

Моделирование надежности распределённых информационных систем*

Г. П. Акимова, А. В. Соловьев, И. А. Тарханов

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук», г. Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается методология моделирования схем надежности больших территориально распределенных информационных систем. В большинстве проектов, в которых требуется количественно оценить надежность тех или иных информационных систем, традиционно полагаются на надежность серверов и другого оборудования. Однако большая, территориально-распределенная система – это совокупность программных и технических средств, взаимодействующих между собой, а также обслуживающий персонал, влияющий на систему. Отказ критичных узлов и компонентов по причине технического сбоя или влияния человеческого фактора может повлечь за собой неработоспособность всей системы. В этих условиях важно представить информационную систему как единое целое, а не как набор независимых технических и программных средств. Лучше всего представить систему как единое целое помогает составление схемы надежности. Методологии построения схемы надежности и проведения оценки надежности по данной схеме и посвящена данная статья.

Ключевые слова: надежность, информационная система, математическая модель, территориальная распределённость, схема надежности, каркас графа.

DOI 10.14357/20718632190307

Введение

Невозможность определения надежности информационной системы (ИС) путем моделирования может привести к необратимым последствиям из-за вовремя не выявленных рисков и отсутствия понимания уровня надежности системы в целом [1]. В больших территориально-распределённых информационных системах данные проблемы усугубляются сложностью и неоднородностью программно-аппаратной архитектуры ИС, и проблема оценки надёжности становится особенно актуальной [2].

За последние четверть века было проведено множество исследований, посвященных надёж-

ности в контексте оценки архитектуры ИС, циркулирующих в ней данных и автоматизированных процессов [3, 4]. Однако ни одно из этих исследований не позволяет построить чёткую картину зависимости надёжности системы в целом от распределённых ее узлов и получить унифицированную методологию моделирования надежности, которую можно было бы использовать в разных проектах по созданию ИС, применяя единый подход. Данная статья посвящена разработке методологии моделирования надежности территориально-распределённых ИС с помощью создания схем надежности и расчета показателей надежности согласно этим схемам.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-03070.

1. Методология разработки схемы надежности распределенной информационной системы

Разработка схемы надежности является определяющим этапом при создании методического обеспечения оценки надежности. Схему надежности для иерархической территориально-распределенной ИС удобно представить в виде графа.

Рассмотрим произвольный граф $G(V, E)$, где $V = \{v_i\}$ – множество узлов надежности v_i . Каждый узел включает все программно-технические средства (ПТС), находящиеся на некоторой замкнутой территории (офис, здание, организация). $E = \{e_j\}$ – множество каналов связи (КС) e_j , каждый элемент множества E связывает между собой пару элементов множества V .

Необходимо отметить, что разработка математической модели оценки надежности по графу (сети) является сложной задачей. Однако большинство территориально-распределенных ИС имеют иерархический принцип построения, что облегчает задачу и упрощает оценку надежности.

Утверждение. Схему надежности большой территориально-распределенной ИС, построенной по иерархическому принципу, можно представить в виде дерева или леса.

Ограничение. В ИС, построенной по иерархическому принципу, основные потоки информации распространяются по ребрам e_j по направлению вершина – листья и обратно. Как правило, и это подтверждается опытом работы авторов исследования с большими территориально-распределенными иерархическими ИС, потоки данных между узлами v_i одного уровня иерархии на порядок менее мощные. Разработчики ИС учитывают это при разработке архитектуры системы, и, как правило, КС между узлами одного уровня иерархии имеют меньшую пропускную способность, чем между уровнями.

Рассмотрим структуру ИС, состоящую из центрального узла и двух региональных узлов. Предположим, что КС e_j уровня регион-центр имеют интенсивность информационных потоков (или пропускную способность) в 4 Мб/с, между регионами – 2 Мб/с. Полученный граф надежности – сеть из трех узлов и трех ребер (Рис. 1). Допустим, что мощности обработки

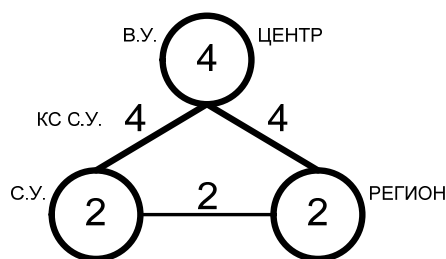


Рис. 1. Граф надежности для простейшей двухуровневой схемы ИС

данных на узлах v_i графа с условным названием центр-регион соотносятся как 2:1 (пропорционально числу нижестоящих узлов на один вышестоящий). Делать равными по мощности узлы нет смысла, поскольку это приводит к перерасходу

С использованием алгоритма Прима [5] по поиску каркаса графа (в данном случае максимального) со стартовой вершиной в корне дерева (вершина Центр) строится остовное дерево без ребра регион-регион. Тем самым, итоговая схема надежности – дерево, в котором отсутствует ребро меньшего веса. Это оправдано, поскольку в период интенсивной эксплуатации системы при выходе из строя ребра центр-регион для обеспечения взаимосвязи с центром необходимо будет организовать потоки данных через второй регион с использованием мало-мощного КС. Это неизбежно приведет к перегрузке каналов и необеспечению своевременности выполнения операций. Тем самым, можно будет утверждать, что ИС не выполнит своей функции даже при абсолютно надежном функционировании остального оборудования и КС. Поэтому выделение максимального каркаса в схеме надежности связано с тем, что необходимо выделить каналы связи, гарантированно обеспечивающие выполнение ограничений по своевременности при дальнейшей оценке надежности.

Увеличим количество уровней иерархии на единицу. Теперь ИС содержит три уровня иерархии узлов надежности v_i : центр, регион, район.

Добавим к предыдущему графу (Рис. 1) еще один уровень. В полученной структуре ИС в каждом из регионов имеется по два района. Пусть КС e_j уровня регион-центр имеют про-

пускную способность в 4 Мб/с, район-регион – 2 Мб/с, между районами одного региона – 1 Мб/с, между регионами – 2 Мб/с.

Полученный граф надежности представляет собой сеть из 7 узлов и 9 ребер (Рис. 2). Допустим, что мощности обработки данных на узлах v_i графа центр-регион-район соотносятся как 4:2:1 (пропорционально числу нижестоящих узлов на один вышестоящий).

Используя алгоритм Прима [5] по поиску максимального каркаса графа со стартовой вершиной в вершине Центр, получаем остовное дерево без ребер регион-регион и район-район. Тем самым для трехуровневой схемы получен результат, аналогичный тому, что получен при двухуровневой (с учетом, что КС между узлами одного уровня иерархии менее мощные, чем между узлами разных уровней).

Рассуждая по математической индукции, т.е. увеличивая количество уровней, добавляя подчиненные узлы к листовому уровню (Рис. 2), можно получить более сложные графы и максимальные каркасы для них. Тем не менее, с учетом вышеописанного ограничения, результат будет оставаться таким же: максимальные каркасы без ребер между узлами одного уровня иерархии.

Общая формулировка задачи получения схемы надежности в виде дерева или леса на основе графа надежности получается следующая.

Дано:

Граф, описывающий схему ИС $G(V, E)$, где $V = \{v_i\}$ – множество всех узлов надежности ИС. Каждый узел $v_i = \{ПТС_{ik}\}$, $ПТС_{ik}$ – конкретное программно-техническое средство узла. $E = \{e_j\}$ – взвешенное множество всех каналов связи (КС) e_j . Каждый элемент множества E – связывает между собой пару элементов множества V . Вес e_j означает пропускную способность КС.

Найти:

Множество древовидных схем надежности $Tr = \{G'(V, E')\}$, где $G'(V, E')$ – максимальный каркас l , $V = \{v_i\}$ – множество всех узлов надежности v_i . $E' = \{e_j\}$ – множество каналов связи (КС) ИС максимального суммарного веса, не образующих цикл. Каждый элемент множества E' – связывает между собой пару элементов множества V .

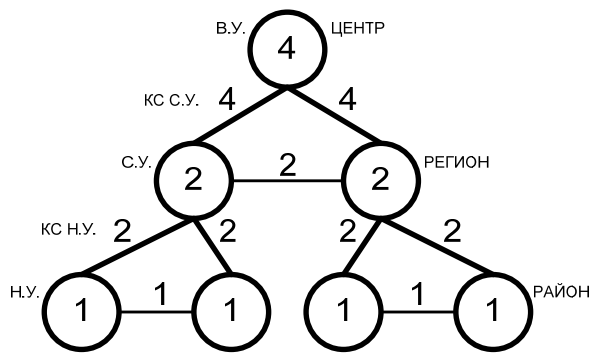


Рис 2. Граф надежности для простейшей трехуровневой схемы

Ограничения:

- ИС спроектирована по иерархическому принципу;
- каркас создается проходом по ребрам $G(V, E)$ от корня к листьям (сверху-вниз) с запретом прохода снизу вверх по дереву.

Если граф имеет сложную структуру (Рис. 3), выделение максимального каркаса (каркасов) в нем может быть осложнено тем, что с использованием классического алгоритма Прима возможно включение в него ребер от нижестоящих узлов к вышестоящим. Такое возможно, например, при выборе стартовой вершины Центр 3 в отсутствие КС 5 (Рис. 3). Возможно также получение каркаса без ребер от вершины Центр 3 до регионов (Рис. 3). Такое решение будет противоречить движению основных потоков данных в ИС.

Для таких случаев алгоритм Прима должен быть модифицирован либо путем добавления в структуры данных возможности отмечать

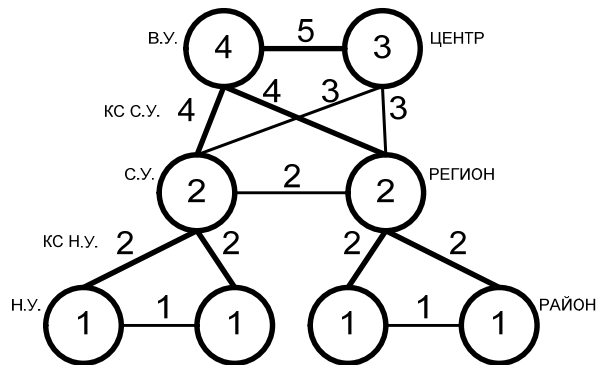


Рис 3. Граф надежности для трехуровневой схемы с двумя центрами

вершины, как неподлежащие посещению (например, вследствие отказа), либо ввода в алгоритм маркера уровня вершины и искусственного запрета рассмотрения ребер от нижнего к более верхнему уровню иерархии (Рис. 4).

Если для центрального узла существует резервный ЦОД (например, узлы Центр 4 и 3 на Рис. 3), то обращение пользовательских процессов все равно идет к одной копии данных в единицу времени. Следовательно, центральный узел можно считать единственным (например, совместив вершины Центр 4 и 3, как на Рис. 3), но в модели необходимо учитывать его резервирование (например, в простейшем случае с помощью формулы $K_{z.p.} = 1 - (1 - K_2)^n$, где n – количество резервных узлов, для каждого из которых надежность определена K_2).

Если же центральные узлы и КС равны по мощности, то возможно получение нескольких разных деревьев при выборе разных стартовых вершин графа, т.е. получение не дерева, а леса. Получение леса, тем не менее, не сильно увеличивают сложность задачи. По представленной ниже модели оценки надежности необходимо будет выполнить расчет по нескольким деревьям, а затем взять минимальную оценку.

Получение одного или нескольких каркасов (или критических сечений) в общем графе надежности является оправданным, т.к. значительно упрощает расчет и схему надежности, не приводя к существенному искажению оценок показателей надежности.

В общем случае для каждого каркаса (или сечения) исходной схемы надежности необходимо оценить надежность по предложенной ниже модели надежности и выбрать из них минимальную. Подход предложен авторами на основании анализа применения методик оценки надежности крупных территориально-распределенных ИС [6].

2. Моделирование оценки надежности информационной системы

По составленной схеме надежности с учетом вышеприведенных ограничений и допущений может быть легко построена модель надежности ИС в целом для узлов v_i . Затем для каждого

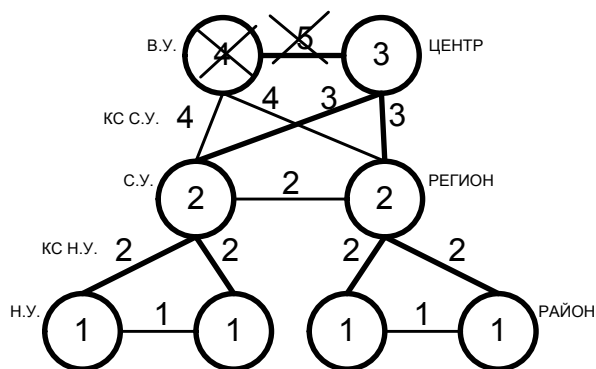


Рис. 4. . Граф надежности для трехуровневой схемы с двумя центрами и возможностью исключения некоторых вершин и ребер

узла v_i модель надежности детализируются в зависимости от состава ПТС $PT_i = \{PT_{ij}\}$ узла v_i .

Общая методология для построения модели надежности трехуровневой иерархической распределенной ИС (Рис. 2) должна выглядеть так [7, 8]:

$$\rho(t) = K_2 ИС = K_2 в.у. \sum_{i=1}^{N_{с.у.}} (b_i K_2 кс с.у. i K_2 с.у. i (\sum_{j=1}^{N_{н.у.} i} a_{ij} K_2 кс н.у. ij K_2 н.у. ij))),$$

где $K_2 в.у.$ – показатель надежности для объектов ИС верхнего уровня (недетализированная модель надежности объектов типа центры обработки данных (ЦОД), центральные серверы, ПО центральной БД и т.д.);

$b_i = Об_i / \sum_{i=1}^{N_{с.у.}} Об_i$ – доля объектов, обслуживаемых i -м узлом ИС среднего уровня, $Об_i$ – количество элементов надежности, обслуживаемых i -м узлом ИС среднего уровня ($\sum_{i=1}^{N_{с.у.}} b_i = 1$);

$N_{с.у.}$ – количество звеньев ИС среднего уровня;

$K_2 кс с.у. i$ – коэффициент готовности ПТС КС между верхним и средним уровнями;

$K_2 с.у. i$ – коэффициент готовности i -го узла ИС среднего уровня;

$a_{ij} = Об_{ij} / \sum_{j=1}^{N_{н.у.} i} Об_{ij}$ – доля объектов, обслуживаемых j -м нижним узлом ИС, связанным со средним узлом i ($\sum_{j=1}^{N_{н.у.} i} a_{ij} = 1$) относительно общего количества объектов нижнего уровня, связанных с i -м узлом ИС среднего уровня;

$N_{н.у.} i$ – количество узлов нижнего уровня, связанных с i -м узлом среднего уровня;

$K_2 кс н.у. ij$ – коэффициент готовности ПТС КС уровня i -й узел среднего уровня – j -й узел нижнего уровня;

$K_{г.н.у.ij}$ – коэффициент готовности j -го узла нижнего уровня, связанного с i -м узлом среднего уровня.

Общая модель оценки надежности приведена для показателя надежности – коэффициент готовности K_g (вероятность, что ИС окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени), т.е. комплексной характеристики безотказности и ремонтпригодности ИС. Однако выбор показателя надежности в данном случае не принципиален, методология показывает как строить схему надежности, приводить ее к дереву (или лесу), затем по схеме (схемам) составлять модель для оценки надежности. Аналогично можно представить модели надежности для расчета других показателей, таких как:

- коэффициент готовности (K_g) — вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается;

- коэффициент оперативной готовности ($K_{ог}$) – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени t , кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени;

- коэффициент технического использования ($K_{тн}$) — отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием (ТО), и ремонтов за тот же период эксплуатации;

- коэффициент планируемого применения ($K_{п}$) — доля периода эксплуатации, в течение которой объект не должен находиться в плановом ТО или ремонте.

- коэффициент сохранения эффективности ($K_{эф}$) – отношение значения показателя эффективности использования объекта по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению

этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают. Коэффициент сохранения эффективности характеризует степень влияния отказов объекта на эффективность его применения по назначению.

По представленной модели оценки надежности можно по индукции увеличить или уменьшить количество уровней, рассчитав соответствующие весовые коэффициенты и добавив сумму нормированных показателей надежности следующего уровня.

3. Практическое применение методологии моделирования надёжности

Методики расчета надежности, полученные ранее по разработанной авторами методологии, описаны в [7, 9]. Данная методология легко автоматизируется, например, на ее основе был написан программный комплекс, оценивающий надежность ИС и применявшийся для оценки надежности ГАС «Выборы».

Разработанная методология внедрена также в аппаратно-программный комплекс «Электронный архив индивидуального (персонализированного) учета» (АПК ЭАПУ) Пенсионного фонда РФ. В результате проведенных по внедренным методикам расчетов удалось своевременно выявить узкие, с точки зрения надежности, узлы систем, что позволило провести их точечную модернизацию.

Эта методология использовалась при создании логико-математической модели системы управления для концепции «Умный город Сколково» Инновационного центра Сколково [6]. Это позволило спроектировать систему управления с учетом надежности на этапе концепции и задать обоснованные критерии для выбора программно-технических решений на этапе технорабочего проектирования.

4. Сравнение с существующими подходами и ограничения при моделировании

Первые работы по оценке надёжности распределённых систем фокусировались на решении частных задач – оценке ошибок при пере-

даче данных или нестабильности пропускной способности каналов между узлами ИС [10].

При попытке разработать универсальный инструментарий проверки ИС на надёжность были созданы инженерные подходы и специализированный инструментарий [3, 4]. Наиболее полной моделью оценки эффективности ИС, которая учитывает не только качество самой системы, но и её данных, а также степень удовлетворённости пользователей и другие бизнес-ориентированные параметры, является D&M IS Success Model [11]. Согласно классификации [11] представленная модель оценивает только технический аспект функционирования системы и наиболее близка к подходам, основанным на оценке архитектуры ИС [12]. При этом она может быть использована совместно с D&M IS Success Model и дополнять её в контексте территориально-распределённых систем.

Большинство исследований фокусируются на надёжность данных, циркулирующих в системе (процессный подход) [13], или на процессе предсказания появления ошибок [14], не принимая во внимание особенности архитектуры оцениваемой ИС.

Последние исследования оценки надёжности распределённых ИС в большинстве своём основаны на использовании Марковских цепей [2, 15], что позволяет понять зависимости между состояниями отдельных компонентов системы, определить «узкие места» распределённой ИС относительно небольшого масштаба, при этом не позволяя получать однозначную наглядную оценку надёжности ИС, состоящей из более чем 100 узлов, в динамическом состоянии.

Нужно отметить, что для упрощения описания математической модели, она не учитывает ряд важных характеристик надёжности, например, не рассматривается проблема устаревания данных при оценке надёжности [16], что в будущем может быть учтено при построении схем надёжности.

Заключение

В данной статье рассмотрена предложенная авторами методология моделирования надёжности больших территориально-распределённых ИС. Методологический аппарат был доведен до уровня действующих методик, внедрённых и

применявшихся в промышленной эксплуатации в рамках разработки крупнейших информационных систем федерального уровня: Государственной автоматизированной системы (ГАС) РФ «Выборы», электронного архива персонифицированного учета Пенсионного фонда РФ, проекта Умный город Сколково.

Преимуществом разработанной методологии моделирования надёжности является то, что она учитывает территориально обособленную архитектуру ИС и имеет большой потенциал для расширения на более сложные распределённые конфигурации ИС.

В перспективе планируется улучшить сходимость алгоритма Прима при получении критических сечений (максимальных каркасов схемы надёжности), разработать методологию детализации моделей надёжности узлов схемы надёжности и её автоматизацию с помощью специализированного ПО.

Литература

1. Pitt L. F., Watson R. T., Kavan C. B. Service quality: a measure of information systems effectiveness // MIS quarterly, 1995. P. 173-187.
2. Waseem A., Wu Y.W. A survey on reliability in distributed systems // Journal of Computer and System Sciences 2013. No. 79.8. P. 1243-1255.
3. Boudreau M. C., Gefen D., Straub, D. W. Validation in information systems research: a state-of-the-art assessment. // MIS quarterly. 2001. P. 1-16.
4. Kapoor P.K., Pham H., Gupta A., Jha P.C. Software reliability assessment with OR applications. // Springer, London, 2011.
5. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. // Third Edition. MIT Press. ISBN 0-262-03384-4. Section 23.2: The algorithms of Kruskal and Prim, 2009. P. 631–663.
6. Соловьев А.В. и др. Концепция «Умный город Сколково» для Инновационного центра Сколково и комплекса мер ее реализации. Том 3. Логико-математическая модель «Умного города», Отчет о НИР, ИСА РАН. 2012.
7. Соловьев, А.В. Комлева Е.Ю. Методическое обеспечение надёжности в области хранения электронных документов // Труды XXIII Международной конференции «Документация в информационном обществе: архивоведение и документоведение в современном мире». Росархив. ВНИИДАД. 2017. С. 321-331.
8. G.P. Akimova, A.V.Solovyev, I.A. Tarkhanov. Reliability Assessment Method for Geographically Distributed Information Systems // The IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies / AICT 2018 (17-19 Oct. 2018, Almaty, Kazakhstan), IEEE, 2018, P.188-191.

9. Акимова Г.П., Соловьев А.В., Пашкина Е.В. Анализ оценки эффективности иерархической территориально-распределенной системы на примере ГАС «Выборы» // Обработка изображений и анализ данных. Труды Института системного анализа РАН (ИСА РАН). 2010 Т.58, С.27-42.
10. Svobodova L. Reliability issues in distributed information processing systems. // Dig. Papers FTCS-9: 9th Annu. Symp. Fault-Tolerant Computing. 1979.
11. DeLone W. H., McLean E. R. The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update. // Journal of management information systems. 2003. No.19(4). P. 9-30.
12. Goševa-Popstojanova K., Kishor S. T. Architecture-based approach to reliability assessment of software systems. // Performance Evaluation. 2001. No. 45.2-3. P 179-204.
13. Krishnan R., Peters J., Padman R., Kaplan D. On data reliability assessment in accounting information systems. // Information Systems Research. 2005. No. 16(3). P. 307-326.
14. Choudhary A., Baghel A.S., Sangwan O.P. Parameter Estimation of Software Reliability Model Using Firefly Optimization. // Data Engineering and Intelligent Computing. Springer. Singapore. 2018. P. 407-415.
15. Zheng Z. Semi-markov models of composite web services for their performance, reliability and bottlenecks. // IEEE Transactions on Services Computing. 2017. No. 10.3. P. 448-460.
16. Xu J., Yu D., Hu Q., Xie M. A reliability assessment approach for systems with heterogeneous component information // Quality Engineering. 18.12.2017. P.1-11 <https://doi.org/10.1080/08982112.2017.1402935>

Акимова Галина Павловна. Ведущий научный сотрудник ИСА ФИЦ ИУ РАН. Москва, просп. 60-летия Октября, д.9. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 60. Область научных интересов: системное программирование, системный анализ, информационные технологии, влияние человеческого фактора, информационно-аналитические системы, электронный документооборот, электронный архив. E-mail: akimova@isa.ru

Соловьев Александр Владимирович. Главный научный сотрудник ИСА ФИЦ ИУ РАН. Доктор технических наук. Количество печатных работ: 90. Область научных интересов: системный анализ, системы управления базами данных, теория надежности, математическое моделирование, долговременное хранение электронных документов. E-mail: soloviev@isa.ru

Тарханов Иван Александрович. Старший научный сотрудник ИСА ФИЦ ИУ РАН. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 40. Область научных интересов: электронный документооборот, электронный архив, моделирование бизнес процессов, информационная безопасность, блокчейн. E-mail: tarkhanov@isa.ru.

Modeling the Reliability of Distributed Information Systems

G. P. Akimova, A. V. Solovyev, I. A. Tarkhanov

Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This article is intended to create a methodology for modeling the reliability of large geographically distributed information systems. In most projects, in which it is required to quantify the reliability of certain information systems, traditionally rely on the reliability of servers and other equipment. However, a large, geographically distributed system is a combination of software and hardware that interact with each other, as well as service personnel that influence the system. Failure of critical components and components due to technical failure or the influence of the human factor can lead to the inoperability of the entire system. Under these conditions, it is important to present the information system as a whole, and not as a set of independent hardware and software. It is best to present the system as a whole helps charting reliability. Methodologies for constructing a reliability scheme and conducting a reliability assessment using this scheme use various reliability indicators and this article is devoted.

Keywords: digital economy, long-term preservation, big data, distributed registries, reliability

DOI 10.14357/20718632190307

References

1. Pitt L. F., Watson R. T., Kavan C. B. Service quality: a measure of information systems effectiveness // MIS quarterly, 1995. P. 173-187.
2. Waseem A., Wu Y.W. A survey on reliability in distributed systems» // Journal of Computer and System Sciences 2013. No. 79.8. P. 1243-1255.

3. Boudreau M. C., Gefen D., Straub, D. W. Validation in information systems research: a state-of-the-art assessment. // MIS quarterly. 2001. P. 1-16.
4. Kapoor P.K., Pham H., Gupta A., Jha P.C. Software reliability assessment with OR applications. // Springer, London, 2011.
5. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. // Third Edition. MIT Press. ISBN 0-262-03384-4. Section 23.2: The algorithms of Kruskal and Prim, 2009. P. 631–663.
6. A.V.Soloviev, Concept «Umnij gorod Skolkovo» for Skolkovo innovation center and set of measures for its implementation. Vol 3. Logiko-matematicheskaja model' «Umnogo goroda»: research report. ISA RAN. 2012, 141 p.
7. A.V. Soloviev, E.Y. Komleva, “Metodicheskoe obespechenie nadezhnosti v oblasti hranenija jelektronnyh dokumentov”, Proceedings of the XXIII International Conference "Documentation in the Information Society: Archival Studies and Documentation in the Modern World", Rosarchive, 2017, pp. 321-331.
8. G.P. Akimova, A.V.Solovyev, I.A. Tarkhanov. Reliability Assessment Method for Geographically Distributed Information Systems // The IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies / AICT 2018 (17-19 Oct. 2018, Almaty, Kazakhstan), IEEE, 2018, P.188-191.
9. G.P. Akimova, E.V. Pashkina, A.V. Soloviev. “Analiz ocenki jeffektivnosti ierarhicheskoj territorial'no-raspredelejnoj informacionnoj sistemy na primere GAS “Vybory”, Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences, vol. 58, pp. 25-38, 2010.
10. Svobodova L. Reliability issues in distributed information processing systems. // Dig. Papers FTCS-9: 9th Annu. Symp. Fault-Tolerant Computing. 1979.
11. Delone W. H., McLean E. R. The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update. // Journal of management information systems. 2003. No. 19(4). P. 9-30.
12. Goševa-Popstojanova K., Kishor S. T. Architecture-based approach to reliability assessment of software systems. // Performance Evaluation. 2001. No. 45.2-3. P. 179-204.
13. Krishnan R., Peters J., Padman R., Kaplan D. On data reliability assessment in accounting information systems. // Information Systems Research. 2005. No. 16(3). P. 307-326.
14. Choudhary A., Baghel A.S., Sangwan O.P. Parameter Estimation of Software Reliability Model Using Firefly Optimization. // Data Engineering and Intelligent Computing. Springer. Singapore. 2018. P. 407-415.
15. Zheng Z. Semi-markov models of composite web services for their performance, reliability and bottlenecks. // IEEE Transactions on Services Computing. 2017. No. 10.3. P. 448-460.
16. Xu J., Yu D., Hu Q., Xie M. A reliability assessment approach for systems with heterogeneous component information // Quality Engineering. 18.12.2017. P.1-11 <https://doi.org/10.1080/08982112.2017.1402935>.

Akimova G. P. Leading Researcher, Department 94 ISA FRC CSC RAS. Moscow, prosp. 60-let Oktyabrya, 9. Candidate of Technical Sciences. Number of publications: 60. Area of scientific interests: system programming, system analysis, information technologies, the influence of the human factor, information and analytical systems, electronic document management, electronic archive. E-mail: akimova@isa.ru

Solovyev A. V. Chief Researcher, Department 94 ISA FRC CSC RAS. Moscow, prosp. 60-let Oktyabrya, 9. Doctor of Technical Sciences. Number of publications: 90. Area of scientific interests: system analysis, database management systems, reliability theory, mathematical modeling, electronic document management, electronic archive, long-term storage of electronic documents. E-mail: soloviev@isa.ru

Tarkhanov I. A. Senior Researcher of ISA FRC CSC RAS. Moscow, prosp. 60-let Oktyabrya, 9. PhD of Technical Sciences. Number of publications: 40. Area of scientific interests: electronic document management, electronic archive, business process modeling, information security, blockchain. E-mail: tarkhanov@isa.ru