

УДК 681.142

А.А. Сиора¹, В.С. Харченко², В.А. Краснобаев³¹ЗАО «Радий», Кировоград²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е Жуковского «ХАИ», Харьков³Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

В данной статье предлагается концепция создания системы обработки и управления объектами критического применения на основе использования непозиционной системы счисления в модулярной арифметике.

Ключевые слова: система обработки информации и управления, объекты критического применения, модулярная система счисления, внешняя диверсность, внутренняя диверсность, избыточность.

Введение

При создании систем и средств обработки цифровой информации к системе счисления (СС), которая используется при представлении операндов A , предъявляются следующие основные требования:

- простота технической реализации представления кодовых слов при использовании существующей элементной базы;
- единственность представления кодовых слов в заданном числовом диапазоне;
- простота аппаратной и программной реализации методов и алгоритмов выполнения необходимых операций в заданной СС;
- выполнение условия «экономичности» СС, которая характеризует первичную избыточность СОИ.

В литературе применительно к средствам переработки информации введены частные понятия первичной и вторичной структурной избыточности СОИУ. В общем виде данные понятия могут быть обобщены и сформулированы следующим образом.

Определение 1.1. Первичной (структурной, информационной, функциональной) избыточностью (ПИ) СОИУ будем называть существующую или искусственно вводимую избыточность данного вида, обусловленную природой создания или методом искусственного образования применяемой СС.

Определение 1.2. Вторичной (структурной, информационной, функциональной, временной и нагрузочной) избыточностью (ВИ) СОИУ будем называть избыточность, искусственно вводимую в СОИУ для улучшения ее отдельных характеристик (надежности, достоверности, помехоустойчивости, отказоустойчивости пр.) после того, как СС окончательно определена [1 – 3].

Цель статьи – оценить степень влияния моду-

лярной системы счисления на отказоустойчивость СОИУ.

Анализ последних исследований. Из второго определения видно, что ВИ – это избыточность, обусловленная применением традиционных методов резервирования, широко используемых в информационных системах различного назначения для улучшения их характеристик. Первичная избыточность для СОИУ совпадает с понятием естественной избыточности (ЕИ) информационно-управляющих систем переработки информации, а ВИ – с понятием искусственной избыточности (ИИ). Необходимость введения и использования ВИ обусловлена требованиями, предъявляемыми к характеристикам создаваемых СОИУ. Наряду с вышеперечисленными требованиями к системе счисления отметим, что выбранная и используемая система счисления сама существенно влияет на [4, 5]:

- структуру (архитектуру) СОИУ;
- принципы переработки информации (в большей степени на методы и алгоритмы выполнения арифметических операций);
- требования, предъявляемые к использованию новой элементной базы;
- системную и пользовательскую производительность вычислительных структур;
- отказоустойчивость, надежность, живучесть и достоверность СОИУ;
- эксплуатационные характеристики и показатели СОИУ и пр.

Количественно объем $V_{\text{ПИ}}$ оборудования СОИУ, обусловленный наличием ПИ, несколько меньше объема $V_{\text{ЕИ}}$ оборудования при наличии ЕИ. Объем $V_{\text{ВИ}}$ дополнительного оборудования, определенный наличием ВИ, полностью совпадает с объемом оборудования $V_{\text{ИИ}}$, обусловленного нали-

чием ИИ. Анализ влияния СС на структуру и отдельные характеристики различных типов СОИУ показал, что для СОИУ объектами критического применения вполне корректно считать, что $V_{\text{ПИ}} \approx V_{\text{ЕИ}}$.

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

Определение 1.3. Под отказоустойчивостью будем понимать свойство СОИУ обеспечивать работоспособное состояние при отказах элементов, входящих в ее состав.

При использовании термина отказоустойчивости выделяют три основных аспекта его использования:

- свойство отказоустойчивости закладывается разработчиками при проектировании с целью повышения безотказности СОИУ; 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 СОИУ в полном объеме;

- использования свойства отказоустойчивости позволяет сохранить как полную, так и частичную (свойство живучести) работоспособность СОИУ;

- считается, что отказ элементов не связан с воздействием, не предусмотренным условиями эксплуатации.

В большинстве случаев разработчиков интересует факт обеспечения отказоустойчивости только при сохранении полной работоспособности, т.е. без снижения качества функционирования. Особенно это важно для СОИУ объектами критического применения (СОИУ ОКП). В дальнейшем при рассмотрении понятия отказоустойчивости нас будет интересовать именно такой случай [5, 6].

Основные материалы исследований

Для придания (обеспечения) СОИУ 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 выявить и использовать возможную природную имеющуюся 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 СОИУ 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 СОИУ в целом.

При исследовании и разработки методов повышения надежности СОИУ может быть целесообразно и удобно разделить понятия отказоустойчивости на две составляющие, т.е. пользоваться двумя отдельными понятиями: естественная отказоустойчивость (ЕО) и искусственная отказоустойчивость (ИО). Введенные термины ЕО и ИО удобно использовать при анализе и синтезе надежностных структур СОИУ и средств вычислительной техники (СВТ), так как на наш взгляд эти понятия достаточно полно отражают суть методов повышения надежности. Дадим определения и пояснения введенным в 1.1 терминам.

Определение 1.4. Естественная отказоустойчивость – это свойство СОИУ (СВТ) сохранять работоспособное состояние за счет использования только ЕИ.

Определение 1.5. Искусственная отказоустойчивость – это свойство, заложенное при проектировании СОИУ, использование которого позволяет сохранять работоспособное состояние при отказах элементов за счет использования как ЕИ, так и ИИ.

Определение терминов ЕИ и ИИ относительно СОИУ дано выше. Очевидно, что ЕО обуславливает исходный (первичный) уровень надежности СОИУ, а ИО – дополнительный (необходимый, задаваемый) уровень.

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

Повышения надежности СОИУ за счет одновременного совместного использования ЕИ и ИИ можно осуществить способами пассивной или активной отказоустойчивости.

Определение 1.6. 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 1.7. Способ активной отказоустойчивости (САО) – это способ повышения отказоустойчивости за счет использования одновременно ЕИ и ИИ путем перестройки структуры СОИУ. Данный способ применяется на начальных этапах

проектирования для повышения надежности СОИУ до заданного (необходимого) уровня.

При традиционном подходе к выбору СС СОИУ в первую очередь необходимо обеспечить следующее условие:

$$V_{\text{ПИ}} = \min . \quad (1)$$

Однако выполнение условия (1) не всегда правомерно при разработке вычислительных структур, когда априорно возникает задача улучшения необходимых характеристик СОИУ. Вполне возможно, что вариант построения СОИУ, основанный на выполнении условия (1), вообще не целесообразен. Эта особенность проявляется при использовании, например, непозиционной системы счисления в остаточных классах (СОК) – модулярной системы счисления (МСС).

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

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

Выражение (3) определяет условие обратное условию (2), т.е. в этом случае задача оптимизации формулируется следующим образом: при заданном количестве $V_{\text{СИ}}$ оборудования СОИУ в МСС необходимо обеспечить максимальное значение отказоустойчивости

$$\begin{cases} H_{\text{СОК}}(t) > H_{\text{ПСС}}(t)[t = \text{const}]; \\ V_{\text{СИ-СОК}} \approx V_{\text{СИ-ПСС}}. \end{cases} \quad (3)$$

Проявление основных свойств МСС поясняет смысл выражений (2) и (3) следующим образом:

- первичная избыточность в МСС положительна (с точки зрения улучшения характеристик СОИУ) проявляет себя только при наличии ВИ;
- в МСС существует значительное взаимное

положительное влияние отдельных видов резервирования, предусмотренных для повышения отказоустойчивости СОИУ.

В ПСС, в отличие от МСС, 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 вычислений СОИУ в ПСС вызывает наличие структурной ВИ. Таким образом, применение необходимого вида резервирования в ПСС обязательно сопровождается наличием неиспользуемой («вредной») структурной избыточности, что, в конечном итоге, негативно влияет на технические, стоимостные и другие характеристики СОИУ.

В силу влияния основных свойств (независимость, равноправность и малоразрядность остатков $a_i \equiv A(\text{mod } m_i)$, $i = \overline{1, n}$, представляющих операнд A) МСС на создание СОИУ структурное, информационное и функциональное резервирование оказывают друг на друга одновременное взаимное положительное влияние. Например, введение вторичной структурной избыточности (применение структурного резервирования) посредством дополнительного использования k резервных вычислительных трактов к 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 МСС, один работоспособный вычислительный тракт СОИУ, функционирующий по основанию m_j (при соблюдении условия $m_j \geq \prod_{p=1}^r m_{i_p}$ (4)), может взять на себя

вычислительные функции до g одновременно отказавших вычислительных трактов.

Приведенный пример показывает, что в МСС, в отличие от ПСС, введенная ВИ максимально полно используется для улучшения основных характеристик СОИУ. Действительно, использование любого вида резервирования в конечном итоге приводит к структурной (аппаратной) избыточности, которая в МСС (в отличие от ПСС) используется для организации одновременно нескольких различных видов резервирования, что повышает коэффициент использования вводимого избыточного и общего суммарного оборудования. Данная организация одновременно различных видов резервирования за счет введения структурной избыточности характерна для

структурно-функциональной организации деятельности мозга человека и может обеспечить сверхвысокую надежность, отказоустойчивость и живучесть вычислительных структур, а также большую скорость обработки огромных массивов информации. В этом аспекте деятельность человеческого мозга близка к голографическим принципам обработки информации, что, в свою очередь, согласуется с методами и алгоритмами переработки информации в МСС.

Исходя из вышеизложенного, при создании (проектировании) СОИУ ОКП необходимо учитывать не только влияние СС на объем $V_{ПИ}$, а в первую очередь оценивать значение $V_{СИ}$ (при учете влияния СС на остальные характеристики СОИУ). Т.е. целесообразно выбирать СС с учетом ее дальнейшего влияния на выбор методов улучшения необходимых характеристик СОИУ. По-видимому, при построении СОИУ объектами критического применения можно отказаться от традиционного критерия «экономичности» выбора позиционных СС по критерию (1), при котором необходимо обеспечить выполнение условия $f(q) = q \cdot \log_q N = \min$, где q – основание данной позиционной СС; N – длина машинного слова (разрядная сетка СОИУ). Для этого критерия оптимальное числовое значение основания СС будет

равно $q_{опт} = e \approx 2,72$.

Как показали исследования и расчеты выбор, с точки зрения обеспечения заданного уровня надежности СОИУ ОКП, СС целесообразно проводить по критерию

$$V_{СИ} = \min, \tag{5}$$

а не по критерию (1), при заданном уровне требований к отдельным характеристикам СОИУ. Данная задача близка к задаче оптимального резервирования в теории надежности, что нашло подтверждение при практическом создании блоков и узлов отказоустойчивых СОИУ в МСС [9].

Очевидно, что при проектировании СОИУ ОКП целесообразно использовать принцип диверсности обработки информации в ПСС и МСС. Такую диверсность МСС будем называть внешней диверсностью (ВД) по отношению к ПСС. Особенность представления чисел в МСС дает уникальную возможность реализовать внутреннюю диверсность (ВнД) использования СС (рис. 1). Так, ВнД МСС дает широкую возможность использовать различные модели оценки надежности (отказоустойчивости), различные методы реализации арифметических операций, а также различные методы контроля и коррекции ошибок [7 – 9].

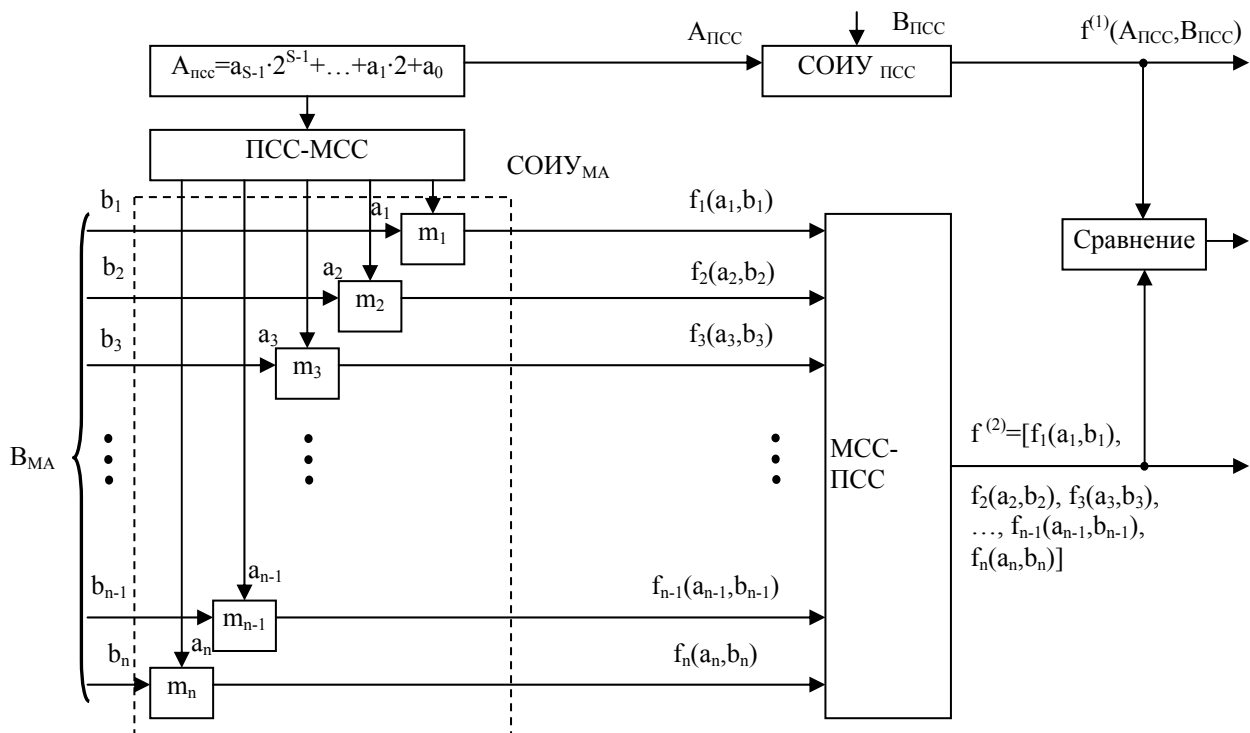


Рис. 1. Схема организации процесса внешней диверсности обработки информации в МСС

Выводы

На основании результатов исследований, проведенных в данном параграфе, можно сделать следующие основные выводы.

1. Предложена новая концепция разработки метода повышения отказоустойчивости в процессе проектирования СОИУ, основанная на одновременном совместном учете и использовании ЕИ и ИИ.

Основу этих методов составляет САО который основан на совместном использовании ЕИ и ИИ СОИУ. Данное обстоятельство позволяет по новому ставить и решать задачу по достижению необходимого уровня отказоустойчивости и надежности на предпроектных стадиях проектирования СОИУ ОКП.

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

3. Показано, что предложенная концепция проектирования хорошо согласуется с принципами создания СОИУ ОКП на основе использования непозиционных кодовых структур в МСС.

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

5. Применение при проектировании СОИУ ОКП в модулярной системы счисления позволить широко использовать совокупность вариантов ВД и ВнД, что в свою очередь дает возможность выбрать оптимальный (рациональный) подход к выбору метода обработки информации в МСС.

Список литературы

1. Сиора А.А. Концепция создания отказоустойчивых систем обработки информации и управления критическими объектами на основе использования модулярной арифметики / А.А. Сиора // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Харьков: НАНУ ПАНМ, ХВУ, 2003. – Вып. 6. (27). – С. 28-35.

2. Сиора А.А. Многоверсионный подход к реализации арифметических операций в системе обработки информации и управления критическими объектами на основе использования модулярной арифметики / А.А. Сиора // Системы управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ НУ, 2007. – Вып. 4. – С. 146-153.

3. Метод обработки информации в модулярной арифметике / Khery Ali Abdullah, O.B. Zefirova, A.A. Siora, V.A. Krasnobayev // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 5 (32). – С. 51-56.

4. Повышение надежности высокопроизводительных процессоров в системе остаточных классов / С.А. Кошман, А.А. Сиора, Khery Ali Abdullah, V.A. Krasnobayev // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 7 (34). – С. 124-128.

5. Диверсность методов коррекции ошибок в системе обработки информации и управления критического применения, функционирующей в модулярной арифметике / А.А. Сиора, Хери Али Абдуллах, В.С. Харченко, В.А. Краснобаев, О.В. Зефирова. // Системы управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ НУ, 2008. – Вып. 1 (5). – С. 150-161.

6. Krasnobayev V.A. Method for Realization of Transformations in Public-Key Cryptography / V.A. Krasnobayev // Telecommunications and Radio Engineering (USA). – 2007. – Vol. 66, Issue 17. – P. 1559-1572.

7. Д.П. на корисну модель № 33447 України, МПК (2006) G06F 5/00, G06F 17/14 / Рубан І.В., Дуденко С.В., Алексеев С.В., Сиора О.А., ХЕРІ АЛІ АБДУЛЛАХ, Кошман С.О., Краснобаєв В.А. Пристрій для обчислення доточкового зрізаного перетворення Фур'є в полі $GF(2^6)$; № и 2008 01389. Заявл. 04.02.2008. Опубл. 25.06.2008, Бюл. №12. – 10 с.

8. Отказобезопасные информационно-управляющие системы на программируемой логике / Е.С. Бахмач, А.Д. Герасименко, А.А. Головир, А.А. Сиора, В.В. Скляр, В.И. Токарев, В.С. Харченко; под ред. В.С. Харченко, В.В. Скляра. – Х.: НАКУ (ХАИ), НПП "Радий", 2008. – 380 с.

9. Методы многоверсионной обработки информации в модулярной арифметике: монография / В.И. Барсов, В.А. Краснобаев, А.А. Сиора, И.В. Авдеев. – Х.: МОН, УИ-ПА, 2008. – 460 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.А. Фурман, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка, Харьков.

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЯРНОЇ СИСТЕМИ ЧИСЛЕННЯ

О.А. Сиора, В.С. Харченко, В.А. Краснобаев

У даній статті запропонована концепція створення системи обробки інформації та керування об'єктами критичного застосування на основі використання модулярної системи числення.

Ключові слова: система обробки інформації і управління, об'єкти критичного застосування, модулярна система числення, зовнішня диверсність, внутрішня диверсність, надмірність.

THE CONCEPT OF CREATION OF SYSTEM OF PROCESSING OF THE INFORMATION AND MANAGEMENT OF OBJECTS OF CRITICAL APPLICATION ON THE BASIS OF USE MODULAR OF SYSTEM OF CALCULATION

A.A. Siora, V.S. Harchenko, V.A. Krasnobayev

In this article given clause the offered concept of creation of system of processing of the information and management of objects of critical application on the basis of use modular of system of calculation.

Keywords: system of treatment of information and management, objects of critical application, modular number system, external diversion, internal diversion, surplus.