



Аналитическая модель обнаружения и локализации отказов SCADA

В статье предлагается к рассмотрению модель диагностики работоспособности SCADA в режиме реального времени с выявлением зависимостей между техническим состоянием функционального модуля или системы в целом и изменением информационно-диагностических признаков контролируемых параметров SCADA при их прохождении между различными уровнями системной иерархии. Рассматриваются критерии обнаружения неисправностей в работе SCADA на примере анализа графика допустимых изменений значений диагностических признаков параметров системы с учетом причинно-следственных связей между событиями. На базе трехзначной логики были выведены аналитические зависимости обнаружения и локализации отказов в системе. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: диагностическая модель, SCADA система, информационно-диагностические признаки контролируемого параметра, характеристическая функция первого рода, функция обнаружения отказа в системе

SCADA real time diagnostic model identifying dependencies between the technical state of the functional unit or a whole system and changes of information and diagnostic features of SCADA controlled parameters during passing between different levels of the system hierarchy is proposed. Failure detection criteria in SCADA are considered by analyzing the graph of permissible diagnostic feature state changes in the system based on causal relationships between events. Analytical dependences of detecting and localizing faults in the system based on three-valued logic are deduced.

Keywords: diagnostic model, SCADA system, information and diagnostic features of controlled parameter, characteristic function of the first kind, function of failure detection in the system

Введение

В настоящее время в металлургической и горной промышленности активно внедряются SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) системы [1]. Данный класс систем широко применяется для управления технологическими процессами, при мониторинге технического состояния оборудования и агрегатов на объектах горной и металлургической промышленности; для управления системами безопасности производства; с целью обеспечения аварийной сигнализации и оповещения при чрезвычайных ситуациях и т.д. К SCADA системам ответственного назначения, задействованным на металлургических промышленных предприятиях, при ведении открытых и подземных горных работ, предъявляются повышенные требования к надежности и отказоустойчивости. Надежность работы SCADA систем зависит от надежности аппаратно-программного обеспечения, эффективности алгоритмов управления, корректности диагностики технического состояния системы.

Целью данной работы является создание методики автоматической самодиагностики работоспособности SCADA с выявлением зависимостей между техническим состоянием функционального модуля или системы в целом и отображением данного технического состояния на пространство информационно-диагностических параметров [2] с учетом причинно-следственных связей между событиями.

Постановка задачи

Рассмотрим в общем виде структуру SCADA системы для диагностики отказов при автоматическом сборе данных. На момент времени t набор контролируемых параметров технологического объекта управления (КП ТОО)

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_{n(x)}(t)\}, \quad (1)$$

измеряемый при помощи первичных преобразователей (ПП), передается по каналам передачи данных (КПД) для регистрации в специализированных контроллерах -узлах сбора данных (УСД). С УСД КП ТОО передаются на сервер, соединенный с УСД в глобальную вычислительную сеть (ГВС).

Задачей исследования является автоматическое определение достоверности КП ТОО по информационно-диагностическим признакам, основанным на логике функционирования SCADA с возможностью локализации отказа в системе.

Основная часть

Структура SCADA представлена уровнями иерархии (УИ):

$$L = \{1, 2, \dots, n(L)\},$$

где $n(L) = |L|$ – количество УИ.

Рассмотрим структуру SCADA системы, где:
 $l=1$ – технологический объект управления (ТОО);
 $l=2$ – первичные преобразователи (ПП);
 $l=3$ – каналы передачи данных (КПД) от ПП на следующие УИ;
 $l=4$ – узлы сбора данных (УСД);

$l=5$ – каналы передачи данных от УСД на следующие УИ;

$l=6$ – сервер SCADA системы.

В процессе прохождения значений контролируемых параметров между УИ SCADA системы ($l>1$) значение параметра $x_i(t)$ может находиться в одном из следующих состояний: достоверное (Д), недостоверное (Н), отсутствует (О). Приведем некоторые примеры определения недостоверного состояния параметра:

- зарегистрированное в системе значение параметра невозможно по физическому смыслу (находится вне диапазона допустимых значений);

- в протоколе передачи данных были зафиксированы ошибки передачи;

- на разных уровнях иерархии SCADA зарегистрированы различные значения одного и того же параметра и т.д.

Критериями обнаружения неисправностей в процессе автоматического сбора данных являются, например: изменение достоверного состояния контролируемого параметра при переходе с объектового уровня на более высокий УИ SCADA системы; недостоверность/отсутствие приема-передачи параметра, недопустимые изменения состояния параметра по УИ системы. При прохождении контролируемого параметра $x_i(t)$ в направлении снизу – вверх по УИ SCADA системы недопустимыми изменениями состояния параметра считаются: $H \rightarrow D$; $O \rightarrow D$; $O \rightarrow H$.

При определении возможного значения состояния КП ТОУ используется трехзначная логика представления диагностических признаков [3]. Таким образом, состояние параметра определяется на трехзначном множестве $E_3 = \{0,1,2\}$, соответствующем состояниям $\{O, H, D\}$.

Функция изменения состояния КП ТОУ при переходе на следующий УИ SCADA системы имеет вид (см. рисунок):

$$f(x, y, z) = (2 - 2z^2 - xy^2 + 2x^2y^2 + x^3y^2z + x^2yz^2 + xy^2z^2 - 2x^2y^2z^2) \pmod{3} \quad (2)$$

где x – состояние параметра на передающем УИ; y – вид завершения процесса приема-передачи параметра; z – состояние параметра на принимающем УИ. Все аргументы и значение функции определены на трехзначном множестве E_3 .

Функция $f(x, y, z)$ может принимать следующие значения: $f(x, y, z) = 0$ – недопустимое (невозможное) изменение состояния параметра на принимающем УИ, т. е. $(x \vee y) \parallel \rightarrow \emptyset z$ (события x или y являются причиной невозможности события z); $f(x, y, z) = 1$ – допустимое (возможное) изменение состояния параметра на принимающем УИ, т. е. $(x \& y) \parallel \rightarrow \emptyset z$ (события x и y не являются причиной события z , но событие z в системе возможно); $f(x, y, z) = 2$ – необходимое изменение состояния параметра на принимающем УИ, т. е. $(x \vee y) \parallel \rightarrow \emptyset z$ (события x или y

являются причиной необходимости события z) [4].

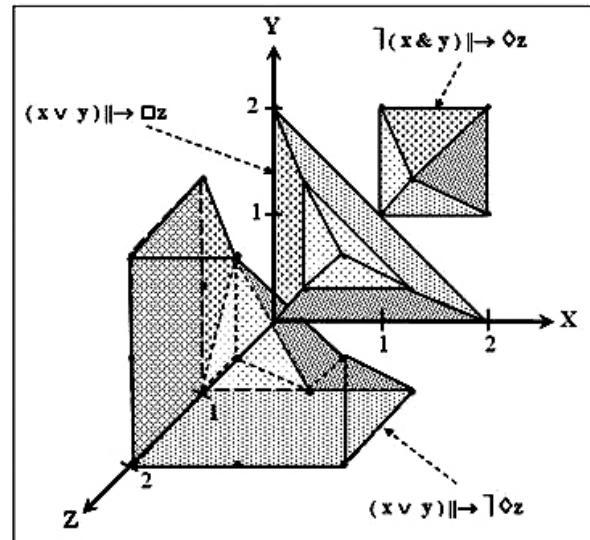


Рисунок. График функции изменения состояния КП ТОУ при переходе на следующий УИ SCADA системы

При прохождении КП ТОУ $X(t)$ вверх по УИ SCADA системы, формируется матрица диагностики состояний КП ТОУ D на некоторой неубывающей последовательности положительных целых чисел IX .

$$D = \begin{matrix} d_{11} & \dots & d_{1i} & d_{1i+1} & \dots & d_{1j} & \dots & d_{1i+n} & \dots & d_{1i} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & \dots & d_{2i} & d_{2i+1} & \dots & d_{2j} & \dots & d_{2i+n} & \dots & d_{2i} & \dots & d_{2n} \\ d_{31} & \dots & d_{3i} & d_{3i+1} & \dots & d_{3j} & \dots & d_{3i+n} & \dots & d_{3i} & \dots & d_{3n} \\ d_{41} & \dots & d_{4i} & d_{4i+1} & \dots & d_{4j} & \dots & d_{4i+n} & \dots & d_{4i} & \dots & d_{4n} \\ d_{51} & \dots & d_{5i} & d_{5i+1} & \dots & d_{5j} & \dots & d_{5i+n} & \dots & d_{5i} & \dots & d_{5n} \end{matrix} \begin{matrix} l=6 \\ l=5 \\ l=4 \\ l=3 \\ l=2 \end{matrix} \quad (3)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{УСД_1} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{УСД_2} \quad \dots \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{УСД_i} \quad \dots \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{УСД_N}$

IX определяет распределение контролируемых параметров по УСД,

$$I_X = i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_N \quad (4)$$

где j – порядковый номер члена последовательности, соответствующий порядковому номеру УСД; N – количество УСД; $i_N = n(X)$ – количество контролируемых параметров; $i_j - i_{j-1}$ – количество контролируемых параметров, подключенных к УСД $_j$.

$$D = [d_{iL, iC}], d_{iL, iC} \in E_3 \quad (5)$$

$$iL = n(L) + 1 - l \quad l \in (1, n(L)) \quad (6)$$

$$iC \in [1, n(X)] \quad (7)$$

где iL – количество строк матрицы D , соответствующее количеству уровней иерархии системы $n(L)$; iC – количество столбцов матрицы D , которое соответствует количеству контролируемых параметров $n(X)$.

На элементах матрицы D определим характеристическую функцию первого рода [5]:

$$\varphi_e(d_{iL, iC}) = \begin{cases} 1, & d_{iL, iC} = e, \quad e \in E_3 \\ 0, & d_{iL, iC} \neq e, \quad e \in E_3 \end{cases} \quad (8)$$

АВТОМАТИЗАЦИЯ

Тогда функция обнаружения отказа в системе будет иметь вид: Описание функции обнаружения отказа в системе $g_2(iL, \alpha, \beta, t)$ приведено в таблице.

$$g_2(iL, \alpha, \beta, t) = -\left(\bigwedge_{iC=\alpha}^{\beta} \varphi_2(d_{L,iC}(t)) \right) \quad (9)$$

Таблица. Описание функции обнаружения отказа в системе $g_2(iL, \alpha, \beta, t)$

№ п/п	iL	α	β	$g_2(iL, \alpha, \beta, t)$	Примечание
1	1	1	i_N	0	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне иерархии сервера не обнаружено никаких отказов в работе системы на момент времени t
2	1	1	i_N	1	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне иерархии сервера обнаружен как минимум один отказ в работе системы на момент времени t
3	2	1	i_N	0	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне канала передачи данных от УСД к серверу не обнаружено никаких отказов в работе системы на момент времени t
4	2	1	i_N	1	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне канала передачи данных от УСД к серверу обнаружен как минимум один отказ в работе системы на момент времени t
5	3	1	i_N	0	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне иерархии УСД не обнаружено никаких отказов в работе системы на момент времени t
6	3	1	i_N	1	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне иерархии УСД обнаружен как минимум один отказ в работе системы на момент времени t
7	4	1	i_N	0	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне канала передачи данных от ПП к УСД не обнаружено никаких отказов в работе системы на момент времени t
8	4	1	i_N	1	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне канала передачи данных от ПП к УСД обнаружен как минимум один отказ в работе системы на момент времени t
9	5	1	i_N	0	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне иерархии ПП не обнаружено никаких отказов в работе системы на момент времени t
10	5	1	i_N	1	При анализе процесса автоматического сбора данных SCADA системы на уровне иерархии ПП обнаружен как минимум один отказ в работе системы на момент времени t
11	1	1	i_1	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне иерархии сервера не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных от УСД1 на момент времени t
12	1	i_1+1	i_2	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне иерархии сервера не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных от УСД2 на момент времени t
13	1	$i_{j-1}+1$	i_j	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне иерархии сервера не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных от УСДj на момент времени t
14	2	1	i_1	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне канала передачи данных от УСД к серверу не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных от УСД1 на момент времени t
15	2	$i_{j-1}+1$	i_j	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне канала передачи данных от УСД к серверу не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных от УСДj на момент времени t
16	3	1	i_1	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне иерархии УСД не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных на УСД1 на момент времени t
17	3	$i_{j-1}+1$	i_j	0 / 1	При анализе SCADA системы на уровне иерархии УСД не обнаружено / обнаружен как минимум один отказ в процессе автоматического сбора данных на УСДj на момент времени t

Выводы

В данной работе предложена к рассмотрению модель автоматической самодиагностики работоспособности SCADA системы в режиме реального времени на основе контроля достоверности данных при их прохождении между различными уровнями системной иерархии. В результате анализа диагностической модели были получены следующие аналитические зависимости:

- функция достоверности изменения состояния контролируемого параметра при переходе его на следующий уровень иерархии системы с учетом вида завершения процесса приема-передачи между уровнями иерархии;

- функция локализации места обнаружения отказа в системе.

Данный подход позволяет выполнять самодиагностику работоспособности SCADA системы по достоверности КП ТОУ в режиме реального времени.

Библиографический список

1. Stouffer K. Guide to supervisory control and data acquisition (SCADA) and industrial control systems security: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology: NIST Special Publication 800-82/ K. Stouffer, J. Falco, K. Kent [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-82/SP800-82-final.pdf>.

2. Закревский А. Д. Логика распознавания / А. Д. Закревский. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 118 с.

3. Карпенко А. С. Развитие многозначной логики / А. С. Карпенко. – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 448 с.

4. Ивин А. А. Модальные теории Яна Лукасевича / А. А. Ивин. – М.: ИФ РАН, 2001. – 176 с.

5. Горбатов В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика / В. А. Горбатов. – М.: Наука. Физматлит, 2000. – 544 с.

Поступила 03.07.2014

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКАМ!
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
«Металлургическая и горнорудная промышленность»**

Единственное в Украине специализированное издание, освещающее вопросы научной и практической деятельности специалистов горно-металлургического комплекса, а также все проблемы ГМК. Журнал издаётся с 1960 г. Распространяется по подписке в Украине и странах СНГ (Россия, Молдавия, Казахстан, Беларусь, Узбекистан).

Подписать журнал в 2015 г. можно через Укрпочту или через редакцию журнала.

Индекс: 74311 – журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на рус. языке. Стоимость годовой подписки (6 номеров) – **2 760 грн.;**

Индекс: 49501 – журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность», CD-ROM. Стоимость годовой подписки (6 номеров) – **1 944 грн.;**

Главная задача журнала – рекламная поддержка передовых технологий и разработок, публикация информации о новейших научно-технических достижениях исследовательских коллективов, институтов, предприятий и организаций ГМК Украины.