Сокеты

Технология коммуникации процессов с помощью сокетов позволяет организовать обмен данными, как между процессами, исполняющимися на одном компьютере, так и между процессами, запущенными на разных компьютерах, работающих в сети. Сокет можно рассматривать, как абстрактную структуру данных, используемую процессами для создания точки присоединения канала обмена данными между процессами. При этом, после создания канала обмен данными происходит в стиле общепринятой парадигмы чтения-записи.

Socket API был впервые реализован в операционной системе Berkley UNIX. Сейчас этот программный интерфейс доступен практически в любой модификации Unix, в том числе в Linux. Хотя все реализации чем-то отличаются друг от друга, основной набор функций в них совпадает. Изначально сокеты использовались в программах на C/C++, но в настоящее время средства для работы с ними предоставляют многие языки (Perl, Java и др.).

*S*ocket - это конечная точка сетевых коммуникаций. Он является чем-то вроде "портала", через который можно отправлять байты во внешний мир. Приложение просто пишет данные в сокет; их дальнейшая буферизация, отправка и транспортировка осуществляется используемым стеком протоколов и сетевой аппаратурой. Чтение данных из сокета происходит аналогичным образом.

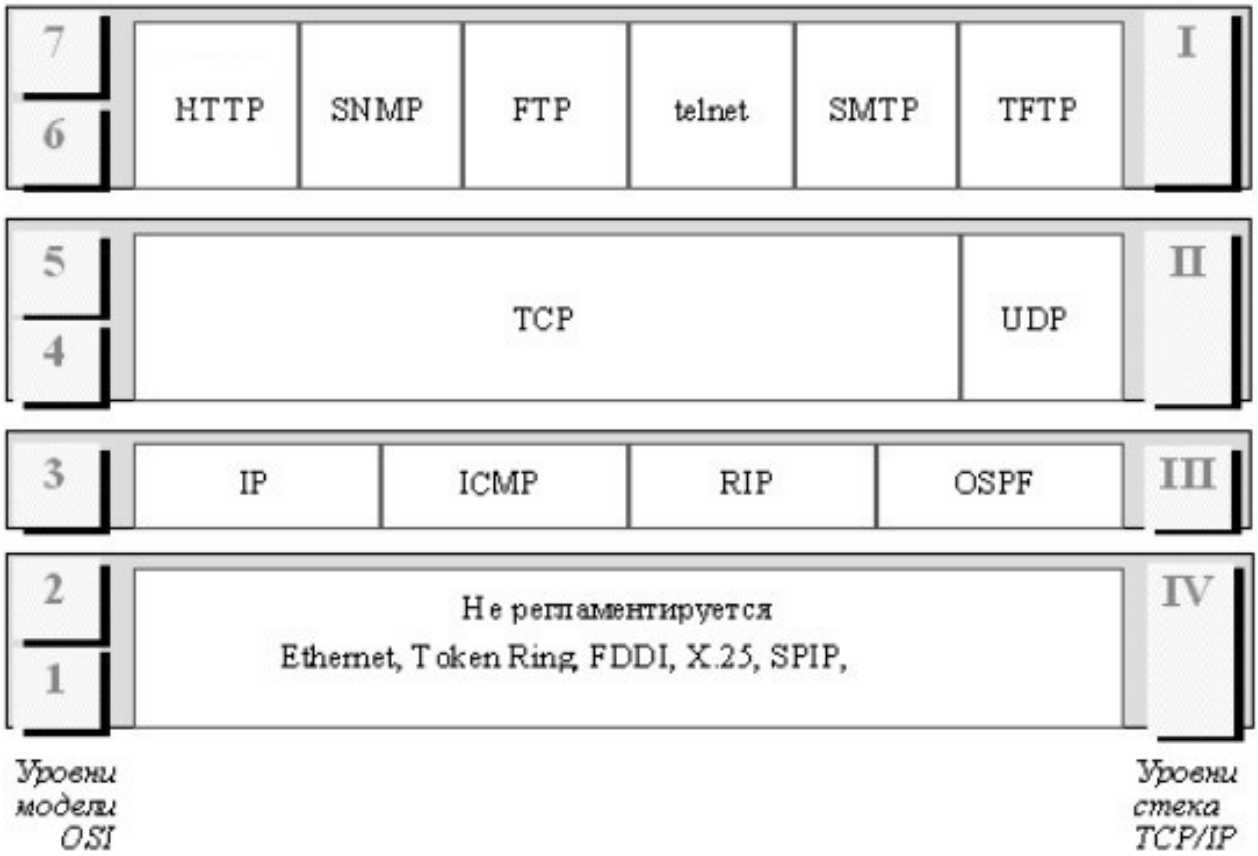
Сокеты поддерживают многие стандартные сетевые протоколы (конкретный их список зависит от реализации) и предоставляют унифицированный интерфейс для работы с ними. Наиболее часто сокеты используются для работы в IP-сетях.
В этом случае их можно использовать для взаимодействия приложений не только по специально разработанным, но и по стандартным протоколам - HTTP, FTP, Telnet и т. д. Например, вы можете написать собственный Web-броузер или Web-сервер, способный обслуживать одновременно множество клиентов.

По типу организации канала различают сокеты, ориентированные на соединение (*stream sockets*), и сокеты не подразумевающие наличия постоянного соединения (*datagram sockets*). По умолчанию,
первая разновидность сокетов предполагает интерфейс к транспортному уровню, реализованному на TCP (*Transmission Control Protocol)* протоколе, а вторая - на протоколе UDP (*User Datagram Protocol*).
Интерфейс представляет собой совокупность системных вызовов, служащих для подсоединения соответствующего канала обмена, для проведения затем операций типа чтения-записи в канал, а также для отсоединения от канала.
Естественно, сокеты определенного типа могут взаимодействовать только с сокетами такого же типа.

Протоколы TCP и UDP (транспортный уровень) опираются на протокол IP , относящийся к сетевому уровню стека протоколов TCP/IP.

Протокол IP относится к протоколам *без установления соединений*,
он поддерживает обработку каждого IP-пакета, как независимой единицы обмена, не связанной с другими IP-пакетами.
В протоколе IP , как известно, нет механизмов обычно применяемых для обеспечения достоверности данных на узле получателе.
Если во время продвижения пакета происходит какая-либо ошибка, то протокол IP по своей инициативе ничего не предпринимает для ее

исправления.
Например, если пакет отбрасывается на каком-либо роутере, то, максимум, что происходит — это оповещение узла-отправителя этим роутером о произошедшем событии с помощью протокола ICMP (*Internet Control Messaging Protocol*).
На уровне протокола IP не существует механизма проверки правильности очередности доставки пакетов (дейтаграмм) на узел-получатель и отсутствия дублирования пакетов. То есть, протокол IP реализует политику доставки «по возможности»



Вопросы обеспечения надежной доставки данных по составной сети в стеке TCP/IP решает протокол TCP . Полный стек протоколов реализован только на конечных узлах.

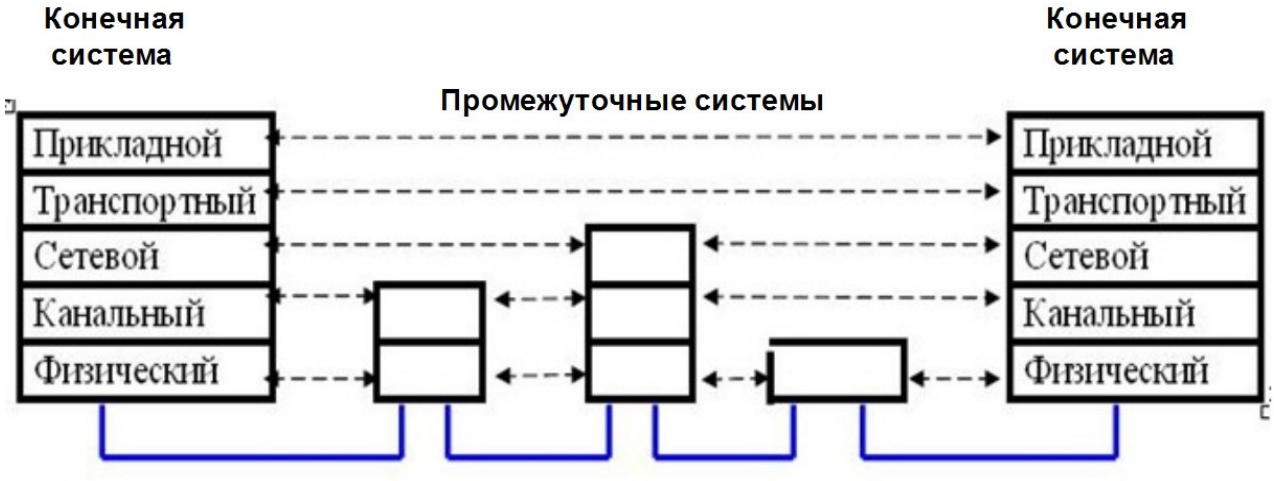
То есть протокол TCP обеспечивает надежную доставку сообщений, используя в качестве основы ненадежный дейтаграммный протокол IP. Для решения этой задачи протокол TCP использует метод продвижения данных *с установлением логического соединения*.

Именно *логическое соединение* дает возможность участникам обмена следить за тем, чтобы данные не были потеряны,
искажены или продублированы,
а также чтобы они пришли к получателю в том порядке,
в котором были отправлены.

Информация, поступающая к протоколу TCP от протоколов более высокого уровня (от прикладных процессов), рассматривается протоколом TCP как
неструктурированный поток байтов.
Поступающие данные буферизуются средствами TCP.
Для передачи на сетевой уровень из буфера «вырезается» некоторая непрерывная часть данных,
которая называется *сегментом* и снабжается заголовком.
Процедуры установления, конфигурирования и разрыва логического соединения, естественно, требуют определенных накладных расходов, что является платой за надежность передачи данных протоколом TCP.

Протокол UDP гораздо проще. Его функции сводятся к простой передаче данных между прикладным и сетевым уровнями,
а также примитивному контролю искажений в передаваемых данных.
При контроле искажений протокол UDP только диагностирует,
но не исправляет ошибку.
Если контрольная сумма показывает, что в поле данных UDP-дейтаграммы произошла ошибка, протокол UDP просто отбрасывает поврежденную дейтаграмму.

Естественно, транспортировка данных протоколом UDP менее затратна и более быстра (при прочих равных условиях), передача с помощью TCP .



Коммутатор (Switch) **Маршрутизатор** (Router) **Хаб** (Hub)

Коммуникационным устройствам в промежуточных узлах сети для продвижения пакетов достаточно функциональности нижних трех уровней.

Хаб — это устройство, которое работает только с потоком битов поэтому ограничивается поддержкой протокола физического уровня.

Коммутаторы локальных сетей поддерживают протоколы двух нижних

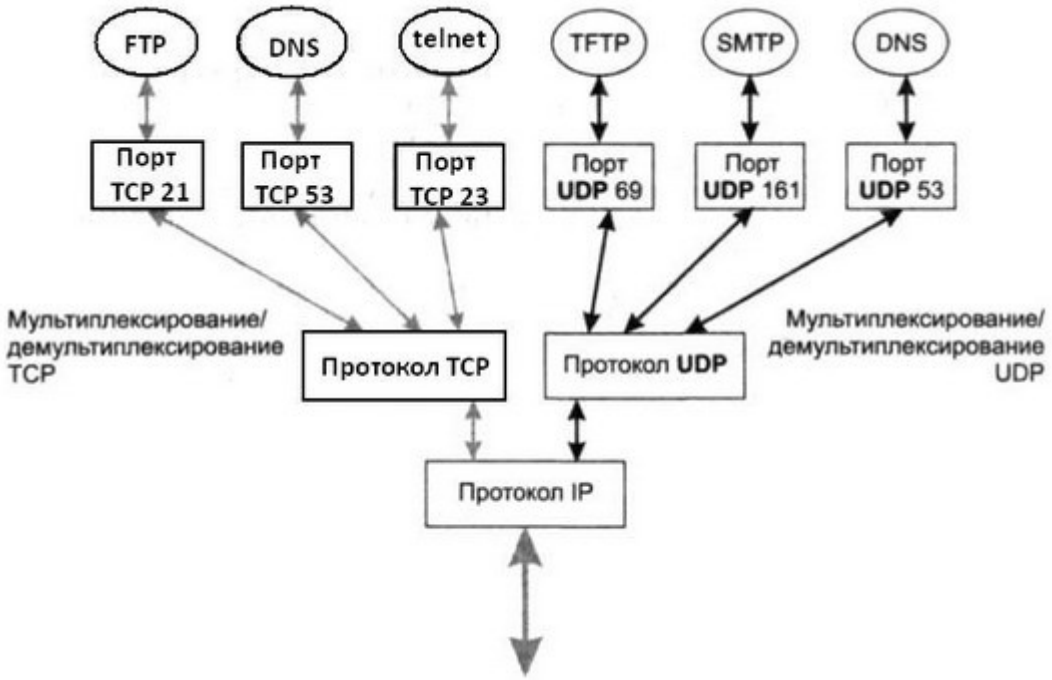
уровней, что дает им возможность работать в пределах стандартных топологий.

Маршрутизаторы должны поддерживать протоколы всех трех нижних уровней, так как сетевой уровень необходим маршрутизаторам для объединения сетей различных технологий,
а протоколы нижних уровней - для взаимодействия с конкретными сетями, образующими составную сеть (Ethernet, Frame Relay, X25 и др.).
Каждый компьютер может выполнять несколько процессов, более того, даже отдельный прикладной процесс может иметь несколько точек входа, выступающих в качестве адресов назначения для пакетов данных.
Поэтому после того, как пакет доставлен по сети средствами протокола IP на сетевой интерфейс компьютера-получателя
данные необходимо переправить конкретному процессу-получателю.

Протоколы TCP и UDP ведут *для каждого приложения*
две системные очереди:
очередь данных, поступающих к приложению из сети,
и очередь данных, отправляемых этим приложением в сеть.
Пакеты, поступающие на транспортный уровень, организуются операционной системой в виде множества очередей
к точкам входа различных прикладных процессов.

В терминологии TCP IP такие системные очереди называются *портами*
(порты приложений не надо путать с сетевыми интерфейсами оборудования и др., тоже называемыми портами).
При этом входная и выходная очереди одного приложения рассматриваются как один порт.
Для однозначной идентификации портов им присваивают номера.
Номера портов используются для адресации приложений.

Номера из диапазона *от 0 до 1023* называются назначенными,
являются уникальными в пределах Интернета
и закрепляются за приложениями централизованно.
Номера из диапазона 1024 до 65 535 могут назначаться *локально*
разработчиками собственных приложений
или операционной системой в ответ на поступление запроса
от приложения. На каждом компьютере операционная система ведет список занятых и свободных номеров портов.



Никакой связи между назначенными номерами TCP- и UDP-портов нет. Даже если номера TCP- и UDP-портов совпадают,
они идентифицируют разные приложения.
Например, одному приложению может быть назначен
TCP-порт 1750, а другому — UDP-порт 1750.

С точки зрения именования (адресации) сокетов, существует две различные схемы, называемые *address families* (семейства адресации).

Наиболее часто используемая, схема адресации носит название *Internet domain addressing*. Эта схема базируется на 32-битном IP адресе хоста, на котором адресуемый сокет (процесс создавший сокет) находится и на 16-битном номере порта, идентифицирующем процесс на хосте. То есть адрес сокета в этом случае ассоциируется с парой :

IP address/Port number.

Другая, упрошенная, схема адресации, называемая *Unix domain address family*, подразумевает, что сокет ассоциируется с файлом, имя и путь к которому попадает в системный список каталогов и помечается символом *s* (*socket*). Естественно, данная схема не пригодна для взаимодействия процессов по сети, то есть клиент и сервер обязаны находиться на одной и той же машине.

Для обоих видов адресации определяются соответствующие им структуры. Системные вызовы, проводящие операции обмена, для обращения к нужным им сокетам используют указатели на ассоциированные с этими сокетами адресные структуры.

В случае применения *Unix domain address family* образуемый сокет для

обмена между процессами представляет собой улучшенный вариант программного канала (*pipe*), но работающего в обоих направлениях, то есть *full-duplex pipe* .

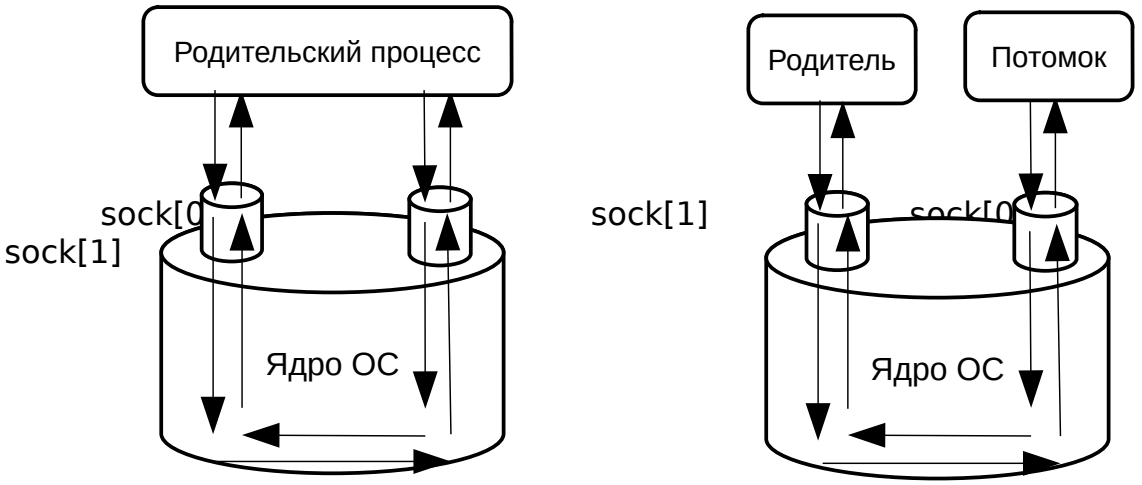
Самый простой способ организации обмена на сокетах базируется на системном вызове *socketpair()*. Естественным ограничением данного способа является невозможность взаимодействия процессов, запущенных на разных хостах, а также родство процессов. В системном вызове *socketpair()* в первом параметре задается семейство адресации, второй параметр указывает на тип (*SOCK_STREAM* либо *SOCK_DGRAM*) создаваемого сокета, третий параметр конкретизирует тип протокола (*0* - протокол выбирается самой ОС) заданного семейства адресации. Четвертый параметр вызова *socketpair()* указывает на двухэлементный целый массив, который заполняется (при успешном вызове) дескрипторами создаваемой пары сокетов. Программа *socketpair* иллюстрирует применение этого системного вызова.

```
/* Программа socketpair.cpp */

/* Создает пару сокетов, запускает дочерний процесс и
* использует пару сокетов для обмена информацией
* между родительским и дочерним процессами.
* Компилировать с опцией -lsocket
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types>
#include <sys/socket.h>
#define BUF_SZ 10
main(void){
int     sock[2];
int     cpid, i;
static char buf[BUF_SZ];
if (socketpair(PF_UNIX, SOCK_STREAM, 0, SOCK)<0){
   perror("Generation error");
   exit(1);
   }
switch (cpid = (int) fork()){
   case -1:
        perror("Bad fork");
        exit(2);
   case  0:                        /* Дочерний процесс */
        close(sock[1]);
        for (i=0; i<10; i+=2){
           sleep(1);
           sprintf(buf, "c:%d\n", i);
           write(sock[0], buf, sizeof(buf));
           read(sock[0], buf, BUF_SZ);
           printf("c->%s", buf);    /* Сообщение от родительского процесса */
```

```
            }
        close(sock[0]);
        break;
    default:                        /* Родительский процесс */
        close(sock[0]);
        for(i=1; i<10; i+=2){
            sleep(1);
            read(sock[1], buf, BUF_SZ);
            printf("p->%s", buf); /* Сообщение от дочернего процесса */
            sprintf(buf, "p: %d\n", i);
            write(sock[1], buf, sizeof(buf));
            }
        close(sock[1]);
    }
    return 0;
}
```

Иллюстрация использования системного вызова s*ocketpair()* в приведенной программе :



До вызова fork() После вызова fork()

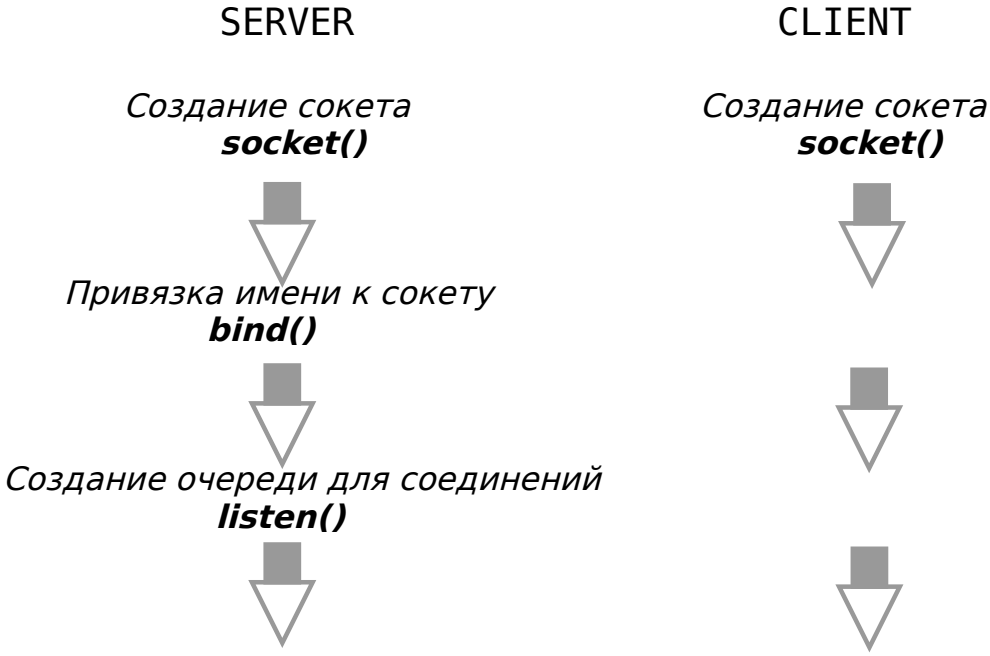
Для организации взаимодействия процессов на сокетах с постоянным соединением (*stream sockets*), без ограничений на выбор семейства адресации, на стороне процесса сервера и процесса клиента должна произойти целая цепочка системных вызовов и событий.

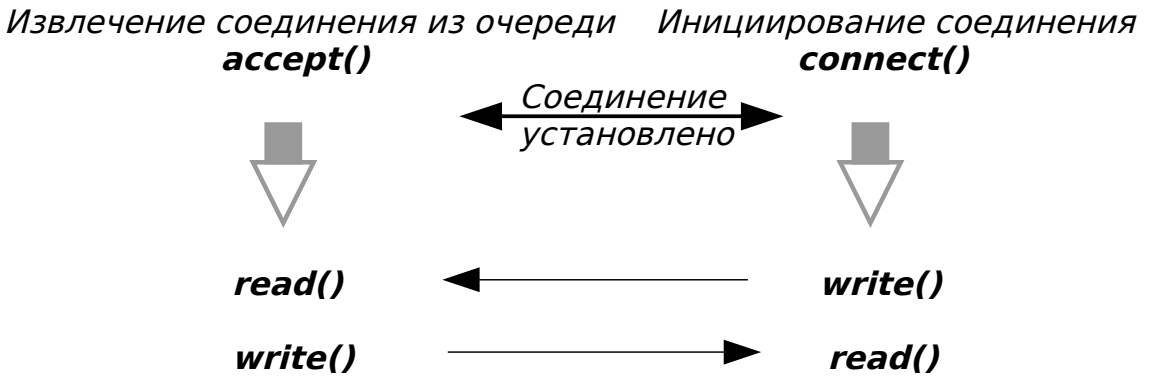
Системный вызов *socket()* на сервере создает экземпляр нового сокета. Параметры этого вызова задают семейство адресации, тип сокета и протокол. При успешном выполнении вызов возвращает дескриптор созданного сокета. Однако изначально с сокетом не ассоциируется какое-либо имя или адрес/порт.
Привязка к сокету имени или адреса выполняется следующим системным вызовом *bind()*, параметры которого содержат:
дескриптор созданного сокета,
указатель на адресную структуру

и длину адреса.
На серверной стороне вслед за *bind()* производится
системный вызов *listen(),* создающий очередь для входящих запросов
на соединение от клиентов.
В параметрах этого вызова указываются дескриптор сокета и
максимально возможная длина очереди запросов.

На этот момент сервер уже готов к соединению с клиентами.
Системный вызов *accept()* переводит, по умолчанию, сервер
в состояние ожидания получения запросов на соединение от клиентов.
Параметрами этого вызова являются
дескриптор сокета и
указатели на его адресную структуру
и ее длину.
При наличии в очереди запроса от клиента
(или при поступлении нового запроса) вызов *accept()* , воспринимает
первый в очереди запрос,
уменьшает очередь на единицу и
создает новый сокет специально для организации соединения с данным
клиентом.
Дескриптором этого нового сокета является целое значение,
возвращаемое вызовом *accept()*.
Новый сокет имеет тот же тип, что и основной сокет,
его дескриптор ассоциируется с дескриптором указанным в первом
параметре вызова *accept()*,
и на нем происходит коммуникация в стиле *read()/write()* с клиентом,
запрос от которого таким образом был воспринят.
При этом, оригинальный сокет остается в том же виде и может
использоваться для восприятия новых запросов от клиентов с целью
организации соединений.

Последовательность системных вызовов при организации клиент-серверного взаимодействия, ориентированного на соединение :





На стороне клиентского процесса вслед за вызовом *socket()*, создающим сокет на клиенте, следует вызов *connect()*, с помощью которого клиент запрашивает сервер об организации соединения для обмена данными.
Первым параметром *connect()* является дескриптор созданного на клиенте сокета, а второй указывает на адресную структуру того сокета, с которым выполняется попытка соединиться, т.е. сокета сервера.
Третий параметр содержит длину адресной структуры.

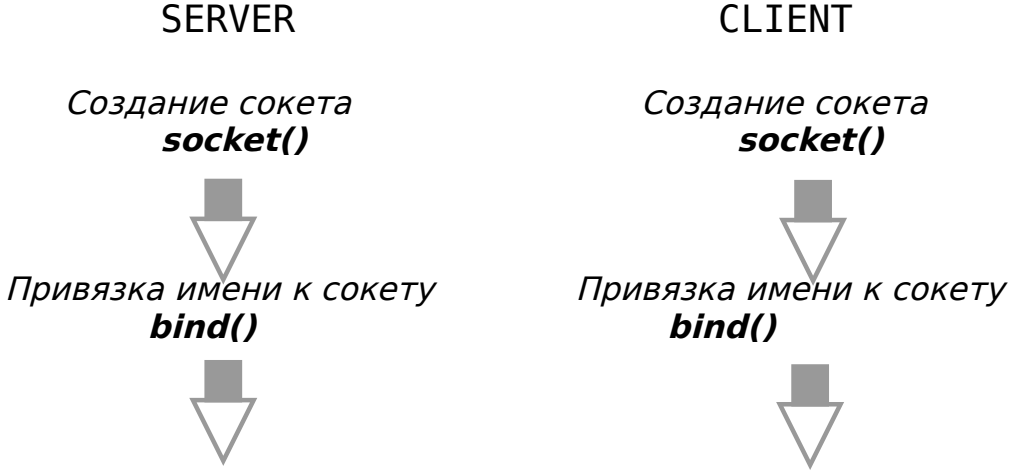
Запрос, порождаемый на клиентской стороне вызовом *connect()* , на сервере, в конечном итоге, воспринимается вызовом *accept()* .

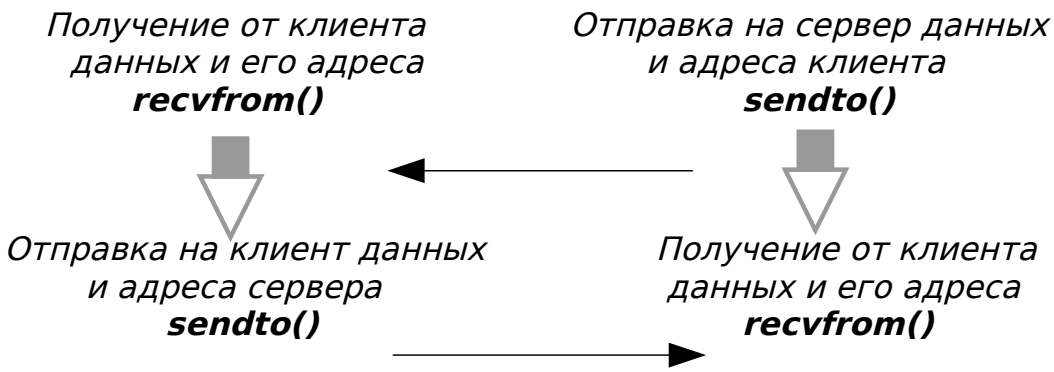
По окончании сеанса обмена в стиле *read()/write()*, сокеты на обеих сторонах закрываются традиционным вызовом *close()*.

Обычно, при организации обмена с постоянным соединением (*stream socket*) сокет соединяется только раз.

В случае обмена без постоянного соединения (*connectionless socket*) один и тот же сокет может соединяться несколько раз, при этом вместо *read()/write()* используются вызовы *sendto() / recvfrom()* .

Последовательность системных вызовов при организации клиент-серверного взаимодействия, без постоянного соединения :





В файлах *local_c_i* , *sock_c_i_srv* и *sock_c_i_clt* содержится пример создания сокетов с постоянным соединением (*stream sockets*) и адресацией типа Internet Domain family для коммуникации клиентского процесса с сервером, запущенном на другом компьютере. Оба процесса запускаются в обычном *foreground* режиме, либо на разных хостах, либо на одном и том же, но на разных терминалах (или в разных CDE). Клиенту при запуске в качестве параметра командной строки (*cmd*) сообщается имя хоста сервера. Номер порта задается константой PORT в общем заголовочном файле. На сервере и клиенте выполняется цепочка системных вызовов и событий, предваряющая создание постоянных соединений на сокетах. Сервер, получая запросы от клиентов на соединение, порождает дочерние процессы образуя в них постоянные соединения на отдельных сокетах для ведения коммуникации с клиентом. Клиентский процесс после образования соединения отправляет серверу сообщения, вводимые пользователем с консоли клиентской машины.. Сервер считывает сообщения, преобразует и отправляет клиенту обратно. Завершение диалога клиента с сервером, закрытие соответствующих сокетов и завершение самого клиентского процесса происходит при вводе и обработке строки с символом '.' в первой позиции.

```
/* Заголовочный файл file local_c_i.h
*  общий для sock_c_i_srv.cpp и  sock_c_i_clt.cpp
*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <ctype.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>

#define PORT 6996
static char buf[BUFSIZ];        /* Буфер для сообщений */
```

```
/* Программа  sock_c_i_srv.cpp */
/*
 * Сервер – сокеты с Internet domain адресацией, с установлением
соединения
 */
#include "local_c_i.h"
main(void) {
int             orig_sock,   /* Дескриптор  сокета на сервере */
                new_sock,    /* Дескриптор сокета соединения  */
                clnt_len;    /* Длина адреса клиента */
structsockaddr_in
                clnt_adr,    /* Интернет адрес клиента */
                serv_adr;    /* Интернет адрес сервера */
int             len,i;       /* Счетчики*/
if((orig_sock=socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0)) < 0) {/*  Сокет   */
        perror("generate error");
        exit(1);
};
memset(&serv_adr, 0 , sizeof(serv_adr));          /* Очистка структуры */
serv_adr.sin_family       =AF_INET;               /* Вид адресации Internet
domain */
serv_adr.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);  /* Интерфейс любой  */
serv_adr.sin_port  =htons(PORT);              /* Фиктивный порт */
                                              /* BIND  */
if (bind(orig_sock, (struct sockaddr *) &serv_adr,
                sizeof(serv_adr)) < 0){
        perror("bind error");
        close(orig_sock);
        exit(2);
};
if (listen(orig_sock,5)<0){                       /* LISTEN */
        perror("listen error");
        exit(3);
};
do {
        clnt_len = sizeof(clnt_adr);
        if ((new_sock = accept(orig_sock,(struct sockaddr *) &clnt_adr,
                        &clnt_len)) < 0) {        /* ACCEPT */
                perror("accept error");
                close(orig_sock);
                exit(4);
        };
        if ( fork () == 0) {                      /* Дочерний процесс */
                while ((len=read(new_sock,buf,BUFSIZ))>0){
                        for(i=0;i<len;++i)        /* Изменение букв на
прописные */
                                buf[i] = toupper(buf[i]);
                        write(new_sock,buf,len);       /* Ответная запись */
                        if (buf[0] == '.') break;  /* Исчерпана? */
                }
```

```
                close(new_sock);                /* Дочерний процесс */
                exit(0);
        } else close(new_sock);                 /* Родительский процесс */
    }while(1);                                          /* Зацикливание */
}

/* Программа sock_c_i_clt.cpp */
/*
 * Клиент - сокеты с Internet domain адресацией, с установлением
соединения
 */
#include "local_c_i.h"
main(int argc,char *argv[] ){
int     orig_sock,                      /* Дескриптор сокета клиента */
        len;                            /* Длина адреса сервера */
structsockaddr_in
        serv_adr;                       /* Интернет адрес сервера */
struct  hostent *host;                          /* Хост (сервер) */

if ( argc != 2){     /* Expect name of host on cmd line */
        fprintf(stderr,"usage: %s server\n",argv[0]);
        exit(1);
}
host = gethostbyname(argv[1]);          /* Информация о хосте */
if (host == (struct hostent *) NULL ){
        perror("gethostbyname");
        exit(2);
}
memset(&serv_adr,0,sizeof(serv_adr));    /* Очистка структуры */
serv_adr.sin_family = AF_INET;          /* Вид адресации Internet domain */
memcpy(&serv_adr.sin_addr,host->h_addr,host->h_length);         /* Адрес  */
serv_adr.sin_port=htons(PORT);      /* Используется фиктивный порт */

if ((orig_sock = socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0)) < 0) {/* Сокет */
        perror("generate error");
        exit(3);
}

                                        /* CONNECT */
if (connect(orig_sock,(struct sockaddr *) &serv_adr,
                sizeof(serv_adr)) < 0 ) {
        perror("connect error");
        exit(4);
};
do {
        write(fileno(stdout),"> ",3);           /* Подсказка */
        if((len=read(fileno(stdin),buf,BUFSIZ))>0) {/* Ввод */
        write(orig_sock,buf,len);
        if ((len=read(orig_sock,buf,len))>0)/* Вывод,    */
                write(fileno(stdout),buf,len);  /* если не пусто */
        }
} while (buf[0] != '.');
```

```
close(orig_sock);
exit(0);
};
```

Пример применения сокетов, ориентированных на соединение, но с адресацией типа *Unix domain* (подразумевает нахождение сервера и клиента на одном компьютере), приведен в программах *sock_c_u_srv и sock_c_u_clt* .
Сервер запускается в фоновом (*background*) режиме, получая запрос на соединение от клиента, создает сокет для сеанса с клиентом, получает и выдает на консоль до 10-ти сообщений от клиента, после чего закрывает этот сокет.

```
/* Программа sock_c_u_srv.cpp */
/*
 * Сервер - сокеты с UNIX domain адресацией, с установлением
соединения
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#define NAME "my_sock"

void   clean_up( int, char *);

main( void ) {
int             orig_sock,              /* Дескриптор сокета */
                new_sock,               /* Дескриптор сокета соединения */
                clnt_len,               /* Длина адреса клиента */
                i,                      /* Счетчик циклов */
            cpid;      /* PID */
static struct sockaddr_un
                clnt_adr,               /* UNIX адреса клиента */
                serv_adr;               /* сервера */
static char  buf[10];                   /* Буфер для сообщений */

if((orig_sock = socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0)) < 0) { /* SOCKET */
        perror("Generate error");
        exit(1);
}
serv_adr.sun_family = AF_UNIX;              /* Установка вида адресации */
strcpy(serv_adr.sun_path,NAME);             /* Присвоение имени (108 символов
макс) */
unlink(NAME);                           /* Удаление старой копии, если имеется
*/

if(bind(orig_sock, (struct sockaddr *) &serv_adr,/* BIND */
```

```
        sizeof(serv_adr.sun_family)+strlen(serv_adr.sun_path)) < 0) {
        perror("bind error");
        clean_up(orig_sock,NAME);
        exit(2);
};
listen(orig_sock,3);                                    /* LISTEN */
clnt_len = sizeof(clnt_adr);

if ((new_sock = accept(orig_sock, (struct sockaddr *) &clnt_adr,
                                &clnt_len)) < 0) {/* ACCEPT */
                perror("accept error");
                clean_up(orig_sock, NAME);
                        exit(3);

              }
        /*printf("new sock = %d\n",new_sock);*/
        for(i=1; i<= 10; i++){                          /* PROCESS */
                sleep(1);
                read(new_sock, buf, sizeof(buf));
                printf("s-> %s", buf);

        }

        close(new_sock);
         clean_up(orig_sock, NAME);
                exit(0);
}

void
clean_up(int sd, char *the_file ) {
        close(sd);                                      /* Закрыть, */
        unlink(the_file);                               /* удалить   */
}



/* Программа sock_c_u_clt.cpp */
/*
 * Клиент - сокеты с UNIX domain адресацией, с установлением
соединения
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>
#define NAME "my_sock"

main(void) {
        int     orig_sock,          /* Дескриптор сокета клиента */
```

```
                i;                      /* Счетчик циклов */
static structsockaddr_un
                serv_adr;               /* Unix адрес сервера */
static char   buf[10];                  /* Буфер для сообщений */

if ((orig_sock = socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM,0)) < 0) { /* Сокет */
        perror("generate error");
        exit(1);
}
serv_adr.sun_family = AF_UNIX;      /* Установка типа адреса */
strcpy(serv_adr.sun_path,NAME);     /* Назначение имени */

if (connect(orig_sock, (struct sockaddr *) &serv_adr, /* CONNECT */
        sizeof(serv_adr.sun_family)+strlen(serv_adr.sun_path))<0) {
                perror("connect error");
                exit(1);
}
for(i=1;i<=10;i++){                     /* Отправка сообщений */
        sprintf(buf,"c: %d\n",i);
        write(orig_sock,buf,sizeof(buf));
}
close(orig_sock);
exit(0);
}
```