

УДК 681.321

В.С. Харченко, Ирадж Эльяси Комари

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

РАЗРАБОТКА МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ FME(C)A-ТАБЛИЦ

Предложена последовательность анализа надежности компьютерной сети информационно-управляющей системы с использованием FME(C)A-таблиц. Проанализированы особенности получения марковских моделей надежности в зависимости от типов отказов, ресурсов и стратегий восстановления с использованием принципа многофрагментности.

ИУС, компьютерная сеть, надежность, марковская модель, FME(C)A, многофрагментность

Введение

Проблема оценки надежности компьютерных сетей. Компьютерные сети (КС) являются важной, с точки зрения оценки и обеспечения надежности и безопасности, частью информационно-управляющих систем (ИУС). В данной работе рассматриваются распределенные ИУС с высокой готовностью [1]. Актуальность проблемы оценки и обеспечения надежности и безопасности КС ИУС обусловлена рядом факторов, прежде всего:

- КС являются распределенной многокомпонентной системой, для которой сложно сформулировать понятие отказа. КС могут быть отнесены к системам с многоуровневой работоспособностью;

- КС содержит большой набор штатных средств контроля, диагностирования и восстановления работоспособности, которые функционируют автоматически или под управлением администратора;

- КС является объектом различных случайных и целенаправленных воздействий, которые могут вызывать кратковременную или длительную потерю работоспособности. Отказы (сбои) КС происходят из-за отказов (сбоев) программных, аппаратных или сетевых компонент. Они, в свою очередь, вызываются этими воздействиями или «естественными» причинами.

Вследствие указанных причин весьма сложной является оценка надежности КС ввиду большой размерности задачи и разнообразия действующих факторов.

Анализ литературы. Постановка задачи. Для анализа надежности КС используются различные процедуры, в том числе, основанные на FME(C)A (Failure Modes and Effects (Critical) Analysis)-методиках [2, 3]. В работе [4] этот метод обобщен на случай web-сервисов, учитывает информационные воздействия на систему, и поэтому получил название F(I)MEA-процедур (Failure and Intrusion Modes and Effects Analysis).

Обычно, такие FME(C)A-методики позволяют проанализировать виды и последствия первых (одиночных) отказов. В то же время для КС, используемых в критических ИУС, важно оценить их надеж-

ность с учетом возможных кратных отказов и последовательностей одиночных и/или кратных отказов. Для этого могут использоваться иерархии FME(C)A-таблиц [5]. Однако, в конечном итоге, необходима модель, которая позволит получить количественные оценки надежности (готовности) системы.

Цель статьи. Разработка метода анализа компьютерной сети, основанного на использовании множества FME(C)A-таблиц, и получении марковской модели надежности (готовности) КС.

В соответствии с этим далее решаются следующие задачи:

- предлагается общая последовательность анализа надежности КС с использованием FME(C)A-таблиц, образующих иерархию. Эта иерархия учитывает различные варианты последовательностей одиночных и кратных отказов;

- разрабатывается марковская модель КС, в которой отказы (сбои) компонент группируются с учетом их последствий и возможностей восстановления.

Последовательность операций анализа КС с использованием FME(C)A-таблиц

1. Формируется модель отказов КС, представляющая собой последовательности Π_i одиночных или кратных отказов Φ_{if} их компонент, $M\Pi = \{\Pi_i\}_{i=1}^n, \Pi_i = \langle \Phi_{ij} \rangle_{j=1}^{m_i}$.

2. Для отказов компонент Φ_{i1} строится первая FME(C)A-таблица (F_{i1} -таблица) в соответствии с методикой, приведенной в [3].

3. Множество отказов $M\Phi_1$, рассмотренных в таблице F_{i1} , декомпозируется на подмножества $M\Phi_1^1, M\Phi_1^2, M\Phi_1^3$, исходя из возможностей устранения последствий этих отказов штатными (автоматическими) средствами ($M\Phi_1^1$), системным администратором автоматизированными средствами ($M\Phi_1^2$), и путем ремонта с использованием обслуживающего персонала ($M\Phi_1^3$).

Если необходимо оценить надежность КС при одиночных отказах, то в соответствии с результатами анализа разрабатывается и исследуется марковская модель готовности, в противном случае (для последовательности одиночных или кратных отказов) – переход к пункту 4.

4. Разрабатывается множество таблиц $F_{i2}, F_{i3}, \dots, F_{imi}$ для последовательностей отказов, начиная с Φ_{i2} и заканчивая Φ_{imi} . Для каждой из таблиц проводится анализ отказов в соответствии с п.3. Таким образом, последовательностям $\Pi_i \in \text{МП}$ могут быть поставлены в соответствие иерархии F-таблиц и соответствующих марковских моделей.

Возможность использования аппарата марковских процессов в рассматриваемой ситуации объясняется тем, что принимается допущение о простейших потоках отказов и восстановлений компонент КС, которое справедливо для отказов по «естественным» причинам. Если исследуется поведение КС в условиях воздействий, приводящих к кратным отказам, использование марковских моделей возможно, если простейшим является поток событий, связанных с отказами заданной кратности [6]. Уменьшение размерности моделей достигается путем применения принципа многофрагментности [7] или за счет группирования отказов с использованием матриц критичности.

Разработка марковской модели

На первом этапе необходимо определить множество состояний, в которых оказывается КС в зависимости от типов отказов (сбоев). Для получения первой группы таких состояний следует воспользоваться результатами анализа FME(C)A-таблицы F_{11} и полученными множествами $\text{МФ}_1^1, \text{МФ}_1^2, \text{МФ}_1^3$, каждое из которых делится на два подмножества в зависимости от того, каким образом осуществляется восстановление: без использования резервного ресурса или с использованием резерва, автоматически или путем замены отказавшего компонента. Тогда подмножество состояний, определяющих первую группу событий, включает следующие состояния: S_0 – исходное состояние, когда КС полностью работоспособна; S_{11}, S_{12} – состояния из множества МФ_1^1 без использования резервного ресурса или с использованием резерва соответственно; S_{21}, S_{22} – состояния из множества МФ_1^2 без использования резервного ресурса или с использованием резерва соответственно; S_{31}, S_{32} – состояния из множества МФ_1^3 без использования резервного ресурса или с использованием резерва соответственно; $S_4 - S_6$ – состояния, в которые переходит система после использования резерва из состояний S_{12}, S_{22}, S_{32} соответственно.

Следует подчеркнуть, что в первой группе могут быть учтены также состояния, связанные с ошибками контроля. Если предположить, что отказы (сбои) из множеств $\text{МФ}_1^j, j = \{1, 2, 3\}$, обнаружи-

ваются с вероятностью D_j , то должны быть введены состояния S_{j3} , в которые осуществляется переходы с вероятностью $1 - D_j$.

Переходы из состояния S_0 в состояния $S_{jk}, i = \{1, 2\}$, осуществляются с интенсивностями $D_j L_{jk}$, а в состояния S_{j3} – с интенсивностью $(1 - D_j) L_{jk}$. Далее из состояний S_{j2} осуществляются переходы в состояния $S_4 - S_6$ с интенсивностями $L_4 - L_6$.

Из состояний S_{j3} возможны переходы в состояния $S_{jk}, k = \{1, 2\}$, с интенсивностями $D_j L_{jk}$.

Из состояний S_{j1} переход в состояние S_0 (восстановление работоспособности) происходит с интенсивностями M_{j1} .

Размеченный марковский граф, являющийся частью модели для состояний первой группы (назовем его *базовым фрагментом* и будем обозначать $B(S_0)$ в соответствии с начальной вершиной фрагмента), представлен на рис. 1.

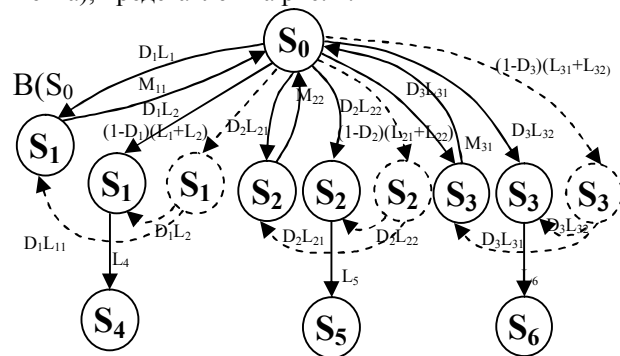


Рис. 1. Базовые фрагменты $B(S_0)$ марковского графа КС

Дальнейшая разработка модели зависит от особенностей построения и стратегий восстановления КС. Проиллюстрируем некоторые из возможных вариантов.

Вариант 1. Ресурс (порядок) восстановления по всем типам отказов (переходы с интенсивностями $L_4 - L_6$) является общим.

Восстановление КС (с остановом функционирования) осуществляется после исчерпания этого ресурса. Тогда граф состояний будет представлять собой цепочку базовых фрагментов с замыканием на начальную вершину следующего фрагмента.

Пример двухфрагментной модели приведен на рис. 2, где пунктирами показаны разные варианты восстановления работоспособности (полное и частичное). Состояние, при котором начинается процесс восстановления (состояние полного отказа), обозначено как S_r . Если принимается стратегия частичного восстановления работоспособности, то тогда, очевидно, должен предусматриваться специальный режим профилактики (состояния S_{p1} и S_{p2} показаны пунктиром).

Вариант 2. Ресурс (порядок) восстановления по всем типам отказов (переходы с интенсивностями $L_4 - L_6$) является раздельным.

Восстановление КС (с остановом функционирования) осуществляется после исчерпания ресурса

по каждому из множеств $M\Phi_v^i, v = \{2, 3, \dots\}$, в соответствии с последовательностями $\Pi_i \in MP$. Тогда граф состояний будет представлять собой иерархию базовых фрагментов с разными вариантами восстановления после исчерпания резерва.

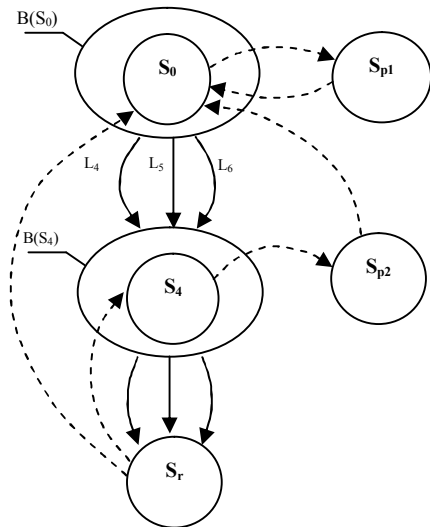


Рис. 2. Многофрагментная марковская модель (вариант 1)

Пример марковской модели с двухуровневой иерархией приведен на рис. 3, на которой переход в состояние полного отказа S_r осуществляется из фрагментов $B(S_4 - S_6)$, а восстановление возможно либо поэтапно через эти фрагменты, либо непосредственно в состояние S_0 . При этом состояния профилактики для стратегии частичного восстановления (как это предусмотрено вариантом 1), для простоты изображения модели, не показаны.

Вариант 3. Данный вариант отличается от предыдущего тем, что после ресурс восстановления группируется по множествам $M\Phi_j^i, j = \{1, 2, 3\}$, на каждом уровне модели. Часть графа состояний для показана на рис. 4. Переходы, описывающие процесс восстановления, здесь не показаны.

Методика исследования КС с использованием марковских моделей

Число вариантов моделей может быть весьма велико. Выше были рассмотрены признаки, в соответствии с которыми они могут разрабатываться. Для проведения моделирования с целью получения показателей готовности и выбора стратегий восстановления КС должно быть отобрано множество конкурентоспособных вариантов.

Определение параметров модели (интенсивностей переходов) проводится с учетом того, что интенсивности $L_{11} (L_{12}), L_{21} (L_{22}), L_{31} (L_{32})$ могут отличаться на порядок. Тоже можно сказать и об интенсивностях M_{11}, M_{21}, M_{31} .

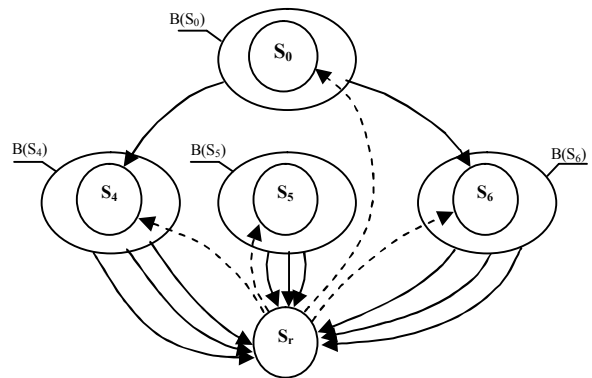


Рис. 3. Многофрагментная марковская модель (вариант 2)

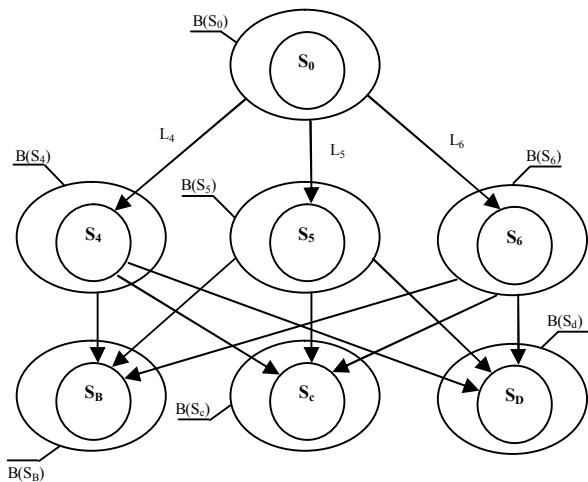


Рис. 4. Фрагмент модели (вариант 3)

Заключение

На базе рассмотренного метода анализа разрабатывается система поддержки принятия решений при восстановлении работоспособности КС. В ее состав входит база данных фиксированных или динамически обновляемых F-таблиц, программные средства, поддерживающие получение и анализ матриц критичности моделей готовности.

Для оценки количественных значений показателей надежности следует воспользоваться марковскими моделями, методика разработки которых предложена в данной статье.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработки конкретных моделей с целью выбора параметров стратегий обслуживания и обеспечения требуемого уровня готовности КС ИУС.

Список литературы

1. Мениске Д., Алмейда В. Производительность web-служб. Анализ, оценка и планирование. – С.-Пб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2003. – 408 с.
2. Kharchenko, V., Gorbenko, A. FME(C)A Technique of Assessment and Ensuring of a Corporate Computer Network Fault-Tolerance and Safety // 6th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, Puerto Rico, 2002.

3. Ирадж Эльяси Комари, Горбенко А.В. Анализ задач разработки и реинжиниринга компьютерных сетей для критических приложений // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2006. – № 7 (19). – С. 32-35.

4. Gorbenko A., Kharchenko V., Tarasyuk O., Furmanov A. *F(I)MEA-Technique of Web-services Analysis and Dependability Ensuring. LNCS4157. Development of Complex Fault-Tolerant Systems*. Butler M., Jones C., Romanovsky A., Trubitsyna E. (eds.). Springer, 2006. – P. 153-168.

5. Ирадж Комари Эльяси. Метод анализа надежности компьютерных сетей сервисов с использованием FME(C)A-иерархий // *МНТК "Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні"*. – Х: НАКУ «ХАІ». – 2006. – С. 275-276.

6. Lysenko I.V., Kharchenko V.S. *Potential vitality of multy-layered majorant-reserved systems subject as a to adverse impulse effects*// *Automation and Telemechanics*, 1997, Num.2. – P. 209-218.

7. Харченко В.С., Одаруценко О.Н., Одаруценко Е.Б. Базовые многофрагментные макромодели оценки надежности отказоустойчивых компьютерных систем информационно-управляющих комплексов // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2006. – № 5 (17). – С. 62-67.

Поступила в редколлегию 18.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А.Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, Харьков.