Zwangsserialisierung von Programmfäden

- die *absolute Ausführungsdauer* später „eintreffender“ 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 $(n-1) \cdot k$

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

- die *mittlere Verzögerung* wächst (subjektiv) proportional mit der Fadenanzahl

Subjektive Empfindung der Fadenverzögerung

- die mittlere Verzögerung eines Fadens ergibt sich zu: $\frac{n-1}{2} \cdot t_{CPU}$
  - mit t_{CPU} gleich der mittleren Dauer eines CPU-Stoßes
  - bei genügend vielen asynchron ablaufenden E/A-Operationen
- zwischen CPU- und E/A-Stößen besteht eine große Zeitdiskrepanz
  - die Verzögerung durch E/A-Operationen ist dominant
  - der proportionale Verzögerungsfaktor bleibt weitestgehend verborgen
  - er greift erst ab einer bestimmten Anzahl von Programmfäden
  - viele Anwendungen/Benutzer nehmen die Verzögerung daher nicht wahr
- die „Totzeit“ bei E/A-Stößen wird für CPU-Stöße laufbereiter Fäden genutzt

Monopolisierung der CPU durch Programmfäden

- mit erfolgter Prozessorzuteilung gewinnen Fäden die Kontrolle über die CPU
  - die CPU führt nur noch Anweisungen aus, die das Benutzerprogramm vorgibt
- das Betriebssystem kann die Kontrolle nur bedingt zurückgewinnen:
  - die Fäden müssten $\left\{\begin{array}{c}\text{synchrone}\\\text{asynchrone}\end{array}\right\}$ Programmunterbrechungen erfahren
- synchrone Programmunterbrechungen sind ein eher schwaches Instrument
  - die Fäden müssten sich kooperativ dem Betriebssystem gegenüber erweisen
  - „böswillige“ Programme können schnell die Kooperative gefährden/auflösen

Vermeidung eines Ausführungsmonopols — CPU-Schutz

sporadische Unterbrechung bei Beendigung eines E/A-Stoßes –

- der E/A-Stoß musste vorher von einem Faden erst ermöglicht werden
- wann und ob überhaupt ein E/A-Stoß ausgelöst wird ist ungewiss
- ebenso ungewiss ist die E/A-Stoßdauer und damit der Interrupt-Zeitpunkt

periodische Unterbrechung durch Einsatz eines Zeitgebers +

- der Zeitgeber wird je nach Bedarf vom Betriebssystem programmiert
- er sorgt in der Regel für zyklische Unterbrechungen (*timer interrupts*)
- mit Ablauf der vorgegebenen Zeit wird das Betriebssystem reaktiviert

☞ Zugriffe auf Zeitgeber und Interrupt-Maske sind *privilegierte Operationen* **!**

Einplanung von Programmfäden

Rekapitulation (✗ Kap. 4) . . .

Scheduling stellt sich allgemein zwei grundsätzlichen Fragestellungen:

1. Zu welchem *Zeitpunkt* sollen Prozesse ins System eingespeist werden?
2. In welcher *Reihenfolge* sollen Prozesse ablaufen?

Ein ***Scheduling*-Algorithmus** verfolgt das Ziel, den von einem Rechnersystem zu leistenden Arbeitsplan so aufzustellen (und zu aktualisieren), dass ein gewisses Maß an Benutzerzufriedenheit maximiert wird.

☞ Prozess ≡ Faden

Ebenen der Prozesseinplanung

long-term scheduling kontrolliert den Grad an Mehrprogrammbetrieb [s – min]

- Benutzer Systemzugang gewähren, Programme zur Ausführung zulassen
- Prozesse dem *medium-* bzw. *short-term scheduling* zuführen

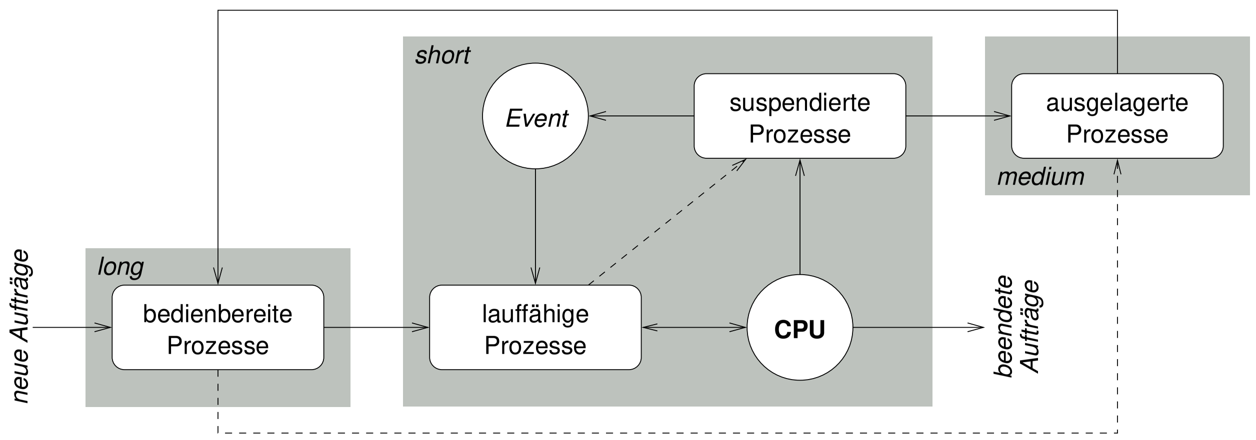
medium-term scheduling als Teil der Ein-/Auslagerungsfunktion [ms – s]

- Programme zwischen Vorder- und Hintergrundspeicher hin- und herbewegen
- *swapping*: auslagern (*swap-out*), einlagern (*swap-in*)

short-term scheduling regelt die Prozessorzuteilung an die Prozesse [μs – ms]

- ereignisgesteuerte Ablaufplanung: Unterbrechungen, Systemaufrufe, Signale
- Blockierung bzw. Verdrängung des laufenden Prozesses

long- vs. *short-* vs. *medium-term scheduling*



Verfahrensweise (1) kooperativ vs. präemptiv

cooperative scheduling voneinander abhängiger Prozesse

- Prozesse müssen die CPU freiwillig abgeben, zugunsten anderer Prozesse
- die Programmausführung muss (direkt/indirekt) Systemaufufe bewirken
- die Systemaufufe müssen (direkt/indirekt) den Scheduler aktivieren

preemptive scheduling voneinander unabhängiger Prozesse

- Prozessen wird die CPU entzogen, zugunsten anderer Prozesse
- der laufende Prozess wird ereignisbedingt von der CPU *verdrängt*[46]
- die Ereignisbehandlung aktiviert (direkt/indirekt) den Scheduler

[46] Beispielsweise als Folge einer Programmunterbrechung, ggf. nur zur Durchsetzung von CPU-Schutz.

Verfahrensweise (2) — deterministisch vs. probalisitisch

deterministic scheduling bekannter, exakt vorberechneter Prozesse

- Prozesslaufzeiten/-termine sind bekannt, sie wurden ggf. „*offline*" berechnet
- die genaue Vorhersage der CPU-Auslastung ist möglich
- das System garantiert die Einhaltung der Prozesslaufzeiten/-termine
- die Zeitgarantien gelten unabhängig von der jeweiligen Systemlast **!**

probabilistic scheduling unbekannter Prozesse

- Prozesslaufzeiten/-termine bleiben unbestimmt
- die CPU-Auslastung kann lediglich abgeschätzt werden
- das System kann Zeitgarantien weder geben noch einhalten
- Zeitgarantien sind durch Anwendungsmaßnahmen bedingt erreichbar

Verfahrensweise (3) — statisch vs. dynamisch

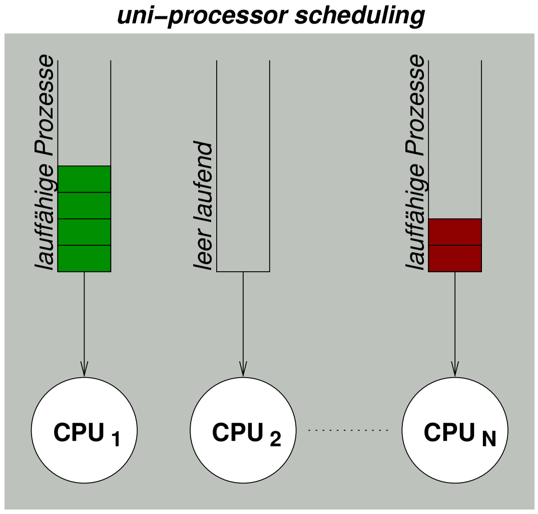
offline scheduling statisch, vor der eigentlichen Programmausführung

- wenn die *Komplexität* eine Ablaufplanung im laufenden Betrieb verbietet
  - Einhaltung aller Zeitvorgaben garantieren: ein NP-vollständiges Problem
  - kritisch, wenn auf jede abfangbare katastrophale Situation zu reagieren ist
- Ergebnis der Vorberechung ist ein vollständiger Ablaufplan (in Tabellenform)
  - (semi-) automatisch erstellt per Quelltextanalyse spezieller „Übersetzer"
  - oft zeitgesteuert abgearbeitet/ausgeführt als Teil der Prozessabfertigung
- die Verfahren sind zumeist beschränkt auf *strikte Echtzeitsysteme*

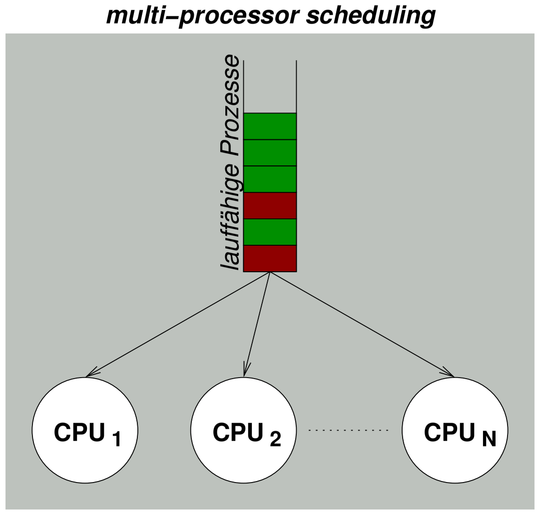
online scheduling dynamisch, während der eigentlichen Programmausführung

☞ interaktive- und Stapelsysteme, aber auch schwache Echtzeitsysteme

Mehrprozessorsysteme



separate Warteschlangen



gemeinsame Warteschlange

Dimensionen der Prozesseinplanung

- die Kriterien, nach denen Einplanung betrieben wird, sind unterschiedlich:

  benutzerorientierte Kriterien betrachten die *Benutzerdienlichkeit*
  - d. h. das vom jeweiligen Benutzer wahrgenommene Systemverhalten
  - bestimmen im großen Maße die Akzeptanz des Systems beim Benutzer

  systemorientierte Kriterien betrachten die *Systemperformanz*
  - d. h. die effektive und effiziente Auslastung der Betriebsmittel
  - sind von Bedeutung bei kommerziellen Dienstleistungsanbietern

- die Benutzerdienlicheit ist auch stark durch die Systemperformanz bedingt

Benutzerorientierte Kriterien

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.

Systemorientierte Kriterien

Durchsatz Maximierung der Anzahl vollendeter Prozesse pro vorgegebener Zeiteinheit. Liefert ein Maß für die geleistete Arbeit im System.

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

Gerechtigkeit Gleichbehandlung der auszuführenden Prozesse und Zusicherung, den Prozessen innerhalb gewisser Zeiträume die CPU zuzuteilen.

Dringlichkeiten Bevorzugte Verarbeitung des Prozesses mit der höchsten (statisch/dynamisch zugeordneten) Priorität.

Lastausgleich Gleichmäßige Betriebsmittelauslastung; bevorzugte Verarbeitung der Prozesse, die stark belastete Betriebsmittel eher selten belegen.

Betriebsart vs. Einplanungskriterien

***allgemein*:** Durchsetzung (der Strategie); Gerechtigkeit, Lastausgleich

Stapelbetrieb ☞ Durchsatz, Durchlaufzeit, Prozessorauslastung

interaktiver Betrieb ☞ Antwortzeit; *Proportionalität*:

- Benutzer haben meist eine inhärente Vorstellung über die Dauer bestimmter Aktionen. Dieser (oft auch falschen) Vorstellung sollte das System aus Gründen der Benutzerakzeptanz möglichst entsprechen.

Echtzeitbetrieb ☞ Dringlichkeit, Termineinhaltung, Vorhersagbarkeit

- steht meist im Widerspruch zu Gerechtigkeit und Lastausgleich

Prozessabfertigung — *Dispatching*

- der aktuell laufende Prozess muss dem System „jederzeit“ bekannt sein
  - zur prozessbezogenen *Abrechnung* der Inanspruchnahme von Betriebsmitteln
    ☞ Benutzer-, System- und Stoßzeiten
    ☞ Energiebedarf, Speicherbelegung, Adressraumgröße
    ☞ geöffnete Dateien, genutzte Geräte, . . .
  - zur prozessbezogenen *Überprüfung* der Zugriffsrechte auf Betriebsmittel
- Buch über diesen Prozess führt der „Prozessabfertiger“ (*process dispatcher*)
  - ausgedrückt als „Zeiger“ auf den PD des aktuell laufenden Prozesses
  - ein Fadenwechsel hat die Aktualisierung dieses Zeigers zur Konsequenz
- den Zeigerwert liefert eine je nach Systemkonzept variierende Funktion

Aktueller Faden

`pd = racer()`

`task` globale Variable, die mit jedem Fadenwechsel explizit zu setzen ist; der Fadenstapel ist Variable des Betriebssystems

`u.task` Attribut einer Datenstruktur `u`, die mit jedem Fadenwechsel in den Betriebssystemadressraum einzublenden ist; `u` enthält den Fadenstapel

`sp & -STACK_SIZE` „lokale Variable“ am Ende eines Fadenstapels, der mit jedem Fadenwechsel in den Betriebssystemadressraum einzublenden ist

`(sp | (STACK_SIZE - 1)) - (sizeof(PD) - 1)` „aktueller Parameter“ am Anfang eines als Betriebssystemvariable ausgelegten Fadenstapels

Einplanung $\Longleftrightarrow$ Abfertigung

process scheduler trifft strategische Entscheidungen

- betrachtet wird immer eine Menge lauffähiger Prozesse
  - die PDs der betreffenden Prozess sind in einer Warteschlange aufgereiht
  - welche Position darin ein PD einnimmt, obliegt der Einplanungsstrategie
- der aktuell laufende Prozess ist immer von der Entscheidung mit betroffen
  - dazu muss der PD des laufenden Prozesses „jederzeit greifbar“ sein
  - bei der Prozesabfertigung wird entsprechend Buch über diesen PD geführt

process dispatcher setzt die Entscheidungen durch

- schaltet um zum jeweils ausgewählten Prozess und vermerkt seinen PD

Race Condition „Verdrängung“

- verdrängende Ablaufplanung ist „Querschnittsbelang“ eines ganzen Systems:

  Abfertigung muss atomar erfolgen; nur ein Ansatz, bei dem ein Umsetzen des Stapelzeigers gleichzeitig ein Umsetzen des PD-Zeigers bedeutet, verläuft implizit koordiniert. ☞ PD ist „aktueller Parameter“

  Einplanung muss atomar erfolgen; Operationen auf die zur Implementierung der Warteschlange(n) verwendeten dynamischen Datenstrukturen sind zu koordinieren.

  Anwendung muss ggf. atomar erfolgen; mehrfädige Programme bzw. einfädige Programme, die sich mit anderen Programmen *gemeinsame Variablen* teilen, sind zu koordinieren.

- unterlassene, schlechte oder falsche Koordinierung verursacht „Albträume“

Zusammenfassung

- eine Prozessinkarnation ist ein *Programmfaden* des Betriebssystems
  - Programmfäden (*threads*) sind eine spezialisierte Form von Koroutinen
  - Koroutine ☞ autonomer Kontrollfluss mit kooperativem Operationsprinzip
- zwei Fadenarten kommen vor: *kernel-level threads* vs. *user-level threads*
  - beide Ausprägungsformen von Fäden können gleichzeitig vorhanden sein
  - Kernfaden ☞ ggf. ein abstrakter Prozessor für Benutzerfäden
- Fadenverläufe schreiten stoßweise voran: CPU-Stoß vs. E/A-Stoß
  - E/A-Stöße wartender Fäden kommen CPU-Stößen lauffähiger Fäden zugute
  - die Einplanungs- und Abfertigungsverfahren sind ggf. zu koordinieren