

Игнатов В.А., д.т.н.,
Гузий Н.Н., к.т.н.,
Сорая М.А.

ВЛИЯНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ НА ГАРАНТОСПОСОБНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Національний авіаційний університет

Предложено метод расчета влияния фрактальной избыточности на показатели и критерии обеспечения гарантоспособности бинарных $ZG(n,m)$ – систем. Для инженерных приложений разработан типовой алгоритм расчета критериев и прогнозирования оптимального обеспечения гарантоспособности телекоммуникационных и компьютерных сетей.

Вступление

Прогнозирование эффективности фрактальной избыточности для обеспечения гарантоспособности телекоммуникационных и компьютерных сетей является актуальной проблемой [1].

Цель работы

Цель работы - решение задач прогнозирования эффективности фрактальной избыточности для обеспечения гарантоспособности телекоммуникационных и/или компьютерных сетей на основе применения функционально-избыточных $ZG(n,m)$ – систем в телекоммуникационных и компьютерных сетях [2-7].

Для достижения этой цели ставятся и решаются следующие задачи:

- исследование влияния числа резервных каналов на гарантоспособность бинарных $ZG(n,m)$ – систем;
- разработка методов прогнозирования эффективности фрактальной избыточности для обеспечения гарантоспособности;
- разработка типового алгоритма расчета критерия эффективности использования фрактальной избыточности.

Изложение основного материала исследования

На примере бинарных $ZG(n,m)$ – систем определим влияние числа резервных каналов на гарантоспособность систем. Для расчетов показателей и критериев эффективности фрактальной избыточности бинарными $ZG(n,m)$ – системами раз-

работан пакет прикладных программ $W(q,n,m,x)$ в системе MathCAD.

Представим критерий эффективности в следующем виде:

$$W(q,n,m,x) = [(n+m)^2 n^{y(x)} / \{(n+m)^2 q + [n^2(1-q)]\}], \quad (1)$$

где показатель степени определим как функцию свободного параметра x :

$$y(x) = (n^x + nm - 1) / n^x. \quad (2)$$

Оптимальное значение показателя степени x_{opt} найдем с помощью итерационной процедуры из условия минимума по x и по g_m критерия:

$$SF(x) = \sum g_m [W(q,n,m,x) - W_m]^2, \quad m = 1,2,3, \quad (3)$$

где весовые коэффициенты выбираются оптимально из условия обеспечения минимума дисперсии критерия (3) в виде:

$$g_{m, opt} = \{1 / [W(q,n,m,x) - W_m]^2\} / \sum \{1 / [W(q,n,m,x) - W_m]^2\}. \quad (4)$$

Пример 1. Расчет показателей гарантоспособности бинарных $ZG(n,m)$ – систем. Вычислим значения критерия эффективности при $q = 0.03$ и $m = 1,2,3,4$. Используя пакет $W(q,n,m,x)$ получим следующие точные значения критерия $W_q(2, m)$ при $m = 1,2,3,4$:

$$W_1 = 4.939, \quad W_2 = 12.253, \quad W_3 = 20.023, \quad W_4 = 24.96. \quad (5)$$

Оптимальное значение параметра x_{opt} (рис.1) вычислялось при $q = 0.03$, $n = 2$, $m = 1,2,3$, $g_{1, opt} = 1.26 \cdot 10^{-6}$, $g_{2, opt} = 5.84 \cdot 10^{-8}$, $g_{3, opt} = 0.99$. Получены следующие значения координат точки экстремума: оптимальное значение $x_{opt} \approx 2.251$, минимальное значение

$SF_{min}(x_{opt}) \approx 2.53 \cdot 10^{-7}$. При вычислении x_{opt} , $g_{m,opt}$ не учитывалось полученное на первой итерации прогнозное значение критерия $W_4^* = 36.013$, точное значение которого равно 24.96.

Погрешности расчета эффективности бинарных $ZG(n,m)$ – систем с помощью приближенной формулы (1) при $x_{opt} \approx 2.251$ и $q = 0.03$ приведены в табл. 1.

Среднеквадратическое минимальное отклонение значений критерия (4) рассчитывалось по формуле:

$$\sigma SF_{min} = \sqrt{[SF_{min}(x_{opt})]/(m-1)}. \quad (6)$$

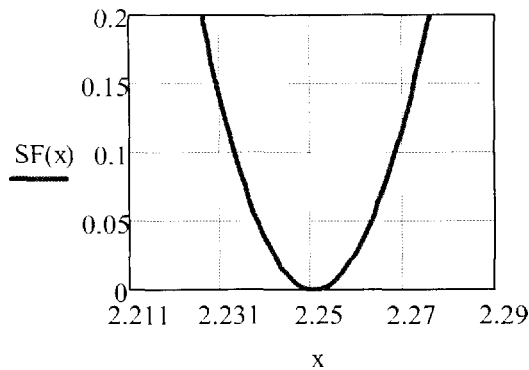


Рис. 1. Оптимальное значение x_{opt}

Абсолютные ΔW_m и относительные δW_m погрешности, коэффициенты вариации V_m критерия эффективности рассчитывались по известным формулам математической статистики и приближенных вычислений

$$\Delta W_m = W_m^* - W_m, \quad (7)$$

$$\delta W_m = (W_m^* - W_m) / W_m, \%, \quad (8)$$

$$V_m = \sigma SF / W_m, m = 1, 2, 3, 4. \quad (9)$$

где в роли истинных (эталонных) значений использовались точные значения (5) для различных значений числа m .

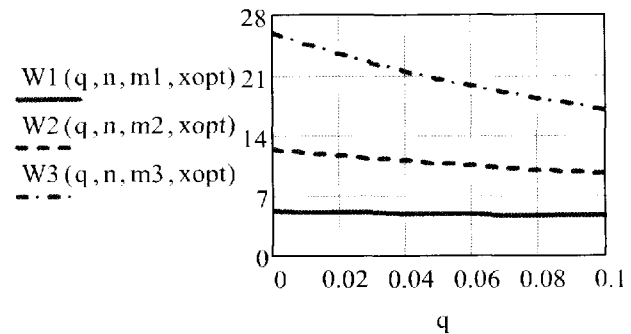


Рис. 2. Зависимости критерия эффективности $ZG(n,m)$ – систем от q

На рис.2 показаны графики зависимостей приближенных значений критерия эффективности от вероятности отказа q одного канала избыточной системы, на которой строится $ZG(n,m)$ – система. Анализируя совместно

результаты табл. 1 и графики рис. 2, можно сделать следующие выводы:

- для векторных систем, в которых имеется возможность восстановления гарантийспособности после негативных различных внутренних и внешних

Таблица 1. Погрешности аппроксимации критерия эффективности бинарных $ZG(n,m)$ –систем ($q=0.03$, $n=2$, $m=1,2,3$, $g_{1,opt}=1.26 \cdot 10^{-6}$, $g_{2,opt}=5.84 \cdot 10^{-8}$, $g_{3,opt}=0.99$, $\sigma SF=4.11 \cdot 10^{-4}$).

n/n	m	W_m	W_m^*	ΔW_m	$\delta W_m, \%$	$V_m \cdot 10^3, \%$
1	1	2	3	4	5	6
2	1	4.939	4.492	-0.447	- 9.06	8.329
3	2	12.253	10.17	-2.083	- 17.001	3.357
4	3	20.023	20.022	$-5.038 \cdot 10^{-4}$	$-2.516 \cdot 10^{-3}$	2.055
5	4	24.96	36.013	11.053	44.283	1.648

воздействий на сигналы в отдельных каналах, введение фрактальной избыточности позволяет существенно повысить гарантированность даже при относительно низкой надежности отдельных каналов неисбыточной системы;

- для векторных систем, в которых гарантированность не может быть восстановлена после деструктивных внутренних и внешних воздействий в отдельных каналах, введение фрактальной избыточности позволяет существенно повысить гарантированность только при относительно высоких показателях надежности базовой системы;

- приближенная формула (1), в которой используется оптимальное значение x_{opt} , удовлетворительно интерполирует значения критерия эффективности внутри интервала аппроксимации с относительными погрешностями 5–17 %, но приводит к большим погрешностям – 44 % и больше – при попытках экстраполяции; поэтому для надежной экстраполяции значений критерия эффективности требуется применение других, например, рекуррентных методов прогнозирования;

- с уменьшением вероятности q значения критерия эффективности возрастают практически линейно с увеличением надежности каналов неисбыточной системы, в которую вводится фрактальная избыточность,

- с введением каждого последующего избыточного канала значения критерия эффективности для выбранных исходных данных увеличиваются приблизительно в два раза (рис. 2.);

- с уменьшением надежности каналов неисбыточной системы – с ростом q – уменьшается эффективность введения фрактальной избыточности для любых значений m .

Прямые методы приближенной экстраполяции значений критерия эффективности обладают недопустимо большими погрешностями, поэтому применим рекуррентные методы прогнозирования. Будем искать экстраполированное значение критерия эффективности WP_{m+1} на

$(m+1)$ - ом шаге с помощью пошаговой рекуррентной процедуры вида:

$$WP_{m+1} = \alpha_m W_m + \alpha_{m-2} W_{m-2}, m = 3, 4, \quad (10)$$

где α_m, α_{m-2} – весовые коэффициенты интерполированных по приближенной формуле (1) значений W_m, W_{m-2} критерия эффективности подбираются по данным интерполяции значений на предыдущих трех шагах.

Пример 2. Применим рекуррентную процедуру к данным *примера 1* для вычислений по приближенной формуле (1). Для $m = 4$ получим:

$$WP_4 = \alpha_3 W_3^* + \alpha_1 W_1^* = (4 W_3^* - W_1^*)/3 = (4 \cdot 20.022 - 4.492)/3 \approx 25.051. \quad (11)$$

Сравнивая этот результат с точным значением $W_4 = 24.96$, видим, что относительная погрешность экстраполяции при $\alpha_3 = 4/3, \alpha_1 = 1/3$ равна:

$$\delta WP_4 = (WP_4 - W_4)/W_4 \approx 0.959 \%$$

Сравнивая эту величину с $\delta W_4 = 44.283 \%$, нетрудно заметить, что прямой прогноз уступает рекуррентному прогнозу по точности приблизительно в 45 раз.

Представляя формулу (11) в преобразованном для лучшего восприятия виде, можно заметить очевидный логический смысл трех шаговой и четырех шаговой процедур рекуррентного линейного прогнозирования значений критерия эффективности обеспечения гарантированности:

$$WP_{m+1,3}^* = W_m^* + (W_m^* - W_{m-2}^*)/m, \quad (12)$$

$$WP_{m+1,4}^* = W_m^* + (W_m^* - W_1^*)/(m+1). \quad (13)$$

В трех шаговой рекуррентной процедуре экстраполяции значений критерия эффективности последнее, третье значение, используют как опорное и складывают его со средним значением приращения критерия за три предыдущих шага интерполяции.

Аналогичное правило является справедливым и для четырех шаговой рекуррентной процедуры экстраполяции значений критерия эффективности обеспечения гарантированности бинарных $ZG(n, m)$ – систем:

Эти трех- и четырех шаговые рекуррентные правила прогнозов справедливы

и для прогнозирования на последующих шагах: при $m = 5, 6, \dots$

Пример 3. Применим правило трех шаговой рекуррентной процедуры линейного прогнозирования по формуле (12) к данным примера 2 для вычислений по приближенной формуле (1) экстраполированного значения WP_5^* для $m = 5$:
 $WP_5^* = W_4^* + (W_4^* - W_2^*)/3 =$
 $= 25.051 + (25.051 - 10.17)/3 = 30.011.$

Применяя правило усреднения за четыре предыдущих шага, получим
 $WP_{54}^* = W_4^* + (W_4^* - W_1^*)/4 =$
 $= 25.051 + (25.051 - 4.492)/4 = 30.079$

Сравнивая экстраполированные значения WP_5^*, WP_{54}^* , видно, что они пренебрежимо мало отличаются, (приблизительно на 0.2 %), следовательно для бинарных систем рекуррентные трех шаговые и четырех шаговые рекуррентные процедуры линейного прогнозирования практически эквивалентны. Поэтому для инженерной оценки эффективности обеспечения гарантийности бинарными $ZG(n, m)$ – системами рекомендуются трех шаговые рекуррентные процедуры линейного прогнозирования значений критерия эффективности. В то же время выполненная нами проверка показала, что двух шаговые процедуры прогнозирования по двум точкам не пригодны для инженерных расчетов, они дают большие относительные погрешности экстраполяции, равные 25 – 30 %.

Оценим погрешности рекуррентного прогнозирования по приближенной формуле относительно погрешностей рекуррентного прогнозирования по точным значениям, когда для прогнозирования используются точные расчетные значения:

$$WP_5 = W_4 + (W_4 - W_2)/3, \quad (14)$$

$$WP_{54} = W_4 + (W_4 - W_1)/4. \quad (15)$$

На основе полученных результатов разработан приведенный на рис. 3 типовой алгоритм расчета критериев и прогнозирования оптимального обеспечения гарантийности телекоммуникационных и компьютерных сетей.

Результаты вычисления рекуррентных трех- и четырех шаговых процедур линейного прогнозирования с помощью точного и приближенного методов экстраполяции практически эквивалентны.

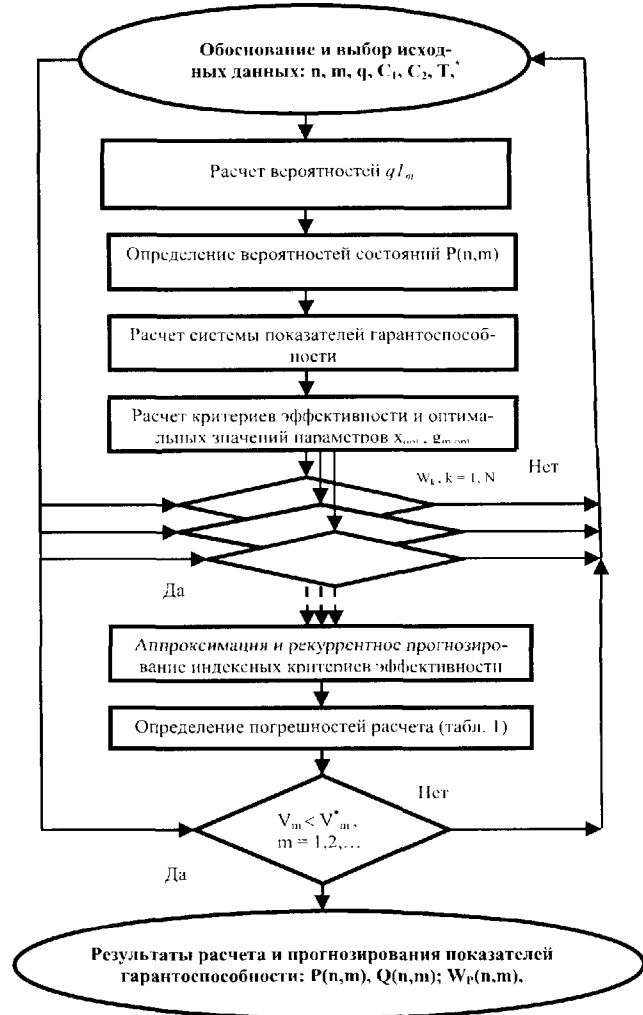


Рис. 3. Фрагмент типового алгоритма расчета и прогнозирования показателей и критериев эффективности обеспечения гарантийности $ZG(n, m)$ – систем

Логические блоки (рис. 3) предназначены для проверки соответствия оптимальных решений предъявляемым требованиям, а также для оценки соответствия погрешностей расчета нормативным требованиям (через V_m обозначено требуемое по Техническому заданию на проектируемую систему значение коэффициента вариации).

Выводы

В работе проведено исследование влияния фрактальной избыточности на гарантоспособность бинарных $ZG(n,m)$ – систем.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и практические рекомендации:

1. Разработанный метод исследования влияния фрактальной избыточности на показатели и индексные критерии обеспечения гарантоспособности бинарных $ZG(n,m)$ – систем при числе основных компонент $n = 2$, резервных компонент $m = 1, 5$, позволяет решать аналогичные задачи для n – арных систем при $n > 2$.

2. Предложенная аппроксимация приближенных значений критерия эффективности использования фрактальной избыточности для обеспечения гарантоспособности $ZG(n,m)$ – систем позволяет упростить процедуры обоснования исходных данных расчета и прогнозирования значений этого критерия с помощью сформулированных правил трех шаговых и четырех шаговых рекуррентных процедур прогнозирования (12), (13).

3. Для инженерных приложений рекомендуется трех шаговая рекуррентная процедура прогнозирования (12) и сформулированное для ее использования правило расчета прогнозных значений. При этом относительные погрешности прогнозирования, как показало сравнение результатов, полученных точным и приближенным методами, не превышают 2-3%.

4. На основе трехшаговой рекуррентной процедуры прогнозирования (12) разработан типовой алгоритм расчета критерия эффективности использования фрактальной избыточности для обеспече-

ния гарантоспособности $ZG(n,m)$ – систем.

Список литературы

1. Харченко В.С. Парадигмы и принципы гарантоспособных вычислений: состояние и перспективы. Радіоселектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №2 (36), – С. 91–100.
2. Игнатов В.А., Маньшин Г.Г., Трайнев В.А. Статистическая оптимизация качества функционирования электронных систем. – М.: Энергия, 1974. – 264 с.
3. Игнатов В.А., Захаренков В.В. Мажоритарное устройство для выделения проекций векторной величины. А.С. СССР №782162. Б.И. СССР. №6. 1978.
4. Игнатов В.А., Стоянов Б.Н. Метод избыточного диагностирования авиационных систем. – Технологические процессы при эксплуатации радиоэлектронного оборудования гражданской авиации. – К.: КИИГА, 1985. – С. 7–17.
5. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов. – М.: Сов. радио, 2-ое изд. 1990. – 280 с.
6. Игнатов В.А., Мачалин И.А. Оптимальное управление диагностированием изделий авиационной техники. // Авиационная и космическая техника. – Харьков: ХАИ, 2006, №6. – С. 5-18.
7. Аль-Шаро Я.М., Захаренков В.В., Игнатов В.А., Кудренко С.А. Миноритарный принцип диагностирования функционально-избыточных систем на основе ZG –преобразования. / Зб. наук. праць: Академія інженерних наук України. Вип. 1. – К.: АІНУ, 2009. – С. 52-62.