

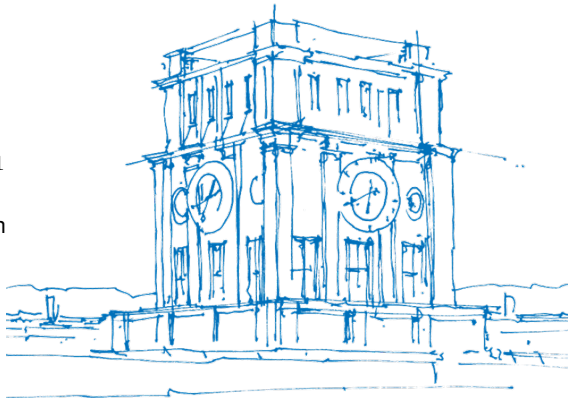
Dynamische Binärübersetzung: RISC-V \rightarrow x86-64

Endpräsentation

Noah Dormann¹, Simon Kammermeier¹,
Johannes Pfannschmidt¹, Florian Schmidt¹

¹Fakultät für Informatik, Technische Universität München
(TUM)

27. Oktober 2020



TUM Uhrenturm

Gliederung

- 1 Einführung
 - Problembeschreibung
 - RISC-V vs. x86-64
 - Dynamische Binärübersetzung
- 2 Ansatz
 - Programmablauf
 - Partitionierung des Codes
 - Codegenerierung und Cache
 - Registernutzung
 - Optimierungen
- 3 Ergebnisse und Performanz
 - SPEC CPU 2017
 - Optimierungen
- 4 Demo

Problembeschreibung

RISC-V: Offene ISA, die dem Reduced Instruction Set Computer (RISC) Schema folgt.

Problem:

- Verfügbarkeit von RISC-V Prozessoren ist begrenzt.
- Entwickler, die Code für RISC-V als Zielplattform kompilieren, können diesen nicht ausführen.

Lösung: Emulieren des RISC-V Befehlsatzes auf einem x86-64 Prozessor

Warum x86-64?

x86-64 ist der derzeitige Standard für Prozessoren in Laptops und Desktop-PCs.

RISC-V vs. x86-64

Gegenüberstellung

RISC-V Übersicht:

- RISC Schema
- Load-Store-Architektur
- 31 General Purpose Register
- 32 Floating Point Register
- 3-Operanden Adressform
- Spezielles Zero-Register

x86-64 Übersicht:

- CISC Schema
- Register-Memory-Architektur
- 16 General Purpose Register
- 16 Floating Point (XMM) Register
- 2-Operanden Adressform

Dynamische Binärübersetzung

Interpretation

Vorgehen

- Laden des nächsten Befehls
- Übersetzung
- Ausführen der Seiteneffekte des Befehls (e.g. Änderung eines Registers)

Vorteile

- Einfach zu implementieren
- Keine Erzeugung von JIT Assembler nötig

Nachteile

- Mehrfache Übersetzung der selben Instruktion
- Wenig Optimierungspotential

Dynamische Binärübersetzung

Statische Binärübersetzung

Vorgehen

- Einmaliges Übersetzen der gesamten Auszuführenden Datei
- Ausführen der Übersetzung

Vorteile

- Einmaliger Übersetzungsaufwand
- Theoretisch fast native Geschwindigkeit erreichbar

Nachteile

- Schwierig zu implementieren (Halteproblem)
- Problematisch bei Änderungen der Assembly zur Runtime

Dynamische Binärübersetzung

Dynamische Binärübersetzung

Vorgehen

- Einlesen eines Blocks von Befehlen
- (Optional) Optimierungen
- Übersetzen des einzelnen Blocks
- Ausführen des Übersetzten Blocks

Vorteile

- Nur tatsächlich notwendige Teile des Programms werden übersetzt
- Instruktionen werden nur einmal Übersetzt
- Blöcke von Instruktionen eignen sich zur Optimierung

Nachteile

- Problematisch bei Änderungen der Assembly zur Runtime

Partitionierung des Codes

Grundlagen

Ziel: Finden von sinnvollen Übersetzungseinheiten

Überlegung:

- einzelne Instruktionen übersetzen zu aufwändig
- keine Übersetzung des ganzen Programmes

⇒ Übersetzung von *Basic Blocks*

Definition: Basic Block

- einziger Ein- und Ausgangspunkt
- enthaltene Instruktionen der Reihe nach ausgeführt

Partitionierung des Codes

Finden von Blockgrenzen

Blockende durch folgende Instruktionen erreicht:

- Unbedingte Sprünge & Funktionsaufrufe (`j`, `call`, `ret`)
- Bedingte Sprünge (`beq`, `bne`, `blt`, `bge`, `bltu`, `bgeu`)
- System Calls (`ecall`)

Optimierungspotenzial:

- Sprünge folgen
- rekursive Übersetzung von Sprungzielen
- Schwierigkeiten bei bedingten Sprüngen

Partitionierung des Codes

Beispiel

Sprungverfolgung zu `label`,
Blockende durch `ecall`.

```
add x6, x6, x7
slli x6, x6, 3
xori x7, x7, -1
j label
```

```
label:
addi a0, x0, 0
addi a7, x0, __NR_exit
ecall
```

Codegenerierung

Grundlagen

Ziel: Generieren von äquivalentem Code

Prinzipieller Ansatz: Instruktions-Mapping x86-64 \implies RISC-V

- Übersetzungen jeder Instruktion der Quellarchitektur
- Probleme durch architektonische Unterschiede
 - ☐ *load-store- vs. register-memory-Architektur*
 - ☐ *Zwei- bzw. Dreiadressform*
- Mustererkennung im Eingangscode

Codegenerierung

Beispiel: Architektonische Unterschiede

Problem: ein Operand ist implizites Zielregister (x86)

```
sub rd, rs1, rs2
```

\Rightarrow

```
mov rd, rs1  
sub rd, rs2
```

Codegenerierung

Beispiel: Optimierte Übersetzung

Optimierungsmöglichkeit: äquivalente native Instruktion existiert

`xori rd, rd, -1`



`not rd`

Codegenerierung

Beispiel: Macro Operation Fusion

Optimierungsmöglichkeit: mehrere Instruktionen bündeln

<code>lui rd, imm1</code>	\Rightarrow	<code>mov rd, (imm1 + imm2)</code>
<code>addi rd, rd, imm2</code>		

Code Cache

Konzept

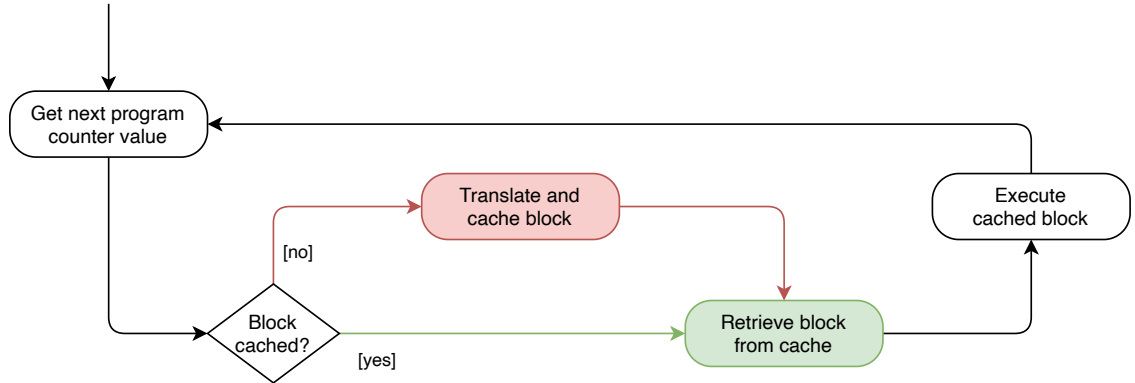
Hintergrund: Angetroffene Basic Blocks sollen nur ein Mal übersetzt werden.

Code Cache

- Speicherregion, in die generierter Code geschrieben wird
- Index für die Speicherregion für schnellen Lookup (→ Hash-Tabelle, TLB)

Nutzung:

- Block wird nach erstem Übersetzen in den Cache geschrieben
- Lookup vollzieht Adressübersetzung RISC-V → x86
- kein Löschen von übersetzten Blöcken (→ Optimierungen)



Registernutzung

Grundlagen

Ziel: möglichst effizientes Emulieren der RISC-V-Register

Definition: Registerdatei im Speicher

- Speicherbereich, der die Registerwerte des Gastprogramms hält (264 Byte)
- Permanenter Speicherbereich, der über Kontextwechsel erhalten bleibt

Problem: viele Speicherzugriffe \implies **ineffizient**

```
./translator
```