

Шерстобитов С. А., Новиков А. Н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧНОСТИ УЗЛОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТИ С УЧЕТОМ КОНТРОЛЯ

Шерстобитов С. А., Новиков А. Н.

S. A. Sherstobitov, A. N. Novikov

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧНОСТИ УЗЛОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТИ С УЧЕТОМ КОНТРОЛЯ

THE CRITICALITY DEFINITIONS OF INFORMATION MANAGEMENT NETWORK UNITS IN VIEW OF CHECKING PROCEDURES

Шерстобитов Сергей Александрович – адъюнкт Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (Россия, г. Санкт-Петербург). E-mail: radosti_yad@mail.ru.

Mr. Sergey A. Sherstobitov – Post-graduate Student of Faculty of Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky (Russia, St. Petersburg). E-mail: radosti_yad@mail.ru.

Новиков Александр Николаевич – к.т.н., доцент кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (Россия, г. Санкт-Петербург). E-mail: novalloll@mail.ru

Mr. Alexander N. Novikov – Cand. Tech. Sci., Associate Professor of Faculty of Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky (Russia, St.Petersburg). E-mail: novalloll@mail.ru

Аннотация. В работе проведен анализ проблемы повышения качества работы сложной системы в зависимости от элементов системы, оказывающих наибольшее влияние на ее работоспособность. Обоснована актуальность решения задачи определения критических элементов системы при известных вероятностных показателях их работы. Рассмотрена вероятностная модель информационной управляющей системы (сети). Исследовано влияния контроля на различных этапах цикла управления. Предложен подход к определению критичности узлов информационной управляющей сети с учетом контроля ее параметров на различных этапах. В качестве показателя критичности принята чувствительность вероятности безошибочной работы системы по отношению к вероятностям контроля этапов. В заключении приведен численный пример расчета чувствительностей вероятности безошибочной работы системы по отношению к вероятностям контроля этапов на основе предложенной модели.

Summary. The problem of improving quality of work of a complex system, depending on system components that have the greatest influence on its performance is being analyzed in the paper. The author justifies the urgency of solving the problem of determining the critical elements of the system under certain probabilistic performance of their work. The probable model of information management system is considered, the effect of checking procedures at different stages of the management cycle is investigated. The article discusses an approach to the definition of critical components of information management network in view of checking its parameters at different stages. The sensitivity of the probable error-free system operation in relation to the probabilities of stage checking is adopted as an indicator of the criticality. Finally, a numerical example of the sensitivity calculation of probable error-free system operation in relation to the probable checking of stages based on the proposed model is submitted.

Ключевые слова: информационная управляющая система, информационный процесс принятия решения, контроль, критичность, чувствительность, граф состояний.

Key words: information management system, information decision-making process, checking procedures, criticality, sensitivity, a state graph.

УДК 621.37

Введение

Цикл управления информационной управляющей сети условно можно разделить на элементарные этапы. Обеспечить повышение качества работы всей системы путем улучшения качества работы одновременно всех этапов затруднительно по причине ограниченности ресурсов, а также больших затрат. Очевидно, что различные этапы в системе играют неодинаковые роли – от-

казы на разных этапах могут приводить к разным по степени влияния на состояние системы последствиям. В этом случае необходимо определить этапы, которые оказывают наибольшее влияние на работоспособность системы. Это позволит сконцентрировать усилия на совершенствовании именно таких критических элементов. При этом под критичностью элемента сложной системы понимается свойство элемента, отражающее возможность возникновения и степень влияния отказа элемента на работоспособность системы [1].

На каждом из этапов такой системы возможно появление ошибок различного рода. Они могут быть обусловлены неопределенностью, неоднозначностью, неполнотой и нечеткостью исходных данных и знаний о состоянии системы, а также значительной динамичностью изменения данных и знаний. Это оказывает влияние на всю систему в целом. Создание перспективной системы с высокими целевыми характеристиками требует разработки новых подходов к решению проблемы обеспечения ее работоспособности. Важнейшим направлением решения данной проблемы является разработка, создание и оптимизация систем контроля, которые позволят при достаточно низком уровне ресурсных затрат с требуемой максимальной достоверностью и полнотой оценивать текущее состояние системы, а также формировать воздействие по управлению состоянием системы в процессе ее целевого применения [3].

В этом случае, помимо количественного оценивания информационного процесса принятия решения, важен вопрос оценивания критичности элемента контроля, то есть *влияния контроля* на этапах цикла принятия решения, его «вклад» в конечный целевой показатель – вероятность безошибочной работы системы в целом. Критичность элемента контроля может быть оценена как чувствительность вероятности безошибочной работы системы по отношению к надежности узла контроля. Решение этой задачи позволит найти «слабое звено» в системе контроля и определить, какому этапу необходимо уделить внимание, потратить дополнительный ресурс, чтобы эффективно повысить качество работы всей системы. При простых прямых переходах между этапами цикла принятия решения поставленная задача решается достаточно легко и очевидно. Однако при усложнении системы, наличии обратных и перекрестных связей такая задача не выглядит столь тривиальной.

Целью настоящей статьи является рассмотрение модели информационной управляющей системы (сети) и исследование влияния контроля на различных этапах цикла управления. В статье будет использована математическая модель – вероятностная матричная модель для определения вероятности получения конечного результата с учетом влияния контроля на различных этапах цикла управления.

Модель информационной управляющей системы

В работе [4] предложен подход к количественному оцениванию работоспособности сложной системы – цикла управляющей сети. За основу модели цикла управления приняты идеи, заложенные J.R. Boyd и описанные в монографии [2]. В соответствии с ними любая деятельность в сфере управления с целью достижения результата может быть представлена в виде кибернетической модели. Указанная модель предполагает многократное повторение петли – цикла действий, составленного из четырех последовательных взаимодействующих этапов: наблюдение (observation), ориентация (orientation), решение (decision), действие (action). В модели может быть неоднократно реализован принцип обратной связи, в соответствии с которым информация с выходов этапов подается на входы предшествующих этапов, чтобы уточнить и скорректировать поведение системы на последующих этапах.

Аналогично источнику [4] построим сетевую математическую модель для вероятностного оценивания длительности цикла. Четыре этапа цикла во времени выполняются последовательно друг за другом. Предположим для примера, что второй и третий элементы цикла могут обращаться к предшествующим элементам неоднократно с целью корректировки недостающей информации. В принципе могут предполагаться и любые другие обратные связи в цикле с охватом и большего количества элементов. Кроме того, предположим, что каждый этап подвергается контролю с вероятностью контроля q_i . Пример графа организации цикла показан на рис. 1.

Граф содержит 5 пять узлов: 0 узел является истоком графа, 1 – 4 узлы соответствуют четырём этапам цикла, а узел 5 служит стоком графа. Обозначим вероятности успешных завершений временных процессов в этапах i в течение времён t_i через $P_i(t_i)$, $i = 1, 2, 3, 4$, а вероятности переходов между этапами цикла – соответственно через $r_{01}, r_{12}, r_{21}, r_{23}, r_{32}, r_{34}$. При этом должны выполняться условия $r_{01} = 1; r_{21} + r_{23} = 1; r_{32} + r_{34} = 1, r_{45} = 1$.

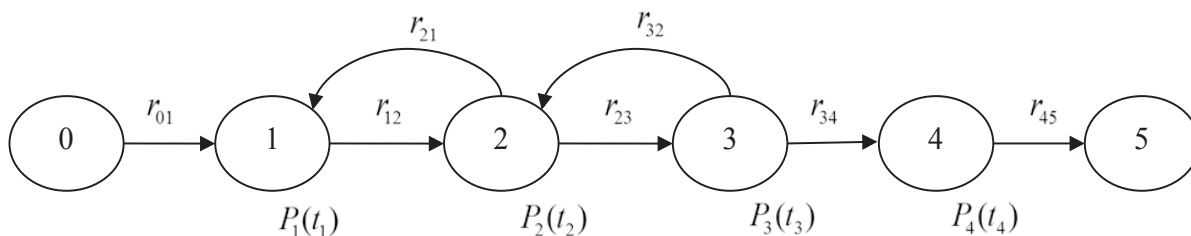


Рис. 1. Граф организации цикла

Тогда с учетом вероятностей контроля матрица переходов между узлами графа $G = G(t)$, $t = (t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$ примет вид:

$$G = \begin{pmatrix} 0 & r_{01}P_0(t_0)q_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{12}P_1(t_1)q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{21}P_2(t_2)q_2 & 0 & r_{23}P_2(t_2)q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{32}P_3(t_3)q_3 & 0 & r_{34}P_3(t_3)q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_{45}P_4(t_4)q_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Введем понятие шага как единичного перехода между этапами цикла. Для того чтобы найти вероятности безошибочной работы за два шага нужно просуммировать с соответствующими вероятностями произведения вероятностей по всем путям, содержащим две вершины, это достигается возведением матрицы G в квадрат. Возводя матрицу G в куб, получаем вероятности безошибочной работы за три шага и т.д.

Построим матрицу

$$T = I + G(t) + G^2(t) + \dots = I(I - G(t))^{-1},$$

где I – единичная матрица.

Элемент матрицы T с номером $(0, 5)$ представляет собой выражение для вероятности безошибочной работы всего цикла с учетом всех возможных последовательностей выполнения его отдельных этапов.

Построим матрицу $(I - G)$:

$$(I - G) = \begin{pmatrix} 1 & -r_{01}P_0(t_0)q_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -r_{12}P_1(t_1)q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r_{21}P_2(t_2)q_2 & 1 & -r_{23}P_2(t_2)q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r_{32}P_3(t_3)q_3 & 1 & -r_{34}P_3(t_3)q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -r_{45}P_4(t_4)q_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В соответствии с [4] вероятность безошибочной работы цикла будет равна:

$$P = P(t_1, t_2, t_3, t_4) = \frac{Q(t)}{R(t)},$$

где $Q(t)$ – алгебраическое дополнение элемента с номером $(5, 0)$ матрицы (1); $R(t)$ – главный определитель этой матрицы.

Определение чувствительности

Вспользуемся подходом к определению чувствительности вероятности безошибочной работы системы по отношению к такой вероятности ее отдельного узла, описанным в [5]. Чувствительность s_i вероятности безошибочной работы системы P по отношению к вероятности контроля q_i узла i определим как частную производную P по отношению к q_i :

$$s_i = \frac{\partial P}{\partial q_i}. \quad (2)$$

Попробуем теперь выразить P как функцию q_i .

Алгебраическое дополнение элемента с номером $(5, 0)$ матрицы (1):

$$Q(t) = Q = (-1)^5 M_{5,0},$$

где $M_{5,0}$ – минор матрицы (1). Тогда

$$P = (-1)^5 \frac{M_{5,0}}{R(t)}. \quad (3)$$

Определитель $R(t)$ может быть оценен путем раскрытия его вдоль любой строки i с учетом алгебраических дополнений

$$R(t) = R = R(i, 0)\alpha_{i0} + R(i, 1)\alpha_{i1} + \dots + R(i, 5)\alpha_{i5},$$

где α_{ij} – алгебраическое дополнение $R(i, j)$.

Так как вероятности успешных завершений временных процессов в этапах независимы, то алгебраическое дополнение α_{ij} не является функцией q_i . Следовательно,

$$R = K_{1i} + K_{2i}P_iq_i, \quad (4)$$

где $K_{1i} = \alpha_{ii}$, $K_{2i} = -\sum_{j=0}^5 r_{ij}\alpha_{ij}$, при этом K_{1i} и K_{2i} не являются функциями q_i .

Аналогичным образом может быть оценен определитель минора $M_{5,0}$ путем раскрытия его вдоль любой строки i с учетом алгебраических дополнений B_{ij} в $M_{5,0}(i, j)$:

$$|M_{5,0}| = k_{1i} + k_{2i}P_iq_i, \quad (5)$$

где $k_{1i} = \begin{cases} 0, i = 0 \\ B_{i(i-1)}, i = 1, \dots, 4 \end{cases}$, $k_{2i} = -\sum_{j=1}^5 P_{ij}B_{i(j-1)}$, при этом k_{1i} и k_{2i} не являются функциями q_i .

Таким образом, с учетом формул (3), (4) и (5) вероятность безошибочной работы всей системы будет равна:

$$P = (-1)^5 \frac{k_{1i} + k_{2i}P_iq_i}{K_{1i} + K_{2i}P_iq_i}. \quad (6)$$

Согласно формуле (2), чувствительность s_i может быть рассчитана путем дифференцирования уравнения (6) по отношению к q_i ,

$$s_i = \frac{\partial P}{\partial q_i} = (-1)^5 \frac{P_i(K_{1i}k_{2i} - K_{2i}k_{1i})}{(K_{1i} + K_{2i}P_iq_i)^2},$$

где k_{1i} и k_{2i} , K_{1i} и K_{2i} определены уравнениями (4) и (5) и могут быть рассчитаны из матрицы $(I - G)$.

Пример. Необходимо найти значения чувствительностей вероятности безошибочной работы автоматизированной системы проверки по отношению к вероятностям контроля на этапах проверки.

Представим процесс проверки в виде четырех этапов. На первом этапе происходит наблюдение за объектом (поверяемым средством измерения): осмотр, опробование, получение измеренных значений. На втором этапе происходит вычисление погрешностей по каждой определяемой метрологической характеристике. На третьем этапе происходит сравнение полученных погрешностей с допустимыми и принятие решения о том, входят ли они в допуски, пригодно ли средство измерения к эксплуатации. На четвертом этапе оформляется свидетельство о проверке либо извещение о непригодности на основании принятого решения на этапе три.

Следовательно, процесс проверки может быть представлен в виде цикла, стохастический граф которого рассмотрен на рис. 1.

Заданы следующие значения параметров цикла:

$$r_{01} = 1; r_{12} = 1; r_{21} = 0.1; r_{23} = 0.9; r_{32} = 0.05; r_{34} = 0.95; r_{45} = 1. \\ P_0(t_0) = 1; P_1(t_1) = 0.93; P_2(t_2) = 0.84; P_3(t_3) = 0.97; P_4(t_4) = 0.95.$$

Заданы вероятности контроля на этапах цикла:

$$q_1 = 0.9; q_2 = 0.85; q_3 = 0.95; q_4 = 0.97.$$

Производя вычисления по приведённым формулам, получим значения чувствительностей:

$$s_1 = 0.564; s_2 = 0.616; s_3 = 0.518; s_4 = 0.491.$$

Таким образом, чувствительность вероятности безошибочной работы системы в целом по отношению к вероятности контроля второго этапа является наибольшей. Контроль второго этапа оказывает наибольший вклад в целевой показатель работоспособности системы.



Заключение

Предложенная методика определения критичности узлов информационной управляющей сети с учетом контроля позволяет найти «узкие места» в системе, т.е. критические элементы в системе контроля, отказы которых в наибольшей степени влияют на вероятность безошибочной работы всей системы. При этом коэффициенты чувствительности с большими значениями указывают на критические элементы, которые оказывают большее влияние на вероятность безошибочной работы системы. К таким элементам должны применяться более строгие алгоритмы доказательства корректности их работы или методы исчерпывающего тестирования. Обнаруженные критические элементы должны проходить более строгие приемочные испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, В. Г. Методы анализа надежности и критичности отказов сложных систем / В. Г. Афанасьев, В. А. Зеленцов, А. Н. Миронов. – СПб.: Министерство обороны, 1992. – 99 с.
2. Ивлев, А. А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации: моногр. / А. А. Ивлев. – М.: Знание, 2008. – 64 с.
3. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем: моногр. / В. В. Мышко, А. Н. Кравцов, Е. В. Копкин, В. А. Чикуров. – СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2013. – 303 с.
4. Смагин, В. А. Оценивание длительности и количества информационной работы в цикле управляющей сети / В. А. Смагин, С.А. Шерстобитов. – СПб.: Информация и космос, 2016. – № 1. – С. 75 – 79.
5. Cheung, R. C. A User-Oriented Software Reliability Model / R. C. Cheung // IEEE Transactions On Software Engineering, 1980, V. 6, ISS. 2. P. 118-125.