Echtzeitsysteme

Übungen zur Vorlesung

Nachlese

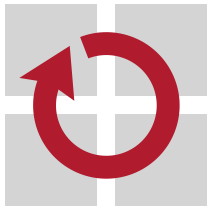
Simon Schuster **Phillip Raffeck**

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

Wintersemester 2019/20

Übersicht

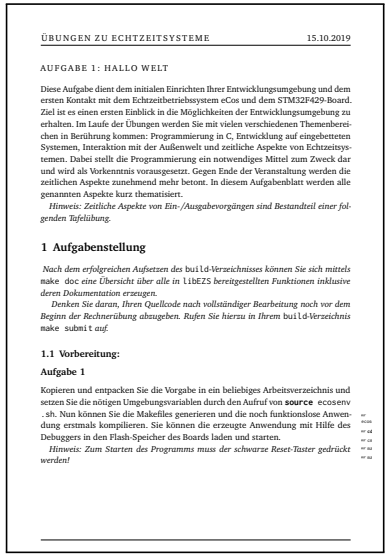
Werbung



- Studienarbeiten im Bereich Echtzeitsysteme
  - Bachelor
  - Master
  - ...
- Weitere Lehrveranstaltungen
  - VEZS
  - DIY
  - ...

Übersicht

Aufgabe 1: HalloWelt



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 15.10.2019

AUFGABE 1: HALLO WELT

Diese Aufgabe dient dem initialen Einrichten Ihrer Entwicklungsumgebung und dem ersten Kontakt mit dem Echtzeitbetriebssystem eCos und dem STM32F429-Board. Ziel ist es einen ersten Einblick in die Möglichkeiten der Entwicklungsumgebung zu erhalten. Im Laufe der Übungen werden Sie mit vielen verschiedenen Themenbereichen in Berührung kommen: Programmierung in C, Entwicklung auf eingebetteten Systemen, Interaktion mit der Außenwelt und zeitliche Aspekte von Echtzeitsystemen. Dabei stellt die Programmierung ein notwendiges Mittel zum Zweck dar und wird als Vorkenntnis vorausgesetzt. Gegen Ende der Veranstaltung werden die zeitlichen Aspekte zunehmend mehr betont. In diesem Aufgabenblatt werden alle genannten Aspekte kurz thematisiert.

Hinweis: Zeitliche Aspekte von Ein-/Ausgabevorgängen sind Bestandteil einer folgenden Tafelübung.

1 Aufgabenstellung

Nach dem erfolgreichen Aufsetzen des `build`*-Verzeichnisses können Sie sich mittels* `make doc` *eine Übersicht über alle in* `libEZS` *bereitgestellten Funktionen inklusive deren Dokumentation erzeugen.*

Denken Sie daran, Ihren Quellcode nach vollständiger Bearbeitung noch vor dem Beginn der Rechnerübung abzugeben. Rufen Sie hierzu in Ihrem `build`*-Verzeichnis* `make submit` *auf.*

1.1 Vorbereitung:

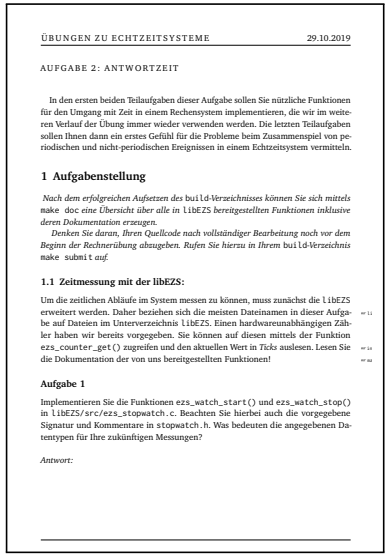
Aufgabe 1

Kopieren und entpacken Sie die Vorgabe in ein beliebiges Arbeitsverzeichnis und setzen Sie die nötigen Umgebungsvariablen durch den Aufruf von **`source`** `ecosenv.sh`. Nun können Sie die Makefiles generieren und die noch funktionslose Anwendung erstmals kompilieren. Sie können die erzeugte Anwendung mit Hilfe des Debuggers in den Flash-Speicher des Boards laden und starten.

Hinweis: Zum Starten des Programms muss der schwarze Reset-Taster gedrückt werden!

- C-Programmierung
- eCos & prozessorientierte Ausführungsmodelle
- Hardware-Interaktion, Polling
- Periodizität und aktives Warten

Aufgabe 2: Antwortzeit



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 29.10.2019

AUFGABE 2: ANTWORTZEIT

In den ersten beiden Teilaufgaben dieser Aufgabe sollen Sie nützliche Funktionen für den Umgang mit Zeit in einem Rechensystem implementieren, die wir im weiteren Verlauf der Übung immer wieder verwenden werden. Die letzten Teilaufgaben sollen Ihnen dann ein erstes Gefühl für die Probleme beim Zusammenspiel von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen in einem Echtzeitsystem vermitteln.

1 Aufgabenstellung

Nach dem erfolgreichen Aufsetzen des `build`*-Verzeichnisses können Sie sich mittels* `make doc` *eine Übersicht über alle in* `libEZS` *bereitgestellten Funktionen inklusive deren Dokumentation erzeugen.*

Denken Sie daran, Ihren Quellcode nach vollständiger Bearbeitung noch vor dem Beginn der Rechnerübung abzugeben. Rufen Sie hierzu in Ihrem `build`*-Verzeichnis* `make submit` *auf.*

1.1 Zeitmessung mit der libEZS:

Um die zeitlichen Abläufe im System messen zu können, muss zunächst die `libEZS` erweitert werden. Daher beziehen sich die meisten Dateinamen in dieser Aufgabe auf Dateien im Unterverzeichnis `libEZS`. Einen hardwareunabhängigen Zähler haben wir bereits vorgegeben. Sie können auf diesen mittels der Funktion `ezs_counter_get()` zugreifen und den aktuellen Wert in *Ticks* auslesen. Lesen Sie die Dokumentation der von uns bereitgestellten Funktionen!

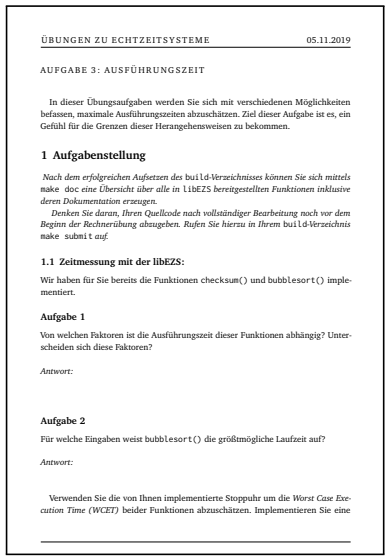
Aufgabe 1

Implementieren Sie die Funktionen `ezs_watch_start()` und `ezs_watch_stop()` in `libEZS/src/ezs_stopwatch.c`. Beachten Sie hierbei auch die vorgegebene Signatur und Kommentare in `stopwatch.h`. Was bedeuten die angegebenen Datentypen für Ihre zukünftigen Messungen?

Antwort:

- Zeitmessung:
  - Cyclecounter
  - Messumgebung
- WCET-Simulation
- ISR/DSR
- Antwortzeit

Aufgabe 3: Ausführungszeit



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 05.11.2019

AUFGABE 3: AUSFÜHRUNGSZEIT

In dieser Übungsaufgaben werden Sie sich mit verschiedenen Möglichkeiten befassen, maximale Ausführungszeiten abzuschätzen. Ziel dieser Aufgabe ist es, ein Gefühl für die Grenzen dieser Herangehensweisen zu bekommen.

1 Aufgabenstellung

Nach dem erfolgreichen Aufsetzen des `build`*-Verzeichnisses können Sie sich mittels* `make doc` *eine Übersicht über alle in* `libEZS` *bereitgestellten Funktionen inklusive deren Dokumentation erzeugen.*

Denken Sie daran, Ihren Quellcode nach vollständiger Bearbeitung noch vor dem Beginn der Rechnerübung abzugeben. Rufen Sie hierzu in Ihrem `build`*-Verzeichnis* `make submit` *auf.*

1.1 Zeitmessung mit der libEZS:

Wir haben für Sie bereits die Funktionen `checksum()` und `bubblesort()` implementiert.

Aufgabe 1

Von welchen Faktoren ist die Ausführungszeit dieser Funktionen abhängig? Unterscheiden sich diese Faktoren?

Antwort:

Aufgabe 2

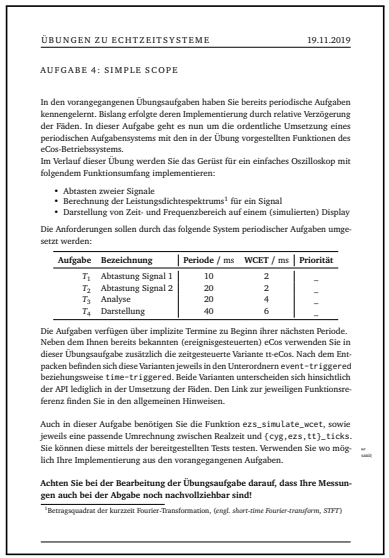
Für welche Eingaben weist `bubblesort()` die größtmögliche Laufzeit auf?

Antwort:

Verwenden Sie die von Ihnen implementierte Stoppuhr um die *Worst Case Execution Time (WCET)* beider Funktionen abzuschätzen. Implementieren Sie eine

- Zeitmessung
  - Intern: Cyclecounter
  - Extern: Oszilloskop
- Algorithmik, Eingabeabhängigkeiten
- Statistische Auswertung
- WCET
- Statische Laufzeitanalyse
- Genese von Worst-Case-Eingaben

Aufgabe 4: Simple Scope



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 19.11.2019

AUFGABE 4: SIMPLE SCOPE

In den vorangegangenen Übungsaufgaben haben Sie bereits periodische Aufgaben kennengelernt. Bislang erfolgte deren Implementierung durch relative Verzögerung der Fäden. In dieser Aufgabe geht es nun um die ordentliche Umsetzung eines periodischen Aufgabensystems mit den in der Übung vorgestellten Funktionen des eCos-Betriebssystems.
Im Verlauf dieser Übung werden Sie das Gerüst für ein einfaches Oszilloskop mit folgendem Funktionsumfang implementieren:

- Abtasten zweier Signale
- Berechnung der Leistungsdichtespektrums[1] für ein Signal
- Darstellung von Zeit- und Frequenzbereich auf einem (simulierten) Display

Die Anforderungen sollen durch das folgende System periodischer Aufgaben umgesetzt werden:

Aufgabe	Bezeichnung	Periode / ms	WCET / ms	Priorität
T_1	Abtastung Signal 1	10	2	–
T_2	Abtastung Signal 2	20	2	–
T_3	Analyse	20	4	–
T_4	Darstellung	40	6	–

Die Aufgaben verfügen über implizite Termine zu Beginn ihrer nächsten Periode. Neben dem Ihnen bereits bekannten (ereignisgesteuerten) eCos verwenden Sie in dieser Übungsaufgabe zusätzlich die zeitgesteuerte Variante tt-eCos. Nach dem Entpacken befinden sich diese Varianten jeweils in den Unterordnern `event-triggered` beziehungsweise `time-triggered`. Beide Varianten unterscheiden sich hinsichtlich der API lediglich in der Umsetzung der Fäden. Den Link zur jeweiligen Funktionsreferenz finden Sie in den allgemeinen Hinweisen.

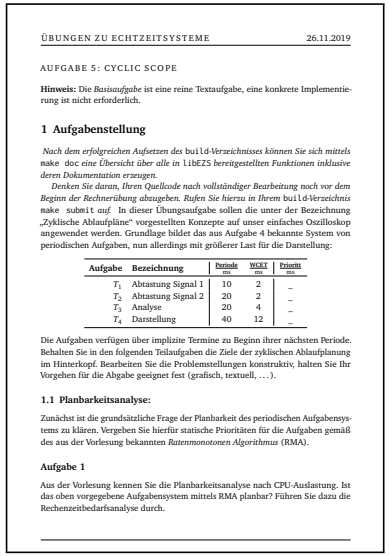
Auch in dieser Aufgabe benötigen Sie die Funktion `ezs_simulate_wcet`, sowie jeweils eine passende Umrechnung zwischen Realzeit und `{cyg,ezs,tt}_ticks`. Sie können diese mittels der bereitgestellten Tests testen. Verwenden Sie wo möglich Ihre Implementierung aus den vorangegangenen Aufgaben.

Achten Sie bei der Bearbeitung der Übungsaufgabe darauf, dass Ihre Messungen auch bei der Abgabe noch nachvollziehbar sind!

[1] Betragsquadrat der kurzzeit Fourier-Transformation, (*engl. short-time Fourier-transform, STFT*)

- Antwortzeitanalyse
- Ereignisgesteuerte Echtzeitsysteme
  - Alarme
  - RMA
  - Einplanung mit statischen Prioritäten
- Zeitgesteuerte Echtzeitsysteme
  - ⇝ Ablauftabellen
- EDF-Scheduler implementieren

Aufgabe 5: Cyclic Scope



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 26.11.2019

AUFGABE 5: CYCLIC SCOPE

Hinweis: Die *Basisaufgabe* ist eine reine Textaufgabe, eine konkrete Implementierung ist nicht erforderlich.

1 Aufgabenstellung

Nach dem erfolgreichen Aufsetzen des `build`*-Verzeichnisses können Sie sich mittels* `make doc` *eine Übersicht über alle in* `libEZS` *bereitgestellten Funktionen inklusive deren Dokumentation erzeugen.*

Denken Sie daran, Ihren Quellcode nach vollständiger Bearbeitung noch vor dem Beginn der Rechnerübung abzugeben. Rufen Sie hierzu in Ihrem `build`*-Verzeichnis* `make submit` *auf.* In dieser Übungsaufgabe sollen die unter der Bezeichnung „Zyklische Ablaufpläne" vorgestellten Konzepte auf unser einfaches Oszilloskop angewendet werden. Grundlage bildet das aus Aufgabe 4 bekannte System von periodischen Aufgaben, nun allerdings mit größerer Last für die Darstellung:

Aufgabe	Bezeichnung	Periode ms	WCET ms	Priorität ms
T_1	Abtastung Signal 1	10	2	_
T_2	Abtastung Signal 2	20	2	_
T_3	Analyse	20	4	_
T_4	Darstellung	40	12	_

Die Aufgaben verfügen über implizite Termine zu Beginn ihrer nächsten Periode. Behalten Sie in den folgenden Teilaufgaben die Ziele der zyklischen Ablaufplanung im Hinterkopf. Bearbeiten Sie die Problemstellungen konstruktiv, halten Sie Ihr Vorgehen für die Abgabe geeignet fest (grafisch, textuell, …).

1.1 Planbarkeitsanalyse:

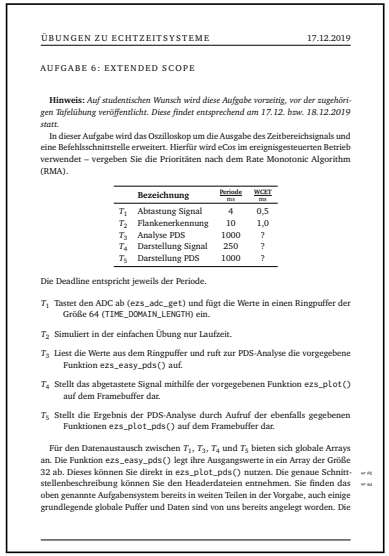
Zunächst ist die grundsätzliche Frage der Planbarkeit des periodischen Aufgabensystems zu klären. Vergeben Sie hierfür statische Prioritäten für die Aufgaben gemäß des aus der Vorlesung bekannten *Ratenmonotonen Algorithmus* (RMA).

Aufgabe 1

Aus der Vorlesung kennen Sie die Planbarkeitsanalyse nach CPU-Auslastung. Ist das oben vorgegebene Aufgabensystem mittels RMA planbar? Führen Sie dazu die Rechenzeitbedarfsanalyse durch.

- Planbarkeitsanalyse durch CPU-Auslastung
- Zyklische Ablaufpläne
  - ⇝ Rahmenmodell
- Nicht-periodische Aufgaben
  - Unterbrecherbetrieb
  - Hintergrundbetrieb
  - Periodischer Zusteller
  - Slack-Stealing
- Implementierung Cyclic Executive

Aufgabe 6: Extended Scope



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 17.12.2019

AUFGABE 6: EXTENDED SCOPE

Hinweis: *Auf studentischen Wunsch wird diese Aufgabe vorzeitig, vor der zugehörigen Tafelübung veröffentlicht. Diese findet entsprechend am 17.12. bzw. 18.12.2019 statt.*

In dieser Aufgabe wird das Oszilloskop um die Ausgabe des Zeitbereichsignals und eine Befehlsschnittstelle erweitert. Hierfür wird eCos im ereignisgesteuerten Betrieb verwendet – vergeben Sie die Prioritäten nach dem Rate Monotonic Algorithm (RMA).

	Bezeichnung	Periode ms	WCET ms
T_1	Abtastung Signal	4	0,5
T_2	Flankenerkennung	10	1,0
T_3	Analyse PDS	1000	?
T_4	Darstellung Signal	250	?
T_5	Darstellung PDS	1000	?

Die Deadline entspricht jeweils der Periode.

T_1 Tastet den ADC ab (`ezs_adc_get`) und fügt die Werte in einen Ringpuffer der Größe 64 (`TIME_DOMAIN_LENGTH`) ein.

T_2 Simuliert in der einfachen Übung nur Laufzeit.

T_3 Liest die Werte aus dem Ringpuffer und ruft zur PDS-Analyse die vorgegebene Funktion `ezs_easy_pds()` auf.

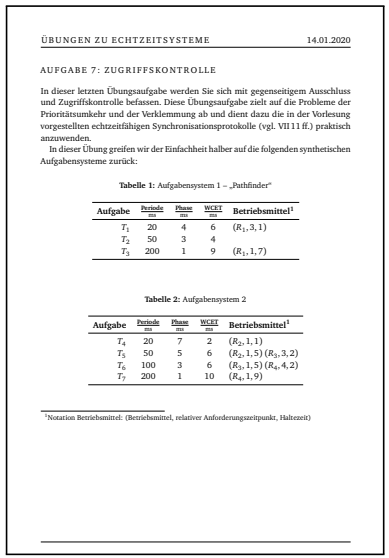
T_4 Stellt das abgetastete Signal mithilfe der vorgegebenen Funktion `ezs_plot()` auf dem Framebuffer dar.

T_5 Stellt die Ergebnis der PDS-Analyse durch Aufruf der ebenfalls gegebenen Funktionen `ezs_plot_pds()` auf dem Framebuffer dar.

Für den Datenaustausch zwischen T_1, T_3, T_4 und T_5 bieten sich globale Arrays an. Die Funktion `ezs_easy_pds()` legt ihre Ausgangswerte in ein Array der Größe 32 ab. Dieses können Sie direkt in `ezs_plot_pds()` nutzen. Die genaue Schnittstellenbeschreibung können Sie den Headerdateien entnehmen. Sie finden das oben genannte Aufgabensystem bereits in weiten Teilen in der Vorgabe, auch einige grundlegende globale Puffer und Daten sind von uns bereits angelegt worden. Die

- Aperiodische Steuerung
- Logische Ereignisse/Aktivierungen
- Minimale Zwischenankunftszeiten
- Rangfolge
- Betriebs(modus-)wechsel
- Zustandsmaschinen

Aufgabe 7: Zugriffskontrolle



ÜBUNGEN ZU ECHTZEITSYSTEME 14.01.2020

AUFGABE 7: ZUGRIFFSKONTROLLE

In dieser letzten Übungsaufgabe werden Sie sich mit gegenseitigem Ausschluss und Zugriffskontrolle befassen. Diese Übungsaufgabe zielt auf die Probleme der Prioritätsumkehr und der Verklemmung ab und dient dazu die in der Vorlesung vorgestellten echtzeitfähigen Synchronisationsprotokolle (vgl. VII 11 ff.) praktisch anzuwenden.

In dieser Übung greifen wir der Einfachheit halber auf die folgenden synthetischen Aufgabensysteme zurück:

Tabelle 1: Aufgabensystem 1 – „Pathfinder"

Aufgabe	Periode ms	Phase ms	WCET ms	Betriebsmittel[1]
T_1	20	4	6	$(R_1, 3, 1)$
T_2	50	3	4	
T_3	200	1	9	$(R_1, 1, 7)$

Tabelle 2: Aufgabensystem 2

Aufgabe	Periode ms	Phase ms	WCET ms	Betriebsmittel[1]
T_4	20	7	2	$(R_2, 1, 1)$
T_5	50	5	6	$(R_2, 1, 5)$ $(R_3, 3, 2)$
T_6	100	3	6	$(R_3, 1, 5)$ $(R_4, 4, 2)$
T_7	200	1	10	$(R_4, 1, 9)$

[1] Notation Betriebsmittel: (Betriebsmittel, relativer Anforderungszeitpunkt, Haltezeit)

- Betriebsmittel und kritische Abschnitte
- Verklemmungen
- Prioritätsumkehr
- Blockadezeit
- Synchronisationsprotokolle
  - Verdrängungssteuerung
  - Prioritätsvererbung
  - Prioritätsobergrenzen

Übersicht

Übersicht

Jeopardy

jeopardy.cs.fau.de