

УДК 004.272.3

С.Н. ЕФИМОВ, В.В. ТЫНЧЕНКО, В.С. ТЫНЧЕНКО

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад.М.Ф. Решетнёва

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ГЕТЕРОГЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Обсуждается проблема исследования основных характеристик надежности проектируемых вычислительных сетей. Предлагается применение методов аналитического моделирования для решения этой задачи. С использованием аппарата теории массового обслуживания строится аналитическая модель оценки надежности гетерогенных вычислительных сетей клиент-серверной архитектуры.

Ключевые слова: вычислительная сеть, оценка надежности, коэффициент готовности.

Для исследования различных характеристик проектируемой вычислительной сети (ВС) с целью выбора ее эффективной структуры успешно применяется аналитическое моделирование, однако существующие аналитические методы оценки зависимости надежности распределенной вычислительной системы от ее конфигурации разработаны недостаточно. Один из широко применяемых подходов к расчету надежности вычислительной сети заключается в описании и исследовании функционирования вычислительной системы с помощью аппарата теории массового обслуживания, когда ВС представляется как система массового обслуживания с ожиданием [2].

Рассмотрим гетерогенную ВС клиент-серверной архитектуры радиального типа, состоящую из произвольного количества типов клиентов, произвольного числа клиентов каждого типа и многопроцессорного сервера. Моделируемая ВС включает в себя N типов клиентов по m_i клиентов каждого типа ($i = \overline{1, N}$). Все клиенты подключены к серверу посредством каналов связи через концентратор. В состав сервера входят n однородных процессоров.

Каждый элемент вычислительной системы в некоторые случайные моменты времени выходит из строя и нуждается в восстановлении. Поток отказов от всех элементов вычислительной системы являются простейшими и имеют следующие интенсивности: λ_i^{cl} – интенсивности отказов клиентских узлов i -го типа ($i = \overline{1, N}$); λ^{srv} – интенсивность отказов процессоров сервера; λ^{hub} – интенсивность отказов концентратора.

Время восстановления для всех вышедших из рабочего состояния элементов вычислительной системы подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметрами: μ_i^{cl} – интенсивности восстановления клиентских узлов i -го типа ($i = \overline{1, N}$); μ^{srv} – интенсивность восстановления

процессоров сервера; μ^{hub} – интенсивность восстановления концентратора.

Если вновь поступивший на восстановление запрос застанет обслуживающий прибор свободным, то он принимается на обслуживание. Если же поступивший запрос застанет обслуживающий прибор занятым, он становится в очередь и ждет своего обслуживания. Дисциплина обслуживания – случайный равновероятный выбор из очереди.

Процесс функционирования такой ВС представляется замкнутой системой массового обслуживания (СМО) с ожиданием, которая может находиться в следующих состояниях:

$a_{0,0,0,\dots,0}$ – все элементы ВС неисправны и восстанавливаются (вычислительный процесс остановлен);

$a_{1,0,0,\dots,0}$ – исправен один процессор сервера, а $(n-1)$ процессор неисправен и восстанавливается (все остальные элементы ВС неисправны и восстанавливаются; вычислительный процесс остановлен);

$a_{0,1,0,\dots,0}$ – исправен концентратор (все остальные элементы ВС неисправны и восстанавливаются; вычислительный процесс остановлен);

$a_{0,0,1,\dots,0}$ – исправен один клиент 1-го типа, а (m_1-1) клиент 1-го типа неисправен и восстанавливается (все остальные элементы ВС неисправны и восстанавливаются; вычислительный процесс остановлен);

...

$a_{0,0,0,\dots,1}$ – исправен один клиент N -го типа, а (m_N-1) клиент N -го типа неисправен и восстанавливается (все остальные элементы ВС неисправны и восстанавливаются; вычислительный процесс остановлен);

...

$a_{j^{srv},0,j_1^{cl},\dots,j_N^{cl}}$ – j^{srv} процессоров сервера исправны, а $(n - j^{srv})$ – неисправны и восстанавливаются,

концентратор неисправен и восстанавливается, j_1^{cl} клиентов 1-го типа исправны, а $(m_1 - j_1^{cl})$ – неисправны и восстанавливаются, ..., j_N^{cl} клиентов N -го типа исправны, а $(m_N - j_N^{cl})$ – неисправны и восстанавливаются (вычислительный процесс остановлен); ... ;
 $a_{j_1^{srv}, j_1^{hub}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}} - j_{srv}$ процессоров сервера исправны и участвуют в вычислительном процессе, а $(n - j_{srv})$ – неисправны и восстанавливаются, концентратор исправен и участвует в вычислительном процессе, j_1^{cl} клиентов 1-го типа исправны и участвуют в вычислительном процессе, а $(m_1 - j_1^{cl})$ – неисправны и восстанавливаются, ..., j_N^{cl} клиентов N -го типа исправны и участвуют в вычислительном процессе, а $(m_N - j_N^{cl})$ – неисправны и восстанавливаются; ... ;
 $a_{n,1,m_1,\dots,m_N}$ – все элементы ВС исправны и участвуют в вычислительном процессе.

Обозначим $P_{j_1^{srv}, j_1^{hub}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}}$ – вероятность нахождения системы в состоянии $a_{j_1^{srv}, j_1^{hub}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}}$.

Решение системы дифференциальных уравнений рассматриваемой СМО будет иметь такой вид:

$$P_{j_1^{srv}, j_1^{hub}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}}(t) = \frac{\left(\frac{n!}{(n - j_{srv})!} \rho_{srv}^{j_{srv}} \cdot \rho_{hub}^{j_{hub}} \cdot \prod_{i=1}^N \frac{m_i!}{(m_i - j_i^{cl})!} \cdot \rho_{cl_i}^{j_i^{cl}} \right)}{\sum_{j_1^{srv}=0}^n \sum_{j_1^{hub}=0}^1 \sum_{j_1^{cl}=0}^{m_1} \dots \sum_{j_N^{cl}=0}^{m_N} \left(\frac{n!}{(n - j_{srv})!} \cdot \rho_{srv}^{j_{srv}} \cdot \rho_{hub}^{j_{hub}} \times \prod_{i=1}^N \frac{m_i!}{(m_i - j_i^{cl})!} \rho_{cl_i}^{j_i^{cl}} \right)},$$

$$\text{где } \rho_{srv} = \frac{\mu^{srv}}{\lambda^{srv}}, \rho_{hub} = \frac{\mu^{hub}}{\lambda^{hub}}, \rho_{cl_i} = \frac{\mu_i^{cl}}{\lambda_i^{cl}} \quad (i = \overline{1, N}).$$

Основным показателем надежности работы ВС в стационарном режиме является коэффициент готовности (K_r).

Под коэффициентом готовности понимается вероятность того, что система окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, когда использование системы по назначению не предусмотрено [1].

С учетом определений вероятности $P_{j_1^{srv}, j_1^{hub}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}}$ нахождения системы в состоянии $a_{j_1^{srv}, j_1^{hub}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}}$ коэффициент готовности рассматриваемой гетерогенной клиент-серверной ВС радиального типа определяется следующим образом:

$$K_r = \sum_{j_1^{srv}=1}^n \sum_{j_1^{cl}=1}^{m_1} \sum_{j_2^{cl}=0}^{m_2} \dots \sum_{j_N^{cl}=0}^{m_N} P_{j_1^{srv}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}} + \dots + \sum_{j_1^{srv}=1}^n \sum_{j_1^{cl}=0}^{m_1} \dots \sum_{j_{N-1}^{cl}=0}^{m_{N-1}} \sum_{j_N^{cl}=1}^{m_N} P_{j_1^{srv}, j_1^{cl}, \dots, j_N^{cl}}.$$

Таким образом, в работе была рассмотрена задача выбора эффективной конфигурации гетерогенной вычислительной сети, предназначенной для решения сложных научно-технических задач.

Предложена разработанная с применением аппарата теории массового обслуживания математическая модель оценки показателей надежности гетерогенной клиент-серверной ВС радиального типа, которая позволяет осуществлять выбор структуры ВС, удовлетворяющей основным требованиям, предъявляемым к надежности проектируемой системы.

Разработанная модель представляет собой математический аппарат, позволяющий формулировать и решать оптимизационные задачи выбора эффективной конфигурации гетерогенной клиент-серверной ВС.

Литература

1. Бройдо, В.Л. *Вычислительные системы, сети и телекоммуникации [Текст] / В.Л. Бройдо. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.*
2. Саульев, В.К. *Математические теории массового обслуживания [Текст] / В.К. Саульев. – М.: Статистика, 1979. – 96 с.*

Поступила в редакцию 23.02.2012

Рецензент: канд. техн. наук, доцент А.В. Горбенко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ГЕТЕРОГЕННОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ

С.М. Єфімов, В.В. Тинченко, В.С. Тинченко

Обговорюється проблема дослідження основних характеристик надійності проектуємих обчислювальних мереж. Пропонується застосування методів аналітичного моделювання для вирішення цього завдання. З використанням апарату теорії масового обслуговування будується аналітична модель оцінки надійності гетерогенних обчислювальних мереж клієнт-серверної архітектури.

Ключові слова: обчислювальна мережа, оцінка надійності, коефіцієнт готовності.

**THE RELIABILITY ESTIMATION MODEL
OF THE HETEROGENEOUS CLIENT-SERVER COMPUTER NETWORK**

S.N. Efimov, V.V. Tynchenko, V.S. Tynchenko

The research problem of main reliability characteristics of projectible computer network is discussed. The analytical modeling methods implementation is suggested for solving such problem. The reliability estimation analytical model of heterogeneous client-server computer network is developed using the queueing theory.

Key words: computer network, reliability estimation, availability ratio.

Ефимов Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия.

Тынченко Валерия Валериевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия.

Тынченко Вадим Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия.