

Echtzeitsysteme

Übungen zur Vorlesung

Cyclic Scope

Florian Schmaus Peter Wägemann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
<https://www4.cs.fau.de>

7. Dezember 2017



- Neue Vorgabe verfügbar
 - `app.c`
 - Sensorfunktionen verfügbar
- Hyperperiode fest auf 100 ms kodiert
- Wenn längere Zeit kein Plot der Ergebnisse
 - 256 Scheduling-Entscheidungen bis Plot angezeigt wird
 - event-triggered: `ms_to_cyg_ticks`, `ms_to_ezs_ticks`
 - time-triggered: `ms_to_ticks`
- Zu langes Sampling: Überlauf des Timers



- 1 Hinweise: Simple Scope
- 2 Wiederholung: Cyclic Executive**
- 3 Implementierung: Cyclic Executive
- 4 Hinweis zur Aufgabe 5



Randbedingungen für die Rahmenlänge

Lang genug und so kurz wie möglich halten...

Jobverdrängung vermeiden $\leadsto f$ hinreichend lang

- 1 ist erfüllt, wenn gilt: $f \geq \max(e_i)$, für $1 \leq i \leq n$
 $\leadsto$ jeder Job läuft in der durch f gegebenen Zeitspanne durch
- 2 f teilt die Hyperperiode H so, dass gilt: $\lfloor p_i/f \rfloor - p_i/f = 0$
 $\leadsto$ ermöglicht die zyklische Ausführung des Ablaufplans



Randbedingungen für die Rahmenlänge

Lang genug und so kurz wie möglich halten...

Jobverdrängung vermeiden $\leadsto f$ hinreichend lang

1 ist erfüllt, wenn gilt: $f \geq \max(e_i)$, für $1 \leq i \leq n$

$\leadsto$ jeder Job läuft in der durch f gegebenen Zeitspanne durch

2 f teilt die Hyperperiode H so, dass gilt: $\lfloor p_i/f \rfloor - p_i/f = 0$

$\leadsto$ ermöglicht die zyklische Ausführung des Ablaufplans

- Intervall H heißt **großer Durchlauf** $\equiv$ Hyperperiode
- Intervall der Länge f heißt **kleinster Durchlauf**
- **Vorsicht:** e_i bezieht sich auf die WCET aller Aufgaben im Rahmen



Randbedingungen für die Rahmenlänge

Lang genug und so kurz wie möglich halten...

Jobverdrängung vermeiden $\leadsto f$ hinreichend lang

1 ist erfüllt, wenn gilt: $f \geq \max(e_i)$, für $1 \leq i \leq n$

$\leadsto$ jeder Job läuft in der durch f gegebenen Zeitspanne durch

2 f teilt die Hyperperiode H so, dass gilt: $\lfloor p_i/f \rfloor - p_i/f = 0$

$\leadsto$ ermöglicht die zyklische Ausführung des Ablaufplans

- Intervall H heißt **großer Durchlauf** $\equiv$ Hyperperiode
- Intervall der Länge f heißt **kleinster Durchlauf**
- **Vorsicht:** e_i bezieht sich auf die WCET aller Aufgaben im Rahmen

Terminüberwachung unterstützen $\leadsto f$ hinreichend kurz

3 erfordert eine rechtzeitige Auslösung: $f \leq p_i$, für $1 \leq i \leq n$

 ist möglich unter der Bedingung: $2f - \text{ggT}(p_i, f) \leq D_i$

- anstehenden Aufgaben „passend“ auf die Rahmen verteilen
- $\leadsto$ Jobs zwischen Auslösezeit und Termin erledigen



Aufgabe T_i	<u>Periode p_i</u> ms	<u>WCET e_i</u> ms	<u>Termin D_i</u> ms
T_1	9	2	5
T_2	18	3	8
T_3	45	3	45



- 1 Hinweise: Simple Scope
- 2 Wiederholung: Cyclic Executive
- 3 Implementierung: Cyclic Executive**
- 4 Hinweis zur Aufgabe 5



Busy Loop

```
1  void main(void) {  
2      while (true) {  
3          Task0();  
4          Task1();  
5          Task2();  
6          Task3();  
7      }  
8  }
```

Vorteile:

Nachteile:



Busy Loop

```
1 void main(void) {  
2     while (true) {  
3         Task0();  
4         Task1();  
5         Task2();  
6         Task3();  
7     }  
8 }
```

Vorteile:

- Geringe Verwaltungsallgemeinkosten
- Simpel, übersichtlich, ...

Nachteile:

- Nur *eine Periode*, *keine Deadline-Überprüfung* möglich
- Mathematische *Analyse unmöglich*



Multi-Perioden-Hauptschleife

Anforderung: wir wollen unterschiedliche Perioden haben

Lösung:

- Jede Aufgabe hat ein *Aktivierungs-Flag*
- In jedem Schleifendurchlauf Ausführung *höchstens* eines Tasks
- Abbildung der Prioritäten durch Abarbeitungsreihenfolge

Multiraten-Hauptschleife

```
1 void main(void) {  
2     while (true) {  
3         wait_for_timer_tick();  
4         if (activated0) { activated0 = false; Task0(); }  
5         else if (activated1) { activated1 = false; Task1(); }  
6         else if (activated2) { activated2 = false; Task2(); }  
7         else if (activated3) { activated3 = false; Task3(); }  
8     }  
9 }
```



Setzen der Flags in der Hauptschleife problematisch

→ Lang laufender Task kann Flag-Setzen/*Deadlineüberprüfung* verzögern

Lösung: Setzen der Flags in Zeitgeber-Interruptbehandlung

```
1  volatile uint8_t timer = 0;
2  ...
3  ++timer; // Interrupt alle 1ms
4  ...
5  if ((timer % 5) == 0) { activated0 = true; } // Task0 alle 5ms
6  if ((timer % 10) == 0) { activated1 = true; } // Task1 alle 10ms
7  if ((timer % 20) == 0) { activated2 = true; } // Task2 alle 20ms
8  if ((timer % 100) == 0) { activated3 = true; } // Task3 alle 100ms
9
9  if (timer >= 100) { timer = 0; } // Ueberlaufbehandlung
```



Einschub: Schlüsselwort volatile

- Bei einem Interrupt wird `timer_event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `timer_event != 0`
- Flag (scheinbar) in Schleife nicht verändert $\leadsto$ Compiler-Optimierung
 - `timer_event` wird einmalig vor der Warteschleife in Register geladen
 -  Endlosschleife

```
1  static uint8_t timer_event = 0;
2  ISR (INT0_vect) { timer_event = 1; }

3  void main(void) {
4      while(1) {
5          while(timer_event == 0) { /* warte auf Timer-Event */ }
6          /* bearbeite Timer-Event */
```



Einschub: Schlüsselwort volatile

- Bei einem Interrupt wird `timer_event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `timer_event != 0`
- Flag (scheinbar) in Schleife nicht verändert $\leadsto$ Compiler-Optimierung
 - `timer_event` wird einmalig vor der Warteschleife in Register geladen
 - 👉 Endlosschleife
- `volatile` erzwingt das Laden bei jedem Lesezugriff

```
1  volatile static uint8_t timer_event = 0;
2  ISR (INT0_vect) { timer_event = 1; }

3  void main(void) {
4      while(1) {
5          while(timer_event == 0) { /* warte auf Timer-Event */ }
6          /* bearbeite Timer-Event */
```



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-
4 H	5	4	-



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-
4 H	5	4	-
2 I	5	4	5



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-
4 H	5	4	-
2 I	5	4	5
3 I	5	4	6



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-
4 H	5	4	-
2 I	5	4	5
3 I	5	4	6
4 I	6	4	6



Einschub: Lost-Update-Problematik

- Tastendruckzähler: Zählt mittels Variable `zaehler`
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm H

```
1 ; volatile uint8_t zaehler;  
2 ; C-Anweisung: zaehler--;  
3 lds r24, zaehler  
4 dec r24  
5 sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung I

```
1 ; C-Anweisung: zaehler++  
2 lds r25, zaehler  
3 inc r25  
4 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3 H	5	5	-
4 H	5	4	-
2 I	5	4	5
3 I	5	4	6
4 I	6	4	6
5 H	4	4	-



Vorteile

- Einfach, übersichtlich, wenige Ressourcen notwendig, ...
- Mehrere Perioden, Deadlineüberprüfung, erleichtert WCET-Analyse
- Mathematische Analyse anwendbar

Probleme der Implementierung: *Wettlaufsituationen*

- 1 zwischen Zeitgeberunterbrechung und main-if/else
 ↪ **Prioritätsverletzung** (fällt praktisch jedoch nicht ins Gewicht)
- 2 beim Setzen der Flags ↪ ggf. Unterbrechungen abschalten

Andere Namen in der Literatur:

Main Loop Scheduling, Main Loop Tasker, Prioritized Cooperative Multitasker, Non-preemptive Scheduler, ...



- 1 Hinweise: Simple Scope
- 2 Wiederholung: Cyclic Executive
- 3 Implementierung: Cyclic Executive
- 4 Hinweis zur Aufgabe 5**



Wichtige Hinweise

Basisübung: Reine Textaufgabe, *Denksportaufgabe*

~> keine Implementierung notwendig

- Kern der Aufgabe: Auswirkung der Rahmenlänge

Erweiterte Übung: Implementierung einer *Cyclic Executive*

- Überprüfung der Lauffähigkeit und Deadlines von Jobs
- Vereinfachte Ausnahmebehandlung:
Ausgabe welcher Task Deadline überschritten hat
- Verwendung *eines* eCos Alarms



Fragen?

