

УДК 681.327

В.А. АНДРИЕНКО, В.Г. РЯБЦЕВ, Т.Ю. УТКИНА*Черкаський державний технологічний університет, Україна***РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОВЕРСИОННОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ
С УЧЕТОМ ПОЛУПЕРИОДОВ ДЕГРАДАЦИИ**

Рассматриваются существующие технологии обнаружения и исправления ошибок памяти. С учетом интенсивности возникновения отказов и указанным пользователем уровнем минимально допустимой вероятности безотказной работы модулей оперативной памяти определяется время проведения профилактического диагностирования запоминающих устройств. Приведены аналитические зависимости для расчета периода деградации модулей памяти по их вероятности безотказной работы для различных конфигураций запоминающих устройств. Предлагается программное средство, учитывающее технические характеристики микросхем памяти и суммарную продолжительность работы компьютера, что обеспечивает автоматическую инициализацию выполнения упреждающего многоверсионного профилактического диагностирования.

вероятность безотказной работы, запоминающие устройства, период деградации многоверсионное диагностирование**Введение**

В настоящее время с усовершенствованием технологий производства микросхем, а также новых технологий защиты памяти возросла надежность компонентов модулей оперативной памяти. Тем не менее, для выполнения критически важных приложений и приложений с повышенными требованиями к оперативной памяти существует риск возникновения ошибок памяти, так как модули памяти представляют собой обычные электронные запоминающие устройства (ЗУ). Сбои в работе, порча данных или безвозвратная их потеря, вызванные ошибками памяти, приводят к потере прибыли из-за простоев системы.

Поэтому для обеспечения требуемой эффективности функционирования при эксплуатации специалисты данных предприятий должны правильно спрогнозировать вероятность выхода из строя системы и обеспечить резерв запасных компонентов системы, в том числе модулей памяти, для проведения оперативного ремонта и минимизации времени восстановления [1, 2].

Целью данной работы является разработка метода регламентирования проведения многоверсионного диагностирования ЗУ с учетом полупериодов деградации, а также создание инструментального средства, автоматизирующего расчет показателей надежности модулей памяти, что обеспечит заданный уровень вероятности безотказной работы (ВБР) оперативной памяти.

**1. Технологии обнаружения
и исправления ошибок памяти**

Для обеспечения надежного функционирования системы необходимо решить возникшую проблему защиты информационной системы от ошибок памяти. Наиболее распространенными способами повышения надежности ЗУ являются использование технологий обнаружения/исправления ошибок и тестовое диагностирование.

Что касается первого способа, то производители памяти для серверов предлагают следующие технологии: метод проверки четности, ECC, Chipkill, Advanced ECC, а также несколько режимов технологии

Advanced Memory Protection: Online Spare Memory, Hot Plug Mirrored Memory и Hot Plug RAID Memory.

Метод проверки четности. Проверка четности заключается в добавлении к слову одного контрольного разряда, принимающего значение 0 или 1 так, что бы количество единиц в полученной кодовой комбинации было нечетным. На практике в системах с проверкой четности используется один дополнительный бит на каждый байт данных. Этот метод позволяет обнаружить только ошибки с нечетной кратностью, т.е. удастся выявить комбинации с одним, тремя, пятью и т. д. неверными битами.

Технология ECC (Error Correction Code). Позволяет обнаруживать двухбитовые и исправлять однобитовые ошибки. Для коррекции 64 бит данных, достаточно восемь дополнительных разрядов. Это столько же, сколько необходимо и для работы системы с проверкой четности (один дополнительный бит на байт данных). Поэтому система ECC становится экономически эквивалентной, но предоставляет большие возможности по обнаружению и коррекции ошибок. Однако неспособность исправлять ошибки с искажением информации в нескольких битах данных является существенной проблемой при использовании в серверах, где надежность информации ценится превыше всего. Основной причиной кратных ошибок являются отказы микросхем памяти. Если раньше каждый бит данных хранился в отдельной микросхеме и отказ целой микросхемы приводил к потере всего одного бита в слове, то сейчас используются 4-, 8-, 16- и даже 32-разрядные микросхемы памяти. Результатом этого может быть потеря информации сразу в таком количестве битов, что применением стандартных методов ECC ошибку исправить не удастся.

Технология Chipkill. Технология Chipkill позволяет обнаружить и исправлять многоразрядные ошибки на отдельных микросхемах DRAM, в том числе при сбое всех разрядов данных. Chipkill предусматривает два основных метода исправления

ошибок, причем они могут применяться совместно. Эти методы требуют особой аппаратной архитектуры системы и определенного набора микросхем памяти.

Первый метод базируется на том, что в каждом модуле памяти разрядность микросхем равна числу разрядов, защищенных механизмом ECC, т.е. каждый бит данных модуля памяти размещается в отдельном слове ECC. Данная технология используется в сервере IBM S/390.

Второй метод состоит в том, чтобы механизму ECC предоставить большее число разрядов для хранения контрольных кодов, обеспечив исправление не одного, а нескольких разрядов. Для этого используются соответствующие математические алгоритмы устранения многоразрядных ошибок при определенном количестве контрольных битов ECC и битов данных. Например, 144-разрядное слово ECC, состоящее из 128 разрядов данных и 16 битов ECC, позволяет исправлять ошибки, охватывающие до 4 разрядов данных. Однако, для исправления сбоя четырех бит необходимо, чтобы они были смежными, а не располагались случайно.

Технология Advanced ECC. Технология Advanced ECC обеспечивает защиту от сбоя, она исправляет многобитовые ошибки только в том случае, если они произошли в одной микросхеме DRAM. При использовании данной технологии не поддерживается переключение микросхем при отказе или горячая замена, а эти функции сейчас стали обязательными для критически важных приложений. В результате при сбое памяти для ее замены необходимо остановить систему.

Технология Advanced Memory Protection. Режимы этой технологии используются в серверах HP ProLiant, а также следует отметить сходство режима Hot Plug Mirrored Memory, применяемого HP, и технологий Memory Mirroring и Hot Spot Memory (зеркалирование и горячий резерв памяти), используемых в серверах IBM и Server System x.

– *Online Spare Memory* означает разделение памяти на блоки (два, четыре и т.д.), к которым можно обращаться одновременно. При использовании данного метода последовательные данные равномерно распределяются по блокам, и от системы не требуется сначала заполнить один блок, а затем – другой, т.е. повышается производительность памяти. Для установки системы в этот режим необходимо с помощью специальной утилиты назначить блок *Online Spare*. Он используется как резервный, если в режиме *Online Spare Mode* системы загорится сигнальный светодиод перед каким-то DIMM-модулем, то это свидетельствует о превышении заранее установленного порогового значения ошибок. Ошибка будет исправлена, а данные из всего банка, который содержал неисправный DIMM, будут скопированы в банк памяти *Online Spare*. Банк, в котором произошел сбой, будет отключен, но сервер продолжит работу до тех пор, пока пользователь не заменит сбойный DIMM-модуль при запланированном отключении.

– *Hot Plug Mirrored Memory* обеспечивает полную защиту от однобитовых и многобитовых ошибок при использовании одной платы памяти. Активизация режима *Mirrored Memory* осуществляется с помощью основной платы памяти, которая стандартно поставляется с сервером. Одни и те же данные записываются в банки системной памяти и зеркалированной памяти, но считываются они из банков системной памяти. Если в одном из DIMM-модулей банков системной памяти произошла многобитовая ошибка или достигнут заранее определенный порог однобитовых ошибок, банки зеркалированной памяти автоматически назначаются системной памятью, а банки бывшей системной – зеркалированной. Данные по-прежнему записываются в банки системной и зеркалированной памяти, но считываются только из банков системной памяти. Это обеспечивает непрерывность операций и поддерживает доступность сервера за исключением

тех случаев, когда ошибка одновременно происходит в одном и том же месте в системном и зеркалированном DIMM (вероятность таких совпадений, впрочем, крайне мала). Система включает светодиод на плате памяти для DIMM, в котором произошла многобитовая ошибка. Режим *Hot Plug Mirrored Memory* также поддерживает горячее добавление и замену модулей для повышения доступности сервера. Горячее добавление позволяет нарастить объем памяти путем добавления DIMM-модуля в свободные разъемы, а горячая замена – заменять сбойный модуль без остановки системы. Однако чтобы использовать этот режим вторая плата памяти должна отвечать следующим требованиям:

- задействовать то же число заполненных банков памяти, что и первая;
- иметь тот же объем (суммарную емкость) каждого банка, что и первая;
- использовать тот же тип памяти в каждом банке (одно- или двухсторонняя), что и первая плата.

– *Hot Plug RAID Memory* обеспечивает непрерывную работу подсистемы памяти даже в случае полного выхода из строя 3V. В данном случае RAID расшифровывается как *Redundant Array of Industry-standard DIMMs* (резервированный массив стандартных DIMM-модулей). Серверы с HP *Hot Plug RAID Memory* используют пять контроллеров памяти для управления пятью картриджами памяти. Полная отказоустойчивость подсистемы данных обеспечивается четырьмя картриджами данных и одним картриджем четности. Каждый картридж вмещает до восьми стандартных DIMM-модулей. Перед записью контроллеры памяти разбивают данные на четыре блока и записывают их в четыре из пяти картриджей памяти. В пятый картридж записывается контрольная сумма четности, вычисленная механизмом RAID. *Hot Plug RAID Memory* для одновременной записи данных в несколько картриджей памяти использует параллельные

соединения типа "точка-точка". Если один из картриджей удален или данные какого-либо DIMM-модуля неправильны, то информацию можно восстановить по оставшимся четырем картриджам. Резервирование HP Hot Plug RAID Memory позволяет в горячем режиме заменять, добавлять и обновлять модули памяти без отключения сервера.

Первыми компьютерами, оперативная память которых имеет функциональность Hot Plug RAID Memory, стали серверы HP ProLiant 700. Для использования горячего добавления и обновления требуется, чтобы ОС могла обнаружить увеличение памяти. В серверах HP ProLiant 700 эти функции поддерживают современные версии Microsoft Windows Advanced Server, Windows Data Center, Novell NetWare и SCO UnixWare [3].

Однако с увеличением объемов памяти, необходимой для корректной работы современного программного обеспечения, возникает необходимость выбора параметров быстродействующей памяти с целью обеспечения приемлемой производительности современных серверов. Использование быстродействующих и дорогих кристаллов памяти для серверов не всегда эффективно с точки зрения баланса стоимости и быстродействия.

Для обеспечения удовлетворительной общей производительности систем обычно применяется недорогая память большого объема, часто не имеющая современных технологий защиты.

Поэтому возникает проблема коррекции ошибок памяти для обеспечения надежного функционирования системы. Одним из наиболее распространенных методов повышения надежности ЗУ является тестовое диагностирование [4].

2. Метод и средство регламентирования диагностирования модулей памяти

Поскольку микросхемы памяти становятся все сложнее и работают быстрее, их тестирование – это крайне трудная и дорогостоящая процедура. Произ-

водители микросхем памяти вкладывают значительные средства в системы тестирования и непрерывно совершенствуют эту процедуру, чтобы поддерживать высокое качество продукции. Однако три месяца ранней эксплуатации модулей памяти являются критическими, поскольку необходимо учитывать ошибки и отказы памяти, связанные с вероятностью невыявленных неисправностей при тестировании производителем, к тому же невозможно избежать повреждений модулей памяти при транспортировке к пользователю. Со временем вероятность проявления отказов модуля памяти снижается до тех пор, пока ЗУ не подвергнется старению, что впоследствии неминуемо приведет к неисправности последнего.

Интенсивность проявления отказов на разных стадиях эксплуатации микросхем памяти изображена на рис. 1.



Рис. 1. Интенсивность отказов на разных стадиях эксплуатации

Если пользователем установлена минимально допустимая вероятность работоспособного состояния ЗУ, равная R_{\min} , тогда необходимо определить промежутки времени, по истечению которых необходимо выполнять профилактическое диагностирование модулей памяти.

ВБР устройства во время эксплуатации вычисляется по формуле:

$$R(t) = e^{-t \cdot x \cdot \lambda \cdot m} = e^{-t \cdot k \cdot m},$$

где $k = \lambda \cdot x$ – коэффициент кратности проявления отказов, x – кратность проявления отказов, т.е.

количество не обязательно соседних разрядов байта или слова памяти, в которых в результате сбоя одновременно могут появиться неверные значения, λ – интенсивности проявления отказов; $m = n \cdot c$ – число микросхем памяти в устройстве, n – число модулей памяти, c – число микросхем в модуле памяти; t – продолжительность эксплуатации модулей памяти.

Введем необходимые понятия. **Период деградации ВБР памяти** – это промежуток времени, когда ВБР модуля уменьшается до заданного пользователем минимального значения. Период деградации вычисляется по формуле:

$$T_d = \frac{-\ln(R_{i \min})}{k \cdot m}, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

При достижении надежности работы ЗУ значения $R_{i \min}$ наступает время деградации.

Полупериод деградации – это промежуток времени равный половине периода деградации. Формула для расчета первого полупериода деградации имеет вид:

$$T_{pd_1} = \frac{T_d}{2} = \frac{-\ln(R_{i \min})}{2 \cdot k \cdot m}. \quad (2)$$

Введем переменную r для обозначения количества полупериодов деградации модуля памяти, тогда формула для расчета i -ого полупериода деградации будет иметь вид:

$$T_{pd_i} = T_{pd_{i-1}} + \frac{T_d - T_{pd_{i-1}}}{2}, i = \overline{2, r}. \quad (3)$$

Если оперативная память состоит более чем из одного модуля, то для каждого из установленных модулей определяется период деградации. Период деградации оперативной памяти будет отвечать минимальному значению периода деградации установленных в системе модулей. Для модуля с минимальным значением периода деградации рассчитываются полупериоды деградации.

Тогда промежутки времени, по завершению которых необходимо выполнять профилактическое диагностирование оперативной памяти, будут равны

полупериодам деградации для модуля памяти с наименьшим периодом деградации.

Во избежание отказов памяти на всех этапах эксплуатации предлагается упреждающее многоверсионное диагностирование. В период ранней эксплуатации модулей памяти на протяжении трех месяцев работы проводится тестирование каждый раз при включении питания разными наборами тестов, с высокой эффективностью выявления отказов. Время полезной эксплуатации без профилактического диагностирования в свою очередь длится до наступления T_{pd_1} полупериода деградации.

Следующий этап тестирования начинается как раз при достижении временем эксплуатации значения T_{pd_2} полупериода деградации, потом T_{pd_3} и т.д. до наступления времени деградации. С увеличением номера полупериодов деградации рекомендуется выполнять более длительные и более эффективные тесты. Наступление времени деградации означает снижение вероятности безотказной работы i -го модуля памяти до указанного пользователем значения $R_{i \min}$, после чего рекомендуется заменить модуль, иначе из-за старения самого модуля могут возникнуть критические отказы всей системы. Тогда продолжительность тестирования во время профилактического диагностирования на всех стадиях эксплуатации будет иметь вид, обозначенный на рис. 2 заштрихованными прямоугольниками.

При помощи приведенных формул (1-3) для различных конфигураций модулей памяти можно определить максимально допустимую продолжительность работы модулей памяти с заданной ВБР.

Автоматизация регламентирования проведения профилактического многоверсионного диагностирования предусматривает создание инструментального средства для обеспечения заданного уровня ВБР оперативной памяти и повышения надежности работы компьютера в целом.

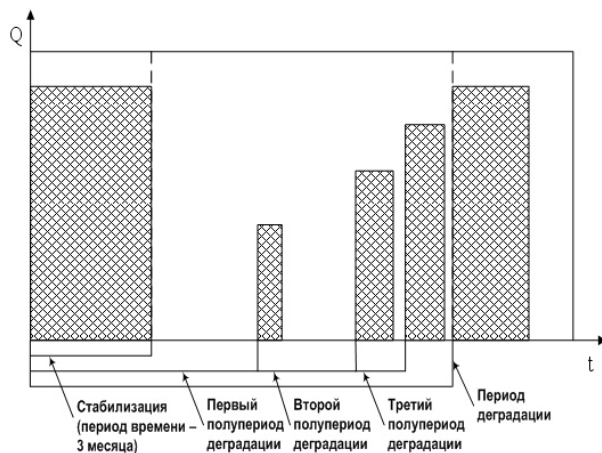


Рис. 2. Ефективність і тривалість різних версій тестових наборів

Разработанный метод определения времени проведения профилактического диагностирования и замены модулей памяти реализован в программе Diagnostics_Memory, внешний вид главного меню и результаты работы которого приведены на рис. 3.

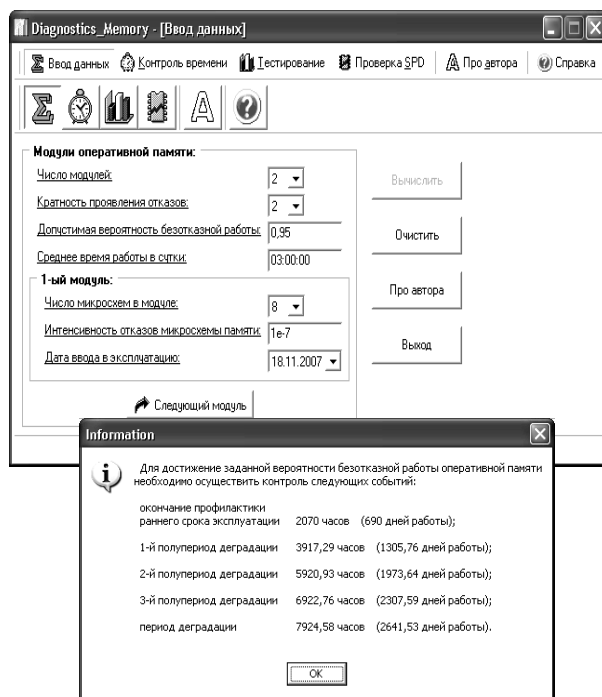


Рис. 3. Главное меню и результаты работы программы Diagnostics_Memory

В программе для возрастающего числа полупериодов деградации используются 4 множества тестовых наборов, которые обеспечивают возможность запуска отдельных тестов или групп тестов на разных этапах эксплуатации модулей памяти, сформированных на основе сочетания критериев продолжительности тестирования и эффективности обнаружения неисправностей.

Кроме того, программу Diagnostics_Memory можно применять пользователям при эксплуатации компьютеров и системным администраторам для определения максимальной частоты работы модулей оперативной памяти при изменении ее конфигурации и для проверки стабильности работы системы.

Выводы

Предлагаемый метод регламентирования проведения многоверсионного диагностирования, который реализован в программе Diagnostics_Memory, позволяет обеспечить достижение заданного уровня ВБР оперативной памяти за счет выполнения нескольких версий диагностических тестов на различных стадиях эксплуатации устройства с учетом полупериодов деградации и упреждающей замены модулей памяти.

Литература

1. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – Вип. 5 (17). – С. 7-19.
2. Харченко В.С., Токарев В.И. Проектирование отказоустойчивых и живучих компьютерных систем управления на основе концепции “ЗМ” // Вісник технологічного університету Поділля. – 2003. – № 3. – С. 29-32.
3. Спириев О. Технологии защиты памяти в серверах HP // ВУТЕ (Россия). Платформы и технологии. – 2005. – № 8. – С. 38-43.
4. Мельников А.В., Рябцев В.Г. Контроль модулей памяти компьютеров. – К.: Корнійчук, 2001. – 172 с.

Поступила в редакцию 22.01.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.М. Первунинский, Черкасский государственный технологический университет, Черкасы.