Verlässliche Echtzeitsysteme

Übungen zur Vorlesung

Florian Franzmann, Tobias Klaus

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
https://www4.cs.fau.de

8. Juli 2015

Annahmen

- C99
- x86 bzw. x86-64, d. h.
  - vorzeichenbehaftete Integer als Zweierkomplement implementiert
  - `char` hat 8 Bit
  - `short` hat 16 Bit
  - `int` hat 32 Bit
  - `long` hat 32 Bit auf x86 und 64 Bit auf x86-64

Frage 19

Angenommen `x` hat Typ `int`. Ist `(short) (x + 1)` ...

1. definiert für alle Werte
2. definiert für manche Werte
3. definiert für keinen Wert

von `x`?

Erklärung

- wenn `x + 1` nicht in `short` passt
  - ⇝ implementierungsabhängig
- die meisten Compiler schneiden beim Cast ab

Frage 20

Hat die Auswertung von `INT_MIN % -1` definiertes Verhalten?

1. ja
2. nein
3. das weiß niemand . . .

Erklärung

- C99 macht dazu keine Aussage
- in C11 gilt folgendes:
  - wenn `(a/b)*b + a%b` darstellbar ist, haben `a/b` und `a%b` definiertes Verhalten
  - sonst nicht
  - `INT_MIN / -1` entspricht `INT_MAX + 1`
  - was auf x86/x86-64 nicht darstellbar ist

Umgang mit Ganzzahlfehlern

- C bietet viele subtile Fehlermöglichkeiten
- Im C-Quiz haben wir einige kennengelernt
- Was uns noch fehlt:
  - *Wie verhält man sich als Programmierer richtig?*

  ⇝ Heute ein paar Beispiele

Addition

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
2   return a + b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <limits.h>
2 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
3   if (UINT_MAX - a < b) { raise("wraparound"); }
4   return a + b;
5 }
```

Nachbedingungstest

```
1 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
2   unsigned int ret = a + b;
3   if (ret < a) { raise("wraparound"); }
4   return ret;
5 }
```

Subtraktion

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
2   return a - b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
2   if (a < b) { raise("wraparound"); }
3   return a - b;
4 }
```

Nachbedingungstest

```
1 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
2   unsigned int ret = a - b;
3   if (ret > a) { raise("wraparound"); }
4   return ret;
5 }
```

Multiplikation

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
2   return a * b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <limits.h>
2 unsigned int func(unsigned int a, unsigned int b) {
3   if (UINT_MAX / a < b) { raise("wraparound"); }
4   return a * b;
5 }
```

Explizite Typumwandlung

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 unsigned int func(signed int a) {
2   return (unsigned int) a; /* keine Compilerwarnung wg. Cast */
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 unsigned int func(signed int a) {
2   if (a < 0) { raise("wraparound"); }
3   return (unsigned int) a;
4 }
```

Explizite Typumwandlung

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 unsigned char func(unsigned long int a) {
2   return (unsigned char) a; /* keine Compilerwarnung wg. Cast */
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 unsigned char func(unsigned long int a) {
2   if (a > UCHAR_MAX) { raise("overflow"); }
3   return (unsigned char) a; /* keine Compilerwarnung wg. Cast */
4 }
```

Explizite Typumwandlung

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed char func(unsigned long int a) {
2   return (signed char) a; /* keine Compilerwarnung wg. Cast */
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <limits.h>
2 signed char func(unsigned long int a) {
3   if (a > SCHAR_MAX) { raise("overflow"); }
4   return (signed char) a;
5 }
```

Explizite Typumwandlung

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed char func(signed long int a) {
2   return (signed char) a; /* keine Compilerwarnung wg. Cast */
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed char func(signed long int a) {
4   if (a < SCHAR_MIN or SCHAR_MAX < a) { raise("overflow"); }
5   return (signed char) a; /* keine Compilerwarnung wg. Cast */
6 }
```

Addition

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed int func(signed int a, signed int b) {
2   return a + b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed int func(signed int a, signed int b) {
4   if ((b > 0 and a > INT_MAX - b)
5    or (b < 0 and a < (INT_MIN - b))) { raise("overflow"); }
6   return a + b;
7 }
```

Subtraktion

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed int func(signed int a, signed int b) {
2   return a - b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed int func(signed int a, signed int b) {
4   if ((b > 0 and a < INT_MIN + b)
5    or (b < 0 and a > INT_MAX + b)) { raise("overflow"); }
6   return a - b;
7 }
```

Division

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed long func(signed long a, signed long b) {
2   return a / b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed long func(signed long a, signed long b) {
4   if (b == 0) { raise("division by 0"); }
5   return a / b;
6 }
```

Division

- Reicht das schon?

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed long func(signed long a, signed long b) {
2   if (b == 0) { raise("division by 0"); }
3   return a / b;
4 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed long func(signed long a, signed long b) {
4   if (b == 0) { raise("division by zero"); }
5   if (a == LONG_MIN and b == -1) { raise("overflow"); }
6   return a / b;
7 }
```

Modulo

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed long func(signed long a, signed long b) {
2   return a % b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed long func(signed long a, signed long b) {
4   if (b == 0) { raise("division by zero"); }
5   if (a == LONG_MIN and b == -1) { raise("overflow"); }
6   return a % b;
7 }
```

Negation

Was soll da schon schiefgehen...

```
1 signed long func(signed long a) {
2   return -a;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <limits.h>
2 signed long func(signed long a) {
3   if (a == LONG_MIN) { raise("overflow"); }
4   return -a;
5 }
```

Multiplikation

Was soll da schon schiefgehen...

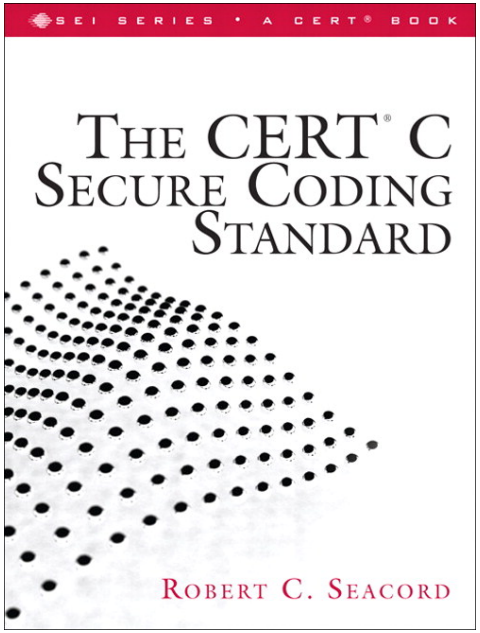
```
1 signed int func(signed int a, signed int b) {
2   return a * b;
3 }
```

Vorbedingungstest

```
1 #include <iso646.h>
2 #include <limits.h>
3 signed int func(signed int a, signed int b) {
4   if (a > 0 and b > 0 and a > INT_MAX / b) { raise("overflow"); }
5   if (a > 0 and b < 0 and b < INT_MIN / a) { raise("overflow"); }
6   if (a < 0 and b > 0 and a < INT_MIN / b) { raise("overflow"); }
7   if (a < 0 and b < 0 and b < INT_MAX / a) { raise("overflow"); }
8   return a * b;
9 }
```

Das ist leider noch nicht alles . . .

- Es gibt noch mehr Sachen, auf die man aufpassen muss
- Literaturempfehlung:



- auch online:
  `https://www.securecoding.cert.org/confluence/display/c/SEI+CERT+C+Coding+Standard`

Table of Contents

Wunschliste I

Was wünschen wir uns von einer Programmiersprache?

- Explizitheit
  - so viel formale Information wie möglich im Code
  - so viel formale Information wie möglich in der Spezifikation
- Keine Mogeleien, Hacks, …
  - Möglichst keine Zeiger
  - Keine Mehrdeutigkeit
  - Typumwandlung nur explizit
- Zweifelhafte Dinge *möglich* machen

  ⇝ aber nicht versteckt!

Wunschliste II

Was noch?

- Gute Lesbarkeit
  - $\leadsto$ Hochsprache
    - Kopieren von Arrays durch Zuweisung, nicht `memcpy`
    - Kopieren von Teilarrays
- Sicherheit
  - Wertüberprüfung zur Laufzeit
  - Automatische Prüfung auf Pufferüberlauf
  - Parametermodi (rein, raus, rein/raus)
  - Verträge, auch für Typen
- Abstraktion, Kapselung $\leadsto$ Namensräume, Module
- Explizit vereinbare Datenrepräsentation
- ...

Die Programmiersprache Ada

- Erfüllt alle unsere Anforderungen
- Allgemein anwendbare Programmiersprache
- Besonderes Augenmerk auf *Safety* und *Echtzeit*
- Keine akademische „Spinnerei“ . . .
  - Airbus A320, A330, A340, A380
  - Boeing 737, 747, 757, 767, 777, 787
  - TGV
  - Metro Linie 14 in Paris $\rightsquigarrow$ selbstfahrend
  - INMARSAT, NASA Cloudsat, European Space Agency Infrared Space Telescope
  - . . .

C wurde als Kandidat für Ada in Erwägung gezogen . . .

Die Väter von C lehnten das jedoch ab!

Wertbeschränkte Typen

- In Ada erben von *jedem* Typ möglich
- Auch von Ganzzahl-, Gleitkomma- und Festkommatypen
- *Beschränkung des Wertebereichs* möglich
- Verletzung der Beschränkung führt zumindest zu Laufzeitfehler
- Wird aber auch oft vom Compiler erkannt

```
1  type Small_Integer is Integer range 0 .. 31;
2
3  function Sum(First, Second : Small_Integer) is
4  begin
5    return First + Second;
6  end Sum;
7
8  Value : Small_Integer := Sum(20, 12); -- CONSTRAINT_ERROR
```

Subtypprädikate

- Schränken Typen weiter ein
- Ggf. auch mit Hilfe komplexer Ausdrücke
- Fehlermeldung spätestens zur Laufzeit
- Oft auch schon zur Übersetzungszeit

```
1  type Day is (Monday,
2               Tuesday,
3               Wednesday,
4               Thursday,
5               Friday,
6               Saturday,
7               Sunday);
8  type Weekend_Day is new Day
9    with Static_Predicate => Weekend_Day in
10                            Saturday | Sunday;
11 M_Weekend_Day : Weekend_Day := Monday; -- Fehler, Compiler warnt
12
13 subtype Even is Integer
14   with Dynamic_Predicate => Even mod 2 = 0;
15 Number : Even := 1; -- Laufzeitfehler
```

Typinvarianten

- Bedingung, die für Datum eines Typs *immer* gelten muss
- Überprüfung nicht bei Zugriff auf einzelne `record`-Teile

  `record` ≡ C-`struct`
- Nur bei Übergabe/Rückgabe an/aus
  - Funktion
  - Prozedur

```
1  type Day is new String (1 .. 10);
2  type Message is record
3    Sent     : Day;
4    Received : Day;
5  end record with
6    Dynamic_Predicate => Message.Sent <= Message.Received;
7
8  M : Message := (Received => "1776-07-04", Sent => "1783-09-03");
9    --  Fehler
```

Verträge I

- *Vertrag*: Vor-/Nachbedingungen von Funktionen
  - ⇝ WP-Kalkül
- Verletzte Verträge werden spätestens zur Laufzeit erkannt
- Beweis von Verträgen mit Hilfe von *SPARK*

```
1  function Maximum(A : Integer; B : Integer) return Integer
2    with  Pre => True,
3          Post => Maximum'Result >= A and Maximum'Result >= B;
4
5  function Maximum(A : Integer; B : Integer) return Integer is
6    Ret : Integer := Integer'First;
7  begin
8    if A > B then
9      Ret := A;
10   else
11     Ret := B;
12   end if;
13
14   return Ret;
15 end Maximum;
```

Verträge II

```
1  type Integer_Array is array (Positive range <>) of Integer;
2
3  function Maximum(A : Integer_Array) return Integer
4    with  Pre => True,
5          Post => (for all M in A'Range
6                   => A(M) <= Maximum'Result);
7
8  function Maximum(A : Integer_Array) return Integer is
9    Ret : Integer := Integer'First;
10 begin
11   for I in A'Range loop
12
13     assert(for all J in A'First .. I - 1
14            => Ret >= A(J));
15
16     if Ret < A(I) then
17       Ret := A(I);
18     end if;
19
20     assert(for all J in A'First .. I - 1
21            => Ret >= A(J));
22
23   end loop;
24
25   return Ret;
26 end Maximum;
```