Betriebssystemtechnik

Operating System Engineering (OSE)

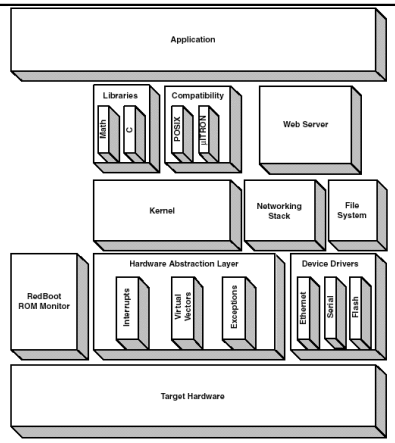
Stand der Kunst

eCos – eine Betriebssystemfamilie

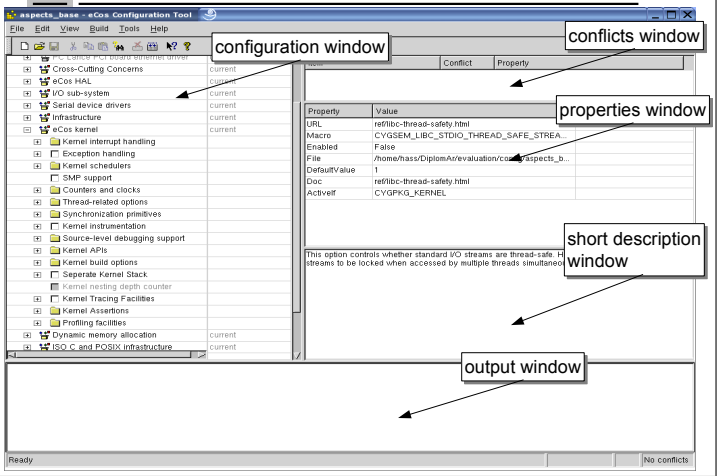
... dient hier als Beispiel für den Stand der Kunst

- Zieldomäne: eingebettete Systeme
- Ansatz: Ressourcen sparen durch statische anwendungsspezifische Konfigurierung
- Implementierungssprache: C und C++ (Kernel!)
- Lizenz: Open Source (früher Cygnus Solutions, heute RedHat)

eCos *building blocks*

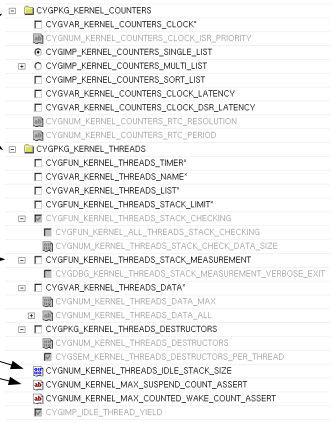


Konfigurationswerkzeug



Konfigurierungseinheiten

- Pakete
  - Quellcodebündel, oberste Konfigurierungsebene
- Komponenten
  - Logische Konfigurierungs-einheiten unterhalb der Packages (hierarchisch)
- Optionen
  - logisch
  - Integer Werte
  - Zeichenketten
  - Aufzählungstypen



Komponentenbeschreibung (1)

- in der *Component Description Language* verfasste Dateien beschreiben je ein Paket, seine Komponenten und dazugehörige Optionen:

```
cdl_package CYGPKG_INFRA {
    display       "Infrastructure"
    include_dir   cyg/infra
    description   "
        Common types and useful macros.
        Tracing and assertion facilities.
        Package startup options."
    compile startup.cxx prestart.cxx pkgstart.cxx userstart.cxx      \
            dummyxxmain.cxx null.cxx simple.cxx fancy.cxx buffer.cxx \
            diag.cxx tcdiag.cxx memcpy.c memset.c delete.cxx
}
```

über die Paketauswahl werden indirekt Dateien selektiert

Komponentenbeschreibung (2)

```
cdl_component CYGPKG_IO_SERIAL_POWERPC_COGENT_SERIAL_A {
    display       "Cogent PowerPC serial port A driver"
    flavor        bool
    default_value 0
    requires      (CYGIMP_KERNEL_INTERRUPTS_CHAIN || \
                   !CYGPKG_IO_SERIAL_POWERPC_COGENT_SERIAL_B)
    …
}
```

komplexe Abhängigkeiten können formuliert werden

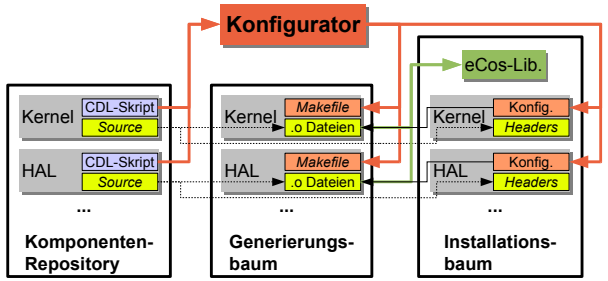
```
cdl_option CYGNUM_HAL_RTC_PERIOD {
    display       "Real-time clock period"
    flavor        data
    calculated    12500
}
```

Werte von Optionen können auch berechnet werden

```
cdl_option CYGNUM_LIBC_TIME_STD_DEFAULT_OFFSET {
    display       "Default Standard Time offset"
    flavor        data
    legal_values  -- -90000 to 90000
    default_value -- 0
    description   "
        This option controls ..."
}
```

Wertebereich und Default-Werte können festgelegt werden.

Systemgenerierungsprozess



- Generierte Makefiles stellen sicher, dass die gewählten Dateien übersetzt werden.
- Optionen werden als C-Makros in Konfigurationsdateien geschrieben und bei der Übersetzung berücksichtigt.

Komponentenkonfigurierung

```
#include <pkgconf/kernel.h>
#include <cyg/infra/cyg_trac.h>

void some_func() {
  CYG_REPORT_FUNCTION();
  ...
#ifdef SOME_OPTION
  ...
#endif
  ...
  CYG_REPORT_RETURN();
}
```

```
#define SOME_OPTION
// #define TRACE_KERNEL
```

```
#include <pkgconf/kernel.h>
#ifdef TRACE_KERNEL
#define CYG_REPORT_RETURN() \
  ...
#else // leer!
#define CYG_REPORT_RETURN()
#endif
```

- Berücksichtigung der Konfiguration erfolgt über bedingte Übersetzung (#ifdef)
- Konfigurierbare quer schneidende Belange werden über Makros realisiert, um #ifdefs zu reduzieren

Eine Beispielkomponente

27 Zeilen Quelltext

```
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_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRI;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_NONE
    protocol = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC and DEFAULT defined)
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_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
    ceiling = 0; // Otherwise set it to zero.
#endif
#endif
#endif // DYNAMIC and DEFAULT defined
    CYG_REPORT_RETURN();
}
```

Eine Beispielkomponente

2 Zeilen für die **Kontrollflussverfolgung**

```
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_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRI;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_NONE
    protocol = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC and DEFAULT defined)
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_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
    ceiling = 0; // Otherwise set it to zero.
#endif
#endif
#endif // DYNAMIC and DEFAULT defined
    CYG_REPORT_RETURN();
}
```

Eine Beispielkomponente

21 (unleserliche) Zeilen für **optionale Merkmale**

```
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_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRI;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_NONE
    protocol = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC and DEFAULT defined)
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_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
    ceiling = 0; // Otherwise set it to zero.
#endif
#endif
#endif // DYNAMIC and DEFAULT defined
    CYG_REPORT_RETURN();
}
```

Eine Beispielkomponente

```
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_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRI;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_NONE
    protocol = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC and DEFAULT defined)
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_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
    ceiling = 0; // Otherwise set it to zero.
#endif
#endif
#endif // DYNAMIC and DEFAULT defined
    CYG_REPORT_RETURN();
}
```

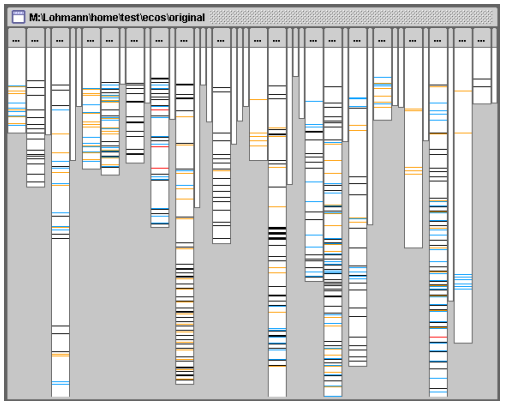
4 Zeilen für die **eigentliche Implementierung**

Quer schneidende Belange

synchronization

instrumentation

tracing



Anteil quer schneidender Belange

- Untersucht wurden in C++ implementierte Pakete
  - Kernel
  - libc
  - Memory Management
  - Wallclock/Watchdog
  - POSIX/µITRON

	Kernel		Memory Management		Gesamt	
LOC	5205	100,00%	2813	100,00%	16535	100,00%
Tracing	336	6,46%	66	2,35%	938	5,67%
Assertions	384	7,38%	151	5,37%	793	4,80%
Profiling	319	6,13%	0	0,00%	319	1,93%
Locking	186	3,57%	40	1,42%	300	1,81%
Gesamt	1225	23,54%	257	9,14%	2350	14,21%

Konfigurationsoptionen

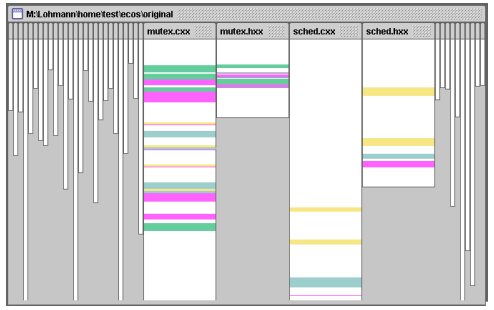
Varianten des Protokolls zur Vermeidung der Prioritätsumkehr bei *Mutex*-Verwendung

simple

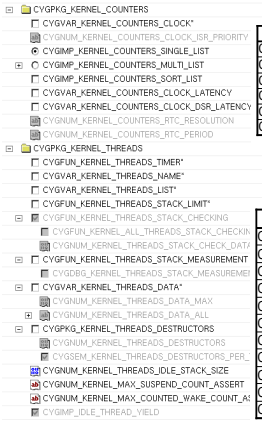
ceiling

inheritance

dynamic



Variationspunkte pro Option



Option	#
CYG_VAR_KERNEL_COUNTERS_CLOCK	42
CYG_VAR_KERNEL_COUNTERS_SINGLE_LIST	7
CYG_VAR_KERNEL_COUNTERS_MULTI_LIST	7
CYG_VAR_KERNEL_COUNTERS_SORT_LIST	2
CYG_VAR_KERNEL_COUNTERS_CLOCK_LATENCY	20
CYG_VAR_KERNEL_COUNTERS_CLOCK_DSR_LATENCY	3

Option	#
CYGFUN_KERNEL_THREADS_TIMER	95
CYGVAR_KERNEL_THREADS_NAME	15
CYGVAR_KERNEL_THREADS_LIST	10
CYGFUN_KERNEL_THREADS_STACK_LIMIT	9
CYGFUN_KERNEL_THREADS_STACK_CHECKING	10
CYGFUN_KERNEL_ALL_THREADS_STACK_CHECKING	1
CYGFUN_KERNEL_THREADS_STACK_MEASUREMENT	10
CYGFUN_KERNEL_THREADS_STACK_MEASUREMENT_	2
CYGVAR_KERNEL_THREADS_DATA	8
CYGVAR_KERNEL_THREADS_DESTRUCTORS	6
CYGVAR_KERNEL_THREADS_DESTRUCTORS_PER_...	13

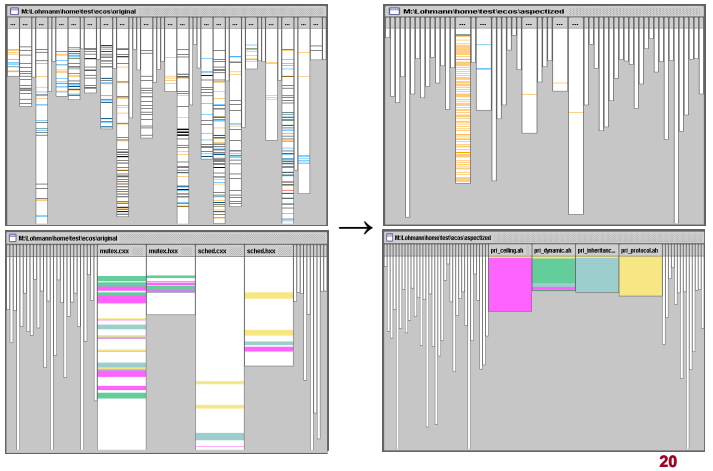
Zusammenfassung

- eCos ist ein modernes konfigurierbares Betriebssystem
- einfache Konfigurierung durch GUI Unterstützung
  - die CDL ist eine mächtige Sprache
    - Festlegung von Abhängigkeiten zwischen Komponenten
    - Typisierte und berechnete Werte für Optionen
- **Mängel** (im Hinblick auf die Umsetzung einer Produktlinie)
  - Klassische Umsetzung der Konfigurierungsentscheidungen in den Komponenten mit Hilfe von #ifdef und Makros
    - Schutz vor ungewollten Ersetzungen nur durch strikte Namenskonvention
  - mangelnde Trennung der Belange
    - viel Konfigurierungswissen ist im Quellcode verankert
    - quer schneidende Belange blähen die Funktionen auf
    - bedingte Übersetzung macht den Code schwer verständlich, zu warten und wiederzuverwenden

Epilog: eine vergleichende Studie [2]

- **Vergleich: *original Kernel* → *Kernel mit Aspekten***
  - **3 quer schneidende Belange**
    - *interrupt synchronization* 187 Aufrufe → 160 Code *Joinpoints*
    - *kernel instrumentation* 162 Aufrufe → 139 Code *Joinpoints*
    - *tracing* 336 Aufrufe → 632 Code *Joinpoints*
  - **12 Konfigurationsoptionen**
    - *Mutex* Optionen
    - *Thread* Optionen
- betrachtete Eigenschaften
  - *scattering*, Performanz, Speicherplatzverbrauch

original Kernel ***Kernel mit Aspekten***



Ausblick

- Untersuchung verschiedener Techniken zur Umsetzung von Variabilität in der Implementierung der Komponenten
  - werkzeugbasierte Lösungen
    - pure::variants als Beispiel eines Variantenmanagement Systems
    - XVCL als Beispiel für eine besser geeignete Präprozessorlösung
  - programmiersprachenbasierte Lösungen
    - Aspekte
    - Objekte
    - *Templates*
    - *Mixin Layers*

Literatur

[1] A. J. Massa. *Embedded Software Development with eCos*. Prentice Hall, 2003, ISBN 0-13-035473-2.

[2] D. Lohmann, F. Scheler, R. Tartler, O. Spinczyk, and W. Schröder-Preikschat. *A quantitative analysis of aspects in the eCos kernel*. In *EuroSys'06*, pages 191-204. ACM Press, April 2006.