

УДК 004.052

А.А. Смагин, М.Ю. Песляк

ЭНТРОПИЙНАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Смагин Алексей Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Заведующий кафедрой телекоммуникационные технологии и сети Ульяновского государственного университета. Имеет статьи, изобретения, монографии в области разработки информационных систем различного назначения. [e-mail: smaginaa1@mail.ru].

Песляк Михаил Юрьевич, окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А.С. Попова. Заместитель главного конструктора ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области разработки АСУ. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

В статье рассматривается организация мониторинга состояния систем управления объектами, географически удаленными от центра мониторинга, в качестве которого может выступать предприятие-монополист по созданию и сопровождению изделий в течение их жизненного цикла. Под мониторингом будем понимать процесс контроля, анализа и оценки состояния удаленного объекта путем наблюдения за данным процессом в динамике, изучение тенденций изменения состояния объекта и внешних факторов, влияющих на него [1].

Для повышения эффективности проведения мониторинга предлагается использовать энтропийный подход, позволяющий контролировать и управлять временем его проведения и временем занятия телекоммуникационного канала связи. Исходя из [2] энтропия интерпретируется как мера неопределенности системы, которая может указывать на разное количество информации. Введение энтропийной оценки пары «запрос-ответ» во время сеанса мониторинга позволяет оптимальным образом формировать очереди запросов и ответов и уменьшать их длину.

Для решения поставленных задач в статье рассматривается предложенная математическая модель проведения энтропийного мониторинга в виде ориентированного многоярусного графа, построенного на основе цепи Маркова, позволяющего описывать состояния мониторинга, отдельные шаги проведения мониторинга и учитывающего вероятностные характеристики запросов-ответов. Отличием является направленность использования модели на практике, на анализ нештатных ситуаций, в которых могут функционировать удаленные объекты, что требует обеспечения интерактивного режима работы мониторинговой системы. Модель предоставляет возможность рассматривать варианты реализации мониторинга с точки зрения систем массового обслуживания, а также в рамках закрытых локальных компьютерных сетей.

Ключевые слова: мониторинг, энтропия, вероятность, объект, надежность, отказ.

doi: 10.35752/1991-2927-2019-3-57-4-11

AN ENTROPY MODEL OF THE REMOTE OBJECT MONITORING

Aleksei Arkadevich Smagin, Doctor of Science in Engineering, Professor; graduated from the Radioengineering Faculty of Ulyanovsk Polytechnic Institute; Head of the Department of Telecommunication Technologies and Networks of Ulyanovsk State University; an author of articles, inventions, and manuals in the field of the development of information systems of different purposes. e-mail: smaginaa1@mail.ru.

Mikhail Iurevich Pesliak, graduated from the Popov Higher Naval School of Radioelectronics; Deputy Chief Designer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles in the field of the development of computer-aided control systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

The article deals with the engineering of monitoring of object management systems state. The objects are geographically distant from the center of monitoring that can be an enterprise-monopolist creating products and maintaining through their life cycle. We will understand the term "monitoring" to mean the inspection, analysis, and evaluation processes of the remote object state through observing this process follow-up as well as the research of the trends of the object state changes and the external factors affecting the object [1].

To increase the efficiency of monitoring process, authors propose to implement an entropy approach allowing to examine and control the time for its implementation and the time when telecommunication channel is busy. From the source [2], the entropy is interpreted as a measure of the system uncertainty that can have a different amount of information. The introducing of the entropy evaluation of the request-response pair during a monitoring session allows forming the request-response sequence and reduce their length.

To achieve stated objectives, the authors consider the proposed mathematical model of the entropy monitoring process as a directed multi-level graph that is built on the basis of the Markovian chain and that allows to describe the monitoring conditions and the separate stages of the monitoring process. The graph considers the probabilistic characteristics of requests and responses. The main feature of the model is the direction of its practical application. The model is oriented for the analysis of exceptions in which the remote objects can operate. It requires the interactive operation mode of the monitoring system should be provided. The model allows to consider the options of monitoring implementation from the perspective of queueing systems as well as within closed local area networks.

Key words: monitoring, entropy, probability, object, reliability, failure.

ВВЕДЕНИЕ

Под удаленным объектом понимается объект эксплуатации, который является географически удаленным от предприятия-изготовителя и у которого отсутствует возможность оперативной оценки своего состояния в случае отказа.

В данном случае в качестве удаленного объекта рассматривается программно-аппаратный комплекс, имеющий оборонное значение, для которого важнейшей задачей является его постоянная работоспособность и то, что такой объект должен быть восстановлен желательнее в кратчайшее время в случае его выхода из строя. Для обеспечения решения таких задач прибегают к использованию регулярного контроля состояния объекта на местах их эксплуатации силами и возможностями обслуживающего персонала. В случаях выхода из строя географически удаленного объекта не всегда удается ликвидировать аварию собственными силами, при этом предприятие-изготовитель вынуждено направлять специалистов для оказания квалифицированной помощи. На это уходит драгоценное время, при этом восстановление работоспособности объекта затягивается, что недопустимо с точки зрения его непрерывной работы.

Мониторинг осуществляется с помощью современных инфокоммуникационных средств, включающих телекоммуникационные каналы связи и информационные технологии обработки потоков данных в интерактивном режиме на предприятии-изготовителе, являющемся центром мониторинга.

Повышение эффективности мониторинга удаленных объектов заключается, прежде всего, в уменьшении времени на анализ состояния удаленных объектов и выработки рекомендаций по восстановлению его работоспособности в случаях выхода из строя.

Детерминированный контроль, то есть контроль состояний или проведение оценки работоспособности объекта, имеет применение для множества случаев, когда перечень или комбинации отрицательных внешних и внутренних факторов известны из длительного опыта эксплуатации объекта и по ним удается установить причину отказа. Однако на практике и особенно в случаях новых изделий могут возникнуть ситуации, когда применение опыта не дает положительных результатов. Объекты могут находиться в экстремальных условиях, а перечень опасных влияющих факторов может дополниться новыми, плохо изученными, т. е. такими, при возникновении которых технический объект будет

вести себя незапланированным образом. И хотя такие ситуации относятся к случайным, причем вероятности их невелики, имеется необходимость их учета и соответствующего на них реагирования [3].

Подобные негативно влияющие процессы, которые не всегда заранее можно предусмотреть, создают условия изменения энтропии состояния технического объекта [4]. В этом случае можно говорить об энтропии как об общей характеристике функционирования объекта в условиях эксплуатации и как о возможности оценки в целом нештатного режима работы [5].

Другими словами, множество возможных состояний системы, состояния «вход-выход» могут быть охарактеризованы такой универсальной характеристикой, как энтропия. Следует отметить, что при возникновении возможных нештатных ситуаций необходимо также учесть малоинформационность событий, сопровождающих нештатный режим, поэтому нельзя достаточно быстро провести анализ выявления причин происходящих процессов.

Для нештатного режима требуется переход в работе мониторинга на интерактивный сеансовый режим, в котором выдвигается сеансовая гипотеза и проводится пошаговый опрос состояния объекта. Практически трудно установить, какое время потребуется для проведения сеанса, так как в этом режиме возникает большая неопределенность возникшей ситуации, и для ее уменьшения требуется получение данных, которые позволяют понять причину неисправности или отказа объекта.

В настоящей работе рассматривается возможность проведения такого контроля состояний объекта на основе использования энтропийной модели мониторинга, который позволяет его осуществлять в реальном времени на удаленном расстоянии от центра мониторинга. Такая задача в общем виде решается комплексно, т. е. отслеживаются те параметры мониторинга, на которые можно влиять так, чтобы общее быстродействие мониторинга увеличивалось [6, 7].

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭНТРОПИЙНОГО МОНИТОРИНГА

Рассмотрим взаимодействие сетевого центра и удаленного объекта как обмен информацией между двумя системами во время сеансовой связи с объектом, в том числе и расчетами в реальном моменте времени. Задержка при формировании входной информации и доставке оригинальных данных сетевому центру должна быть минимальной. Исходя из [8] на момент принятия решения на основании полученных данных в реальный момент времени эти данные должны быть еще актуальны. Пусть система запросов (сетевой центр) и система ответов (удаленный объект) в общем случае зависимы системы. Здесь под j -м состоянием системы задания вопросов Q понимается выдача j -го вопроса из множества n возможных вопросов, а под состоянием системы, вырабатывающей ответы, A – выдача одного a_i из множества ответов m .

Обозначим $P(q_j/a_i)$ условную вероятность того, что система Q примет состояние q_j при условии, что система A находится в состоянии a_i , тогда

$$P(q_j/a_i) = P(Q \sim q_j / A \sim a_i). \quad (1)$$

Определим условную энтропию системы Q при условии, что система A находится в состоянии a_i . Обозначим ее как

$$H(Q/a_i) = - \sum_{j=1}^m P(q_j/a_i) \log P(q_j/a_i). \quad (2)$$

Условная частная энтропия зависит от того, в какое состояние a_i попала система A : для одних состояний она будет больше, а для других – меньше. Определим среднюю или полную энтропию системы с учетом того, что система может принимать разные состояния.

Для этого требуется каждую условную энтропию $H(Q/a_i)$ умножить на вероятность соответствующего состояния P_i и все произведения сложить. Тогда полная условная энтропия вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} H(Q/A) &= \sum_{i=1}^n p_i H(Q/a_i) = \\ &= - \sum_{i=1}^n p_i \sum_{j=1}^m P(q_j/a_i) \times \log P(q_j/a_i) = \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i P(q_j/a_i) \times \log P(q_j/a_i). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Используя выражение } p_i \times P(q_j/a_i) = P_{ij}, \quad (4)$$

$$\text{получим } H(Q/A) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \times \log P(q_j/a_i). \quad (5)$$

Величина $H(Q/A)$ характеризует степень неопределенности системы Q , оставшуюся после того, как состояние системы A полностью определилось, причина неисправности стала известной. Энтропия объединенной системы определяется через энтропию ее составных частей, и она будет равна

$$H(Q,A) = H(Q) + H(Q/A). \quad (6)$$

Поскольку получение информации в виде ответов связывается с уменьшением неопределенности ситуации с отказом (неисправности), необходимо определить частное количество информации, получаемое при приеме сообщения относительно заданного вопроса как разность частных неопределенностей, имевшихся у адресата до и после получения ответа (априорной и апостериорной):

$$I(q_j) = H(q_j) - H(q_j/a_i) = \log \frac{P(q_j/a_i)}{P(q_j)}. \quad (7)$$

Априорная неопределенность относительно получаемого ответа не является полной. Предполагается,

что получателю вопросов из прошлого опыта известны вероятности появления ответов. Поэтому учитывая, что ответы поступают независимо, априорная частная неопределенность появления ответа $H(a_i) = -\log P(a_i)$, где $P(a_i)$ – априорная вероятность появления a_i ответа. Также считается, что получателю известна совокупность условных вероятностей $P(q_j/a_i)$ того, что вместо ответа a_i будет принят другой ответ a_k .

При получении ответа a_i получателю становится известным значение условной вероятности $P(q_j/a_i)$ (апостериорной), и это позволяет найти частную неопределенность, которая остается у получателя после анализа полученного ответа, и она представляет собой:

$$H(q_j/a_i) = -\log P(q_j/a_i). \quad (8)$$

Анализ последней формулы позволяет сделать следующие выводы:

- частное количество информации растет с уменьшением априорной и увеличением апостериорной вероятностей реализации пары «вопрос-ответ»;
- частное количество информации о вопросе может быть не только положительным, но и отрицательным, а также нулем и зависит от соотношения априорной и апостериорной вероятностей. Если вероятность удовлетворяющего ответа на вопрос увеличилась после приема ответа, то полученное частное количество информации положительно. Если эта вероятность не изменялась, то частное количество информации равно нулю.

Наконец в случае, когда ответ полностью не удовлетворяет вопросу, частное количество информации отрицательно. В случае отсутствия отказа оборудования апостериорная вероятность равна единице. При этом частное количество информации численно совпадает с частной априорной неопределенностью. Однако на практике более рациональны усредненные характеристики, то есть среднее количество информации, содержащееся в каждом принятом ответе относительно заданного вопроса, равно разности априорной и апостериорной энтропий системы Q :

$$I(Q) = H(Q) - H(A/Q). \quad (9)$$

При мониторинге отправляемые ответы добавляют порциями информацию, причем ответы не повторяются и являются зависимыми событиями, то есть образуют цепь Маркова. При этом следует определять количество получаемой «порции» информации после отправки каждого вопроса.

В общем случае каждая порция дает $H(Q, A) = H(Q) + H(Q/A)$ информации. Все события в мониторинге связаны с дискретными моментами времени, и если момент времени отождествить с состояниями системы Q , то описать такую цепь можно через множество связанных состояний $\{E_0, E_1, \dots, E_k\}$ вектором начальных состояний E_0 , который определяет вероятность $P_{(i)}^{(0)}$ того, что в начальный момент времени $t=0$ процесс находится в состоянии E_0 .

Этот процесс можно описать матрицей переходных вероятностей P перехода текущего состояния в следующее или ориентированным графом, при этом сумма

$$\sum_{j=1}^m P_j = 1. \quad (10)$$

Условные вероятности $P(q_j/a_1, a_2, \dots, a_n)$ вычисляются путем последовательного применения формулы для вероятности произведения двух событий [9]. В результате проведения мониторинга на основной вопрос может потребоваться n уточняющих (дополнительных) ответов. В какой-то дискретный момент времени после задания вопроса необходимый ответ поступит, и тогда считается, что сеанс мониторинга окончен. Заранее указать необходимое количество ответов, которое обеспечивает информацию, достаточную для установления причины неисправности (отказа) объекта в реальных условиях мониторинга, очень сложно, особенно, если учитывать возможности попадания функционирования объекта в одну из нештатных ситуаций.

Ансамбль ответов на дополнительные вопросы включает два вида:

- ответ достаточный, и тогда следующего вопроса не нужно задавать;
- ответ не несет необходимых данных, и требуется сформулировать новый вопрос.

Пусть $P(A)$ – вероятность того, что после первого вопроса получен достаточный ответ, а вероятность противоположного события $(1 - P(A))$. После задания k вопросов и получения k ответов образуются следующие вероятности. Вероятность того, что после k вопросов будет получен недостаточный ответ, равна $[1 - P(A)]^k$, а вероятность противоположности события $1 - [1 - P(A)]^k$.

В условии задачи входит принятие решений о достаточности полученных вопросов, которое обеспечивается проверкой ответа на каждом шаге. После того как этот факт установлен, считается, что в системе обмена «вопрос-ответ» имеется максимальное количество информации (неопределенность устраняется), и тогда вероятности становятся равными

$$1 - [1 - P(A)]^k = [1 - P(A)]^k. \quad (11)$$

Решение этого уравнения дает возможность определения значения числа заданных вопросов $k = 1 / \log(1 - P(A))$. В рассмотренном примере учитывается частный случай равных вероятностей получения достаточных ответов, однако для применения на практике этой формулы необходимо знание достаточно точных значений условных вероятностей $P(a_1, a_2, \dots, a_n)$.

Эти значения могут быть получены из статистики проведения испытаний контроля работоспособности изделия, диагностики на стадии испытаний, из справочников и руководства по эксплуатации, знаний эксперта, и тогда можно найти более близкие к реальным значениям числа задаваемых вопросов (и соответственно ответов):

$$k = 1 / \log(1 - P(a_1, a_2, \dots, a_n)). \quad (12)$$

ПОСТРОЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОЙ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА

Для построения энтропийной модели мониторинга воспользуемся двумя посылами. Первый – это энтропийный подход к проведению мониторинга, рассмотренный ранее, суть которого состоит в энтропийной оценке количества получаемой информации.

Отметим, что процесс мониторинга базируется на анализе множества состояний технической системы, в которой в каждый момент времени информация о текущем состоянии контролируемого объекта может меняться, а значит, сам мониторинг также меняет свое состояние. Будем считать, что такой процесс носит дискретный случайный характер и он может принимать счетное число состояний, соответствующее количеству шагов мониторингового анализа.

Переходы из одного состояния процесса мониторинга в следующие носят вероятностный характер и определяются правилами, которые связывают состояние информации последовательно на каждом шаге. Другими словами, имеется зависимость получения информации на i -м шаге от данных, воспринятых на предыдущем ($i-1$) шаге.

Отсюда необходимо выделять множество дискретных моментов времени, привязывать к ним состояния системы мониторинга, указывать множество состояний, из которых система в данный момент времени может перейти, а также вероятности на этих переходах.

Для описания такой модели наиболее подходят цепи Маркова, которые по определению представляют собой последовательность состояний, в каждом из которых проявляется только одно из k возможных несовместимых событий, определяемое получателем порции информации, и, в целом, зависящее от семантики текущего вопроса, информации о возникшей ситуации, включающей прецеденты прежних аналогичных состояний.

Эта зависимость носит характер условной вероятности, через значения которой вычисляется объем информации с помощью условной энтропии. Отсюда энтропийная модель сеанса мониторинга может быть представлена как множество связанных параметров вида:

$$M_e = \{E, Q, A, P_Q, P_A, P_S, H(E)\}, \quad (13)$$

где E – множество состояний процесса сеанса мониторинга;

Q – множество вопросов $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$;

A – множество ответов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$;

P_Q – множество вероятностей ответов;

P_A – множество вероятностей вопросов;

P_S – множество переходных вероятностных состояний;

$H(E)$ – энтропия состояния E .

Энтропию построенной цепи Маркова для отображения процесса мониторинга с вектором начальных вероятностей находим как математическое ожидание мо-

нитинга условных энтропий системы E относительно всех ее состояний:

$$\bar{Q}(P(E_1) \times P(E_2), \dots, P(E_n)), \quad (14)$$

$$H(E) = \sum_i P(E_i) \times H(E/E_i)$$

или

$$H(E) = P(E_1) \times H(E/E_1) + P(E_2) \times H(E/E_2) + \dots + P(E_n) \times H(E/E_n), \quad (15)$$

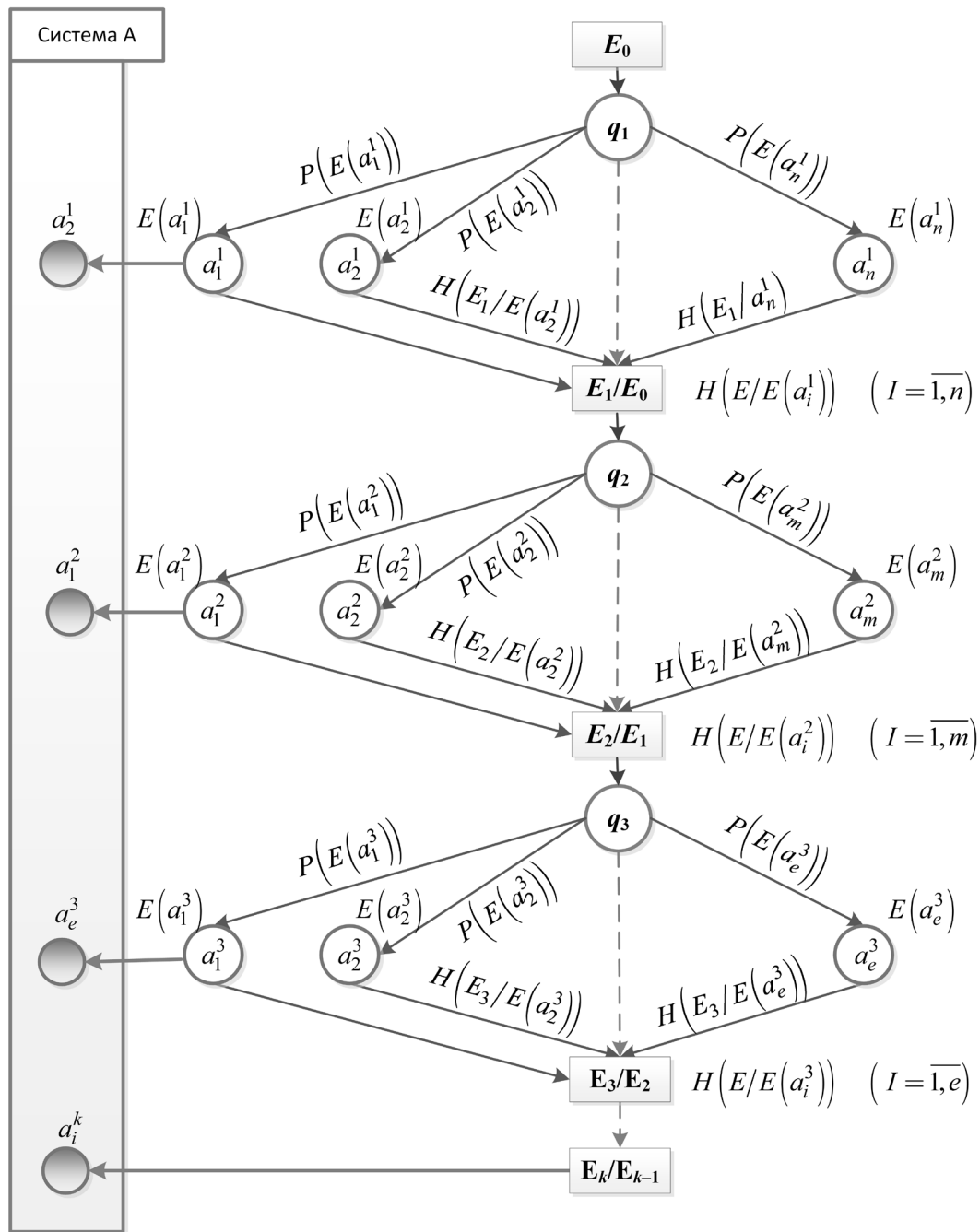
где

$$H(E/E_n) = P_{m1} \log P_{m1}^{-1} + P_{m2} \log P_{m2}^{-1} + \dots + P_{mn} \log P_{mn}^{-1}. \quad (16)$$

Свойства однородных цепей Маркова полностью определены вектором начальных вероятностей и множеством вероятностей переходов из состояния в состояние. Представим модель энтропийного мониторинга как реализацию Марковской цепи в виде ориентированного графа (рис. 1), вершинами которого являются состояния цепи. Связи между ними будем обозначать вероятностями переходов, а сам граф будет иметь ярусно-параллельную форму для удобства отображения событий при проведении мониторинга, причем условная вероятность $P(E_i)$ того, что в i -испытании наступит событие A_i , не зависит от результатов предыдущих испытаний.

Используемый для модели ориентированный граф, вершинами которого являются состояния (E) системы мониторинга, отождествляемые на каждом шаге (момента времени t_i) с задаваемым вопросом q_{t_i} и множеством ответов a^{t_i} . Дуги, соединяющие вопросы и ответы, показывают на то, что выбор ответа определяется вероятностью $P_i(E(a_i^{t_i}))$. Граф имеет иерархическое строение по признаку дискретных моментов времени нахождения мониторинга в одном из множеств состояний (E_i), причем цепь однородна и в графе имеется начальное состояние (вершина E_0), а также конечное состояние (вершина E_k), к которым ведет множество путей, формируемое с помощью переходных вероятностей P_{ij} .

Такой граф обладает конечным множеством путей, длины которых в общем случае разные, и от их значений зависит время выполнения сеанса мониторинга. Выбор пути носит случайный характер и определяется энтропийной моделью цепи Маркова. Следует заметить, что множество состояний графа представляет собой полную группу событий. Переходы из одного последовательного состояния в следующие определяются информацией, которая имеется в ответе на текущем шаге. Если ее достаточно для полного подтверждения сеансовой гипотезы, то процесс мониторинга заканчивается, и количество отдельных шагов определяет длину и время мониторинга.



$$H(E_k) = \sum_i P(E) \times H\left(\frac{E}{E_i}\right) = P(E_1) \times H(E/E_1) + P(E_2) \times H(E/E_2) + \dots + P(E_k) \times H(E/E_k)$$

Интервалы допустимых значений $H(E_k)$

Рис. 1. Структурная модель энтропийного мониторинга

Каждое состояние сеанса мониторинга включает в себя состояние вопросов (одного из множества вопросов $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$) и состояние ответов (одного из множества ответов $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$). Причем каждому вопросу может соответствовать множество ответов, из которых один выбирается по правилу семантического соответствия.

В модели выделены следующие компоненты: начальная вершина E_0 , два вида вершин: тип q – опросные вершины, которые ассоциируются с вопросами, и тип a – ответные вершины, которые ассоциируются с информацией об ответах; слева находится система A , принимающая на каждом шаге опроса порцию информации $I(a_j^i)$, содержащуюся в ответе a^i .

На каждом i -м ярусе модели содержится задаваемый вопрос q_i и множество возможных ответов a_j^i , причем каждый ответ имеет свою вероятность выбора (так на энтропийной модели для примера темным цветом выделены ответные вершины, которые выбираются для этого вопроса на этом ярусе).

Выбор ответа из множества определяется как ответ a_j^i на этот вопрос, имеющий наибольшую вероятность среди множества остальных на этом шаге.

Получаемая порция информации $H(P(E_i/E_{i-1}))$ обрабатывается в системе A и служит основой для задания на следующем шаге нового вопроса q .

Переход к следующему шагу производится по сигналу от системы A только после прихода ответа в предыдущий момент времени, который формируется, когда получено недостаточно информации для подтверждения сеансовой гипотезы.

Изображаемая справа ярусно-параллельная графовая модель является направленным графом с указанием порядка процесса выполнения сеанса мониторинга.

Каждый вопрос q_i учитывает содержание предыдущего вопроса (например, чтобы не было повтора). На модели это отображается штриховыми стрелками с учетом информации в предыдущем вопросе в виде условных энтропий $H(P(E_i/E_{i-1}))$.

Формирование эффективных пар «вопрос-ответ», которые могут давать наибольшую дозу информации на каждом шаге, является одной из самых важных составных задач мониторинга. Такая пара выявляется с помощью подсчета совместной энтропии через вероятность событий. И при выполнении равенства $H(QA) = H(Q) + H(AQ)$ вероятности имеют вид:

$$P(q_i a_j) = P(q_i) \times P(a_j / q_i) = P(a_j) (q_i / a_j), \quad (17)$$

и по значению пар можно судить об их эффективности.

Здесь вероятности могут вычисляться как обычные или условные по всем количествам вопросов и ответов, имеющихся в системах опроса и ответа. Совместная энтропия описывает неопределенность на пару «вопрос-ответ», и по ее значению можно формировать список взаимосвязанных вопросов и ответов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель мониторинга позволяет на ее базе создавать процедуры формирования деревьев вопросов и ответов, в основу которых закладываются вероятностные правила порядка их распределения по ценности получения информации в сеансовом режиме. Также обоснованно рассматривать реализацию мониторинга в виде системы массового обслуживания, проводить технические оценки по затратам времени на занятие телекоммуникационного канала связи между центром мониторинга и удаленным объектом.

Предложенный энтропийный подход может быть использован для проведения контроля за состоянием множества географически удаленных объектов в сете-

вом режиме при соответствующей организации обеспечения достоверного обмена взаимной информацией и сохранности данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирилов Д.В. Комплексные системы управления предприятием : учеб. пособие. – Самара, 2008.
2. Дулесов А.С., Хрусталева В.И. Определение энтропии как меры информации при сопоставлении прогнозных и фактических показателей предприятия // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/1/20.pdf> (дата обращения: 15.02.2019).
3. Гузик В.Ф., Кидалов В.И., Самойленко А.П. Статистическая диагностика неравновесных объектов. – СПб. : Судостроение, 2009. – 304 с.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. – М. : Наука, 1988. – 480 с.
5. Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. 2. Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. – М. : МЦНМО, 2009. – 588 с.
6. Технические средства диагностирования : Справочник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук [и др.] ; под общ. ред. В.В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1989.
7. Организация сопровождения и оценки надежности функционирования программного изделия на основе сетцентрической архитектуры / В.Г. Типикин, П.И. Смикун, М.Ю. Песляк, А.А. Смагин, С.В. Липатова // Автоматизация процессов управления – 2015. – № 2 (34). – С. 34–40.
8. Сабиров В.К., Медведев И.С. О системах мониторинга в промышленности. – URL: http://www.incon.ru/files/monitoring_sistem_incon.pdf (дата обращения: 11.02.2019).
9. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Издательство «Энергия», 1977. – 536 с.

REFERENCES

1. Kirilov D.V. *Kompleksnyye sistemy upravleniya predpriatiem. Ucheb. posobie* [Integrated Enterprise Management Systems. Textbook]. Samara, 2008.
2. Dulesov A.S., Khrustaleva V.I. *Opredelenie entropii kak mery informatsii pri sopostavlenii prognoznykh i fakticheskikh pokazatelei predpriatiia* [The Calculation of the Entropy as an Information Measure While Comparing the Predicting and Factual Data of an Enterprise]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern Problems of Science and Education], 2012, no. 1. Available at: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/1/20.pdf> (accessed: 15.02.2019).
3. Guzik V.F., Kidalov V.I., Samoilenko A.P. *Statisticheskaya diagnostika neravnovesnykh obektov* [Statistical Diagnostics of Unbalanced Objects]. St. Petersburg, Sudostroenie Publ., 2009. 304 p.

4. Ventcel E.S., Ovcharov L.A. *Teoriia veroiatnosti i ee inzhenernye prilozheniia* [Probability Theory and its Engineering Applications]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 480 p.

5. Kelbert M.Ia., Sukhov Iu.M. *Veroiatnost i statistika v primerakh i zadachakh. T. 2. Markovskie tsepi kak otpravnaia tochka teorii sluchainykh protsessov i ikh prilozheniia* [Probability and Statistics in Examples and Problems. Vol. 2. Markov Chains as a Start Point of the Theory of Random Processes and its Application]. Moscow, MTsNMO Publ., 2009. 588 p.

6. Kliuev V.V., Parkhomenko P.P., Abramchuk V.E. et al. *Tekhnicheskie sredstva diagnostirovaniia. Spravochnik pod obshch. red. V.V. Kliueva* [Technical Diagnostics Equipment. Reference Book. Edited by V.V. Kliuev]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989.

7. Tipikin V.G., Smikun P.I., Pesliak M.Iu., Smagin A.A., Lipatova S.V. *Organizatsiia soprovozhdeniia i otsenki nadezhnosti funktsionirovaniia programmogo izdeliia na osnove setetsentricheskoi arkhitektury* [Software Maintenance and Operational Reliability Evaluation on the Basis of Network-Centric Architecture]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2015, no. 2 (34), pp. 34–40.

8. Sabirov V.K., Medvedev I.S. *O sistemakh monitoringa v promyshlennosti* [On Industry Monitoring Systems]. Available at: http://www.incon.ru/files/monitoring_system_incon.pdf (accessed: 11.02.2019).

9. Druzhinin G.V. *Nadezhnost avtomatizirovannykh system. Izd. 3-e, pererab. i dop.* [Reliability of Computer-Aided Systems. 3d Edition revised and enlarged]. Moscow, Energiia Publ., 1977. 536 p.