

УДК 004.652: 004.655

Л. С. Сорока, доктор технических наук,
ректор Академии таможенной службы Украины
В. И. Есин, кандидат технических наук,
доцент кафедры безопасности
информационных систем и технологий
Харьковского национального университета
им. В. Н. Каразина

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ДАННЫХ “ОБЪЕКТ – СОБЫТИЕ”

Дается формализованный опис семантической модели данных “объект – событие”, яка дозволяє істотно розширити (порівняно з існуючими семантичними моделями даних) необхідні для проектування баз даних можливості з адекватного відображення реального світу як динамічної системи.

Дается формализованное описание семантической модели данных “объект – событие”, которая позволяет существенно расширить (в сравнении с существующими семантическими моделями данных) необходимые для проектирования баз данных возможности по адекватному отображению реального мира как динамической системы.

Formalized description of semantic data model of “object – event” is given, which allows substantially extending (by comparison to the existent semantic data models) possibilities on the adequate reflection of the real world, as a dynamic system, necessary for DB designing.

Ключевые слова. Модель данных, объект, событие, класс объектов, класс событий, характеристика объекта, характеристика события.

Введение. Одна из наиболее сложных проблем проектирования баз данных (БД) состоит в том, что специалисты предметной области, разработчики баз данных и программного обеспечения, а также конечные пользователи, как правило, по-разному рассматривают данные и их назначение. Поэтому, чтобы добиться полного их взаимопонимания в процессе обмена информацией, необходимо использовать понятную общую модель данных, которая не усложнена техническими подробностями и двояким толкованием. Потребность в более удобных и мощных средствах моделирования предметной области вызвала к жизни направление семантических моделей данных.

Сегодня существует достаточное количество семантических моделей. Это и хорошо известная модель “сущность – связь” в различных ее нотациях (нотация Чена, нотация Мартина, нотация IDEF1X, нотация Баркера, нотация языка моделирования UML), и расширенная модель “сущность – связь”, и модель “объект – роль”, и объектно-ориентированная модель данных, и менее известная модель “объект – качество”, а также некоторые другие модели.

Постановка задачи. Теоретически упомянутые выше модели данных равносильны в том смысле, что все, выразимое в одной из них, выразимо в остальных. Их отличает только степень удобства использования разработчиком той или иной модели при работе с реальными задачами. Их также отличает и эффективность реализации логической и физической модели на компьютере (если это вообще возможно).

© Л. С. Сорока, В. И. Есин, 2011

Однако ни в одной из этих моделей данных не предусмотрен явный учет времени. И, как правило, причина отсутствия в них поддержки концепции времени объясняется “трудностью практической реализации”. Но известно, что все процессы в реальной действительности происходят не только в пространстве, но и во времени. Поэтому любую предметную область (ПрО) целесообразно рассматривать как некую динамическую систему, которая состоит из определенной последовательности состояний. Существование объекта, как правило, связано с такими событиями, как возникновение, исчезновение и изменение. Объект возникает, когда субъект (человек, система) начинает проявлять к нему интерес, и исчезает, когда этот интерес утрачивается. При этом в модели данных объект может существовать независимо от того, определены или нет его свойства и связи с другими объектами. Единственное свойство, с которым следует соотносить существование объекта, – это время его возникновения и исчезновения [1]. Из этого можно заключить, что время является важным аспектом любого факта, и его включение в модель данных существенно расширяет возможности модели по адекватному отображению реального мира и обеспечивает сохранение сведений о свойствах и связях, которые либо являются актуальными и достоверными на текущий момент (состояние ПрО), либо их утратили.

Моделью, в которой учитывается время, является семантическая модель данных “объект – событие”, которая на концептуальном уровне достаточно подробно рассмотрена в [2]. Далее будет представлено ее формализованное описание.

Результаты исследования. В соответствии с современной трактовкой понятия модели данных, в которой явно вычерчиваются три компонента: структура данных, операции над данными, ограничения целостности данных. Рассмотрим формализованное описание модели “объект – событие”, которое можно представить в виде тройки (кортежа):

$$\mathfrak{M} = \langle \mathfrak{A}, \mathfrak{R}, \mathbb{F} \rangle, \quad (1)$$

где \mathfrak{A} – множество понятий (метаонтологий) модели “объект – событие”; \mathfrak{R} – множество отношений между понятиями модели; \mathbb{F} – множество функций.

Множество понятий (метаонтологий) модели “объект – событие” \mathfrak{A} (раздел, класс объектов, класс событий, тип объекта, экземпляр объекта и т. д.) определено и подробно описано в [2]. При этом приведенные в работе [2] метаонтологии можно также рассматривать и как имена некоторых множеств. Например, множество *Раздел* соответствует одноименной метаонтологии “Раздел”, множество *КлассО* – метаонтологии “КлассО” и т. д. Каждое из этих множеств содержит в качестве элементов соответствующие разделы, классы объектов, событий и т. п. рассматриваемой ПрО.

Тогда множество отношений между понятиями модели “объект – событие” \mathfrak{R} есть множество отношений между множествами с одноименными понятиями модели “объект – событие”.

В модели “объект – событие” имеют место следующие виды отношений (представляющие тип взаимодействия между метаонтологиями), образующие множество \mathfrak{R} :

1. *Часть/целое*, например:

$$\text{Раздел}_{i1} \in \text{Раздел}_i; \text{Раздел}_{i2} \in \text{Раздел}_i; \dots; \text{Раздел}_{i\alpha} \in \text{Раздел}_i \Leftrightarrow$$

$$\text{Раздел}_i = \{ \text{Раздел}_{i1}, \text{Раздел}_{i2}, \dots, \text{Раздел}_{i\alpha} \}, \text{ где } i = 1..I; \alpha = 1..A;$$

$КлассO_{j1} \in КлассO_j; КлассO_{j2} \in КлассO_j; \dots; КлассO_{j\beta} \in КлассO_j \Leftrightarrow$
 $КлассO_j = \{КлассO_{j1}, КлассO_{j2}, \dots, КлассO_{j\beta}\},$ где $j = 1..J; \beta = 1..B;$

$КлассC_{k1} \in КлассC_k; КлассC_{k2} \in КлассC_k; \dots; КлассC_{k\varepsilon} \in КлассC_k \Leftrightarrow$
 $КлассC_k = \{КлассC_{k1}, КлассC_{k2}, \dots, КлассC_{k\varepsilon}\},$ где $k = 1..K; \varepsilon = 1..E;$

$КлассПО_{l1} \in КлассПО_l; КлассПО_{l2} \in КлассПО_l; \dots; КлассПО_{l\gamma} \in КлассПО_l \Leftrightarrow$
 $КлассПО_l = \{КлассПО_{l1}, КлассПО_{l2}, \dots, КлассПО_{l\gamma}\},$ где $l = 1..L; \gamma = 1..Г;$ (2)

$ЭкзO_{n1} \in ЭкзO_n; ЭкзO_{n2} \in ЭкзO_n; \dots; ЭкзO_{n\rho} \in ЭкзO_n \Leftrightarrow$
 $ЭкзO_n = \{ЭкзO_{n1}, ЭкзO_{n2}, \dots, ЭкзO_{n\rho}\},$ где $n = 1..N; \rho = 1..P;$

$Папка_{m1} \in Папка_m; Папка_{m2} \in Папка_m; \dots; Папка_{m\lambda} \in Папка_m \Leftrightarrow$
 $Папка_m = \{Папка_{m1}, Папка_{m2}, \dots, Папка_{m\lambda}\},$ где $m = 1..M; \lambda = 1..Л.$

2. *Входит/включает*, например:

$Раздел_{i11..1} \subseteq \dots \subseteq Раздел_{i11} \subseteq Раздел_{i1} \subseteq Раздел_i \subseteq Раздел;$

$КлассO_{j11..1} \subseteq \dots \subseteq КлассO_{j11} \subseteq КлассO_{j1} \subseteq КлассO_j \subseteq КлассO;$

$КлассC_{k11..1} \subseteq \dots \subseteq КлассC_{k11} \subseteq КлассC_{k1} \subseteq КлассC_k \subseteq КлассC;$

(3)

$КлассПО_{l11..1} \subseteq \dots \subseteq КлассПО_{l1} \subseteq КлассПО_l \subseteq КлассПО;$

$ЭкзO_{n1..1} \subseteq \dots \subseteq ЭкзO_{n1} \subseteq ЭкзO_n \subseteq ЭкзO;$

$Папка_{m11..1} \subseteq \dots \subseteq Папка_{m1} \subseteq Папка_m \subseteq Папка.$

Таким способом математически можно продемонстрировать иерархии метаонтологий.

Все эти виды отношений (*часть/целое, входит/включает*) формально можно представить и как бинарные математические отношения.

Например, если ввести некоторое отношение R (*отношение* – это математическая структура, которая формально определяет свойства различных объектов и их взаимосвязи; *отношения* представляют тип взаимодействия между понятиями предметной области) на

множестве *Раздел*, обозначив через $\langle \text{Раздел}_i \rangle$, $\langle \text{Раздел}_j \rangle$ элементы этого множества (угловые скобки $\langle \ \rangle$ в данном случае обозначают элемент любого множества), то есть $\langle \text{Раздел}_i \rangle \in \text{Раздел}$ и $\langle \text{Раздел}_j \rangle \in \text{Раздел}$, где $i, j = 1..|\text{Раздел}|$, а $|\text{Раздел}|$ – мощность множества *Раздел* (для конечных множеств *мощность множества* – это число элементов [3]), тогда бинарное отношение *R* в инфиксной форме записи примет следующий вид:

$$\langle \text{Раздел}_i \rangle R \langle \text{Раздел}_j \rangle = (\langle \text{Раздел}_i \rangle, \langle \text{Раздел}_j \rangle) \in R \subset \text{Раздел} \times \text{Раздел} \quad (4)$$

или через подмножество декартова произведения (как множество упорядоченных кортежей) следующий вид:

$$\begin{aligned} R \subset \text{Раздел} \times \text{Раздел} &= \text{Раздел}^2 = \\ &= \{(\langle \text{Раздел}_i \rangle, \langle \text{Раздел}_j \rangle) \mid \langle \text{Раздел}_i \rangle \in \text{Раздел} \& \langle \text{Раздел}_j \rangle \in \text{Раздел}\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Если ввести в рассмотрение отношения на множествах классов объектов, событий, параметров объектов и т. д., то аналогичные формы записи примут следующий вид.

Для бинарного отношения *C* на множестве *КлассО* (классов объектов) инфиксная форма записи:

$$\begin{aligned} \langle \text{КлассО}_k \rangle C \langle \text{КлассО}_l \rangle &= \\ &= (\langle \text{КлассО}_k \rangle, \langle \text{КлассО}_l \rangle) \in C \subset \text{КлассО} \times \text{КлассО}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\langle \text{КлассО}_k \rangle$, $\langle \text{КлассО}_l \rangle$ ($k, l = 1..|\text{КлассО}|$) элементы множества *КлассО*, форма записи в виде множества упорядоченных кортежей:

$$\begin{aligned} C \subset \text{КлассО} \times \text{КлассО} &= \text{КлассО}^2 = \\ &= \{(\langle \text{КлассО}_k \rangle, \langle \text{КлассО}_l \rangle) \mid \langle \text{КлассО}_k \rangle \in \text{КлассО} \& \langle \text{КлассО}_l \rangle \in \text{КлассО}\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для бинарного отношения *E* на множестве *КлассС* (классов событий) инфиксная форма записи:

$$\begin{aligned} \langle \text{КлассС}_m \rangle E \langle \text{КлассС}_n \rangle &= \\ &= (\langle \text{КлассС}_m \rangle, \langle \text{КлассС}_n \rangle) \in E \subset \text{КлассС} \times \text{КлассС}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\langle \text{КлассС}_m \rangle$, $\langle \text{КлассС}_n \rangle$ ($m, n = 1..|\text{КлассС}|$) элементы множества *КлассС*, форма записи в виде множества упорядоченных кортежей:

$$\begin{aligned} E \subset \text{КлассС} \times \text{КлассС} &= \text{КлассС}^2 = \{(\langle \text{КлассС}_m \rangle, \langle \text{КлассС}_n \rangle) \mid \\ &\langle \text{КлассС}_m \rangle \in \text{КлассС} \& \langle \text{КлассС}_n \rangle \in \text{КлассС}\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Для бинарного отношения P на множестве $КлассПО$ (классов параметров объектов) инфиксная форма записи:

$$\begin{aligned} \langle КлассПО_o \rangle P \langle КлассПО_p \rangle &= \\ &= (\langle КлассПО_o \rangle, \langle КлассПО_p \rangle) \in P \subset КлассПО \times КлассПО, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\langle КлассПО_o \rangle, \langle КлассПО_p \rangle$ ($o, p = 1..|КлассПО|$) элементы множества $КлассПО$, форма записи в виде множества упорядоченных кортежей:

$$\begin{aligned} P \subset КлассПО \times КлассПО = КлассПО^2 = \{ (\langle КлассПО_o \rangle, \langle КлассПО_p \rangle) | \\ \langle КлассПО_o \rangle \in КлассПО \& \langle КлассПО_p \rangle \in КлассПО \}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для бинарного отношения O на множестве $ЭкзО$ (экземпляров объектов) инфиксная форма записи:

$$\langle ЭкзО_r \rangle O \langle ЭкзО_s \rangle = (\langle ЭкзО_r \rangle, \langle ЭкзО_s \rangle) \in O \subset ЭкзО \times ЭкзО, \quad (12)$$

где $\langle ЭкзО_r \rangle, \langle ЭкзО_s \rangle$ ($r, s = 1..|ЭкзО|$) элементы множества $ЭкзО$, форма записи в виде множества упорядоченных кортежей:

$$\begin{aligned} O \subset ЭкзО \times ЭкзО = ЭкзО^2 = \\ = \{ (\langle ЭкзО_r \rangle, \langle ЭкзО_s \rangle) | \langle ЭкзО_r \rangle \in ЭкзО \& \langle ЭкзО_s \rangle \in ЭкзО \}. \end{aligned} \quad (13)$$

Для бинарного отношения F на множестве $Папка$ (папок документов) инфиксная форма записи:

$$\langle Папка_t \rangle F \langle Папка_u \rangle = (\langle Папка_t \rangle, \langle Папка_u \rangle) \in F \subset Папка \times Папка, \quad (14)$$

где $\langle Папка_t \rangle, \langle Папка_u \rangle$ ($t, u = 1..|Папка|$) элементы множества $Папка$, форма записи в виде множества упорядоченных кортежей:

$$\begin{aligned} F \subset Папка \times Папка = Папка^2 = \\ = \{ (\langle Папка_t \rangle, \langle Папка_u \rangle) | \langle Папка_t \rangle \in Папка \& \langle Папка_u \rangle \in Папка \}. \end{aligned} \quad (15)$$

3. Имеет событие.

Этот вид отношений формально можно представить как n -е математическое отношение $ЭкзС$, которое характеризует факт или действие, происходящее с некоторым объектом в определенный момент или интервал времени, и является подмножеством декартова произведения множеств $КлассО$, $КлассС$, $ВремяНС$ (множество времен начала событий), $ВремяКС$ (множество времен конца событий):

$$\begin{aligned}
& \text{ЭкзС} \subset \text{КлассО} \times \text{ЭкзО} \times \text{КлассС} \times \text{ВремяНС} \times \text{ВремяКС} = \\
& = \{ \langle \text{ВремяНС} \rangle, \langle \text{ВремяКС} \rangle, \langle \text{КлассО} \rangle, \langle \text{ЭкзО} \rangle, \langle \text{КлассС} \rangle | \\
& \quad \langle \text{ВремяНС} \rangle \in \text{ВремяНС} \& \langle \text{ВремяКС} \rangle \in \text{ВремяКС} \& \\
& \quad \langle \text{КлассО} \rangle \in \text{КлассО} \& \langle \text{ЭкзО} \rangle \in \text{ЭкзО} \& \langle \text{КлассС} \rangle \in \text{КлассС} \}.
\end{aligned} \tag{16}$$

С другой стороны, если рассматривать экземпляры событий как вид отношений “часть/целое”:

$$\begin{aligned}
& \text{ЭкзС}_{e1} \in \text{ЭкзС}_e; \text{ЭкзС}_{e2} \in \text{ЭкзС}_e; \dots; \text{ЭкзС}_{em} \in \text{ЭкзС}_e \Leftrightarrow \\
& \text{ЭкзС}_e = \{ \text{ЭкзС}_{e1}, \text{ЭкзС}_{e2}, \dots, \text{ЭкзС}_{er} \}, \text{ где } e = 1..V; r = 1..W;
\end{aligned} \tag{17}$$

“входит/включает”:

$$\text{ЭкзС}_{e1..1} \subseteq \dots \subseteq \text{ЭкзС}_{e1} \subseteq \text{ЭкзС}_e \subseteq \text{ЭкзС}, \tag{18}$$

то есть имеет свою иерархию, то формально это можно представить как бинарное математическое отношение V в инфиксной форме записи:

$$\langle \text{ЭкзС}_\varepsilon \rangle V \langle \text{ЭкзС}_\rho \rangle = \{ \langle \text{ЭкзС}_\varepsilon \rangle, \langle \text{ЭкзС}_\rho \rangle \in T \subset \text{ЭкзС} \times \text{ЭкзС}, \tag{19}$$

где $\langle \text{ЭкзС}_\varepsilon \rangle, \langle \text{ЭкзС}_\rho \rangle$ ($\varepsilon, \rho = 1..|\text{ЭкзС}|$) элементы множества ЭкзС , или через n -е математическое отношение:

$$\begin{aligned}
& V \subset (\text{КлассО} \times \text{ЭкзО} \times \text{КлассС} \times \text{ВремяНС} \times \text{ВремяКС})^2 = \\
& = \{ \langle \text{ВремяНС}_i \rangle, \langle \text{ВремяКС}_i \rangle, \langle \text{КлассО}_i \rangle, \langle \text{ЭкзО}_i \rangle, \langle \text{КлассС}_i \rangle | \\
& \quad \langle \text{ВремяНС}_j \rangle, \langle \text{ВремяКС}_j \rangle, \langle \text{КлассО}_j \rangle, \langle \text{ЭкзО}_j \rangle, \langle \text{КлассС}_j \rangle \} | \\
& \quad \langle \text{ВремяНС}_i \rangle, \langle \text{ВремяНС}_j \rangle \in \text{ВремяНС} \& \\
& \quad \langle \text{ВремяКС}_i \rangle, \langle \text{ВремяКС}_j \rangle \in \text{ВремяКС} \& \\
& \quad \langle \text{КлассО}_i \rangle, \langle \text{КлассО}_j \rangle \in \text{КлассО} \& \\
& \quad \langle \text{ЭкзО}_i \rangle, \langle \text{ЭкзО}_j \rangle \in \text{ЭкзО} \& \langle \text{КлассС}_i \rangle, \langle \text{КлассС}_j \rangle \in \text{КлассС} \}.
\end{aligned} \tag{20}$$

4. Имеет характеристику.

Этот вид отношений формально можно представить как n -е математические отношения: – отношение H , которое описывает признаки экземпляров объектов или типов объектов определенного класса, являясь подмножеством декартова произведения множеств ТипХО (типов характеристик объектов) ($\text{ТипХО} = \text{ТипХОф} \cup \text{ТипХОп}$) (ТипХОф – тип фактических характеристик объектов; ТипХОп – тип паспортных характеристик объектов), КлассО , ТипО (типов объектов), ЕдИзмер (элементами множества ЕдИзмер являются все единицы измерений, рассматриваемые в модели), имеет вид:

$$\begin{aligned}
H &\subset \text{ТипХО} \times \text{КлассО} \times \text{ТипО} \times \text{ЕдИзмер} = \\
&= \{ \langle \text{ТипХО} \rangle, \langle \text{КлассО} \rangle, \langle \text{ТипО} \rangle, \langle \text{ЕдИзмер} \rangle \mid \langle \text{ТипХО} \rangle \in \text{ТипХО} \ \& \\
&\quad \langle \text{КлассО} \rangle \in \text{КлассО} \ \& \langle \text{ТипО} \rangle \in \text{ТипО} \ \& \langle \text{ЕдИзмер} \rangle \in \text{ЕдИзмер} \};
\end{aligned}
\tag{21}$$

– отношение X , которое описывает признаки определенных классов событий, являясь подмножеством декартова произведения множеств ТипХС (типов характеристик событий), КлассС , ЕдИзмер , имеет вид:

$$\begin{aligned}
X &\subset \text{ТипХС} \times \text{КлассС} \times \text{ЕдИзмер} = \\
&= \{ \langle \text{ТипХС} \rangle, \langle \text{КлассС} \rangle, \langle \text{ЕдИзмер} \rangle \mid \langle \text{ТипХС} \rangle \in \text{ТипХС} \ \& \\
&\quad \langle \text{КлассС} \rangle \in \text{КлассС} \ \& \langle \text{ЕдИзмер} \rangle \in \text{ЕдИзмер} \};
\end{aligned}
\tag{22}$$

– отношение J , которое описывает признаки параметров объектов, являясь подмножеством декартова произведения множеств ТипХПО (типов характеристик параметров объектов), КлассПО , КлассО , ЕдИзмер , имеет вид:

$$\begin{aligned}
J &\subset \text{ТипХПО} \times \text{КлассПО} \times \text{КлассО} \times \text{ЕдИзмер} = \\
&= \{ \langle \text{ТипХПО} \rangle, \langle \text{КлассПО} \rangle, \langle \text{КлассО} \rangle, \langle \text{ЕдИзмер} \rangle \mid \\
&\quad \langle \text{ТипХПО} \rangle \in \text{ТипХПО} \ \& \langle \text{КлассПО} \rangle \in \text{КлассПО} \ \& \\
&\quad \langle \text{КлассО} \rangle \in \text{КлассО} \ \& \langle \text{ЕдИзмер} \rangle \in \text{ЕдИзмер} \}.
\end{aligned}
\tag{23}$$

5. Имеет документ:

Этот вид отношений формально можно представить как n -е математическое отношение D , которое уточняет основные понятия модели, являясь подмножеством декартова произведения множеств Документ , Папка и понятий модели \mathfrak{A} :

$$\begin{aligned}
D &\subset \text{Документ} \times \text{Папка} \times \mathfrak{A} = \{ \langle \text{Документ} \rangle, \langle \text{Документ} \rangle, \langle \mathfrak{A} \rangle \mid \\
&\quad \langle \text{Документ} \rangle \in \text{Документ} \ \& \langle \text{Папка} \rangle \in \text{Папка} \ \& \langle \mathfrak{A} \rangle \in \mathfrak{A} \}.
\end{aligned}
\tag{24}$$

Теперь о функциях модели “объект – событие” (\mathbb{F}).

Функция – это математическое понятие, отражающее связь между элементами множеств. В модели “объект – событие” имеют место следующие функциональные зависимости:

а) *имеет тип*:

тип объекта (для объектов, схожих по нескольким значительным качественным признакам); формальное представление данной зависимости есть функция двух аргументов:

$$f : \Theta \rightarrow \text{ТипО} \Leftrightarrow \Theta \xrightarrow{f} \text{ТипО},
\tag{25}$$

где Θ – это некоторое множество, являющееся подмножеством декартова произведения множеств ЭкзО и ТипХОн ($\Theta \subset \text{ЭкзО} \times \text{ТипХОн}$), а функция f – это двухместное отображение. При этом элементы упорядоченного набора ($\langle \text{ЭкзО} \rangle$, $\langle \text{ТипХОн} \rangle$) называются аргу-

ментами (данной двухместной функции), каждый из которых принимает соответствующие значения из соответствующих множеств: $\langle ЭкзО \rangle \in ЭкзО$; $\langle ТунХОн \rangle \in ТунХОн$. Данное выражение можно записать в следующем виде:

$$\langle ТунО \rangle = f(\langle ЭкзО \rangle, \langle ТунХОн \rangle), \quad (26)$$

где $\langle ТунО \rangle \in ТунО$; $\langle ЭкзО \rangle \in ЭкзО$; $\langle ТунХОн \rangle \in ТунХОн$; (когда функция f сюръективна – каждому элементу множества прибытия может быть сопоставлен хотя бы один элемент области определения, говорят про такое отображение, как “отображение на”, если условие сюръективности нарушается, то такое отображение называют “отображением в”);

б) *имеет класс*:

- *класс объекта* (для типов объектов, схожих по нескольким значительным качественным признакам); формальное представление данной зависимости есть функция двух аргументов:

$$\alpha : \Psi \rightarrow \text{Класс}О \Leftrightarrow \Psi \xrightarrow{\alpha} \text{Класс}О, \quad (27)$$

где Ψ – это некоторое множество, являющееся подмножеством декартова произведения множеств $ТунО$ и $ТунХО$ ($\Psi \subset ТунО \times ТунХО$), а функция α – это двухместное отображение;

- *класс события* (для экземпляров событий, которые описываются одинаковыми наборами признаков); формальное представление данной зависимости есть функция четырех аргументов:

$$\beta : \Gamma \rightarrow \text{Класс}С \Leftrightarrow \Gamma \xrightarrow{\beta} \text{Класс}С, \quad (28)$$

где Γ – это некоторое множество, являющееся подмножеством декартова произведения множеств $ВремяНС$, $ВремяКС$, $ТунХС$ и множества имен, которыми впоследствии будет называться класс событий $name(Класс)$ ($\Gamma \subset ВремяНС \times ВремяКС \times name(Класс) \times ТунХС$), а функция β – это четырехместное отображение;

- *класс параметров объектов* (для совокупности характеристик параметров оборудования, устройств и прочих средств ПрО, выделенных по какому-либо принципу); формальное представление данной зависимости есть функция двух аргументов:

$$\gamma : \Omega \rightarrow \text{Класс}ПО \Leftrightarrow \Omega \xrightarrow{\gamma} \text{Класс}ПО, \quad (29)$$

где Ω – это некоторое множество, являющееся подмножеством декартова произведения множеств $ТунХПО$ и $ТунЗнПО$ ($\Omega \subset (ТунХПО \times ТунЗнПО)$), а функция γ – это двухместное отображение;

с) *имеет ограничение*: ограничения модели “объект – событие” направлены на поддержание целостности данных, в том числе и с использованием возможностей средств манипулирования данными.

Достаточно часто в теоретической математике функцию удобно определять как бинарное отношение, то есть как множество упорядоченных пар. И если это определение обобщить на случай функции многих аргументов, тогда можно говорить о том, что *функции* – это специальный случай отношений, в которых n -й элемент отношения однозначно определяется $(n - 1)$ предшествующими элементами.

Формально функции можно определить следующим образом:

$$\mathbb{F} : X_1 \times X_2 \times \dots \times X_{n-1} \rightarrow X_n. \quad (30)$$

Таким образом, и множество отношений между понятиями модели (\mathfrak{R}), и множество функций (\mathbb{F}) модели “объект – событие” проще и целесообразнее представлять в виде математических отношений, что далее и будет сделано.

Целостность данных

Уникальная идентификация объектов в модели достигается иерархическим именем экземпляра объекта в пределах рассматриваемой предметной области. То есть уникальным является экземпляр объекта, а все его характеристики, события, с ним происходящие, – это его определенные свойства, качества, состояния и т. д.

Но прежде чем рассматривать уникальность иерархического имени экземпляра объекта, необходимо учесть тот факт, что в модели “объект – событие” существуют и другие метаонтологии, которые также имеют свои иерархические имена и требуют их определенного учета при определении уникальной идентификации экземпляров объектов.

Итак, если рассматриваются отдельные иерархии разделов; классов объектов, событий, параметров объектов; папок документов, то формальный вид таких имен соответствует выражениям (3). Если же рассматривается совместная иерархия метаонтологий модели “объект – событие”, то такое иерархическое имя можно представить на некотором метаязыке (близком к языку модели данных – ЯМД [4]) следующим образом:

$$\begin{aligned} & \{ \text{Раздел} = \text{name}(\text{Раздел}_1) / \text{Раздел} = \text{name}(\text{Раздел}_{1_1}) / \dots / \\ & \text{Раздел} = \text{name}(\text{Раздел}_{1..x}) \} \gg \\ & [\text{Класс}O = \text{name}(\text{Класс}O_1); \\ & [\text{Тун}O = \text{name}(\text{Тун}O_1); \text{Класс}C = \text{name}(\text{Класс}C_1);] / \\ & \text{Класс}O = \text{name}(\text{Класс}O_{1_1}); \\ & [\text{Тун}O = \text{name}(\text{Тун}O_2); \text{Класс}C = \text{name}(\text{Класс}C_2);] / \dots / \\ & \text{Класс}O = \text{name}(\text{Класс}O_{1..n}); \quad (31) \\ & [\text{Тун}O = \text{name}(\text{Тун}O_m); \text{Тун}XO = \text{name}(\text{Тун}XO_1); \dots \\ & \text{Класс}C = \text{name}(\text{Класс}C_q); \text{Тун}XC = \text{name}(\text{Тун}XC_1); \dots] \gg \\ & [\text{Класс}ПО = \text{name}(\text{Класс}ПО_1); \\ & [/ \dots / \text{Класс}ПО = \text{name}(\text{Класс}ПО_{1..g}); \\ & [\text{Тун}ХПО = \text{name}(\text{Тун}ХПО_1); \dots]] \gg \\ & [\text{Папка} = \text{name}(\text{Папка}_1); [/ \dots / \text{Папка} = \text{name}(\text{Папка}_{1..y});]] \}, \end{aligned}$$

где символ / (*косая черта – слеш*) служит для задания иерархии соответствующих метаонтологий модели “объект – событие” (кроме классов событий и их экземпляров);

символ \gg служит разделителем между группами основных метаонтологий;
символ ; (*точка с запятой*) служит разделителем между основными метаонтологиями внутри группы;

другие символы взяты из расширенной формы системы обозначений Бэкуса-Наура (*BNF – Backus Naur Form*), а именно:

символ [] (*квадратные скобки*) определяет *необязательный элемент*; *многоточие* (...) используется для указания *необязательной возможности повторения конструкции от нуля до нескольких раз*; *фигурные скобки* { } с одной стороны определяют *обязательный элемент*, а с другой – с их помощью задается иерархия классов событий и экземпляров событий.

Например, имеется организационная структура “НАК Нафтогаз України”, в которую входят различные экземпляры объектов класса “Субъект” и типов объектов “ВАТ” и “ДК”. Причем объекты, входящие в класс “Субъект”, находятся в иерархической подчиненности так, что экземпляры объектов типа “ВАТ” включаются в состав экземпляров объектов типа “ДК”. Тогда имя, определяющее иерархическую зависимость классов объектов с определением их типов, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \{ \text{Раздел} = \text{НАК Нафтогаз України}; \gg \\ \text{Класс}O = \text{Субъект}; \text{Тип}O = \text{ДК}; / \text{Класс}O = \text{Субъект}; \text{Тип}O = \text{ВАТ}; \} \end{aligned} \quad (32)$$

Из данного примера видно, что в рассматриваемой ПрО (этот факт можно обобщить на все ПрО) допускается наличие класса объектов с одним и тем же именем (в данном случае – “Субъект”), имеющего несколько уровней иерархии, что на данном этапе (назовем его *этапом описания метаданных*) может вызвать некоторое непонимание. Но при рассмотрении конкретных экземпляров объектов (*этап описания данных*) эти иерархии становятся более понятными и объяснимыми.

Конкретизируем рассмотренный выше пример.

Имеется организационная структура “НАК Нафтогаз України”, в которую входят различные экземпляры объектов различных типов класса “Субъект”. Экземпляр объекта “Харківгаз” типа “ВАТ” подчинен экземпляру объекта “Газ України” типа “ДК”. Тогда иерархическое имя экземпляра объекта “Харківгаз” можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \{ \text{Раздел} = \text{НАК Нафтогаз України}; \gg \\ \text{Класс}O = \text{Субъект}; \text{Тип}O = \text{ДК}; \text{Экз}O = \text{Газ України}; / \\ \text{Класс}O = \text{Субъект}; \text{Тип}O = \text{ОАО}; \text{Экз}O = \text{Харківгаз}; \} \end{aligned} \quad (33)$$

Второй пример. Имеется организационная структура “Автопредприятие”, в котором работают люди различных профессий, в том числе водители. Отнесем последних к классу объектов “Водитель”, при этом тип объектов определять не будем (зададим его “-”). Тогда одно из иерархических имен в этом случае может иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \{ \text{Раздел} = \text{Автопредприятие}; \gg \\ \text{Класс}O = \text{Водитель}; \text{Тип}O = \text{-}; \text{Экз}O = \text{Иванов Иван Иванович}; \} \end{aligned} \quad (34)$$

Такое иерархическое имя однозначно идентифицирует экземпляр объекта (водителя) – Иванов Иван Иванович.

Третий пример. Пусть имеется организационная структура “НАК Нафтогаз України”, в которую входят различные экземпляры объектов различных типов и классов объектов. Например, имеются следующие объекты: экземпляр объекта “Газ України” типа “ДК” класса “Субъект” и экземпляр объекта “Харківгаз” типа “ВАТ” и тоже класса “Субъект”. При этом экземпляр объекта “Харківгаз” подчинен экземпляру объекта “Газ України”.

В момент времени 04.02.2005 00:00:00 экземпляру объекта “Газ України” поступает документ о поставке газа (этот факт можно представить как событие верхнего уровня иерархии “Поступление оперативного документа”). На основании этого документа экземпляр объекта “Газ України” поставляет газ различным экземплярам объектов класса “Субъект” (этот факт можно представить как событие “Поставка газа”, которое является подчиненным событием событию верхнего уровня иерархии “Поступление оперативного документа”), то есть поставка газа осуществляется согласно принятому документу. При этом собственно поставка газа экземпляром объекта “Газ України” другим экземплярам объектов класса “Субъект” (назовем их субъектами) осуществлялась с 04.02.2005 08:00:00 по 04.02.2005 10:00:00. Так, например, поставка газа экземпляру объекта “Харківгаз” от объекта “Газ України” происходила с 04.02.2005 08:00:00 по 04.02.2005 08:50:00 (этот факт можно представить как событие “Поставка газа”, которое, в свою очередь, является событием, подчиненным событию “Поставка газа” для объекта “Газ України”).

На формальном языке, с использованием иерархических имен, определяющих и связывающих экземпляры объектов “Газ України” и “Харківгаз”, данный пример можно представить следующим образом:

{Раздел = НАК Нафтогаз України; >>
КлассO = Субъект; ТипO = ДК; ЭКЗО=Газ України; >>
КлассC = Поступление оперативного документа от субъекта;
ВремяНС=04.02.2005 00 : 00 : 00; }

{КлассC = Поставка газа; ВремяНС=04.02.2005 08 : 00 : 00;
ВремяКС=04.02.2005 10 : 00 : 00; >>
КлассO = Субъект; ТипO = ДК; ЭКЗО=Газ України; >>
Раздел = НАК Нафтогаз України; } (35)

{КлассC = Поставка газа; ВремяНС=04.02.2005 08 : 00 : 00;
ВремяКС=04.02.2005 08 : 50 : 00; >>
КлассO = Субъект; ТипO = ОАО; ЭКЗО=Харківгаз; /
КлассO = Субъект; ТипO = ДК; ЭКЗО=Газ України; >>
Раздел = НАК Нафтогаз України; }.

Теперь обобщим данные примеры и представим в общем виде (подобно (31)) иерархические имена экземпляров объектов совместно с их характеристиками и связывающими событиями.

{Раздел = name(Раздел₁)/ / Раздел = name(Раздел₁₁)/ .../
Раздел = name(Раздел_{1...x})] >>
КлассO = name(КлассO₁); ТипO = name(ТипO₁); ЭкзO = name(ЭкзO₁); /
[КлассO = name(КлассO₁₁);
ТипO = name(ТипO₂); ЭкзO = name(ЭкзO₁₁); / ...
КлассO = name(КлассO_{1..n});
ТипO = name(ТипO_m); ЭкзO = name(ЭкзO_{1..ε});]
[ТипХО = name(ТипХО₁); ЗначХО = name(ЗначХО₁); ...] >>
[КлассC = name(КлассC_q); ВремяНС = date; [ВремяКС = date;]
ТипХС = name(ТипХС₁); ЗначХС = name(ЗначХС₁); ...] ...
[{КлассC = name(КлассC_γ); ВремяНС = date; [ВремяКС = date;] >>
КлассO = name(КлассO_{1..n});
ТипO = name(ТипO₁); ЭкзO = name(ЭкзO_{1..φ}); / .../
КлассO = name(КлассO₁); ТипO = name(ТипO₁);
ЭкзO = name(ЭкзO₁);] >>
Раздел = name(Раздел₁)/ / Раздел = name(Раздел₁₁)/ .../
Раздел = name(Раздел_{1...x})]}].

Или в более простом виде (только для экземпляров объектов):

{Раздел = name Раздел₁ ; / .../ Раздел = name Раздел_{1...x} ; >>
КлассO = name КлассO₁ ; ТипO = name Тип₁ ;
ЭкзO = name ЭкзO₁ ; / .../
КлассO = name КлассO_{1..n} ; ТипO = name Тип_m ;
ЭкзO = name ЭкзO_{1..r} ; }.

Может показаться, что такая идентификация достаточно громоздка, но она всегда информативна и имеет семантический смысл в отличие, например, от ничего не значащего *OID* в объектной модели и модели “объект – качество”, а также первичных ключей в модели “сущность – связь”. Кроме того, такое иерархическое имя экземпляра объекта позволяет контролировать иерархию классов объектов, экземпляров объектов этих классов, тем самым обеспечивая целостность данных, в том числе и ссылочную, подобно объектной модели. В объектной модели при рассмотрении связи вида “один-ко-многим” объекты на стороне связи “один” рассматриваются как предки, а объекты на стороне связи “многие” – как потомки, при этом потомков без предков не может быть. И для соблюдения ссылочной целостности требуется, чтобы для каждой ссылки существовал объект, на который она ссылается.

А если рассматривать полное иерархическое имя объекта с его свойствами, характеристиками, событиями, то в этом случае можно контролировать иерархию и всех остальных метаонтологий модели “объект – событие”. Подобного вида записи формируются для мета-

данных и данных любой рассматриваемой предметной области, что позволяет контролировать, а следовательно, и обеспечивать целостность данных (объектов, событий, характеристик и т. д.) на семантическом уровне, понятном не только специалистам информационных технологий, но и специалистам ПРО и конечным пользователям.

В модели “объект – событие” поддерживаются и другие ограничения целостности:

- ограничения на допустимые перечисляемые (списочные) значения характеристик объектов, событий, параметров объектов:

$$\begin{aligned}
 < \text{ЗначХО}_{\text{спис}} > \in \text{dom}(\text{ЗначХО}_{\text{спис}}^{\text{ПрО}}); \\
 < \text{ЗначХС}_{\text{спис}} > \in \text{dom}(\text{ЗначХС}_{\text{спис}}^{\text{ПрО}}); \\
 < \text{ЗначХПО}_{\text{спис}} > \in \text{dom}(\text{ЗначХПО}_{\text{спис}}^{\text{ПрО}}),
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

где выражение $\text{dom}(\text{ЗначХ} \dots^{\text{ПрО}}_{\text{спис}})$ означает домен соответствующих списочных значений для рассматриваемой предметной области;

- ограничения на единицы измерений, рассматриваемых характеристик объектов, событий, параметров объектов:

$$\begin{aligned}
 < \text{Единица измерений} > \in \text{dom}(\text{Единица измерений}) \Leftrightarrow \\
 < \text{Единица измерений} > \in \text{Единица измерений};
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

- ограничения на события: с одним экземпляром объекта в один и тот же момент (интервал) времени может происходить только одно событие одного класса. Данное ограничение формально можно представить с помощью следующего отношения V :

$$\begin{aligned}
 V = \{ < \text{ЭкзО}_i >, < \text{КлассС}_j >, < \text{ВремяНС}_j >, < \text{ВремяКС}_j >, \\
 < \text{ЭкзО}_x >, < \text{КлассС}_y >, < \text{ВремяНС}_y >, < \text{ВремяКС}_y > \} \\
 \exists < \text{ЭкзО}_i >, < \text{ЭкзО}_x > \in \text{ЭкзО} \ \& \ \exists < \text{КлассС}_j >, < \text{КлассС}_y > \in \text{КлассС} \ \& \\
 \exists < \text{ВремяНС}_j >, < \text{ВремяНС}_y > \in \text{ВремяНС} \ \& \\
 \exists < \text{ВремяКС}_j >, < \text{ВремяКС}_y > \in \text{ВремяКС} \ \& \\
 ((\forall n, t = 1.. | \text{ВремяНС} |) \ \& \ (n \neq t)) \ \& \ ((\forall k, v = 1.. | \text{ВремяКС} |) \ \& \ (k \neq v)) \\
 \neg \exists ((< \text{ЭкзО}_i >, < \text{КлассС}_j >, < \text{ВремяНС}_j^n >, < \text{ВремяКС}_j^k >, \\
 < \text{ЭкзО}_x >, < \text{КлассС}_y >, < \text{ВремяНС}_y >, < \text{ВремяКС}_y >) = \\
 (< \text{ЭкзО}_i >, < \text{КлассС}_j >, < \text{ВремяНС}_j^m >, < \text{ВремяКС}_j^v >, \\
 < \text{ЭкзО}_x >, < \text{КлассС}_y >, < \text{ВремяНС}_y >, < \text{ВремяКС}_y >)) \}.
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

Средства манипулирования данными

Средством манипулирования данными для модели “объект – событие” является специальный непроцедурный (декларативный) язык модели данных (ЯМД), который позволяет определять данные и манипулировать ими в терминологии, близкой к естественному языку.

Операторы языка модели данных близки по написанию к приведенным в (31)...(37) иерархическим идентифицирующим именам. ЯМД могут использовать для своих нужд различные специалисты и пользователи на протяжении всего жизненного цикла БД. Подробнее с языком модели данных можно ознакомиться в [4].

И в заключение, если рассматривать формализованное представление модели данных “объект – событие” ($\mathfrak{M} = \langle \mathfrak{A}, \mathfrak{R}, \mathfrak{F} \rangle$) в соответствии с современным определением модели данных, то его составляющие приобретают следующий смысл и трактовку: \mathfrak{A} и \mathfrak{R} являются определяющими структурную составляющую модели, а \mathfrak{F} – с одной стороны, является составляющей, определяющей структуру модели, а с другой – ее целостную и манипуляционную части.

Выводы. В сравнении с существующими семантическими моделями данных, модель данных “объект – событие” существенно расширяет так необходимые при проектировании БД возможности по адекватному отображению реального мира как динамической системы и обеспечивает сохранение сведений о свойствах и связях, которые либо являются актуальными и достоверными на текущий момент (состояние ПрО), либо их утратили.

Формальное описание модели “объект – событие”, представленное тройкой (кортежем) $\mathfrak{M} = \langle \mathfrak{A}, \mathfrak{R}, \mathfrak{F} \rangle$, проще и целесообразнее представлять в виде соответствующих математических отношений.

Использование формализмов модели “объект – событие” при описании конкретной ПрО способствует взаимопониманию в процессе проектирования баз данных специалистами различных областей знаний и квалификации.

Литература

1. Цикритзис Д. Модели данных : пер. с англ. / Д. Цикритзис, Ф. Лоховски. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 344 с.
2. Есин В. И. Семантическая модель данных “объект – событие” / В. И. Есин // Вісник Харківського національного університету. – 2010. – № 925. – С. 65–73 (Серія : “Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління” ; вип. 14).
3. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов / Новиков Ф. А. – СПб. : Питер, 2000. – 304 с.
4. Есин В. И. Язык описания и манипулирования данными, хранящимися в БД с УМД / В. И. Есин, М. В. Есина // Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях (КМНТ-2010) : междунар. науч.-техн. конф., 18–21 мая 2010 г. : тезисы докл. – Х. : Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, 2010. – Ч. 2. – С. 104–108.

