

35. Analysewerkzeuge für Worst-Case Execution Time

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Aßmann 1) WCETA mit AIT
Institut für Software- und
Multimediatechnik
Lehrstuhl Softwaretechnologie
Fakultät für Informatik
TU Dresden
<http://st.inf.tu-dresden.de>
Version 11-0-2, 12.01.12



1

SEW, © Prof. Uwe Aßmann

Obligatorische Literatur

- Reinhold Heckmann, Christian Ferdinand. Worst-Case Execution Time Prediction by Static Program Analysis. AbsInt Angewandte Informatik GmbH. Science Park 1, D-66123 Saarbrücken, Germany, http://www.absint.com/ait_WCET.pdf
- www.sureal-projekt.de



35.1 AiT - Worst-Case Execution Time Analyzer

<http://www.absint.com/ait/>

Was ist AiT?

- AiT ist ein Analysator für “worst-case execution time” (WCET)
 - berechnet die längste Ausführungszeit eines Programmes, z.B. für Echtzeitsysteme
 - bezieht eine Cache-Analyse und eine Pipeline-Analyse mit ein

Binärdateien für
bestimmte
Echtzeitanwendung



Warum braucht man WCET?

- Sicherstellung der Ausführungszeiten der Tasks innerhalb bestimmter Schranken des Echtzeitssystems:

Beispielanwendungen
fly by wire Flugzeuge
Airbagsysteme
Motorsteuerung
ABS-Steuerung
brake by wire

	Probleme
Komplexe Laufzeitbestimmung durch Caches und Pipelines	
Analysemethoden, die Caches und Pipelines ignorieren, liefern zu hohe Zeitschranken → Ressourcenverschwendungen	
Test- und Messverfahren unsicher, keine Garantie der oberen Schranken möglich	

- aIT berechnet automatisch obere Zeitschranken
Worst-Case Execution Time (WCET)

Schritte

- 1) **Kontrollfluss-Analyse:** Rekonstruktion des Kontrollflusses aus den ausführbaren Binärdateien des zu analysierenden Systems
- 2) **Value-Analyse:** Bestimmung von Schleifengrenzen und Berechnung von Adressbereichen für Instruktionen, die auf den Speicher zugreifen
- 3) **Cache-Analyse:** Klassifizierung der Speicherzugriffe als Cache-Treffer oder Cache-Verfehlen
- 4) **Pipeline-Analyse:** Vorausberechnung des Verhaltens der Prozessor-Pipeline
- 5) **Pfadanalyse:** Bestimmung des Worst-Case-Ausführungspfades

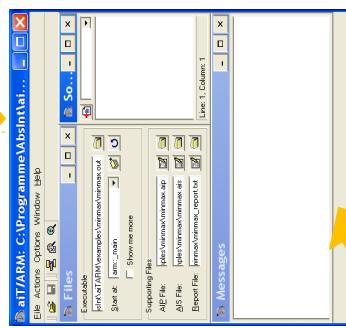
Überblick

Sourcecode

```
void do_something()
{
    sleeping();
    eating();
    while(drinking()
    {
        drink_more();
    }
}
```

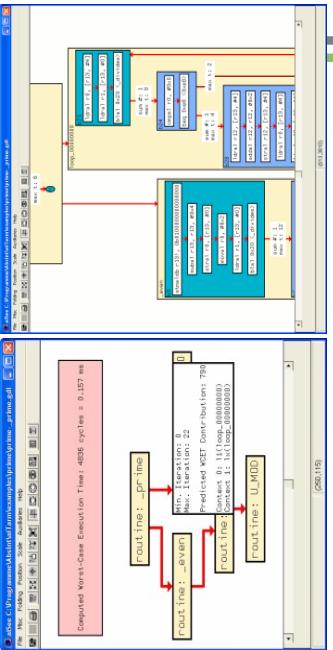
Spezifikationen zu Processor

ait



Worst-Case-Execution-Time

Visuelle Darstellungen des Tools



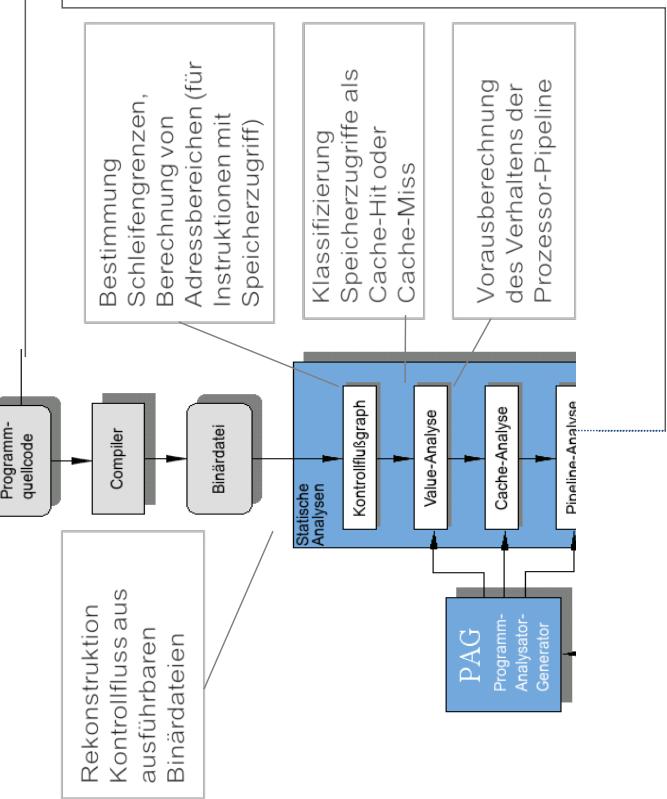
© 1998-2008 Absint.
Prof. U. Asmann, SEW

7

Phasen-Struktur von aIT

ST
100
100

12.01.12



© 1998-2008 Absint.

© 1998-2008 Absint.

Prof. U. Asmann, SEW

8

Behandlung von Schleifen

- Schleifen und Rekursionen verursachen großen Teil der Ausführungszeit
→ gesonderte Behandlung notwendig
- meistens im 1. Durchlauf der Schleife Daten in den Cache geladen, danach meist nur noch Cachezugriffe:

Naive Methode:

- Zusammenfassung des Zustandes des Caches vor Schleife mit Zustand nach Schleife
- Informationen über Schleifenverhalten geht verloren

aiT:

Programm-Analysator PAG nutzt implementierte Methoden zum virtuellen Abrollen der Schleifen
→ Analyse der Speicherzugriffe einzelner Schleifendurchläufe möglich



12.01.12

AiT Screenshot

The screenshot shows the aiT tool interface with three main windows. The top window displays assembly code for a C program named 'main'. The middle window shows the assembly code with various annotations and warnings. The bottom window displays the 'Messages' window, which contains several warning messages related to memory access and stack corruption.

```
aiT M32: C:\Programme\Absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1.apt
File: [C:\Programme\Absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1.apt]
Source:
File: [C:\Programme\Absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1.apt]
Line: 1
Executable: [absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1.apt]
Start at: main
Supporting Files:
AIS File: [M32\courses\exercices\box6_1.ais]
More
Report File: [absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1_report.htm]
GDI File:
Line 183 Column 1
Messages:
selected: main: Warning: In "[C:\Programme\Absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1.apt]"
absolute main, all address: 0x000023,
Unresolved correctly called in routine main,
in32bit: Warning: In "[C:\Programme\Absint\ait_M32\courses\exercices\box6_1.apt]"
address: 0x000023 in routine main, L1,
Loading section due to unresolved call to htons. Refer to
the manual on how to specify call targets to avoid this message.
Intrinsic type: int @ 0x00001ef[0][1]

0x00020e: acov w g r1. r0
0x000210: acov w g r2. r0
0x000214: acov w g r3. r1
0x000216: acov w g r4. a0
0x000218: acov w g r5. a0
0x00021a: acov w g r6. r0
0x00021c: acov w g r7. r0
0x00021e: acov w g r8[0]. r0
0x000221: push b r0[1]
0x000225: acov w g r1. r0
0x000227: acov w g r2. r0
0x000229: acov w g r3. a0
0x00022b: pop b r0[1]
0x00022d: jset r0[0] r0[0]
```

► Die folgenden Bilder sind aus <http://www.absint.com/ait/galerie.htm>



9



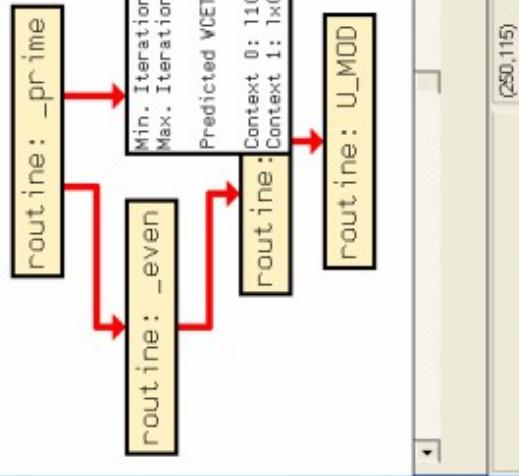
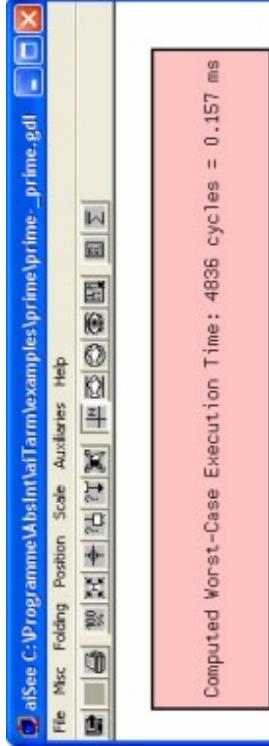
9

Prof. U. Asmann, SEW 10

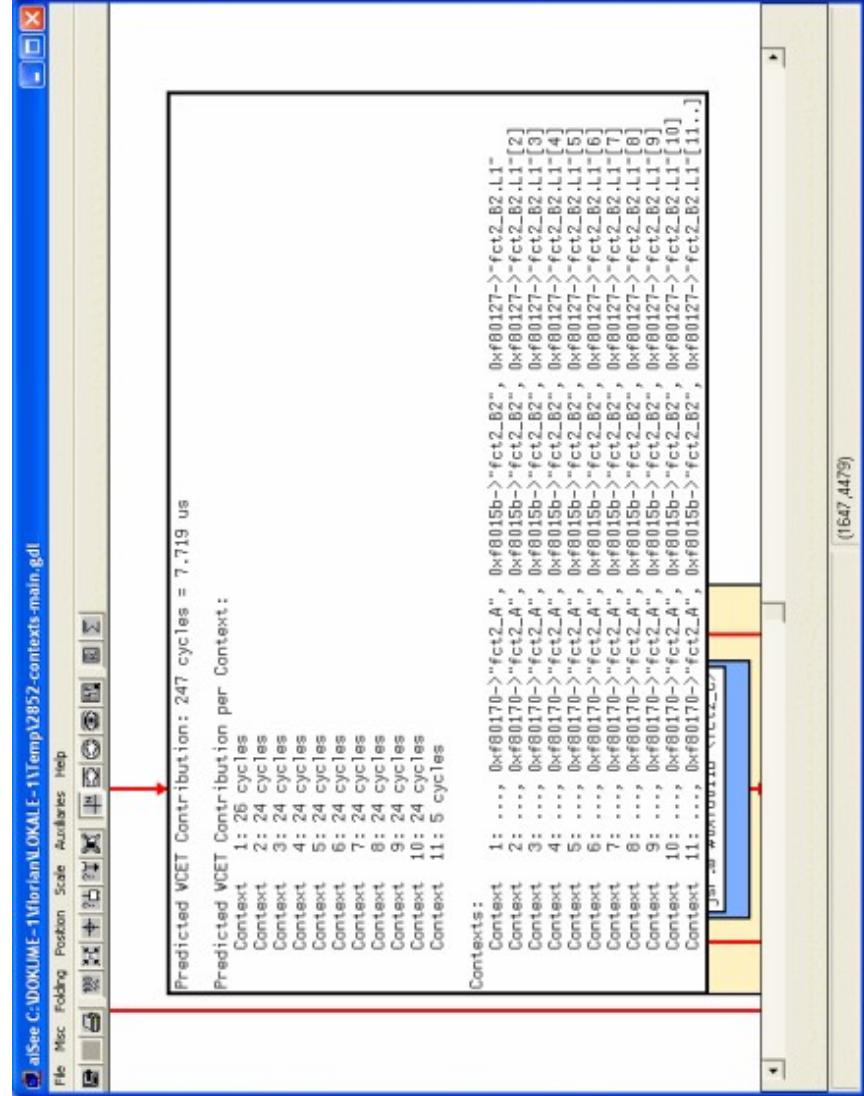


Präsentation einer WCET

- Interprozedurale Analyse
- Unterscheidung von Aufrufkontexten



Berechnete Attribute



Schlechter Pfad in Rot



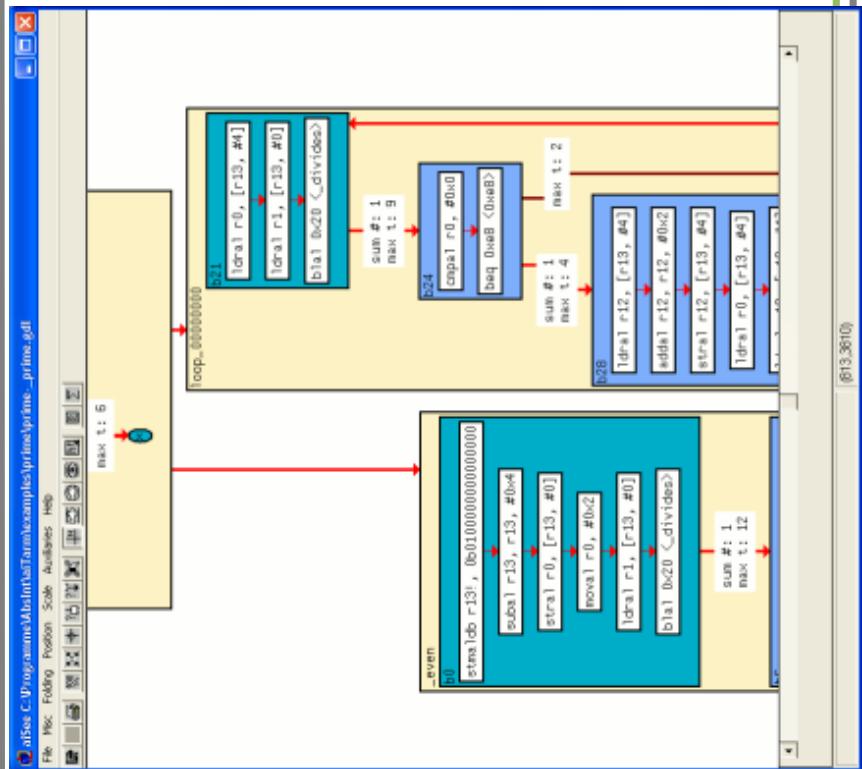
Prof. U. Asmann, SEW

ait für ARM7 TDMI - Basisblock-Ansicht

sum #: Anzahl Durchläufe im schlimmsten Fall

max t: die WCET des Basisblocks, von dem die Kante ausgeht.

Für jede Instruktion kann die Menge aller möglichen Pipeline-Zustände visualisiert werden



Prof. U. Asmann, SEW

ait für MPC5xx: Visualisierung der Ergebnisse der Pipeline-Analyse

Visualisierung der Ergebnisse der Pipeline-Analyse

Für eine einzige Instruktion: Jeder gelbe bzw. grüne Untergraph entspricht einem Pipeline-Zustand.

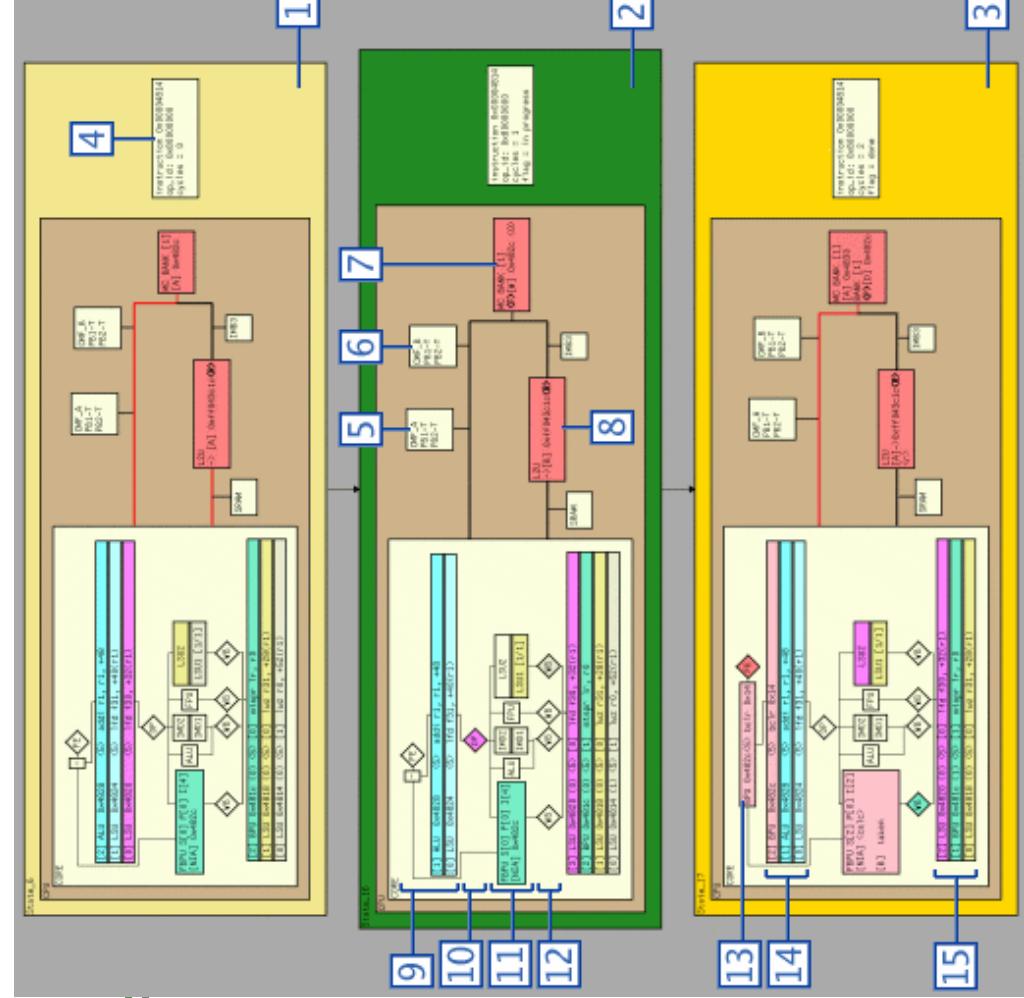
Der in aiT integrierte Graph-Browser aiSee ermöglicht interaktives Erkunden von CPU- und CPU-Core-Zuständen an beliebigen Stellen im Graphen.



ait für MPC5xx

Visualisierung der Pipeline-Analyseergebnisse

1. Startzustand*
2. Zwischenzustand*
3. Endzustand*
4. Zustandsbeschreibung
5. Flash A
6. Flash B
7. Memory-Controller
8. L2U
9. Fetch
10. Dispatch
11. Execute
12. Write-back
13. Decode-Buffer
14. Prefetch-Queue
15. History-Queue



The End

- ▶ Für fly-by-wire und andere sicherheitskritische Anwendungen ist WCETA notwendig
- ▶ Die Ergebnisse können zur Zertifizierung der Anwendungen eingesetzt werden (z.B. gegenüber dem TÜV)

