

Лабораторная работа

Буферизованный и не буферизованный ввод-вывод

Задача: анализ особенностей работы функций ввода-вывода в UNIX/Linux

Рассмотрим приведенный рисунок 1. На рисунке приведена виртуальная файловая система Unix с интерфейсом vfs/vnode. В ОС Linux отсутствует vnode, имеется только inode.

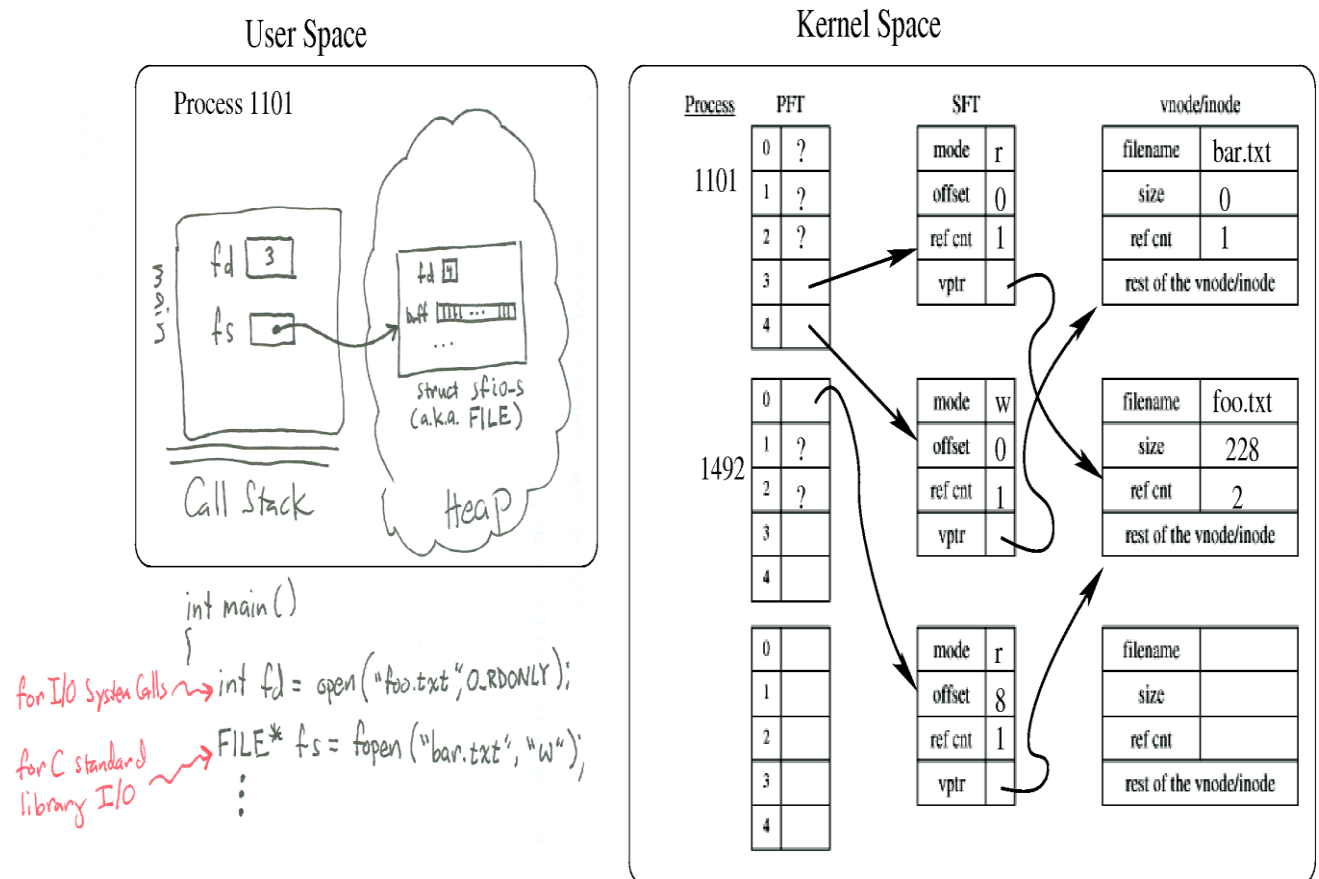


Рис.1 Процесс 1101. PFT – Process File Table – таблица файлов, открытых процессом, SFT – System File Table – системная таблица открытых файлов

- Когда выполняется ввод-вывод через стандартную библиотеку C (stdio.h) (т.е. используя fscanf(), fprintf(), fopen(), fclose()), вызовы для открытия файла, его закрытия, чтения и записи (open(), close(), read(), write()) не завершаются немедленно, так как это просто библиотечные функции, которые делают системные вызовы. Другими словами, стандартная библиотека ввода-вывода C является просто верхним уровнем для выполнения системных вызовов.

Рассмотрим ситуацию, показанную на рис.1. Здесь процесс выполняет системный вызов open("foo.txt", O_RDONLY) для чтения файла foo.txt и вызов функции fopen("bar.txt", "w") из стандартной библиотеки для записи в файл bar.txt. Необходимо помнить, что стандартный ввод-вывод буферизуется и это видно на рисунке. Файловый дескриптор процесса fs ссылается на буфер.

Обратите внимание на то, что на рисунке показан другой процесс. Что Вы можете сказать об этой ситуации, если другой процесс создан, например, shell?

```
bash$ ./prog1 < foo.txt > bar.txt 2> bar.txt
```

Потоковый ввод/вывод берет данные в виде потока отдельных символов. Когда поток открыт для ввода/вывода, открытый файл связывается со структурой типа FILE (см. struct _IO_FILE), определенной в файле стандартных описаний "**stdio.h**". Указатель на структуру FILE возвращается при открытии файла. Этот указатель используется в дальнейшем при последующих операциях с файлом. Ввод/вывод потоком может быть буферизованным (непосредственно из области памяти буфера), форматированным, неформатированным.

Функции **fclose()**, **fopen()**, **fprintf()**, **fscanf()**, **fgetc()**, **fputc()**, **fgets()**, **fputs()**, **fcloseall()**, **getc()**, **gets()**, **putc()**, **puts()**, **getchar()** работают с форматированными данными.

Функции **fread()**, **fwrite()** работают с неформатированными данными.

Функции **scanf()**, **printf()**, **getchar()**, **putchar()** работают со стандартными потоками **stdin**, **stdout**.

Поток должен быть открыт, прежде чем для него будет выполнена операция ввода/вывода. Исключения составляют следующие потоки:

stdin - стандартный ввод;

stdout - стандартный вывод;

stderr - стандартные ошибки;

stdaux - стандартный порт;

stdprn - стандартная печать.

Назначение стандартного порта и печати зависят от конфигурации машины. Обычно эти потоки указывают на вспомогательный порт и принтер.

Открытые файлы, для которых используется потоковый ввод/вывод, буферизуются.

При этом стандартные потоки не буферизуются. Буфера, размещенные в системе, не доступны пользователю.

Структуры данных, связанные с процессом

С каждым процессом в системе связаны список открытых им файлов, корневая файловая система, текущий рабочий каталог, точки монтирования и т.д.

```
struct task_struct{
    ....
    int                prio;
    int                static_prio;
    ...
    struct list_head   tasks;
    ...
    struct mm_struct   *mm;
    struct mm_struct   *active_mm;
    ...
    pid_t              pid;
    pid_t              tgid;
    ...
    struct list_head   children;
    struct list_head   sibling;
    ...
    /* Filesystem information */
    struct fs_struct    *fs;
    /* Open file information */
    struct files_struct *files;
    /* Namespaces */
}
```

struct nsproxy ***nsproxy;**

...
}

Структура `struct fs_struct` содержит информацию о файловой системе, к которой принадлежит процесс. Структура определена в файле `<linux/fs_struct.h>`.

```
struct fs_struct {  
    atomic_t    count;    /* счетчик ссылок на структуру */  
    rwlock_t    lock;    /* блокировка для защиты структуры */  
    int         umask;    /* права доступа к файлу, используемые  
                        по умолчанию */  
    struct dentry *root;    /* объект dentry корневого каталога */  
    struct dentry *pwd;    /* объект dentry  
                        текущего рабочего каталога */  
    struct dentry *allroot; /* объект dentry альтернативного корня */  
    struct vfsmount *rootmnt; /* объект монтирования корневого каталога */  
    struct vfsmount *pwmnt; /* объект монтирования  
                        текущего рабочего каталога */  
    struct vfsmount *altrootmnt; /* объект монтирования  
                        альтернативного корня */  
};
```

Структура `struct files_struct` определяет дескрипторы файлов, открытых процессом. Адрес этой структуры хранится в поле `files` дескриптора процесса. В данной структуре хранится вся информация процесса об открытых файлах и файловых дескрипторах. Эта структура, с комментариями, имеет следующий вид:

```
struct files_struct {  
    atomic_t    count;    /* счетчик ссылок на данную структуру */  
    spinlock_t  file_lock; /* блокировка для защиты данной структуры */  
    int         max_fds; /* максимальное количество файловых объектов */  
    int         max_fdset; /* максимальное количество файловых дескрипторов */  
    int         next_fd; /* номер следующего файлового дескриптора */  
    struct file **fd;    /* массив всех файловых объектов */  
    fd_set      *close_on_exec; /* файловые дескрипторы, которые должны закрываться при вызове exec() */  
    fd_set      *open_fds; /* указатель на дескрипторы открытых файлов */  
    fd_set      close_on_exec_init; /* первоначальные файлы для закрытия при вызове exec() */  
    fd_set      open_fds_init; /* первоначальный набор файловых дескрипторов */  
    struct file *fd_array[NR_OPEN_DEFAULT]; /* массив файловых объектов */  
};
```

Структура `struct file` определяет дескриптор открытого файла в системе.

```
struct file {  
    union {  
        struct llist_node    fu_llist;  
        struct rcu_head      fu_rcuhead;  
    } f_u;  
    struct path              f_path;  
    struct inode             *f_inode;    /* cached value */  
    const struct file_operations *f_op;
```

```

/*
 * Protects f_ep_links, f_flags.
 * Must not be taken from IRQ context.
 */
spinlock_t      f_lock;
enum rw_hint     f_write_hint;
atomic_long_t    f_count;
unsigned int     f_flags;
fmode_t          f_mode;
struct mutex     f_pos_lock;
loff_t           f_pos;
struct fown_struct f_owner;
const struct cred *f_cred;
struct file_ra_state f_ra;

u64              f_version;
#ifdef CONFIG_SECURITY
void              *f_security;
#endif

/* needed for tty driver, and maybe others */
void              *private_data;

#ifdef CONFIG_EPOLL
/* Used by fs/eventpoll.c to link all the hooks to this file */
struct list_head  f_ep_links;
struct list_head  f_tfile_llink;
#endif /* #ifdef CONFIG_EPOLL */
struct address_space *f_mapping;
errseq_t          f_wb_err;
} __randomize_layout

```

Структура struct inode описывает созданный файл.

```

struct inode {
    umode_t          i_mode;
    unsigned short   i_opflags;
    kuid_t           i_uid;
    kgid_t           i_gid;
    unsigned int     i_flags;

#ifdef CONFIG_FS_POSIX_ACL
    struct posix_acl *i_acl;
    struct posix_acl *i_default_acl;
#endif
}

```

```

    const struct inode_operations *i_op;
    struct super_block *i_sb;
    struct address_space *i_mapping;

#ifdef CONFIG_SECURITY
    void *i_security;
#endif

    /* Stat data, not accessed from path walking */
    unsigned long i_ino;
    /*
     * Filesystems may only read i_nlink directly. They shall use the
     * following functions for modification:
     *
     * (set|clear|inc|drop)_nlink
     * inode_(inc|dec)_link_count
     */
    union {
        const unsigned int i_nlink;
        unsigned int __i_nlink;
    };
    dev_t i_rdev;
    loff_t i_size;
    struct timespec64 i_atime;
    struct timespec64 i_mtime;
    struct timespec64 i_ctime;
    spinlock_t i_lock; /* i_blocks, i_bytes, maybe i_size */
    unsigned short i_bytes;
    u8 i_blkbits;
    u8 i_write_hint;
    blkcnt_t i_blocks;

#ifdef __NEED_I_SIZE_ORDERED
    seqcount_t i_size_seqcount;
#endif

    /* Misc */
    unsigned long i_state;
    struct rw_semaphore i_rwsem;

    unsigned long dirtied_when; /* jiffies of first dirtying */

```

```

        unsigned long        dirtied_time_when;

        struct hlist_node    i_hash;
        struct list_head     i_io_list;    /* backing dev IO list */
#ifdef CONFIG_CGROUP_WRITEBACK
        struct bdi_writeback *i_wb;        /* the associated cgroup wb */

        /* foreign inode detection, see wbc_detach_inode() */
        int                  i_wb_frn_winner;
        u16                  i_wb_frn_avg_time;
        u16                  i_wb_frn_history;
#endif
        struct list_head     i_lru;        /* inode LRU list */
        struct list_head     i_sb_list;
        struct list_head     i_wb_list;    /* backing dev writeback list */
        union {
                struct hlist_head    i_dentry;
                struct rcu_head       i_rcu;
        };
        atomic64_t           i_version;
        atomic64_t           i_sequence; /* see futex */
        atomic_t             i_count;
        atomic_t             i_dio_count;
        atomic_t             i_writecount;
#ifdef defined(CONFIG_IMA) || defined(CONFIG_FILE_LOCKING)
        atomic_t             i_readcount; /* struct files open RO */
#endif
        union {
                const struct file_operations *i_fop; /* former ->i_op-
>default_file_ops */
                void (*free_inode)(struct inode *);
        };
        struct file_lock_context *i_flctx;
        struct address_space i_data;
        struct list_head     i_devices;
        union {
                struct pipe_inode_info *i_pipe;
                struct block_device *i_bdev;
                struct cdev *i_cdev;
                char *i_link;
                unsigned i_dir_seq;
        };

__u32        i_generation;

```

```

#ifdef CONFIG_FSNOTIFY
    __u32          i_fsnotify_mask; /*all events this inode cares about*/
    struct fsnotify_mark_connector __rcu      *i_fsnotify_marks;
#endif

#ifdef CONFIG_FS_ENCRYPTION
    struct fscrypt_info      *i_crypt_info;
#endif

#ifdef CONFIG_FS_VERITY
    struct fsverity_info      *i_verity_info;
#endif

    void              *i_private; /* fs or device private pointer */
} __randomize_layout;

```

Эти структуры связаны между собой. Связь структур показана на рис.2

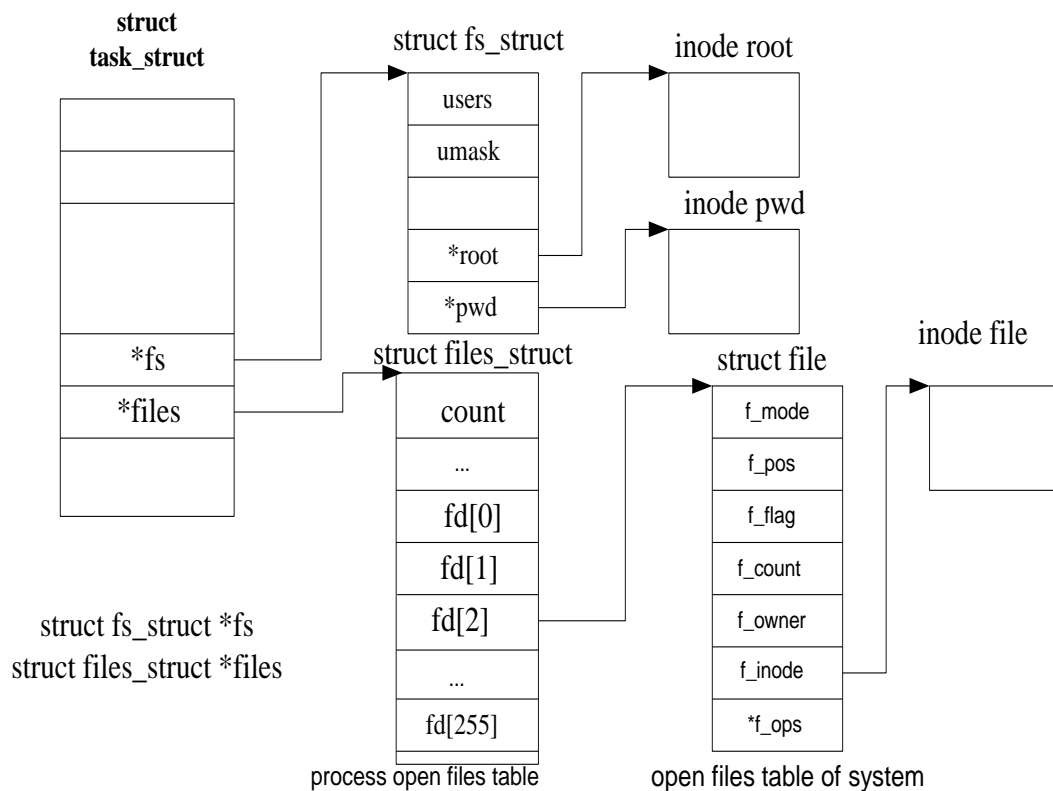


Рис. 2 Таблица открытых файлов процесса – process open files table;
Системная таблица открытых файлов – open files table of system

На рис.2а показана более подробная схема связи структур интерфейса VFS.

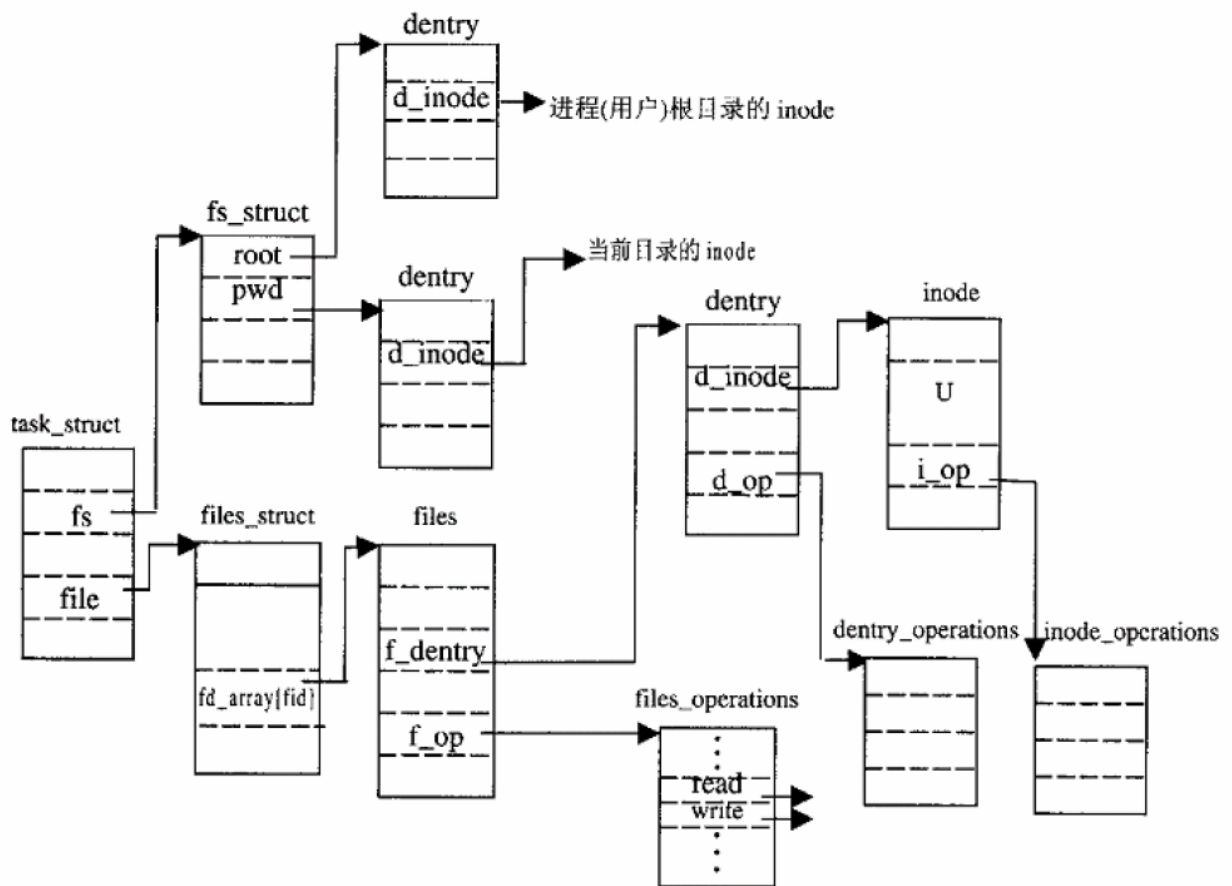


图 5.2 Linux 文件系统逻辑结构图

https://blog.csdn.net/weixin_41943030

Обратите внимание на эту схему!

Задание

В лабораторной работе анализируются результаты выполнения трех программ. Программы демонстрируют открытие одного и того же файла несколько раз. Реализация, когда файл открывается в одной программе несколько раз выбрана для простоты. Однако, как правило, такая ситуация возможна в системе, когда один и тот же файл несколько раз открывают разные процессы или потоки одного процесса. При выполнении асинхронных процессов такая ситуация является вероятной и ее надо учитывать, чтобы избежать потери данных, получения при выводе данных в файл или чтения данных не в той последовательности, в какой предполагалось, и в результате при обработке этих данных получения неверного результата. Каждую из приведенных программ надо выполнить в двух вариантах: как предложено и в многопоточном варианте. В программах может быть создан как дополнительный поток, так и два дополнительных потока, открывающих файл и выполняющих чтение/запись в файл.

Проанализировать работу приведенных программ и прокомментировать результаты их выполнения.

Первая программа:

```
//testCIO.c
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>

/*
On my machine, a buffer size of 20 bytes
translated into a 12-character buffer.
```


Apparently 8 bytes were used up by the
stdio library for bookkeeping.

```
*/

int main()
{
    // have kernel open connection to file alphabet.txt
    int fd = open("alphabet.txt", O_RDONLY);

    // create two a C I/O buffered streams using the above connection
    FILE *fs1 = fdopen(fd, "r");
    char buff1[20];
    setvbuf(fs1, buff1, _IOFBF, 20);

    FILE *fs2 = fdopen(fd, "r");
    char buff2[20];
    setvbuf(fs2, buff2, _IOFBF, 20);

    // read a char & write it alternately from fs1 and fs2
    int flag1 = 1, flag2 = 2;
    while(flag1 == 1 || flag2 == 1)
    {
        char c;
        flag1 = fscanf(fs1, "%c", &c);
        if (flag1 == 1) {
            fprintf(stdout, "%c", c);
        }
        flag2 = fscanf(fs2, "%c", &c);
        if (flag2 == 1) {
            fprintf(stdout, "%c", c);
        }
    }
    return 0;
}
```

Вторая программа:

Первый вариант:

```
//testKernelIO.c
#include <fcntl.h>

int main()
{
    char c;
    // have kernel open two connection to file alphabet.txt
    int fd1 = open("alphabet.txt", O_RDONLY);
    int fd2 = open("alphabet.txt", O_RDONLY);
    // read a char & write it alternately from connections fs1 & fd2
    while(1)
    {
        if (read(fd1, &c, 1) != 1) break;
        write(1, &c, 1);
        if (read(fd2, &c, 1) != 1) break;
        write(1, &c, 1);
    }
    return 0;
}
/* переписать код без использования break!*/
Файл alphabet.txt содержит символы: Abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
```

Второй вариант программы с вызовом функции open().

```
#include <fcntl.h>
```

```

int main()
{
    int fd1 = open("q.txt", O_RDWR);
    int fd2 = open("q.txt", O_RDWR);
    int curr = 0;
    for(char c = 'a'; c <= 'z'; c++)
    {
        if (c%2){
            write(fd1, &c, 1);
        }
        else{
            write(fd2, &c, 1);
        }
    }
    close(fd1);
    close(fd2);
    return 0;
}

```

Третья программа:

Написать программу, которая открывает один и тот же файл два раза с использованием библиотечной функции `fopen()`. Для этого объявляются два файловых дескриптора типа `FILE`. В цикле записать в файл буквы латинского алфавита поочередно передавая функции `fprintf()` то первый дескриптор, то – второй. Результат прокомментировать.

Замечание 1:

Можно выделить 4 причины для использования `fopen()` а не `open()`:

1. `fopen()` выполняет ввод-вывод с буферизацией, что может оказаться значительно быстрее, чем с использованием `open()`;
2. `fopen()` делает перевод конца строки, если только файл не открыт в двоичном режиме, который может быть очень полезен, если ваша программа иногда переносится в среду, отличную от Unix;
3. `FILE *` дает возможность использовать `fscanf()` и другие функции `stdio.h`;
4. Для разработки переносимого кода, например для платформы, которая использует только ANSI C и не поддерживает функцию `open()`.

Однако, при более детальном анализе можно сказать, что конец строки чаще мешает, чем помогает, а детальный разбор `fscanf()` часто заставляет заменять функцию, на более полезные.

Большинство платформ поддерживают `open()`.

И, наконец, буферизация. В случае, если операции чтения и записи в файл выполняются последовательно, буферизация представляется действительно полезной и обеспечивающей высокую скорость выполнения. Но это может привести к некоторым проблемам. Например, предполагается, что данные записаны в файл, но реально данные там еще отсутствуют. Необходимо помнить о своевременном выполнении `fclose()` и `fflush()`.

Если выполняется `fseek()` буферизация перестает быть полезной.

Все это справедливо, если постоянно работать с сокетами и при этом выполнять неблокирующий ввод-вывод. Но нельзя отрицать полезность `FILE*` для выполнения разбора сложных текстов.

Замечание 2:

```
#include <stdio.h>
```

```
FILE *fopen(const char *filename, const char *mode);
```

Открытие файла в режиме добавления (в качестве первого символа в аргумент режима – “a”) приводит к тому, что все последующие операции записи в файл будут работать с current end-of-file, даже если вмешиваются вызовы FSEEK(3C). Если два независимых процесса откроют один и тот же файл для добавления данных (O_APPEND), каждый процесс может свободно писать в файл без опасения нарушить вывод в файл, выполненный другим процессом. Информация будет записана в файл в том порядке, в котором процессы записывали ее в файл.

Вызов `open()` создает новый файловый дескриптор для открытого файла, запись в общесистемной таблице открытых файлов. Эта запись регистрирует **смещение в файле** и флаги состояния файла (модифицируемые с помощью the `fcntl(2)` операции `F_SETFL`). Дескриптор файла является ссылкой на одну из этих записей; эта ссылка не влияет, если путь впоследствии удален или изменен ссылаться на другой файл. Новый дескриптор открытого файла изначально не разделяется с любым другим процессом, но разделение может возникнуть через ***fork***(2).

O_APPEND

Файл открывается в режиме добавления - O_APPEND . Перед каждым вызовом ***write***(2), смещение в файле устанавливается в конец файла, как если бы выполнялся вызов `LSEEK(2)`. O_APPEND может привести к повреждению файлов на файловых системах NFS, если несколько процессов добавляют данные в файл одновременно. Это потому, что NFS не поддерживает добавление в файл, так что клиент ядра должен имитировать его, что не может быть сделано без состояния гонки.

Требования к оформлению отчета по лабораторной работе:

Отчет должен:

- содержать коды программ;
- скриншоты результата выполнения каждой программы;
- анализ полученного результата;
- рисунок, демонстрирующий созданные дескрипторы и связь между ними. Схема связи структур, определенных на файлах, должна также содержать `struct dentry`, `struct superblock`, `struct inode`.

Для правильного понимания надо проанализировать структуру `FILE*` (приведите структуру `FILE` в отчете по лабораторной работе).

В последней программе надо используя `struct stat` дополнительно вывести информацию о `inode` и `size`, получаемые функцией `stat()`. Структуры `stat` привести в отчете.