

Aufgabe 4 – Erweiterung um Just-in-Time-Compiler

Dr.-Ing. Volkmar Sieh

Department Informatik 4
Systemsoftware
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

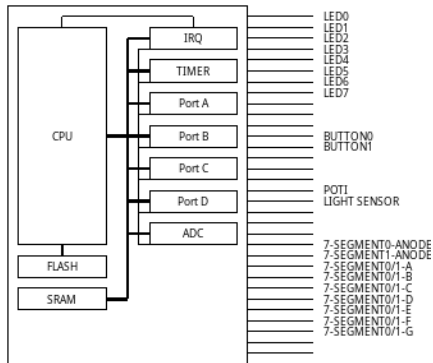
WS 2025/2026



Entwickelt werden soll ein virtuelles (vereinfachtes) SPiC-Board mit ATmega32-Mikrokontroller mit JIT-Compiler.



Aufgabe 4 (unverändert gegenüber Aufgabe 3):



- Der CPU-Teil des Mikrokontrollers soll jetzt als Just-in-Time-Compiler ausgeführt werden.
- Basisblöcke sollen einmal am Stück compiliert und nachfolgend ggf. mehrfach ausgeführt werden können.
- Optimierungen (Block-Verkettungen, Lazy-Flags-Berechnungen u.ä.) sind nicht gefordert.
- Bestehende Unterprogramme (z.B. zur Berechnung eine Additions-Ergebnisses mit seinen Flags) dürfen vom JIT-Code aus verwendet werden.



Getestet werden soll die neue CPU mit den bisherigen Testprogrammen. Diese sollen lauffähig bleiben.



- Die Performance des alten Interpreters und die des neuen JIT-Ansatzes soll verglichen werden.
- Berechnen Sie den Speedup.
- Identifizieren Sie die noch bestehenden Flaschenhälse.



Im Folgenden:

(Gedankliche) Schritte, um von einem Interpreter zu einem Just-in-Time-Compiler zu kommen...



```
void step(struct state *s) {
    /* 1. Pipeline-Stufe: Instruktion holen */
    inst = fetch(s->pc++);

    switch (inst_format(inst) {
    case ALU_REG_REG:
        /* 2. Pipeline-Stufe: Operanden holen */
        op1 = reg_read(s, (inst >> 0) & 0xf);
        op2 = reg_read(s, (inst >> 4) & 0xf);

        /* 3. Pipeline-Stufe: Rechnen */
        res = alu(s, (inst >> 24) & 0xf, op1, op2);

        /* 4. Pipeline-Stufe: Ergebnis speichern */
        reg_write(s, (inst >> 20) & 0xf, res);
        break;

    case ALU_REG_IMM:
        /* 2. Pipeline-Stufe: Operanden holen */
        op1 = reg_read(s, (inst >> 0) & 0xf);
        op2 = (inst >> 4) & 0xffff;

        /* 3. Pipeline-Stufe: Rechnen */
        res = alu(s, (inst >> 24) & 0xf, op1, op2);

        /* 4. Pipeline-Stufe: Ergebnis speichern */
        reg_write(s, (inst >> 20) & 0xf, res);
        break;

    case ...
    ...
    }
```

Basisblock:

```
15: add %r0, %r1
16: sub $13, %r1
17: mov %r1, %r8
18: cmp $0, %8
19: jne 25
```

Wie sehe entsprechende C-Funktion aus?




```
void step(struct state *s) {
    /* 1. Pipeline-Stufe: Instruktion holen */
    inst = fetch(s->pc++);

    switch (inst_format(inst) {
    case ALU_REG_REG:
        /* 2. Pipeline-Stufe: Operanden holen */
        op1 = reg_read(s, (inst >> 0) & 0xf);
        op2 = reg_read(s, (inst >> 4) & 0xf);

        /* 3. Pipeline-Stufe: Rechnen */
        res = alu(s, (inst >> 24) & 0xf, op1, op2);

        /* 4. Pipeline-Stufe: Ergebnis speichern */
        reg_write(s, (inst >> 20) & 0xf, res);
        break;

    case ALU_REG_IMM:
        /* 2. Pipeline-Stufe: Operanden holen */
        op1 = reg_read(s, (inst >> 0) & 0xf);
        op2 = (inst >> 4) & 0xffff;

        /* 3. Pipeline-Stufe: Rechnen */
        res = alu(s, (inst >> 24) & 0xf, op1, op2);

        /* 4. Pipeline-Stufe: Ergebnis speichern */
        reg_write(s, (inst >> 20) & 0xf, res);
        break;

    case ...
    ...
}
```

```
15: add %r0, %r1
16: sub $13, %r1
17: mov %r1, %r8
18: cmp $0, %r8
19: jne 25
```

```
void block(struct state *s) {
    op1 = reg_read(s, 0);
    op2 = reg_read(s, 1);
    res = alu(s, ADD, op1, op2);
    reg_write(s, 1, res);

    op1 = reg_read(s, 1);
    op2 = 13;
    res = alu(s, SUB, op1, op2);
    reg_write(s, 1, res);

    op1 = reg_read(s, 1);
    res = op1;
    reg_write(s, 8, res);

    op1 = reg_read(s, 8);
    op2 = 0;
    alu(s, SUB, op1, op2);

    if (! s->z) {
        s->pc = 25;
    } else {
        s->pc = 20;
    }
}
```



```
void block(struct state *s) {
    int op1;
    int op2;
    int res;

    op1 = reg_read(s, 0);
    op2 = reg_read(s, 1);
    res = alu(s, ADD, op1, op2);
    reg_write(s, 1, res);

    op1 = reg_read(s, 1);
    op2 = 13;
    res = alu(s, SUB, op1, op2);
    reg_write(s, 1, res);

    op1 = reg_read(s, 1);
    res = op1;
    reg_write(s, 8, res);

    op1 = reg_read(s, 8);
    op2 = 0;
    alu(s, SUB, op1, op2);

    if (! s->z) {
        s->pc = 25;
    } else {
        s->pc = 20;
    }
}
```

Wie sehe entsprechender
Assembler-Code aus?



```
void block(struct state *s) {
    int op1;
    int op2;
    int res;

    op1 = reg_read(s, 0);
    op2 = reg_read(s, 1);
    res = alu(s, ADD, op1, op2);
    reg_write(s, 1, res);

    ...
}
```

```
block: // s in %rdi
    pushq %rbp
    movq %rdi, %rbp
    subq $16, %rsp

    movq %rbp, %rdi
    movl $0, %esi
    call reg_read
    movl %eax, 0(%rsp)

    movq %rbp, %rdi
    movl $1, %esi
    call reg_read
    movl %eax, 4(%rsp)

    movq %rbp, %rdi
    movl $ADD, %esi
    movl 0(%rsp), %edx
    movq 4(%rsp), %ecx
    call alu
    movl %eax, 8(%rsp)

    movq %rbp, %rdi
    movl $1, %esi
    movl 8(%rsp), %edx
    call reg_write

    ...

    addq $16, %rsp
    popq %rbp
    ret
```



```
void block(struct state *s) {
    int op1;
    int op2;
    int res;

    ...

    if (! s->z) {
        s->pc = 25;
    } else {
        s->pc = 20;
    }
}
```

```
block: // s in %rdi
    pushq %rbp
    movq %rdi, %rbp
    subq $16, %rsp

    ...

    cmpb $0, off_z(%rbp)
    jne l1
    movl $25, off_pc(%rbp)
    jmp l2;
l1: movl $20, off_pc(%rbp)
l2:

    addq $16, %rsp
    popq %rbp
    ret
```



```
block: // s in %rdi
    pushq %rbp
    movq %rdi, %rbp
    subq $16, %rsp

    movq %rbp, %rdi
    movl $0, %esi
    call reg_read
    movl %eax, 0(%rsp)

    ...

    cmpb $0, off_z(%rbp)
    jne 11
    movl $25, off_pc(%rbp)
    jmp 12;
11: movl $20, off_pc(%rbp)
12:

    addq $16, %rsp
    popq %rbp
    ret
```

Wie sehe Binär-Code aus?



block: // s in %rdi		
pushq %rbp	55	push %rbp
movq %rdi, %rbp	48 89 fd	mov %rdi,%rbp
subq \$16, %rsp	48 83 ec 10	sub \$0x10,%rsp
movq %rbp, %rdi	48 89 ef	mov %rbp,%rdi
movl \$0, %esi	be 00 00 00 00	mov \$0x0,%esi
call reg_read	e8 (reg_read - lab1)	callq reg_read
movl %eax, 0(%rsp)	lab1: 89 04 24	mov %eax,(%rsp)
...	...	
cmpb \$0, 0x5(%rbp)	80 7d 05 00	cmpb \$0x0,0x5(%rbp)
jne 11	75 (lab3 - lab2)	jne lab3
movl \$25, 0x12(%rbp)	lab2: c7 45 12 19 00 00 00	movl \$0x19,0x12(%rbp)
jmp 12;	eb (lab4 - lab3)	jmp lab4
11: movl \$20, 0x12(%rbp)	lab3: c7 45 12 14 00 00 00	movl \$0x14,0x12(%rbp)
12:		
addq \$16, %rsp	lab4: 48 83 c4 10	add \$0x10,%rsp
popq %rbp	5d	pop %rbp
ret	c3	retq



Damit Bytes im Speicher ausführbar sind, muss der entsprechende Speicherbereich in der MMU als „ausführbar“ markiert sein.

In der MMU werden alle Speicherbereiche als Seiten verwaltet. Seiten müssen an Adressen liegen, die durch die Seitengröße teilbar sind.

Unter Linux/gcc:

```
#include <sys/mman.h>

char jit_buf[256*4096] __attribute__((aligned(4096)));
int ret;

ret = mprotect(jit_buf, sizeof(jit_buf),
               PROT_READ | PROT_WRITE | PROT_EXEC);
assert(0 <= ret);
```



Hinweise x86_64-Programmierung:

<https://de.wikipedia.org/wiki/AMD64>



Bei Problemen gerne/rechtzeitig melden!

