

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В.М. Илюшко¹, Мохамед Джасим Мохамед¹, В.А. Краснобаев²
(¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
²Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства)

В статье рассматривается метод повышения отказоустойчивости систем обработки цифровой информации реального времени, основанный на концепции одновременного и совместного учета и использования естественной и искусственной избыточности.

естественная и искусственная отказоустойчивость, информация реального времени, система обработки информации

Введение. Пусть на этапе проектирования необходимо обеспечить необходимый (заданный) уровень безотказности (надежности $H(t)$) системы обработки информации (СОИ). Повышение (обеспечение) надежности возможно осуществить в том случае, если СОИ будет обладать определенным свойством, использование которого и позволит это сделать. Такое свойство определено и названо отказоустойчивостью [1].

Определение 1. Под отказоустойчивостью будем понимать свойство СОИ обеспечивать работоспособное состояние при отказах элементов, входящих в ее состав.

Обзор литературы. В [1] при определении термина отказоустойчивости выделяют три основных аспекта его использования:

– свойство отказоустойчивости закладывается разработчиками при проектировании с целью повышения безотказности СОИ; при этом необходимый уровень отказоустойчивости достигается в основном при использовании избыточных (дополнительных) технических средств (введение искусственной структурной и (или) другой избыточности) по сравнению с минимально необходимыми для выполнения всех требуемых функций СОИ в полном объеме;

– использования свойства отказоустойчивости позволяет сохранить как полную, так и частичную работоспособность СОИ;

– считается, что отказ элементов не связан с воздействием не предусмотренными условиями эксплуатации.

В большинстве случаев разработчиков интересует факт обеспечения отказоустойчивости только при сохранении полной работоспособности,

т.е. без снижения качества функционирования СОИ. В дальнейшем при рассмотрении понятия отказоустойчивости нас будет интересовать только такой случай.

Основная часть. Для придания (обеспечения) СОИ свойства отказоустойчивости при проектировании целесообразно (необходимо) предусматривать не только введение и использования искусственной избыточности (ИИ), т.е. использования различных видов резервирования: структурного, информационного, функционального, временного и нагрузочного, но и выявить и использовать возможную естественную (природноимеющуюся) избыточность (ЕИ). В этом плане основная задача проектировщиков по обеспечению необходимого уровня отказоустойчивости (значит и надежности $H(t)$) и состоит в том, чтобы на предпроектных стадиях в процессе исследований выявить (определить) и использовать имеющиеся резервы (ЕИ) СОИ по отказоустойчивости и с учетом этого выбирать и применять необходимые методы резервирования (введение ИИ). Эти меры позволяют в конечном итоге сократить (уменьшить) эксплуатационные расходы на обеспечения необходимого уровня надежности функционирования СОИ в целом.

При исследовании и разработке методов повышения надежности СОИ может быть целесообразно и удобно разделить понятия отказоустойчивости на две составляющих т.е. пользоваться двумя отдельными понятиями: естественная отказоустойчивость (ЕО) и искусственная отказоустойчивость (ИО). Введенные термины ЕО и ИО удобно использовать при анализе и синтезе надежных структур СОИ и средств вычислительной техники (СВТ), так как на наш взгляд эти понятия достаточно полно отражают суть методов повышения надежности. Дадим определения введенным в статье терминам.

Определение 2. Естественная отказоустойчивость – это свойство СОИ (СВТ) сохранять работоспособное состояние за счет использования только ЕИ.

Определение 3. Искусственная отказоустойчивость – это свойство, заложенное при проектировании СОИ, использование которого позволяет сохранять работоспособное состояние при отказах элементов за счет использования как ЕИ, так и ИИ.

Определение терминов ЕИ и ИИ относительно СОИ дано в [2,3]. Очевидно, что ЕО обуславливает исходный (первичный) уровень надежности СОИ, а ИО – дополнительный (необходимый, задаваемый) уровень.

Общую задачу повышения надежности можно сформулировать как задачу обеспечения отказоустойчивости СОИ за счет одновременного эффективного использования ЕИ и ИИ.

Повышения надежности СОИ за счет использования ЕИ и ИИ можно осуществить способом пассивной или активной отказоустойчивости.

Определение 4. Способ пассивной отказоустойчивости (СПО) – это способ повышения отказоустойчивости за счет использования только ЕИ без перестройки структуры СОИ. Данный способ обеспечивает исходный (первичный) уровень надежности СОИ.

Определение 5. Способ активной отказоустойчивости (САО) – это способ повышения отказоустойчивости за счет использования одновременно ЕИ и ИИ путем перестройки структуры СОИ. Данный способ применяется на этапе проектирования для повышения надежности СОИ до заданного (необходимого) уровня.

Данная концепция особенно ярко проявляется при использовании, например, непозиционной системы счисления в остаточных классах (СОК) при проектировании отказоустойчивых СОИ реального времени. Действительно, безизбыточная СОИ в СОК содержит на $\approx 15 - 20\%$ больше количества $V_{\text{ПИ}}$ оборудования чем СОИ в позиционной двоичной системе счисления (ПСС) при заданной одинаковой длине разрядной сетки и при одних и тех же предъявляемых к СОИ требованиях без учета введения ВИ [4]. Однако, как показали теоретические исследования и практические расчеты [4, 5], для достижения заданного уровня надежности (отказоустойчивости) СОИ в СОК (в зависимости от величины разрядной сетки СОИ требуется) на $5 - 60\%$ меньше дополнительно вводимого объема $V_{\text{ВИ}}$ оборудования, чем для СОИ в ПСС. Расчеты показали, что суммарная структурная избыточность $V_{\text{СИ}} = V_{\text{ПИ}} + V_{\text{ВИ}}$ СОИ в СОК, обеспечивающая заданный уровень $H(t)$ отказоустойчивости, значительно меньше, чем для дублированных и троированных мажоритарных каналов обработки информации, широко используемых в ПСС [5] для повышения надежности. Формализованная постановка этой задачи представлена следующим выражением:

$$\begin{cases} H_{\text{СОК}}(t) \geq H_{\text{ПСС}}(t)[t = \text{const}]; \\ V_{\text{СИ-СОК}} < V_{\text{СИ-ПСС}}. \end{cases} \quad (1)$$

Выражение (2), определяет условие обратное условию (1), т.е. в этом случае задача оптимизации формулируется следующим образом: при заданном количестве $V_{\text{СИ}}$ оборудования СОИ в СОК необходимо обеспечить максимальное значение отказоустойчивости

$$\begin{cases} H_{\text{СОК}}(t) > H_{\text{ПИ}}(t)[t = \text{const}]; \\ V_{\text{СИ-СОК}} \approx V_{\text{СИ-ПСС}}. \end{cases} \quad (2)$$

Проявление основных свойств СОК [4] поясняет смысл выражений (1) и (2) следующим образом:

– первичная избыточность в СОК заметно и существенно положительно (с точки зрения улучшения основных характеристик СОИ) проявляет себя только при наличии ВИ;

– в СОК существует значительное взаимное положительное влияние отдельных видов резервирования, предусмотренных для повышения отказоустойчивости СОИ.

В ПСС (в отличие от СОК) применение одного вида резервирования не всегда обуславливает одновременное наличие и других видов резервирования. Отметим, что это не свидетельствует об отсутствии других видов избыточности. Так, применение информационного резервирования (введение информационной избыточности) для повышения достоверности обработки информации вызывает наличие структурной ВИ. Таким образом, использования необходимого вида резервирования в ПСС обязательно сопровождается наличием неиспользуемой («вредной») структурной избыточности, что, в конечном итоге, негативно влияет на технические и стоимостные характеристики СОИ.

Основные свойства (независимость, равноправность и малоразрядность остатков $a_i \equiv A(\text{mod } m_i)$, $i = \overline{1, n}$, представляющих операнд A) СОК существенно влияют на структуру и принципы функционирования СОИ реального времени. В СОК структурное, информационное и функциональное резервирование оказывают друг на друга одновременное взаимное положительное влияние. Например, введение вторичной структурной избыточности (применение структурного резервирования) посредством дополнительного введения и использования k резервных вычислительных трактов, k имеющимся n основным, приводит к проявлению как информационного, так и функционального резервирования. Первое из них связано с информационной избыточностью, обусловленной наличием избыточных кодовых слов и реализуемой путем использования дополнительной информации, получаемой с выходов k резервных вычислительных трактов. Относительно функционального резервирования отметим, что, в соответствии со свойствами СОК, один работоспособный канал обработки информации СОИ в СОК, функционирующий по основанию m_j , при соблюдении условия

$$m_j \geq \prod_{c=1}^{\gamma} m_{i_c} \quad (3),$$

может взять на себя вычислительные функции до γ одновременно отказавших каналов.

Выводы. На основании результатов исследований, проведенных в данной статье, можно сделать следующие основные выводы.

1. Предложена новая концепция разработки метода повышения отказоустойчивости в процессе проектирования СОИ, основанная на одновременном совместном учете и использовании ЕИ и ИИ. Основу этих методов составляет САО который основан на совместном использовании ЕИ и ИИ СОИ. Данное обстоятельство позволяет по новому ставить и решать задачу по достижению необходимого уровня отказоустойчивости и надежности СОИ на этапе проектирования.

2. При реализации САО, суть которого в основном заключается в выявлении (определении) ЕИ СОИ и, в дальнейшем, использовании ЕИ и ИИ на основе известных методов повышения надежности, может быть достигнута максимальное значение отказоустойчивости $H(t)$ СОИ реального времени при заданных ограничениях на аппаратурные затраты, обусловленные суммарной избыточностью.

3. Показано, что предложенная концепция проектирования хорошо согласуется с принципами создания СОИ на основе использования позиционных кодовых структур в СОК.

4. При принятии предложенной концепции проектирования СОИ реального времени с повышенными требованиями к отказоустойчивости, а также определений введенных в статью терминов ЕО, ИО, СПО и САО целесообразно рассмотреть возможность введения и корректировки некоторых существующих терминов и определений, относительно понятий отказоустойчивости и живучести, данных в [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2606-94. Средства вычислительной техники. Отказоустойчивость и живучесть. Общие технические требования.
2. Краснобаев В.А. Надежностная модель ЭВМ в системе остаточных классов // *Электронное моделирование*. – 1985. – № 4. – С. 44 – 46.
3. Жихарев В.Я., Илюшко Я.В., Краснобаев В.А. Влияние системы счисления на надежность ЭВМ // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2004. – № 1 (5). – С. 98 – 104.
4. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
5. Краснобаев В.А. Методы повышения надежности специализированных ЭВМ систем и средств связи. – Х.: ХВУ, 1990. – 173 с.

Поступила 11.04.2005

Рецензент: доктор технических наук, профессор Ю.В. Стасев,
Харьковский университет Воздушных Сил.