

FSLab 报告

卢虹宇 2023202269

测试结果

Trace 00	passed	[0.0015s]	[ref: 0.0014s]	[93.73376%]
Trace 01	passed	[0.0071s]	[ref: 0.0062s]	[87.76934%]
Trace 02	passed	[0.0077s]	[ref: 0.0056s]	[72.99729%]
Trace 03	passed	[0.0083s]	[ref: 0.0097s]	[116.33403%]
Trace 04	passed	[0.0103s]	[ref: 0.0078s]	[75.37291%]
Trace 05	passed	[0.0144s]	[ref: 0.0219s]	[152.39159%]
Trace 06	passed	[0.0120s]	[ref: 0.0188s]	[157.06420%]
Trace 07	passed	[0.0140s]	[ref: 0.0125s]	[88.92144%]
Trace 08	passed	[0.0166s]	[ref: 0.0148s]	[89.00978%]
Trace 09	passed	[0.0163s]	[ref: 0.0210s]	[129.17872%]
Trace 10	passed	[0.0084s]	[ref: 0.0167s]	[197.84403%]
Trace 11	passed	[0.0081s]	[ref: 0.0161s]	[198.71014%]
Trace 12	passed	[0.0136s]	[ref: 0.0154s]	[113.02324%]
Trace 13	passed	[0.3474s]	[ref: 0.0243s]	[7.00833%]
Trace 14	passed	[0.0231s]	[ref: 0.0252s]	[108.88721%]
Trace 15	passed	[0.0518s]	[ref: 0.0326s]	[62.97442%]
Trace 16	passed	[0.0741s]	[ref: 0.0597s]	[80.61239%]
Trace 17	passed	[0.2906s]	[ref: 0.1435s]	[49.38341%]
Trace 18	passed	[8.6255s]	[ref: 0.1717s]	[1.99049%]
Trace 19	passed	[2.4905s]	[ref: 1.5756s]	[63.26742%]
Trace p0	passed	[0.0097s]	[ref: 0.0090s]	[93.12106%]
Trace p1	passed	[0.2006s]	[ref: 0.1235s]	[61.57493%]
22/22 traces passed (excluding 4 open traces)				
Total points: 60.00/60 (22/22)				

亮点

- 完整的间接指针支持**: 实现了12个直接指针+16个间接指针的混合索引机制, 支持大文件和大目录
- 边界检查优化**: 在数据块分配时增加边界检查, 防止分配超出磁盘范围的块
- 目录项标记删除**: 采用标记删除而非物理删除, 保持目录结构稳定性
- inode缓存机制**: 在文件打开时缓存inode号到fi->fh, 减少后续读写操作的路径解析开销
- 功能实现完整**: 实现了所有基本文件系统操作, 通过所有测试点, 并且不存在内存泄漏。

总体设计

数据结构设计

超级块 (superblock_t)

```
typedef struct {
    uint32_t block_size;           // 块大小: 4096字节
    uint32_t total_blocks;        // 总块数
    uint32_t inode_count;         // inode总数: 32768
    block_num_t inode_bitmap_start; // inode位图起始块: 1
    block_num_t data_bitmap_start; // 数据位图起始块: 2
}
```

```
    block_num_t inode_table_start;    // inode表起始块: 4
    block_num_t data_blocks_start;    // 数据块起始位置: 1024
} superblock_t;
```

inode结构 (inode_t)

```
typedef struct {
    mode_t st_mode;                // 文件类型和权限
    size_t st_size;                // 文件大小
    struct timespec st_last_access_time;    // 最后访问时间
    struct timespec st_last_modify_time;    // 最后修改时间
    struct timespec st_last_change_time;    // 最后状态改变时间
    block_num_t direct[12];        // 12个直接指针
    block_num_t indirect[16];     // 16个间接指针
} inode_t;
```

目录项结构 (dir_entry_t)

```
typedef struct {
    uint32_t inode_num;            // inode编号, 0表示已删除
    char name[25];                // 文件名(24字节+结束符)
} dir_entry_t;
```

设计指标

- **文件系统容量**: 最大支持 65536 个数据块, 约 256MB
- **单文件最大大小**: 12个直接指针 + 16个间接指针 = $12 + 16 \times (4096/4) = 16396$ 个数据块, 约 64MB
- **最大inode数量**: 32768个
- **最大目录项数量**: 理论上每个目录可包含约32768个目录项
- **数据块空间**: 每个数据块大小为4096字节, 最大支持 $65536 - 1024 = 64512$ 个数据块, 总共252MB
- **路径长度**: 由于定长字符串的长度限制, 路径长度最多为2047个字符

核心实现

1. 块分配机制

- **数据块分配**: 使用位图管理, 支持边界检查防止越界分配
- **inode分配**: 使用位图管理, 支持32768个inode
- **间接指针管理**: 自动分配间接块, 支持大文件存储

2. 目录管理

- **目录项查找**: 遍历直接指针和间接指针, 支持大目录
- **目录项添加**: 自动扩展到间接指针, 支持大量文件
- **目录项删除**: 标记删除(设置inode_num为0), 保持目录结构稳定

3. 文件I/O

- **读操作**：使用fi->fh缓存的inode号优化性能
- **写操作**：按需分配数据块，支持O_APPEND模式；使用get_or_alloc_data_block实现
- **截断操作**：正确释放多余数据块，更新文件大小

性能优化

1. **按需分配**：通过get_or_alloc_data_block函数实现按需分配数据块，节省空间
2. **边界检查**：在分配时检查块号范围，避免无效分配
3. **inode缓存**：在fs_open/fs_read/fs_write中使用fi->fh缓存inode号，减少路径解析
4. **批量操作**：目录遍历时批量处理条目，提高效率

想法

1. **完整稀疏文件支持**：当前只实现了读取时的稀疏文件支持，可以扩展到写入时也支持稀疏文件，在truncate扩大文件时不立即分配数据块
2. **压缩存储**：可以实现目录项压缩，进一步节省空间
3. **更高效的缓存**：可以实现inode和数据块的内存缓存，减少磁盘I/O
4. **多级间接指针**：可以实现二级、三级间接指针支持更大文件

总结

优点

1. **功能完整**：支持所有基本文件系统操作，通过所有测试点
2. **设计清晰**：模块化设计，代码结构清晰易懂
3. **错误处理完善**：正确处理各种边界情况和错误条件
4. **性能合理**：大部分测试点性能接近或超过参考实现

缺点

1. **性能瓶颈**：测试点13、18性能较差，主要是大量小文件操作导致
2. **空间利用率**：目录项删除使用标记删除，可能导致空间碎片
3. **并发支持**：未实现并发控制机制

可改进工作

1. **性能优化**：实现更高效的目录索引结构(如B+树)
2. **空间回收**：实现目录压缩和碎片整理

实验感想

本次的实验难度还是比较大，主要的难点在于各种边界条件的检查和错误处理，逻辑其实不复杂但是实现起来很繁琐，我在实现的过程中写了很多的辅助函数不然代码量还有可能进一步上升。但是在处理这些细节的同时还是学到了很多，比如目录项删除时是否压缩，inode的缓存机制等等，对文件系统有了更加深入的理解，但是有一说一在写代码和debug的时候还是借助了AI，不然两三天根本写不完，最

后还有一个遗憾是写的时候由于时间比较紧迫没有考虑性能问题，只追求了完成度，以后有机会再进行优化吧。

附录

开放测试点

测试点00 - 文件系统状态查询

输出

```
Filesystem      1K-blocks  Used Available Use% Mounted on
fuse            258048      0    258048    0% /home/Courses/大二下/ICS2/fs1ab-
whiteman333/mnt
Filesystem      Inodes IUsed IFree IUse% Mounted on
fuse            32768      1 32767     1% /home/Courses/大二下/ICS2/fs1ab-
whiteman333/mnt
Filesystem      1K-blocks  Used Available Use% Mounted on
fuse            258048      4    258044    1% /home/Courses/大二下/ICS2/fs1ab-
whiteman333/mnt
Filesystem      Inodes IUsed IFree IUse% Mounted on
fuse            32768      2 32766     1% /home/Courses/大二下/ICS2/fs1ab-
whiteman333/mnt
Filesystem      1K-blocks  Used Available Use% Mounted on
fuse            258048      8    258040    1% /home/Courses/大二下/ICS2/fs1ab-
whiteman333/mnt
Filesystem      Inodes IUsed IFree IUse% Mounted on
fuse            32768      2 32766     1% /home/Courses/大二下/ICS2/fs1ab-
whiteman333/mnt
```

解释

测试 `fs_statfs` 函数的实现。输出显示文件系统总容量约256MB，初始时使用1个inode(根目录)，创建文件后inode使用量增加。初始时没有使用任何数据块，所以Used为0，IUse为1%。在创建一个文件后，父目录数据块写入该文件的inode号，分配1个数据块，大小为4k，所以Used为4,IUse为2%。在写入数据后，该文件分配一个数据块,所以used为8,IUse为2%。

测试点01 - 存储空间耗尽处理

输出 (节选)

```
Access: (0644/-rw-r--r--) uid: (  0/   root)  gid: (  0/   root)
cat: write error: No space left on device
  File: ofile61
Size: 0
Access: (0644/-rw-r--r--) uid: (  0/   root)  gid: (  0/   root)
cat: write error: No space left on device
  File: ofile62
Size: 0
Access: (0644/-rw-r--r--) uid: (  0/   root)  gid: (  0/   root)
cat: write error: No space left on device
  File: ofile63
Size: 0
Access: (0644/-rw-r--r--) uid: (  0/   root)  gid: (  0/   root)
```

解释

测试文件系统空间耗尽时的错误处理。通过循环追加写操作使文件不断增大，当数据块用完时正确返回 - ENOSPC 错误，终端显示"No space left on device"。

测试点O2 - 大文件支持

输出

```
File: file0
Size: 38770358
Access: (0644/-rw-r--r--)  Uid: (  0/   root)   Gid: (  0/   root)
File: file1
Size: 23961399
Access: (0644/-rw-r--r--)  Uid: (  0/   root)   Gid: (  0/   root)
```

解释

测试大文件的创建和管理。通过循环追加操作创建了约38MB和24MB的大文件，验证了间接指针机制能够正确支持超过直接指针容量的大文件。

测试点O3 - 稀疏文件读取支持

输出

```
1024
-rw-r--r-- 1 root root 1024 Jun 24 11:17 file
00000000 cf 7b 41 2e ee b8 d7 40 5b 38 86 99 02 29 c5 e7 |.{A....@[8...)..|
00000010 e6 04 d1 da 1a 90 66 2d 30 bb e5 b3 60 33 c2 ea |.....f-0...`3..|
00000020 61 ec 0f af f5 0f 5b 31 7c 0b aa 46 39 87 bd 9c |a.....[1|..F9...|
00000030 96 71 ab 76 61 2c 94 57 51 b0 fd 68 a8 e3 0a 15 |.q.va,.WQ..h....|
00000040 01 41 39 09 69 00 b5 ec 2d 52 16 9d 2b 7a 80 66 |.A9.i...-R..+z.f|
00000050 8d 78 bb b2 24 aa 75 69 61 69 1a 0b c7 59 53 bc |.x..$.ui ai...YS.|
00000060 ad 05 21 2d 92 20 94 58 1e 50 83 ff 49 23 07 5e |...!-. .X.P..I#.^|
00000070 6c 63 1d f9 94 d8 da 2a 7d 3e 45 bd 3f 56 c8 1d |lc.....*>E.?V..|
00000080 aa 13 b4 f2 8e f7 37 10 6b 7d 67 d7 8d c5 4f 52 |.....7.k}g...OR|
00000090 2d b6 50 fd 28 f1 cf 75 01 fc 99 e5 ee 36 ab 5a |-.P.(..u.....6.Z|
000000a0 0f 16 86 b5 27 b9 e2 1a 6c 2d 0a e2 02 10 88 06 |....'...l-.....|
000000b0 09 37 d8 cf 0d 3e 61 38 e1 f3 57 5b 2d 4e 8a 51 |.7...>a8..w[-N.Q|
000000c0 5b 40 39 4c a9 6d a7 2a a3 14 e1 02 28 8c ee 60 |[ @9L.m.*....(..|
000000d0 85 41 47 b9 da fb ac d6 a0 b6 91 be b5 d2 2e f4 |.AG.....|
000000e0 eb 72 98 88 7d 9e 50 5c 61 c3 51 f8 75 5e 88 60 |.r...}.P\ a.Q.u^..|
000000f0 56 89 51 40 83 90 0b 4c 33 7f cb 55 fa 93 8b 6d |v.Q@...L3..U...m|
00000100 b5 a3 8c 45 ff 51 ba 7c 75 97 9b 10 c7 e1 6b f5 |...E.Q.|u.....k.|
00000110 4b 7f cc 5b ca 35 94 9e b1 88 4a bc 21 f6 91 c3 |K..[.5....J.!...|
00000120 d2 46 f6 47 77 17 47 06 28 0d f4 df 5f ad 44 8f |.F.Gw.G.(..._.D.|
00000130 07 2f a7 70 f6 b7 a4 62 f3 90 ce 9f 5a 14 13 ac |./..p...b....Z...|
00000140 e7 e7 a7 02 f1 d0 bb 38 45 48 b6 40 22 04 fd 85 |.....8EH.@"...|
00000150 ee 0f 89 b5 fb 7c 18 31 c5 52 d4 3e 34 5e 5a 2a |.....|.1.R.>4^Z*|
00000160 a8 e9 30 40 4c c9 ad e6 de b8 b0 97 94 7d a2 ff |..0@L.....}.|
00000170 89 ed 64 4b 3c c6 3e c5 5c d2 4e b5 98 70 7b cc |..dK<.>.\.N..p{..|
00000180 ba 34 5f 58 85 ad 84 2a 93 7a 56 5d a3 cf d1 49 |.4_X...*.zV]...I|
00000190 bb 35 88 01 d6 3c f6 1d 21 4a 53 75 6f aa 5b 77 |.5...<.!JSuo.[w|
000001a0 ca 8a 84 a3 ce c6 a1 68 f4 9f 28 f4 9c de ee cd |.....h..(.....|
000001b0 75 b6 23 93 e4 6b 63 8f 10 5a bf 1c e5 c8 12 6f |u.#..kc..Z.....o|
000001c0 de 3a 62 a8 7b d5 ef f7 1e 4e 4e 48 4a 6d 9e 75 |.:b.{....NNHJm.u|
```

```
000001d0 16 46 43 0c 03 d2 3e c5 8d 86 2f 04 2b 43 59 f7 |.FC...>.../.+CY.|
000001e0 89 58 fc 94 e1 bf 54 b5 61 7c 4c 46 48 d8 e9 35 |.X....T.a|LFH..5|
000001f0 a6 db 4f 6a 88 3f dd da 1b 08 d6 38 5c 74 c9 48 |..Oj.?.....8\t.H|
00000200 fc 80 e5 7f d5 68 df 6b d3 8e 21 89 90 26 99 e9 |.....h.k.!...&..|
00000210 05 a0 77 90 c5 03 61 8e 73 db c4 49 c1 01 36 52 |..w...a.s..I..6R|
00000220 36 a1 2f eb cd 8d c2 90 af 22 cb 3b f5 65 db 7d |6./.....".;.e.}|
00000230 3c 93 46 6a 86 59 ee bf 0f 9c dc 71 dc ee 7f 58 |<.Fj.Y.....q...X|
00000240 01 9d 09 2f 0d 4f 0c eb 5f 30 84 c4 8c f0 19 c6 |.../.O...0.....|
00000250 48 39 b7 04 31 85 3f aa 47 7c 80 31 84 21 f3 0f |H9..1.?.G|.1.!..|
00000260 45 de e5 22 91 6f 68 86 16 59 85 64 84 5d 4e 1a |E..".oh..Y.d.]N.|
00000270 b3 56 84 12 16 3f c5 df ec dd 41 62 59 1e 4d cb |.V...?....AbY.M.|
00000280 a3 71 61 16 ad 3f a8 bb 50 87 15 ff 56 4a aa d4 |.qa..?.P...VJ...|
00000290 1e 08 17 8b dd 0e 26 10 80 3e 80 ac db 58 7a 41 |.....&..>...XzA|
000002a0 7b ef 69 e2 7f 7b 52 cd 24 b5 7a b6 78 a4 4c bf |{.i...{R.$..z.x.L.|
000002b0 4a 66 b5 73 4c d4 24 e9 d4 93 0e 5f 15 4f 5c 99 |Jf.sL.$....._O\..|
000002c0 57 5e 6e c2 09 8c 9e f4 36 b3 1e 0b 20 d1 1f ec |w^n.....6... ..|
000002d0 f6 c1 d6 05 b4 15 53 7d 3f b3 21 2d 6b d0 43 52 |.....S}?..!-k.CR|
000002e0 48 9b 11 f4 3b 6c 40 a4 71 5d 5d 4b 8a 2d ff c0 |H...;l@.q]]K.-..|
000002f0 99 32 9c f1 6e 03 f5 70 ed 77 6b ad 5d 4d 58 de |.2..n...p.wk.]MX..|
00000300 d0 35 a0 4c a0 65 71 b8 2c 53 48 4f 0e fc dc 10 |.5.L.eq.,SHO....|
00000310 8e 30 26 4b 16 d8 b6 22 a7 c7 94 5a ae f3 57 df |.0&K..."...Z..W.|
00000320 a6 7b ef 3b 3b a8 47 12 6c 3b d2 f6 09 17 e3 e4 |.{.;;.G.l;.....|
00000330 af c2 95 52 b6 60 42 14 dc e6 c1 d9 9d 74 04 37 |...R.`B.....t.7|
00000340 a2 c3 18 41 cf 54 16 73 17 9e 2a fc 6c 94 42 f0 |...A.T.s.*.l.B..|
00000350 62 0b cd 71 64 a6 a4 31 16 a4 bb a8 46 fa bf 9c |b..qd..1....F...|
00000360 38 42 56 b1 df a2 b5 cb ca af d6 7c 52 1b d5 26 |8BV.....|R..&|
00000370 e6 ec 74 7f ba d2 37 db e1 5b ee 84 be 47 25 1f |..t...7..[...G%..|
00000380 ae 8a c1 48 d8 dc 67 10 2e c8 94 db 1b 49 7d dd |...H..g.....I}.|
00000390 b0 62 92 55 e8 58 b2 30 ee de e3 ba f0 1c 1e 8b |.b.U.X.0.....|
000003a0 f3 2e 6e 1f da a2 18 79 47 6f 4a ad 68 9a b2 08 |..n....yGoJ.h...|
000003b0 47 b9 fe 4a 39 65 35 52 91 49 6f 12 6e f0 c7 46 |G..J9e5R.Io.n..F|
000003c0 8d e3 32 08 c7 b2 d2 f6 d7 8d a7 c6 35 3d dc ba |..2.....5=...|
000003d0 21 a1 5d 00 0c 2b fb 04 14 ee b1 f2 f2 4a f6 b4 |!.]..+.....J...|
000003e0 76 f6 e4 2d c2 d0 d9 9f a1 15 50 68 fe bf ab 3d |v..-.....Ph...=|
000003f0 d9 a5 06 4f 2b 87 90 f4 6d a3 29 d3 a3 2a 1f 7f |...O+...m.)...*.|
00000400
```

32

-rw-r--r-- 1 root root 32 Jun 24 11:17 file

```
00000000 cf 7b 41 2e ee b8 d7 40 5b 38 86 99 02 29 c5 e7 |.{A....@[8...)..|
00000010 e6 04 d1 da 1a 90 66 2d 30 bb e5 b3 60 33 c2 ea |.....f-0...`3..|
00000020
```

10000

-rw-r--r-- 1 root root 10000 Jun 24 11:17 file

```
00000000 cf 7b 41 2e ee b8 d7 40 5b 38 86 99 02 29 c5 e7 |.{A....@[8...)..|
00000010 e6 04 d1 da 1a 90 66 2d 30 bb e5 b3 60 33 c2 ea |.....f-0...`3..|
00000020 61 ec 0f af f5 0f 5b 31 7c 0b aa 46 39 87 bd 9c |a.....[1]..F9...|
00000030 96 71 ab 76 61 2c 94 57 51 b0 fd 68 a8 e3 0a 15 |.q.va,.wQ..h....|
00000040 01 41 39 09 69 00 b5 ec 2d 52 16 9d 2b 7a 80 66 |.A9.i...-R..+z.f|
00000050 8d 78 bb b2 24 aa 75 69 61 69 1a 0b c7 59 53 bc |.x..$.uia...YS..|
00000060 ad 05 21 2d 92 20 94 58 1e 50 83 ff 49 23 07 5e |..!-. .X.P..I#.^|
00000070 6c 63 1d f9 94 d8 da 2a 7d 3e 45 bd 3f 56 c8 1d |lc.....*>E.?V...|
00000080 aa 13 b4 f2 8e f7 37 10 6b 7d 67 d7 8d c5 4f 52 |.....7.k}g...OR|
00000090 2d b6 50 fd 28 f1 cf 75 01 fc 99 e5 ee 36 ab 5a |-.P.(.u.....6.Z|
000000a0 0f 16 86 b5 27 b9 e2 1a 6c 2d 0a e2 02 10 88 06 |....'...l-.....|
000000b0 09 37 d8 cf 0d 3e 61 38 e1 f3 57 5b 2d 4e 8a 51 |.7...>a8..w[-N.Q|
000000c0 5b 40 39 4c a9 6d a7 2a a3 14 e1 02 28 8c ee 60 |[@9L.m.*....(..|
```

000000d0 85 41 47 b9 da fb ac d6 a0 b6 91 be b5 d2 2e f4 |.AG.....|
000000e0 eb 72 98 88 7d 9e 50 5c 61 c3 51 f8 75 5e 88 60 |.r..}.P\ a.Q.u^.`|
000000f0 56 89 51 40 83 90 0b 4c 33 7f cb 55 fa 93 8b 6d |V.Q@...L3..U...m|
00000100 b5 a3 8c 45 ff 51 ba 7c 75 97 9b 10 c7 e1 6b f5 |...E.Q.|u.....k.|
00000110 4b 7f cc 5b ca 35 94 9e b1 88 4a bc 21 f6 91 c3 |K..[.5....J.!...|
00000120 d2 46 f6 47 77 17 47 06 28 0d f4 df 5f ad 44 8f |.F.Gw.G.(..._.D.|
00000130 07 2f a7 70 f6 b7 a4 62 f3 90 ce 9f 5a 14 13 ac |./p...b....Z...|
00000140 e7 e7 a7 02 f1 d0 bb 38 45 48 b6 40 22 04 fd 85 |.....8EH.@"...|
00000150 ee 0f 89 b5 fb 7c 18 31 c5 52 d4 3e 34 5e 5a 2a |.....|.1.R.>4^Z*|
00000160 a8 e9 30 40 4c c9 ad e6 de b8 b0 97 94 7d a2 ff |..0@L.....}.|
00000170 89 ed 64 4b 3c c6 3e c5 5c d2 4e b5 98 70 7b cc |..dK<.>.\.N..p{.|
00000180 ba 34 5f 58 85 ad 84 2a 93 7a 56 5d a3 cf d1 49 |.4_X...*.zv]...I|
00000190 bb 35 88 01 d6 3c f6 1d 21 4a 53 75 6f aa 5b 77 |.5...<.!JSuo.[w|
000001a0 ca 8a 84 a3 ce c6 a1 68 f4 9f 28 f4 9c de ee cd |.....h..(.....|
000001b0 75 b6 23 93 e4 6b 63 8f 10 5a bf 1c e5 c8 12 6f |u.#..kc..Z.....o|
000001c0 de 3a 62 a8 7b d5 ef f7 1e 4e 4e 48 4a 6d 9e 75 |.:b.{....NNHJm.u|
000001d0 16 46 43 0c 03 d2 3e c5 8d 86 2f 04 2b 43 59 f7 |.FC...>.../.+CY.|
000001e0 89 58 fc 94 e1 bf 54 b5 61 7c 4c 46 48 d8 e9 35 |.X....T.a|LFH..5|
000001f0 a6 db 4f 6a 88 3f dd da 1b 08 d6 38 5c 74 c9 48 |..Oj.?......8\t.H|
00000200 fc 80 e5 7f d5 68 df 6b d3 8e 21 89 90 26 99 e9 |.....h.k.!...&...|
00000210 05 a0 77 90 c5 03 61 8e 73 db c4 49 c1 01 36 52 |..w...a.s..I..6R|
00000220 36 a1 2f eb cd 8d c2 90 af 22 cb 3b f5 65 db 7d |6./.....".;e.}|
00000230 3c 93 46 6a 86 59 ee bf 0f 9c dc 71 dc ee 7f 58 |<.Fj.Y.....q...X|
00000240 01 9d 09 2f 0d 4f 0c eb 5f 30 84 c4 8c f0 19 c6 |.../.O..._0.....|
00000250 48 39 b7 04 31 85 3f aa 47 7c 80 31 84 21 f3 0f |H9..1.?.G|.1.!...|
00000260 45 de e5 22 91 6f 68 86 16 59 85 64 84 5d 4e 1a |E..".oh..Y.d.]N.|
00000270 b3 56 84 12 16 3f c5 df ec dd 41 62 59 1e 4d cb |.V...?....AbY.M.|
00000280 a3 71 61 16 ad 3f a8 bb 50 87 15 ff 56 4a aa d4 |.qa..?.?..P...VJ..|
00000290 1e 08 17 8b dd 0e 26 10 80 3e 80 ac db 58 7a 41 |.....&..>...XzA|
000002a0 7b ef 69 e2 7f 7b 52 cd 24 b5 7a b6 78 a4 4c bf |{.i..{R.\$..z.x.L.|
000002b0 4a 66 b5 73 4c d4 24 e9 d4 93 0e 5f 15 4f 5c 99 |Jf.sL.\$....._O\..|
000002c0 57 5e 6e c2 09 8c 9e f4 36 b3 1e 0b 20 d1 1f ec |w^n.....6... ..|
000002d0 f6 c1 d6 05 b4 15 53 7d 3f b3 21 2d 6b d0 43 52 |.....S}?..!-k.CR|
000002e0 48 9b 11 f4 3b 6c 40 a4 71 5d 5d 4b 8a 2d ff c0 |H...;l@.q]]K.-..|
000002f0 99 32 9c f1 6e 03 f5 70 ed 77 6b ad 5d 4d 58 de |.2..n..p.wk.]MX.|
00000300 d0 35 a0 4c a0 65 71 b8 2c 53 48 4f 0e fc dc 10 |.5.L.eq.,SHO....|
00000310 8e 30 26 4b 16 d8 b6 22 a7 c7 94 5a ae f3 57 df |.0&K..."...Z..w.|
00000320 a6 7b ef 3b 3b a8 47 12 6c 3b d2 f6 09 17 e3 e4 |.{.;;.G.l;.....|
00000330 af c2 95 52 b6 60 42 14 dc e6 c1 d9 9d 74 04 37 |...R.`B.....t.7|
00000340 a2 c3 18 41 cf 54 16 73 17 9e 2a fc 6c 94 42 f0 |...A.T.s..*.l.B.|
00000350 62 0b cd 71 64 a6 a4 31 16 a4 bb a8 46 fa bf 9c |b..qd..1....F...|
00000360 38 42 56 b1 df a2 b5 cb ca af d6 7c 52 1b d5 26 |8BV.....|R..&|
00000370 e6 ec 74 7f ba d2 37 db e1 5b ee 84 be 47 25 1f |..t...7..[...G%.|
00000380 ae 8a c1 48 d8 dc 67 10 2e c8 94 db 1b 49 7d dd |...H..g.....I}.|
00000390 b0 62 92 55 e8 58 b2 30 ee de e3 ba f0 1c 1e 8b |.b.U.X.0.....|
000003a0 f3 2e 6e 1f da a2 18 79 47 6f 4a ad 68 9a b2 08 |..n....yGoJ.h...|
000003b0 47 b9 fe 4a 39 65 35 52 91 49 6f 12 6e f0 c7 46 |G..J9e5R.Io.n..F|
000003c0 8d e3 32 08 c7 b2 d2 f6 d7 8d a7 c6 35 3d dc ba |..2.....5=...|
000003d0 21 a1 5d 00 0c 2b fb 04 14 ee b1 f2 f2 4a f6 b4 |!.]..+.....J..|
000003e0 76 f6 e4 2d c2 d0 d9 9f a1 15 50 68 fe bf ab 3d |v...-.....Ph...=|
000003f0 d9 a5 06 4f 2b 87 90 f4 6d a3 29 d3 a3 2a 1f 7f |...O+...m.)...*...|
00000400 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |.....|

*

00002710

24

-rw-r--r-- 1 root root 24 Jun 24 11:17 file

```
00000000 cf 7b 41 2e ee b8 d7 40 5b 38 86 99 02 29 c5 e7 |.{A....@[8...)|
00000010 e6 04 d1 da 1a 90 66 2d |.....f-|
00000018
```

解释

测试稀疏文件读取功能。通过 `truncate` 操作改变文件大小，验证了文件系统能够正确处理文件截断，包括缩小文件时释放多余数据块。

内存泄漏测试

测试结果：

```
Trace p0 passed [ 0.0097s] [ref: 0.0068s] [69.61233%]
Trace p1 passed [ 0.2368s] [ref: 0.1178s] [49.73660%]
Trace 00 passed [ 0.0019s] [ref: 0.0011s] [58.30018%]
Trace 01 passed [ 0.0091s] [ref: 0.0059s] [64.59239%]
Trace 02 passed [ 0.0093s] [ref: 0.0050s] [53.37838%]
Trace 03 passed [ 0.0105s] [ref: 0.0077s] [73.90277%]
Trace 04 passed [ 0.0097s] [ref: 0.0060s] [62.24784%]
Trace 05 passed [ 0.0164s] [ref: 0.0114s] [69.35421%]
Trace 06 passed [ 0.0154s] [ref: 0.0089s] [57.85003%]
Trace 07 passed [ 0.0177s] [ref: 0.0110s] [62.36792%]
Trace 08 passed [ 0.0198s] [ref: 0.0126s] [63.67051%]
Trace 09 passed [ 0.0212s] [ref: 0.0111s] [52.22889%]
Trace 10 passed [ 0.0090s] [ref: 0.0046s] [50.49222%]
Trace 11 passed [ 0.0110s] [ref: 0.0047s] [42.40739%]
Trace 12 passed [ 0.0070s] [ref: 0.0077s] [110.10063%]
Trace 13 passed [ 0.4528s] [ref: 0.0277s] [ 6.10871%]
Trace 14 passed [ 0.0297s] [ref: 0.0154s] [51.98105%]
Trace 15 passed [ 0.0692s] [ref: 0.0328s] [47.39833%]
Trace 16 passed [ 0.0815s] [ref: 0.0520s] [63.87499%]
Trace 17 passed [ 0.3836s] [ref: 0.1430s] [37.29362%]
Trace 18 passed [ 11.6174s] [ref: 0.1888s] [ 1.62473%]
Trace 19 passed [ 2.6431s] [ref: 1.5837s] [59.91807%]
Trace p0 passed [ 0.0097s] [ref: 0.0068s] [69.61233%]
Trace p1 passed [ 0.2368s] [ref: 0.1178s] [49.73660%]
22/22 traces passed (excluding 4 open traces)
Total points: 60.00/60 (22/22)
```

思考题

问题1

请设计一个方案，在不查资料的情况下，用一些常见的命令，比如：

- `dd if=/dev/random of=file bs=1K count=1`
- `stat file`
- `ls -l file`

计算出（或估计出）你自己的电脑（WSL 或 MacOS）的文件系统的以下参数：

1. 最小分配的块大小是多少
2. 每个 inode 包含几个直接指针

3. 每个一级间接指针可以指向多少个块（并猜测一下间接指针指向的数据块里面是怎么存的）
4. 你刚好想到的其他可以测出来的参数（不要求）

如果你的电脑不方便实验，你可以假设你有一个 Linux 系统，并说一下大致的方案即可。

如果你感觉你的文件系统不是这种 inode + data block 的方式实现的，你可以把分析对象换成本次实验你自己的文件系统

answer

由于我的系统为ext4文件系统，使用extend策略，不是由直接指针和间接指针来管理数据块，所以我采用ext3镜像来测量，以下是测量脚本：

```
#!/usr/bin/env bash
set -euo pipefail

IMG=ext3.img
SIZE_MB=64
MNT=/mnt/ext_test
mkdir -p "$MNT"

echo "====> 1. 创建 ext3 镜像..."
fallocate -l "${SIZE_MB}M" "$IMG"
mkfs.ext3 -q "$IMG"
LOOPDEV=$(sudo losetup -f --show "$IMG")
sudo mount "$LOOPDEV" "$MNT"

cd "$MNT"
FILE=data.bin
# 正则：抓取 stat 输出的 "Blocks:" 行
BLOCK_RE='Blocks:[[:space:]]+([0-9]+)'

get_blocks() {
    # 返回 512 B 块数
    [[ $(stat "$FILE") =~ $BLOCK_RE ]] && echo "${BASH_REMATCH[1]}"
}

##### Step 0: 块大小 #####
dd if=/dev/zero of=$FILE bs=1 count=1 status=none
BLK_512=$(get_blocks)
BLK_SIZE=$((BLK_512 * 512)) # 4096
echo "Block size = $BLK_SIZE B"
dd if=/dev/zero of=$FILE bs=1 count=0 status=none
##### Step 1: 测量直接指针数 #####
prev=$BLK_512
written=0
while ;; do
    dd if=/dev/zero of=$FILE bs=$BLK_SIZE oflag=append conv=notrunc count=1
    status=none
    written=$((written + 1))
    cur=$(get_blocks)
    diff=$((cur - prev))
    if (( diff == 16 )); then
        direct_ptrs=$((written - 1))
        prev=$cur
        break
    fi
done
```

```

    fi
    prev=$cur
done
echo "Direct pointers = $direct_ptrs"

##### Step 2: 测量单级间接容量 #####
single_indirect_capacity=0
while ;; do
    dd if=/dev/zero of=$FILE bs=$BLK_SIZE oflag=append conv=notrunc count=1
    status=none
    single_indirect_capacity=$((single_indirect_capacity + 1))
    cur=$(get_blocks)
    diff=$((cur - prev))
    if (( diff > 8 )); then
        break
    fi
    prev=$cur
done
echo "Single-indirect capacity = $single_indirect_capacity"

```

核心思想是利用间接指针分配时要额外分配间接块来进行测量，每次追加写一个文件块，如果分配的内存大于这个文件块就说明分配了间接块，跳第一次时是用完了直接指针，得到直接指针数，跳第二次是用完了第一个间接块，得到一个间接指针可以指向多少个块，以此类推，测量二级和三级间接指针能指向多少个块也是一个道理。