

# Praktikum angewandte Systemsoftwaretechnik

## Aufgabe 5

Alexander Würstlein

Lehrstuhl Informatik 4

6. Juli 2017

# Code im Linux-Kern

Der Großteil des Codes im Linux-Kern besteht aus Gerätetreibern:

- Kernkomponenten (Prozessor, IRQ-Controller, Timerbausteine, ... )
  - Werden **immer** für ein funktionales System benötigt
  - Unmittelbarer Teil des Kerns
- Peripheriegeräte
  - Bussysteme: PCI(e), SATA, USB, ...
  - Treiber für einzelne Geräte und Geräteklassen:  
Tastatur, Maus, Grafikkarten, Festplatten, Soundkarten, ...
- Abhängig von der Hardware werden Module für die Geräte geladen

# Code im Linux-Kern

Der Großteil des Codes im Linux-Kern besteht aus Gerätetreibern:

- Kernkomponenten (Prozessor, IRQ-Controller, Timerbausteine, ... )
  - Werden **immer** für ein funktionales System benötigt
  - Unmittelbarer Teil des Kerns
- Peripheriegeräte
  - Bussysteme: PCI(e), SATA, USB, ...
  - Treiber für einzelne Geräte und Geräteklassen:  
Tastatur, Maus, Grafikkarten, Festplatten, Soundkarten, ...
- Abhängig von der Hardware werden Module für die Geräte geladen

## Aufgabe 5

Entwicklung eines Kernaltreibers für ein USB-Gerät

# Entwickeln im Linux-Kern

- Dokumentation ...
  - ... ja, es gibt sie!
  - `Documentation/` enthält Anleitungen, Erklärungen, Beschreibung von Konzepten für die verschiedensten Teile des Linux-Kerns

# Entwickeln im Linux-Kern

- Dokumentation ...
  - ... ja, es gibt sie!
  - `Documentation/` enthält Anleitungen, Erklärungen, Beschreibung von Konzepten für die verschiedensten Teile des Linux-Kerns
- Zusätzlich dazu kann man für große Teile des Linux-Kerns eine Beschreibung der Interfaces ähnlich Doxygen/Javadoc generieren

```
> cd <KERNEL_SOURCES >  
> make htmldocs
```

Die gebaute Dokumentation landet in `Documentation/DocBook/`

# Entwickeln im Linux-Kern

- Dokumentation ...
  - ... ja, es gibt sie!
  - `Documentation/` enthält Anleitungen, Erklärungen, Beschreibung von Konzepten für die verschiedensten Teile des Linux-Kerns
- Zusätzlich dazu kann man für große Teile des Linux-Kerns eine Beschreibung der Interfaces ähnlich Doxygen/Javadoc generieren

```
> cd <KERNEL_SOURCES >  
> make htmldocs
```

Die gebaute Dokumentation landet in `Documentation/DocBook/`

- Für beides gilt: *Always take with a grain of salt*  
Linux hat keine stabile API innerhalb des Kerns
  - Dokumentation kann veralten
  - sich auf eine alte Version des Interfaces beziehen
  - oder schlichtweg falsch sein
- Die beste Dokumentation ist oft der Code von anderen

# Entwickeln im Linux-Kern

- Die meisten Geräte können mehrfach vorhanden sein
  - Daten für die Instanzen müssen dynamisch allokiert werden
  - Beim Entfernen des Gerätes muss man sie dynamisch wieder freigeben
- Dynamische Speicherverwaltung - wie macht man das im Kern?
  - `malloc` und `free` funktionieren im Linux-Kern *nicht einfach so*
  - Dafür gibt es eine eigene API: `kmalloc()`, `kzalloc()`, `kfree()`

# Entwickeln im Linux-Kern

- Die meisten Geräte können mehrfach vorhanden sein
  - Daten für die Instanzen müssen dynamisch allokiert werden
  - Beim Entfernen des Gerätes muss man sie dynamisch wieder freigeben
- Dynamische Speicherverwaltung - wie macht man das im Kern?
  - `malloc` und `free` funktionieren im Linux-Kern *nicht einfach so*
  - Dafür gibt es eine eigene API: `kmalloc()`, `kzalloc()`, `kfree()`
- Wie unterscheidet sich Kernel-Code sonst noch von Userlevel-Code?

[Documentation/DocBook/kernel-hacking/](#)

Guter Einstieg in die Kernel-Entwicklung

Liefert eine Übersicht über die Besonderheiten der Entwicklung von Kernel-Code

[Documentation/DocBook/kernel-api/](#)

Enthält eine Interfacebeschreibung für viele Kernkomponenten und Bibliotheken (u.a. ein Subset der C-Bibliothek)



# Gerätetreiber in Linux – Module

## Ein einfaches Kernelmodul

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h> /* printk*/

int __init simple_module_init(void)
{
    printk("module loaded\n");
}

void __exit simple_module_exit(void)
{
    printk("module unloaded\n");
}

module_init(simple_module_init);
module_exit(simple_module_exit);

MODULE_LICENSE("GPL");
```

simple\_module.c

```
obj-m += simple_module.o

all:
    make -C <KERNEL_SOURCE> \
        M=$(PWD)

clean:
    make -C <KERNEL_SOURCE> \
        M=$(PWD) clean
```

Makefile

# Gerätetreiber in Linux – Module

## Ein einfaches Kernelmodul

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h> /* printk*/

int __init simple_module_init(void)
{
    printk("module loaded\n");
}

void __exit simple_module_exit(void)
{
    printk("module unloaded\n");
}

module_init(simple_module_init);
module_exit(simple_module_exit);

MODULE_LICENSE("GPL");
```

simple\_module.c

## Kann man einfach laden

```
> insmod simple_module.ko
```

```
obj-m += simple_module.o

all:
    make -C <KERNEL_SOURCE> \
        M=$(PWD)

clean:
    make -C <KERNEL_SOURCE> \
        M=$(PWD) clean
```

Makefile

# Gerätetreiber in Linux – Module

## Ein einfaches Kernelmodul

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h> /* printk */

int __init simple_module_init(void)
{
    printk("module loaded\n");
}

void __exit simple_module_exit(void)
{
    printk("module unloaded\n");
}

module_init(simple_module_init);
module_exit(simple_module_exit);

MODULE_LICENSE("GPL");
```

simple\_module.c

## Kann man einfach laden

```
> insmod simple_module.ko
```

```
obj-m += simple_module.o

all:
    make -C <KERNEL_SOURCE> \
        M=$(PWD)

clean:
    make -C <KERNEL_SOURCE> \
        M=$(PWD) clean
```

Makefile

## ... und entladen

```
> rmmod simple_module
```

# Hardware – Universal Serial Bus (USB)

- Asymmetrischer Bus (Baum)
  - Ein *Host* (PC) (Wurzelknoten) und viele *Functions* (angeschlossene Geräte, Blätter)
  - Kommunikation wird ausschließlich vom Host initiiert
  - Geräte können nicht autonom miteinander kommunizieren
- Vier unterschiedliche Kommunikationsmechanismen:
  - *Bulk Transfers*: Aperiodisch; für große Pakete ohne zeitliche Garantien  
z.B. USB-Storage-Device
  - *Interrupt Transfers*: Periodische Kommunikation; begrenzte Antwortzeit  
z.B. Maus, Tastatur
  - *Isochronous Transfers*: Periodische, kontinuierliche Datenströme  
z.B. Webcam
  - *Control Transfers*: Unregelmäßige Anfragen vom PC an das Gerät  
z.B. Enumeration Sequence
- Geschwindigkeitsstufen
  - Low-Speed bis Super-Speed+
  - 1,5 Mbit/s bis 10 Gbit/s

# Gerätetreiber in Linux - USB-Geräte

- Tiefere Ebenen des USB-Protokolls sind in Form eines Host-Controller-Treibers (HCD) schon implementiert
- Benutzung der unterschiedlichen USB-Transferarten direkt möglich
- Diese Funktionalität kann über `<linux/usb.h>` eingebunden werden
- Writing USB Device Drivers:  
Documentation/DocBook/writing\_usb\_device\_driver
  - Registrieren eines USB-Gerätetreibers im System
  - Anschließen und Entfernen von USB-Geräten
  - Kommunikation mit dem Gerät
  - Asynchrone USB-Transfers mittels **USB Request Blocks (URB)**
  - Für die Aufgabe sind synchrone USB-Transfers ausreichend

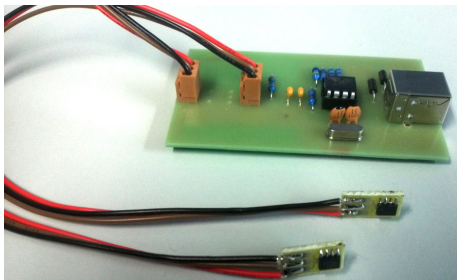
## USB: *Endpoints* und *Pipes*

- USB-Geräte bieten Kommunikationsendpunkte (*Endpoints*) an
- Auf Hostseite spricht man mit einem Gerät über einen Kanal (*Pipe*), der mit einem bestimmten Endpunkt (*Endpoint*) verbunden ist
- Art und Anzahl der Endpunkte sind gerätespezifisch
- Allerdings müssen alle Geräte mindestens den Endpunkt 0 bereitstellen, der für *Control Transfers* benötigt wird (u.a. für die Konfiguration)

### Weitere Informationen

- USB Spezifikation (siehe `/proj/i4passt/doc`)
- <http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb1.shtml>

# USB-Temperatursensor



- Bauanleitung und Quellen zur Firmware und Userspacetreiber
  - <http://www.poempelfox.de/ds1820tousb/>
  - `git clone https://git.informatik.uni-erlangen.de/ds1820tousb`
- Steuert mehrere Temperatursensoren über 1-Wire-Bus an
- Steuerung vom PC aus mittels USB Control Transfers möglich
  - Rescan der angeschlossenen Temperatursensoren
  - Temperatur- und Statusinformationen der einzelnen Sensoren
  - Reset des kompletten Gerätes

# USB: Control Transfers

- Abwicklung über den immer vorhandenen Endpunkt 0
- *Festverdrahtete* (Konfiguration etc.) und *gerätespezifische* Befehle
- Parameter für Control Transfers (vgl. USB Spezifikation 9.3)

Parameter	Größe	Beschreibung
request type	1 Byte	Charakteristik der Anfrage
request value	1 Byte	Nummer der Anfrage
index	2 Byte	1. Parameter für die Anfrage
length	2 Byte	2. Parameter für die Anfrage
	1 Byte	Länge des Datenpaketes



# Befehle für den Temperatursensor

- Der *Request-Type* für die Befehle ist immer gleich (USB Spec S. 248):
  - Datentransferrichtung ist vom *Gerät zum PC*
  - Anfragen sind *vendor-spezifisch*
  - Ziel der Anfrage ist das *Gerät*

```
request type    0xc0
```

- Kurze Statusabfrage:

## Aufrufparameter

```
request    1
value      0
index      0
```

## Antwort

```
struct short_status {
    uint8_t  version_high;
    uint8_t  version_low;
    uint32_t timestamp;
    uint8_t  supported_probes;
    uint8_t  padding;
}__packed;
```

- *supported\_probes*: Über die Lebenszeit des Gerätes am Bus konstant

# Befehle für den Temperatursensor

- Lange Statusabfrage:

Aufrufparameter

```
request      3
value        0
index        0
```

Antwort

```
struct probe_status {
    uint8_t  serial[6];
    uint8_t  type;
    uint8_t  flags;
    uint8_t  temperature[2];
    uint32_t timestamp;
    uint8_t  padding[2];
}__packed;
struct probe_status
    answer[supported_probes];
```

- Liefert immer Status für alle unterstützten Sensoren
- Flags
  - 0x01: Sensor ist vorhanden, ansonsten ist der Slot unbenutzt
  - 0x02: Sensor wird parasitär mit Spannung versorgt
- Mehrere Bytes umfassende Werte sind little-endian
- Temperatur ist ein 9-bit Zweierkomplement-Wert

# Befehle für den Temperatursensor

- Neuerkennung aller Sensoren am 1-Wire-Bus:

Aufrufparameter

Antwort

```
request    2
value      0
index      0
```

```
struct rescan_reply {
    uint8_t  answer;
};
```

- Im Erfolgsfall zwei Antworten möglich
  - 23: Neuerkennung wird gestartet
  - 42: Neuerkennung wird schon durchgeführt

# Befehle für den Temperatursensor

- Neuerkennung aller Sensoren am 1-Wire-Bus:

Aufrufparameter

```
request    2
value      0
index      0
```

Antwort

```
struct rescan_reply {
    uint8_t  answer;
};
```

- Im Erfolgsfall zwei Antworten möglich
  - 23: Neuerkennung wird gestartet
  - 42: Neuerkennung wird schon durchgeführt
- Reset des kompletten Gerätes:

Aufrufparameter

```
request    4
value      0
index      0
```

- Das Geräte sollte bei diesem Kommando keine Antwort schicken
- Das Bereitstellen eines Empfangspuffers schadet trotzdem nicht

# sysfs - Kernelzustand für Benutzer sichtbar machen

- Interaktion mit dem USB-Gerät via sysfs
- Benutzung von sysfs: `Documentation/filesystems/sysfs.txt`
- In a Nutshell
  - Große Teile des Kerns sind aus `kobjects` aufgebaut
    - Objektorientierung in C: `Documentation/kobject.txt`
  - Struktur von sysfs spiegelt die Objektstruktur im Kern wieder
    - `kobjects` erscheinen im sysfs als Verzeichnis
    - Erzeugen von Dateien durch `sysfs_create_file(&kobject,attr)`
    - Löschen von Dateien mit `sysfs_remove_file(&kobject,attr)`

# sysfs - Temperatursensoren

sysfs-Einträge sollen folgende Funktionen bereitstellen

- Temperatur jedes Sensors durch Lesen einer eigenen Datei

```
> ls /sys/bus/usb/devices/4-1.5:1.0/  
bInterfaceNumber bNumEndpoints modalias power ...  
temp0 temp1 temp2 rescan reset  
> cat /sys/.../temp1  
23.4
```

- Rescan des 1-Wire-Bus; „Hotplug“ von Sensoren auf der Platine

```
> echo 1 > rescan
```

- Reset des Gerätes

```
> echo 1 > reset
```

# Verbinden von USB-Geräten mit KVM

Reale USB-Geräte an eine KVM weiterleiten:

- Ein bestimmtes Gerät

```
-usbdevice host:bus.addr
```

Mühsam wegen Hotplug an verschiedenen Ports:  
Bus- und Adress-ID nicht zwingend eindeutig

- Ganze Geräteklassen

```
-usbdevice host:vendor_id:product_id
```

Für unsere Temperatursensoren ist das 16c0:05dc:

```
-usbdevice host:16c0:05dc
```

- Problem: KVM benötigt Lese- und Schreibrechte auf das Gerät  
Lösung: udev

```
ATTRS{idVendor}=="16c0", ATTRS{idProduct}=="05dc", MODE="666"
```

```
/etc/udev/rules.d/99-usbtemp.rules
```

# Userspace-Anwendung zur Darstellung der Messdaten

- Temperaturen periodisch aus `/sys` auslesen
- evtl. geeignet Zwischenspeichern
- zeitlichen Verlauf aller Sensoren in einem Graphen ausgeben
- mehr Punkte wenn der Graph „live“ aktualisiert wird
- mögliche Werkzeuge u.A.:
  - gnuplot
  - rrdtool
  - R
  - root (`root.cern.ch`)



## Aufgabe 5

- Einarbeiten in die benötigten APIs im Linux-Kern
  - Dokumentation
  - Codebeispiele
- Programmieren des Gerätetreibers für den Temperatursensor
- Programmieren der Userspace-Anwendung
- Last, but not least:
  - Die Hardware muss(te) gelötet werden :)

Abgabe: bis 2017-07-21 durch Vorführung in einer Rechnerübung