EZStubs Entwicklungsumgebung

Einführung

Peter Ulbrich, Martin Hoffmann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
www4.informatik.uni-erlangen.de

25. Oktober 2010

Intention

- Familie von Echtzeitbetriebssystemen
- etwas komplexere Klassenhierarchie
  - trotzdem: Fokus eher auf Verständlichkeit denn auf Effizienz
- Entwickelt für diese Übungen
- Verfügbar für
  - Lego RCX (H8/3297)
  - Gameboy Advance (ARM7)
  - Nintendo DS Lite (ARM9)
- Implementierung hat noch die ein oder andere Schwäche

Hinweis

ergänzende Informationen findet man hier:

`http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/WS10/V_EZS/Uebung/`

Initialisierung des SVN-Repositories

1. Das Repository auschecken:

```
faui48a:~> svn co https://www4.informatik.uni-erlangen.de:8088/i4ezs/gruppe0/ ezstubs
A ezstubs/branches
A ezstubs/tags
...
Checked out revision 1.
```

2. In das Verzeichnis `ezstubs/trunk/aufgabe1` (Ü) bzw. `ezstubs/branches/time_triggered` (EÜ) wechseln

```
faui48a:~> cd ezstubs/trunk/aufgabe1/
faui48a:~/ezstubs/trunk/aufgabe1>
```

3. Die Datei `gu_vorgabe_1.tar.gz` (Ü) bzw. `vorgabe_1.tar.gz` (EÜ) entpacken:

```
faui48a:~/ezstubs/trunk/aufgabe1> tar xzf gu_vorgabe1.tar.gz
```

Initialisierung des SVN-Repositories (Forts.)

4. Dateien dem Repository hinzufügen:

```
faui48a:~/ezstubs/trunk/aufgabe1> svn status .
? debug/arch_testing.h
...
faui48a:~/ezstubs/trunk/aufgabe1> svn add ...
A debug/arch_testing.h
...
faui48a:~/ezstubs/trunk/aufgabe1> svn commit . -m 'Dateien aus vorgabe_1.tar.gz'
Adding debug/arch_testing.h
...
Transmitting file data ..............
Committed revision 2.
faui48a:~/ezstubs/trunk/aufgabe1>
```

Hinweis

Detaillierte Informationen zum Umgang mit SVN findet man unter:

`http://svnbook.red-bean.com/`

Das Verzeichnis `ezstubs` enthält folgende Unterverzeichnisse:

Name	Beschreibung
`debug`	Bibliothek zum Schreiben von Testfällen. Enthält z.B. Makros und Funktionen zum gezielten Auslösen von Unterbrechungen, zur Zeitmessung oder um eine bestimmte Zeitspanne zu warten.
`devices`	Gerätetreiber. Hier finden sich alle Gerätetreiber, sowohl abstrakte Geräte, die eine einheitliche Schnittstelle zur Anwendung ermöglichen, als auch die Abbildung von real existierender Peripherie auf Software-Konstrukte.
`gen`	In diesem Verzeichnis landet alles, was in durch einen Aufruf von make erzeugt wird - Objektdateien, Doxygen-Dokumentation ...
`infra`	Typdefinitionen für EZStubs und andere kleine Helfer, die in den Implementierungsdateien von EZStubs verwendet werden, sich aber nicht sinnvoll zu anderen Modulen zuordnen lassen.
`interrupt`	Unterbrechungsbehandlung und Unterbrechungssynchronisation.
`make`	Alles was nötig ist, um EZStubs zu bauen.
`object`	Eine kleine Hilfsbiblothek für EZStubs, enthält z.B. eine verkettete Liste.
`shutdown`	Alles was EZStubs herunterfährt.
`startup`	Alles was EZStubs zum starten benötigt.
`tests`	Testfälle
`thread`	Der Thread-Abstraction-Layer. Hier findet man die Fadenimplementierung, den Dispatcher, den Scheduler ...

Pfade in den Makefiles überprüfen/anpassen

In den Makefiles müssen drei Pfade korrekt gesetzt sein. Die passenden Werte für den CIP-Pool sind:

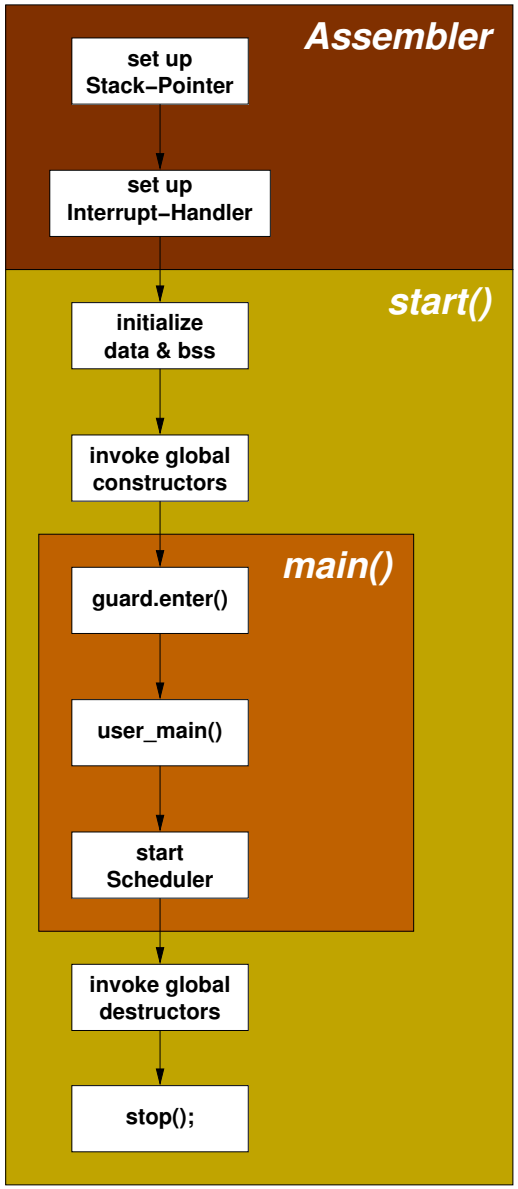
Dateiname	**Variable**	**Wert**
`make/variables_arm.mk`	`TOOL_PATH`	`/proj/i4ezs/tools/gnuarm`
`make/variables_arm_nds.mk`	`GBA_DIR`	`/proj/i4ezs/tools/GBA`
`make/variables_arm_nds.mk`	`DESMUME_DIR`	`/proj/i4ezs/tools/desmume`

EZStubs administrative Targets

Das EZStubs-Makefile implementiert folgende administrative Targets:

Target	**Beschreibung**
`help`	Gibt die verfügbaren Make-Targets zusammen mit einer Erläuterung auf der Konsole aus (entspricht in etwa dieser Tabelle).
`all`	Übersetzt den Quelltext von EZStubs und erzeugt die EZStubs-Bibliothek.
`abgabe`	Eine Aufgabe abgeben - die Aufgabe wird durch die Variable `EXERCISE = aufgabex`, x = 1,2,3,4,5 bestimmt.
`doxygen`	Erzeugt die HTML-Quelltext-Dokumentation.
`showtests`	Zeigt die verfügbaren Testfälle an.
`buildtests`	Übersetzt und bindet alle verfügbaren Testfälle.

Startup



1. SP Register initialisieren:
   - Interrupt Stack & System Stack
   - Startup: nutzt den Interrupt Stack
2. bss & data initialisieren
   - bss mit 0 beschreiben
   - initialisierte Variablen kopieren
3. globale Konstruktoren ausführen
4. kritischen Abschnitt betreten
5. benutzerdefinierte main-Funktion
6. Scheduler starten
7. globale Destruktoren ausführen
8. Ende (z.B. warten oder reset)

Allgemein

Der Scheduler ...

- verwaltet das Betriebsmittel CPU
- kann verschiedene Strategien bzw. Verfahren verwenden
  - zeit-/ereignisgesteuert
  - deterministisch/probabilistisch
  - ...
- muss vom System aktiviert werden (sog. Points of Rescheduling)
  - diese entscheiden über die Verdrängbarkeit von Fäden
- hat (in EZStubs) zwei verschiedene Schnittstellen
  - Benutzerschnittstelle
  - Systemschnittstelle

Benutzerschnittstelle

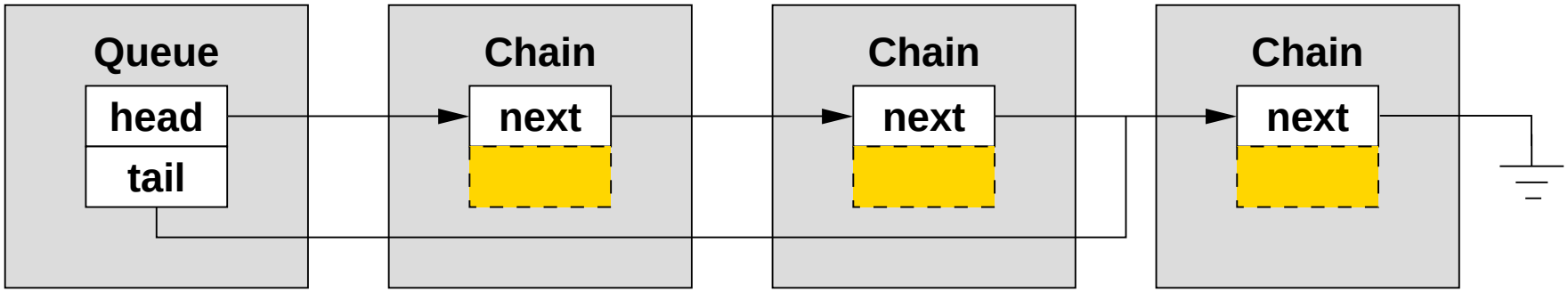
- hängt von der konkreten Implementierung des Schedulers ab
- z.B. `Schedule_Table_Scheduler`
  - Ablauftabelle setzen
  - Ablauftabelle wechseln
- z.B. `Multilevel_Queue_Scheduler`
  - Faden aktivieren
  - Faden beenden
  - Kontrolle über den Prozessor abgeben
  - ...

Hinweis

Die Systemschnittstelle ist Thema in Aufgabe 1

Warum Unterbrechungssynchronisation?

- Unterbrechungen (nicht Traps!)
  - treten asynchron auf
  - sind nicht vorhersagbar in Häufigkeit und Zeitpunkt
- Problem: Wie soll der Zugriff auf gemeinsame Daten stattfinden?
- Beispiel: verkettete Liste:



Verkettete Liste

Klasse `Chain`, Klasse `Queue`

```
class Chain {
public:
  Chain* next;
};

class Queue {
protected:
  Chain* head;
  Chain** tail;
public:
  Queue() { head = 0;
            tail = &head; }
  void enq(Chain* item);
  Chain* deq();
};
```

Implementierung

```
void Queue::enq(Chain* item) {
 item->next = 0;
 *tail = item;
 tail = &(item->next);
}
Chain* Queue::deq() {
  Chain* item;
  item = head;
  if(item) {
    head = item->next;
    if(!head) tail = &head;
    else item->next = 0;
  }
  return item;
}
```

Verkettete Liste - `enqueue()` überlappt `enqueue()`

unterbrochenes Programm

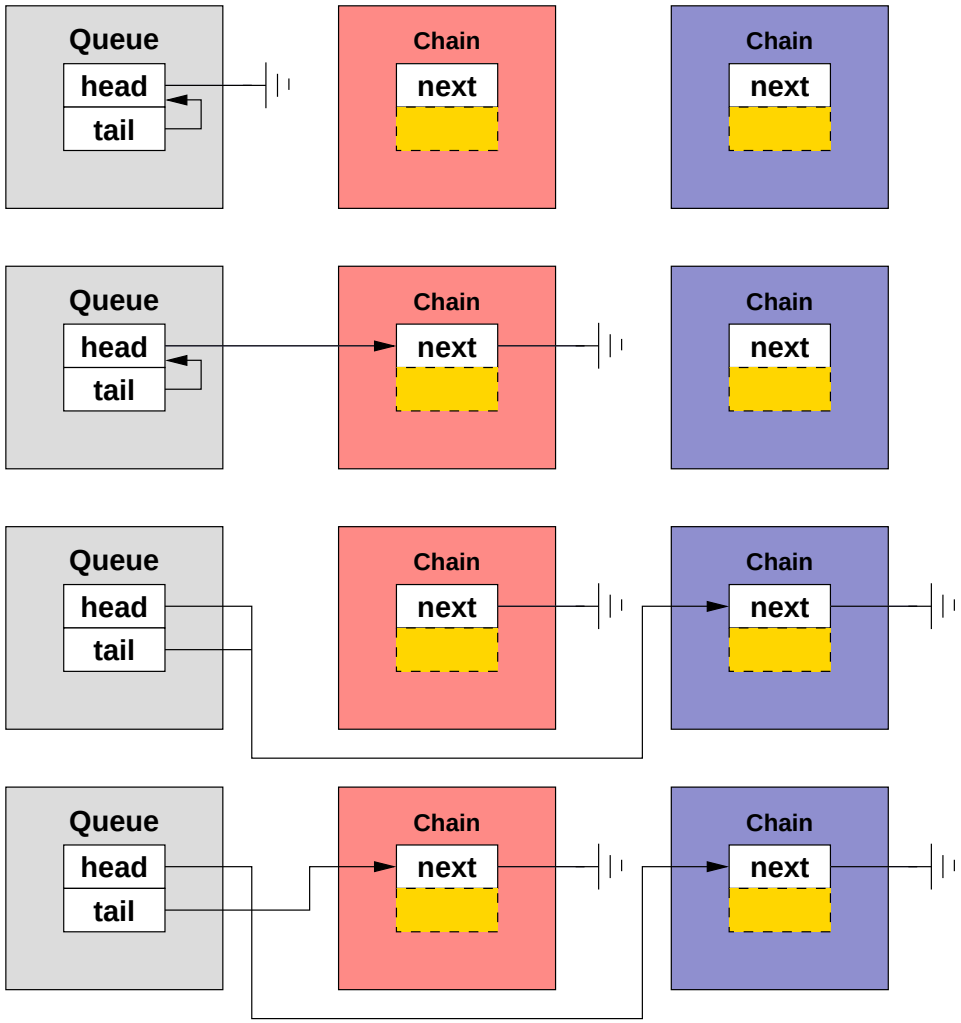
```
item->next = 0;
*tail = item;
```

Unterbrechung

```
tail = &(item->next);
```

Unterbrechungs-behandlung

```
item->next = 0;
*tail = item;
tail = &(item->next);
```



ISR-/DSR-Synchronisation

- Lösung: Aufteilung der Unterbrechungsbehandlung
- ISR (Interrupt Service Routine)
  - werden asynchron zum Programm ausgeführt
  - dürfen keine gemeinsamen Datenstrukturen modifizieren
  - können die Ausführung einer DSR anfordern
- DSR (Deferred Service Routine)
  - werden synchron zum Programm ausgeführt
  - dürfen gemeinsame Datenstrukturen modifizieren
- Ausführung der DSRs kann verhindert/verzögert werden

Unterbrechungsbehandlung

- Klasse `Gate`: Grundlage für die Implementierung

Klasse `Gate`

```
class Gate {
public:
  // ISR
  // Rueckgabewert true: fuehre DSR aus
  // Rueckgabewert false: fuehre DSR nicht aus
  virtual bool isr() = 0;
  // DSR
  virtual void dsr() = 0;
  // Setze Interrupt-Quelle zurueck
  virtual void acknowledge() = 0;
};
```

Synchronisation

- Klasse `Guard` sichert kritische Abschnitte

Klasse `Guard`

```
class Guard {
public:
  // Aufrufe von enter() und leave() muessen
  // immer paarweise erfolgen

  // Betrete einen kritischen Abschnitt
  // unterbinde Ausfuehrung von DSRs
  void enter();
  // Verlasse einen kritischen Abschnitt
  // Fuehre anstehende DSRs aus
  void leave();
}
```

Synchronisation - Scoped Locking

Klasse `Secure`

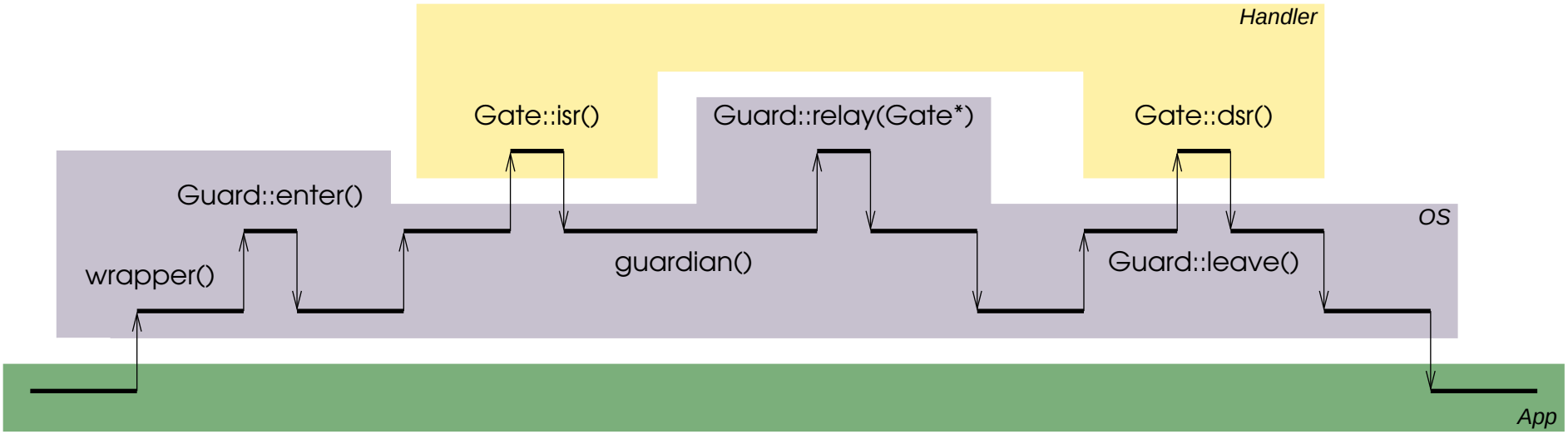
```
class Secure {
public:
  Secure() { guard.enter(); }
  ~Secure() { guard.leave(); }
};
```

Verwendung

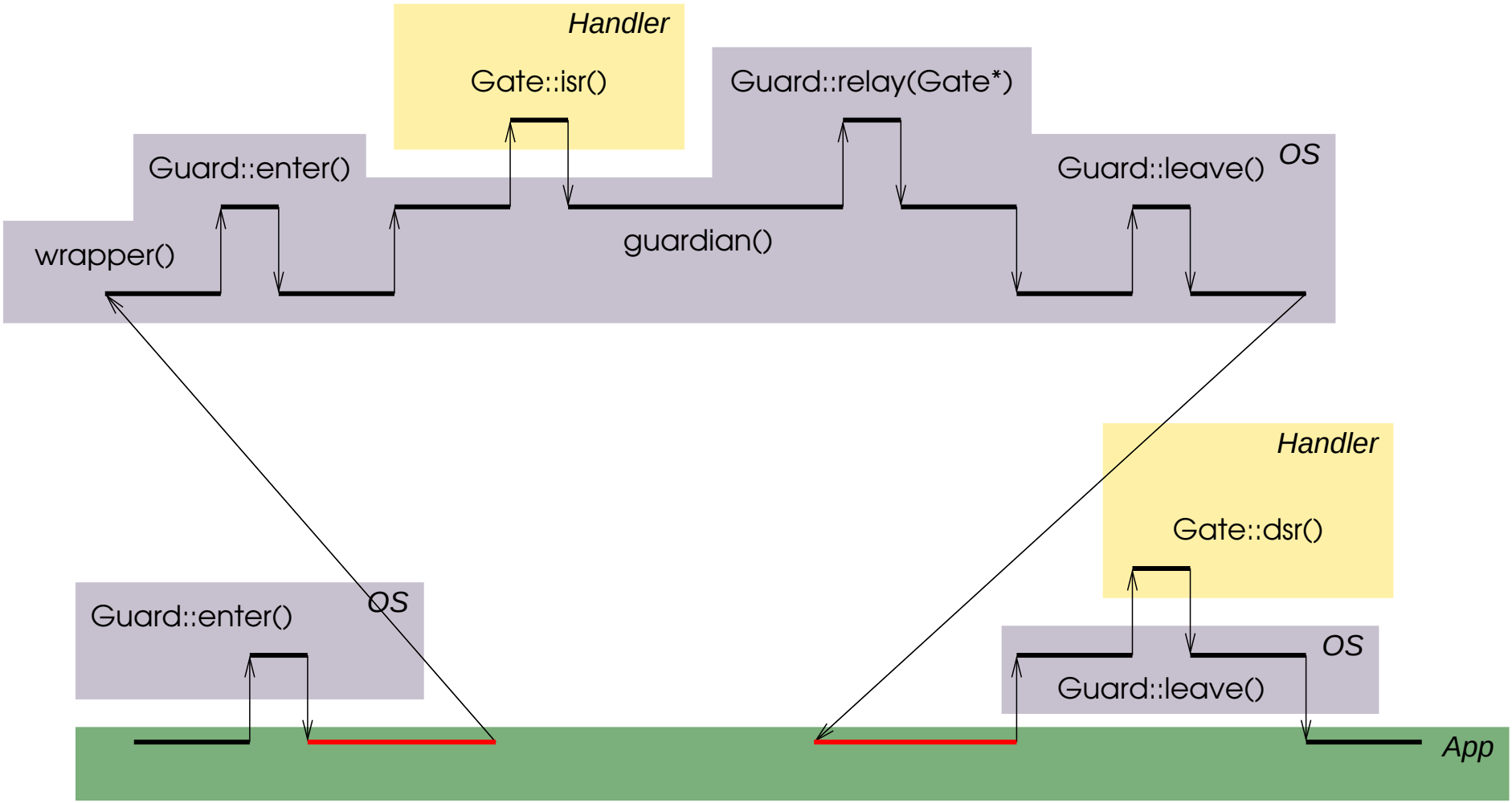
```
void do_something_crititical() {
  Secure secure;

  // do critical stuff ...
}
```

Unterbrechung - Ablauf



Unterbrechung - Ablauf (secured)



Warum? Wie? Wann? Wo?

- Funktioniert das Programm?
  - Testen ...
  - andere Verifikationsmethoden (formal, ...)
- Testfälle sind einfach!
  - feingranular
  - testen nur eine Funktion
- eure Testfälle unterstützen den Entwickler
  - stehen bald zur Verfügung
  - sind hierarchisch strukturiert
- unsere Testfälle sind *Abnahmetests*
  - Testen das *fertige Produkt*
  - sind u.U. relativ komplex

Was ist ein Testfall?

Ein Testfall . . .

- . . . ist eine kleine Anwendung für das EZStubs-Betriebssystem
- . . . ist eine Ansammlung von Funktionen, die vom Betriebssystem aufgerufen werden:
  - die Methode `void action()` eines Fadens
  - die Methoden `bool isr()` und `void dsr()` einer Unterbrechungsbehandlung
  - Callback-Funktionen von Alarmen
- . . . beginnt immer in der Funktion `user_main()`

Beispiel

```
// evtl. benoetigte Header werden eingebunden
#include "thread/guarded_scheduler.h"
#include "thread/thread.h"
#include "debug/testing.h"
#include "thread/schedule_table.h"

// Aufzeichnung des Verlaufs wird initialisiert
char test_sequence[4];
const char* right_sequence = "aba";
volatile int counter = 0;
...
```

Beispiel (Forts.)

```
...
// Fadenimplementierung fuer den Testfall, enthaelt
// die Anwendungslogik des Testfalls
class MyThread : public Thread
{
private:
    char thread_char;
public:
    MyThread(char c) : thread_char(c) {};
    void action()
    {
        test_sequence[counter++] = thread_char;
        scheduler.exit();
    };
};
...
```

Beispiel (Forts.)

```
...
// der Checker_Thread ueberprueft abschliessend die Sequenz
class CheckerThread : public Thread
{
public:
    CheckerThread()  {};
    void action()
    {
        if(!check_sequence(right_sequence, test_sequence))
        {
            Panic("Test failed!");
        }
        else
        {
            TestOK("Test successful!");
        }
        scheduler.exit();
    };
};
...
```

Beispiel (Forts.)

```
...
// Stack allokieren, Ablauftabelle und Faeden anlegen
static unsigned int stack[256];
Schedule_Table<4> table(&stack[256], 100000);
MyThread T1('a');
MyThread T2('b');
CheckerThread Tchecker;

// Faeden hinzufuegen, Tabelle uebergeben und Scheduler starten
void user_main()
{
    init_sequence(right_sequence, test_sequence);

    table.add(0,    &T1);
    table.add(1000, &T2);
    table.add(2000, &T1);
    table.add(3000, &Tchecker);

    scheduler.set_schedule_table(&table);
}
```

Wann ist ein Test erfolgreich?

- Testfall erfolgreich: `TestOK("Message");`
  - alle API-Aufrufe haben sich wie erwartet Verhalten (Seiteneffekte, Rückgabewerte, ...).
  - bei mehrfädigen Testfällen entspricht der tatsächliche dem vorgesehenen Ablauf.

- Testfall fehlgeschlagen: `Panic("Message");`
  - falscher Rückgabewert
  - fehlender oder nicht-erwarteter Seiteneffekt
  - falscher Verlauf des Testfalls

Verlauf protokollieren

- Idee: Vergleiche Sollsequenz gegen eine aufgezeichnete Sequenz
- Aufzeichnen der Sequenz:

```
const char* right_sequence = "abcd"; // Sollsequenz
      char  sequence[4];             // aufgezeichnete Sequenz
volatile int counter = 0;            // wohin kommt der Buchstabe
                                     // in der Sequenz


...
sequence[counter++] = 'a';           // Sequenz aufzeichnen
...
if (!check_sequence(right_sequence,sequence)) { // Sequenz
  Panic("Wrong sequence!");                     // ueberpruefen
}

TestOK("Test successful finished!");
```

Verlauf protokollieren (Forts.)

- Achtung: Jede Abweichung vom vorgesehenen Ablauf muss sich in der Sequenz bemerkbar machen:

```
const char* right_sequence = "abcd"; // Sollsequenz
      char  sequence[4];             // aufgezeichnete Sequenz
void MyThread1::action() {
  sequence[counter++] = 'a';         // Sequenz aufzeichnen
  ...
  scheduler.exit();
  // dieses Statement sollte nie erreicht werden
  sequence[counter++] = 'x';
}
```

- ...oder anderweitig erkannt werden:

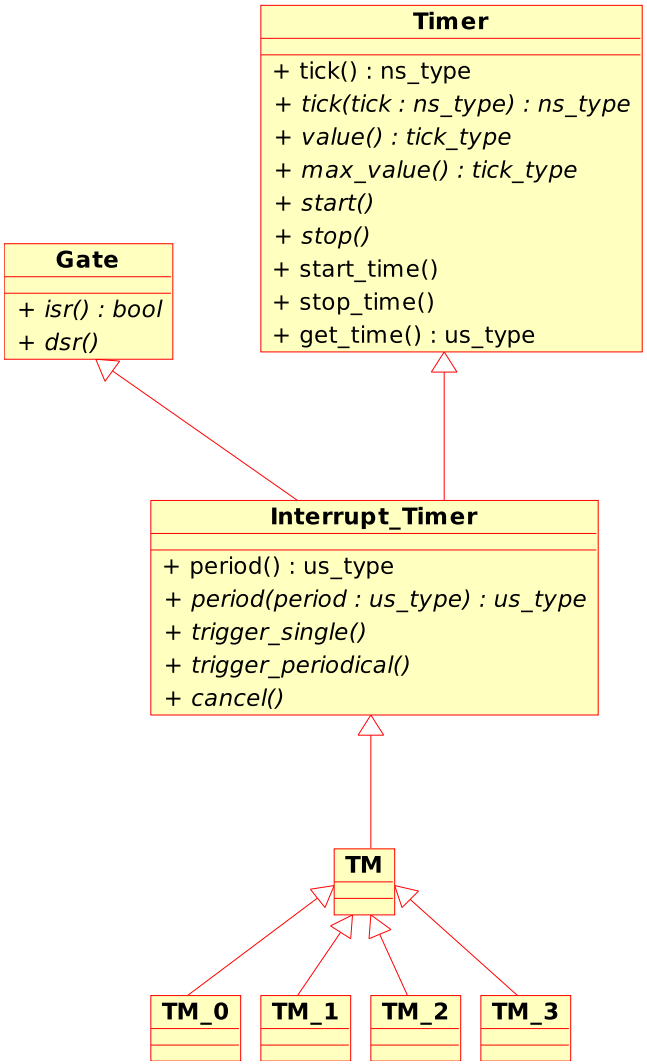
```
void MyThread1::action() {
  ...
  scheduler.exit();
  Panic("Should not come here!");
}
```

Testfall übersetzen und ausführen

Das EZStubs-Makefile implementiert folgende Targets:

Target	Beschreibung
`<test>.elf`	Übersetzt und bindet den Testfall `<test>`.
`<test>.clean`	Räumt den Testfall `<test>` auf.
`<test>.sim_exec`	Führt den Testfall `<test>` auf dem DeSmuME aus.
`<test>.sim_gdb`	Startet den DeSmuME, startet den GDB-Debugger und lädt den Testfall `<test>` in den DeSmuME.
`<test>.sim_ddd`	Startet den DeSmuME, startet den DDD-Debugger und lädt den Testfall `<test>` in den DeSmuME.
`<test>.target_exec`	Lädt den Testfall `<test>` auf den Nintendo DS Lite und führt in dort aus (diese Option steht für den Nintendo DS Lite leider **nicht** zur Verfügung).
`<test>.target_debug`	Startet den DDD-Debugger und lädt den Testfall `<test>` in den Nintendo DS Lite (diese Option steht für den Nintendo DS Lite leider **nicht** zur Verfügung).
`checkalltests_sim`	Übersetzt und bindet alle Testfälle und führt sie anschließend auf dem Simulator aus. Die Testfallergebnisse werden protokolliert und angezeigt.

Überblick



- Timer auf dem NDS
  - 4 Timer TM_{0,1,2,3} für den ARM7
  - 4 Timer TM_{0,1,2,3} für den ARM9
  - alle Timer sind identisch
  - 16 bit Zählerregister
  - kaskadierbar zu 32, 48 und 64 bit
  - Unterbrechung beim Überlauf
- Klasse Timer
  - Zeitmessung
- Klasse Interrupt_Timer
  - Eieruhr
  - Erzeugung von Unterbrechungen
    - *single-shot* oder zyklisch

Klasse Timer

ns_type tick() und **ns_type tick(ns_type)**

- Dauer eines Zählschritts
- wie lange dauert es, bis das Zählerregister inkrementiert wird
- nicht alle Zeitspannen darstellbar $\mapsto$ Rückgabewert
- invalidiert us_type period(us_type)

tick_type value() und **tick_type max_value()**

- aktuellen/maximal möglichen Wert des Zählerregisters abfragen

void start() und **void stop()**

- Zählvorgang starten und stoppen

void start_time() und **void stop_time()**

- Zeitmessung starten und stoppen

us_type get_time()

- Ergebnis der letzten Zeitmessung abfragen

Klasse Interrupt_Timer

us_type period() und **us_type period(us_type)**

- Dauer bis zur nächsten Unterbrechung
- ab dem nächsten Aufruf von trigger_{single, periodical}()
- nicht alle Zeitspannen darstellbar $\mapsto$ Rückgabewert
- es darf keine Unterbrechung erzeugt werden $\mapsto$ vorher cancel()
- invalidiert ns_type tick(ns_type)

void trigger_single()

- Erzeugen **einer** Unterbrechung

void trigger_periodical()

- **Periodisches** Erzeugen von Unterbrechungen

void cancel()

- das Erzeugen der Unterbrechungen wird gestoppt
- der Timer wird angehalten

Beispiel: Verwendung des Interrupt Timers

```
class MyTimer : public TM_2 {
public:
        bool isr() {
                acknowledge();
                doSomething = true;
                return false; // Keine DSR
        };
        void dsr() {}; // Bleibt leer
};

MyTimer test_timer; // Timer anlegen

void user_main() {
        // Zufaellige Periode generieren und Timer konfigurieren
        random_init();
        us_type rand = random() % 100000;
        testtimer.period(rand);
        testtimer.trigger_single(); // Einmalige Ausloesung nach rand
        ...
```

Beispiel: Zeitmessung

```
MyTimer test_timer; // Timer anlegen

class MyThread : public Thread {
public:
        bool action() {
                test_timer.stop_time(); // Zeitmessung stoppen
                kout << "Zeitmessung: " << test_timer.get_time();
                scheduler.exit();
        };
};
MyThread T1;
void user_main() {
        test_timer.tick(5000);  // Zaehlerintervall festlegen
        test_timer.start();     // Zaehler starten
        ...
        schedule_table.add(500, &T1);
        test_timer.start_time(); // Zeitmessung starten
}
```

Den Testfall im Debugger (DDD) ausführen

- Debugger starten und den Testfall laden:

```
make tests/thread/Scheduler/RoundRobin/test1/test1.sim_ddd
```

- die Ausführung des Testfalls starten:
  - *Cont*-Button klicken
  - auf der GDB-Konsole folgendes eingeben:

```
(gdb) cont
```

Achtung

Der *Run*-Button bzw.

```
(gdb) run
```

wird **nicht** funktionieren!

Den Testfall neu starten ohne den DDD zu beenden

- zunächst muss man die Verbindung zum GDB-Stub trennen

```
(gdb) detach
```

- erneut eine Verbindung aufbauen (<PORT> steht in der Ausgabe von make)

```
(gdb) target remote localhost:<PORT>
```

- das Testfallprogramm laden

```
load
```

- das hat einige Vorteile:
  - Breakpoints und
  - Watches bleiben erhalten

Debugger neu starten

Manchmal kann es vorkommen, dass der GDB-Stub bzw. der deSmuME sich komisch verhält. Man hat dann drei Möglichkeiten:

1. DDD beenden und den Testfall erneut laden
   - Breakpoints und Watches gehen verloren
2. nur den GDB beenden
   - den `arm-elf-gdb` beenden

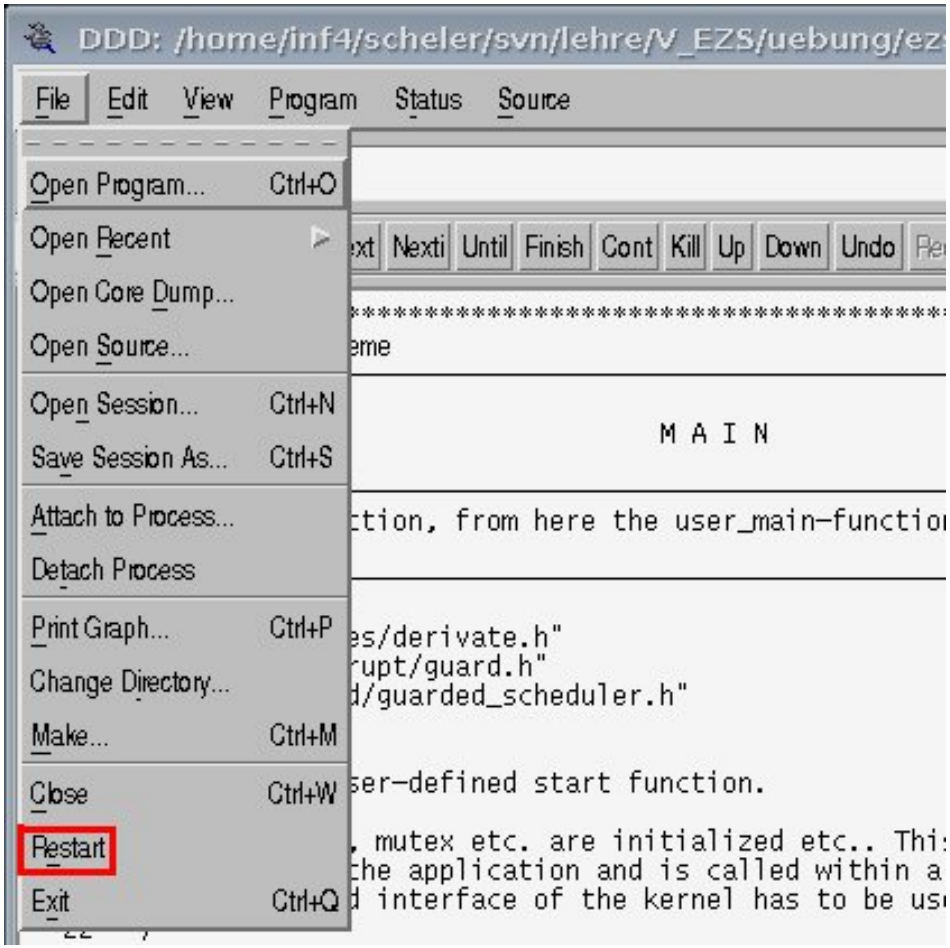
```
killall arm-elf-gdb
```

   - DDD wird das bemerken und folgender Dialog erscheint

   - auf den *“Restart GDB”*-Button klicken

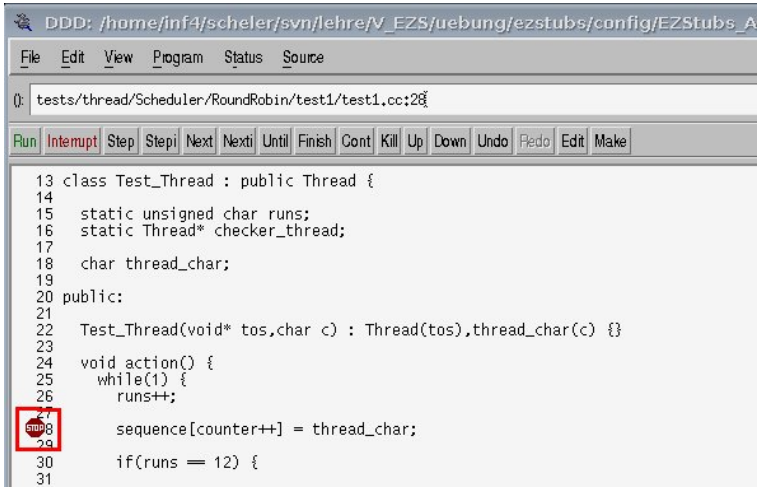
Debugger neu starten

3. den kompletten DDD neu starten
   - aus dem Menü *File* die Option *Restart* auswählen



Breakpoints setzen . . .

- . . . durch einen Doppelklick ins Quelltextfenster



- . . . auf der GDB-Konsole für eine bestimmte Funktion

```
(gdb) break <function_name>
(gdb) break <file_name>:<line>
```

Achtung

Auf eingebettete Funktionen kann man keinen Breakpoint setzen!

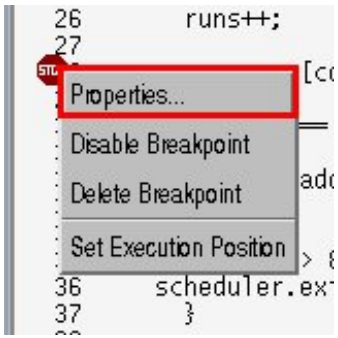
Bedingungen für Breakpoints

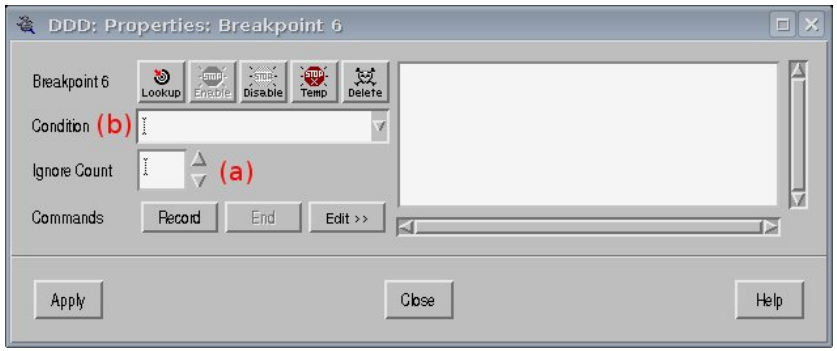
Bevor das Programm an einem Breakpoint tatsächlich angehalten wird, kann man ...

(a) ... den Breakpoint n-mal ignorieren

(b) ... auf die Erfüllung einer Bedingung warten.

- aus dem Quelltextfenster heraus





- auf der GDB-Konsole

```
(gdb) ignore <breakpoint_nr> <n>              # (a)
(gdb) condition <breakpoint_nr> runs == 7     # (b)
```

Bedingungen für Breakpoints (Forts.)

Achtung

bedingte Breakpoints können **Ein-/Ausgabe-Operationen** zur Folge haben, die das **Laufzeitverhalten** des Programms beeinflussen können.

Sinnvolle Stellen für Breakpoints

- Warum wird mein DSR nicht ausgeführt? → Breakpoint auf ...
  1. ...`wrapper_body` → Wurde ein IRQ ausgelöst?
  2. ...`void guardian(unsigned int)` → Welches Gerät?
  3. ...den `isr()` → Wurde ein DSR aktiviert?
  4. ...`void Guard::leave()` → Welchen Wert hat `lock`?
- Warum wird der Scheduler nicht aktiviert? → Breakpoint auf ...
  1. ...`void Guard::leave()` → Welchen Wert hat `lock`?
  2. ...`reschedule()` → Wurde der Scheduler aktiviert?
  3. ...`Thread* schedule()` → Welcher Faden kommt als nächstes?

Achtung

1. Ein Debugger ersetzt nicht das Verständnis des Programms!
2. Ohne sinnvolle Annahmen kann man keine Breakpoints setzen!

Weitere Möglichkeiten, das Programm zu kontrollieren

- Break
  - Anhalten des Programms “*von außen*”.
  - normalerweise per `Ctrl-C` in der GDB-Konsole

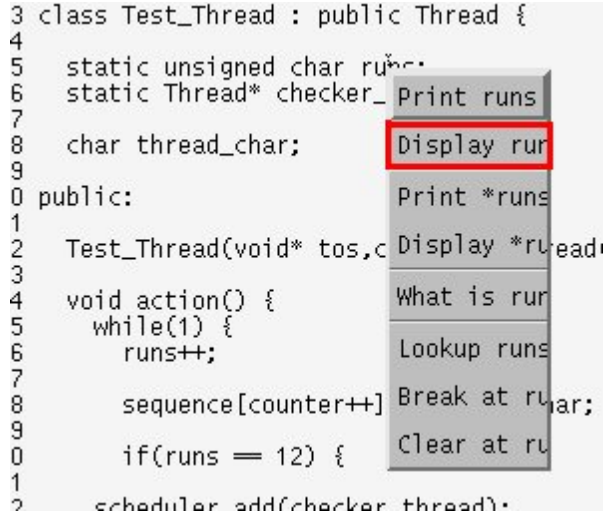
- Watchpoints

```
(gdb) watch xyz
```

  - Programm anhalten wenn Variable `xyz` ihren Wert ändert

Werte von Variablen beobachten

- globale Variablen und Objekte

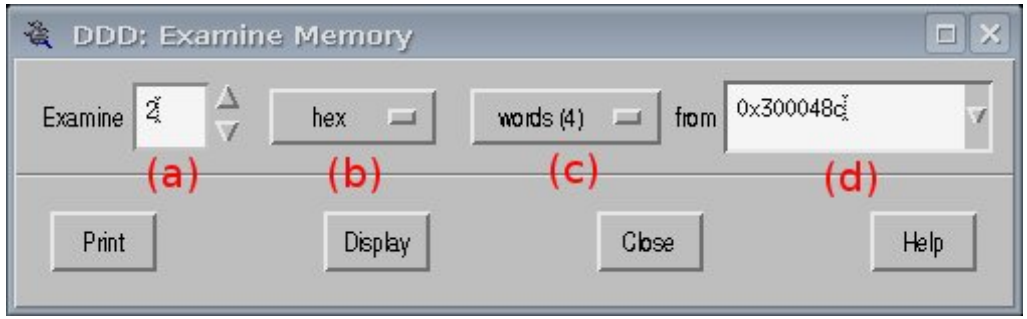



```
(gdb) # Achtung: voll qualifizierter Name!
(gdb) graph display Test_Thread::runs
```

- lokale Variablen und Argumente
  - Menü *Data* →
    - *Display Local Variables*
    - *Display Arguments*
  - Beobachtung problematisch:
    - Speicherstellen/Register werden vom GCC wiederverwendet
    - passende Debug-Information wird (noch) nicht erzeugt
    - ☞ Var Tracking Assignments [VTA] ab GCC 4.5

Speicherstellen beobachten

- Menü *Data* →
  - *Memory*



- Parameter
  - (a) Wie viele Bytes, Half Words, Words, ...
  - (b) Hexadezimal, Oktal, ...
  - (c) Bytes, Half Words (2 Bytes), Words (4 bytes), ...
  - (d) Startadresse
- Hilfreich zum Kontrollieren von I/O-Registern

Tutorial

1. die Datei `tutorial.tar.gz` entpacken
2. Makefiles anpassen
3. EZStubs-Bibliothek und Testfälle übersetzen und binden
4. Doxygen-Dokumentation erzeugen
5. Testfälle auf dem Simulator ausführen
6. Testfälle mit Hilfe des DDD debuggen
   - Breakpoints setzen (siehe Folie 43)
   - dort das Programm schrittweise ausführen
   - und die Abläufe auf den Folien 9,19, 20 und **??** nachvollziehen
7. Selbst ein, zwei Testfälle schreiben
   - einen Interrupt-Handler implementieren
     (die Klasse `Test_Interrupt_0` steht zur Verfügung).
   - im Interrupt-Handler einen Faden aktivieren