

从用户系统设计中学习数据库与缓存

Design User System - Database & Cache

我是可爱的圆圆，
加我领取课程福利哦

讲师：东邪



扫描上方二维码加圆圆
快速获取面试资料/课程福利



关注公众号，了解大厂资讯

- 使用 **4S** 分析法分析用户系统
- 缓存是什么 **Cache**
- 缓存和数据库如何配合 **Cache & Database**
- 登陆系统如何做 **Authentication Service**
- 好友关系的存储与查询 **Friendship Service**
- 以 **Cassandra** 为例了解 **NoSQL** 型数据库
- 关系型与非关系型数据库的适用场景比较 **SQL vs NoSQL**
- 拓展真题：
 - **NoSQL** 单向好友关系
 - 如何按照 **email / username / phone / id** 同时检索 **User**
 - 共同好友查询
 - **Linkedin** 六度好友关系

Design User System

实现功能包括注册、登录、用户信息查询
好友关系存储

- Scenario 场景
 - 注册、登录、查询、用户信息修改
 - 哪个需求量最大?
 - 支持 100M DAU
 - 注册，登录，信息修改 QPS 约
 - $100M * 0.1 / 86400 \sim 100$
 - 0.1 = 平均每个用户每天登录+注册+信息修改
 - $Peak = 100 * 3 = 300$
 - 查询的QPS 约
 - $100 M * 100 / 86400 \sim 100k$
 - 100 = 平均每个用户每天与查询用户信息相关的操作次数（查看好友，发信息，更新消息主页）
 - $Peak = 100k * 3 = 300 k$
- Service 服务
 - 一个 AuthenticationService 负责登录注册
 - 一个 UserService 负责用户信息存储与查询
 - 一个 FriendshipService 负责好友关系存储

QPS 与 系统设计的关系

为什么要分析 QPS?

QPS 的大小决定了数据存储系统的选择

- MySQL / PostgreSQL 等 SQL 数据库的性能
 - 约 1k QPS 这个级别
- MongoDB / Cassandra 等 硬盘型NoSQL 数据库的性能
 - 约 10k QPS 这个级别
- Redis / Memcached 等 内存型NoSQL 数据库的性能
 - 100k ~ 1m QPS 这个级别
- 以上数据根据机器性能和硬盘数量及硬盘读写速度会有区别
- 思考：
 - 注册，登录，信息修改，300 QPS，适合什么数据存储系统？
 - 用户信息查询适合什么数据存储系统？

用户系统特点

读非常多，写非常少

一个读多写少的系统，一定要使用 **Cache** 进行优化

- Cache 是什么？
 - 缓存，把之后可能要查询的东西先存一下
 - 下次要的时候，直接从这里拿，无需重新计算和存取数据库等
 - 可以理解为一个 Java 中的 HashMap
 - key-value 的结构
- 有哪些常用的 Cache 系统/软件？
 - Memcached（不支持数据持久化）
 - Redis（支持数据持久化）
- Cache 一定是存在内存中么？
 - 不是
 - Cache 这个概念，并没有指定存在什么样的存储介质中
 - File System 也可以做Cache
 - CPU 也有 Cache
- Cache 一定指 Server Cache 么？
 - 不是，Frontend / Client / Browser 也可能有客户端的 Cache

Memcached

一款负责帮你Cache在内存里的“软件”
非常广泛使用的数据存储系统

```
1 cache.set("this is a key", "this is a value")
2 cache.get("this is a key")
3 >> "this is a value"
4
5 cache.set("foo", 1, ttl=60)
6 cache.get("foo")
7 >> 1
8
9 # wait for 60 seconds
10 cache.get("foo")
11 >> null
12
13 cache.set("bar", "2")
14 cache.get("bar")
15 >> "2"
16
17 # for some reason like out of memory
18 # "bar" may be evicted by cache
19 cache.get("bar")
20 >> null
```

```
1 class UserService:
2
3     def getUser(self, user_id):
4         key = "user::%s" % user_id
5         user = cache.get(key)
6         if user:
7             return user
8         user = database.get(user_id)
9         cache.set(key, user)
10        return user
11
12    def setUser(self, user):
13        key = "user::%s" % user.id
14        cache.delete(key)
15        database.set(user)
16
```

“%s” 是 Python 的语法，表示把后面的 user_id 填入字符串的这个位置

下面哪些写法是不对的？

A: `database.set(user); cache.set(key, user);`

B: `database.set(user); cache.delete(key);`

C: `cache.set(key, user); database.set(user);`

D: `cache.delete(key); database.set(user);`

Cache 和 Database 的操作都不保证一定成功

A: `database.set(user);` `cache.set(key, user);`

B: `database.set(user);` `cache.delete(key);`

C: `cache.set(key, user);` `database.set(user);`

以上三个选项，如果第一个操作成功了，第二个操作失败了，都会导致数据库和缓存中的数据不一致（inconsistent）。我们称之为“脏数据”（Dirty Data）

问：有没有可能第一个失败，第二个成功？



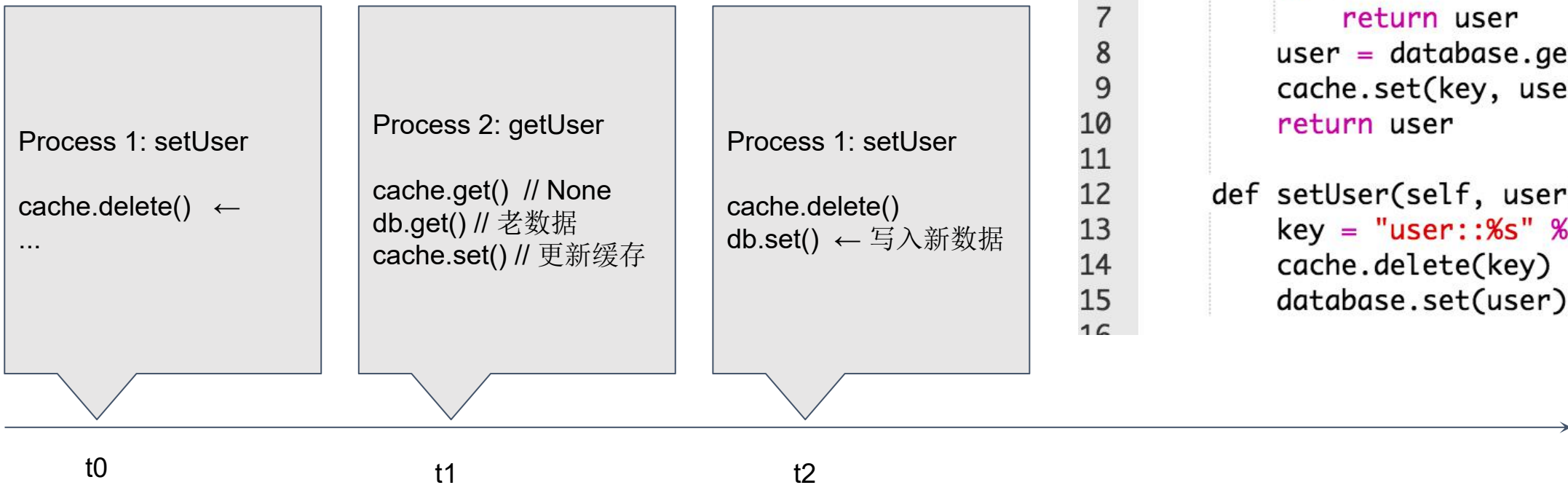
D: `cache.delete(key); database.set(user);`

D选项中，不会因为第一个操作成功，而第二个操作不成功造成数据不一致。因为 `cache.delete` 是删除缓存中的数据，而不是修改缓存中的数据，第二个操作失败以后，信息相当于没有被修改，虽然操作失败了，但是没有造成缓存与数据库的数据不一致。

但是 D 这个选项仍然存在问题，请问在什么情况下会造成数据不一致？

多线程多进程下的数据不一致

在 `setUser` 执行到14行和15行之间的時候
 另外一个进程执行了 `getUser`
 此时 `cache` 里的数据是旧数据



```

1  class UserService:
2
3      def getUser(self, user_id):
4          key = "user::%s" % user_id
5          user = cache.get(key)
6          if user:
7              return user
8          user = database.get(user_id)
9          cache.set(key, user)
10         return user
11
12     def setUser(self, user):
13         key = "user::%s" % user.id
14         cache.delete(key)
15         database.set(user)
16
    
```

解决办法

可以给数据库和缓存的两个操作加锁么？

解决办法

可以给数据库和缓存的两个操作加锁么？

不行，数据库和缓存是两台机器，两套系统，并不支持加锁
如果是用一些第三方分布式锁，会导致存取效率降低，得不偿失

Best practice: `database.set(key, user); cache.delete(key)`

问题1: 在多线程多进程的情况下依旧会出问题

在 `getUser` 执行到第9行和第10行之间时

另外一个进程执行了 `setUser()`, `cache` 里会放入旧数据

问题2: `db set` 成功, `cache delete` 失败

好处: 上面这两种情况发生概率都远低于 `cache.delete + db.set`
为什么?

```
1 class UserService:
2
3     def getUser(self, user_id):
4         key = 'user:%s' % user_id
5         user = cache.get(key)
6         if user:
7             return user
8
9         user = database.get(user_id)
10        cache.set(key, user)
11        return user
12
13    def setUser(self, user):
14        key = 'user:%s' % user.id
15        database.set(user)
16        cache.delete(key)
```

巧妙利用 `cache` 的 `ttl` (time to live / timeout) 机制

任何一个 `cache` 中的 `key` 都不要永久有效，设置一个短暂的有效时间，如 7 天

那么即便在极低概率下出现了数据不一致，也就最多不一致 7 天

即，我们允许数据库和缓存有“短时间”内的不一致，但最终会一致。

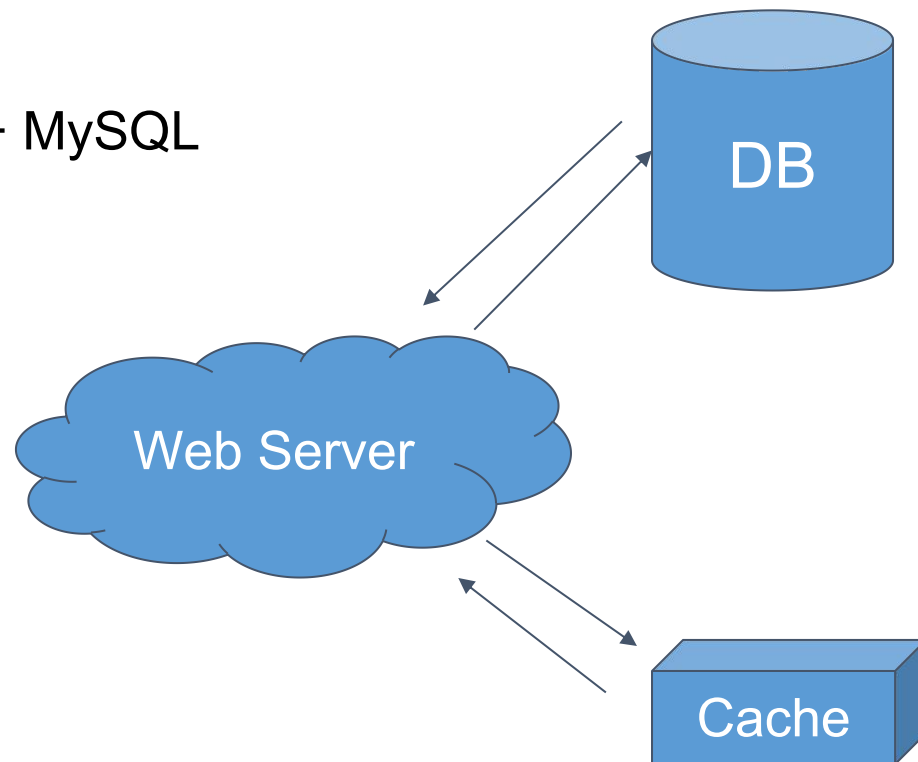
如果写很多怎么办？

在每次数据修改的时候，我们会在 `cache` 中 `delete` 这个数据
如果写很多，甚至写多读少，那么此时 `cache` 是没有任何优化效果的

服务器分别与 DB 和 Cache 进行沟通

DB 和 Cache 之间不直接沟通

业界典型代表: Memcached + MySQL



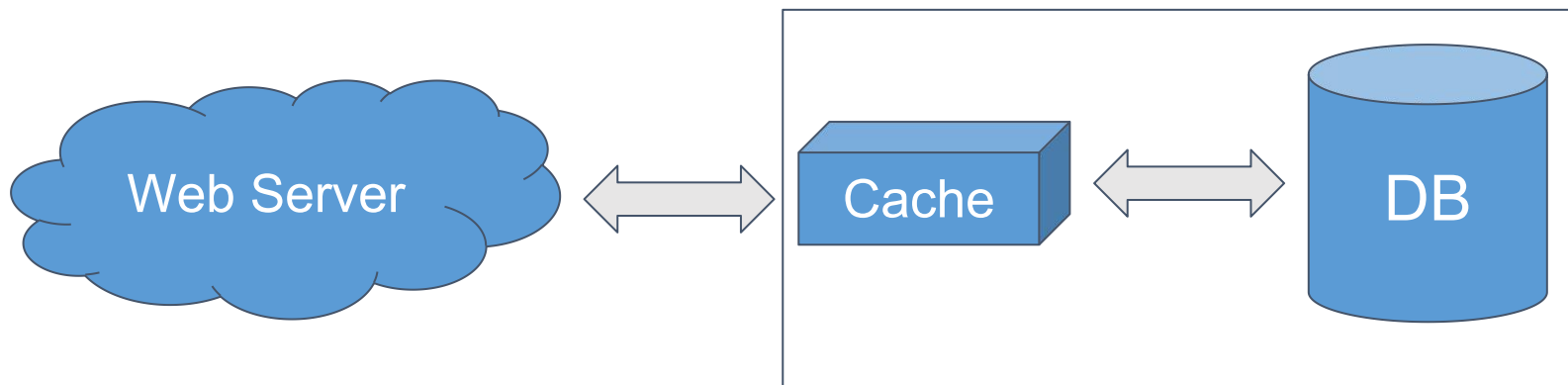
服务器只和 Cache 沟通

Cache 负责 DB 去沟通，把数据持久化

业界典型代表：Redis（可以理解为 Redis 里包含了一个 Cache 和一个 DB）

缺点：Redis 支持单纯的 key-value 存储结构，无法适应复杂的应用场景

所以通常业界使用 Cache Aside 的方式较多，Cache 和 DB 都可以自由的搭配组合



Authentication Service

登录系统

Session

Cookie

- 用户 Login 以后，为他创建一个 session 对象
- 并把 session_key 返回给浏览器，让浏览器存储起来
- 浏览器将该值记录在浏览器的 cookie 中
- 用户每次向服务器发送的访问，都会自动带上该网站所有的 cookie
- 此时服务器拿到 cookie 中的 session_key，在 Session Table 中检测是否存在，是否过期
- **Cookie:** HTTP 协议中浏览器和服务器的沟通机制，服务器把一些用于标记用户身份的信息，传递给浏览器，浏览器每次访问任何网页链接的时候，都会在 HTTP 请求中带上所有的该网站相关的 Cookie 信息。Cookie 可以理解为一个 Client 端的 hash table。

Session Table		
session_key	string	一个 hash 值，全局唯一，无规律
user_id	Foreign key	指向 User Table
expire_at	timestamp	什么时候过期

Session 三问

1. Session 记录过期以后，服务器会主动删除么？
2. 只支持在一台机器登陆和在多台机器同时登陆的区别是什么？
3. Session 适合存在什么数据存储系统中

Friendship Service

好友关系的存储与查询

单向好友关系

双向好友关系

- 例子：Twitter、Instagram、微博
- 存在 **SQL** 数据库时
 - 查询x所有的关注对象：
`select * from friendship where from_user_id=x`
 - 查询x所有的粉丝：
`select * from friendship where to_user_id=x`
- 存在 **NoSQL** 数据库时
 - 见拓展练习1

Friendship Table		
from_user_id	Foreign key	用户主体
to_user_id	Foreign key	被关注的人

Friendship Table	
from_user_id	to_user_id
1	2
2	1
1	3
2	3

- 例子：微信，Facebook，WhatsApp
- 方案1：存储为一条数据
 - `select * from friendship`
 - `where smaller_user_id = x or bigger_user_id=x`
 - 问：为什么需要区分 smaller / bigger?
 - SQL 可以按照这种方案
 - NoSQL 很多不支持 Multi-index 不能使用这种方案
- 方案2：存储为两条数据
 - `select * from friendship where from_user_id=x`
 - NoSQL 和 SQL 都可以按照这种方案
- 问：两种方案哪种更好？

方案1	
smaller_user_id	bigger_user_id
1	2
1	3
2	3

方案2	
from_user_id	to_user_id
1	2
2	1
1	3
3	1
2	3
3	2

以 Cassandra 为例剖析典型的 NoSQL 数据结构

- Cassandra 是一个三层结构的 NoSQL 数据库
 - <http://www.lintcode.com/problem/mini-cassandra/>
 - 第一层: row_key
 - 第二层: column_key
 - 第三层: value
-
- Cassandra 的 Key = row_key + column_key
 - 同一个 row_key + column_key 只对应一个 value

结构化信息如何存储?

- 将其他需要同时存储的数据, 序列化 (Serialize) 到 value 里进行存储
 - 什么是 Serialization: 把一个 object / hash 序列化为一个 string, 比如把一棵二叉树序列化
 - <http://www.lintcode.com/problem/binary-tree-serialization/>

Row Key

又称为 Hash Key, Partition Key

Cassandra 会根据这个 key 算一个 hash 值

然后决定整条数据存储在哪儿

无法进行 Range Query

常用: `user_id`

Column Key

`insert(row_key, column_key, value)`

任何一条数据，都包含上面三个部分

你可以指定 `column_key` 按照什么排序

Cassandra 支持这样的“范围查询”：

`query(row_key, column_start, column_end)`

可以是复合值，如 `timestamp + user_id`

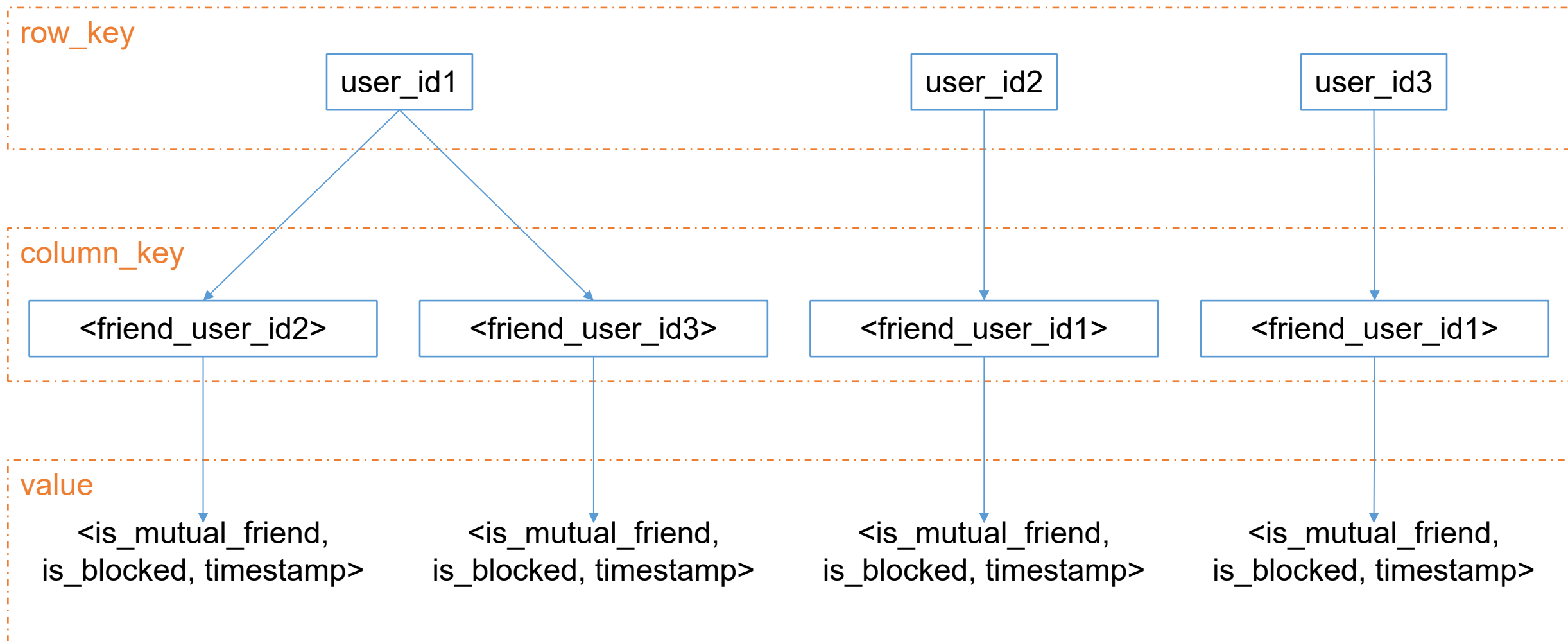
- SQL的column是在Schema中预先指定好的，不能随意添加
- 一条数据一般以 row 为单位（取出整个row作为一条数据）

SQL	id	username	email	password	first_name	...
row1						
row2						
...						

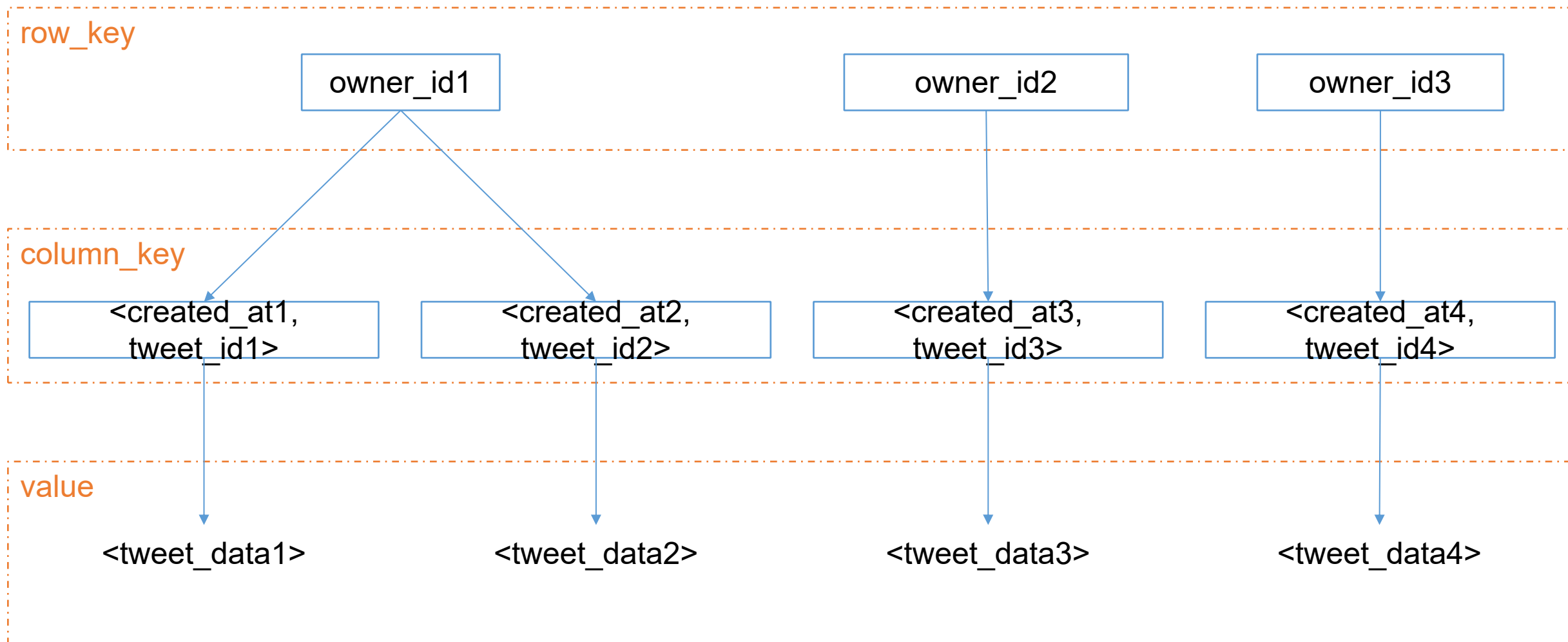
- NoSQL的column是动态的，无限大，可以随意添加
- 一条数据一般以 grid 为单位，row_key + column_key + value = 一条数据
- 只需要提前定义好 column_key 本身的格式（是一个 int 还是一个 int+string）

NoSQL	column_key1	column_key2	column_key3	column_key4	...
row_key1	value0	value1	...		
row_key2			
...					

以 Cassandra 为例看看 Friendship Table 如何存储



例子2: Cassandra 如何存储 NewsFeed



SQL vs NoSQL

Friendship Table适合什么数据库？

SQL 和 NoSQL 的选择标准是什么？

数据库选择原则1

大部分的情况，用SQL也好，用NoSQL也好，都是可以的

数据库选择原则2

需要支持 Transaction 的话不能选 NoSQL

数据库选择原则3

你想在什么地方偷懒很大程度决定了选什么数据库

SQL: 结构化数据, 自由创建索引

NoSQL: 分布式, Auto-scale, Replica

数据库选择原则4

一般一个网站会同时用多种数据库系统
不同的表单放在不同的数据库里

User Table 存在哪儿？

大部分公司选择了 SQL

原因：信任度，Multi-Index

Friendship 存在哪儿？

大部分公司选择了 NoSQL

原因：数据结构简单，都是 **key-value** 的查询/存储需求

NoSQL 效率更高

拓展练习1: NoSQL 存单向好友关系

使用 **Cassandra** 存储单向好友关系，支持如下操作：

1. 查询某个人的关注列表
2. 查询某个人的粉丝列表
3. 查询 **A** 是否关注了 **B**

请设计出需要哪些表单和对应的表单结构

需要两张表单，一张存粉丝，一张存关注

Redis:

key = user_id

value = set of friend_user_id (粉丝表里就是粉丝id, 关注表里就是关注的用户id)

查 A 是否关注了 B: 使用 Redis 的 SISMEMBER 操作查询 A 关注的人里有没有 B

Cassandra:

row_key = user_id

column_key = friend_user_id (粉丝表里就是粉丝id, 关注表里就是关注的用户id)

value = 其他你想同时存储的东西, 如关注时间

查 A 是否关注了 B: 在关注表中查询 row_key=A, column_key=B 的数据是否存在

拓展练习2: NoSQL 存储 User

如果使用不支持 Multi-index 的 NoSQL 存储 User
如何同时支持按照 email, username, phone, id 来检索用户?

- User 相关的所有数据都存在 UserTable 里
 - Redis: key = user_id, value = 用户信息
 - Cassandra:
 - row_key = user_id
 - column_key = 任何你想放的信息
 - value = 其他用户信息
- 其他再同时创建多张表单, 用作 index
 - Redis: key = email / phone / username, value = user_id
 - Cassandra:
 - row_key = email / phone / username
 - column_key = 任何你想放的信息
 - value = 其他用户信息

拓展练习3：共同好友

共同好友（Mutual Friends）是社交网站上常见的功能
请设计这个功能：列出 **A** 和 **B** 之间的共同好友

拓展练习3: 共同好友

获得 A 和 B 的共同好友

基本流程:

1. 获得 A 的好友列表
2. 获得 B 的好友列表
3. 求交集

总共两次数据库的 key-value 查询

优化:

使用缓存存储用户的好友列表 → 两次数据库查询变两次缓存查询

拓展练习4: LinkedIn 六度关系

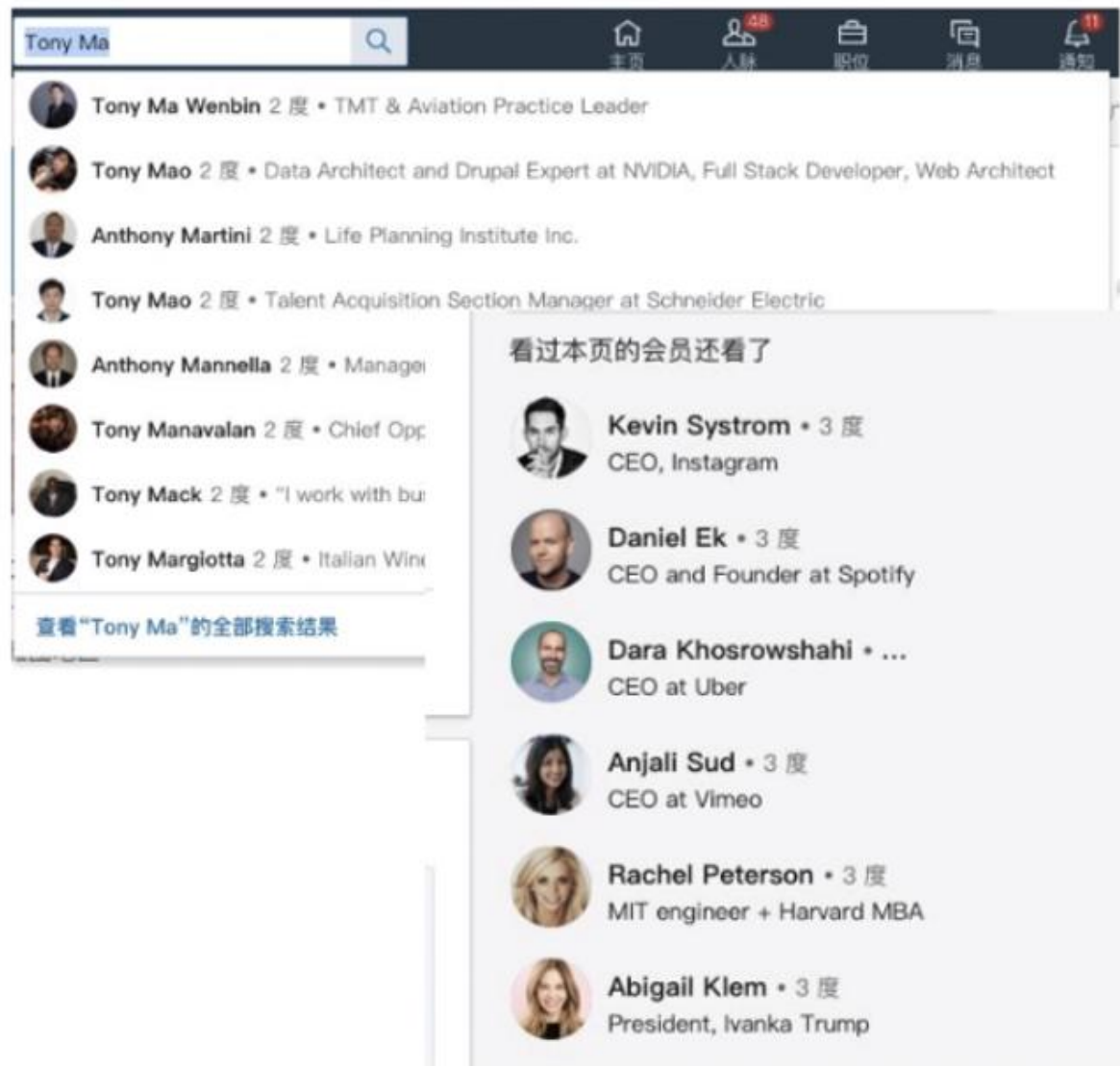
LinkedIn 上有一个功能是显示你和某人之间的几度关系
(通过多少个朋友能认识)

请设计这个功能

问: 可以使用宽度优先搜索 (BFS) 算法么?

细化场景 Scenario:

- 查询你和某些人(不超过10个)之间的六度关系
- 用户数量级 > 100M
- 平均好友数 1000 个
- 期望的 DB Query 次数为常数级(<20次 Query)



$A \leftrightarrow B$: A和B之间是一度关系

$A \leftrightarrow B \leftrightarrow C$: A和C之间是二度关系

$A \leftrightarrow B \leftrightarrow C \leftrightarrow D$: A和D之间是三度关系

切入点: **>3度关系是没有现实意义的, 对于超过三度的关系, 直接显示 3度+**

bill gates foundation



Bill Gates 3 度+ • Co-chair, Bill & Melinda Gates Foundation

方法:

- 提前算好所有的一度和二度关系并存储在 NoSQL 里
 - 一度表: key=user_id, value=所有一度关系(直接好友)
 - 二度表: key=user_id, value=所有二度关系(间接好友)
- 查询我的所有一度和二度关系得到我的直接和间接好友集合 set1 (两次 key-value Query)
- 对于给定的不超过 10 个需 用户列表查询他们的一度关系, 得到 set2 (10次 Query)
- 在 set1 和 set2 中求交集, 根据交集结果推导这 10 个人和我的关系距离

- **Dynamo DB** —— 理解分布式数据库(NoSQL)的原理
 - <http://bit.ly/1mDs0Yh> [Hard] [Paper]
- **Scaling Memcache at Facebook** —— 妈妈再也不担心我的 Memcache
 - <http://bit.ly/1UlpbGE> [Hard] [Paper]
- Coach Base Architecture
 - <http://horicky.blogspot.in/2012/07/couchbase-architecture.html>
- Least Frequently Used Cache (LFU)
 - <http://dhruvbird.com/lfu.pdf>

附录：NoSQL，也就是所谓的分布式数据库

- 分布式数据库解决的问题
 - Scalability
- 分布式数据库还没解决很好的问题
 - Query language
 - Secondary index
 - ACID transactions
 - Trust and confidence

	IOPS	Latency	Throughput	Capacity
Memory	(10M)	100ns	10GB/s	100GB
Flash	(100K)	(10us)	1GB/s	1TB
Hard Drive	100	10ms	100MB/s	1TB

	Rack	Datacenter	远距离
P99 Latency	<1ms	1ms	100ms +
Bandwidth	1GB/s	100MB/s	10MB/s -

NoSQL 和 SQL 的选取，面试的时候怎么答？

<http://www.jiuzhang.com/qa/1836/>

Friendship 的存储和查询的相关问题

<http://www.jiuzhang.com/qa/1878/>