УДК 681.326

И. В. ЗОЗУЛЯ, С. О. КОТЛЯРОВ, В. В. МАТЕЙЧЕНКО, канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОДНОГО КЛАССА ИСТОЧНИКОВ АВАРИЙ

Моделирование в условиях применения ЭВМ является мощным инструментом перехода от эргатических систем к неэргатическим, включающим комплекс технических средств переработки информации.

В статье рассматриваются результаты моделирования на языке алгебры конечных предикатов [1, 2] контрольно-измерительного процесса в целях его автоматизации на промышленном объекте. Математическая модель процесса локализации источников должна связывать объекты трех типов, которыми для одного класса контролируемых объектов являются помещения (отсеки), датчики и конструктивные элементы. При этом учитывается тот факт, что контролируемые объекты могут стать источниками аварийных ситуаций (трубопроводы, фланцевые соединения и т. д.).

Имеется множество датчиков $D = \{d_1, d_2, \ldots, d_n\}$, множество конструктивных элементов $K = \{k_1, k_2, \ldots, k_m\}$ и множество помещений $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_l\}$. На этих множествах заданы отношения

$R_{DP} = \{<d_i, p_j> |$ такие, что i-й датчик стоит в j-м помещении$\}$;

$R_{PK} = \{<p_i, k_j> |$ такие, что i-е помещение содержит j-ю конструкцию$\}$.

По этим двум отношениям можно построить отношение $R_DK = \{<d_i, k_j> |$ i-й датчик и j-я конструкция находятся в одном помещении$\}$.

Пусть некоторое подмножество датчиков $D' \subset D$ сигнализируют о неблагоприятной ситуации. Тогда, используя отношение R_DP, можем выделить помещения, в которых возникла аварийная ситуация

$$D' \xrightarrow{R_{DP}} P'.$$

Отношение R_{DK} выделит множество конструктивных элементов, нуждающихся в проверке

$$D' \xrightarrow{R_{DK}} K'.$$

Введем переменные, которые будут задавать указанные множества. Переменные d_i, $i = \overline{1, n}$ описывают состояния датчиков со значениями «О» — опасная ситуация, «Н» — норма. Область определения задается уравнениями

$$\begin{gathered} d_1^{о} \vee d_1^{н} = 1; \\ d_2^{о} \vee d_2^{н} = 1; \\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \\ d_n^{о} \vee d_n^{н} = 1. \end{gathered} \tag{1}$$

Переменные p_i, $i = \overline{1, l}$ описывают необходимые действия в соответствующих помещениях со значениями «Т» — требуется вмешательство и «Н» — не требуется. Область определения:

$$\begin{gathered} p_1^{т} \vee p_1^{н} = 1; \\ p_2^{т} \vee p_2^{н} = 1; \\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \\ p_l^{т} \vee p_l^{н} = 1. \end{gathered} \tag{2}$$

Переменные k_i, $i = \overline{1, m}$ описывают действия по проверке конструктивных элементов со значениями «П» — проверка необходима и «Н» — проверка не нужна. Область определения:

$$\begin{gathered} k_1^{п} \vee k_1^{н} = 1; \\ k_2^{п} \vee k_2^{н} = 1; \\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \\ k_m^{п} \vee k_m^{н} = 1. \end{gathered} \tag{3}$$

Для описания отношения R_{DP} нужно построить предикат, который будет обращаться в булеву 1, если номера датчиков будут соответствовать номерам помещений, и в булев 0 — в противном случае. Тогда, задав номера датчиков, сигнализирующих об аварийных ситуациях (высокая концентрация газа), можем определить помещения, в которых требуется вмешательство в результате решения соответствующих уравнений.

Система, задающая помещения, в которых требуется вмешательство, имеет вид

$$p_1^{т} = \vee\, d_i^{о} \text{ по датчикам 1-го помещения;}$$

$$p_2^{\text{т}} = \bigvee d_i^{\text{о}} \text{ по датчикам 2-го помещения;}$$

. . . .

$$p_l^{\text{т}} = \bigvee d_i^{\text{о}} \text{ по датчикам } l\text{-го помещения.} \qquad (4)$$

Аналогично строим систему уравнений, которые описывают конструктивные элементы, нуждающиеся в проверке по значению переменных p_i:

$$k_1^{\text{п}} = \bigvee p_i^{\text{т}} \text{ по помещениям, содержащим 1-й элемент;}$$

$$k_2^{\text{п}} = \bigvee p_i^{\text{т}} \text{ по помещениям, содержащим 2-й элемент;}$$

. . . .

$$k_m^{\text{п}} = \bigvee p_i^{\text{т}} \text{ по помещениям, содержащим } m\text{-й элемент.} \qquad (5)$$

Отношение R_{DK} получится, если решать совместно (4) и (5), т. е. взять их конъюнкцию. Таким образом, система уравнений (1)—(5) позволяет определить помещения и конструктивные элементы, в которых возникли опасные ситуации. Для этого в систему уравнений подставляются значения переменных d_i, $i=\overline{1, n}$, получаемые в результате опроса датчиков системы контроля. После решения системы уравнений алгебры конечных предикатов получим значения переменных p_i, $i=\overline{1, l}$ и k_i, $i=\overline{1, m}$. Если переменные примут значение Т или П соответственно, то вмешательство требуется, в противном случае — нет.

Считается, что двух значений для описания состояния датчика мало. Имеется тенденция давать две уставки и, соответственно, получать три значения — «Норма», «Опасно» и «Очень опасно». В ситуации «Очень опасно» необходимо прекратить работу, отключить оборудование, включить систему пожаротушения; в ситуации «Опасно» необходимо включить аварийную вентиляцию и предпринять регламентные работы.

Переменные d_i, $i = \overline{1, n}$, описывающие датчики, будут иметь три значения: «А» — очень опасно, «О» — опасно и «Н» — норма. Область определения

$$d_1^{\text{а}} \vee d_1^{\text{о}} \vee d_1^{\text{н}} = 1;$$

$$d_2^{\text{а}} \vee d_2^{\text{о}} \vee d_2^{\text{н}} = 1;$$

. . . . . .

$$d_n^{\text{а}} \vee d_n^{\text{о}} \vee d_n^{\text{н}} = 1. \qquad (6)$$

Введем в нашу модель переменную S — сигнал тревоги с тремя значениями: «А» — очень опасная ситуация, «О» — опасная ситуация и «Н» — норма. Тогда

$$S^{\text{а}} \vee S^{\text{о}} \vee S^{\text{н}} = 1. \qquad (7)$$

Значение сигнала S «очень опасная ситуация» должно получаться в том случае, когда по крайней мере один датчик дает значение «А». Сигнал S «опасная ситуация» вырабатывается в случае, когда хотя бы один датчик дает значение «О» и при этом все остальные датчики не дают значения «А». Наконец, сигнал S «норма» вырабатывается в случае, когда все переменные d_i имеют значение «Н». На языке алгебры конечных предикатов эти условия могут быть записаны следующим образом:

$$S^{\text{а}} = d_1^{\text{а}} \vee d_2^{\text{а}} \vee \ldots \vee d_n^{\text{а}};$$

$$S^{\text{о}} = d_1^{\text{о}}\bar{d}_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}} \ldots \bar{d}_n^{\text{а}} \vee \bar{d}_1^{\text{а}}\bar{d}_2^{\text{о}}\bar{d}_3^{\text{а}} \ldots \bar{d}_n^{\text{а}} \vee \ldots \vee \bar{d}_1^{\text{а}}\bar{d}_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}} \ldots d_n^{\text{о}};$$

$$S^{\text{н}} = d_1^{\text{н}}d_2^{\text{н}} \ldots d_n^{\text{н}}. \qquad (8)$$

В условии (4), описывающем загазованные помещения по значениям датчиков, необходимо учесть значение датчика «А»:

$$p_1^{\text{т}} = \vee\, (d_i^{\text{о}} \vee d_i^{\text{а}}) \text{ по 1-му помещению;}$$

$$p_2^{\text{т}} = \vee\, (d_i^{\text{о}} \vee d_i^{\text{а}}) \text{ по 2-му помещению;}$$

$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$

$$p_l^{\text{т}} = \vee\, (d_i^{\text{о}} \vee d_i^{\text{а}}) \text{ по } l\text{-му помещению.}$$

Таким образом, мы получили более полную математическую модель, которая включает уравнения (5) — (9). При их решении кроме значений переменных, описывающих состояние помещений и конструктивных элементов, учитывается и значение переменной «сигнал тревоги».

Дальнейшее уточнение модели можно провести, исходя из невозможности судить о возникновении аварийной ситуации по показаниям единственного датчика. Эти показания, как правило, могут быть следствием неисправности самого датчика. Поэтому при использовании описанных выше математических моделей возможны ложные срабатывания системы контроля. Ситуацию следует считать опасной только тогда, когда по крайней мере два датчика сигнализируют об опасности.

В математической модели необходимо изменить уравнения (8) и (9) так, чтобы сигнал тревоги возникал при одновременном опасном значении как минимум двух переменных, описывающих датчики. Уравнения для сигнала тревоги примут вид

$$S^{\text{а}} = d_1^{\text{а}}d_2^{\text{а}} \vee d_1^{\text{а}}d_3^{\text{а}} \vee \ldots \vee d_1^{\text{а}}d_n^{\text{а}} \vee d_2^{\text{а}}d_3^{\text{а}} \vee \ldots \vee d_2^{\text{а}}d_n^{\text{а}} \vee \ldots$$
$$\ldots \vee d_{n-1}^{\text{а}}d_n^{\text{а}};$$

$$S^{\text{о}} = d_1^{\text{о}}d_2^{\text{о}}\,(\bar{d}_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}} \ldots \bar{d}_n^{\text{а}} \vee d_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}} \ldots \bar{d}_n^{\text{а}} \vee$$
$$\vee\, \bar{d}_3^{\text{а}}d_4^{\text{а}} \ldots \bar{d}_n^{\text{а}} \vee \ldots \vee \bar{d}_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}} \ldots d_n^{\text{а}}) \vee \ldots$$
$$\vee\, d_1^{\text{о}}d_n^{\text{о}}\,(\bar{d}_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}} \ldots \bar{d}_{n-1}^{\text{а}} \vee d_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}} \ldots \bar{d}_{n-1}^{\text{а}} \vee$$
$$\vee\, \bar{d}_2^{\text{а}}d_3^{\text{а}} \ldots \bar{d}_{n-1}^{\text{а}} \vee \ldots \vee \bar{d}_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}} \ldots d_{n-1}^{\text{а}}) \vee \ldots$$
$$\vee\, \bar{d}_2^{\text{о}}d_3^{\text{о}}\,(\bar{d}_1^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}} \ldots \bar{d}_n^{\text{а}} \vee d_1^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}} \ldots d_n{}^{\text{а}} \vee \ldots$$

$$\vee \bar{d}_1^{а}\bar{d}_4^{а} \ldots d_n^{а}) \vee \ldots \vee d_2^{о}d_n^{о}(\bar{d}_1^{а}\bar{d}_3^{а} \ldots \bar{d}_{n-1}^{а} \vee$$

$$\vee d_1^{а}\bar{d}_3^{а} \ldots \bar{d}_{n-1}^{а} \vee \ldots \vee \bar{d}_1^{а}\bar{d}_3^{а} \ldots \bar{d}_{n-1}^{а}) \vee \ldots$$

$$\vee d_{n-1}^{о}d_n^{о}(\bar{d}_1^{а}\bar{d}_2^{а} \ldots \bar{d}_{n-2}^{а} \vee d_1^{а}\bar{d}_2^{а} \ldots \bar{d}_{n-2}^{а} \vee \ldots$$

$$\vee \bar{d}_1^{а}\bar{d}_2^{а} \ldots d_{n-2}^{а}); \qquad (10)$$

$$S^{н} = d_1^{н}d_2^{н} \ldots d_n^{н} \vee \bar{d}_1^{н}d_2^{н} \ldots d_n^{н} \vee$$

$$\vee d_1^{н}\bar{d}_2^{н} \ldots d_n^{н} \vee \ldots \vee d_1^{н}d_2^{н} \ldots \bar{d}_n^{н}$$

Как видно из приведенных уравнений, сигнал «очень опасно» будет возникать в случаях наличия по крайней мере двух датчиков со значением «А». Сигнал «опасно» имеет место в случаях, когда, как минимум, два датчика имеют значение «О», а все остальные датчики, кроме одного, не находятся в состоянии «А». Сигнал «норма» появляется тогда, когда все датчики, кроме быть может одного, находятся в состоянии «Н».

Помещение считается опасным, если, как минимум, два датчика не находятся в состоянии «норма»:

$$p_1^{т} = \vee \bar{d}_i^{н}\bar{d}_j^{н} \text{ по датчикам 1-го помещения, } i \neq j;$$

. . . .

$$p_l^{т} = \vee \bar{d}_i^{н}\bar{d}_j^{н} \text{ по датчикам } l\text{-го помещения, } i \neq j. \qquad (11)$$

Математическая модель, учитывающая необходимость срабатывания по крайней мере двух датчиков, включает уравнения (2), (3), (5) — (7), (10) и (11). Покажем применение предлагаемой методики на конкретном иллюстративном примере возникновения аварийной ситуации.

Пусть у нас есть три помещения p_1, p_2, p_3. В первом помещении стоят датчики d_1 и d_2, во втором — d_3 и d_4, в третьем — d_5, d_6 и d_7. Фланцевые соединения k_1 и k_2 находятся в помещении p_1, k_3 — в помещении p_2 и k_4 — в помещении p_3. Трубопровод k_5 проходит в помещениях p_2 и p_3.

Простейшая модель для такого случая имеет вид

$$p_1^{т} \vee p_1^{н} = 1;$$

. . . . .

$$p_3^{т} \vee p_3^{н} = 1;$$

$$d_1^{о} \vee d_1^{н} = 1;$$

. . . . .

$$d_7^{о} \vee d_7^{н} = 1;$$

$$k_1^{п} \vee k_1^{н} = 1;$$

. . . . .

$$k_4^{п} \vee k_4^{н} = 1;$$

$$p_1^{\text{т}} = d_1^{\text{о}} \vee d_2^{\text{о}};$$
$$p_2^{\text{т}} = d_3^{\text{о}} \vee d_4^{\text{о}};$$
$$p_3^{\text{т}} = d_5^{\text{о}} \vee d_6^{\text{о}} \vee d_7^{\text{о}};$$
$$k_1^{\text{п}} = p_1^{\text{т}};\ k_2^{\text{п}} = p_1^{\text{т}};\ k_3^{\text{п}} = p_2^{\text{т}};\ k_4^{\text{п}} = p_3^{\text{т}};\ k_5^{\text{п}} = p_2^{\text{т}} \vee p_3^{\text{т}}.$$

Модель третьего типа будет иметь вид

$$p_1^{\text{т}} \vee p_1^{\text{н}} = 1;$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$p_3^{\text{т}} \vee p_3^{\text{н}} = 1;$$
$$k_1^{\text{п}} \vee k_1^{\text{н}} = 1;$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$k_4^{\text{п}} \vee k_4^{\text{н}} = 1;$$
$$d_1^{\text{а}} \vee d_1^{\text{о}} \vee d_1^{\text{н}} = 1;$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$d_7^{\text{а}} \vee d_7^{\text{о}} \vee d_7^{\text{н}} = 1;$$
$$S^{\text{а}} \vee S^{\text{о}} \vee S^{\text{н}} = 1;$$
$$k_1^{\text{п}} = p_1^{\text{т}};\ k_2^{\text{п}} = p_1^{\text{т}};\ k_3^{\text{п}} = p_2^{\text{т}};\ k_4^{\text{п}} = p_3^{\text{т}};$$
$$k_5^{\text{п}} = p_2^{\text{т}} \vee p_3^{\text{т}};\ p_1^{\text{т}} = \bar{d}_1^{\text{н}}\bar{d}_2^{\text{н}};\ p_2^{\text{т}} = \bar{d}_3^{\text{н}}\bar{d}_4^{\text{н}};$$
$$p_3^{\text{т}} = \bar{d}_5^{\text{н}}\bar{d}_6^{\text{н}} \vee \bar{d}_5^{\text{н}}\bar{d}_7^{\text{н}} \vee \bar{d}_6^{\text{н}}\bar{d}_7^{\text{н}};$$
$$S^{\text{а}} = d_1^{\text{а}}d_2^{\text{а}} \vee d_1^{\text{а}}d_3^{\text{а}} \vee \ldots \vee d_1^{\text{а}}d_7^{\text{а}} \vee \ldots \vee d_6^{\text{а}}d_7^{\text{а}};$$
$$S^{\text{о}} = d_1^{\text{о}}d_2^{\text{о}}(\bar{d}_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}}\bar{d}_5^{\text{а}}\bar{d}_6^{\text{а}}\bar{d}_7^{\text{а}} \vee d_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}}\bar{d}_5^{\text{а}}\bar{d}_6^{\text{а}}\bar{d}_7^{\text{а}} \vee \ldots$$
$$\vee\ \bar{d}_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}}\bar{d}_5^{\text{а}}\bar{d}_6^{\text{а}}d_7^{\text{а}}) \vee \ldots \vee d_6^{\text{о}}d_7^{\text{о}}(\bar{d}_1^{\text{а}}\bar{d}_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}}\bar{d}_5^{\text{а}} \vee \ldots$$
$$\ldots \vee \bar{d}_1^{\text{а}}\bar{d}_2^{\text{а}}\bar{d}_3^{\text{а}}\bar{d}_4^{\text{а}}d_5^{\text{а}});$$
$$S^{\text{н}} = d_1^{\text{н}}d_2^{\text{н}}d_3^{\text{н}}d_4^{\text{н}}d_5^{\text{н}}d_6^{\text{н}}d_7^{\text{н}} \vee d_1^{\text{н}}d_2^{\text{н}}d_3^{\text{н}}d_4^{\text{н}}d_5^{\text{н}}d_6^{\text{н}}\bar{d}_7^{\text{н}} \vee \ldots$$
$$\vee\ \bar{d}_1^{\text{н}}d_2^{\text{н}}d_3^{\text{н}}d_4^{\text{н}}d_5^{\text{н}}d_6^{\text{н}}d_7^{\text{н}}.$$

Реализация представленных моделей на ЭВМ осуществляется программой-решателем систем уравнений конечных предикатов. Математическое описание конкретного объекта является для этой программы входными элементами. Таким образом, настройка на конкретный объект контроля осуществляется построением его математического описания в соответствии с общей моделью. Очевидно, что при построении моделей на языке алгебры конечных предикатов существует возможность учета всех присущих объекту контроля особенностей.

Предложенная математическая модель апробирована при разработке автоматизированной системы контроля взрывоопасности [3] с жесткими требованиями к безопасности обслуживающего персонала по фактору загазованности технологических помещений.

Список литературы: 1. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Математическое описание конечных объектов.— Пробл. бионики, 1979, вып. 23, с. 3—9. 2. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов.— АСУ и приборы автоматики, 1979, вып. 50, с. 14—20. 3. *Гулиус В. А., Зозуля И. В., Котляров С. О.* Математическое обеспечение АСК взрывоопасности с использованием предикатов.— В кн.: IV респ. конф. «Молодые ученые — научно-техническому прогрессу в угольной промышленности»: Тез. докл., Донецк, 1984, с. 165—166.

Поступила в редколлегию 02.07.84.