

в реляционную БД в разобранном виде. Такой подход позволяет значительно ускорить поиск информации в документах за счет использования всех возможностей современных реляционных СУБД и одновременно решает актуальную задачу поиска общего факта, который может содержаться в документах с разным контекстом.

Основным предназначением этого подхода является реализация доступа к базам знаний в гетерогенном информационном пространстве современного предприятия и обеспечение возможности создания интуитивно понятных запросов людьми, которые не владеют тонкостями языка SQL.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Кочуров, В. А.** О проблеме принятия проектных решений в САПР / В. А. Кочуров // Моделирование ин-

теллектуальных процессов проектирования, производства и управления: сб. науч. тр. – 2003. – Вып. 1. – С. 199–206.

2. **Scardina, M.** XML Storage Models: One Size Does Not Fit All / M. Scardina // Oracle Magazine [Electronic resource]. – Web column. – 2003. – Mode of access: [http://otn.oracle.com/oramag/webcolumns/2003/techarticles/scardina\\_xmldb.html](http://otn.oracle.com/oramag/webcolumns/2003/techarticles/scardina_xmldb.html)

3. **Eisenberg, A.** XQuery 1.0 is Nearing Completion / A. Eisenberg, J. Melton // SIGMOD Record [Electronic resource]. – Vol. 34, № 4. – 2005. – Mode of access: <http://www.sigmod.org/sigmod/record/issues/0512/p78-column-eisenberg-melton.pdf>

4. **Cohen, F.** Debunking XQuery myths and misunderstandings / F. Cohen // [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ibm.com/developerworks/xml/library/x-xqmyth.html>

5. **Павловский, М. С.** Исследование и разработка методов создания интеллектуальных САПР на основе распределенных систем: дис. ... маг. техн. наук. / М. С. Павловский. – Минск, 2003.

Поступила 25.05.2007

УДК 621.398

## СИНТЕЗ СТРУКТУР СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ, УСТОЙЧИВЫХ К ОТКАЗАМ ОДНОТИПНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*ПАЦЕЙ Н. Е.*

*Белорусский национальный технический университет*

Свойство отказоустойчивости для технических систем не является таким же однозначным, как, например, свойство надежности. Об этом можно судить исходя из количества определений, приводимых в различных источниках. В данной работе под отказоустойчивостью будем понимать способность системы выполнять свои функции в полном или частичном объеме с сохранением или частичным сохранением параметров качества выполняемых услуг. Под устойчивостью к отказам отдельных элементов будем понимать способность системы сохранять показатели качества выполняемых функций не зависимо от отказа конкретного отдельного элемента.

Рассмотрим способность системы сохранять равные показатели качества при отказе различ-

ных элементов, являющихся идентичными по техническим характеристикам. Синтезируемая система сбора данных является основой для создания автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии, которые, как правило, имеют три уровня сбора данных. Первый уровень представлен совокупностью счетчиков учета электроэнергии – точки учета (ТУ). Помимо параметров точности, надежности и прочего эти приборы характеризуются видом измеряемой энергии (активная, реактивная). Второй уровень представлен устройствами сбора первичных данных (УСПД), которые выполняют функции автоматического сбора данных измерений со счетчиков, энергонезависимого хранения данных энергоучета по каналам и группам учета, передачи данных на серверы

учета, синхронизации времени внутренних часов и в подключенных счетчиках по сигналам корректировки, получаемым от сервера учета, и т. д. Третий уровень представлен сервером автоматизированной системы, который выполняет функции сбора данных, хранения, предоставления для отчета и анализа, диагностики функционирования элементов схемы, синхронизации и т. д. Ряд функций распределяется между различными уровнями системы, что позволяет в случае отказа компонента сохранить возможность продолжения работы элементов, с ним связанных, а также сохранения данных либо их восстановления [1].

Каждая автоматизированная система учета, кроме других параметров, может быть охарактеризована максимальным количеством точек учета, максимальным количеством УСПД, протоколом передачи данных между первым-вторым и между вторым-третьим уравнениями. УСПД являются однотипными элементами, с идентичными техническими и эксплуатационными параметрами, однако исходя из того, что количество учитываемой энергии подключенными к ним счетчиками является различным и может отличаться в пределах системы в десятки и сотни раз, отказы этих элементов не являются идентичными по последствиям, т. е. по количеству неучтенной энергии. Ставится задача для заданного количества истоков потребления энергии при статистических данных о потребляемых активной и реактивной мощностях определить количество УСПД, необходимых для реализации системы; преобразовать полученную схему таким образом, чтобы усреднить УСПД по суммарной учитываемой подключенным к ним счетчиками энергии; определить структуру системы и ее характеристики при использовании всего количества УСПД.

Представим искомую структуру в виде матрицы  $S_{k \times c}$ , где  $k$  – максимальное количество УСПД;  $c$  – количество точек учета. Элемент матрицы  $S_{ij} = 1$ , если существует соединение между точкой учета и УСПД, и  $S_{ij} = 0$ , если оно отсутствует, при этом  $i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, c$ .

Исходные данные представляются в виде двух матриц:

$E_{t \times c}$  – матрица потребления энергии, где  $t$  – количество типов энергии, учитываемое  $j$ -м источником, причем пусть первая строка мат-

рицы содержит данные об активной потребленной энергии, а вторая строка матрицы – реактивной;

$L_{k \times c}$  – матрица расстояний,  $L_{ij}$  соответствует расстоянию между  $i$ -м УСПД и  $j$ -м источником.

Так как в системе могут использоваться счетчики, различные по видам учитываемой энергии, то справедливо вести расчет с использованием строки матрицы  $E$ , в которой представлены данные об учтенной активной энергии  $E [1, c]$ .

Исходя из того, что в большинстве проектируемых систем такого вида соединение устанавливается между точкой учета и ближайшим УСПД, то матрица  $S_{k \times c}^{(1)}$  находится исходя из следующих условий:

$$S_{ij}^{(1)} = 1, L_{ij} = \min(L_{1j}, L_{2j}, \dots, L_{kj}); \quad (1)$$

$$S_{ij}^{(1)} = 0, L_{ij} \neq \min(L_{1j}, L_{2j}, \dots, L_{kj}), \quad (2)$$

где  $j = 1, 2, \dots, c$ .

По полученной матрице вычисляем матрицу  $U_k$ , определяющую состояние УСПД: активное – используется в искомой системе; неактивное – не имеет действующих соединений с точками учета, но может быть использовано для оптимизации системы либо при подключении дополнительных точек учета. Матрица  $U_k$  является столбцовой, элементы которой находятся по формуле

$$U_j = \sum_{i=1}^c S_{ij}. \quad (3)$$

Таким образом,  $U_j$  определяет количество точек учета, для которых данный УСПД является предпочтительным, если  $U_j = 0$ , то данный УСПД может классифицироваться как неактивный.

Далее определим матрицу весов значимости каждого УСПД в системе  $W_k$

$$W_j = \frac{S_i^{(1)} \times E_{1,c}^T}{\sum_{j=1}^c E_{1,j}}. \quad (4)$$

Следовательно, чем больше  $W_j$ , тем ощутимее отказ  $j$ -го УСПД.

Зависимость системы от отказов УСПД можно выразить через дисперсию весов значимости УСПД

$$D(\mathbf{W}_j) = M(\mathbf{W}_j - M(\mathbf{W}_j))^2. \quad (5)$$

Оптимизацию исходной схемы проведем по критериям:

$$0 \leq (\mathbf{L}_{ij} - \min(\mathbf{L}_{1j}, \mathbf{L}_{2j}, \dots, \mathbf{L}_{kj})) \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$\left| \mathbf{S}_i^{(1)} \times \mathbf{E}_{1,c}^T - \frac{\sum_{j=1}^c \mathbf{E}_{1,j}}{n} \right| \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $n$  – число активных УСПД в схеме.

Ввиду того, что интерфейс передачи данных каждой ТУ имеет ограничение по дальности передачи данных ( $\mathbf{L}_{\text{доп}}$ ), ограничение имеет вид

$$\min(\mathbf{L}_{1j}, \mathbf{L}_{2j}, \dots, \mathbf{L}_{kj}) \leq \mathbf{L}_{ij} \leq \mathbf{L}_{\text{доп}}. \quad (8)$$

Варьируя связями между ТУ и УСПД, уменьшаем дисперсию весов значимости УСПД, т. е. схема является улучшенной, если

$$D(\mathbf{W}_j^{(1)}) > D(\mathbf{W}_j^{(2)}), \quad (9)$$

где  $D(\mathbf{W}_j^{(1)})$  и  $D(\mathbf{W}_j^{(2)})$  – дисперсия весов значимости УСПД для схем систем сбора данных до и после оптимизации соответственно.

Таким образом, задача синтеза структуры системы сбора данных сводится к оптимизаци-

онной задаче поиска экстремума адаптивного критерия

$$\min Y = \alpha_1 \times \left| 1 - \frac{\mathbf{S}_i^{(1)} \times \mathbf{E}_{1,c}^T}{\left( \sum_{j=1}^c \mathbf{E}_{1,j} \right) / n} \right| + \alpha_2 \times \left( 1 - \frac{\mathbf{L}}{\min(\mathbf{L}_{1j}, \mathbf{L}_{2j}, \dots, \mathbf{L}_{kj})} \right) \text{ при } \sum_{i=1}^2 \alpha_i = 1, \quad (10)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – весовые коэффициенты частных критериев (6) и (7) соответственно.

Ограничение (8) принимает вид:

$$\begin{cases} \min(\mathbf{L}_{1j}, \mathbf{L}_{2j}, \dots, \mathbf{L}_{kj}) \leq \mathbf{L}_{ij} \leq 15, & j = 5, 7; \\ \min(\mathbf{L}_{1j}, \mathbf{L}_{2j}, \dots, \mathbf{L}_{kj}) \leq \mathbf{L}_{ij} \leq 1200, & \\ j = 1, \dots, 4, 6, 8, \dots, 12. \end{cases} \quad (11)$$

Пусть необходимо реализовать систему сбора данных для 12 точек учета. Максимально допустимое количество используемых УСПД равно семи. Определены места предварительного расположения каждого УСПД и протяженность возможных линий передачи данных между УСПД и ТУ, при этом определены интерфейсы передачи данных для каждой ТУ: ТУ-5 и ТУ-7 имеют интерфейс, ограничивающий передачу данных 15 м, а остальные ТУ имеют интерфейс, допускающий передачу данных на расстояние 1200 м. Таким образом, матрица  $\mathbf{L}$  имеет вид:

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 123 & 657 & 786 & 239 & 876 & 123 & 345 & 982 & 213 & 877 & 456 & 634 \\ 346 & 543 & 300 & 1423 & 951 & 1028 & 1117 & 609 & 1577 & 1219 & 856 & 734 \\ 239 & 642 & 1253 & 719 & 896 & 143 & 10 & 754 & 977 & 425 & 345 & 346 \\ 342 & 714 & 949 & 1297 & 452 & 856 & 1253 & 798 & 398 & 1552 & 772 & 745 \\ 579 & 1337 & 457 & 156 & 555 & 886 & 743 & 794 & 1528 & 1996 & 915 & 758 \\ 138 & 649 & 1441 & 115 & 2 & 1311 & 5 & 794 & 525 & 273 & 765 & 1032 \\ 128 & 896 & 774 & 525 & 447 & 993 & 873 & 1026 & 1330 & 830 & 284 & 817 \end{bmatrix}.$$

Матрица  $\mathbf{E}$  имеет вид:

$$\mathbf{E} = [384,04 \quad 1069,2 \quad 500,7 \quad 0,94 \quad 55,53 \quad 18,78 \quad 684,8 \quad 958,8 \quad 375,4 \quad 0,81 \quad 49,16 \quad 13,61].$$

Исходная матрица  $S^{(1)}$ , определяемая на основании значений элементов матрицы  $L$  и условий (1), (2), имеет вид:

$$S^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Из матрицы  $S^{(1)}$  определим, что УСПД-5 и УСПД-4 можно использовать в случае расширения системы или для ее оптимизации.

Дисперсия коэффициентов значимости УСПД для системы  $S^{(1)}$  равна 0,04935.

Оптимизированную матрицу  $S^{(2)}$  получим пошаговым определением наличия связи между ТУ- $j$  и УСПД- $i$ , двигаясь от ТУ, которому соответствует максимальное значение матрицы  $E$ , к ТУ, которому соответствует минимальное значение матрицы  $E$ , при начальном нулевом значении всех элементов матрицы  $S^{(2)}$ . Наличие связи определяется (10), при системе ограничений (11) значения весовых коэффициентов взяты равными 0,6 и 0,4 соответственно. Полученная матрица  $S^{(2)}$  имеет вид:

$$S^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Дисперсия коэффициентов значимости УСПД для системы  $S^{(2)}$  равна 0,00909.

Использование дополнительных УСПД позволяет получить по описанному выше алгоритму матрицу соединений  $S^{(3)}$  вида:

$$S^{(3)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Из нее видно, что использование УСПД-5 возможно только при увеличении точек учета либо при изменении места расположения УСПД-5. Дисперсия коэффициентов значимости УСПД для системы  $S^{(3)}$  равна 0,00406.

На рис. 1 представлен график, иллюстрирующий законы распределений значимости отдельного УСПД при реализации системы по схеме  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ .

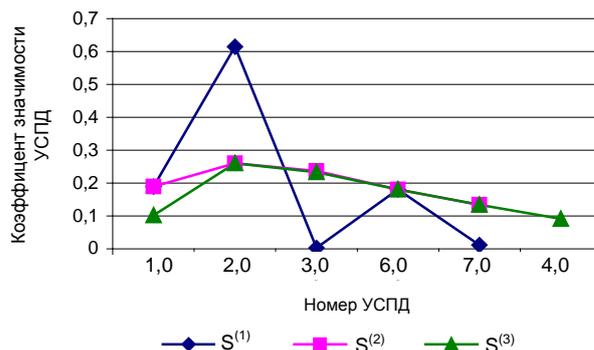


Рис. 1

### ВЫВОД

Таким образом, можно получить более равномерный закон распределения значимости УСПД, что позволяет сделать систему более независимой от отказа конкретного УСПД. В качестве развития метода возможно введение матрицы состояний связи, которая даст возможность учитывать качество линий связи, условия, сложность прокладки и другие факторы при проектировании и оптимизации структуры системы сбора данных.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-измерительная техника и технологии: учеб. для вузов / В. И. Калашников [и др.]; под ред. Г. Г. Ранеева. – М.: Высш. шк., 2002. – 454 с.

Поступила 8.08.2007