СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Николов А.* Кластерные системы высокой готовности // BYTE: 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 Тс от размерности исследуемой невосстанавливаемой системы с КР (общего числа ее элементов N), общее время

решения задачи с помощью предложенной процедуры (кривая 2) возрастает по сравнению с использованием только аналитических моделей (кривая 1) с нескольких минут до нескольких десятков минут. Однако, по сравнению со случаем использования на всех этапах работы алгоритма лишь аналитико-статистических моделей надежности (кривая 3) и статистических моделей надежности (кривая 4), время уменьшается на несколько порядков.

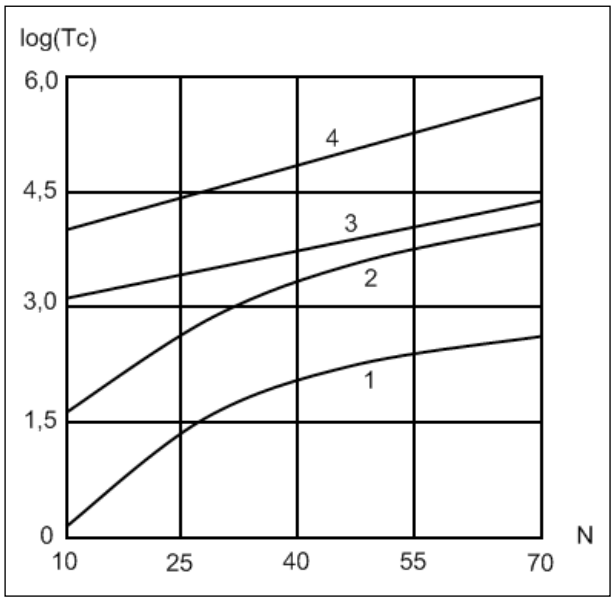
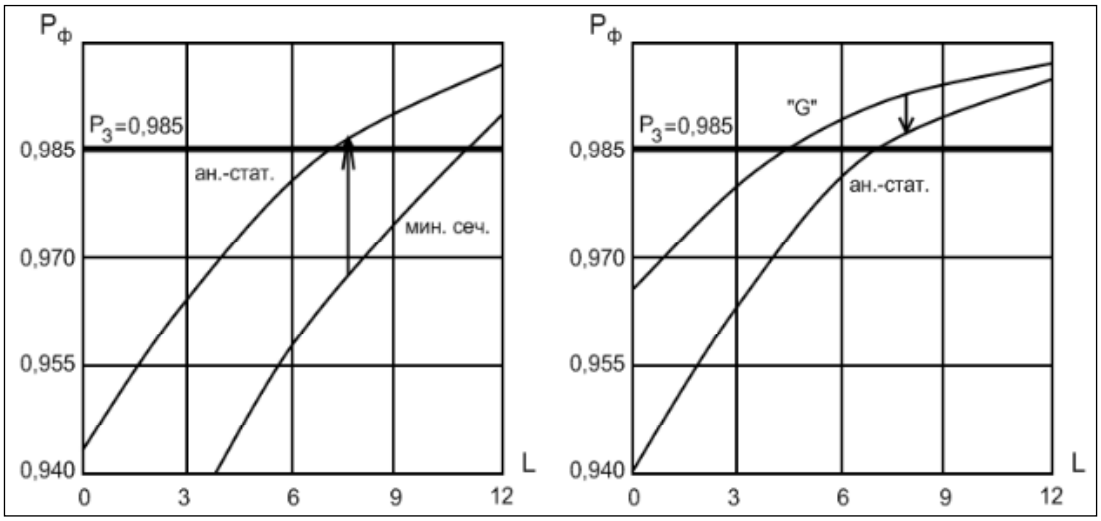


Рис. 1. Зависимость времени работы алгоритма расстановки контрольных точек от размерности системы

Преимуществом данного подхода к построению оптимизирующей процедуры определения контролируемых выходов СЭВМ с КР является то, что за приемлемое время решения задачи: а) достигается большая точность определения необходимого для достижения гарантированного уровня надежности системы числа контрольных точек; б) экономится объем дополнительной контрольной аппаратуры, необходимой для обеспечения заданного уровня функциональной безотказности системы $P_ф(t)$ [2]. Эти два положения проиллюстрированы на рис. 2, где представлены графики зависимости текущего значения $P_ф(t)$ от числа расставляемых в системе контрольных точек L. В первом случае в качестве аналитического метода оценки промежуточных значений $P_ф(t)$ используется метод минимальных сечений конкретной структуры, дающий нижнюю границу вероятности функционально безотказной работы. Во втором случае использована приближенная модель на основе структурного коэффициента «G», которая, как правило, обеспечивает верхнюю границу надежности оценок. Горизонтальной линией на обоих рисунках отмечено заданное значение функциональной безотказности СЭВМ ($P_з$), которое необходимо достигнуть в результате введения в состав дополнительного контрольного оборудования. Видно, что в первом случае (рис. 2а) корректировка значений на каждом шаге работы алгоритма позволяет сократить число контрольных точек, которые необходимо вывести на разъем для достижения гарантированного (с учетом возможной погрешности аналитико-статистической модели надежности) уровня функциональной безотказности системы, с 11 до 7. Во втором случае (рис. 2б), наоборот, процедура приводит к расстановке большего числа контрольных точек, чем потребовала бы приближенная аналитическая модель надежности «G», обеспечивая тем самым более точное выполнение требований к функциональной безотказности системы.



а) б)

Рис. 2. Зависимость функциональной безотказности системы от количества контрольных точек

Сканирование параметров СЭВМ с КР при расстановке контрольных точек

С целью повышения эффективности предложенного алгоритма расстановки контрольных точек в СЭВМ с КР разработана модификация метода, позволяющая исследовать чувствительность получаемых вариантов расстановки контрольных точек в зависимости от возможного изменения при разбросе ряда структурных и вероятностных параметров системы.

Метод позволяет проводить сканирование с заданным (положительным или отрицательным) шагом следующих параметров системы с КР: а) числа резервных блоков; б) вероятности безотказной работы схем контроля и переключения резерва; в) вероятности безотказной работы (или отказа) за время t элементов системы; г) средней задержки информации на одном элементе системы; д) вероятности правильного срабатывания внешних контролирующих схем за время t.

Кроме того, алгоритм позволяет проводить целочисленное сканирование таких параметров процесса исследования надежности СЭВМ, как:

а) номер используемой модели надежности при оценке альтернативных промежуточных вариантов расстановки контрольных точек;

б) степень восстановления ошибочной информации на контролируемых выходах системы;

в) число шагов работы алгоритма (расставляемых контрольных точек), после которого происходит коррекция значения $P_ф(t)$ на основе аналитико-статистического способа моделирования.

Возможность варьирования как параметрами системы, так и параметрами процесса исследования надежности системы при выборе ее контрольных точек обеспечивает гибкость процесса проектирования СЭВМ с КР, эффективность поиска ее оптимальной надежностной структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Александрович А. Е., Бородакий Ю. В., Чуканов В. О.* Проектирование высоконадежных информационно-вычислительных систем. М.: Радио и связь, 2004. – 144 с.

2. *Александрович А. Е., Чернышев Ю. А., Чуканов В. О.* Решение задачи анализа надежности устройств с комбинированным резервированием с учетом структуры и качества контроля // Вопросы надежности и технического диагностирования вычислительных устройств. Сб. трудов. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 8–13.