Echtzeitsysteme

Grundlegende Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme

Peter Ulbrich

Lehrstuhl Informatik 4

25. November 2014

Gliederung

Fragestellungen

- Wo unterscheiden sich periodische und nicht-periodische Aufgaben?
  - Wo spielen nicht-periodische Aufgaben eine Rolle?
  - Welche Herausforderungen ergeben sich für ihre Abfertigung?
- Welche Basistechniken stehen für die Abarbeitung zur Verfügung?
  - Sind diese Techniken auf Anwendungsebene umsetzbar?
  - Benötigt man spezielle Unterstützung des Betriebssystems?
  - Welche Risiken, Vorteile und Nachteile beinhalten diese Techniken?
- Schlupfzeit – Kann man sie für nicht-periodische Jobs verwenden?
  - Wie bestimmt man die Schlupfzeit?

Gliederung

Nicht-periodische Aufgabe (engl. *non-periodic task*)

Bieten im Vergleich zu periodischen Aufgaben deutlich weniger verwertbares Vorabwissen

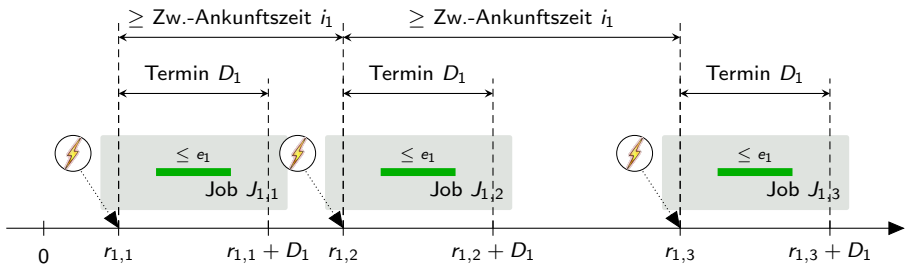
Aufgaben, die in unregelmäßigen Zeitintervallen eine vorgegebene Systemfunktion erbringen. Jede nicht-periodische Aufgabe $T_i = (i_i, e_i, D_i)$ ist eine Abfolge von Arbeitsaufträgen mit

- i_i der minimalen Zwischenankunftszeit (engl. *minimum interarrival-time*)
- e_i der maximalen Ausführungszeit (WCET)
- D_i dem relativen Termin

Aperiodische Aufgaben (engl. *aperiodic tasks*) besitzen weiche oder feste Termine, während sporadische Aufgaben (engl. *sporadic tasks*) harte Termine besitzen.

☞ Für nicht-periodische Aufgaben steht deutlich weniger Wissen a-priori zur Verfügung als für periodische Aufgaben!
- Aussagen zum Zeitpunkt ihrer Auslösung sind kaum möglich!

Nicht-periodische Aufgaben auf der Echtzeitachse



Ausführungszeit e_i maximale Ausführungszeit aller Jobs $J_{i,j}$ in T_i

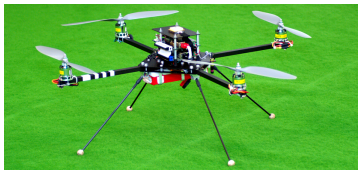
relativer Termin D_i maximale Zeitspanne zwischen Auslösezeit $r_{i,j}$ und Fertigstellung eines Jobs $J_{i,j}$ in T_i

Zwischenankunftszeit i_i minimale Länge aller Zeitintervalle $[r_{i,j}; r_{i,j+1}]$ zwischen den Auslösezeiten der Jobs in T_i

Nicht-periodische Aufgaben in der Praxis

Nicht-periodische Aufgaben behandeln entsprechende Ereignisse, die sich aus Zustandsänderungen ableiten (vgl. *event trigger*, Folie III-2/8). Mögliche Quellen für solche Zustandsänderungen sind *unter anderem*:

- Mensch-Maschine-Interaktion
  - menschliches Verhalten ist kaum quantifizierbar
- Fehlerbehandlung
  - sowohl innerhalb der Echtzeitanwendung, als auch im gesamten Echtzeitsystem (z.B. durch Verschleiß bedingte Ausfälle)



- Umsetzung von Steuerkommandos
  - Empfang über die Fernbedienung

  ⇝ sporadische Aufgabe
- Statusinformation per WLAN senden
  - falls ein interner Puffer voll läuft

  ⇝ aperiodische Aufgabe

Restriktionen des nicht-periodischen Modells

Lockerung der Restriktion A1 (s. Folie IV-1/10)

Mathematische Ansätze zur Analyse periodischer Echtzeitsysteme schränken solche Systeme häufig stark ein:

A1 ~~Alle Aufgaben sind periodisch.~~

A2 Alle Arbeitsaufträge können an ihren Auslösezeitpunkten eingeplant und ausgeführt werden.

A3 Termine und Perioden sind identisch.

A4 Kein Arbeitsauftrag gibt die Kontrolle über den Prozessor ab.

A5 Alle Aufgaben sind unabhängig voneinander, d.h. die einzige gemeinsame Ressource ist die CPU und es existieren keine Einschränkungen hinsichtlich der Auslösezeiten der Arbeitsaufträge.

A6 Der Overhead durch Unterbrechungen, Ablaufplanung oder Verdrängung ist vernachlässigbar.

A7 Alle Aufgaben verhalten sich voll-präemptiv.

Mischbetrieb: periodisch ↔ sporadisch/aperiodisch

Gekoppelte Einplanung nicht-periodischer Arbeitsaufträge

Koexistenz periodischer und nicht-periodischer Arbeitsaufträge

- Erhaltung statischer Garantien für periodische Arbeitsaufträge
  - Behinderung periodischer Arbeitsaufträge durch nicht-periodische Jobs muss begrenzt sein!
- dynamische Einplanung nicht-periodischer Arbeitsaufträge

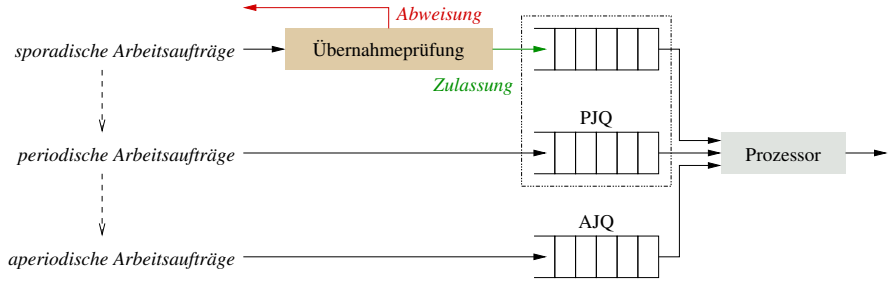
Sporadische Arbeitsaufträge ⇝ Übernahmeprüfung

- Entscheidung über Zulassung oder Abweisung des Arbeitsauftrags:
  1. Einplanung eines zugelassenen sporadischen Arbeitsauftrags, so dass sein Abschluss zum vorgegebenen Termin sichergestellt ist
  2. Zusicherung der Termineinhaltung aller periodischen Aufgaben und anderen zuvor bereits zugelassenen sporadischen Arbeitsaufträge

Aperiodische Arbeitsaufträge ⇝ Antwortzeitminimierung

- bei Termineinhaltung aller periodischen Aufgaben sowie der bereits zugelassenen (und eingeplanten) sporadischen Arbeitsaufträge

Prioritätswarteschlangen im Betriebssystem



- bereitgestellte periodische Arbeitsaufträge ⇝ *Periodic Job Queue*
  - diese kann auch durch eine statische Ablauftabelle implementiert sein
- sporadische Arbeitsaufträge durchlaufen ein/zwei Warteschlangen:
  1. ausgelöste Arbeitsaufträge müssen ggf. auf Übernahmeprüfung warten
  2. zugelassene Arbeitsaufträge kommen in eine eigene oder die PJQ
- bereitgestellte aperiodische Arbeitsaufträge ⇝ *Aperiodic Job Queue*

Sporadische Arbeitsaufträge

Zufällig ausgelöste Jobs mit harten Terminen

Durchführung einer Übernahmeprüfung (engl. *acceptance test*) für einen sporadischen Job wenn dieser (ereignisbedingt) ausgelöst wird

- der ausgelöste Job wird angenommen, wenn seine Ausführung zusammen mit allen anderen Jobs des Systems machbar ist
  - der gegenwärtige Ablaufplan muss genügend viel Schlupf aufweisen
    - mind. soviel, wie die max. Ausführungszeit des sporadischen Jobs
    - die Ausführungszeit wird ggf. erst zum Auslösezeitpunkt bekannt
  - nur Schlupf vor dem Termin des sporadischen Jobs ist von Relevanz
    - alle Rahmen, die mit dem Termin erfasst werden, finden Beachtung
  - der Test ist gekoppelt mit der Jobeinplanung, er läuft *online* ab
- scheitert der Test, so wird der sporadische Job abgewiesen
  - der Anwendung eine schwerwiegende Ausnahmesituation anzeigen
  - für die Ausnahmebehandlung wird soviel Zeit wie möglich freigestellt

☞ „gleichzeitige“ sporadische Jobs werden oft nach EDF getestet

Gliederung

Überblick

Grundlegende, mit minimaler Unterstützung des Laufzeitsystems umsetzbare Behandlungsmethoden für nicht-periodische Ereignisse. Sie sind sowohl für takt- als auch für vorranggesteuerte Systeme geeignet und teilweise vollständig auf Anwendungsebene umsetzbar:

Periodischer Zusteller $\rightsquigarrow$ Alles ist eine periodische Aufgabe!

- Abfragen nicht-periodische Ereignisse durch periodische Aufgaben

$\rightsquigarrow$ kommt meist ohne gesonderte Unterstützung aus

Unterbrecherbetrieb $\rightsquigarrow$ Abfertigung im Vordergrund

- Ereignisbehandlung direkt in der Unterbrechungsbehandlung

$\rightsquigarrow$ Unterstützung von Ausnahmebehandlungen (s. Folie III-1/18 ff.)

Hintergrundbetrieb $\rightsquigarrow$ Periodische Aufgaben haben Vorfahrt!

- Phasen der Untätigkeit für nicht-periodische Aufgaben nutzen

$\rightsquigarrow$ benötigt Verdrängung (s. Folie III-2/15 ff.)

Periodischer Zusteller (engl. periodic server)

Periodische Abarbeitung aperiodischer Arbeitsaufträge

Spezialisierung einer periodischen Aufgabe $T_s = (p_s, e_s)$ (s. Folie IV-1/5)

- definiert durch Periode p_s und Ausführungszeit e_s
  - das Verhältnis $u_s = e_s/p_s$ ist die Größe (engl. *size*) des Zustellers
- mit e_s als sogenanntes Ausführungsbudget (engl. *execution budget*)
  - das Budget wird um bis zu e_s Einheiten aufgefüllt (engl. *replenished*)
- und der Auffüllperiode p_s (engl. *replenishment period*)
  - das Budget des Zustellers wird regelmäßig erneuert
  - der Zeitpunkt wird Auffüllzeit (engl. *replenishment time*) genannt
- innerhalb eines beliebigen Zeitintervals der Länge p_s niemals länger als e_s Zeiten (sporadische/aperiodische Arbeitsaufträge) ausführend
- verschiedenartig ausgelegt: abfragend, aufschiebbar, sporadisch

☞ Ein periodischer Zusteller ist i.d.R. für die Ausführung der Jobs mehrerer sporadischer/aperiodischer Aufgaben zuständig!

Periodischer Zusteller (Forts.)

Arbeitsweise

Auslösung, Bereitstellung und Ausführung — der Zusteller...

- wird „zurückgestellt“ (engl. *backlogged*) wenn:
  1. mindestens ein nicht-periodischer Job ausführungsbereit ist
     - bei leerer Warteschlange ist der Zusteller untätig (engl. *idle*)
  2. der erste nicht-periodische Arbeitsauftrag ausgelöst wird
- kommt in Frage (engl. *is eligible*), für die Ausführung wenn er:
  1. einen Auftragsüberhang (engl. *backlog*) aufweist *und*
  2. über ein Ausführungsbudget verfügt
- nimmt teil am Einplanungsverfahren periodischer Aufgaben
  - als „normale“ periodische Aufgabe mit $T_s = (p_s, e_s)$
- verbraucht (engl. *consumes*) sein Budget während der Ausführung
  - bis es auf Null abgesunken d.h. aufgebraucht (engl. *exhausted*) ist

Abfragender Zusteller (engl. *polling server*)

Verfall des Restbudgets zum Zeitpunkt des Untätigwerdens

Abfrager (engl. *poller*) $\mapsto$ $T_P = (p_s, e_s)$

- mit Abfrageperiode p_s (engl. *polling period*)
  - zyklisch bereitgestellt im Abstand von (ganzzahlig vielfachen) p_s
- schrittweise Abfertigung von Jobs innerhalb einer Abfrageperiode
  - Abarbeitung des Auftragsüberhangs nicht-periodischer Jobs
  - ggf. Unterbrechung des laufenden Arbeitsauftrags am Periodenende
- ohne Auftragsüberhang verfällt das Budget unverzüglich
  - d.h., sobald der Abfrager feststellt, untätig sein zu müssen
  - auch, wenn dies bereits am Anfang der Abfrageperiode erkannt wird[1]
- Antwortzeiten aperiodischer Arbeitsaufträge schwanken ggf. stark
  - je nach Auslösezeitpunkt eines Auftrags bzw. Zustand des Abfragers

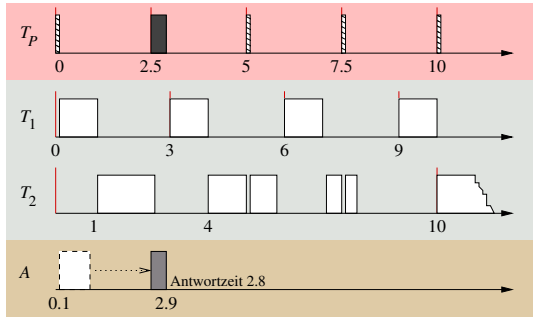
[1] Eintreffende aperiodische Arbeitsaufträge nachdem der Abfrager seine Untätigkeit festgestellt hat, kommen frühestens in der nächsten Abfrageperiode zum Zuge.

Beispiel: Abfragender Zusteller

Grundlegende Funktionsweise abfragender Zusteller

Beispiel:

- periodische Tasks
  - $T_p = (2.5, 0.5)$
  - $T_1 = (3, 1)$
  - $T_2 = (10, 4)$
  - RM
- aperiodischer Job
  - $A \mapsto 0.4(0.1, \infty)$



- T_p hat die kürzeste Periode und erhält daher höchste Priorität (RM)
- zu Beginn der Abfrageperioden t_0, t_5, $t_{7.5}$ und t_{10} ist die AJQ leer
- die Ausführung von A erfolgt in Abfrageperiode $t_{2,5}$
  - weil A erst kurz nach dem Abfragezeitpunkt t_0 ausgelöst wurde

⇝ das Laufzeitsystem kommt ohne Verdrängung aus

- der Zusteller verfügt über genügend Budget, um A innerhalb einer Abfrageperiode vollständig abzuarbeiten

Beispiel: Abfragender Zusteller

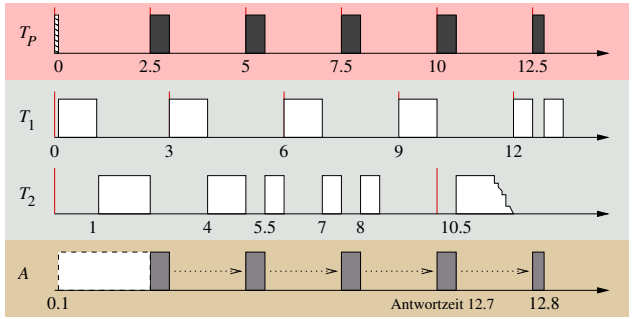
Aufteilung eines aperiodischen Arbeitsauftrags auf mehrere Auffüllperioden

Beispiel:

T_P, T_1, T_2 } wie gehabt

RM

$A \mapsto 2.3(0.1, \infty)$



- die Ausführung von A benötigt (mindestens) fünf Abfrageperioden:
  4×0.5 Zeiteinheiten (dem Budget von T_P)
  - in den Abfrageperioden $t_{2.5}$, t_5, $t_{7.5}$ und t_{10}

  1×0.3 Zeiteinheiten (bis A beendet ist)
  - in Abfrageperiode $t_{12.5}$; die AJQ ist leer, T_P gibt auf...

⇝ das Laufzeitsystem muss Verdrängung unterstützen

Abfragende Zusteller und sporadische Aufgaben

Wenn der Abfragebetrieb in der Ereignissteuerung an seine Grenzen stößt...

Der periodische Zusteller $T_P = (p_P, e_P)$ behandelt die sporadische Aufgabe $T_s = (i_s, e_s, D_s)$. Zum Zeitpunkt $r_{s,1}$ wird der Job $J_{s,1}$ ausgelöst.

- schlimmstenfalls wird der Abtastzeitpunkt np_P verpasst: $r_{s,1} > np_P$
  - $J_{s,1}$ wird also erst ab der zweiten Abfragebperiode abgearbeitet
- T_P kann durch die ereignisgesteuerte Einplanung verzögert werden
  - die Fertigstellung ist erst zur 3. Abfrageperiode $(n+2)p_P$ garantiert
- der Termin von T_s muss aber gehalten werden: $(n+2)p_P \leq r_{s,1} + D_s$

☞ der Termin D_s begrenzt die Auffüllperiode p_P: $p_P \leq D_s/2$

⇝ $D_s \leq i_s$, falls $J_{s,1}$ vor $r_{s,2}$ fertiggestellt sein muss

⇝ Gefahr der Überlast – normalerweise gilt: $i_s \ll \overline{r_{s,i+1} - r_{s,i}}$

- Minimale Zwischenankunftszeiten sind u.U. sehr kurz!

Nachteile des Abfragebetriebs

Verfall des noch nicht vollständig ausgeschöpften Ausführungsbudgets eines untätigen Abfragers

⇝ längere Antwortzeiten im Falle aperiodischer Aufgaben

⇝ Überlast im Fall sporadischer Aufgaben

- sporadische Ereignisse müssten sehr hochfrequent abgefragt werden

- noch eintreffende nicht-periodische Arbeitsaufträge bleiben in der laufenden Abfrageperiode unberücksichtigt
  - Ansammlung in der Warteschlange, der Abfrager wird zurückgestellt
  - so geschehen mit $A \mapsto 0.4(0.1, \infty)$ (s. Folie 17)
- die „zu spät“ eingetroffenen Aufträge werden frühestens in der nächsten Abfrageperiode (entsprechend Ablaufplan) behandelt

☞ das Restbudget eines Abfragers müsste bewahrt werden können...

⇝ ...dazu mehr in der nächsten Woche ☺

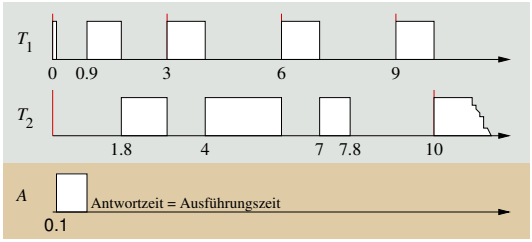
Unterbrecherbetrieb

Antwortzeitminimierung — auf Kosten eines „gut geordneten“ Ablaufplans

- ausgelöste nicht-periodische Arbeitsaufträge werden sofort ausgeführt, sie verdrängen die sich in Ausführung befindliche periodische Aufgabe

Beispiel:

- periodische Tasks
  - $T_1 = (3, 1)$
  - $T_2 = (10, 4)$
  - RM
- aperiodischer Job
  - $A \mapsto 0.8(0.1, \infty)$



- werden nicht-periodische Arbeitsaufträge immer sofort ausgeführt, erhöht sich das Risiko von Schwankungen im Ablauf periodischer Aufgaben

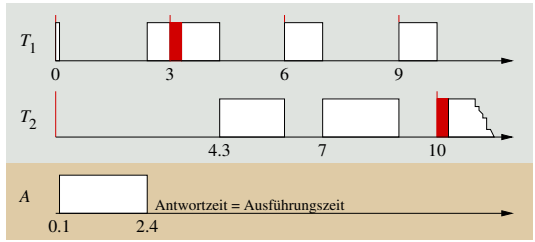
Unterbrecherbetrieb (Forts.)

Antwortzeitminimierung — auf Kosten eines korrekten Ablaufplans

- werden nicht-periodische Arbeitsaufträge bevorzugt ausgeführt, ist die Termineinhaltung periodischer Aufgaben nicht gesichert

Beispiel (vgl. Folie 21):

- aperiodischer Job
  - $A \mapsto 2.3(0.1, \infty)$
  - *run to completion*
- periodische Tasks
  - T_1 zu spät
  - T_2 zu spät



- ist die Schlupfzeit (s. Folie III-2/29) der unterbrochenen periodischen Aufgabe abgelaufen, muss diese Aufgabe fortgesetzt werden

Apollo 11, Mondlandung

Folklore zum Bordcomputer der Landefähre [2, 6]

- das Rendezvousradar[2] wurde vor Beginn der Landung eingeschaltet
  - falsche Vorgabe der Checkliste an die Astronauten
- dadurch beanspruchte das Radarsteuerprogramm zuviel Rechenzeit
  - Netzteile von Radar und Landeeinheit waren nicht synchronisiert
  - das Rendezvousradar erzeugte eine Flut von Scheinunterbrechungen
  - unerwarteterweise wurden dadurch etwa 15 % an Rechenlast erzeugt
  - Folge: Verzögerung/Ausfall von Berechnungen zur Landungskontrolle
- die Landungskontrolle hatte minimalen Treibstoffverbrauch als Ziel
  - das Kontrollprogramm setzte alle zwei Sekunden ein Kommando ab
  - zur Stabilisierung wurde der Autopilot jede 1/10 Sekunde aktiv
- die Landephase war mit einer Dauer von 11 Minuten geplant
  - fehlerbedingt fielen gut eine Minute lang alle Kontrollkommandos aus
  - dennoch klappte die Landung: Umschaltung auf manuelle Kontrolle

[2] Messung von Zeitintervallen zwischen bekannten Landmarken und Überprüfung von Position und Geschwindigkeit des Landemoduls relativ zum Kommandomodul.

Maxime von Echtzeitrechensystemen: Unterlast

Kapazitäten gezielt frei lassen . . .

- Echtzeitrechensysteme dürfen in kritischen Situation nur bis zu einem vorgegebenen Maximum belastet werden
  - das deutlich unter 100 % liegt
- solche Situationen zu identifizieren, zu bewerten und freizuhaltende Kapazitäten zu bestimmen, ist eine große Herausforderung
  - die durchgehende Anforderungsanalyse[3] zwingend macht
- unterbrechungsbedingte Verzögerungen und Last im Voraus einzuplanen, benötigt eine ordentliche Portion von Expertenwissen
  - das auch Scheinunterbrechungen kaum vorhersagen kann

[3] engl. *requirements engineering*, Fundament und Teilaktivität systematischer Softwareentwicklung — hier aber nicht nur Software.

Kontrollierter Unterbrecherbetrieb

Die Beeinflussung periodischer Aufgaben durch nicht-periodischer Aufgaben einschränken

Unterbrechungen erschweren eine deterministische Ausführung periodischer Aufgaben oder machen dies gar unmöglich:

- der Zeitpunkt ihres Auftretens ist a-priori nicht bekannt
- sie werden gegenüber aktuell ausgeführten Jobs bevorzugt

Quelle	max. Frequenz
Messerschalter	333
loser Draht	500
Kippschalter	1000
Wippschalter	1300
serielle Schnittstelle (115 kpbs)	11500
Ethernet (10 Mbps)	14880
CAN-Bus	15000
I2C-Bus	50000
USB	90000
Ethernet (100 Mbps)	148800
Ethernet (1 Gbps)	1488000

max. Raten verschiedener Unterbrechungsquellen [5]

- bereits unscheinbare Komponenten erzeugen signifikante Last durch Unterbrechungen
- periodische Aufgaben stehen Unterbrechungen „wehrlos“ gegenüber

☞ Gefahr der Überlast

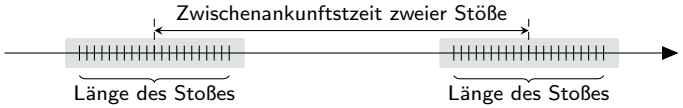
Kontrollierter Unterbrecherbetrieb (Forts.)

Ein Überlastsicherung ist unumgänglich!

Ansatzpunkt unbekannter Zeitpunkt des Auftretens von Unterbrechungen

☞ Beschränke das Auftreten von Unterbrechungen [5]

1. Überwachung der minimalen Zwischenankunftszeit
   - die nächste Unterbrechung wird erst angenommen, wenn mindestens die minimale Zwischenankunftszeit verstrichen ist
2. Überwachung von Unterbrechungsstößen (engl. *bursts*)
   - nach einem Unterbrechungsstoß werden alle Unterbrechungen bis zum nächsten Unterbrechungsstoß abgeblockt



Prinzip wird in verbreiteten Echtzeitbetriebssystemen aufgegriffen: OSEKtime [4] und AUTOSAR OS [1] schränken die minimale Zwischenankunftszeit ein oder überwachen sie.

Den Schlupf periodischer Arbeitsaufträge nutzen

Nicht-periodische Arbeitsaufträge in deren Hintergrund ausführen

Ausführung aperiodischer Jobs erfolgt im Hintergrund periodischer Jobs

- d.h., wenn keine periodischen Jobs zur Ausführung anstehen
  - in diesen Phasen ist der Prozessor ohnehin untätig
- jeder Schlupf auf der gesamten Echtzeitachse kann genutzt werden
  - Ruhephasen werden mit nicht-periodischen Jobs „aufgefüllt“
  - ein unvollendeter nicht-periodischer Job wird bei Bedarf verdrängt
  - der evtl. Jobrest füllt eine spätere Ruhephase (mit) auf...
- die Einplanungsentscheidung wird zur Laufzeit getroffen (*online*)
  - nicht-periodische Jobs werden ereignisbedingt ausgelöst

☞ nicht-periodische Jobs werden zugunsten periodischer Jobs verzögert

- ihre Antwortzeit verschlechtert sich
- Termineinhaltung bei sporadischen Aufgaben wird schwieriger
- die Ansprechempfindlichkeit des Systems lässt nach

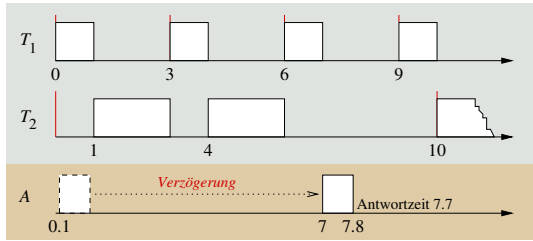
Hintergrundbetrieb

Korrekter Ablaufplan — auf Kosten des Antwortverhaltens

- aperiodische Arbeitsaufträge werden nur ausgeführt, falls keine periodischen/sporadischen Arbeitsaufträge zur Ausführung anstehen

Beispiel:

- periodische Tasks
  - $T_1 = (3, 1)$
  - $T_2 = (10, 4)$
  - RM
- aperiodischer Job
  - $A \mapsto 0.8(0.1, \infty)$



- minimiert die (mittleren) Antwortzeiten nicht-periodischer Arbeitsaufträge nur suboptimal ⇝ schlechtes Antwortverhalten

Qual der Wahl...

Abfragender Zusteller $\Longleftrightarrow$ Unterbrecherbetrieb $\Longleftrightarrow$ Hintergrundbetrieb

Abfragender Zusteller
- \+ einfache Implementierung auf Anwendungsebene
  - nicht-periodischer Arbeitsaufträge $\mapsto$ periodische Aufgabe
- \+ liefert immer korrekte Ablaufpläne
- – lange Antwortzeiten, weil das Ausführungsbudget aufgegeben wird
- – hoher Overhead durch den Abfragebetrieb

Unterbrecherbetrieb
- \+ sehr gute Antwortzeiten für nicht-periodische Arbeitsaufträge
- – erfordert die Behandlung von Unterbrechungen
- – verzögert periodische Arbeitsaufträge $\rightsquigarrow$ Überlastgefahr

Hintergrundbetrieb
- \+ liefert immer korrekte Ablaufpläne
- – benötigt Verdrängung
- – lange Antwortzeiten für nicht-periodische Arbeitsaufträge

Gliederung

Slack-Stealing

Die Abfertigung nicht-periodischer Jobs durch Nutzung der Schlupfzeit optimieren

Echtzeitbetrieb bedeutet Rechtzeitigkeit (s. Folie II/11)

☞ Warum sollte man Jobs dann vor ihrem Termin fertigstellen?
- kurz vor oder genau zum Termin ist schließlich ausreichend

☞ Verschiebe periodische Jobs nach hinten...
- führe in der entstehenden Lücke nicht-periodische Jobs aus

$\rightsquigarrow$ Stehle den Schlupf des periodischen Jobs und nutze ihn!
- daher der Name: engl. *slack-stealing*

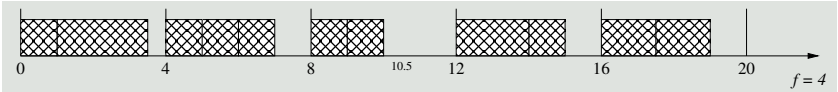
☞ ...gefährde aber nicht ihren Termin:
- sobald der Schlupf aufgebraucht ist,
  - muss der gerade ausgeführte, nicht-periodische Job suspendiert
  - und der verzögerte periodische Job gestartet werden

Slack-Stealing existiert für takt- und für vorranggesteuerte Systeme

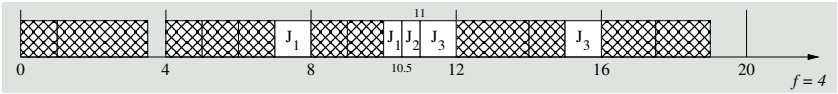
Ausgangspunkt: Taktsteuerung

Beispiel: *Major Cycle* eines zyklischen Ablaufplans periodischer Jobs (s. Folie IV-3/11)

- der erste große Durchlauf weist fünf Schlupfbereiche auf



  - schraffierte Bereiche bedeuten statisch eingeplante periodische Jobs
- aperiod. Jobs $J_1 \mapsto 1.5(4, \infty]$, $J_2 \mapsto 0.5(9.5, \infty]$, $J_3 \mapsto 2(10.5, \infty]$



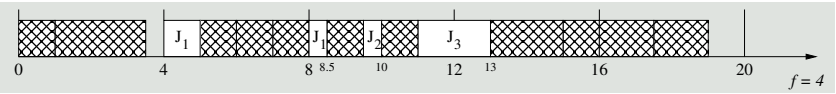
  - Ausführungszeiten 1.5, 0.5 und 2
  - zulässige Ausführungsintervalle (*earliest*, *latest*]
  - ∞ meint: der Job hat keinen, einen weichen oder festen Termin
- mittlere Antwortzeit: $((10.5 - 4) + (11 - 9.5) + (16 - 10.5))/3 = 4.5$

Taktsteuerung und Slack-Stealing (Forts.)

Schlupf „stehlen“ (engl. *slack stealing*)

Schlupf in Rahmen k ist die Zeitspanne $f - x_k$, wobei x_k Zeiteinheiten bereits für Scheiben periodischer Jobs in k reserviert sind

- Ansatz ist, periodischen Jobs Zeitpuffer am Rahmenende entziehen
  - periodische Jobs werden ans Ende ihres Rahmens „geschoben“
  - die Berechnung des Schlupfes geschieht einmal vor der Laufzeit und hängt nur vom aktuellen Rahmen ab
- Jobs J_1, J_2 und J_3, wie im Beispiel vorher (s. Folie V-1/32):



  J_1 wird sofort eingelastet, muss jedoch verdrängt werden
  J_2 wird ebenso behandelt, kann aber komplett durchlaufen
  J_3 wird verzögert bis der laufende periodische Job fertig ist
- mittlere Antwortzeit: $((8.5 - 4) + (10 - 9.5) + (13 - 10.5))/3 = 2.5$

Vorrangsteuerung und Slack-Stealing

- konzeptionell ist Slack-Stealing auch hier einfach
  - ein Schlupfzeit-Dieb (engl. *slack-stealer*) arbeitet anstehende nicht-periodische Arbeitsaufträge ab, auf
    höchster Priorität, wenn Schlupfzeit vorhanden ist, und auf
    niedrigster Priorität, wenn keine Schlupfzeit vorhanden ist
- aufwändig ist die Berechnung der Schlupfzeit [3, S. 233 ff.]
  - im Falle nach EDF geplanter Systeme mit dynamischen Prioritäten
    - müssen für statische vorberechnete Schlupfzeiten mindestens alle Jobs einer kompletten Hyperperiode berücksichtigt werden
    - bei einer dynamischen Berechnung muss immer das aktuelle Tätigkeitsintervall[4] betrachtet werden
    - zusätzlich ist Buchführung über Untätigkeit, gestohlenen Schlupf und bereits verbrauchte Rechenzeit der periodischen Jobs notwendig
  - im Fall RM-geplanter Systeme mit statischen Prioritäten
    - hängt die Schlupfzeit sogar von ihrem Verwendungszeitpunkt ab
    - der Schlupfzeit-Dieb darf daher nicht gierig (engl. *greedy*) sein

[4] dessen Länge zunächst mit Hilfe der Zeitbedarfsanalyse (s. Folie IV-2/37 ff.) bestimmt werden muss

Gliederung

Resümee

Nicht-periodische Aufgaben werden ereignisgesteuert ausgelöst
- harte o. feste/weiche Termine (sporadische/aperiodische Aufgaben)
- ihr Mischbetrieb ist eine Herausforderung

Abfragende Zusteller konvertieren sie in periodische Aufgaben
- schlechte Antwortzeiten, Ausführungsbudget, Auffüllperiode

Unterbrecherbetrieb bevorzugt nicht-periodische Aufgaben
- sehr gut Antwortzeiten, anfällig für Überlast
- gefährdet statische Garantien $\rightsquigarrow$ kontrollierter Unterbrecherbetrieb

Hintergrundbetrieb stellt nicht-periodische Aufgaben hinten an
- Antwortzeiten hängen von der Last periodischer Aufgaben ab

Slack-Stealing ist ein guter Kompromiss
- einfache Umsetzung in gut strukturierten, zeitgesteuerten Systemen
- nicht praktikabel in vorranggesteuerten Systemen

Literaturverzeichnis

[1] AUTOSAR:
Specification of Operating System (Version 4.0.0) / Automotive Open System Architecture GbR.
2009. –
Forschungsbericht

[2] Jr., S. R. M.:
My Fascinating Interview with Allan Klumpp.
http://www.unt.edu/UNT/departments/CC/Benchmarks/benchmarks_html/sepoct95/lunar.htm, 1995

[3] Liu, J. W. S.:
Real-Time Systems.
Prentice-Hall, Inc., 2000. –
ISBN 0–13–099651–3

[4] OSEK/VDX Group:
Time Triggered Operating System Specification 1.0 / OSEK/VDX Group.
2001. –
Forschungsbericht. –
http://portal.osek-vdx.org/files/pdf/specs/ttos10.pdf

Literaturverzeichnis (Forts.)

[5] Regehr, J. ; Duongsaa, U. :
Preventing interrupt overload.
In: *Proceedings of the 2005 ACM SIGPLAN/SIGBED Conference on Languages, Compilers and Tools for Embedded Systems (LCTES '05)*.
New York, NY, USA : ACM Press, 2005. –
ISBN 1–59593–018–3, S. 50–58

[6] Zühlsdorf, R. :
Protokoll des Funkverkehrs bei der ersten Landung auf dem Mond.
http://members.fortunecity.de/rogerzuehlsdorf/Ap11d.htm, 1999