35 | Linux文件系统（一）：Linux如何存放文件？

2022-10-21 LMOS 来自北京

《计算机基础实战课》

课程介绍 >

讲述：陈晨

时长 11:46　大小 10.75M

你好，我是 LMOS。

上一节课，我们一起了解了什么是文件和文件系统。接下来的两节课，我们继续深入学习 Linux 上的一个具体的文件系统——Ext3，搞清楚了文件究竟是如何存放的。

这节课我会带你建立一个虚拟硬盘，并在上面建立一个文件系统。对照代码实例，相信你会对 Ext3 的结构有一个更深入的认识。课程配套代码，你可以从这里下载。话不多说，我们开始吧。

建立虚拟硬盘

要想建立文件系统就得先有硬盘，我们直接用真正的物理硬盘非常危险，搞不好数据就会丢失。所以，这里我们选择虚拟硬盘，在这个虚拟硬盘上操作，这样怎么折腾都不会有事。

其实我们是用 Linux 下的一个文件来模拟硬盘的，写入硬盘的数据只是写入了这个文件中。所以建立虚拟硬盘，就相当于生成一个对应的文件。比如，我们要建立一个 100MB 的硬盘，就意味着我们要生成 100MB 的大文件。

下面我们用 Linux 下的 dd 命令（用指定大小的块拷贝一个文件，并在拷贝的同时进行指定的转换）生成 100MB 的纯二进制的文件（就是向 1～100M 字节的文件里面填充为 0 ），代码如下所示：

```
dd bs=512 if=/dev/zero of=hd.img count=204800

;bs:表示块大小，这里是512字节
;if：表示输入文件，/dev/zero就是Linux下专门返回0数据的设备文件，读取它就返回0
;of：表示输出文件，即我们的硬盘文件
;count：表示输出多少块
```

下面我们就要在虚拟硬盘上建立文件系统了，所谓建立文件系统就是对虚拟硬盘放进行格式化。可是，问题来了——虚拟硬盘毕竟是个文件，如何让 Linux 在一个文件上建立文件系统呢？

这个问题我们要分成两步来解决。

第一步，**把虚拟硬盘文件变成 Linux 下的回环设备**，让 Linux 以为这是个设备。下面我们用 losetup 命令，将 hd.img 这个文件变成 Linux 的回环设备，代码如下：

```
sudo losetup /dev/loop0 hd.img
```

第二步，由于回环设备就是 Linux 下的块设备，用户可以将其看作是硬盘、光驱或软驱等设备，并且可以用 mount 命令把该回环设备挂载到特定目录下。这样我们就可以用 Linux 下的 mkfs.ext3 命令，把这个 /dev/loop0 回环块设备格式化，进而格式化 hd.img 文件，在里面建立 Ext3 文件系统。

```
sudo mkfs.ext3 -q /dev/loop0
```

需要注意的是，loop0 可能已经被占用了，我们可以使用 loop1、loop2 等，你需要根据自己电脑的情况处理。

我们可以用 mount 命令将 hd.img 挂载到特定的目录下，如果命令执行成功，就能验证我们虚拟硬盘上的文件系统成功建立。命令如下所示：

```
sudo mount -o loop ./hd.img ./hdisk/ ;挂载硬盘文件
```

复制代码

这行代码的作用是，将 hd.img 这个文件使用 loop 模式挂载在 ./hdisk/ 目录之下，通过这个 hdisk 目录，就能访问到 hd.img 虚拟硬盘了。并且，我们还可以用常用的 mkdir、touch 命令在这个虚拟硬盘中建立目录和文件。

Ext3 文件系统结构

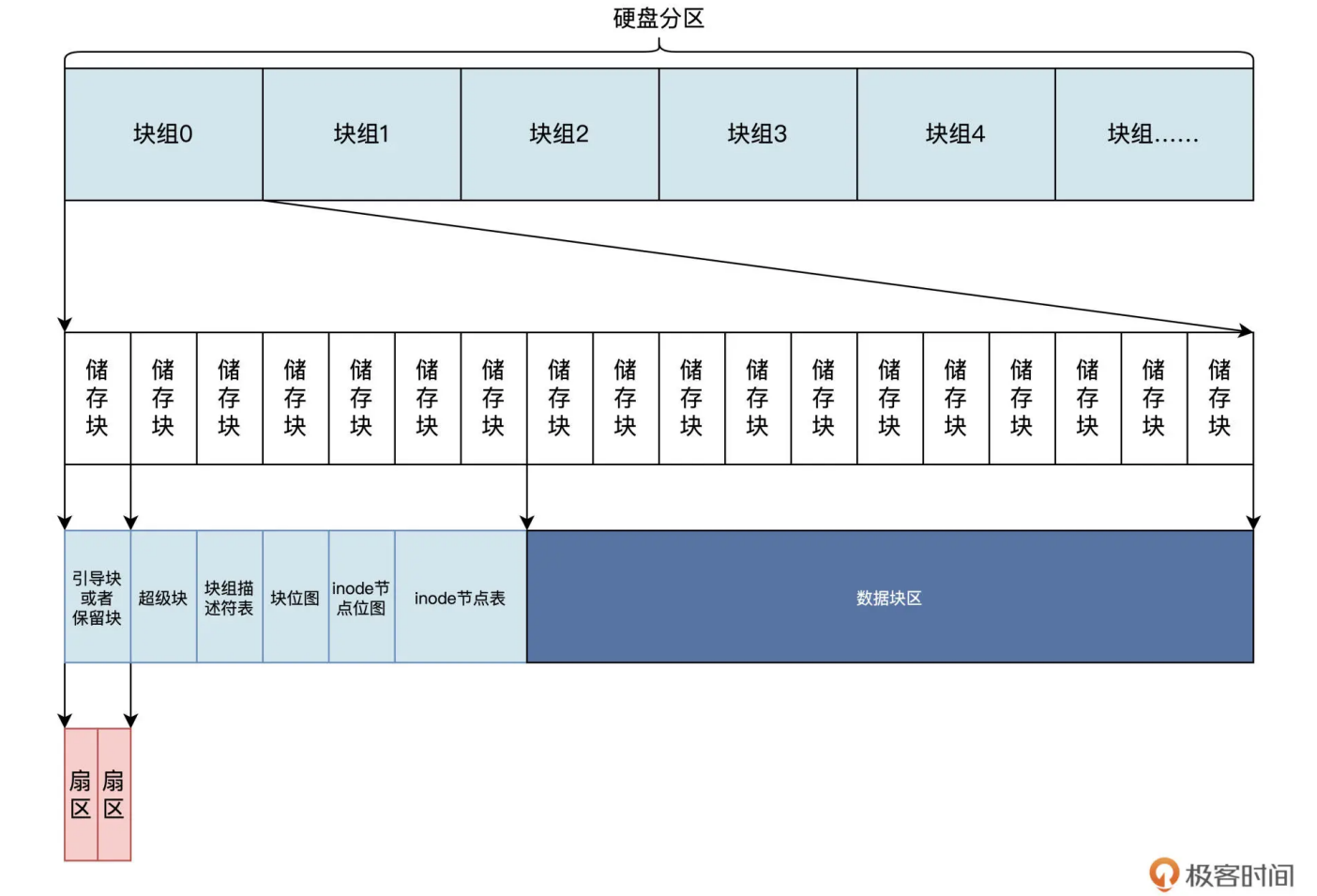
我们建好了硬盘，对其进行了格式化，也在上面建立了 Ext3 文件系统。下面我们就来研究一下 Ext3 文件系统的结构。

Ext3 文件系统的全称是 Third extended file system，已经有 20 多年的历史了，是一种古老而成熟的文件系统。Ext3 在 Ext2 基础上加入了日志机制，也算是对 Ext2 文件系统的扩展，并且也能兼容 Ext2。Ext3 是在发布 Linux2.4.x 版本时加入的，支持保存上 TB 的文件，保存的文件数量由硬盘容量决定，还支持高达 255 字节的文件名。

Ext3 的内部结构是怎样的呢？Ext3 将一个硬盘分区分为大小相同的储存块，每个储存块可以是 2 个扇区、4 个扇区、8 个扇区，分别对应大小为 1KB、2KB、4KB。

所有的储存块又被划分为若干个块组，每个块组中的储存块数量相同。每个块组前面若干个储存块中，依次放着：超级块、块组描述表、块位图、inode 节点位图、inode 节点表、数据块区。需要注意的是，超级块和块组描述表是**全局性的**，在每个块组中它们的数据是相同的。

我再帮你画一个逻辑结构图，你就容易理解了，如下所示：



上图中，第 1 个储存块是用于安装引导程序，或者也可以保留不使用的。超级块占用一个储存块，在第 2 个储存块中，即储存块 1，储存块的块号是针对整个分区编码的，从 0 开始。其中的块组描述符表、块位图、inode 节点位图、inode 节点表的占用大小，是根据块组多少以及块组的大小动态计算的。

下面我们分别讨论这些重要结构。

Ext3 文件系统的超级块

我们首先要探讨的是 Ext3 文件系统的超级块，它描述了 Ext3 的整体信息，例如有多少个 inode 节点、多少个储存块、储存块大小、第一个数据块号是多少，每个块组多少个储存块等。

Ext3 文件系统的超级块存放在该文件系统所在分区的 2 号扇区，占用两个扇区。当储存块的大小不同时，超级块所在块号是不同的。

比如说，当储存块大小为 1KB 时，0 号块是引导程序或者保留储存块，超级块起始于 1 号块储存；当块大小为 2KB 时，超级块起始于 0 号储存块，其位于 0 号储存块的后 1KB，前 1KB 是引导程序或者保留；当储存块大小为 4KB 时，超级块也起始于 0 号储存块，其位于 0 号块的 1KB 处。总之，超级块位于相对于分区的 2 号~3 号扇区，这一点是固定的。

下面我们看一看用 C 语言定义的超级块，代码如下所示：

复制代码

```
struct ext3_super_block {
  __le32  s_inodes_count;     //inode节点总数
  __le32  s_blocks_count;     // 储存块总数
  __le32  s_r_blocks_count;   // 保留的储存块数
  __le32  s_free_blocks_count;// 空闲的储存块数
    __le32  s_free_inodes_count;// 空闲的inode节点数
  __le32  s_first_data_block;  // 第一个数据储存块号
  __le32  s_log_block_size;  // 储存块大小
  __le32  s_log_frag_size;  // 碎片大小
  __le32  s_blocks_per_group;  // 每块组包含的储存块数
  __le32  s_frags_per_group;  // 每块组包含的碎片
  __le32  s_inodes_per_group;  // 每块组包含的inode节点数
  __le32  s_mtime;         // 最后挂载时间
    __le32  s_wtime;       // 最后写入时间
  __le16  s_mnt_count;     // 挂载次数
  __le16  s_max_mnt_count;  // 最大挂载次数
  __le16  s_magic;       // 魔数
  __le16  s_state;       // 文件系统状态
  __le16  s_errors;       // 错误处理方式
  __le16  s_minor_rev_level;  // 次版本号
  __le32  s_lastcheck;     // 最后检查时间
  __le32  s_checkinterval;  // 强迫一致性检查的最大间隔时间
  __le32  s_creator_os;     // 建立文件系统的操作系统
  __le32  s_rev_level;     // 主版本号
  __le16  s_def_resuid;     // 默认用户保留储存块
  __le16  s_def_resgid;     // 默认用户组保留储存块
  __le32  s_first_ino;     // 第一个非保留inode节点号
  __le16   s_inode_size;     // inode节点大小
  __le16  s_block_group_nr;  // 当前超级块所在块组
  __le32  s_feature_compat;  // 兼容功能集
  __le32  s_feature_incompat;  // 非兼容功能集
  __le32  s_feature_ro_compat;// 只读兼容功能集
  __u8  s_uuid[16];       // 卷的UUID（全局ID）
  char  s_volume_name[16];  // 卷名
  char  s_last_mounted[64];  // 文件系统最后挂载路径
  __le32  s_algorithm_usage_bitmap; // 位图算法
      //省略了日志相关的字段
};
```

以上的代码中我省略了日志和预分配的相关字段，而 __le16 __le32，在 x86 上就是 u16、u32 类型的数据。le 表示以小端字节序储存数据，定义成这样，是为了大小端不同的 CPU 可以使用相同文件系统，或者已经存在的文件系统的前提下，方便进行数据转换。

Ext3 文件系统的块组描述符表

接着我们来看看 Ext3 文件系统的块组描述符，里面存放着用来描述块组中的位图块起始块号、inode 节点表起始块号、空闲 inode 节点数、空闲储存块数等信息，文件系统中每个块组都有这样的一个块组描述符与之对应。所有的块组描述符集中存放，就形成了块组描述符表。

块组描述符表的起始块号位于超级块所在块号的下一个块，在整个文件系统中，存有很多块组描述符表的备份，存在的方式与超级块相同。

下面我们看一看用 C 语言定义的单个块组描述符结构，如下所示：

复制代码

```
struct ext3_group_desc
{
  __le32  bg_block_bitmap;     // 该块组位图块起始块号
  __le32  bg_inode_bitmap;     // 该块组inode节点位图块起始块号
  __le32  bg_inode_table;       // 该块组inode节点表起始块号
  __le16  bg_free_blocks_count;  // 该块组的空闲块
  __le16  bg_free_inodes_count;  // 该块组的空闲inode节点数
  __le16  bg_used_dirs_count;    // 该块组的目录计数
  __u16  bg_pad;           // 填充
  __le32  bg_reserved[3];       // 保留未用
};
```

对照上述代码，我们可以看到，多个 ext3_group_desc 结构就形成了块组描述符表，而 __le16 __le32 类型和超级块中的相同。如果想知道文件系统中有多少个块组描述符，可以通过超级块中总块数和每个块组的块数来进行计算。

Ext3 文件系统的位图块

接下来要说的是 Ext3 文件系统的位图块，它非常简单，每个块组中有两种位图块：一种用来描述**块组内每个储存块的分配状态**，另一种用于描述 **inode 节点的分配状态**。

位图块中没有什么结构，就是位图数据，即块中的每个字节都有八个位。每个位表示一个相应对象的分配状态，该位为 0 时，表示相应对象为空闲可用状态，为 1 时则表示相应对象是占用状态。例如位图块中第一个字节，表示块组 0~7 号储存块的分配状态；第二个字节，表示块组 8~15 号储存块的分配状态 ……依次类推。位图块的块号可以从块组描述符中得到。

Ext3 文件系统的 inode 节点

接下来，我们再深入研究一下 inode 节点。上节课我们提过，inode 节点用来存放跟文件相关的所有信息，但是文件名称却不在 inode 节点之中，文件名称保存在文件目录项中。

inode 节点中包含了文件模式、文件链接数、文件大小、文件占用扇区数、文件的访问和修改的时间信息、文件的用户 ID、文件的用户组 ID、文件数据内容的储存块号等，这些重要信息也被称为文件的元数据。

那么，用 C 语言如何定义单个 inode 节点结构呢？代码如下所示：

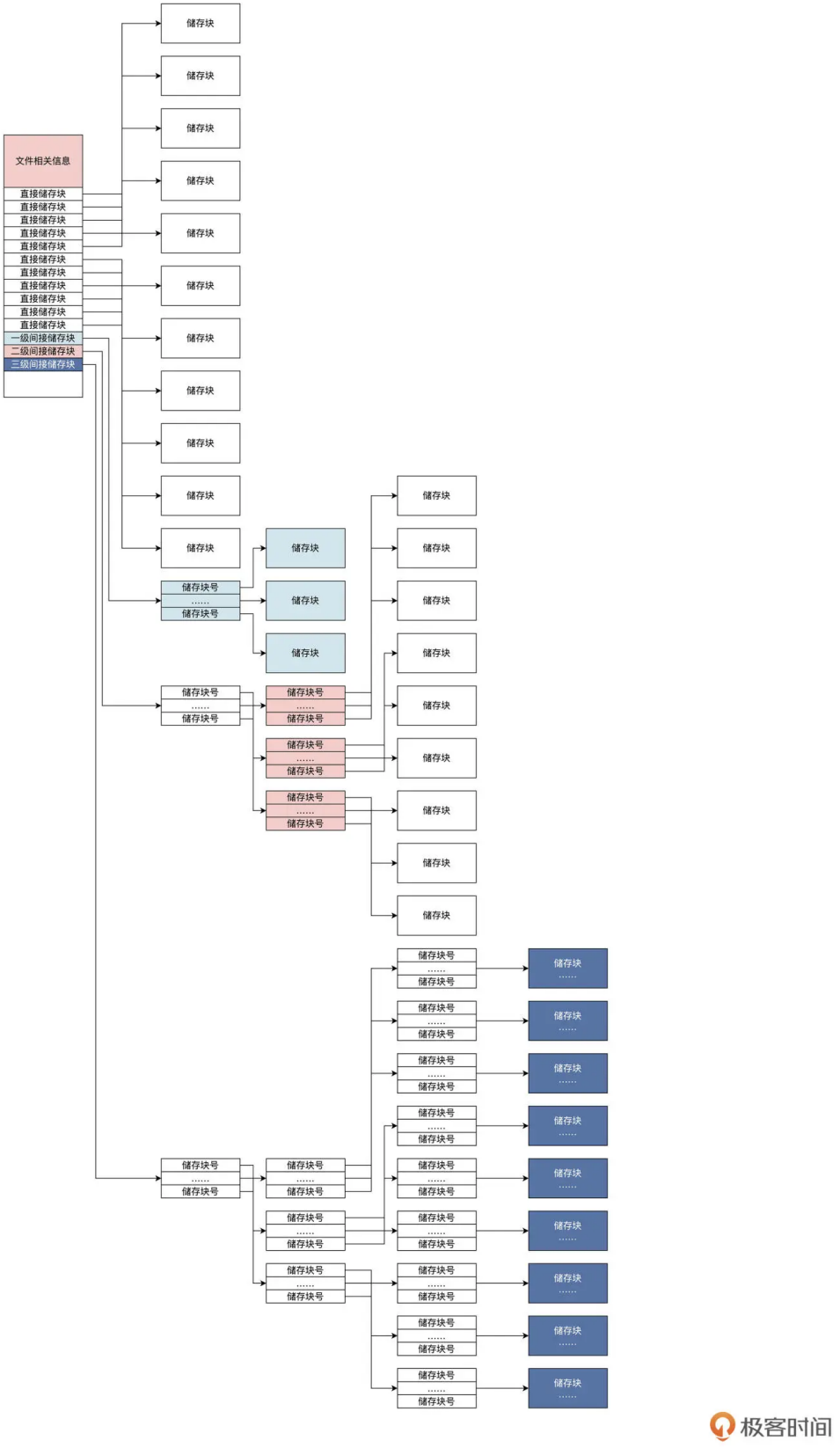
复制代码

```
struct ext3_inode {
  __le16  i_mode;    // 文件模式
  __le16  i_uid;    // 建立文件的用户
  __le32  i_size;    // 文件大小
  __le32  i_atime;  // 文件访问时间
  __le32  i_ctime;  // 文件建立时间
  __le32  i_mtime;  // 文件修改时间
  __le32  i_dtime;  // 文件删除时间
  __le16  i_gid;    // 建立文件的用户组
  __le16  i_links_count;  // 文件的链接数
  __le32  i_blocks;  // 文件占用的储存块 */
  __le32  i_flags;  // 文件标志
  union {
    struct {
      __u32  l_i_reserved1;
    } linux1;
    struct {
      __u32  h_i_translator;
    } hurd1;
    struct {
      __u32  m_i_reserved1;
    } masix1;
  } osd1;        //操作系统依赖1
  __le32  i_block[EXT3_N_BLOCKS];// 直接块地址
  __le32  i_generation;  // 文件版本
  __le32  i_file_acl;  // 文件扩展属性块
  __le32  i_dir_acl;  // 目录扩展属性块
```

```
  __le32  i_faddr;  // 段地址
  union {
    struct {
      __u8  l_i_frag;  //段号
      __u8  l_i_fsize;  //段大小
      __u16  i_pad1;
      __le16  l_i_uid_high;
      __le16  l_i_gid_high;
      __u32  l_i_reserved2;
    } linux2;
    struct {
      __u8  h_i_frag;  //段号
      __u8  h_i_fsize;  //段大小
      __u16  h_i_mode_high;
      __u16  h_i_uid_high;
      __u16  h_i_gid_high;
      __u32  h_i_author;
    } hurd2;
    struct {
      __u8  m_i_frag;  //段号
      __u8  m_i_fsize;  //段大小
      __u16  m_pad1;
      __u32  m_i_reserved2[2];
    } masix2;
  } osd2;         //操作系统依赖2
  __le16  i_extra_isize;
  __le16  i_pad1;
};
```

这就是 inode 节点，它包含文件的所有信息。文件的数据内容的储存块号保存在 i_block 中，这个 i_block 数组前十二元素保存的是 1~12 这 12 个储存块号，第十三个元素开始保存的是一级间接储存块块号、二级间接储存块块号、三级间接储存块块号。

那问题来了，什么是间接储存块？我给你画幅图，你就明白了。



由上图可知，一个 inode 节点中有 11 个直接储存块，其中存放的是块号，能直接索引 11 个储存块。

如果每个储存块大小是 1KB 的话，可以保存 11KB 的文件数据；当文件内容大于 11KB 时，就要用到一级间接储存块。

这时，一级间接储存块里的块号索引的储存块中不是文件数据，而是储存的指向储存块的块号，它可以储存 1024/4 个块号，即可索引 1024/4 个储存块。二级、三级间接块则依次类推，只不过级别更深，保存的块号就更多，能索引的储存块就更多，储存文件的数据量就更大。

Ext3 文件系统的目录项

讲到这里，我们已经对 Ext3 文件系统若干结构都做了梳理，现在你应该对 Ext3 文件系统如何储存文件有了一定认识。

可是文件系统中还有许多文件目录，文件目录是怎么处理的呢？

Ext3 文件系统把目录当成了一种特殊的文件，即目录文件，目录文件有自己的 inode 节点，能读取其中数据。在目录文件的数据中，保存的是一系列目录项，目录项用来存放文件或者目录的 inode 节点号、目录项的长度、文件名等信息。

下面我们看一看，用 C 语言定义的单个目录项结构长什么样：

复制代码

```
#define EXT3_NAME_LEN 255
struct ext3_dir_entry {
  __le32  inode;         // 对应的inode节点号
  __le16  rec_len;       // 目录项长度
  __u8  name_len;       // 文件名称长度
  __u8  file_type;       // 文件类型：文件、目录、符号链接
  char  name[EXT3_NAME_LEN];// 文件名
};
```

目录项结构大小不是固定不变的，这是由于每个文件或者目录的名称，不一定是 255 个字符，一般情况下是少于 255 个字符，这就导致 name 数组不必占用完整的空间。所以目录项是动态变化，需要结构中的 rec_len 字段，才能知道目录项的真实大小。

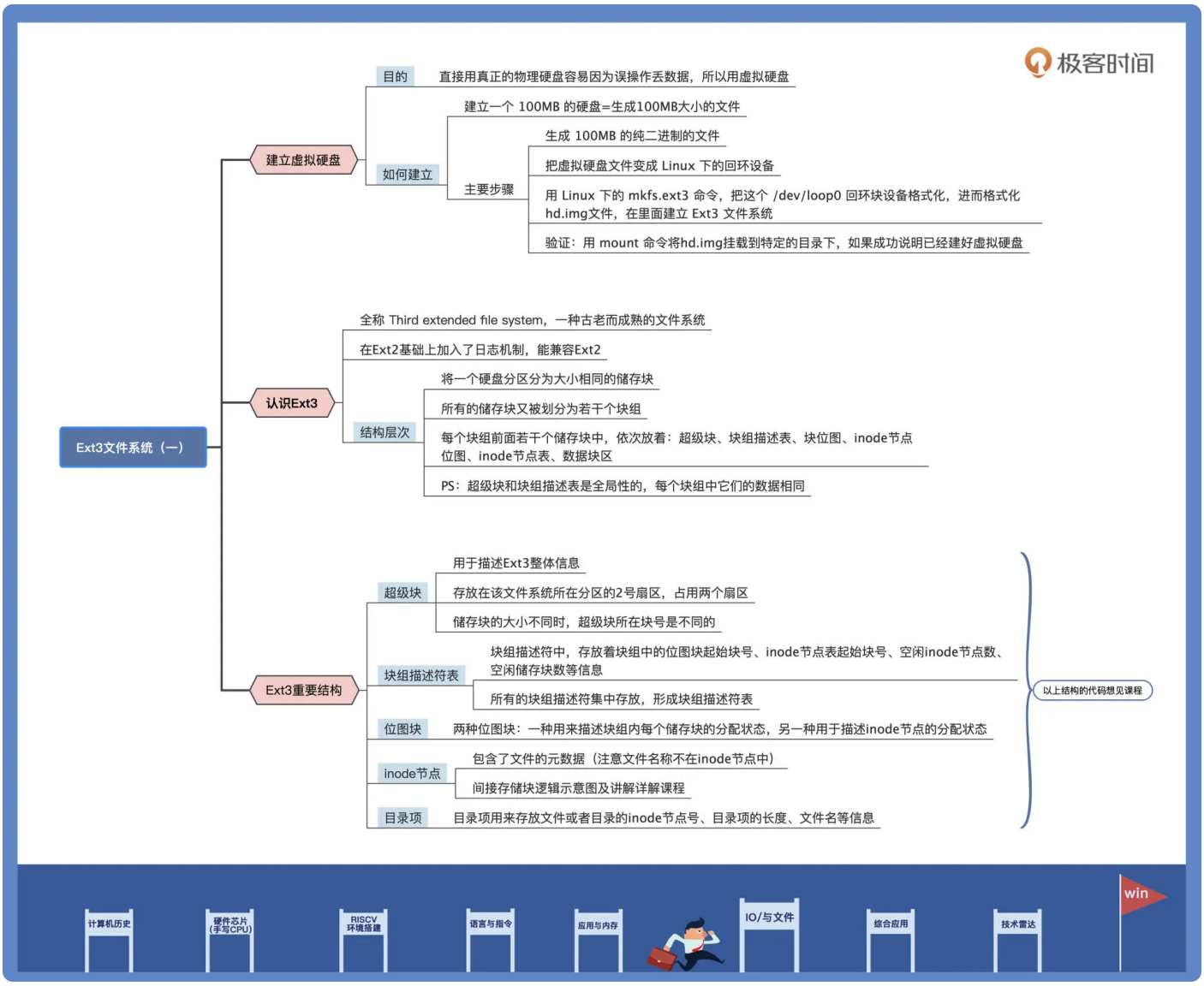
重点回顾

今天的课程我们就结束了，我们一起回顾一下学习的重点。

首先为了体验一下怎么建立文件系统，同时为了避免我们在物理硬盘的误操作导致丢失数据，所以我们用文件方式建立了一个虚拟硬盘，并在上面格式化了 Ext3 文件系统。

接着我们从逻辑上了解 Ext3 文件系统，重点了解了它的几个重要结构：超级块用于保存文件系统全局信息了；块组描述符用于表示硬盘的一个个块组；位图用于分配储存块和 inode 节点；inode 节点用于保存文件的元数据，还有文件数据块的块号；最后还有目录结构，用来存放者文件或者目录的 inode 节点号、目录项的长度、文件名等信息。

这节课的导图如下所示，供你参考：



下节课我们继续聊聊怎么读取文件系统的文件，敬请期待。

思考题

请问 Ext3 文件系统的超级块放在硬盘分区的第几个扇区中。

欢迎你在留言区记录自己的收获，或者向我提问。如果觉得这节课还不错，别忘了分享给身边的朋友。

上一篇　34 | 文件仓库：初识文件与文件系统

精选留言

> 由作者筛选后的优质留言将会公开显示，欢迎踊跃留言。