

УДК 681.21

Мохаммед Джасим Мохаммед¹, В.А. Краснобаев², Н.С. Деренько³, О.В. Зефирова²

¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

²Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

³Приборостроительный завод им. Т.Г. Шевченко, Харьков

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В МОДУЛЯРНОЙ АРИФМЕТИКЕ

В статье представлена разработанная методика расчета и оценки надежности систем обработки цифровой информации (СОИ), функционирующих в реальном времени. В качестве системы счисления СОИ выбрана непозиционная система счисления в модулярной арифметике. Приведен пример использования данной методики к СОИ БПЛА.

оценка надежности, системы обработки информации, модулярная арифметика

Введение

Постановка задачи. В настоящее время нашли широкое применение беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в различных областях науки и техники. Военное руководство США и НАТО, а также ряда ведущих стран мира рассматривают БПЛА как один из самых важных видов авиационной техники, который обеспечивает повышение боевых возможностей вооруженных сил в целом.

Результаты исследований боевого применения БПЛА показали, что основными факторами, которые обуславливают необходимость повышения эффективности их боевых качеств, являются: увеличение длительности времени полета; уменьшение массогабаритных характеристик; возможность обработки и передачи информации системой обработки ин-

формации (СОИ) в реальном времени; повышение надежности (отказоустойчивости) функционирования СОИ. Исходя из вышеизложенного, а также учитывая, что СОИ является основным информационным элементом БПЛА, очевидна необходимость проведения исследований в области создания высокоотказоустойчивых СОИ, функционирующих в реальном времени [1].

Актуальность темы исследований и обзор литературных источников. В литературных источниках показана высокая эффективность использования свойств модулярной арифметики (МА) для повышения качества обработки информации СОИ реального времени [2 – 4]. В [5] показано, что использование непозиционных кодовых структур в системе остаточных классов (СОК) позволяет повысить надежность и пользовательскую производи-

тельность систем обработки цифровой информации реального времени. Однако, до настоящего времени отсутствует инженерная методика оценки надежности системы обработки информации БПЛА для произвольных I -байтовых операндов МА. Данное обстоятельство и обуславливает важность и актуальность исследований, проводимых в статье.

Цель статьи. Разработка методики расчета и оценки надежности СОИ БПЛА, функционирующей в МА.

Основная часть

Данная методика основывается на результатах, проведенных в [6 – 8], и состоит из следующих основных этапов.

I этап. *Задание исходных данных.*

1.1. Определение совокупности $\{m_i\}$ оптимальных, по выбранным критериям, оснований (модулей) СОК. Данный раздел состоит из следующих шагов.

1.1.1. Исходя из величины I разрядной сетки СОИ (предполагается, что $I = \overline{1, 4, 8}$), в соответствии с алгоритмом оптимизации СОК, определен набор оснований m_i ($i = \overline{1, n}$).

1.1.2. Алгоритм оптимизации СОК состоит в следующем:

- задается ряд натуральных чисел $2, 3, 4, \dots$;
- с целью обеспечения взаимно однозначного соответствия между операндами в СОК и в позиционной системе счисления (ПСС) в числовом диапазоне $\left[0, M = \prod_{i=1}^n m_i\right)$ производится выбор совокупности оснований, которые удовлетворяют условию

$$M = \prod_{i=1}^n m_i \geq 2^I;$$

- любая пара оснований СОК должна удовлетворять условию взаимной простоты, т.е. НОД $(m_i, m_j) = 1$ для $i, j = \overline{1, n}$ ($i \neq j$);

- с целью простоты реализации арифметических операций в отрицательном числовом диапазоне одно из оснований СОК должно быть четным, т.е. $M \equiv 0 \pmod{2}$;

- критерий оптимизации оснований СОК – минимальное количество оборудования операционного устройства СОИ; в формализованном виде данный критерий представляется по разному – в зависимости от принципа реализации арифметических операций [5]; так, например, для принципа кольцевого сдвига (ПКС) (на основе использования кольцевых регистров сдвига) критерий оптимизации может быть представлен в зависимости от метода реализации ПКС; для метода двоичного позиционно-остаточного кодирования критерий оптимизации представляется в виде

$$\sum_{i=1}^n \left(\left\lceil \log_2 (m_i - 1) \right\rceil + 1 \right) = \min,$$

а для метода унитарного позиционно-остаточного кодирования – $\sum_{i=1}^n m_i = \min$.

1.2. Задание множества $\Omega = \{t_{i \text{ зад}}\}$ значений отсчетов времени определения вероятности безотказной работы $P_{\text{СОК}}^{(i)}(t)$ ($i = \overline{1, r}$) СОИ, где r – мощность данного множества.

1.3. Задание значения «стоимости», т.е. задание предельно возможного относительного количества $V_{\text{зад}}^{(i)}$ оборудования, приведенного к одному двоичному разряду.

1.4. Задание относительного значения интенсивности $\lambda_{\text{отказ}} \left[\frac{1}{\text{час}} \right]$ отказов (сбоев) оборудования СОИ, приведенного к единице разрядной сетки.

1.5. Задание предельного (необходимого) уровня безотказности $P_{\text{зад}}^{(i)}(t)$.

II этап. *Решение задачи оптимального резервирования в МА для заданных исходных данных.*

Используя исходные данные для конкретного значения $t_{i \text{ зад}} = \text{const}$ методом наискорейшего спуска, определяется вектор $X_{\text{СОК}}^{(i)} = \{x_1 \| x_2 \| \dots \| x_i \| \dots \| x_n\}$ состояния СОИ в МА. На основе результатов решения задачи при условии $V_{\text{СОК}}^{(i)} \leq V_{\text{зад}}^{(i)}$ получим искомое значение $P_{\text{СОК}}^{(i)}(t) = \max$.

III этап. *Получение математической модели надежности СОИ в МА.*

3.1. По значению координат $\{x_i\}$ вектора $X_{\text{СОК}}^{(i)}$ состояния создается математическая модель надежности СОИ в МА в виде математического соотношения

$$P_{\text{СОК}}^{(i)}(t) = F \left\{ P_1^{(0)}(t), P_2^{(0)}(t), \dots, P_n^{(0)}(t); X_{\text{СОК}}^{(i)} \right\},$$

где $P_i^{(0)}(t)$ – вероятность безотказной работы i -го канала (по модулю m_i СОК) обработки информации исходной СОИ в МА. Для простейшего потока отказов (сбоев) будем иметь $P_i^{(0)}(t) = e^{-\lambda_i t} = e^{-\alpha_i \lambda_i t}$, где $\alpha_i = \left\lceil \log_2 (m_i - 1) \right\rceil + 1$.

3.2. На основе содержимого вектора $X_{\text{СОК}}^{(i)}$ синтезируется надежность модель СОИ в МА.

IV этап. *Построение структуры СОИ в МА.*

На основе полученной надежности модели синтезируется структура СОИ в МА.

V этап. *Получение аналитической зависимости $P_{\text{СОК}}^{(i)}$.*

5.1. В соответствии с заданной совокупностью $\Omega = \{t_{i \text{ зад}}\}$ (для $i = \overline{1, r}$, где r – общее число значений отсчетов времени $t_{i \text{ зад}}$) производится процесс опре-

деления вероятности безотказной работы $P_{\text{СОК}}^{(l)}$ СОИ в МА, и для каждого значения $t_{i \text{ зад}}$ проводим решения задачи оптимального резервирования (повторение II этапа).

5.2. Для заданных исходных данных ($I(n) = \text{const}$; $\lambda_3 = \text{const}$; $V_{\text{зад}}^{(l)} = \text{const}$) для совокупности $\Omega = \{t_{i \text{ зад}}\}$ последовательно определим соответствующую совокупность из g значений $P_{1 \text{ СОК}}^{(l)}(t_{i \text{ зад}})$. После чего аппроксимируя совокупность дискретных значений точек с координатами $[t_{i \text{ зад}}, P_{1 \text{ СОК}}^{(l)}(t_{i \text{ зад}})]$ определим искомую зависимость $P_{\text{СОК}}^{(l)}(t)$.

VI этап. Проведение сравнительного анализа надежности СОИ различных типов.

Как правило, сравнительный анализ надежности СОИ проводится с дублированной или троированной мажоритарной структурами систем обработки информации. В этом случае будем обозначать: $P_{\text{СОК}}^{(l)}(t)$ – вероятность безотказной работы СОИ в МА без учета влияния надежности автомата надежности (переключающие устройства); $P_i^{(0)}(t)$ – вероятность безотказной работы одного i -го канала обработки информации СОИ в ПСС; $P_{3 \text{ СОИ}}^{(l)}(t)$ – вероятность безотказной работы троированной мажоритарной структуры СОИ в ПСС без учета надежности мажоритарного органа. Для экспоненциального закона распределения времени между отказами (сбоями) (простейший поток отказов (сбоев)) вероятность безотказной работы будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{СОК}}^{(l)}(t) = \left\{ 1 - \left[1 - P_1^{(0)}(t) \right]^{x_1 + 1} \right\} \cdot \left\{ 1 - \left[1 - P_2^{(0)}(t) \right]^{x_2 + 1} \right\} \times \\ \times \dots \cdot \left\{ 1 - \left[1 - P_n^{(0)}(t) \right]^{x_n + 1} \right\}; \\ P_0^{(l)}(t) = e^{-\lambda_0 \cdot t} = e^{-8 \cdot t \cdot \lambda_3 \cdot t}; \\ P_{3 \text{ СОИ}}^{(l)}(t) = 3 \cdot P_0^2(t) - 2 \cdot P_0^3(t) = e^{-16 \cdot t \cdot \lambda_3 \cdot t} (3 - 2 \cdot e^{-8 \cdot t \cdot \lambda_3 \cdot t}).$$

VII этап. Разработка научных и практических рекомендаций по повышению надежности СОИ БПЛА.

VIII этап. Пример конкретного расчета и проведение сравнительного анализа надежности СОИ БПЛА в МА.

Выводы

На основе вышеизложенного рассмотрим суть разработки и использование методики расчета и оценки надежности систем обработки информации БПЛА в МА.

1. Результаты расчетов надежности целесообразно использовать на различных стадиях проектирования СОИ БПЛА в МА.

2. Возможность получения количественных данных о надежности СОИ БПЛА в МА для различных значений времени наработки T_0 до отказа.

3. Разработка и использование надежностных структур СОИ в МА для l -байтовых машинных слов.

4. При необходимости на основе надежностных структур могут быть получены отказоустойчивые структуры СОИ в МА.

5. Результаты расчетов могут быть использованы для проведения сравнительного анализа надежности СОИ в МА, функционирующих в позиционных двоичных системах счисления.

6. Разработка и внедрение научных и практических рекомендаций по использованию непозиционных кодовых структур в МА для построения высокоотказоустойчивых и сверхбыстродействующих СОИ БПЛА реального времени.

Список литературы

1. Бейлин М.В., Немченко С.В. Анализ подходов США и Израиля к разработке и эксплуатации разведывательных беспилотных летательных аппаратов большой продолжительности полета // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вып. 3 (52). – С. 22-28.
2. Жихарев В.Я., Илюшко Я.В., Краснобаев В.А. Влияние системы счисления на надежность ЭВМ // Радиоэлектроника и компьютерные системы. – 2004. – № 1 (5). – С. 98-104.
3. Краснобаев В.А., Илюшко Я.В. Метод коррекции ошибок у системах автоматизированной обработки данных // Вісник ХДТУСГ ім. П. Василенка, 2004. – Вып. 27, т. 2. – С. 182-185.
4. Краснобаев В.А., Илюшко Я.В. Метод та обчислювальна система обробки інформації, що представлена у системі залишкових класів // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вып. 7 (35). – С. 106-111.
5. Жихарев В.Я., Илюшко Я.В., Кравець Л.Г., Краснобаев В.А. Методы и средства обработки информации в непозиционной системе счисления в остаточных классах. – Житомир: Волянь, 2005. – 220 с.
6. Илюшко В.М., Мохаммед Джасим Мохаммед, Краснобаев В.А. Концепция проектирования отказоустойчивых систем обработки информации реального времени // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вып. 4 (44). – С. 52-56.
7. Илюшко В.М., Мохаммед Джасим Мохаммед, Краснобаев В.А. Исследование влияния свойств модулярной арифметики на структуру и принципы функционирования систем обработки информации реального времени // Радиоэлектроника и компьютерные системы. – 2005. – № 2 (10). – С. 132-139.
8. Мохаммед Джасим Мохаммед, Краснобаев В.А. Методики расчета и сравнительного анализа отказоустойчивости систем обработки информации в модулярной арифметике // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ІПМЕ, 2005. – Вып. 33. – С. 99-102.

Поступила в редколлегию 1.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.