Echtzeitsysteme

Ereignisgesteuerte Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme

Peter Ulbrich

Lehrstuhl für Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

`https://www4.cs.fau.de`

18. November 2015

Fragestellungen

- Was sind die Prioritäten der ereignisorientierten Einplanung?
  - Welche Kriterien werden auf Prioritäten abgebildet?
  - Statische und dynamische Verfahren zur Bestimmung von Prioritäten
  - Wie geht man mit einer knappen Anzahl von Systemprioritäten um?
- Optimalität ereignisgesteuerter Ablaufplanung
  - Wie schlagen sich die vorgestellten Verfahren?
  - Wo liegen die Grenzen ereignisgesteuerter Ablaufplanung?
- Beurteilung der Planbarkeit ereignisgesteuerter Systeme?
  - Mit Hilfe der maximalen, kumulativen CPU-Auslastung
  - Fertigstellung von Aufträgen? $\leadsto$ Antwortzeitanalyse
  - Wie wirken sich zu wenige Systemprioritäten aus?

Gliederung

Kriterien der Prioritätsvergabe

Statische Prioritäten

RM Rate Monotonic (dt. *Ratenmonoton*)

→ Je kürzer die Periode, desto höher die Priorität

DM Deadline Monotonic (dt. *Fristenmonoton*)

→ Je kürzer der relative Termin, desto höher die Priorität

Kriterien der Prioritätsvergabe

Statische Prioritäten

RM Rate Monotonic (dt. *Ratenmonoton*)

→ Je kürzer die Periode, desto höher die Priorität

DM Deadline Monotonic (dt. *Fristenmonoton*)

→ Je kürzer der relative Termin, desto höher die Priorität

Dynamische Prioritäten

EDF Earliest Deadline First (dt. *Frühester Termin zuerst*)

→ Je früher der Termin, desto höher die Priorität

LRT Latest Release-Time First (dt. *Spätester Auslösezeit zuerst*)

→ Je später die Auslösezeit, desto höher die Priorität

LST Least Slack-Time First (dt. *Kleinste Schlupfzeit zuerst*)

→ Je kürzer die Schlupfzeit, desto höher die Priorität

Kriterien der Prioritätsvergabe

Statische Prioritäten

RM Rate Monotonic (dt. *Ratenmonoton*)

→ Je kürzer die Periode, desto höher die Priorität

DM Deadline Monotonic (dt. *Fristenmonoton*)

→ Je kürzer der relative Termin, desto höher die Priorität

Dynamische Prioritäten

EDF Earliest Deadline First (dt. *Frühester Termin zuerst*)

→ Je früher der Termin, desto höher die Priorität

LRT Latest Release-Time First (dt. *Spätester Auslösezeit zuerst*)

→ Je später die Auslösezeit, desto höher die Priorität

→ Eigenstudium

LST Least Slack-Time First (dt. *Kleinste Schlupfzeit zuerst*)

→ Je kürzer die Schlupfzeit, desto höher die Priorität

→ Eigenstudium

RM – Ratenmonotone Einplanung [10, S.118]

Einplanung gemäß Ausführungsrate

Rate $1/p_i$ einer Aufgabe T_i ist die Inverse ihrer Periode p_i

- Bezogen auf die Auslöserate von Arbeitsaufträgen in T_i

→ Je kleiner die Periode, desto höher die Priorität P_i von T_i

- Beispiel: $T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (5, 2)$, $T_3 = (20, 5)$
  - Perioden $p = \{4, 5, 20\}$, Ausführungszeiten $e = \{1, 2, 5\}$

⚠ Termin und Phase optional bei $D_i = p_i$ und $\phi_i = 0$

RM – Ratenmonotone Einplanung [10, S.118]

Einplanung gemäß Ausführungsrate

Rate $1/p_i$ einer Aufgabe T_i ist die Inverse ihrer Periode p_i

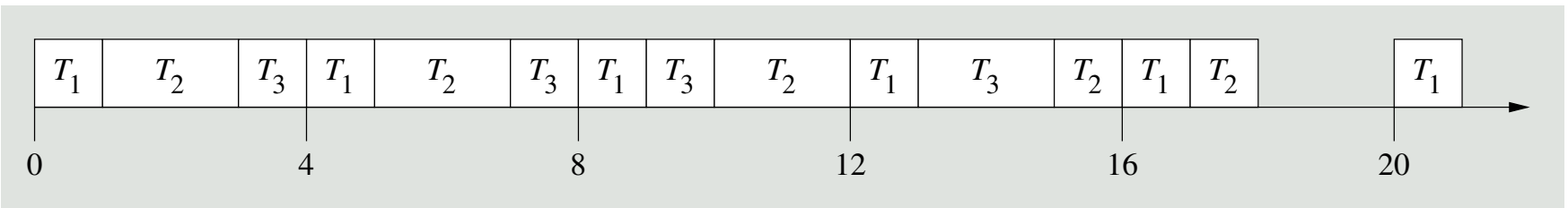
- Bezogen auf die Auslöserate von Arbeitsaufträgen in T_i

→ Je kleiner die Periode, desto höher die Priorität P_i von T_i

- Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$
  - Perioden $p = \{4,5,20\}$, Ausführungszeiten $e = \{1,2,5\}$

⚠ Termin und Phase optional bei $D_i = p_i$ und $\phi_i = 0$

- Ablaufplan:



RM – Ratenmonotone Einplanung [10, S.118]

Einplanung gemäß Ausführungsrate

Rate $1/p_i$ einer Aufgabe T_i ist die Inverse ihrer Periode p_i

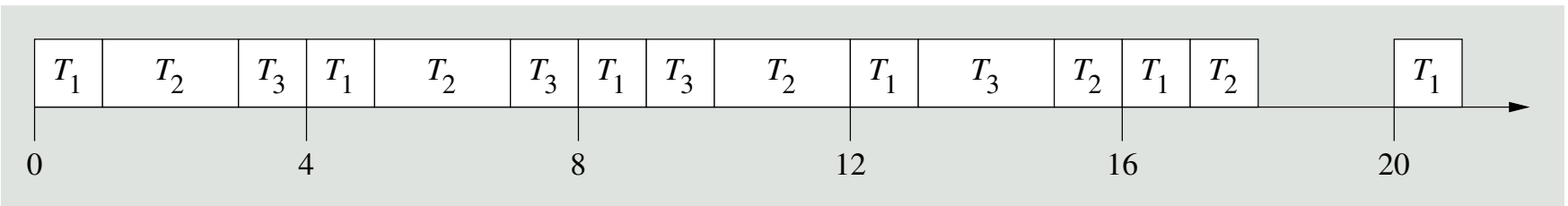
- Bezogen auf die Auslöserate von Arbeitsaufträgen in T_i

→ Je kleiner die Periode, desto höher die Priorität P_i von T_i

- Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$
  - Perioden $p = \{4,5,20\}$, Ausführungszeiten $e = \{1,2,5\}$

⚠ Termin und Phase optional bei $D_i = p_i$ und $\phi_i = 0$

- Ablaufplan:

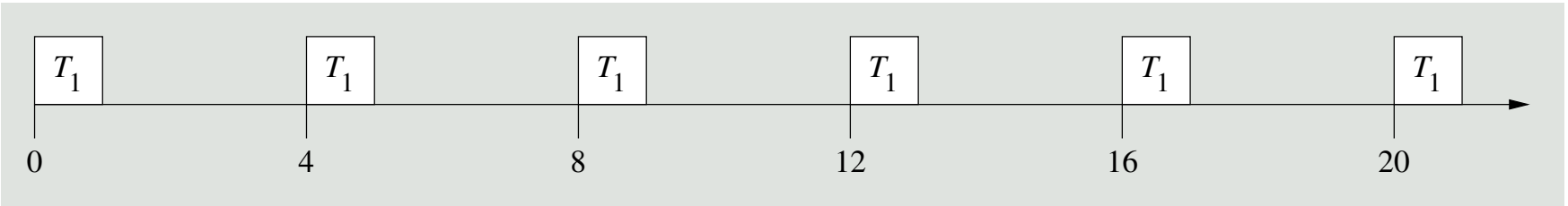


☞ Arbeitsaufträge werden in ihren Aufgabenperioden ausgeführt

→ RM lässt Prozessor bei ausführbereiten Jobs nicht untätig

RM – Ratenmonotone Einplanung (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$

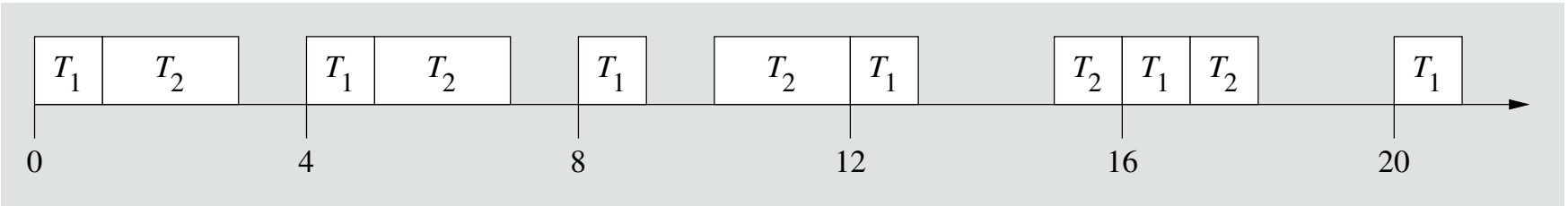


1 T_1 hat die höchste Rate $\mapsto$ höchste Priorität P_1^{hi}

- Alle Arbeitsaufträge $J_{i,j}$ von T_1 werden ausgelöst

RM – Ratenmonotone Einplanung (Forts.)

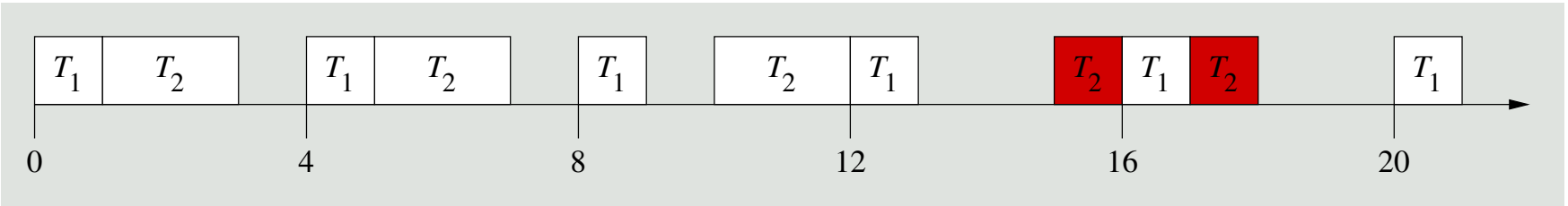
Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$



1. T_1 hat die höchste Rate $\mapsto$ höchste Priorität P_1^{hi}
   - Alle Arbeitsaufträge $J_{i,j}$ von T_1 werden ausgelöst
2. T_2 hat die zweithöchste Priorität P_2^{med} und folgt T_1
   - Arbeitsaufträge von T_2 laufen im Hintergrund von T_1
   - T_2 startet nach dem ersten Durchlauf von T_1

RM – Ratenmonotone Einplanung (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$

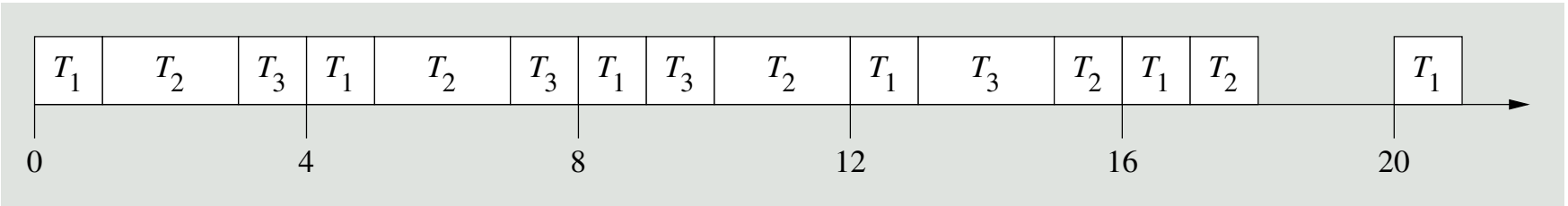


1. T_1 hat die höchste Rate $\mapsto$ höchste Priorität P_1^{hi}
   - Alle Arbeitsaufträge $J_{i,j}$ von T_1 werden ausgelöst
2. T_2 hat die zweithöchste Priorität P_2^{med} und folgt T_1
   - Arbeitsaufträge von T_2 laufen im Hintergrund von T_1
   - T_2 startet nach dem ersten Durchlauf von T_1

$\rightarrow$ T_2 wird zum Zeitpunkt $t = 16$ von T_1 verdrängt

RM – Ratenmonotone Einplanung (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$



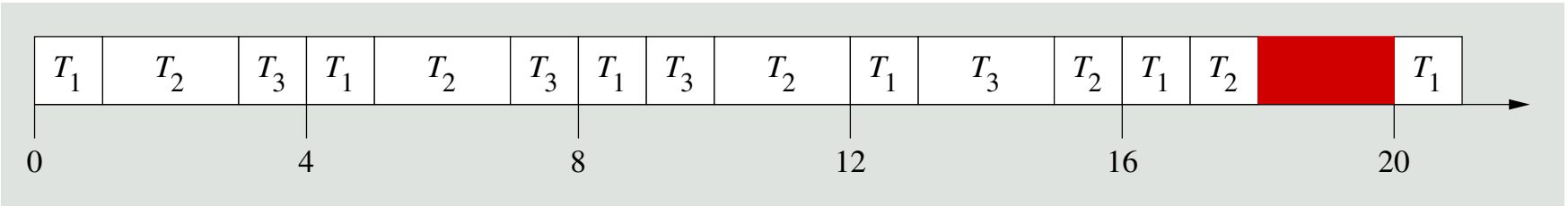
1. T_1 hat die höchste Rate $\mapsto$ höchste Priorität P_1^{hi}
   - Alle Arbeitsaufträge $J_{i,j}$ von T_1 werden ausgelöst
2. T_2 hat die zweithöchste Priorität P_2^{med} und folgt T_1
   - Arbeitsaufträge von T_2 laufen im Hintergrund von T_1
   - T_2 startet nach dem ersten Durchlauf von T_1

   $\rightarrow$ T_2 wird zum Zeitpunkt $t = 16$ von T_1 verdrängt
3. T_3 hat die dritthöchste Priorität P_3^{lo} und folgt T_2
   - Aufträge von T_3 laufen im Hintergrund von T_1 und T_2

   $\rightarrow$ T_3 läuft nur, wenn kein Job von T_1 und T_2 ausführbereit ist

RM – Ratenmonotone Einplanung (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$



1. T_1 hat die höchste Rate $\mapsto$ höchste Priorität P_1^{hi}
   - Alle Arbeitsaufträge $J_{i,j}$ von T_1 werden ausgelöst
2. T_2 hat die zweithöchste Priorität P_2^{med} und folgt T_1
   - Arbeitsaufträge von T_2 laufen im Hintergrund von T_1
   - T_2 startet nach dem ersten Durchlauf von T_1

   $\rightarrow$ T_2 wird zum Zeitpunkt $t = 16$ von T_1 verdrängt
3. T_3 hat die dritthöchste Priorität P_3^{lo} und folgt T_2
   - Aufträge von T_3 laufen im Hintergrund von T_1 und T_2

   $\rightarrow$ T_3 läuft nur, wenn kein Job von T_1 und T_2 ausführbereit ist
4. Untätigkeit im Zeitintervall $[18,19]$
   - Keine ausführbereiten Arbeitsaufträge

DM – Fristenmonotone Einplanung [10, S.118]

Einplanung gemäß Termin

DM $=$ RM wenn gilt: $D_i = p_i$

- Beispiel Folie IV-2/5: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$
  - Entspricht $T_1 = (4,1,4)$, $T_2 = (5,2,5)$, $T_3 = (20,5,20)$
  - Relativer Termin und Periode jeder Aufgabe sind identisch

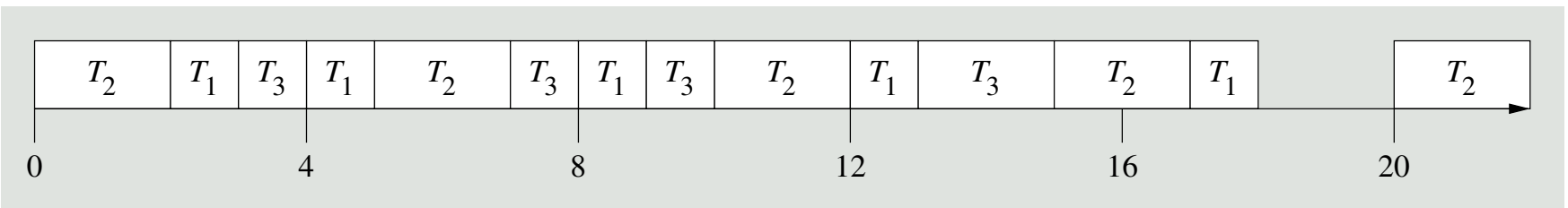
DM – Fristenmonotone Einplanung [10, S.118]

Einplanung gemäß Termin

DM = RM wenn gilt: $D_i = p_i$

- Beispiel Folie IV-2/5: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$
  - Entspricht $T_1 = (4,1,4)$, $T_2 = (5,2,5)$, $T_3 = (20,5,20)$
  - Relativer Termin und Periode jeder Aufgabe sind identisch

- Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2,3)$, $T_3 = (20,5)$
  - Perioden $p_i = \{4,5,20\}$, Ausführungszeiten $e_i = \{1,2,5\}$
  - Relative Termine $D_i = \{4,3,20\}$
- Ablaufplan:



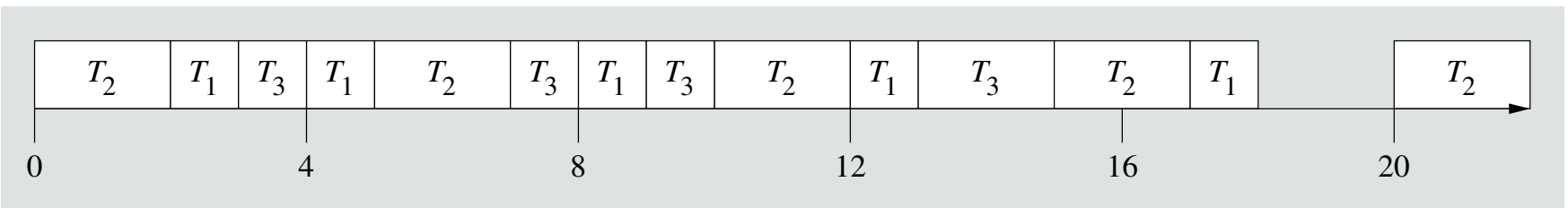
DM – Fristenmonotone Einplanung [10, S.118]

Einplanung gemäß Termin

DM = RM wenn gilt: $D_i = p_i$

- Beispiel Folie IV-2/5: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2)$, $T_3 = (20,5)$
  - Entspricht $T_1 = (4,1,4)$, $T_2 = (5,2,5)$, $T_3 = (20,5,20)$
  - Relativer Termin und Periode jeder Aufgabe sind identisch

- Beispiel: $T_1 = (4,1)$, $T_2 = (5,2,3)$, $T_3 = (20,5)$
  - Perioden $p_i = \{4,5,20\}$, Ausführungszeiten $e_i = \{1,2,5\}$
  - Relative Termine $D_i = \{4,3,20\}$
- Ablaufplan:



⚠ Bei beliebigen relativen Terminen arbeitet DM besser als RM

→ DM liefert zulässige Abläufe in Fällen in denen RM scheitert

Mehrdeutigkeit von Prioritäten

EZ-Betriebssysteme unterstützen typischerweise nur eine begrenzte Anzahl von Prioritätsebenen:

- 8 im IEEE 802.5 *token ring* [7]
- 32 im alten QNX, ab Neutrino 256 [6]
- 140 in Linux 2.5 (mit Ebenen 1–100 reserviert für Echtzeitprozesse)
- 256 in VxWorks [14] und vielen anderen Echtzeitbetriebssystemen

Wertebereich ist implementierungsabhängig: Bitfeld, `char`

Mehrdeutigkeit von Prioritäten

EZ-Betriebssysteme unterstützen typischerweise nur eine begrenzte Anzahl von Prioritätsebenen:

- 8 im IEEE 802.5 *token ring* [7]
- 32 im alten QNX, ab Neutrino 256 [6]
- 140 in Linux 2.5 (mit Ebenen 1–100 reserviert für Echtzeitprozesse)
- 256 in VxWorks [14] und vielen anderen Echtzeitbetriebssystemen

Wertebereich ist implementierungsabhängig: Bitfeld, `char`

Uneindeutige Prioritäten

Mehr Prioritätsebenen erforderlich, als die gegebene Systemplattform unterstützt

- Anzahl unterschiedlicher (eindeutiger) Task-/Jobprioritäten übersteigt die Anzahl unterschiedlicher Prioritäten im System

→ Task-/Jobprioritäten lassen sich nicht eindeutig abbilden

→ Uneindeutige Prioritäten (engl. *nondistinct priorities*)

Prinzip der Prioritätsabbildung

Prioritätsraster (engl. *priority grid*)

κ_n Anzahl der logischen Prioritäten (Tasks/Jobs)

- $1, 2, \ldots, \kappa_n$ mit 1 als höchste und κ_n als niedrigste Priorität

κ_s Anzahl der Systemprioritäten

- $\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{\kappa_s}$ mit π_k $(1 \leq k \leq \kappa_s)$ im Bereich $[1, \kappa_n]$
- Zusätzlich gilt: $\pi_j < \pi_k$ wenn $j < k$

- Menge $\{\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{\kappa_s}\}$ ist Prioritätsraster Π, auf welches die logischen Prioritäten abgebildet werden:
  - Logische Priorität 1 auf π_1
  - Logische Prioritäten im Bereich $]\pi_{k-1}, \pi_k]$ auf π_k für $1 < k \leq \kappa_s$

Prinzip der Prioritätsabbildung

Prioritätsraster (engl. *priority grid*)

κ_n Anzahl der logischen Prioritäten (Tasks/Jobs)

- $1, 2, \ldots, \kappa_n$ mit 1 als höchste und κ_n als niedrigste Priorität

κ_s Anzahl der Systemprioritäten

- $\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{\kappa_s}$ mit π_k $(1 \leq k \leq \kappa_s)$ im Bereich $[1, \kappa_n]$
- Zusätzlich gilt: $\pi_j < \pi_k$ wenn $j < k$

- Menge $\{\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{\kappa_s}\}$ ist Prioritätsraster Π, auf welches die logischen Prioritäten abgebildet werden:
  - Logische Priorität 1 auf π_1
  - Logische Prioritäten im Bereich $]\pi_{k-1}, \pi_k]$ auf π_k für $1 < k \leq \kappa_s$

☞ Jobs werden dann gemäß ihrer Systempriorität π_k abgearbeitet

Prinzip der Prioritätsabbildung

Prioritätsraster (engl. *priority grid*)

κ_n Anzahl der logischen Prioritäten (Tasks/Jobs)

- $1, 2, \ldots, \kappa_n$ mit 1 als höchste und κ_n als niedrigste Priorität

κ_s Anzahl der Systemprioritäten

- $\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{\kappa_s}$ mit π_k $(1 \leq k \leq \kappa_s)$ im Bereich $[1, \kappa_n]$
- Zusätzlich gilt: $\pi_j < \pi_k$ wenn $j < k$

- Menge $\{\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{\kappa_s}\}$ ist Prioritätsraster Π, auf welches die logischen Prioritäten abgebildet werden:
  - Logische Priorität 1 auf π_1
  - Logische Prioritäten im Bereich $]\pi_{k-1}, \pi_k]$ auf π_k für $1 < k \leq \kappa_s$

☞ Jobs werden dann gemäß ihrer Systempriorität π_k abgearbeitet

⚠ Abbildung kann gleichmäßig oder ungleichmäßig definiert sein

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung

(engl. *uniform mapping*)

Prioritätsraster Π uniform auf logische Prioritäten legen:

- Sei Q definiert als Ganzzahl $\lfloor \kappa_n / \kappa_s \rfloor$, dann ist die Systempriorität $\pi_k = k \cdot Q$ für $k = 1, 2, \ldots, \kappa_s - 1$ und $\pi_{\kappa_s} = \kappa_n$

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung

(engl. *uniform mapping*)

Prioritätsraster Π uniform auf logische Prioritäten legen:

- Sei Q definiert als Ganzzahl $\lfloor \kappa_n / \kappa_s \rfloor$, dann ist die Systempriorität $\pi_k = k \cdot Q$ für $k = 1, 2, \ldots, \kappa_s - 1$ und $\pi_{\kappa_s} = \kappa_n$

→ Für einen Block von max. Q logischen Prioritäten:

- Die ersten Q Tasks/Jobs werden abgebildet auf $\pi_1 = Q$
- Die nächsten Q Tasks/Jobs werden abgebildet auf $\pi_2 = 2Q$
- Bis alle logischen Prioritäten gerastert worden sind

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung

(engl. *uniform mapping*)

☞ Prioritätsraster Π uniform auf logische Prioritäten legen:

- Sei Q definiert als Ganzzahl $\lfloor \kappa_n / \kappa_s \rfloor$, dann ist die Systempriorität $\pi_k = k \cdot Q$ für $k = 1, 2, \ldots, \kappa_s - 1$ und $\pi_{\kappa_s} = \kappa_n$

→ Für einen Block von max. Q logischen Prioritäten:

- Die ersten Q Tasks/Jobs werden abgebildet auf $\pi_1 = Q$
- Die nächsten Q Tasks/Jobs werden abgebildet auf $\pi_2 = 2Q$
- Bis alle logischen Prioritäten gerastert worden sind

⚠ Aufgaben verschiedener logischer Prioritäten liegen auf einer Prioritätsebene

- Sie erhalten dieselbe physische Systempriorität
- Aufträge dieser Aufgaben sind einer linearen Abbildung unterworfen
- Wichtung erhalten sie durch ihre Position in der linearen Ordnung

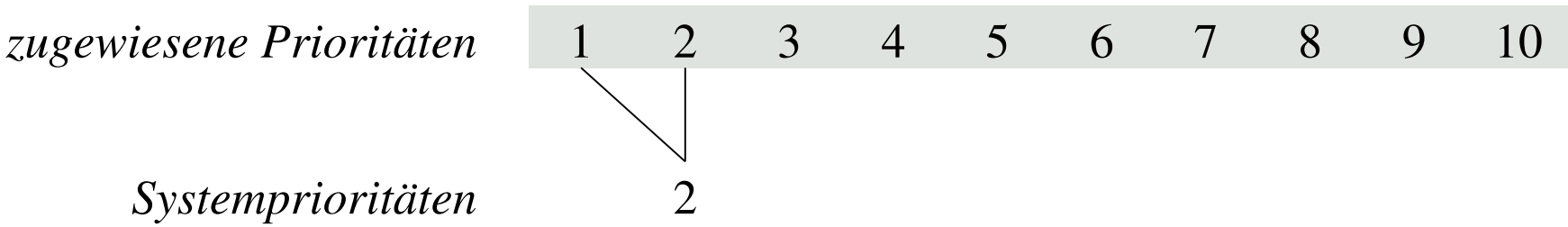
Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:

zugewiesene Prioritäten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

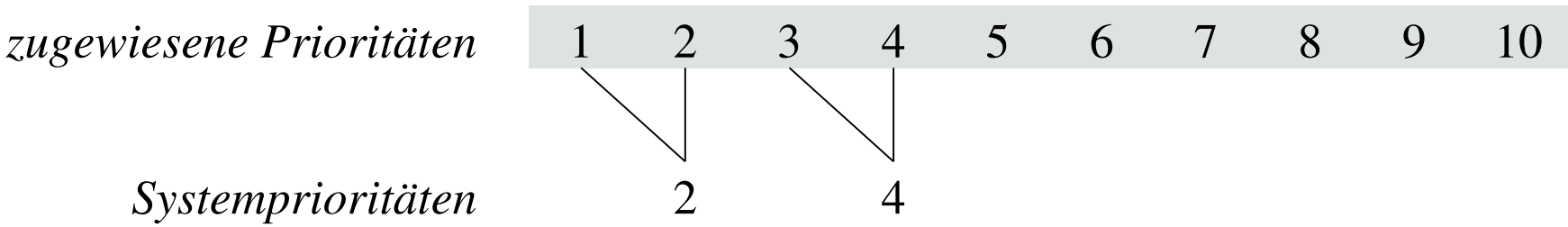
- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:



  - $[1,\ 2] \mapsto \pi_1 = 2$

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

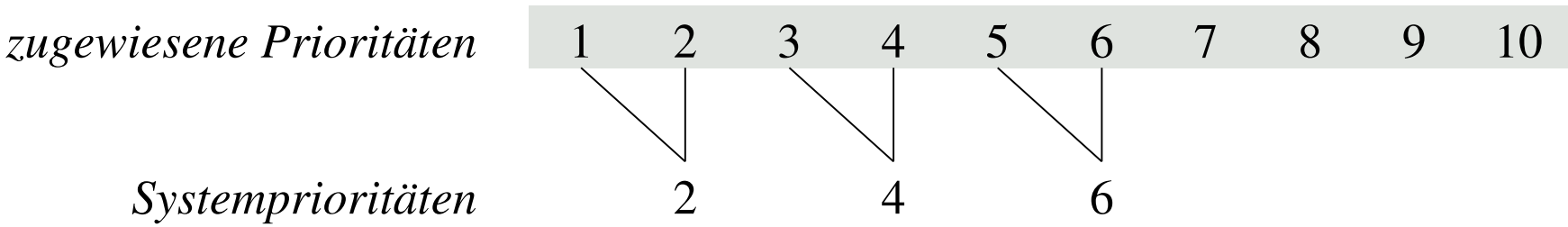
- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:



- $[1,\ 2] \mapsto \pi_1 = 2$
- $[3,\ 4] \mapsto \pi_2 = 4$

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

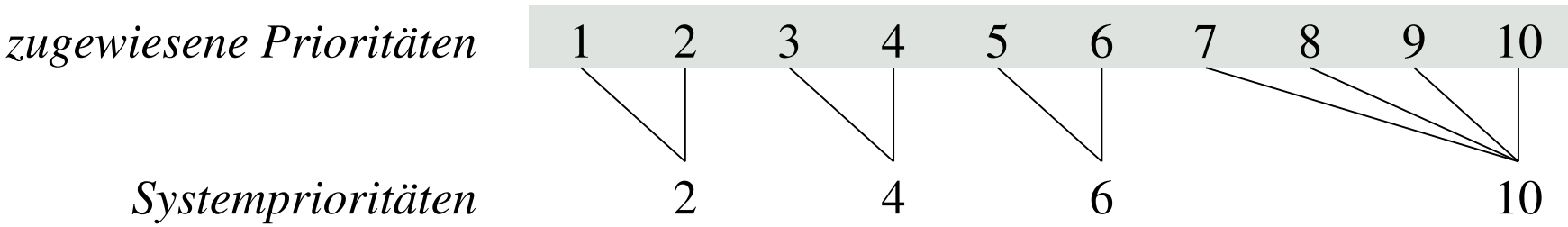
- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:



- $[1,\ 2] \mapsto \pi_1 = 2$
- $[3,\ 4] \mapsto \pi_2 = 4$
- $[5,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

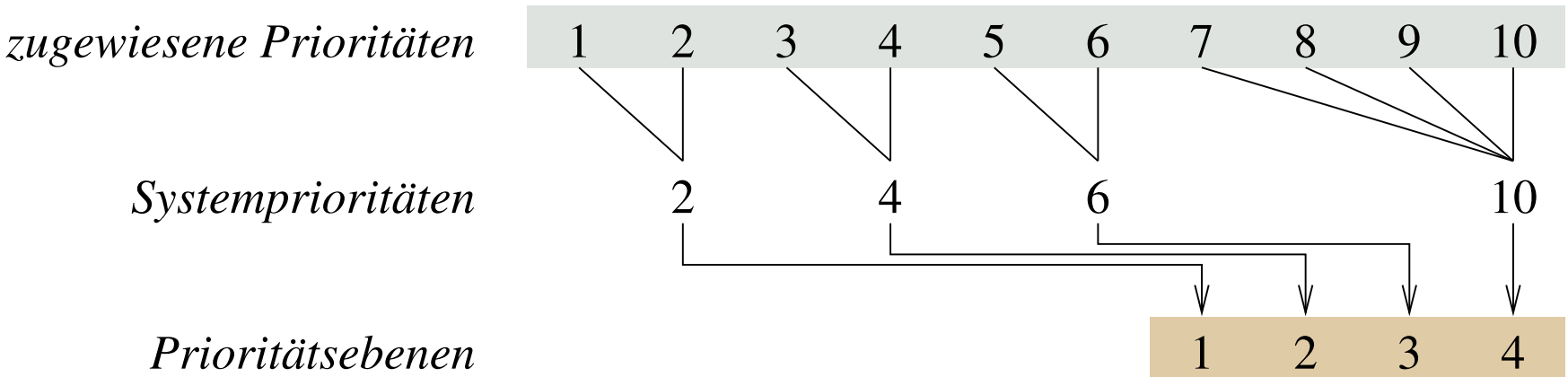
- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:



- $[1,\ 2] \mapsto \pi_1 = 2$
- $[3,\ 4] \mapsto \pi_2 = 4$
- $[5,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$
- $[7, 10] \mapsto \pi_4 = 10$

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

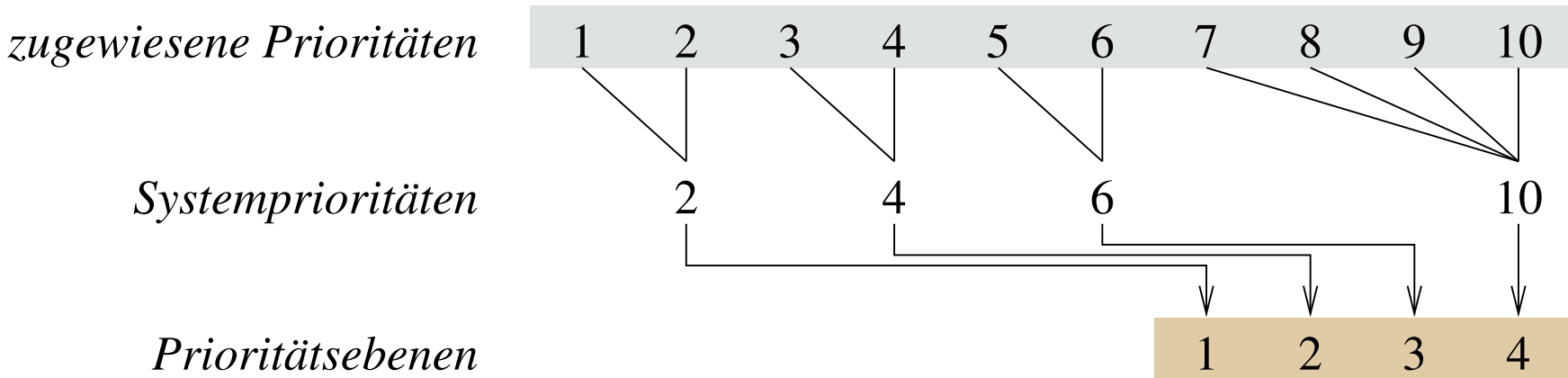
- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:



- $[1,\ 2] \mapsto \pi_1 = 2$
- $[3,\ 4] \mapsto \pi_2 = 4$
- $[5,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$
- $[7, 10] \mapsto \pi_4 = 10$

Abbildung durch gleichmäßige Verteilung (Forts.)

- Beispiel: Aufgaben mit logischen Prioritäten $1, 2, \ldots, 10$ auf ein System mit Prioritätsebenen $1, 2, 3, 4$ abbilden:



- $[1,\ 2] \mapsto \pi_1 = 2$
- $[3,\ 4] \mapsto \pi_2 = 4$
- $[5,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$
- $[7, 10] \mapsto \pi_4 = 10$

Problem Fairness:

Aufgaben hoher logischer Priorität werden ggf. gleich behandelt wie solche mit niedrigerer logischer Priorität.

Abbildung durch ungleichmäßige Verteilung

(engl. *non-uniform mapping*)

☞ Prioritätsraster Π ungleichmäßig auf logischer Prioritäten legen:

- Methode des *constant ratio mapping* [8]
- Ziel: Verhältnis $(\pi_{i-1}+1)/\pi_i$ für $i = 2,3,\ldots,\kappa_s$ bleibt gleich
- Hohen logischen Prioritäten werden mehr Prioritätsebenen reserviert

→ Bessere Feinabstufung höher priorisierter Aufgaben

Abbildung durch ungleichmäßige Verteilung

(engl. *non-uniform mapping*)

☞ Prioritätsraster Π ungleichmäßig auf logischer Prioritäten legen:

- Methode des *constant ratio mapping* [8]
- Ziel: Verhältnis $(\pi_{i-1}+1)/\pi_i$ für $i = 2,3,\ldots,\kappa_s$ bleibt gleich
- Hohen logischen Prioritäten werden mehr Prioritätsebenen reserviert

→ Bessere Feinabstufung höher priorisierter Aufgaben

- Beispiel (vgl. IV-2/11): $\kappa_n = 10$, $\kappa_s = 4$

  - $[1,\ 1] \mapsto \pi_1 = 1$
  - $[2,\ 3] \mapsto \pi_2 = 3$
  - $[4,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$
  - $[7,10] \mapsto \pi_4 = 10$

Abbildung durch ungleichmäßige Verteilung

(engl. *non-uniform mapping*)

☞ Prioritätsraster Π ungleichmäßig auf logischer Prioritäten legen:

- Methode des *constant ratio mapping* [8]
- Ziel: Verhältnis $(\pi_{i-1}+1)/\pi_i$ für $i = 2,3,\ldots,\kappa_s$ bleibt gleich
- Hohen logischen Prioritäten werden mehr Prioritätsebenen reserviert

→ Bessere Feinabstufung höher priorisierter Aufgaben

- Beispiel (vgl. IV-2/11): $\kappa_n = 10$, $\kappa_s = 4$

- $[1,\ 1] \mapsto \pi_1 = 1$
- $[2,\ 3] \mapsto \pi_2 = 3$
- $[4,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$
- $[7,10] \mapsto \pi_4 = 10$

- $(\pi_1+1)/\pi_2 = 2/3$
- $(\pi_2+1)/\pi_3 = 2/3$
- $(\pi_3+1)/\pi_4 \approx 2/3$

Abbildung durch ungleichmäßige Verteilung

(engl. *non-uniform mapping*)

☞ Prioritätsraster Π ungleichmäßig auf logischer Prioritäten legen:

- Methode des *constant ratio mapping* [8]
- Ziel: Verhältnis $(\pi_{i-1}+1)/\pi_i$ für $i = 2,3,\ldots,\kappa_s$ bleibt gleich
- Hohen logischen Prioritäten werden mehr Prioritätsebenen reserviert

→ Bessere Feinabstufung höher priorisierter Aufgaben

- Beispiel (vgl. IV-2/11): $\kappa_n = 10$, $\kappa_s = 4$

- $[1,\ 1] \mapsto \pi_1 = 1$
- $[2,\ 3] \mapsto \pi_2 = 3$
- $[4,\ 6] \mapsto \pi_3 = 6$
- $[7,10] \mapsto \pi_4 = 10$

- $(\pi_1+1)/\pi_2 = 2/3$
- $(\pi_2+1)/\pi_3 = 2/3$
- $(\pi_3+1)/\pi_4 \approx 2/3$

- 1:1 $\mapsto$ Ebene $_1$
- 2:1 $\mapsto$ Ebene $_2$
- 3:1 $\mapsto$ Ebene $_3$
- 4:1 $\mapsto$ Ebene $_4$

EDF – Frühester Termin zuerst

Einplanung gemäß absolutem Termin

Ordnet Arbeitsaufträge nach ihrem absoluten Termin d

- Je näher der absolute Termin, umso höher die Priorität
- Verschiedene Aufträge derselben Aufgabe mit unterschiedlicher Priorität

EDF – Frühester Termin zuerst

Einplanung gemäß absolutem Termin

Ordnet Arbeitsaufträge nach ihrem absoluten Termin d

- Je näher der absolute Termin, umso höher die Priorität
- Verschiedene Aufträge derselben Aufgabe mit unterschiedlicher Priorität

- Beispiel: $T_1 = (4, 2)$, $T_2 = (5, 1, 3)$, $T_3 = (20, 5)$
  - Perioden $p_i = \{4, 5, 20\}$, Ausführungszeiten $e_i = \{2, 1, 5\}$
  - Relative Termine $D_i = \{4, 3, 20\}$

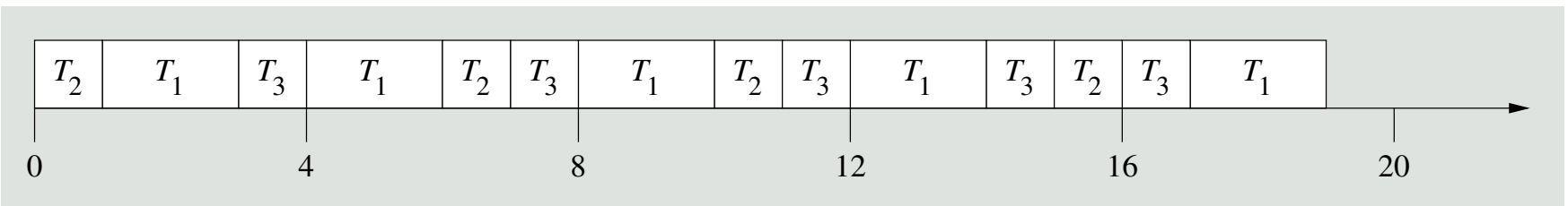
EDF – Frühester Termin zuerst

Einplanung gemäß absolutem Termin

Ordnet Arbeitsaufträge nach ihrem absoluten Termin d

- Je näher der absolute Termin, umso höher die Priorität
- Verschiedene Aufträge derselben Aufgabe mit unterschiedlicher Priorität

- Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$
  - Perioden $p_i = \{4,5,20\}$, Ausführungszeiten $e_i = \{2,1,5\}$
  - Relative Termine $D_i = \{4,3,20\}$
- Ablaufplan:



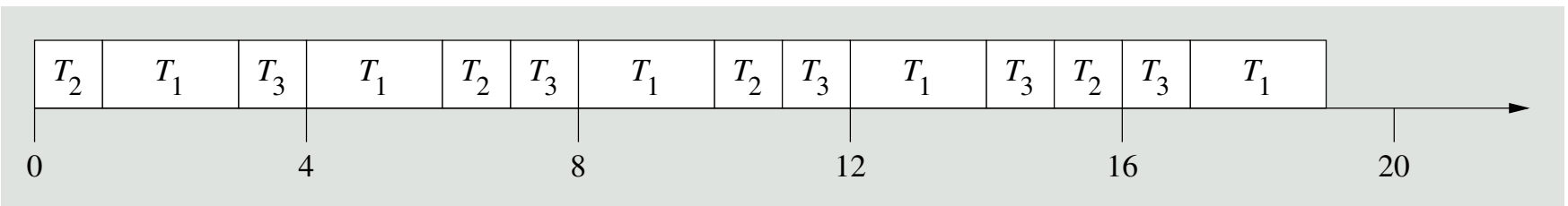
EDF – Frühester Termin zuerst

Einplanung gemäß absolutem Termin

Ordnet Arbeitsaufträge nach ihrem absoluten Termin d

- Je näher der absolute Termin, umso höher die Priorität
- Verschiedene Aufträge derselben Aufgabe mit unterschiedlicher Priorität

- Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$
  - Perioden $p_i = \{4,5,20\}$, Ausführungszeiten $e_i = \{2,1,5\}$
  - Relative Termine $D_i = \{4,3,20\}$
- Ablaufplan:

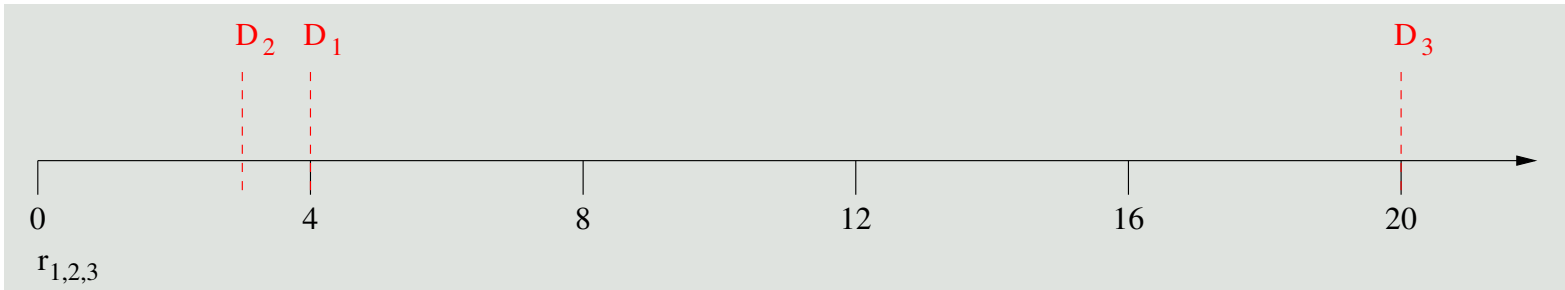


☞ Arbeitsaufträge werden möglichst auslösezeitnah gestartet

- Lässt den Prozessor bei ausführbereiten Jobs nicht untätig

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

t_0 Auslösung, $D_1 = 4$

$T_2 = (5,1,3)$

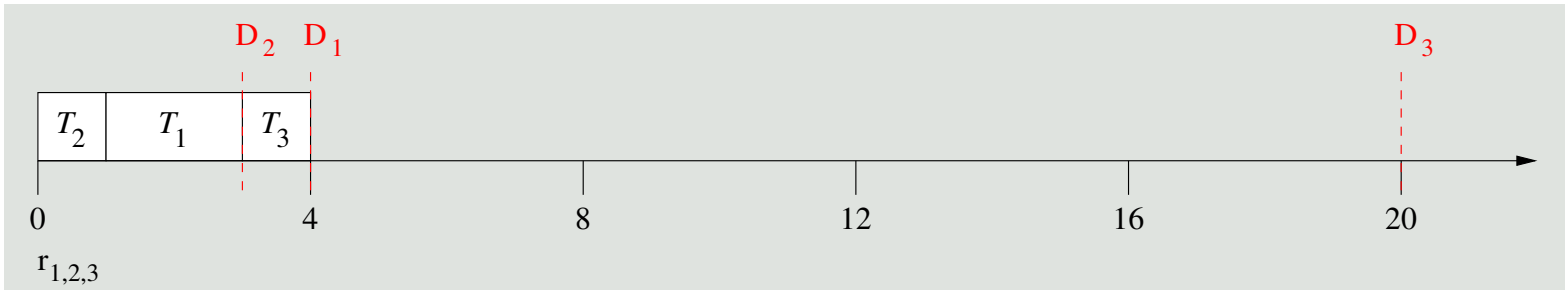
t_0 Auslösung, $D_2 = 3$

$T_3 = (20,5)$

t_0 Auslösung, $D_3 = 20$

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende

$T_2 = (5,1,3)$

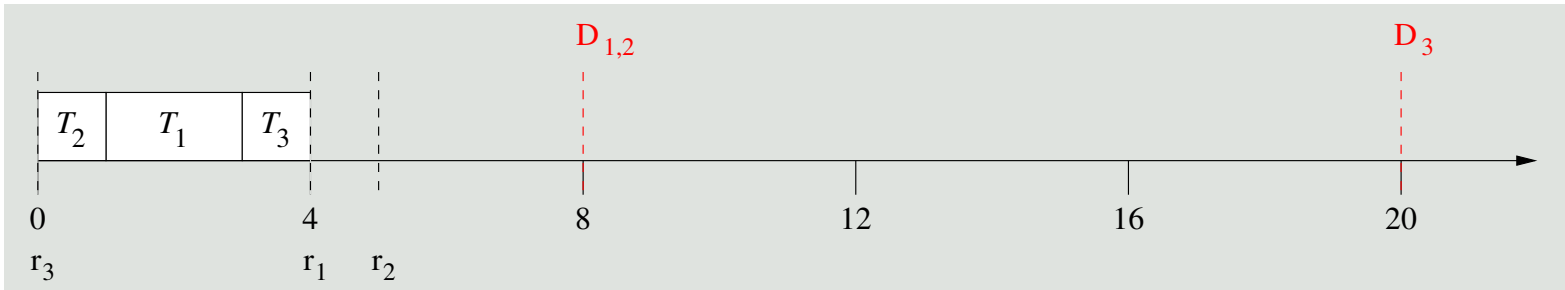
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$

$T_2 = (5,1,3)$

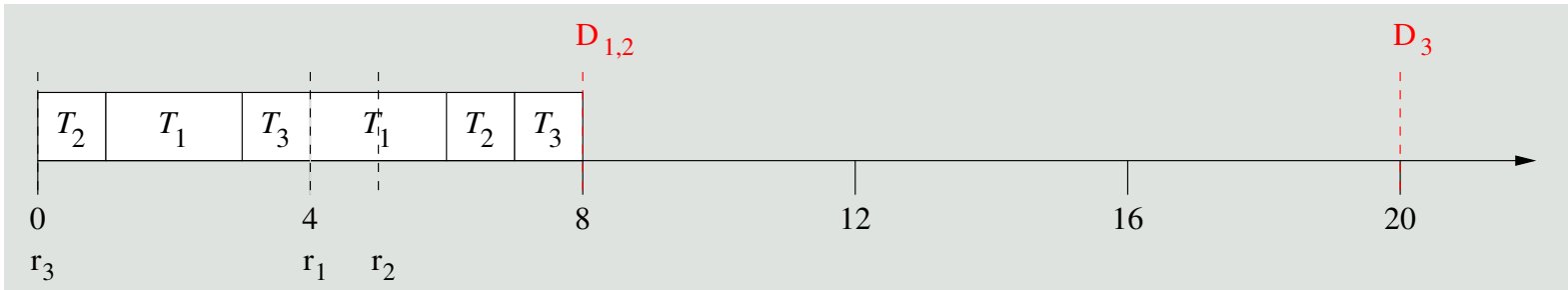
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende

$T_2 = (5,1,3)$

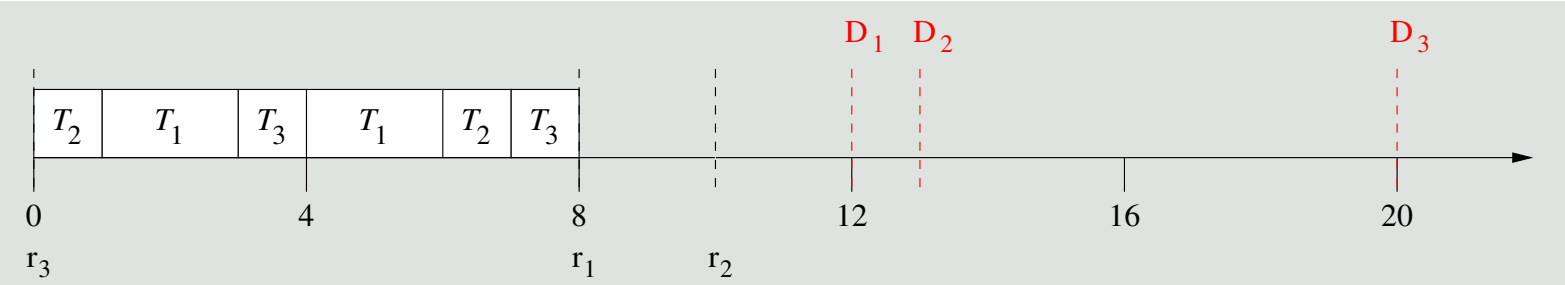
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$

$T_2 = (5,1,3)$

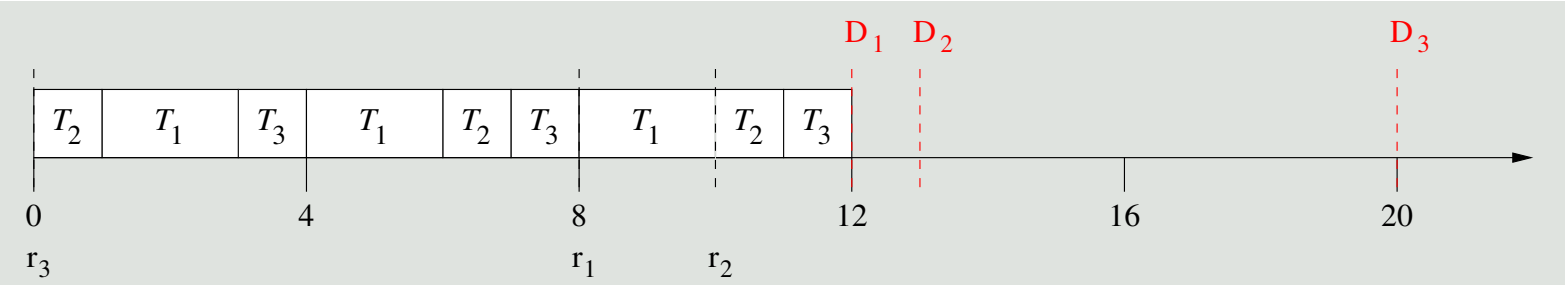
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$, Start
- t_{10} Ende

$T_2 = (5,1,3)$

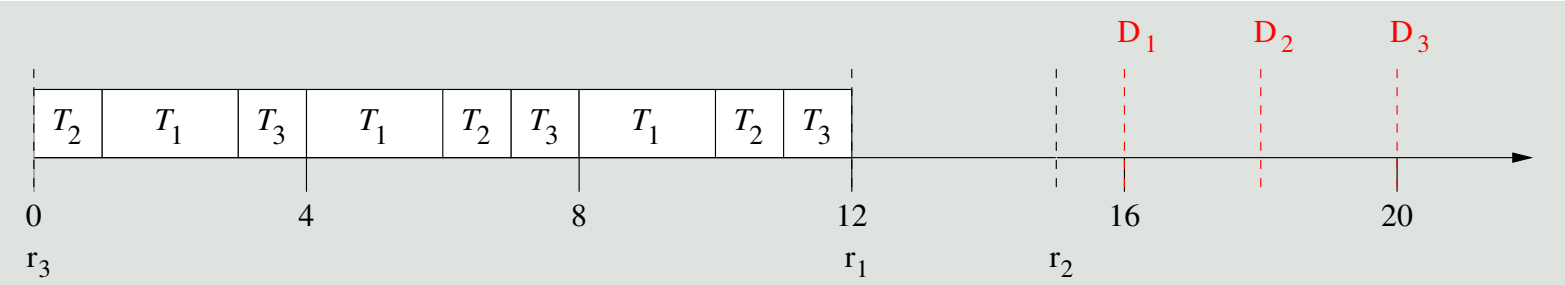
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$, Start
- t_{11} Ende

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung
- t_8 Verdrängung
- t_{11} Fortsetzung

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$, Start
- t_{10} Ende
- t_{12} Auslösung, $D_1 = 16$

$T_2 = (5,1,3)$

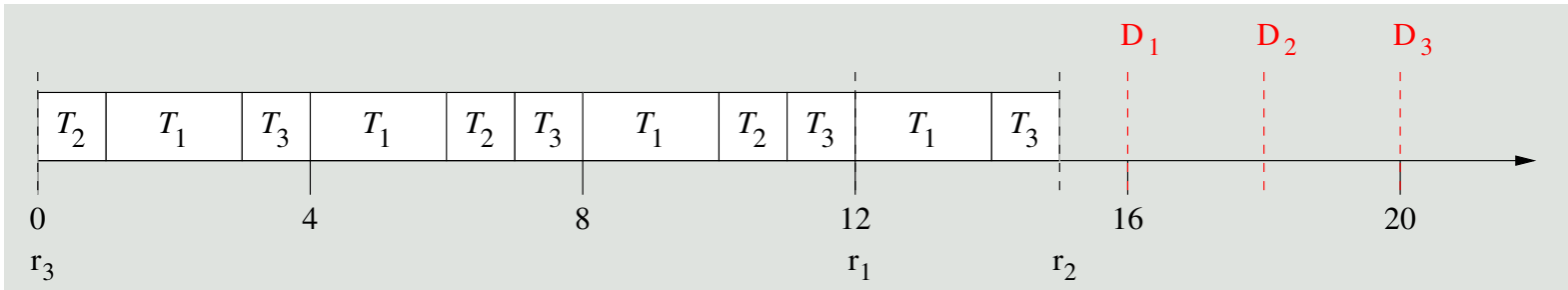
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$, Start
- t_{11} Ende
- t_{15} Auslösung, $D_2 = 18$

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung
- t_8 Verdrängung
- t_{11} Fortsetzung

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$, Start
- t_{10} Ende
- t_{12} Auslösung, $D_1 = 16$, Start
- t_{14} Ende

$T_2 = (5,1,3)$

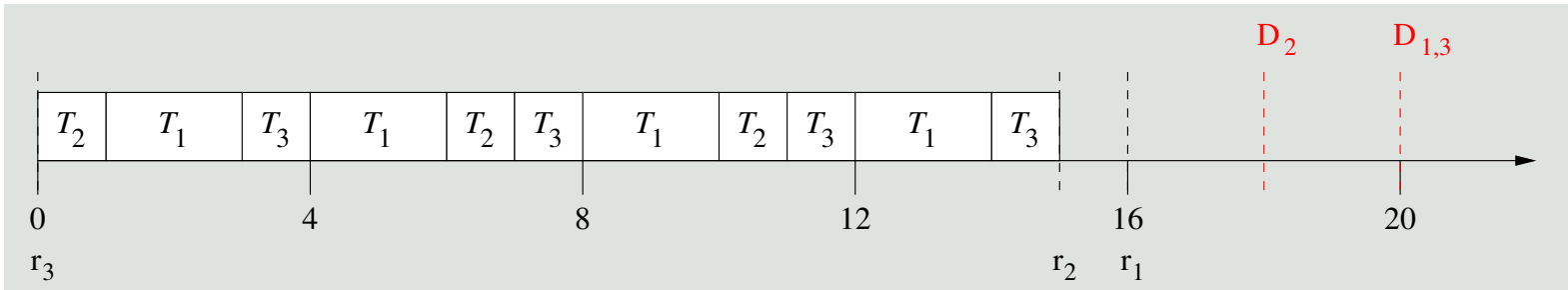
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$, Start
- t_{11} Ende
- t_{15} Auslösung, $D_2 = 18$

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung
- t_8 Verdrängung
- t_{11} Fortsetzung
- t_{12} Verdrängung
- t_{14} Fortsetzung

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$, Start
- t_{10} Ende
- t_{12} Auslösung, $D_1 = 16$, Start
- t_{14} Ende
- t_{16} Auslösung, $D_1 = 20$

$T_2 = (5,1,3)$

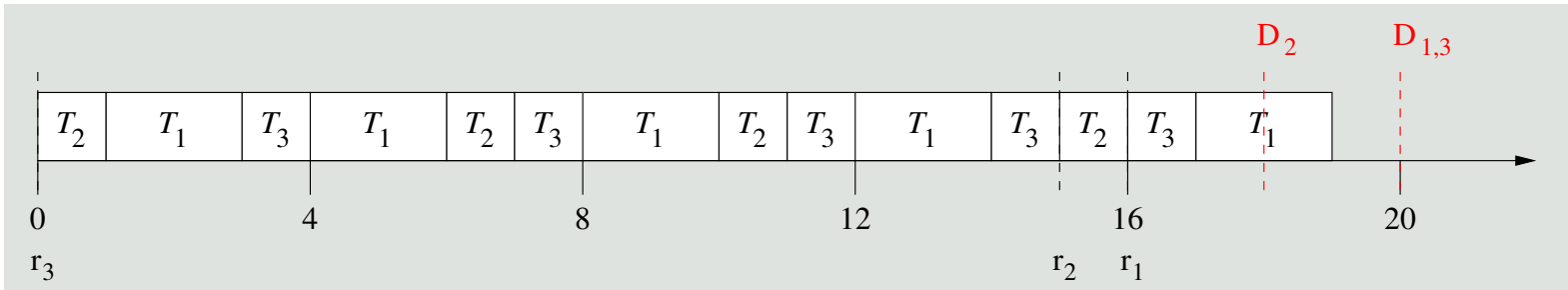
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$, Start
- t_{11} Ende
- t_{15} Auslösung, $D_2 = 18$, Start

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung
- t_8 Verdrängung
- t_{11} Fortsetzung
- t_{12} Verdrängung
- t_{14} Fortsetzung

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$, Start
- t_{10} Ende
- t_{12} Auslösung, $D_1 = 16$, Start
- t_{14} Ende
- t_{16} Auslösung, $D_1 = 20$
- t_{17} Start – t_{19} Ende

$T_2 = (5,1,3)$

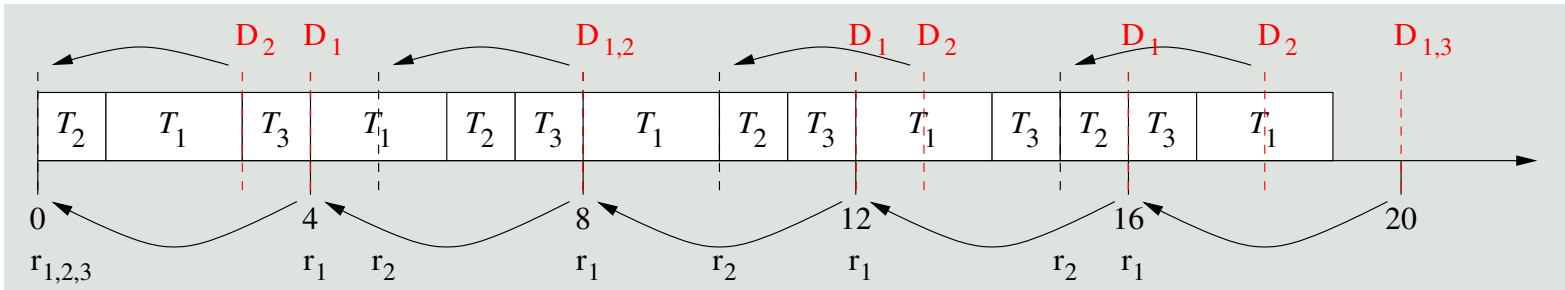
- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$, Start
- t_{11} Ende
- t_{15} Auslösung, $D_2 = 18$, Start
- t_{16} Ende

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung
- t_8 Verdrängung
- t_{11} Fortsetzung
- t_{12} Verdrängung
- t_{14} Fortsetzung
- t_{15} Verdrängung
- t_{16} Fortsetzung
- t_{17} Ende

EDF – Frühester Termin zuerst (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4,2)$, $T_2 = (5,1,3)$, $T_3 = (20,5)$



$T_1 = (4,2)$

- t_0 Auslösung, $D_1 = 4$
- t_1 Start – t_3 Ende
- t_4 Auslösung, $D_1 = 8$, Start
- t_6 Ende
- t_8 Auslösung, $D_1 = 12$, Start
- t_{10} Ende
- t_{12} Auslösung, $D_1 = 16$, Start
- t_{14} Ende
- t_{16} Auslösung, $D_1 = 20$
- t_{17} Start – t_{19} Ende

$T_2 = (5,1,3)$

- t_0 Auslösung, $D_2 = 3$, Start
- t_1 Ende
- t_5 Auslösung, $D_2 = 8$
- t_6 Start – t_7 Ende
- t_{10} Auslösung, $D_2 = 13$, Start
- t_{11} Ende
- t_{15} Auslösung, $D_2 = 18$, Start
- t_{16} Ende

$T_3 = (20,5)$

- t_0 Auslösung, $D_3 = 20$
- t_3 Start – t_4 Verdrängung
- t_7 Fortsetzung
- t_8 Verdrängung
- t_{11} Fortsetzung
- t_{12} Verdrängung
- t_{14} Fortsetzung
- t_{15} Verdrängung
- t_{16} Fortsetzung
- t_{17} Ende

Gliederung

Optimalität des RM-Algorithmus

Rahmenbedingungen

Der RM-Algorithmus ist optimal für Systeme unter den Bedingungen:

- Voraussetzungen A1 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)
- Aufgaben sind in Phase (engl. *synchron*) (d.h. $\phi_i = 0$)

Optimalität des RM-Algorithmus

Rahmenbedingungen

Der RM-Algorithmus ist optimal für Systeme unter den Bedingungen:

- Voraussetzungen A1 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)
- Aufgaben sind in Phase (engl. *synchron*) (d.h. $\phi_i = 0$)

☞ **Beweisidee** (Baruah [1])

- Gegeben sei ein System mit den Aufgaben $\{T_1, T_2, T_3, \ldots\ T_n\}$
- Prioritäten $T_1 \succ T_2 \succ \ldots \succ T_n$ (nicht RM-konform)
- Erzeuge einen zulässigen Ablaufplan
- Prioritäten können hinsichtlich RM umgeformt werden[1] ohne die Zulässigkeit des Ablaufplans zu zerstören

[1] Die Prioritäten zweier Aufgaben T_1 und T_2, die das RM-Schema verletzen (für die also $T_1 \succ T_2$ gilt, obwohl $p_1 > p_2$), lassen sich tauschen ohne dabei die Zulässigkeit des Systems zu zerstören.

Nichtoptimalität des RM-Algorithmus

Rahmenbedingungen

Der RM-Algorithmus ist nicht optimal unter den Bedingungen:

- Voraussetzungen A1 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)
- Aufgaben sind phasenversetzt (engl. *asynchron*) (d.h. $\exists \phi_i > 0$)

Nichtoptimalität des RM-Algorithmus

Rahmenbedingungen

Der RM-Algorithmus ist nicht optimal unter den Bedingungen:

- Voraussetzungen A1 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)
- Aufgaben sind phasenversetzt (engl. *asynchron*) (d.h. $\exists \phi_i > 0$)

- Beweis (Baruah [1])
  - Betrachte $T_1 = (10, 7, 10, 0), T_2 = (15, 3, 15, 4), T_3 = (16, 1, 16, 0)$
  - RM: $T_1 \succ T_2 \succ T_3$

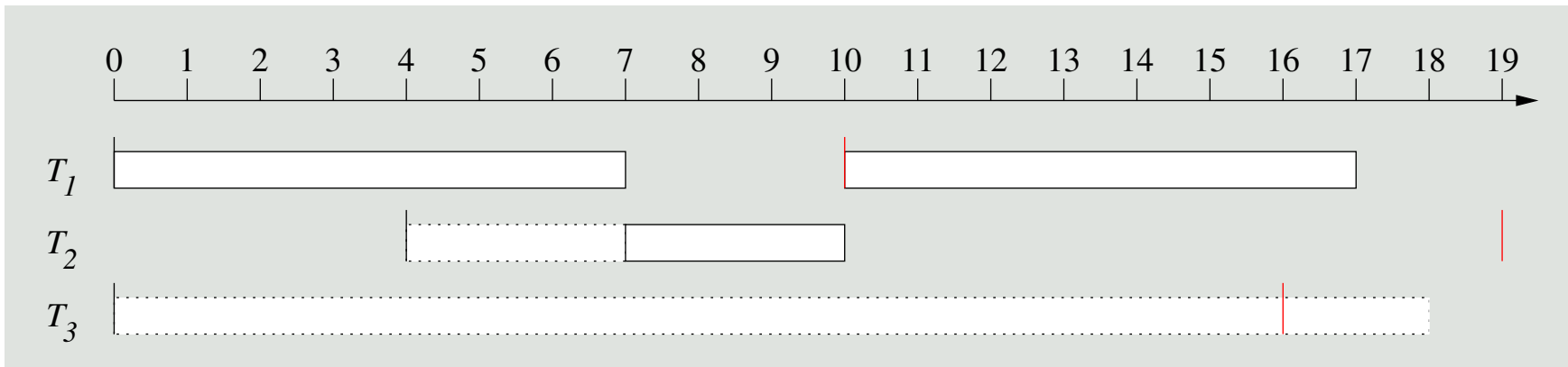
Nichtoptimalität des RM-Algorithmus

Rahmenbedingungen

Der RM-Algorithmus ist nicht optimal unter den Bedingungen:

- Voraussetzungen A1 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)
- Aufgaben sind phasenversetzt (engl. *asynchron*) (d.h. $\exists \phi_i > 0$)

- **Beweis** (Baruah [1])
  - Betrachte $T_1 = (10, 7, 10, 0), T_2 = (15, 3, 15, 4), T_3 = (16, 1, 16, 0)$
  - RM: $T_1 \succ T_2 \succ T_3$



- T_3 verpasst bei t_{16} seinen Termin
- $T_1 \succ T_3 \succ T_2$ würde funktionieren

Nichtoptimalität statischer Prioritäten

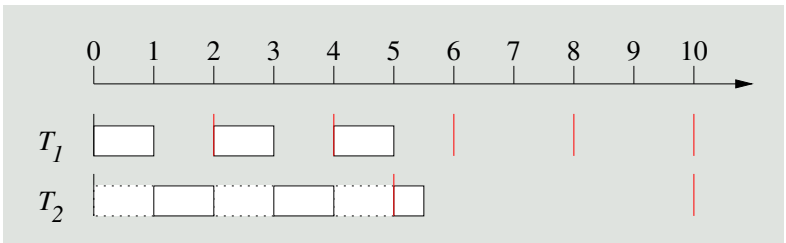
☞ Beispiel: Betrachte $T_1 = (2, 1)$ und $T_2 = (5, 2.5)$

→ Sei $T_1 \succ T_2$ (RM-konform)

Nichtoptimalität statischer Prioritäten

☞ **Beispiel**: Betrachte $T_1 = (2, 1)$ und $T_2 = (5, 2.5)$

→ Sei $T_1 \succ T_2$ (RM-konform)

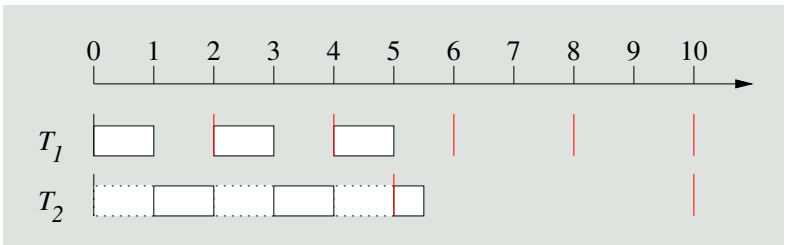


t_5 T_2 verpasst Termin

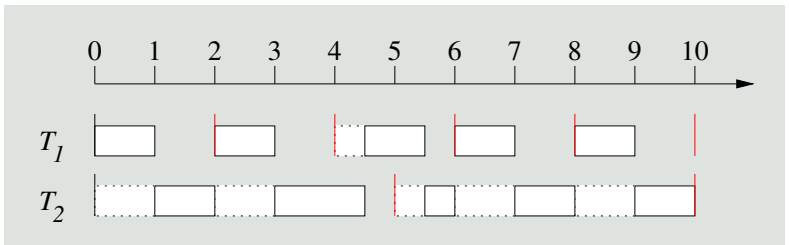
Nichtoptimalität statischer Prioritäten

Beispiel: Betrachte $T_1 = (2, 1)$ und $T_2 = (5, 2.5)$

→ Sei $T_1 \succ T_2$ (RM-konform)



t_5 T_2 verpasst Termin



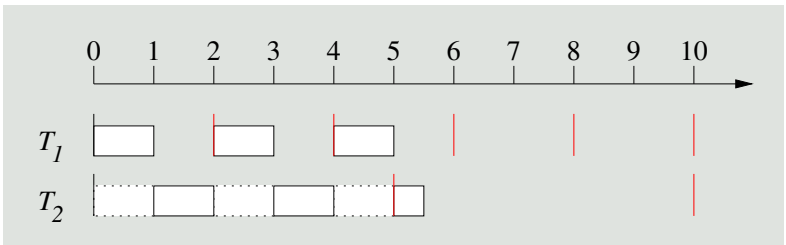
t_4 $T_2 \succ T_1$

t_{10} Hyperperiode

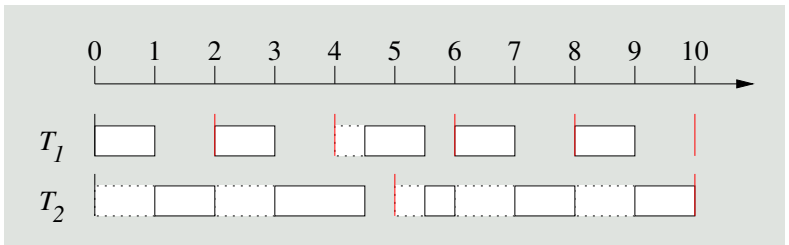
Nichtoptimalität statischer Prioritäten

☞ **Beispiel**: Betrachte $T_1 = (2, 1)$ und $T_2 = (5, 2.5)$

→ Sei $T_1 \succ T_2$ (RM-konform)



t_5 T_2 verpasst Termin



t_4 $T_2 \succ T_1$

t_{10} Hyperperiode

- Vor dem Zeitpunkt t_4 müsste gelten $T_1 \succ T_2$
- Zum Zeitpunkt t_4 müsste gelten $T_2 \succ T_1$

⚠ Widerspruch zur statischen Vergabe von Prioritäten

Optimalität des EDF-Algorithmus

Rahmenbedingungen

Der EDF-Algorithmus ist optimal unten den Bedingungen:

- Aufgaben haben beliebige Auslösezeiten
  - Sporadisch/periodisch
  - Synchron/asynchron
- Aufgaben besitzen beliebige Termine
  - Länger oder kürzer als die entsprechende Periode
- Voraussetzungen A2 und A4 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)

Optimalität des EDF-Algorithmus

Rahmenbedingungen

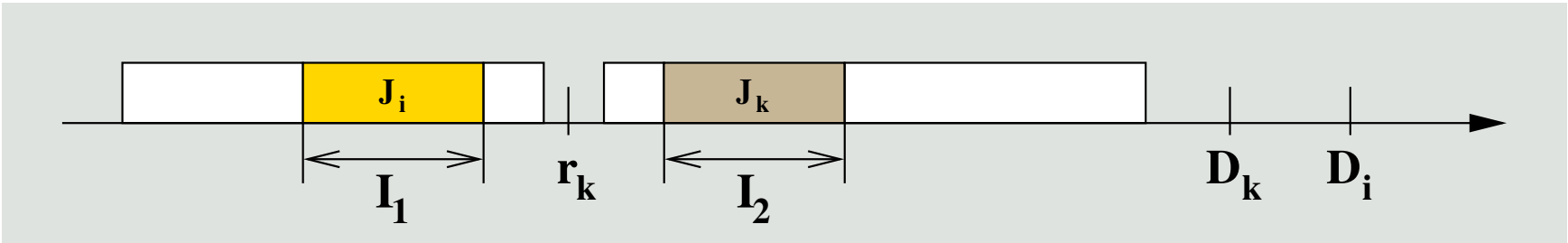
Der EDF-Algorithmus ist optimal unten den Bedingungen:

- Aufgaben haben beliebige Auslösezeiten
  - Sporadisch/periodisch
  - Synchron/asynchron
- Aufgaben besitzen beliebige Termine
  - Länger oder kürzer als die entsprechende Periode
- Voraussetzungen A2 und A4 - A7 sind erfüllt (siehe Folie IV-1/9)

- Beweis (Liu [10, S.67]):

→ Jeder zulässige Ablaufplan für solche Systeme lässt sich in einen EDF-Ablaufplan umformen

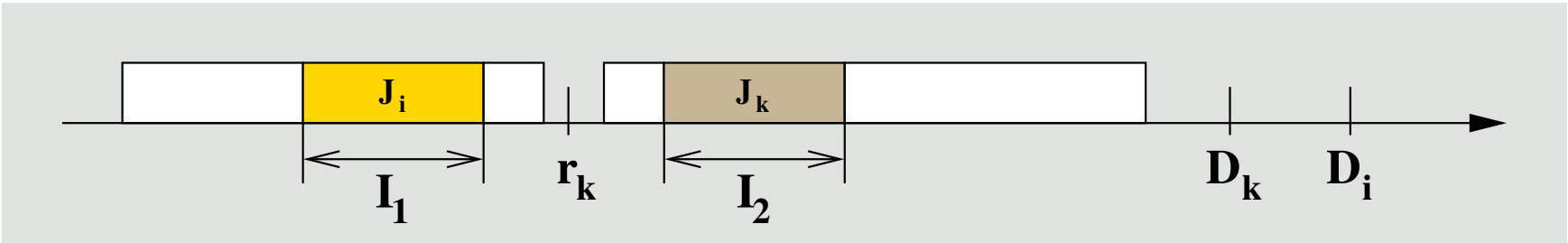
EDF: Ablaufplanherleitung durch Umformung



☞ Beispiel einer Umformung eines Ablaufplans

- Betrachte alle Paare von Arbeitsaufträgen J_i und J_k
- Arbeitsauftrag J_i wird im Intervall I_1, J_k im Intervall I_2 eingeplant
- Der Termin von J_k sei vor dem Termin von J_i: $D_k < D_i$
- Das Intervall I_1 liegt komplett vor I_2: $I_1 < I_2$

EDF: Ablaufplanherleitung durch Umformung



☞ Beispiel einer Umformung eines Ablaufplans

- Betrachte alle Paare von Arbeitsaufträgen J_i und J_k
- Arbeitsauftrag J_i wird im Intervall I_1, J_k im Intervall I_2 eingeplant
- Der Termin von J_k sei vor dem Termin von J_i: $D_k < D_i$
- Das Intervall I_1 liegt komplett vor I_2: $I_1 < I_2$

Fall 1: $r_k > I_1$

- J_k kann nicht in I_1 eingeplant werden

☞ Der Ablaufplan hat bereits EDF-Form

EDF: Ablaufplanherleitung durch Umformung (Forts.)

Fall 2: $r_k < l_1$ *ohne Beschränkung der Allgemeinheit*

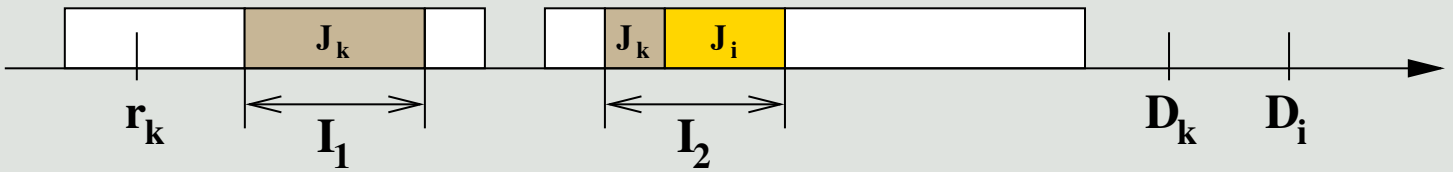
1. tausche J_i und J_k

EDF: Ablaufplanherleitung durch Umformung (Forts.)

Fall 2: $r_k < l_1$ *ohne Beschränkung der Allgemeinheit*

1. tausche J_i und J_k

   Fall 2a: $d(l_1) < d(l_2)$ J_k passend stückeln (Verdrängung!)

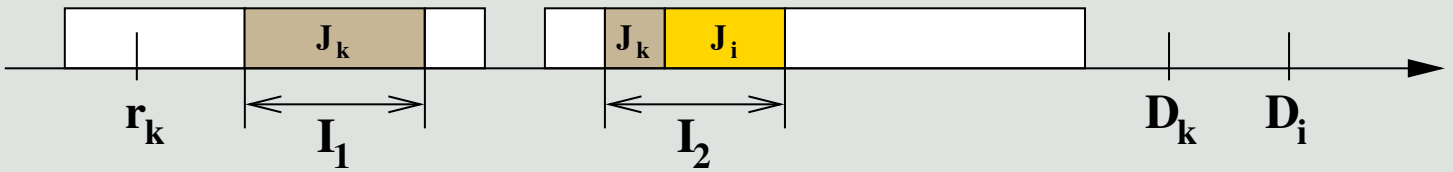


EDF: Ablaufplanherleitung durch Umformung (Forts.)

Fall 2: $r_k < l_1$ *ohne Beschränkung der Allgemeinheit*

1. tausche J_i und J_k

   Fall 2a: $d(l_1) < d(l_2)$ J_k passend stückeln (Verdrängung!)



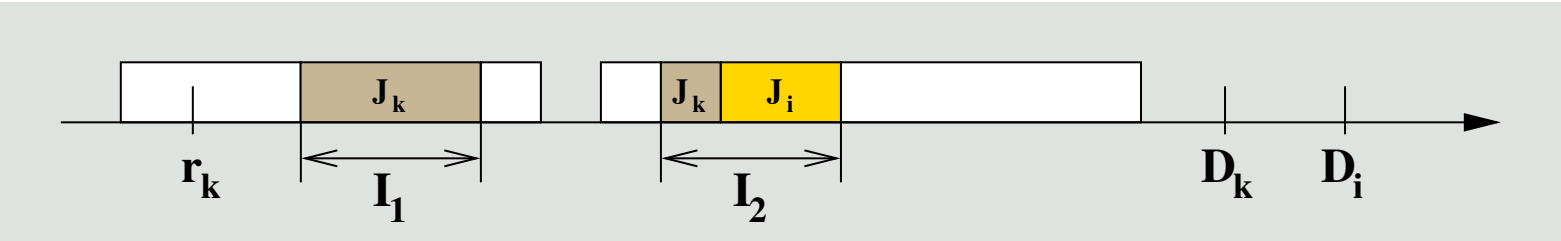
   Fall 2b: $d(l_1) \geq d(l_2)$ trivial

EDF: Ablaufplanherleitung durch Umformung (Forts.)

Fall 2: $r_k < l_1$ *ohne Beschränkung der Allgemeinheit*

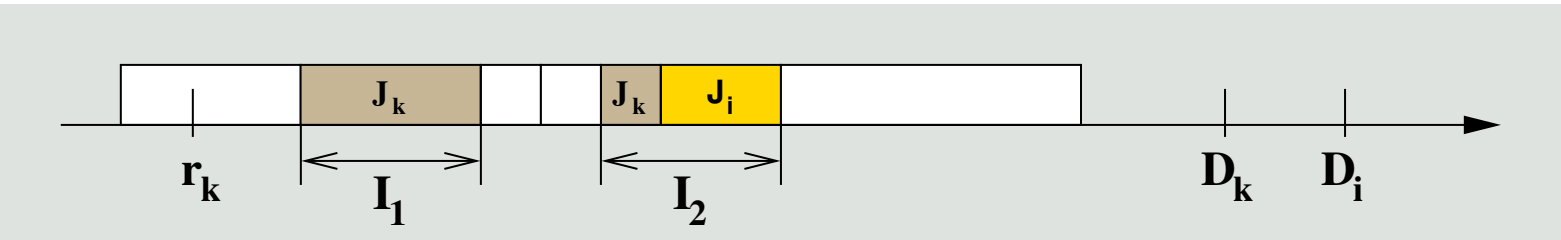
1. tausche J_i und J_k

   Fall 2a: $d(I_1) < d(I_2)$ J_k passend stückeln (Verdrängung!)



   Fall 2b: $d(I_1) \geq d(I_2)$ trivial

2. verbliebene Ruheintervalle durch Verschiebung von Arbeitsaufträgen auffüllen



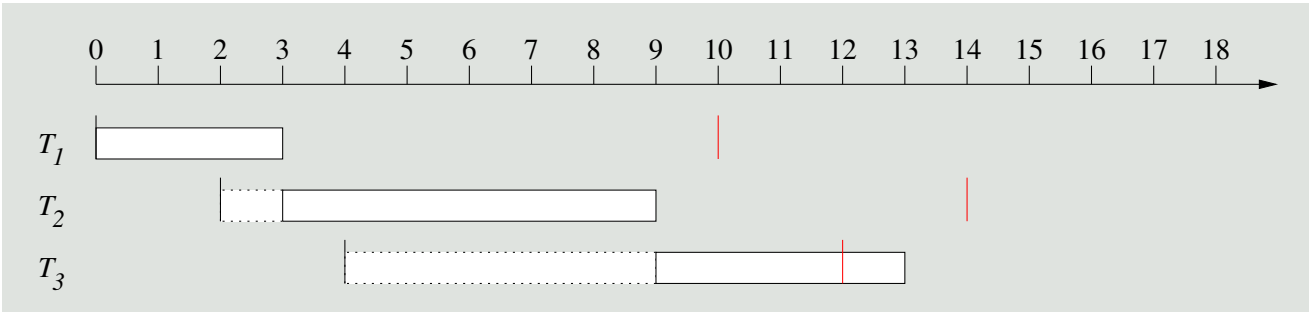
Nichtoptimalität ereignisgesteuerter Ablaufplanung

Beliebige (in diesem Fall nicht-verdrängbare) Aufgaben

- Beispiel: $T_1 = (10, 3, 10, 0)$, $T_2 = (14, 6, 12, 2)$, $T_3 = (12, 4, 8, 4)$

Nichtoptimalität ereignisgesteuerter Ablaufplanung

- Beispiel: $T_1 = (10, 3, 10, 0)$, $T_2 = (14, 6, 12, 2)$, $T_3 = (12, 4, 8, 4)$

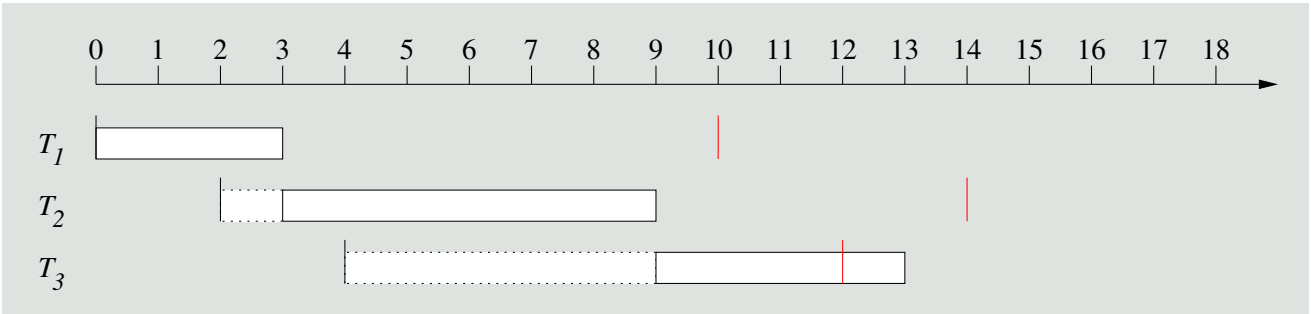


⚠ EDF versagt bei diesem System

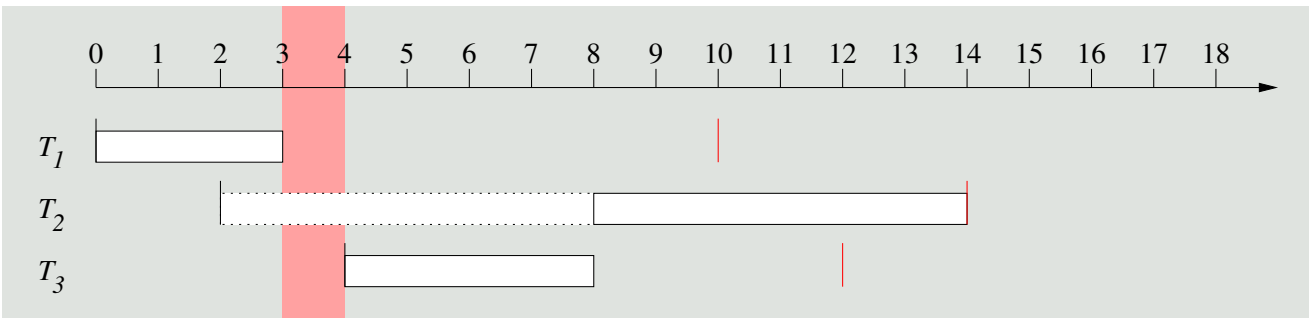
Nichtoptimalität ereignisgesteuerter Ablaufplanung

Beliebige (in diesem Fall nicht-verdrängbare) Aufgaben

- Beispiel: $T_1 = (10, 3, 10, 0)$, $T_2 = (14, 6, 12, 2)$, $T_3 = (12, 4, 8, 4)$



⚠ EDF versagt bei diesem System

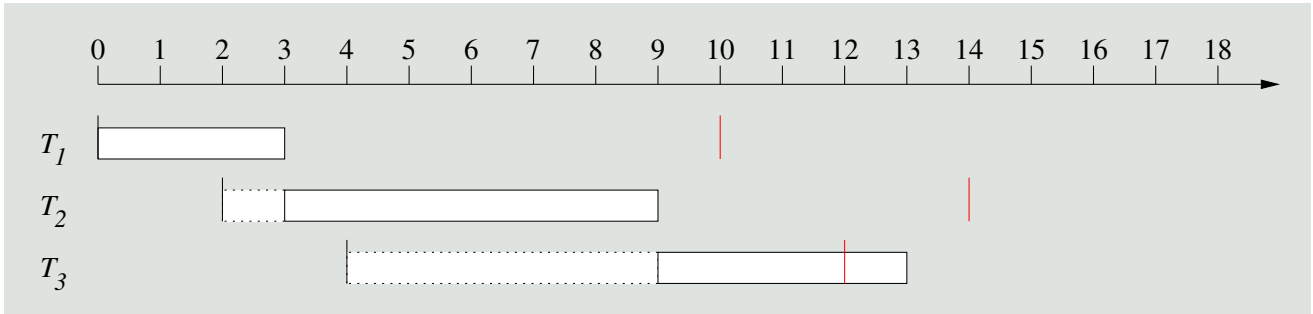


☞ Obwohl ein zulässiger Ablaufplan existiert

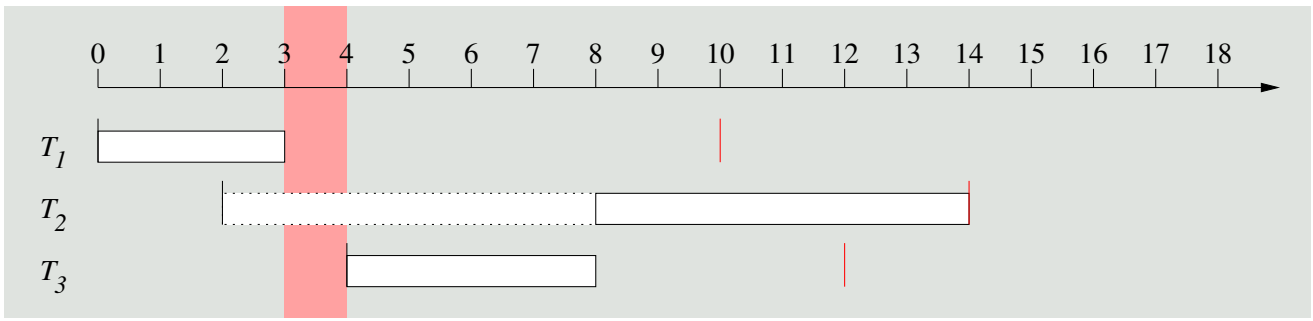
Nichtoptimalität ereignisgesteuerter Ablaufplanung

Beliebige (in diesem Fall nicht-verdrängbare) Aufgaben

- Beispiel: $T_1 = (10, 3, 10, 0)$, $T_2 = (14, 6, 12, 2)$, $T_3 = (12, 4, 8, 4)$



⚠ EDF versagt bei diesem System



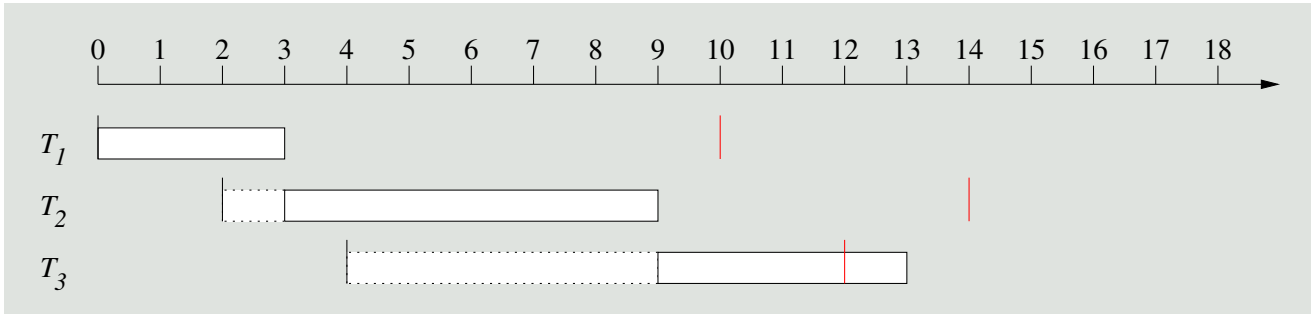
☞ Obwohl ein zulässiger Ablaufplan existiert

→ Dieser lässt allerdings den Prozessor kurz untätig

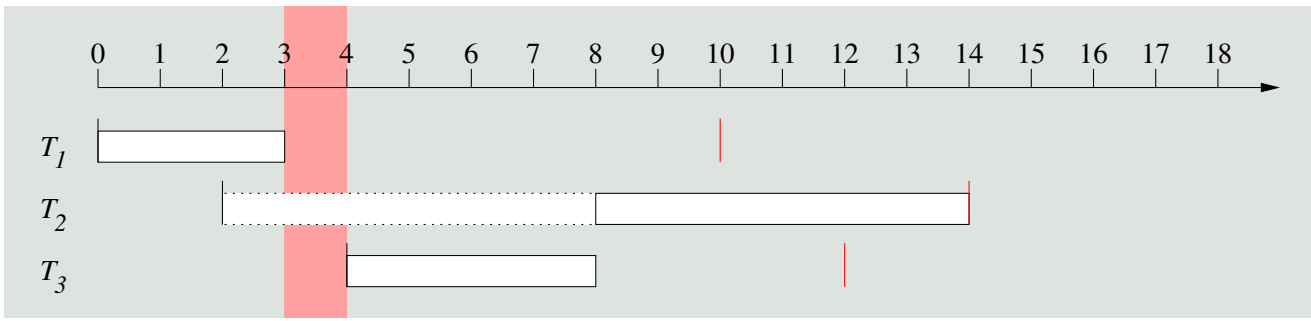
Nichtoptimalität ereignisgesteuerter Ablaufplanung

Beliebige (in diesem Fall nicht-verdrängbare) Aufgaben

- Beispiel: $T_1 = (10, 3, 10, 0)$, $T_2 = (14, 6, 12, 2)$, $T_3 = (12, 4, 8, 4)$



⚠ EDF versagt bei diesem System



☞ Obwohl ein zulässiger Ablaufplan existiert

→ Dieser lässt allerdings den Prozessor kurz untätig

⚠ Vorranggesteuerte Algorithmen versagen hier generell!

Gliederung

Aufgabenstellung

- Gegeben sei eine Menge periodischer Aufgaben $T_i = (p_i, e_i, D_i, \phi_i)$ mit

  p_i der Periode
  e_i der maximalen Ausführungszeit
  D_i dem relativen Termin
  ϕ_i der Phase

  der jeweiligen Aufgabe.

Aufgabenstellung

- Gegeben sei eine Menge periodischer Aufgaben $T_i = (p_i, e_i, D_i, \phi_i)$ mit

  p_i der Periode
  e_i der maximalen Ausführungszeit
  D_i dem relativen Termin
  ϕ_i der Phase

  der jeweiligen Aufgabe.

Fragestellung:

Ist diese Menge von Aufgaben zulässig?

Planbarkeitsanalyse

Verschiedene Analysemethoden stehen zur Auswahl

- CPU-Auslastung (engl. *loading factor*)
  - Zu welchem Prozentsatz wird der Prozessor maximal beansprucht?

→ Bevorzugte Methode für dynamische Prioritäten

Planbarkeitsanalyse

Verschiedene Analysemethoden stehen zur Auswahl

- CPU-Auslastung (engl. *loading factor*)
  - Zu welchem Prozentsatz wird der Prozessor maximal beansprucht?

  → Bevorzugte Methode für dynamische Prioritäten

- Antwortzeitanalyse (engl. *response time analysis*)
  - Wie lange benötigt eine Aufgabe maximal bis zur Fertigstellung?

  → Präzise Methode für statische Prioritäten

Planbarkeitsanalyse

Verschiedene Analysemethoden stehen zur Auswahl

- CPU-Auslastung (engl. *loading factor*)
  - Zu welchem Prozentsatz wird der Prozessor maximal beansprucht?

  → Bevorzugte Methode für dynamische Prioritäten
- Zeitbedarfsanalyse (engl. *processor demand*) ⇝ Eigenstudium
  - Wieviel Rechenzeit wird innerhalb eines Zeitintervalls benötigt?

  → Neuere Methode für dynamische Prioritäten
- Antwortzeitanalyse (engl. *response time analysis*)
  - Wie lange benötigt eine Aufgabe maximal bis zur Fertigstellung?

  → Präzise Methode für statische Prioritäten

Planbarkeitsanalyse

Verschiedene Analysemethoden stehen zur Auswahl

- CPU-Auslastung (engl. *loading factor*)
  - Zu welchem Prozentsatz wird der Prozessor maximal beansprucht?

  → Bevorzugte Methode für dynamische Prioritäten
- Zeitbedarfsanalyse (engl. *processor demand*) ⇝ Eigenstudium
  - Wieviel Rechenzeit wird innerhalb eines Zeitintervalls benötigt?

  → Neuere Methode für dynamische Prioritäten
- Antwortzeitanalyse (engl. *response time analysis*)
  - Wie lange benötigt eine Aufgabe maximal bis zur Fertigstellung?

  → Präzise Methode für statische Prioritäten
- Simulation (engl. *simulation*) ⇝ Eigenstudium
  - Wird in einem bestimmten Intervall eine Deadline verfehlt?

  → Bevorzugte Methode für statische Prioritäten

CPU-Auslastung (engl. loading factor)

Bestimmung der CPU-Auslastung

Die CPU-Auslastung $u_{[t_1,t_2[}$ einer Menge von Arbeitsaufträgen während eines Intervalls $[t_1, t_2[$, ist der Anteil des Rechenzeitbedarfs $h_{[t_1,t_2[}$, der nötig ist, um diese Arbeitsaufträge auszuführen:

$$u_{[t_1,t_2[} = \frac{h_{[t_1,t_2[}}{t_2 - t_1}$$

CPU-Auslastung (engl. loading factor)

Bestimmung der CPU-Auslastung

Die CPU-Auslastung $u_{[t_1,t_2[}$ einer Menge von Arbeitsaufträgen während eines Intervalls $[t_1, t_2[$, ist der Anteil des Rechenzeitbedarfs $h_{[t_1,t_2[}$, der nötig ist, um diese Arbeitsaufträge auszuführen:

$$u_{[t_1,t_2[} = \frac{h_{[t_1,t_2[}}{t_2 - t_1}$$

☞ Für die Zulässigkeit einer Menge von Aufgaben T ist die absolute CPU-Auslastung (engl. *absolute loading factor*) entscheidend

→ Maximale CPU-Auslastung über alle Intervalle $[t_1, t_2[$

Maximale CPU-Auslastung

$$u = \max_{0 \le t_1 < t_2} u_{[t_1,t_2[}$$

Rechenzeitbedarf (engl. processor demand)

☞ Rechenzeitbedarf einer Aufgabenmenge T im Zeitintervall $[t_1, t_2[$:

Bestimmung des Rechenzeitbedarfs

$$h_{[t_1,t_2[} = \sum_{t_1 \le r_k, D_k \le t_2} e_k$$

- Maximale Ausführungszeit aller Arbeitsaufträge, deren
  - Auslösezeitpunkt und
  - absoluter Termin

  innerhalb dieses Intervalls liegt.

Zulässigkeitstest für EDF

Zulässigkeitstest von Liu und Layland [9]

Für jede Menge von n synchronen, periodischen Aufgaben, die den Kriterien A1 - A7 (siehe IV-1/9) entsprechen, findet der EDF Algorithmus einen zulässigen Ablaufplan, **gdw** für die CPU-Auslastung gilt:

$$U = \sum_{i=1}^{n} u_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{e_i}{p_i} \leq 1$$

- Dies gilt auch für asynchrone Aufgaben (entkräftet A2) [5]
- EDF-Algorithmus ist optimal [13] unter folgenden Bedingungen:
  - Aufgaben wie oben
  - Synchron oder asynchron
  - Kriterium: $U \leq 1$

☞ Analoge Tests existieren auch für RMA und DMA [10, S. 146]

Ablaufplanungsprobleme und ihre Berechnungskomplexität

☞ Systeme, die den Bedingungen A1 - A7 genügen, sind mit polynomiellem Aufwand analysierbar.

Ablaufplanungsprobleme und ihre Berechnungskomplexität

☞ Systeme, die den Bedingungen A1 - A7 genügen, sind mit polynomiellem Aufwand analysierbar.

⚠ Starke Konsequenzen bei Lockerung dieser Einschränkungen:

- Verzicht auf A3 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Baruah [2])
  - Termine sind kürzer als die Perioden der Aufgaben.
- Verzicht auf A4 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Richard [12])
  - Aufgaben legen sich schlafen (engl. *self-suspension*).
- Verzicht auf A5 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Mok [11])
  - Der gegenseitige Ausschluss wird durch Semaphore gesichert.
- Verzicht auf A7 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Cai [4])
  - Harmonische, periodische Aufgaben sind nicht verdrängbar.

Ablaufplanungsprobleme und ihre Berechnungskomplexität

Systeme, die den Bedingungen A1 - A7 genügen, sind mit polynomiellem Aufwand analysierbar.

Starke Konsequenzen bei Lockerung dieser Einschränkungen:

- Verzicht auf A3 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Baruah [2])
  - Termine sind kürzer als die Perioden der Aufgaben.
- Verzicht auf A4 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Richard [12])
  - Aufgaben legen sich schlafen (engl. *self-suspension*).
- Verzicht auf A5 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Mok [11])
  - Der gegenseitige Ausschluss wird durch Semaphore gesichert.
- Verzicht auf A7 $\rightsquigarrow$ stark NP-hart (Cai [4])
  - Harmonische, periodische Aufgaben sind nicht verdrängbar.

Dies hat auch Auswirkungen auf die Zulässigkeitstests!

Beliebige Termine und Perioden

Bedingung A3 (S. IV-1/9) soll gelockert werden

- $D_i \geq p_i$: Periodische Aufgaben mit großen Terminen
  - Kriterien von Layland/Liu und Coffman gelten nach wie vor [3]

→ Diese Kriterien sind notwendig und hinreichend

Beliebige Termine und Perioden

Bedingung A3 (S. IV-1/9) soll gelockert werden

- $D_i \geq p_i$: Periodische Aufgaben mit großen Terminen
  - Kriterien von Layland/Liu und Coffman gelten nach wie vor [3]

  → Diese Kriterien sind notwendig und hinreichend
- $D_i < p_i$: Aperiodische Aufgaben sind möglich
  - Hybride Menge: periodische und aperiodische Aufgaben

  → Diese Kriterium ist nur hinreichend!

Rahmenbedingungen nach Baruah [3]

Für eine hybride Menge von n Aufgaben T, findet der EDF-Algorithmus einen zulässigen Ablaufplan, wenn gilt:

$$U = \sum_{i=1}^{n} \frac{e_i}{min\{D_i, p_i\}} \leq 1$$

Dieser Test ist pessimistisch …

- Beispiel: $T_1 = (4, 3, 4, 0)$, $T_2 = (20, 2, 18, 0)$, $T_3 = (10, 1, 3, 0)$
  - $\sum_i \frac{e_i}{min\{D_i, p_i\}} = \frac{3}{4} + \frac{2}{18} + \frac{1}{3} = \frac{43}{36} > 1$

Dieser Test ist pessimistisch …

- Beispiel: $T_1 = (4, 3, 4, 0)$, $T_2 = (20, 2, 18, 0)$, $T_3 = (10, 1, 3, 0)$
  - $\sum_i \frac{e_i}{min\{D_i, p_i\}} = \frac{3}{4} + \frac{2}{18} + \frac{1}{3} = \frac{43}{36} > 1$

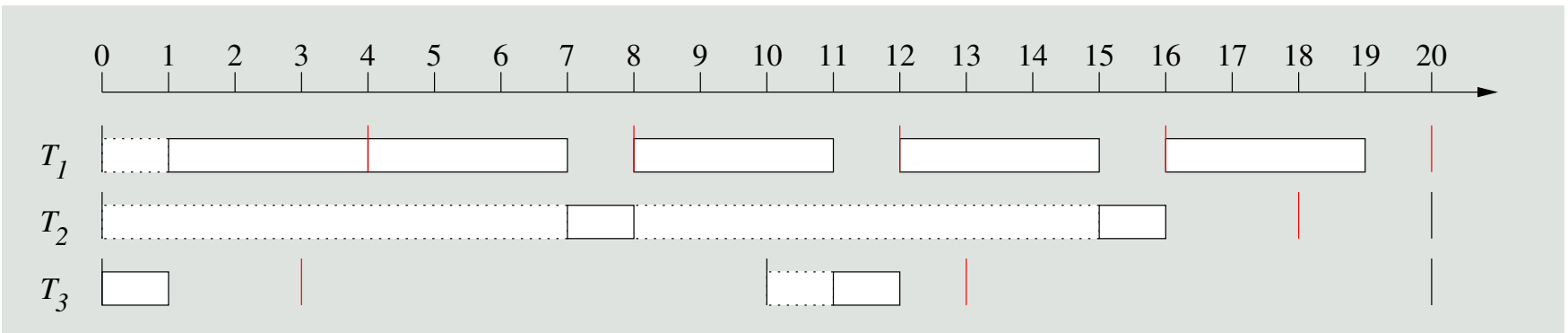
⚠ System ist laut des Tests (siehe Folie IV-2/30) nicht zulässig!

Dieser Test ist pessimistisch …

- Beispiel: $T_1 = (4, 3, 4, 0)$, $T_2 = (20, 2, 18, 0)$, $T_3 = (10, 1, 3, 0)$
  - $\sum_i \frac{e_i}{min\{D_i, p_i\}} = \frac{3}{4} + \frac{2}{18} + \frac{1}{3} = \frac{43}{36} > 1$

⚠ System ist laut des Tests (siehe Folie IV-2/30) nicht zulässig!

☞ EDF findet jedoch einen zulässigen Ablaufplan:



Antwortzeitanalyse

- Antwortzeit ω_i
  - Zeitdauer zwischen Auslösezeit und Terminationszeitpunkt (siehe III-2/26)
- Idee: Antwortzeitanalyse
  - Terminationszeitpunkt vor dem absoluten Termin d_i
  - Antwortzeit ω_i kürzer als der relative Termin D_i

  → Für jeden Auftrag $J_{i,j}$ in der Aufgabe: $T_i : \omega_{i,j} \leq D_{i,j}$
- Voraussetzungen
  - Bedingungen A1 - A7 müssen eingehalten werden
  - Konzept ist jedoch erweiterbar

Antwortzeitanalyse

- Antwortzeit ω_i
  - Zeitdauer zwischen Auslösezeit und Terminationszeitpunkt (siehe III-2/26)
- Idee: Antwortzeitanalyse
  - Terminationszeitpunkt vor dem absoluten Termin d_i
  - Antwortzeit ω_i kürzer als der relative Termin D_i

→ Für jeden Auftrag $J_{i,j}$ in der Aufgabe: $T_i : \omega_{i,j} \leq D_{i,j}$

- Voraussetzungen
  - Bedingungen A1 - A7 müssen eingehalten werden
  - Konzept ist jedoch erweiterbar

Probleme

- Wie berechnet man die Antwortzeit?
- Wann wird die maximale Antwortzeit erreicht?

Berechnung der Antwortzeit

- Antwortzeit ω_i der Aufgabe T_i berechnet sich zu:

$$\omega_i(t) = e_i$$

  - Aufgabe terminiert bevor das Ereignis (Periode) erneut eintritt
  - Setzt sich zusammen aus:
    - WCET e_i von T_i

Berechnung der Antwortzeit

- Antwortzeit ω_i der Aufgabe T_i berechnet sich zu:

$$\omega_i(t) = e_i + \sum_{k=1}^{i-1} \left\lceil \frac{t}{p_k} \right\rceil e_k; 0 < t \leq p_i$$

  - Aufgabe terminiert bevor das Ereignis (Periode) erneut eintritt
  - Setzt sich zusammen aus:
    - WCET e_i von T_i
    - WCETs $e_1, \ldots, e_{i-1}$ der Aufgaben $T_1, \ldots, T_{i-1}$ höherer Priorität

Berechnung der Antwortzeit

- Antwortzeit ω_i der Aufgabe T_i berechnet sich zu:

$$\omega_i(t) = e_i + \sum_{k=1}^{i-1} \left\lceil \frac{t}{p_k} \right\rceil e_k; 0 < t \leq p_i$$

  - Aufgabe terminiert bevor das Ereignis (Periode) erneut eintritt
  - Setzt sich zusammen aus:
    - WCET e_i von T_i
    - WCETs $e_1, \ldots, e_{i-1}$ der Aufgaben $T_1, \ldots, T_{i-1}$ höherer Priorität

- Prüfung: $\omega_i(t) \leq t$
  - $t = jp_k; \quad k = 1, 2, \ldots, i; \quad j = 1, 2, \ldots, \lfloor \min(p_i, D_i)/p_k \rfloor$
  - Zeitbedarf erhöht sich nur bei Auslösung dringlicherer Aufgaben
  - Bis das Ereignis erneut eintritt/der Termin der Aufgabe erreicht ist

Berechnung der Antwortzeit

- Antwortzeit ω_i der Aufgabe T_i berechnet sich zu:

$$\omega_i(t) = e_i + \sum_{k=1}^{i-1} \left\lceil \frac{t}{p_k} \right\rceil e_k; 0 < t \leq p_i$$

  - Aufgabe terminiert bevor das Ereignis (Periode) erneut eintritt
  - Setzt sich zusammen aus:
    - WCET e_i von T_i
    - WCETs $e_1, \ldots, e_{i-1}$ der Aufgaben $T_1, \ldots, T_{i-1}$ höherer Priorität

- Prüfung: $\omega_i(t) \leq t$
  - $t = jp_k; \quad k = 1, 2, \ldots, i; \quad j = 1, 2, \ldots, \lfloor \min(p_i, D_i)/p_k \rfloor$
  - Zeitbedarf erhöht sich nur bei Auslösung dringlicherer Aufgaben
  - Bis das Ereignis erneut eintritt/der Termin der Aufgabe erreicht ist

Ist die Ungleichung für einen Zeitpunkt t erfüllt, ist T_i zulässig

Beispiel: Berechnung der maximalen Antwortzeit

Aufgaben: $T_1 = (3, 1, 3, \phi_1)$, $T_2 = (5, 1.5, 5, \phi_2)$, $T_3 = (7, 1.25, 7, \phi_3)$, $T_4 = (9, 0.5, 9, \phi_4)$

- Antwortzeit ω_1 von T_1
  - $\omega_1(3) = 1 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig

Beispiel: Berechnung der maximalen Antwortzeit

Aufgaben: $T_1 = (3, 1, 3, \phi_1)$, $T_2 = (5, 1.5, 5, \phi_2)$, $T_3 = (7, 1.25, 7, \phi_3)$, $T_4 = (9, 0.5, 9, \phi_4)$

- Antwortzeit ω_1 von T_1
  - $\omega_1(3) = 1 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig
- Antwortzeit ω_2 von T_2
  - $\omega_2(3) = 1.5 + \lceil \frac{3}{3} \rceil 1 = 2.5 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig

Beispiel: Berechnung der maximalen Antwortzeit

Aufgaben: $T_1 = (3, 1, 3, \phi_1)$, $T_2 = (5, 1.5, 5, \phi_2)$, $T_3 = (7, 1.25, 7, \phi_3)$, $T_4 = (9, 0.5, 9, \phi_4)$

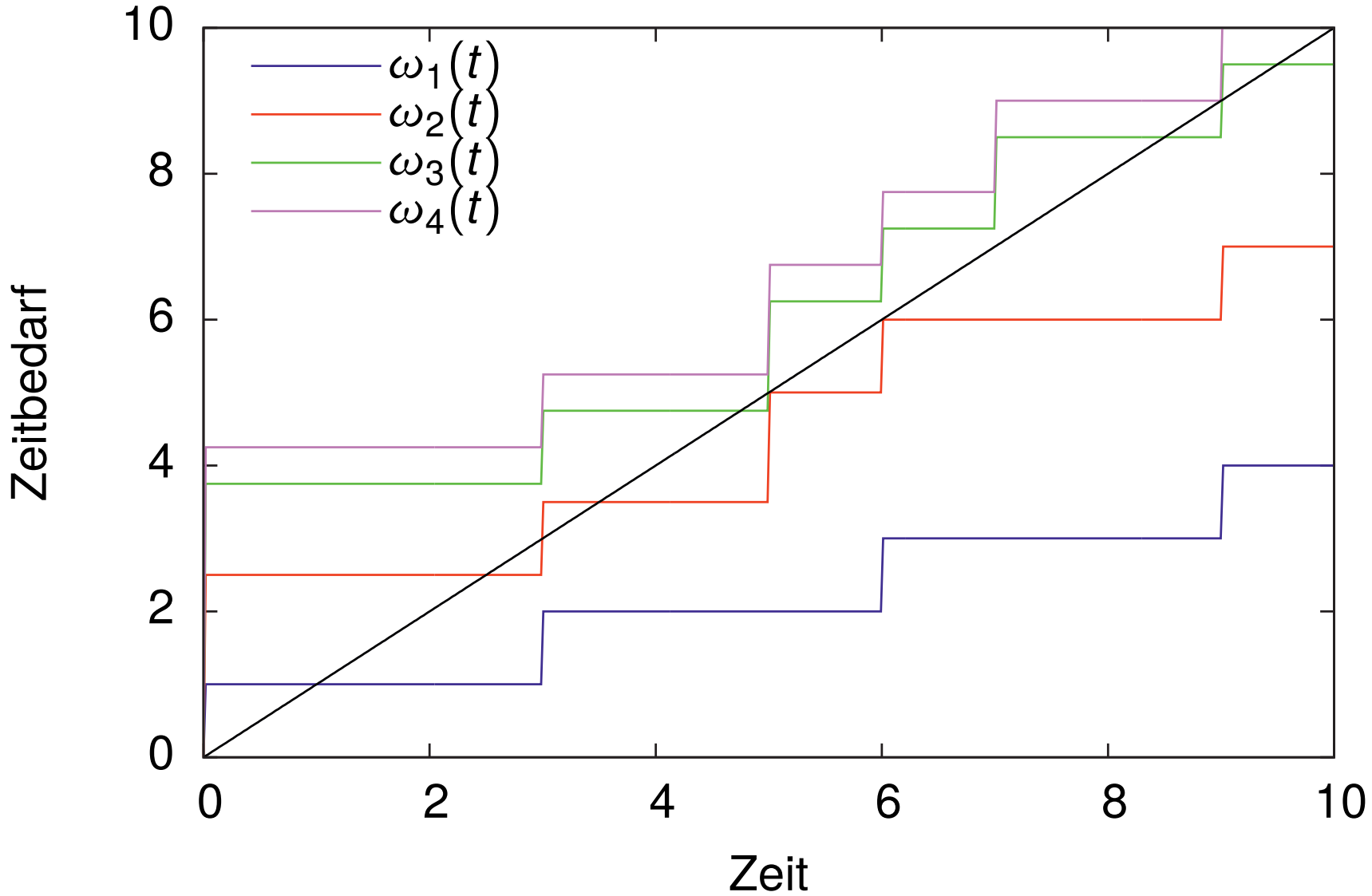
- Antwortzeit ω_1 von T_1
  - $\omega_1(3) = 1 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig
- Antwortzeit ω_2 von T_2
  - $\omega_2(3) = 1.5 + \lceil \frac{3}{3} \rceil 1 = 2.5 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig
- Antwortzeit ω_3 von T_3
  - $\omega_3(3) = 1.25 + \lceil \frac{3}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{3}{5} \rceil 1.5 = 3.75 > 3$
  - $\omega_3(5) = 1.25 + \lceil \frac{5}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{5}{5} \rceil 1.5 = 4.75 \leq 5 \rightsquigarrow$ zulässig

Beispiel: Berechnung der maximalen Antwortzeit

Aufgaben: $T_1 = (3, 1, 3, \phi_1)$, $T_2 = (5, 1.5, 5, \phi_2)$, $T_3 = (7, 1.25, 7, \phi_3)$, $T_4 = (9, 0.5, 9, \phi_4)$

- Antwortzeit ω_1 von T_1
  - $\omega_1(3) = 1 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig
- Antwortzeit ω_2 von T_2
  - $\omega_2(3) = 1.5 + \lceil \frac{3}{3} \rceil 1 = 2.5 \leq 3 \rightsquigarrow$ zulässig
- Antwortzeit ω_3 von T_3
  - $\omega_3(3) = 1.25 + \lceil \frac{3}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{3}{5} \rceil 1.5 = 3.75 > 3$
  - $\omega_3(5) = 1.25 + \lceil \frac{5}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{5}{5} \rceil 1.5 = 4.75 \leq 5 \rightsquigarrow$ zulässig
- Antwortzeit ω_4 von T_4
  - $\omega_4(3) = 0.5 + \lceil \frac{3}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{3}{5} \rceil 1.5 + \lceil \frac{3}{7} \rceil 1.25 = 4.25 > 3$
  - $\omega_4(5) = 0.5 + \lceil \frac{5}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{5}{5} \rceil 1.5 + \lceil \frac{5}{7} \rceil 1.25 = 5.25 > 5$
  - $\omega_4(6) = 0.5 + \lceil \frac{6}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{6}{5} \rceil 1.5 + \lceil \frac{6}{7} \rceil 1.25 = 6.75 > 6$
  - $\omega_4(7) = 0.5 + \lceil \frac{7}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{7}{5} \rceil 1.5 + \lceil \frac{7}{7} \rceil 1.25 = 7.75 > 7$
  - $\omega_4(9) = 0.5 + \lceil \frac{9}{3} \rceil 1 + \lceil \frac{9}{5} \rceil 1.5 + \lceil \frac{9}{7} \rceil 1.25 = 9.00 \leq 9 \rightsquigarrow$ zulässig

Zeitbedarfsfunktionen der Aufgaben T_1, T_2, T_3 und T_4



Wann wird die Antwortzeit maximal?

Kritischer Zeitpunkt (engl. *critical instant*) $\mapsto$ maximale Antwortzeit

$\rightarrow$ Auslösung eines Arbeitsauftrags an seinem kritischen Zeitpunkt

Wann wird die Antwortzeit maximal?

Kritischer Zeitpunkt (engl. *critical instant*) $\mapsto$ maximale Antwortzeit

→ Auslösung eines Arbeitsauftrags an seinem kritischen Zeitpunkt

- An seinem kritischen Zeitpunkt ausgelöster Job $J_{i,j}$ einer Task T_i:

→ Erfährt die maximale Antwortzeit aller Aufträge in T_i

  - Falls alle Arbeitsaufträge ihre Termine einhalten

→ Verpasst seinen Termin

  - Falls irgendein Arbeitsauftrag in T_i seinen Termin verpasst

Wann wird die Antwortzeit maximal?

Kritischer Zeitpunkt (engl. *critical instant*) $\mapsto$ maximale Antwortzeit

→ Auslösung eines Arbeitsauftrags an seinem kritischen Zeitpunkt

- An seinem kritischen Zeitpunkt ausgelöster Job $J_{i,j}$ einer Task T_i:

→ Erfährt die maximale Antwortzeit aller Aufträge in T_i

  – Falls alle Arbeitsaufträge ihre Termine einhalten

→ Verpasst seinen Termin

  – Falls irgendein Arbeitsauftrag in T_i seinen Termin verpasst

Kritischer Zeitpunkt in Systemen mit statischen Prioritäten [9]

→ Falls zusammen mit einem Arbeitsauftrag der Aufgabe T_i Aufträge aller Aufgaben höherer Priorität $T_1, \ldots, T_{i-1}$ ausgelöst werden

Wann wird die Antwortzeit maximal?

Kritischer Zeitpunkt (engl. *critical instant*) ↦ maximale Antwortzeit

→ Auslösung eines Arbeitsauftrags an seinem kritischen Zeitpunkt

- An seinem kritischen Zeitpunkt ausgelöster Job $J_{i,j}$ einer Task T_i:

→ Erfährt die maximale Antwortzeit aller Aufträge in T_i

  – Falls alle Arbeitsaufträge ihre Termine einhalten

→ Verpasst seinen Termin

  – Falls irgendein Arbeitsauftrag in T_i seinen Termin verpasst

Kritischer Zeitpunkt in Systemen mit statischen Prioritäten [9]

→ Falls zusammen mit einem Arbeitsauftrag der Aufgabe T_i Aufträge aller Aufgaben höherer Priorität $T_1, \ldots, T_{i-1}$ ausgelöst werden

Kritischer Zeitpunkt in Systemen mit dynamischen Prioritäten

- Lässt sich ein solcher kritischer Zeitpunkt nicht identifizieren

→ Antwortzeitanalyse ist hier ungeeignet

Relative Planbarkeit – Prioritätsabbildung

Einfluss der Anzahl von Systemprioritäten auf die Planbarkeit eines Systems

Verschlechterung der Planbarkeit bei wenigen verfügbaren Systemprioritäten ($\kappa_n >> \kappa_s$) zu erwarten

Relative Planbarkeit – Prioritätsabbildung

Einfluss der Anzahl von Systemprioritäten auf die Planbarkeit eines Systems

Verschlechterung der Planbarkeit bei wenigen verfügbaren Systemprioritäten ($\kappa_n >> \kappa_s$) zu erwarten

- Sei g das Minimum von Verhältniswerten des Prioritätsrasters (s. IV-2/12)

Relative Planbarkeit – Prioritätsabbildung

Einfluss der Anzahl von Systemprioritäten auf die Planbarkeit eines Systems

Verschlechterung der Planbarkeit bei wenigen verfügbaren Systemprioritäten ($\kappa_n >> \kappa_s$) zu erwarten

- Sei g das Minimum von Verhältniswerten des Prioritätsrasters (s. IV-2/12)
- Für RM für große n und $D_i = p_i$ für alle i wurde gezeigt [8], dass für die planbare Auslastung (engl. *schedulable utilization*) gilt:

$$\begin{cases} ln(2g) + 1 - g & \text{falls } g > 1/2 \\ g & \text{falls } g \leq 1/2 \end{cases}$$

Relative Planbarkeit – Prioritätsabbildung

Einfluss der Anzahl von Systemprioritäten auf die Planbarkeit eines Systems

Verschlechterung der Planbarkeit bei wenigen verfügbaren Systemprioritäten ($\kappa_n >> \kappa_s$) zu erwarten

- Sei g das Minimum von Verhältniswerten des Prioritätsrasters (s. IV-2/12)
- Für RM für große n und $D_i = p_i$ für alle i wurde gezeigt [8], dass für die planbare Auslastung (engl. *schedulable utilization*) gilt:

$$\begin{cases} ln(2g) + 1 - g & \text{falls } g > 1/2 \\ g & \text{falls } g \leq 1/2 \end{cases}$$

- Das Verhältnis dieser Auslastung zu $ln(2)$ ist ein Maß für die relative Planbarkeit des gegebenen Systems

Relative Planbarkeit – Prioritätsabbildung

Einfluss der Anzahl von Systemprioritäten auf die Planbarkeit eines Systems

Verschlechterung der Planbarkeit bei wenigen verfügbaren Systemprioritäten ($\kappa_n >> \kappa_s$) zu erwarten

- Sei g das Minimum von Verhältniswerten des Prioritätsrasters (s. IV-2/12)
- Für RM für große n und $D_i = p_i$ für alle i wurde gezeigt [8], dass für die planbare Auslastung (engl. *schedulable utilization*) gilt:

$$\begin{cases} ln(2g) + 1 - g & \text{falls } g > 1/2 \\ g & \text{falls } g \leq 1/2 \end{cases}$$

- Das Verhältnis dieser Auslastung zu $ln(2)$ ist ein Maß für die relative Planbarkeit des gegebenen Systems

- Beispiel: 100 000 Tasks (evtl. noch vielmehr Jobs), d.h., $\kappa_n = 100\,000$
  - Die relative Planbarkeit bei $\kappa_s = 256$ ist gleich 0.9986

Relative Planbarkeit – Prioritätsabbildung

Einfluss der Anzahl von Systemprioritäten auf die Planbarkeit eines Systems

Verschlechterung der Planbarkeit bei wenigen verfügbaren Systemprioritäten ($\kappa_n >> \kappa_s$) zu erwarten

- Sei g das Minimum von Verhältniswerten des Prioritätsrasters (s. IV-2/12)
- Für RM für große n und $D_i = p_i$ für alle i wurde gezeigt [8], dass für die planbare Auslastung (engl. *schedulable utilization*) gilt:

$$\begin{cases} ln(2g) + 1 - g & \text{falls } g > 1/2 \\ g & \text{falls } g \leq 1/2 \end{cases}$$

- Das Verhältnis dieser Auslastung zu $ln(2)$ ist ein Maß für die relative Planbarkeit des gegebenen Systems

- Beispiel: 100 000 Tasks (evtl. noch vielmehr Jobs), d.h., $\kappa_n = 100\,000$
  - Die relative Planbarkeit bei $\kappa_s = 256$ ist gleich 0.9986

RM: Für komplexeste Tasksysteme reichen schon 256 Prioritätsebenen

Gliederung

Resümee

Resümee

Ablaufplanung gebräuchliche, ereignisgesteuerte Verfahren

- statische Prioritäten $\leadsto$ RM, DM
  - Prioritätsabbildung im Falle nicht ausreichender Systemprioritäten
- dynamische Prioritäten $\leadsto$ EDF

Resümee

Ablaufplanung gebräuchliche, ereignisgesteuerte Verfahren

- statische Prioritäten $\leadsto$ RM, DM
  - Prioritätsabbildung im Falle nicht ausreichender Systemprioritäten
- dynamische Prioritäten $\leadsto$ EDF

Optimalität und Nichtoptimalität von RM, DM und EDF

- Hängt von den Eigenschaften der betrachteten Aufgaben ab
- Nichtoptimalität von statischen Prioritäten und Ereignissteuerung

Resümee

Ablaufplanung gebräuchliche, ereignisgesteuerte Verfahren

- statische Prioritäten $\rightsquigarrow$ RM, DM
  - Prioritätsabbildung im Falle nicht ausreichender Systemprioritäten
- dynamische Prioritäten $\rightsquigarrow$ EDF

Optimalität und Nichtoptimalität von RM, DM und EDF

- Hängt von den Eigenschaften der betrachteten Aufgaben ab
- Nichtoptimalität von statischen Prioritäten und Ereignissteuerung

Planbarkeitsanalyse ereignisgesteuerter Ablaufplanungsverfahren

- maximalen, kumulativen CPU-Auslastung und Antwortzeitanalyse
- relative Planbarkeit im Falle nicht ausreichender Systemprioritäten

Literaturverzeichnis

[1] *Kapitel* 28.
In: Baruah, S. ; Goossens, J. :
Scheduling Real-time Tasks: Algorithms and Complexity.
Chapman & Hall/CRC, 2004 (Computer and Information Science series)

[2] Baruah, S. K. ; Rosier, L. E. ; Howell, R. R.:
Algorithms and complexity concerning the preemptive scheduling of periodic, real-time tasks on one processor.
In: *Real-Time Systems Journal* 2 (1990), Nr. 4, S. 301–324.
http://dx.doi.org/10.1007/BF01995675. –
DOI 10.1007/BF01995675. –
ISSN 0922–6443

[3] Baruah, S. ; Mok, A. ; Rosier, L. :
Preemptively scheduling hard-real-time sporadic tasks on one processor.
(1990), Dez., S. 182–190.
http://dx.doi.org/10.1109/REAL.1990.128746. –
DOI 10.1109/REAL.1990.128746

Literaturverzeichnis (Forts.)

[4] Cai, Y. ; Kong, M. C.:
Nonpreemptive Scheduling of Periodic Tasks in Uni- and Multiprocessor Systems.
In: *Algorithmica* 15 (1996), Nr. 6, S. 572–599.
http://dx.doi.org/10.1007/BF01940882. –
DOI 10.1007/BF01940882. –
ISSN 0178–4617

[5] Coffman, E. G.:
Computer and Job-shop Scheduling Theory.
John Wiley & Sons Inc, 1976. –
ISBN 978–0471163190

[6] Hildebrand, D. :
An Architectural Overview of QNX.
In: *Proceedings of the USENIX Workshop on Microkernels and Other Kernel Architectures*.
Seattle, WA, USA, Apr. 27–28, 1992, S. 113–126

[7] IEEE Standard 802.5:
Token Ring Access Method and Physical Layer Specification.
IEEE, New York, 1989

Literaturverzeichnis (Forts.)

[8] Lehoczky, J. P. ; Sha, L. :
Performance of Real-Time Bus Scheduling Algorithms.
In: *ACM Performance Evaluation Review* 14 (1986), Mai, Nr. 1, S. 44–55

[9] Liu, C. L. ; Layland, J. W.:
Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment.
In: *Journal of the ACM* 20 (1973), Nr. 1, S. 46–61.
http://dx.doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/321738.321743. –
DOI http://doi.acm.org/10.1145/321738.321743. –
ISSN 0004–5411

[10] Liu, J. W. S.:
Real-Time Systems.
Englewood Cliffs, NJ, USA : Prentice Hall PTR, 2000. –
ISBN 0–13–099651–3

[11] Mok, A. K.:
Fundamental design problems of distributed systems for the hard real-time environment, MIT, Diss., 1983

Literaturverzeichnis (Forts.)

[12] Richard, P. :
On the complexity of scheduling real-time tasks with self-suspensions on one processor.
In: *Proceedings. 15th Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS 2003)* (2003), Jul., S. 187–194

[13] Spuri, M. :
Earliest Deadline Scheduling in Real-Time Systems, Scuola Superiore S. Anna, Pisa, Dissertation, 1996

[14] Wind River Systems, Inc.:
Wind River Homepage.
http://www.windriver.com,

EZS – Cheat Sheet

Typographische Konvention

Der erste Index gibt die Aufgabe an (z. B. D_i), der Zweite (optional) bezieht sich auf den Arbeitsauftrag (z. B. $d_{i,j}$). Exponenten zeigen verschiedene Varianten einer Eigenschaft an (z. B. T^{HI}, T^{MED}, T^{LO}). Funktionen beschreiben zeitlich variierende Eigenschaften (z. B. $P(t)$).

Temporale Eigenschaften

Allgemein

- r_i Auslösezeitpunkt (engl. release time)
- e_i Maximale Ausführungszeit (WCET)
- D_i Relativer Termin (engl. deadline)
- d_i Absoluter Termin
- ω_i Antwortzeit (engl. response time)

Periodische Aufgaben

- p_i Periode (engl. period)
- ϕ_i Phase (engl. phase)

Strukturelemente

- E_i Ereignis (engl. event)
- R_i Ergebnis (engl. result)
- T_i Aufgabe (engl. task)
- $J_{i,j}$ Arbeitsauftrag (engl. job) der Aufgabe T_i

Aufgaben – Tupel

$T_p = (p, e, D, \phi)$ Periodische Aufgabe ohne Priorität (zeitgesteuert oder dynamische Taskpriorität)