System-Programmierung 14: Terminals

n|w

Ablauf heute

½ Vorlesung,

½ Hands-on,

Feedback.

Slides, Code & Hands-on: tmb.gr/syspr-14

Terminals

Terminals ermöglichen Input und Output von ASCII-Zeichen an der Schnittstelle von User und Computer.

Historisch erfolgte der Zugriff auf UNIX Systeme via Serial RS-232 Verbindung. Terminals waren Röhren-Bildschirme mit Tastatur, wie das DEC VT100. Diese waren typischerweise 24 Zeilen zu 80 Zeichen gross.

Heute emulieren *Pseudoterminals* diese Funktion.

n|w

TTY Devices

Schon auf frühen UNIX Systemen wurden "Teletype" Geräte, d.h. Fernschreiber, mit /dev/tty*n* bezeichnet.

Auf Linux sind /dev/tty*n* Devices virtuelle Konsolen.

Besonders am Anfang waren Terminal Geräte nicht standardisiert, Zeichenfolgen um z.B. den Cursor zu bewegen, waren je nach Gerät verschieden.

n|w

curses Library

Um *Escape Sequenzen* zu abstrahieren, und dadurch eine geräteunabhängige Terminal-Programmierung zu ermöglichen, wurde die *curses* Library entwickelt.

Diese Bibliothek ist also eine Art Treiber für Terminal Geräte. Heute ist sie nützlich, um ASCII-basierte UIs zu entwickeln, z.B. für eingebettete Linux Computer.

Auf Linux heisst die (*new*) *curses* Library ncurses.

n|w

Hands-on, 45': *curses* Library

Lesen Sie diese PDF Tutorials zur *curses* Bibliothek: http://heather.cs.ucdavis.edu/~matloff/UnixAndC/CLanguage/Curses.pdf und zu Games mit ncurses.

Kompilieren und testen Sie die Beispielprogramme:

```
$ sudo apt-get install libncurses5-dev
$ gcc -o NAME NAME.c -lcurses
```

Schreiben Sie ein eigenes Programm mit *ncurses*.

n|w

Input Modes

Terminals arbeiten in einem von zwei *Input Modes*:

Im *Canonical Mode* wird Terminal Input zeilenweise verarbeitet, nach dem Drücken der ENTER Taste. Ein *read()* blockiert jeweils, bis eine ganze Zeile bereit ist.

Im *Noncanonical Mode* wird Terminal Input zeichenweise gelesen, ohne ENTER, z.B. in Editoren wie *vi*.

n|w

Terminal Treiber

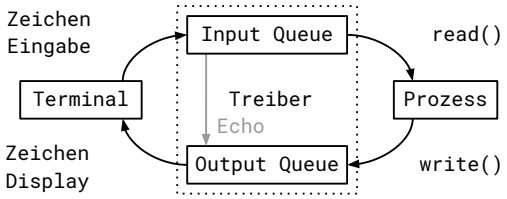
Der Input Mode und die Interpretation von Steuerzeichen wie CTRL-C (*interrupt*) oder CTRL-D (*EOF*) werden im *Terminal Treiber* festgelegt.

Ein Terminal Treiber hat Queues für In- und Output.

Wenn die *Echo* Funktionalität eingeschaltet ist, wird jedes Zeichen Input auf die Output Queue kopiert.

n|w

Terminal Setup



n|w

Terminal Attribute lesen mit *tcgetattr()*

Terminal Attribute lesen mit dem *tcgetattr()* Call:

```
int tcgetattr(int tty_fd, struct termios *t);
```

Nach dem Aufruf stehen die aktuellen Attribute in *t*.

Im Fehlerfall ist der *return*-Wert *-1*, Fehler in *errno*.

Nach temporären Änderungen der Terminal Attribute sollte jeweils der ursprüngliche gelesene Wert wieder erstellt werden, siehe auch *tcsetattr()*.

n|w

Terminal Attribute in *struct termios*

Datenstruktur *struct termios* für Terminal Attribute:

```
struct termios {
  tcflag_t c_iflag; // Input Modes
  tcflag_t c_oflag; // Output Modes
  tcflag_t c_cflag; // Control Modes
  tcflag_t c_lflag; // Local Modes
  cc_t c_cc[NCCS]; // Special Characters
  … // Non-Standard Terminal Attribute
}
```

n|w

Terminal Attribute setzen mit *tcsetattr()*

Terminal Attribute setzen mit dem *tcsetattr()* Call:

```
int tcsetattr( // 0 oder 1, errno
  int tty_fd, // Terminal Device Deskriptor
  int optional_actions, // TSCANOW|DRAIN|FLUSH
  const struct termios *t); // von tcgetattr()
```

Der Parameter *optional_actions* bestimmt, wann die neuen Attribute angewendet werden. Der Parameter *t* sollte immer mit *tcgetattr()* initialisiert werden.

n|w

Verhalten von *tcsetattr()* bei Fehlern

Die *tcsetattr()* Funktion gibt `0` zurück, wenn eines der Attribute im *termios* Struct erfolgreich gesetzt wurde.

Ein Fehler bzw. -1 wird nur gemeldet, wenn keine der verlangten Änderungen durchgeführt werden konnte.

Es ist deshalb gut, Attribute nochmal mit *tcgetattr()* zu lesen, und die Werte mit dem Soll zu vergleichen.

n|w

Das *stty* Kommando

Das *stty* Kommando bietet dieselbe Funktionalität wie *tcgetattr()* und *tcsetattr()* auf der Command-Line:

```
$ stty -a # oder $ sudo stty -a -F /dev/ttyS0
speed 9600 baud; 24 rows; 80 columns; line = 0;
c_cc: intr = ^C; quit = ^\; erase = ^?; …
c_cflag: -parenb … c_iflag: -ignbrk …
c_oflag: opost … c_lflag: echoctl …
```

Ein '-' bedeutet, die Option ist nicht eingeschaltet.

n|w

Terminal Steuerzeichen

CR	Carriage Return	^M	ICANON, IGNCR, ICRNL, OPOST, OCRNL, ONOCR
DISCARD	Discard output	^O	(not implemented)
EOF	End-of-File		ICANON
EOL	End-of-Line		ICANON
EOL2	Alt. End-of-Line	^D	ICANON, IEXTEN
ERASE	Erase character	^?	ICANON
INTR	Interrupt (SIGINT)	^C	ISIG
KILL	Erase line	^U	ICANON
LNEXT	Literal next	^V	ICANON, IEXTEN
NL	Newline	^J	ICANON, INLCR, ECHONL, OPOST, ONLCR, ONLRET
QUIT	Quit (SIGQUIT)	^\	ISIG
REPRINT	Reprint input line	^R	ICANON, IEXTEN, ECHO
START	Start output	^Q	IXON, IXOFF
STOP	Stop output	^S	IXON, IXOFF
SUSP	Suspend (SIGTSTP)	^Z	ISIG
WERASE	Erase word	^W	ICANON, IEXTEN

Interrupt Character ändern new_intr.c TLPI

Beispiel, wie Steuerzeichen geändert werden kann:

```
struct termios t;
int intr_char;
…
tcgetattr(STDIN_FILENO, &t); // STDIN ist tty
tp.c_cc[VINTR] = intr_char; // V{CHAR_NAME}
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSAFLUSH, &t);
```

Danach Default wiederherstellen: `$ stty sane`

n|w

Terminal Flags (*c_iflag*)

BRKINT	Signal interrupt (SIGINT) on BREAK condition	IUTF8	Input is UTF-8
ICRNL	Map CR to NL on input	IUCLC	Map uppercase to lowercase on input (if IEXTEN also set)
IGNBRK	Ignore BREAK condition	IXANY	Allow any character to restart stopped output
IGNCR	Ignore CR on input	IXOFF	Enable start/stop input flow control
IGNPAR	Ignore characters with parity errors	IXON	Enable start/stop output flow control
IMAXBEL	Ring bell when terminal input queue is full (unused)	PARMRK	Mark parity errors (with 2 prefix bytes: 0377 + 0)
INLCR	Map NL to CR on input		
INPCK	Enable input parity checking		
ISTRIP	Strip high bit (bit 8) from input characters		

n|w

Terminal Flags (*c_oflag*)

BSDLY	Backspace delay mask (BS0, BS1)
CRDLY	CR delay mask (CR0, CR1, CR2, CR3)
FFDLY	Form-feed delay mask (FF0, FF1)
NLDLY	Newline delay mask (NL0, NL1)
OCRNL	Map CR to NL on output (see also ONOCR)
OFDEL	Use DEL (0177) as fill character; otherwise NUL (0)
OFILL	Use fill characters for delay (rather than timed delay)
OLCUC	Map lowercase to uppercase on output
ONLCR	Map NL to CR-NL on output
ONLRET	Assume NL performs CR function (move to start of line)
ONOCR	Don't output CR if already at column 0 (start of line)
OPOST	Perform output postprocessing
TABDLY	Horizontal-tab delay mask (TAB0, TAB1, TAB2, TAB3)
VTDLY	Vertical-tab delay mask (VT0, VT1)

n|w

Terminal Flags (*c_cflag*)

CBAUD	Baud (bit rate) mask (B0, B2400, B9600, and so on)
CBAUDEX	Extended baud (bit rate) mask (for rates > 38,400) off
CIBAUD	Input baud (bit rate), if different from output (unused)
CLOCAL	Ignore modem status lines (don't check carrier signal)
CMSPAR	Use "stick" (mark/space) parity
CREAD	Allow input to be received
CRTSCTS	Enable RTS/CTS (hardware) flow control
CSIZE	Character-size mask (5 to 8 bits: CS5, CS6, CS7, CS8)
CSTOPB	Use 2 stop bits per character; otherwise 1
HUPCL	Hang up (drop modem connection) on last close
PARENB	Parity enable
PARODD	Use odd parity; otherwise even

n|w

Terminal Flags (*c_lflag*)

ECHO	Echo input characters
ECHOCTL	Echo control characters visually (e.g., ^L)
ECHOE	Perform ERASE visually
ECHOK	Echo KILL visually
ECHOKE	Don't output a newline after echoed KILL
ECHONL	Echo NL (in canonical mode) even if echoing is disabled
ECHOPRT	Echo deleted characters backward (between \ and /)
FLUSHO	Output is being flushed (unused)
ICANON	Canonical mode (line-by-line) input
IEXTEN	Enable extended processing of input characters
ISIG	Enable signal-generating characters (INTR, QUIT, SUSP)
NOFLSH	Disable flushing on INTR, QUIT, and SUSP
PENDIN	Redisplay pending input at next read (not implemented)
TOSTOP	Generate SIGTTOU for background output
XCASE	Canonical upper/lowercase presentation (unimplemented)

n|w

Terminal Flag ECHO aus no_echo.c[TLPI]

Hier ein Beispiel, wie das *ECHO* Flag disabled wird:

```
struct termios tp, save;
tcgetattr(STDIN_FILENO, &tp);
save = tp; // Am Schluss wiederherstellen
tp.c_lflag &= ~ECHO; // Andere Bits ungeändert
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSAFLUSH, &tp);
… // Echo ist ausgeschaltet
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &save);
```

n|w

Terminal I/O Modes

Canonical und *Noncanonical Mode* ermöglichen eine zeilen- und zeichenweise Verarbeitung von Input.

Cooked, *Cbreak*, und *Raw Mode* sind eine früher verwendete Aufteilung von Terminal I/O Modes, die mit den obigen Modes umgesetzt werden kann.

n|w

Canonical Mode

Canonical Mode wird mit dem *ICANON* Flag gesetzt und steht für zeilenweise Verarbeitung von Input:

Input ist editierbar, bis eine Zeile abgeschlossen wird.

Eine Zeile endet mit *NL*, *EOL*, *EOL2*, *EOF* oder *CR* (falls *ICRNL*), wobei dieses Zeichen (ausser *EOF*) an den Aufrufer von *read()* mit übergeben wird.

n|w

Noncanonical Mode

Noncanonical Mode, *~ICANON*, ist für zeichenweise Verarbeitung, wobei die Attribute *TIME** und *MIN*** das Verhalten von *read()* genauer festlegen:

```
MIN == 0, TIME == 0 // Polling read()
MIN > 0, TIME == 0 // Blocking read()
MIN == 0, TIME > 0 // read() mit Timeout
MIN > 0, TIME > 0 // read(), per Byte Timeout
```

* Timeout in 1/10 s, ** min. Anzahl gelesene Bytes.

n|w

Cooked, Cbreak und Raw Mode

Cooked Mode ist im wesentlichen Canonical Mode, wobei die default Steuerzeichen eingeschaltet sind.

Raw Mode ist das Gegenteil, Noncanonical Mode mit jeglicher Verarbeitung von In-/Output abgeschaltet.

Cbreak Mode ist dazwischen, Noncanonical Mode mit Verarbeitung von Signal-erzeugenden Input-Zeichen. In *curses* gibt es *cbreak()* und *raw()* Funktionen.

n|w

Terminal Line Speed (Bit Rate)

Verschiedene Terminals und Serial Devices übertragen Daten mit verschiedenen Speeds, in *bit/s* oder *baud*.

Diese Calls lesen bzw. setzen die In-/Output Bitrate:

```
speed_t cfgetispeed(const struct termios *t);
speed_t cfgetospeed(const struct termios *t);
int cfsetispeed(struct termios *t, speed_t s);
int cfsetospeed(struct termios *t, speed_t s);
```

Struct *t* wie vorher, Bit-/Baud-Raten siehe termios.

n|w

Terminal Line Control

`0` (BREAK) an *fd* für *duration* Millisekunden senden:

```
int tcsendbreak(int fd, int duration_ms);
```

Blockieren, bis Terminal Output Queue gesendet ist:

```
int tcdrain(int fd);
```

Rest-Inhalt der Input und Output Queue verwerfen:

```
int tcflush(int fd, int queue_selector);
```

Flow-Control regeln, Action `TCO`**`ON`**`|OFF`, `TCI`**`ON`**`|OFF`

```
int tcflow(int fd, int action);
```

n|w

Terminal Fenstergrösse

demo.c[TLPI]

Bei Änderungen der Terminal Fenstergrösse wird das SIGWINCH Signal an den Prozess gesendet.

Die aktuelle Fenstergrösse wird mit *ioctl()* abgefragt:

```
int res = ioctl(fd, TIOCGWINSZ, &ws);
```

```
struct winsize {
    unsigned short ws_row, ws_col; // Linux
    unsigned short ws_xpixel, ws_ypixel;
};
```

n|w

Terminal Identifizierung

tty_id.c

Die Funktionen *isatty()* und *ttyname()* identifizieren File Deskriptoren als Terminals, oder geben `0`, *NULL*.

isatty() prüft, ob File Deskriptor *fd* ein Terminal ist:

```
int isatty(int fd); // 1, falls offener TTY FD
```

ttyname() liefert den TTY Namen des Deskriptors *fd*:

```
char *ttyname(int fd); // z.B. "/dev/pts/0"
```

n|w

Hands-on, 30': Kilo.c Revisited

Analysieren Sie den Source Code dieses Programms: https://github.com/antirez/kilo/blob/master/kilo.c

Welche Terminal-spezifischen Calls werden im Code verwendet und wozu?

(@antirez ist auch der Autor von Redis.)

n|w

Pseudoterminals

Ein *Pseudoterminal* (*PTY*) besteht aus einem *master* Device und einem *subordinate* Device, bidirektional verbunden durch einen IPC Kanal.

Die Terminal "Emulation" geschieht im User-Space.

Dadurch kann ein Terminal-orientiertes Programm auch remote, über ein Netzwerk benutzt werden.

n|w

Master und subordinate Device

Historisch wurden im Zusammenhang mit Pseudo-terminals die Begriffe "master" und "slave" benutzt.

Wir verwenden stattdessen *master/subordinate*, als Adjektive, wie in diesem Style Guide erläutert.

(Eine ähnliche Konvention gab es im Zusammenhang mit Datenbanken, dort sagt man neu master/replica, primary/secondary, oder leader/follower.)

n|w

Terminal-orientierte Programme

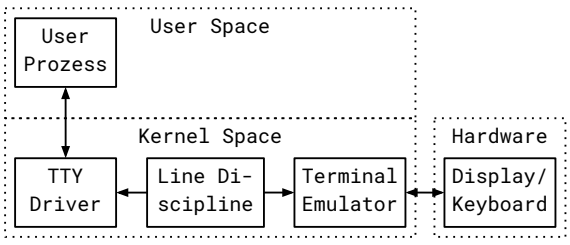
Ein *Terminal-orientiertes* Programm erwartet vom Terminal Driver eine gewisse Input-Vorverarbeitung und Output-Nachbearbeitung (*Line Discipline*).

Und es braucht ein kontrollierendes Terminal, dessen File Deskriptor via */dev/tty* geöffnet werden kann.

Es geht also um Programme, die normalerweise in einer (lokalen) Terminal Session laufen würden.

n|w

Terminal Emulator Setup



n|w

Auslagerung in User-Space

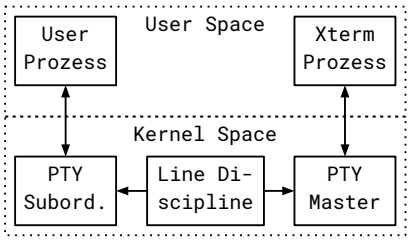
Ein Prozess, der ein Terminal erwartet, kann sich mit dem subordinate Device auf dieselbe Art verbinden, durch öffnen von TTY File Deskriptoren.

Der Prozess kann dann von einem 2. Prozess benutzt werden, der zum PTY master Device verbunden ist.

Beide Prozesse befinden sich im User-Space.

n|w

Pseudoterminal Setup mit Xterm



n|w

Zugriff über ein Netzwerk

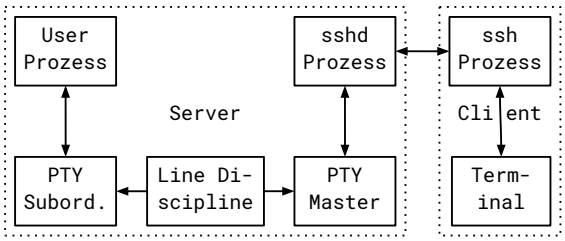
Beim Zugriff über ein Netzwerk ist das Terminal nicht auf demselben Rechner, wie das Ziel-Programm.

Die Verbindung kann nur via Sockets geschehen, aber Terminal-orientierte Programme erwarten ein TTY.

Deshalb braucht es stellvertretend für das Terminal einen Proxy, das subordinate Device bzw. PTY.

n|w

Pseudoterminal Setup mit SSH



n|w

Selbststudium, 3h: Shared Memory

Lesen Sie diese Einführung zu POSIX Semaphoren.

Und diese Einführung zu POSIX Shared Memory.

Falls Zeit bleibt, auch die man Page zu Semaphoren.

Und die man Page zu Shared Memory.

n|w

Feedback?

Gerne im Slack oder an thomas.amberg@fhnw.ch

Programmierfragen am besten schriftlich.

Sprechstunde auf Voranmeldung.

Slides, Code & Hands-on: tmb.gr/syspr-14