УДК 621.325

А.А. СЕРКОВ, Н.В. ДЖЕНЮК

Национальный технический университет «ХПИ», Украина

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Разработана модель оптимальной стратегии воздействия внешней среды на информационную систему. Создана структура информационной системы, способная оптимальным образом компенсировать деструктивные внешние воздействия. Предложены конкретные практические решения по повышению живучести информационной системы.

информационная система, живучесть, внешняя среда, защитные элементы, деструктивные воздействия

Введение

Несмотря на постоянное усовершенствование схемотехнических и конструкционных решений, улучшение качества элементной базы и повышение надежности защиты от поражающего действия электромагнитных излучений, наблюдалась стойкая тенденция к неизменному сохранению количества нарушений работоспособности испытуемых объектов.

Таким образом, возникает задача обеспечения живучести компьютеризированных систем не на стадии ее доработки по результатам испытаний, а на ранних стадиях проектирования систем.

Под живучестью систем в рамках общей теории и практики обеспечения требований электромагнитной совместимости понимается их способность адаптироваться к новой ситуации и активно противостоять внешним воздействиям, выполняя свою целевую функцию за счет соответствующего изменения структуры и поведения системы.

Постановка задачи. Для решения поставленной задачи в первую очередь необходимо создать общую математическую модель взаимодействия внешней среды и самой системы.

При разработке модели приняты следующие допущения:

1. Система **A** имеет: структуру $|A|$, стратегию поведения внешней среды $\bar{C}$ и, в какой-то момент времени t – $N_a(t)$ рабочих (a) и $N_b(t)$ защитных (b) элементов.

2. Система **A** имеет ε-равномерное размещение элементов. В сфере радиуса R = ε, будет $QN_a(0)$ рабочих и $QN_b(0)$ защитных элементов. ($Q = v_0/V$, V – объем, который занимает система; v_0 – объем, который определен сферой R = ε.).

3. Время воздействия внешней среды на систему **A** ограничено интервалом $[0,T]$, который разбит на подинтервалы $k = T/h$, $h > 0$.

4. Внешний ресурс имеет $M(0)$ штук разрушающих c-элементов, которые к моменту времени $t = T$ полностью расходуются на систему A и не пополняется.

$$M(t) = M_a(t) + M_b(t); \qquad t = 0, h, ..., kh .$$

где $M_a(t)$ – количество c-элементов, которые расходуются на повреждение рабочих элементов системы;

$M_b(t)$ – количество c-элементов, которые расходуются на повреждение защитных элементов этой же системы.

В интервалах времени $(t, t+h)$ для рабочих (a) и защитных (b) элементов системы A расходуются следующие порции c-элементов.

$$m_a(t) = M_a(t) - M_a(t+h);$$

$$m_b(t) = M_b(t) - M_b(t+h).$$

При этом принимаем, что перераспределение рабочих и защитных элементов системы за счет действия c-элементов будет происходить только на начальном и конечном значениях временного интервала, а равномерное распределения элементов в системе остается постоянным.

Разработка методов повышения живучести систем

Структура системы $|A|$ в момент времени t зависит только от стратегии поведения внешней среды $\bar{c} = \{m_a(t), m_b(t)\}$ и начальной структуры системы, которая определяется только начальным соотношением количества защитных и рабочих элементов $|A| = (N_a(0), N_b(0))$.

При этом общее количество $(M(0))$ c-элементов внешней среды C является функцией стратегии поведения среды $\bar{C}$ и первоначальной структуры системы $|A|$, на которую она воздействует.

$$M(0) = M(\bar{c}, |A|) = f[m_a(t), m_b(t); N_a(0), N_b(0)].$$

Таким образом, задачей внешней среды является разрушение рабочих элементов системы при минимальном расходе своего ресурса. В то же время задача системы за счет исходной организации своей структуры заставить внешнюю среду израсходовать максимум своего ресурса, необходимого для разрушения системы. В связи с этим возникает минимаксная задача, которая связывает стратегию поведения внешней среды со структурой.

$$\max_{|A|} M(0) = \max_{|A|} M(\bar{C}_{opt}, |A|) = M(\bar{C}_{opt}, |A|_{opt}).$$

Для наглядности, в рамках принятых допущений, примем интервал времени $h = 1$. Тогда количество элементов внешнего ресурса, который расходуется на вывод из строя рабочих и защитных элементов системы и происходит только в начале или конце временного интервала, определится следующим соотношением:

$$m_a(0) + m_a(1) + m_b(0) + m_b(1) = M(0),$$

где $M(0)$ – весь ресурс внешней среды, который полностью расходуется на разрушение рабочих и защитных элементов.

С учетом допущений о равномерном распределении элементов в системе и факта существования определенной вероятности вывода из строя одного рабочего или защитного элемента одним c-элементом, это уравнение примет вид:

$$m_a(0)\, p[N_b(0)] + m_a(1)\, p[N_b(1)] = (1 - Q_a) N_a(0),$$

где

$$N_a(1) = N_a(0) - m_a(0)\, p[N_b(0)];$$

$$N_b(1) = N_b(0) - m_b(0)\, p[N_b(0)].$$

При этом количество внешнего ресурса, необходимого для разрушения защитных элементов системы в конечный момент времени взаимодействия внешней среды системы, будет тождественно равно 0 ($m_b(1) \equiv 0$), так как к этому времени все защитные элементы системы должны быть безусловно разрушены.

Выражая ресурс внешней среды, расходуемый на разрушение рабочих элементов системы в конце временного интервала через начальный ресурс, получаем преобразованное исходное уравнение:

$$m_a(0)\left\{1 - \frac{p[N_b(0)]}{p[N_b(1)]}\right\} + m_b(0) + \\ + \frac{(1 - Q_a) N_a(0)}{p[N_b(1)]} = M(0).$$

Анализ первой составляющей этого уравнения показывает, что она всегда положительна, так как вероятность предыдущего события не превышает вероятности последующего $p\left[N_b\left(0\right)\right] \le p\left[N_b\left(1\right)\right]$ и растет с ростом ресурса, используемого на разрушение рабочих элементов $m_a\left(0\right)$. Поэтому не может определять минимум $M\left(0\right)$, в связи с чем полагаем $m_a\left(0\right) \equiv 0$.

$$m_b\left(0\right) + \frac{\left(1-Q_a\right)N_a\left(0\right)}{p\left[N_b\left(0\right) - m_b\left(0\right)p\left[N_b\left(0\right)\right]\right]} = M\left(0\right).$$

Преобразованное уравнение будет иметь минимум в зависимости от количества защитных элементов. Для его определения уравнение дифференцируем по $m_b\left(0\right)$ и приравниваем производную 0.

$$M'\left(0\right) = 1 + \frac{\left(1-Q_a\right)N_a\left(0\right)\cdot p'\left[N_b\left(1\right)\right]p\left[N_b\left(0\right)\right]}{p^2\left[N_b\left(1\right)\right]} = 0,$$

$$-\frac{p^2\left[N_b\left(1\right)\right]}{p'\left[N_b\left(1\right)\right]p\left[N_b\left(0\right)\right]} = \left(1-Q_a\right)N_a\left(0\right).$$

Предположим, что действия *с*-элементов происходят независимо друг от друга. При этом вероятность вывода из строя одного *с*-элемента одним *b*-элементом равно постоянной величине *D*, а появление *с*-элемента в системе вызывает защитные действия $QN_b\left(t\right)$ *b*-элементов, которые находятся в его ε-окружении. Тогда вероятность вывода из строя защитного *b*-элемента будет составлять

$$p\left[N_b\left(t\right)\right] = \left(1-D\right)^{QN_b\left(t\right)} = e^{-dN_b\left(t\right)},$$

а $p[N_b(0)] = e^{-dN_b(0)}$, $p'[N_b(t)] = -de^{-dN_b(t)}$,

где $d = Q\ln\left(1-D\right)^{-1}$ – коэффициент эффективности *b*-элемента.

Подставляя эти значения в основное решение, получаем следующее соотношение: $d^{-1}e^{d[N_b(0)-N_b(t)]} = (1-Q)N_a(0)$, из которого можно определить оптимальную стратегию внешней среды, при которой общий разрушающий ресурс минимален.

$$m_b^*(0) = d^{-1}e^{dN_b(0)}\ln d(1-Q)N_a(0),$$

$$m_a^*(1) = \frac{(1-Q)N_a(0)}{p[N_b(t)]} =$$

$$= (1-Q)N_a(0)e^{dN_b(t)} = d^{-1}e^{dN_b(0)},$$

$$M^*(0) = m_a^*(1) + m_b^*(0) = d^{-1}e^{dN_b(0)}\ln de(1-Q)N_a(0).$$

Таким образом, оптимальной является такая стратегия поведения внешней среды, когда ее весь внешний ресурс расходуется сначала на подавление защитных элементов системы с последующим разрушением ее рабочих элементов. $m_a\left(0\right) \equiv m_b\left(1\right) \equiv 0$, $m_b\left(0\right) = m_b^*\left(0\right)$.

Для одного из частных случаев были выполнены расчеты общего количества элементов внешнего ресурса при оптимальной и подоптимальной стратегиях поведения внешней среды.

Сравнение предложенной стратегии с подоптимальной

$$m_a\left(0\right) \equiv m_b\left(1\right) \equiv 0;\ m_b\left(0\right) \equiv m_a\left(1\right) \equiv\ \equiv \tilde{m}_b\left(0\right),$$

при которой внешний ресурс расходуется поочередно на рабочие и защитные элементы системы, показал существенный выигрыш во внешнем ресурсе (почти в два раза).

Для оптимизации начальной структуры системы считаем, что коэффициент $G = dN_b(0) = const$. Тогда исходное соотношение будет иметь следующий вид:

$$M\left(0\right) = \min_{\bar{C}} M\left(\bar{C}, |A|\right) =$$

$$= G^{-1}N_b\left(0\right)e^G\left[\ln Ge\left(1-Q\right)N_a\left(0\right) - \ln N_b\left(0\right)\right].$$

Дифференцируя его по $N_b\left(0\right)$ и приравнивая его 0, получаем трансцендентное уравнение, решение которого будет иметь следующий вид:

$$N_b^{**}\left(0\right) = \frac{G\left(1-Q\right)}{N_a\left(0\right)}.$$

При этом общее количество разрушающих элементов определяет следующее выражение

$$M^{**}\left(0\right) = \max_{|A|}\min_{\bar{C}} M\left(\bar{C}, |A|\right) = e^G\left(1-Q\right)N_a\left(0\right).$$

Для подоптимальной структуры, когда $N_a(0) = N_b(0)$, общее количество разрушающих элементов составит

$$M^{'}(0) = e^{G} N_a(0) \frac{1 + \ln G(1-Q)}{G}.$$

Сравнение показало на относительный выигрыш, величина которого зависит от количества защитных элементов и определяется соотношением:

$$\xi^{**} = 1 - \frac{1 + \ln G(1-Q)}{G(1-Q)}.$$

Оптимизация структуры информационной системы на основе предложенной минимаксной модели показала, что оптимальный выбор исходного соотношения рабочих и защитных элементов информационной системы позволяет заставить более чем в полтора раза увеличить ресурс внешней среды, необходимый для разрушения этой системы.

Выводы

Создана математическая модель, связывающая структуру разрабатываемой системы со стратегией поведения внешней среды. В рамках принятых допущений сформулирована минимаксная задача, при этом показано существование оптимальной стратегии поведения внешней среды и оптимальной структуры системы. Сравнение оптимальной стратегии внешней среды с подоптимальной показало существенный выигрыш (почти в два раза) во внешнем ресурсе. Оптимизация структуры системы на стадии ее разработки позволяет более чем в полтора раза увеличить ресурс внешней среды, необходимый для разрушения системы (т.е. повысить уровень живучести системы).

Литература

1. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем / Отв. ред. В.А. Гуляев. – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с.

2. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. – СПб.: Политехника, 2002. – 155 с.

3. Кравченко В.І., Серков О.А., Дженюк Н.В. Математична модель живучості інформаційної системи // 2-й Междунар. Радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы» МРФ-2005. Сб. научных трудов. Т. VI. – 2005. – С. 42-44.

4. Кравченко В.І., Серков О.А., Дженюк Н.В. Оптимізація моделі стратегії взаємодії зовнішнього середовища та інформаційної системи // 2-й Междунар. Радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы» МРФ-2005. Сб. научных трудов. Т. VI. – 2005. – С. 120-123.

5. Кравченко В.І., Серков О.А., Дженюк Н.В., Шаповалова Н.Ю. Оптимізація співвідношення захисних та робочих елементів інформаційної системи за умов цілеспрямованої дії електромагнітного випромінювання // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск. Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2005. – № 49. – С. 14-17.

Поступила в редакцию 27.02.2007

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, с.н.с. И.В. Яковенко, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния», Харьков.