설계과제 3 개요 : SSU-EXT2

Linux System Programming, School of CSE, Soongsil University, Spring 2025

○ 개요
- ext2 파일 시스템의 이미지 파일을 분석하여 루트 디렉토리부터 하위 경로 및 파일을 파악하는 프로그램

○ 목표
- ext2 파일 시스템의 원리를 이해하고, 다양한 시스템 자료구조, 시스템 콜 및 라이브러리를 활용하여 디렉토리 구조를 분석하는 쉘 프로그램을 작성함으로써 파일 시스템과 쉘에 대한 이해를 높이고 디렉토리 구조를 링크드 리스트로 구현함으로써 시스템 프로그래밍의 설계 및 응용 능력을 향상

○ 팀 구성
- 개인별 프로젝트

○ 보고서 제출 방법 및 배점 기준 (강의계획서와 동일, 강의계획서 참고)

○ 보고서 및 소스코드 배점
- 보고서는 다음과 같은 양식으로 작성(강의계획서 FAQ 참고)

> 1. 과제 개요 (1점) // 명세에 주어진 개요를 더 상세하게 작성
> 2. 구현 기능 (1점) // 함수 프로토타입 반드시 포함
> 3. 상세 설계 (10점) // 함수 기능별 흐름도(순서도) 반드시 포함
> 4. 실행결과 (3점) // 테스트 프로그램의 실행결과 캡쳐 및 분석
> 5. (텍스트 형태의) 소스코드 // 주석 포함, 캡쳐해서 넣지 말고, 텍스트 형태로.

- 소스코드 및 실행 여부 (85점) // 주석 (5점), 실행 여부 (80점)

○ ssu_ext2 프로그램 기본 사항
- 리눅스 시스템에서 생성한 자신의 사용자 아이디에 대해 사용자 홈 디렉토리를 확인 (예. 자신의 리눅스 시스템상 계정 아이디가 oslab일 경우 $HOME은 /home/oslab임. (%echo $HOME, 또는 %cat /etc/passwd 파일에서 해당 아이디의 홈 디렉토리 확인)
  ✓ 리눅스 상에서 파일 경로의 최대 크기는 4,096 바이트이며, 파일 이름의 최대 크기는 255 바이트임
- 본 명세에서 특별히 설명하거나 지정하지 않은 것들을 모두 학생들이 스스로 판단하여 구현하면 됨
- ssu_ext2 프로그램 실행 시 내장명령어(tree, print, help, exit)에 따라 해당 기능 실행
- ssu_ext2 프로그램은 첫 번째 인자로 전달된 ext2 파일시스템의 이미지 내용을 읽고 파일 시스템을 분석함
  ✓ ext2 파일시스템 디스크 이미지 생성 방법은 명세 하단 참고

예제 0. ssu_ext2 실행 결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000>
20250000> exit

% ./ssu_ext2
Usage Error : ./ssu_ext2 <EXT2_IMAGE>

%
```

- 프로그램 전체에서 system() 절대 사용 불가. 사용 시 0점 처리
- 프로그램 전체에서 libext2fs.h, ext2_fs.h 등 ext2 파일시스템과 관련된 모든 헤더파일 및 관련 라이브러리 함수 절대 사용 불가. 사용 시 0점 처리
  ✓ 헤더파일 내의 구조체나 변수는 필요 시 직접 작성하여 사용
- getopt() 라이브러리를 사용하여 옵션 처리 권장
- ssu_ext2 프로그램 자체는 foreground로만 수행되는 것으로 가정함(& background 수행은 안되는 것으로 함)

○ 설계 및 구현

1. ssu_ext2

1) Usage : ssu_ext2 〈EXT2_IMAGE〉

- ssu_ext2 프로그램 실행 시 사용자 입력을 기다리는 프롬프트 출력

2) 인자 설명

- EXT2_IMAGE : ext2 파일 시스템의 이미지 파일

3) 실행결과

- ssu_ext2 프로그램의 실행결과는 "학번〉"이 표준 출력되고 내장명령어(tree, print, help, exit) 입력 대기. 학번이 20250000일 경우 "20250000〉" 형태로 출력

예제 1. ssu_ext2 실행결과

```
% ./ssu_ext2
Usage Error : ./ssu_ext2 <EXT2_IMAGE>

% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000>
20250000> asd
Usage:
  > tree <PATH> [OPTION]... : display the directory structure if <PATH> is a directory
    -r : display the directory structure recursively if <PATH> is a directory
    -s : display the directory structure if 〈PATH〉 is a directory, including the size of each file
    -p : display the directory structure if 〈PATH〉 is a directory, including the permissions of each
         directory and file
  > print <PATH> [OPTION]... : print the contents on the standard output if <PATH> is file
    -n <line_number> : print only the first <line_number> lines of its contents on the standard output if <PATH>
                       is file
  > help [COMMAND] : show commands for program
  > exit : exit program
20250000> exit

%
```

4) 예외처리(미 구현 시 아래 점수만큼 감점, 필수 기능 구현 여부 판단과는 상관 없음)

- 첫 번째 인자 없이 ssu_ext2 프로그램 실행 시 Usage 출력
- 프롬프트 상에서 엔터만 입력 시 프롬프트 재출력
- 프롬프트 상에서 지정한 내장명령어 외 기타 명령어 입력 시 help 명령어의 결과를 출력 후 프롬프트 재출력

2. 내장명령어 1. tree

1) Usage : tree 〈PATH〉 [OPTION]...

- 경로(PATH)를 입력받아 해당 디렉토리의 구조를 표준 출력으로 출력

2) 인자 설명

- 첫 번째 인자 〈PATH〉은 내용을 출력할 디렉토리의 경로로, 루트 디렉토리(.)를 기준으로 상대경로로 입력 해야 함
- 두 번째 인자 [OPTION]은 '-r', '-s', '-p'가 있으며 동시 사용 가능하고, 생략 가능함('-r', '-s', '-p' 옵션은 아래 설명 확인)

3) 실행결과

- 첫 번째 인자 〈PATH〉가 디렉토리일 시 해당 경로에 있는 파일과 디렉토리들의 이름을 출력
- ".", "..", "lost+found" 디렉토리는 출력 생략

예제 2-1. tree 내장명령어 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> tree .
.
├ A
├ B
├ ssu_open.c
└ ssu_test.txt

3 directories, 2 files

20250000> tree B
B
├ BB
└ hello.py

2 directories, 1 files

20250000> tree ssu_open.c
Error: 'ssu_open.c' is not directory
```

예제 2-1-1. /home/oslab/mnt/ext2disk 디렉토리 트리 구조

```
% tree .
.
├ A
|  ├ AA
|  └ hello.c
├ B
|  ├ BB
|  |  └ bye.cpp
|  └ hello.py
├ lost+found
├ ssu_open.c
└ ssu_test.txt
```

20250000>	

- ‘-r’ 옵션 입력 시에는 디렉토리의 하위 파일과 하위 디렉토리들의 이름도 추가로 출력

예제 2-2. tree 내장명령어 ‘-r’ 옵션 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> tree . -r
.
├ A
|  ├ AA
|  └ hello.c
├ B
|  ├ BB
|  |  └ bye.cpp
|  └ hello.py
├ ssu_open.c
└ ssu_test.txt

5 directories, 5 files

20250000> tree B -r
B
├ BB
|  └ bye.cpp
└ hello.py

2 directories, 2 files

20250000>
```

‘-s’ 옵션 입력 시에는 파일 또는 디렉토리의 크기와 함께 출력

예제 2-3. tree 내장명령어 ‘-s’ 옵션 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> tree . -s
[4096]  .
├ [4096]  A
├ [4096]  B
├ [339]  ssu_open.c
└ [75]  ssu_test.txt

3 directories, 2 files

20250000> tree B -s
[4096]  B
├ [4096]  BB
└ [15]  hello.py

2 directories, 1 files

20250000>
```

- ‘-p’ 옵션 입력 시에는 파일 또는 디렉토리의 권한과 함께 출력

예제 2-4. tree 내장명령어 ‘-p’ 옵션 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> tree . -p
[drwxr-xr-x] .
├ [drwxr-xr-x] A
├ [drwxr-xr-x] B
├ [-rw-r--r--] ssu_open.c
└ [-rw-r--r--] ssu_test.txt

3 directories, 2 files

20250000> tree B -p
[drwxr-xr-x] B
├ [drwxr-xr-x] BB
└ [-rw-r--r--] hello.py

2 directories, 1 files

20250000>
```

- ‘-r’, ‘-s’, ‘-p’ 세 가지 옵션은 중복해서 사용 가능함

예제 2-5. tree 내장명령어 옵션 중복 사용 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> tree . -s -p
[drwxr-xr-x 4096] .
├ [drwxr-xr-x 4096] A
├ [drwxr-xr-x 4096] B
├ [-rw-r—r-- 339] ssu_open.c
└ [-rw-r—r-- 75] ssu_test.txt

3 directories, 2 files

20250000> tree B -rsp
[drwxr-xr-x 4096] B
├ [drwxr-xr-x 4096] BB
|  └ [-rw-r—r-- 339] bye.cpp
└ [-rw-r--r--75] hello.py

2 directories, 2 files

20250000>
```

4) 예외 처리(미 구현 시 아래 점수만큼 감점, 필수 기능 구현 여부 판단과는 상관 없음)
- 첫 번째 인자로 올바르지 않은 경로(존재하지 않는 디렉토리) 입력 시 Usage 출력 후 프롬프트 재출력(5점)
- 첫 번째 인자가 디렉토리가 아닐 경우 에러 메세지 출력 후 프롬프트 재출력(5점)
- 두 번째 인자로 올바르지 않은 옵션이 들어왔을 경우 Usage 출력 후 프롬프트 재출력(3점)

3. 내장명령어 2. print

1) Usage : print 〈PATH〉 [OPTION]...
- 경로(PATH)를 입력받아 해당 파일에 대한 내용을 표준 출력으로 출력

2) 인자 설명
- 첫 번째 인자 〈PATH〉은 내용을 출력할 파일의 경로로, 루트 디렉토리(.)를 기준으로 상대경로로 입력 해야 함
- 두 번째 인자 [OPTION]은 ‘-n’가 있으며, 생략 가능함(‘-n’ 옵션은 아래 설명 확인)

3) 실행결과
- 첫 번째 인자 〈PATH〉가 파일일 시 해당 경로에 있는 파일의 내용을 출력

예제 3-1. print 내장명령어 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> print ssu_test.txt
Linux System Programming!
Unix System Programming!
Linux Mania
Unix Mania

20250000> print B/BB/bye.cpp
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    cout << "bye" << endl;
}

20250000> print A
Error: 'A' is not file

20250000>
```

- '-n' 옵션 입력 시에는 파일의 내용을 입력받은 라인 수 만큼만 출력

예제 3-2. print 내장명령어 '-n' 옵션 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> print ssu_test.txt -n 2
Linux System Programming!
Unix System Programming!

20250000> print A/hello.c -n
print: option requires an argument -- 'n'

20250000>
```

4) 예외 처리(미 구현 시 아래 점수만큼 감점, 필수 기능 구현 여부 판단과는 상관 없음)
- 첫 번째 인자로 올바르지 않은 경로(존재하지 않는 파일) 입력 시 Usage 출력 후 프롬프트 재출력(5점)
- 첫 번째 인자가 파일이 아닐 경우 에러 메세지 출력 후 프롬프트 재출력(5점)
- 두 번째 인자로 올바르지 않은 옵션이 들어왔을 경우 Usage 출력 후 프롬프트 재출력(3점)

4. 내장명령어 3. help

1) Usage : help [COMMAND]
- 프로그램 내장명령어에 대한 설명(Usage) 출력

2) 인자 설명
- 첫 번째 인자 [COMMAND]에 대해 해당 내장명령어에 대한 설명(Usage)를 출력. 첫 번째 인자는 생략 가능하며, 생략 시 모든 내장명령어에 대한 설명(Usage) 출력

3) 실행결과

예제 4. help 내장명령어 실행결과

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> help
Usage :
  > tree <PATH> [OPTION]... : display the directory structure if <PATH> is a directory
    -r : display the directory structure recursively if <PATH> is a directory
    -s : display the directory structure if <PATH> is a directory, including the size of each file
    -p : display the directory structure if <PATH> is a directory, including the permissions of each
         directory and file
  > print <PATH> [OPTION]... : print the contents on the standard output if <PATH> is file
    -n <line_number> : print only the first <line_number> lines of its contents on the standard output if <PATH>
                       is file
  > help [COMMAND] : show commands for program
  > exit : exit program
```

```
20250000> help tree
Usage : tree <PATH> [OPTION]... : display the directory structure if <PATH> is a directory
  -r : display the directory structure recursively if <PATH> is a directory
  -s : display the directory structure if 〈PATH〉 is a directory, including the size of each file
  -p : display the directory structure if 〈PATH〉 is a directory, including the permissions of each
       directory and file

20250000> help asd
invalid command -- 'asd'
Usage :
  > tree <PATH> [OPTION]... : display the directory structure if <PATH> is a directory
    -r : display the directory structure recursively if <PATH> is a directory
    -s : display the directory structure if 〈PATH〉 is a directory, including the size of each file
    -p : display the directory structure if 〈PATH〉 is a directory, including the permissions of each
         directory and file
  > print <PATH> [OPTION]... : print the contents on the standard output if <PATH> is file
    -n <line_number> : print only the first <line_number> lines of its contents on the standard output if <PATH>
                       is file
  > help [COMMAND] : show commands for program
  > exit : exit program


20250000>
```

5. 내장명령어 4. exit

1) Usage : exit

- 현재 실행중인 ssu_ext2 프로그램 종료

2) 실행결과

- 프로그램 종료

예제 5. exit 내장명령어 실행

```
% ./ssu_ext2 ~/ext2disk.img
20250000> exit

%
```

○ ext2 파일시스템 디스크 이미지 생성 방법

- dd if=/dev/zero of=ext2disk.img bs=1M count=100
  - ✓ if=/dev/zero : 빈 데이터를 입력
  - ✓ of=ext2disk.img : ext2disk.img 라는 이름으로 저장
  - ✓ bs=1M : 한 번에 1MB씩 쓰기
  - ✓ count=100 : 100MB 생성

- mkfs.ext2 ext2disk.img
  - ✓ ext2disk.img 파일을 ext2 파일 시스템으로 포맷

- mkdir -p ~/mnt/ext2disk
  - ✓ 파일 시스템을 사용할 디렉토리 생성

- sudo mount -o loop ext2disk.img ~/mnt/ext2disk
  - ✓ 파일 기반 가상 디스크(ext2disk.img)를 loopback 장치로 마운트
    -o loop 옵션으로 일반 파일을 가상의 디스크(loopback 장치)로 인식해 마운트
  - ✓ 마운트한 뒤에 ~/mnt/ext2disk 경로에 디렉터리나 파일을 생성하면 ext2disk.img에 반영됨

- sudo umount ~/mnt/ext2disk
  - ✓ 마운트 해제(필요 시 사용)

○ 보고서 제출 시 유의 사항

- 보고서 제출 마감은 **6월 1일(일) 오후 11시 59분 59초**

※ 구글클래스룸에서 11:59:00에서 1초라도 지연되면 1일 지연제출로 나올 것임. 이 부분은 추후 제출 시간 확인 후 11:59:59 이내인 경우 정상 제출로 인정 예정임. 단, 1초 지연제출도 0점 처리

- 압축 에러, 파일 누락 관련 감점 syllabus 참고
- 필수구현 : 1. ssu_ext2, 2. 내장명령어 tree, print, help, exit (예외처리 포함 모든 명령어가 필수구현임)
- 배점(100점 만점. 실행 여부 배점 80점으로 최종 환산하며, 보고서 15점과 소스코드 주석 5점은 별도, 강의계획서 확인)

1. ssu_ext2 - 30점, 내장 명령어(tree, print) 중 하나라도 링크드 리스트 미구현 시 : 20점
   - ✓ 내장 명령어 중 하나라도 링크드 리스트 구현 : 10점
2. 내장명령어 1. tree - 37점, 아래 옵션 미구현 시 : 7점
   - ✓ '-r' 옵션 : 10점
   - ✓ '-s' 옵션 : 10점
   - ✓ '-p' 옵션 : 10점
3. 내장명령어 2. print - 30점, 아래 옵션 미구현 시 : 25점
   - ✓ '-n' 옵션 : 5점
4. 내장명령어 3. help - 1점
5. 내장명령어 4. exit - 1점

- makefile 작성(매크로 사용하지 않아도 됨) - 1점

※ (가산점 부여기준 1) 5월 18일(일) 밤 11시59분까지 명세서에서 모든 기능을 모두 구현하고 보고서를 제출한 경우 본과제 총점에 +30점, 5월 25일(일) 밤 11시59분까지 제출한 경우 본과제 총점(100점)에 +10점을 (가산점으로)추가 부여함.

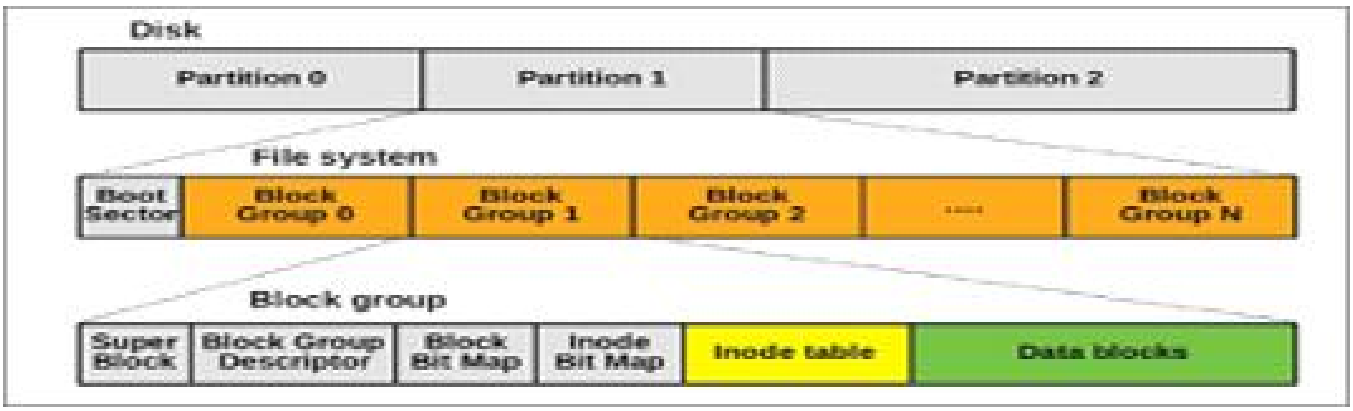
ext2 filesystem walkthrough

(1) ext2 Background

○ Linux용 파일 시스템

○ 1993 by Rémy Card

○ Block group : block 을 여러 개의 block group으로 나눔 => 헤드의 seek time 최소화



(2) Basic Commends for making ext2

○ fdisk : 디스크 파티션 생성 및 확인 % fdisk -l

○ mkfs : 파티션의 파일 시스템 생성 % mkfs -t ext2 /dev/sdb1

○ mount 파일 시스템의 연결 % mount /dev/sdb1 /home/usb %unmount /dev/sdb1

○ automount /media/

○ fsck

(3) Boot Block = 1KB

○ include/linux/ext2_fs.h

○ Super Block = 1 Block, Block Descriptor = n Block, Block Bit Map 1 Block, inode Bit Map = 1 Block

○ 각 block 그룹에 대한 정보는 super block 바로 뒤에 있는 block 에 저장된 디스크립터 테이블에 보관

```
struct ext2_group_desc
{
        __u32   bg_block_bitmap;  /* Blocks bitmap block */
        __u32   bg_inode_bitmap;  /* Inodes bitmap block */
        __u32   bg_inode_table;         /* Inodes table block */
        __u16   bg_free_blocks_count;   /* Free blocks count */
        __u16   bg_free_inodes_count;   /* Free inodes count */
        __u16   bg_used_dirs_count;     /* Directories count */
        __u16   bg_pad;
        __u32   bg_reserved[3];
};
```

○ 각 그룹의 앞에 있는 2 blocks : 사용 중인 block과 inode를 표시하는 Block Bit Map / inode Bit Map

○ 하나의 파티션은 다수의 블록그룹으로 나뉠 수 있음

○ 각 블록의 상태의 블록비트맵 0, 1로 표시. 블록비트맵은 블록그룹당 1개가 존재

○ 블록비트맵은 블록그룹당 1개가 존재하며 설정한 블록 크기(4KB) 하나 사용 => 블록비트맵은 8 bit * 4096 = 32,768 bit 개의 블록 상태를 나타낼 수 있음. => 파티션에서 블록 크기를 4 KB 로 설정하면 한 블록그룹당 블록의 갯수는 32,768임 => 각 비트맵은 하나의 block에 들어가야 하기 때문에 block group 의 최대 block의 갯수= block 크기의 8배

- (if one block is 4KB) 4KB * 8 = 32,768 (32KB)
- 하나의 block 그룹이 가질 수 있는 최대 block 의 갯수 : 32KB * 4KB = 128MB
- 10GB 파티션의 최대 block 그룹 수 : 10GB(10240MB) / 128 MB = 80개 그룹

(4) Super block

- struct ext2_super_block in include/linux/ext2_fs.h
- offset 1024 에 위치
  - ✓ lseek(fd, 1024, SEEK_SET); /* position head above super-block */
- Magic number

```
struct ext2_super_block {
        __u32   s_inodes_count;         /* Inodes count */
        __u32   s_blocks_count;         /* Blocks count */
        ...
        __u32   s_free_blocks_count;    /* Free blocks count */
        __u32   s_free_inodes_count;    /* Free inodes count */
        __u32   s_first_data_block;     /* First Data Block */
        __u32   s_log_block_size;       /* Block size */
        ...
        __u32   s_blocks_per_group;     /* # Blocks per group */
        ...
        __u16   s_magic;                /* Magic signature, EXT2_SUPER_MAGIC */
        ...
```

  - ✓ if (super.s_magic != EXT2_SUPER_MAGIC) exit(1); /* bad file system */

```
Filesystem volume name:   ssuos_fs
Last mounted on:          /media/su/ssuos_fs
Filesystem UUID:          5c93ecd7-e708-4e47-a6bd-e1363cf077e2
Filesystem magic number:  0xEF53
Filesystem revision #:    1 (dynamic)
Filesystem features:      ext_attr resize_inode dir_index filetype sparse_super large_file
Filesystem flags:         signed_directory_hash
Default mount options:    user_xattr acl
Filesystem state:         not clean
Errors behavior:          Continue
Filesystem OS type:       Linux
Inode count:              243840
Block count:              975264
Reserved block count:     48763
Free blocks:              958038
Free inodes:              243829
First block:              0
Block size:               4096
Fragment size:            4096
Reserved GDT blocks:      238
Blocks per group:         32768
Fragments per group:      32768
Inodes per group:         8128
Inode blocks per group:   508
Filesystem created:       Tue Nov 15 22:57:48 2022
Last mount time:          Tue Nov 15 23:01:39 2022
Last write time:          Tue Nov 15 23:01:39 2022
Mount count:              1
Maximum mount count:      -1
Last checked:             Tue Nov 15 22:57:48 2022
Check interval:           0 (<none>)
Reserved blocks uid:      0 (user root)
Reserved blocks gid:      0 (group root)
First inode:              11
Inode size:               256
Required extra isize:     32
Desired extra isize:      32
Default directory hash:   half_md4
Directory Hash Seed:      876563a7-f575-4216-9eff-aca668a3af5c


Group 0: (Blocks 0-32767)
  Primary superblock at 0, Group descriptors at 1-1
  Reserved GDT blocks at 2-239
  Block bitmap at 240 (+240)
  Inode bitmap at 241 (+241)
  Inode table at 242-749 (+242)
  32010 free blocks, 8115 free inodes, 2 directories
  Free blocks: 756-1026, 1028-1535, 1537-32767
  Free inodes: 12-13, 15-16, 18-8128
```

- ***$fdisk –l***
- ***$dumpe2fs /dev/sdb1***
  - 슈퍼블럭, 그룹 정보 등 표시
  - *dumpfs (BSD)*
- **975,264 blocks * 4,096 bytes per block = 약 3.72 GB (4,096 = 0x1000)**
- **8,128 inodes per group (0x1fc0)**
- **256 bytes per inode (0x100)**
- **Groups form an intermediate structure within an ext2 volume**

```
su@su-virtual-machine:~$ sudo mkfs.ext2 -L ssuos_fs /dev/sdb1
mke2fs 1.45.5 (07-Jan-2020)
/dev/sdb1 contains a ext2 file system
        last mounted on /media/su/0776e6b2-0be3-405b-ab62-1f4785230ad6 on Tue Nov 15 22:42:39 2022
Proceed anyway? (y,N) y
Creating filesystem with 975264 4k blocks and 243840 inodes
Filesystem UUID: 5c93ecd7-e708-4e47-a6bd-e1363cf077e2
Superblock backups stored on blocks:
        32768, 98304, 163840, 229376, 294912, 819200, 884736

Allocating group tables: done
Writing inode tables: done
Writing superblocks and filesystem accounting information: done
```

(5) 현재 디렉토리(루트 디렉토리)에 존재하는 디렉토리 및 파일 구조

```
root@su-virtual-machine:/media/su/ssuos_fs# tree
.
├── fs.txt
├── helloworld
├── helloworld.c
├── linux.txt
├── lost+found
└── ssuos
    └── a.txt

2 directories, 5 files
```

```
root@su-virtual-machine:/media/su/ssuos_fs# ls -al
total 60
drwxr-xr-x  4 root root  4096 11월 30 15:44 .
drwxr-x---+ 4 root root  4096 11월 30 15:46 ..
-rw-r--r--  1 root root    26 11월 15 23:02 fs.txt
-rwxr-xr-x  1 root root 16704 11월 30 15:44 helloworld
-rw-r--r--  1 root root    80 11월 30 15:44 helloworld.c
-rw-r--r--  1 root root  3283 11월 15 23:03 linux.txt
drwx------  2 root root 16384 11월 15 22:58 lost+found
drwxr-xr-x  2 root root  4096 11월 18 16:06 ssuos
```

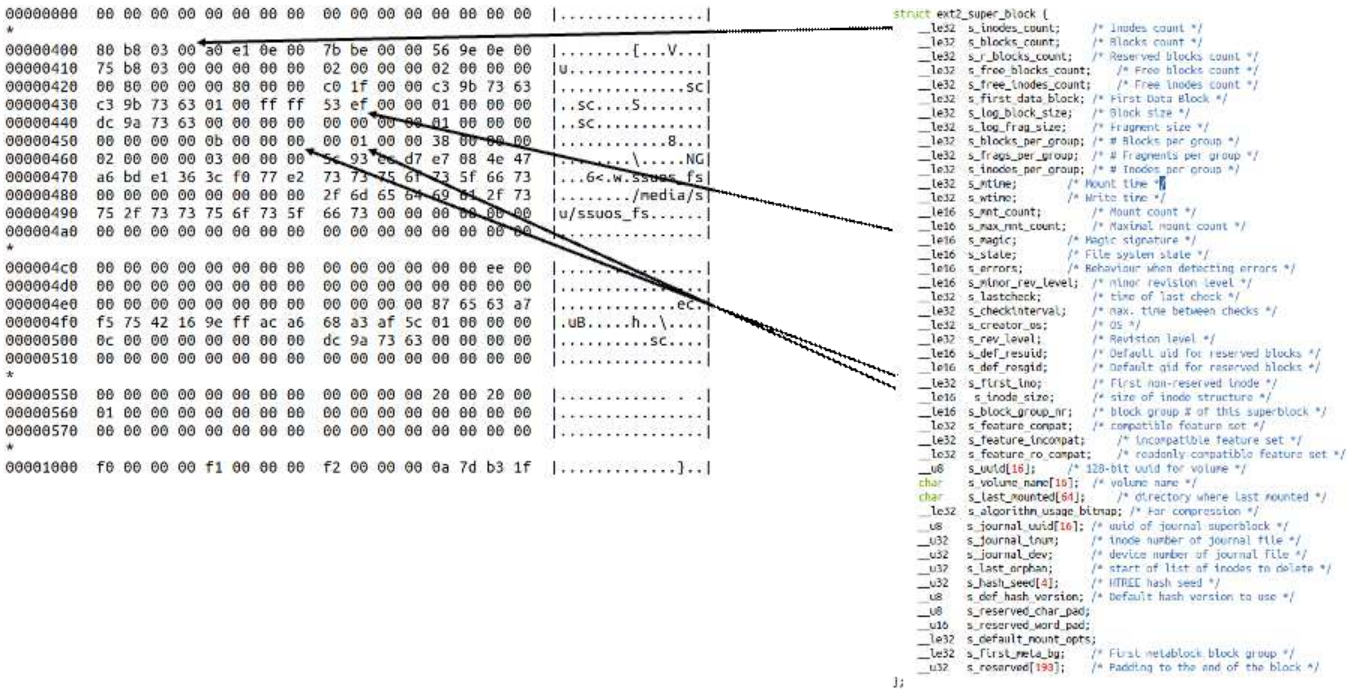
(6) fs.txt 파일 내용

```
root@su-virtual-machine:/media/su/ssuos_fs# cat fs.txt
SSUOS File System : EXT2

root@su-virtual-machine:/media/su/ssuos_fs#
```

○ $ hexdump /dev/sdb1

- file contents를 hexadecimal, decimal, octal, ascii로 표시
- 00 bytes 연속은 "*"
- 오른쪽에 아스키값 표시 가능 -C ("canonical") 옵션(One-byte character display)



(7) group descriptor, Block bitmap, inode bitmap, inode table

```
00001000  f0 00 00 00 f1 00 00 00  f2 00 00 00 0a 7d b3 1f  |.............}..|
00001010  02 00 04 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
00001020  f0 80 00 00 f1 80 00 00  f2 80 00 00 12 7d c8 1f  |.............}..|
00001030  00 00 04 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
```

```
struct ext2_group_desc
{
    __le32  bg_block_bitmap;        /* Blocks bitmap block */
    __le32  bg_inode_bitmap;        /* Inodes bitmap block */
    __le32  bg_inode_table;     /* Inodes table block */
    __le16  bg_free_blocks_count;   /* Free blocks count */
    __le16  bg_free_inodes_count;   /* Free inodes count */
    __le16  bg_used_dirs_count; /* Directories count */
    __le16  bg_pad;
    __le32  bg_reserved[3];
};
```

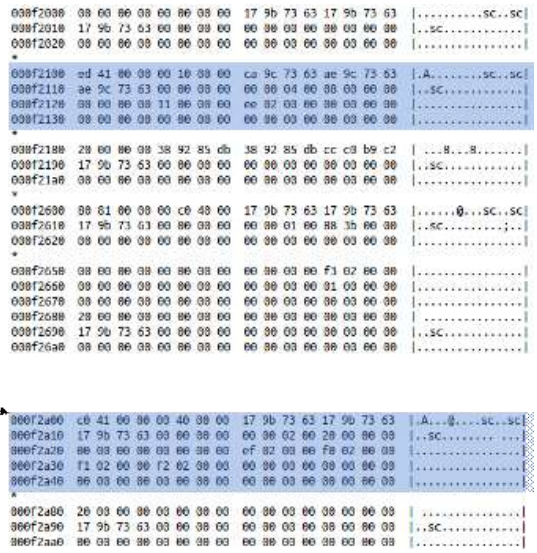
```
000f0000  ff ff ff ff ff ff ff ff  ff ff ff ff ff ff ff ff  |................|
*
000f0050  ff ff ff ff ff ff ff ff  ff ff ff ff ff ff 0f 00  |................|
000f0060  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
*
000f0080  08 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
000f0090  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|

000f1000  ff 27 01 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |.'..............|
000f1010  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
*
000f13f0  00 00 00 00 00 00 00 00  ff ff ff ff ff ff ff ff  |................|
000f1400  ff ff ff ff ff ff ff ff  ff ff ff ff ff ff ff ff  |................|
```

- inode table은 0xf2에서 시작, 한개의 block은 4,096 bytes 이기 때문에 해당 inode는 0xf2000
- inode structure 당 256바이트. 256 = 0x100이므로 F2000, F2100, F2200, F2300 ….
  ✓ 단, 앞의 몇개 inode는 시스템적으로 이미 예약
- 계속해서 볼륨을 읽기 위해 루트 디렉토리의 inode인 inode 2를 확인
- inode 1이 F2000에 있으므로 F2100에 inode 2가 있음

```
/*
 * Special inode numbers
 */
#define EXT2_BAD_INO         1  /* Bad blocks inode */
#define EXT2_ROOT_INO        2  /* Root inode */
#define EXT2_BOOT_LOADER_INO     5  /* Boot loader inode */
#define EXT2_UNDEL_DIR_INO   6  /* Undelete directory inode */

/* First non-reserved inode for old ext2 filesystems */
#define EXT2_GOOD_OLD_FIRST_INO 11
```



- 루트 디렉토리의 i_mode는 0x41ed (0100 0001 1110 1101), directory file, S_IFDIR, rwxr_xr_x
- 첫번째 Data block : 0x02ee * 1000

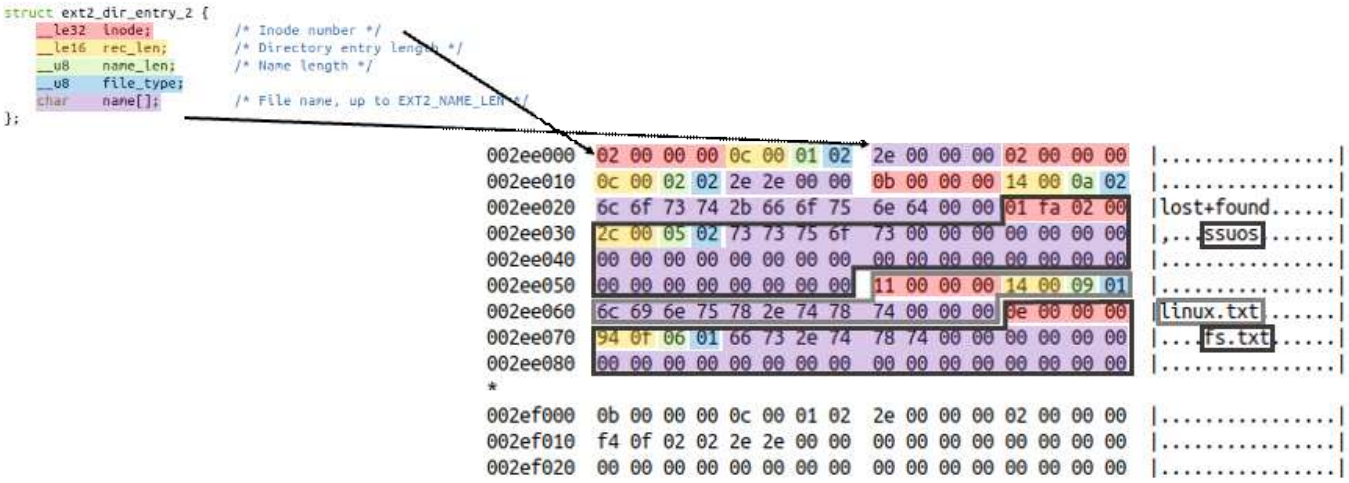
```
000f2100  ed 41 00 00 00 10 00 00  ca 9c 73 63 ae 9c 73 63  |.A........sc..sc|
000f2110  ae 9c 73 63 00 00 00 00  00 00 04 00 08 00 00 00  |..sc............|
000f2120  00 00 00 00 11 00 00 00  ee 02 00 00 00 00 00 00  |................|
000f2130  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
```

```
struct ext2_inode {
    __le16  i_mode;     /* File mode */
    __le16  i_uid;      /* Low 16 bits of Owner Uid */
    __le32  i_size;     /* Size in bytes */
    __le32  i_atime;    /* Access time */
    __le32  i_ctime;    /* Creation time */
    __le32  i_mtime;    /* Modification time */
    __le32  i_dtime;    /* Deletion Time */
    __le16  i_gid;      /* Low 16 bits of Group Id */
    __le16  i_links_count;  /* Links count */
    __le32  i_blocks;   /* Blocks count */
    __le32  i_flags;    /* File flags */
    union {
        struct {
            __le32  l_i_reserved1;
        } linux1;
        struct {
            __le32  h_i_translator;
        } hurd1;
        struct {
            __le32  m_i_reserved1;
        } masix1;
    } osd1;             /* OS dependent 1 */
    __le32  i_block[EXT2_N_BLOCKS];/* Pointers to blocks */
    __le32  i_generation;   /* File version (for NFS) */
    __le32  i_file_acl; /* File ACL */
    __le32  i_dir_acl;  /* Directory ACL */
    __le32  i_faddr;    /* Fragment address */
    union {
        struct {
            __u8    l_i_frag;   /* Fragment number */
            __u8    l_i_fsize;  /* Fragment size */
            __u16   i_pad1;
            __le16  l_i_uid_high;   /* these 2 fields    */
            __le16  l_i_gid_high;   /* were reserved2[0] */
            __u32   l_i_reserved2;
        } linux2;
        struct {
            __u8    h_i_frag;   /* Fragment number */
            __u8    h_i_fsize;  /* Fragment size */
            __le16  h_i_mode_high;
            __le16  h_i_uid_high;
            __le16  h_i_gid_high;
            __le32  h_i_author;
        } hurd2;
        struct {
            __u8    m_i_frag;   /* Fragment number */
            __u8    m_i_fsize;  /* Fragment size */
            __u16   m_pad1;
            __u32   m_i_reserved2[2];
        } masix2;
    } osd2;             /* OS dependent 2 */
};
```

(8) Directory

- 디렉토리의 데이터 블록은 디렉토리 항목의 배열
  - ✓ 데이터 블록 0x02ee (또는 오프셋 0x002ee000에 있는 루트 디렉토리용)

✓ 현재 디렉토리(".")와 상위 디렉토리("..")도 명시적 디렉토리 항목으로 저장



0x0 unknown
0x1 regular file
0x2 diectory
0x3 character device file
0x4 blokc device file
0x5 FIFO
0x6 Socket
0x7 Symbolic Link

```
root@su-virtual-machine:/media/su/ssuos_fs# ls -i
    14 fs.txt              17 linux.txt
```

(9) fs.txt

- 파일 크기 : 26 bytes
- Data block의 시작점 : 0x0600 * 1000

```
000f2d00  a4 81 00 00 1a 00 00 00  e1 ea 86 63 ae 9c 73 63  |...........c..sc|
000f2d10  05 9c 73 63 00 00 00 00  00 00 01 00 08 00 00 00  |..sc............|
000f2d20  00 00 00 00 01 00 00 00  00 06 00 00 00 00 00 00  |................|
000f2d30  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|

00600000  53 53 55 4f 53 20 46 69  6c 65 20 53 79 73 74 65  |SSUOS File Syste|
00600010  6d 20 3a 20 45 58 54 32  0a 0a 00 00 00 00 00 00  |m : EXT2........|
```

(10) linux.txt

- 파일 크기 : 3,283 bytes
- Data block의 시작점 : 0x0403 * 1000

```
000f3000  a4 81 00 00 d3 0c 00 00  a6 fd 86 63 e6 2e 77 63  |...........c..wc|
000f3010  29 9c 73 63 00 00 00 00  00 00 01 00 08 00 00 00  |).sc............|
000f3020  00 00 00 00 01 00 00 00  03 04 00 00 00 00 00 00  |................|
000f3030  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|

00403000  4c 69 6e 75 78 20 28 2f  cb 88 6c 69 cb 90 6e ca  |Linux (/..li..n.|
00403010  8a 6b 73 2f 20 28 6c 69  73 74 65 6e 29 20 4c 45  |.ks/ (listen) LE|
00403020  45 2d 6e 75 75 6b 73 20  6f 72 20 2f cb 88 6c c9  |E-nuuks or /..l.|
00403030  aa 6e ca 8a 6b 73 2f 20  4c 49 4e 2d 75 75 6b 73  |.n..ks/ LIN-uuks|
    ...
00403cc0  74 20 70 72 6f 67 72 61  6d 2e 5b 34 30 5d 5b 32  |t program.[40][2|
00403cd0  31 5d 0a 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |1]..............|
00403ce0  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
*
```

○ 실제 파일 내용 확인

- 텍스트 파일은 찾기 쉽고 추가 디렉토리는 루트 디렉토리와 동일한 방식으로 찾으면 됨
- fs.txt
  - ✓ 오프셋 0xf2d00으로 변환되는 inode e에 있으며, 여기서 파일의 첫 번째 데이터 블록은 전체 데이터 블록 0x0600있음
  - ✓ Inode #'s offset = F2000 + (100 * (# - 1))

```
000f2d00  a4 81 00 00 1a 00 00 00  05 9c 73 63 ae 9c 73 63  |..........sc..sc|
000f2d10  05 9c 73 63 00 00 00 00  00 00 01 00 08 00 00 00  |..sc............|
000f2d20  00 00 00 00 01 00 00 00  00 06 00 00 00 00 00 00  |................|
000f2d30  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
```

  - ✓ 실제 데이터는 오프셋 0x1000 * 0x0600 = 0x600000에서 찾을 수 있음

```
00600000  53 53 55 4f 53 20 46 69  6c 65 20 53 79 73 74 65  |SSUOS File Syste|
00600010  6d 20 3a 20 45 58 54 32  0a 0a 00 00 00 00 00 00  |m : EXT2........|
00600020  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
```

- linux.txt
  - ✓ 오프셋 0xf300으로 변환되는 Inode 11에 있으며, 첫번째 데이타 블럭은 0x0403
  - ✓ Inode #'s offset = F2000 + (100 * (# - 1))

```
000f3000  a4 81 00 00 d3 0c 00 00  29 9c 73 63 95 9c 73 63  |........).sc..sc|
000f3010  29 9c 73 63 00 00 00 00  00 00 02 00 08 00 00 00  |).sc............|
000f3020  00 00 00 00 01 00 00 00  03 04 00 00 00 00 00 00  |................|
000f3030  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
```

  - ✓ 실제 데이터는 오프셋 0x1000 * 0x0403 = 0x403000에서 찾을 수 있음

```
00403000  4c 69 6e 75 78 20 28 2f  cb 88 6c 69 cb 90 6e ca  |Linux (/..li..n.|
00403010  8a 6b 73 2f 20 28 6c 69  73 74 65 6e 29 20 4c 45  |.ks/ (listen) LE|
00403020  45 2d 6e 75 75 6b 73 20  6f 72 20 2f cb 88 6c c9  |E-nuuks or /..l.|
00403030  aa 6e ca 8a 6b 73 2f 20  4c 49 4e 2d 75 75 6b 73  |.n..ks/ LIN-uuks|
00403040  29 5b 31 31 5d 20 69 73  20 61 6e 20 6f 70 65 6e  |)[11] is an open|
00403050  2d 73 6f 75 72 63 65 20  55 6e 69 78 2d 6c 69 6b  |-source Unix-lik|
                                    ***
00403cc0  74 20 70 72 6f 67 72 61  6d 2e 5b 34 30 5d 5b 32  |t program.[40][2|
00403cd0  31 5d 0a 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |1]..............|
00403ce0  00 00 00 00 00 00 00 00  00 00 00 00 00 00 00 00  |................|
*
```

Dec	Hex	Name	Char	Ctrl-char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char
0	0	Null	NUL	CTRL-@	32	20	Space	64	40	@	96	60	`
1	1	Start of heading	SOH	CTRL-A	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	Start of text	STX	CTRL-B	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	End of text	ETX	CTRL-C	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	End of xmit	EOT	CTRL-D	36	24	$	68	44	D	100	64	d
5	5	Enquiry	ENQ	CTRL-E	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	Acknowledge	ACK	CTRL-F	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	Bell	BEL	CTRL-G	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	Backspace	BS	CTRL-H	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	Horizontal tab	HT	CTRL-I	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	0A	Line feed	LF	CTRL-J	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	0B	Vertical tab	VT	CTRL-K	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	0C	Form feed	FF	CTRL-L	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	0D	Carriage feed	CR	CTRL-M	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	0E	Shift out	SO	CTRL-N	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	0F	Shift in	SI	CTRL-O	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	Data line escape	DLE	CTRL-P	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	Device control 1	DC1	CTRL-Q	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	Device control 2	DC2	CTRL-R	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	Device control 3	DC3	CTRL-S	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	Device control 4	DC4	CTRL-T	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	Neg acknowledge	NAK	CTRL-U	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	Synchronous idle	SYN	CTRL-V	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	End of xmit block	ETB	CTRL-W	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	Cancel	CAN	CTRL-X	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	End of medium	EM	CTRL-Y	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	Substitute	SUB	CTRL-Z	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	Escape	ESC	CTRL-[	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	File separator	FS	CTRL-\	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	Group separator	GS	CTRL-]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	Record separator	RS	CTRL-^	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	Unit separator	US	CTRL-_	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	DEL