Betriebssysteme (BS)

VL 14 – Zusammenfassung und Ausblick

Daniel Lohmann

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen Nürnberg

WS 13 – 5. Februar 2014

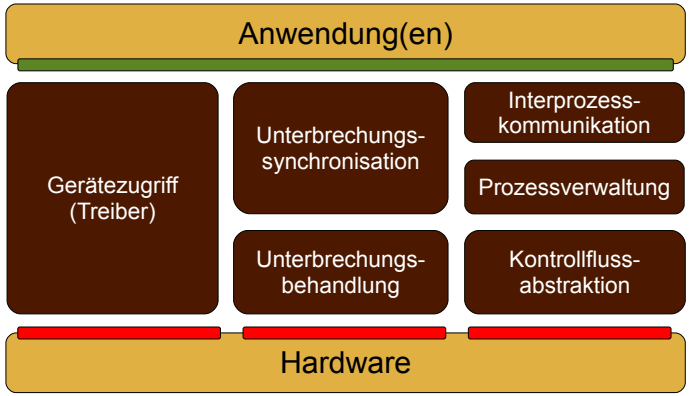
http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS13/V_BS

Lernziele

⇝VL 1

- **Vertiefen** des Wissens über die interne Funktionsweise von Betriebssystemen
  - Ausgangspunkt: Systemprogrammierung
  - Schwerpunkt: Nebenläufigkeit und Synchronisation
- **Entwickeln** eines Betriebssystems *von der Pike auf*
  - OOStuBS / MPStuBS (neu!) Lehrbetriebssysteme
  - Praktische Erfahrungen im Betriebsystembau machen
- **Verstehen** der technologischen Hardware-Grundlagen
  - PC-Technologie verstehen und einschätzen können
  - Schwerpunkt: Intel x86 / IA-32

Überblick Vorlesungen



Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

VL_1	***Einführung***
VL_2	***BS-Entwicklung***
VL_3	***IRQs (Hardware)***
VL_4	***IRQs (Software)***
VL_5	***IRQs (Synchronisation)***
VL_6	***Intel IA-32***
VL_7	***Koroutinen und Fäden***
VL_8	***Scheduling***
VL_9	***BS-Architekturen***
VL_{10}	***Fadensynchronisation***
VL_{11}	***PC Bussysteme***
VL_{12}	***Gerätetreiber***
VL_{13}	***IPC***

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

1. Ein Streifzug durch die PC-Architektur

- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- VL_3 ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***BS-Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***
- VL_{11} ***PC Bussysteme***
- VL_{12} ***Gerätetreiber***
- VL_{13} ***IPC***

Was wir gemacht haben

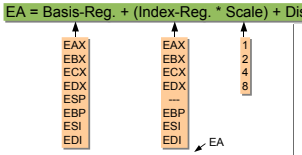
Drei inhaltliche Schwerpunkte!

1. Ein Streifzug durch die PC-Architektur

IA-32: Adressierungsarten

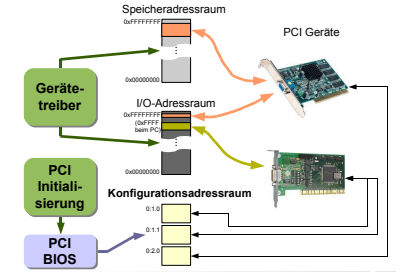
- Effektive Adressen (EA) werden nach einem einfachen Schema gebildet
  - alle Vielzweckregister können dabei gleichwertig verwendet werden

EA = Basis-Reg. + (Index-Reg. * Scale) + Displacement



- Beispiel: MOV EAX, **Feld[ESI * 4]**
  - Lesen aus Feld mit 4 Byte großen Elementen und ES

Interaktion mit PCI Geräten



Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- VL_3 ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***BS-Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***
- VL_{11} ***PC Bussysteme***
- VL_{12} ***Gerätetreiber***
- VL_{13} ***IPC***

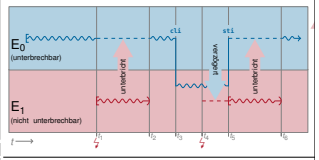
Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

Prioritätsebenenmodell

- Kontrollflüsse können die Ebene wechseln
  - Mit `cli` wechselt ein E_0-Kontrollfluss explizit auf E_1
    - er ist ab dann nicht mehr unterbrechbar
    - andere E_1-Kontrollflüsse werden verzögert (↩ Sequentialisierung)
  - Mit `sti` wechselt ein E_1-Kontrollfluss explizit auf E_0
    - er ist ab dann (wieder) unterbrechbar
    - anhängige E_1-Kontrollflüsse „schlagen durch“ (↩ S



Erweitertes Prioritätsebenenmodell

- Kontrollflüsse auf E_l werden
  1. jederzeit unterbrochen durch Kontrollflüsse von E_m (für $m > l$)
  2. nie unterbrochen durch Kontrollflüsse von E_k (für $k \leq l$)
  3. jederzeit verdrängt durch Kontrollflüsse von E_l (für $l = 0$)

Kontrollflüsse der E_0 (Fadenebene) sind **verdrängbar**.

Für die Konsistenzsicherung auf dieser Ebene brauche wir zusätzliche **Mechanismen** zur **Fadensynchronisation**.

dl Betriebssysteme (VL 14 | WS 13) 14 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 14 – 4

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

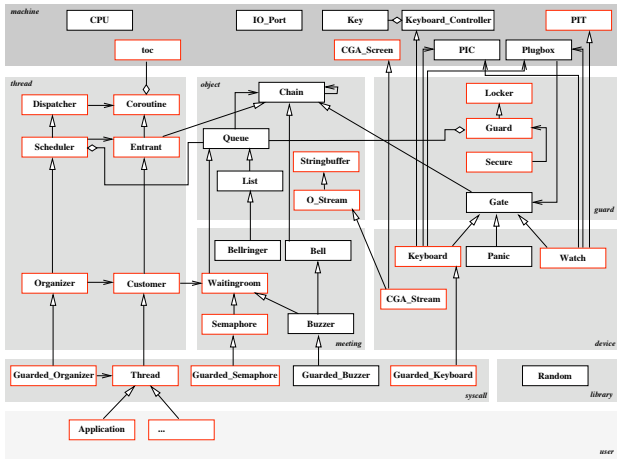
2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

- VL$_1$ ***Einführung***
- VL$_2$ ***BS-Entwicklung*** → Ü$_0$ *Einführung*
- VL$_3$ ***IRQs (Hardware)*** → Ü$_1$ *Ein-/Ausgabe*
- VL$_4$ ***IRQs (Software)*** → Ü$_2$ *IRQ-Behandlung*
- VL$_5$ ***IRQs (Synchronisation)***
- VL$_6$ ***Intel IA-32*** → Ü$_3$ *IRQ-Synchronisation*
- VL$_7$ ***Koroutinen und Fäden***
- VL$_8$ ***Scheduling*** → Ü$_4$ *Fadenumschaltung*
- VL$_9$ ***BS-Architekturen*** → Ü$_5$ *Zeitscheiben-Scheduling*
- VL$_{10}$ ***Fadensynchronisation***
- VL$_{11}$ ***PC Bussysteme*** → Ü$_6$ *Fadensynchronisation*
- VL$_{12}$ ***Gerätetreiber***
- VL$_{13}$ ***IPC*** → Ü$_7$ *"Eine Anwendung" (opt.)*

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen



dl Betriebssysteme (VL 14 | WS 13) 14 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 14 – 4

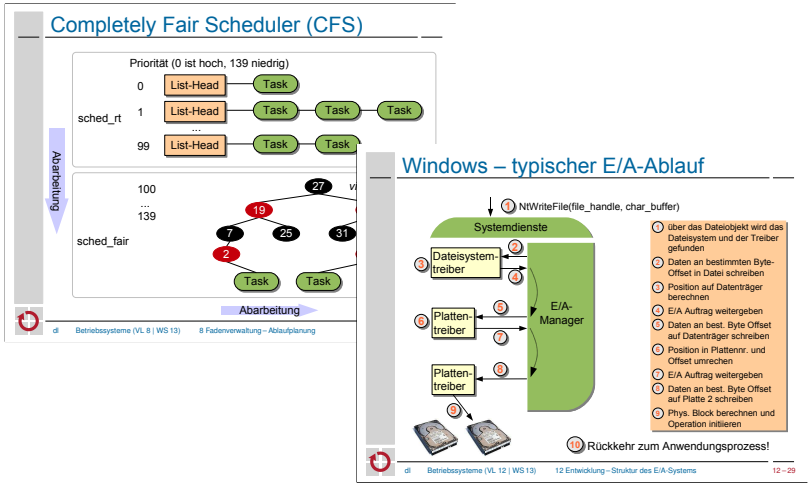
Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

3. BS-Konzept allgemein und am Beispiel (Windows/Linux)

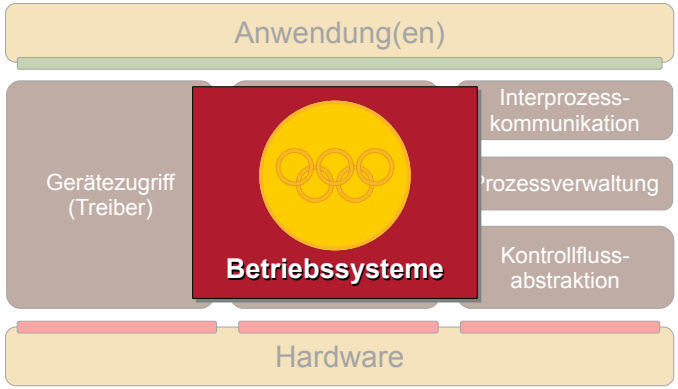
- VL$_1$ ***Einführung***
- VL$_2$ ***BS-Entwicklung***
- VL$_3$ ***IRQs (Hardware)***
- VL$_4$ ***IRQs (Software)***
- VL$_5$ ***IRQs (Synchronisation)***
- VL$_6$ ***Intel IA-32***
- VL$_7$ ***Koroutinen und Fäden***
- VL$_8$ ***Scheduling***
- VL$_9$ ***BS-Architekturen***
- VL$_{10}$ ***Fadensynchronisation***
- VL$_{11}$ ***PC Bussysteme***
- VL$_{12}$ ***Gerätetreiber***
- VL$_{13}$ ***IPC***

dl Betriebssysteme (VL 14 | WS 13) 14 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 14 – 4



dl Betriebssysteme (VL 14 | WS 13) 14 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 14 – 4

Zusammen eine ganze Menge!



Realitätscheck: MPStuBS ↔ "'richtiges BS'"

Es fehlt noch eine ganze Menge!

- Adressraumverwaltung und Prozesskonzept ⇝ [BST]
- Dateisystem und Programmlader
- Netzwerk und TCP/IP
- . . .

Beispiel Linux [5]

Aug 91 Linux 0.01: bash, Dateisystem

Jan 92 Linux 0.12: Virtueller Speicher (Paging)

Mär 92 Linux 0.95: X-Windows, Unix Domain Sockets
(jetzt fehlte nur noch Netzwerk!)

Mär 94 Linux 1.00: **Netzwerk und TCP/IP**

Realitätscheck: MPStuBS ↔ "'richtiges BS'"

Es fehlt noch eine ganze Menge!

- Adressraumverwaltung und Prozesskonzept ⇝ [BST]
- Dateisystem und Programmlader
- Netzwerk und TCP/IP
- . . .

Evaluation

Evaluationsergebnisse

Hauptfragen zu Lehrveranstaltung und Dozent

mw=1,17
s=0,38

Weitere Fragen zu Lehrveranstaltung und Dozent

mw=1,28
s=0,53

Vergleich mit den Vorjahren

WS 13:	n=30	(52%)	mw=1.17
WS 12:	n=18	(51%)	mw=1.11
WS 11:	n=17	(53%)	mw=1.30
WS 10:	n=9	(29%)	mw=1.42
WS 09:	n=19	(100%)	mw=1.34
WS 08:	n=7	(27%)	mw=1.41
WS 07:	n=16	(50%)	mw=1.39

Evaluationsergebnisse: Übung

Hauptfragen zu Lehrveranstaltung und Übungsleiter

mw=1,23
s=0,44

Weitere Fragen zu Lehrveranstaltung und Übungsleiter

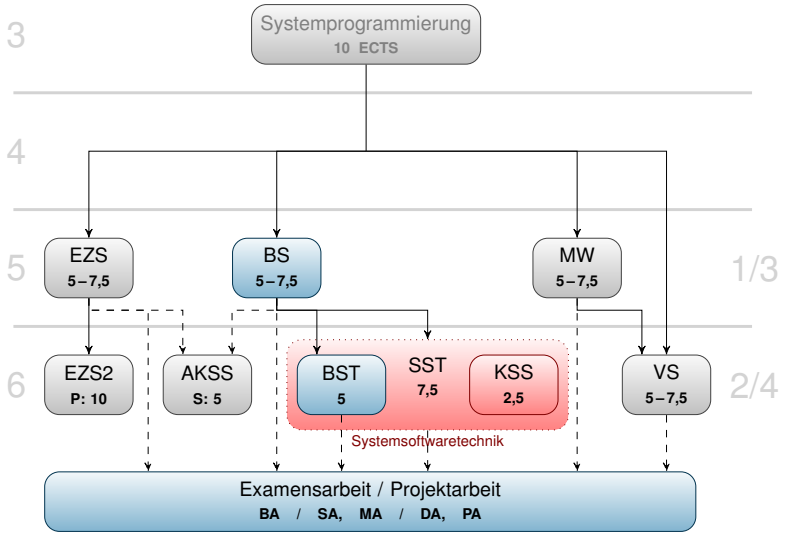
mw=1,43
s=0,61

Vergleich mit den Vorjahren

WS 13:	n=30	(52%)	mw=1.23
WS 12:	n=23	(52%)	mw=1.55
WS 11:	n=18	(40%)	mw=1.56
WS 10:	n=9	(29%)	mw=1.59
WS 09:	n=9	(41%)	mw=1.49
WS 08:	n=7	(30%)	mw=1.41
WS 07:	n=23	(52%)	mw=1.37

Wie geht es weiter?

(Bachelor/Master)



Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

Lernziele

Vorlesung

- *Wissen* zu Adressraumkonzepten von Betriebssystemen vertiefen
- *Verstehen* über (logische) Adressräume festigen
  - inhaltliches Begreifen verschiedener Facetten von Adressräumen
  - intellektuelle Erfassung des Zusammenhangs, in dem Adressräume stehen

Übung ⇝ mikrokern-ähnliches Betriebssystem

- *Anwenden* ausgewählter Vorlesungsinhalte für OOStuBS
- *Analyse* der Anforderungen an und Gegebenheiten von OOStuBS
- *Synthese* von Adressraumabstraktionen und OOStuBS
- *Evaluation* des erweiterten OOStuBS: Vorher-nachher-Vergleich

Hinter der Kulisse: KSS in aller Kürze...

KSS $\mapsto$ Konfigurierbare Systemsoftware

- Softwaretechnik
  - Variabilität
  - Produktlinien
  - Aspektorientierung
  - Generatortechniken
- Betriebssysteme
  - eCos [3]
  - CiAO [2]
  - Sloth [1]
  - Linux [4]

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

Motivation: Special-Purpose Systems

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

“Between a Rock and a Hard Place”

functional and nonfunctional *requirements*

tasks
sockets
file system
...
event latency
safety
...

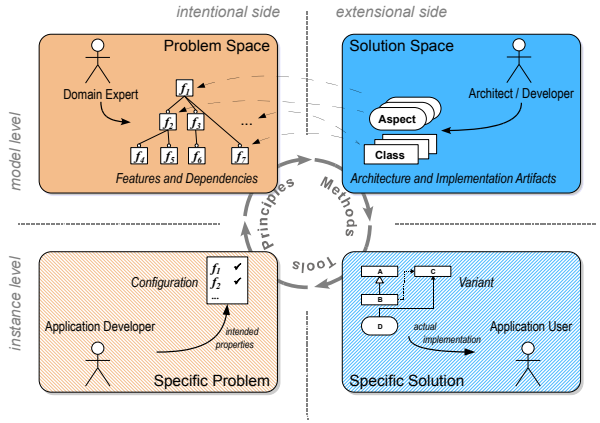
S y s t e m S o f t w a r e

ISA
IRQ handling
MMU / MPU
...
cache size
coherence
IRQ latency
...

functional and nonfunctional *properties*

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

Configurable Software ➟ Product Line



The State of the Art: eCos

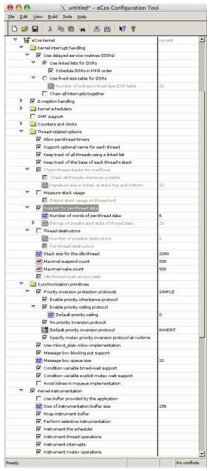
The **e**mbedded **C**onfigurable **OS**

- operating system for embedded applications
- open source, maintained by eCosCentric
- broadly accepted real-world system

More than **750** configuration options

- feature-based selection
- **preprocessor-based** implementation

➥ This has a **severe impact** on the code!



eCos – Implementation of Configurability

```
Cyg_Mutex::Cyg_Mutex() {
  CYG_REPORT_FUNCTION();
  locked       = false;
  owner        = NULL;
#if defined(CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT) && \
  defined(CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DYNAMIC)
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_INHERIT
  protocol     = INHERIT;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_CEILING
  protocol     = CEILING;
  ceiling      = CYGSEM_
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SY
  protocol     = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC a
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SY
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY
  // if there is a default priority ceiling defined, use that to initialize
  // the ceiling.
  ceiling = CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY;
#else
  // Otherwise set it to zero.
  ceiling = 0;
#endif
#endif
#endif // DYNAMIC and DEFAULT defined
  CYG_REPORT_RETURN();
}
```

```
Cyg_Mutex::Cyg_Mutex() {
  locked       = false;
  owner        = NULL;
}
```

Mutex options:

PROTOCOL

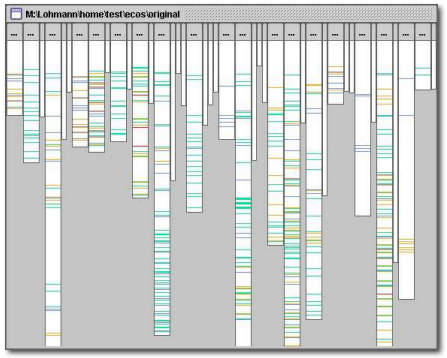
CEILING

INHERIT

DYNAMIC

Kernel policies: Tracing Instrumentation Synchronization

Issue: Crosscutting Concerns



Mutex options:

PROTOCOL

CEILING

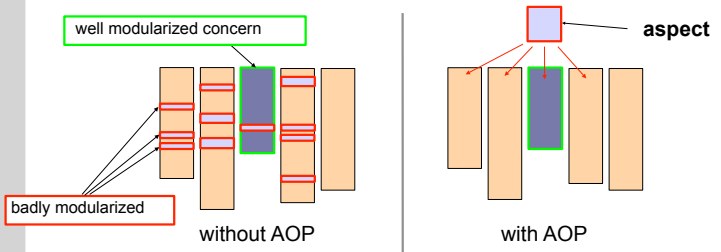
INHERIT

DYNAMIC

Kernel policies: Tracing Instrumentation Synchronization

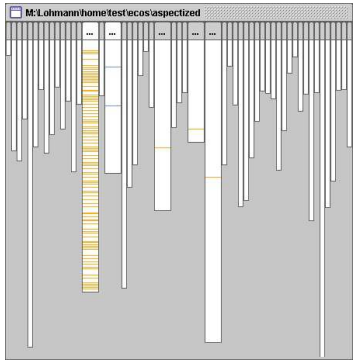
Solution Idea: Aspect-Oriented Programming

AOP provides language means to encapsulate crosscutting and scattered concerns



Qualitative Results: eCos → AspeCos

[EuroSys '06]



Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

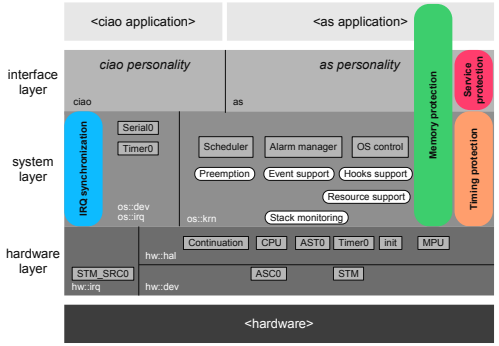
Example: Synchronization in AspeCos

```
aspect int_sync {

  pointcut sync() = execution(...) // kernel calls to sync
          || construction(...)
          || destruction(...);                                   where

  // advise kernel code to invoke lock() and unlock()
  advice sync() : before() {
    Cyg_Scheduler::lock();
  }
  advice sync() : after() {                                      what
    Cyg_Scheduler::unlock();
  }

  // In eCos, a new thread always starts with a lock value of 0
  advice execution(
  "%Cyg_HardwareThread::thread_entry(...)") : before() {
    Cyg_Scheduler::zero_sched_lock();
  }
  ...
};
```


CiAO – CiAO is Aspect-Oriented

A family of aspect-oriented operating systems [USENIX '09, AOSD '11]

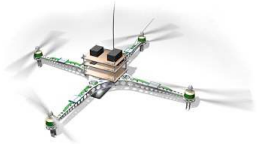
- AUTOSAR-OS–like functionality
- configurability of even fundamental system policies
- achieved by aspect-aware design



CiAO – CiAO is Aspect-Oriented

A family of aspect-oriented operating systems [USENIX '09, AOSD '11]

- AUTOSAR-OS–like functionality
- configurability of even fundamental system policies
- achieved by aspect-aware design



test scenario	CiAO	ProOSEK
(a) voluntary task switch	*160*	*218*
(b) forced task switch	*108*	*280*
(c) preemptive task switch	*192*	*274*
(d) system startup	*194*	*399*

Evaluation Case Study: CiAO-AS

CiAO

AUTOSAR

Specification of Operating System
V2.0.1

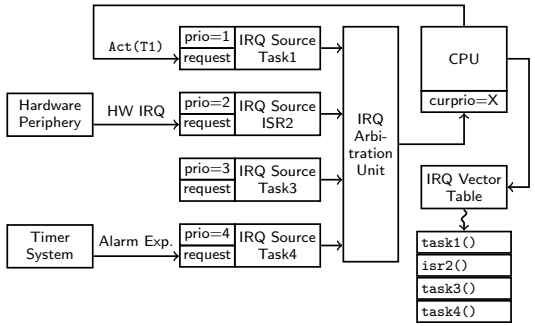
OS093: If interrupts are disabled and any OS services, excluding the interrupt services, are called outside of hook routines, then the Operating System shall return `E_OS_DISABLEDINT`

```
aspect DisabledIntCheck {
  advice call( pcOSServices() && !pcInterruptServices() )
  && !within( pcHookRoutines() ) : around() {
    if( interruptsDisabled() )
      *tjp->result() = E_OS_DISABLEDINT;
    else
      tjp->proceed();
} };
```


SLOTH: Threads as Interrupts

- **Idea: threads are interrupt handlers, synchronous thread activation is IRQ**
- Let interrupt subsystem do the scheduling and dispatching work
- Applicable to priority-based real-time systems
- Advantage: small, fast kernel with unified control-flow abstraction

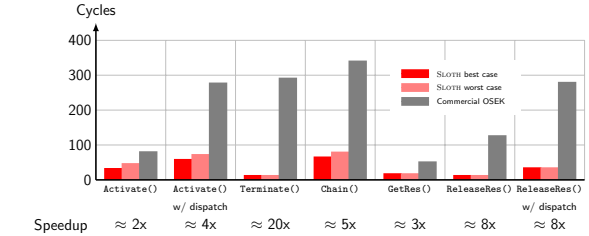
SLOTH Design

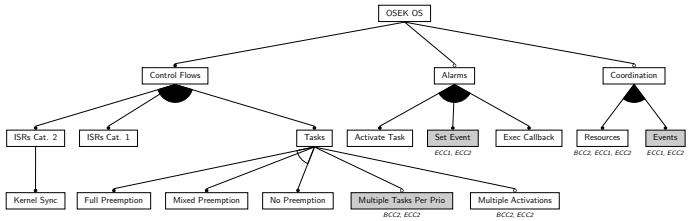


- Platform must support IR priorities and software IR triggering

SLOTH

[RTSS '09]

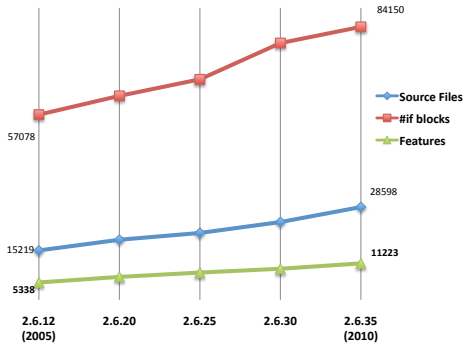




Configurability in the Large: Linux

More than **11,000** configuration options!

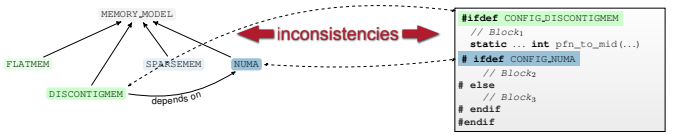
- 85,000 #ifdef blocks, sprinkled over 29,000 source files
- numbers have **doubled** within the last five years!



Configurability in the Large: Linux

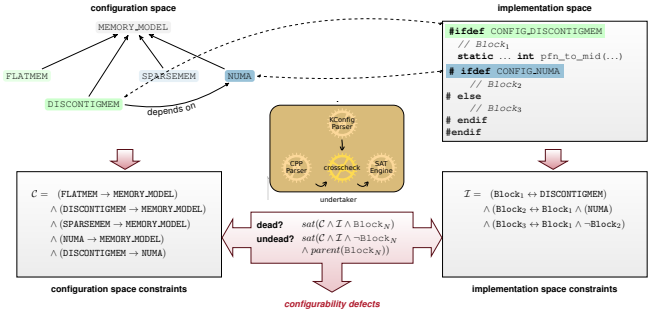
More than **11,000** configuration options!

- 85,000 #ifdef blocks, sprinkled over 29,000 source files
- numbers have **doubled** within the last five years!



The Undertaker

[EuroSys '11]



- found **1,776** defects (and that is just a lower bound!)
  - proposed fix for 364 (including 20 new bugs)
  - 123 patches submitted (49 merged into Linus-Tree)
  - removed 5,129 lines of *unnecessary* #ifdef-code
- tool suite now published as open-source project

AKSS: Rekonfigurierbare Systemsoftware

- Masterseminar *Ausgewählte Kapitel der Systemsoftware*
  - 4 SWS bzw. 5 ECTS
- Das Seminar beleuchtet das breite Spektrum dynamisch rekonfigurierbarer Systemsoftware:
  - Dynamisches Nachladen von Funktionalität, z. B. Kernel-Module
  - „Hot-Patching“: Code-Änderungen zur Laufzeit, z. B. Ksplice
  - Austauschen funktionaler Einheiten im laufenden Betrieb, „Operation am offenen Herzen“
- Aktuelle Forschungsarbeiten aus dem *Systems*-Bereich
- Themenliste demnächst[TM] online:
  `http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS14/MS_AKSS`

Examensarbeiten am LS4

Zur Zeit im Angebot:

- Bachelorarbeiten
- Masterarbeiten
- Projektarbeiten

http://www4.informatik.uni-erlangen.de/DE/Theses/

Das war's :-)

Das Lehrstuhl 4 BS-Team wünscht erfolgreiche und erholsame "Semesterferien"

. . . und ein Wiedersehen im Sommersemester 2013!

Referenzen

[1] Wanja Hofer, Daniel Lohmann, Fabian Scheler, et al. "Sloth: Threads as Interrupts". In: *Proceedings of the 30th IEEE International Symposium on Real-Time Systems (RTSS '09)*. (Washington, D.C., USA, Dec. 1–4, 2009). IEEE Computer Society Press, Dec. 2009, pp. 204–213. ISBN: 978-0-7695-3875-4. DOI: 10.1109/RTSS.2009.18.

[2] Daniel Lohmann, Wanja Hofer, Wolfgang Schröder-Preikschat, et al. "CiAO: An Aspect-Oriented Operating-System Family for Resource-Constrained Embedded Systems". In: *Proceedings of the 2009 USENIX Annual Technical Conference*. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, June 2009, pp. 215–228. ISBN: 978-1-931971-68-3. URL: http://www.usenix.org/event/usenix09/tech/full_papers/lohmann/lohmann.pdf.

[3] Daniel Lohmann, Fabian Scheler, Reinhard Tartler, et al. "A Quantitative Analysis of Aspects in the eCos Kernel". In: *Proceedings of the ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2006 (EuroSys '06)*. (Leuven, Belgium). Ed. by Yolande Berbers and Willy Zwaenepoel. New York, NY, USA: ACM Press, Apr. 2006, pp. 191–204. ISBN: 1-59593-322-0. DOI: 10.1145/1218063.1217954.

Referenzen (Forts.)

[BST] Wolfgang Schröder-Preikschat. *Betriebssystemtechnik*. Vorlesung mit Übung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4, 2013 (jährlich). URL: http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS13/V_BST.

[4] Reinhard Tartler, Daniel Lohmann, Julio Sincero, et al. "Feature Consistency in Compile-Time-Configurable System Software: Facing the Linux 10,000 Feature Problem". In: *Proceedings of the ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2011 (EuroSys '11)*. (Salzburg, Austria). Ed. by Christoph M. Kirsch and Gernot Heiser. New York, NY, USA: ACM Press, Apr. 2011, pp. 47–60. ISBN: 978-1-4503-0634-8. DOI: 10.1145/1966445.1966451.

[5] Linus Torvalds and David Diamond. *Just for Fun: The Story of an Accidental Revolutionary*. HarperCollins, 2001. ISBN: 978-0066620725.