

Aufgabe 1: Schedule Table Scheduler

Echtzeitsysteme - Übungen zur Vorlesung

Peter Ulbrich, Martin Hoffmann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
www4.informatik.uni-erlangen.de

25. Oktober 2010

Einleitung

Wie geht das?

- ▶ Was muss man tun?
- ▶ Wer löst das algorithmische Problem?
- ▶ Was läuft dabei im Steuerungssystem ab?
- ▶ Wie oft muss man im Steuerungssystem etwas tun?
- ▶ Muss man das regelmäßig tun?

Einleitung

Aufgabenstellung: Quadrocopter-Kontrollsystem

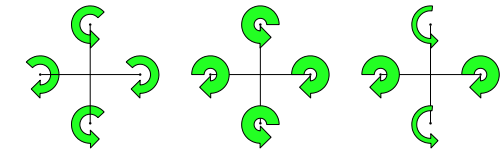
Anforderungen an das Kontrollsystem

Schwebeflug in konstanter Höhe.

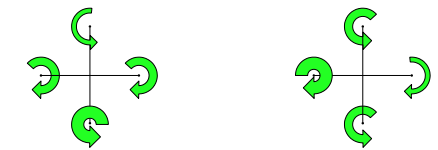
Steigflug oder **Sinkflug**.

Drehung um die eigene Achse nach links oder nach rechts.

Gleiten bei konstanter Höhe nach links, nach rechts, nach vorne oder nach hinten.



Schwebeflug Steigflug Drehung



Gleiten: vorwärts Gleiten: seitlich

Grundlagen

Ablauf tabellen

Was ist ein Ablauf tabelle? \leadsto im wesentlichen ein Stundenplan

$$f : \mathcal{T} \mapsto \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$$

$\mathcal{T} = \{T_1, T_2, \dots, T_x\}$ eine Menge von Aufgaben
 $(t_1, t_2) \in \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$ eine Menge von Zeitintervallen

Wie kann man Ablauf tabellen darstellen? \leadsto Liste von Tupeln

- ▶ Aufgabe
- ▶ Startzeitpunkt
- ▶ eine Aufgabe kann auch mehrmals auftreten

Aufgabe ₁	Zeitpunkt ₁
Aufgabe ₂	Zeitpunkt ₂
...	...
Aufgabe _n	Zeitpunkt _n

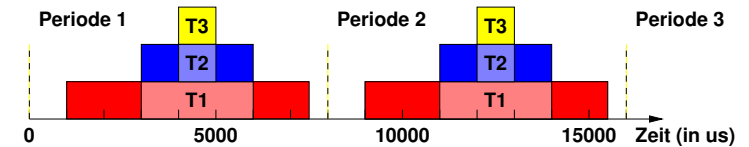
Ausführung von Ablauftabellen

Es existieren zwei Ausführungsmodelle für Ablauftabellen

- ▶ präemptive Ausführung
 - ▶ verschiedene Aufgaben können sich gegenseitig verdrängen
- ▶ nicht-präemptive Ausführung
 - ▶ verschiedene Aufgaben werden *ungestört* ausgeführt

Präemptive Ausführung von Ablauftabellen

Aufgaben, die sich in Ausführung befinden, können von später gestarteten Aufgaben verdrängt werden:



Konsequenz

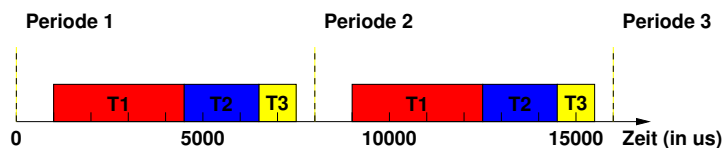
- ▶ Erhaltung des Zustands
- ▶ zeitliche Beeinflussung
- ▶ nebenläufiger Datenzugriff
- ▶ strikte Stapelbildung (eher Prozeduraufruf als Faden)

Terminüberschreitung

- ~ Abbruch
 - ▶ Prozeduraufruf entfernen
 - ▶ der muss nicht oben auf dem Stapel liegen

Nicht-präemptive Ausführung von Ablauftabellen

- ▶ sequentielle Aneinanderreihung von Aufgaben
- ▶ keine Unterbrechung oder Verdrängung



Konsequenz

- ▶ keine Zustandsicherung
- ▶ keine zeitliche Beeinflussung
- ▶ kein nebenläufiger Datenzugriff

Ablaufabelle

- ▶ muss berechnet werden
- ~ ist **NP-vollständig**
- ▶ evtl. Aufteilung von Aufgaben notwendig

Aufgabe des Schedulers

- ▶ Abarbeiten der Ablaufabelle
 - ▶ Aufgaben an den vereinbarten Zeitpunkten einlasten
- ▶ Einlastung erfolgt **nicht-präemptiv**
 - ▶ laufende Aufgaben werden ggf. abgebrochen
 - ▶ einzulastende Aufgabe starten
 - ▶ keine weitere Fehlerbehandlung
- ▶ Woher kennt der Scheduler den nächsten Einlastungszeitpunkt?
 - ⌚ Zeitgeber (engl. *timer*) stellt diese Information zur Verfügung

Wie kann man den Zeitgeber ansprechen?

- ▶ Abfragebetrieb vs. Unterbrecherbetrieb
- ▶ Möglichkeiten im Unterbrecherbetrieb:
 - festes Zeitraster \leadsto Unterbrechungen in regelmäßigen Abständen
 - + einfacher zu implementieren, funktioniert immer
 - + einmalige Initialisierung des Zeitgebers
 - + relativ flexibel
 - Overhead durch unnötige Unterbrechungen
 - variables Zeitraster \leadsto Unterbrechung beim nächsten Eintrag
 - + kein Overhead durch unnötige Unterbrechungen
 - funktioniert bei sehr großen Zeitspannen nicht
 - wiederholte Initialisierung des Zeitgebers
- ☞ Unterbrecherbetrieb mit festem Zeitraster
- ☞ Mit welcher Frequenz erzeugt man Unterbrechungen \leadsto GGT

Aufgabenstellung

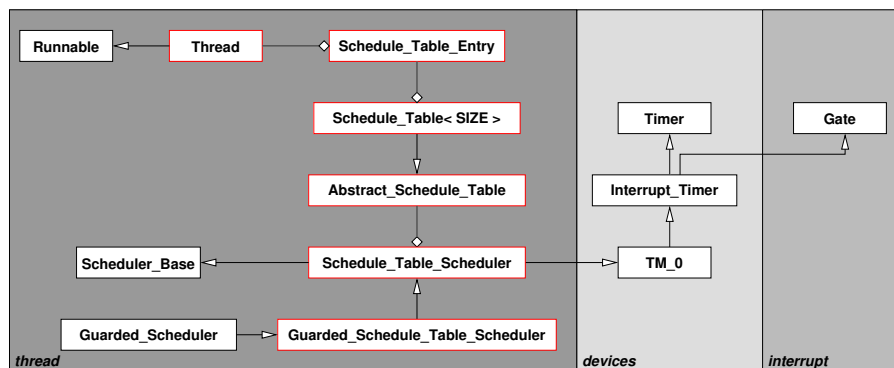
Grundlegende Übungen

- ▶ Aufgabenstellung \leadsto Eigenständig, siehe Webseite
- ▶ Vorgabe \leadsto Funktionsfähiges ezStubs
- ▶ Testfälle und Problembeschreibung

Erweiterte Übungen

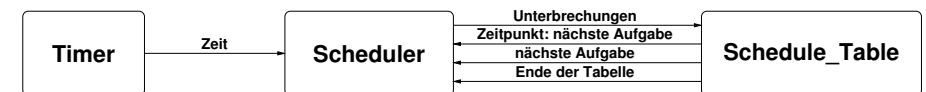
- ▶ Aufgabenstellung \leadsto nachfolgende Folien
- ▶ Vorgabe \leadsto Schnittstellen und Teile von ezStubs
- ▶ Schedule Table Scheduler und Testfälle

Klassenhierarchie



- ▶ Erweiterte Übung: Schedule Table Scheduler
- ▶ rot eingerahmte Klassen \leadsto Implementierung bzw. Ergänzung

Überblick



- ▶ der Scheduler *kennt* die Unterbrechungen des Zeitgebers
 - ▶ der Scheduler implementiert die Unterbrechungsbehandlung
- ▶ die Ablauftabelle
 - ▶ weiß wann ihr Ende erreicht wurde
 - ▶ weiß wann die nächste Aufgabe dran ist
 - ▶ weiß welche Aufgabe als nächstes dran ist

Systemschnittstelle

- ▶ wird von EZStubs benutzt um den Scheduler zu *aktivieren*
- ▶ Systemschnittstelle:
 - ▶ void reschedule()
 - ▶ void start() (**darf nicht zurückkehren!!!**)
 - ▶ Klasse Scheduler_Base

Klasse Scheduler_Base

```
class Scheduler_Base {
public:
    // Flag setzen: Thread-Wechsel
    set_need_reschedule();
    // Flag zuruecksetzen: Thread-Wechsel
    clear_need_reschedule();
    // Flag abfragen: Thread-Wechsel
    get_need_reschedule();
};
```

Aktivierung

- ▶ beim Verlassen des Kerns in Guard::leave()

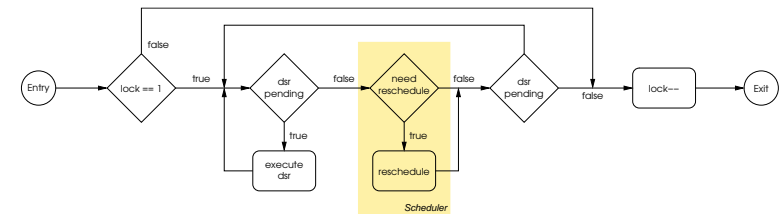


Abbildung: Guard::leave()

- ▶ nach der Benutzerdefinierten Startfunktion user_main(): Aufruf von start()
- ▶ wird in EZStubs nicht verwendet: explizit in blockierenden Systemaufrufen

Stack

- ▶ ARM-Prozessoren haben mehr als einen Stack Pointer
 - ▶ hängt vom jeweiligen Prozessor-Modus ab
 - ▶ Threads laufen auf dem System-Stack
 - ▶ Interrupts laufen auf dem IRQ- (ISRs) und Supervisor-Stack (DSRs)
- ▶ Fadenkontext kann nicht auf dem IRQ-Stack abgelegt werden
- ▶ im Interrupt-Handler sind Umschaltungen notwendig

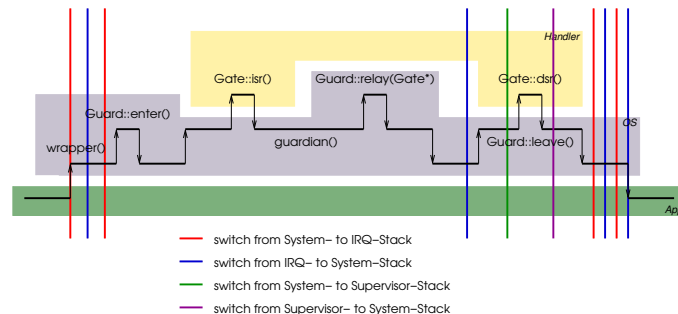


Abbildung: Umschaltungen des Stacks in der Unterbrechungsbehandlung

Stack - Guard::leave()

- ▶ nur DSRs werden auf dem IRQ-Stack abgearbeitet

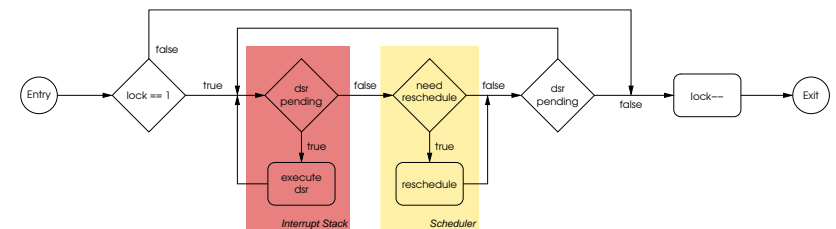


Abbildung: Guard::leave()

Klasse Thread

- ▶ keine Coroutine
 - ▶ keine Verdrängung
 - ▶ kein Blockieren
 - ☞ nicht notwendig

- ▶ nur Runnable
 - ▶ muss nur die Methode `Runnable::action()` implementieren
 - ▶ Methode wird in der Anwendung implementiert

Klassen `Schedule_Table< int L >` und `Abstract_Schedule_Table`

- ▶ Paar aus abstrakter Basisklasse und Template-Klasse
 - ▶ statische Speicherallokation
 - ☞ Array der Größe L in der Template-Klasse
 - ▶ Ablauf Tabellen verschiedener Größe
 - ☞ verschiedene Instanzen der Templateklasse
 - ▶ die verschiedenen Template-Instanzen sind verschiedene Typen
 - ~ gemeinsame Schnittstelle durch die abstrakte Basisklasse

- ▶ einzelnen Elemente der Tabelle
 - ▶ Typ: `Schedule_Table_Entry` ~ C-Struktur
 - ▶ Definition in der Klasse `Abstract_Schedule_Table`

- ▶ Was kommt in die abstrakte Klasse, was in die Template-Klasse?
 - ▶ direkter Zugriff auf die Datenstruktur ~ Template-Klasse
 - ▶ darauf aufbauende Operationen ~ abstrakte Klasse

Schnittstelle

- ▶ Konstruktor: ❶ `Schedule_Table()`
 - ▶ Frequenz der Ablauf Tabelle ~ Wiederholungsperiode
 - ▶ Stapelspeicher für die Abarbeitung dieser Ablauf Tabelle verwendet

- ▶ Tupel hinzufügen: ❷ `Schedule_Table< L >::add()`
 - ▶ Eintragen der Aufgabe und des zugehörigen Startzeitpunkts

- ▶ Tupel lesen: `Schedule_Table< L >::get_entry()`
 - ▶ Liefert den entsprechenden Tupel für einen gegebene Index

- ▶ Tabelle initialisieren: `Schedule_Table< L >::init()`
 - ▶ Zeitraster berechnen ~ GGT
 - ▶ Startzeitpunkte auf Zeitgeberunterbrechungen abbilden

- ▶ nächste Aufgabe: ❸ `Abstract_..._Table::next_thread()`
 - ▶ liefert die nächste Aufgabe, die ausgeführt werden soll

Klasse `Schedule_Table_Scheduler`

- ▶ alle Aufgaben verwenden denselben dem Stapelspeicher
 - ▶ es gibt keine überlappte Ausführung

- ▶ erbt von der Klasse `TM_0`
 - ▶ implementiert die Unterbrechungsbehandlung dieses Zeitgebers
 - ☞ Methoden ❶ `isr()` und ❷ `dsr()` müssen implementiert werden

Unterbrechungsbehandlung

- ▶ ISR: ❶ `Schedule_Table_Scheduler::isr()`
 - ▶ Unterbrechungen mitzählen
 - ▶ falls nötig, `set_need_reschedule()` aufrufen

- ▶ DSR: ❷ `Schedule_Table_Scheduler::dsr()`
 - ▶ nichts

Benutzerschnittstelle

- ▶ Ablaufabelle setzen: ❶ `...::set_schedule_table()`
 - ▶ setze initiale Ablaufabelle
 - ▶ Ablaufabelle initialisieren
 - ▶ Zeitgeber initialisieren
 - ▶ **vor** `Schedule_Table_Scheduler::start()`

- ▶ Ablaufabelle wechseln: ❷ `...::switch_schedule_table()`
 - ▶ merke neue Ablaufabelle
 - ▶ führe die alte Ablaufabelle zu Ende aus
 - ▶ starte neue Ablaufabelle am Ende der Runde

- ▶ Aufgabe beenden: ❸ `...::exit()`
 - ▶ auf Unterbrechungen warten

Systemschnittstelle

- ▶ Scheduler starten: ❶ `...::start()`
 - ▶ Zeitgeber soll periodisch Unterbrechungen erzeugen
 - ▶ auf Unterbrechungen warten
 - ▶ **Achtung:** `user_main()` ist synchronisiert
 - ↳ den kritischen Abschnitt mit `guard.leave()` verlassen!
 - ▶ darf nicht zurückkehren

- ▶ Aufgabe *wechseln*: ❷ `...::reschedule()`
 - ▶ nächsten Faden/nächste Aufgabe bestimmen
 - ▶ `need_reschedule` zurücksetzen
 - ▶ Kontext initialisieren ~ `init_context()`
 - ▶ Aufgabe starten ~ Kontext laden ~ `load_context()`

Wie implementiert man in EZStubs einen Scheduler?

- ▶ siehe EZStubs-Einführung
 - ▶ Benutzerschnittstelle
 - ▶ Systemschnittstelle
 - ▶ Methoden der Klasse `Scheduler_Base`:
 - ▶ `Scheduler_Base::set_need_reschedule()`
 - ▶ `Scheduler_Base::clear_need_reschedule()`
 - ▶ `Scheduler_Base::get_need_reschedule()`

Kontextverwaltung

- ▶ Routinen in `thread/context.h`
 - ▶ `init_context`
 - ▶ den Kontext auf dem Stapelspeicher passend initialisieren
 - ▶ **Achtung:** modifiziert den übergebenen Stackpointer!
 - ▶ `load_context`
 - ▶ den Kontext vom Stapelspeicher laden, die Aufgabe starten
- ▶ alle Aufgaben verwenden selben Stapelspeicher
- ☞ Kontextinitialisierung kann Schaden anrichten
 - ▶ man überschreibt die Rücksprungadresse von `init_context`
- ☞ mögliche Lösungen
 - ▶ `init_context` einbetten \leadsto kein Rücksprung
 - ▶ Stackpointer manipulieren
- ▶ in EZStubs kann dieser Fehler nicht auftreten :-)
 - ▶ `isr()` und `dsr()` verwenden einem anderen Stapelspeicher