Betriebssysteme (BS)

Scheduling

Olaf Spinczyk
Arbeitsgruppe Eingebettete Systemsoftware

Lehrstuhl für Informatik 12
TU Dortmund

Olaf.Spinczyk@tu-dortmund.de
http://ess.cs.uni-dortmund.de/~os/

Inhalt

Silberschatz, Kap. ...
5: Process Scheduling

Tanenbaum, Kap. ...
2.5: Scheduling

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

Es geht um **Uniprozessor-Scheduling** für den Allgemeinzweckbetrieb. Nicht betrachtet wird:
- Multiprozessor-Scheduling
- Echtzeit-Scheduling
- E/A-Scheduling

Inhalt

- **Wiederholung**
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

Wiederholung

- Prozesse sind die zentrale Abstraktion für Aktivitäten in heutigen Betriebssystemen.
  - Konzeptionell unabhängige sequentielle Kontrollflüsse (Folge von CPU- und E/A-Stößen)
  - Tatsächlich findet ein *Multiplexing* der CPU statt
- UNIX-Systeme stellen diverse *System Calls* zur Verfügung, um Prozesse zu erzeugen, zu verwalten und miteinander zu verknüpfen.
  - Moderne Betriebssysteme unterstützen darüber hinaus auch leicht- und federgewichtige Prozesse.
- Prozesse unterliegen der Kontrolle des Betriebssystems.
  - Betriebsmittel-Zuteilung
  - Betriebsmittel-Entzug

Inhalt

- Wiederholung
- **Abfertigungszustände und Zustandsübergänge**
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

Abfertigungszustand

- Jedem Prozess ist in Abhängigkeit von der Einplanungsebene ein logischer Zustand zugeordnet, der den Abfertigungszustand zu einem Zeitpunkt angibt:
- **kurzfristig** (***short-term scheduling***)
  - bereit, laufend, blockiert
- **mittelfristig** (***medium-term scheduling***)
  - ausgelagert bereit, ausgelagert blockiert
- **langfristig** (***long-term scheduling***)
  - erzeugt, beendet

Kurzfristige Einplanung

- **bereit** (*READY*)
  zur Ausführung durch den Prozessor (die CPU)
  - Der Prozess ist auf der Warteliste für die CPU-Zuteilung (*ready list*)
  - Seine Listenposition bestimmt sich durch das Einplanungsverfahren
- **laufend** (*RUNNING*)
  Zuteilung des Betriebsmittels ”CPU“ ist erfolgt
  - Der Prozess führt Berechnungen durch,
    er vollzieht seinen **CPU-Stoß**
  - Für jeden Prozessor gibt es zu einem Zeitpunkt nur einen laufenden Prozess
- **blockiert** (*BLOCKED*)
  auf ein bestimmtes Ereignis
  - Der Prozess führt ”Ein-/Ausgabe“ durch,
    er vollzieht seinen **E/A-Stoß**
  - Er erwartet die Erfüllung mindestens einer Bedingung

Mittelfristige Einplanung

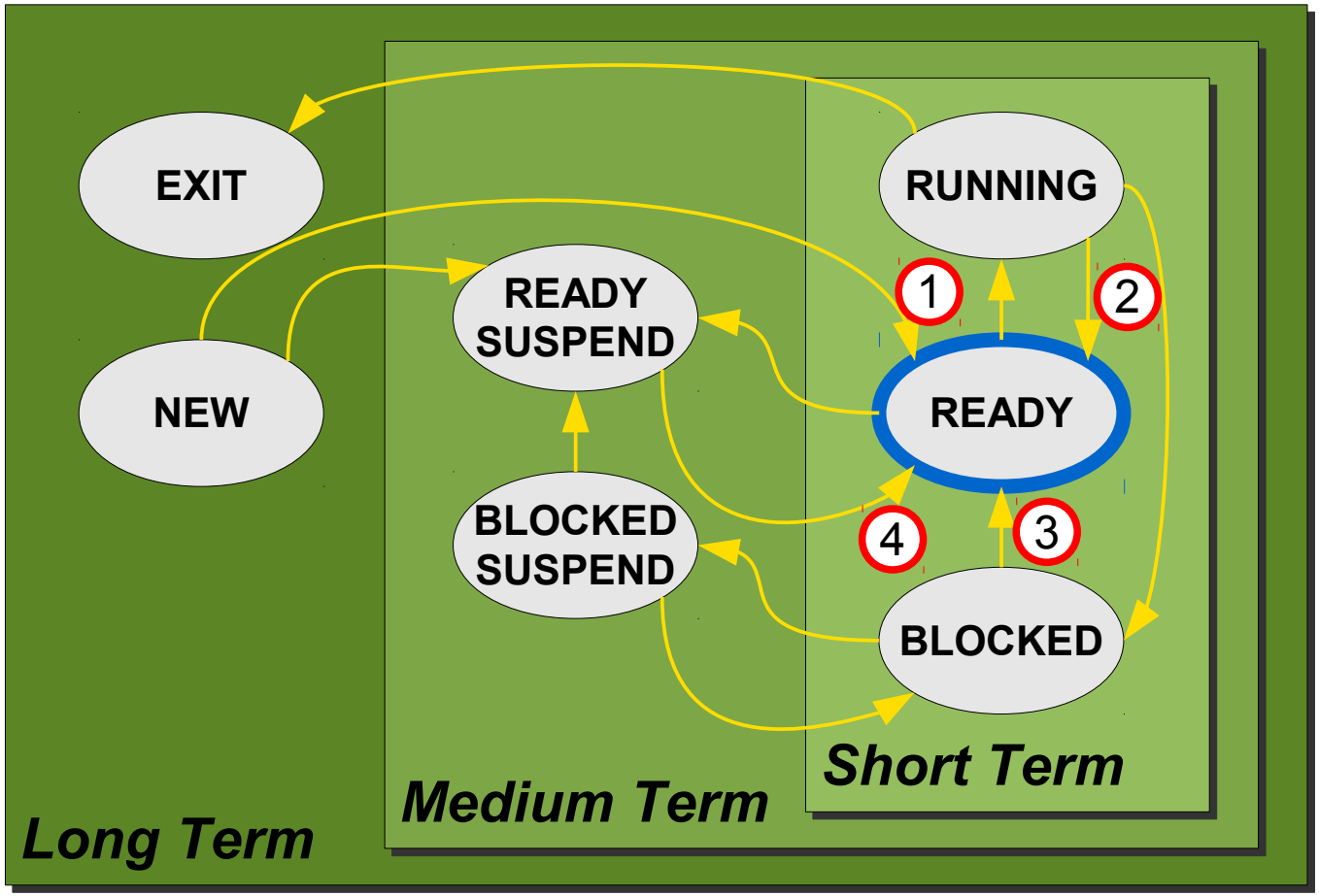
Ein Prozess ist komplett ausgelagert, d. h. der Inhalt seines gesamten Adressraums wurde in den Hintergrundspeicher verschoben (*swap-out*) und der von dem Prozess belegte Vordergrundspeicher wurde freigegeben. Die Einlagerung (*swap-in*) des Adressraums ist abzuwarten:

- **ausgelagert bereit** (*READY SUSPEND*)
  - Die CPU-Zuteilung (”bereit“) ist außer Kraft gesetzt
  - Der Prozess ist auf der Warteliste für die Speicherzuteilung
- **ausgelagert blockiert** (*BLOCKED SUSPEND*)
  - Der Prozess erwartet weiterhin ein Ereignis (”blockiert“)
  - Tritt das Ereignis ein, wird der Prozess ”ausgelagert bereit“

Langfristige Einplanung

- **erzeugt** (*NEW*)
  und fertig zur Programmverarbeitung fork(2)
  - Der Prozess ist instanziiert, ihm wurde ein Programm zugeordnet
  - Ggf. steht die Zuteilung des Betriebsmittels ”Speicher“ jedoch noch aus
- **beendet** (*EXIT*)
  und erwartet die Entsorgung exit(2)/wait(2)
  - Der Prozess ist terminiert, seine Betriebsmittel werden freigegeben
  - Ggf. muss ein anderer Prozess den ”Kehraus“ vollenden (z. B. UNIX)

Zustandsübergänge



Einplanungs- und Auswahlzeitpunkt

- Jeder Übergang in den Zustand **bereit** (*READY*) aktualisiert die CPU-Warteschlange
  - Eine Entscheidung über die Einreihung des Prozesskontrollblocks wird getroffen
  - Das Ergebnis hängt von **CPU-Zuteilungsstrategie** des Systems ab
- Einplanung (*scheduling*) bzw. Umplanung (*rescheduling*) erfolgt, . . .
  1. nachdem ein Prozess erzeugt worden ist
  2. wenn ein Prozess freiwillig die Kontrolle über die CPU abgibt
  3. sofern das von einem Prozess erwartete Ereignis eingetreten ist
  4. sobald ein ausgelagerter Prozess wieder aufgenommen wird
- Ein Prozess kann dazu gedrängt werden, die CPU abzugeben. → **präemptives *Scheduling***
  - z.B. durch Zeitgeberunterbrechung

Inhalt

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- **Klassische CPU-Zuteilungsstrategien**
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

First-Come First-Served – FCFS

- Ein einfaches und gerechtes(?) Verfahren:
  ”wer zuerst kommt, mahlt zuerst“
  - Einreihungskriterium ist die Ankunftszeit eines Prozesses
  - Arbeitet nicht-verdrängend und setzt kooperative Prozesse voraus
- Beispiel

Prozess	Zeiten					
	Ankunft	Bedienzeit T_s	Start	Ende	Durchlauf T_r	T_r/T_s
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
Mittelwert					100	26,00

- Die normalisierte Durchlaufzeit (T_r/T_s) von C steht in einem sehr schlechten Verhältnis zur Bedienzeit T_s

Diskussion: FCFS – „Konvoi-Effekt“

- Mit dem Problem sind immer kurz laufende E/A-lastige Prozesse konfrontiert, die langen CPU-lastigen Prozessen folgen.
  - Prozesse mit **langen** CPU-Stößen werden begünstigt
  - Prozesse mit **kurzen** CPU-Stößen werden benachteiligt
- Das Verfahren minimiert die Zahl der Kontextwechsel. Der Konvoi-Effekt verursacht allerdings folgende Probleme:
  - hohe Antwortzeit
  - niedriger E/A-Durchsatz
- Bei einem Mix von CPU- und E/A-lastigen Prozessen ist FCFS daher ungeeignet.
  - Typischerweise nur in reinen Stapelverarbeitungssystemen

Round Robin – RR

- Verringert die bei FCFS auftretende Benachteiligung kurzer CPU-Stöße: „Jeder gegen jeden“
  - Basis für CPU-Schutz:
    ein Zeitgeber bewirkt **periodische Unterbrechungen**
  - Die Periodenlänge entspricht typischerweise einer Zeitscheibe (***time slicing***)
- Mit Ablauf der Zeitscheibe erfolgt ggf. ein Prozesswechsel
  - Der unterbrochene Prozess wird ans Ende der Bereitliste verdrängt
  - Der nächste Prozess wird gemäß FCFS der Bereitliste entnommen
- Die Zeitscheibenlänge bestimmt maßgeblich die Effektivität des Verfahrens
  - zu lang, Degenerierung zu FCFS; zu kurz, sehr hoher *Overhead*
  - Faustregel: etwas länger als die Dauer einer ”typischen Interaktion“

Diskussion: RR – Leistungsprobleme

- E/A-lastige Prozesse beenden ihren CPU-Stoß innerhalb ihrer Zeitscheibe
  - sie blockieren und kommen mit Ende ihres E/A-Stoßes in die Bereitliste
- CPU-lastige Prozesse schöpfen dagegen ihre Zeitscheibe voll aus
  - sie werden verdrängt und kommen sofort wieder in die Bereitliste
- die CPU-Zeit ist zu Gunsten CPU-lastiger Prozesse ungleich verteilt
  - E/A-lastige Prozesse werden schlecht bedient und dadurch Geräte schlecht ausgelastet
  - die Varianz der Antwortzeit E/A-lastiger Prozesse erhöht sich

Virtual Round Robin – VRR

- Vermeidet die bei RR mögliche ungleiche Verteilung der CPU-Zeiten
  - Prozesse kommen mit Ende ihrer E/A-Stöße in eine Vorzugsliste
  - Diese Liste wird vor der Bereitliste abgearbeitet
- Das Verfahren arbeitet mit Zeitscheiben unterschiedlicher Längen
  - Prozesse der Vorzugsliste bekommen keine volle Zeitscheibe zugeteilt
  - Ihnen wird die Restlaufzeit ihrer vorher nicht voll genutzten Zeit gewährt
  - Sollte ihr CPU-Stoß länger dauern, werden sie in die Bereitliste verdrängt
- Die Prozessabfertigung ist dadurch im Vergleich zu RR etwas aufwändiger

Shortest Process Next – SPN

- Verringert die bei FCFS auftretende Benachteiligung kurzer CPU-Stöße: „Die Kleinen nach vorne“
  - Grundlage dafür ist die Kenntnis über die Prozesslaufzeiten
  - Verdrängung findet nicht statt
- das Hauptproblem besteht in der Vorhersage der Laufzeiten
  - Stapelbetrieb: Programmierer geben das erforderliche *time limit** vor
  - Dialogbetrieb: Schätzung der früheren Stoßlängen des Prozesses
- Antwortzeiten werden wesentlich verkürzt und die Gesamtleistung steigt
  - Dafür: Gefahr der **Aushungerung** CPU-lastiger Prozesse

*Die Zeitdauer, innerhalb der der Job (wahrscheinlich/hoffentlich) beendet wird, bevor er abgebrochen wird.

Diskussion: SPN - CPU-Stoßdauer

- Basis für die Schätzung ist die Mittelwertbildung über alle bisherigen CPU-Stoßlängen eines Prozesses:

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

- Problem dieser Berechnung ist die gleiche Gewichtung aller CPU-Stöße
  - Jüngere CPU-Stöße sind jedoch von größerer Bedeutung als ältere und sollten daher auch mit größerer Gewichtung berücksichtigt werden
- Ursache ist das Lokalitätsprinzip

Diskussion: SPN – Stoßgewichtung

- Die weiter zurückliegenden CPU-Stöße sollen weniger Gewicht erhalten:

$$S_{n+1} = \alpha \cdot T_n + (1-\alpha) \cdot S_n$$

  - Für den konstanten Gewichtungsfaktor α gilt dabei: 0 < α < 1
  - Er drückt die relative Gewichtung einzelner CPU-Stöße der Zeitreihe aus
- Rekursive Einsetzung führt zu ...

$$S_{n+1} = \alpha\, T_n + (1-\alpha)\,\alpha\, T_{n-1} + \ldots + (1-\alpha)^i\,\alpha\, T_{n-i} + \ldots + (1-\alpha)^n S_1$$

$$S_{n+1} = \alpha \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (1-\alpha)^i T_{n-i} + (1-\alpha)^n S_1$$

Dieses statistische Verfahren nennt man auch **exponentielle Glättung**.

- für α = 0.8:

$$S_{n+1} = 0.8\mathrm{T}_n + 0.16\mathrm{T}_{n-1} + 0.032\mathrm{T}_{n-2} + 0.0064\mathrm{T}_{n-3} + \ldots$$

Shortest Remaining Time First – SRTF

- Erweitert den SPN-Ansatz um Verdrängung
  - Dadurch geeignet für den Dialogbetrieb
  - Führt zu besseren Durchlaufzeiten
- Der laufende Prozess wird verdrängt, wenn gilt: $T_{erw} < T_{rest}$
  - T_{erw} ist die erwartete CPU-Stoßlänge eines eintreffenden Prozesses
    T_{rest} ist die verbleibende CPU-Stoßlänge des laufenden Prozesses
- Anders als RR basiert SRTF nicht auf Zeitgeberunterbrechungen, ist aber präemptiv
  - Dafür müssen allerdings Stoßlängen abgeschätzt werden
- Wie SPN kann auch SRTF Prozesse zum ”Verhungern“ (*starvation*) bringen

Highest Response Ratio Next – HRRN

- Vermeidet das bei SRTF mögliche Verhungern von CPU-lastigen Prozessen
  - Das Altern (*aging*), d. h. die Wartezeit von Prozessen wird berücksichtigt

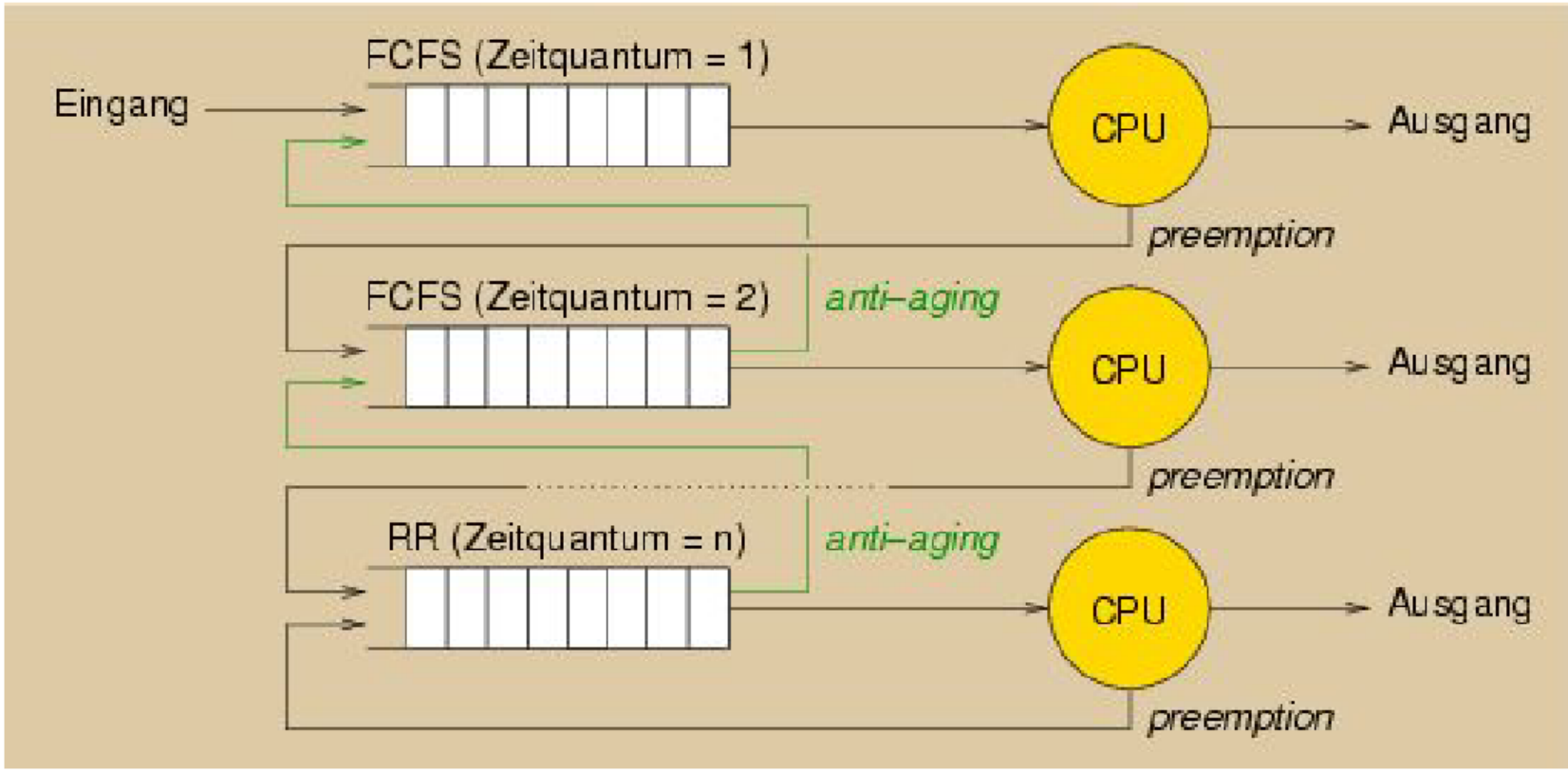
$$R = \frac{w + s}{s}$$

  - *w* ist die bisherige ”Wartezeit des Prozesses“
  - *s* ist die ”erwartete Bedienzeit“
- Ausgewählt wird immer der Prozess mit dem größten Verhältniswert *R*

Feedback – FB

- Begünstigt kurze Prozesse, ohne die relativen Längen der Prozesse abschätzen zu müssen.
  - Grundlage ist die ”Bestrafung“ (*penalization*) von „Langläufern“
  - Prozesse unterliegen dem Verdrängungsprinzip
- Mehrere Bereitlisten kommen zum Einsatz, je nach Anzahl von Prioritätsebenen
  - Wenn ein Prozess erstmalig eintrifft, läuft er auf höchster Ebene
  - Mit Ablauf der Zeitscheibe, kommt er in die nächst niedrigere Ebene
  - Die unterste Ebene arbeitet nach RR
- Kurze Prozesse laufen relativ schnell durch, lange Prozesse können verhungern
  - Die Wartezeit kann berücksichtigt werden, um wieder höhere Ebenen zu erreichen (*anti-aging*)

FB – *Scheduling*-Modell



Diskussion: Prioritäten

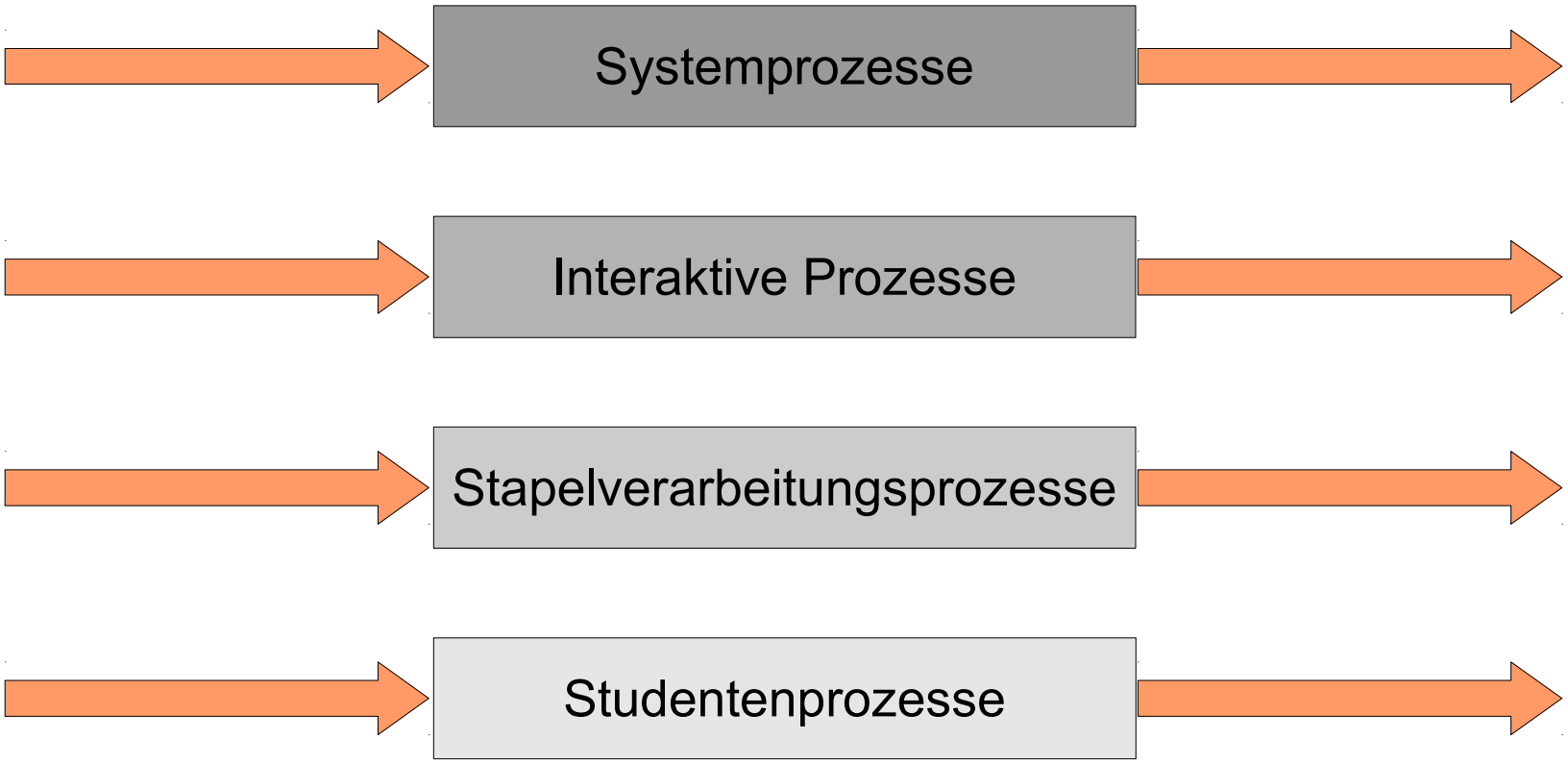
- Ein Prozess-”Vorrang“, der Zuteilungsentscheidungen maßgeblich beeinflusst
- **Statische Prioritäten** werden zum Zeitpunkt der Prozesserzeugung festgelegt
  - Der Wert kann im weiteren Verlauf nicht mehr verändert werden
  - Das Verfahren erzwingt eine deterministische Ordnung zwischen Prozessen
- **Dynamische Prioritäten** werden während der Prozesslaufzeit aktualisiert
  - Die Aktualisierung erfolgt im Betriebssystem, aber auch vom Benutzer aus
  - SPN, SRTF, HRRN und FB sind Spezialfälle dieses Verfahrens

Kombinationen – *Multilevel Scheduling*

- Mehrere Betriebsformen lassen sich nebeneinander (”gleichzeitig“) betreiben.
  - Z. B. gleichzeitige Unterstützung von {Dialog- und Hintergrundbetrieb, Echtzeit- und sonstigem Betrieb}
  - Dialogorientierte bzw. zeitkritische Prozesse werden bevorzugt bedient
- Die technische Umsetzung erfolgt typischerweise über mehrere Bereitlisten.
  - Jeder Bereitliste ist eine bestimmte Zuteilungsstrategie zugeordnet
  - Die Listen werden typischerweise nach Priorität, FCFS oder RR verarbeitet
  - Ein höchst komplexes Gebilde → *multi-level feedback* (MLFB)
- FB kann als Spezialfall dieses Verfahrens aufgefasst werden.

Kombinationen – *Multilevel Scheduling*

höchste Priorität



niedrigste Priorität

Quelle: Silberschatz

Inhalt

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert
- **Bewertungskriterien und Vergleich**
- Beispiele
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

Ziele = Bewertungskriterien

- Benutzerorientiert
  - **Durchlaufzeit** – Zeit zwischen Eingang und Abschluss eines Prozesses einschließlich der Wartezeit(en) → **Stapelverarbeitung**
  - **Antwortzeit** – Zeit zwischen Benutzereingabe und Antwort → **interaktive Systeme**
  - **Termineinhaltung** – Für die Interaktion mit äußeren physikalischen Prozessen sollten Termine eingehalten werden → **Echtzeitsysteme**
  - **Vorhersagbarkeit** – Prozesse werden unabhängig von der Last immer gleich bearbeitet → **harte Echtzeitsysteme**
- Systemorientiert
  - **Durchsatz** – Möglichst viele Prozesse pro Zeiteinheit abarbeiten
  - **CPU-Auslastung** – CPU sollte möglichst immer beschäftigt sein. *Overhead* (*Scheduling*-Entscheidung, Kontextwechsel) vermeiden.
  - **Fairness** – Kein Prozess soll benachteiligt werden („aushungern“)
  - **Lastausgleich** – Auch E/A-Geräte sollen gleichmäßig ausgelastet werden

Gegenüberstellung – quantitativ

	Prozess	A	B	C	D	E	Mittel-wert
	Start	0	2	4	6	8	
	Bedienzeit T_s	3	6	4	5	2	
FCFS	Ende	3	9	13	18	20	
	Durchlauf T_r	3	7	9	12	12	8,60
	T_r/T_s	1,00	1,17	2,25	2,40	6,00	2,56
RR	Ende	4	18	17	20	15	
q=1	Durchlauf T_r	4	16	13	14	7	10,80
	T_r/T_s	1,33	2,67	3,25	2,80	3,50	2,71
SPN	Ende	3	9	15	20	11	
	Durchlauf T_r	3	7	11	14	3	7,60
	T_r/T_s	1,00	1,17	2,75	2,80	1,50	1,84
SRTF	Ende	3	15	8	20	10	
	Durchlauf T_r	3	13	4	14	2	**7,20**
	T_r/T_s	1,00	2,17	1,00	2,80	1,00	**1,59**
HRRN	Ende	3	9	13	20	15	
	Durchlauf T_r	3	7	9	14	7	8,00
	T_r/T_s	1,00	1,17	2,25	2,80	3,50	2,14
FB	Ende	4	20	16	19	11	
q=1	Durchlauf T_r	4	18	12	13	3	10,00
	T_r/T_s	1,33	3,00	3,00	2,60	1,50	2,29

Aus William Stallings, „Betriebssysteme – Prinzipien und Umsetzung“

Gegenüberstellung – qualitativ

Strategie	präemptiv/ kooperativ	Vorhersage nötig	Implement.-aufwand	Verhungern möglich	Auswirkung auf Prozesse
FCFS	kooperativ	nein	minimal	nein	Konvoi-Effekt
RR	präemptiv (Zeitgeber)	nein	klein	nein	Fair, aber benachteiligt E/A-lastige Prozesse
SPN	kooperativ	ja	groß	ja	Benachteiligt CPU-lastige Prozesse
SRTF	präemptiv (bei Eingang)	ja	größer	ja	Benachteiligt CPU-lastige Prozesse
HRRN	kooperativ	ja	groß	nein	Gute Lastverteilung
FB	präemptiv (Zeitgeber)	nein	größer	ja	Bevorzugt u.U. E/A-lastige Prozesse

In Anlehnung an William Stallings, „Betriebssysteme – Prinzipien und Umsetzung“

Inhalt

- Wiederholung
- Abfertigungszustände und Zustandsübergänge
- Klassische CPU-Zuteilungsstrategien
  - FCFS..... einfach
  - RR, VRR..... zeitscheibenbasiert
  - SPN (SJF), SRTF, HRRN..... vorhersagebasiert
  - FB (MLQ, MLFQ).....prioritätenbasiert
- Bewertungskriterien und Vergleich
- **Beispiele**
  - UNIX (4.3BSD)
  - NT

UNIX

- Zweistufiges präemptives Verfahren mit dem Ziel, Antwortzeiten zu minimieren
- Kein *Long-Term Scheduling*
- ***high-level:*** mittelfristig
  mit Ein-/Auslagerung (*swapping*) arbeitend
- ***low-level:*** kurzfristig
  präemptiv, MLFB, dynamische Prozessprioritäten
  - Einmal pro Sekunde: *prio* = *cpu_usage* + *p_nice* + *base*
  - Jeder ”Tick“ (1/10 s) verringert das Nutzungsrecht über die CPU durch Erhöhung von *cpu_usage* beim laufenden Prozess
    - hohe *prio* Zahl = niedrige Priorität
  - Das Maß der CPU-Nutzung (*cpu_usage*) wird über die Zeit gedämpft
    - Die Dämpfungs-/Glättungsfunktion variiert von UNIX zu UNIX

UNIX – 4.3 BSD (1)

- Jeden vierten Tick (40ms) erfolgt die Berechnung der Benutzerpriorität:

$$P_{usrpri} = min\left(PUSER + \frac{P_{cpu}}{4} + 2 \cdot P_{nice}, 127\right)$$

- P_{cpu} nimmt mit jedem Tick um 1 zu und wird einmal pro Sekunde geglättet:

$$P_{cpu} \Leftarrow \frac{2 \cdot load}{2 \cdot load + 1} \cdot P_{cpu} + P_{nice}$$

- Glättung für erwachte Prozesse, die länger als eine Sekunde blockiert waren:

$$P_{cpu} \Leftarrow \left(\frac{2 \cdot load}{2 \cdot load + 1}\right)^{P_{slptime}} \cdot P_{cpu}$$

UNIX – 4.3 BSD (2)

- Glättung (*decay filter*) bei einer angenommenen mittleren Auslastung (*load*) von 1 gilt $P_{cpu} := 0.66 \cdot P_{cpu} + P_{nice}$. Ferner sei angenommen, ein Prozess sammelt T_i Ticks im Zeitinterval i an und $P_{nice} = 0$

$$P_{cpu_1} = 0.66\ T_0$$

$$P_{cpu_2} = 0.66\ (T_1 + 0.66\ T_0) = 0.66\ T_1 + 0.44\ T_0$$

$$P_{cpu_3} = 0.66\ T_2 + 0.44\ T_1 + 0.30\ T_0$$

$$P_{cpu_4} = 0.66\ T_3 + \ldots + 0.20\ T_0$$

$$P_{cpu_5} = 0.66\ T_4 + \ldots + 0.13\ T_0$$

- Nach fünf Sekunden gehen nur noch 13% „alte“ Auslastung ein

NT – Prioritätsklassen

- Präemptive, prioritäts- und zeitscheibenbasierte Einplanung von Fäden (*Threads*)
  - Verdrängung erfolgt auch dann, wenn der Faden sich im Kern befindet → nicht so bei UNIX & Co
  - RR bei gleicher Priorität: 0 reserviert, 1–15 variabel, 16-31 Echtzeit
- Die Art des Fadens (Vorder-/Hintergrund) bestimmt das Zeitquantum eines Fadens → ***Quantum Stretching***
  - Quantum (zwischen 6 und 36) vermindert sich mit jedem Tick (10 bzw. 15ms) um 3 oder um 1, falls der Faden in den Wartezustand geht
  - Die Zeitscheibenlänge variiert mit den Prozessen: 20 – 180ms
    - Vordergrund/Hintergrund, Server/Desktop-Konfiguration
- Zudem variable Priorität:
  process_priority_class + *relative_thread_priority* + ***boost***

NT – Prioritätsanpassung

- Fadenprioritäten werden in bestimmten Situationen dynamisch angehoben: ***Dynamic Boost***
  - Abschluss von Ein-/Ausgabe (Festplatten) +1
  - Mausbewegung, Tastatureingabe +6
  - Deblockierung, Betriebsmittelfreigabe (Semaphor, Event, Mutex) +1
  - Andere Ereignisse (Netzwerk, Pipe, . . .) +2
  - Ereignis im Vordergrundprozess +2
- Die *dynamic boosts* werden mit jedem *Tick* wieder verbraucht
- **Fortschrittsgarantie**
  - Alle 3–4 s erhalten bis zu 10 ”benachteiligte“ Fäden für zwei Zeitscheiben die Priorität 15

Zusammenfassung

- Betriebssysteme treffen CPU-Zuteilungsentscheidungen auf drei Ebenen:
  - ***Long-Term Scheduling***: Zulassung von Prozessen zum System
  - ***Medium-Term Scheduling***: Aus- und Einlagerung von Prozessen
  - ***Short-Term Scheduling***: kurzfristige CPU-Zuteilung
- Alle hier betrachteten Verfahren werden dem *Short-Term Scheduling* zugerechnet.
  - Es gibt diverse **benutzer- und systemorientierte Kriterien** für die Beurteilung der Eigenschaften eines CPU-Zuteilungsverfahrens.
  - Die Auswahl kommt einer Gratwanderung gleich.
  - Das „beste“ Verfahren lässt sich nur nach einer Analyse des typischen Anwendungsprofils und aller Randbedingungen finden.