

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG
INSTITUTO DE INFORMÁTICA – INF

Arthur de Oliveira Barbosa Lacerda
Murillo Rodrigues de Paula

Relatório do desenvolvimento do sistema de arquivos FAT16

Sistemas Operacionais 2
Prof. Dr. Bruno Oliveira Silvestre

Goiânia, 2017

SUMÁRIO

1. CONVENÇÕES DE CÓDIGO.....	2
2. ESTRUTURAS E TIPOLOGIAS UTILIZADAS	2
3. FUNÇÃO sector_read	4
4. ESTUDOS E TESTES COM UMA IMAGEM FAT16.....	4
4.1. Funções implementadas	5
4.1.1. path_treatment	5
4.1.2. pre_init_fat16	5
4.1.3. find_root	6
4.1.4. fat_entry_by_cluser	6
4.1.5. find_subdir	7
4.2. run_fat16.c	8
5. FUSE – IMPLEMENTAÇÃO COM FAT16	9
5.1. Funções necessárias do FUSE	9
5.2. mount_fat16.c	10
5.3. Reutilização das funções de run_fat16.c	11
5.4. Funções implementadas	11
5.4.1. path_decode	11
5.4.2. fat16_init: inicialização do sistema de arquivos	11
5.4.3. fat16_getattr: atributos de arquivos e diretórios.....	12
5.4.4. fat16_readdir: listando diretórios	12
5.4.5. fat16_read: copiando arquivos da FAT16 para fora	13
6. REFERÊNCIAS	13

1. CONVENÇÕES DE CÓDIGO

- Todas as variáveis utilizadas foram nomeadas na língua inglesa e apresentam os seguintes formatos:
 - Ex: variableNameExample ou VariableNameExample
- Toda função foi nomeada na língua inglesa, utilizando apenas letras minúsculas e tem o caractere “_” como separador.
 - Ex: function_example
- Todo comentário do código também está na língua inglesa.
- Tamanho 2 de tabulação.

- Padrão de comentário de funções:

```
/**
 * Description: This is the function description
 * =====
 * Return
 * @returnname: What the return means.
 * =====
 * Parameters
 * @param1name: What parameter 1 mean.
 * @param2name: What parameter 2 mean.
 */
```

- Padrão de comentário dentro das funções:

```
/* This is a single line comment */

/* This is the format of a multiple
 * line comment */
```

2. ESTRUTURAS E TIPOLOGIAS UTILIZADAS

Por questão de compatibilidade e uniformidade com a FAT16, todas os tipos são sem sinal (unsigned) por padrão. Não utilizamos uma estrutura FAT porque a função `fat_entry_by_cluster` descrita na seção 4.1.4 realiza o funcionamento de consulta à região da primeira FAT. Tentamos seguir todas as recomendações e especificações oficiais da FAT encontradas em [1] e [5].

O tipo `BYTE` é definido como uma quantidade de 8 bits sem sinal.

O tipo `WORD` é definido como uma quantidade de 16 bits sem sinal.

O tipo `DWORD` é definido como uma quantidade de 32 bits sem sinal.

A estrutura `BPB_BS` descreve uma estrutura BPB da FAT16.

A estrutura `DIR_ENTRY` descreve uma estrutura de arquivo/diretório da FAT16.

A estrutura `VOLUME` descreve uma estrutura que contém dados essenciais da FAT16.

Segue abaixo as estruturas e definições utilizadas:

```
#define BYTES_PER_DIR 32
#define ATTR_DIRECTORY 0x10
#define ATTR_ARCHIVE 0x20

typedef uint8_t BYTE;
typedef uint16_t WORD;
typedef uint32_t DWORD;

typedef struct {
    BYTE BS_jmpBoot[3];
    BYTE BS_OEMName[8];
    WORD BPB_BytsPerSec;
    BYTE BPB_SecPerClus;
    WORD BPB_RsvdSecCnt;
    BYTE BPB_NumFATS;
    WORD BPB_RootEntCnt;
    WORD BPB_TotSec16;
    BYTE BPB_Media;
    WORD BPB_FATSz16;
    WORD BPB_SecPerTrk;
    WORD BPB_NumHeads;
    DWORD BPB_HiddSec;
    DWORD BPB_TotSec32;
    BYTE BS_DrvNum;
    BYTE BS_Reserved1;
    BYTE BS_BootSig;
    DWORD BS_VollID;
    BYTE BS_VollLab[11];
    BYTE BS_FilSysType[8];
    BYTE Reserved[448];
    WORD Signature_word;
} __attribute__((packed)) BPB_BS;

typedef struct {
    BYTE DIR_Name[11];
    BYTE DIR_Attr;
    BYTE DIR_NTRes;
    BYTE DIR_CrtTimeTenth;
    WORD DIR_CrtTime;
    WORD DIR_CrtDate;
    WORD DIR_LstAccDate;
    WORD DIR_FstClusHI;
    WORD DIR_WrtTime;
    WORD DIR_WrtDate;
```

```
WORD DIR_FstClusLO;
DWORD DIR_FileSize;
} __attribute__((packed)) DIR_ENTRY;
```

```
typedef struct {
    DWORD FirstRootDirSecNum;
    DWORD FirstDataSector;
    BYTE *Fat;
    BPB_BS Bpb;
} VOLUME;
```

3. FUNÇÃO `sector_read`

A função `sector_read` implementada em `sector.c` simplesmente deveria acessar o posicionamento da FAT16 referente ao parâmetro `secnum` (número do setor) e efetuar a leitura.

Para isso foi necessário apenas utilizar a função `fseek` de tal forma que o descritor, a partir do `SEEK_SET` (ponto inicial do arquivo imagem FAT16), desse um salto de `512 * secnum` e logo após a leitura dos próximos 512 bytes seria efetuada e armazenada no buffer.

Segue abaixo a implementação de `sector_read`.

```
void sector_read(FILE *fd, unsigned int secnum, void *buffer)
{
    fseek(fd, BYTES_PER_SECTOR * secnum, SEEK_SET);
    fread(buffer, BYTES_PER_SECTOR, 1, fd);
}
```

4. ESTUDOS E TESTES COM UMA IMAGEM FAT16

Primeiramente escrevemos o programa **`run_fat16.c`** a fim de entender o funcionamento da FAT16. Com isso, fomos capazes de caminhar pelos seus diretórios e ver os atributos dos seus arquivos e diretórios. Nesta seção descreveremos como conseguimos realizar testes com o sistema de arquivos FAT16 apenas manipulando um arquivo-imagem FAT16 independente. Detalhes de como o implementamos com o FUSE (**`mount_fat16.c`**) se encontram na seção 5.

O programa `run_fat16.c` recebe como parâmetro a imagem da FAT16 e o caminho a ser percorrido. É apresentado na saída se o caminho foi ou não encontrado com sucesso na imagem.

Para compilar e executar o programa, deve-se utilizar a sequência de comandos a seguir:

1. `gcc run_fat16.c sector.c -o run_fat16`
2. `./run_fat16 <Imagem FAT16> <Diretório>`

4.1. Funções implementadas

4.1.1. path_treatment

retorno:

char** pathFormatted: Vetor de strings com cada string referente à um arquivo do caminho em uma posição, na devida formatação da FAT16.

parâmetros:

1. char* pathInput: String dada de entrada ao programa com o caminho de diretórios.
2. int* pathSz: Endereço da variável que armazenará a quantidade de arquivos presentes no caminho.

descrição:

A função trata a string dada de entrada adaptando para o formato FAT16.

O caminho dado de entrada (pathInput) é dividido em um vetor de strings (path) que eram anteriormente delimitadas pelo token "/", a função *strtok* da biblioteca *string.h* é utilizada para este fim.

Após esse procedimento, é criado um vetor de strings (pathFormatted), cada uma com tamanho 11, que armazenará o nome de cada arquivo no formato da FAT16.

O tratamento das strings então é realizada, de forma que a informação passada de path seja transferida para pathFormatted com as devidas alterações, sendo estas que aceite apenas os caracteres aceitos pela especificação, troque caracteres em caixa baixa por caixa alta, que os 8 primeiros espaços das string sejam referentes ao nome do arquivo e os três últimos à extensão e qualquer espaço inutilizado é preenchido com o caracter de espaço " ", também é tratado o caso em que os arquivos possam ser "." ou "..".

4.1.2. pre_init_fat16

retorno:

VOLUME* Vol: Estrutura com dados essenciais da FAT16

parâmetros:

1. void

descrição:

Abre o arquivo da imagem FAT16 no modo "rb" e grava seu descritor (Vol → fd) para uso no decorrer do programa.

A leitura do primeiro setor é efetuada, que é referente ao setor BPB, e o grava no volume (Vol->Bpb).

A posição do primeiro setor do diretório raiz (Vol->FirstRootDirSecNum) é calculado, tal calculo é feito baseado no salto da área reservada (BPB_RsvdSecCnt), acrescido do tamanho de uma FAT (BPB_FATSz16) multiplicado pela quantidade de FATs (BPB_NumFATS).

O número de setores do diretório raiz então é calculado baseado na quantidade de entradas do diretório raiz. Com esse valor em memória, calcula-se então a posição do primeiro setor da região de dados (Vol->FirstDataSector), que é dada pelo primeiro setor do diretório raiz acrescido do número de setores do diretório raiz.

4.1.3. find_root

retorno:

0, se é achado um arquivo correspondente ao path ou 1 caso contrário

parâmetros:

1. VOLUME Vol: Estrutura com dados essenciais da FAT16.
2. DIR_ENTRY Root: Variável que armazenará entradas de diretório situadas no diretório raiz.
3. char **path: Vetor de arquivos do caminho à ser percorrido.
4. int pathDepth: Profundidade (ou índice) do caminho.
5. int pathSize: Tamanho total do caminho.

descrição:

A função percorre as entradas de diretório raiz buscando o arquivo da atual profundidade do caminho.

Com a função *sector_read*, lê-se todas às entradas de diretórios da root, até que encontre o arquivo especificado ou até que chegue em seu fim.

A comparação de string é feita caracter por caracter entre o path e Root.DIR_Name.

Se o arquivo for encontrado e for o último do caminho, então ele é apresentado, se for encontrado e não for o último, então a função *find_subdir* é chamada incrementando a profundidade do caminho.

4.1.4. fat_entry_by_cluster

retorno:

WORD

parâmetros:

1. `VOLUME* Vol`: Estrutura com dados essenciais da FAT16.
2. `WORD ClusterN`: Cluster em que será usado como base para obter a entrada da FAT.

descrição:

Com essa função, não é feito necessário o uso de uma estrutura FAT para armazenar setores da região FAT, pois a partir de qualquer cluster número N podemos obter sua entrada correspondente na FAT. O procedimento é o seguinte:

Dado um cluster N, é determinada a entrada da FAT.

Primeiramente define-se o `FATOffset` da FAT como $\text{ClusterN} * 2$, já que uma entrada da FAT tem 2 bytes (16 bits).

Calcula-se então o número do setor da FAT em que a leitura deve ser realizada, saltando a área reservada do diretório da raiz acrescida do número de setores do offset da FAT ($\text{FATOffset} / \text{Vol} \rightarrow \text{Bpb.BPB_BytesPerSec}$).

Calcula-se então o offset de entrada de acordo com o resto da divisão do `FATOffset` com $\text{Vol} \rightarrow \text{Bpb.BPB_BytesPerSec}$.

Lê-se o setor correspondente ao número do setor calculado e retorna o valor encontrado na entrada da FAT.

4.1.5. `find_subdir`

retorno:

`void`

parâmetros:

1. `VOLUME Vol`: Estrutura com dados essenciais da FAT16.
2. `DIR_ENTRY Dir`: Variável que armazenará entradas de diretório situadas no subdiretório.
3. `char** path`
4. `int pathSize`: Vetor de arquivos do caminho à ser percorrido.
5. `int pathDepth`: Profundidade (ou índice) do caminho.
6. `int rootDepth`: Profundidade atual do caminho em relação ao diretório raiz (ausente no programa `mount_fat16.c`, pois foi usada somente em `run_fat16.c` para entender o funcionamento da FAT).

descrição:

A função percorre as entradas do subdiretório buscando o arquivo da atual profundidade do caminho.

Com a função *fat_entry_by_cluster* determina-se a entrada da FAT para qual o subdiretório terá continuidade na busca. Caso o cluster seja o último então terá valor 0xFFFF.

Com a função *sector_read*, lê-se todas as entradas do subdiretório, até que encontre o arquivo especificado ou até que chegue ao fim do cluster.

Se chegar ao fim do cluster, o valor do cluster atual passa a ser a entrada da FAT anterior, e então se recalcula a próxima entrada da FAT, reiniciando o processo e dando continuidade à leitura do subdiretório.

A comparação de string é feita caracter por caracter entre o path e Dir.DIR_Name.

Se o arquivo for encontrado e for o último do caminho, então ele é apresentado, se for encontrado e não for o último, então a função *find_subdir* é chamada recursivamente incrementando a profundidade do caminho, além disso, se o arquivo da profundidade atual for ".", a profundidade em relação ao diretório raiz não muda, e se for ".." a profundidade em relação ao diretório raiz diminui. Se chegar ao ponto de que a profundidade em relação ao diretório raiz chegar a zero, então em vez de chamar a função *find_subdir*, chamaremos *find_root* para retornar ao diretório raiz e continuar a percorrer o caminho..

4.2. run_fat16.c

Na função main do programa run_fat16.c desenvolvido, primeiramente abre-se a imagem passada como primeiro parâmetro e logo após trata-se a string passada como segundo parâmetro com a função *path_treatment*. Inicializa-se então o Volume com a função *fat16_init*, a fim de armazenar o BPB e determinar os setores de início do diretório raiz e da área de dados. Chama-se a função de busca *find_root* que iniciará a busca pela primeira profundidade do caminho, que chamará *find_subdir* ao encontrar o primeiro arquivo, e entrará em recursão até encontrar o último. A recursão voltará a *find_root* caso a profundidade relativa ao diretório raiz seja zero. Ao encontrar o arquivo final no caminho, ele é mostrado na tela. Se o arquivo em alguma profundidade não for encontrado ao varrer o subdiretório (ou diretório raiz) atual, então uma mensagem é mostrada na tela informando que não existe tal arquivo.

Abordando em um nível estrutural, primeiramente é lido o primeiro setor da FAT e então salta-se para o primeiro setor do diretório raiz. Depois busca-se entrada por entrada no diretório raiz até que seja correspondente ao arquivo encontrado. Caso a entrada não seja encontrada no diretório raiz, então move-se para a região de dados e busca a entrada do próximo cluster na região da FAT e assim segue-se a leitura, fazendo consultas na região de dados e na FAT. No programa teste run_fat16.c, ocasionalmente a recursão poderá voltar à região do diretório raiz.

5. FUSE – IMPLEMENTAÇÃO COM FAT16

O FUSE (Filesystem in USErspace) é uma ferramenta que permite ao usuário criar seus próprios sistemas de arquivo sem que seja necessário editar o modo kernel.

Para nosso trabalho, implementamos o sistema de arquivo FAT16 no FUSE, e para isso, é necessário implementar funções que o FUSE requisita ao usuário ao fazer a comunicação do nível usuário ao kernel.

5.1. Funções necessárias do FUSE

init inicializa o sistema de arquivos

```
void>(* fuse_operations::init)(struct fuse_conn_info *conn, struct fuse_config *cfg)
```

getattr é responsável por obter os atributos do arquivo.

```
int(* fuse_operations::getattr)(const char *, struct stat *, struct fuse_file_info *fi)
```

readdir lê um diretório

```
int(* fuse_operations::readdir)(const char *, void *, fuse_fill_dir_t, off_t, struct fuse_file_info *, enum fuse_readdir_flags)
```

read lê os dados de um arquivo aberto

```
int(* fuse_operations::read)(const char *, char *, size_t, off_t, struct fuse_file_info *)
```

destroy limpa o sistema de arquivos, chamado quando sair do sistema de arquivos.

```
void(* fuse_operations::destroy)(void *)
```

Em nosso trabalho usamos a nomenclatura da função, utilizando seu próprio nome com o prefixo “fat16”.

Todas as implementações foram realizadas com base na documentação das estruturas e funções do FUSE [2], além de códigos exemplos disponibilizados no repositório oficial do FUSE [3] e de manuais de implementação não-oficiais [4], [6]. Outras funções não essenciais não foram implementadas, pois não eram necessárias para atingir os objetivos do trabalho.

Para anexar estas funções implementadas ao fuse, devermos então atribuí-las à estrutura `fuse_operations` como mostrado a seguir:

```
struct fuse_operations fat16_oper = {
    .init      = fat16_init,
    .destroy   = fat16_destroy,
    .getattr   = fat16_getattr,
    .readdir   = fat16_readdir,
    .read      = fat16_read
};
```

5.2. mount_fat16.c

Para compilar e executar o programa, utiliza-se as seguintes sequências comandos:

1. make
2. ./mount_fat16 <diretório de montagem> -s

A opção -s é necessária para desabilitar a operação multi-threaded, visto que o programa não foi projetado para dar suporte a paralelismo. Se não for fornecida a opção -s, o programa irá mal funcionar na operação de cópia de um arquivo de dentro do sistema de arquivos para fora com a função fat16_read (fuse_main fará várias chamadas a chamada de sistema fork() em modo *daemon*).

Ao executar esses comandos, a FUSE chama a função init primeiramente, inicializando o sistema de arquivo, logo depois, o getattr, obtendo os atributos do diretório raiz.

Ao efetuar uma listagem ou percurso com os comandos ls, cd, ou mesmo por uma GUI, será chamada a função readdir que percorrerá as entradas do diretório, listando cada entrada de diretório correspondente a arquivos e diretórios encontrados. Quanto ao readdir, ele executa o percurso diferentemente no diretório raiz do que em outros diretórios, já que no diretório raiz ele deve percorrê-lo acessando apenas a região reservada da raiz (que tem tamanho fixo de entradas de diretórios especificado pelo campo BPB_RootEntCnt). Em outros diretórios, que se encontram na região de dados, deverá ser feito acesso a FAT para consultar se há mais informação a ser lida ou se o último cluster é o que está sendo lido.

Para efetuar uma cópia (com o comando cp, por exemplo) de dentro da imagem para fora, é usada a função fat16_read, que primeiro deve encontrar a entrada de diretório com find_root (que recursivamente poderá chamar find_subdir) e depois lê bytes do caminho dado para o buffer (mais detalhes na seção 5.4.5). Com os bytes já armazenados no buffer, o FUSE pode então comunicar com o kernel do Linux para copiar esses bytes de dentro da imagem para fora dela.

No fechamento do sistema de arquivo, deverá ser chamada a função destroy que irá liberar os dados passados como parâmetro.

Após a utilização do sistema de arquivos, basta desmontá-lo através do comando:

```
3. fusermount -u <diretório de montagem>
```

5.3. Reutilização das funções de `run_fat16.c`

As funções `find_root`, `find_subdir` e `path_treatment` foram reutilizadas na implementação do FUSE, porém com algumas alterações funcionais:

`path_treatment` não precisa mais verificar se a entrada é válida, apenas realiza o tratamento para o formato padrão.

`find_root` e `find_subdir` não imprimem mais o diretório, mas o armazenam, passando um ponteiro `DIR_ENTRY` como parâmetro, e retornam 0 em caso de sucesso e 1 em caso de fracasso.

`fat_entry_by_cluser` foi reutilizada sem alterações funcionais.

5.4. Funções implementadas

5.4.1. `path_decode`

retorno:

char *pathDecoded: Nome do arquivo no formato comum, com nome seguindo de ponto e extensão em letras minúsculas.

parâmetros:

1. path: Nome do arquivo no formato FAT16

descrição:

A função passa o formato de nomenclatura da FAT para letras minúsculas e nome e extensão separados por ponto, respeitando os caracteres especiais legalizados de acordo com a especificação da FAT.

Ex: "ARQ TXT" -> "arq.txt"

5.4.2. `fat16_init`

retorno:

void* context->private_data: ponteiro para os dados do usuário FUSE retornados pela função `init`.

parâmetros:

1. struct fuse_conn_info *conn: fornece informação sobre quais características tem suporte pelo FUSE

descrição:

realiza uma preparação inicial de única vez e recebe o contexto.

5.4.3. **fat16_getattr: atributos de arquivos e diretórios**

retorno:

retorna o valor 0 no fim da função.

parâmetros:

1. `const char *path`: caminho do arquivo que os atributos devem ser obtidos.
2. `struct stat *stbuf`: estrutura que armazena os atributos do arquivo.

descrição:

A função ao receber o caminho, verifica primeiramente se o path é "/", ou seja, se o arquivo à obter os atributos é o diretório raiz, se sim, atribui-se os devidos valores, se não, realiza o `path_treatment`, e então chama `find_root` que retornará a entrada de diretório correspondente ao path, e então os atributos são obtidos à partir da entrada de diretório.

5.4.4. **fat16_readdir: listando diretórios**

retorno:

retorna o valor 0 no fim da função

parâmetros:

1. `const char *path`: caminho do diretório a ser lido.
2. `void *buffer`: responsável para passar as informações para a FUSE.
3. `fuse_fill_dir_t filler`: preenche o buffer com os nomes dos arquivos do diretório.
4. `off_t offset`: não utilizado na nossa implementação
5. `struct fuse_file_info *fi`: não utilizado na nossa implementação

descrição:

Se o path for "/", ele percorrerá o diretório raiz e passará para o filler todo nome de diretório ou arquivo que forem encontrados em entradas do diretório raiz.

Se o path não for "/", o path passará pelo `path_treatment` e percorrerá com `find_root` o path dado de entrada e assim obtém a entrada de diretório destino. Com a entrada de diretório, encontra-se o primeiro cluster e inicia a leitura das entradas chamando a função `filler` para cada uma encontrada (em cada nome, usa-se `path_decode` para decodificar o nome da FAT). Se existir mais de um cluster, a cada finalização de leitura de cluster a entrada de FAT é acessada para obter o novo cluster e continuar a leitura, até que a entrada da FAT indique que não há mais clusters a serem

lidos para aquele determinado diretório. Note que não é necessário fazer essa verificação de fim de cluster porque um caminho fornecido pelo FUSE sempre estará presente em algum diretório, uma vez que foi passado ao FUSE pela função `filler`, mas optamos por incluí-la para ficar imune a quaisquer erros eventuais gerados pelo FUSE que não compremeta o funcionamento dessa função).

5.4.5. `fat16_read`: copiando arquivos da FAT16 para fora

retorno:

`int size`: Tamanho do arquivo a ser lido

parâmetros:

1. `const char *path`: caminho do arquivo à ser lido.
2. `char *buffer`: buffer que guardará os dados a serem gravados.
3. `size_t size`: tamanho do buffer em bytes.
4. `off_t offset`: offset de leitura.
5. `struct fuse_file_info *fi`: não utilizado na nossa implementação

descrição:

Com o `path`, usamos `find_root` para encontrar o arquivo e acessamos seu primeiro setor do cluster. A cada iteração para leitura dos bytes do arquivo, `sector_read` é chamado (`size + offset - BYTES_PER_SECTOR`) vezes com alternância de clusters do arquivo, até que não tenha mais conteúdo a ser lido.

Com o `offset`, nas chamadas subsequentes dessa função pelo FUSE, o arquivo continuará a ser lido do seu ponto inicial até `size + offset` usando o mesmo procedimento de leitura descrito anteriormente. No final da leitura, retornamos o número de bytes requisitado ou 0 se `offset` for igual ou maior que o número de bytes do arquivo. Nota-se que essa solução não é paralela mas sim sequencial e portanto não faz o uso das várias threads disparadas por `fuse_main`. Devemos então desabilitar a opção do uso de múltiplas threads do FUSE com a opção `-s` na execução do programa.

Assim, conseguimos atingir o objetivo final do trabalho de copiar um arquivo de dentro da imagem FAT16 para fora dela usando a biblioteca FUSE.

6. REFERÊNCIAS

- [1] libfuse: fuse_operations Struct Reference
(http://libfuse.github.io/doxygen/structfuse__operations.html)
- [2] How FAT Works
([https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc776720\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc776720(v=ws.10).aspx))

- [3] (<https://github.com/libfuse/libfuse>)
- [4] Write a filesystem with FUSE
(<https://engineering.facile.it/blog/eng/write-filesystem-fuse/>)
- [5] Microsoft FAT Specification, Microsoft Corporation, August 30 2005
- [6] CS135 FUSE Documentation
(https://www.cs.hmc.edu/~geoff/classes/hmc.cs135.201001/homework/fuse/fuse_doc.html)