

- Bei *socket* lässt sich *SOCK_DGRAM* als zweiter Parameter angeben.
- Der Netzwerkdienst kann dann wie gewohnt *setsockopt* und *bind* aufrufen. Der Systemaufruf *listen* fällt weg, da dieser nur bei verbindungsorientierten Sockets Anwendung findet.
- Eingehende Pakete können dann mit *recvfrom* empfangen werden, das (in Ergänzung zu *read*) auch die Absenderadresse mitliefert. Mit *sendto* ist eine Antwort an eine gegebene Adresse möglich.
- Der Klient verwendet wie gewohnt *connect* und kann dann *read* und *write* verwenden, wobei hier (falls die Buffergröße groß genug ist) vollständige Pakete gelesen und verschickt werden.

timeserver.c

```
struct sockaddr_in address = {0};
address.sin_family = AF_INET;
address.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
address.sin_port = htons(PORT);
int sfd = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
int optval = 1;
if (sfd < 0 ||
    setsockopt(sfd, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR,
               &optval, sizeof optval) < 0 ||
    bind(sfd, (struct sockaddr *) &address,
         sizeof address) < 0) {
    perror("socket"); exit(1);
}
ssize_t nbytes; char buf[BUFSIZ];
struct sockaddr sender; socklen_t sender_len = sizeof(sender);
while ((nbytes = recvfrom(sfd, buf, sizeof buf, 0,
                          &sender, &sender_len)) >= 0) {
    char timebuf[32]; time_t clock; time(&clock);
    ctime_r(&clock, timebuf, sizeof timebuf);
    sendto(sfd, timebuf, strlen(timebuf), 0,
           &sender, sender_len);
}
```

timeserver.c

```
ssize_t nbytes; char buf[BUFSIZ];
struct sockaddr sender; socklen_t sender_len = sizeof(sender);
while ((nbytes = recvfrom(sfd, buf, sizeof buf, 0,
    &sender, &sender_len)) >= 0) {
    /* ... */
}
```

Im Vergleich zu *read* erwartet *recvfrom* drei weitere Parameter:

- ▶ **int flags**
normalerweise 0, der Standard nennt *MSG_PEEK* (Nachricht nicht verkonsumieren), *MSG_OOB* (*out of band*) und *MSG_WAITALL* (Nachricht muss vollständig vorliegen)
- ▶ **struct sockaddr* restrict address**
Zeiger auf den Puffer für die Absenderadresse, darf 0 sein
- ▶ **socklen_t* restrict address_len**
Zeiger auf eine Variable mit der Länge von *address*, die aktualisiert wird mit der tatsächlichen Länge der Absenderadresse.

timeclient.c

```
int fd;
if ((fd = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) < 0) {
    perror("socket"); exit(1);
}
if (connect(fd, (struct sockaddr *) &addr, sizeof addr) < 0) {
    perror("connect"); exit(1);
}
char buffer[BUFSIZ]; ssize_t nbytes;
/* send an empty packet */
if (write(fd, buffer, 0) < 0) {
    perror("write"); exit(1);
}
/* receive response */
if ((nbytes = read(fd, buffer, sizeof buffer)) > 0) {
    write(1, buffer, nbytes);
} else {
    perror("read"); exit(1);
}
```

- Bei TCP bzw. *SOCK_STREAM* erfolgte implizit bereits ein Austausch von Paketen durch die Systemaufrufe *listen* und *connect*.
- Bei UDP bzw. *SOCK_DGRAM* fällt dies weg. Der Systemaufruf *connect* hat hier nur die Funktion, dass eine Socket fest mit einer Adresse verbunden wird, d.h. es kann anschließend wie gewohnt *read* und *write* verwendet werden ohne eine weitere Spezifikation der Adresse.
- Wenn *connect* wegfällt, muss die Adresse beim Paketversand immer angegeben werden.
- Da *connect* bei *SOCK_DGRAM* noch nicht zum Austausch von Paketen führt, kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht festgestellt werden, ob die Gegenseite den Dienst überhaupt anbietet. Das stellt sich erst (mit etwas Glück) bei einem anschließenden *write* heraus.
- Anders als bei TCP bzw. *SOCK_STREAM* kann das Versenden leerer Pakete sinnvoll sein.

timeclient2.c

```
/* receive response */
struct pollfd pollfds[1] = { { .fd = fd, .events = POLLIN} };
unsigned int attempts = 0;
while (attempts < 10 &&
       poll(pollfds, 1, 100 /* milliseconds */) == 0) {
    ++attempts;
    /* resend package */
    if (send(fd, buffer, 0, 0) < 0) {
        perror("send"); exit(1);
    }
}
if (attempts < 10) {
    if ((nbytes = recv(fd, buffer, sizeof buffer, 0)) > 0) {
        write(1, buffer, nbytes);
    } else {
        perror("recv");
    }
}
```

- UDP-Pakete können verloren gehen. Entsprechend sollte damit gerechnet werden, dass keine Antwort auf eine Anfrage eingeht. Entsprechend ist es sinnvoll, mehrere Versuche einzuplanen.

- Neben *AF_INET* und *AF_INET6* wird durch den POSIX-Standard auch noch *AF_UNIX* genannt.
- *PF_UNIX* bzw. *AF_UNIX* stehen für UNIX-Domain-Sockets.
- Ähnlich zu den Pipes bieten sie eine Interprozess-Kommunikation innerhalb eines Rechners auf Basis der BSD-Socket-Schnittstelle an.
- Anders als Pipes sind sie bidirektional.
- Als Adresse wird ein Dateiname verwendet. Eine Socket-Datei wird durch einen entsprechenden *bind*-Systemaufruf implizit erzeugt. Die Datei wird aber nicht automatisch entfernt, wenn der Dienst endet.
- Das Dateisystem kann hier den Zugriffsschutz übernehmen.

- Für UNIX-Domain-Sockets gibt es aus **#include** `<sys/un.h>` die Datenstruktur **struct** `sockaddr_un` mit folgenden Komponenten:
 - `sa_family_t sun_family` Adressfamilie, hier immer `AF_UNIX`
 - char** `sun_path[]` Pfadname der Socket-Datei
- Die maximale Länge des Pfadnamens ist sehr begrenzt, typischerweise liegt das Limit bei ca. 100 Bytes.
- Bei `bind` kann ein Zeiger auf eine entsprechende Datenstruktur übergeben werden.
- Noch einfacher ist es, die Funktion `parse_hostport` entsprechend zu erweitern, so dass auch Pfadnamen unterstützt werden.

UNIX-Domain-Sockets können alternativ zu Pipes verwendet werden:

- ▶ Statt *pipe* ist *socketpair* zu verwenden, das analog zwei miteinander verbundene Sockets mit einem Systemaufruf erzeugt:

```
int sfds[2];
if (socketpair(PF_UNIX, SOCK_SEQPACKET, 0, sfds) < 0) {
    /* failure ... */
}
```

- ▶ Typischerweise unterstützt *socketpair* ausschließlich UNIX-Domain-Sockets. Statt *SOCK_SEQPACKET* kann natürlich auch *SOCK_STREAM* oder *SOCK_DGRAM* verwendet werden, wobei letzteres keine Vorteile bietet.
- ▶ Wie bei Pipes sollte jede Seite nur ein Ende verwenden und das andere schließen. Anders als bei Pipes sind beide Enden voll bidirektional.
- ▶ Über UNIX-Domain-Sockets können auch geöffnete Dateideskriptoren versandt werden...

Grundsätzlich können bei Sockets statt *write* und *read* die allgemeineren Systemaufrufe *sendmsg* und *recvmsg* verwendet werden:

- ▶ *ssize_t sendmsg(int socket, const struct msghdr *message, int flags);*
- ▶ Die Datenstruktur **struct msghdr** bietet folgende Komponenten:

void* <i>msg_name</i>	Adresse (optional)
<i>socklen_t msg_namelen</i>	Länge der Adresse
struct iovec* <i>msg_iov</i>	Array mit I/O-Puffern
int <i>msg_iovlen</i>	Länge des Arrays
void* <i>msg_control</i>	Zusatzdaten
<i>socklen_t msg_controllen</i>	Länge der Zusatzdaten
int <i>msg_flags</i>	Flags bei empfangenen Nachrichten

Optional können Zusatzdaten beigefügt werden. Diese Daten werden beidseits inhaltlich interpretiert. Die wichtigste (und wohl einzige portable) Anwendung ist für die Übertragung von Dateideskriptoren:

- ▶ Zusatzdaten bestehen aus mehreren hintereinander liegenden Datenbereichen, bei der jeder Bereich mit der Header-Datenstruktur **struct *cmsghdr*** beginnt.
- ▶ Header-Datenstruktur:
socklen_t cmsg_len Länge der Zusatzdaten einschließlich des Headers

int *cmsg_level* Protokollebene
int *cmsg_type* Art der Zusatzdaten
- ▶ Für Dateideskriptoren sollte *cmsg_level* auf *SOL_SOCKET* und *cmsg_type* auf *SCM_RIGHTS* gesetzt werden.

transmit_fd.c

```
struct fd_msg {
    struct cmsghdr cm;
    int fd;
};

ssize_t send_fd_and_message(int sfd, int fd, void* buf, size_t buflen) {
    struct fd_msg msg = {
        .cm = {
            .cmsgh_len = sizeof cmsg,
            .cmsgh_level = SOL_SOCKET,
            .cmsgh_type = SCM_RIGHTS
        },
        .fd = fd
    };
    struct iovec iovec[1] = {
        {
            .iov_base = buf,
            .iov_len = buflen
        }
    };
    struct msghdr msg_hdr = {
        .msg_iov = iovec,
        .msg_iovlen = sizeof(iovec)/sizeof(iovec[0]),
        .msg_control = &msg.cm,
        .msg_controllen = sizeof cmsg,
    };
    return sendmsg(sfd, &msg_hdr, /* flags = */ 0);
}
```

transmit_fd.c

```
ssize_t recv_fd_and_message(int sfd, int* fd_ptr, void* buf, size_t buflen) {
    struct fd_cmsg cmsg = {{0}};
    struct iovec iovec[1] = {
        {
            .iov_base = buf,
            .iov_len = buflen
        }
    };
    struct msghdr msg = {
        .msg_iov = iovec,
        .msg_iovlen = sizeof(iovec)/sizeof(iovec[0]),
        .msg_control = &cmsg.cm,
        .msg_controllen = sizeof cmsg,
    };
    ssize_t nbytes = recvmsg(sfd, &msg, MSG_WAITALL);
    if (nbytes < 0) return -1;
    if (fd_ptr) *fd_ptr = cmsg.fd;
    return nbytes;
}
```

hostport.c

```
bool parse_hostport(char* input, hostport* hp, in_port_t defaultport) {
    if (input[0] == '/' || input[0] == '.') {
        /* special case: UNIX domain socket */
        hp->domain = PF_UNIX;
        hp->protocol = 0;
        struct sockaddr_un* sp = (struct sockaddr_un*) &hp->addr;
        sp->sun_family = AF_UNIX;
        strncpy(sp->sun_path, input, sizeof sp->sun_path);
        hp->namelen = sizeof(struct sockaddr_un);
        return true;
    }
    // regular hostports ...
}
```

- Wegen der objekt-orientierten Socket-Schnittstelle genügt eine entsprechende Erweiterung der *parse_hostport*-Funktion, um UNIX-Domain-Sockets zu unterstützen.

```
thales$ ls
MXP          lockmanager.o  mxprequest.c   mxpresponse.h  mxpsession.o
Makefile     mutexd         mxprequest.h   mxpresponse.o
lockmanager.c mutexd.c       mxprequest.o   mxpsession.c
lockmanager.h mutexd.o       mxpresponse.c  mxpsession.h
thales$ mutexd ./socket &
[1] 3000
thales$ ls -l socket
srwxrwxr-x 1 borchert sai 0 Jul  6 13:42 socket
thales$ cd ../connect
thales$ connect ../mutexd-multiplexed/socket
S
id Andreas
Swelcome
quit
thales$
```

- Für interaktiv nutzbare Netzwerkdienste stand *telnet* zur Verfügung. Dieser lässt sich aber nicht für UNIX-Domain-Sockets verwenden.
- Entsprechend wird ein verallgemeinerter Ansatz namens *connect* benötigt...

connect.c

```
int main(int argc, char** argv) {
    char* cmdname = *argv++; --argc;
    if (argc != 1) {
        fprintf(stderr, "Usage: %s hostport\n", cmdname);
        exit(1);
    }
    char* hostport_string = *argv++; --argc;
    hostport hp;
    if (!parse_hostport(hostport_string, &hp, 0)) {
        fprintf(stderr, "%s: invalid hostport: %s\n", cmdname,
                hostport_string);
        exit(1);
    }
    int sfd = socket(hp.domain, SOCK_STREAM, hp.protocol);
    if (sfd < 0) {
        perror("socket"); exit(1);
    }
    if (connect(sfd, (struct sockaddr*) &hp.addr, hp.namelen) < 0) {
        perror(hostport_string); exit(1);
    }
    // ...
}
```



```
struct pollfd fds[] = {
    {sfd, POLLIN, 0}, /* wait for input from the socket */
    {0, POLLIN, 0}, /* wait for input from stdin */
};
char buf[BUFSIZ];
while (poll(fds, sizeof(fds)/sizeof(fds[0]), -1) > 0) {
    for (int index = 0; index < sizeof(fds)/sizeof(fds[0]); ++index) {
        if (fds[index].revents) {
            ssize_t nbytes = read(fds[index].fd, buf, sizeof buf);
            if (nbytes < 0) { perror("read"); exit(1); }
            if (nbytes == 0) exit(0);
            int outfd = (index == 0? 1: sfd);
            size_t written = 0;
            while (written < nbytes) {
                ssize_t outbytes = write(outfd,
                    buf + written, nbytes - written);
                if (outbytes < 0) {
                    perror("write"); exit(1);
                }
                written += outbytes;
            }
        }
    }
}
```

Es gibt zahlreiche Techniken zur lokalen Kommunikation und Synchronisation:

- ▶ *pipe*: unidirektional, Prozesse müssen miteinander verwandt sein.
- ▶ Benannte Pipes: über das Dateisystem, die Pipe-Datei muss explizit angelegt werden.
- ▶ UNIX-Domain-Sockets: bidirektional, deutlich einfacher im Vergleich zu benannten Pipes.
- ▶ Message Queues mit *msgsnd*, *msgrcv* etc. – sehr unhandlich wie alle System-V-IPC-Mechanismen
- ▶ Gemeinsame Speicherbereiche mit *mmap* – da fehlt noch die Synchronisierung...

- Speicherbereiche können auch von nicht miteinander verwandten Prozessen gemeinsam genutzt werden.
- Hierzu genügt es, mit *mmap* eine Datei in den eigenen Speicherbereich abzubilden.
- Vorteil: Das Hin- und Herkopieren kann minimiert werden.
- Nachteile:
 - ▶ Die Größe des gemeinsamen Speicherbereichs wird zu Beginn festgelegt. Dieser kann später nicht ohne weiteres wachsen.
 - ▶ Die Synchronisierung muss auf irgendeine andere Weise erreicht werden.

Zur Synchronisation von Prozessen auf dem gleichen Rechner bieten sich u.a. folgende Techniken an:

- ▶ Über das Dateisystem, etwa mit *link* (siehe erstes *mutexd*-Beispiel) oder mit *flock*. Nachteil: Wie warten wir darauf, dass uns der Partner etwas mitgeteilt hat?
- ▶ Semaphores aus dem System-V-IPC-Mechanismen (ebenso sehr unhandlich). Nachteil wie oben.
- ▶ Andere Kommunikation mit impliziter Synchronisierung
- ▶ Mutex- und Bedingungsvariablen der POSIX-Threads-Schnittstelle

Letzteres ist vielleicht überraschend. Interessanterweise können Mutex- und Bedingungsvariablen der POSIX-Threads-Schnittstelle auch von mehreren Prozessen mit Hilfe gemeinsamer Speicherbereiche genutzt werden.

```
#include <pthread.h>
// ...
Mutex* mutex; // zeigt in gemeinsamen Speicher
// ...
pthread_mutexattr_t mxattr;
pthread_mutexattr_init(&mxattr);
CHECK(pthread_mutexattr_setpshared, &mxattr, PTHREAD_PROCESS_SHARED);
CHECK(pthread_mutex_init, mutex, &mxattr);
pthread_mutexattr_destroy(&mxattr);
```

- Mit Hilfe von Mutex-Variablen können mehrere Parteien sichergehen, dass nur ein Prozess Zugang zu einer Ressource hat.
- Eine Mutex-Variable wird mit `pthread_mutex_init` initialisiert. `CHECK` ist hier ein Makro, das auf Fehler reagiert.
- Als einziges Attribut wird hier `PTHREAD_PROCESS_SHARED` gesetzt. Dies muss gesetzt sein, wenn die Mutex-Variable von mehreren Prozessen gemeinsam genutzt wird.
- Mit `pthread_mutex_destroy` wird sie wieder freigegeben.

```
pthread_mutex_destroy(mutex);
```

```
CHECK(pthread_mutex_lock, mutex);
```

- Durch den Aufruf von *pthread_mutex_lock* wird der Aufrufer blockiert, bis die Mutex-Variable frei ist.
- Danach ist sie vom Aufrufer belegt, bis sie mit *pthread_mutex_unlock* wieder freigegeben wird.

```
CHECK(pthread_mutex_unlock, mutex);
```

```
pthread_cond_t* condition; // zeigt auf gemeinsamen Speicher

pthread_condattr_t condattr;
pthread_condattr_init(&condattr);
CHECK(pthread_condattr_setpshared, &condattr, PTHREAD_PROCESS_SHARED);
CHECK(pthread_cond_init, condition, &condattr);
pthread_condattr_destroy(&condattr);
```

- Bedingungsvariablen erlauben es, auf ein Ereignis zu warten, das durch eine andere Partei signalisiert wird.
- Hier ist ebenso bei der Initialisierung wichtig, dass das Attribut *PTHREAD_PROCESS_SHARED* gesetzt wird.
- Die Freigabe erfolgt mit *pthread_cond_destroy*.

```
pthread_cond_destroy(condition);
```

```
CHECK(pthread_cond_wait, condition, mutex);
```

- Die Operation *pthread_cond_wait* erfolgt immer in Verbindung mit einer Mutex-Variablen, die bereits mit *pthread_mutex_lock* reserviert sein muss.
- In einer atomaren Operation wird dann die Mutex-Variable freigegeben und der aufrufende Prozess (bzw. Thread) in die zugehörige Warteschlange eingereiht.
- Mit *pthread_cond_signal* weckt einen Prozess aus der Warteschlange auf (falls vorhanden). Alternativ gibt es auch die Operation *pthread_cond_broadcast*, mit der alle aus der Warteschlange aufgeweckt werden.

```
CHECK(pthread_cond_signal, condition);
```