System-Programmierung 10: POSIX IPC

Ablauf heute

½ Vorlesung,

½ Hands-on,

Feedback.

Slides, Code & Hands-on: tmb.gr/syspr-10

POSIX IPC

POSIX steht für Portable Operating System Interface und ist eine Sammlung von IEEE Standards mit dem Ziel portable Anwendungen zu ermöglichen.

Die Mechanismen für Interprozesskommunikation in POSIX umfassen *Message Queues*, *Semaphore* und *Shared Memory*.

POSIX Message Queues

Eine *Message Queue* erlaubt es, Messages von einem Prozess an einen anderen zu übertragen.

Jede Leseoperation liest eine ganze *Message*, wie sie vom schreibenden Prozess geschrieben wurde.

POSIX Messages haben neben der Payload auch eine *Priorität* und "high prioriy" Messages können in der Queue nach vorne rücken.

Message Queue öffnen mit *mq_open()*

Message Queue mit Name *name*, Flags *oflag* öffnen:

```
mqd_t mq_open(const char *name, int oflag /*,
  mode_t mode, // diese 2 Argumente braucht es
  struct mq_attr *attr */); // nur bei O_CREAT
```

Wobei *oflag* einen der folgenden Werte haben muss:

`O_RDONLY, O_WRONLY, O_RDWR`

Dieser kann verodert werden mit folgenden Flags:

`O_CLOEXEC, O_CREAT (und O_EXCL), O_NONBLOCK`

Message Queue Attribute in *mq_attr*

Die Calls *mq_open()*, *mq_getattr()* und *mq_setattr()* nutzen *struct mq_attr* für Message Queue Attribute:

```
struct mq_attr {
  long mq_flags; // Ignoriert bei mq_open()
  long mq_maxmsg; // Max. Anzahl Messages
  long mq_msgsize; // Message Grösse in Bytes
  long mq_curmsgs; // Aktuelle Anz. Messages,
};                 // ignoriert bei mq_open()
```

Attribute setzen bei *mq_open()*

Default Attribute setzen mit *attr* = *NULL*.

Oder Attribute explizit setzen, z.B. mit:

```
struct mq_attr attr;
attr.mq_maxmsg = 3; // ≤ HARD_MSGMAX
attr.mq_msgsize = 1024;
mqd_t mqd = mq_open("/mq", O_RDWR|O_CREAT,
S_IRUSR|S_IWUSR, &attr);
```

Alle anderen Attribute in *attr* werden ignoriert.

Message Queue schliessen mit *mq_close()*

Message Queue *mqd* schliessen:

```
int mq_close( // 0 oder -1, errno
  mqd_t mqd); // Message Queue Deskriptor
```

mq_close() gibt den Deskriptor frei, löscht aber die Message Queue nicht, wie bei File Deskriptoren.

Beim Beenden des Prozesses und wenn *exec()* aufgerufen wird, wird *mq_close()* automatisch ausgeführt.

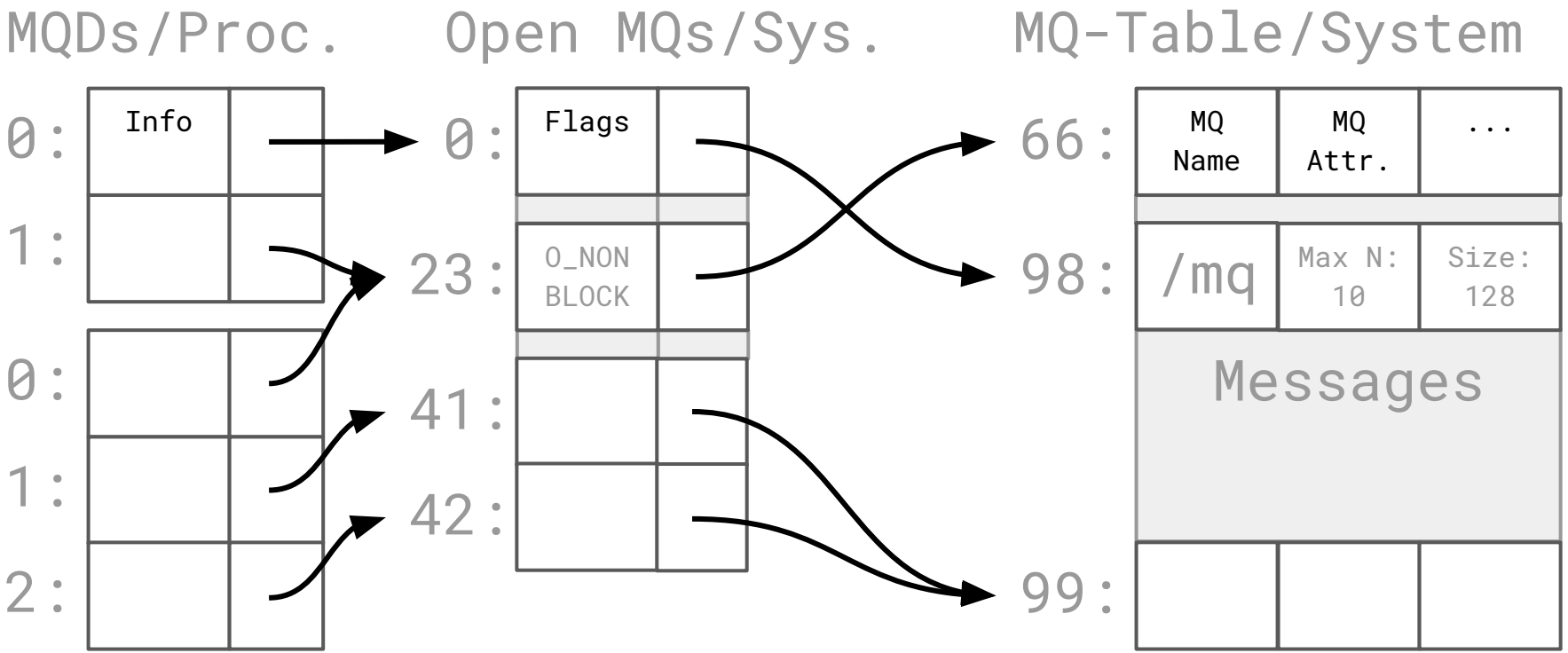
Message Queue löschen mit *mq_unlink()*

Message Queue Tabelleneintrag von *name* löschen:

```
int mq_unlink( // 0 oder -1, errno
  const char *name); // Message Queue Name
```

Sobald keine Message Queue Deskriptoren mehr auf die Message Queue *name* zeigen, wird sie gelöscht.

Message Queue Tabellen im Kernel



Attribute lesen mit *mq_getattr()*

Attribute *attr* der Message Queue *mqd* auslesen:

```
int mq_getattr( // 0 oder -1, errno
  mqd_t mqd, // Message Queue Deskriptor
  struct mq_attr *attr);
```

Der Wert *attr.mq_curmsgs* enthält die aktuelle Anzahl Messages in der Message Queue.

Attribute setzen mit *mq_setattr()*

Attribute *old_attr* durch *new_attr* ersetzen in *mqd*:

```
int mq_setattr( // 0 oder -1, errno
  mqd_t mqd, // Message Queue Deskriptor
  const struct mq_attr *new_attr,
  struct mq_attr *old_attr); // kann NULL sein
```

Der Wert *new_attr.mq_flags* muss entweder `0` oder *O_NONBLOCK* sein, weitere Attribute sind read-only, bzw. nur beim Kreieren mit *mq_open()* setzbar.

Message senden mit *mq_send()*

Message *msg* senden an Message Queue *mqd*:

```
int mq_send( // 0 oder -1, errno
  mqd_t mqd, // Message Queue Deskriptor
  const char *msg, // Message Inhalt
  size_t msg_len, // 0 ≤ msg_len ≤ mq_msgsize
  unsigned int msg_prio); // 0 ≤ msg_prio
```

Messages mit hoher Priorität springen in der Message Queue nach vorne, d.h. Sie werden eher empfangen.

Message empfangen mit *mq_receive()*

Message *msg* empfangen aus Message Queue *mqd*:

```
ssize_t mq_receive( // # Bytes oder -1, errno
  mqd_t mqd, // Message Queue Deskriptor
  char *msg, // Zeiger auf Buffer für Message
  size_t msg_len, // mq_getattr() => mq_msgsize
  unsigned int *msg_prio); // gibt Prio. raus
```

mq_receive() blockiert, falls keine Message verfügbar.

Hands-on, 15': Message Queues

Lesen Sie die folgenden [TLPI] Beispiel Programme:
`pmsg_create.c`, `pmsg_getattr.c`, `pmsg_unlink.c`, `pmsg_send.c` und `pmsg_receive.c`

Testen Sie eine Message Queue mit den Kommandos:

```
$ ./pmsg_create -cx /my_mq
$ ./pmsg_send /my_mq "my msg a" 0 # Prio. 0
$ ./pmsg_send /my_mq "my msg b" 1 # >0 => Skip
$ ./pmsg_receive /my_mq # Blockierend
$ ./pmsg_unlink /my_mq
```

Notification registrieren mit *mq_notify()*

Die Funktion *mq_notify()* registriert den aufrufenden Prozess für eine Notification bei der ersten Message:

```
int mq_notify( // 0 oder -1, errno
  mqd_t mqd, // Message Queue Deskriptor
  const struct sigevent *e); // NULL = Löschen
```

Die Registrierung muss nach jeder Notification neu erstellt werden, bei *mq_close()* wird sie aufgehoben.

Notification Attribute in *struct sigevent*

```
union sigval {int sival_int; void *sival_ptr;};
struct sigevent {
  int sigev_notify; // SIGEV_NONE|SIGNAL|THREAD
  int sigev_signo; // Notification Signal
  union sigval sigev_value; // Übergebene Daten
  void (*sigev_notify_function) (union sigval);
  void *sigev_notify_attributes; // Thread attr
  pid_t sigev_notify_thread_id; // Thread ID
}; // SIGEV_THREAD => wie pthread_create()
```

Hands-on, 15': Notifications

Lesen Sie die folgenden [TLPI] Beispiel Programme:
`mq_notify_via_signal.c`, `mq_notify_via_thread.c`

Testen sie Notifications mit den Kommandos:

```
$ ./pmsg_create -cx /my_mq
$ ./mq_notify_via_signal /my_mq # bzw. _thread
$ ./pmsg_send /my_mq "my msg a" 0 # Prio. 0
$ ./pmsg_send /my_mq "my msg b" 0
$ ./pmsg_unlink /my_mq
```

Message Queue Verwaltung in Linux

Linux implementiert POSIX Message Queues als Files in einem virtuellen Filesystem, das *mount*-bar ist:

```
$ mkdir /dev/mqueue
$ sudo mount -t mqueue none /dev/mqueue
$ exit
```

So kann man Queues bzw. Messages mit *ls* auflisten:

```
$ ls -ld /dev/mqueue
$ cat /dev/mqueue/my_mq
```

POSIX Semaphore

Semaphore erlauben es mehreren Prozessen, ihre Aktionen zu synchronisieren, mit "Kernel-Variablen".

Ein *Semaphor* ist eine Zahl deren Wert nicht unter 0 fallen kann. Beim Dekrementieren eines Semaphors das `0` ist, wird der Aufrufer vom Kernel blockiert.

Sobald ein anderer Prozess das Semaphor wieder erhöht, kann der blockierte Prozess weiterlaufen.

Named Semaphore

Benannte (named) Semaphore haben einen Namen, mit *sem_open()* können zwei beliebige Prozesse dasselbe Sempahor gemeinsam verwenden.

POSIX IPC Namen beginnen mit einem '/', gefolgt von *('a'-'z'|'_')**, für Semaphore ist *NAME_MAX* bzw. 255 minus 4 Zeichen das Limit, weil das System den Präfix "*sem.*" davor hängt.

Semaphor öffnen mit *sem_open()*

Named Semaphor *name* öffnen mit *sem_open()*:

```
sem_t *sem_open( // oder SEM_FAILED bei Error
  const char *name, // z.B. "/my_sem"
  int oflag /*, // 0 oder O_CREAT ( | O_EXCL)
  mode_t mode, // z.B. S_IRUSR, falls O_CREAT
  unsigned int value*/); // > 0, falls O_CREAT
```

Beispiel, bestehendes Semaphor */my_sem* öffnen:

```
sem_t sem = sem_open("/my_sem", 0);
```

Semaphor schliessen und löschen

Semaphor *sem* schliessen mit *sem_close()*:

```
int sem_close( // 0 oder -1, errno
  sem_t *sem); // Semaphor
```

Semaphor löschen mit *sem_unlink()*:

```
int sem_unlink( // 0 oder -1, errno
  const char *name);
```

Beide mit *-pthread* kompilieren.

Auf Semaphor warten mit *sem_wait()*

Semaphor *sem* um 1 reduzieren mit *sem_wait()*:

```
int sem_wait(sem_t *sem); // blockierend
int sem_trywait(sem_t *sem); // non-blocking
int sem_timedwait(sem_t *sem, // mit Timeout
  const struct timespec *abs_timeout);

struct timespec {
  time_t tv_sec; // Sekunden
  long tv_nsec; // Nanosekunden
};
```

Semaphor erhöhen mit *sem_post()*

Semaphor *sem* um 1 erhöhen mit *sem_post()*:

```
int sem_post( // 0 oder -1, errno
  sem_t *sem);  // Semaphor
```

Falls das Semaphor dadurch > `0` wird, und bereits ein anderer Prozess am Warten ist, wird dieser geweckt.

Falls der maximale Wert des Semaphors erreicht ist, gibt es beim nächsten Mal den Fehler *EOVERFLOW*.

Wert eines Semaphors auslesen

Wert des Semaphors *sem* auslesen in *value* rein:

```
int sem_getvalue( // 0 oder -1, errno
  sem_t *sem,// Semaphor
  int *value);
```

Falls *N* andere Prozesse mit *sem_wait()* am Warten sind, liefert Linux `0`, andere Implementierungen -*N*.

Hands-on, 15': Semaphore

Lesen Sie die folgenden [TLPI] Beispiel Programme:
`psem_create.c`, `psem_wait.c`, `psem_getvalue.c`, `psem_post.c` und `psem_unlink.c`

Testen Sie ein Semaphor mit den Kommandos:

```
$ ./psem_create -c /my_sem 600 0
$ ./psem_wait /my_sem &
$ ./psem_getvalue /my_sem
$ ./psem_post /my_sem
$ ./psem_unlink /my_sem
```

Unbenannte Semaphore

Unbenannte (unnamed) Semaphore befinden sich an einer vereinbarten Speicherstelle. Sie können von Prozessen mit Shared Memory oder von Threads, via Heap oder globalen Speicher, geteilt werden.

Dazu wird vom Prozess eine Variable vom Typ *sem_t* alloziert, mit *sem_init()* initialisiert und zum Schluss mit *sem_destroy()* gelöscht. Der Rest ist wie vorher.

Semaphor initialisieren mit *sem_init()*

Semaphor *sem* initialisieren mit *sem_init()*:

```
int sem_init( // 0 oder -1, errno
  sem_t *sem, // Semaphor
  int pshared, // 0: Threads, sonst Shared Mem.
  unsigned int value); // Semaphor-Initialwert
```

Diese Funktion ist nur für *unnamed* Semaphore, das Resultat *sem* kann aber "normal" mit *sem_getvalue()*, *sem_wait()* und *sem_post()* verwendet werden.

Semaphor löschen mit *sem_destroy()*

Semaphor *sem* löschen mit *sem_destroy()*:

```
int sem_destroy( // 0 oder -1, errno
  sem_t *sem); // Semaphor
```

Diese Funktion ist speziell für *unnamed* Semaphore, dafür braucht es dann keinen Aufruf von *sem_close()* oder *sem_unlink()* weil es keinen Deskriptor gibt.

Named vs. unnamed Semaphore

Unnamed Semaphore können zwischen Threads im selben Prozess verwendet werden, ohne einen Namen.

Zudem können unnamed Semaphore vom Parent zu einem Child Prozess "vererbt" werden, mit *fork()*.

Die Speicherverwaltung für unnamed Semaphore ist manchmal einfacher als die Verwaltung von Namen, das Semaphor kann Teil z.B. eines Baums sein.

Vergleich von Semaphoren und Mutex

Sowohl Semaphore als auch Mutexe können genutzt werden, um zwischen Threads zu synchronisieren.

Allerdings erzwingen nur Mutexe, dass *unlock()* vom selben Prozess aufgerufen wird wie *lock()*.

Dafür darf die *sem_post()* Funktion auch aus einem Signal-Handler heraus aufgerufen werden.

POSIX Shared Memory

Shared Memory ist gemeinsam genutzter Speicher, auf den mehrere Prozesse gleichzeitig Zugriff haben.

Ein *POSIX Shared Memory Objekt* erlaubt Prozessen Speicher zu teilen, ohne ein Disk File zu erstellen.

Shared Memory ist für alle Prozesse sichtbar, die sich den Speicher teilen, das Lesen ist nicht destruktiv.

Shared Memory Objekt kreieren

Shared Memory Objekt kreieren mit *shm_open()*:

```
int shm_open( // File Deskriptor od. -1, errno
  const char *name, // POSIX Name
  int oflag, // O_RDWR oder O_RDONLY, |…
  mode_t mode); // wie bei File open()
```

Der "File" Deskriptor kann normal verwendet werden, insbesondere auch mit *mmap()* und *ftruncate()*.

Grösse setzen mit *ftruncate()*

Shared Memory Objekt Grösse setzen mit *ftruncate()*:

```
int ftruncate(int fd, off_t length);
```

Nach dem Erzeugen mit *shm_open()* hat das Shared Memory Objekt "File" die Grösse `0`.

Shared Memory Objekt mappen

Shared Memory Objekt in den Speicher mappen:

```
void *mmap( // Speicheradresse oder MAP_FAILED
  void *addr, // NULL => Kernel-alloziert
  size_t length, // Grösse
  int prot, // z.B. PROT_READ|PROT_WRITE
  int flags, // z.B. MAP_SHARED
  int fd, // Shared Memory File Deskriptor
  off_t offset); // z.B. 0
```

Shared Memory schreiben

Nach dem Öffnen und Mappen des Shared Memory Objekts kann man *addr* direkt schreiben, z.B.:

```
char *buf = "hello";
int fd = shm_open(name, O_RDWR, 0);
size_t len = sizeof(buf) * sizeof(buf[0]);
ftruncate(fd, len);
void *addr = mmap(NULL, len,
  PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);
memcpy(addr, buf, len);
```

Shared Memory lesen

Nach dem Öffnen und Mappen des Shared Memory Objekts kann man direkt von *addr* lesen, z.B.:

```
int fd = shm_open(name, O_RDWR, 0);
struct stat sb;
fstat(fd, &sb); // (Shared Memory) File Stats
int len = sb.st_size; // File Grösse
char *addr = mmap(NULL, len,
  PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);
write(STDOUT_FILENO, addr, len); // liest a.
```

Shared Memory Objekt löschen

Shared Memory Objekt löschen mit *shm_unlink()*:

```
int shm_unlink( // 0 oder -1, errno
  const char *name);
```

Entfernt den Namen. Das Objekt selbst besteht weiter, bis alle Prozesse es mit *munmap()* freigegeben haben.

Das Objekt *name* kann nicht mehr mit *shm_open()* geöffnet werden; bloss neu erzeugt, mit O_CREAT.

Hands-on, 15': Shared Memory

Lesen Sie die folgenden [TLPI] Beispiel Programme: `pshm_create.c`, `pshm_write.c`, `pshm_read.c` und `pshm_unlink.c`

Testen Sie Shared Memory mit den Kommandos:

```
$ ./pshm_create -c /my_shm 0
$ ls -l /dev/shm
$ ./pshm_write /my_shm "hello"
$ ./pshm_read /my_shm
$ ./pshm_unlink /my_shm
```

Selbststudium, 3h: Message Queues

Zur Vertiefung der heutigen Lektion, lesen Sie im Buch [TLPI] *Chapter 52: POSIX Message Queues*.

(Das PDF des Kapitels 52 ist verfügbar als Teil der offiziellen "Downloadable samples from the book".)

Den Rest nutzen Sie am besten zum Repetieren, als Vorbereitung auf das zweite Assessment.

Feedback oder Fragen?

Gerne auf https://fhnw-syspr-fs20.slack.com/

Oder per Email an thomas.amberg@fhnw.ch

Slides, Code & Hands-on: tmb.gr/syspr-10