Systemprogrammierung

Grundlagen von Betriebssystemen

Teil C – IX.1 Prozessverwaltung: Einplanungsgrundlagen

Wolfgang Schröder-Preikschat

25. Oktober 2019

Agenda

Einführung

Programmfaden
- Grundsätzliches
- Fadenverläufe
- Leistungsoptimierung

Arbeitsweisen
- Ebenen
- Ebenenübergänge
- Verdrängung

Gütemerkmale
- Benutzerdienlichkeit
- Systemperformanz
- Betriebsart

Zusammenfassung

Gliederung

Einführung

Programmfaden
- Grundsätzliches
- Fadenverläufe
- Leistungsoptimierung

Arbeitsweisen
- Ebenen
- Ebenenübergänge
- Verdrängung

Gütemerkmale
- Benutzerdienlichkeit
- Systemperformanz
- Betriebsart

Zusammenfassung

Lehrstoff

- **Programmfäden** als ein gängiges Mittel zum Zweck der Einplanung von Prozessen kennenlernen
  - Lauf- und Wartephasen von Fäden im Zusammenhang behandeln
  - phasenverschränkte Fadenausführung zur Leistungssteigerung nutzen
  - Uneindeutigkeit logischer Prozesszustände als Normalität sehen
- grundsätzliche **Arbeitsweisen** der Prozessplaner (*process scheduler*) verstehen und zu differenzieren
  - lang-, mittel- und kurzfristige Prozesseinplanung betrachten
  - Facetten der verdrängenden Prozesseinplanung beleuchten
  - Latenz und Determinismus in Zusammenhang bringen
- typische **Kriterien** zur und charakteristische (Güte-) **Merkmale** der Einplanung von Prozessen ansprechen
  - benutzer- und systemorientierte Kriterien unterscheiden
  - den Zusammenhang mit bestimmten Rechnerbetriebsarten erkennen

Gliederung

Einführung

Programmfaden
- Grundsätzliches
- Fadenverläufe
- Leistungsoptimierung

Arbeitsweisen
- Ebenen
- Ebenenübergänge
- Verdrängung

Gütemerkmale
- Benutzerdienlichkeit
- Systemperformanz
- Betriebsart

Zusammenfassung

Prozessorzuteilungseinheit

- Einplanungseinheit für die Prozessorvergabe ist der **Faden**[1] (*thread*)
  - geplant wird, wann ein Faden wie lange ablaufen darf
- die Ablaufplanung der Fäden geschieht **betriebsmittelorientiert** und ist **ereignis-** oder **zeitgesteuert** ausgelegt
  - die Laufbereitschaft eines Fadens hängt von der Verfügbarkeit all jener Betriebsmittel ab, die für seinen Ablauf erforderlich sind
  - die Bereitstellung von Betriebsmitteln (ggf. durch andere Fäden) kann die sofortige Einplanung von Fäden bewirken oder
  - die Einplanung erfolgt in fest vorgegebenen Zeitintervallen
- dabei handelt es sich um Vorgänge im System, die voneinander ent- oder miteinander gekoppelt sein können
  - d.h., zeitversetzt oder zeitgleich zum Ablauf eingeplanter Fäden
- **Einplanung** eines Fadens ist nicht gleichzusetzen mit **Einlastung**:
  - Einplanung ist der Vorgang der Reihenfolgenbildung von Aufträgen
  - Einlastung ist der Moment der Zuteilung von Betriebsmitteln

[1] Verbreitete Variante einer Prozessinkarnation [1, S. 6].

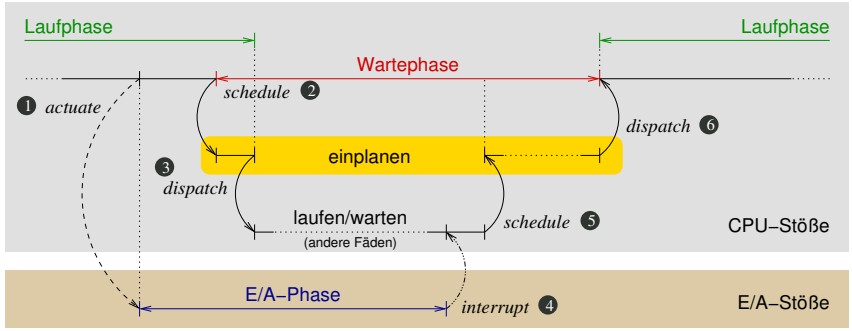
Stoßbetrieb

burst mode

- einerseits die als **Rechenstoß** (*CPU burst*) bezeichnete Laufphase
  - aktive Phase eines Fadens (auch: Rechenphase)
    - alle zur Ausführung erforderlichen Betriebsmittel sind verfügbar
  - der Faden ist eingelastet, ihm wurde der Prozessor zugeteilt
- andererseits der **Ein-/Ausgabestoß** (*I/O burst*) als evtl. Wartephase
  - ggf. die inaktive Phase eines Fadens (auch: E/A-Phase)
    - nicht alle zur Ausführung erforderlichen Betriebsmittel sind verfügbar
  - Ein-/Ausgabe abwarten meint, **Betriebsmittel** [1, S. 10–11] zu erwarten
    - konsumierbare Betriebsmittel: Eingabedaten, Ausgabequittung (Signal)
    - wiederverwendbare Betriebsmittel: Puffer, Geräte, . . . , Prozessor
  - die Betriebsmittel werden letztlich durch andere Fäden bereitgestellt
    - ein E/A-Gerät kann dabei als „externer Faden“ betrachtet werden[2]
- kontinuierlich einander abwechselnde Phasen eines jeden Prozesses
  - je nach Programm oder Progammmix, mit unterschiedlichen Stoßlängen

[2] Ein „externer Prozess“, der (a) durch Anweisung eines „internen Prozesses“ entsteht oder (b) entsprechend physikalischer Vorgaben autonom voranschreitet.

Lauf-, E/A- und Wartephasen von Fäden (1)



- in Praxis ist der **Prozesszustand** [1, S. 24] „phasenuneindeutig“
  - laufend
    - Laufphase eines Fadens, direkt vor (logisch) oder nach (real) dem Prozesswechsel bei der Einlastung (3 bzw. 6)
  - blockiert
    - noch zur Laufphase des Fadens, vor der Prozessorabgabe (2–3)
    - physische Wartephase des Fadens bis zur Bereitstellung (3–5)
  - bereit
    - noch zur Laufphase, vor der Prozessorabgabe (2–3) und bei entsprechend kurzer E/A-Phase (1–5)
    - physische Wartephase des Fadens bis zur Einlastung (3–6)

Lauf-, E/A- und Wartephasen von Fäden (2)

- **Betriebssystemkontrollfluss** zur Fadeneinplanung und -einlastung:
  1. der laufende Faden stößt einen E/A-Vorgang an (*actuate*)
  2. er wartet passiv auf die Beendigung der Ein-/Ausgabe (*schedule*)
     - Anforderung eines wiederverwend-/konsumierbaren Betriebsmittels
  3. und lastet einen eingeplanten, laufbereiten Faden ein (*dispatch*)
  4. die Beendigung der Ein-/Ausgabe wird signalisiert (*interrupt*)
     - Bereitsstellung des konsumierbaren Betriebsmittels „Signal“
  5. der auf dieses Ereignis wartende Faden wird eingeplant (*schedule*)
  6. der Faden wird eingelastet, sobald er an der Reihe ist (*dispatch*)
- Kreislauf bis zum **Leerlauf** (*idle state*) mangels laufbereiter Fäden

Hinweis (Energiesparmodus)

Normalerweise wird der Prozessor dann in Bereitschaft (standby) versetzt. Untypisch ist aktives Warten auf die Bereitstellung eines Fadens durch (a) den einzigen „blockiert laufenden“ Prozess oder (b) einen sonst untätigen Prozess (idle process). Im Fall von (a) kann der so wartende Prozess sich selbst bereitstellen — oder einlasten, wenn dies die Einplanungsstrategie (full preemption) zulässt. Unabhängig davon, muss ein „blockierend laufender“ Prozess sich selbst „laufend bereit“ stellen können.

Fäden als Mittel zum Kaschieren von Totzeiten

- die **Überlappung** von Lauf- und Wartephasen verschiedener Fäden lässt eine Erhöhung der Rechnerauslastung erwarten
  - die Wartephase eines Fadens als Laufphase anderer Fäden nutzen
  - die Stöße anderer Fäden zum „Auffüllen“ von Wartephasen nutzen
- nicht nur die **Auslastung** der CPU kann sich steigern, sondern auch die der angeschlossenen Peripherie (E/A-Geräte)
  - eine CPU kann zu einem Zeitpunkt nur einen Rechenstoß verarbeiten
  - parallel dazu können jedoch mehrere Ein-/Ausgabestöße laufen
    - ausgelöst während eines Rechenstoßes: in der Laufphase eines Fadens wurden mehrere E/A-Vorgänge gestartet
    - ausgelöst von mehreren Rechenstößen: die Wartephase eines Fadens wurde mit Laufphasen anderer Fäden gefüllt
  - Folge: CPU und E/A-Geräte sind andauernd mit Arbeit beschäftigt
- beachte: Fäden sind **Ausdrucksmittel** von (a) Mehrprogrammbetrieb oder (b) nicht-sequentiellen Programmen
  - bei weniger Prozessoren als Fäden, sind Fäden zu serialisieren

Zwangsserialisierung von Programmfäden

In Bezug auf ein Exemplar des wiederverwendbaren Betriebsmittels „CPU“ bzw. „Core“.

- die **absolute Ausführungsdauer** nach Ankunftszeit eingeordneter laufbereiter Fäden verlängert sich:
  - Ausgangspunkt seien n Fäden mit gleichlanger Bearbeitungsdauer k
  - der erste Faden wird um die Zeitdauer 0 verzögert
  - der zweite Faden um die Zeitdauer k, der i-te Faden um $(i-1)\cdot k$
  - der letzte von n Fäden wird verzögert um $(n-1)\cdot k$

Mittlere Fadenverzögerung

$$\frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}(i-1)\cdot k = \frac{n-1}{2}\cdot k$$

- die Vergrößerung der **mittleren Verzögerung** ist proportional zur Fadenanzahl

Subjektive Empfindung der Fadenverzögerung

Nur bis zu einer bestimmten Last, die sich unter anderem durch die Anzahl eingeplanter Fäden bestimmt.

- Startzeiten von Fäden verzögern sich im Mittel um: $\frac{n-1}{2}\cdot t_{cpu}$, mit t_{cpu} gleich der mittleren Dauer eines Rechenstoßes
  - sofern $t_{cpu} \geq t_{ea}$, der mittleren Dauer eines Ein-/Ausgabestoßes
  - die Praxis liefert als Regelfall jedoch ein anderes Bild: $t_{cpu} \ll t_{ea}$
- Wartephasen bei E/A-Operationen dominieren die Fadenverzögerung
  - zwischen Rechen- und Ein-/Ausgabestößen besteht eine Zeitdiskrepanz
  - der proportionale Verzögerungsfaktor bleibt weitestgehend verborgen
  - er greift erst ab einer bestimmten Anzahl von Programmfäden
    - nämlich wenn zu einem Zeitpunkt gilt: $\sum_{i=1}^{m} t_{cpu}^{i} > \sum_{j=1}^{n} t_{ea}^{j}$
  - sehr häufig ist die Fadenverzögerung daher nicht wahrnehmbar
- beachte: **Überlast** durch zuviel eingeplante Fäden ist zu **vermeiden**
  - akkumulierte Länge der Rechenstöße der jew. E/A-Auslastung anpassen

Gliederung

Einführung

Programmfaden
- Grundsätzliches
- Fadenverläufe
- Leistungsoptimierung

Arbeitsweisen
- Ebenen
- Ebenenübergänge
- Verdrängung

Gütemerkmale
- Benutzerdienlichkeit
- Systemperformanz
- Betriebsart

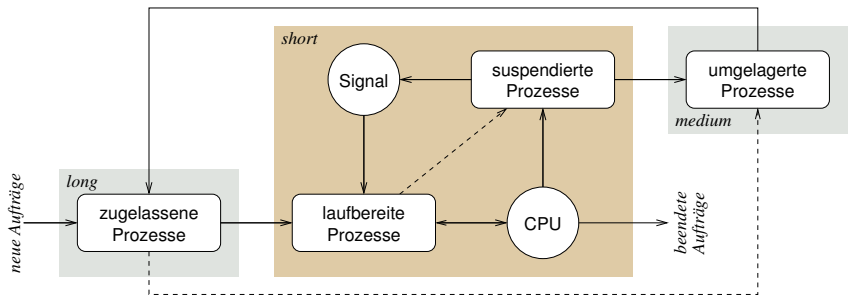
Zusammenfassung

Dauerhaftigkeit von Zuteilungsentscheidungen

- **langfristige Planung** (*long-term scheduling*) [s – min]
  - **Lastkontrolle**, Grad an Mehrprogrammbetrieb einschränken
  - Programme laden und/oder zur Ausführung zulassen
  - Prozesse der mittel- bzw. kurzfristigen Einplanung zuführen
- **mittelfristige Planung** (*medium-term scheduling*) [ms – s]
  - Teil der **Umlagerungsfunktion** (*swapping*)
  - Programme vom Hinter- in den Vordergrundspeicher bringen
  - Prozesse der langfristigen Einplanung zuführen
- **kurzfristige Planung** (*short-term scheduling*) [μs – ms]
  - **Einlastungsreihenfolge** der Prozesse festlegen — obligatorisch

Logische Ebenen der Prozesseinplanung, die, mit Ausnahme der untersten Ebene, nicht in jedem Betriebssystem ein physisches Äquivalent haben.

Phasen der Prozesseinplanung



- Voraussetzung für Mehrprozessbetrieb ist die kurzfristige Planung
  - laufbereite Prozesse erwarten die Zuteilung des wiederverwendbaren Betriebsmittels „CPU“, d.h. den Start ihrer Laufphase
  - suspendierte Prozesse erwarten die Zuteilung eines konsumierbaren Betriebsmittels „Signal“, d.h. das Ende ihrer Wartephase
- lang- und mittelfristige Planung regeln den Mehrprogrammbetrieb
  - Umlagerung macht Hauptspeicher frei für weitere Prozessexemplare
  - im Ergebnis könnten neue Prozesse (z.B. *login*) zugelassen werden

Prozesszustand vs. Einplanungsebene

- Prozesse haben in Abhängigkeit von der Einplanungsebene (S. 14) zu einem Zeitpunkt einen **logischen Zustand**:
  - kurzfristig (*short-term*)
    - bereit, laufend, blockiert
  - mittelfristig (*medium-term*, *mid-term*)
    - schwebend bereit, schwebend blockiert
  - langfristig (*long-term*)
    - erzeugt, gestoppt, beendet

*Jedoch legen die **Anwendungsfälle** fest, welche dieser Ebenen von einem Betriebssystem wirklich zur Verfügung zu stellen sind, nicht umgekehrt.*

- ein **Universalbetriebssystem** implementiert eher alle Ebenen, ein **Spezialbetriebssystem** dagegen eher nur die unterste Ebene
  - kurzfristige Prozesseinplanung, obligatorisch bei Mehrprozessbetrieb

Kurzfristige Planung

Prozessorzuteilungsreihenfolge

- das Betriebssystem bietet **Mehrprozessbetrieb** (*multi-processing*) auf Basis der Serialisierung von Programmfäden:
  - bereit (*ready*) zur Ausführung durch den Prozessor (die CPU)
    - der Prozess ist auf der Bereitliste (*ready list*)
    - das Einplanungsverfahren bestimmt die Listenposition
  - laufend (*running*), erfolgte Zuteilung des Betriebsmittels „CPU“
    - der Prozess vollzieht seinen CPU-Stoß
    - zu einem Zeitpunkt pro CPU nur ein laufender Prozess
  - blockiert (*blocked*) auf ein bestimmtes Ereignis
    - der Prozess erwartet die Zuteilung eines Betriebsmittels
      - zusätzlich zum Betriebsmittel „CPU“
    - die Zuteilung löst ein anderer (ggf. externer) Prozess aus
- gleichzeitige Vorgänge innerhalb eines Betriebssystems bewirken ggf. **uneindeutige logische Prozesszustände** (S. 8)
  - ein Prozess, der blockieren wird, ist zeitweilig „laufend blockiert“
  - ein solcher Prozess kann dann auch „laufend bereit“ gestellt werden
    - insb. ein Prozess, der den Prozessor im Leerlauf betreibt ↦ *idle process*

Mittelfristige Planung

Umlagerungsreihenfolge

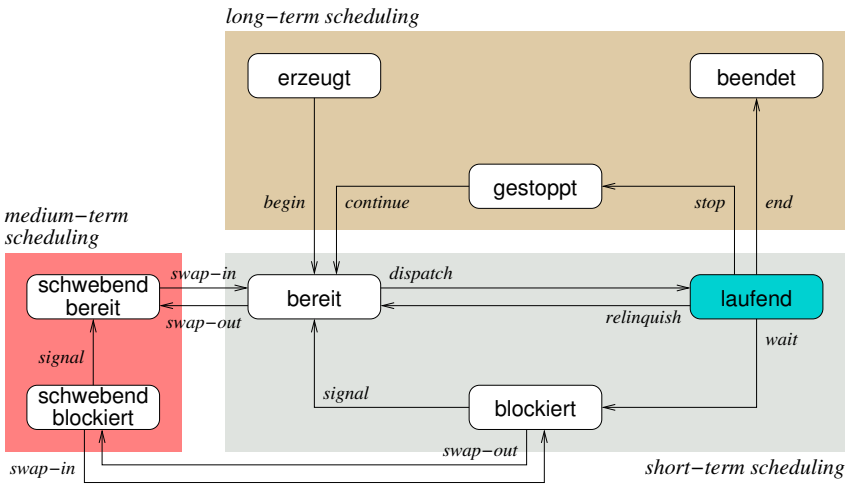
- das Betriebssystem implementiert die **Umlagerung** (*swapping*) von kompletten Programmen bzw. logischen Adressräumen:
  - schwebend bereit (*ready suspend*)
    - das **Exemplar** eines Prozesses ist ausgelagert
      - verschoben in den Hintergrundspeicher
      - „*swap-out*“ ist erfolgt
      - „*swap-in*“ wird erwartet
    - die Einlastung des Prozesses ist außer Kraft
      - genauer: aller Fäden seines Programms
  - schwebend blockiert (*blocked suspend*)
    - ausgelagerter ereigniserwartender Prozess
    - Ereigniseintritt ↦ „schwebend bereit“
- Prozesse im Zustand „laufend“ werden normalerweise nicht umgelagert
- im Falle langfristiger Einplanung konkurrieren „schwebend bereite“ Prozesse mit neu zuzulassenden Prozessen
  - gleichwohl genießen in dem Fall erstere (zumeist) Vorrang vor letzteren

Langfristige Planung

Zulassungsreihenfolge

- das Betriebssystem verfügt über Funktionen zur **Lastkontrolle** und steuert den Grad an Mehrprogrammbetrieb:
  - erzeugt (*created*) und fertig zur Programmverarbeitung
    - das **Prozessexemplar** eines Programms wurde geschaffen
    - ggf. steht die Speicherzuteilung jedoch noch aus
  - gestoppt (*stopped*) und erwartet seine Fortsetzung/Beendigung
    - der Prozess wurde angehalten (z.B. `^Z` bzw. `kill(2)`)
    - Gründe: Überlast, Verklemmungsvermeidung, ...
  - beendet (*ended*) und erwartet seine Entsorgung
    - der Prozess ist terminiert, Betriebsmittelfreigabe erfolgt
    - ggf. muss ein anderer Prozess den „Kehraus“ vollenden
- „gestoppt“ werden können auch bereite, laufende, blockierte Prozesse
  - durch entsprechende Aktionen anderer Prozesse, über Systemaufrufe
  - sofern das Betriebssystem die dazu notwendigen Mechanismen bietet

Abfertigungszustände im Zusammenhang



- je nach Betriebssystem/-art gibt es weitere „Zwischenzustände“

Einplanungs-/Auswahlzeitpunkt

- **Einplanung** (*scheduling*) bzw. **Umplanung** (*rescheduling*):
  - nachdem ein Prozess erzeugt worden ist: *begin*
  - wenn ein Prozess freiwillig die CPU abgibt: *relinquish*
  - falls das von einem Prozess erwartete Ereignis eingetreten ist: *signal*
  - sobald ein Prozess wieder aufgenommen werden kann: *continue*
- Übergänge in den Zustand „bereit“ aktualisieren die **Bereitliste**
  - eine Entscheidung über die Einlastungsreihenfolge wird getroffen
  - eine Funktion der Einplanungsstrategie wird ausgeführt
- die Bereitliste ist je nach Betriebsart ggf. unterschiedlich ausgelegt:
  - als Tabelle, Warteschlange, Vorrangwarteschlange, ...
  - eine Datenstruktur pro Prozessor oder für mehrere Prozessoren
- Prozesse können dazu gedrängt werden, die CPU freiwillig abzugeben
  - sofern **verdrängende** (*preemptive*) **Prozesseinplanung** erfolgt

Verdrängende Prozesseinplanung

Ereignis → Signalisierung → Einplanung → Einlastung → Reaktion

- **Verdrängung** (*preemption*) des laufenden Prozesses bedeutet:
  1. ein Ereignis tritt ein, dessen Behandlungsverlauf zum Planer führt
     - ggf. wird ein Prozess von „blockiert“ in den Zustand „bereit“ überführt[3]
  2. der (vom Ereignis unterbrochene) laufende Prozess wird eingeplant
     - d.h., vom Zustand „laufend“ in den Zustand „bereit“ überführt
  3. der einzulastende Prozess wird ausgewählt & (wieder) aufgenommen
     - ggf. handelt es sich dabei um den unter 1. eingeplanten Prozess
- Einplanung und Einlastung von Prozessen erfolgt nicht immer zeitnah zum Ereigniseintritt bzw. Moment der Verdrängungsaufforderung
  - ereignisbasierte Betriebssystem(kern)architektur
    - keine *kernel threads* (vgl. [1, S. 20]) ⇝ einen Stapel pro Betriebssystemkern
  - Unterbrechungs-/Verdrängungssperre zum Schutz kritischer Abschnitte
- ggf. entstehende Latenzzeiten können Anwendungen beeinträchtigen

[3] Nur bei Zuteilung eines konsumierbaren Betriebsmittels, nicht jedoch bei Ablauf der Zeitscheibe eines Prozesses.

Latenzzeiten und Determinismus

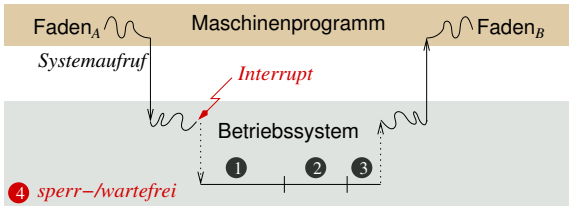
Verdrängung als Querschnittsbelang von Betriebssystemen.

- **Einplanungslatenz** (*scheduling latency*), die Zeitdauer der Ein- oder Umplanung eines Prozesses
  - ist ggf. vorhersehbar (*predictable*) und **deterministisch**
    - zu jedem Zeitpunkt ist der nachfolgende Schritt eindeutig festgelegt, unabhängig von Systemlast/-aktivitäten in dem Moment
    - die Latenzzeit ist konstant oder mit fester oberer Schranke variabel
  - sollte kurz sein, um „Hintergrundrauschen“ klein zu halten
- **Einlastungslatenz** (*dispatching latency*), die Zeitspanne zwischen Einplanung und Prozessorzuteilung eines Prozesses
  - ereignisbasierte Betriebssysteme lassen Einlastung nur an bestimmten Stellen zu („programmierte Verdrängung“) ⇝ größere Latenz
    - an einem ausgewählten **Verdrängungspunkt** (*preemption point*)
  - prozessbasierte Betriebssysteme lassen Einlastung jederzeit zu, sie können voll verdrängend (*full preemptive*) arbeiten ⇝ kleinere Latenz
    - sofern sie frei von Unterbrechungs- oder Verdrängungssperren sind
  - die Zeitdauer der Einlastung ist i.A. vorhersehbar und deterministisch

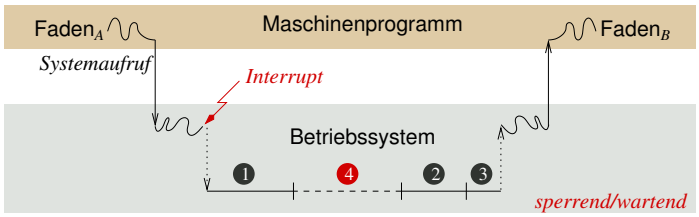
Latenzzeiten in Bezug zum Betriebsmodus

Asynchrone Programmunterbrechungen als Quelle der Ungewissheit.

voll verdrängend



1. Behandlung
   - Interrupt
2. Einplanung
3. Einlastung
4. Synchronisation



verdrängend

Gliederung

Einführung

Programmfaden
- Grundsätzliches
- Fadenverläufe
- Leistungsoptimierung

Arbeitsweisen
- Ebenen
- Ebenenübergänge
- Verdrängung

Gütemerkmale
- Benutzerdienlichkeit
- Systemperformanz
- Betriebsart

Zusammenfassung

Dimensionen der Prozesseinplanung

- Kriterien zur Aufstellung einer Einlastungsreihenfolge von Prozessen

  benutzerorientierte Kriterien
  - fokussieren auf **Benutzerdienlichkeit**
  - d.h. das vom jeweiligen Benutzer wahrgenommene Systemverhalten
  - bestimmen im großen Maße die Akzeptanz des Systems
    - bedeutsam für die Anwendungsdomäne in technischer Hinsicht
    - z.B. Einhaltung und Durchsetzung von Gütemerkmalen

  systemorientierte Kriterien
  - fokussieren auf **Systemperformanz**
  - d.h. die effektive und effiziente Auslastung der Betriebsmittel
  - bestimmen im großen Maße die „Rentabilität“ des Systems
    - bedeutsam für die Anwendungsdomäne in kommerzieller Hinsicht
    - z.B. Amortisierung hoher Anschaffungskosten von Großrechnern
- Ausschlusskriterien sind dies nicht, vielmehr **Schwerpunktsetzung**:
  - gute Systemperformanz ist auch der Benutzerdienlichkeit förderlich

Benutzerorientierte Kriterien

- charakteristische **Anforderungsmerkmale**:

  Antwortzeit Minimierung der Zeitdauer von der Auslösung eines Systemaufrufs bis zur Entgegennahme der Rückantwort, bei gleichzeitiger Maximierung der Anzahl interaktiver Prozesse.

  Durchlaufzeit Minimierung der Zeitdauer vom Starten eines Prozesses bis zu seiner Beendigung, d.h., der effektiven Prozesslaufzeit und aller anfallenden Prozesswartezeiten.

  Termineinhaltung Starten und/oder Beendigung eines Prozesses (bis) zu einem fest vorgegebenen Zeitpunkt.

  Vorhersagbarkeit Deterministische Ausführung des Prozesses unabhängig von der jeweils vorliegenden Systemlast.
- je nach **Anwendungsdomäne** mit unterschiedlicher Wichtung

Systemorientierte Kriterien

- wünschenswerte Anforderungserkmale:

  Durchsatz Maximierung der Anzahl vollendeter Prozesse pro vorgegebener Zeiteinheit, d.h., der (im System) geleisteten Arbeit.

  Prozessorauslastung Maximierung des Prozentanteils der Zeit, in der die CPU Programme ausführt, d.h., „sinnvolle“ Arbeit leistet.

  Gerechtigkeit Gleichbehandlung der Prozesse; Zusicherung, ihnen innerhalb gewisser Zeiträume die CPU zuzuteilen.

  Dringlichkeiten Vorzugbehandlung des Prozesses mit der höchsten (statischen/dynamischen) Priorität.

  Lastausgleich Gleichmäßige Betriebsmittelauslastung; ggf. auch Vorzugbehandlung der Prozesse, die stark belastete Betriebsmittel eher selten belegen.
- sollten verträglich zu der jeweiligen Anwendungsdomäne ausgelegt sein

Betriebsart vs. Einplanungskriterien

- Prozesseinplanung impliziert die Rechnerbetriebsart und umgekehrt:

allgemein	Gerechtigkeit, Lastausgleich
	▪ **Durchsetzung der jeweiligen Strategie**
Stapelbetrieb	Durchsatz, Durchlaufzeit, Prozessorauslastung
Dialogbetrieb	Antwortzeit
Echtzeitbetrieb	Dringlichkeit, Termineinhaltung, Vorhersagbarkeit
	▪ oft im Konflikt mit Gerechtigkeit/Lastausgleich

Proportionalität

Für bestimmte Prozesse ein Laufzeitverhalten „simulieren", das nicht unbedingt dem technischen Leistungsvermögen des Rechensystems entspricht:

- es kommt gelegentlich vor, dass Nutzer eine inhärente Vorstellung über die Dauer bestimmter Aktionen des Betriebssystems haben
- aus Gründen der **Nutzerakzeptanz** sollte diesen entsprochen werden

Gliederung

Einführung
Programmfaden
Grundsätzliches
Fadenverläufe
Leistungsoptimierung
Arbeitsweisen
Ebenen
Ebenenübergänge
Verdrängung
Gütemerkmale
Benutzerdienlichkeit
Systemperformanz
Betriebsart
Zusammenfassung

Resümee

. . . Prozesseinplanung ist querschneidender Belang

- **Einplanungseinheit** für die Prozessorvergabe ist der Faden
  - seine Lauf- und Wartephasen betreiben einen Rechner stoßartig
  - Fäden sind Mittel zum Kaschieren von Totzeiten anderer Fäden
- Betriebssysteme treffen **Zuteilungsentscheidungen** auf drei Ebenen:

long-term scheduling	Lastkontrolle des Systems
medium-term scheduling	Umlagerung von Programmen
short-term scheduling	Einlastungsreihenfolge von Prozessen

- die **Entscheidungskriterien** haben verschiedene Dimensionen:

Benutzer	Antwort-/Durchlaufzeit, Termine, Vorhersagbarkeit
System	Durchsatz, Auslastung, Gerechtigkeit, Dringlichkeit, Lastausgleich

- Durchsetzung der Kriterien impliziert eine bestimmte **Betriebsart**
  - umgekehrt: Betriebsarten erwarten die Durchsetzung gewisser Kriterien

Literaturverzeichnis

[1] Kleinöder, J. ; Schröder-Preikschat, W. :
Prozesse.
In: Lehrstuhl Informatik 4 (Hrsg.): *Systemprogrammierung*.
FAU Erlangen-Nürnberg, 2015 (Vorlesungsfolien), Kapitel 6.1