存储设计

> 由朱悦铭于2025年设计
>
> 代码框架贡献者：张子阳

存储主要结构

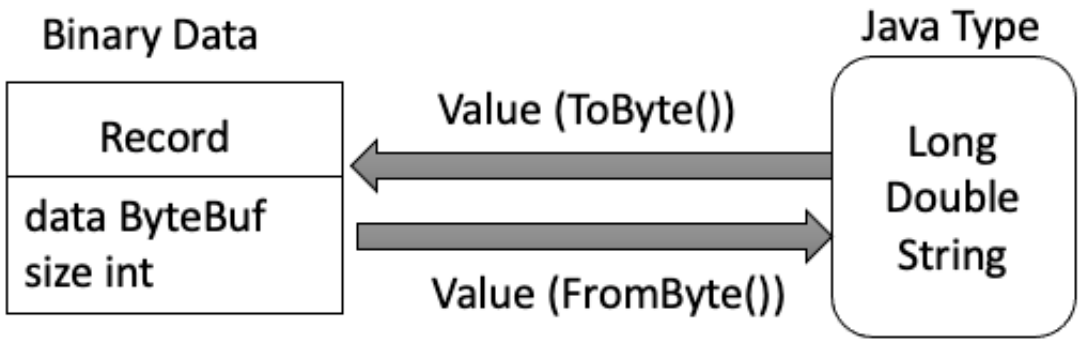
1. ByteBuf 数据类型

`ByteBuf` 是netty框架提供的二进制数据容器，即字节数据。在数据库存储引擎中，它被用来表示记录二进制形式、磁盘页面的原始数据等。其本质是一个动态的字节缓冲区，可以存储人意的二进制数据，例如：整数、字符串、序列化对象等。

在项目中的应用如下：

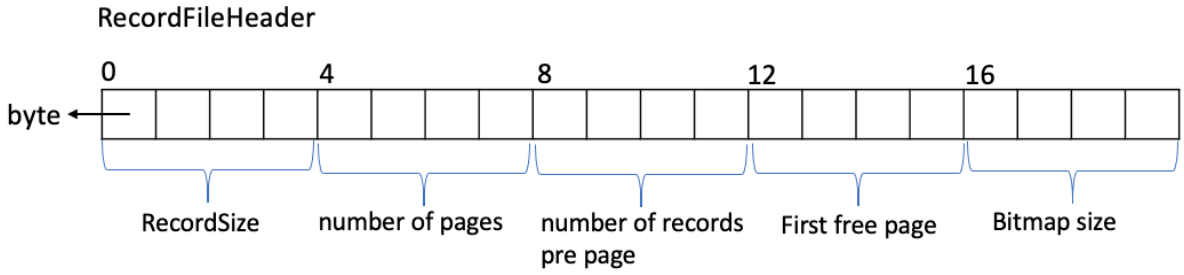
- **Record.data**: 以二进制的方式存储一条数据库记录。

  如果说，二进制数据的容器是`Record`,管理Java数据类型的容器是`Value`， 那么我们需要一个二进制数据与Java数据类型相互转化的媒介，这里便用到了`Value` 类中的 ToByte() 与 FromByte() 方法，如图所示。



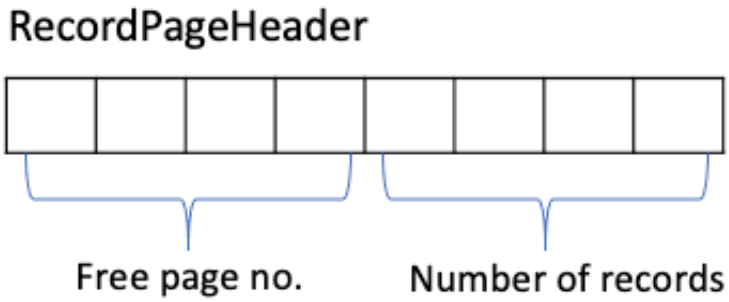
- **Page.data**: 磁盘页面(Page)的原始字节数据。
- **RecordFileHeader.header**: 文件头信息记录。

  整体RecordFileHeader中的header字段使用二进制记录内容，具体结构如下：



- **RecordPageHeader.data**: 页面头信息记录。

  整体RecordPageHeader中的data字段使用二进制记录内容，具体结构如下：



2. BitMap 位图

BitMap 的核心功能即**空间高效管理**， 每一个bit位代表记录一个槽位的状态。

- 1代表槽位被占用，即存在有效记录。
- 0代表槽位空闲，即无记录，可插入新纪录。

关键方法介绍：

```
// 初始化位图（全部置0）
BitMap.init(bitmap);

// 设置第5个槽位为占用
BitMap.set(bitmap, 5);

// 检查第3个槽位是否占用
boolean occupied = BitMap.isSet(bitmap, 3);

// 找到下一个空闲槽位
int freeSlot = BitMap.firstBit(false, bitmap, recordsPerPage);
```

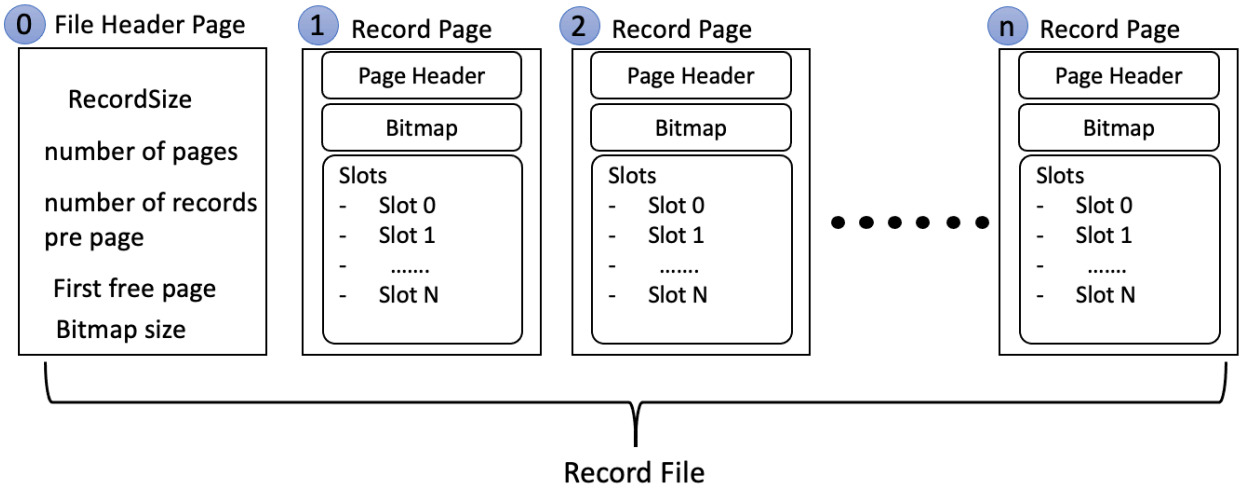
3. File 与 Page

3.1 结构介绍：

在项目结构中，每一个表都存储在一个二进制文件中，具体目录可见 **CS307-DB** -> 表名的文件夹中的data文件。 而一个data文件也会分别存储在多个磁盘页面中。其中首页面为头页面，接下来的页面为数据页面。数据页面里主要包含3个部分：

- 页面头。（前8字节）
- Bitmap 位图。（记录插槽的使用情况）
- 插槽(如果插槽里有数据，则存放一个真正的Record)

具体的File 与Page的结构图如下：



这里需要注意的是，PageID并没有存放在页面中，而是通过内存管理起来。通过一个文件内的偏移量标记页号。可见 `DEFAULT_PAGE_SIZE=4096`

```
public int getPageID() {
    return position.offset / DEFAULT_PAGE_SIZE;
}
```

PageID 是这样获取的：

- 偏移量0 ➔ PageID 0
- 偏移量4096 ➔ PageID 1
- 偏移量8192 ➔ PageID 2

RID：

RID是在java内存中的对象，每个对象记录了一个数据页编号，一个插槽编号，用于锁定数据。

```
public class RID {
    public int pageNum;
    public int slotNum;
    }
```

总结一下：

- 真正的有效数据页是从PageID 1开始。
- 真正的有效插槽是从SlotNum 0 开始。

3.2 调用方法：

- 每个文件有多少个页面?

  ```
  fileHandle.getFileHeader().getNumberOfPages();
  ```

- 每个数据页面中有多少条记录?

```
fileHandle.getFileHeader().getNumberOfRecordsPrePage();
```

- 如何判断当前插槽有数据?

```
BitMap.isSet(pageHandle.bitmap, currentSlotNum))
```

- 如何获取当前插槽数据的Record类型?

```
fileHandle.GetRecord(rid);
```

4. Record向Value转化

Record 以二进制的形式存储一行记录，那么首先我们要了解Record的布局，其结构如下：

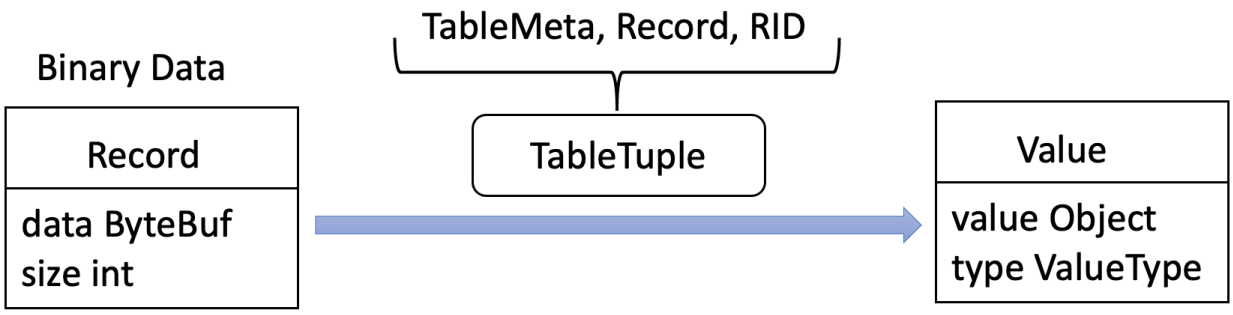
字节偏移	内容
0	Column1 的值 （根据Column的Type和Type的len决定)
...	Column2的值
N	ColumnN的值

这里面每一列都包含下面两个参数：

- `offset`：该列在record中的起始偏移。
- `len`：该列值的字节长度。

我们是通过**TableTuple** 类解析record 最后可以得到record中存储的value的值。 我们构建TableTuple，是需要TableMeta, Record 与RID的实例。

具体结构图如下：



练习

顺序查找一个表中所有数据的个数， 并数据具体的数据值。

写一段代码，遍历File里的每一个page，以及page里每一个插槽，来判断哪些插槽中有数据，如果当前插槽有数据，则输出数据的值。在这个遍历过程中，可以使用BitMap辅助。

例如可以创建这样一个表，并插入一些数据：

```
create table t( id int, name char, age int, gpa float);
insert into t (id, name, age, gpa) values (1, 'a', 18, 3.6);
insert into t (id, name, age, gpa) values (2, 'b', 19, 3.65);
insert into t (id, name, age, gpa) values (3, 'abb', 18, 3.86);
insert into t (id, name, age, gpa) values (4, 'abc', 19, 2.34);
insert into t (id, name, age, gpa) values (5, 'ef', 20, 3.25);
insert into t (id, name, age, gpa) values (6, 'bbc', 21, 3.20);
```

补充下列代码，并输出如下结果：

```
public class ScanExercise {
    public static void main(String[] args) {
        try {
            Map<String, Integer> disk_manager_meta = new HashMap<>
(DiskManager.read_disk_manager_meta());
            DiskManager diskManager = new DiskManager("CS307-DB",
disk_manager_meta);
            BufferPool bufferPool = new BufferPool(256 * 512, diskManager);
            RecordManager recordManager = new RecordManager(diskManager,
bufferPool);
            MetaManager metaManager = new MetaManager("CS307-DB" + "/meta");
            DBManager dbManager = new DBManager(diskManager, bufferPool,
recordManager, metaManager);

            RecordFileHandle fileHandle =
dbManager.getRecordManager().OpenFile("t");
            int pageCount = fileHandle.getFileHeader().getNumberOfPages();
            int recordsCount =
fileHandle.getFileHeader().getNumberOfRecordsPrePage();
            //todo: complete the code here

        } catch (DBException e) {
            Logger.error(e.getMessage());
            Logger.error("An error occurred during initializing. Exiting....");
        }
    }
}
```

结果如下：

```
Page 1 Slot 0: is set. Values: a 3.6 1 18
Page 1 Slot 1: is set. Values: b 3.65 2 19
Page 1 Slot 2: is set. Values: abb 3.86 3 18
Page 1 Slot 3: is set. Values: abc 2.34 4 19
Page 1 Slot 4: is set. Values: ef 3.25 5 20
Page 1 Slot 5: is set. Values: bbc 3.2 6 21
The total count is : 6
```