



Kapitel 4

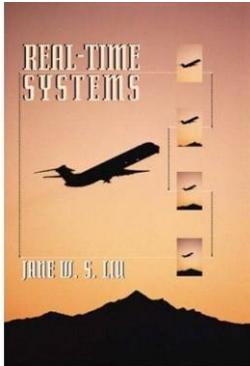
Scheduling



Inhalt

- Definitionen
- Kriterien zur Auswahl des Scheduling-Verfahrens
- Scheduling-Verfahren
- Prioritätsinversion
- Exkurs: Worst Case Execution Times

Literatur



Jane W. S. Liu, Real-Time Systems, 2000

Fridolin Hofmann: Betriebssysteme - Grundkonzepte und Modellvorstellungen, 1991

- Journals:

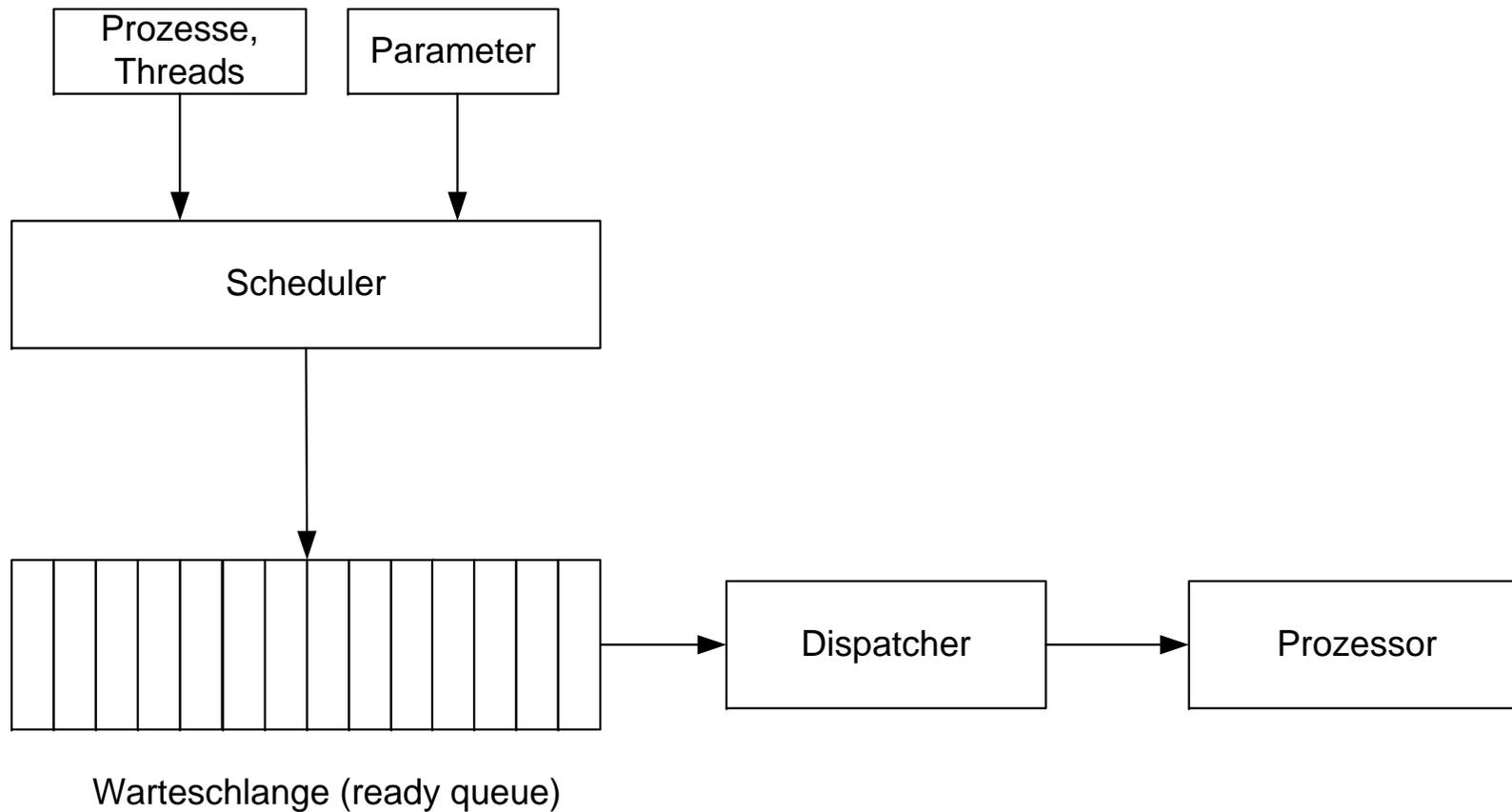
- John A. Stankovic, Marco Spuri, Marco Di Natale, and Giorgio C. Buttazzo: Implications of classical scheduling results for real-time systems. IEEE Computer, Special Issue on Scheduling and Real-Time Systems, 28(6):16–25, June 2005.
- Giorgio C. Buttazzo: Rate Monotonic vs. EDF: Judgement Day (<http://www.cas.mcmaster.ca/~downd/rtsj05-rmedf.pdf>)
- Puschner, Peter; Burns, Alan: A review of Worst-Case Execution-Time Analysis, Journal of Real-Time Systems 18 (2000), S.115-128



Scheduling

Definitionen

Scheduler und Dispatcher

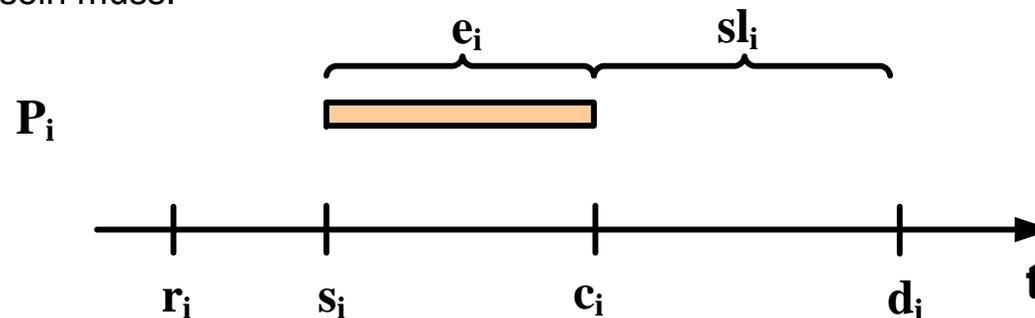


Scheduler und Dispatcher

- **Scheduler:** Modul eines Betriebssystems, das die Rechenzeit an die unterschiedlichen Prozesse verteilt. Der ausgeführte Algorithmus wird als Scheduling-Algorithmus bezeichnet. Aufgabe des Schedulers ist also die langfristige Planung (Vergleich: Erstellung eines Zugfahrplans).
- **Dispatcher:** Übersetzung: Einsatzleiter, Koordinator, Zuteiler (v.a. im Bereich der Bahn gebräuchlich). Im Rahmen der Prozessverwaltung eines Betriebssystems dient der Dispatcher dazu, bei einem Prozesswechsel dem derzeit aktiven Prozess die CPU zu entziehen und anschließend dem nächsten Prozess die CPU zuzuteilen. Die Entscheidung, welcher Prozess der nächste ist, wird vom Scheduler im Rahmen der Warteschlangenorganisation getroffen.

Zeitliche Bedingungen

- Folgende Größen sind charakteristisch für die Ausführung von Prozessen:
 1. P_i bezeichnet den i . **Prozess** (bzw. Thread)
 2. r_i : **Bereitzeit (ready time)** des Prozesses P_i und damit der früheste Zeitpunkt an dem der Prozess dem Prozessor zugeteilt werden kann.
 3. s_i : **Startzeit**: der Prozessor beginnt P_i auszuführen.
 4. e_i : **Ausführungszeit (execution time)**: Zeit die der Prozess P_i zur reinen Ausführung auf dem Prozessor benötigt.
 5. c_i : **Abschlußzeit (completion time)**: Zeitpunkt zu dem die Ausführung des Prozesses P_i beendet wird.
 6. d_i : **Frist (deadline)**: Zeitpunkt zu dem die Ausführung des Prozesses P_i in jeden Fall beendet sein muss.





Spielraum (slack time)

- Mit dem Spielraum (slack time) sl_i eines Prozesses P_i wird Zeitraum bezeichnet, um den ein Prozess noch maximal verzögert werden darf:
 - Die Differenz zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Ablauf der Frist und der noch benötigten Ausführungszeit zur Beendigung des Prozesses P_i .
- Der Spielraum eines Prozesses, der aktuell durch den Prozessor ausgeführt wird, bleibt konstant, während sich die Spielräume aller nicht ausgeführten Prozesse verringern.



Faktoren bei der Planung

- Für die Planung des Scheduling müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:
 - Art der Prozesse (periodisch, nicht periodisch, sporadisch)
 - Gemeinsame Nutzung von Ressourcen (**shared resources**)
 - Fristen
 - Vorrangrelationen (**precedence constraints**: Prozess P_i muss vor P_j ausgeführt werden)



Arten der Planung

- Es kann zwischen unterschiedlichen Arten zum Planen unterschieden werden:
 - offline vs. online Planung
 - statische vs. dynamische Planung
 - präemptives vs. nicht-präemptives Scheduling



Offline Planung

- Mit der offline Planung wird die Erstellung eines Ausführungsplanes zur Übersetzungszeit bezeichnet. Zur Ausführungszeit arbeitet der Dispatcher den Ausführungsplan dann ab.
- **Vorteile:**
 - deterministisches Verhalten des Systems
 - wechselseitiger Ausschluss in kritischen Bereichen wird direkt im Scheduling realisiert
- **Nachteile:**
 - Bereitzeiten, Ausführungszeiten und Abhängigkeit der einzelnen Prozesse müssen schon im Voraus bekannt sein.
 - Die Suche nach einem Ausführungsplan ist im Allgemeinen ein NP-hartes Problem. Es werden jedoch keine optimalen Pläne gesucht, vielmehr ist ein gute Lösung (Einhaltung aller Fristen) ausreichend.



Online Scheduling

- Alle Schedulingentscheidungen werden online, d.h. auf der Basis der Menge der aktuell lauffähigen Prozesse und ihrer Parameter getroffen.
- Im Gegensatz zur offline Planung muss wechselseitiger Ausschluss nun über den expliziten Ausschluss (z.B. Semaphoren) erfolgen.
- Vorteile:
 - Flexibilität
 - Bessere Auslastung der Ressourcen
- Nachteile:
 - Es müssen zur Laufzeit Berechnungen zum Scheduling durchgeführt werden \Rightarrow Rechenzeit geht verloren.
 - Garantien zur Einhaltung von Fristen sind schwieriger zu geben.
 - Problematik von Race Conditions



Statische vs. dynamische Planung

- Bei der statischen Planung basieren alle Entscheidungen auf Parametern, die vor der Laufzeit festgelegt werden.
- Zur statischen Planung wird Wissen über:
 - die Prozessmenge
 - ihre Prioritäten
 - das Ausführungsverhaltenbenötigt.
- Bei der dynamischen Planung können sich die Scheduling-Parameter (z.B. die Prioritäten) zur Laufzeit ändern.
- **Wichtig:** Statische Planung und Online-Planung schließen sich nicht aus: z.B. Scheduling mit festen Prioritäten.



Präemption

- Präemptives (bevorrechtigt, entziehend) Scheduling: Bei jedem Auftreten eines relevanten Ereignisses wird die aktuelle Ausführung eines Prozesses unterbrochen und eine neue Schedulingentscheidung getroffen.
- Präemptives (unterbrechbares) Abarbeiten:
 - Aktionen (Prozesse) werden nach bestimmten Kriterien geordnet (z.B. Prioritäten, Frist,...).
 - Diese Kriterien sind statisch festgelegt oder werden dynamisch berechnet.
 - Ausführung einer Aktion wird sofort unterbrochen, sobald Aktion mit höherer Priorität eintrifft.
 - Die unterbrochene Aktion wird an der Unterbrechungsstelle fortgesetzt, sobald keine Aktion höherer Priorität ansteht.
 - Typisch für Echtzeitaufgaben (mit Ausnahme von Programmteilen, die zur Sicherung der Datenkonsistenz nicht unterbrochen werden dürfen).
 - Nachteil: häufiges Umschalten reduziert Leistung.



Ununterbrechbares Scheduling

- Ein Prozess, der den Prozessor zugewiesen bekommt, wird solange ausgeführt, bis der Prozess beendet wird oder er aber den Prozess freigibt.
- Scheduling-Entscheidungen werden nur nach der Prozessbeendigung oder dem Übergang des ausgeführten Prozesses in den blockierten Zustand vorgenommen.
- Eine begonnene Aktion wird beendet, selbst wenn während der Ausführung Aktionen höherer Dringlichkeit eintreffen
⇒ Nachteil: evtl. Versagen (zu lange Reaktionszeit) des Systems beim Eintreffen unvorhergesehener Anforderungen
- Anmerkung: Betriebssysteme unterstützen allgemein präemptives Scheduling solange ein Prozess im Userspace ausgeführt, Kernelprozesse werden häufig nicht oder selten unterbrochen.
⇒ Echtzeitbetriebssysteme zeichnen sich in Bezug auf das Scheduling dadurch aus, dass nur wenige Prozesse nicht unterbrechbar sind und diese wiederum sehr kurze Berechnungszeiten haben.



Schedulingkriterien

- Kriterien in Standardsystemen sind:
 - Fairness: gerechte Verteilung der Prozessorzeit
 - Effizienz: vollständige Auslastung der CPU
 - Antwortzeit: interaktive Prozesse sollen schnell reagieren
 - Verweilzeit: Aufgaben im Batchbetrieb (sequentielle Abarbeitung von Aufträgen) sollen möglichst schnell ein Ergebnis liefern
 - Durchsatz: Maximierung der Anzahl der Aufträge, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne ausgeführt werden
- In Echtzeitsystemen:
 - Einhaltung der Fristen: d.h. $\forall i c_i < d_i$ unter Berücksichtigung von Kausalzusammenhängen (Synchronisation, Vorranggraphen, Präzedenzsystemen)
 - Zusätzliche Kriterien können anwendungsabhängig hinzugenommen werden, solange sie der Einhaltung der Fristen untergeordnet sind.



Scheduling

Verfahren



Allgemeines Verfahren

- Gesucht: Plan mit aktueller Start und Endzeit für jeden Prozess P_i .
- Darstellung zum Beispiel als nach der Zeit geordnete Liste von Tupeln (P_i, s_i, c_i)
- Falls Prozesse unterbrochen werden können, so kann jedem Prozess P_i auch eine Menge von Tupeln zugeordnet werden.
- Phasen der Planung:
 - Test auf Einplanbarkeit (feasibility check)
 - Planberechnung (schedule construction)
 - Umsetzung auf Zuteilung im Betriebssystem (dispatching)
- Bei Online-Verfahren können die einzelnen Phasen überlappend zur Laufzeit ausgeführt werden.
- Zum Vergleich von Scheduling-Verfahren können einzelne Szenarien durchgespielt werden.



Definitionen

- **Zulässiger Plan:** Ein Plan ist zulässig, falls alle Prozesse einer Prozessmenge eingeplant sind und dabei keine Präzedenzrestriktionen und keine Zeitanforderungen verletzt werden.
- **Optimales Planungsverfahren:** Ein Verfahren ist optimal, falls es für jede Prozessmenge unter gegebenen Randbedingung einen zulässigen Plan findet, falls ein solcher existiert.



Test auf Einplanbarkeit

- Zum Test auf Einplanbarkeit können zwei Bedingungen angegeben werden, die für die Existenz eines zulässigen Plans notwendig sind (Achtung: häufig nicht ausreichend):
 1. $r_i + e_i \leq d_i$, d.h. jeder Prozess muss in dem Intervall zwischen Bereitzeit und Frist ausgeführt werden können.
 2. Für jeden Zeitraum $[t_i, t_j]$ muss die Summe der Ausführungszeiten e_x der Prozesse P_x mit $r_x \geq t_i \wedge d_x \leq t_j$ kleiner als der Zeitraum sein.
- Durch weitere Rahmenbedingungen (z.B. Abhängigkeiten der einzelnen Prozesse) können weitere Bedingungen hinzukommen.



Schedulingverfahren

- Planen aperiodischer Prozesse
 - Planen durch Suchen
 - Planen nach Fristen
 - Planen nach Spielräumen
- Planen periodischer Prozesse
 - Planen nach Fristen
 - Planen nach Raten
- Planen abhängiger Prozesse

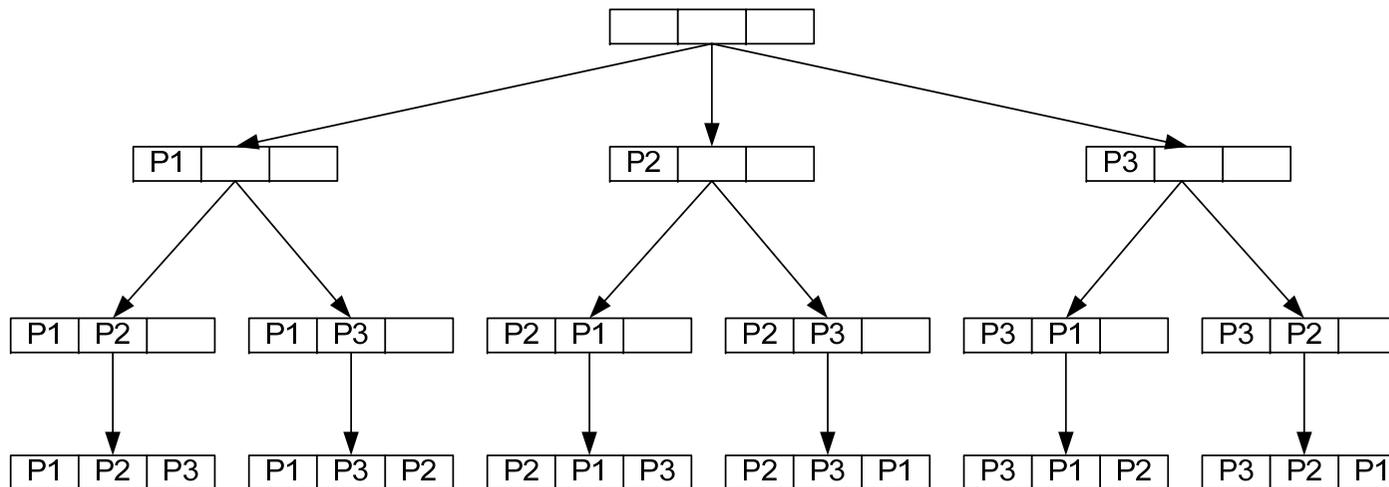


Scheduling

Scheduling-Verfahren für 1-Prozessor-Systeme

Planen durch Suchen

- Betrachtung: ununterbrechbare Aktionen/Prozesse vorausgesetzt
- Lösungsansatz: exakte Planung durch Durchsuchen des Lösungsraums
- Beispiel:
 - $n=3$ Prozesse P_1, P_2, P_3 und 1 Prozessor
 - Suchbaum:





Problem: Komplexität

- $n!$ Permutationen müssen bewertet werden, bei Mehrprozessorsystemen ist das Problem der Planung NP-vollständig
- Durch präemptives Scheduling bzw. durch unterschiedliche Bereitzeiten kann das Problem weiter verkompliziert werden.
- Die Komplexität kann durch verschiedene Maßnahmen leicht verbessert werden:
 - Abbrechen von Pfaden bei Verletzung von Fristen
 - Verwendung von Heuristiken: z.B. Sortierung nach Bereitstellzeiten r_i
- Prinzipiell gilt jedoch: **Bei komplexen Systemen ist Planen durch Suchen nicht möglich.**



Scheduling-Strategien (online, nicht-präemptiv) für Einprozessorsysteme

1. EDF: Einplanen nach Fristen (Earliest Deadline First): Der Prozess, dessen Frist als nächstes endet, erhält den Prozessor.
2. LST: Planen nach Spielraum (Least Slack Time): Der Prozess mit dem kleinsten Spielraum erhält den Prozessor.
 - Der Spielraum berechnet sich wie folgt:
Deadline-(aktuelle Zeit + verbleibende Berechnungszeit)
 - Der Spielraum für den aktuell ausgeführten Prozess ist konstant.
 - Die Spielräume aller anderen Prozesse nehmen ab.
- Vorteil und Nachteile:
 - LST erkennt Fristverletzungen früher als EDF.
 - Für LST müssen die Ausführungszeiten der Prozesse bekannt sein.