

Научная статья

УДК 004.652.8

doi: 10.17223/19988605/66/9

Использование IS-THE-графов для анализа иерархических структур данных

Алексей Михайлович Бабанов¹, Елена Сергеевна Квач²

^{1, 2} *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

¹ *babanov@mail.tsu.ru*

² *kvachelena93@gmail.com*

Аннотация. Определяются общие принципы представления иерархических структур, таких как специализации и категоризации в моделях данных, иерархии классов в ООП. Такое представление позволяет глубже анализировать семантику предметной области и решать задачу оптимальной универсальной реализации подобных структур в системах баз данных и объектно-ориентированных приложениях. Возможность для такого обобщения обеспечивают IS-THE-отношения и IS-THE-отображения, на основе которых строятся IS-THE-графы. Выделение по определенным правилам подграфов этих графов порождает известные в информатике виды иерархических структур: иерархию единичного наследования (иерархию специализации), граф выборочного наследования (двухуровневый граф категоризации), двухуровневый граф множественного наследования.

Ключевые слова: специализация; иерархия наследования; IS-A-отношение; IS-THE-отношение; IS-THE-граф.

Для цитирования: Бабанов А.М., Квач Е.С. Использование IS-THE-графов для анализа иерархических структур данных // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. № 66. С. 87–96. doi: 10.17223/19988605/66/9

Original article

doi: 10.17223/19988605/66/9

IS-THE graphs usage to analyze hierarchical data structures

Alexey M. Babanov¹, Elena S. Kvach²

^{1, 2} *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

¹ *babanov@mail.tsu.ru*

² *kvachelena93@gmail.com*

Abstract. The article defines the general principles for representing hierarchical structures, such as specializations and categorizations in data models, and class hierarchies in OOP. This representation allows a deeper analysis of the semantics of the subject area and solving the problem of optimal universal implementation of these structures in database systems and object-oriented applications. The possibility for such a generalization is provided by IS-THE relations and IS-THE mappings, on the basis of which IS-THE graphs are constructed. The selection of subgraphs of these graphs according to certain rules generates types of hierarchical structures known in computer science: a single inheritance hierarchy (a specialization hierarchy), a selective inheritance graph (a two-level categorization graph), a two-level multiple inheritance graph.

Keywords: specialization; inheritance hierarchy; IS-A relation; IS-THE relation; IS-THE graph.

For citation: Babanov, A.V., Kvach, E.S. (2024) IS-THE graphs usage to analyze hierarchical data structures. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 66. pp. 87–96. doi: 10.17223/19988605/66/9

Введение

Важным элементом семантики данных являются так называемые IS-A-отношения (отношения ЕСТЬ-НЕКОТОРЫЙ). Они впервые были определены и применялись в системах управления знаниями [1, 2]. С появлением в конце прошлого века семантической модели Extended Entity-Relationship Model (EERM) [3–6] эти отношения стало возможным представлять и при моделировании данных. Не обошла своим вниманием эти отношения и объектно-ориентированная парадигма программирования, использующая иерархии наследования [7]. Во время синтеза Entity-Relationship-Mapping Model (ERMM) была предпринята попытка переосмыслить этот феномен [8]. Основным принципом являлось следование безупречным логическим канонам при сохранении той функциональности, которая востребована в моделировании данных.

В информатике известные иерархические структуры, порожденные IS-A-отношениями, воспринимаются разрозненно, и нет общего понимания в представлении этих структур. В статье предлагается понятие IS-THE-отношения и рассматриваются разновидности таких отношений с использованием общеизвестных ассоциативно близких терминов кровного родства. На базе этих отношений с применением аппарата семантически значимых отображений строятся различные виды IS-THE-иерархий (или в общем случае – IS-THE-графов). Поскольку отображения очень тонко выражают семантику предметных областей (ПрО), представленные IS-THE-иерархии обеспечат возможность более точного, полного и детального описания закономерностей ПрО на этапе проектирования семантической схемы. Они позволят определить в схеме ограничения на допустимые данные и подобрать оптимальное представление этих данных в БД.

1. Понятие IS-THE-отношения

Практически каждый объект ПрО может подпадать под разные понятия о предметах. Этот факт влечет за собой представление объекта данными разных структур (сущностей, строк и т.д.) в базе данных (БД). Несмотря на это, требуется восстанавливать единство объекта, соединяя эти данные. Реализации универсального механизма такого соединения и посвящены усилия авторов. Но прежде всего требуется выработать строгий понятийный базис данного процесса. В этом помогут определяемые далее термины.

Два элемента объемов разных понятий связаны универсальным **IS-THE-отношением** (отношением ЕСТЬ-ЭТОТ) тогда и только тогда, когда они представляют один и тот же объект предметной области [9]. Например, фраза «Пациент Иванов ЕСТЬ ЭТОТ врач Иванов» описывает ситуацию с заболевшим врачом. IS-THE-отношение – это бинарное 1:1-отношение, определяющее пару взаимобратных функциональных **IS-THE-отображений** (рис. 1).

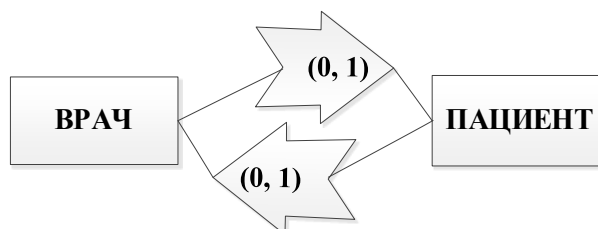


Рис. 1. Пример IS-THE-отображений между понятиями Врач и Пациент
Fig. 1. An example of IS-THE mappings between the concepts Doctor and Patient

Такие отображения могут быть полными или частичными. В примере они частичные (врач может не быть пациентом, и наоборот, пациент может не быть врачом). Кстати, приведенная фраза соответствует экземпляру одного из таких отображений. Экземпляру обратного отображения соответствует фраза «Врач Иванов ЕСТЬ ЭТОТ пациент Иванов». Таким образом, слова ЕСТЬ ЭТОТ отражают смысл именно экземпляра отображения, а не кортежа отношения. В этом есть определенная

преемственность, так как слова ЕСТЬ НЕКОТОРЫЙ (IS A) также отражают направленную связь. Например, «Пушкин есть некоторый поэт», но не наоборот – «поэт есть некоторый Пушкин». Заметим, что подходящих терминов для направленных отображений в языке гораздо больше, чем для нейтральных к направлению отношений.

В IS-THE-отношении и отображениях участвуют непосредственно объекты ПрО (когда речь идет о законе соответствия объектов) или их абстракции – данные (когда речь идет об аналогичном законе соответствия данных, представляющих объекты). Можно сказать, что IS-THE-отношение позволяет определить в каком-то смысле «близость» понятий: понятия близки (и между ними можно установить IS-THE-отношение) тогда и только тогда, когда найдется хотя бы один объект, подпадающий под оба эти понятия. Такая «близость» натолкнула авторов на проведение параллелей с близостью родственников в поисках простых подходящих терминов.

Структуры данных (множества сущностей, таблицы) предназначены для представления данных об объектах ПрО, и каждая из них соответствует определенному понятию (о предметах, *n*-ках предметов), экстенционал которого и представлен данными, принадлежащими этой структуре. Каждый объект ПрО определен в ней своей абстракцией (сущностью, строкой) в контексте этого понятия. Таким образом, один и тот же объект, подпадающий под разные понятия, может быть представлен в нескольких различных структурах данных. Именно между этими элементами-абстракциями одного и того же объекта и устанавливается IS-THE-отношение в данных.

Если известные трактовки IS-A-отношения связывают объект с классом (например, «Пушкин А.С. есть некоторый поэт») или класс с классом (например, «поэт есть некоторый человек»), то в IS-THE-отношения вступают только объекты (например, «поэт Пушкин А.С. есть этот человек Пушкин А.С.»). IS-THE-отношений между классом и его элементом быть не может. В этом одно из принципиальных отличий между этими отношениями.



Рис. 2. Пример IS-THE-графа
Fig. 2. An example of IS-THE graph

IS-THE-отношения, определенные на объемах понятий, представляются в схеме данных специальными универсальными бинарными взаимосвязями между соответствующими структурными компонентами – классами, с которыми ассоциируются понятия (рис. 2). Если представить понятия в виде вершин, а IS-THE-отношения – в виде ребер, то получится в общем случае граф – **IS-THE-граф**, или граф понятий и их IS-THE-отношений.

2. IS-THE-отношения в терминах родства

Упомянутая близость понятий, необходимая для построения IS-THE-отношения, наводит на мысль об уместности использования в качестве аналогий родственных отношений. Рассмотрим общепринятые определения, которые опубликованы в [10]:

«**Родство** есть отношение одного из членов рода к другому члену того же рода, причем род определяется как совокупность лиц, связанных кровной связью и происходящих от одного общего родоначальника. Близость родства определяется линиями и степенями. Каждое рождение образует одну **степень** (между человеком и его сыном одна степень, внуком – две и т.д.). Связь непрерывно продолжающихся рождений или степеней составляет **линию**. Лица считаются в родстве между собой

по прямой линии, если одно лицо происходит от другого лица (например, дед и внук). Лица, не происходящие одно от другого, но объединяемые общим родоначальником, состоят в родстве **по боковой линии** (братья, дядя и племянник). Каждая степень относительно примыкающей к ней линии называется коленом, а все лица одного колена образуют **поколение**».

Для полноты картины следует рассмотреть и **тождественное отношение родства**, в котором понятие находится само с собой (или с тождественным ему понятием). Ведь они тоже родственны, так как имеют совпадающих предков (самих себя).

Следует отметить, что в дальнейшем мы будем просто использовать введенные термины для отношений между понятиями. Не надо переносить первоначальный смысл этих терминов на IS-THE-графы. Граф родственных понятий (таких как отец, сестра) не является IS-THE-графом, поскольку это понятия не о предметах, а о парах предметов. Также не следует представлять себе генеалогическое дерево, как IS-THE-граф. Вершинами его являются предметы (люди), а не понятия.

Теперь рассмотрим различные виды IS-THE-отношений как родственные и проанализируем, какие IS-THE-отображения для них характерны.

Первым для рассмотрения выделим **родственное отношение тождества понятий**. Понятия A и B являются тождественными, если им всегда соответствуют одни и те же элементы. В этом случае максимальные и минимальные кардинальные числа обоих определяемых этим отношением отображений равны 1 (т.е. эти отображения полные функциональные).

Определим для тождественных понятий экстенционал и интенционал. Пусть A – множество или класс, который является экстенционалом (или объемом) понятия A , $A(x)$ – логическая формула или предикат, который определяет интенционал (или содержание) понятия A . Тогда $A = \{x \mid A(x)\}$. Для отношения тождества понятий $A = B$ (множества равны) и $A(x) = B(x)$ (формулы эквивалентны). Таким образом, для родственного отношения тождества понятий их интенционалы эквивалентны и экстенционалы равны.

По сути, тождественные понятия – это понятия-синонимы. Например, такое отношение связывает понятия «пациент» и «больной». Понятно, что пациент и больной являются понятиями-синонимами, и в жизни примеров тождественных понятий много: гражданин и физическое лицо, имидж и образ, подлинник и оригинал и т.д.

Отношение типа «предок–потомок», или его частный случай – отношение типа «род–вид», является **родственным отношением понятий по прямой линии**. При этом отношение «предок–потомок» может быть многоуровневым и соответствовать многократному произведению отношений «род–вид», а отношение «род–вид» всегда двухуровневое. Экстенционал понятия-предка (множество A) включает элементы экстенционала понятия-потомка (множество B). Например, рассмотрим понятия «человек» и «студент». Каждый студент является человеком, но не каждый человек является студентом. Это значит, что каждый объект, подпадающий под понятие «студент», одновременно удовлетворяет и содержанию понятия «человек».

В этом случае для IS-THE-отображения $B \rightarrow A$ минимальное и максимальное кардинальные числа равны 1, для обратного отображения $A \rightarrow B$ они равны 0 и 1 соответственно.

Для родственного отношения понятий по прямой линии можно утверждать, что $B(x) \Rightarrow A(x)$ ($A(x)$ является следствием $B(x)$), и $A \supseteq B$ (B – подмножество A). Таким образом, интенционал потомка – это интенционал предка, конъюнктивно дополненный видовым условием $B^{\wedge}(x): B(x) = A(x) \wedge B^{\wedge}(x)$. Экстенционал потомка – подмножество экстенционала предка.

Родственные отношения понятий по прямой линии возникают, например, между понятиями «студент» и «человек» (студент ЕСТЬ ЭТОТ человек (1,1), человек ЕСТЬ ЭТОТ студент (0,1)) или между понятиями «мужчина» и «человек» (мужчина ЕСТЬ ЭТОТ человек (1,1), человек ЕСТЬ ЭТОТ мужчина (0,1)).

Родственное отношение понятий по боковой линии возникает между понятиями A и B , расположенными на разных ветвях иерархии и имеющими общего предка. При этом A и B не связаны между собой отношением «предок–потомок». В этом случае минимальное и максимальное карди-

нальные числа обоих определяемых этим отношением IS-THE-отображений равны 0 и 1 соответственно.

Для родственного отношения понятий по боковой линии можно утверждать следующее. Оба интенционала таких понятий имеют совпадающую часть – интенционал общего предка. Экстенционалы понятий пересекаются, но, очевидно, не равны и не связаны отношением включения (в отличие от родственных отношений понятий по прямой линии).

Между шахтером и музыкантом может быть образовано родственное отношение понятий по боковой линии (шахтер ЕСТЬ ЭТОТ музыкант (0,1), музыкант ЕСТЬ ЭТОТ шахтер (0,1)). В тех случаях, когда врач заболел и обратился в больницу, между врачом и пациентом возникает такое же отношение (врач ЕСТЬ ЭТОТ пациент (0,1), пациент ЕСТЬ ЭТОТ врач (0,1)). Действительно, совпадающей частью содержаний указанных в примерах понятий является интенционал их общего предка – понятия «человек».

3. IS-THE-графы

Используя IS-THE-отношения между понятиями, можно формировать IS-THE-графы. Причем у каждой вершины, как правило, имеется не более одной родительской вершины, но есть исключения в редких случаях множественного наследования и категоризации. Поэтому, строго говоря, получающиеся IS-THE-графы не всегда являются деревьями, и в них можно встретить самые разнообразные IS-THE-отношения. Тем не менее в каждом IS-THE-графе можно выделить подграфы, образованные родственными отношениями понятий одного из трех представленных ранее типов.

Поскольку весь IS-THE-граф разбивается на множество IS-THE-подграфов в соответствии с бинарными IS-THE-отношениями, большую роль играет умение анализировать эти подграфы. Прежде всего, важно определить суперкласс (родительское понятие верхнего уровня) для этого подграфа. Дело осложняется тем, что в случаях множественного наследования и категоризации их будет несколько, но все они будут являться суперклассами. Если содержание (интенционал) понятия не включает содержание других понятий подграфа, это понятие является суперклассом. И наоборот, если содержание понятия включает целиком содержание понятия-суперкласса, такое понятие является подклассом этого понятия-суперкласса.

В зависимости от типа родственных IS-THE-отношений могут быть образованы различные варианты IS-THE-подграфов: родственное отношение тождества понятий образует полный граф тождественных понятий, родственные отношения понятия-суперкласса с подклассами по прямой линии – иерархию единичного наследования (иерархию специализации), родственные отношения понятий-суперклассов с одним и тем же подклассом по прямой линии при наличии IS-THE-отношений по боковой линии между суперклассами – двухуровневый граф множественного наследования, родственные отношения понятий-суперклассов с одним и тем же подклассом по боковой линии при отсутствии IS-THE-отношений между суперклассами – граф выборочного наследования (двухуровневый граф категоризации).

4. Представление двухуровневых IS-A-отношений как комбинации IS-THE-отношений

4.1. Полный граф тождественных понятий

В случае, когда между всеми классами IS-THE-подграфа наблюдаются родственные отношения тождества, содержания (интенционалы) всех понятий эквивалентны: $A_1(x) = A_2(x) = \dots = A_n(x)$. Все понятия равноправны, выделить суперклассы и подклассы не представляется возможным (точнее, они все являются одновременно и суперклассами, и подклассами). Все классы включают одни и те же элементы, поэтому максимальные и минимальные кардинальные числа всех IS-THE-отображений между классами равны 1 (рис. 3).

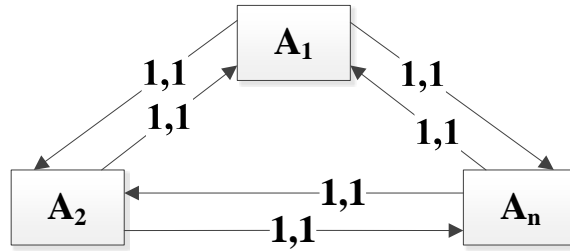


Рис. 3. Граф тождественных понятий
Fig. 3. Identity concept graph

Примером графа тождественных понятий является, например, граф, образованный IS-THE-отношениями понятий *множество*, *класс* и *совокупность*. Считаем эти термины синонимичными, хотя это не всегда так. При этом имеем следующие IS-THE-отображения: *множество ЕСТЬ ЭТОТ класс* $(1,1)$ и обратное отображение *класс ЕСТЬ ЭТО множество* $(1,1)$; *множество ЕСТЬ ЭТА совокупность* $(1,1)$ и обратное отображение *совокупность ЕСТЬ ЭТО множество* $(1,1)$; наконец, *совокупность ЕСТЬ ЭТОТ класс* $(1,1)$ и обратное отображение *класс ЕСТЬ ЭТА совокупность* $(1,1)$.

4.2. Иерархия единичного наследования (иерархия специализации)

Полное единичное наследование возникает, когда подклассы (один или несколько) состоят в отношении родства по прямой линии только с одним суперклассом (соответствующие видовые понятия связаны только с одним родовым понятием). Таким образом, в этом случае между суперклассом и всеми подклассами наблюдаются отношения родства по прямой линии – для прямого отображения максимальное и минимальное кардинальные числа равны $(0,1)$, для обратного отображения – $(1,1)$. Между подклассами в таком случае характерно отношение родства по боковой линии – для обоих отображений максимальное и минимальное кардинальные числа равны $0,1$ (рис. 4).

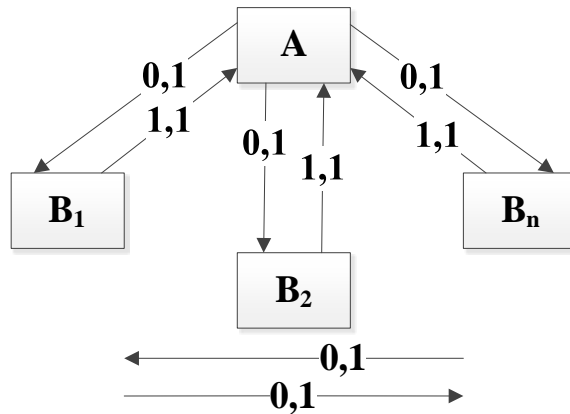


Рис. 4. Иерархия единичного наследования
Fig. 4. Single inheritance hierarchy

Связующим элементом иерархии является суперкласс. В данном случае критерии для суперкласса и подкласса выполняются и, соответственно, содержание суперкласса A не включает содержание подкласса B_1 . Содержание подкласса $B_1 = \{x \mid A(x) \wedge B_1'(x)\}$, где $A(x)$ – содержание суперкласса A , $B_1'(x)$ – дополнительное видовое условие подкласса B_1 . Аналогично для подклассов B_2 и B_n . Таким образом, подкласс включает элементы суперкласса, для которых выполняется дополнительное условие подкласса.

В качестве примера иерархии единичного наследования можно рассмотреть классификацию транспортных средств. В этом случае возникают IS-THE-отношения родства по прямой линии между суперклассом и подклассами, представленные отображениями: *транспортное средство (ТС) ЕСТЬ*

ЭТО сухопутное ТС (0,1) и обратное отображение сухопутное ТС ЕСТЬ ЭТО транспортное средство (1,1); или сухопутное ТС ЕСТЬ ЭТО дорожное ТС (1,1) и обратное – дорожное ТС ЕСТЬ ЭТО сухопутное ТС (0,1) и т.д.

IS-THE-отношения родства по боковой линии между подклассами представлены отображениями: *воздушное ТС ЕСТЬ ЭТО водное ТС (0,1)* и обратное отображение *водное ТС ЕСТЬ ЭТО воздушное ТС (0,1)*, например гидросамолет. Еще одна пара отображений: *дорожное ТС ЕСТЬ ЭТО железнодорожное ТС (0,1)*, обратное – *железнодорожное ТС ЕСТЬ ЭТО дорожное ТС (0,1)*, например автомобильно-железнодорожное транспортное средство и т.д. Действительно, суперкласс *транспортное средство* является связующим элементом иерархии. Содержания подклассов включают содержание понятия *ТС* и дополнительные условия, которыми в данном случае являются среда передвижения (суша, воздух и вода) и характер дороги (автомобильная и железная).

4.3. Граф выборочного наследования (двухуровневый граф категоризации)

Выборочное наследование возникает в случае, если между подклассом и всеми его суперклассами существует отношение родства по боковой линии, а между суперклассами вовсе отсутствуют отношения родства. То есть суперклассы не содержат одних и тех же элементов ПрО и настолько различны, что не имеют общего предка. Другими словами, содержания суперклассов попарно несовместимы. Суперклассы не включают содержание подкласса *D*. Связующим элементом иерархии является подкласс-категория. Каждый элемент подкласса-категории наследует признаки только одного суперкласса – того, где содержится связанный с ним родительский элемент. Между суперклассами нет IS-THE-отображений, между суперклассами и подклассом имеются отображения, определяемые отношением родства по боковой линии, максимальные и минимальные кардинальные числа равны 0,1 (рис. 5).

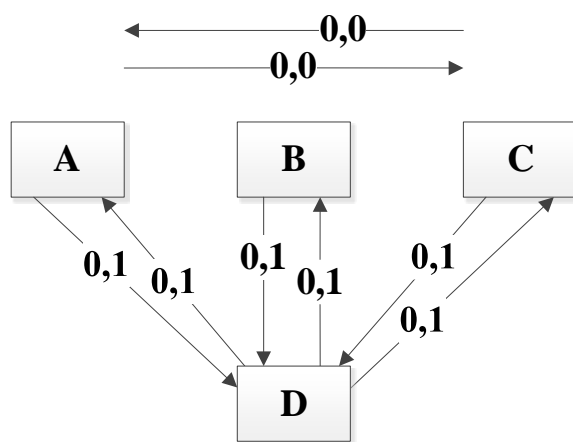


Рис. 5. Граф выборочного наследования
Fig. 5. Selective inheritance graph

Содержание понятия-категории (подкласса) $D = \{x \mid (A(x) \vee B(x) \vee C(x)) \wedge D'(x)\}$, где $A(x)$ – содержание суперкласса A , $B(x)$ – содержание суперкласса B , $C(x)$ – содержание суперкласса C , а $D'(x)$ – дополнительное условие подкласса. Другими словами, первая часть логического выражения – дизъюнкция содержаний понятий-суперклассов, а вторая часть – условие, которому должны удовлетворять элементы понятий-суперклассов, чтобы быть представленными в категории.

В качестве примера иерархии категоризации можно рассмотреть категорию «субъект гражданского права». Как уже отмечалось ранее, между суперклассами (физическое лицо и юридическое лицо) отсутствуют IS-THE-отношения. IS-THE-отношения родства по боковой линии между подклассом и суперклассами представлены отображениями: *физическое лицо ЕСТЬ ЭТОТ субъект гражданского права (0,1)* и обратное отображение *субъект гражданского права ЕСТЬ ЭТО физическое лицо (0,1)*;

юридическое лицо *ЕСТЬ ЭТОТ* субъект гражданского права (0,1), обратное – субъект гражданского права *ЕСТЬ ЭТО* юридическое лицо (0,1).

4.4. Граф множественного наследования

Отличительной характеристикой множественного наследования является участие класса в качестве подкласса в нескольких отношениях родства по прямой линии (соответствующее видовое понятие C_m связано с несколькими родовыми понятиями – B_2 и B_n). Аналогично иерархии единичного наследования между суперклассами и подклассом возникает отношение родства по прямой линии – для прямого отображения максимальное и минимальное кардинальные числа равны 0,1, для обратного отображения 1,1. Между суперклассами определено отношение родства по боковой линии – для обоих отображений максимальное и минимальное кардинальные числа равны 0,1 (рис. 6).

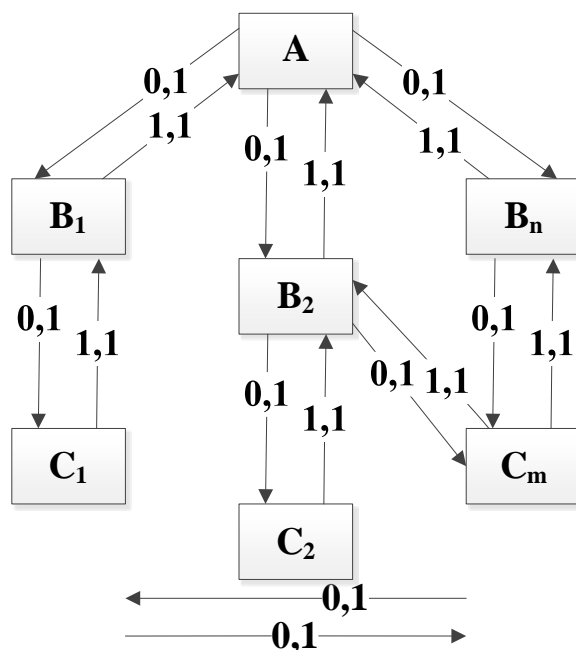


Рис. 6. Граф множественного наследования
Fig. 6. Multiple inheritance graph

Содержание понятия-подкласса $C_m = \{x \mid (B_2(x) \wedge B_n(x)) \wedge C_m(x)\}$, где $B_2(x)$ – содержание понятия-суперкласса B_2 , $B_n(x)$ – содержание понятия-суперкласса B_n , $C_m(x)$ – дополнительное условие подкласса C_m . Другими словами, первая часть логического выражения – конъюнкция условий содержаний понятий-суперклассов, а вторая часть – условие, которому должны удовлетворять элементы этих понятий, чтобы быть представленными в подклассе.

Так, класс *обучающийся сотрудник* участвует в качестве подкласса в двух отношениях родства по прямой линии: *обучающийся ЕСТЬ ЭТОТ обучающийся сотрудник* (0,1) и обратное отображение *обучающийся сотрудник ЕСТЬ ЭТОТ обучающийся* (1,1), *сотрудник ЕСТЬ ЭТОТ обучающийся сотрудник* (0,1), обратное – *обучающийся сотрудник ЕСТЬ ЭТОТ сотрудник* (1,1). Между *обучающимся* и *сотрудником* – IS-THE-отношения родства по боковой линии.

Заключение

Статья представляет собой попытку строгого определения иерархических структур данных, основанных на IS-A-отношениях. Этой цели удалось достичь благодаря введению понятий IS-THE-отношений и IS-THE-отображений, а также использованию для анализа последних аппарата теории

семантически значимых отображений. Для упрощения понимания материала в качестве терминов использована лексика родственных отношений.

Все IS-ТНЕ-отношения в зависимости от характеристик их отображений разбиты на подклассы: родственные отношения тождества понятий, родственные отношения понятий по прямой линии, родственные отношения понятий по боковой линии. На основании IS-ТНЕ-отношений между понятиями строятся IS-ТНЕ-графы, вершинами которых являются понятия.

Выделение по определенным правилам подграфов этих IS-ТНЕ-графов порождает известные в информатике виды иерархических структур: иерархию единичного наследования (иерархию специализации), граф выборочного наследования (двухуровневый граф категоризации), двухуровневый граф множественного наследования.

Поскольку отображения очень тонко выражают семантику предметных областей, представленные IS-ТНЕ-иерархии обеспечат возможность более точного, полного и детального описания закономерностей ПРО на этапе проектирования семантической схемы. Они позволяют также определить в схеме ограничения на допустимые данные и подобрать оптимальное представление этих данных в БД.

Список источников

1. Brachman R.J. What IS-A Is and Isn't. An Analysis of Taxonomic Links in Semantic Networks // *IEEE Computer*. 1983. V. 16 (10). P. 30–36.
2. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: a Modern Approach* (Pearson Series in Artificial Intelligence). 4th ed. Pearson, 2020. 1136 p.
3. Teorey T., Yang D., Fry J. A Logical Design Methodology for Relational Databases Using the Extended Entity-Relationship Model // *Computing Surveys*. 1986. V. 18 (2). P. 197–222.
4. Thalheim B. Extended Entity-Relationship Model // *Encyclopedia of Database Systems*. Springer, Boston, MA, 2009. P. 1083–1091.
5. Elmasri R., Navathe S. *Fundamentals of Database System*. 7th ed. Pearson / Addison Wesley, 2017. 1272p.
6. Connolly T., Begg C. *Database Systems: a Practical Approach to Design, Implementation, and Management*. Global ed. (Paperback, 6th ed.). Pearson, 2015. 1440 p.
7. Ryan M.K. Mastering OOP: a Practical Guide to Inheritance, Interfaces, and Abstract Classes. // *Smashing Magazine*. 2019. V. 27. P. 95–132.
8. Бабанов А.М. Семантическая модель «Сущность – Связь – Отображение» // *Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. 2007. № 1. С. 77–91.
9. Бабанов А.М., Квач Е.С. «IS-ТНЕ»-отношения в семантических моделях данных: основные понятия и разновидности // *Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. 2016. № 1 (34). С. 69–78.
10. Лыкошин А.С., Тривус М.Л. Родство // *Энциклопедический словарь*. СПб. : Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон, 1889. Т. XXVIA (52): Резонанс и резонаторы – Роза ди-Тиволи. С. 922–926.

References

1. Brachman, R.J. (1983) What IS-A Is and Isn't. An Analysis of Taxonomic Links in Semantic Networks. *IEEE Computer*. 16(10). pp. 30–36.
2. Russell, S. & Norvig, P. (2020) *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (Pearson Series in Artificial Intelligence). 4th ed. Pearson.
3. Teorey, T., Yang, D. & Fry J. (1986) A Logical Design Methodology for Relational Databases Using the Extended Entity-Relationship Model. *Computing Surveys*. 18(2). pp. 197–222.
4. Thalheim, B. (2009) Extended Entity-Relationship Model. In: *Encyclopedia of Database Systems*. Springer, Boston, MA. pp. 1083–1091
5. Elmasri, R. & Navathe, S. (2015) *Fundamentals of Database System*. 7th ed. Pearson/Addison Wesley.
6. Connolly, T. & Begg, C. (2015) *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management*. 6th ed. Pearson.
7. Ryan, M.K. (2019) Mastering OOP: A Practical Guide to Inheritance, Interfaces, and Abstract Classes. *Smashing Magazine*. 27. pp. 95–132.
8. Babanov, A.M. (2007) Semantic model "Entity – Relationship – Mapping." *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 1(1). pp. 77–91.

9. Babanov, A.M. & Kvach, E.S. (2016) "IS-THE"-relations in semantic data models: basic notions and variants. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 1(34). pp. 69–78.
10. Lykoshin, A.S. & Trivus, M.L. (1889) Rodstvo [Kinship]. In: Brokgauz, F.A. & Efron, I.A. (eds) *Entsiklopedicheskiy slovar'* [Encyclopedic Dictionary]. Vol. 52. St. Petersburg. pp. 922–926.

Информация об авторах:

Бабанов Алексей Михайлович – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: babanov2000@mail.ru

Квач Елена Сергеевна – аспирант кафедры программной инженерии Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: kvachelena93@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Babanov Alexey M. (Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering at the Institute of Applied Mathematics and Computer Science, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation). E-mail: babanov2000@mail.ru.

Kvach Elena S. (Post-graduate Student of the Department of Software Engineering, Institute of Applied Mathematics and Computer Science, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation). E-mail: kvachelena93@gmail.com.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию 23.11.2023; принята к публикации 05.03.2024

Received 23.11.2023; accepted for publication 05.03.2024