

2.3. Ограничения целостности

В предыдущем параграфе мы рассмотрели представления структур данных. Структурные спецификации отражают, в том числе, и некоторые свойства данных. Например, определение атрибута на некотором домене указывает на то, что все значения атрибута должны удовлетворять условию принадлежности к этому множеству.

Подобные спецификации не исчерпывают и не могут исчерпывать свойства данных, которые целесообразно представлять в моделях данных. В этой связи необходимы дополнительные средства выражения ограничений на значения данных и их соотношения.

Определение 2.3.1. Ограничение целостности (ОЦ) (англ. integrity constraint) можно представлять себе как логическое условие, которое для реализации данного множества, атрибута, отношения или нескольких отношений либо истинно, либо ложно.

ОЦ не всегда задаются в виде явного логического выражения, синтаксически они могут представлять собой просто декларацию определенных фактов. Однако механизм проверки ОЦ СУБД всегда использует их именно как логические условия, поскольку его задача – обеспечивать, чтобы для любого состояния БД все ОЦ, декларированные в ее схеме, были истинными.

В моделировании данных особую значимость имеют обобщенные ОЦ, т.е. ограничения, относящиеся к интенциональным свойствам данных, а не к свойствам данных конкретной реализации. Это значит, что ОЦ фиксируют в схеме общие закономерности данных о ПрО, которые выполнялись в прошлом, наблюдаются сейчас и будут справедливы и в будущем.

ОЦ вводятся в модели данных в целях повышения ее семантической и расширения возможностей поддержания целостности данных. Первый аспект связан с адекватностью отражения реального мира в схеме, а второй – с возможностями СУБД обеспечивать соответствие порождаемых состояний БД требованиям, выражаемым ОЦ.

Иногда выделяют внутренние и явные ОЦ. Первые тесно связаны с правилами структуризации, предполагаются самими формами данных и не требуют никаких дополнительных деклараций. Например, отсутствие дубликатов во множестве или отношении. Диапазон возможностей внутренних ограничений весьма узок. Поэтому в моделях данных предусматривают правила задания явных ОЦ, существенно расширяющие возможности передачи в схеме БД закономерностей ПрО. Для этого же в языке СУБД существуют специальные команды или опции команд для задания явных ОЦ. Чем больше ограничен диапазон структур данных, на представление которых ориентирована модель, тем большее число видов внутренних ОЦ она предусматривает и тем меньшее число видов явных ОЦ необходимо и возможно задавать.

В рамках анализа, относящегося к существу ограничений, мы будем рассматривать их как явные. Спецификация таких ОЦ обладает автономией по отношению к структурным спецификациям и реализуется средствами языка описания ограничений. Специальные механизмы проверяют их непротиворечивость и обеспечивают реализацию алгоритмов контроля соответствия БД специфицированным в схеме ОЦ.

Различают спецификации декларативных и процедурных ОЦ. Первые представляют собой декларации свойств данных в командах определения данных или ограничений целостности. Именно такие ограничения мы и будем рассматривать в дальнейшем. Эффективные алгоритмы проверки этих ОЦ реализованы в СУБД и не требуют дополнительного программирования. В случае недостаточности выразительных возможностей декларативных ОЦ, предусмотренных в модели данных, прибегают к процедурным средствам определения ОЦ. Многие СУБД предоставляют средства для программных проверок требуемых свойств данных на языке сервера (в виде триггеров). Как правило, они предусматривают достаточно мощный язык программирования, на котором можно алгоритмически выразить любые необходимые ОЦ. По степени

эффективности программы проверок данных, реализованные на сервере БД, хотя и уступают возможностям аппарата верификации декларативных ОЦ, все-таки превосходят программные проверки данных на стороне клиентского приложения. К последним надо прибегать в последнюю очередь.

Кроме того, первые два способа задания ОЦ гарантируют верификацию состояния БД при любых манипуляциях с ней, в отличие от клиентских проверок, которые выполняются только тогда, когда пользователь взаимодействует с БД исключительно с помощью этого приложения. При доступе к БД через другие программы такие проверки естественно не осуществляются.

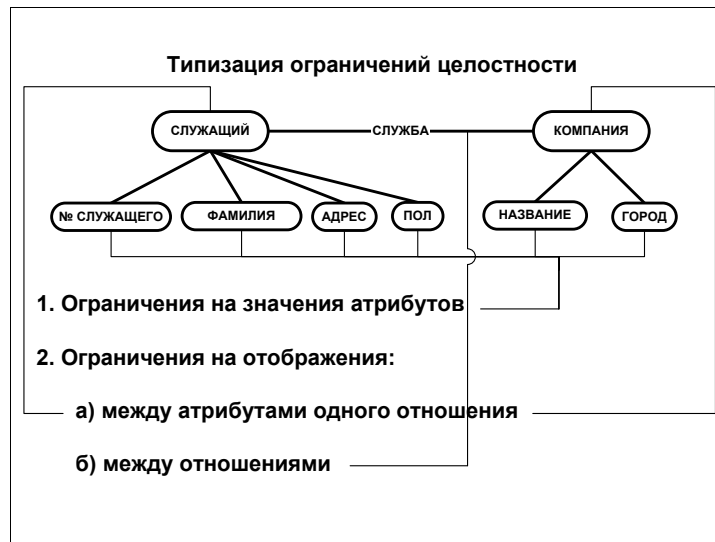
С процессом верификации декларативных ОЦ в СУБД связан ряд определений.

Определение 2.3.2. Рассмотрим явное ограничение C_i , указанное в схеме S и состоянии БД DBS_k . Это ограничение будет:

- 1) **правильно построено**, если оно соответствует синтаксическим правилам задания ОЦ;
- 2) **удовлетворено состоянием** БД DBS_k , если оно истинно для него;
- 3) **удовлетворяемо**, если существует некоторое состояние БД DBS_k , удовлетворяющее C_i ;
- 4) **недостоверно**, если никакое состояние БД не удовлетворяет C_i ;
- 5) **логическим следствием** C_1, \dots, C_n (т.е. избыточным ограничением), если C_i удовлетворяют все состояния БД, которые удовлетворяют C_1, \dots, C_n ;
- 6) **эквивалентно** C_j , если C_i и C_j – логические следствия друг друга.

Состояние БД удовлетворяет схеме, если это состояние удовлетворяет всем ее ограничениям. **Схема удовлетворяема**, если существует некоторое состояние БД, удовлетворяющее ей. **Схема противоречива**, если никакое состояние БД ей не удовлетворяет. Работоспособная схема должна быть удовлетворяема.

Далее рассмотрим типы ограничений целостности, наиболее распространенные в моделировании данных.



Большинство ОЦ можно отнести к одному из следующих типов:

1. Ограничения на значения атрибутов.
2. Ограничения на отображения:
 - а) между атрибутами одного отношения,
 - б) между отношениями.

На схеме показаны области действия каждого из типов ОЦ.

Так областью действия ОЦ первого типа являются отдельные атрибуты. Редко, но встречаются случаи, когда они действуют на несколько атрибутов одного отношения. В любом случае с их помощью задаются области допустимых значений атрибутов. Разновидностей ограничений первого типа относительно немного, и все они весьма просты для понимания человеком и проверки в СУБД. Ее задачей является обеспечение того, чтобы для каждого кортежа отношения после подстановки значений указанных в таких ОЦ атрибутов эти ограничения выполнялись.

Естественно, что ограничения задаются не только для атрибутов, но и для типов объектов и связей. Может быть ограничено, например, число служащих, которые работают в определенном отделе. Важным классом таких ограничений, обладающих достаточной общностью, является класс ограничений, задаваемых на отображения между атрибутами и отношениями.

Как может показаться странным людям, не знакомым с понятием «отображение», но все остальные известные ОЦ образуют этот второй тип. Сюда попадают и ключи, и ограничения ссылочной целостности, и обязательность значения атрибута, и многое другое. Более того, через понятие отображения возможно выражение многих таких ОЦ, которые до сих пор выражались либо на естественном языке, либо на языке логики предикатов первого порядка, либо на языке программирования.

В зависимости от того, какие множества рассматриваются в качестве областей определения и значений отображения, выделяют два подтипа ОЦ 2-го типа. В первом случае рассматриваются отображения между атрибутами одного отношения, во втором случае – между отношениями. Областью действия ОЦ в первом случае является одно отношение, как агрегат атрибутов. ОЦ второго подтипа могут охватывать несколько отношений (чаще всего – два), поскольку они отражают закономерности взаимосвязей между кортежами этих отношений.

В примере на слайде ОЦ на отображения между атрибутами действуют на отношения, представляющие типы объектов *СЛУЖАЩИЙ* и *КОМПАНИЯ*. ОЦ на отображения между отношениями ассоциируются с отношением *СЛУЖБА*, представляющим бинарный тип связей. Это отношение можно рассматривать как агрегат

отношений *СЛУЖАЩИЙ* и *КОМПАНИЯ*. Естественно, что закономерности их взаимодействия находят свое отражение именно в ОЦ последнего типа.

1) Ограничения целостности на значения атрибутов

Множество допустимых значений атрибутов можно задавать:

- 1) принадлежностью к определенному типу или домену
Рост INTEGER
- 2) сравнением с константой или значением атрибута того же отношения (возможны более сложные выражения)
Рост > 50 или Рост > Вес + 110
- 3) диапазоном
Рост BETWEEN 50 AND 300
- 4) перечислением значений
Пол IN {'м', 'ж'}
- 5) более сложным логическим выражением, включающим в виде атомов конструкции 2 – 4
(Пол = 'ж' AND Рост > Вес + 110) OR
(Пол = 'м' AND Рост > 180)

На слайде представлены наиболее часто встречающиеся варианты ОЦ первого типа. Как уже отмечалось, их задача – максимально сузить область допустимых значений атрибута и, таким образом, исключить возможность появления в БД недостоверных значений. Добиваясь этой цели, тем не менее, не следует забывать об общности ОЦ – им должны удовлетворять все состояния БД.

Приведенные правила порождения ОЦ на значения атрибутов поддерживаются практически в любой модели данных, однако иногда встречаются и дополнительные возможности, о которых мы поговорим в свое время. Пока важно понять назначение, область действия и основные виды ОЦ первого типа.

По поводу ОЦ, определяющих принадлежность атрибута к тому или иному типу значений или домену, следует сделать одно замечание. Их можно трактовать как:

- структурное определение,
- внутреннее ограничение целостности,
- явное ограничение целостности.

Действительно, в разных моделях данных и СУБД превалируют различные точки зрения на этот счет. В этом параграфе мы, как и договаривались, предпочитаем трактовать их как явные ОЦ.

Отображение в математике

Отображение (функция, оператор) есть закон соответствия, сопоставляющий каждому элементу множества A некоторый (единственный) элемент множества B . $\varphi: A \rightarrow B$ означает, что задано отображение A в B , называемое φ .

Классификация Кофмана

Соответствие Γ между множествами E_1 и E_2 определено, если задан обычный граф $G \subseteq E_1 \times E_2$. Тогда говорят, что G – граф соответствия Γ , E_1 – область определения, а E_2 – область значений Γ . Соответствие, обратное Γ , обозначается Γ^{-1} , и E_2 – область определения, а E_1 – область значений Γ^{-1} .

Отображением множества E_1 во множество E_2 называется такое соответствие, которое любому $x \in E_1$ сопоставляет, по крайней мере, один $y \in E_2$. Тогда говорят, что элемент y – образ элемента x , а x – переменная или аргумент.

Функцией E_1 в E_2 называется такое отображение, которое каждому $x \in E_1$ сопоставляет один и только один $y \in E_2$.

Прежде чем переходить к обсуждению ОЦ второго типа, необходимо познакомиться с самим понятием «отображение», являющимся одним из самых важных в моделировании данных и, тем не менее, часто предаваемым забвению. Это понятие так же, как и понятие «отношение», имеет различные трактовки, используемые в различных областях знаний. Как и ранее, обратимся к математике, в частности, к теории множеств.

В теории множеств понятие функции, геометрическое понятие отображения или преобразования фигуры и т. п. объединяются в общее понятие отображения одного множества в другое. Пусть даны два множества X и Y , пусть каждому элементу $x \in X$ поставлен в соответствие некоторый определенный элемент $y = f(x)$ множества Y ; тогда говорят, что имеется отображение множества X во множество Y , или, что имеется функция, аргумент x которой пробегает множество X , а значения y принадлежат множеству Y ; при этом для каждого данного $x \in X$ элемент $y = f(x)$ множества Y называется образом элемента $x \in X$ при данном отображении или значением данной функции для данного значения ее аргумента x .

Обратим ваше внимание на тот факт, что традиции, сложившиеся в математике, требуют обязательного наличия единственного образа для каждого аргумента. Правда даже в математике существуют отступления от этого правила, в частности, при рассмотрении многозначных функций.

Более полная картина разновидностей соответствий между элементами множеств наблюдается в теории нечетких множеств. У Кофмана самый общий случай так и называется соответствием. При этом не накладывается никаких ограничений – у конкретного аргумента (прообраза) образа может не быть вовсе или образов может быть произвольное число. Специализацией соответствия является отображение, требующее наличия хотя бы одного образа y каждого прообраза. И, наконец, специализацией отображения является функция, определение которой в точности соответствует первому определению отображения.

Отображение в моделировании данных

В моделировании данных сложилась традиция называть самый общий случай соответствия отображением: «Бинарное отношение R множеств S_1 и S_2 определяет два отображения $R: S_1 \rightarrow S_2$ и $R^{-1}: S_2 \rightarrow S_1$, каждое из которых является обратным по отношению к другому».

Семантически значимое отображение - это понятие, определяющее некоторый закон предметной области ϕ , по которому каждому объекту моделируемого мира может быть поставлен в соответствие (а может быть, и нет) один или более объектов $\phi: A \rightarrow B$.

Каждый факт соответствия ϕ одному объекту одного другого объекта представляет экземпляр отображения ϕ (или экземпляр ϕ -отображения), все экземпляры одного и того же отображения ϕ , соответствующие одному объекту-прообразу, будем называть отображением ϕ этого объекта (или ϕ -отображением объекта).

Большая часть публикаций по моделям данных обходит стороной понятие «отображение». Авторы этих публикаций не понимают той огромной роли, которую играют отображения в технологии БД. Наша задача – устранить это вопиющее упущение и предоставить читателю возможность воспользоваться теми благами, которые сулит анализ отображений.

Несмотря на то, что слово «отображение» «редкий гость» в книгах по БД, автор впервые встретил его в контексте моделирования данных в издании Цикритзиса и Лоховски, а также в статье Чена. Цитата из первой книги дословно приведена на слайде. Можно сказать, что с нее началась та привязанность к отображениям, которая ныне воплотилась в новой семантической модели данных и соответствующей теории (параграф 3.3). Цикритзис и Лоховски даже ныне широко распространенный язык реляционных СУБД SQL относят к классу языков, основанных на отображениях.

Второе свидание с этим понятием состоялось у автора в основополагающей статье Чена по ER-модели. В ней автор, расширяя традиционное понятие атрибута и вводя многозначные атрибуты, говорит о них, как об атрибутных отображениях, у прообразов которых может быть несколько образов.

Но это были лишь редкие эпизоды на фоне всеобщего игнорирования понятия отображения. Одной из задач этого пособия является устранение подобного положения дел.

Определение 2.3.3. Семантически значимое отображение (англ. mapping) (в дальнейшем просто – отображение) – это понятие, определяющее некоторый закон предметной области, по которому каждому объекту моделируемого мира может быть поставлен в соответствие (а может быть, и нет) один или более объектов. Законы, действующие в мире объектов, представляются в знаковой системе в виде отображений, прообразами и образами которых являются знаки-объекты, знаки-связи и знаки-значения. Термин «семантически значимый» предполагает значимость с точки зрения семантики, изучающей семантические отношения, которые образуются между объектами и знаками, представляющими эти объекты в знаковой системе. Благодаря этому эпитету мы дистанцируемся от абстрактных (в частности, математических) отображений и функций.

Каждый факт соответствия ϕ одному объекту одного другого объекта представляет **экземпляр отображения ϕ** (или экземпляр ϕ -отображения); все экземпляры одного и того же отображения ϕ , соответствующие одному объекту-прообразу, будем называть отображением ϕ этого объекта (или **ϕ -отображением** объекта).

Рассмотрим объект x и отображение ϕ . Будем называть **образом** (англ. image) объекта x при отображении ϕ (или кратко, ϕ -образом объекта x) объект y , поставленный в

соответствие объекту x одним из экземпляров отображения φ (краткая символьная запись экземпляра – $y = \varphi(x)$).

Объект x в таком случае будем рассматривать как **прообраз** (англ. preimage) объекта y при отображении φ (или кратко, φ -прообразом объекта y).

Все отображение φ объекта x порождает совокупность образов, которую будем называть **областью φ -образов объекта x** (обозначение – $\{\varphi(x)\}$). В каждом конкретном случае эта совокупность:

- может быть пустой (отображение φ неприменимо к объекту x) или
- содержать один объект или
- содержать много объектов.

Совокупность всех объектов, имеющих образы при отображении φ назовем **реальной областью определения отображения (РООО)** φ , а совокупность всех φ -образов этих объектов – **реальной областью значений отображения (РОЗО)** φ . Одним из самых главных отличий отображений объектов реального мира от функций в математике является динамичный характер экземпляров отображений. В течение времени эти экземпляры могут возникать и исчезать, у них могут меняться образы, в то время как функция $y = x^2$ раз и навсегда фиксирует свои экземпляры.

Семантика же отображений стабильна и в любой момент времени отражает тот закон, который справедлив для всех возможных состояний их экземпляров. По этой причине наряду с динамичными РООО и РОЗО для отображений необходимо рассматривать «потенциальные» области определения и значений отображений. **Область определения отображения φ (ООО)** (англ. domain) – это совокупность объектов, которые в силу смысла закона φ могли иметь в прошлом или имеют в настоящем или смогут иметь в будущем хотя бы один φ -образ. **Область значений отображения φ (ОЗО)** (англ. codomain) – это совокупность объектов, которые в силу смысла закона φ могли быть в прошлом или являются в настоящем или смогут стать в будущем φ -образами некоторых объектов. Например, если отображению *ДОЧЬ* придать юридический смысл, то ООО *ДОЧЬ* – совокупность всех людей, а ОЗО *ДОЧЬ* – совокупность всех женщин (*ДОЧЬ*: *ЧЕЛОВЕК* -> *ЖЕНЩИНА*).



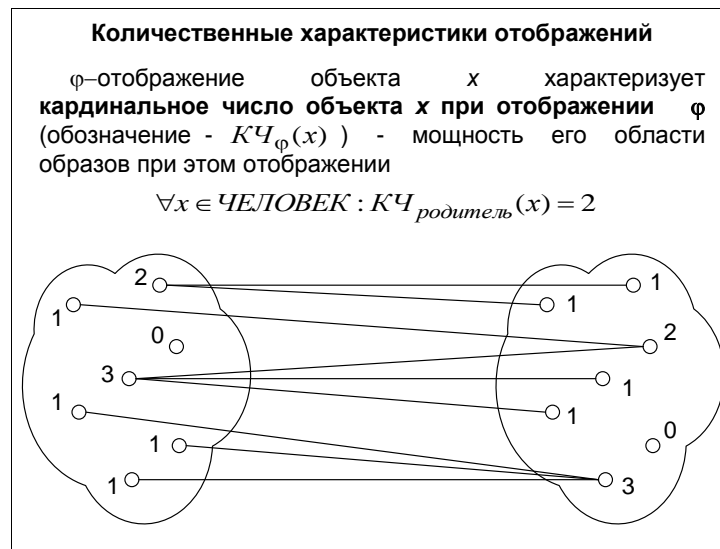
В естественном языке практически любое предложение определяет те или иные объекты и их отображения друг в друга. Если объекты представить в виде вершин графа, то каждый экземпляр отображения можно представить в виде ориентированной дуги, проходящей от объекта-прообраза к объекту-образу, а все отображения одного объекта – в виде совокупности дуг, выходящих из вершины отображаемого объекта. Таким образом, фраза «У ребенка Сидорова Саши есть два ребенка – Маша и Даша» может быть представлена в виде графа объектов и отображений (смотри слайд).

Вершины, представляющие объекты, помечаются символами, уникально обозначающими эти объекты. Если обозначающий символ объекта неизвестен (не указан в предложении), вершина остается непомеченной. Пометка на дуге, изображающей экземпляр отображения, является символом, уникально обозначающим класс отображения. Все дуги графа должны быть помечены.

Один из экземпляров отображения *РЕБЕНОК* показан в текстовой форме (*Саша = ребенок (Сидоров)*). Как видим, для этого использована традиционная для функции нотация – $\langle \text{образ} \rangle = \langle \text{имя отображения} \rangle (\langle \text{прообраз} \rangle)$.

Ниже представлены экземпляры обратного отображению *РЕБЕНОК* отображения *РОДИТЕЛЬ*. Очевидно, что они передают ту же самую информацию, только сменилась ориентация отображения, и объекты поменялись ролями (образы стали прообразами и наоборот). Это связано с тем, что отображение *РЕБЕНОК* эквивалентно инверсии отображения *РОДИТЕЛЬ* (об операциях над отображениями и эквивалентных отображениях речь пойдет в третьей главе), и оба этих отображения полностью определяются бинарным отношением *РОДИТЕЛЬ-РЕБЕНОК*, представленным в табличной форме в верхней части слайда. Если один из его атрибутов использовать как РООО, а второй – как РОЗО, каждый кортеж будет определять один экземпляр одного отображения. Если поменять атрибуты местами, те же кортежи определяют экземпляры обратного отображения.

Читатели, склонные к анализу, наверняка заметили, что в виде отображений в моделирование данных вернулись «ориентированные» отношения в смысле математики (определение 2.2.12). Правда немного другой взгляд на них позволяет существенно увеличить возможности описания семантики ПрО, но об этом позже. Кстати, далее мы увидим также, что благодаря понятию отображения в моделировании данных «воскреснут» и отношения в смысле логики (определение 2.2.14).



Обратимся к важным для моделирования данных характеристикам отображений.

Первая из них носит экстенциональный характер, поскольку касается отдельных объектов, являющихся прообразами конкретного отображения.

Определение 2.3.4. φ-отображение объекта x характеризует **кардинальное число** (англ. cardinal number) объекта x при отображении φ (обозначение – $KЧ_{\varphi}(x)$) – мощность его области образов при этом отображении.

На слайде в форме графа показаны экстенсионалы двух множеств и бинарного отношения, построенного на них. Маленькие круляшки внутри замкнутой линии олицетворяют элементы множеств, а неориентированные ребра – кортежи отношения. Если поляризовать эти множества по полюсам областей определения и значений отображений, мы получим два отображения: в первом левое множество будет играть роль области определения, правое – роль области значений; во втором отображении эти множества поменяются ролями.

Те же самые дуги, но с соответствующей ориентацией (от прообраза к образу) олицетворяют экземпляры отображений. Пометки возле элементов множеств – не что иное, как их кардинальные числа при отображении, в котором эти элементы являются прообразами. Их можно легко получить, используя граф. Значение кардинального числа элемента равно количеству инцидентных ему (выходящих из него) дуг экземпляров отображения.

Для большинства отображений разброс значений кардинальных чисел его прообразов достаточно велик. Но встречаются и такие семантически значимые отображения, при которых кардинальные числа всех прообразов совпадают. Так для любого человека, рожденного естественным путем, существует два и только два физиологических родителя.

Мы уже упоминали ранее, что при определении ОЦ не следует рассматривать характеристики конкретного экстенсионала. ОЦ должны носить обобщенный характер. Для этого понадобятся количественные характеристики всего отображения в целом, фиксирующие особенности самого закона ПрО, а не его прецедентов.

Количественные характеристики отображений (продолжение)		
Минимальное	кардинальное	число (МинКЧ)
отображения φ - это наименьшее из кардинальных чисел $K\varphi(x)$ объектов x , являющихся экземплярами области определения отображения (ООО) φ :		
$\text{МинКЧ}_{\varphi} = \min_{x=\text{экземпляр}(\text{ООО}(\varphi))} K\varphi(x)$		
$\text{МинКЧ}_{\text{родитель}} = 2 \quad \text{МинКЧ}_{\text{ребенок}} = 0$		
Максимальное	кардинальное	число (МаксКЧ)
отображения φ - это наибольшее из кардинальных чисел $K\varphi(x)$ объектов x , являющихся экземплярами области определения отображения (ООО) φ :		
$\text{МаксКЧ}_{\varphi} = \max_{x=\text{экземпляр}(\text{ООО}(\varphi))} K\varphi(x)$		
$\text{МаксКЧ}_{\text{родитель}} = 2 \quad \text{МаксКЧ}_{\text{ребенок}} = \infty$		

Все отображение φ в целом количественно характеризуют минимальные и максимальные кардинальные числа.

Определение 2.3.5. Минимальное кардинальное число (МинКЧ) отображения φ – это наименьшее из кардинальных чисел $K\varphi(x)$ объектов x , являющихся экземплярами ООО φ :

$$\text{МинКЧ}_{\varphi} = \min_{x=\text{экземпляр}(\text{ООО}(\varphi))} K\varphi(x).$$

Определение 2.3.6. Максимальное кардинальное число (МаксКЧ) отображения φ – это наибольшее из кардинальных чисел $K\varphi(x)$ объектов x , являющихся экземплярами ООО φ :

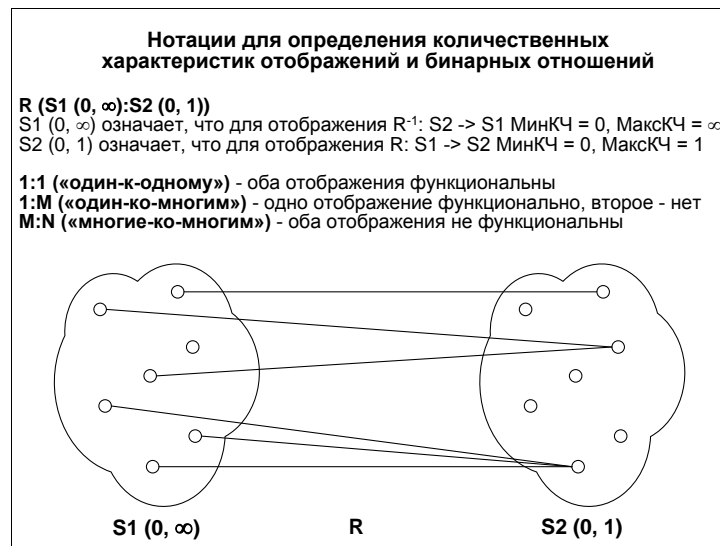
$$\text{МаксКЧ}_{\varphi} = \max_{x=\text{экземпляр}(\text{ООО}(\varphi))} K\varphi(x).$$

Используемый на слайде в качестве значения МаксКЧ знак бесконечности (« ∞ ») говорит о том, что у отображения *РЕБЕНОК* нет ярко выраженной верхней границы количества образов одного объекта.

Введенные количественные характеристики отображений позволяют выделить полезные на практике и в теории типы отображений.

Определение 2.3.7. Отображение φ называется:

- **неограниченным**, если $\text{МинКЧ}_{\varphi} = 0$, $\text{МаксКЧ}_{\varphi} = \infty$;
- **полностью определенным**, если $\text{МинКЧ}_{\varphi} \neq 0$;
- **функциональным**, если $\text{МаксКЧ}_{\varphi} = 1$, в том числе:
 - **частичным функциональным**, если $\text{МинКЧ}_{\varphi} = 0$, $\text{МаксКЧ}_{\varphi} = 1$;
 - **полным функциональным**, если $\text{МинКЧ}_{\varphi} = 1$, $\text{МаксКЧ}_{\varphi} = 1$.



Прежде чем более подробно рассмотреть типы отображений, познакомимся с двумя популярными нотациями (способами представления), используемыми для определения характеристик отображений и отношений.

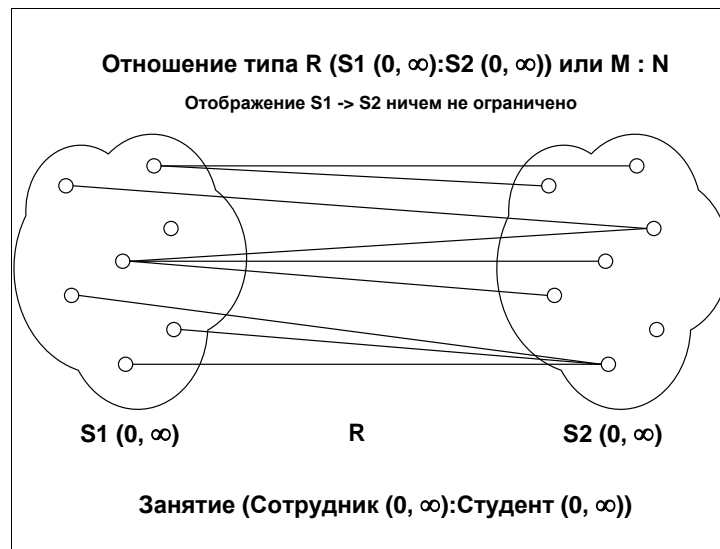
Первая нотация обеспечивает исчерпывающую информацию, как о бинарном отношении, так и об обоих определяемых им отображениях – $R(S_1 (0, \infty) : S_2 (0, 1))$. Она говорит, прежде всего, о том, что бинарное отношение R определено на множествах S_1 и S_2 . $S_1 (0, \infty)$ означает, что МинКЧ и МаксКЧ отображения $S_2 \rightarrow S_1$ равны 0 и ∞ соответственно. Иными словами, любой элемент S_2 может быть связан минимум с 0 и максимум с ∞ элементов S_1 . $S_2 (0, 1)$ означает, что МинКЧ и МаксКЧ отображения $S_1 \rightarrow S_2$ равны 0 и 1 соответственно. Иными словами, любой элемент S_1 может быть связан минимум с 0 и максимум с 1 элементом S_2 .

Поскольку в БД имеют дело с ПрО, в которых и число объектов, и число связей, и число значений характеристики конечно, знак «∞» в данном случае означает отсутствие ярко выраженной верхней границы МаксКЧ. И, если оно для текущего экстенционала БД равно i , то не исключено такое изменение состояния БД, что оно станет равным $i + 1$.

Вторая нотация, хоть и используется чаще, менее информативна, поскольку характеризует лишь МаксКЧ отображений.

Определение 2.3.8. Говорят, что бинарное отношение, определяющее пару функциональных отображений, есть отношение «один к одному» (**1:1**), бинарное отношение с одним функциональным, а другим нефункциональным отображениями есть отношение «один ко многим» (**1:M**) или «многие к одному» (**M:1**) и бинарное отношение, определяющее пару нефункциональных отображений, есть отношение «многие ко многим» (**M:N**).

На слайде представлено отношение $M:1$ или «многие к одному».



Как вы уже заметили, отличительной особенностью нашей типизации отображений от классификации соответствий Кофмана является использование для обозначения введенных понятий одного и того же термина «отображение», снабжаемого в каждом случае своими эпитетами – неограниченное, функциональное и т.п.

Если на оба отображения, определяемые бинарным отношением, не наложено никаких ограничений, то считается, что МинКЧ и МаксКЧ не определены (точнее – они совпадают с границами всего диапазона изменения кардинальных чисел – $[0, \infty)$). В этом случае отношение обозначается как $R (S_1 (0, \infty): S_2 (0, \infty))$.

Определение 2.3.9. Отображение называется **неограниченным**, если любой прообраз может или вообще не иметь образа, или иметь произвольное количество образов.

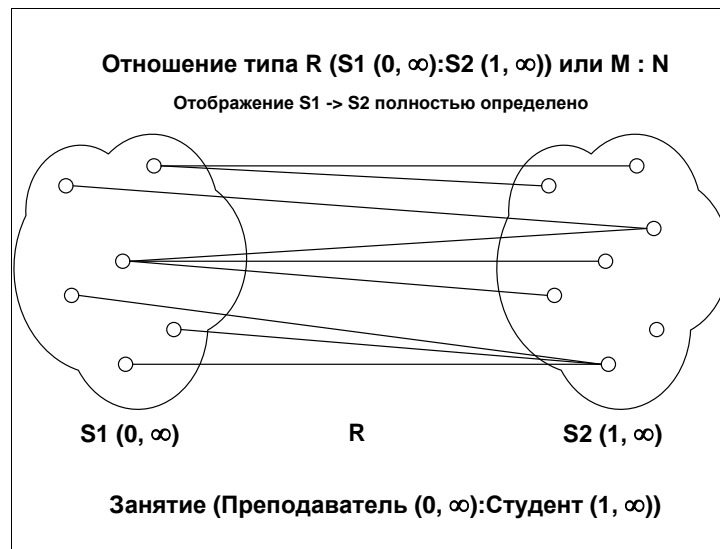
Семантически значимые отображения не всегда являются неограниченными. Законы, по которым объекты вступают в связи с другими объектами, как правило, накладывают на них те или иные ограничения.

Рассмотрим, например, связи типа *ЗАПИСЬ_НА_ЗАНЯТИЯ* между типами объектов *СТУДЕНТ* и *ДИСЦИПЛИНА*. Пусть число дисциплин, на которые может записаться каждый студент, лежит в пределах от 4 до 6. Такое отношение обозначается *ЗАПИСЬ_НА_ЗАНЯТИЯ (СТУДЕНТ $(0, \infty)$: ДИСЦИПЛИНА $(4, 6)$)*. Если мы наложим ограничение на число слушателей курса (скажем, это число должно лежать в диапазоне от 10 до 100), спецификация отношения примет вид *ЗАПИСЬ_НА_ЗАНЯТИЯ (СТУДЕНТ $(10, 100)$: ДИСЦИПЛИНА $(4, 6)$)*.

Для того, чтобы запомнить, возле какого множества писать кардинальные числа, пользуйтесь простым правилом – «что считаем, туда и пишем». Действительно, к чему относятся числа 10 и 100? К студентам. Поэтому мы и пишем их после множества *СТУДЕНТ*.

Приведенный на слайде пример касается связей типа *ЗАНЯТИЕ* между *СОТРУДНИКАМИ* университета и *СТУДЕНТАМИ* в течение семестра. Если предположить, что не все сотрудники в принципе проводят занятия со студентами (исключение – административный и технический персонал), нулевое МинКЧ отображения *СОТРУДНИК \rightarrow СТУДЕНТ* становится оправданным. С другой стороны, студент может находиться в академическом отпуске и тоже не посещать занятия. По поводу МаксКЧ, по-видимому, дополнительных разъяснений не требуется.

Большинство моделей данных не позволяет оперировать произвольными МинКЧ и МаксКЧ отображений. Рассматривают несколько обобщенных типов ограниченных отображений. Для их определения будем использовать лишь отображение $S_1 \rightarrow S_2$, обратное ему отображение может быть произвольным, если не оговорено что-то особое.



Определение 2.3.10. Пусть для отображения $S_1 \rightarrow S_2$ имеем пару кардинальных чисел $(1, \infty)$, т.е. предполагается, что каждый объект S_1 отображен, по крайней мере, в один объект S_2 . Такое отображение называется **полностью определенным**. Соответствующее ограничение в моделировании данных часто называют **ограничением по существованию**, и формулируется оно следующим образом: для существования объекта в S_1 необходимо, чтобы он был связан с объектом в S_2 .

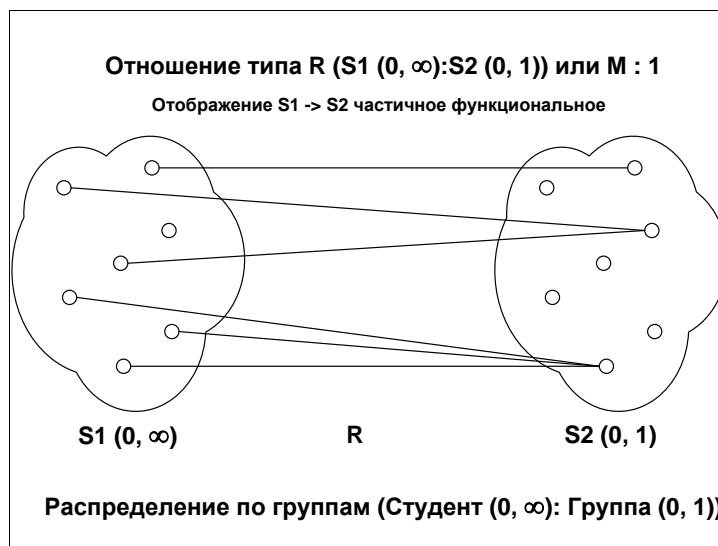
Для графического представления полностью определенного отображения характерно отсутствие висящих вершин-прообразов, т.е. вершин, из которых не выходят дуги экземпляров отображения.

Следует отметить, что отображения с МинКЧ, равным 1, не исчерпывают класс полностью определенных отображений. Его образуют все отображения, у которых МинКЧ не равно 0. Таким образом, упоминавшееся ранее отображение *РОДИТЕЛЬ* с МинКЧ = МаксКЧ = 2, также является полностью определенным.

Данное нами определение, чаще встречающееся в литературе, объясняется тем, что в моделировании данных редко когда оперируют произвольными значениями МинКЧ и МаксКЧ. Почти всегда ограничиваются рассмотрением их характерных значений: для МинКЧ – 0 или 1, для МаксКЧ – 1 или ∞ . Действительно, большинство принципиально различных проектных решений касается сочетаний именно этих значений. Неудивительно, что как раз эти значения положены в основу типизации отображений.

Пример этого слайда отличается от предыдущего только тем, что отношение *ЗАНЯТИЕ* здесь определено не на множестве *СОТРУДНИК*, а на множестве *ПРЕПОДАВАТЕЛЬ*. А проведение занятий со студентами – прямая обязанность преподавателей, без этого они не могут считаться таковыми.

Отметим также, что изменение статуса отображения с неограниченного на полностью определенное не повлияло на тип бинарного отношения, оно, как и ранее, имеет тип «многие ко многим».



Определение 2.3.11. Если максимальное кардинальное число равно единице, то отображение есть функция (в математическом смысле этого термина). Так, $R (S_1 (0, \infty): S_2 (0, 1))$ определяет **функциональное отображение** $S_1 \rightarrow S_2$, т.е. любой объект S_1 отображается не более чем одним объектом S_2 (хотя в данном случае не все объекты S_1 обязаны иметь образы в S_2). Представлению функционального отображения в форме графа свойственно не более одной дуги, выходящей из вершины-прообраза.

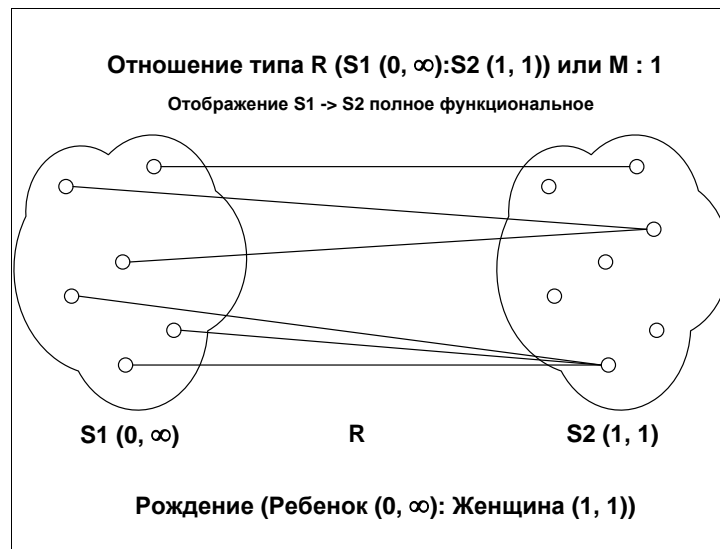
Функциональные отображения весьма распространены в моделировании данных. Они воплощены в самых различных ограничениях целостности.

В зависимости от значения МинКЧ выделяют два частных случая функциональных отображений – частичное и полное.

Определение 2.3.12. Если МинКЧ функционального отображения равно 0, такое отображение называется **частичным функциональным отображением**. В таком случае любой прообраз может либо не иметь образа, либо иметь не более одного образа. Соответственно, в графе такого отображения могут быть либо висящие вершины-прообразы, либо вершины-прообразы, которым инцидентна одна дуга экземпляра отображения.

Для примера рассмотрим тип связей *РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ГРУППАМ*, говорящих о принадлежности студентов академическим группам на текущий семестр. Если предположить, что студент, находящийся в академическом отпуске, утерял связь со своей прежней группой, но еще не понятно, с какой группой он будет продолжать обучение в будущем, МинКЧ, равное 0, оправдано. Типичной является ситуация, при которой студент принадлежит не более чем одной группе. Будем считать, что в нашей ПрО исключения не возможны.

МинКЧ, равное 0 для обратного отображения, отражает тот факт, что в начале очередного периода обучения группа может быть уже запланирована, но распределение студентов еще не осуществлялось.

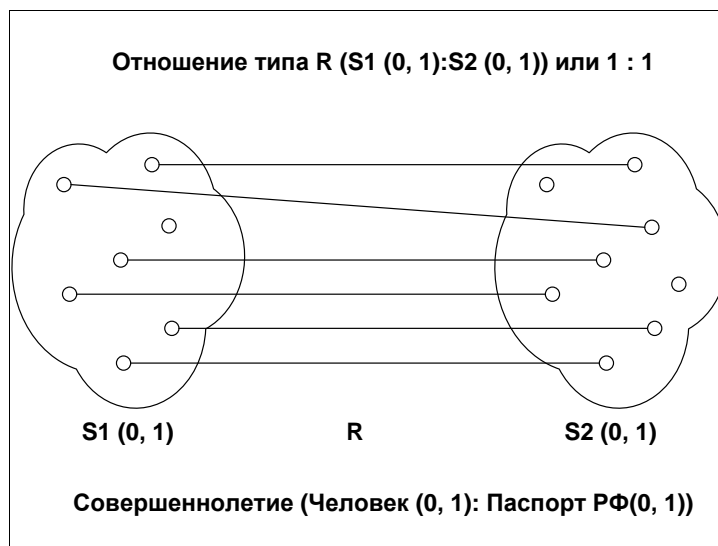


Второй разновидностью функциональных отображений являются полные функциональные отображения.

Определение 2.3.13. Если МинКЧ функционального отображения равно 1, такое отображение называется **полным функциональным отображением**. В таком случае каждый прообраз должен иметь один и только один образ. Если посмотреть на граф экстенционала такого отображения, то нетрудно заметить, что из каждого элемента ООО выходит ровно одна дуга экземпляра отображения.

Пример на слайде в этом случае предлагает рассмотреть тип связей *РОЖДЕНИЕ*, определяющих взаимоотношение детей со своими физиологическими матерями в родильном доме. Понятно, что каждому ребенку всегда соответствует одна и только одна мать.

Следует отметить, что в двух последних примерах мы имели дело с отношениями типа «многие к одному», поскольку одно из определяемых ими отображений было функциональным (МаксКЧ = 1), а второе – нефункциональным (МаксКЧ $\neq 1$). Полная определенность функционального отображения во втором случае не оказала никакого влияния на тип отношения. Это еще раз показывает, что сокращенная нотация игнорирует МинКЧ отображений, а значит, она менее информативна.



На этом мы завершили знакомство с типами отображений. Осталось только продемонстрировать последний тип бинарного отношения, а именно, отношение «один к одному».

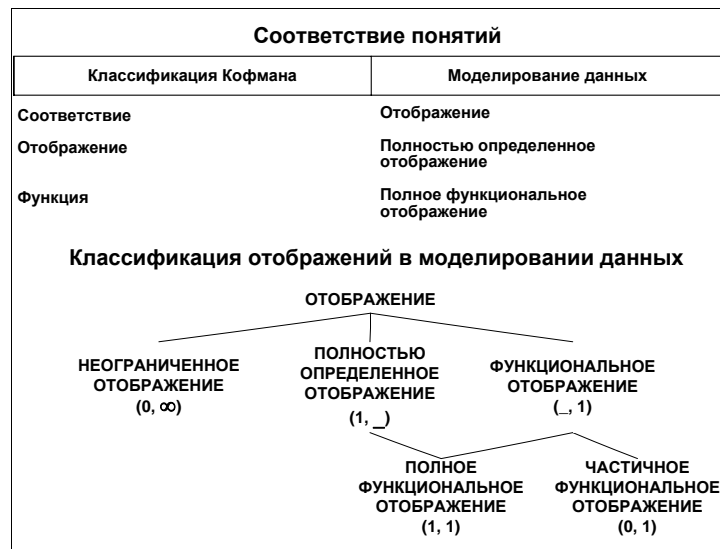
Рассмотрим тип связей *СОВЕРШЕННОЛЕТИЕ*, отражающих взаимосвязи между человеком и паспортом гражданина РФ. Их характеризуют следующие обстоятельства.

Не у всех людей есть паспорта РФ (МинКЧ = 0), но, если есть, то не более одного в каждый момент времени (МаксКЧ = 1). С другой стороны, конкретный бланк паспорта до поры до времени может лежать в сейфе РОВД и не соответствовать ни одному человеку (МинКЧ = 0). После вписывания в него характеристик конкретного гражданина, бланк становится полноценным паспортом, являющимся основным документом именно этого гражданина (МаксКЧ = 1).

Таким образом, имеем отношение типа 1:1, определяющее пару взаимнообратных функциональных отображений. Тот факт, являются ли они частичными или полными, опять таки не играет никакой роли.

Нетрудно заметить, что в графе экстенционала такого отношения, если элементу и инцидентна дуга, то только одна. Причем эта картина наблюдается на обоих концах ребра, т.е. выше сказанное справедливо для элементов обоих множеств, участвующих в отношении. Иногда такие отношения еще называют взаимнооднозначными.

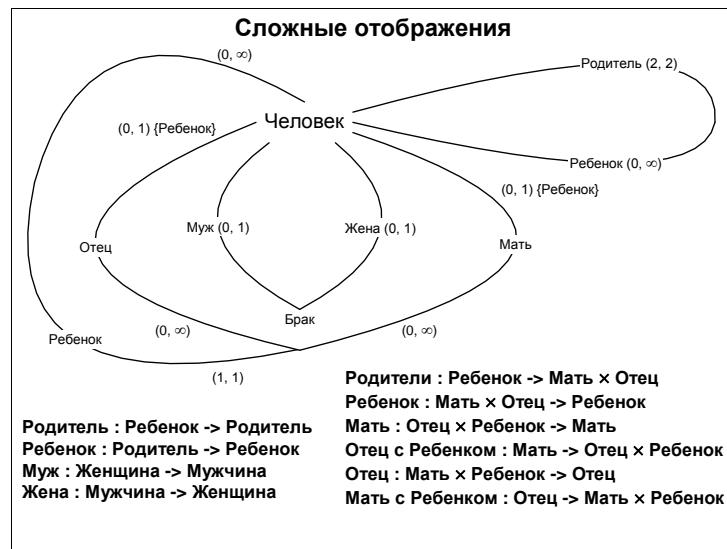
Следует особо подчеркнуть, что введенные в этом параграфе типы отображений и бинарных отношений нельзя путать. Вопиющей ошибкой будут следующие фразы: «отображение $1:M$ » или «функциональное отношение». Это столь же нелепо как «круглый квадрат».



В заключение экскурса в понятие «отображение» и связанные с ним понятия приведем взаимнооднозначное соответствие понятий классификации Кофмана и введенных типов отображений. Как следует из соответствующих определений, соответствие по Кофману – это наше понятие «отображение» в самом общем смысле, его отображения у нас стали полностью определенными отображениями. Наконец, функция в математическом смысле превратилась в моделировании данных в полное функциональное отображение.

В нижней части слайда приведена иерархия обобщения отображений в моделировании данных. Корнем этой иерархии является понятие «отображение» (определение 2.3.3). Его ближайшими потомками являются неограниченное отображение (определение 2.3.9), полностью определенное отображение (определение 2.3.10) и функциональное отображение (определение 2.3.11). Частными случаями функциональных отображений являются частичное (определение 2.3.12) и полное (определение 2.3.13) функциональные отображения. Причем последнее является также специальным случаем полностью определенного отображения.

У каждого типа отображений подписаны МинКЧ и МаксКЧ. Символ «_» означает, что значение не играет роли, главное, чтобы оно попадало в разумный интервал значений (для полностью определенного отображения – это $[1, \infty)$, для функционального – $[0, 1]$).



Определение 2.3.14. До сих пор мы ограничивались рассмотрением **простых отображений**, у каждого экземпляра которых есть один объект-прообраз и один объект-образ.

Однако иногда возникает необходимость в использовании **сложных отображений**, каждый экземпляр которых имеет более одного объекта-прообраза и/или объекта-образа.

Классическим примером такой ситуации в моделировании данных является «поставка некоторым поставщиком детали для конкретного проекта». Каждый факт такой поставки представляет собой тернарную связь между конкретными поставщиком, деталью и проектом.

Перебирая варианты поляризации участвующих в этом типе связей множеств по двум полюсам «прообраз» – «образ», имеем три пары взаимнообратных отображений:

ПОСТАВЩИК \rightarrow ДЕТАЛЬ \times ПРОЕКТ и *ДЕТАЛЬ \times ПРОЕКТ \rightarrow ПОСТАВЩИК*,
ДЕТАЛЬ \rightarrow ПОСТАВЩИК \times ПРОЕКТ и *ПОСТАВЩИК \times ПРОЕКТ \rightarrow ДЕТАЛЬ*,
ПРОЕКТ \rightarrow ПОСТАВЩИК \times ДЕТАЛЬ и *ПОСТАВЩИК \times ДЕТАЛЬ \rightarrow ПРОЕКТ*,
 здесь символ « \times » – знак операции Декартова произведения.

Многие проблемы моделирования данных связаны с недооценкой возможностей анализа сложных отображений. В таких случаях даже уважаемые издания отделяются фразами типа «понятия, относящиеся к отображениям, связанным с бинарными отношениями, могут быть распространены на n -арные отношения». При этом приводимые иногда примеры анализа n -арных отношений говорят об ошибочности такого анализа и дают неадекватные результаты. С этим же связано сведение сложных отображений к простым на ранних этапах процесса проектирования схемы БД, чем грешат многие (если не все) методики. Это приводит к невозможности на последующих этапах потере семантической информации.

Отложим дальнейший анализ отображений до третьей главы (там мы рассмотрим одну модель данных, в которой это понятие будет являться одним из самых ключевых). Уже полученной вами информации достаточно для того, чтобы мы вернулись к рассмотрению ОЦ. Нас ожидают ОЦ второго типа.

В качестве заключительного комплексного примера на отображения рассмотрим ПрО ближайших родственников. На слайде в форме графа представлена схема этой ПрО. Она включает единственный тип объектов – *ЧЕЛОВЕК*, изображенный в виде вершины графа, и три отношения, представленные в виде ребер графа. Два из этих отношений бинарны (*БРАК* и *РОДИТЕЛЬ-РЕБЕНОК*), а одно тернарно (*ОТЕЦ-МАТЬ-РЕБЕНОК*). Количество концов у ребра соответствует степени отношения. На каждом конце бинарного ребра подписана роль объектов в отношении, а также МинКЧ и МаксКЧ

соответствующего отображения. Имя роли для таких отношений часто совпадает с именем отображения, ведь для них количество ролей и количество отображений между типами объектов совпадают.

Как видим, для тернарного отношения ролей объектов три, а отображений между типами объектов шесть. Пометки на концах ребер по-прежнему соответствуют ролям. А вот пар (МинКЧ, МаксКЧ) у каждого конца ребра стало две. В третьей главе мы продолжим анализ сложных отображений и познакомимся с понятиями отображений, определяющих роль и определяемых ролью. Именно эти отображения и характеризуют соответствующие пары кардинальных чисел.



Любое отношение определяет отображения между атрибутами и является подмножеством Декартова произведения доменов, на которых определены эти атрибуты. При отсутствии ограничений любое такое подмножество есть достоверный экстенционал отношения. Связав с отношением некоторую семантику, мы должны будем ограничить множество возможных экстенсионалов.

Многие ОЦ, областью действия которых является отношение, можно определить, задав МинКЧ и МаксКЧ отображений между атрибутами этого отношения. В частности, широко распространенное во многих моделях понятие ключа связано именно с этим.

Определение 2.3.15. Если атрибут (группа атрибутов) отношения функционально определяет все другие атрибуты этого отношения, этот атрибут (группа атрибутов) называется **возможным ключом (потенциальным ключом, ключом-кандидатом)** отношения. Слова «функционально определяет» означают, что отображения между возможным ключом и любым атрибутом отношения функциональны.

Рассмотрим отношение *СЛУЖАЩИЙ*. Закон ПрО предписывает, чтобы одному номеру служащего соответствовало не более одного человека, а, следовательно, не более одного значения характеристик *Фамилия*, *Адрес*, *Пол*. Если представить этот закон в виде отображений, в которых роль РООО играет атрибут *№служащего* (роль ООО играет его домен), а роли РОЗО – соответствующие другие атрибуты этого отношения, понятно, что приведенный закон требует, чтобы эти отображения были функциональными. По определению в таком случае *№служащего* – возможный ключ отношения *СЛУЖАЩИЙ*. Ни один другой атрибут этого отношения в общем случае под это определение очевидно не подпадает.

Очевидно также и то, что если к возможному ключу добавить любое количество прочих атрибутов, функциональность определения атрибутов отношения сохраняется. А, следовательно, такие группы атрибутов также являются возможными ключами, правда, избыточными.

Следует сделать замечание по поводу используемой нами терминологии. Она взята из реляционной модели, где слово «ключ» с различными эпитетами образует термины понятий часто с совершенно различным смыслом. В тех же моделях, где существует единственное понятие с термином «ключ», оно задается подобным определением.

Кстати, приведенное определение является базовым определением ключа. Часто на практике используются его определения-следствия.

Определение 2.3.16. Если атрибут (группа атрибутов) отношения функционально определяет отношение, этот атрибут (группа атрибутов) называется **возможным ключом (потенциальным ключом, ключом-кандидатом)** отношения. Т.е. отображение между

возможным ключом и самим отношением функционально. Другими словами, возможный ключ уникально идентифицирует кортежи отношения.

Следствие достаточно очевидно – коль скоро мы однозначно определяем значения каждого атрибута, что мешает составить из них столь же однозначный кортеж.

В этом случае в качестве РОЗО функционального отображения используется само отношение *СЛУЖАЩИЙ*, РООО – по-прежнему атрибут *№служашего*.

И, наконец, многие люди воспринимают понятие ключа в смысле третьего определения. Хотя оно таит в себе опасность.

Определение 2.3.17. Если атрибут (группа атрибутов) отношения не имеет значений-дубликатов в кортежах отношения, этот атрибут (группа атрибутов) называется **возможным ключом (потенциальным ключом, ключом-кандидатом)** отношения.

Опасность применения этого определения заключается в том, что в отличие от двух предыдущих определений мы анализируем не общий закон ПрО, а конкретный прецедент, представленный экстенсионалом отношения. Действительно, из того, что в настоящий момент среди значений атрибута *Фамилия* нет дубликатов, вовсе не следует, что этот атрибут – ключевой. Надо осознавать, что в будущем могут появиться служащие-однофамильцы, нарушающие это определение. Об этом надо всегда помнить и лучше использовать первые два определения.

Как вы понимаете, возможных ключей у одного отношения может быть несколько, но, по крайней мере, один есть всегда. В крайнем случае, его составляют все атрибуты отношения, поскольку в последнем не может быть кортежей-дубликатов.

В некоторых моделях существует понятие «первичный ключ». Это такой единственный возможный ключ отношения, значения которого являются неизбыточными знаками объектов, представленных кортежами отношения. Подробнее мы поговорим о первичных ключах в рамках реляционной модели, где это понятие является одним из ключевых.

Второе, часто встречаемое в моделях данных ОЦ типа 2а связано с недопустимостью неопределенных значений атрибута. Неопределенные значения (часто в моделях данных они задаются псевдопеременной или константой *NULL*) используются в качестве значений атрибутов любых типов в тех случаях, когда:

- либо значение атрибута для кортежа пока не известно,
- либо данная характеристика не применима к конкретному объекту, и атрибут, соответствующий этой характеристике, никогда не примет какого-то определенного значения для кортежа, представляющего этот объект.

Так вот иногда законы ПрО требуют обязательного наличия определенного значения атрибута в каждом кортеже. В частности, одной из особенностей первичного ключа является то, что в каждом кортеже отношения он должен иметь определенное уникальное значение, иначе все его значения не смогут быть знаками объектов.

Как ни странно, за этим ограничением также стоит ограниченное отображение между атрибутами отношения.

Определение 2.3.18. Если между первичным ключом отношения и некоторым другим атрибутом этого же отношения отображение полностью определено (а точнее, оно – полное функциональное), этот атрибут **не может иметь неопределенных значений** в кортежах отношения. А поскольку между первичным ключом и отношением существует взаимнооднозначное соответствие (каждому значению первичного ключа соответствует один и только один кортеж и наоборот), можно дать следующее определение-следствие.

Определение 2.3.19. Если между отношением и некоторым его атрибутом отображение полностью определено (а точнее, оно – полное функциональное), этот атрибут **не может иметь неопределенных значений** в кортежах отношения.

В примере на слайде считается, что атрибут *Фамилия* обязан иметь определенное значение в каждом кортеже отношения, поскольку в ПрО принято идентифицировать

служащих прежде всего по фамилии, и, не зная ее, мы не имеем права создавать кортеж отношения *СЛУЖАЩИЙ*.

Взгляд на понятие ключа и недопустимость неопределенных значений с точки зрения ограниченных отображений практически никогда не встречается в публикациях по моделям данных. Чаще даются их определения, что называется «на пальцах».

В языках задания ОЦ пользуются, как правило, следующими описателями атрибутов:

- *UNIQUE* – для возможных ключей,
- *PRIMARY KEY* – для первичных ключей,
- *NULL* – когда возможны неопределенные значения,
- *NOT NULL* – когда невозможны неопределенные значения.

Описатель *PRIMARY KEY*, как правило, предполагает одновременное действие описателей *UNIQUE* и *NOT NULL* и специального дополнительного их указания не требует.

При определении интенционала отношения указанием его имени и перечислением имен его атрибутов атрибуты, составляющие первичный ключ, иногда подчеркивают, отражая их особую значимость.

**2Б) Ограничения целостности на отображения
между отношениями**

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ (№ ПРЕП, ФАМИЛИЯ, ...)
СТУДЕНТ (№ СТУД, ФАМИЛИЯ, ...)
ПРЕДМЕТ (№ ПРЕДМ, НАЗВАНИЕ, ...)
ЭКЗАМЕН (№ ПРЕП, № СТУД, № ПРЕДМ, ДАТА, ОЦЕНКА)

ASSERT ЭКЗАМЕН.№_ПРЕП IN ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.№_ПРЕП
ASSERT ЭКЗАМЕН.№_СТУД IN СТУДЕНТ.№_СТУД
ASSERT ЭКЗАМЕН.№_ПРЕДМ IN ПРЕДМЕТ.№_ПРЕДМ

MAP FROM преп IN ПРЕПОДАВАТЕЛЬ TO [0:100]
экз IN ЭКЗАМЕН
WHERE преп.№_ПРЕП = экз.№_ПРЕП
MAP FROM экз IN ЭКЗАМЕН TO [1:1]
преп IN ПРЕПОДАВАТЕЛЬ
WHERE преп.№_ПРЕП = экз.№_ПРЕП

Для ОЦ типа 2б свойственно рассмотрение отображений, ООО и ОЗО которых образуют отношения. Поэтому они характеризуют закономерности связей между объектами, представленными этими отношениями.

На слайде приведены интенционалы (схемы) четырех отношений: три первых определяют типы объектов (*ПРЕПОДАВАТЕЛЬ*, *СТУДЕНТ*, *ПРЕДМЕТ*), последнее – тип тернарных связей между ними – *ЭКЗАМЕН*. Отношение *ЭКЗАМЕН* помимо трех ключевых атрибутов отношений для объектов содержит еще характеристики собственно связей – *Дата*, *Оценка*.

Для представления только достоверных связей наложим ограничения на значения атрибутов *№_ПРЕП*, *№_СТУД* и *№_ПРЕДМ* отношения *ЭКЗАМЕН*. На языке БЭТА (исследовательский язык определения ограничений целостности) привязка этих значений к значениям соответствующих атрибутов отношений для объектов выражается утверждениями *ASSERT*. Каждое из этих утверждений говорит о том, что атрибут отношения связей включается (*IN*) в атрибут отношения объектов, т.е. в атрибуте отношения связей не может быть значений, которых нет в атрибуте отношения объектов.

Как нетрудно заметить каждое утверждение *ASSERT* неявно задает функциональное отображение между отношениями. В сочетании с описателем *NULL* или *NOT NULL* для атрибута отношения связей это дает полную характеристику этих отображений (частичного или полного функционального соответственно).

Ограничения на кардинальные числа отображений между отношениями можно задать в языке БЭТА явно с помощью утверждений *MAP*. В них используются переменные, пробегающие по кортежам отношений (*преп* и *экз*). После ключевого слова *WHERE* указывают формальный критерий, по которому устанавливается соответствие между кортежами. В квадратных скобках задаются МинКЧ и МаксКЧ соответствующего отображения.

Так, первое утверждение *MAP* говорит о том, что для любого кортежа отношения *ПРЕПОДАВАТЕЛЬ* количество кортежей отношения *ЭКЗАМЕН*, в которых значение атрибута *№_Преп* совпадает со значением атрибута *№_Преп* в кортеже отношения *ПРЕПОДАВАТЕЛЬ* должно лежать в интервале от 0 до 100.

Второе утверждение *MAP* эквивалентно первому утверждению *ASSERT*, если одновременно с ним атрибут *№_Преп* в отношении *ЭКЗАМЕН* определен с описателем *NOT NULL*, поскольку явно констатирует полную функциональность отображения *ЭКЗАМЕН -> ПРЕПОДАВАТЕЛЬ*.

Отметим, что из декларативных средств задания ОЦ реляционного языка SQL к ограничениям этого типа относится понятие внешнего ключа и соответствующие

описатели атрибутов или групп атрибутов. Но подробнее об этом речь также пойдет при рассмотрении реляционной модели.

На этом мы завершаем обобщенный обзор понятий и идей, связанных с декларативным способом задания ОЦ в моделях данных. Все закономерности ПрО, которые не могут быть представлены с их помощью, либо игнорируются, либо проверяются процедурным способом. Хотя, как мы увидим в третьей главе, развитие идей, связанных с отображениями, позволяет существенно расширить класс ОЦ, которые можно представить декларативно.

В заключение рассмотрения множеств G_s (правил порождения структур данных), G_c (правил порождения ограничений целостности) и в целом множества G (правил порождения схем), отметим, что понятия интенционала и экстенционала применимы и ко всей БД.

Определение 2.3.20. **Интенционал БД** представляет собой схему БД, включающую определения структур данных и ограничения целостности. **Экстенционал БД** составляют реализации определенных в схеме БД форм данных – множеств и отношений.

Вопросы и задания к параграфу 2.3

1. Что такое ограничение целостности (ОЦ) и для чего они предназначены?
2. Охарактеризуйте способы задания ОЦ с точки зрения их предпочтительности.
3. Какие типы ОЦ выделяются в моделировании данных? Каковы их области действия?
4. Перечислите виды ОЦ на значения атрибутов.
5. В чем особенность традиционного определения понятия «отображение» в математике?
6. Укажите основные отличия «математического отображения» от «семантически значимого отображения».
7. Почему в моделировании данных приходится рассматривать реальные и «потенциальные» ООО и ОЗО?
8. Поясните фразу «бинарное отношение множеств определяет два отображения между ними».
9. Дайте определения КЧ, МинКЧ и МаксКЧ. К каким элементам относятся эти характеристики?
10. Перечислите и укажите характеристики введенных типов отображений.
11. Какими символическими нотациями можно описать бинарные отношения? Сравните их информативность.
12. Укажите отличие сложного отображения от простого отображения.
13. Дайте три определения возможного ключа.
14. Что означает «определенность значения атрибута»?
15. Какие особенности каких отображений скрываются в определении возможного ключа и обязательности значений атрибута?
16. Что ассоциируется с понятиями «интенционал БД» и «экстенционал БД»?