单表访问方法

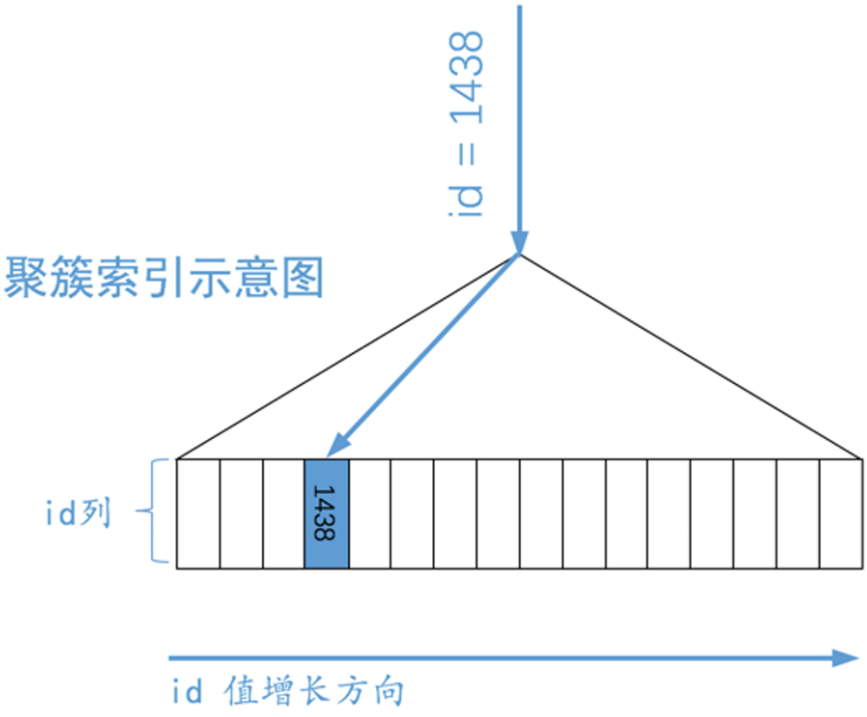
- id：
  - 表示查询中 SELECT 语句的编号。如果有多个 SELECT 语句（例如子查询或连接查询），每个语句都会有一个唯一的编号。
  - 数字越大，优先级越高。在连接查询中，数字小的表通常先被查询，然后与数字大的表进行连接。
- select_type：
  - SIMPLE：简单的 SELECT 查询，不包含子查询或连接。
  - PRIMARY：在连接查询中最外层的 SELECT 查询。
  - SUBQUERY：子查询中的第一个 SELECT 查询。
  - DERIVED：派生表查询（在 FROM 子句中使用子查询）。
  - UNION：在 UNION 查询中，第二个及后续的 SELECT 查询。
  - UNION RESULT：表示 UNION 查询的结果集。
- table：
  - 表示查询涉及的表名。
- partitions：
  - 如果表使用了分区，这里显示涉及的分区。
- type：
  - 表示查询的访问类型，它描述了 MySQL 如何查找表中的行。常见的类型有：
  - ALL：全表扫描，表示 MySQL 遍历表中的每一行来查找满足查询条件的行。
  - index：全索引扫描，MySQL 遍历整个索引树来查找满足查询条件的行。
  - range：范围扫描，表示 MySQL 仅扫描索引中的一部分范围来查找满足查询条件的行。
  - ref：非唯一索引扫描，通过索引与常量值进行比较来查找满足查询条件的行。
  - eq_ref：唯一索引扫描，用于多表连接中，MySQL 对于每个来自前面表的行，在当前表中只查找一行。
  - const、system：表示通过常量值进行快速查找，通常是非常高效的查询方式。
- possible_keys：
  - 表示可能使用的索引。这只是一个提示，MySQL 不一定会选择这些索引。
- key：
  - 实际使用的索引。如果为NULL，表示没有使用索引。
- key_len：
  - 索引字段的长度。这个值可以帮助你了解索引的使用情况，以及是否使用了全部的索引字段。
- ref：
  - 显示哪些列或常量与索引进行比较。例如，如果是一个常量值，会显示为const；如果是另一个表的列，会显示表名和列名。
- rows：
  - 表示 MySQL 估计需要扫描的行数来满足查询条件。这个值只是一个估计值，实际执行查询时可能会有所不同。
- filtered：

    - 表示查询结果的过滤比例。例如，如果值为 50，表示 MySQL 估计只有 50% 的行满足查询条件。
- Extra：
    - 提供额外的信息，例如：
    - Using index：表示查询只使用了索引，不需要回表查找完整的行数据。
    - Using where：表示 MySQL 需要在读取行后进行过滤，因为索引不能完全满足查询条件。
    - Using temporary：表示 MySQL 需要创建临时表来处理查询结果。
    - Using filesort：表示 MySQL 需要进行文件排序，因为查询结果不能通过索引进行排序。
    - Using index condition 表示使用索引条件下推

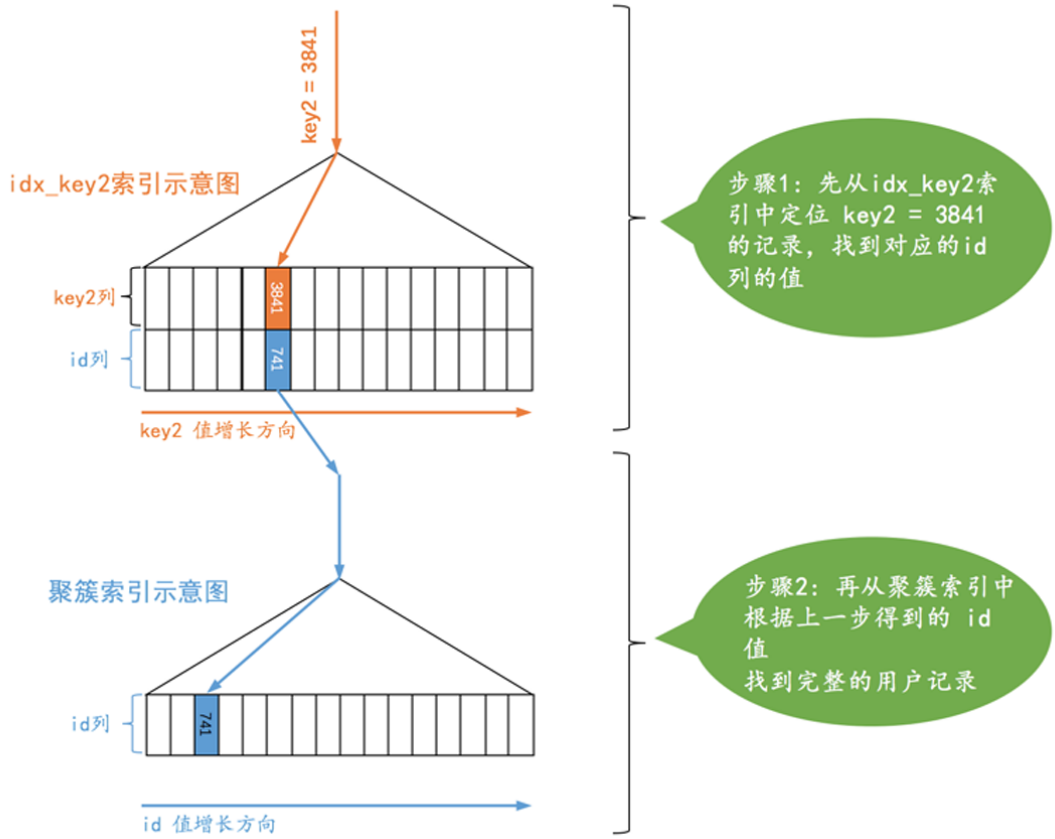
```
CREATE TABLE single_table (
    id INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    key1 VARCHAR(100),
    key2 INT,
    key3 VARCHAR(100),
    key_part1 VARCHAR(100),
    key_part2 VARCHAR(100),
    key_part3 VARCHAR(100),
    common_field VARCHAR(100),
    PRIMARY KEY (id),
    KEY idx_key1 (key1),
    UNIQUE KEY idx_key2 (key2),
    KEY idx_key3 (key3),
    KEY idx_key_part(key_part1, key_part2, key_part3)
) Engine=InnoDB CHARSET=utf8;
```

const

设计MySQL的大叔认为通过主键或者唯一二级索引列与常数的等值比较来定位一条记录是像坐火箭一样快的，所以他们把这种通过主键或者唯一二级索引列来定位一条记录的访问方法定义为：const，意思是常数级的，代价是可以忽略不计的。

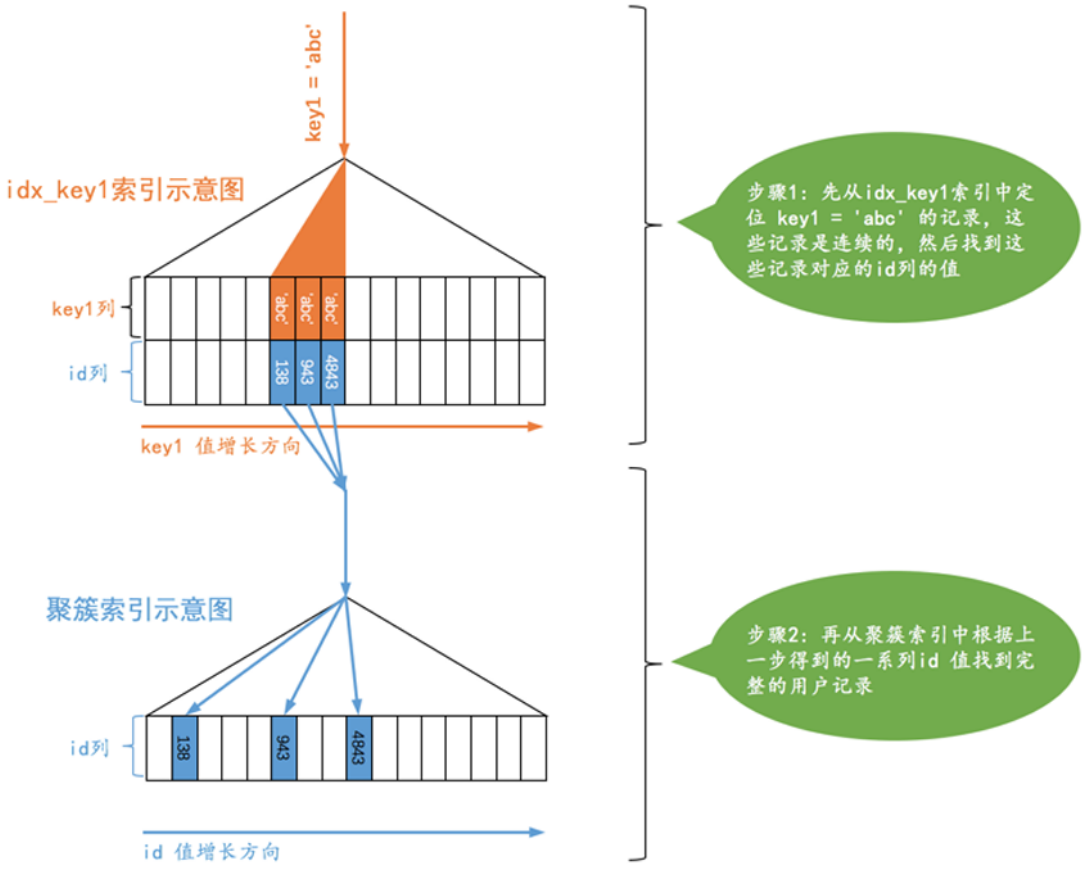



```
SELECT * FROM single_table WHERE id = 1438;
```




```
SELECT * FROM single_table WHERE key2 = 3841;
```

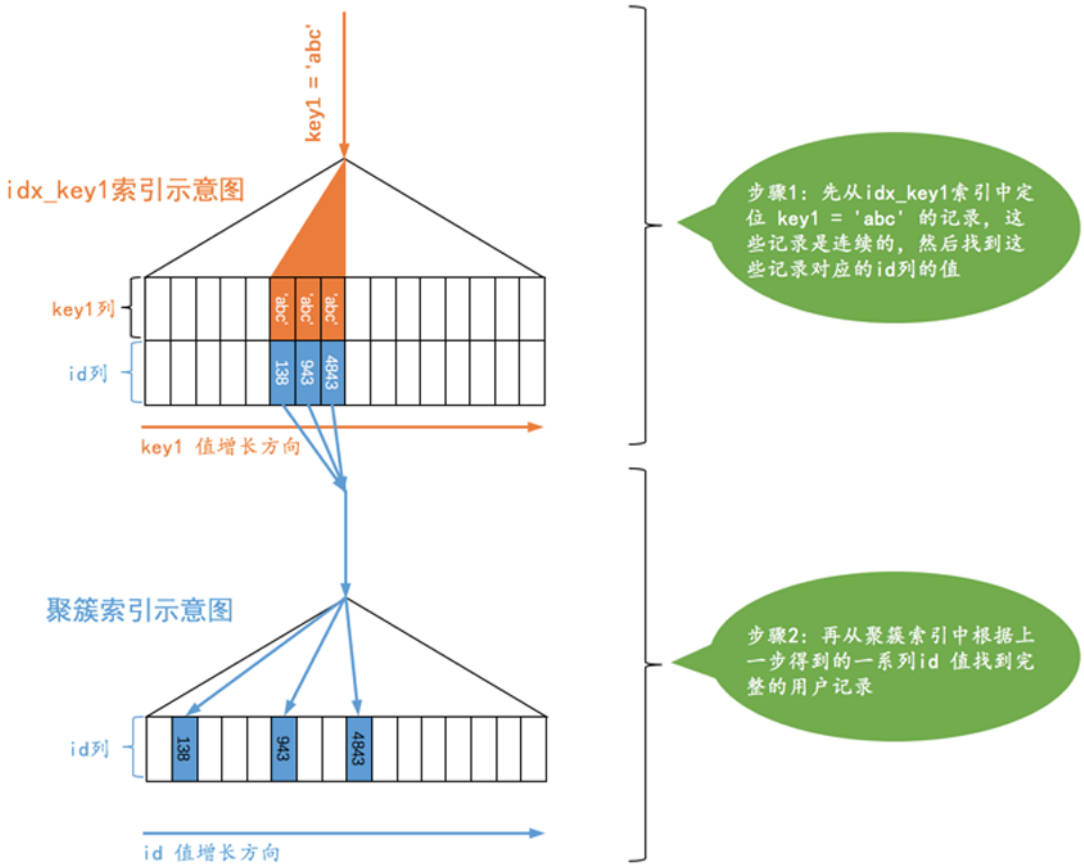
ref




```
SELECT * FROM single_table WHERE key1 = 'abc';
```

从图示中可以看出，对于普通的二级索引来说，通过索引列进行等值比较后可能匹配到多条连续的记录，而不是像主键或者唯一二级索引那样最多只能匹配1条记录，所以这种ref访问方法比const差了那么一丢丢，但是在二级索引等值比较时匹配的记录数较少时的效率还是很高的（如果匹配的二级索引记录太多那么回表的成本就太大了），跟坐高铁差不多。

ref_or_null




```
SELECT * FROM single_demo WHERE key1 = 'abc' OR key1 IS NULL;
```

可以看到，上边的查询相当于先分别从idx_key1 索引对应的 B+ 树中找出key1 IS NULL 和 key1 = 'abc' 的两个连续的记录范围，然后根据这些二级索引记录中的id值再回表查找完整的用户记录。

range

```
SELECT * FROM single_table WHERE key2 IN (1438, 6328) OR (key2 >= 38 AND key2 <= 79);
```

我们当然还可以使用全表扫描的方式来执行这个查询，不过也可以使用二级索引 + 回表的方式执行，如果采用二级索引 + 回表 的方式来执行的话，那么此时的搜索条件就不只是要求索引列与常数的等值匹配了，而是索引列需要匹配某个或某些范围的值。

设计MySQL 的大叔把这种利用索引进行范围匹配的访问方法称之为：range。

index

```
SELECT key_part1, key_part2, key_part3 FROM single_table WHERE key_part2 = 'abc';
```

由于key_part2 并不是联合索引 idx_key_part 最左索引列，所以我们无法使用 ref 或者 range 访问方法来执行个语句。但是这个查询符合下边这两个条件：

- 它的查询列表只有3个列：key_part1 ， key_part2 ， key_part3 ，而索引 idx_key_part 又包含这三个列。
- 搜索条件中只有key_part2 列。这个列也包含在索引 idx_key_part 中。

也就是说我们可以直接通过遍历idx_key_part 索引的叶子节点的记录来比较 key_part2 = 'abc' 这个条件是否成立，把匹配成功的二级索引记录的key_part1 ， key_part2 ， key_part3 列的值直接加到结果集中就行了。由于二级索引记录比聚簇索记录小的多（聚簇索引记录要存储所有用户定义的列以及所谓的隐藏列，而二级索引记录只需要存放索引列和主键），而且这个过程也不用进行回表操作，所以直接遍历二级索引比直接遍历聚簇索引的成本要小很多，设计MySQL 的大叔就把这种采用遍历二级索引记录的执行方式称之为：index。

all

注意事项

有的搜索条件无法使用索引的情况

```
EXPLAIN SELECT * from users where Email > 'd' AND PASSWORD = 'luozhihu123';
```

在这个查询中Email有索引，PASSWORD没有索引。查询结果如下

id	select_type	table	partitions	type	possible_keys	key	key_len	ref	rows	filtered
1	SIMPLE	users	range	range	Email	Email	1022		9	10.00

```
EXPLAIN SELECT * from users where Email > 'a' AND PASSWORD = 'luozhihu123';
```

把这个查询条件改一下，他的查询计划就会被改变，结果如下：

id	select_type	table	partitions	type	possible_keys	key	key_len	ref	rows	filtered
1	SIMPLE	users	range	ALL					12	10.00

显然，查询计划从使用索引变成了全表扫描。

> 优化器根据条件Email > 'd'符合的记录条数太决定是否使用索引。
> 数据库的优化器会根据统计信息来评估执行计划的成本。如果统计信息不准确或过时，可能导致优化器做出错误的决策，从而在不同的数据量下选择不同的执行方式。

复杂搜索条件下找出范围匹配的区间

```
SELECT * FROM single_table WHERE
       (key1 > 'xyz' AND key2 = 748 ) OR
       (key1 < 'abc' AND key1 > 'lmn') OR
       (key1 LIKE '%suf' AND key1 > 'zzz' AND (key2 < 8000 OR common_field = 'abc')) ;
```

在这个查询中key1和key2有索引，common_field没有索引。
假设优化器使用key1作为索引，那么通过以下步骤对条件进行简化，

1. 保持与key1相关的条件不变。
2. 将与key1无关的条件直接设为true。
3. 对查询语句简化。

最后得到的查询条件为：

```
SELECT * FROM single_table WHERE key1 > 'xyz';
```

> 也就是说：上边那个有一坨搜索条件的查询语句如果使用 key1 索引执行查询的话，需要把满足 key1 > 'xyz' 的二级索引记录都取出来，然后拿着这些记录的id再进行回表，得到完整的用户记录之后再使用其他的搜索条件进行过滤。

索引合并

Intersection合并（交集）

```
SELECT * FROM single_table WHERE key1 = 'a' AND key3 = 'b';
```

其中，key1和key3都有索引。

> **查询计划：**将满足key1 = 'a' 和 key3 = 'b'的二级索引都查出来，然后取交集，最后去聚簇索引中把记录查出来。

会发生索引合并的必要条件有以下几个

- 查询条件都是二级索引，那么只能是等值查询。
- 只有主键可以是范围查询。

Union合并（交集）

```
SELECT * FROM single_table WHERE key1 = 'a' OR key3 = 'b'
```

其中，key1和key3都有索引。

> **查询计划：**将满足key1 = 'a' 和 key3 = 'b'的二级索引都查出来，然后取b并集，最后去聚簇索引中把记录查出来。

MySQL 在某些特定的情况下才可能会使用到Union 索引合并：

- 情况一：二级索引列是等值匹配的情况，对于联合索引来说，在联合索引中的每个列都必须等值匹配，不能出现只出现匹配部分列的情况。
- 主键列可以是范围匹配

Sort-Union合并

```
SELECT * FROM single_table WHERE key1 < 'a' OR key3 > 'z'
```

- 先根据key1 < 'a' 条件从 idx_key1 二级索引总获取记录，并按照记录的主键值进行排序
- 再根据key3 > 'z' 条件从 idx_key3 二级索引总获取记录，并按照记录的主键值进行排序
- 因为上述的两个二级索引主键值都是排好序的，剩下的操作和Union索引合并方式就一样了。

连接的原理

嵌套循环连接（Nested-Loop Join）

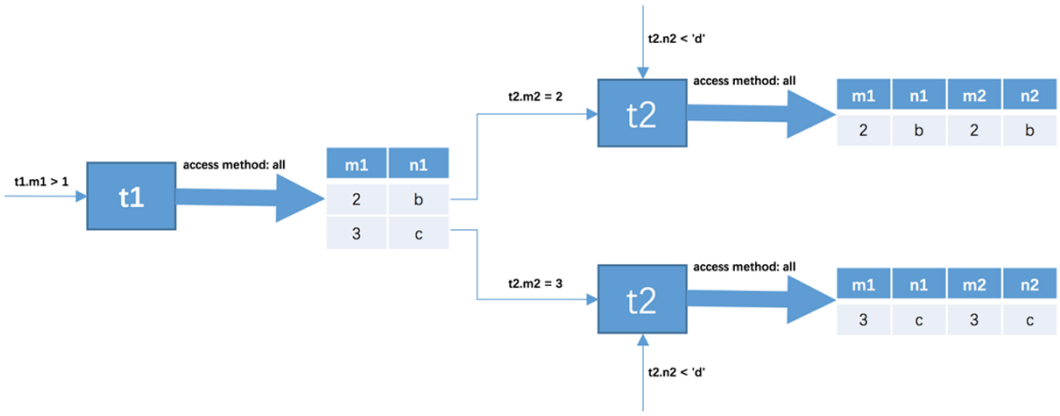
```
for each row in t1 {   #此处表示遍历满足对t1单表查询结果集中的每一条记录
   for each row in t2 {   #此处表示对于某条t1表的记录来说，遍历满足对t2单表查询结果集中的
每一条记录
       for each row in t3 {   #此处表示对于某条t1和t2表的记录组合来说，对t3表进行单表查询
           if row satisfies join conditions, send to client
       }
   }
}
```

这个过程就像是一个嵌套的循环，所以这种驱动表只访问一次，但被驱动表却可能被多次访问，访问次数取决于对驱动表执行单表查询后的结果集中的记录条数的连接执行方式称之为嵌套循环连接（Nested-Loop Join），这是最简单，也是最笨拙的一种连接查询算法。

使用索引加快连接速度

```
SELECT * FROM t1, t2 WHERE t1.m1 > 1 AND t1.m1 = t2.m2 AND t2.n2 < 'd';
```

执行过程如下图：



查询驱动表t1后的结果集中有两条记录，嵌套循环连接算法需要对被驱动表查询2次：

- 当t1.m1 = 2 时，去查询一遍 t2 表，对 t2 表的查询语句相当于：

```
SELECT * FROM t2 WHERE t2.m2 = 2 AND t2.n2 < 'd';
```

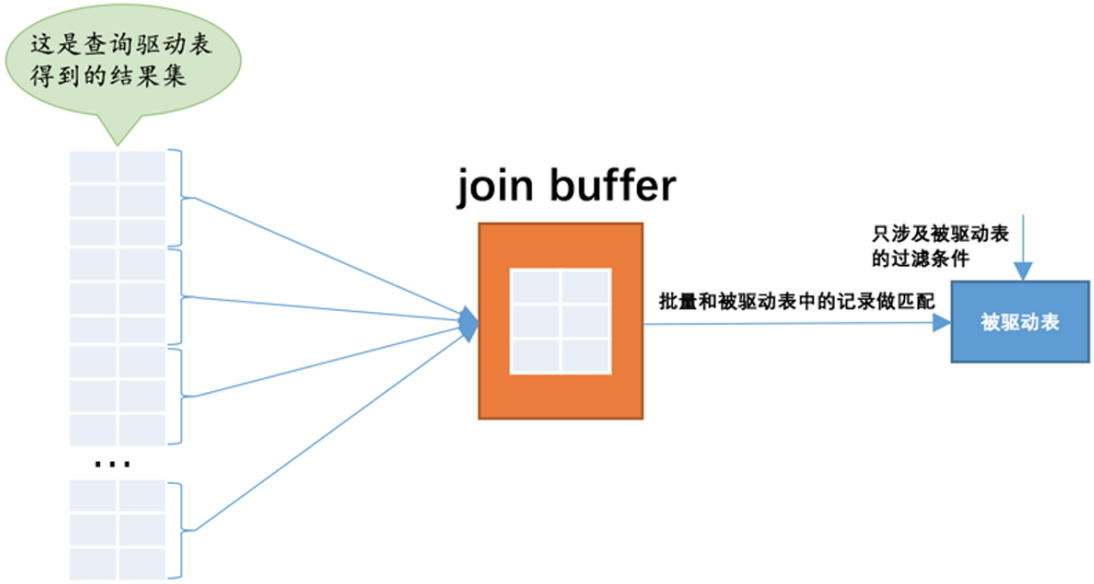
- 当t1.m1 = 3 时，再去查询一遍 t2 表，此时对 t2 表的查询语句相当于：

```
SELECT * FROM t2 WHERE t2.m2 = 3 AND t2.n2 < 'd';
```

现在只需要为t2表建立索引就可以加速了。

基于块的嵌套循环连接（Block Nested-Loop Join）

如果被驱动表太大了，那么就需要对被驱动表多次循环扫描。如果将驱动表加载到缓存，那么被驱动表只需要扫描一次。



MySQL基于成本的优化

在MySQL中一条查询语句的执行成本是由下边这两个方面组成的：

- I/O 成本
  我们的表经常使用的MyISAM 、 InnoDB 存储引擎都是将数据和索引都存储到磁盘上的，当我们想查询表中的记录时，需要先把数据或者索引加载到内存中然后再操作。这个从磁盘到内存这个加载的过程损耗的时间称之为I/O 成本。
- CPU 成本
  读取以及检测记录是否满足对应的搜索条件、对结果集进行排序等这些操作损耗的时间称之为CPU成本。

> InnoDB 存储引擎来说，页是磁盘和内存之间交互的基本单位，设计MySQL 的大叔规定读取一个页面花费的成本默认是1.0 ，读取以及检测一条记录是否符合搜索条件的成本默认是0.2。

基于成本的优化步骤

1. 根据搜索条件，找出所有可能使用的索引
2. 计算全表扫描的代价
3. 计算使用不同索引执行查询的代价

4. 对比各种执行方案的代价，找出成本最低的那一个

举个例子：

```
SELECT * FROM single_table WHERE
   key1 IN ('a', 'b', 'c') AND
   key2 > 10 AND key2 < 1000 AND
   key3 > key2 AND
   key_part1 LIKE '%hello%' AND
   common_field = '123';
```

我们分析一下上边查询中涉及到的几个搜索条件：

- `key1 IN ('a', 'b', 'c')` ，这个搜索条件可以使用二级索引 idx_key1 。
- `key2 > 10 AND key2 < 1000` ，这个搜索条件可以使用二级索引 idx_key2 。
- `key3 > key2` ，这个搜索条件的索引列由于没有和常数比较，所以并不能使用到索引。
- `key_part1 LIKE '%hello%'` ， key_part1 通过 LIKE 操作符和以通配符开头的字符串做比较，不可以适用 索引。
- `common_field = '123'` ，由于该列上压根儿没有索引，所以不会用到索引。 综上所述，上边的查询语句可能用到的索引，也就是possible keys 只有 idx_key1 和 idx_key2 。

计算全表扫描的代价

由于查询成本=I/O 成本+CPU 成本，所以计算全表扫描的代价需要两个信息：

- 聚簇索引占用的页面数
- 该表中的记录数

成本计算

- I/O 成本
    - 97 x 1.0 + 1.1 = 98.1

97 指的是聚簇索引占用的页面数，1.0指的是加载一个页面的成本常数，后边的1.1是一个微调值，我们不用在意。

- CPU 成本：
    - 9693 x 0.2 + 1.0 = 1939.6

9693 指的是统计数据中表的记录数，对于InnoDB 存储引擎来说是一个估计值，0.2 指的是访问一条记录所需的成本常数，后边的1.0是一个微调值，我们不用在意。

- 总成本：
    - 98.1 + 1939.6 = 2037.7

使用key2执行查询的成本分析

- IO成本
    - 1.0 + 95 x 1.0 = 96.0（范围区间的数量 + 预估的二级索引记录条数）
- CPU 成本：
    - 95 x 0.2 + 0.01 + 95 x 0.2 = 38.01 （读取二级索引记录的成本 + 读取并检测回表后聚簇索引记录的成本）

综上所述，使用idx_key2 执行查询的总成本就是：
96.0 + 38.01 = 134.01

使用idx_key1执行查询的成本分析

- I/O 成本：
  - 3.0 + 118 x 1.0 = 121.0（范围区间的数量 + 预估的二级索引记录条数）
- CPU 成本：
  - 118 x 0.2 + 0.01 + 118 x 0.2 = 47.21 （读取二级索引记录的成本 + 读取并检测回表后聚簇索引记录的成本）

综上所述，使用idx_key1 执行查询的总成本就是： 121.0 + 47.21 = 168.21

基于索引统计数据的成本计算

```
SELECT * FROM single_table WHERE key1 IN ('aa1', 'aa2', 'aa3', ... , 'zzz');
```

这条sql中IN的参数很多，那么就有很多区间。计算一个区间的记录条数的操作称之为index dive。有很多区间就意味着需要很多index dive，这十分消耗性能。

通过估算的方式计算：

所有区间记录数 = 区间个数 * $\frac{Rows}{Cardinality}$.

连接查询的成本

对于两个表的连接查询来说，它的查询成本由下边两个部分构成：

- 单次查询驱动表的成本
- 多次查询被驱动表的成本（具体查询多少次取决于对驱动表查询的结果集中有多少条记录）

驱动表结果集中的记录条数称之为**扇出**，**扇出**的计算方式有几种情况：

- 情况一：
  - `SELECT * FROM single_table AS s1 INNER JOIN single_table2 AS s2;`
    这种情况下，驱动表为s1，他的删除就是s1的记录条数，他有一个统计值9693（大致准确）。
- 情况二：
  - `SELECT * FROM single_table AS s1 INNER JOIN single_table2 AS s2 WHERE s1.key2 >10 AND s1.key2 < 1000;`
    这种情况就需要利用索引key2去估计范围(10,100)之间的记录条数，为95。
- 情况三：
  - `SELECT * FROM single_table AS s1 INNER JOIN single_table2 AS s2 WHERE s1.common_field > 'xyz';`
    这种情况只能猜测（可以使用**启发式方法**）9693条记录里有多少条符合条件`s1.common_field > 'xyz'`的。

两表连接的成本分析

连接查询的成本计算公式是这样的：

- 连接查询总成本 = 单次访问驱动表的成本 + 驱动表扇出数 x 单次访问被驱动表的成本。

对于下边这个查询进行连接查询成本分析：

```
SELECT * FROM single_table AS s1 INNER JOIN single_table2 AS s2
   ON s1.key1 = s2.common_field
   WHERE s1.key2 > 10 AND s1.key2 < 1000 AND
         s2.key2 > 1000 AND s2.key2 < 2000;
```

可以选择的连接顺序有两种：

- s1 连接 s2 ，也就是s1 作为驱动表，s2作为被驱动表。
- s2 连接 s1 ，也就是s2 作为驱动表，s1作为被驱动表。

查询优化器需要分别考虑这两种情况下的最优查询成本，然后选取那个成本更低的连接顺序以及该连接顺序下各个表的最优访问方法作为最终的查询计划。现在只分析使用s1作为驱动表的情况：

- 分析对于驱动表的成本最低的执行方案
  首先看一下涉及s1表单表的搜索条件有哪些：
  - `s1.key2 > 10 AND s1.key2 < 1000`
    所以这个查询可能使用到idx_key2 索引，从全表扫描和使用 idx_key2 这两个方案中选出成本最低的那个，这个过程我们上边都唠叨过了，很显然使用idx_key2 执行查询的成本更低些。
- 然后分析对于被驱动表的成本最低的执行方案
  此时涉及被驱动表idx_key2 的搜索条件就是：
  - s2.common_field = 常数
  - s2.key2 > 1000 AND s2.key2 < 2000
    很显然，第一个条件由于common_field 没有用到索引，所以并没有什么卵用，此时访问single_table2 表时可用的方案也是全表扫描和使用 idx_key2 两种，很显然使用idx_key2 的成本更小。

所以此时使用single_table 作为驱动表时的总成本就是:
    使用idx_key2访问s1的成本 + s1的扇出 × 使用idx_key2访问s2的成本

MySQL基于规则的优化

条件化简

- 移除不必要的括号
- 常量传递
- 等值传递
- 移除没用的条件
- 表达式计算

注意事项

这里需要注意的是，如果某个列并不是以单独的形式作为表达式的操作数时，比如出现在函数中，出现在某个更复杂表达式中，就像这样：

```
ABS(a) > 5
```

或者：

```
-a < -8
```

优化器是不会尝试对这些表达式进行化简的。我们前边说过只有搜索条件中索引列和常数使用某些运算符连接起来才可能使用到索引，所以如果可以的话，**最好让索引列以单独的形式出现在表达式中。**