04 | 深入浅出索引（上）

2018-11-21 林晓斌

04 | 深入浅出索引（上）

朗读人：林晓斌 15′29″ | 7.10M

提到数据库索引，我想你并不陌生，在日常工作中会经常接触到。比如某一个 SQL 查询比较慢，分

析完原因之后，你可能就会说“给某个字段加个索引吧”之类的解决方案。但到底什么是索引，索引又是如何工作的呢？今天就让我们一起来聊聊这个话题吧。

数据库索引的内容比较多，我分成了上下两篇文章。索引是数据库系统里面最重要的概念之一，所以我希望你能够耐心看完。在后面的实战文章中，我也会经常引用这两篇文章中提到的知识点，加深你对数据库索引的理解。

一句话简单来说，索引的出现其实就是为了提高数据查询的效率，就像书的目录一样。一本 500 页的书，如果你想快速找到其中的某一个知识点，在不借助目录的情况下，那我估计你可得找一会儿。同样，对于数据库的表而言，索引其实就是它的“目录”。

索引的常见模型

索引的出现是为了提高查询效率，但是实现索引的方式却有很多种，所以这里也就引入了索引模型的

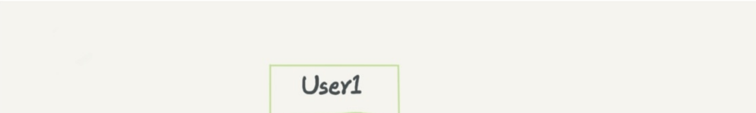
概念。可以用于提高读写效率的数据结构很多，这里我先给你介绍三种常见、也比较简单的数据结构，它们分别是哈希表、有序数组和搜索树。

下面我主要从使用的角度，为你简单分析一下这三种模型的区别。

哈希表是一种以键 – 值（key–value）存储数据的结构，我们只要输入待查找的值即key，就可以找到其对应的值即Value。哈希的思路很简单，把值放在数组里，用一个哈希函数把key换算成一个确定的位置，然后把value放在数组的这个位置。

不可避免地，多个key值经过哈希函数的换算，会出现同一个值的情况。处理这种情况的一种方法是，拉出一个链表。

假设，你现在维护着一个身份证信息和姓名的表，需要根据身份证号查找对应的名字，这时对应的哈希索引的示意图如下所示：



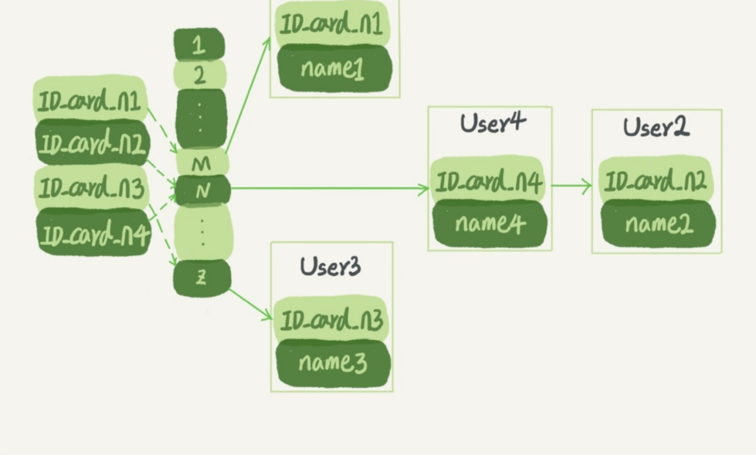


图 1 哈希表示意图

图中，User2 和 User4 根据身份证号算出来的值都是 N，但没关系，后面还跟了一个链表。假设，这时候你要查 ID_card_n2 对应的名字是什么，处理步骤就是：首先，将 ID_card_n2 通过哈希函数算出 N；然后，按顺序遍历，找到 User2。

需要注意的是，图中四个 ID_card_n 的值并不是递增的，这样做的好处是增加新的 User 时速度会很快，只需要往后追加。但缺点是，因为不是有序的，所以哈希索引做区间查询的速度是很慢的。

你可以设想下，如果你现在要找身份证号在 [ID_card_X, ID_card_Y] 这个区间的所有用户，就必须全部扫描一遍了。

所以，**哈希表这种结构适用于只有等值查询的场景**，比如 Memcached 及其他一些 NoSQL 引擎。

而**有序数组在等值查询和范围查询场景中的性能就都非常优秀**。还是上面这个根据身份证号查名字的例子，如果我们使用有序数组来实现的话，示意图如下所示：

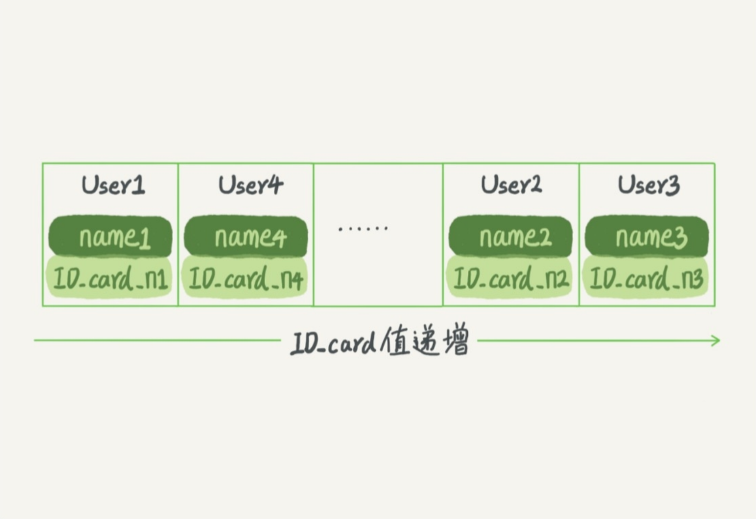


图 2 有序数组示意图

这里我们假设身份证号没有重复，这个数组就是按照身份证号递增的顺序保存的。这时候如果你要查 ID_card_n2 对应的名字，用二分法就可以快速得到，这个时间复杂度是 O(log(N))。

同时很显然，这个索引结构支持范围查询。你要查身份证号在 [ID_card_X, ID_card_Y] 区间的 User，可以先用二分法找到 ID_card_X（如果不存在 ID_card_X，就找到大于 ID_card_X 的第一个 User），然后向右遍历，直到查到第一个大于 ID_card_Y 的身份证号，退出循环。

如果仅仅看查询效率，有序数组就是最好的数据结构了。但是，在需要更新数据的时候就麻烦了，你往中间插入一个记录就必须得挪动后面所有的记录，成本太高。

所以，**有序数组索引只适用于静态存储引擎**，比如你要保存的是 2017 年某个城市的所有人口信息，这类不会再修改的数据。

二叉搜索树也是课本里的经典数据结构了。还是上面根据身份证号查名字的例子，如果我们用二叉搜索树来实现的话，示意图如下所示：

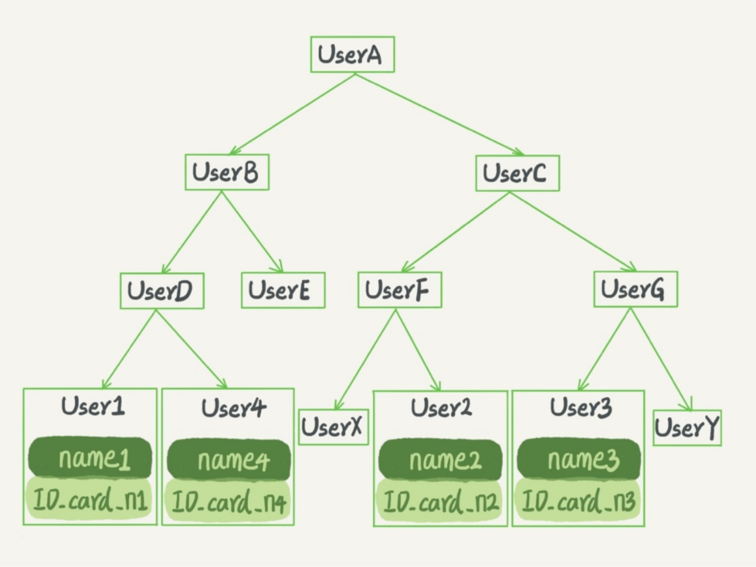


图 3 二叉搜索树示意图

二叉搜索树的特点是：每个节点的左儿子小于父节点，父节点又小于右儿子。这样如果你要查 ID_card_n2 的话，按照图中的搜索顺序就是按照 UserA -> UserC -> UserF -> User2 这个路径得到。这个时间复杂度是 O(log(N))。

当然为了维持 O(log(N)) 的查询复杂度，你就需要保持这棵树是平衡二叉树。为了做这个保证，更新的时间复杂度也是 O(log(N))。

树可以有二叉，也可以有多叉。多叉树就是每个节点有多个儿子，儿子之间的大小保证从左到右递增。二叉树是搜索效率最高的，但是实际上大多数的数据库存储却并不使用二叉树。其原因是，索引不止存在内存中，还要写到磁盘上。

你可以想象一下一棵 100 万节点的平衡二叉树，树高 20。一次查询可能需要访问 20 个数据块。在机械硬盘时代，从磁盘随机读一个数据块需要 10 ms 左右的寻址时间。也就是说，对于一个 100 万行的表，如果使用二叉树来存储，单独访问一个行可能需要 20 个 10 ms 的时间，这个查询可真够慢的。

为了让一个查询尽量少地读磁盘，就必须让查询过程访问尽量少的数据块。那么，我们就不应该使用二叉树，而是要使用“N 叉”树。这里，“N 叉”树中的“N”取决于数据块的大小。

以 InnoDB 的一个整数字段索引为例，这个 N 差不多是 1200。这棵树高是 4 的时候，就可以存 1200 的 3 次方个值，这已经 17 亿了。考虑到树根的数据块总是在内存中的，一个 10 亿行的表上一个整数字段的索引，查找一个值最多只需要访问 3 次磁盘。其实，树的第二层也有很大概率在内存中，那么访问磁盘的平均次数就更少了。

N 叉树由于在读写上的性能优点，以及适配磁盘的访问模式，已经被广泛应用在数据库引擎中了。

不管是哈希还是有序数组，或者 N 叉树，它们都是不断迭代、不断优化的产物或者解决方案。数据库技术发展到今天，跳表、LSM 树等数据结构也被用于引擎设计中，这里我就不再一一展开了。

你心里要有个概念，数据库底层存储的核心就是基于这些数据模型的。每碰到一个新数据库，我们需要先关注它的数据模型，这样才能从理论上分析出这个数据库的适用场景。

截止到这里，我用了半篇文章的篇幅和你介绍了不

同的数据结构，以及它们的适用场景，你可能会觉得有些枯燥。但是，我建议你还是要多花一些时间来理解这部分内容，毕竟这是数据库处理数据的核心概念之一，在分析问题的时候会经常用到。当你理解了索引的模型后，就会发现在分析问题的时候会有一个更清晰的视角，体会到引擎设计的精妙之处。

现在，我们一起进入相对偏实战的内容吧。

在 MySQL 中，索引是在存储引擎层实现的，所以并没有统一的索引标准，即不同存储引擎的索引的工作方式并不一样。而即使多个存储引擎支持同一种类型的索引，其底层的实现也可能不同。由于 InnoDB 存储引擎在 MySQL 数据库中使用最为广泛，所以下面我就以 InnoDB 为例，和你分析一下其中的索引模型。

InnoDB 的索引模型

在 InnoDB 中，表都是根据主键顺序以索引的形式存放的，这种存储方式的表称为索引组织表。又因

为前面我们提到的，InnoDB 使用了 B+ 树索引模型，所以数据都是存储在 B+ 树中的。

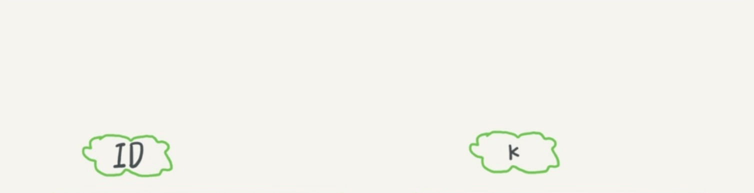
每一个索引在 InnoDB 里面对应一棵 B+ 树。

假设，我们有一个主键列为 ID 的表，表中有字段 k，并且在 k 上有索引。

这个表的建表语句是：

```
mysql> create table T(
id int primary key,
k int not null,
name varchar(16),
index (k))engine=InnoDB;
```

表中 R1~R5 的 (ID,k) 值分别为 (100,1)、(200,2)、(300,3)、(500,5) 和 (600,6)，两棵树的示例示意图如下。



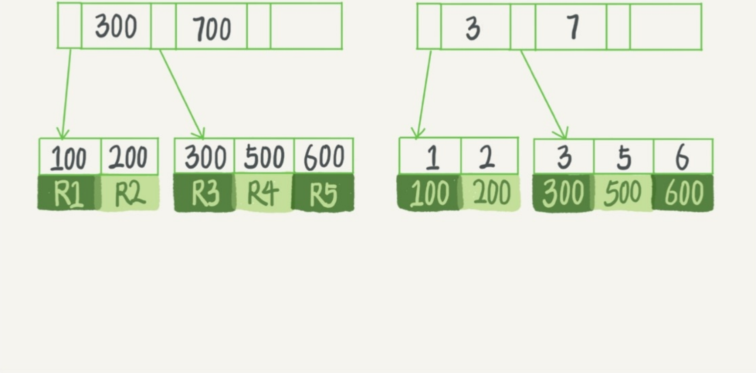


图 4 InnoDB 的索引组织结构

从图中不难看出，根据叶子节点的内容，索引类型分为主键索引和非主键索引。

主键索引的叶子节点存的是整行数据。在 InnoDB 里，主键索引也被称为聚簇索引（clustered index）。

非主键索引的叶子节点内容是主键的值。在 InnoDB 里，非主键索引也被称为二级索引（secondary index）。

根据上面的索引结构说明，我们来讨论一个问题：**基于主键索引和普通索引的查询有什么区别?**

- 如果语句是 select * from T where ID=500，即主键查询方式，则只需要搜索 ID 这棵 B+ 树；
- 如果语句是 select * from T where k=5，即普通索引查询方式，则需要先搜索 k 索引树，得到 ID 的值为 500，再到 ID 索引树搜索一次。这个过程称为回表。

也就是说，基于非主键索引的查询需要多扫描一棵索引树。因此，我们在应用中应该尽量使用主键查询。

索引维护

B+ 树为了维护索引有序性，在插入新值的时候需要做必要的维护。以上面这个图为例，如果插入新的行 ID 值为 700，则只需要在 R5 的记录后面插入一个新记录。如果新插入的 ID 值为 400，就相对麻烦了，需要逻辑上挪动后面的数据，空出位置。

而更糟的情况是，如果 R5 所在的数据页已经满了，根据 B+ 树的算法，这时候需要申请一个新的

数据页，然后挪动部分数据过去。这个过程称为页分裂。在这种情况下，性能自然会受影响。

除了性能外，页分裂操作还影响数据页的利用率。原本放在一个页的数据，现在分到两个页中，整体空间利用率降低大约 50%。

当然有分裂就有合并。当相邻两个页由于删除了数据，利用率很低之后，会将数据页做合并。合并的过程，可以认为是分裂过程的逆过程。

基于上面的索引维护过程说明，我们来讨论一个案例：

> 你可能在一些建表规范里面见到过类似的描述，要求建表语句里一定要有自增主键。当然事无绝对，我们来分析一下哪些场景下应该使用自增主键，而哪些场景下不应该。

自增主键是指自增列上定义的主键，在建表语句中一般是这么定义的： NOT NULL PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT。

插入新记录的时候可以不指定 ID 的值，系统会获取当前 ID 最大值加 1 作为下一条记录的 ID 值。

也就是说，自增主键的插入数据模式，正符合了我们前面提到的递增插入的场景。每次插入一条新记录，都是追加操作，都不涉及到挪动其他记录，也不会触发叶子节点的分裂。

而有业务逻辑的字段做主键，则往往不容易保证有序插入，这样写数据成本相对较高。

除了考虑性能外，我们还可以从存储空间的角度来看。假设你的表中确实有一个唯一字段，比如字符串类型的身份证号，那应该用身份证号做主键，还是用自增字段做主键呢?

由于每个非主键索引的叶子节点上都是主键的值。如果用身份证号做主键，那么每个二级索引的叶子节点占用约 20 个字节，而如果用整型做主键，则只要 4 个字节，如果是长整型（bigint）则是 8 个字节。

显然，主键长度越小，普通索引的叶子节点就越

小，普通索引占用的空间也就越小。

所以，从性能和存储空间方面考量，自增主键往往是更合理的选择。

有没有什么场景适合用业务字段直接做主键的呢?还是有的。比如，有些业务的场景需求是这样的：

1. 只有一个索引；
2. 该索引必须是唯一索引。

你一定看出来了，这就是典型的 KV 场景。

由于没有其他索引，所以也就不用考虑其他索引的叶子节点大小的问题。

这时候我们就要优先考虑上一段提到的“尽量使用主键查询”原则，直接将这个索引设置为主键，可以避免每次查询需要搜索两棵树。

小结

今天，我跟你分析了数据库引擎可用的数据结构，

介绍了 InnoDB 采用的 B+ 树结构，以及为什么 InnoDB 要这么选择。B+ 树能够很好地配合磁盘的读写特性，减少单次查询的磁盘访问次数。

由于 InnoDB 是索引组织表，一般情况下我会建议你创建一个自增主键，这样非主键索引占用的空间最小。但事无绝对，我也跟你讨论了使用业务逻辑字段做主键的应用场景。

最后，我给你留下一个问题吧。对于上面例子中的 InnoDB 表 T，如果你要重建索引 k，你的两个 SQL 语句可以这么写：

```sql
alter table T drop index k;
alter table T add index(k);
```

如果你要重建主键索引，也可以这么写：

```sql
alter table T drop primary key;
alter table T add primary key(id);
```

我的问题是，对于上面这两个重建索引的作法，说

出你的理解。如果有不合适的，为什么，更好的方法是什么?

你可以把你的思考和观点写在留言区里，我会在下一篇文章的末尾给出我的参考答案。感谢你的收听，也欢迎你把这篇文章分享给更多的朋友一起阅读。

上期问题时间

我在上一篇文章末尾给你留下的问题是：如何避免长事务对业务的影响?

这个问题，我们可以从应用开发端和数据库端来看。

首先，从应用开发端来看：

1. 确认是否使用了 set autocommit=0。这个确认工作可以在测试环境中开展，把 MySQL 的 general_log 开起来，然后随便跑一个业务逻辑，通过 general_log 的日志来确认。一般框架如果会设置这个值，也就会提供参数来控制

行为，你的目标就是把它改成 1。

2. 确认是否有不必要的只读事务。有些框架会习惯不管什么语句先用 begin/commit 框起来。我见过有些是业务并没有这个需要，但是也把好几个 select 语句放到了事务中。这种只读事务可以去掉。

3. 业务连接数据库的时候，根据业务本身的预估，通过 SET MAX_EXECUTION_TIME 命令，来控制每个语句执行的最长时间，避免单个语句意外执行太长时间。（为什么会意外？在后续的文章中会提到这类案例）

其次，从数据库端来看：

1. 监控 information_schema.Innodb_trx 表，设置长事务阈值，超过就报警 / 或者 kill；

2. Percona 的 pt-kill 这个工具不错，推荐使用；

3. 在业务功能测试阶段要求输出所有的 general_log，分析日志行为提前发现问题；

4. 如果使用的是 MySQL 5.6 或者更新版本，把 innodb_undo_tablespaces 设置成 2（或更大的值）。如果真的出现大事务导致回滚段过大，这样设置后清理起来更方便。

感谢 @壹笙☞漂泊 @王凯 @易翔 留下的高质量评论。

极客时间
MySQL 实战 45 讲
从原理到实战，丁奇带你搞懂 MySQL
林晓斌
网名丁奇
前阿里资深技术专家

©版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

182

写留言

请朋友读

© C与Python实战