

Решение задачи обеспечения оптимальной эффективности функционирования распределенных систем обработки информации

А. Н. Скоба, В. К. Михайлов, Айеш Ахмед Нафеа Айеш

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова, Новочеркасск*

Аннотация: В работе проведена формализованная постановка задачи для проведения сравнительного анализа эффективности функционирования распределенных систем обработки информации (СОИ). В качестве основных критериев эффективности были выбраны надёжностные, технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели функционирования распределенных СОИ. На концептуальном уровне данная задача была сведена к задаче векторной оптимизации, решение которой сопряжено со значительными трудностями. Предложен альтернативный подход решения данной проблемы.

Ключевые слова: распределенная система обработки информации, векторная оптимизация, коэффициенты готовности, среднее время реакции системы, коэффициенты отказоустойчивости, суммарная стоимость простоя.

На практике, при проектировании распределенных систем обработки информации (СОИ), реализованных на базе различных сетевых архитектур, возникает необходимость проведения их сравнительного анализа с точки зрения основных показателей эффективности функционирования [1]. Анализ целей, решаемых задач, свойств и характеристик распределенных СОИ показал [2], что в качестве таких основных показателей целесообразно использовать следующие группы, которые можно описать вектором вида:

$$\bar{Y} = (\bar{G}(\bar{i}_1), \bar{\theta}(\bar{i}_2), \bar{C}(\bar{i}_3)),$$

где $\bar{G}(\bar{i}_1)$ – вектор-функция, описывающая группу надёжностных показателей распределенной СОИ, \bar{i}_1 – вектор значений параметров данного показателя эффективности, причем $\bar{i}_1 \in \{I_1\}$, $|\bar{i}_1| = |I_1|$, где $\{I_1\}$ – множество возможных значений параметров данного показателя; $\bar{\theta}(\bar{i}_2)$ – вектор-функция, описывающая группу технико-эксплуатационных характеристик распределенной СОИ, причем $\bar{i}_2 \in \{I_2\}$, $|\bar{i}_2| = |I_2|$; $\bar{C}(\bar{i}_3)$ – вектор-функция,

описывающая группу технико-экономических показателей распределенной СОИ, причем $\bar{i}_3 \in \{I_3\}$, $|\bar{i}_3| = |I_3|$.

Таким образом, при решении задачи обеспечения оптимальной эффективности функционирования распределенных СОИ, для решения определенного класса задач, нужно стремиться к тому, чтобы обеспечить как можно лучшее значение по всем компонентам вектора \bar{Y} и при этом, чтобы значения ни одного из данных показателей не оказались хуже требуемых предельно-допустимых значений. Соответственно, формализованная постановка задачи обеспечения оптимальной эффективности функционирования распределенных СОИ будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \bar{G}(\bar{i}_1) &\rightarrow \max; \\ & \quad i_1 \in \{I_1\} \\ \bar{\theta}(\bar{i}_2) &\rightarrow \min; \\ & \quad i_2 \in \{I_2\} \\ \bar{C}(\bar{i}_3) &\rightarrow \min; \\ & \quad i_3 \in \{I_3\} \end{aligned} \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} G(\bar{i}_1) &\geq G_{\text{доп}}(i_1), \bar{i}_1 \in \{I_1\}; \\ \theta(\bar{i}_2) &\leq \theta_{\text{доп}}(i_2), \bar{i}_2 \in \{I_2\}; \\ C(\bar{i}_3) &\leq C_{\text{доп}}(i_3), \bar{i}_3 \in \{I_3\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Задача (1) - (2) относится к классу задач векторной оптимизации, её решение представляет собой достаточно сложный процесс, в ходе которого могут применяться различные расчетные схемы и алгоритмы [3]: методы, основанные на свертывании показателей эффективности; методы целевого программирования; методы, основанные на отыскании компромиссного решения; методы, в основе которых лежат человеко-машинные процессы принятия решений (интерактивное программирование); методы агрегирования целевой функции и т.д.

Как следует из приведенной выше постановки задачи (1) - (2), её реализация при использовании практически любого из приведённого перечня методов потребует последовательного решения ряда частных подзадач, в основе которых лежит разработка математических моделей для получения надёжностных, технико-эксплуатационных и технико-экономических характеристик функционирования распределённых СОИ для различных сетевых архитектур их построения.

Как было отмечено в работе [4], основными надёжностными показателями функционирования распределённых СОИ являются коэффициенты готовности. Однако их расчет представляет довольно трудоемкую задачу, основанную на представлении структуры распределённой СОИ в виде неориентированного графа с дальнейшим полным перебором состояний его элементов, объединением простых цепей двудольных графов и т.п. Объем трудозатрат в этих методах пропорционален 2^z , где z – общее число элементов, входящих в граф, описывающий анализируемую распределённую СОИ. Вместе с тем в работе [5] было показано, что наряду с понятием полной «абсолютной» готовности, характеризующей коэффициентами готовности, в настоящее время достаточно широко используется такой термин, как её отказоустойчивость, характеризующей коэффициентами отказа $K_{\text{отк}}^{(i)} (i = \overline{1, n})$, где n – количество серверов распределённой СОИ. Он предоставляет распределённой СОИ возможность продолжать выполнение намеченных функций при локальных сбоях, например, при отказе одного сервера. Методика расчета величин $K_{\text{отк}}^{(i)} (i = \overline{1, n})$ для различных сетевых архитектур построения распределённых СОИ была разработана и приведена в работах [6, 7]. С учетом этого, в качестве основной надёжностной характеристики

функционирования распределенных СОИ была выбрана величина

$$E_0 = \sum_{i=1}^n K_{\text{отк}}^{(i)} - \text{обобщенный показатель отказоустойчивости.}$$

В качестве основной технико-эксплуатационной характеристики функционирования распределенных СОИ была выбрана величина \bar{T} – среднее время реакции системы на все запросы пользователей. Расчет данной величины для различных сетевых архитектур конструирования распределенных СОИ был также разработан и достаточно подробно описан в работах [8,9] для двухуровневой архитектуры «клиент-сервер», а в работах [10,11] для трёхуровневой архитектуры «клиент-сервер». В качестве основной технико-экономической характеристики распределенной СОИ была выбрана суммарная стоимость простоя всех ее компонент C за период времени \bar{T} [12]. В соответствии с выбранными характеристиками функционирования распределенных СОИ, задача (1) – (2) может быть переформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned} E_0 &\rightarrow \max, \\ \bar{T} &\rightarrow \min, \\ C &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (3)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} E_0 &\geq E_{\text{доп}}, \\ \bar{T} &\leq \bar{T}_{\text{доп}}, \\ C &\leq C_{\text{доп}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $E_{\text{доп}}, \bar{T}_{\text{доп}}, C_{\text{доп}}$ – допустимые значения величин отказоустойчивости, среднего времени реакции системы на запросы пользователей, суммарной стоимости простоя основных компонент распределенной СОИ.

Использование перечисленных выше методов векторной оптимизации для решения задачи (3) – (4) также затруднено по следующим причинам:

критерии задачи имеют достаточно сложный вид, а также имеют различные единицы измерения и масштабы измерения, что делает невозможным их непосредственное сравнение; помимо этого, приведенные критерии имеют различную значимость, в соответствии с чем встает проблема учета их приоритетности; кроме того, вследствие сложного характера критериев, заданных в неявной форме, возникает проблема определения области компромисса [3].

Одним из возможных выходов из данной ситуации является решение отдельных «подзадач», являющихся «подмножеством» всего множества задач, определяемых обобщенной постановкой задачи вида (3) – (4) и представляющихся наиболее «важными» с практической точки зрения. Далее, на основе анализа полученных результатов их решения, лицо, принимающее решение, может обоснованно выбирать требуемые значения параметров конструирования распределённых СОИ (указывать диапазон их изменения) для достижения требуемых значений показателей эффективности их функционирования. В соответствии с данным подходом были сформулированы и решены следующие подзадачи:

- 1) задача определения оптимальной отказоустойчивости распределенных СОИ :

$$E_0 \rightarrow \max; \quad (5)$$

- 2) задача определения оптимальной реактивности распределенных СОИ при фиксированной стоимости их простоя:

$$\bar{T} \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$C \leq C_{\text{доп}};$$

- 3) задача определения максимальной отказоустойчивости распределенных СОИ при ограничении по их быстродействию:

$$E_0 \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\bar{T} \leq \bar{T}_{\text{доп.}}$$

Анализ полученных результатов решения задач (5) – (7) в рамках решения более общей задачи (3) – (4) позволяет: выделить наиболее значимые параметры и их числовые значения (диапазоны изменения), определяющие качество используемого эксплуатационного оборудования при конструировании распределённых СОИ (скорость записи/считывания данных серверами, скорость передачи данных по каналам связи и т.д.) для достижения требуемой эффективности функционирования; использовать их в дальнейшем при проведении сравнительного анализа эффективности функционирования распределённых СОИ, реализованных на базе различных сетевых архитектур при планировании наилучшей организации вычислительного процесса.

Литература

1. Карпов А.Е. Архитектура распределённых систем программного обеспечения, М. МАКС Пресс, 2007. – 130с.
2. Клёпов А.В., Гузенко В.Л., Миронов Е.А. Постановка задачи обеспечения технико-экономической эффективности эксплуатации распределённой информационной системы // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №2. URL: [science-education.ru /116-1236/](http://science-education.ru/116-1236/).
3. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 141с.
4. Шубинский И.Б. Структурная надёжность информационных систем. Методы анализа. М.: Журнал Надёжность, 2012. – 216с.
5. Мейкшан В.И., Мейкшан Л.И. Анализ качества функционирования распределённой информационной системы при ограниченной надёжности ее элементов // Труды ИВМиМГ СОРАН. – Сер. Информатика. – Вып.5. – Новосибирск, 2005. – С. 79-88.

6. Скоба А.Н., Михайлов В.К. Айеш Ахмед Нафеа Айеш, Loganчук С.М. Задача определения оптимальной отказоустойчивости распределённых систем обработки информации // Инженерный вестник Дона. 2020. №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6406.
7. Skoba A N., Mikhaylov V K, Panfilov A N. Mathematical Models for Determining the Reliability Characteristics of Distributed Information Processing Systems in the Electric Power Industry(RusAutoCon), 6-12 Sept. 2020, Sochi, Russia / IEEE. – 2020.
8. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей.- М.: Техносфера, 2003.- 512 с.
9. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ.-М. : Радио и связь, 1988.- 192с.
10. Zibin Zhend, M.R.Lyu, WS-DREAM: A distributed reliability assessment mechanism for web services, in: IEEE International Conference on Dependable Systems and Networks with FTCS and SCC, DSN 2008. 24-27 June 2008, pp.392-397.
11. Buzen J.P. Computational Algorithms for Closed Queueing Networks with Exponential Servers. Commun. ACM. 1983. Vol.16, №9.pp.527-531.
12. Скоба А.Н., Айеш Ахмед Нафеа Айеш, Михайлов В.К. Задача определения оптимальной реактивности распределённых систем обработки информации при фиксированной стоимости их простоя // Инженерный вестник Дона.2019. №7. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6094.

References

1. Karpov A.E. Arxitektura raspredelyonny`x sistem programmno obespecheniya. [Architecture of distributed software systems]. М. MAKS Press, 2007, 130p.
-

2. Klyopov A.V., Guzenko V.L., Mironov E.A. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014, №2. URL: [science-education.ru /116-1236/](http://science-education.ru/116-1236/).
 3. Mashunin Yu.K. Metody i modeli vektornoj optimizacii. [Vector optimization methods and models]. M. Nauka, 1986, 141p.
 4. Shubinskij I.B. Strukturnaya nadyozhnost informacionnyx sistem. Metody analiza. [Structural reliability of information systems. Analysis methods]. M. Zhurnal Nadyozhnost, 2012, 216p.
 5. Mejkshan V. I., Mejkshan L. I. Analiz kachestva funkcionirovaniya raspredelennoj informacionnoj sistemy pri ogranichennoj nadezhnosti ee elementov. [Analysis of quality of functioning of a distributed information system with limited reliability of its elements]. Trudy IVMiMG SORAN, Ser. Informatika, vol. 5, Novosibirsk, 2005, pp. 79-88.
 6. Skoba A.N., Mikhaylov V.K., Ayesh Achmed Nafea Ayesh. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020. no.4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6406.
 7. Skoba A N., Mikhaylov V K, Panfilov A N. Mathematical Models for Determining the Reliability Characteristics of Distributed Information Processing Systems in the Electric Power Industry(RusAutoCon), 6-12 Sept. 2020, Sochi, Russia, IEEE, 2020. URL: ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9204959/proceeding.
 8. Vishnevskij V.M. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya komp'yuternyx setej [Theoretical foundations of computer network design]. M., Texnosfera, 2003. 512p.
 9. Zhozhikashvili V.A., Vishnevskij V.M. Seti massovogo obsluzhivaniya. Teoriya i primenenie k setyam E`VM [Queueing networks. Theory and its network application]. M., Radio i svyaz', 1988, 192p.
 10. Zibin Zhend, M.R.Lyu, WS-DREAM: A distributed reliability assessment mechanism for web services, in: IEEE International Conference on
-



Dependable Systems and Networks with FTCS and SCC, DSN 2008. 24-27 June 2008, pp.392-397.

11. Buzen J.P. Computational Algorithms for Closed Queueing Networks with Exponential Servers. Commun. ACM. 1983. Vol.16, №9.pp.527-531.

12. Skoba A. N., Ayesh Achmed Nafea Ayesh, Mikhaylov V. K. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6094.