеми і/або об'єкти. Цей метод дозволяє за обраними показниками якості реалізації функцій системи знайти оптимальний склад її підсистем і/або об'єктів.

Summary. Method of decomposition infocommunication system into subsystems and/or objects is presented. This method allows finding an optimum structure of subsystems and/or objects basing on system functions implementation quality factors.

Одной из проблем, всегда возникающей при разработке, оптимизации и моделировании больших систем, является их декомпозиция на разноуровневые подсистемы и/или объекты. Важность этой проблемы подтверждает, например, факт международной стандартизации декомпозиции взаимодействующих систем в телекоммуникационной сети на семь уровней [1] и дальнейшая декомпозиция уровней систем на подуровни [2]. Стандартизация такой декомпозиции систем позволила решать проблемы совместимости телекоммуникационного оборудования разных производителей. В [3] предложена дальнейшая декомпозиция взаимодействующих систем на плоскости и подплоскости. Эта декомпозиция проводилась с использованием вербальных критериев.

Решение проблемы декомпозиции систем не всегда однозначно, так как, во-первых, при декомпозиции возникает множество альтернатив построения системы (например, [4]) и, во-вторых, принятие решения зависит от выбора критериев оценки этих альтернатив. Оптимальное решение задачи декомпозиции системы на подсистемы и/или объекты целесообразно искать, используя теорию выбора и принятия решений [5]. Первый шаг в процессе принятия решения – составление исходного множества альтернатив построения системы. Известные алгоритмы решения этой задачи являются достаточно обобщенными [5] и требуют дальнейшей детализации. Второй шаг в этом процессе – выбор критериев оценки альтернатив декомпозиции системы и оптимизация целевой функции. Решение данной задачи зависит от параметров, которыми характеризуется система, и поставленной цели при декомпозиции системы. При этом целевая функция может быть многокритериальной [6]. Однако при решении этих задач отсутствует метод, позволяющий, по функциональным признакам с помощью количественных критериев, формализовать процедуры формирования приемлемых стратегий декомпозиции инфокоммуникационной системы на подсистемы и выбор оптимальной стратегии.

Цель данной работы – разработка метода декомпозиции инфокоммуникационной системы на ограниченное множество подсистем и/или объектов, основанного на формализации процедур формирования приемлемых стратегий по функциональным признакам и выбор оптимальной стратегии по заданным количественным критериям.

1. Принципы оптимизации структуры системы. Большие системы [7], в частности инфокоммуникационные системы, характеризуются множеством параметров и решают множество задач связанных с обработкой, хранением и передачей информации. Декомпозиция инфокоммуникационной системы на ограниченное множество M подсистем и/или объектов приводит к уменьшению количества параметров и функций, выполняемых каждой подсистемой и/или объектом. При этом упрощается реализация, оптимизация и математическое описание каждой подсистемы и/или объекта. Однако при декомпозиции появляются дополнительные параметры и

функции подсистем и/или объектов, например входные и выходные [6], а также функциональные связи между ними. Кроме того, в результате декомпозиции могут несколько измениться технические и эксплуатационные характеристики подсистем и системы в целом, например, параметры точности, пропускной способности, задержки, надежности, контроля, управления, трудоемкости обслуживания и ремонта и т.п.

Как уже отмечалось, задача декомпозиции инфокоммуникационной системы на подсистемы и/или объекты является многокритериальной оптимизационной задачей. Для её решения предлагается, используя [5], определить ограниченное множество стратегий

$$Y = \Phi(X, U) \quad (1)$$

в виде функциональных связей между параметрами вектора критериев Y и векторами переменных X и констант U .

Для принятия оптимальных решений необходимо сформировать приемлемые \bar{Y} стратегии, удовлетворяющие ограничениям на элементы векторов X и U , где $\bar{Y} \in Y$. Затем определить оптимальную стратегию – оптимальную структуру инфокоммуникационной системы по составу и показателям качества её подсистем и/или объектов.

2. Формирование приемлемых стратегий. В дальнейшем будем рассматривать и оценивать приемлемые стратегии \bar{Y} декомпозиции системы на M подсистем и/или объектов. Критериями оптимизации при декомпозиции инфокоммуникационной системы на M подсистем и/или объектов могут быть элементы вектора

$$\bar{Y} = \{\mu_i\}, \quad i = \overline{1, M}, \quad (2)$$

где μ_i – коэффициенты, оценивающие показатели качества i -х подсистем и/или объектов.

Элементами переменных вектора X могут быть ограниченные множества M подсистем и/или объектов, технологических функций J_i , реализуемых в i -х подсистемах и/или объектах, а также параметров инфокоммуникационной системы, т.е.

$$X = \{\alpha_j; J_i; M\}, \quad j = \overline{1, J_\Sigma}, \quad i = \overline{1, M}, \quad (3)$$

где α_j – коэффициенты, оценивающие технико-экономические параметры физической реализации j -х элементарных технологических функций f_j инфокоммуникационной системы; J_Σ – общее количество элементарных технологических функций, реализуемых в системе.

Рассмотрим основные этапы формирования приемлемых стратегий декомпозиции инфокоммуникационной системы на подсистемы и/или объекты.

Первым ключевым этапом декомпозиции инфокоммуникационной системы на подсистемы и/или объекты является выделение логической последовательности элементарных технологических функций f_j этой системы, которые позволяют физически реализовать необходимую обработку сигналов (данных)

$$F = \{f_j\}, \quad j = \overline{1, J_\Sigma}. \quad (4)$$

Вторым этапом формирования стратегий \bar{Y} является распределение и группирование совокупности F элементарных технологических функций f_j по i -м подсистемам и/или объектам

$$F = \{F_i\}, \quad i = \overline{1, M}. \quad (5)$$

В результате такого группирования i -е подсистемы и/или объекты должны состоять из физически реализуемой совокупности функций F_i , содержащей J_i элементарных технологических функций $\overline{f_{i,k}}$, т.е.

$$F_i = \{\overline{f_{i,k}}\} = \{f_j\}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, J_i}, \quad j = \overline{1, J_\Sigma}. \quad (6)$$

Следует заметить, что в связи с декомпозицией инфокоммуникационной системы на подсистемы появляются дополнительные функции $g_{i,k}$ подсистем, например согласования входных и выходных интерфейсов подсистем, внутрисистемной синхронизации сигналов (поток данных) и т.п.

Поэтому третьим этапом формирования стратегий \overline{Y} является выделение совокупности дополнительных функций G_i и распределение их по подсистемам и/или объектам

$$G_i = \{g_{i,k}\}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, R_i}, \quad (7)$$

где R_i – количество дополнительных функций G_i , которые требуется реализовать в i -й подсистеме и/или объекте.

С учетом дополнительных функций $g_{i,k}$ подсистем, возникающих при декомпозиции системы, количество переменных вектора (3) увеличится

$$\mathbf{X} = \{\alpha_j; \beta_{i,k}; J_i; R_i; M\}, \quad j = \overline{1, J_\Sigma}, \quad k = \overline{1, R_i}, \quad i = \overline{1, M}, \quad (8)$$

где $\beta_{i,k}$ – коэффициенты, оценивающие технико-экономические параметры физической реализации дополнительных k -х функций i -й подсистемы и/или объекта.

На втором этапе возникает множество вариантов распределения технологических функций f_j по i -м подсистемам и/или объектам. Количество M подсистем и/или объектов, образованных в результате декомпозиции инфокоммуникационной системы, зависит от количества элементарных функций, реализуемых в каждой подсистеме и/или объекте. Очевидно, что значение M может лежать в пределах

$$1 \leq M \leq J_\Sigma. \quad (9)$$

Общее количество элементарных функций J_Σ системы и количество элементарных функций J_i , распределяемых по i -м подсистемам и/или объектам связано простым соотношением

$$J_\Sigma = \sum_{i=1}^M J_i. \quad (10)$$

Используя формулу (10) можно определить среднее значение количества элементарных функций, реализуемых в каждой из подсистем и/или объектов

$$J_s = J_\Sigma / M. \quad (11)$$

Формула (11) демонстрирует обратно пропорциональную зависимость между количеством подсистем и количеством элементарных функций, реализуемых в каждой подсистеме.

3. Формирование критериев оценки стратегий. Приемлемые стратегии декомпозиции (2) инфокоммуникационной системы сформированы на основе критериев, оценивающих физическую реализацию подсистем и/или объектов. Эти критерии составляют, например, из взвешенной суммы нормированных параметров [6]. В данном случае критерий μ_i составим из коэффициентов α_j и $\beta_{i,k}$ вектора параметров (8), которые оценивают технико-экономические параметры системы, т.е. показатели качества физической реализации соответственно j -х элементарных функций f_j системы и дополнительных $g_{i,k}$ функций i -х подсистем и/или объектов

$$\mu_i = \sum_{k=1}^{J_i} \lambda_{i,k}^{(\alpha)} \overline{\alpha_{i,k}} + \sum_{k=1}^{R_i} \lambda_{i,k}^{(\beta)} \beta_{i,k}, \quad i = \overline{1, M}, \quad (12)$$

где $\overline{\alpha_{i,k}}$ – коэффициенты, оценивающие технико-экономические параметры (показатели качества) физической реализации элементарных k -х функций в i -х подсистемах и/или объектах; $\lambda_{i,k}^{(\alpha)}$ и $\lambda_{i,k}^{(\beta)}$ – нормирующие весовые коэффициенты, которые позволяют учитывать особенности реализации элементарных функций в системе, а также особенности построения и структуризации системы.

Коэффициенты $\overline{\alpha_{i,k}}$ составляются из коэффициентов α_j в соответствии с описанным выше алгоритмом распределения функций системы по подсистемам и/или объектам (формулы (4)...(6))

$$\{\overline{\alpha_{i,k}}\} = \{\alpha_j\}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, J_i}, \quad j = \overline{1, J_\Sigma}. \quad (13)$$

Можно заметить, что при увеличении количества подсистем и/или объектов значения первого слагаемого критерия (12) будут уменьшаться из-за уменьшения количества элементарных функций, реализуемых в подсистеме, а значения второго слагаемого могут увеличиваться из-за увеличения количества дополнительных функций подсистемы.

Пусть $\theta_{i,k}$ – некоторый технико-экономический параметр, определяющий выбранные показатели качества физической реализации элементарной k -й функции i -й подсистемы и/или объекта, а θ_Σ – технико-экономический параметр, определяющий те же показатели качества реализации всех элементарных функций системы. Тогда коэффициенты, оценивающие технико-экономические параметры (показатели качества) физической реализации элементарной функции подсистемы и/или объекта, определим по формуле

$$\overline{\alpha_{i,k}} = \theta_{i,k} / \theta_\Sigma, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, J_i}. \quad (14)$$

Аналогично (14) определим коэффициенты, оценивающие технико-экономические параметры (показатели качества) физической реализации дополнительных функций подсистемы и/или объекта

$$\beta_{i,k} = \vartheta_{i,k} / \vartheta_\Sigma \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, R_i}, \quad (15)$$

где $\vartheta_{i,k}$ – технико-экономический параметр, определяющий показатели качества физической реализации дополнительной k -й функции i -й подсистемы; ϑ_Σ – технико-экономический параметр, определяющий те же показатели качества физической реализации всех дополнительных функций системы.

Параметрами $\theta_{i,k}$ и $\vartheta_{i,k}$, которые определяют показатели качества физической реализации k -х соответственно основных и дополнительных функций i -х подсистем и/или объектов в зависимости от поставленной задачи при декомпозиции инфокоммуникационной системы могут быть:

- технические параметры системы и их совокупность, например, быстродействие, задержка, надежность;
- технико-экономические параметры системы, например, стоимость и/или сложность реализации функций системы;
- функциональные параметры системы, например, количество решаемых элементарных задач, количество элементарных операций необходимых для реализации функций.

Параметры θ_Σ и ϑ_Σ количественно отличаются от соответствующих параметров $\theta_{i,k}$ и $\vartheta_{i,k}$, т.е. $\theta_\Sigma \geq \theta_{i,k}$, а $\vartheta_\Sigma \geq \vartheta_{i,k}$, и рассчитываются по формулам

$$\theta_\Sigma = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{J_i} \theta_{i,k}, \quad (16)$$

$$\vartheta_\Sigma = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{R_i} \vartheta_{i,k}. \quad (17)$$

Для определения нормирующих весовых коэффициентов $\lambda_{i,k}^{(\alpha)}$ и $\lambda_{i,k}^{(\beta)}$, используемых в критерии (12), как частный случай можно использовать параметры θ_{Σ} и ϑ_{Σ} , тогда

$$\lambda_{i,k}^{(\alpha)} = \theta_{\Sigma} / (\theta_{\Sigma} + \vartheta_{\Sigma}), \quad (18)$$

$$\lambda_{i,k}^{(\beta)} = \vartheta_{\Sigma} / (\theta_{\Sigma} + \vartheta_{\Sigma}). \quad (19)$$

4. Выбор оптимальных стратегий. Сформированные выше критерии (12) позволяют анализировать возможные приемлемые стратегии декомпозиции инфокоммуникационной системы на M подсистем и/или объектов. Количество приемлемых стратегий декомпозиции системы можно вычислить, используя математический аппарат комбинаторики.

Очевидно, что оптимальной будет стратегия, удовлетворяющая глобальному экстремуму целевой функции. Это может быть, например, минимум стоимости и/или сложности реализации подсистем и/или объектов инфокоммуникационной системы. В этом случае задача определения оптимальной стратегии среди множества приемлемых стратегий сводится к минимизации по множеству M структур системы максимального значения целевой функции, которая определяет, например, стоимость и/или сложность реализации ее подсистем и/или объектов

$$\mu_{\text{opt}} = \min_M \max_i \mu_i, \quad (20)$$

при возможных ограничениях, например

$$\mu_0 \leq \mu_i, \quad (21)$$

где μ_0 – заданный коэффициент, оценивающий показатели качества физической реализации подсистемы и/или объекта.

Заметим, что значения μ_0 могут выбираться из условия $\max_j \lambda_j \alpha_j < \mu_0$.

Таким образом, согласно минимаксному критерию (20) для определения оптимальной стратегии необходимо, варьируя числом M подсистем и/или объектов и распределением элементарных функций между ними, минимизировать максимальные значения целевой функции μ_i .

Очевидно, что оптимальная стратегия, соответствующая минимуму критерия (12) при ограничениях (21), будет соответствовать оптимальной структуре инфокоммуникационной системы по количеству и качеству реализации ее подсистем и/или объектов. А использование минимаксного критерия (20) позволит выровнять качественные показатели качества i -х подсистем и/или объектов инфокоммуникационной системы.

5. Методика декомпозиции системы. Рассмотрим последовательности процедур формирования и отыскания оптимальной стратегии при декомпозиции системы на подсистемы и/или объекты. Отыскание оптимальной стратегии при декомпозиции системы состоит из следующих основных процедур:

- анализ и выделение логической последовательности элементарных функций f_j инфокоммуникационной системы;
- формирование технико-экономических параметров α_j , определяющих показатели качества реализации элементарных функций f_j инфокоммуникационной системы;
- формирование совокупности приемлемых стратегий при декомпозиции системы на i -е подсистемы и/или объекты;
- отыскание оптимальной стратегии, которая соответствует оптимальному значению μ_{opt} критерия μ_i , т.е. определение оптимальной структуры системы по количеству и качеству реализации ее подсистем.

В свою очередь процедура формирования совокупности приемлемых стратегий при декомпозиции системы может состоять из следующих процедур:

- распределение элементарных функций f_j по i -м подсистемам и/или объектам;
- анализ и выделение совокупности G_i дополнительных функций i -х подсистем и/или объектов;
- формирование коэффициентов, оценивающих показатели качества физической реализации элементарных $\bar{\alpha}_{i,k}$ и дополнительных $\beta_{i,k}$ функций i -х подсистем и/или объектов;
- формирование нормирующих весовых коэффициентов $\lambda_{i,k}^{(\alpha)}$ и $\lambda_{i,k}^{(\beta)}$;
- формирование критериев μ_i , оценивающих показатели качества реализации i -х подсистем и/или объектов.

Из вышеизложенного видно, что данный метод декомпозиции инфокоммуникационной системы позволяет функционально усложнять (масштабировать и трансформировать) критерий оптимизации стратегий, включая в него коэффициенты, оценивающие качественные показатели системы, например, задержку, пропускную способность, надежность, стоимость, трудоемкость обслуживания и ремонта и т.п.

В заключение отметим, что в данной статье разработан метод декомпозиции инфокоммуникационной системы на подсистемы и/или объекты, использующий процедуры: формирования приемлемых стратегий, формирования критериев оценки стратегий, выбора оптимальной стратегии. Так как этот метод легко масштабируется и трансформируется по количеству и составу параметров критерия оптимизации стратегий, поэтому он может быть использован в различных технических областях знаний.

Литература

1. *Recommendation X.200*. Information technology. Open Systems Interconnection. Basic Reference Model: The basic model. – ITU-T, 1994.
2. *Кульгин М.* Технологии корпоративных сетей: Энциклопедия / Кульгин М. – СПб.: Питер, 2000. – 704 с.
3. *Воробієнко П.П.* Концепція обобщенной эталонной модели взаимодействия открытых систем / Воробієнко П.П. // *Електроsvязь*. – 2001. – № 10. – С. 14-15.
4. *Воробієнко П.П.* Формування вихідної множини альтернатив побудови міських телефонних мереж / П.П. Воробієнко, А.Я. Лейбзон, М.І. Струкало // *Наукові праці ОНАЗ*. – 2001. – № 2. – С. 10-14.
5. *Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие* / [И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов]. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит.-ры, 1982. – 328 с.
6. *Воробієнко П.П.* Проблеми оптимізації телекомунікаційних мереж. Параметри та критерії / П.П. Воробієнко, М.І. Струкало // *Наукові праці ОНАЗ*. – 2002. – № 1. – С. 3-11.
7. *Оптимизация структур больших систем* / [В.И. Борщ, В.А. Донец, В.В. Коваль и др.] – К.: Наукова думка. – 2000. – 188 с.