УДК 621.3.089

В.М. Буртняк, к.т.н.
Институт геохимии окружающей среды НАН и МЧС Украины

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЙ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СЛЕЖЕНИЯ ЗА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕМ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Is examined the algorithm of events exposure authenticity increase at control and looking for objects with radio-active materials. The resulted algorithm of this task decision does possible the decline of appearance of «false» event to the set probability.

Для обеспечения надежной защиты от нераспространения радиоактивных материалов (РМ) очень важно построить систему физической охраны таким образом, чтобы обеспечить ее прозрачность, максимально исключить так называемый человеческий фактор и минимизировать возможные риски.

Поэтому в современных технологиях защиты объектов с РМ применяются многомашинные иерархические автоматизированные системы контроля и наблюдения (САКС) [1].

Состояния объекта с РМ характеризуются большим числом параметров, изменяющихся в широких пределах. Оценка состояния таких объектов подразумевает всесторонний комплексный их анализ и выявление различных изменений, вызванных воздействием различных факторов.

Получение комплексных оценок состояния объекта затруднено многообразием его характеристик, разнотипностью доступной информации, сложностью ее объединения. Комплексные показатели, характеризующие состояние объектов с РМ (целостности объекта) могут быть получены только на основе сложных функциональных зависимостей и интеграции простых (покомпонентных) показателей. Исходной информацией для формирования оценок состояния объекта являются результаты измерений различных параметров объекта, а также среды его окружения. Следовательно, для получения комплексной оценки состояния объекта САКС необходимо перерабатывать достаточно большой поток информации.

Эффективность используемых САКС зависит от количества контролируемых параметров, решаемых задач, производительности вычислительных средств и пропускной способности каналов обмена информацией. В работе [2] показано, что для современной технологии обработки измерительной информации и принятия достоверных решений о состоянии контролируемого объекта эффективность САКС можно оптимизировать путем сокращением объема входного потока информации.

Для этого вводится понятие элементарного события, которое можно извлечь в режиме реального времени из потока входной измерительной информации. Элементарное событие описывается формулой

$$c_k = \begin{cases} 1, x_i(t_j) \in [x_{i_1}, x_{i_2}] \\ 0, x_i(t_j) \overline{\in} [x_{i_1}, x_{i_2}] \end{cases}, \tag{1}$$

где $x_{i_1}, x_{i_2} \in [0, L_i]$; $j = \overline{0, T}$; $k = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, n}$; $[x_{i_1}, x_{i_2}]$ – интервал определения события;
$x_i(t)$ - измеряемый параметр; $[0, L_i]$ – диапазон изменения параметра $x_i(t)$

На основе элементарных событий и операций «**НЕ**», «**И**», «**ИЛИ**» можно получить сложное событие. Правило порождения событий в обозначениях Бэкуса определяется следующим образом:

P := <элементарное событие> | <P>ˆ<P> | <P>ˇ<P> | <P> (2)

При проведении наблюдений за объектами с РМ в результате возникновения редких флуктуаций шума, различных помех (как внутренних, так и внешних), а также сбоев аппаратуры может возникнуть ситуация когда контролируемый параметр попадет в интервал определения события (1). Т.е. система зарегистрирует возникновения «ложного» события. Следует отметить, что сбои, вызванные стохастическими факторами на всех стадиях решения задач контроля и слежения за объектом с РМ (ввод измерительной информации, реализация алгоритмов обработки и т.п.), как правило, возникают на порядок чаще, чем устойчивые отказы аппаратных средств. Для решения проблемы парирования «ложного» события предлагается использовать метод повторного решения задачи определения элементарного события.

Результатом решения задачи определения события во входном потоке измерительной информации может быть одно из двух состояний: «да» - событие определено или «нет» - событие не определено. Согласно данному методу, предполагается продолжать решение рассматриваемой задачи до тех пор пока вероятность соответствия полученной комбинации результатов «да» или «нет» не достигнет заданной величины D_{d_z} или D_{n_z}. Введем следующие обозначения: D_d – достоверность результата «да»; D_n – достоверность результата «нет»; P_{d_y}- у словная вероятность (априорная) получения результата «да», если действительное состояние объекта соответствует состоянию «да»; P_{n_y}- условная вероятность (априорная) получения результата «нет», если действительное состояние объекта соответствует состоянию «нет»; P_d – априорная вероятность соответствия объекта состоянию «да»; P_l – вероятность формирования ложного события за один час проведения наблюдений.

Если *к* – число циклов повторных решений задачи определения элементарного события и при этом получено L результатов «да», то вероятность получения такой комбинации определяется биноминальным законом распределения [3] и может быть записана для условий «да» (P_{d_k}) и «нет» (P_{d_n}) соответственно:

$$P_{d_k} = C_k^L \cdot P_{d_y}^L \cdot (1 - P_{d_y})^{(k-L)}, \tag{3}$$

$$P_{n_k} = C_k^L \cdot P_{n_y}^{(k-L)} \cdot (1 - P_{n_y})^L, \tag{4}$$

где C_k^L – биномиальный коэффициент.

Формула Байеса [3] для комбинации L/K в принятых обозначениях для результатов «да» и «нет» примет вид:

$$D_d = \frac{P_d \cdot P_{d_k}}{P_d \cdot (1 - P_{d_k}) + (1 - P_d) \cdot P_{n_k}}, \tag{5}$$

$$D_n = \frac{(1 - P_d) \cdot P_{n_k}}{P_d \cdot (1 - P_{d_k}) + (1 - P_d) \cdot P_{n_k}}, \tag{6}$$

Сделаем подстановки (3) и (4) в формулы (5), (6). После соответствующих преобразований получим:

$$D_d = \frac{1}{1 + A \cdot B^L \cdot D^{(k-L)}}, \tag{7}$$

$$D_n = \frac{A \cdot B^L \cdot D^{(k-L)}}{1 + A \cdot B^L \cdot D^{(k-L)}}, \tag{8}$$

где $A = (1 - P_d)/P_d$; $B - (1 - P_{n_y})/P_{d_y}$; $D - P_{n_y}/(1 - P_{d_y})$;

Введем обозначения: $E_{d_z} = (1 - D_{d_z})/D_{d_z}$; $E_{n_z} = (1 - D_{n_z})/D_{n_z}$;
Тогда правило, обеспечивающее принятие решения с достоверностью D_{d_z} и D_{n_z} можно, записать в виде:

$B^L \cdot D^{(k-L)} < E_{d_z}/A$ - при принятии решения «да» (9)

$B^L \cdot D^{(k-L)} > 1/(E_{n_z} \cdot A)$ - при принятии решения «нет» (10)

Приведенное правило решения требует априорного задания величин P_d, P_{d_y}, P_{n_y}. Величина P_d определяет степень априорной осведомленности о состоянии объекта. В большинстве случаев принимают предпосылку, что оба решения равновероятны и $P_d = 0.5$. Величины P_{d_y} и P_{n_y} не могут быть априорно заданны равными 0.5, так как в этом случае решение принято не будет. Принимая $W = B \cdot D$, алгоритм принятия решения о достоверности элементарного события можно представить следующим образом:

Шаг 1. W =1; $L_i = 0$; $K_i = 0$;
Шаг 2. $K_i = K_i + 1$;
Шаг 3. Выполнить операции задачи идентификации события
Шаг 4. Вычислить коэффициенты A, B, D, E_{d_z},E_{n_z}
Шаг 5. Если получен результат «да», то $W = W \cdot B$; $L_i = L_i + 1$;
Если $W < E_{d_z}/A$, то принять решение «да» и перейти на шаг 7,

Иначе перейти на шаг 2

Шаг 6. Если получен результат «нет», то W = W·D; $L_i = L_i + 1$;

Если W > 1/(A·E_{n_r}), то принять решение «нет» и перейти на шаг 8,

Иначе перейти на шаг 2

Шаг 7. $P_{d_{yt}} = L_t/K_t$; $P_{d_y} = P_{d_y} + Q \cdot (P_{d_{yt}} - P_{d_y})$;

Шаг 8. $P_{n_{yt}} = (K_t - L_t)/K_t$; $P_{n_y} = P_{n_y} + Q \cdot (P_{n_{yt}} - P_{n_y})$;

Шаг 9. Конец

Блок- схема алгоритмы изображена на рис. 1.

Для работы алгоритма необходимо изначально задать величины $D_d > P_{d_y} > 0.5$ и $D_n > P_{n_y} > 0.5$. Величины P_{d_y} и P_{n_y} уточняются экспоненциальным приближением

$$P_{d_y} = P_{d_y} + Q \cdot \left(P_{d_{yt}} - P_{d_y}\right), \tag{11}$$

$$P_{n_y} = P_{n_y} + Q \cdot \left(P_{n_{yt}} - P_{n_y}\right), \tag{12}$$

где 0 < Q < 1 – коэффициент, определяющий долю учета i-го результата.

Как показывает практика создания систем автоматического контроля и слежения за нераспространением радиоактивных материалов, существует три группы задач, требующих различных подходов к аппаратной реализации:

1. Вероятность формирования ложного события $P_l > 10^{-4}$ соответствует наработке на устойчивый отказ аппаратуры $T_{отк} < 10^4$;
2. $10^{-6} \le P_l \le 10^{-4}$ требует двойного резервирования аппаратуры;
3. $10^{-7} \le P_l \le 10^{-6}$ требует тройного резервирования аппаратуры.

При определении сложного события **У** по правилу порождения (2) возможны случаи, когда из нескольких необходимых для определения **У** элементарных событий в момент времени t хотя б одно отсутствует. Для разрешения этой проблемы можно использовать аппарат вероятностной логики, в соответствии с которой всем возможным логическим значениям переменных формулы приписывается некоторая вероятность.

Рассмотрим сложное событие, определяемое как

$$Y = C_1 \vee C_2 \wedge C_3$$

В этой формуле присутствуют элементарные события C_1, C_2, C_3 и две логические операции «И», «ИЛИ». Представим следующие вертикальные векторы

$$\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix} \begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix} \begin{bmatrix}0\\1\\0\end{bmatrix} \begin{bmatrix}0\\0\\1\end{bmatrix} \begin{bmatrix}1\\1\\0\end{bmatrix} \begin{bmatrix}0\\1\\1\end{bmatrix} \begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{- истина и ложь события } C_1 \\ \text{- истина и ложь события } C_2 \\ \text{- истина и ложь события } C_3 \end{array}$$

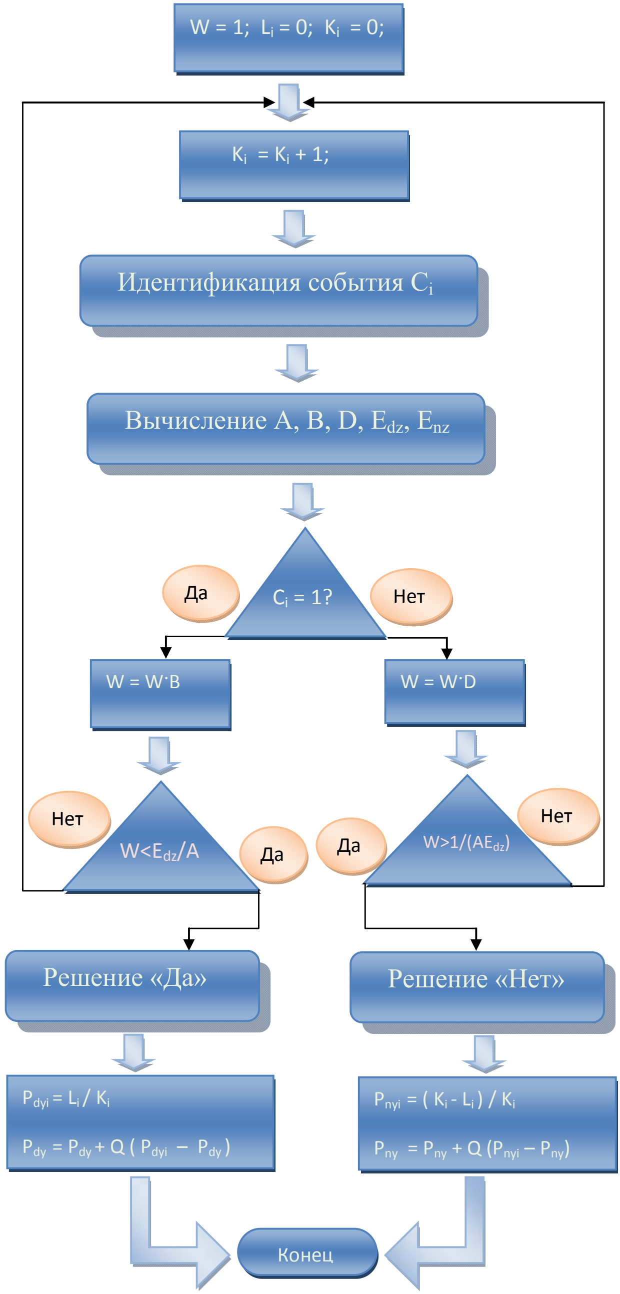

Рис. 1. Блок схема алгоритма принятия решений

1 и 0 обозначают истину и ложь события C_1 в первой строке векторов, C_2 во второй и C_3 в третей. Из трех элементарных событий можно составить семь векторов и рассматривать каждый такой вектор как возможный случай. Каждый случай образует традиционную двухзначную логику. В вероятностной логике рассматриваются состояния, когда одновременно с некоторой вероятностью могут существовать несколько возможных случаев. Например, пусть вероятность, с которой возможна интерпретация формулы для случая 1, равна 0.05, а вероятности интерпретации для случаев 2, 3, 4, 5, 6, 7 соответственно равны 0.15, 0.15, 0.15, 0.1, 0.1, 0.4. Сумма вероятностей возможных случаев равна единице. Тогда вектор вероятностей возможных случаев можно представить, как

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.15 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.4 \end{bmatrix}, \qquad (13)$$

Если построить матрицу M, элементами которой служат вертикальные векторы, представляющие возможные случаи, то с помощью матричной операции M·P = V можно вычислить вероятности выбора каждой логической ситуации. Для данного примера

$$\boldsymbol{V} = \boldsymbol{M} \cdot \boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.4 \\ 0.3 \end{bmatrix}, \qquad (14)$$

Вероятностные возможные случаи имеют состояние «истина» с вероятностью 0.3 (C1), 0.4 (), 0.3 (). Таким образом, можно с вероятностью P сделать логический вывод о наличии события Y. В связи с тем, что в определении сложного события возможно наличие большого числа элементарных событий, то возникает проблема объема вычислений. Для таких случаев можно рассматривать только те вертикальные векторы (случаи), в которых элементарные события принимают ложные значения не более чем в одном случае. Все остальные в рассмотрении не участвуют. Для нашего примера это случаи 1, 5, и 6.

Выводы. Основная цель метода повторного решения – исключение появления «ложного» события из системы принятия решения о целостности охраны контролируемого объекта с РМ. Приведенный алгоритм решения этой задачи ***делает*** возможным снижение появления «ложного» события к заданной вероятности.

Применение вероятностной логики является перспективным направлением в исследовании математического и программного обеспечения систем автоматического контроля и слежения за нераспространением радиоактивных материалов.

1. *Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М.* Распределенная интегрированная система контроля и слежения за ядерно-радиационными материалами, радиационными отходами и источниками ионизирующего излучения на объектах ядерно-топливного цикла. *Наука та інновації. 2009. Т. 5. № 5. С. 57- 61.*
2. *Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М.*. Анализ событий как метод повышения эффективности систем автоматического контроля и слежения за нераспространением радиоактивных материалов. // Зб. наук. ін. Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ. „Моделювання та інформаційні технології"– До., 2008. - Вип. 47. – С.107-118.
3. *Рэйнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н.* Комбинаторные алгоритмы: теория и практика. – М.: Мир, 1980, - 476 с.
4. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. /*Под редакцией Поспелова Д.А.*/ - М.: Наука, 1986, - 430 с.

Поступила 15.02.2010р.

УДК 681.322

В.В. Шорошев, А.Н. Давиденко, А.С. Потенко

ОЦЕНКА ПРОФИЛЕЙ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ОПТИМУМА Р. БЕЛЛМАНА

Для решения задачи разработки методики проектирования профилей, адаптивных за подклассами АС, предлагается использовать метод динамического программирования. Используя классический подход [1], можно разработать прикладной алгоритм (методику) оценки профилей, адаптивных угрозам за подклассами автоматизированных систем АС-1, АС-2, АС-3 при проектировании систем защиты. Для этого необходимо провести исследования реализации требований НД ТЗИ 2.5-004-99, НД ТЗИ 2.5-005-99 и определить прикладной физический смысл, что позволит разработать методику вычисления параметров целевой функции при оптимизации.

За основу расчетов использована обратная алгоритмическая задача, использующая целевую функцию аппроксимированного вида по формуле (1) при условии и ограничение (2) (3).

$$\Psi i\ (xi) = [1 - (1 - \gamma i)]^{xi - ai}, \qquad (1)$$

$$xi \geq ai,\ i = 1, 2, \ldots, n, \qquad (2)$$

$$ai = - \ln\ [wi\ (1 - \beta i)^{mi}, \qquad (3)$$

γi – параметр динамического программирования целевой функции, определяется по (4).

