

Übung zu Betriebssystembau (Ü BS)

Interruptbehandlung in OO-Stubs

Daniel Lohmann

Lehrstuhl für Informatik IV

WS 05-06



1

Agenda: IRQ-Behandlung in OO-Stubs

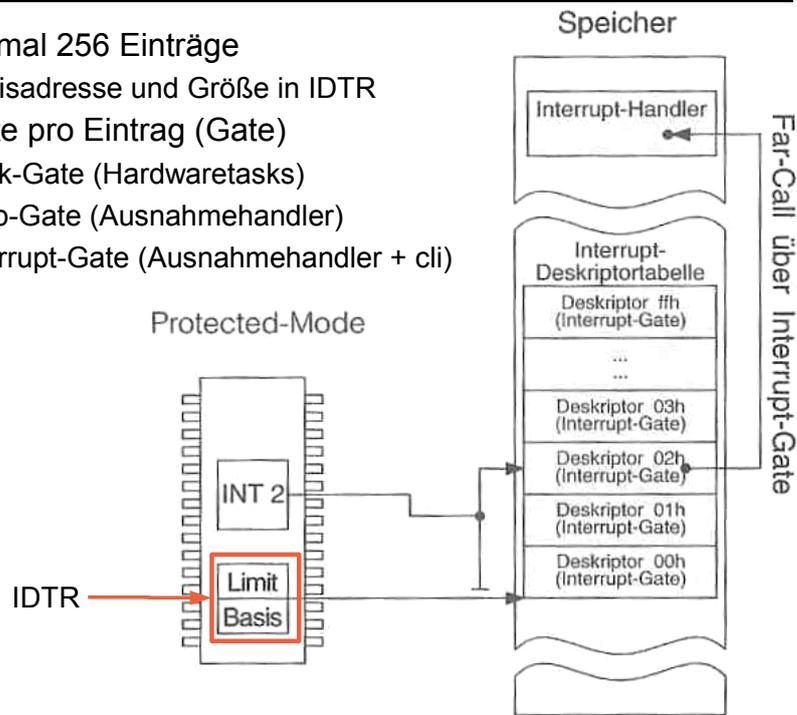
- Interrupts und Traps bei x86
 - Die Interrupt-Deskriptor-Tabelle (IDT)
 - Aufbau der IDT
 - Traps und Hardware IRQs
- Der Programmierbare Interruptcontroller PIC 8295A
 - Aufbau
 - Verwendung im PC
 - Initialisierung und Programmierung
- Interruptbehandlung in OO-Stubs
 - Ablauf
 - Kontextsicherung



2

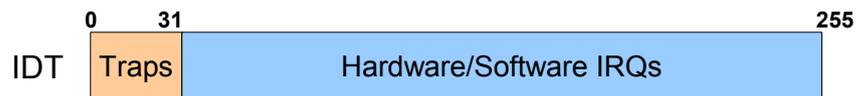
i386 Interrupt-Deskriptortabelle (IDT)

- maximal 256 Einträge
 - Basisadresse und Größe in IDTR
- 8 Byte pro Eintrag (Gate)
 - Task-Gate (Hardwaretasks)
 - Trap-Gate (Ausnahmehandler)
 - Interrupt-Gate (Ausnahmehandler + cli)



3

i386 IDT: Aufbau



| Number | Description |
|--------|------------------------------|
| 0 | Divide-by-zero |
| 1 | Debug exception |
| 2 | Non-Maskable Interrupt (NMI) |
| 3 | Breakpoint (INT 3) |
| 4 | Overflow |
| 5 | Bound exception |
| 6 | Invalid Opcode |
| 7 | FPU not available |
| 8 | Double Fault |
| 9 | Coprocessor Segment Overrun |
| 10 | Invalid TSS |
| 11 | Segment not present |
| 12 | Stack exception |
| 13 | General Protection |
| 14 | Page fault |
| 15 | Reserved |
| 16 | Floating-point error |
| 17 | Alignment Check |
| 18 | Machine Check |
| 19-31 | Reserved By Intel |

- Einträge 0-31 für Traps (fest)
- Trap = Ausnahme, die synchron zum Kontrollfluss auftritt
 - Division durch 0
 - Seitenfehler
 - Unterbrechungspunkt
 - ...
- Einträge 32-255 für IRQs (variabel)
 - Software (INT <nummer>)
 - Hardware (INT-Pin der CPU auf HIGH, Nummer auf Datenbus)

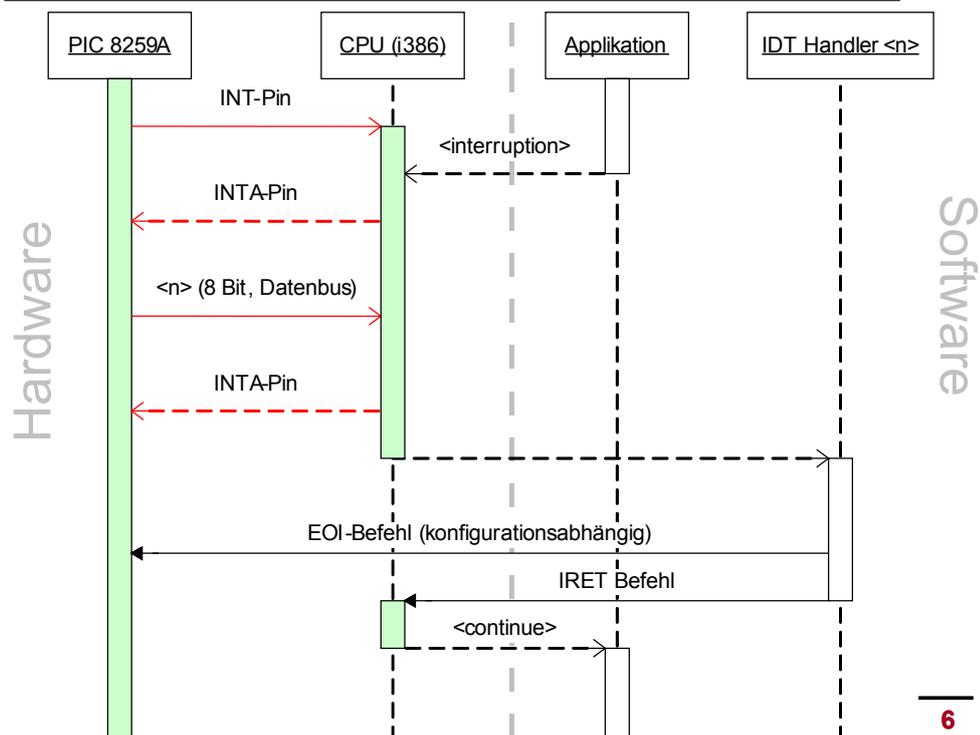
4

Hardware-IRQs bei x86 CPUs

- Bis einschließlich i486 hatten x86 CPUs nur **einen** Interrupt-Eingang (INT) plus einen NMI Eingang
 - INT kann mit dem IE-Bit im Statuswort maskiert werden
 - cli-Befehl (clear interrupt enable) – Interruptverarbeitung sperren
 - sti-Befehl (set interrupt enable) – Interruptverarbeitung freigeben
 - NMI kann auf der CPU nicht maskiert werden (sagt ja schon der Name)
 - beim PC aber trotzdem durch externe Hardware...
- Externer Controller muss Nummer auf den Bus legen
 - Beim PC ist das der **Programmable Interrupt Controller 8259A**
 - Datenaustausch zwischen CPU und PIC 8259A erfolgt nach einem festgelegtem Protokoll

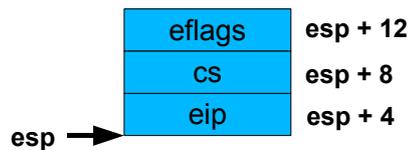


Ablauf eines Hardware IRQ



Zustandssicherung

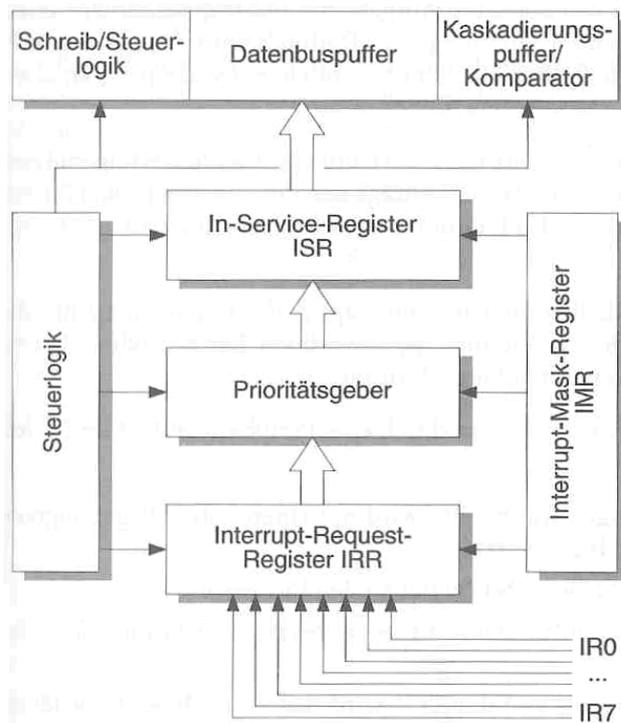
- Wenn eine Unterbrechung eintritt, sichert die CPU automatisch einen Teil des Zustands auf dem Stapel
 - condition codes (eflags)
 - aktives Codesegment (cs)
 - Rücksprungadresse (eip)



- Der automatisch gesicherte Zustand wird bei der Ausführung von iret zurückgesetzt
 - verwendet der Handler weitere Register, so muss er diese selber sichern!

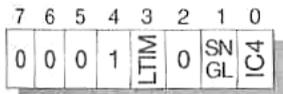


PIC 8259A – Interner Aufbau



Initialisierung der PICs – Teil 1

ICW1



LTIM: 0=Flankentriggerung
 SNGL: 0=kaskadierte PICs
 IC4: 0=kein ICW4

1=Pegeltriggerung
 1=nur Master
 1=ICW4 notwendig

OO-Stubs Einstellung:

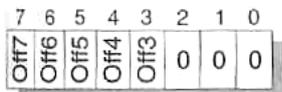
Master

Slave

00010001

00010001

ICW2



Off7..Off3: programmierbarer Offset des Interrupt-Vektors

OO-Stubs Einstellung:

Master

Slave

00100000

00101000



Mapping der HW-IRQs (OO-Stubs)



Standard AT
 IRQ-Belegung

| | |
|--------------|-------------------------|
| IRQ 0 | System Timer |
| IRQ 1 | Tastatur (Keyboard) |
| IRQ 2 | PIC Kaskadierung |
| IRQ 3 | COM 2 |
| IRQ 4 | COM 1 |
| IRQ 5 | |
| IRQ 6 | Floppy |
| IRQ 7 | LPT 1 |
| IRQ 8 | CMOS Echtzeituhr |
| IRQ 9 | (HW-Mapping von IRQ 2) |
| IRQ10 | |
| IRQ11 | |
| IRQ12 | PS/2 |
| IRQ13 | numerischer Coprozessor |
| IRQ14 | 1. IDE Port |
| IRQ15 | 2. IDE Port |



Initialisierung der PICs – Teil 2

ICW3 (Slave)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ID2 | ID1 | ID0 |

ID2..ID0: Identifizierungsnummer des Slave-PIC

ICW3 (Master)

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| S7 | S6 | S5 | S4 | S3 | S2 | S1 | S0 |

S7..S0: 0=zugehörige IR-Leitung ist mit Peripheriegerät verbunden oder frei
1=zugehörige IR-Leitung ist mit Slave-PIC verbunden

OO-Stubs Einstellung:

Master

Slave

00000100

00000010

ICW4

| | | | | | | | |
|---|---|---|----|-----|-----|------|-----|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | SF | BUF | M/S | AEOI | µPM |
| | | | NM | | | | |

SFNM: 0=kein Special-Fully-Nested-Modus 1=Special-Fully-Nested-Modus
 BUF: 0=kein gepufferter Modus 1=gepufferter Modus
 M/S: 0=Slave-PIC 1=Master-PIC
 AEOI: 0=manueller EOI 1=automatischer EOI
 µPM: 0=Betrieb im MCS-80/85-Modus 1=Betrieb im 8086/88-Modus

OO-Stubs Einstellung:

Master

Slave

00000011

00000011



Programmierung der PICs

OCW1

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| M7 | M6 | M5 | M4 | M3 | M2 | M1 | M0 |

M7..M0: 0=zugehörige IRQ-Leitung ist nicht maskiert
1=zugehörige IRQ-Leitung ist maskiert

- Interruptmaske (IMR)
 - schreiben und lesen über Port 0x21 / 0xa1

OCW2

| | | | | | | | |
|---|----|-----|---|---|----|----|----|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| R | SL | EOI | 0 | 0 | L2 | L1 | L0 |

000: im AEOI-Modus rotieren
 001: nicht-spezifischer EOI-Befehl
 010: kein Vorgang (NOP)
 011: spezifischer EOI-Befehl (mit L2..L0)
 100: im AEOI-Set-Modus rotieren
 101: bei nicht-spezifischem EOI-Befehl rotieren
 110: Prioritätsbefehl setzen
 111: bei spezifischem EOI-Befehl rotieren

OCW3

| | | | | | | | |
|---|----|-----|---|---|---|----|-----|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| O | ES | SMM | 0 | 1 | P | RR | RIS |
| | MM | | | | | | |

ESMM, SMM: 00=kein Vorgang (NOP) 01=kein Vorgang (NOP)
 10=spez. Maske löschen 11=spez. Maske setzen
 RR, RIS: 00=kein Vorgang (NOP) 01=kein Vorgang (NOP)
 10=IRR lesen 11=ISR lesen
 P: Polling: 0=kein Polling 1=Polling-Modus



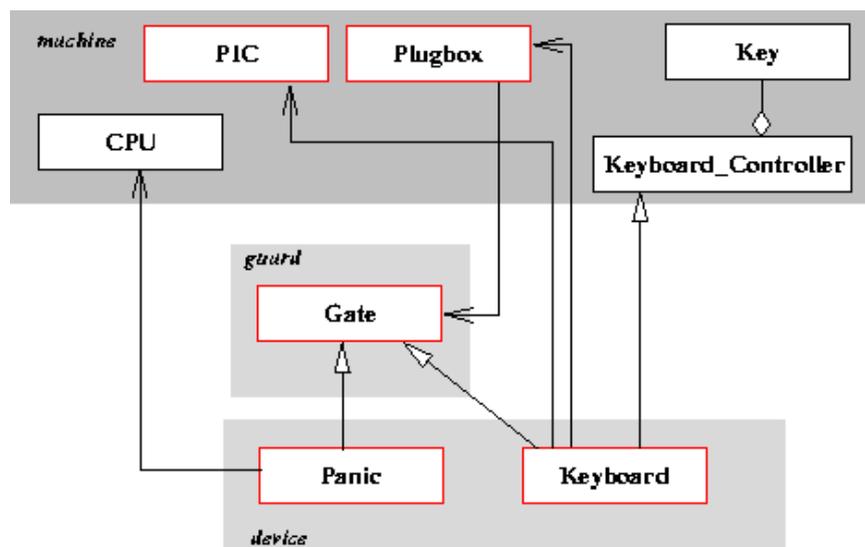
Interrupthandler in OO-Stubs

- Behandlung startet in der Funktion `guardian()`
 - bekommt die IRQ-Nummer als **Parameter**:

```
void guardian( unsigned int slot ) {  
    ... // IRQ-Handler (Gate) aktivieren  
}
```
 - Interrupts sind während der Abarbeitung gesperrt
 - können mit `sti` manuell wieder zugelassen werden
 - werden automatisch wieder zugelassen, wenn `guardian()` terminiert
- Die eigentlichen (spezifischen) IRQ-Handler
 - sind Instanzen der Klasse *Gate*
 - werden an- und abgemeldet über die Klasse *Plugbox*



Interrupthandler in OO-Stubs



C-Funktionen als IRQ-Handler

- `guardian()` ist eine C-Funktion
 - erwartet die IRQ-Nummer als Parameter
- Kann `guardian()` direkt in die IDT eingetragen werden?
 - Wer sichert den Kontext?
 - Wie wird der Parameter übergeben?
 - Wo steht das `iret` zum Abschließen der IRQ-Behandlung?

⇒ Assembler-Stubs in *startup.asm*



Kontextsicherung

- Kontextsicherung:
 - `eflags`, `cs` und `eip` wurden bereits von der CPU gesichert
 - alle weiteren Register müssen vom IRQ-Handler gesichert werden
 - entweder im Assembler-Teil
 - oder der Compiler generiert bereits entsprechenden Code
- Kontextsicherung beim Aufruf von Funktionen
 - Lösung 1: *Aufrufende* Funktion sichert alle Register, die sie später noch braucht
 - Lösung 2: *Aufgerufene* Funktion sichert alle Register, die sie verändert
 - Lösung 3: Ein Teil der Register wird vom Aufrufer, ein anderer Teil vom Aufgerufenen gesichert



Kontextsicherung in Hochsprachen

- In der Praxis wird Lösung 3 verwendet
 - Grundsätzlich hängt das natürlich vom Compiler ab
 - CPU-Hersteller definiert jedoch Konventionen, damit Interoperabilität auf Binärcodeebene sichergestellt ist
- Register werden in 2 Subsets aufgeteilt
 - Flüchtige Register („scratch registers“)
 - Compiler geht davon aus, dass Unterprogramm den Inhalt verändert
 - Aufrufer muss Inhalt gegebenenfalls sichern
 - bei x86 sind **eax**, **ecx**, **edx** und **eflags** als flüchtig definiert
 - Nichtflüchtige Register („non-scratch registers“)
 - Compiler geht davon aus, dass der Inhalt nicht verändert wird
 - Aufgerufene Funktion muss Inhalt gegebenenfalls sichern
 - bei x86 sind alle sonstigen Register als nicht-flüchtig definiert



Interrupt-Handler müssen auch flüchtige Register sichern!