Обработка и исполнение запросов в СУБД (Лекция 10)

Объектные и Объектно-Реляционные СУБД

v5

Георгий Чернышев

Высшая Школа Экономики

chernishev@gmail.com

25 ноября 2020 г.

План

- Объектные модели:
  1. Объектно-ориентированная База Данных;
  2. Объектно-реляционная База Данных;
- Вопросы архитектуры ОСУБД:
  1. Клиент-сервер: объектный и страничный вариант;
  2. Управление буфером;
  3. Управление OID;
  4. Pointer Swizzling;
  5. Исполнение запросов.

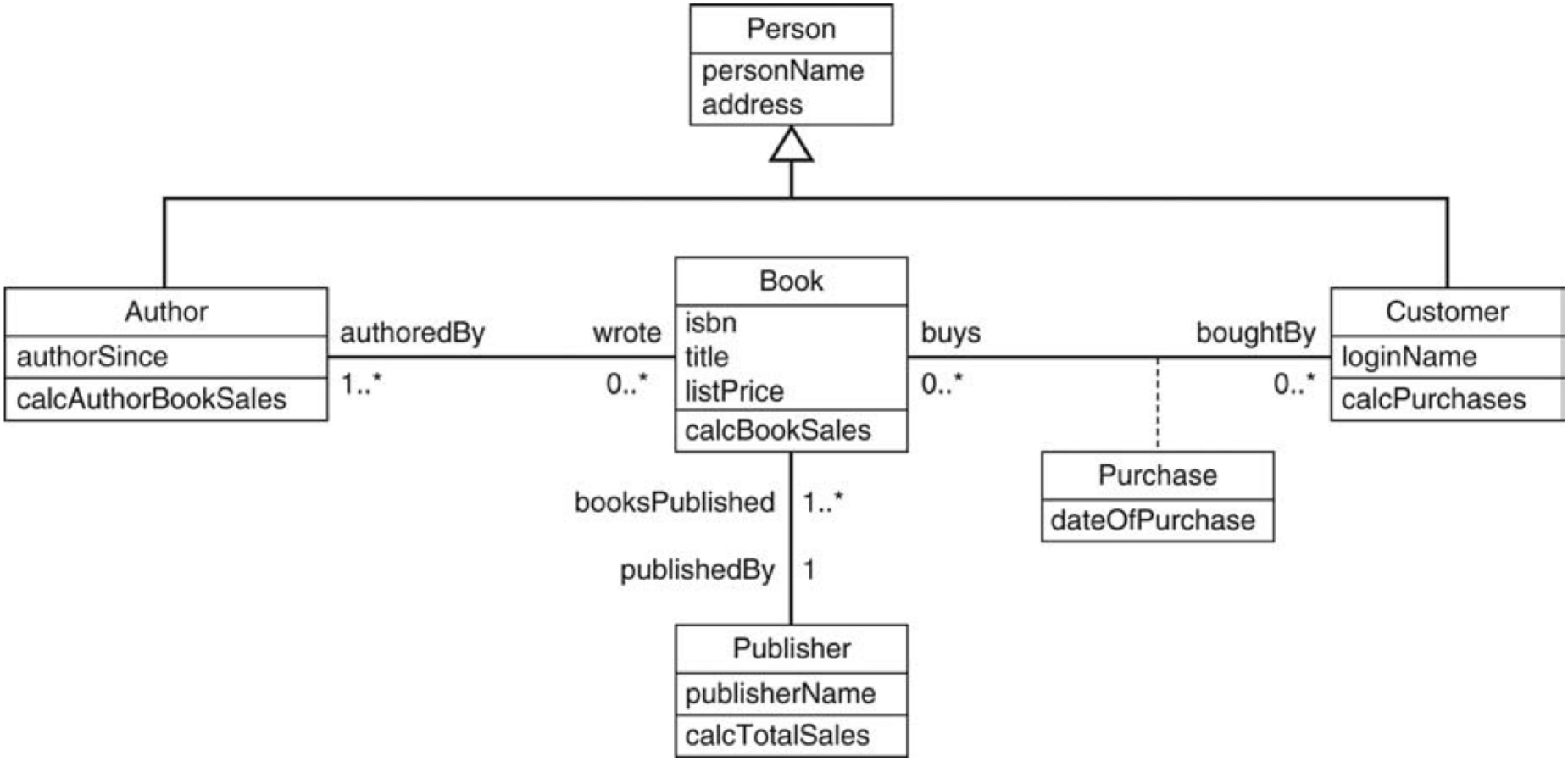
Объектные модели [Urban and Dietrich, 2009]

- Реляционная модель не всегда подходит (в нишевых системах — CAD, OIS, ...) [Özsu and Valduriez, 2011]:
  1. Иногда нужна возможность задавать пользовательские типы данных (application-specific data types);
  2. Пологая структура иногда плоха, иногда нужно отражать отношение включения что сложно сделать в реляционной модели;
  3. Реш. проблемы несоответствия импеданса (impedance mismatch);
- Object-Oriented Database System (OODB):
  1. Object-Oriented Database System Manifesto, середина 1980-х;
  2. Классы, иерархии, OID-ы;
  3. OOPL — единый язык для доступа в базу и разработки приложения, импеданса нет;
- Object-Relational Database (ORDB):
  1. Third generation database system manifesto, 1990-ый;
  2. Первая ORDB — Postgres [Rowe and Stonebraker, 1987];
  3. UDT, таблицы из объектов, ID у записей;

Объектная модель, основы [Urban and Dietrich, 2009]

- Сущности представляются объектами, имеют состояние и поведение;
- Состояние — набор структурных свойств объекта;
- Поведение описывается через методы;
- Объекты с одинаковым интерфейсом объединяются в класс;
- Каждый объект класса получает уникальный внутрениий идентификатор — OID, он иммутабелен;
- Связи между объектами реализуются с помощью ссылок;
- Классы можно объединять в иерархии, наследование;

Пример: объектная модель данных, UML



Object Data Models. Figure 1. The publisher object data model.

1

[1] Изображение взято из [Urban and Dietrich, 2009]

Объектно-Ориентированная модель [Urban and Dietrich, 2009]

- Суть OODB: база данных в которой объект это основная единица работы, плюс есть некоторый OO язык для запросов;
- Object Data Standard — содержит описание модели, язык задания схемы (ODL), язык запросов (OQL), разработан ODMG [Özsu and Valduriez, 2011];
- ODL (Object Definition Language) — язык спецификации объектной схемы: задание свойств объектов и сигнатур методов;
- Свойство это атрибут или отношение между объектами;
- В ODL отношения одно или двунаправленные (тогда СУБД поддерживает целостность);

Пример: OO модель данных, OODB Schema, ODL

```
class Person
(extent people)
{attribute string personName,
attribute AddressType address
};

class Author extends Person
(extent authors)
{attribute Date authorSince,
 relationship set<Book> wrote
    inverse Book::authoredBy,
 public float calcAuthorBookSales();
};

class Customer extends Person
(extent customers)
{attribute string loginName,
relationship set<Purchase> buys
    inverse Purchase::purchasedBy,
public float calcPurchases();
};

class Purchase
(extent purchases)
{attribute Date dateOfPurchase,
relationship Book bookPurchased
    inverse Book::boughtBy,
relationship Customer purchasedBy
    inverse Customer::buys;
);
```

```
class Book
(extent books,
key isbn)
{attribute string isbn,
attribute string title,
attribute float listPrice,
relationship set<Author> authoredBy
    inverse Author::wrote,
relationship set<Purchase> boughtBy
    inverse Purchase::bookPurchased,
relationship Publisher publishedBy
    inverse Publisher::booksPublished,
public float calcBookSales();
};

class Publisher
(extent publishers)
{attribute string publisherName,
relationship set<Book> booksPublished
   inverse Book::publishedBy,
public float calcTotalSales();
};
```

[2]

[2] Изображение взято из [Urban and Dietrich, 2009]

Пример: OO модель данных, OODB Schema, ODL

```
class Person
(extent people)
{attribute string personName,
attribute AddressType address
};

class Author extends Person
(extent authors)
{attribute Date authorSince,
 relationship set<Book> wrote
   inverse Book::authoredBy,
 public float calcAuthorBookSales();
};

class Customer extends Person
(extent customers)
{attribute string loginName,
relationship set<Purchase> buys
   inverse Purchase::purchasedBy,
public float calcPurchases();
};

class Purchase
(extent purchases)
{attribute Date dateOfPurchase,
relationship Book bookPurchased
   inverse Book::boughtBy,
relationship Customer purchasedBy
   inverse Customer::buys;
);
```

```
class Book
(extent books,
key isbn)
{attribute string isbn,
attribute string title,
attribute float listPrice,
relationship set<Author> authoredBy
   inverse Author::wrote,
relationship set<Purchase> boughtBy
   inverse Purchase::bookPurchased,
relationship Publisher publishedBy
   inverse Publisher::booksPublished,
public float calcBookSales();
};

class Publisher
(extent publishers)
{attribute string publisherName,
relationship set<Book> booksPublished
  inverse Book::publishedBy,
public float calcTotalSales();
};
```

3

[3] Изображение взято из [Urban and Dietrich, 2009]

OO модель [Urban and Dietrich, 2009]

Замечания по языкам:

- Можно задавать объектную схему на некотором OOPL, поддерживающимся в СУБД: C++, Java, ...
- Описание схемы и реализация методов на некотором языке называется language binding;
- Стандарт ODL говорит и о Object Query Language (OQL), подобие SQL, но можно “ходить” по “.” и вызывать методы:

```
1   select b.publishedBy.publisherName
2   from books b
3   where b.isbn = ''0-13-042898-1'';
```

```
1   select title: b.title, sales: b.calcBookSales()
2   from p in publishers, b in p.booksPublished
3   where p.publisherName = ''Springer-Verlag''
```

Объектно-Реляционная модель [Urban and Dietrich, 2009]

- Суть OORB: расширение реляционных СУБД, добавили типизированную таблицу (подобна классу в OODB), основана на UDT;
- Стандарт предложен в SQL3 (SQL1999);
- Можно иметь иерархии объектов;
- У записи (у объекта) такой таблицы есть OID;
- Ссылки в объектах по OID задают отношения между объектами:
  1. scope указывает на таблицу;
  2. refs are checked — аналог ссылочной целостности, триггеров;

Пример: O-P модель данных, ORDB Schema, SQL Stan-d

```
create type personUdt as
(personName varchar(15),
address varchar(20))
instantiable not final ref is system generated;

create table person of personUdt
(primary key (personName),
ref is personID system generated);

create type authorUdt under personUdt as
(authorSince varchar(10),
wrote ref (bookUdt) scope book array [10]
    references are checked on delete no action)
instantiable not final
method calcAuthorBookSales() returns decimal;

create table author of authorUdt under person;

create type customerUdt under personUdt as
(loginName varchar(10),
buys ref (purchaseUdt) scope purchase array [50]
    references are checked on delete no action)
instantiable not final
method calcPurchases() returns decimal;

create table customer of customerUdt under person
(unique (loginName));

create type publisherUdt as
(publisherName varchar(30),
booksPublished ref (bookUdt) scope book array [1000]
    references are checked on delete set null)
instantiable not final ref is system generated
method calcTotalSales() returns decimal;
```

```
create table publisher of publisherUdt
(primary key (publisherName),
ref is publisherID system generated);

create type purchaseUdt as
(dateOfPurchase date,
purchasedBy ref (customerUdt) scope customer
    references are checked on delete cascade,
bookPurchased ref (bookUdt) scope book
    references are checked on delete cascade)
instantiable not final ref is system generated;

create table purchase of purchaseUdt
(ref is purchaseID system generated);

create type bookUdt as
(isbn varchar(30),
title varchar(50),
listPrice decimal,
authoredBy ref (authorUdt) scope author array[5]
    references are checked on delete no action,
boughtBy ref (purchaseUdt) scope purchase
array[1000]
    references are checked on delete set null,
publishedBy ref (publisherUdt) scope publisher
    references are checked on delete no action)
instantiable not final ref is system generated
 method calcBookSales() returns decimal;

create table book of bookUdt
(primary key (isbn),
ref is bookID system generated);
```

4

[4] Изображение взято из [Urban and Dietrich, 2009]

Пример: O-P модель данных, ORDB Schema, SQL Stan-d

```
create type personUdt as
(personName varchar(15),
address varchar(20))
instantiable not final ref is system generated;

create table person of personUdt
(primary key (personName),
ref is personID system generated);

create type authorUdt under personUdt as
(authorSince varchar(10),
wrote ref (bookUdt) scope book array [10]
    references are checked on delete no action)
instantiable not final
method calcAuthorBookSales() returns decimal;

create table author of authorUdt under person;

create type customerUdt under personUdt as
(loginName varchar(10),
buys ref (purchaseUdt) scope purchase array [50]
    references are checked on delete no action)
instantiable not final
method calcPurchases() returns decimal;

create table customer of customerUdt under person
(unique (loginName));

create type publisherUdt as
(publisherName varchar(30),
booksPublished ref (bookUdt) scope book array [1000]
    references are checked on delete set null)
instantiable not final ref is system generated
method calcTotalSales() returns decimal;

create table publisher of publisherUdt
(primary key (publisherName),
ref is publisherID system generated);

create type purchaseUdt as
(dateOfPurchase date,
purchasedBy ref (customerUdt) scope customer
    references are checked on delete cascade,
bookPurchased ref (bookUdt) scope book
    references are checked on delete cascade)
instantiable not final ref is system generated;

create table purchase of purchaseUdt
(ref is purchaseID system generated);

create type bookUdt as
(isbn varchar(30),
title varchar(50),
listPrice decimal,
authoredBy ref (authorUdt) scope author array[5]
    references are checked on delete no action,
boughtBy ref (purchaseUdt) scope purchase
array[1000]
    references are checked on delete set null,
publishedBy ref (publisherUdt) scope publisher
    references are checked on delete no action)
instantiable not final ref is system generated
 method calcBookSales() returns decimal;

create table book of bookUdt
(primary key (isbn),
ref is bookID system generated);
```

5

[5] Изображение взято из [Urban and Dietrich, 2009]

Запросы в OP модели [Urban and Dietrich, 2009]

- Запрос, прописываем OID:

```
update book set publishedBy =
  (select publisherID from publisher
    where publisherName =``Prentice Hall'')
where isbn = ``0-13-042898-1'';
```

- По точкам тоже можно ходить (там скрыт join):

```
select publishedBy.publisherName
from book
where isbn = ``0-13-042898-1'';
```

- Можно разыменовать указатель:

```
select deref(publishedBy)
from book
where isbn = ``0-13-042898-1'';
```

Замечание

Если кому-то нужно полноценное введение в объекты с оглядкой на базы данных, то есть, не ясны понятия: объект, тип, класс, подкласс, наследование, композиция то читайте 15.1 (Distributed Object Database Management) из [Özsu and Valduriez, 2011].

Вопросы архитектуры распределенных ОСУБД по Özsu

Много всего:

- Варианты клиент/серверной архитектуры;
- Управление буфером на клиенте и на сервере;
- Кеши и их консистентность;
- Управление OID-ами;
- Миграция объектов;
- Кластеризация объектов;
- Распределенный GC;
- Обработка и выполнение запросов в OODB.

Отличия ОСУБД от реляционных систем

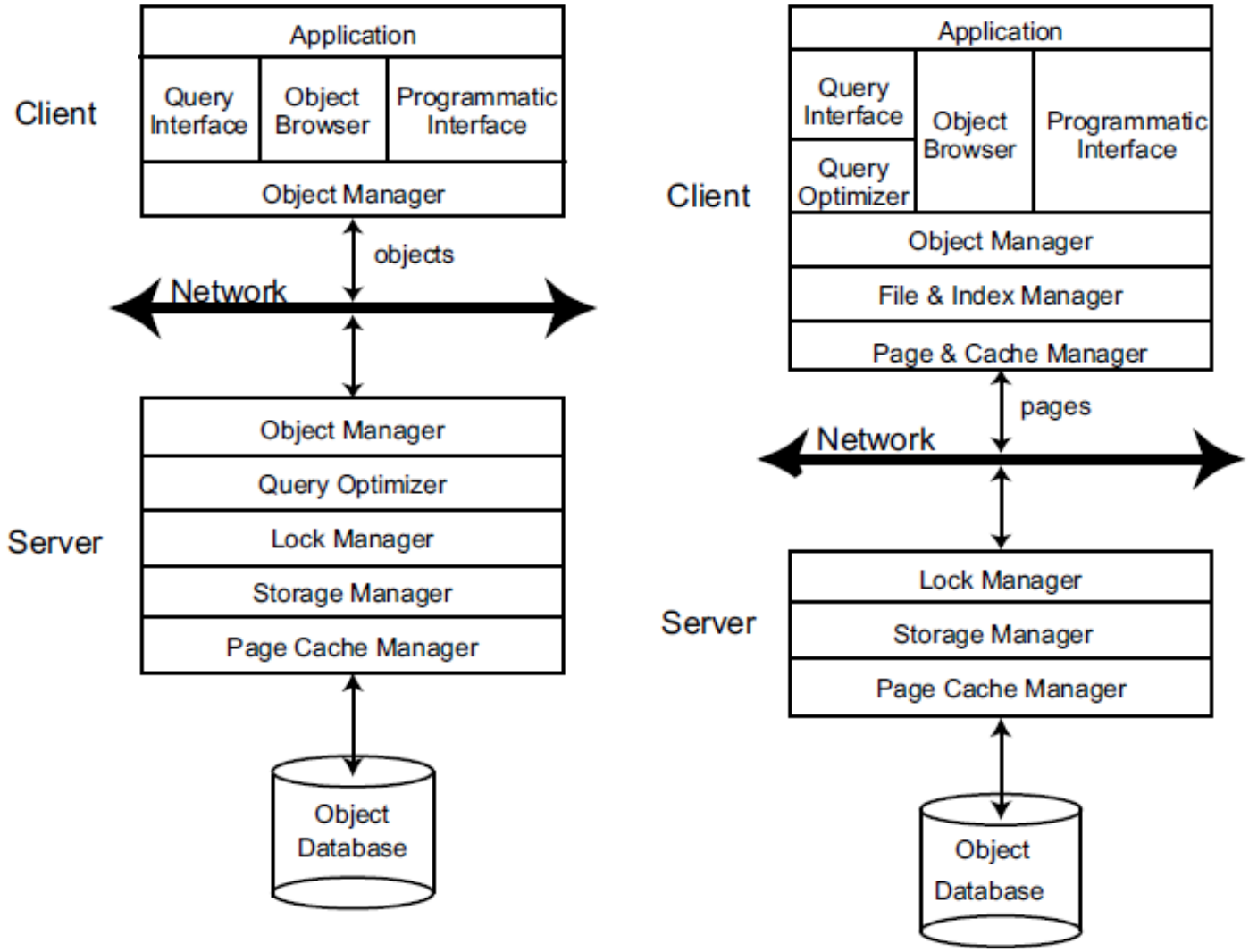
Сразу думаем о клиент-серверных системах (лекция 4).

Много аспектов:

- Какова будет единица обмена между клиентом и сервером: страница или объект (или группа объектов)?
- Какие функции предоставляет клиент, а какие сервер? Объекты не пассивны, может быть активное взаимодействие которое полезно пооптимизировать.
- В реляционных системах преобладает function shipping (лекция 5), но в объектных может быть очень полезен data shipping.
- В ОСУБД необходим prefetch по данным.

Итог — два подхода: объектные и страничные сервера.

Варианты клиент/серверной архитектуры ОСУБД I



[6]

[6] Изображение взято из [Özsu and Valduriez, 2011]

Варианты клиент/серверной архитектуры ОСУБД II

В зависимости от гранулярности данных и предоставляемой функциональности бывают:

- Объектные сервера:
  - Сервер делает основную работу;
  - Менеджер объектов (OM) предоставляет контекст для исполнения методов, можно выполнять на сервере и на клиенте;
  - Управление OID-ом — ответственность OM (удаление, GC);
  - На сервере OM отвечает за кластеризацию;
  - На клиенте и сервере кеши из объектов, на сервере страничный;
  - Оптимизацию пользовательских запросов делает сервер, он же синхронизацию транзакций;
- Страничные сервера:
  - Можно рассматривать как улучшенный storage manager: базовая единица обмена данными страница или сегмент, а не объект;

Варианты клиент/серверной архитектуры ОСУБД III

Страничный подход считается лучшим, хотя результаты не финальны, хорошо получалось когда: кластеризация совпадает с паттерном доступа из запроса; когда был один сервер и один/несколько клиентов и т.д.

- Страничные сервера:
  - Упрощают код СУБД: страничные кеши на клиенте и сервере, единое представление данных вплоть до пользователя;
  - Обновления просто заливать с клиента на сервер;
  - Более полное использование ресурсов клиента при выполнении запросов;
  - Нагрузку можно балансировать с помощью оптимизатора;
  - Можно эффективно использовать ОС, железо (pointer swizzling);

Варианты клиент/серверной архитектуры ОСУБД IV

Некоторые соображения на тему:

- Казалось бы, объектная модель по производительности должна иметь преимущества — если сервер будет “понимать” концепцию объекта:
  - Замки и логгирование на уровне объектов, а не страниц;
  - Фильтрация на сервере: слать меньше + разгрузить клиента;
- Фильтрация на сервере не так уж однозначно хороша. Нагрузка это смесь из запросов и пообъектной навигации. Для каждого объекта по вызову RPC — плохо (причина победы страничного подхода — навигационные тестовые нагрузки).
- Возможное решение проблемы навигации: слать код на сервер и там исполнять. Появляется другая проблема: безопасность.
- Есть системы умеющие переключаться между режимами: O_2.

Управление буфером

- Клиент. Если page fault информация берется с сервера. Бывает:
  - Объектный — на уровне объекта: (+) высокая гранулярность $\longrightarrow$ высокая конкурентность (-) фрагментация;
  - Страничный — на уровне страницы: (+) нет фрагментации (-) не угадали с шаблоном кластеризации $\longrightarrow$ будем подгружать постоянно;
  - Двойной — есть оба, при сбросе страничного, откопируем полезные объекты в объектный. Копим хорошо кластеризованные страницы и объекты.
- Сервер. Если случается page fault — информация берется с диска.
  - Аналогичен реляционным в части общения с диском. Если нужны группы объектов, конструирует их из страниц и шлет на клиент.
  - MOB (Modified Object Buffer) — амортизация записи на диск.
  - LRU hate hints на сервере (разделять информацию на сервере и клиенте, стремиться чтобы всё обслуживалось клиентом).

Управление OID I

Как реализовывать постоянный ID объекта? Объекты бывают постоянные, временные, созданные пользователем или системой.

- Physical identifier (POID) — физический адрес. Стратегия: OID приравнивается к физическому адресу объекта. Например, адрес страницы + смещение.
  - (+) Получаем адрес объекта из OID сразу;
  - (-) "Родителей" надо обновлять при переезде на новую страницу;
- Logical identifier (LOID) — каждому объекту, дается уникальный в рамках системы ID. Бывает:
  - Чистый LOID, генерируются с помощью уникального в рамках системы счетчика;
  - Псевдо LOID, сервер ID сконкатенированный со счетчиком в рамках сервера;
- Для стратегии LOID надо держать таблицу трансляции в POID;
  - Придется тратить один look-up по таблице :(
- Зато не надо обновлять LOID при перемещении объекта.

Управление OID II

- Распределенные объектные системы предпочитают LOID, из-за динамичности окружения в котором работает СУБД;
- Трюк: для маленьких значений не разделяемых по ссылке, хранить их значение в OID (меньше таблица, быстрее получение);
- Генерация LOID:
  - чистый LOID дорог: сетевые задержки + доп. нагрузка на узел;
  - номер генерируется секвенцей, не переиспользуется при удалении.
- Трансляция LOID-POID:
  - Если чистый LOID и клиент подключен к нескольким серверам то таблица на клиенте;
  - Если псевдо LOID, то только на серверах;
  - На клиенте держать нежелательно: не масштабируемо, надо синхронизировать таблицы на всех подключенных клиентах;
  - Таблица хранится в виде B^+-дерева или хеш-таблицы.

Pointer Swizzling I

При вычислении Path Expressions вида c.engine.manufacturer.name надо подгружать данные с диска. На диске OID, но в памяти лучше использовать указатели. Подход динамической подмена на указатели — pointer swizzling (словарь: “настройка по адресам”).
Методы:

- Хардварный: если приходит от ОС page fault загружаем страницу, конвертируем на ней все OID в указатели на несуществующие страницы. Резервируем место на эти страницы. Эти страницы подгружаются только когда их, в свою очередь, “тронут” (перехватываем page fault от ОС).
- Софтварный: используется таблица объектов. Указатель подменяется так, чтобы указывать на место в таблице объектов (LOID).
- Бывают eager и lazy софтварные схемы.

Pointer Swizzling II

- Хардварный: лучше когда постоянно ходим по одной группе объектов, меньше косвенных обращений (к таблице объектов);
- Но! Плохая кластеризация, мало нужных объектов на странице, много перехватов page faults $\longrightarrow$ хардварный будет страдать;
- Удаления обрабатывать сложнее, транзакционность сложнее, хардварная ориентирована на страничные сервера;
- При хардварной может кончиться память (постоянно резервируем);
- При хардварной трудно работать на уровне объектов.

Исполнение запросов в ОСУБД [Özsu and Valduriez, 2011]

Базируется на принципах реляционных СУБД, однако есть отличия:

- Более сложная алгебра операций:
  - оперируем над наборами объектов;
  - наборы семантически разные: список, множество, bag;
  - $\longrightarrow$ необходим сложный механизм вывода типов.
- В реляционных стоимости основываются на AM, физическом расположении данных. Информация легко доступна оптимизатору
  - стоимость выполнения методов сложнее оценить;
  - так как ЯП общего назначения, то методы надо оптимизировать;
  - инкапсуляция мешает, иногда оптимизатор игнорирует ее.
- Сложная (ссылочная) структура на объектах:
  - центральная проблема: оптимизация path expressions;
  - доступ к атрибутам через граф наследования тоже надо оптимизировать.

Оптимизация Path Expressions

Пример: c.engine.manufacturer.name. Интересные моменты:

- Занимались с начала 80-х, проблема: могут быть и методы!
- Соединения на графе;
- Path index: аналог join index, можно строить не только для цепочки вызовов, но и для графа наследования;
- Access support relation: структура данных для хранения избранных path expressions.

Про оптимизацию

Если кому-то интересно про оптимизацию в объектных системах то смотрите [Mitchel, 1993], [Ozsu and Blakeley, 1990], [Straube and Ozsu, 1990].

А начать стоит с дочитывания 15.6 (Distributed Object Database Management) из [Özsu and Valduriez, 2011].

Ссылки I


Gail Anne Mitchel. Extensible Query Processing in an Object-Oriented Database. Technical Report TR93-16. Department of Computer Science, Brown University. ftp://ftp.cs.brown.edu/pub/techreports/93/cs93-16.pdf


M. Tamer Özsu and Jose A. Blakeley. Query Processing in Object-Oriented Database Systems. 19 pages. https://cs.uwaterloo.ca/~tozsu/publications/odbms/wonkim/kimchap.pdf


David D. Straube and M. Tamer Özsu. 1990. Queries and query processing in object-oriented database systems. ACM Trans. Inf. Syst. 8, 4 (October 1990), 387–430. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/102675.102678


Rowe L. and Stonebraker M. The Postgres Data Model. In Proc. 13th Int. Conf. on Very Large Data Bases. 1987.


Susan D. Urban, Suzanne W. Dietrich. Object Data Models. Encyclopedia of Database Systems. Springer US, 2009. 1929–1935. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_249


Özsu M.T. and Valduriez P. Principles of Distributed Database Systems, 3rd ed. Prentice-Hall, 2011.