



МАТЕРИАЛЫ XIX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

БИТ

А. Е. Александрович, М. А. Козлов, В. О. Чуканов

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Рассмотрим типовую структуру высокопроизводительного и отказоустойчивого вычислительного кластера.

В состав такого кластера входят два или три сервера, обеспечивающих обработку информации. При этом в составе каждого кластера может быть один или два резервных сервера. В зависимости от режима функционирования резервные серверы могут принимать участие в выполнении основных задач системы (обеспечивая повышенную производительность обработки) или находиться в состоянии резерва — горячего или холодного. В состоянии горячего резерва сервер может использоваться как для контроля основного (рабочего) сервера, так и для тестового контроля своего собственного состояния [1].

По режиму функционирования такие типовые кластеры различаются на кластеры одиночного использования (в которых используется один рабочий сервер) и кластеры двойного использования (в которых используются два рабочих сервера). Очевидно, кластеры одиночного использования имеют два состояния: обработки и простоя, а кластеры двойного использования — три состояния: обработки с высоким быстродействием, обработки с пониженным быстродействием и простоя. По типу резерва кластеры могут содержать серверы, находящиеся в горячем и холодном резерве. Наконец, по скорости восстановления серверов кластеры различаются по числу восстанавливающих процессов (ремонтных бригад) [2].

Все возможные отказоустойчивые конфигурации типового вычислительного кластера можно свести в единую таблицу 1 по вышеперечисленным параметрам: N — число серверов в кластере, M — число резервных серверов, K — число ремонтных бригад (максимальное число одновременно восстанавливаемых компонентов), режим использования, тип резерва и возможные уровни качества функционирования Q (число одновременно работающих серверов). Для удобства алгоритмической реализации модели введем еще один параметр S — максимальное число отказывающих серверов в составе кластера (предполагается, что серверы холодного резерва не отказывают).

Предположим, что серверы, находящиеся в холодном резерве, не контролируются и не отказывают. Рабочие серверы и серверы горячего резерва контролируются:

- 1) с помощью непрерывного аппаратного контроля с полнотой b ;
- 2) с помощью периодического тестового контроля с периодом T_k и полнотой a .

Будем считать, что значения полноты обоих видов контроля определяют соответствующие вероятности обнаружения неисправностей серверного оборудования. Тогда обобщенный алгоритм транзактно-ориентированного моделирования надежности кластера будет включать в себя следующие этапы (события и состояния сервера): рабочее состояние, отказ сервера, обнаружение неисправности непрерывным контролем, обнаружение неисправности периодическим контролем, восстановление, переход в резерв и вновь переход в рабочее состояние.

Следует отметить, что в строгом классическом понимании кластерами являются лишь конфигурации с двойным использованием серверов, т. е. конфигурации, использующие распараллеливание заданий (с номерами 1, 4 и 5). Остальные конфигурации можно условно назвать кластерами, нацеленными не на повышение производительности обработки, а на обеспечение ее отказоустойчивости.

Таблица 1. Типовые конфигурации кластера и их параметры

Вариант	N	M	K	Режим ф-ния	Тип резерва	Q	S
1	2	0	1,2	двойной	—	0,1,2	2
2	2	1	1,2	одиночный	горячий	0,1	2
3	2	1	1,2	одиночный	холодный	0,1	1
4	3	1	1,2,3	двойной	горячий	0,1,2	3
5	3	1	1,2,3	двойной	холодный	0,1,2	2
6	3	2	1,2,3	одиночный	горячий горячий	0,1	3
7	3	2	1,2,3	одиночный	горячий холодный	0,1	2
8	3	2	1,2,3	одиночный	холодный холодный	0,1	1

На основе анализа типовых конфигураций кластера разработан транзактно-ориентированный алгоритм моделирования работы серверов кластера и построена обобщенная имитационная модель его функциональной безопасности. Степень обобщенности модели определяется тем, что настройка модели на ту или иную конфигурацию из таблицы 1 сводится к заданию исходных параметров — N, M, K, Q и S — в секции инициализации и описанию переменных программы.

Программа написана на языке GPSS в среде GPSS World [3]. С помощью написанной программы проведены исследования зависимости функциональной безопасности кластерных конфигураций 4 и 5 от надежности базовых серверов. Проведено сравнение полученных результатов с результатами, рассчитанными по приближенным аналитическим формулам. Такое сравнение, во-первых, позволяет подтвердить правильность получаемых оценок и, во-вторых, обеспечивает оценку повышения точности расчета за счет использования имитационного подхода.

Показано, что точность расчета функциональной безопасности кластера за счет использования имитационного подхода возрастает на 5–20 %. Имитационная модель, в отличие от аналитической, позволяет легко учесть такие факторы, как вероятностные параметры контроля, продолжительность состояний скрытого отказа, период тестового контроля, наличие сбоев оборудования, и ряд других [4].

Аналогичные исследования для конфигурации 1 позволили оценить эффективность использования аппаратной избыточности для повышения функциональной безопасности кластера.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Николов А.* Кластерные системы высокой готовности // ВУТЕ: Россия. 2005. Вып. 8. URL: <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=8625>.
2. *Малов А. В.* Методика повышения надежности контакт-центров на базе IP-телефонии с использованием кластерной структуры // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. СПб., 2010. Вып. 1. С. 30–39.
3. *Жданова Е., Томашевский В.* Имитационное моделирование в среде GPSS. М.: Бестселлер, 2003.
4. *Бабина О. И.* Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей // Сборник докладов Четвертой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». Т. I. СПб., 2009. С. 73–77.

А. Е. Александрович, Г. Г. Новиков, В. О. Чуканов, И. М. Ядыкин

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЭВМ С КОМБИНИРОВАННЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК

Одним из эффективных и широко распространенных способов обеспечения надежности является введение структурной избыточности, или резервирования. Появление СБИС, микропроцессоров и микро-ЭВМ открывает широкие возможности для более рационального использования избыточного оборудования в резервированных системах. Наличие однородности, шинная организация, а также модульность и микропрограммируемость привели к широкому распространению систем с резервированием. Основные классы таких систем следующие: системы с комбинированным резервированием (КР), с резервированием замещением, с постоянным резервированием.

Комбинированным резервированием называется резервирование, основанное на сочетании методов резервирования замещением (РЗ) и постоянного резервирования (ПР) [1, 2]. Можно выделить из методов комбинированного резервирования гибридное резервирование (ГР) (мажоритарное ядро с резервом), параллельно-гибридное резервирование (ПГР) (несколько однородных мажоритарных ядер и общий скользящий резерв), итеративное резервирование (ИР) (методы резервирования вложены один в другой).

В данной статье под функциональной безопасностью понимается такая характеристика качества, как надежность.

Недостатком аналитических моделей надежности решения задач оптимизации надежностной структуры специализированных ЭВМ (СЭВМ) является их недостаточная низкая точность при анализе сложных структур большой размерности. В то же время использование в оптимизирующих программах одних лишь статистических моделей приводит к резкому увеличению времени решения задачи. В качестве наиболее целесообразного варианта построения процедуры решения задачи выбора контрольных точек в СЭВМ с КР предложено сочетание аналитических и аналитико-статистических моделей. При этом в многократно повторяющейся процедуре сканирования по различным внутренним выходам системы используются приближенные аналитические модели надежности (на основе минимальных сечений, «G», «G_m») [2]. Окончательный вариант установки контрольной точки на каждом шаге работы алгоритма оценивается и корректируется с помощью аналитико-статистического моделирования. При этом, как видно из рис. 1, иллюстрирующего зависимость логарифма времени работы алгоритма расстановки контрольных точек T_c от размерности исследуемой невосстанавливаемой системы с КР (общего числа ее элементов N), общее время

