

Echtzeitsysteme

Übungen zur Vorlesung

Nicht-periodische Aufgaben: Extended Scope (Teil 1)

Florian Schmaus Peter Wägemann

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

14. Dezember 2017



Übersicht

1 Wiederholung: Nicht-periodische Aufgaben

2 Interrupts in Echtzeitsystemen

3 Aufgabe 6: Extended Scope



Rekapitulation der Vorlesung

Kapitel 5-1: Grundlegende Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme

Nicht-periodische Aufgaben

- Definiert durch $T_i = (i_i, e_i, D_i)$
- *Aperiodische* vs. *sporadische* Aufgabe
- *Mischbetrieb*: periodisch $\leftrightarrow$ sporadisch/aperiodisch
 - *dynamische* Einplanung
 - Beeinflussung periodischer Aufgaben?
 - Übernahmeprüfung $\leftrightarrow$ Antwortzeitminimierung

Nicht-periodische Arbeitsaufträge

- Kaum a-priori Wissen (Zeitpunkt, WCET, ...)
- Herausforderung Mischbetrieb: Erhaltung **statischer Garantien**
- Abweisung (spor. Aufg.): schwerwiegende Ausnahmesituation



Rekapitulation der Vorlesung (Forts.)

Kapitel 5-1: Grundlegende Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme

Basistechniken zur Umsetzung

- *Unterbrecherbetrieb* $\leadsto$ bevorzugt nicht-periodische Aufgaben
- *Hintergrundbetrieb* $\leadsto$ stellt nicht-periodische Aufgaben hinten an
- *Zusteller* $\leadsto$ konvertiert nicht-period. in periodische Aufgaben
 - Spezielle periodische Aufgabe $T_s = (p_s, e_s)$
 - Ausführungsbudget, Auffüllperiode und -regeln
 - Abbildung auf Prioritätswarteschlange (z. B. AJQ)

Slack Stealing

- Idee: Termin ist maßgeblich
 $\leadsto$ *Verschieben* periodischer Aufgaben möglich
- *Erfordert Unterbrecherbetrieb*
- Problem: **Schlupfzeit** bestimmen
 - Zeitsteuerung (mit Rahmen): Einfach $\leadsto f - x_k$
 - Ereignissteuerung: schwierig $\leadsto$ dynamischen Berechnung



Rekapitulation der Vorlesung (Forts.)

Kapitel 5-1: Grundlegende Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme

Periodische Zusteller

- Verschiedene Ausführungen
z. B.: Polling, Deferrable, Sporadic Server
- Unterscheiden sich im **Regelwerk**
- I. d. R. für mehrere Aufgaben zuständig

Beispiel: Abfragender Zusteller (Polling Server)

- Periodische Aufgabe $T_P = (p_s, e_s)$
- Budget e_s verfällt
- Im Falle sporadischer Aufgaben schwierig:
 - $p_P \leq \frac{D_s}{2}$, wobei $D_s \leq i_s \leadsto$ Abtasttheorem
 - hohe Abtastfrequenz, Überlastgefahr



Übersicht

1 Wiederholung: Nicht-periodische Aufgaben

2 Interrupts in Echtzeitsystemen

3 Aufgabe 6: Extended Scope



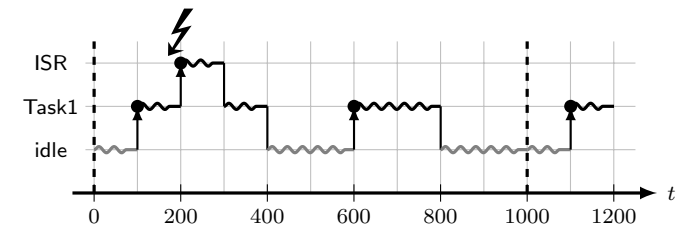
Begriffe



- **Interrupt, ISR**: Hardwareunterstützung für Kontrolltransfer an Interrupt-Handler
- **Interrupt-Handler**: Code der beim Auftreten des Interrupts ausgeführt wird
- **Interrupt-Vektor**: Nummer & Speicheradresse des Interrupt-Handlers
- **Interrupt-Controller**: Hardwareeinheit für Interruptbehandlung
- **Pending Interrupt**: noch nicht abgearbeiteter Interrupt
- **Interrupt-Latenz**: Zeit bis Interrupt erkannt/behandelt wird
- **Geschachtelter Interrupt**



Probleme von Interrupts [1, 2]



- **Prioritätsverletzungen**
- **Prellen**
 - Entprellung in Soft- oder Hardware
 - Tiefpassfilterung
- **Auftrittshäufigkeit**
 - Maximale Auftrittsfrequenz (= minimale Zwischenankunftszeit)
 - Soft- oder Hardware-seitige Überwachung
- **Auftrittszeitpunkte**
 - Zeitliche Garantien jederzeit gewährleisten
 - Zugriff auf Ressourcen



Checkliste für Interrupts in (V)EZS [1]

- 1 **Scheduling:** (WCET-)Analyse muss Interrupts (als Overheads) beachten
- 2 **Aufrufgraphen**
 - **Identifikation der Kontexte** in denen Interrupts auftreten könnten
 - ISR → DSR → `cyg_thread_resume()`
- 3 **Zeitanalyse**
 - Bestimmung der **maximalen Auftrittsfrequenz**
 - WCET-Analyse der Interrupt-Behandlung (in Isolation)
- 4 **Korrektheit des Stacks**
 - Gemeinsamer Stack?
 - Effekte von Interrupts auf Stack-Anordnungen
 - Bestimmung von **Stack-Budgets** (worst-case stack usage)
- 5 **Korrektheit der Nebenläufigkeiten**
 - Identifikation von Datenstrukturen auf die nebenläufig zugegriffen wird
 - Vermeidung von **Race-Conditions**, Verwendung atomarer Operationen



Interrupt Scheduler [2]

- Detektion und **Behandlung falscher Interrupts** (engl. spurious interrupts)
- Externe Geräte können fehlerhaft sein $\leadsto$ *Babbling Idiot*
- Software-Lösung (weiche Echtzeit)
 - Zählen von Interrupts über Zeitintervall
 - Verwendet in Linux ¹
 - Nur möglich wenn $WCET(ISR) < \frac{1}{\text{minimale Zwischenankunftszeit}}$
 - Detektion von spurious Interrupts
 - Deaktivierung des IRQs
 - Adaptives Pollen von Geräten
 - Zusätzlicher Laufzeit-Overhead
- Hardware-Lösung (harte Echtzeit)
 - **Zählen in Hardware** der Auftrittshäufigkeiten
 - TriCore CPU erlaubt das Zählen von externen Ereignissen (Komparatoren)
 - Überwachung implementierbar
 - Kein zusätzlicher Laufzeit-Overhead (außer Konfigurationsaufwand)



Übersicht

- 1 Wiederholung: Nicht-periodische Aufgaben
- 2 Interrupts in Echtzeitsystemen
- 3 Aufgabe 6: Extended Scope



Aufgabe 6: Extended Scope

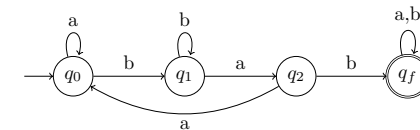


Abbildung: Beispiel für Zustandsmaschine

- Befehlsschnittstelle für Oszilloskop
- Auswertung von Benutzereingaben
 - *Was ist hier problematisch?*
 - Unterbrecher-, Hintergrundbetrieb, Periodischer Zusteller
- **Moduswechsel**
 - Dynamische Anpassung je nach Situation (Rekonfiguration der Ablauf Tabellen)
 - Siehe Vorlesung 4-3
 - Systemweite Koordination mittels *Zustandsmaschine*
- Erweiterte Übung
 - *Besprechung nächste Übung*
 - Rangfolge
 - Mailboxen, Events



[1] John Regehr.

Safe and structured use of interrupts in real-time and embedded software.

Handbook of Real-Time and Embedded Systems, I. Lee, JY-T. Leug, and SH Son, Eds. Chapman and Hall/CRC, pages 1–13, 2007.

[2] John Regehr and Usit Duongsaa.

Preventing interrupt overload.

In Proceedings of the 2005 ACM SIGPLAN/SIGBED Conference on Languages, Compilers and Tools for Embedded Systems (LCTES '05), pages 50–58, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.

