

УДК 681.34

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

¹Буторов В.В., ²Тынченко С.В., ²Царев Р.Ю.

¹ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: butorovv@gmail.com;

²ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: tsarev.sfu@mail.ru

В статье рассматривается проблема оценки клиент-серверных программных приложений корпоративной системы управления предприятием. Описана архитектура распределенного программного обеспечения корпоративной системы управления предприятием, состоящая из трех слоев: слоя интерфейсов, слоя бизнес-логики и слоя базы данных. Представлены аналитические выражения для вычисления основных показателей надежности программного обеспечения систем данного класса: среднего времени простоя системы, среднего времени появления сбоя, коэффициента готовности системы. При анализе надежности клиент-серверных приложений учитывается то, что архитектурные компоненты взаимосвязаны: отказ в одном компоненте влияет на работу других компонентов. Предложены упрощенные выражения для определения среднего времени простоя системы и среднего времени появления сбоя, которые могут быть использованы при экспресс-анализе показателей надежности реальных клиент-серверных приложений корпоративных систем управления предприятием.

Ключевые слова: надежность, оценка, клиент-серверная архитектура, корпоративная система управления предприятием

ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF CLIENT-SERVER APPLICATIONS FOR A CORPORATE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM

¹Butorov V.V., ²Tynchenko S.V., ²Tsarev R.Y.

¹Siberian state aerospace university named after academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, e-mail: butorovv@gmail.com;

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: tsarev.sfu@mail.ru

The article considers the problem of estimating the client-server software application for a corporate enterprise management system. The architecture of distributed software for a corporate enterprise management system is described. The architecture consists of three layers: the presentation layer, the business logic layer and the data layer. It is presented the analytical expression for calculation of the principle reliability parameters of the software for a corporate enterprise management system: mean time to repair, mean time to failure, and availability of the system. When analyzing the reliability of client-server applications it is taken into account that architectural components are interrelated: the fault in one component affects the other components. It is proposed a simplified expression for determination of mean time to repair and mean time to failure, which can be used for express analysis of the reliability parameters of real client-server applications of a corporate enterprise management systems.

Keywords: reliability, estimation, client-server architecture, enterprise control system

Характерной особенностью многих клиент-серверных приложений корпоративных систем управления предприятием (КСУП) является их разнородность и распределенная архитектура [3]. При проектировании распределенных программных архитектур КСУП имеется ряд специфических особенностей. Это в первую очередь зависимость архитектурной модели от ряда нефункциональных системных требований, например производительности, защищенности, безопасности, надежности [7]. При анализе архитектурных решений современных КСУП существенное значение имеет возможность оценки архитектурной надежности клиент-серверных приложений как важной составляющей системы [10].

В распределенной системе разные компоненты могут быть реализованы на разных

языках программирования и выполняться на разных типах процессоров [2]. Модели данных, представление информации и протоколы взаимодействия не являются однотипными в распределенных системах, поэтому архитектурная надежность программного обеспечения (ПО), обеспечивающего взаимодействие и обмен данными, является немаловажным фактором при проектировании КСУП [4, 5].

В архитектуре «клиент-сервер» серверная часть, как правило, устанавливается на отдельном компьютере-сервере, а клиентские части ПО на рабочих местах, причем функциональный состав ПО на рабочих местах различен. Серверная и клиентские части ПО могут функционировать в различных операционных средах, поэтому системы клиент-серверных приложений

представляют интерес на предмет анализа надежностных характеристик архитектуры этого ПО [8, 12].

В работе анализ клиент-серверных приложений рассматривается на примере корпоративной системы управления предприятием «Галактика». Данная система ориентирована на автоматизацию решения задач, возникающих на всех стадиях управленческого цикла: прогнозирование и планирование, учет и контроль реализация планов, анализ результатов, коррекция прогнозов и планов [1, 6].

Корпоративная система управления предприятием «Галактика» соответствует по уровню функциональности, технологичности и степени интеграции системы современным концепциям ERP (Enterprise Resource Planning – «планирование ресурсов предприятия»), SCRП (Custom Synchronized Resource Planning – «планирование ресурсов, синхронизированное покупателем»), SEM (Strategic Enterprise Management – «стратегическое управление предприятием»), а также стандартам открытых систем. КСУП «Галактика» имеет модульную структуру, причем сотни автоматизированных рабочих мест могут иметь различный функциональный состав. При этом КСУП «Галактика» имеет общую базу данных для всего предприятия, поддерживает различные платформы СУБД: Pervasive SQL, MS SQL, Oracle.

Оценка программного обеспечения КСУП «Галактика»

Анализ архитектуры распределенного ПО КСУП «Галактика» является одним из наиболее значимых моментов при разработке программных продуктов данного класса. Архитектуру системы «Галактика» можно рассматривать как состоящую из следующих слоев:

- слой интерфейсов (клиентская часть КСУП «Галактика»);
- слой бизнес-логики (серверная часть КСУП «Галактика»);
- слой БД (серверная часть СУБД).

Для анализа надежности архитектур ПО КСУП «Галактика» введем следующие обозначения: $M = 3$ – число уровней архитектуры ПО; D_1 и D_2 – непересекающиеся множества компонент на уровнях 1 и 2; D_3 – состоит из одного элемента – СУБД; R_i – коэффициент надежности каждого элемента архитектуры (коэффициент надежности СУБД также входит в это множество как отдельный элемент); TC_i и TE_i – для всех i равны нулю (так как анализ и устранение сбоя в системе не предусмотрены), кроме TC_s и TE_s для СУБД (практически каждая

СУБД имеет механизмы восстановления после сбоя); TA_i и TU_i – для разных компонент могут быть различны (сильно зависят от быстродействия сети передачи данных).

При анализе архитектурной надежности клиент-серверных приложений следует учитывать, что архитектурные компоненты взаимосвязаны, т.е. отказ в одном компоненте может распространиться через систему на другие компоненты [11]. При этом могут быть использованы показатели, позволяющие определить безотказность и работоспособность программного обеспечения клиент-серверных приложений КСУП [9].

Среднее время простоя системы TR в архитектуре зависит как от условных и безусловных вероятностей сбоев на всех уровнях архитектуры, так и от среднего времени доступа, анализа и восстановления сбойных компонент [5]. При предлагаемом подходе время устранения сбоя на архитектурном уровне СУБД равно времени, которое требуется для доступа, анализа, восстановления, а это означает, что время восстановления меньше, чем время устранения сбоя.

Если используется автоматическое восстановление и компонент не содержит сбоев, то он в рамках модели рассматривается, как восстановленный компонент. При этом ошибка того же типа, что была устранена ранее, считается новой ошибкой.

Среднее время простоя системы вычисляется для всех трех архитектурных уровней и всех компонентов на каждом уровне КСУП. Для каждого выделенного уровня в архитектуре ПО вероятность использования каждого компонента умножается на вероятность сбоя компонента и на сумму средних времен анализа, доступа и восстановления для этого компонента.

Дополнительно, сбойный компонент может вызывать сбои в зависящих от него компонентах как на других уровнях архитектуры, так и на том же самом уровне. Поэтому для каждого отдельного уровня архитектуры и для всех компонентов условная вероятность появления сбоя умножается на сумму относительных времен доступа, анализа и восстановления этих компонентов.

Также, для одного уровня и для всех компонентов, условная вероятность появления сбоя умножается на сумму относительных времен доступа, анализа и восстановления этих компонентов.

Относительное время анализа и восстановления для данной модели учитывается только для уровня сервера СУБД, а для остальных компонент принимается равным нулю.

Таким образом, среднее время простоя системы может быть определено по формуле

$$\begin{aligned}
 TR = & \sum_{i=1}^F \left[PU_i \cdot PF_i \cdot \left[TA_i + \sum_{j=1, j \neq i}^F \left[PL_{ji} \cdot \left[TA_j + \sum_{l, l \in D_i} (PL_{lj} \cdot TA_l) \right] \right] \right] + \right. \\
 & \left. + \sum_{k, k \in D_k} PL_{ki} \cdot \left[TA_k + \sum_{m=1, m \neq j}^F \left[PL_{mk} \cdot \left(TA_m + \sum_{l, l \in D_i} PL_{lm} \cdot TA_l \right) \right] \right] \right] + \\
 & + PU_5 \cdot PF_5 \cdot [(TA_5 + TC_5 + TE_5) + PL_{55} \cdot (TA_5 + TC_5 + TE_5)],
 \end{aligned} \tag{1}$$

где F – общее число компонент в архитектуре ПО; M – число уровней архитектуры ПО; D_i – непересекающиеся множества компонент на уровне i , $i \in \{1, \dots, M\}$; PU_i – вероятность использования компонента i , $i \in \{1, \dots, F\}$; PF_i – вероятность сбоя в компоненте i , $i \in \{1, \dots, F\}$; PL_{ij} – условная вероятность сбоя в компоненте i при сбое в компоненте j , $i \in \{1, \dots, F\}$, $j \in \{1, \dots, F\}$; TA_i – относительное время доступа к компоненту i , $i \in \{1, \dots, F\}$; TC_i – относительное время анализа сбоя в компоненте i , $i \in \{1, \dots, F\}$; TE_i – относительное время устранения сбоя в компоненте i , $i \in \{1, \dots, F\}$. Кроме того, PU_5 , PF_5 , TA_5 , TC_5 , TE_5 , PL_{55} – соответствующие параметры для компонента сервера СУБД.

Среднее время появления сбоя $MTTF$ зависит как от условных и безусловных вероятностей сбоев во всех компонентах на всех архитектурных уровнях, так и от относительного времени использования компонентов, в которых сбой не происходит [5].

Среднее время сбоя вычисляется для всех архитектурных уровней и всех компонентов на каждом архитектурном уровне. Для каждого архитектурного уровня ПО вероятность использования компонента умножается на вероятность того, что каждый компонент будет работать без сбоев в течение относительного времени его использования.

Вдобавок для каждого отдельного архитектурного уровня и для всех компонентов условная вероятность работы без сбоев умножается на относительное время использования этих компонентов. Для того же архитектурного уровня и для всех компонентов условная вероятность работы без сбоев перемножается на относительное время использования этих компонентов. Уровень, на котором сбой не происходит, также влияет на среднее время появления сбоя.

Определим среднее время появления сбоя следующим образом:

$$\begin{aligned}
 MTTF = & \sum_{i=1}^F \left[PU_i \cdot (1 - PF_i) \cdot \left[TU_i + \sum_{j=1, j \neq i}^F \left[(1 - PL_{ji}) \cdot \left[TU_j + \sum_{l, l \in D_i} [(1 - PL_{lj}) \cdot TU_l] \right] \right] \right] + \right. \\
 & \left. + \sum_{k, k \in D_k} \left[(1 - PL_{ki}) \cdot \left[TU_k + \sum_{m=1, m \neq j}^F \left[(1 - PL_{mk}) \cdot \left[TU_m + \sum_{l, l \in D_i} (1 - PL_{lm}) \cdot TU_l \right] \right] \right] \right] \right],
 \end{aligned} \tag{2}$$

где TU_i – относительное время использования компонента i , $i \in \{1, \dots, F\}$.

Коэффициент готовности системы вычисляется по формуле

$$S = MTTF / (MTTF + TR).$$

Коэффициент надежности архитектуры ПО может быть оценен согласно следующей формуле:

$$R_S = \sum_{i=1}^F PU_i \cdot R_i,$$

где R_i – коэффициент надежности компонента i , $i \in \{1, \dots, F\}$.

Для анализа надежности реально функционирующих клиент-серверных приложений КСУП часто могут быть полезны упрощенные формулы для определения среднего времени простоя системы и среднего времени появления сбоя, которые используются при экспресс-анализе надежностных характеристик архитектуры ПО.

Так, для простоты расчетов формулы (1) и (2) можно модифицировать, не учитывая в них множества компонент D_i . При этом соответствующие формулы примут вид

$$TR = \sum_{i=1}^F \left[PU_i \cdot PF_i \cdot \left[TA_i + \sum_{j=1, j \neq i}^F [PL_{ji} \cdot [TA_j]] \right] \right] + PU_5 \cdot PF_5 \cdot \left[(TA_5 + TC_5 + TE_5) + [PL_{55} \cdot [(TA_5 + TC_5 + TE_5)]] \right]; \quad (3)$$

$$MTTF = \sum_{i=1}^F \left[PU_i \cdot (1 - PF_i) \cdot \left[TU_i + \sum_{j=1, j \neq i}^F [(1 - PL_{ji}) \cdot TU_j] \right] \right]. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) являются более грубыми по сравнению с (1) и (2), но могут успешно применяться для экспресс-анализа надежностных характеристик ПО клиент-серверных приложений КСУП «Галактика» при расчете показателей (3) и (4).

Заключение

Оценка надежности клиент-серверных приложений корпоративной системы управления предприятием, которые моделируются как набор сервисов, предоставляемых сервером клиентским процессам, важен для предотвращения потерь информации в системах данного класса. Сбор и хранение данных – дорогостоящая процедура, поскольку часто данные стоят больше, чем компьютерная система, на которой они обрабатываются. Предлагаемые аналитические выражения позволяют выполнить оценку основных показателей надежности клиент-серверных приложений корпоративной системы управления предприятием и на основе полученных данных принять решение о необходимости усовершенствования архитектуры и доработки отдельных программных компонент с целью повышения уровня надежности программного обеспечения корпоративной системы управления предприятием в целом.

Предлагаемый подход может быть использован при разработке современного программного обеспечения корпоративных систем управления предприятием, к которым предъявляются повышенные тре-

бования по надежности. Рассмотренный в работе набор показателей, используемых при анализе надежности клиент-серверных приложений корпоративных систем управления предприятием, может быть расширен, так как наиболее подходящие показатели для конкретной системы определяются в зависимости от типа системы и области ее применения. Более того, для различных корпоративных систем управления предприятием могут оцениваться разные показатели надежности.

Список литературы

1. К проблеме синтеза распределенных информационно-аналитических систем поддержки принятия решений / П.В. Зеленков, Е.В. Каюков, Р.Ю. Царев, Е.Н. Штарик, А.В. Штарик // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – Вып. 4. – Ч. 2. – С. 286–289.
2. Кузнецов А.С. Многоэтапный анализ архитектурной надежности и синтез отказоустойчивого программного обеспечения сложных систем: монография / А.С. Кузнецов, С.В. Ченцов, Р.Ю. Царев. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – 143 с.
3. Модель анализа надежности распределенных вычислительных систем / Р.Ю. Царев, А.Н. Пупков, М.А. Огнерубова, М.В. Сержантова, Н.А. Бесчастная // *Вестник СибГАУ*. – 2013. – Вып. 1 (47). – С. 86–91.
4. Оценка транзакционной надежности современных систем управления и обработки информации / Р.Ю. Царев, А.В. Штарик, Е.Н. Штарик, О.И. Завьялова // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2012. – № 6. – С. 29–32.
5. Царев Р.Ю. К проблеме оценки надежности сложных программных систем / Р.Ю. Царев, Е.Н. Штарик, А.В. Штарик // *Журнал Сибирского федерального университета*. Серия: Техника и технологии. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 33–47.
6. Черниговский А.С. К проблеме формирования планов выполнения задач в системах управления реального времени // *Теоретические и прикладные аспекты современной науки*. – 2015. – № 7–3. – С. 145–147.
7. Ahmed W., Wu Y.W. A survey on reliability in distributed systems // *Journal of Computer and System Sciences*. – 2013. – Vol. 79, № 8. – P. 1243–1255.
8. Catal C. Software fault prediction: A literature review and current trends // *Expert Systems with Applications*. – 2011. – Vol. 38, № 4. – P. 4626–4636.
9. Hu H., Jiang C.-H., Cai K.-Y., Wong W.E., Mathur A.P. Enhancing software reliability estimates using modified adaptive testing // *Information and Software Technology*. – 2013. – Vol. 55, № 2. – P. 288–300.
10. Kovalev I.V., Zelenkov P.V., Karaseva M.V., Tsarev M.Y., Tsarev, R.Y. Model of the reliability analysis of the distributed computer systems with architecture «client-server», IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering, – 2015. – Vol. 70, № 1, art. № 012009. DOI: 10.1088/1757-899X/70/1/012009.

11. Levitin G., Xing L., Amari S.V., Dai Y. Reliability of non-repairable phased-mission systems with propagated failures, Reliability Engineering and System Safety. – 2013. – Vol. 119. – P. 218–228.

12. Tsarev R.Yu., Younousov R.V. Estimation of transactional reliability of object-oriented software of information and control systems // The 8th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2014) . – Kazakhstan, Astana, 2014. – P. 1–5. DOI: 10.1109/ICAICT.2014.7035928.

References

1. Zelenkov P.V., Kayukov E.V., Tsarev R.Yu., Shtarik E.N., Shtarik A.V. *K probleme sinteza raspredelennykh informacionno-analiticheskikh sistem podderzhki prinjatija reshenij* [To the problem of synthesis of distributed information-analytical decision making support systems]. Fundamental research, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 286–289.

2. Kuznecov A.S., Chentsov S.V., Tsarev R.Yu. *Mnogojetapnyj analiz arhitekturnoj nadezhnosti i sintez otkazostojchivogo programmogo obespechenija slozhnykh sistem*: [Multistage analysis of the architectural reliability and synthesis of fault-tolerant software for complex systems]. Krasnojarsk: Siberian Federal University, 2013, 143 p.

3. Tsarev R.Yu., Pupkov A.N., Ognerubova M.A., Serzhantova M.V., Beschastnaya N.A. *Model' analiza nadezhnosti raspredelennykh vychislitel'nykh sistem* [Model of distributed computing system reliability analysis]. Bulletin SibGAU, 2013, no. 1, pp. 86–91.

4. Tsarev R.Yu., Shtarik A.V., Shtarik E.N., Zavyalova O.I. *Ocenka tranzakcionnoj nadezhnosti sovremennykh sistem upravlenija i obrabotki informacii* [Estimation of transaction reliability of modern control and information processing systems]. Devices and systems. Control and diagnostics, 2012, no. 6, pp. 29–32.

5. Tsarev R.Yu., Shtarik E.N., Shtarik A.V. *K probleme ocenki nadezhnosti slozhnykh programnykh sistem* [Toward the problem of estimation of the complex software system reliability]. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2015, Vol. 8, no. 1, pp. 33–47.

6. Chernigovskiy A.S. *K probleme formirovaniya planov vypolnenija zadach v sistemah upravlenija real'nogo vremeni* [On the problem of the building of plans of tasks in real-time control systems]. Theoretical and applied aspects of modern science, 2015, no. 7–3, pp. 145–147.

7. Ahmed W., Wu Y.W. A survey on reliability in distributed systems, Journal of Computer and System Sciences, 2013, Vol. 79, no. 8, pp. 1243–1255.

8. Catal C. Software fault prediction: A literature review and current trends, Expert Systems with Applications, 2011, Vol. 38, no. 4, pp. 4626–4636.

9. Hu H., Jiang C.-H., Cai K.-Y., Wong W.E., Mathur A.P. “Enhancing software reliability estimates using modified adaptive testing,” Information and Software Technology, 2013, Vol. 55, no. 2, pp. 288–300.

10. Kovalev I.V., Zelenkov P.V., Karaseva M.V., Tsarev M.Y. Tsarev, R.Y. Model of the reliability analysis of the distributed computer systems with architecture «client-server», IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 70, no. 1, art. no. 012009. DOI: 10.1088/1757-899X/70/1/012009.

11. Levitin G., Xing L., Amari S.V., Dai Y. Reliability of non-repairable phased-mission systems with propagated failures, Reliability Engineering and System Safety, 2013, Vol. 119, pp. 218–228.

12. Tsarev R.Yu., Younousov R.V. Estimation of transactional reliability of object-oriented software of information and control systems. The 8th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2014), Kazakhstan, Astana, 2014, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICAICT.2014.7035928.

Рецензенты:

Носков М.В., д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;

Ченцов С.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Системы автоматизации, автоматизированное управление и проектирование», Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.