Systemprogrammierung

Grundlagen von Betriebssystemen

Teil C – IX.2 Prozessverwaltung: Einplanungsverfahren

Wolfgang Schröder-Preikschat

8. November 2019

Agenda

Einführung

Einordnung
- Klassifikation

Verfahrensweisen
- Kooperativ
- Verdrängend
- Probabilistisch
- Mehrstufig

Zusammenfassung

Gliederung

Einführung

Einordnung
- Klassifikation

Verfahrensweisen
- Kooperativ
- Verdrängend
- Probabilistisch
- Mehrstufig

Zusammenfassung

Lehrstoff

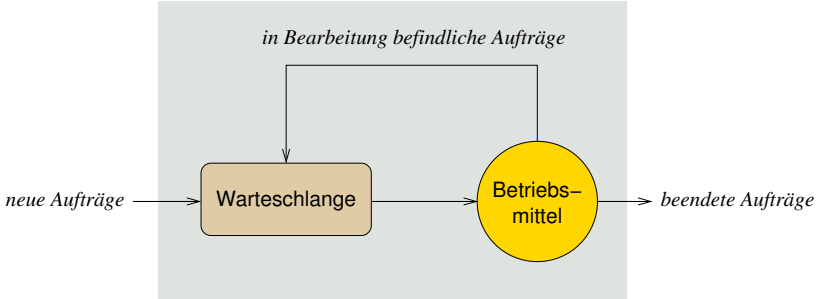
- gängige Klassen der **Ein-/Umplanung** von Prozessen kennenlernen und in ihrer Bedeutung einschätzen können
  - jedes Verfahren einer Klasse hat bestimmte **Gütemerkmale** im Fokus
  - bei mehreren Merkmalen müsste ein **Kompromiss** gefunden werden
  - scheidet Konfliktlösung aus, ist eine geeignete **Priorisierung** vorzunehmen
- die Verfahren auf **nicht-funktionale Eigenschaften** untersuchen, so Gemeinsamkeiten und Unterschiede erfassen
  - Gerechtigkeit, minimale Antwort- oder Durchlaufzeit
  - maximaler Durchsatz, maximale Auslastung
  - Termineinhaltung, Dringlichkeiten genügend, Vorhersagbarkeit
- erkennen, dass es die „eierlegende Wollmilchsau“ auch in einer virtuellen Welt nicht geben kann. . .

> *Kein einziges Verfahren zur Ein-/Umplanung von Prozessen hat nur Vorteile, befriedigt alle Bedürfnisse, genügt allen Ansprüchen.*

Einplanungsalgorithmen

vgl. [4, S. 26]

- Verwaltung von (betriebsmittelgebundenen) **Warteschlangen**



> *Ein einzelner Einplanungsalgorithmus ist charakterisiert durch die Reihenfolge von Prozessen in der Warteschlange und die Bedingungen, unter denen die Prozesse in die Warteschlange eingereiht werden. [7]*

Warteschlangentheorie

vgl. [4, S. 27]

- die Charakterisierung von **Einplanungsalgorithmen** macht glauben, Betriebssysteme fokussiert „mathematisch“ studieren zu müssen
  - R. W. Conway, L. W. Maxwell, L. W. Millner. *Theory of Scheduling*.
  - E. G. Coffman, P. J. Denning. *Operating System Theory*.
  - L. Kleinrock. *Queuing Systems, Volume I: Theory*.
- praktische Umsetzung offenbart jedoch einen **Querschnittsbelang** (*cross-cutting concern*), der sich kaum modularisieren lässt
  - spezifische Betriebsmittelmerkmale stehen ggf. Bedürfnissen der Prozesse, die Aufträge zur Betriebsmittelnutzung abgesetzt haben, gegenüber
  - dabei ist die Prozessreihenfolge in Warteschlangen (bereit, blockiert) ein Aspekt, die Auftragsreihenfolge dagegen ein anderer Aspekt
  - **Interferenz**[1] bei der Durchsetzung der Strategien kann die Folge sein
- Einplanungsverfahren stehen und fallen mit den Vorgaben, die für die jeweilige **Zieldomäne** zu treffen sind

[1] lat. *inter* zwischen und *ferire* von altfrz. *s'entreferir* sich gegenseitig schlagen.

Gliederung

Einführung

Einordnung
- Klassifikation

Verfahrensweisen
- Kooperativ
- Verdrängend
- Probabilistisch
- Mehrstufig

Zusammenfassung

Kooperativ vs. Präemptiv

. . . bereit zur Zusammenarbeit

- **Souverän** ist die Anwendung oder das Betriebssystem verhält sich Entwicklungen gegenüber zuvorkommend, vorsorglich, vorbeugend

kooperative Planung (*cooperative scheduling*)
- Ein-/Umplanung voneinander abhängiger Prozesse
- Prozessen wird die CPU nicht zugunsten anderer Prozesse entzogen
- der laufende Prozess gibt die CPU nur mittels Systemaufruf ab
  - die Systemaufrufbehandlung aktiviert (direkt/indirekt) den Scheduler
  - systemaufruffreie Endlosschleifen beeinträchtigen andere Prozesse
- **CPU-Monopolisierung** ist möglich: *run to completion*

präemptive Planung (*preemptive scheduling*)
- Ein-/Umplanung voneinander unabhängiger Prozesse
- Prozessen kann die CPU entzogen werden, zugunsten anderer Prozesse
- der laufende Prozess wird ereignisbedingt von der CPU verdrängt
  - die Ereignisbehandlung aktiviert (direkt/indirekt) den Scheduler
  - Endlosschleifen beeinträchtigen andere Prozesse nicht (bzw. kaum)
- Monopolisierung der CPU ist nicht möglich: **CPU-Schutz**

Deterministisch vs. Probabilistisch

- alle Abläufe durch ***à priori* Wissen** eindeutig festlegen könnend oder die **Wahrscheinlichkeit** berücksichtigend

  deterministische Planung (*deterministic scheduling*)
  - alle Prozesse (Rechenstoßlängen)[2] und ggf. auch **Termine** sind bekannt
  - die genaue Vorhersage der CPU-Auslastung ist möglich
  - das System stellt die Einhaltung von **Zeitgarantien** sicher
  - die Zeitgarantien gelten unabhängig von der jeweiligen Systemlast

  probabilistische Planung (*probabilistic scheduling*)
  - Prozesse (exakte Rechenstoßlängen) sind unbekannt, ggf. auch Termine
  - die CPU-Auslastung kann lediglich abgeschätzt werden
  - das System kann Zeitgarantien weder geben noch einhalten
  - Zeitgarantien sind durch die Anwendung sicherzustellen
- dabei fällt die Abgrenzung nicht immer so scharf aus: wahrscheinliche Abläufe vorherzusagen, ist sehr nützlich...

[2] Bei (strikten) Echtzeitsystemen mindestens die Stoßlänge des „schlimmsten Falls“ (*worst-case execution time*, WCET).

Statisch vs. Dynamisch

- Abläufe entkoppelt von oder gekoppelt mit der Programmausführung bestimmen und entsprechend entwickeln

  statische Planung (*off-line scheduling*), vorlaufend
  - vor Betrieb des Prozess- oder Rechensystems
  - die Berechnungskomplexität verbietet Planung im laufenden Betrieb
    - z.B. die Berechnung, dass alle Zeitvorgaben garantiert eingehalten werden
    - unter Berücksichtigung jeder abfangbaren katastrophalen Situation
  - Ergebnis der Vorberechnung ist ein **vollständiger Ablaufplan**
    - u.a. erstellt per Quelltextanalyse spezieller „Übersetzer“
    - oft zeitgesteuert abgearbeitet als Teil der Prozesseinlastung
  - die Verfahren sind zumeist beschränkt auf **strikte Echtzeitsysteme**

  dynamische Planung (*on-line scheduling*), mitlaufend
  - während Betrieb des Prozess- oder Rechensystems
  - Stapelsysteme, interaktive Systeme, verteilte Systeme
  - schwache und feste Echtzeitsysteme
- auch hier ist die Abgrenzung nicht immer so scharf: von vorläufigen Ablaufplänen ausgehen zu können, ist sehr hilfreich...

Asymmetrisch vs. Symmetrisch (1)

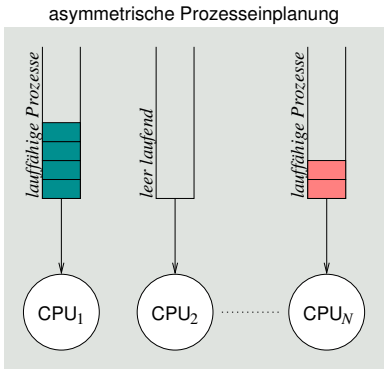
...Standpunktfrage

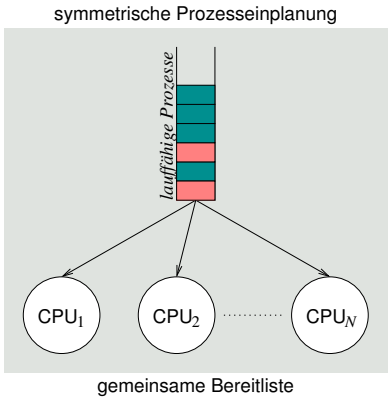
- für **mehrere Prozessoren** Abläufe nach verschiedenen Kriterien oder ihren wechselseitigen Entsprechungen festlegen

  asymmetrische Planung (*asymmetric scheduling*)
  - je nach den Prozessoreigenschaften der **Maschinenprogrammebene**
  - obligatorisch in einem asymmetrischen Multiprozessorsystem
    - Rechnerarchitektur mit programmierbare Spezialprozessoren
    - z.B. Grafik- und/oder Kommunikationsprozessoren einerseits
    - ein Feld konventioneller (gleichartiger) Prozessoren andererseits
  - optional in einem symmetrischen Multiprozessorsystem (s.u.)
    - das Betriebssystem hat freie Hand über die Prozessorvergabe
  - Prozesse in funktionaler Hinsicht ungleich verteilen (müssen)

  symmetrische Planung (*symmetric scheduling*)
  - je nach den Prozessoreigenschaften der **Befehlssatzebene**
  - identische Prozessoren, alle geeignet zur Programmausführung
  - Prozesse möglichst gleich auf die Prozessoren verteilen: Lastausgleich

Asymmetrisch vs. Symmetrisch (2)





- lokale Bereitliste
- ggf. ungleichmäßige Auslastung
- ohne gegenseitige Beeinflussung
  - keine Multiprozessorsynchronisation

- globale Bereitliste
- ggf. gleichmäßige Auslastung
- gegenseitige Beeinflussung
  - Multiprozessorsynchronisation

Gliederung

Einführung

Einordnung
- Klassifikation

Verfahrensweisen
- Kooperativ
- Verdrängend
- Probabilistisch
- Mehrstufig

Zusammenfassung

Klassische Planungs- bzw. Auswahlverfahren

- betrachtet werden grundlegende Ansätze für **Uniprozessorsysteme**, je nach Klassifikationsmerkmal bzw. nichtfunktionaler Eigenschaft:

kooperativ	FCFS ▪ wer zuerst kommt, mahlt zuerst...	gerecht
verdrängend	RR, VRR ▪ jeder gegen jeden...	reihum
probabilistisch	SPN (SJF), SRTF, HRRN ▪ die Kleinen nach vorne...	priorisierend
mehrstufig	MLQ, MLFQ (FB) ▪ Multikulti...	

- dabei steht die Fähigkeit zur **Interaktion** mit „externen Prozessen" (insb. dem Menschen) als Gütemerkmal im Vordergrund
  - d.h., Auswirkungen auf die **Antwortzeit** von Prozessen

FCFS

first-come, first-served

Fair, einfach zu implementieren (FIFO), ..., dennoch problematisch.

- Prozesse werden nach ihrer **Ankunftszeit** (*arrival time*) eingeplant und in der sich daraus ergebenden Reihenfolge auch verarbeitet
  - nicht-verdrängendes Verfahren, setzt kooperative Prozesse voraus
- gerechtes Verfahren auf Kosten einer im Mittel höheren Antwortzeit und niedrigerem E/A-Durchsatz
  - suboptimal bei einem Mix von kurzen und langen Rechenstößen

Prozesse mit $\left\{\begin{array}{l}\text{langen}\\ \text{kurzen}\end{array}\right\}$ Rechenstößen werden $\left\{\begin{array}{l}\text{begünstigt}\\ \text{benachteiligt}\end{array}\right\}$

- Problem: **Konvoieffekt**
  - kurze Prozesse bzw. Rechenstöße folgen einem langen...

FCFS: Konvoieffekt

- Durchlaufzeit kurzer Prozesse im Mix mit langen Prozessen:

Prozess	Zeiten					T_q/T_s
	Ankunft	T_s	Start	Ende	T_q	
A	0	1	0	1	1	1.00
B	1	100	1	101	100	1.00
C	2	1	101	102	100	100.00
D	3	100	102	202	199	1.99
Ø					100	26.00

T_s = Bedienzeit, T_q = Duchlaufzeit

normalisierte Duchlaufzeit (T_q/T_s)
- ideal für A und B, unproblematisch für D
- schlecht für C
  - sie steht in einem extrem schlechten Verhältnis zur Bedienzeit T_s
  - typischer Effekt im Falle von kurzen Prozessen, die langen folgen

RR

round robin

Verdrängendes FCFS, Zeitscheiben, CPU-Schutz.

- Prozesse werden nach ihrer Ankunftszeit ein- und in regelmäßigen Zeitabständen (periodisch) umgeplant
  - verdrängendes Verfahren, nutzt **periodische Unterbrechungen**
    - Zeitgeber (*timer*) liefert asynchrone Programmunterbrechungen
  - jeder Prozess erhält eine **Zeitscheibe** (*time slice*) zugeteilt
    - obere Schranke für die Rechenstoßlänge eines laufenden Prozesses
- Verringerung der bei FCFS auftretenden Benachteiligung von Prozessen mit kurzen Rechenstößen
  - die **Zeitscheibenlänge** bestimmt die Effektivität des Verfahrens
    - zu lang, Degenierung zu FCFS; zu kurz, sehr hoher Mehraufwand
  - Faustregel: etwas länger als die Dauer eines „typischen Rechenstoßes“
- Problem: **Konvoieffekt**
  - Prozesse kürzer als die Zeitscheibe folgen einem, der verdrängt wird...

RR: Konvoieffekt

- da die Zuteilung der Zeitscheiben an Prozesse nach FCFS geschieht, werden kurze Prozesse nach wie vor benachteiligt:

  E/A-intensive Prozesse schöpfen ihre Zeitscheibe selten voll aus
  - sie beenden ihren Rechenstoß freiwillig
    - vor Ablauf der Zeitscheibe

  CPU-intensive Prozesse schöpfen ihre Zeitscheibe meist voll aus
  - sie beenden ihren Rechenstoß unfreiwillig
    - durch Verdrängung
  - unabhängig davon werden jedoch alle Prozesse immer reihum bedient
- wird eine Zeitscheibe durch einen Prozess nicht ausgeschöpft, verteilt sich die CPU-Zeit zu Ungunsten E/A-intensiver Prozesse
  - E/A-intensive Prozesse werden schlechter bedient
  - E/A-Geräte sind schlecht ausgelastet
  - Varianz der Antwortzeit E/A-intensiver Prozesse kann beträchtlich sein
    - in Abhängigkeit vom jeweiligen Mix von Prozessen

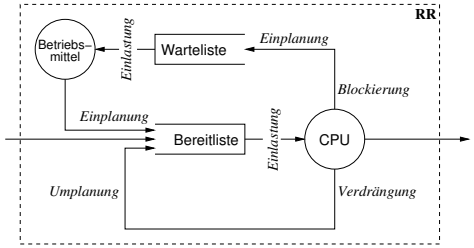
VRR

virtual round robin

RR mit Vorzugswarteschlange und variablen Zeitscheiben, um interaktive (d.h., E/A-intensive) Prozesse nicht zu benachteiligen.

- auf E/A wartende Prozesse werden mit Beendigung ihres jeweiligen Ein-/Ausgabestoßes bevorzugt eingeplant (d.h., bereit gestellt)
  - **Einplanung** mittels einer der Bereitliste vorgeschalteten **Vorzugsliste**
    - FIFO ⇝ evtl. Benachteiligung hoch-interaktiver Prozesse; daher...
    - aufsteigend sortiert nach dem **Zeitscheibenrest** eines Prozesses
  - **Umplanung** bei Ablauf der aktuellen Zeitscheibe
    - die Prozesse auf der Vorzugsliste werden zuerst eingelastet
    - sie bekommen die CPU für die Restdauer ihrer Zeitscheibe zugeteilt
    - bei Ablauf dieser Zeitscheibe werden sie in die Bereitsliste eingereiht
  - erreicht durch strukturelle Maßnahmen — nicht durch analytische
- kein voll-verdrängendes Verfahren
  - die Einlastung auch des kürzesten bereitgestellten Prozesses erfolgt nicht zum Zeitpunkt seiner Bereitstellung
  - sondern frühestens nach Ablauf der aktuellen Zeitscheibe

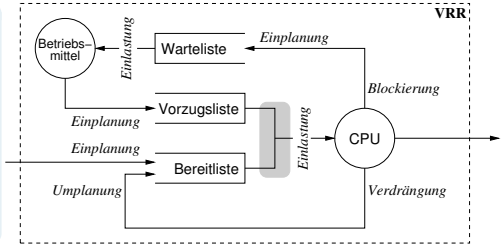
RR vs. VRR



Bereitliste	▪ lauffähiger Fäden[a] ▪ dreiseitig bestückt 2 × Einplanung 1 × Umplanung ▪ unbedingt bedient
Warteliste	▪ blockierter Fäden

[a] CPU „Warteliste“

Bereitliste	▪ wie bei RR ▪ 2-seitig bestückt 1 × Einplanung 1 × Umplanung ▪ bedingt bedient
Warteliste	▪ wie bei RR
Vorzugsliste	▪ unbedingt bedient



SPN

shortest process next

Zeitreihen bilden, analysieren und verwerten: nicht verdrängend.

- jeder Prozess wird entsprechend der für ihn im Durchschnitt oder maximal **erwarteten Bedienzeit** eingeplant
  - Grundlage dafür ist *à priori* Wissen über die **Prozesslaufzeiten**:
    - Stapelbetrieb Programmierer setzen **Frist** (*time limit*)
    - Produktionsbetrieb Erstellung einer **Statistik** durch Probeläufe
    - Dialogbetrieb **Abschätzung** von Rechenstoßlängen zur Laufzeit
  - Abarbeitung einer aufsteigend nach Laufzeiten sortierten Bereitsliste
    - Abschätzung erfolgt vor (statisch) oder zur (dynamisch) Laufzeit
- Verkürzung von Antwortzeiten und Steigerung der Gesamtleistung des Systems bei Benachteiligung längerer Prozesse
  - ein **Verhungern** (*starvation*) dieser Prozesse ist möglich
- ohne Konvoi-Effekt — jedoch ist als praktikable Implementierung nur die **näherungsweise Lösung** möglich
  - da die Rechenstoßlängen nicht exakt im Voraus bestimmbar
  - die obere Grenze einer Stoßlänge nicht selten auch unvorhersagbar ist

SPN: Mittlung

Abschätzung der Dauer eines Rechenstoßes

- ein **heuristisches Verfahren**, das für jeden Prozess den Mittelwert über seine jeweiligen Rechenstoßlängen bildet
  - damit ist die erwarte Länge des nächsten Rechenstoßes eines Prozesses:

$$S_{n+1} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} T_i$$

    - der Mittelwert über alle seinen gemessenen Rechenstoßlängen
  - Problem dieser Berechnung ist die **gleiche Wichtung** aller Rechenstöße
  - jüngere Rechenstöße machen jedoch die **Lokalität** eines Prozesse aus
    - diesen Stößen sollte eine größere Wichtung gegeben werden (vgl. S. 23)
- die **Messung** der Dauer eines Rechenstoßes geschieht im Moment der Prozesseinlastung (d.h., der Prozessumschaltung)
  - Stoppzeit T_2 von P_j entspricht (in etwa) der Startzeit T_1 von P_{j+1}
    - gemessen in Uhrzeit (*clock time*) oder Uhrtick (*clock tick*)
  - dann ergibt $T_2 - T_1$ die gemessene Rechenstoßlänge für jeden Prozess P_i
  - der Differenzwert wird im jeweiligen Prozesskontrollblock akkumuliert

SPN: Wichtung

Prozesslokalität stärker einbeziehen

- mittels **Dämpfungsfiler** (*decay filter*), d.h., der Dämpfung (*decay*) der am weitesten zurückliegenden Rechenstöße:

$$\begin{aligned} S_{n+1} &= \frac{1}{n} \cdot T_n + \frac{n-1}{n} \cdot S_n \\ &= \alpha \cdot T_n + (1-\alpha) \cdot S_n \end{aligned}$$

  - mit zuletzt gemessener (T_n) und geschätzter (S_n) Rechenstoßlänge
  - für den konstanten **Wichtungsfaktor** α gilt dabei: $0 < \alpha < 1$
    - drückt die relative Wichtung einzelner Rechenstöße der Zeitreihe aus
- um die Wirkung des Wichtungsfaktors zu verdeutlichen, die teilweise Expansion der Gleichung wie folgt:
  - $S_{n+1} = \alpha T_n + (1-\alpha)\alpha T_{n-1} + \ldots + (1-\alpha)^i \alpha T_{n-1} + \ldots + (1-\alpha)^n S_1$
- Beispiel der Entwicklung für $\alpha = 0.8$:
  - $S_{n+1} = 0.8\,T_n + 0.16\,T_{n-1} + 0.032\,T_{n-2} + 0.0064\,T_{n-3} + \ldots$
  - zurückliegende Rechenstöße des Prozesses verlieren schnell an Gewicht

HRRN

highest response ratio next

Hungerfreies SPN.

- Prozesse werden nach ihrer **erwarteten Bedienzeit** eingeplant und periodisch unter Berücksichtigung ihrer **Wartezeit** umgeplant
  - in regelmäßigen Zeitabständen wird ein Verhältniswert R berechnet:

$$R = \frac{w+s}{s}$$

    - w aktuell abgelaufene Wartezeit eines Prozesses
    - s erwartete (d.h., abgeschätzte) Bedienzeit eines Prozesses
  - ausgewählt wird der Prozess mit dem größten Verhältniswert R
- die periodische Aktualisierung betrifft alle Einträge in der Bereitliste und findet im Hintergrund des aktuellen Prozesses statt
  - ausgelöst durch einen Uhrtick (*clock tick*)
- Anmerkung: ein Anstieg der Wartezeit eines Prozesses bedeutet seine **Alterung** (*aging*)
  - der Alterung entgegenwirken beugt Verhungern (*starvation*) vor

SRTF

shortest remaining time first

Verdrängendes SPN, Hungergefahr, Effektivität von VRR.

- Prozesse werden nach ihrer **erwarteten Bedienzeit** eingeplant und in unregelmäßigen Zeitabständen **spontan** umgeplant
  - sei T_{et} die erwartete Rechenstoßlänge eines eintreffenden Prozesses
  - sei T_{rt} die verbleibende Rechenstoßlänge des laufenden Prozesses
  - der laufende Prozess wird verdrängt, wenn gilt: $T_{et} < T_{rt}$
- die **Umplanung** erfolgt ereignisbedingt und (ggf. voll) verdrängend im Moment der Ankunftszeit eines Prozesses
  - z.B. bei Beendigung des Ein-/Ausgabestoßes eines wartenden Prozesses
  - allgemein: bei Aufhebung der Wartebedingung für einen Prozess
- bei **Verdrängung** kommt der betreffende Prozess entsprechend der Restdauer seiner erwarteten Rechenstoßlänge auf die Bereitliste
  - führt allgemein zu besseren Antwort- und Durchlaufzeiten
  - gegenüber VRR steht der Aufwand zur Rechenstoßlängenabschätzung

MLQ

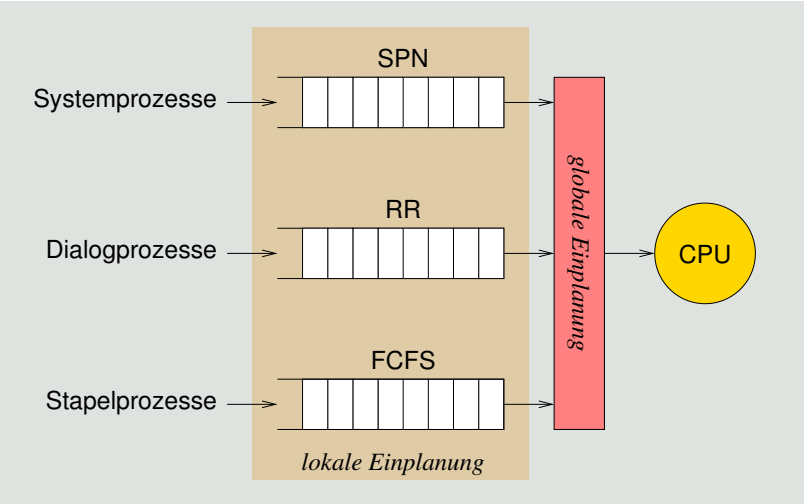
multilevel queue

Unterstützt Mischbetrieb: Vorder- und Hintergrundbetrieb.

- Prozesse werden nach ihrem **Typ** (d.h., nach den für sie zutreffend geglaubten Eigenschaften) eingeplant
  - Aufteilung der Bereitliste in separate („getypte“) Listen
    - z.B. für System-, Dialog- und Stapelprozesse
  - mit jeder Liste eine **lokale Einplanungsstrategie** verbinden
    - z.B. SPN, RR und FCFS
  - zwischen den Listen eine **globale Einplanungsstrategie** definieren
    - statisch – Liste einer bestimmten Prioritätsebene fest zuordnen
      - Hungergefahr für Prozesse tiefer liegender Listen
    - dynamisch – die Listen im Zeitmultiplexverfahren wechseln
      - z.B. 40 % System-, 40 % Dialog-, 20 % Stapelprozesse
- dem Prozess einen Typen zuordnen ist eine statische Entscheidung
  - sie wird zum Zeitpunkt der Prozesserzeugung getroffen

MLQ: Mischbetrieb

System-, Dialog- und Stapelprozesse im Mix



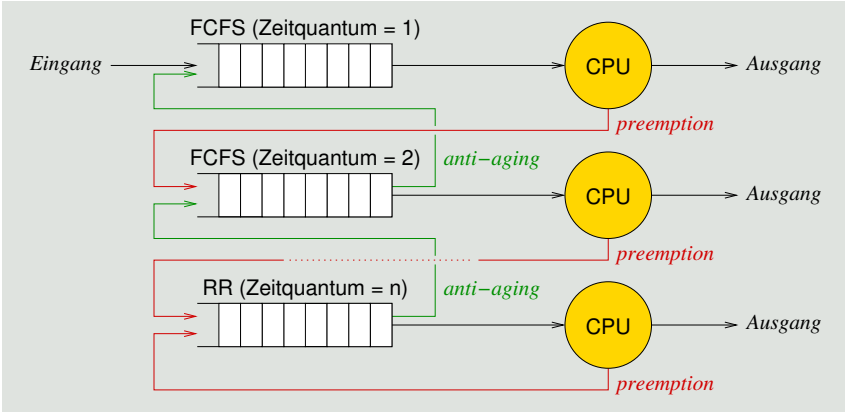
MLFQ

multilevel feedback queue

Begünstigt kurze/interaktive Prozesse, ohne die relativen Stoßlängen kennen zu müssen.

- Prozesse werden nach ihrer **Ankunftszeit** ein- und in regelmäßigen Zeitabständen (periodisch) umgeplant
  - Hierarchie von Bereitlisten, je nach Anzahl der **Prioritätsebenen**
    - erstmalig eintreffende Prozesse steigen oben ein
    - Zeitscheibenablauf drückt den laufenden Prozess weiter nach unten
  - je nach Ebene verschiedene Einreihungsstrategien und -parameter
    - unterste Ebene arbeitet nach RR, alle anderen (höheren) nach FCFS
    - die Zeitscheibengrößen nehmen von oben nach unten zu
- **Bestrafung** (*penalization*)
  - Prozesse mit langen Rechenstößen fallen nach unten durch
  - Prozesse mit kurzen Rechenstößen laufen relativ schnell durch
- **Alterung** (*ageing*)
  - nach unten durchfallende Prozesse finden seltener statt
  - durchgefallene Prozesse nach einer **Bewährungsfrist** wieder anheben

MLFQ: Bestrafung und Bewährung



feedback (FB)

Gliederung

Einführung

Einordnung
- Klassifikation

Verfahrensweisen
- Kooperativ
- Verdrängend
- Probabilistisch
- Mehrstufig

Zusammenfassung

Gegenüberstellung

	FCFS	RR	VRR	SPN	HRRN	SRTF
kooperativ	✓			(✓)	(✓)	
verdrängend		✓	✓			✓
probabilistisch				✓	✓	✓
deterministisch	keine bzw. nicht von sich aus allein ⇝ EZS [8]					

- MLQ und MLFQ erlauben eine Kombination dieser Verfahren, jedoch abgestuft und nicht alle zusammen auf derselben Ebene
  - dadurch wird letztlich eine **Priorisierung** der Strategien vorgenommen
    - entsprechend der globalen Strategie, die den Ebenenwechsel steuert
  - teilweise wird so speziellen Anwendungsbedürfnissen entgegengekommen
    - z.B. FCFS priorisieren ⇝ „*number crunching*“ fördern
- jedes dieser Verfahren stellt bestimmte **Gütemerkmale** [3] in den Vordergrund und vergibt damit indirekt Prioritäten an Prozesse

Prioritäten setzende Verfahren

Statische Prioritäten (MLQ) vs. dynamische Prioritäten (VRR, SPN, SRTF, HRRN, MLFQ).

- **Prozessvorrang** bedeutet die bevorzugte Einlastung von Prozessen mit höherer Priorität und wird auf zwei Arten bestimmt:
  - statisch
    - Zeitpunkt der **Prozesserzeugung** ⇝ Laufzeit<u>konstante</u>
    - wird im weiteren Verlauf nicht mehr verändert
    - erzwingt die deterministische Ordnung zw. Prozessen
  - dynamisch
    - „jederzeit“ im **Prozessintervall** ⇝ Laufzeit<u>variable</u>
    - die Berechnung erfolgt durch das Betriebssystem
      - ggf. in Kooperation mit den Anwendungsprogrammen
    - erzwingt <u>keine</u> deterministische Ordnung zw. Prozessen
- damit ist allerdings noch nicht **Echtzeitverarbeitung** garantiert, bei der Prozessvorrang eine maßgebliche Rolle spielt
  - die **Striktheit von Terminvorgaben** ist einzuhalten: weich, fest, hart
    - entsprechend der jeweiligen Anforderungen der Anwendungsdomäne
  - keines der behandelten Verfahren sichert dies dem Anwendungssystem zu

Resümee

. . . Fokus lag auf Durschnittsleistung (*average performance*)

- Prozesseinplanung unterliegt einer breit gefächerten **Einordnung**
  - kooperativ/verdrängend
  - deterministisch/probabilistisch
  - statisch/dynamisch
  - asymmetrisch/symmetrisch
- die entsprechenden **Verfahrensweisen** sind z.T. sehr unterschiedlich
  - FCFS: kooperativ
  - RR, VRR: verdrängend
  - SPN, HRRN, SRTF: probabilistisch
  - MLQ, MLFQ (FB): mehrstufig
- Prioritäten setzende Verfahren legen einen **Prozessvorrang** fest
  - FCFS: Ankunftszeit
  - RR: Ankunftszeit, VRR: Ankunftszeit nach Ein-/Ausgabestoßende
  - SPN: Rechenstoß, HRRN: Verhältniswert, SRTF: Rechenstoßrest
- eine weitere Dimension ist die **Striktheit von Terminvorgaben**
  - die jedoch keins der behandelten Verfahren an sich berücksichtigt. . .

Literaturverzeichnis I

[1] Coffman, E. G. ; Denning, P. J.:
Operating System Theory.
Prentice Hall, Inc., 1973

[2] Conway, R. W. ; Maxwell, L. W. ; Millner, L. W.:
Theory of Scheduling.
Addison-Wesley, 1967

[3] Kleinöder, J. ; Schröder-Preikschat, W. :
Einplanungsgrundlagen.
In: [5], Kapitel 9.1

[4] Kleinöder, J. ; Schröder-Preikschat, W. :
Prozesse.
In: [5], Kapitel 6.1

[5] Kleinöder, J. ; Schröder-Preikschat, W. ; Lehrstuhl Informatik 4 (Hrsg.):
Systemprogrammierung.
FAU Erlangen-Nürnberg, 2015 (Vorlesungsfolien)

[6] Kleinrock, L. :
Queuing Systems. Bd. I: Theory.
John Wiley & Sons, 1975

Literaturverzeichnis II

[7] Lister, A. M. ; Eager, R. D.:
Fundamentals of Operating Systems.
The Macmillan Press Ltd., 1993. –
ISBN 0–333–59848–2

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