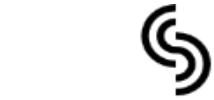
Федеральное осударственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет)



Лабораторная работа №4
СЕТЕВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Самара, 2022

Содержание

1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 3

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ 4

2.1. IP-адреса, порты и порядок байтов 4

2.2. Сокеты 5

2.3. Установление соединения 6

2.4. Передача данных 7

3. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ 9

ПРИЛОЖЕНИЯ 10

Приложение 1. Пример приложения-сервера 10

Приложение 2. Пример приложения-клиента. 11

Приложение 3. Файл common.h 12

1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. **Компьютерная сеть** – множество компьютеров, связанных между собой каналами передачи информации.

2. **Узел сети** – устройство, участвующее в процессе передачи данных по сети.

3. **Протокол передачи данных** – стандарт, описывающий процесс передачи данных по сети (структуры данных, последовательность действий сторон, возможные состояния и переходы между ними).

4. **Конечная точка** – узел сети либо процесс на узле сети, являющийся исходным отправителем или итоговым получателем данных. В сетях IP обычно определяется триадой {IP-адрес, протокол транспортного уровня, порт}.

5. **Протокол TCP** – протокол транспортного уровня, предназначенный для *надежной* передачи *потоковых данных*.

6. **Протокол UDP** – протокол транспортного уровня, предназначенный для *ненадежной* передачи *отдельных сообщений*.

7. **Протокол IP** – протокол сетевого уровня, ответственный за передачу данных между узлами сети.

8. **IP адрес** – 4-байтовая структура, однозначно идентифицирующая узел в данной сети.

9. **Порядок байтов** – порядок, в котором байты многобайтовых чисел хранятся в памяти. Может быть прямым или обратным.

10. **Сетевой порядок байтов** – порядок байтов, который должны использовать устройства при работе в сети. Эквивалентен прямому порядку байтов.

11. **Сокет** – программная абстракция конечной точки.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. IP-адреса, порты и порядок байтов

IP-адрес может быть представлен в виде целого 4-байтового числа (unsigned int). Порт – число в диапазоне [0,65535] – также является 2-байтовым целым числом.

Существует ряд макросов, представляющих особые значения портов и адресов.

```
/*#include <arpa/inet.h>*/

#define INADDR_NONE ((in_addr_t) 0xffffffff) /*ошибочный адрес*/
#define INADDR_LOOPBACK  ((in_addr_t) 0x7f000001)  /*127.0.0.1*/

/*верхняя граница системных портов, порты с меньшими номерами не могут
быть назначены без root-прав*/
#define IPPORT_RESERVED       1024
```

Поскольку и IP-адрес, и порт являются многобайтовыми числами, при работе с сетью они должны быть представлены в сетевом порядке байтов. Если же они были прочитаны (например, через вызов `sockopt`), то для использования внутри программы они должны быть представлены в порядке байтов, используемых процессором. Для преобразования данных чисел из сетевого порядка байтов в порядок байтов хоста и наоборот используется ряд функций:

```
#include <arpa/inet.h>
unsigned int   htonl(unsigned int hostlong);    /*to network order*/
unsigned short htons(unsigned short hostshort); /*to network order*/
unsigned int   ntohl(unsigned int netlong);     /*to host order*/
unsigned short ntohs(unsigned short netshort);  /*to host order*/
```

IP-адрес представляется в виде структуры `in_addr`. Данная структура имеет единственный адрес, представляющий IP-адрес в формате одного целого числа:

```
#include <arpa/inet.h>

typedef  uint32_t in_addr_t;

struct in_addr {
    in_addr_t s_addr;
};
```

Преобразование порядка байтов из строки/в строку осуществляется функциями `inet_addr/inet_ntoa`:

```
#include <arpa/inet.h>

in_addr_t inet_addr(const char* cp); /* INADDR_NONE при ошибке */
char* inet_ntoa(in_addr in);  /* NULL при ошибке */
```

Важно отметить, что inet_addr возвращает только in_addr_t, в то время как inet_ntoa принимает на вход in_addr. Функция inet_addr возвращает адрес в сетевом порядке байтов – дальнейшие преобразования не требуются.

2.2. Сокеты

Сокет является абстракцией конечной точки некоторого соединения. Сокеты создаются вызовом `socket`:

```
#include <sys/socket.h>
int fd = socket(int domain, int type, int protocol /*=0*/);
```

Функция возвращает дескриптор сокета или -1 в случае ошибки.

Аргумент domain должен содержать константу `AF_INET` в случае сети IPv4 или `AF_UNIX` в случае создания сокета UNIX (см. далее).

Аргумент type предназначен для выбора типа сокета.

Аргумент protocol предназначен для передачи конкретного протокола транспортного уровня, однако поскольку протокол определяется типом сокета, здесь должен передаваться 0.

Тип сокета должен быть одним из 4 констант:

`SOCK_STREAM` – сокет потоковой передачи данных (TCP).

`SOCK_DGRAM` – сокет ненадежной передачи сообщений(UDP).

`SOCK_SEQPACKET` – сокет надежной передачи сообщений [не имеет смысла для IP-сокета].

`SOCK_RAW` – «сырой» сокет [прямой доступ к сетевому уровню].

Созданный сокет не привязан ни к одной конечной точке. Для связывания сокета с конечной точкой с заданным адресом используется вызов `bind`:

```
#include <sys/socket.h>
int bind(int sockfd, const sockaddr* addr, socklen_t addrlen);
```

Аргумент sockfd предназначен для передач дескриптора сокета.

Аргумент addr предназначен для передачи адреса структуры, содержащей информацию об адресе конечной точки. При этом тип данной структуры скорее всего отличается от sockaddr, поэтому вызову требуется знать размер структуры.

Аргумент addrlen должен содержать реальный размер структуры, которая передается в addr.

IP-адрес представляется структурой sockaddr_in:

```
struct  sockaddr_in {
    sa_family_t sin_family; /* = AF_INET */
    in_port_t   sin_port;   /* порт */
    in_addr     sin_addr;   /* адрес */
};
```

Поля данной структуры должны быть числами в прямом порядке байтов.

2.3. Установление соединения

Процедура установления соединения необходима только для сокетов типа SOCK_STREAM и SOCK_SEQPACKET.

Формально, для установления соединения требуется только вызов connect:

```
#include <sys/socket.h>

int connect(int sockfd, const sockaddr* addr, socklen_t addrlen);
```

Аргументы аналогичны аргументам вызова bind с тем исключением, что в качестве аргумента addr передается адрес конечной точки, к которой происходит подключение.

Если сокет не был привязан к определенному адресу, он будет привязан автоматически в ходе вызова connect.

В момент connect процесс будет приостановлен до приема соединения, если соответствующий порт конечной точки открыт (т.е. к данной конечной точке вызовом bind был привязан некоторый сокет). Если *на принимающей стороне* порт закрыт (т.е. к данной конечной точке не привязан сокет) либо запрос на соединение явно отвергнут (об этом см. listen), вызов connect завершается с ошибкой.

Для установления соединения достаточно, чтобы два процесса с адресами A и B (то есть, для которых был заранее вызван bind), одновременно вызвали connect(…, B, …) / connect(…, A, …). Однако необходимость вызывать bind до connect порождает состояние гонки. Поэтому при организации обмена данными по сети используется другой способ.

При установлении соединения явно выделяют сторону, ожидающую соединение (сервер), и сторону, инициирующую соединение (клиент).

На клиенте выполняется вызов connect.

На сервере выполняются 3 вызова: bind, listen и accept.

Замечание: в случае сокетов типа SOCK_DGRAM явное установление соединения невозможно в силу особенностей протокола UDP. В этом случае вызов connect всего лишь запретит прием/передачу данных с адресов, отличных от адреса, переданного в аргументе addr.

Вызов listen переключает сокет в режим приема соединений.

```
#include <sys/socket.h>

int listen(int sockfd, int backlog);
```

Аргумент sockfd предназначен для передач дескриптора сокета. Если сокет не был явно привязан к конечной точке, он будет привязан автоматически к некоторому свободному порту. Однако в этом случае будет необходимо получить реальный адрес конечной точки вызовом sockopt, что является лишним дополнительным действием.

Аргумент backlog содержит длину очереди запросов на соединение. В случае, если backlog ==3, и пришло 4 запроса на соединение, первые 3 запроса будут в очередь ожидания, а 4-ый будет отвергнут.

Принять запрос на соединение (и тем самым установить соединение) можно вызовом accept:

```
#include <sys/socket.h>
int fd = accept(int sockfd, sockaddr* addr, socklen_t* addrlen);
```

Аргумент sockfd предназначен для передачи дескриптора сокета, ожидающего подключения.

Аргументы addr и addrlen служат для передачи адресов, по которым будет записан адрес конечной точки, с которой установлено соединение. В качестве их значений допустимо одновременно передавать NULL. Если addr – не NULL, переменная по адресу addrlen должна содержать размер буфера по указателю в addr (чтобы ядру был известен максимальный размер данных, которые можно записать).

Вызов возвращает дескриптор **нового сокета**, связанного с установленным соединением и только с ним. Закрытие дескриптора «слушающего» сокета, передаваемого в sockfd, никак не скажется на возвращенном «соединенном» дескрипторе `fd`.

Если в очереди нет ожидающих запросов на соединение, вызов `accept` блокирует вызывающий поток до получения запроса на соединение.

По завершении работы с соединением уведомить противоположную сторону о прекращении приема/передачи данных можно вызовом `shutdown`.

```
#include <sys/socket.h>

int shutdown(int sockfd, int how);
```

Аргумент sockfd предназначен для передачи дескриптора сокета, связанного с соединением.

Аргумент how предназначен для передачи одной из констант, определяющих, какой тип передачи запрещается:

`SHUT_RD` – запретить прием новых данных;
`SHUT_WR` – запретить отправку новых данных;
`SHUT_RDWR` – разорвать соединение.

Окончательно закрыть сокет (и разорвать соединение) можно вызовом `close`.

```
#include <unistd.h>

int close(int fd);
```

2.4. Передача данных

Передача данных осуществляется парой вызовов `send/recv`.

```
#include <sys/socket.h>
ssize_t send(int sockfd, const void* buf, size_t len, int flags);
ssize_t recv(int sockfd, void* buf, size_t len, int flags);
```

Аргумент sockfd предназначен для передачи дескриптора сокета, связанного с соединением.

Аргументы buf и len служат для передачи буфера с данными.

Аргумент flags служит для указания флагов, среди которых в рамках лабораторной может пригодиться флаг `MSG_WAITALL` (ждать получения ровно len данных в случае сокета типа `SOCK_STREAM`).

Вызовы возвращают число отправленных/полученных байт.

Замечание: сокеты типа `SOCK_DGRAM` и `SOCK_SEQPACKET` ориентированы на передачу отдельных сообщений, в отличие от `SOCK_STREAM`. Каждый вызов `send` отправляет ровно 1 сообщение, каждый вызов `recv` читает не более одного сообщения (хотя может прочесть только часть одного сообщения, если размер буфера недостаточен). Подробнее см. пример в приложении 1.

3. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

Написать 2 программы – клиент и сервер – для игры в «угадай число». Клиент может быть автоматическим (игрок – машина, как в л/р2) или интерактивным (игрок – человек). На стороне сервера игрок – всегда машина. Общение клиента и сервера реализовать по протоколу TCP.

В качестве параметра сервер принимает порт, на котором он будет работать.

Клиент в качестве параметра принимает адрес сервера.

Сервер должен вести лог – выводить в стандартный вывод сообщения об подключении/отключении клиентов, а также ход всех игр в формате <адрес клиента>:<сообщение>.

Варианты:

Легкий: однопоточный сервер (только 1 клиент может быть подключен), после отключения сервер ожидает новое подключение.

Средний: многопоточный сервер, для обработки нового соединения создается новый поток (потребуется синхронизация вывода в лог любым удобным методом).

Сложный: многопоточный сервер, для обработки нового соединения создается отдельный процесс (потребуется синхронизация вывода в лог + предотвращение появления процессов-зомби).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Пример приложения-сервера

```
#include "common.h"

char buffer[64];

int main() {
   auto server_address = local_addr(SERVER_PORT);
   auto listening_socket = check(make_socket(SOCKET_TYPE));
   int connected_socket = 0;

   check(bind(listening_socket, (sockaddr*)&server_address, sizeof(server_address)));
   check(listen(listening_socket, 2));

   while (true) {
      sockaddr_in connected_address{};
      socklen_t addrlen = sizeof(connected_address);
      connected_socket = check(accept(listening_socket, (sockaddr*)&connected_address,
                                                                        &addrlen));

      std::cout << "Connected from " << connected_address << std::endl;

      while (true) {
         int size = recv(connected_socket, buffer, sizeof(buffer), MSG_WAITALL);

         if (size == 0 || (size < 0 && errno == ENOTCONN))
            break; //disconnected

         check(size);
         std::cout
            << connected_address
            << " sent a message of a size " << size
            << ":" << std::string_view(buffer, size) << std::endl;
      }
      std::cout << "Disconnected from " << connected_address << std::endl;
   }
    close(connected_socket);
}
```

Приложение 2. Пример приложения-клиента.

```
#include "common.h"

int main() {
   auto dest_address = local_addr(SERVER_PORT);
   int sock_fd = check(make_socket(SOCKET_TYPE));
   check(connect(sock_fd, (sockaddr*)&dest_address, sizeof(dest_address)));

   std::string message;
   while (1) {
          std::getline(std::cin ,  message);
          if (message == "q")
                break;
          send(sock_fd, message.c_str(), message.size() + 1, MSG_WAITALL);
   }

   shutdown(sock_fd, SHUT_RDWR);
   close(sock_fd);
}
```

Приложение 3. Файл common.h

```
#include <sys/socket.h>
#include <unistd.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <iostream>
#include "check.hpp"

constexpr unsigned short SERVER_PORT = 60002;
constexpr int SOCKET_TYPE = SOCK_STREAM;

inline std::ostream& operator<<(std::ostream& s, const sockaddr_in& addr) {
   union {
      in_addr_t x;
      char c[sizeof(in_addr)];
   }t{};
   t.x = addr.sin_addr.s_addr;
   return s << std::to_string(int(t.c[0]))
      << "." << std::to_string(int(t.c[1]))
      << "." << std::to_string(int(t.c[2]))
      << "." << std::to_string(int(t.c[3]))
      << ":" << std::to_string(ntohs(addr.sin_port));
}

inline int make_socket(int type) {
   switch (type)
   {
   case SOCK_STREAM:
      return socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
   case SOCK_SEQPACKET:
      return check(socket(AF_INET, SOCK_STREAM, IPPROTO_SCTP)); // analogue to
SOCK_SEQPACKET
   default:
      errno = EINVAL;
      return -1;
   }
}

inline sockaddr_in local_addr(unsigned short port) {
   sockaddr_in addr{};
   addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_LOOPBACK);//127.0.0.1
   addr.sin_port = htons(port);
   addr.sin_family = AF_INET;
   return addr;
}
```