Hinweise – C-Programmierung

Dr.-Ing. Volkmar Sieh

Department Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

WS 2021/2022

Bit-Manipulation

das n-te Bit gesetzt:	`1 << n`
Maske für alle außer dem n-ten Bit:	`~(1 << n)`
Bit setzen $\rightarrow$ Verodern:	`x |= 0x01;`
Bit löschen $\rightarrow$ Verunden:	`x &= ~0x01;`
Bit umkehren $\rightarrow$ Exklusives Oder	`x ^= 0x01;`
niederwertiges Byte:	`x & 0xff`
nur niederwertiges Byte verändern:	`x &= ~0xff; x |= b & 0xff;`

Variablen fester Größe

C garantiert keine Größe von `short int`, `int`, `long int`, aber `inttypes.h` enthält folgende Definitionen:

- `uint8_t`
- `uint16_t`
- `uint32_t`
- `uint64_t`
- `int8_t`
- `int16_t`
- `int32_t`
- `int64_t`

Format-String für inttypes

Problem: `%d` bezieht sich auf `int`, `%ld` auf `long int` usw.

Für Variablen fester Größe können die Macros `PRId8`, `PRIu16`, `PRIo32`, `PRIx64` etc. verwendet werden.

Beispiel:

```
uint32_t x;

x = 1234;
printf("x hat den Wert %" PRIu32 "\n", x);
```

Funktionspointer

- Eine Funktion ist eine Adresse im `.text`-Segment
- Diese Adresse kann in C genutzt werden (z.B. für Callbacks)
- Deklaration für Funktionspointer:
  Rückgabe-Typ (*Name)(Parameter-Typ, Parameter-Typ, ...)
- Beispiel: `void (*funptr)(int, long int);`
- Zuweisung: `funptr = myfunc;`
- Aufruf mittels: `(*funptr)(23, 42);`
- Einfacher: `funptr(23, 42);`

C-Code → Binär-Code

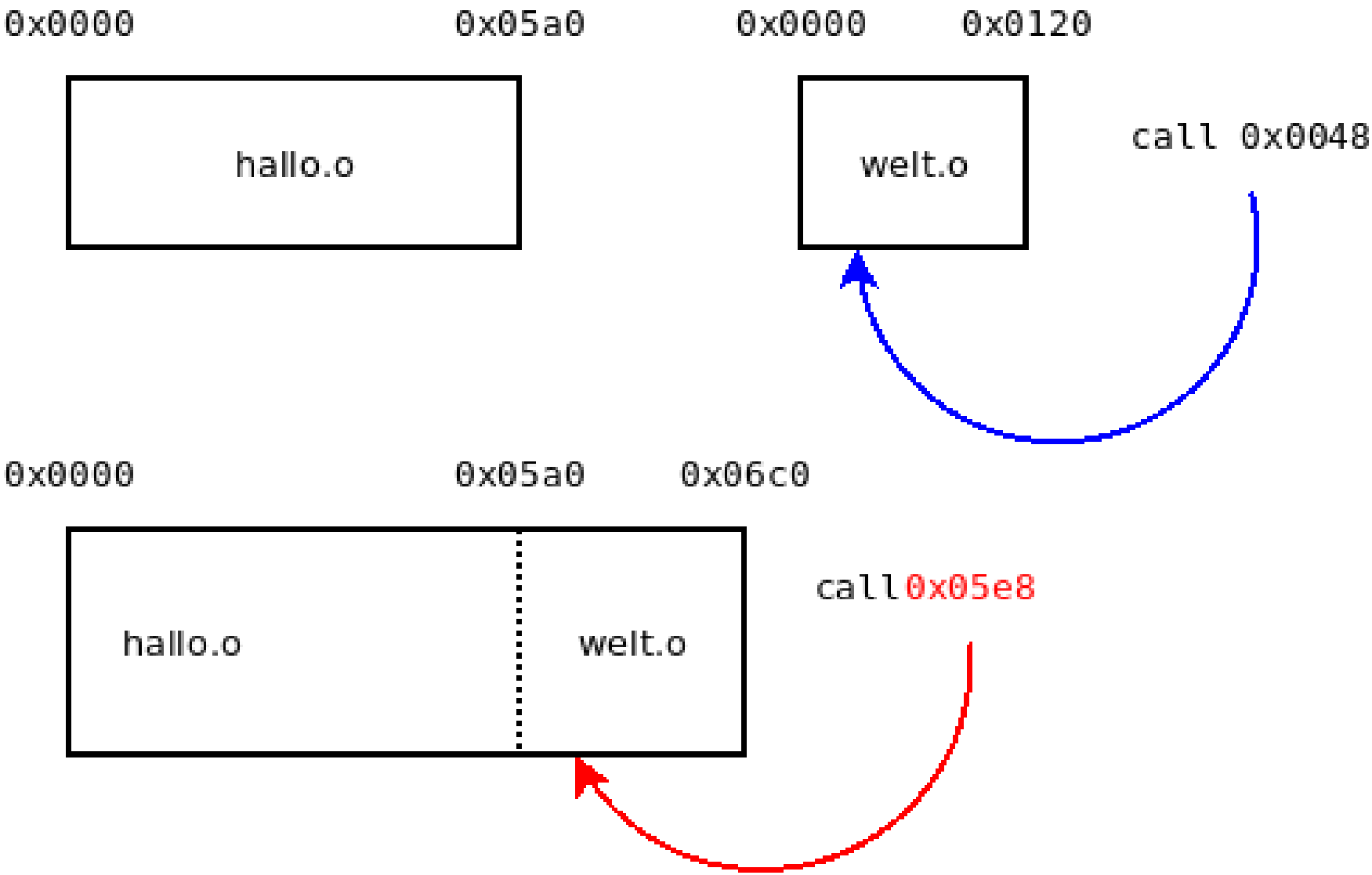
- Programmierer schreibt Programm in C
- CPU führt binäre Befehle im Speicher aus

→ Was passiert dazwischen?

Toolchain

1. Preprozessor `cpp` ersetzt Makros und fügt Code für inkludierte Dateien ein.
   `cpp hallo.c > hallo.pre.c`
2. Compiler `cc1` erzeugt Assembler-Code
   `cc1 [-m32] hallo.pre.c`
3. Assembler generiert Object-Code
   `as [-32] hallo.pre.s -o hallo.o`
4. Linker bindet Object-Dateien zusammen, und löst dabei Referenzen auf und führt Relokation durch
   `ld [-m elf_i386] hallo.o -o hallo.bin [...]`

Relokation beim Binden



Tools zum Inspizieren von Objects/ELFs

- Anzeigen der Relokationstabelle:
  `objdump -r <datei>`
- Assembler-Listing (mit Binärdarstellung) anzeigen:
  `objdump -D <datei>`
- Eine Sektion in Binärform in eine Datei kopieren:
  `objcopy -O binary -j <sektion> <datei> <zieldatei>`
- Weitere Tools: `readelf`, `nm`

Performance

Problem: „Virtuelle Maschinen sind immer (zu) langsam.”

Fakten:

- moderne CPUs sind sehr schnell
  (bis zu 4.000.000.000 Instruktionen pro Sekunde)
- Speicherzugriffe langsam (u.U. mehrere Tausend Instruktionen)
- Sprünge flushen ggf. die Instruktions-Pipeline (damit werden ggf. bis zu 50 Instruktionen verworfen)
- ...

Performance

Was heißt das für die Programmierung einer Virtuellen Maschine?

- Cache gut ausnutzen
  - Zustand der virtuellen CPU (Register inkl. Status-Wort und Inst.-Pointer)
  - Zustandsinfos der virtuellen I/O-Geräte
  - ...
  - häufig durchlaufener Simulations-Code

  sollte in möglichst wenigen Cache-Zeilen stehen
- Sprünge sollten vermieden werden
  - Inlining
  - „rechnen statt springen"
  - ...

Performance – Caches

Z.B.:

```
struct cpu_state {
  uint32_t ip;
  uint32_t flags;
  uint32_t eax;
  uint32_t ebx;
  ...
} cpu_state __attribute__((__aligned__(128)));
```

Ergebnis: CPU-Zustandsinfo liegt (vermutlich) in ein oder zwei Cache-Zeilen.

Performance – Caches

schlecht

```
void
cpu_step(void) {
  if (! power) {
    /* Do nothing... */
  } else if (irq_pend) {
    cpu_step_irq();
  } else {
    cpu_step_inst();
  }
}
```

C-Compiler generiert vermutlich zwei (i.A. genommene) Sprungbefehle (=> Code vermutlich verteilt auf mehrere Cache-Zeilen)

gut

```
#define BE(a, b) \
    __builtin_expect(a, b)

void
cpu_step(void) {
  if (BE(! power, 0)) {
    /* Do nothing... */
  } else if (BE(irq_pend, 0)) {
    cpu_step_irq();
  } else {
    cpu_step_inst();
  }
}
```

C-Compiler generiert vermutlich zwei (i.A. nicht genommene) Sprungbefehle (=> Code vermutlich in ein/zwei Cache-Zeilen)

Performance – Sprünge

schlecht

```
uint32_t
add(uint32_t a, uint32_t b) {
  uint64_t res
      = (uint64_t) a + b;
  if (0x100000000 <= res) {
    carry = 1;
  } else {
    carry = 0;
  }
  return (uint32_t) res;
}
```

Sprungvorhersage unzuverlässig, da Carry-Bit nicht vorhersagbar (=> viele Pipeline-Flushes).

gut

```
uint32_t
add(uint32_t a, uint32_t b) {
  uint64_t res
      = (uint64_t) a + b;
  carry = (res >> 32) & 1;
  return (uint32_t) res;
}
```

Linearer Code (=> keine Pipeline-Flushes).

Performance – Sprünge

Problematisch:

```
exec_inst() {
  uint8_t inst = load(ip++);
  switch (inst) {
  case 0x00: ...; break;
  case 0x01: ...; break;
  ...
  case 0xff: ...; break;
}
```

Sprungvorhersage unzuverlässig, da immer neue Instuktionen (=> viele Pipeline-Flushes).

Performance – Sprünge

schlecht

Datei x.c

```
  ...
void
bar(...) {
  ...
}
  ...
```

Datei y.c

```
  ...
void
foo(...) {
  ...
  bar(...);
  ...
}
  ...
```

Nicht „static” und andere Datei
(=> Inlining i.A. unmöglich).

eine Datei

gut

```
  ...
static void
bar(...) {
  ...
}
  ...
void
foo(...) {
  ...
  bar(...);
  ...
}
  ...
```

„static” und gleiche Datei
(=> Inlining möglich).

Performance – Sprünge

eventuell besser

```
uint32_t
alu(
  int cmd,
  uint32_t a,
  uint32_t b
)
{
  uint32_t res;
  switch (cmd) {
  case 0: res = a + b; break;
  case 1: res = a - b; break;
  case 2: res = a * b; break;
  case 3: res = a / b; break;
  }
  return res;
}
```

`inst` immer wieder anders
(=> viele Pipeline-Flushes).

```
uint32_t
alu(
  int cmd,
  uint32_t a,
  uint32_t b
)
{
  uint32_t res[4];
  res[0] = a + b;
  res[1] = a - b;
  res[2] = a * b;
  res[3] = a / b;
  return res[cmd];
}
```

linearer Code
(=> keine Pipeline-Flushes).