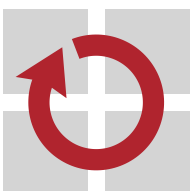
Übungen zu Systemprogrammierung 1

Ü6 – Besprechung A3 & Testen

Wintersemester 2021/22

Dustin Nguyen, Jonas Rabenstein, Christian Eichler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Agenda

13.1 Besprechung Aufgabe 3: halde

13.2 Datentypen nach C11

13.3 Zeiger und undefiniertes Verhalten

Aufgabe 3: halde

Aufgabenstellung

- Eigene **Freispeicher**verwaltung
- `malloc()`, `realloc()`, `calloc()` & `free()`
- Makefile
- Testfälle

Vorstellen der Lösung von…

Standard Datentypen

- Größe der Datentypen ist von der Ausführungsumgebung abhängig
  $\Rightarrow$Hardware oder Betriebssystem
- Datentypen können mit `unsigned` als vorzeichenlos deklariert werden
- Typen und vorgegebene Wortbreiten [1] in Bytes:

Typ	relative Größe	C11	64-Bit Linux
`char`		1	1
`short int`	$\geq$ `char`	$\geq$ 1	2
`int`	$\geq$ `short`	$\geq$ 2	4
`long int`	$\geq$ `int`	$\geq$ 4	8
`long long int`	$\geq$ `long int`	$\geq$ 8	8

[1] Eigentlich ist der Wertebereich und nicht die Wortbreite definiert

Exakte Wortbreiten

- „exact-width integer“ geben Garantie über die tatsächliche Wortbreiten
- Die Datentypen lauten: `{u}int{8,16,32,64}_t`
- Limit-Makros definiert in `stdint.h`: `UINT{8,16,32,64}_MAX` `INT{8,16,32,64}_{MAX,MIN}`
- Benutzt Makros für Format-Strings [2] (siehe `inttypes.h(7p)`)

```
uint8_t  c = 0x11;
uint16_t s = 0x1122;
uint32_t i = 0x11223344;
uint64_t l = 0x1122334455667788;
printf("%"PRIu8"\n", c);
printf("%"PRIu16"\n", s);
printf("%"PRIu32"\n", i);
printf("%"PRIu64"\n", l);
```

```
int8_t  c = -128;
int16_t s = -32768;
int32_t i = -2147483648;
int64_t l = -9223372036854775808;
printf("%"PRIi8"\n", c);
printf("%"PRIi16"\n", s);
printf("%"PRIi32"\n", i);
printf("%"PRIi64"\n", l);
```

[2] Konkatenation von String Literalen, wenn sie direkt aufeinander folgen.
`char *x = "Hallo" "Welt";` $\iff$ `char *x = "HalloWelt";`

Weitere Ganzzahl-Typen

`{u}intptr_t`

- Ein Ganzzahl-Typ, der den Zahlenwert eines Zeigers speichern kann
- Kann zur Arithmetik auf Adressen verwendet werden

`{s}size_t`

- `size_t` ist der Ergebnis-Typ des `sizeof`-Operators
- Beschreibt die Größe von Datentypen in Byte
- Das Makro `SIZE_MAX` beinhaltet den maximal Wert
- `ssize_t` ist vorzeichenbehaftet und wurde mit POSIX eingeführt
- Der max. Wert ist `SSIZE_MAX`
- Formatstring mit “%uz“ bzw. “%z“ für `ssize_t`

Weitere Ganzzahl-Typen II

```c
#include <stdio.h>
#include <stdint.h>
#include <stddef.h>

#define SIZE 10

int main(void) {
  int i_arr[SIZE] = {1};
  intptr_t start = (intptr_t) &i_arr[0];
  intptr_t end = (intptr_t) &i_arr[SIZE];

  intptr_t b_diff = end - start;
  printf("byte diff: %ld\n", b_diff);
}
```

```
> gcc intptr.c && ./a.out
byte diff: 40
```

Weitere Ganzzahl-Typen II

- Fehler und Ergebnis werden mit dem selben Mechanismus mitgeteilt
- Zur Unterscheidung wird der Wertebereich des Ergebnis aufgeteilt
- `void *malloc(size_t size);`
  - Nutzt den Wert `NULL` als Rückgabewert im Fehlerfall
  - Alle anderen Werte sind gültige Zeiger auf allokierten Speicher
- `ssize_t write(int fd, const void *b, size_t nbytes)`
  - `ssize_t` ist das vorzeichenbehaftete Pendant zu `size_t`
  - Der Rückgabewert beschreibt die Anzahl der geschriebenen Bytes
  - Negativer Rückgabewerte beschreibt Fehler
  - $\Rightarrow$ `nbytes` darf nicht größer als `SSIZE_MAX` sein
  - $\Rightarrow$ Der Wertebereich halbiert sich

Überläufe

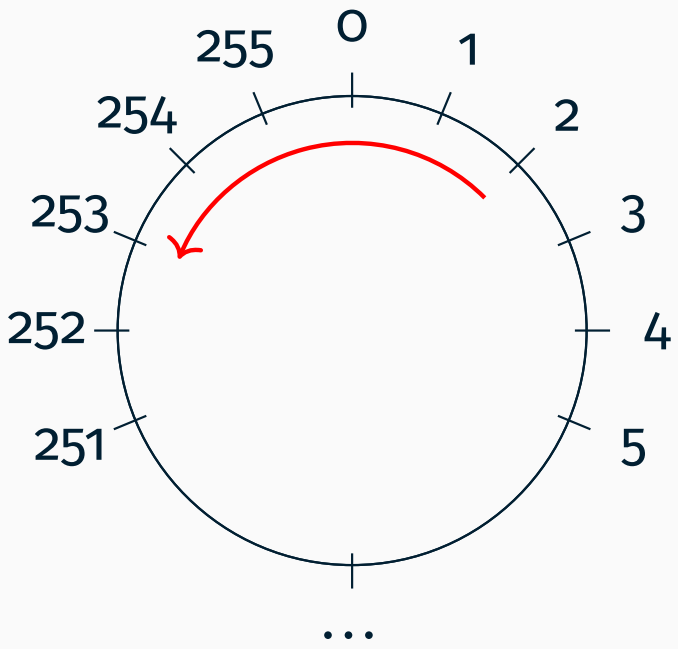
```c
#include <stdio.h>
#include <limits.h>

int main(void) {
  int i = INT_MAX + 1;
  unsigned u = UINT_MAX + 1;
  printf("%d %u\n", i, u);
}
```

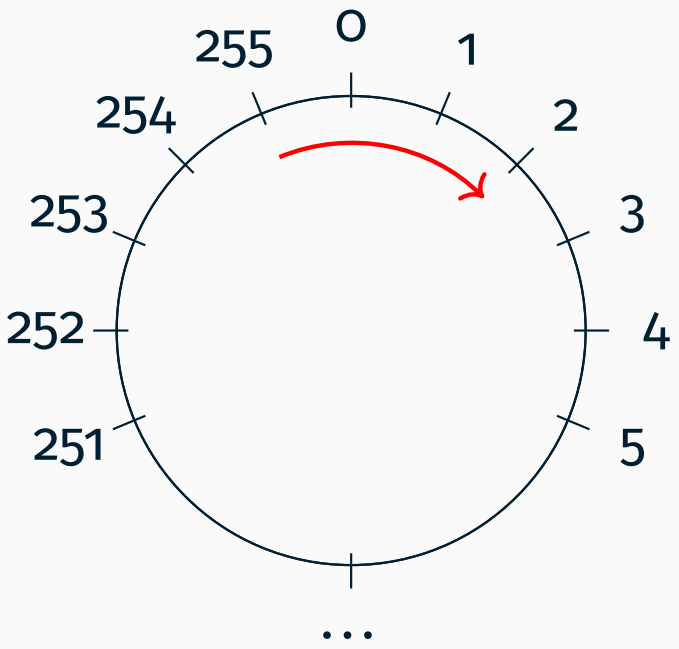
- `gcc -Wall -Werror` warnt vor „overflow“ für `INT8_MAX + 1`
- Das Ergebnis ist zu groß für `int` und Überläufe sind undefiniert
- Bei vorzeichenlosen Typen kann jedoch kein Überlauf geschehen
- Stattdessen folgt nach dem Größten Wert die `0`, bzw. `UINT_MAX` vor der `0`

Überläufe mit Umbruch

```
uint8_t i = 2;
i -= 5;
/* i = 253 */
```




```
uint8_t i = 255;
i += 3;
/* i = 2 */
```



calloc(3): Umbruch vorzeichenloser Ganzzahlen

calloc(3) allokiert Speicher für ein Array mit nmemb Elementen, die jeweils size Byte groß sind.

```
static void *calloc(size_t nmemb, size_t size) {
  size_t total = nmemb * size;
  void *p = malloc(total);
  if (p) {memset(p, 0, total);}
  return p;
}
int main(void) {
  size_t s = 16;
  void *p = calloc((SIZE_MAX/16)+3, s);
  if (p) { memset(p, 0xff, 5 * s); }
}
```

- size_t ist groß genug jeden der Operanden zu speichern
- Das Produkt der Multiplikation ist jedoch zu groß
- total wird der Wert 32 zugewiesen (bei 8 Byte Wortbreite)
- memset in main schreibt über den zugewiesenen Buffer hinaus

calloc(3): Von den Großen lernen

```
#define __glibc_unlikely(cond) \
  __builtin_expect((cond), 0)

void *
__libc_calloc(size_t n, size_t elem_size)
{
  /* ... */
  INTERNAL_SIZE_T sz;
  ptrdiff_t bytes;
  if (__glibc_unlikely(
     __builtin_mul_overflow (
       n, elem_size, &bytes)))
  {
    __set_errno (ENOMEM);
    return NULL;
  }
  sz = bytes;
  /* ... */
}
```

Listing 1: glibc malloc/malloc.c:3365 (version 2.29)

- Arbeitet mit übersetzerabhängigen Erweiterungen
- Übersetzer ist verantwortlich die Multiplikation mit Befehlen zu ersetzen, die für die jeweilige Architektur Überläufe erkennen kann

Undefiniertes Verhalten

> *When the compiler encounters [a given undefined construct] it is legal for it to make demons fly out of your nose.*

- Nicht alles ist im C-Standard definiert
- Z.B. Vergleiche von Zeigern, die auf versch. Arrays zeigen
- In solchen Fällen darf der Übersetzer „frei gestalten“
- Der übersetze Code kann der Erwartung des Programmierers widersprechen

Beispiel für undefiniertes Verhalten

```c
#include <stdio.h>
int main(void) {
  long x[4], y[4];
  void *p = &x[0], *q = &y[4];
  printf("%p %p %d\n", p, q, p == q);
}
```

```
> gcc -O0 ./ptr_comparison.c && ./a.out
0x7ffd4c6eae20 0x7ffd4c6eae20 1
> gcc -O2 ./ptr_comparison.c && ./a.out
0x7ffec72d95d0 0x7ffec72d95d0 0
```

- Ohne Optimierung: Vergleich der Zeiger während der Laufzeit
- Mit -O2: Auswertung des Vergleichs p==q während der Übersetzung
- Vergleich ist undefiniert, da p und q auf versch. Objekte zeigen
- Der Übersetzer darf annehmen, dass beide Zeiger verschieden sind[3]

[3] Details im Appendix

Appendix

Details zum undefinierten Zeigervergleich (1)

```c
#include <stdio.h>
int main(void) {
long x[4], y[4];
void *p = &x[0], *q = &y[4];
printf("%p %p %d\n", p, q, p==q);
}
```

```
> gcc -O0 ./ptr_comparison_01.c
> ./a.out
0x7ffd4c6eae20 0x7ffd4c6eae20 1
```

```c
#include <stdio.h>
int main(void) {
long x[4], y[4];
void *p = &x[4], *q = &y[0];
printf("%p %p %d\n", p, q, p==q);
}
```

```
> gcc -O2 ./ptr_comparison_02.c
> ./a.out
0x7ffec72d95d0 0x7ffec72d95d0 0
```

- Verwendet wurde der gcc in der Version „8.3.0 (Debian 8.3.0-6)“ aus dem Debian Package-Repository „buster“
- Der Übersetzer ordnet je nach Optimierungsstufe die Arrays auf dem Stack um