

说明：本视频对应王道书 4.1.6

先学习文件的逻辑结构、文件的物理结构，有助于理解文件管理的其他知识。因此课程中，我们会先跳学文件的逻辑结构（王道书4.1.5）、文件的物理结构（王道书 4.1.6）

建议：学完本视频，可以接着阅读王道书 4.1.6

本节内容

文件的物理 结构 (文件分配方式)

知识总览

操作系统需要对磁盘块进行哪些管理

对非空闲磁盘块的管理（存放了文件数据的磁盘块）

对空闲磁盘块的管理

“文件存储空间管理”要探讨的问题

“文件的物理结构/文件分配方式”要探讨的问题

知识总览

文件的物理结构 (文件分配方式)

即：文件数据应该怎样存放在外存中？

连续分配

链接分配

索引分配

隐式链接

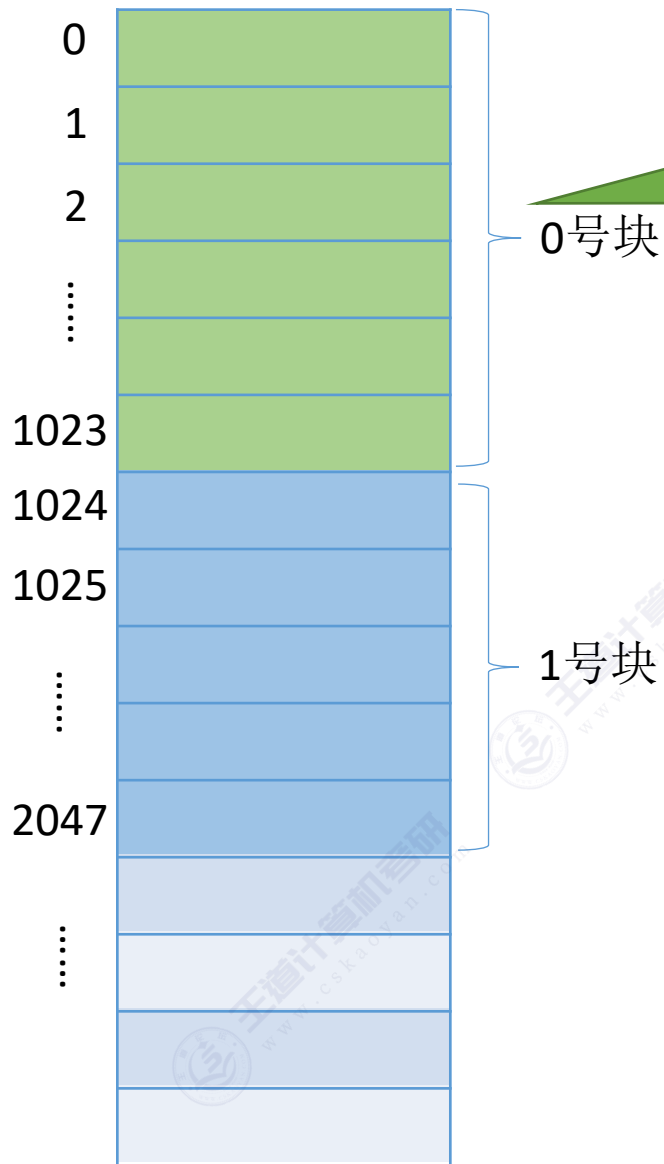
显式链接

文件块、磁盘块

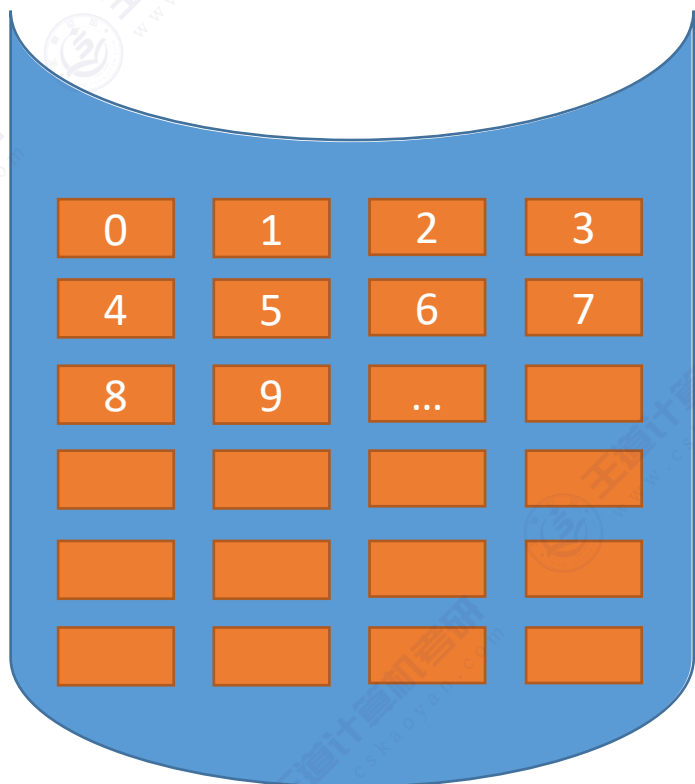
类似于内存分页，磁盘中的存储单元也会被分为一个个“块/磁盘块/物理块”。很多操作系统中，**磁盘块的大小与内存块、页面的大小相同**

内存与磁盘之间的数据交换（即读/写操作、磁盘I/O）都是以“块”为单位进行的。即每次读入一块，或每次写出一块

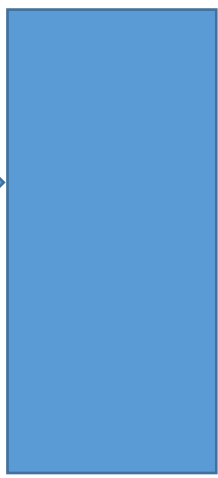
物理地址



外存（磁盘）



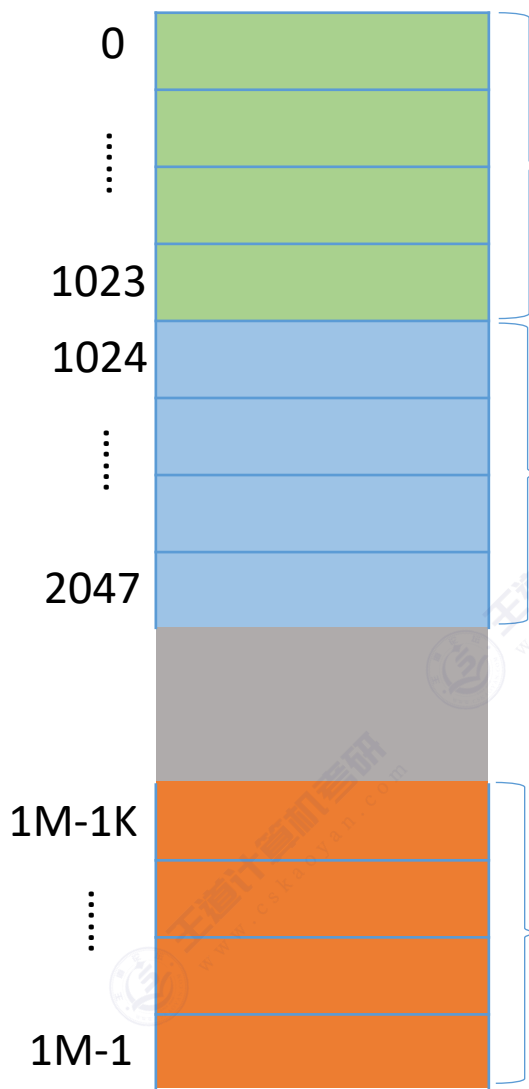
外存（磁盘）



内存

文件块、磁盘块

逻辑地址



文件

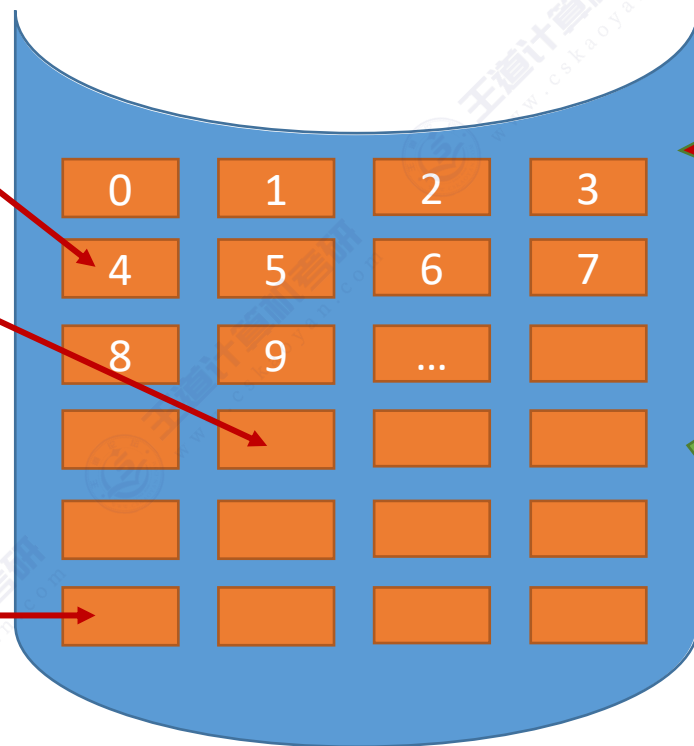
逻辑块号: 0

逻辑块号: 1

逻辑块号: 1023

若块的大小是1KB, 则1MB大小的文件可以被分为1K个块

在内存管理中, 进程的逻辑地址空间被分为一个一个页面
同样的, 在外存管理中, 为了方便对文件数据的管理, 文件的逻辑地址空间也被分为了一个一个的文件“块”。
于是文件的逻辑地址也可以表示为 (逻辑块号, 块内地址) 的形式。



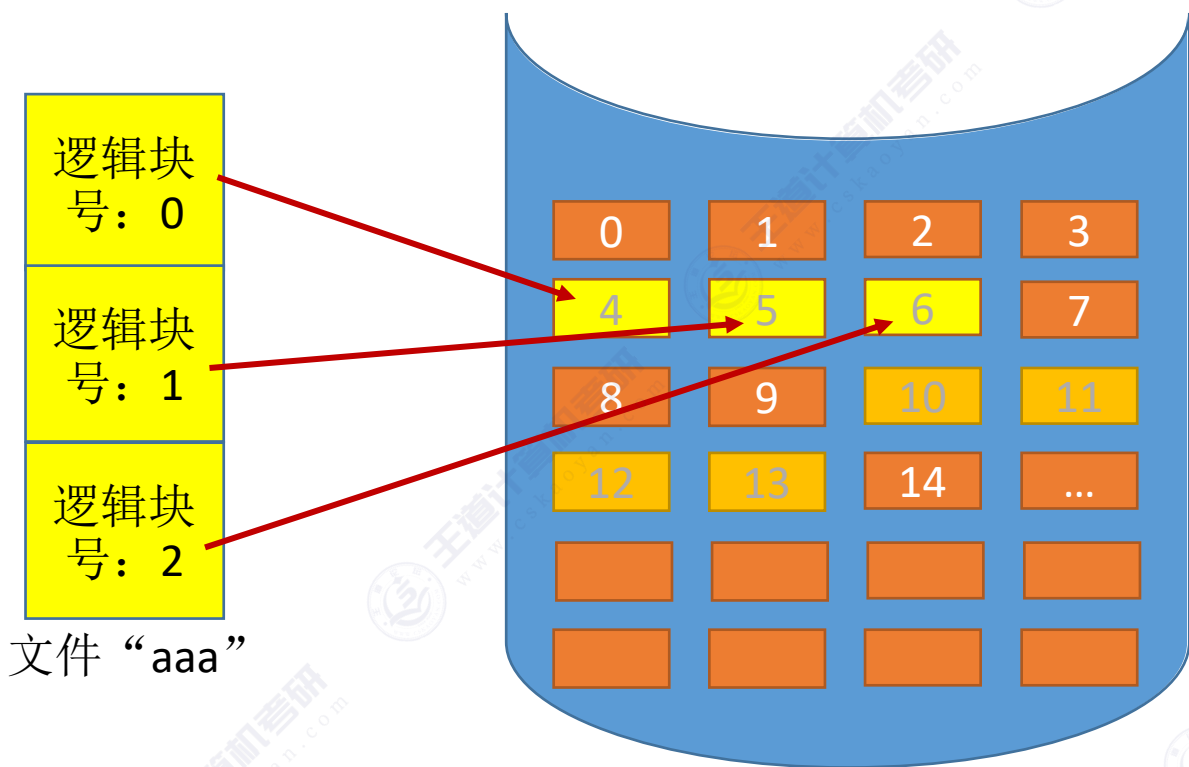
外存 (磁盘)

操作系统为文件分配存储空间都是以块为单位的

用户通过逻辑地址来操作自己的文件, 操作系统要负责实现从逻辑地址到物理地址的映射

文件分配方式——连续分配

连续分配方式要求每个文件在磁盘上占有一组连续的块。



文件“aaa”

文件名	.....	起始块号	长度
aaa	...	4	3
bbb	...	10	4
.....

文件目录中记录存放的起始块号和长度（总共占用几个块）



用户通过逻辑地址来操作自己的文件，操作系统如何实现从逻辑地址到物理地址的映射？

（逻辑块号，块内地址）→
（物理块号，块内地址）。只需转换块号就行，块内地址保持不变

用户给出要访问的逻辑块号，操作系统找到该文件对应的目录项（FCB）...

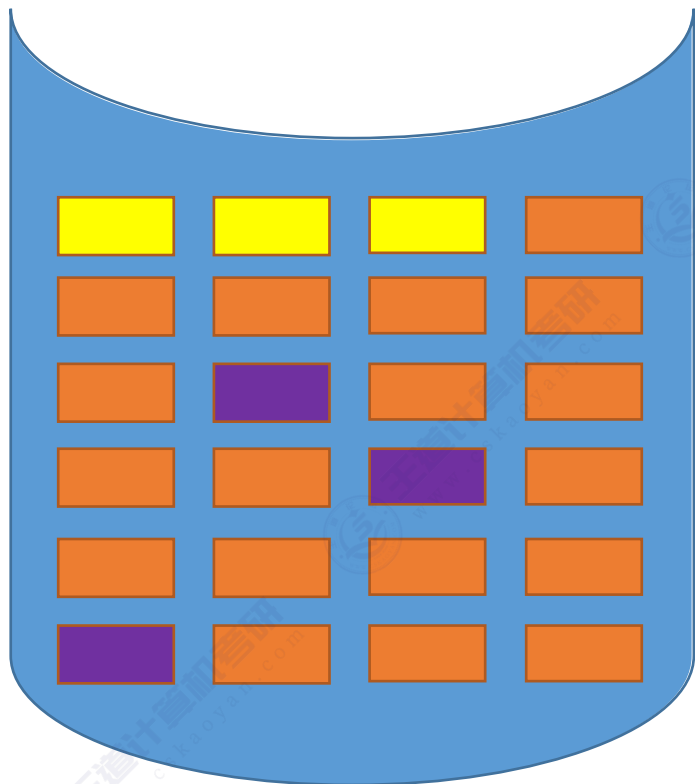
物理块号 = 起始块号 + 逻辑块号

当然，还需要检查用户提供的逻辑块号是否合法（逻辑块号 \geq 长度 就不合法）

可以直接算出逻辑块号对应的物理块号，因此连续分配支持顺序访问和直接访问（即随机访问）

文件分配方式——连续分配

连续分配方式要求每个文件在磁盘上占有一组连续的块。

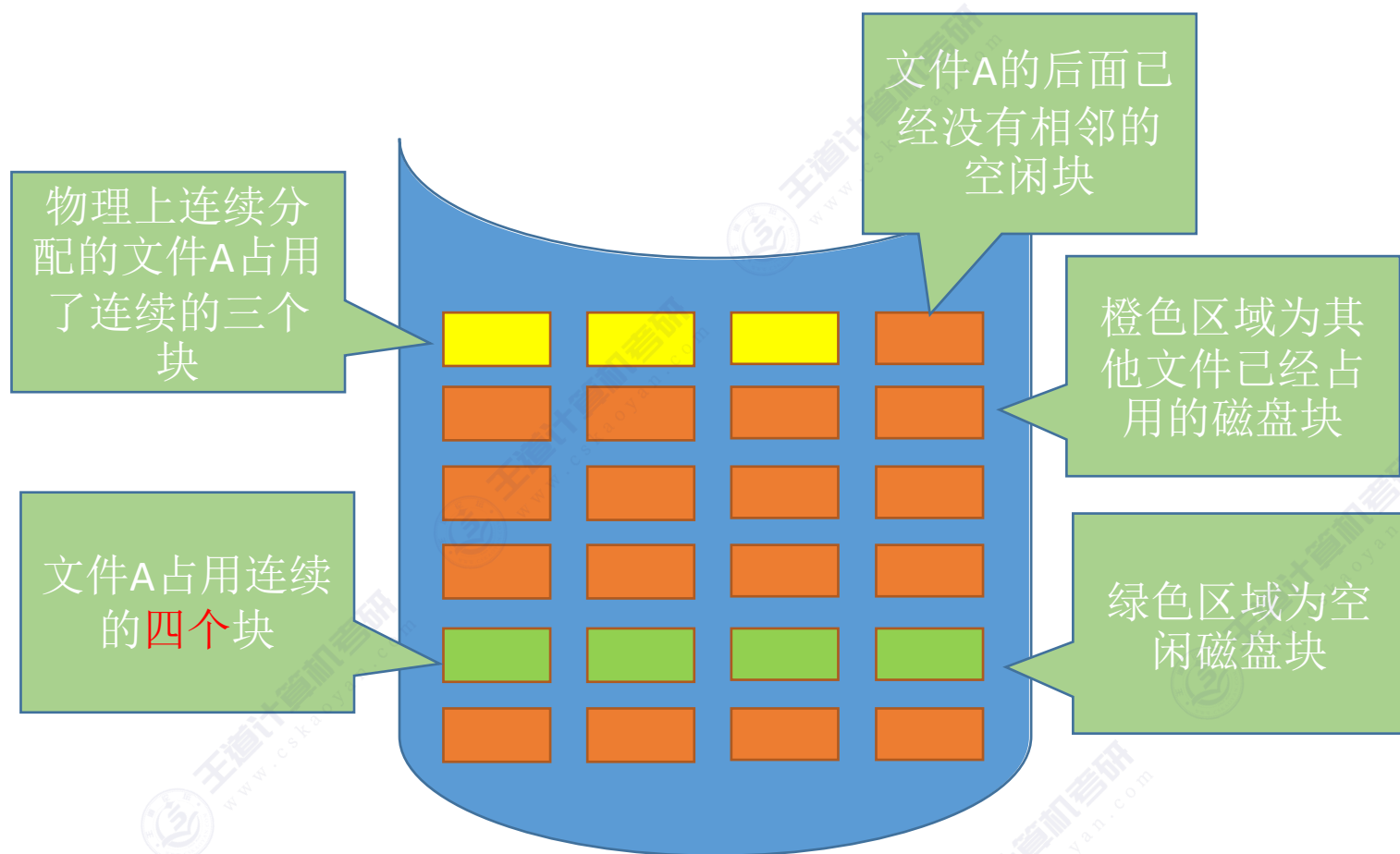


读取某个磁盘块时，需要移动磁头。访问的两个磁盘块相隔越远，移动磁头所需时间就越长。

结论：连续分配的文件在顺序读/写时速度最快

文件分配方式——连续分配

连续分配方式要求每个文件在磁盘上占有一组连续的块。

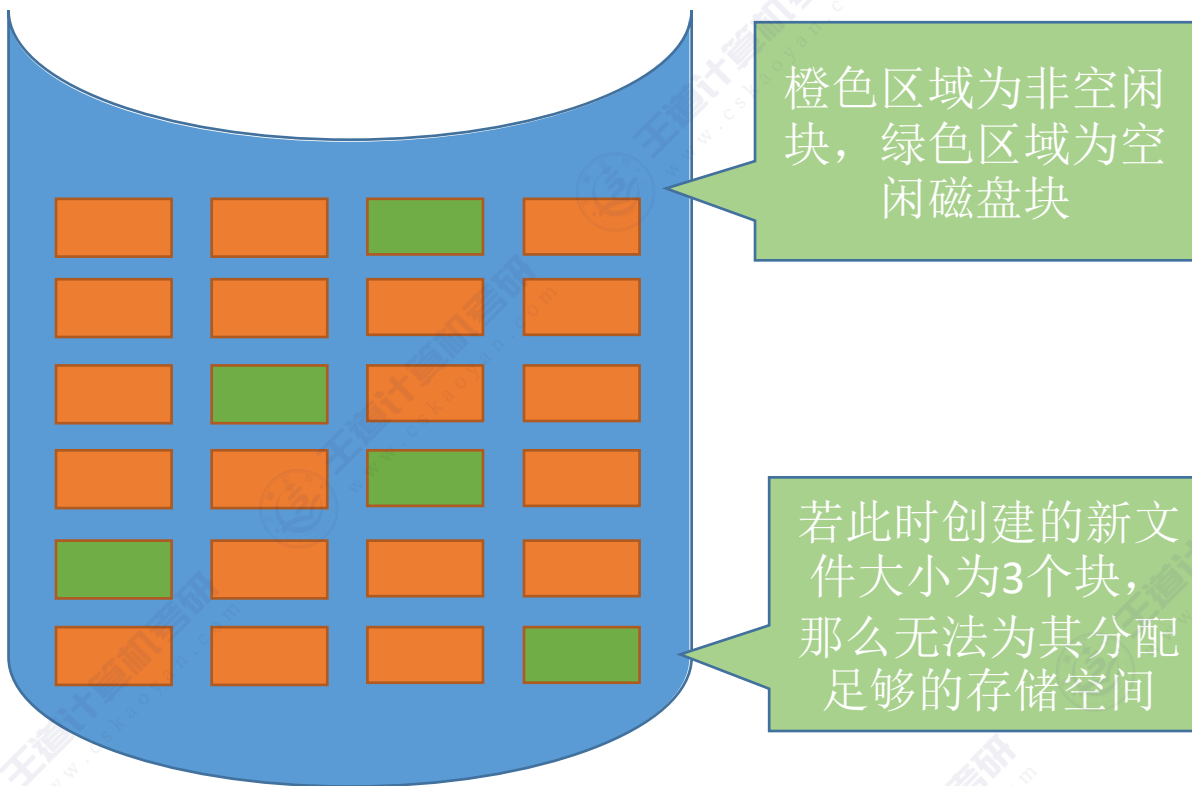


若此时文件A要拓展，需要再增加一个磁盘块（总共需要连续的4个磁盘块）。由于采用连续结构，因此文件A占用的磁盘块必须是连续的。因此只能将文件A全部“迁移”到绿色区域。

结论：物理上采用连续分配的文件不方便拓展。

文件分配方式——连续分配

连续分配方式要求每个文件在磁盘上占有一组连续的块。



结论：物理上采用连续分配，存储空间利用率低，会产生难以利用的磁盘碎片，可以用紧凑来处理碎片，但是需要耗费很大的时间代价。

连续分配（总结）

连续分配方式要求每个文件在磁盘上占有一组连续的块。

优点：支持顺序访问和直接访问（即随机访问）；连续分配的文件在顺序访问时速度最快

缺点：不方便文件拓展；存储空间利用率低，会产生磁盘碎片

文件分配方式——链接分配

链接分配采取离散分配的方式，可以为文件分配离散的磁盘块。分为隐式链接和显式链接两种。

链接分配——隐式链接

文件名	.....	起始块号	结束块号
aaa	...	9	16



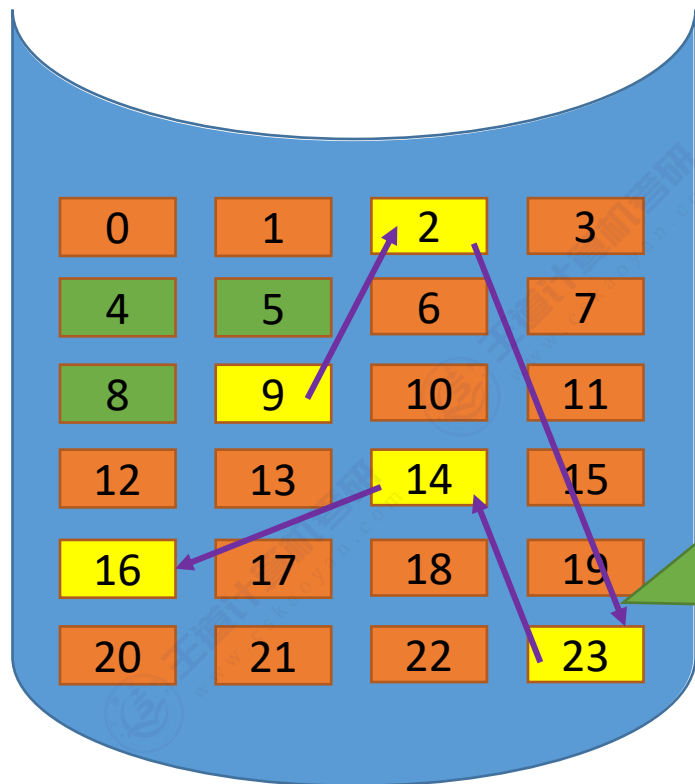
如何实现文件的逻辑块号到物理块号的转变？

用户给出要访问的逻辑块号 i ，操作系统找到该文件对应的目录项（FCB）...

从目录项中找到起始块号（即0号块），将0号逻辑块读入内存，由此知道1号逻辑块存放的物理块号，于是读入1号逻辑块，再找到2号逻辑块的存放位置.....以此类推。

因此，读入 i 号逻辑块，总共需要 $i+1$ 次磁盘 I/O。

结论：采用链式分配（隐式链接）方式的文件，只支持顺序访问，不支持随机访问，查找效率低。另外，指向下一个盘块的指针也需要耗费少量的存储空间。

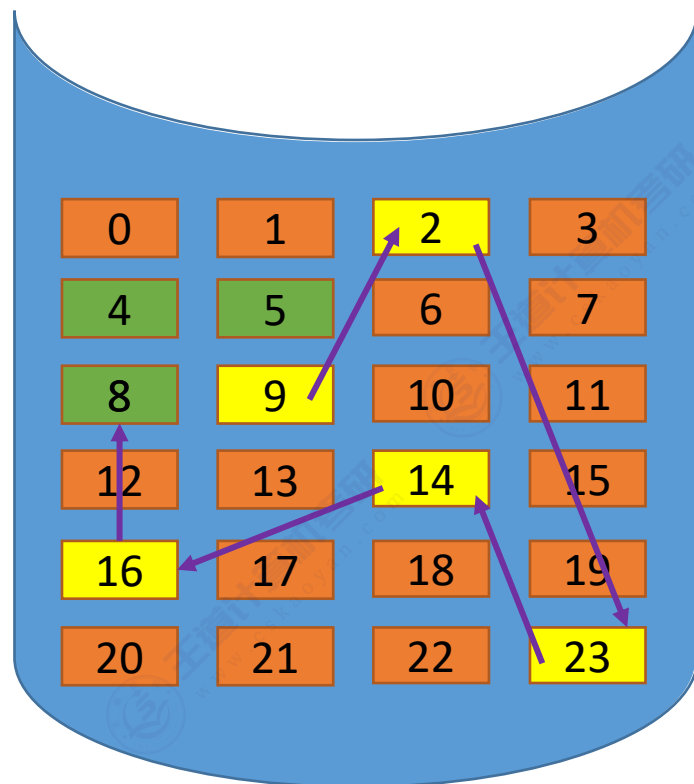


目录中记录了文件存放的起始块号和结束块号。当然，也可以增加一个字段来表示文件的长度

除了文件的最后一个磁盘块之外，每个磁盘块中都会保存指向下一个盘块的指针，这些指针对用户是透明的

链接分配——隐式链接

文件名	.....	起始块号	结束块号
aaa	...	9	8



是否方便拓展文件?

若此时要拓展文件，则可以随便找一个空闲磁盘块，挂到文件的磁盘块链尾，并修改文件的FCB

结论：采用隐式链接的链接分配方式，很方便文件拓展。
另外，所有的空闲磁盘块都可以被利用，不会有碎片问题，
外存利用率高。

链接分配——隐式链接

链接分配采取离散分配的方式，可以为文件分配离散的磁盘块。分为**隐式链接**和**显式链接**两种。

隐式链接——除文件的最后一个盘块之外，每个盘块中都存有指向下一个盘块的指针。文件目录包括文件第一块的指针和最后一块的指针。

优点：很方便文件拓展，不会有碎片问题，外存利用率高。

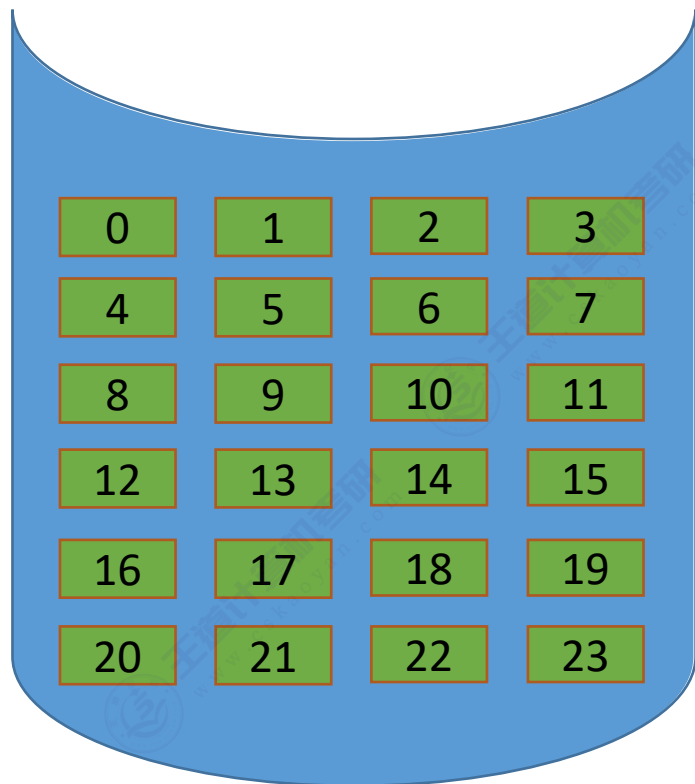
缺点：只支持顺序访问，不支持随机访问，查找效率低，指向下一个盘块的指针也需要耗费少量的存储空间。

链接分配——显式链接

文件名	.....	起始块号
aaa	...	2
bbb	...	4

目录中只需记录文件的起始块号

把用于链接文件各物理块的指针显式地存放在一张表中。即 文件分配表（FAT，File Allocation Table）



物理块号	下一块
0	1
1	-1
2	5
3	-1
4	23
5	0
.....	
22	
23	3

FAT（文件分配表）

假设某个新创建的文件“aaa”依次存放在磁盘块 $2 \rightarrow 5 \rightarrow 0 \rightarrow 1$

假设某个新创建的文件“bbb”依次存放在磁盘块 $4 \rightarrow 23 \rightarrow 3$

注意：一个磁盘仅设置一张FAT。开机时，将FAT读入内存，并常驻内存。FAT的各个表项在物理上连续存储，且每一个表项长度相同，因此“物理块号”字段可以是隐含的。

链接分配——显式链接

文件名	.....	起始块号
aaa	...	2
bbb	...	4

物理块号	下一块
0	1
1	-1
2	5
3	-1
4	23
5	0
.....	
22	
23	3

FAT（文件分配表）



如何实现文件的逻辑块号到物理块号的转变？

用户给出要访问的逻辑块号 i ，操作系统找到该文件对应的目录项（FCB）...

从目录项中找到起始块号，若 $i > 0$ ，则查询内存中的文件分配表FAT，往后找到 i 号逻辑块对应的物理块号。**逻辑块号转换成物理块号的过程不需要读磁盘操作。**

结论：采用**链式分配（显式链接）**方式的文件，支持顺序访问，也支持随机访问（想访问 i 号逻辑块时，并不需要依次访问之前的 $0 \sim i-1$ 号逻辑块），由于块号转换的过程不需要访问磁盘，因此相比于隐式链接来说，访问速度快很多。

显然，显式链接也**不会产生外部碎片**，也可以很方便地对文件进行拓展。

链接分配（总结）

链接分配采取离散分配的方式，可以为文件分配离散的磁盘块。分为隐式链接和显式链接两种。

隐式链接——除文件的最后一个盘块之外，每个盘块中都存有指向下一个盘块的指针。文件目录包括文件第一块的指针和最后一块的指针。

优点：很方便文件拓展，不会有碎片问题，外存利用率高。

缺点：只支持顺序访问，不支持随机访问，查找效率低，指向下一个盘块的指针也需要耗费少量的存储空间。

考试题目中遇到未指明隐式/显式的“链接分配”，默认指的是**隐式链接**的链接分配

显式链接——把用于链接文件各物理块的指针显式地存放在一张表中，即**文件分配表**（**FAT**，File Allocation Table）。一个磁盘只会建立一张文件分配表。开机时文件分配表放入内存，并**常驻内存**。

优点：很方便文件拓展，不会有碎片问题，外存利用率高，并且**支持随机访问**。相比于隐式链接来说，**地址转换时不需要访问磁盘，因此文件的访问效率更高**。

缺点：文件分配表的需要占用一定的存储空间。

本节内容

文件的物理 结构 (文件分配方式)

知识总览

文件的物理结构 (文件分配方式)

即：文件数据应该怎样存放在外存中？

连续分配

链接分配

索引分配

隐式链接

显式链接

文件分配方式——索引分配

索引分配允许文件离散地分配在各个磁盘块中，系统会为每个文件建立一张索引表，索引表中记录了文件的各个逻辑块对应的物理块（索引表的功能类似于内存管理中的页表——建立逻辑页面到物理页之间的映射关系）。索引表存放的磁盘块称为索引块。文件数据存放的磁盘块称为数据块。

文件名	...	索引块
aaa	...	7
bbb	...	23

目录中需要记录文件的索引块是几号磁盘块

逻辑块号	物理块号
0	2
1	5
2	13
3	9

文件“aaa”的索引表

假设某个新创建的文件“aaa”的数据依次存放在磁盘块 $2 \rightarrow 5 \rightarrow 13 \rightarrow 9$ 。7号磁盘块作为“aaa”的索引块，索引块中保存了索引表的内容。

注：在显式链接的链式分配方式中，文件分配表FAT 是一个磁盘对应一张。而索引分配方式中，索引表是一个文件对应一张。

可以用固定的长度表示物理块号（如：假设磁盘总容量为 $1\text{TB}=2^{40}\text{B}$ ，磁盘块大小为 1KB ，则共有 2^{30} 个磁盘块，则可用4B 表示磁盘块号），因此，索引表中的“逻辑块号”可以是隐含的。

类似的，文件“bbb”的索引块是23号磁盘块，其中存放了文件“bbb”的索引表

文件分配方式——索引分配

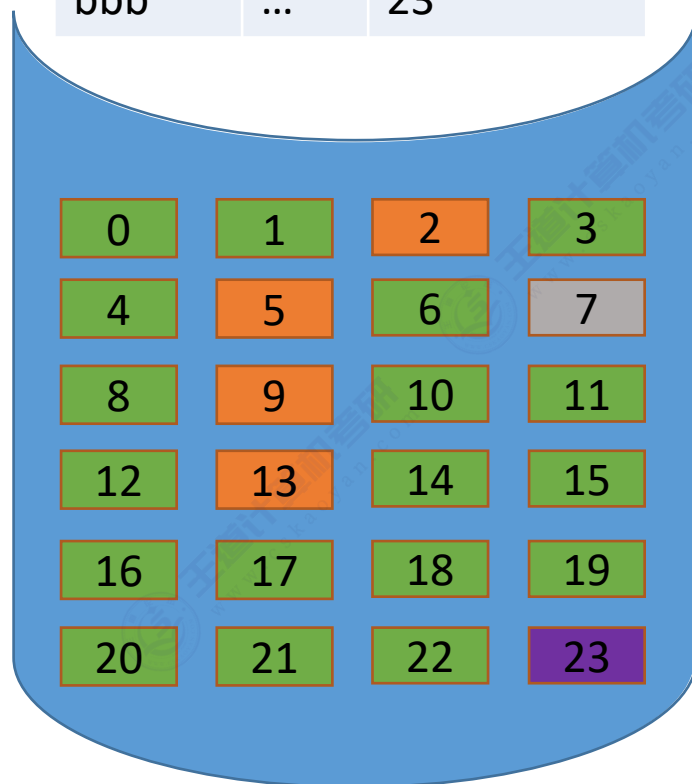
索引分配允许文件离散地分配在各个磁盘块中，系统会为每个文件建立一张索引表，索引表中记录了文件的各个逻辑块对应的物理块。索引表存放的磁盘块称为索引块。文件数据存放的磁盘块称为数据块。

文件名	...	索引块
aaa	...	7
bbb	...	23

目录中需要记录文件的索引块是几号磁盘块



如何实现文件的逻辑块号到物理块号的转换？



逻辑块号	物理块号
0	2
1	5
2	13
3	9
4	19

文件“aaa”的索引表

用户给出要访问的逻辑块号 i ，操作系统找到该文件对应的目录项（FCB）...

从目录项中可知索引表存放位置，将索引表从外存读入内存，并查找索引表即可只 i 号逻辑块在外存中的存放位置。

可见，索引分配方式可以支持随机访问。文件拓展也很容易实现（只需要给文件分配一个空闲块，并增加一个索引表项即可）但是索引表需要占用一定的存储空间

文件分配方式——索引分配

索引分配允许文件离散地分配在各个磁盘块中，系统会为每个文件建立一张索引表，索引表中记录了文件的各个逻辑块对应的物理块。索引表存放的磁盘块称为索引块。文件数据存放的磁盘块称为数据块。

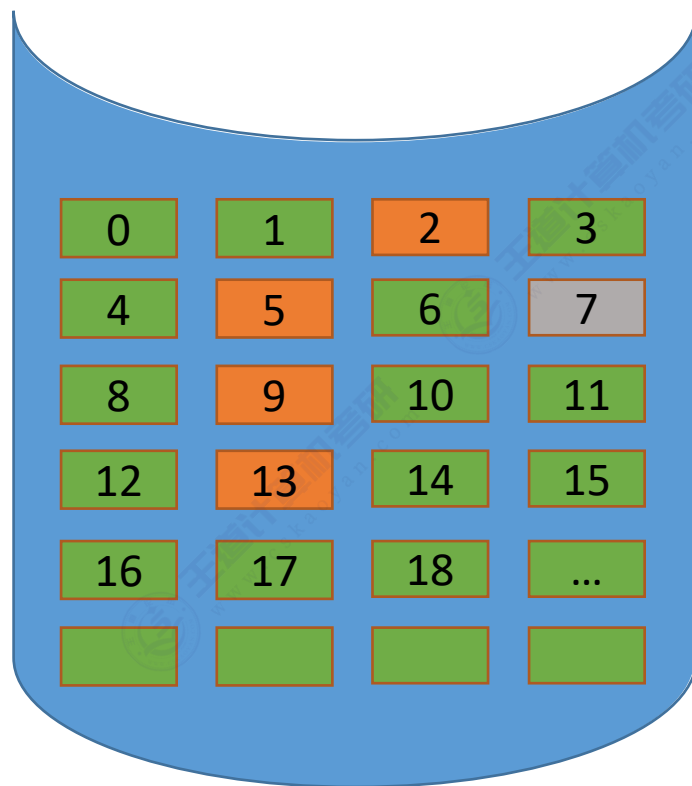
文件名	...	索引块
aaa	...	7

目录中需要记录文件的索引块是几号磁盘块



若每个磁盘块1KB，一个索引表项4B，则一个磁盘块只能存放 256 个索引项。

如果一个文件的大小超过了256块，那么一个磁盘块是装不下文件的整张索引表的，如何解决这个问题？



逻辑块号	物理块号
0	2
1	5
2	13
3	9

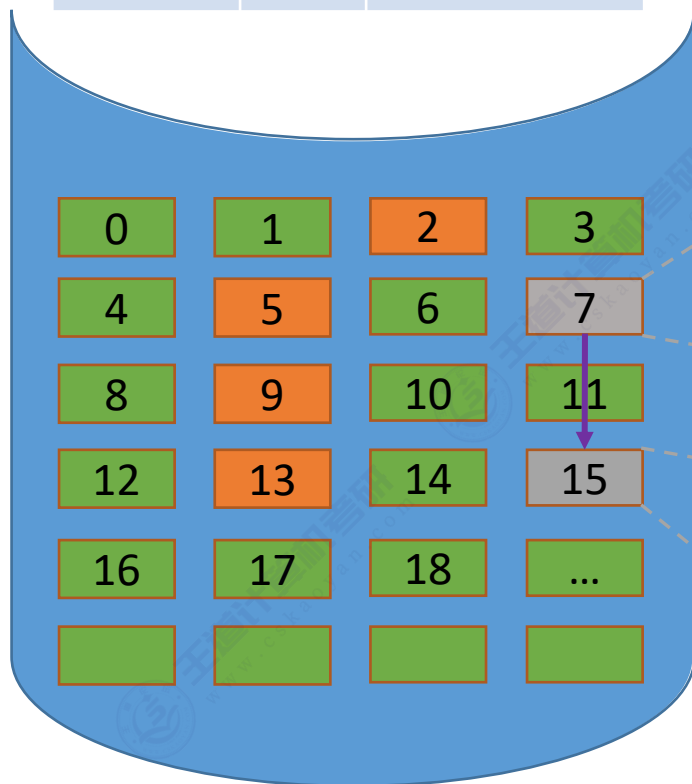
文件“aaa”的索引表

- ①链接方案
- ②多层索引
- ③混合索引

文件分配方式——索引分配

①**链接方案**：如果索引表太大，一个索引块装不下，那么可以将多个索引块链接起来存放。

文件名	...	索引块
aaa	...	7



逻辑块号	物理块号
0	2
1	5
...	...
255	...
256	...
257	...
...	...
511	...

假设磁盘块大小为1KB，一个索引表项占4B，则一个磁盘块只能存放256个索引项。

若一个文件大小为 $256 \times 256 \text{KB} = 65,536 \text{KB} = 64 \text{MB}$

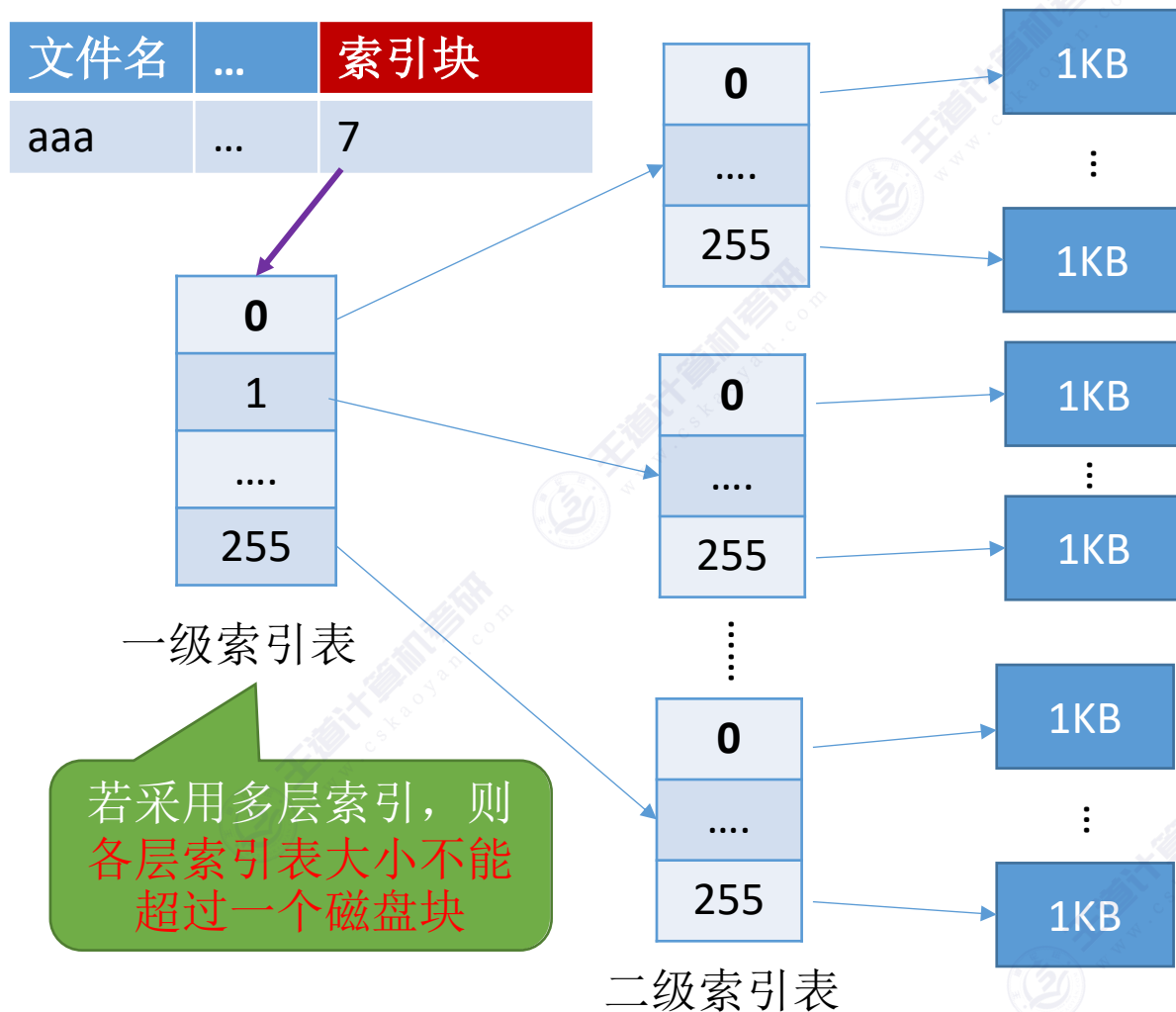
该文件共有 256×256 个块，也就对应 256×256 个索引项，也就需要 256 个索引块来存储，这些索引块用链接方案连起来。

若想要访问文件的最后一个逻辑块，就必须找到最后一个索引块（第256个索引块），而各个索引块之间是用指针链接起来的，因此必须先顺序地读入前 255 个索引块。

这显然是很低效的。如何解决呢？

文件分配方式——索引分配

②**多层索引**：建立多层索引（**原理类似于多级页表**）。使第一层索引块指向第二层的索引块。还可根据文件大小的要求再建立第三层、第四层索引块。



假设磁盘块大小为1KB，一个索引表项占4B，则一个磁盘块只能存放256个索引项。

若某文件采用**两层索引**，则该文件的**最大长度**可以到 $256 * 256 * 1KB = 65,536 KB = 64MB$

可根据逻辑块号算出应该查找索引表中的哪个表项。

如：要访问 1026 号逻辑块，则

$$1026 / 256 = 4, 1026 \% 256 = 2$$

因此可以先将一级索引表调入内存，查询 4 号表项，将其对应的二级索引表调入内存，再查询二级索引表的 2 号表项即可知道 1026 号逻辑块存放的磁盘块号了。

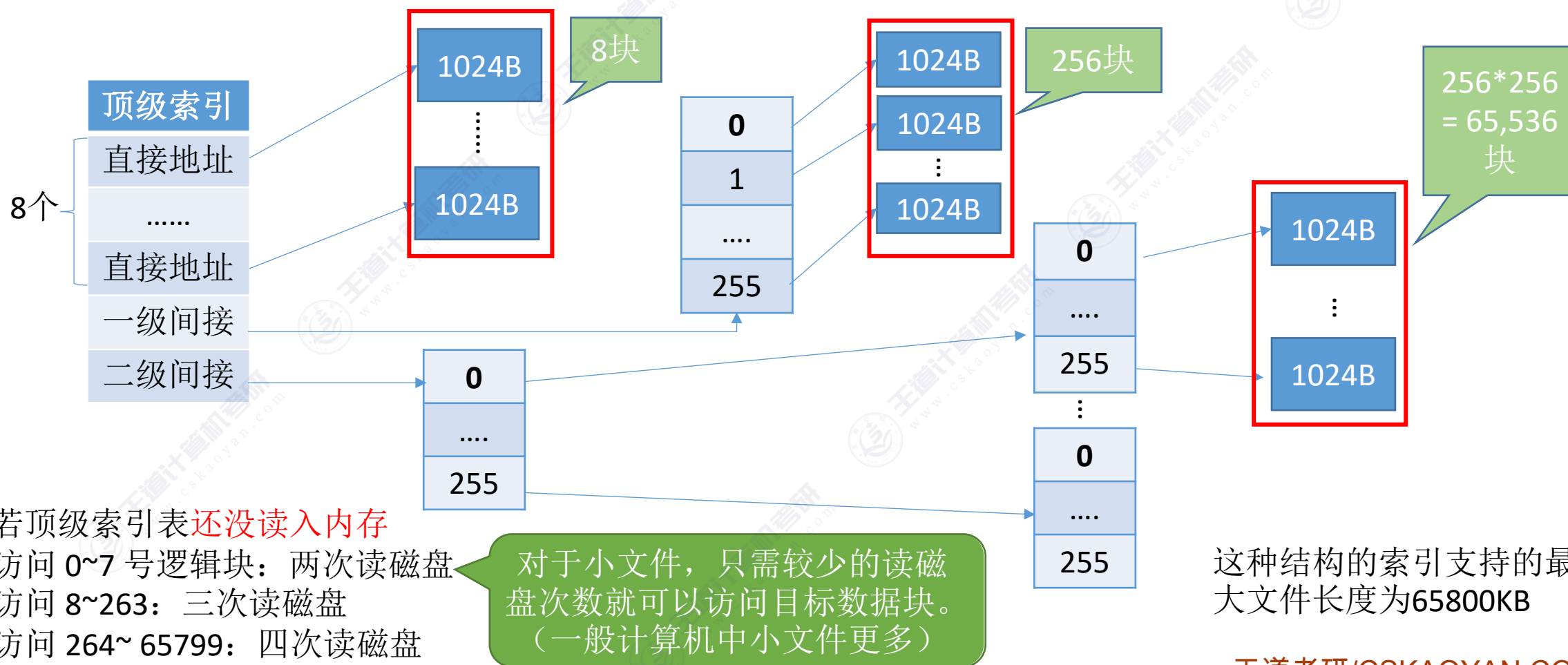
访问目标数据块，需要3次磁盘I/O。

若采用
256*2
类似的

采用 K 层索引结构，且**顶级索引表未调入内存**，则访问一个数据块只需要 K + 1 次读磁盘操作

文件分配方式——索引分配

③混合索引：多种索引分配方式的结合。例如，一个文件的顶级索引表中，既包含直接地址索引（直接指向数据块），又包含一级间接索引（指向单层索引表）、还包含两级间接索引（指向两层索引表）。



索引分配（总结）

索引分配允许文件离散地分配在各个磁盘块中，系统会为每个文件建立一张索引表，索引表中记录了文件的各个逻辑块对应的物理块（索引表的功能类似于内存管理中的页表——建立逻辑页面到物理页之间的映射关系）。索引表存放的磁盘块称为索引块。文件数据存放的磁盘块称为数据块。

若文件太大，索引表项太多，可以采取以下三种方法解决：

①**链接方案**：如果索引表太大，一个索引块装不下，那么可以将多个索引块链接起来存放。**缺点**：若文件很大，索引表很长，就需要将很多个索引块链接起来。想要找到 i 号索引块，必须先依次读入 $0 \sim i-1$ 号索引块，这就导致磁盘 I/O 次数过多，查找效率低下。

②**多层索引**：建立多层索引（原理类似于多级页表）。使第一层索引块指向第二层的索引块。还可根据文件大小的要求再建立第三层、第四层索引块。采用 K 层索引结构，且**顶级索引表未调入内存**，则访问一个数据块只需要 $K+1$ 次读磁盘操作。**缺点**：即使是小文件，访问一个数据块依然需要 $K+1$ 次读磁盘。

③**混合索引**：多种索引分配方式的结合。例如，一个文件的顶级索引表中，既包含**直接地址索引**（直接指向数据块），又包含**一级间接索引**（指向单层索引表）、还包含**两级间接索引**（指向两层索引表）。**优点**：对于小文件来说，访问一个数据块所需的读磁盘次数更少。

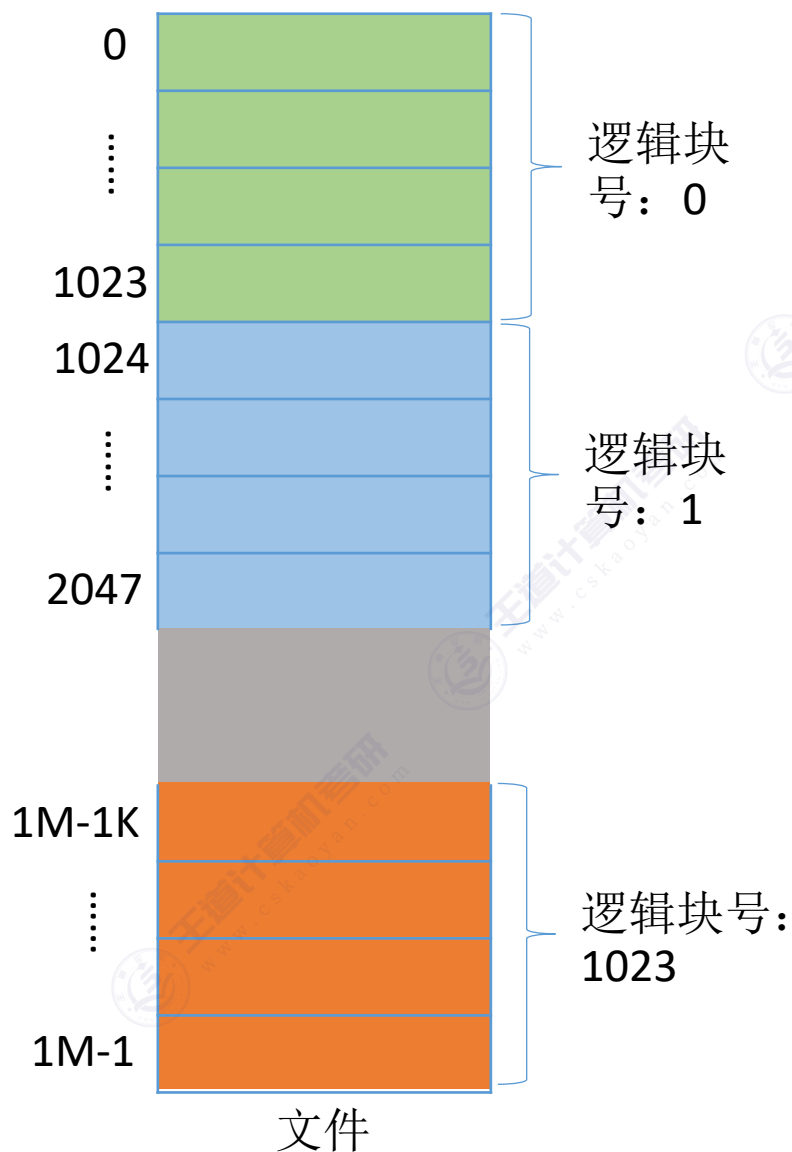
超级超级超级重要考点：①要会根据多层索引、混合索引的结构计算出文件的最大长度（**Key**：各级索引表最大不能超过一个块）；②要能自己分析访问某个数据块所需要的读磁盘次数（**Key**：FCB 中会存有指向顶级索引块的指针，因此可以根据 FCB 读入顶级索引块。每次读入下一级的索引块都需要一次读磁盘操作。另外，要注意题目条件——顶级索引块是否已调入内存）

知识点回顾与重要考点

		How?	目录项内容	优点	缺点
顺序分配		为文件分配的必须是连续的磁盘块	起始块号、文件长度	顺序存取速度快，支持随机访问	会产生碎片，不利于文件拓展
链接分配	隐式链接	除文件的最后一个盘块之外，每个盘块中都存有指向下一个盘块的指针	起始块号、结束块号	可解决碎片问题，外存利用率高，文件拓展实现方便	只能顺序访问，不能随机访问。
	显式链接	建立一张文件分配表(FAT)，显式记录盘块的先后关系（开机后FAT常驻内存）	起始块号	除了拥有隐式链接的优点之外，还可通过查询内存中的FAT实现随机访问	FAT需要占用一定的存储空间
索引分配		为文件数据块建立索引表。若文件太大，可采用链接方案、多层索引、混合索引	链接方案记录的是第一个索引块的块号，多层/混合索引记录的是顶级索引块的块号	支持随机访问，易于实现文件的拓展	索引表需占用一定的存储空间。访问数据块前需要先读入索引块。若采用链接方案，查找索引块时可能需要很多次读磁盘操作。

易混难点：支持随机访问

逻辑地址



假设这个文件的逻辑结构是“顺序文件”，并且是定长记录，每个记录长度16B。那么， i 号记录的逻辑地址是多少？（从0开始编号）

每块大小为1KB，定长记录长度为16B，因此一块有 $1\text{KB}/16\text{B} = 64$ 个记录。则...

逻辑块号 $m = i / 64$

块内地址 $n = (i \% 64) * 16$

i 号记录的逻辑地址 = (m, n)

“定长记录的顺序文件支持随机访问”——可以直接算出 i 号记录对应的逻辑地址

若文件记录不定长，则只能先顺序遍历前 $i-1$ 个记录，因此记录不定长时不支持随机访问

“文件的某种逻辑结构支持随机存取/随机访问”是指：采用这种逻辑结构的文件，可以根据记录号直接算出该记录对应的逻辑地址（逻辑块号，块内地址）。



公众号：王道在线



b站：王道计算机教育



抖音：王道计算机考研