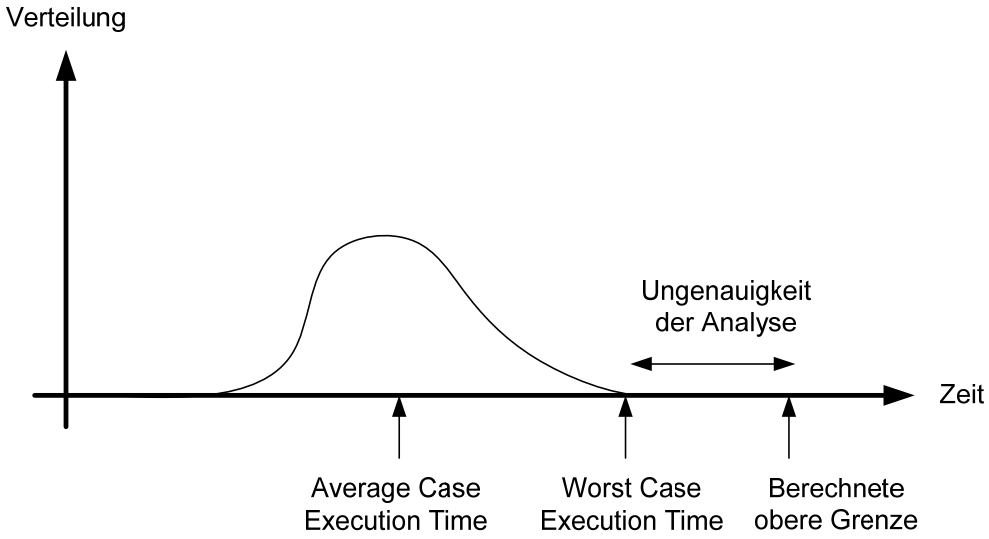
Scheduling

Exkurs: WCET (Worst Case Execution Time) - Analyse

WCET Analyse

- Ziel der Worst Case Execution Time Analyse ist die Abschätzung der maximalen Ausführungszeit einer Funktion



- Die Laufzeit ist abhängig von den Eingabedaten, dem Prozessorzustand, der Hardware,…

Probleme bei der WCET Analyse

- Bei der Abschätzung der maximalen Ausführungszeiten stößt man auf einige Probleme:
  - Es müssen unter anderem die Auswirkungen der Hardwarearchitektur, des Compilers und des Betriebssystems untersucht werden. Dadurch erschwert sich eine Vorhersage.
  - Zudem dienen viele Eigenschaften der Beschleunigung des allgemeinen Verhaltens, jedoch nicht des Verhaltens im schlechtesten Fall, z.B.:
    - Caches, Pipelines, Virtual Memory
    - Interruptbehandlung, Präemption
    - Compileroptimierungen
    - Rekursion

	Zugriffszeit	Größe
Register	0.25 ns	500 bytes
Cache	1 ns	64 KB
Hauptspeicher	100 ns	512 MB
Festplatte	5 ms	100 GB

Zugriffszeiten für verschiedene Speicherarten

  - Noch schwieriger wird die Abschätzung falls der betrachtete Prozess von der Umgebung abhängig ist.

Unterscheidungen bei der WCET-Analyse

- Die Analyse muss auf unterschiedlichen Ebenen erfolgen:
  - Was macht das Programm?
  - Was passiert im Prozessor?

- Bei der Analyse werden zwei Methoden unterschieden:
  - **statische** WCET Analyse: Untersuchung des Programmcodes
  - **dynamische** Analyse: Bestimmung der Ausführungszeit anhand von verschiedenen repräsentativen Durchläufen

Statische Analyse

- Aufgaben:
  - Bestimmung von Ausführungspfaden in der Hochsprache
  - Transformation der Pfade in Maschinencode
  - Bestimmung der Laufzeit einzelner Maschinencodesequenzen
- Probleme:
  - Ausführungspfade lassen sich oft schlecht vollautomatisch ableiten (zu pessimistisch, zu komplex)
  - Ausführungspfade häufig abhängig von Eingabedaten
- Lösungsansatz: Annotierung der Pfade mit Beschränkungen (wie z.B. maximale Schleifendurchläufe)

Dynamische Analyse

- Statische Analysen können zumeist die folgenden Wechselwirkungen nicht berücksichtigen:
  - Wechselwirkungen mit anderen Programmen (siehe z.B. wechselseitiger Ausschluss)
  - Wechselwirkungen mit dem Betriebssystem (siehe z.B. Caches)
  - Wechselwirkungen mit der Umgebung (siehe z.B. Interrupts)
  - Wechselwirkungen mit anderen Rechnern (siehe z.B. Synchronisation)
- Durch dynamische Analysen können diese Wechselwirkungen abgeschätzt werden.
- Problem: Wie können die Testläufe sinnvoll ausgewählt werden.

Dimensionierung der Rechenleistungen

- Aufstellen der Worst-Case Analyse:
  - Rechenaufwand für bekannte periodische Anforderungen
  - Rechenaufwand für erwartete sporadische Anforderungen
  - Zuschlag von 100% oder mehr zum Abfangen von Lastspitzen
- Unterschied zu konventionellen Systemen:
  - keine maximale Auslastung des Prozessors
  - keine Durchsatzoptimierung
  - Abläufe sollen determiniert abschätzbar sein

Scheduling

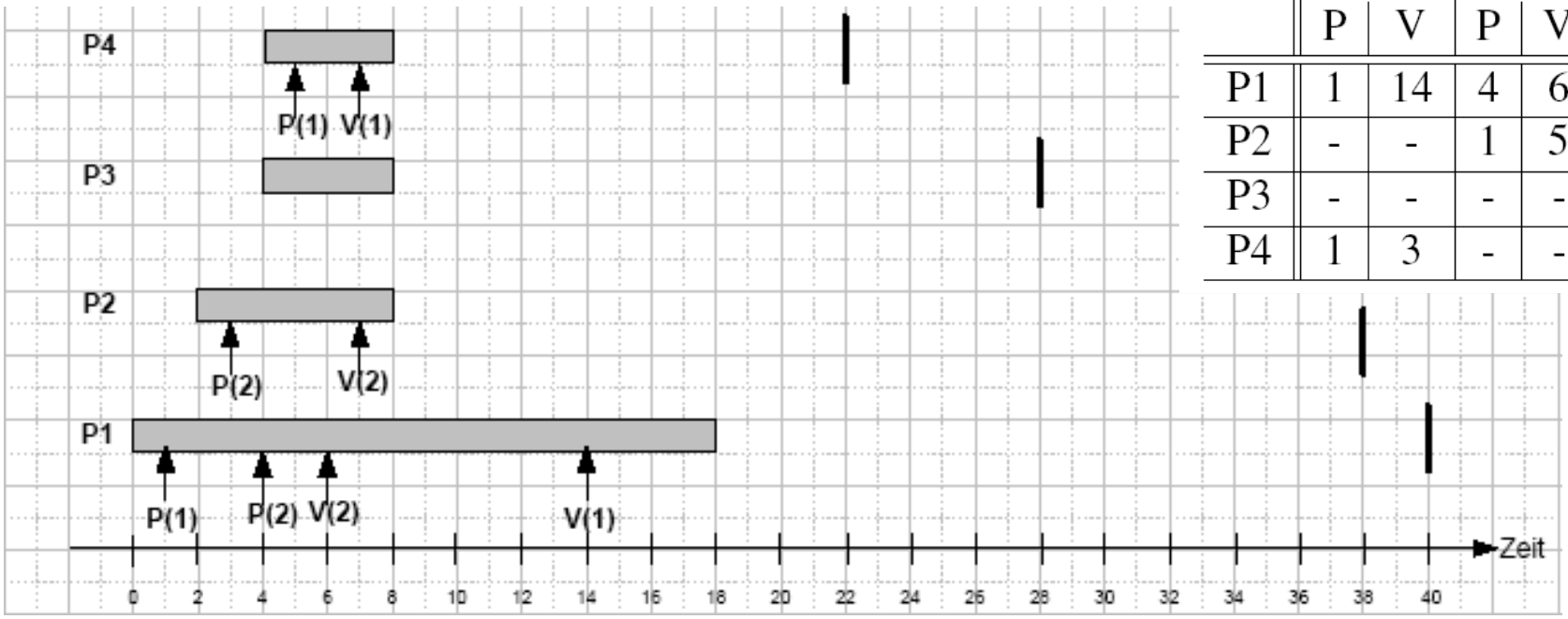
Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Kenntniss der Schedulingkriterien (Einhalten von Fristen, Fairness,…) , sowie der verschiedenen Prozessparameter (Startzeit, Laufzeit, Deadline, Priorität).
- Klassische Verfahren (EDF, LST, RM) und Anforderungen an die Optimalität dieser Verfahren
- Problem der Prioritätsinversion, sowie Lösungsverfahren
- Problematik der WCET-Analyse

Klausur WS 07/08

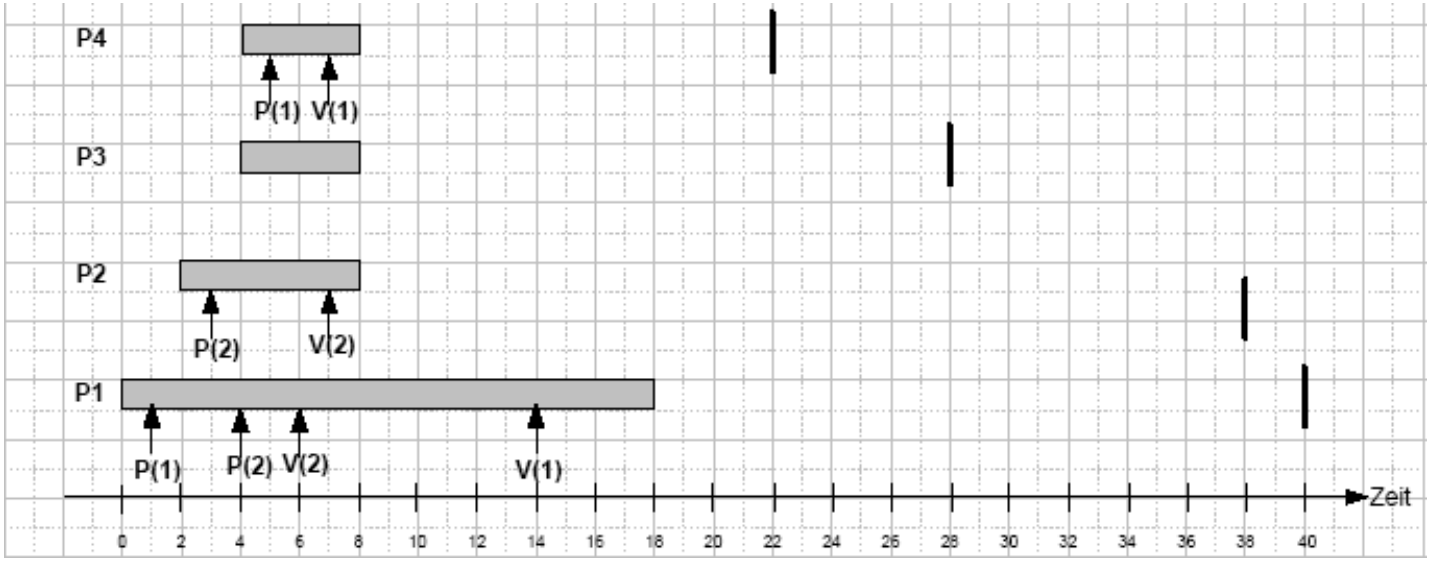
- Startzeiten s: s(P1)=0; s(P2)=2; s(P3)=4; s(P4)=4;
- Ausführungszeiten e: e(P1)=18; e(P2)=6; e(P3)=4; e(P4)=4;
- Fristen d: d(P1)=40; e(P2)=38; e(P3)=28; e(P4)=22;



	S1		S2	
	P	V	P	V
P1	1	14	4	6
P2	-	-	1	5
P3	-	-	-	-
P4	1	3	-	-

Klausur WS 07/08

- Ignorieren Sie zunächst die Semaphore. Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für das Schedulingverfahren Earliest-Deadline-First.
- Ignorieren Sie zunächst die Semaphore. Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für das Schedulingverfahren Least-Slack-Time (Zeitscheiben: 1).
- Zeichnen Sie nun den Ausführungsplan für das Schedulingverfahren Earliest-Deadline-First unter Berücksichtigung der Semaphoren.
- Wie könnte man das Schedulingverfahren modifizieren, um das in Teilaufgabe c) aufgetretene Problem zu beheben.



Übungsaufgabe Scheduling

Prozess	Startzeit	CPU-Zeit	Statische Priorität
P1	0	8	1 (niedrig)
P2	2	2	3
P3	2	5	4 (hoch)
P4	4	3	2

Gegeben seien die in der Tabelle angegebenen Prozesse:

1. *Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für nicht präemptives, prioritätenbasiertes Scheduling (FIFO)?*
2. *Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für präemptives, prioritätenbasiertes Scheduling (FIFO).*
3. *Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für präemptives, prioritätenbasiertes Scheduling (Round Robin, Zeitscheiben 0.5).*
4. *Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für präemptives, prioritätenbasiertes Scheduling (FIFO), wenn jeder Prozess zu Beginn den Semaphor S anfordert und bei Beendigung der Ausführungszeit freigibt und das Betriebssystem Prioritätsvererbung unterstützt.*
5. *Zeichnen Sie einen Ausführungsplan für präemptives, prioritätenbasiertes Scheduling (FIFO), wenn jeder Prozess zu Beginn den Semaphor S anfordert und bei Beendigung der Ausführungszeit freigibt und das Betriebssystem immediate priority ceiling unterstützt.*

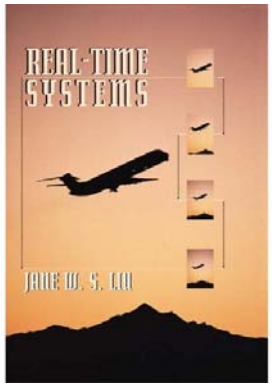
Kapitel 5

Echtzeitbetriebssysteme

Inhalt

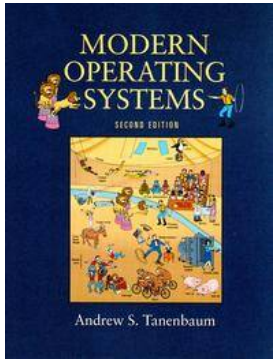
- Grundlagen
- Betrachtung diverser Betriebssysteme:
  - Domänenspezifische Betriebssysteme:
    - OSEK
    - TinyOS
  - Klassische Echtzeitbetriebssysteme
    - QNX
    - VxWorks
    - PikeOS
  - Linux- / Windows-Echtzeitvarianten
    - RTLinux/RTAI
    - Linux Kernel 2.6
    - Windows CE

Literatur



Jane W. S. Liu, Real-Time Systems, 2000

Dieter Zöbel, Wolfgang Albrecht: Echtzeitsysteme: Grundlagen und Techniken, 1995



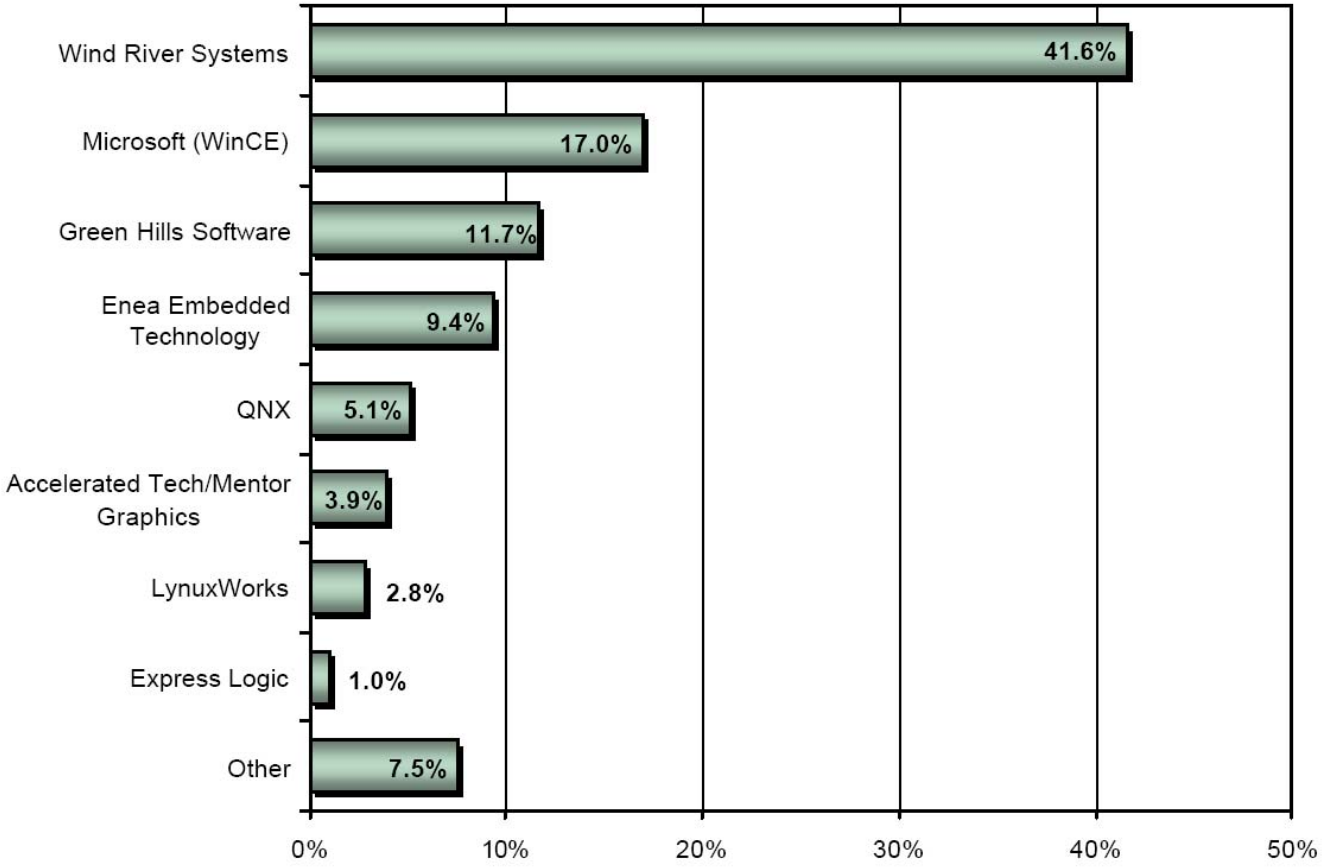
Andrew S. Tanenbaum: Modern Operating Systems, 2001

Arnd Heursch et al.: Time-critical tasks in Linux 2.6, 2004
http://inf3-www.informatik.unibw-muenchen.de/research/linux/hannover/automation_conf04.pdf

Interessante Links

- http://www.mnis.fr/en/support/doc/rtos/
- http://aeolean.com/html/RealTimeLinux/RealTimeLinuxReport-2.0.0.pdf
- http://www.osek-vdx.org/
- http://www.qnx.com/
- http://www.windriver.de
- http://www.fsmlabs.com
- http://www.rtai.org
- http://www.tinyos.net/

Marktaufteilung (Stand 2004)



Marktanteil am Umsatz, Gesamtvolumen 493 Mio. Dollar, Quelle: The Embedded Software Strategic Market Intelligence Program 2005

Anforderungen an Echtzeitbetriebssysteme

- Echtzeitbetriebssysteme unterliegen anderen Anforderungen als Standardbetriebssysteme:
  - stabiler Betrieb rund um die Uhr
  - definierte Reaktionszeiten
  - parallele Prozesse
  - Unterstützung von Mehrprozessorsystemen
  - schneller Prozesswechsel (geringer Prozesskontext)
  - echtzeitfähige Unterbrechensbehandlung
  - echtzeitfähiges Scheduling
  - echtzeitfähige Prozesskommunikation
  - umfangreiche Zeitdienste (absolute, relative Uhren, Weckdienste)
  - einfaches Speichermanagement

Fortsetzung

- Unterstützung bei der Ein- und Ausgabe
  - vielfältigste Peripherie
  - direkter Zugriff auf Hardware-Adressen und -Register durch den Benutzer
  - Treiber in Benutzerprozessen möglichst schnell und einfach zu implementieren
  - dynamisches Binden an den Systemkern
  - direkte Nutzung DMA
  - keine mehrfachen Puffer: direkt vom Benutzerpuffer auf das Gerät
- Einfachste Dateistrukturen
- Protokoll für Feldbus oder LAN-Bus, möglichst hardwareunterstützt
- Aufteilung der Betriebssystemfunktionalität in optionale Komponenten (Skalierbarkeit)

Echtzeitbetriebssysteme

Kriterien zur Beurteilung

Beurteilung von Echtzeitbetriebssystemen

- Folgende Aspekte werden wir genauer betrachten:
  - Schedulingverfahren
  - Prozessmanagement
  - Speicherbedarf (Footprint)
  - Garantierte Reaktionszeiten

Schedulingverfahren

- Fragestellung:
  - Welche Konzepte sind für das Scheduling von Prozessen verfügbar?
  - Gibt es Verfahren für periodische Prozesse?
  - Wie wird dem Problem der Prioritätsinversion begegnet?
  - Wann kann eine Ausführung unterbrochen werden?

Arten von Betriebssystemen

- Betriebsysteme werden in drei Klassen unterteilt:
  - Betriebssysteme mit **kooperativen Scheduling**: es können verschiedene Prozesse parallel ausgeführt werden. Der Dispatcher kann aber einem Prozess den Prozessor nicht entziehen, vielmehr ist das Betriebssystem auf die Kooperation der Prozesse angewiesen (z.B. Windows 95/98/ME)
  - Betriebssysteme mit **präemptiven Scheduling**: einem laufenden Prozess kann der Prozessor entzogen werden, falls sich der Prozess im Userspace befindet. (z.B. Linux, Windows 2000/XP)
  - **Präemptible Betriebssysteme**: der Prozessor kann dem laufenden Prozess jederzeit entzogen werden, auch wenn sich dieser im Kernelkontext ausgeführt wird.

$\Rightarrow$ Echtzeitsysteme müssen präemptibel sein.

Prozessmanagement

- Bewertung eines Betriebssystems nach:
  - Beschränkung der Anzahl von Prozessen
  - Möglichkeiten zur Interprozesskommunikation
  - Kompatibilität der API mit Standards (z.B. POSIX) zur Erhöhung der Portabilität

Speicherbedarf

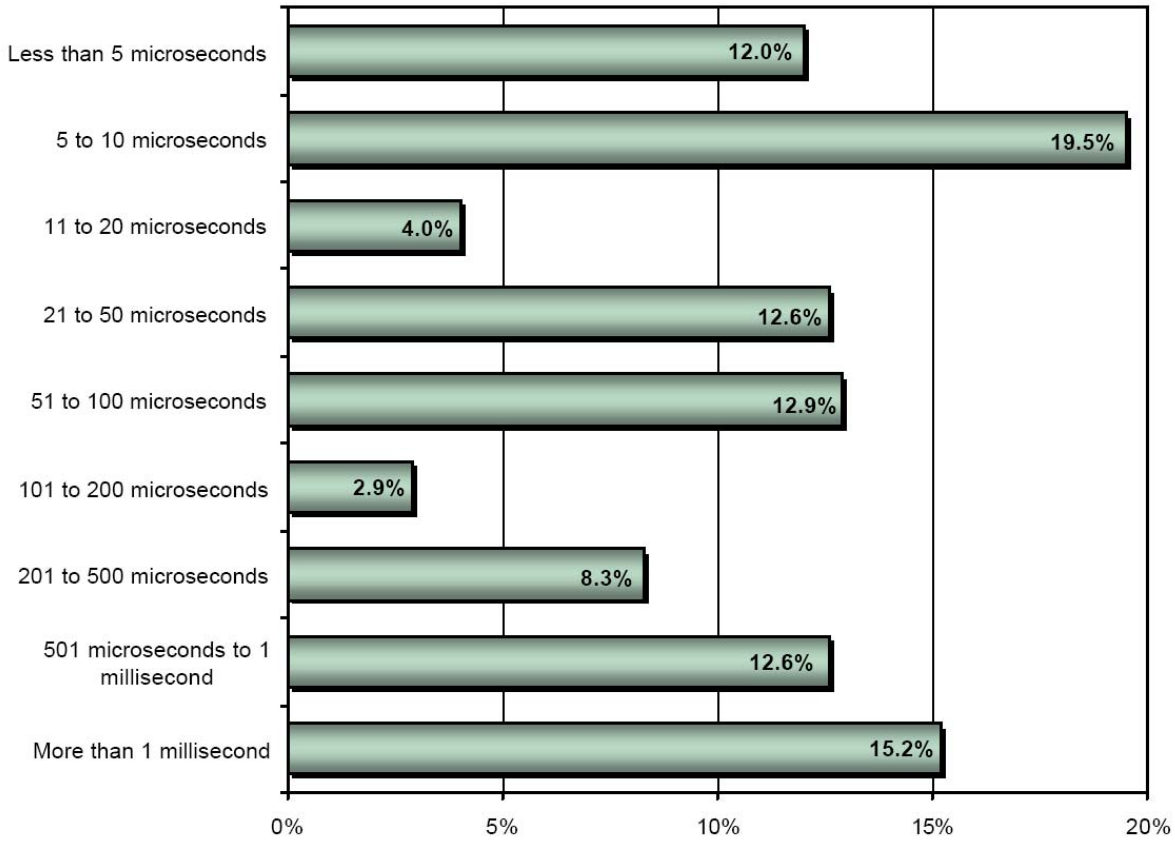
- Echtzeitbetriebssysteme werden auf sehr unterschiedlicher Hardware ausgeführt
  - Der verfügbare Speicher variiert sehr stark.
  - Typische Betriebssystemfunktionalitäten (z.B. Dateisysteme, graphische Oberfläche) werden oft gar nicht benötigt.

  $\Rightarrow$ Echtzeitsysteme müssen aus diesen Gründen skalierbar sein:
  - Möglichkeit zur Auswahl einzelner Module entsprechend den Anforderungen an die Funktionalität der Anwendung.
  - Entscheidend ist der **minimale Speicherbedarf** (**Footprint**).

Reaktionszeiten

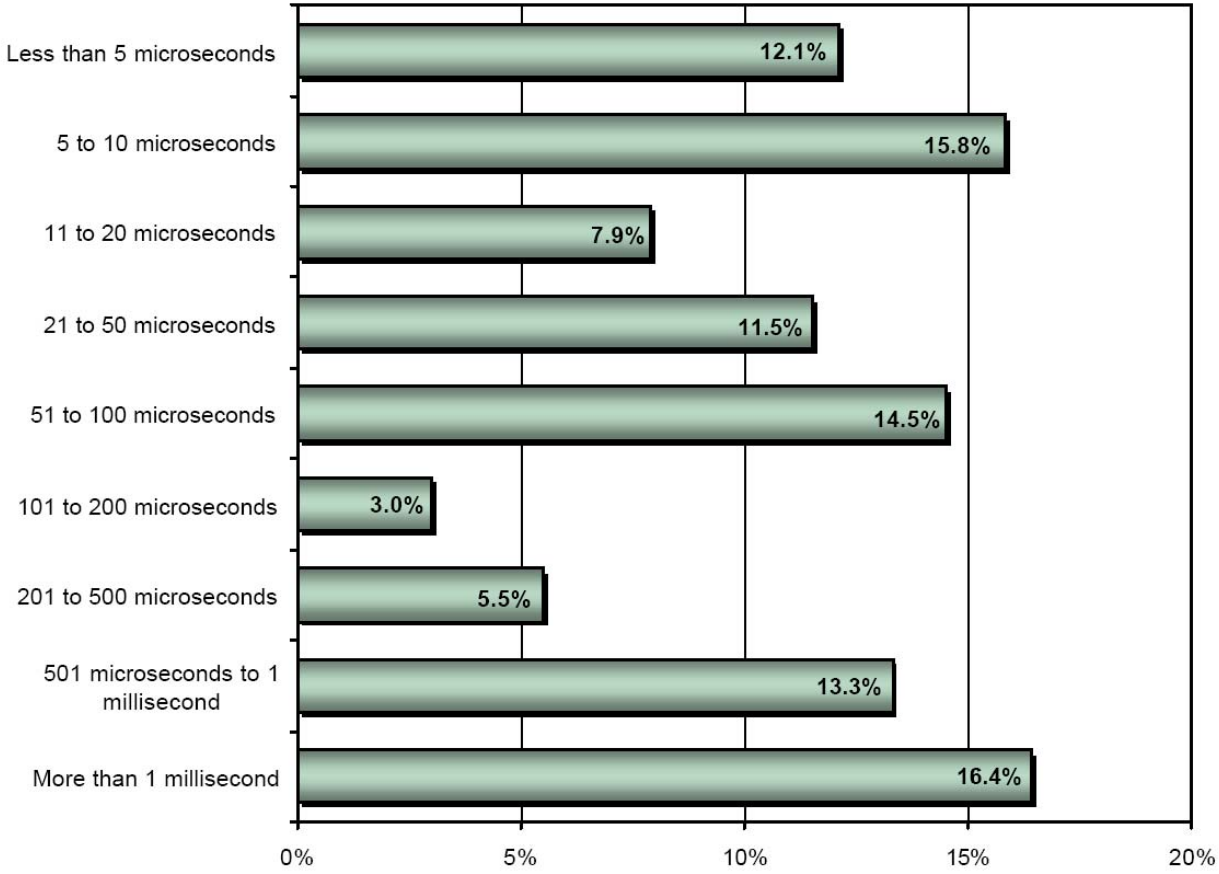
- Die Echtzeitfähigkeit wird durch die Messung folgender Zeiten bestimmt:
  - **Unterbrechungsantwortzeiten** (**interrupt latency**): der Zeitraum zwischen dem Auftreten einer Unterbrechung und der Ausführung des ersten Befehls der dazugehörigen Unterbrechungsbehandlungsroutine
  - **Schedulinglatenz** (**scheduling latency**): Zeit von der Ausführung des letzten Befehls des Unterbrechungsbehandlers bis zur Ausführung der ersten Instruktion des Prozesses, der durch das Auftreten des Unterbrechung in den bereiten Zustand wechselt.
  - Zeiten für einen **Kontextwechsel** (**context switch latency**): Zeit von der Ausführung des letzten Befehls eines Prozesses im Userspace bis zur Ausführung der ersten Instruktion des nächsten Prozesses im Userspace.

Anforderungen an Unterbrechungsantwortzeiten



Typische Anforderungen an Antwortzeiten, Quelle: The Embedded Software Strategic Market Intelligence Program 2005

Anforderungen an Kontextwechselzeiten



Typische Anforderungen an den Kontextwechsel, Quelle: The Embedded Software Strategic Market Intelligence Program 2005

Echtzeitbetriebssysteme

OSEK

Hintergrund

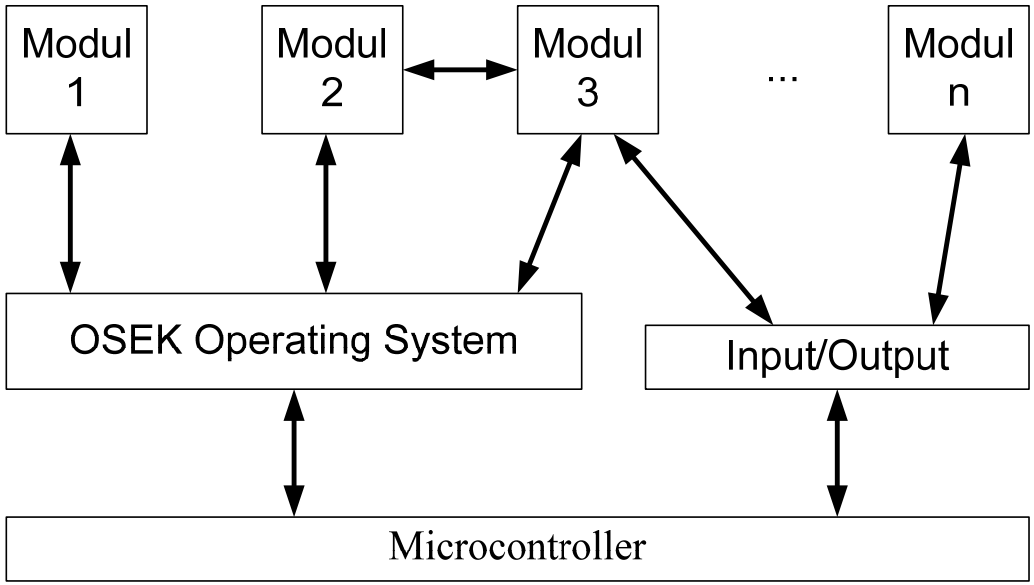
- Gemeinschaftsprojekt der deutschen Automobilindustrie (u.a. BMW, DaimlerChrysler, VW, Opel, Bosch, Siemens)
- OSEK: **O**ffene **S**ysteme und deren Schnittstellen für die **E**lektronik im **K**raftfahrzeug
- Ziel: Definition einer Standard-API für Echtzeitbetriebssysteme
- Standard ist frei verfügbar (http://www.osek-vdx.org), aber keine freien Implementierungen.
- Es existieren ebenso Ansätze für ein zeitgesteuertes Betriebssystem (OSEKTime), sowie eine fehlertolerante Kommunikationsschicht.

Anforderungen

- Designrichtlinien bei der Entwicklung von OSEK:
  - harte Echtzeitanforderungen
  - hohe Sicherheitsanforderungen an Anwendungen
  - hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit
  - typische: verteilte Systeme mit unterschiedlicher Hardware (v.a. Prozessoren)

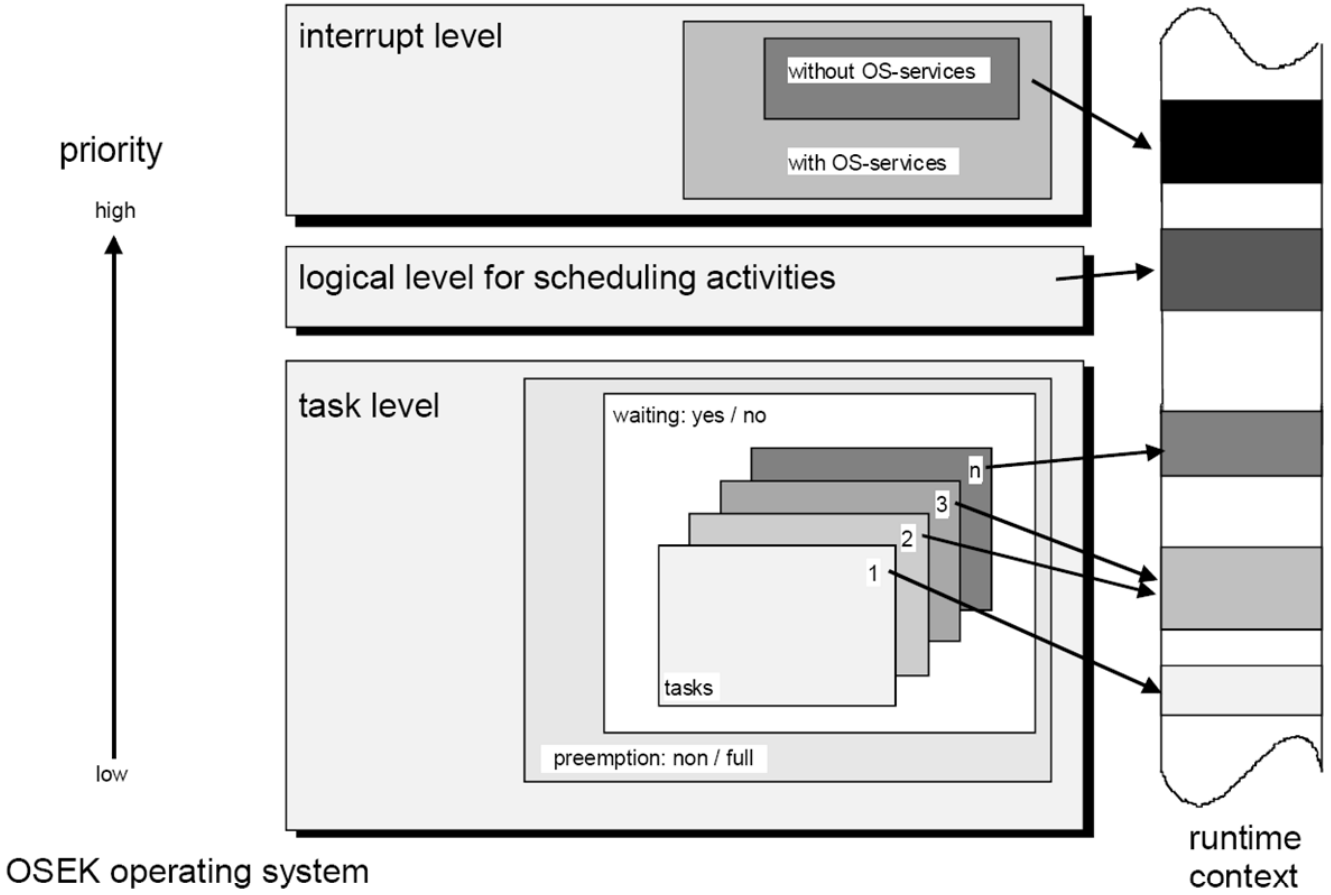
  $\Rightarrow$ typische Anforderungen von Echtzeitsystemen
- Weitere Ziele:
  - Skalierbarkeit
  - einfache Konfigurierbarkeit des Betriebssystems
  - Portabilität der Software
  - Statisch allokiertes Betriebssystem

OSEK Architektur



- Die Schnittstelle zwischen den einzelnen Anwendungsmodulen ist zur Erhöhung der Portierbarkeit standardisiert. Die Ein- und Ausgabe ist ausgelagert und wird nicht näher spezifiziert.

Ausführungsebenen in OSEK



Scheduling und Prozesse in OSEK

- Scheduling:
  - ausschließlich Scheduling mit statischen Prioritäten.
- Prozesse:
  - OSEK unterscheidet zwei verschiedene Arten von Prozessen:
    1. Basisprozesse
    2. Erweiterte Prozesse: haben die Möglichkeit über einen Aufruf der Betriebssystemfunktion waitEvent() auf externe asynchrone Ereignisse zu warten und reagieren.
  - Der Entwickler kann festlegen, ob ein Prozess unterbrechbar oder nicht unterbrechbar ist.
  - Es existieren somit vier Prozesszustände in OSEK: running, ready, waiting, suspended.

Betriebssystemklassen

- Der OSEK-Standard unterscheidet vier unterschiedliche Klassen von Betriebsystemen. Die Klassifizierung erfolgt dabei nach der Unterstützung:
  1. von mehrmaligen Prozessaktivierungen (einmalig oder mehrfach erlaubt)
  2. von Prozesstypen (nur Basisprozesse oder auch erweiterte Prozesse)
  3. mehreren Prozessen der selben Priorität
- Klassen:
  - BCC1: nur einmalig aktivierte Basisprozesse unterschiedlicher Priorität werden unterstützt.
  - BCC2: wie BCC1, allerdings Unterstützung von mehrmalig aufgerufenen Basisprozessen, sowie mehreren Basisprozessen gleicher Priorität.
  - ECC1: wie BCC1, allerdings auch Unterstützung von erweiterten Prozessen
  - ECC2: wie ECC1, allerdings Unterstützung von mehrmalig aufgerufenen Prozessen, sowie mehreren Prozessen gleicher Priorität.
- Die Implementierung unterscheidet sich vor allem in Bezug auf den Scheduler.

Unterbrechungsbehandlung

- In OSEK wird zwischen zwei Arten von Unterbrechungsbehandlern unterschieden:
  - ISR Kategorie 1: Der Behandler benutzt keine Betriebssystemfunktionen.
    - typischerweise die schnellsten und höchstpriorisierten Unterbrechungen.
    - Im Anschluss der Behandlung wird der unterbrochene Prozess fortgesetzt.
  - ISR Kategorie 2: Die Behandlungsroutine wird durch das Betriebssystem unterstützt, dadurch sind Aufrufe von Betriebssystemfunktionen erlaubt.
    - Falls ein Prozess unterbrochen wurde, wählt der Scheduler nach Beendigung der ISR den nächsten auszuführenden Prozess.

Prioritätsinversion

- Zur Vermeidung von Prioritätsinversion und Verklemmungen schreibt OSEK ein Immediate Priority Ceiling Protokoll vor:
  - Jeder Ressource wird eine Grenze (Maximum der Priorität der Prozesse, die die Ressource verwenden) zugewiesen.
  - Falls ein Prozess eine Ressource anfordert, wird die aktuelle Priorität des Prozesses auf die entsprechende Grenze angehoben.
  - Bei Freigabe fällt der Prozess auf die ursprüngliche Priorität zurück.