Betriebssysteme (BS)

VL 13 – Zusammenfassung und Ausblick

Daniel Lohmann / **Volkmar Sieh**

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen Nürnberg

WS 16 – 2. Februar 2017

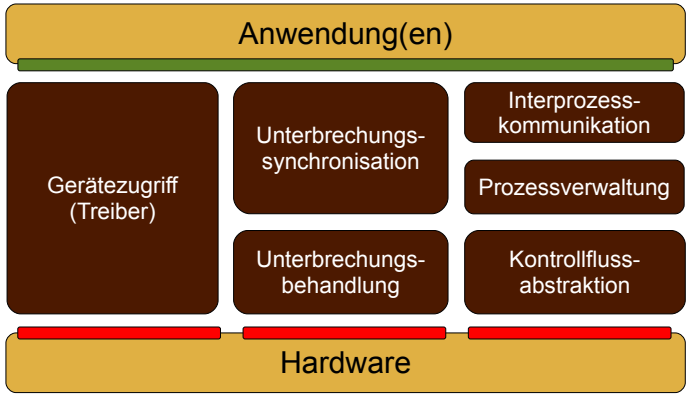
https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS16/V_BS

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	***Architekturen***
VL_{10}	***Fadensynchronisation***
VL_{11}	***Gerätetreiber***
VL_{12}	***IPC***
VL_{13}	***Ausblick***

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

1. Ein Streifzug durch die PC-Architektur

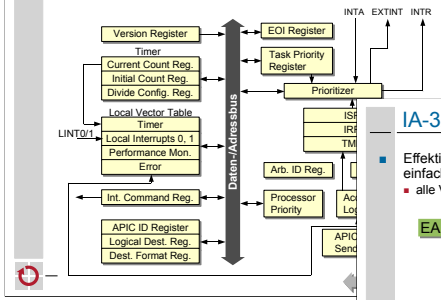
- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- VL_3 ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***
- VL_{11}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

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

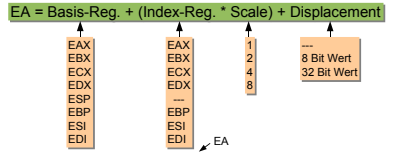
1. Ein Streifzug durch die PC-Architektur

Local APICs - Register



IA-32: Adressierungsarten

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



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

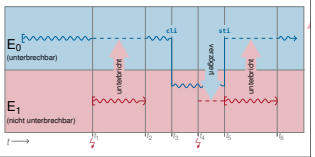
Was wir gemacht haben

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 brauchen wir zusätzliche **Mechanismen** zur **Fadensynchronisation**.

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

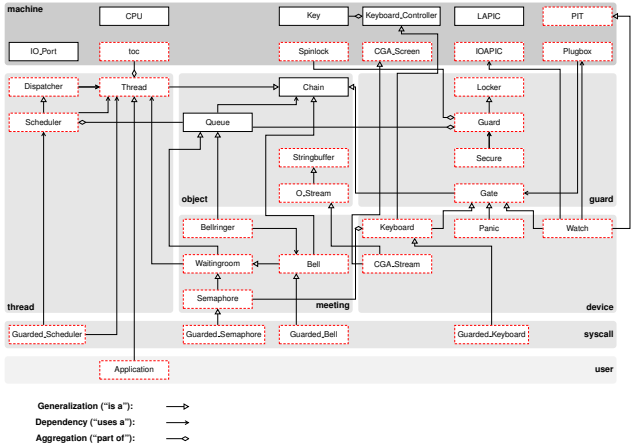
2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

- 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)*** → $Ü_3$ *IRQ-Synchronisation*
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden*** → $Ü_4$ *Fadenumschaltung*
- VL_8 ***Scheduling*** → $Ü_5$ *Zeitscheiben-Scheduling*
- VL_9 ***Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation*** → $Ü_6$ *Fadensynchronisation*
- VL_{11} ***Gerätetreiber***
- VL_{12} ***IPC***
- VL_{13} ***Ausblick*** → $Ü_7$ *"Eine Anwendung" (opt.)*

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen



dl/vs Betriebssysteme (VL 13 | WS 16) 13 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 13 – 4

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

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

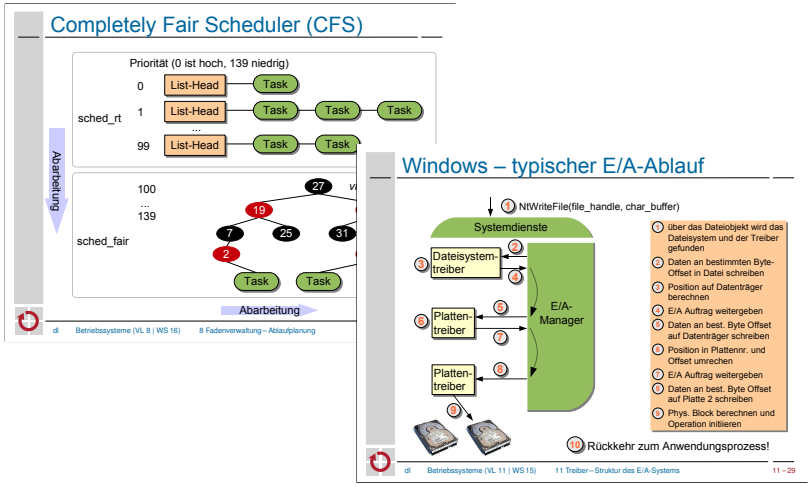
- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- VL_3 ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***
- VL_{11}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

dl/vs Betriebssysteme (VL 13 | WS 16) 13 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 13 – 4

Was wir gemacht haben

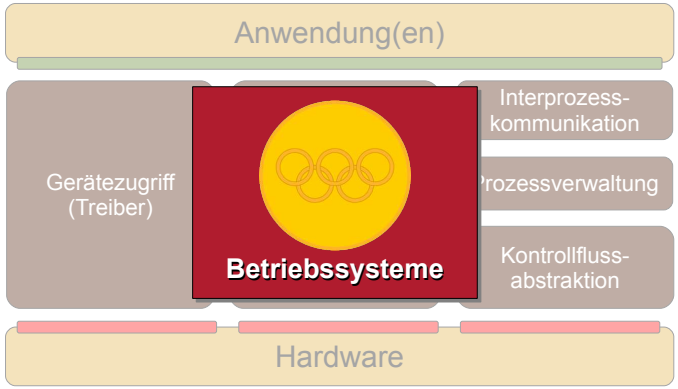
Drei inhaltliche Schwerpunkte!

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



dl/vs Betriebssysteme (VL 13 | WS 16) 13 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 13 – 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
- . . .

Realitätscheck: MPStuBS ↔ „richtiges BS“

Es fehlt noch eine ganze Menge!

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

Beispiel Linux [14]

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**

Betriebssysteme ↦ ausgeforscht?

„Systems Software Research is Irrelevant“ [9]

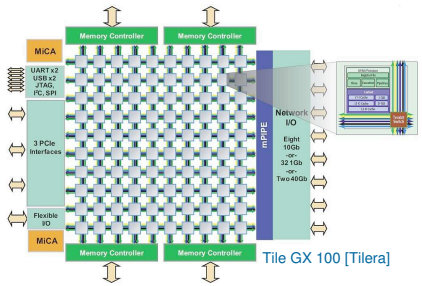
Urgestein Robert Pike (2000), einer der Entwickler von UNIX, Inferno [5], Plan 9 [10] und UTF-8 (zur Zeit bei Google beschäftigt):

- Where is the innovation? ⇝ Microsoft, mostly
- Every other „new” OS ends up being UNIX
- Linux? ⇝ Just another copy of the same old stuff
- . . .

New Operating Systems at SOSP [9]

Aber dann. . .

The Multicore Challenge!

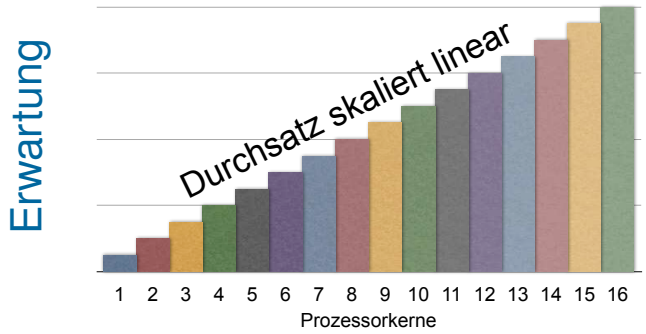


Tile GX 100 [Tilera]

Fallstudie: Dateideskriptortabelle in Linux

- Boyd-Wickizer u. a. (OSDI 2008) [2]
  - Linux 2.6.25 auf 16-Kern AMD Opteron, 1–16 Kerne in Gebrauch
  - Pro Kern ein Faden, der Dateideskriptoren anfordert und freigibt:
    `int f = open(...); while(1){ close( dup( f ) ); }`

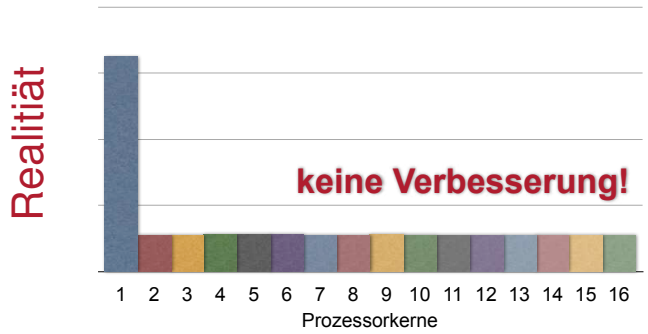
Dateideskriptortabelle: # dup/close pro Sekunde



Fallstudie: Dateideskriptortabelle in Linux

- Boyd-Wickizer u. a. (OSDI 2008) [2]
  - Linux 2.6.25 auf 16-Kern AMD Opteron, 1–16 Kerne in Gebrauch
  - Pro Kern ein Faden, der Dateideskriptoren anfordert und freigibt:
    `int f = open(...); while(1){ close( dup( f ) ); }`

Dateideskriptortabelle: # dup/close pro Sekunde

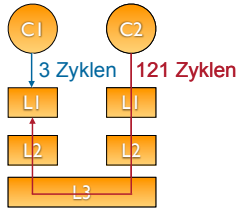


Fallstudie: Dateideskriptortabelle in Linux

- Boyd-Wickizer u. a. (OSDI 2008) [2]
  - Linux 2.6.25 auf 16-Kern AMD Opteron, 1–16 Kerne in Gebrauch
  - Pro Kern ein Faden, der Dateideskriptoren anfordert und freigibt:
    `int f = open(...); while(1){ close( dup( f ) ); }`
- Ergebnis: Schon ab **2 Kernen sinkt** der Gesamtdurchsatz
  1. Grobgranulares *Locking* ⇝ *false sharing* ⇝ keine Skalierbarkeit
  2. Geteilte Datenstruktur ⇝ *cache trashing* ⇝ Durchsatzabfall

```
fd_alloc () {
  lock(fd_table);
  fd = get_free_fd();
  set_fd_used(fd);
  fix_smallest_fd();
  unlock(fd_table);
}
```

1. false sharing



2. cache trashing

Fallstudie: Dateideskriptortabelle in Linux

- Boyd-Wickizer u. a. (OSDI 2008) [2]
  - Linux 2.6.25 auf 16-Kern AMD Opteron, 1–16 Kerne in Gebrauch
  - Pro Kern ein Faden, der Dateideskriptoren anfordert und freigibt:
    `int f = open(...); while(1){ close( dup( f ) ); }`
- Ergebnis: Schon ab **2 Kernen sinkt** der Gesamtdurchsatz
  1. Grobgranulares *Locking* ⇝ *false sharing* ⇝ keine Skalierbarkeit
  2. Geteilte Datenstruktur ⇝ *cache trashing* ⇝ Durchsatzabfall

Multicore: POSIX (↦ UNIX) considered harmful!

*„This problem is not specific to Linux, but is **due to POSIX semantics**, which require that a new file descriptor be visible to all of a process's threads even if only one thread uses it."* [2]

Folgerung: Wir brauchen neue Entwurfsansätze!

- Corey — MIT, OSDI 2008, Exokern-artig: [2]
  - *Sharing* unter die Kontrolle der Applikation stellen
  - Datenstrukturen (im Normalfall) nur von einem Kern aus bearbeiten
  - Anwendungen müssen angepasst werden
- Barrelfish — ETH/MSR, SOSP 2009, Mikrokern-artig: [1]
  - BS als verteiltes System von Kernen verstehen und organisieren
  - kein implizites *Sharing*, Kommunikation nur über Nachrichten
- Factored OS (fos) — MIT, 2009, Mikrokern-artig: [15]
  - BS für 100 bis 1000 Kerne ⇝ *time sharing* wird zu *space sharing*
  - Letztlich ähnlicher Ansatz wie Barrelfish
- TxOS — UT, SOSP 2009, Monolith (Linux): [11]
  - Konkurrenz zulassen durch *transactional syscalls* (statt *Locks*)
  - Anwendungen müssen angepasst werden

. . . oder doch nicht?

- Boyd-Wickizer u. a. (OSDI 2010) [3]
  - „An Analysis of Linux Scalability to Many Cores“
  - Skalierbarkeit von Linux 2.6.35-rc5 auf 48-Kern AMD Opteron
- Ansatz: *run* – *analyze* – *fix*
  - *run:* sieben „systemintensive” Anwendungen
    - Exim, memcached, Apache, PostgreSQL, gmake, Psearchy, MapReduce
  - *analyze:* gezielte Identifizierung von Flaschenhälsen
    - im Linux-Kern selber (16)
    - im Entwurf der Anwendung
    - durch die ungeschickte Verwendung der Systemschnittstelle
  - *fix:* Verbesserung, überwiegend durch Standardtechniken der parallelen Programmierung (⇝ [PFP])

. . . oder doch nicht?

- Clements u. a. (SOSP 2013) [4]
  - „The Scalable Commutativity Rule: Designing Scalable Software for Multicore Processors“
  - Skalierbarkeit von *Schnittstellen* theoretisch und praktisch untersucht anhand Kommutativität der (möglichen) Implementierung.
- Idee: Wenn Operationen kommutativ sind, können sie (im Prinzip) auch skalierbar implementiert werden.

. . . oder doch nicht?

Ergebnis: Alles nicht so schlimm. . .

„We find that we can remove most kernel bottlenecks that the applications stress by modifying the applications or kernel slightly. [. . .] the results suggest that ***traditional kernel designs may be compatible with achieving scalability*** *on multicore computers.”* [3]

„Finally, using sv6, we showed that it ***is practical to achieve a broadly scalable implementation of POSIX*** *by applying the rule, and that commutativity is essential to achieving scalability and performance on real hardware. ”* [4]

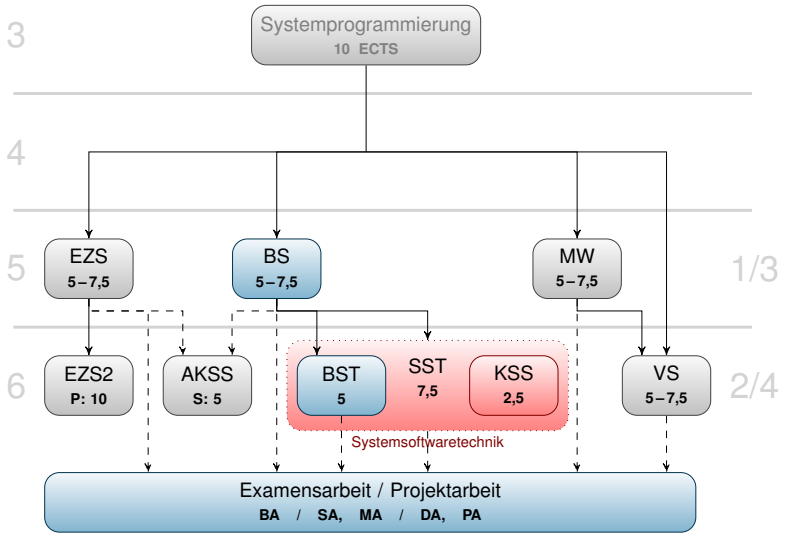
Fazit

Es bleibt spannend!

Systementwurf für Skalierbarkeit ⇝ [CS] (WS 2017).

Wie geht es weiter?

(Bachelor/Master)



Hinter der Kulisse: KSS in aller Kürze...

KSS ↦ Konfigurierbare Systemsoftware

- Softwaretechnik
  - Variabilität
  - Produktlinien
  - Aspektorientierung
  - Generatortechniken
- Betriebssysteme
  - eCos [8]
  - CiAO [7]
  - Sloth [6]
  - Linux [13]

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

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

Motivation: Special-Purpose Systems

“Between a Rock and a Hard Place”

functional and nonfunctional *requirements*

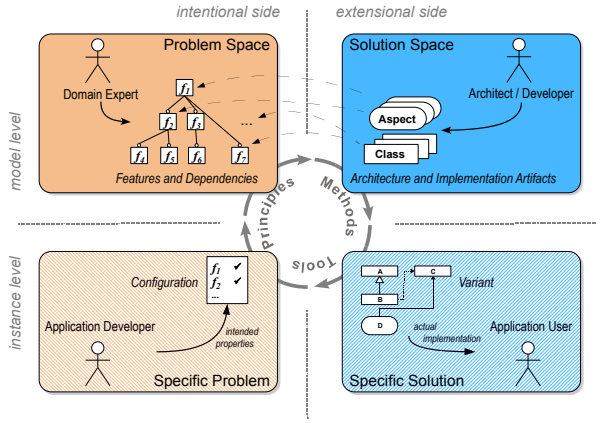
tasks
sockets
file system
...
event latency
safety
...

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*

Configurable Software ➟ Product Line



The State of the Art: eCos

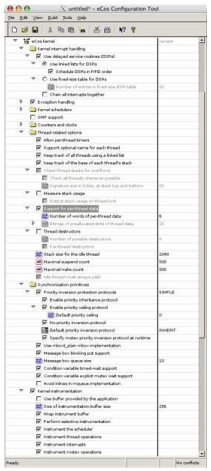
The **e**mbedded **C**onfigurable **OS**

- 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_                                  _PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SY                                  _DEFAULT_NONE
  protocol    = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC a                                  _CEILING
#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();
}
```

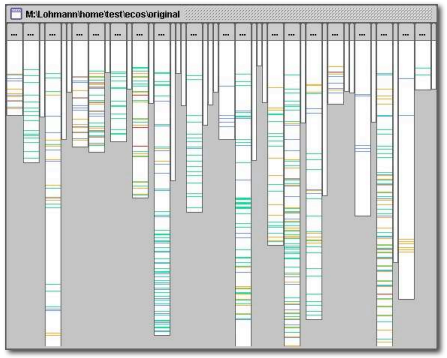
```
Cyg_Mutex::Cyg_Mutex() {
  locked      = false;
  owner       = NULL;
}
```

Mutex options:

PROTOCOL
CEILING
INHERIT
DYNAMIC

Kernel policies: Tracing Instrumentation Synchronization

Issue: Crosscutting Concerns



Mutex options:

PROTOCOL

CEILING

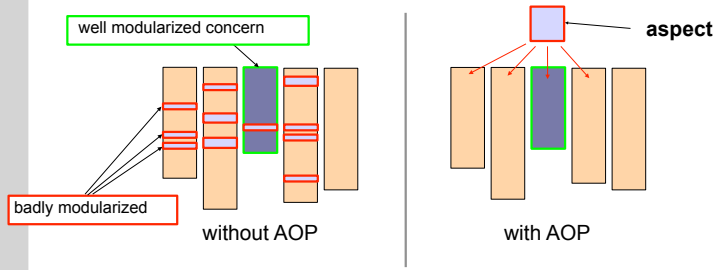
INHERIT

DYNAMIC

Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

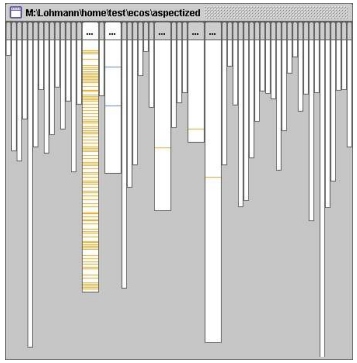
Solution Idea: Aspect-Oriented Programming

AOP provides language means to encapsulate crosscutting and scattered concerns



Qualitative Results: eCos → AspeCos

[EuroSys '06]

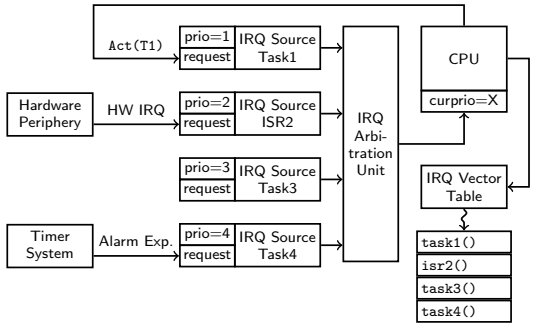


Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

Example: Synchronization in AspeCos

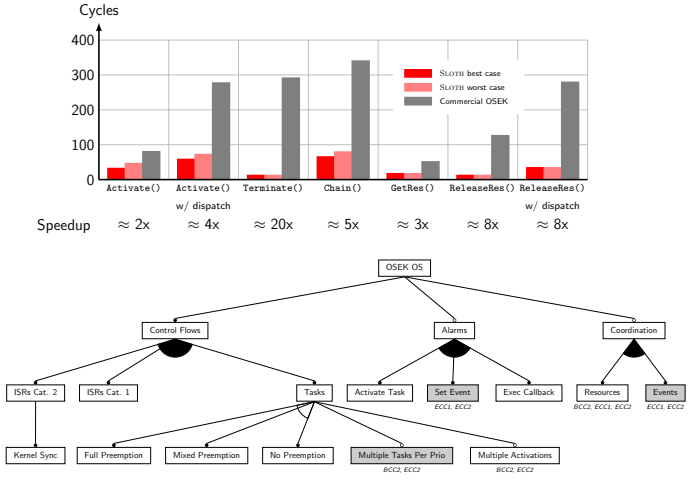
```
aspect int_sync {

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

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

SLOTH Design



- Platform must support IR priorities and software IR triggering

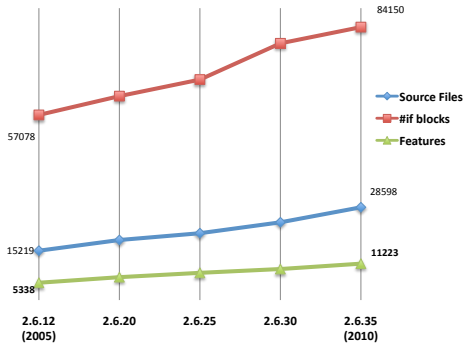
SLOTH [RTSS '09]



Configurability in the Large: Linux

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

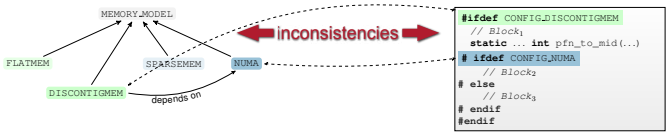
- 85,000 #ifdef blocks, sprinkled over 29,000 source files
- numbers have **doubled** within the last five years!



Configurability in the Large: Linux

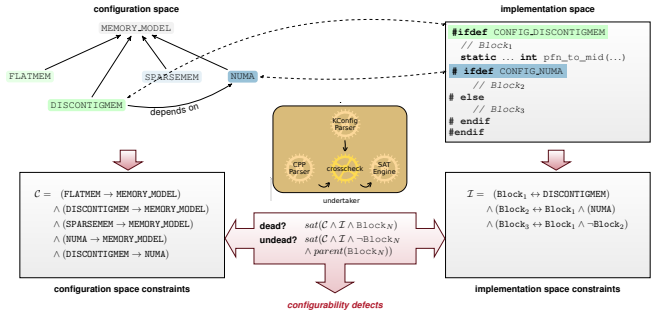
More than **11,000** configuration options!

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



Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

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

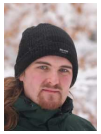
Das war's :-)

Das LS 4 BS-Team wünscht
erfolgreiche und erholsame
„Semesterferien"

. . . und ein Wiedersehen
im Sommersemester 2017!







Examensarbeiten am LS4

Zur Zeit im Angebot:

- Bachelorarbeiten
- Masterarbeiten
- Projektarbeiten

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

... oder persönlich nachfragen...!

Referenzen

[1] Andrew Baumann, Paul Barham, Pierre-Evariste Dagand u. a. „The multikernel: a new OS architecture for scalable multicore systems". In: *Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '09)*. (Big Sky, Montana, USA). New York, NY, USA: ACM Press, 2009, S. 29–44. ISBN: 978-1-60558-752-3. DOI: 10.1145/1629575.1629579.

[2] Silas Boyd-Wickizer, Haibo Chen, Rong Chen u. a. „Corey: An Operating System for Many Cores". In: *8th Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI '08)*. (San Diego, CA, USA). Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2008, S. 43–57.

[3] Silas Boyd-Wickizer, Austin T. Clements, Yandong Mao u. a. „An Analysis of Linux Scalability to Many Cores". In: *9th Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI '10)*. (Vancouver, Canada). Berkeley, CA, USA, 2010.

[4] Austin T. Clements, M. Frans Kaashoek, Nickolai Zeldovich u. a. „The Scalable Commutativity Rule: Designing Scalable Software for Multicore Processors". In: *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '13)*. (Farmington, PA, USA). New York, NY, USA: ACM Press, 2013, S. 1–17. ISBN: 978-1-4503-2388-8. DOI: 10.1145/2517349.2522712.

[5] Sean Dorward, Rob Pike, Dave Presotto u. a. „The Inferno Operating System". In: *Bell Labs Technical Journal* 2.1 (1997). URL: http://www.vitanuova.com/inferno/papers/bltj.html.

Referenzen (Forts.)

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

[7] Daniel Lohmann, Wanja Hofer, Wolfgang Schröder-Preikschat u. a. „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, Juni 2009, S. 215–228. ISBN: 978-1-931971-68-3.

[8] Daniel Lohmann, Fabian Scheler, Reinhard Tartler u. a. „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). Hrsg. von Yolande Berbers und Willy Zwaenepoel. New York, NY, USA: ACM Press, Apr. 2006, S. 191–204. ISBN: 1-59593-322-0. DOI: 10.1145/1218063.1217954.

[PFP] Norbert Oster. *Parallele und Funktionale Programmierung*. Vorlesung mit Übung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 2, 2015 (jährlich). URL: https://www2.cs.fau.de/teaching/SS2015/PFP/index.html.

Referenzen (Forts.)

[9] Rob Pike. *Systems Software Research is Irrelevant*. Talk. CS Colloquium, Columbia University. URL: http://herpolhode.com/rob/utah2000.pdf (besucht am 09. 12. 2010).

[10] Rob Pike, Dave Presotto, Sean Dorward u. a. „Plan 9 from Bell Labs“. In: *Computing Systems* 8.3 (1995), S. 221–254.

[11] Donald E. Porter, Owen S. Hofmann, Christopher J. Rossbach u. a. „Operating System Transactions“. In: *Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '09)*. (Big Sky, Montana, USA). New York, NY, USA: ACM Press, 2009, S. 161–176. ISBN: 978-1-60558-752-3. DOI: 10.1145/1629575.1629591.

[12] *Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '09)*. (Big Sky, Montana, USA). New York, NY, USA: ACM Press, 2009. ISBN: 978-1-60558-752-3.

[BST] Wolfgang Schröder-Preikschat. *Betriebssystemtechnik*. Vorlesung mit Übung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4, 2015 (jährlich). URL: https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS15/V_BST.

[CS] Wolfgang Schröder-Preikschat. *Concurrent Systems*. Vorlesung mit Übung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4, 2015 (jährlich). URL: https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS15/V_CS.

Referenzen (Forts.)

[13] Reinhard Tartler, Daniel Lohmann, Julio Sincero u. a. „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). Hrsg. von Christoph M. Kirsch und Gernot Heiser. New York, NY, USA: ACM Press, Apr. 2011, S. 47–60. ISBN: 978-1-4503-0634-8. DOI: 10.1145/1966445.1966451.

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

[15] David Wentzlaff und Anant Agarwal. „Factored operating systems (fos): the case for a scalable operating system for multicores“. In: *ACM SIGOPS Operating Systems Review* 43 (2 Apr. 2009), S. 76–85. ISSN: 0163-5980. DOI: 10.1145/1531793.1531805.