

Programmierkurs

Vorlesung 9

Dr. Ole Klein

Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen
Universität Heidelberg

22. Januar 2021

Fehlersuche

Compilerwarnungen

Debugger

Sanitizers

Programme haben Bugs

Jeder von Ihnen hat schon einmal einen Fehler in einem eigenen Programm gesucht.

Wie sind Sie das angegangen?

Methoden zur Fehlersuche

Fehlersuche zur Laufzeit

- ▶ Einfügen zusätzlicher Ausgaben (`printf()`-Debugging)
- ▶ Debugger
- ▶ überwachte Programmausführung (Sanitizers, Valgrind)

Methoden zur Fehlersuche

Fehlersuche zur Laufzeit

- ▶ Einfügen zusätzlicher Ausgaben (`printf()`-Debugging)
- ▶ Debugger
- ▶ überwachte Programmausführung (Sanitizers, Valgrind)

Fehlersuche zur Compilezeit

- ▶ Diagnose durch den Compiler (Warnungen)
- ▶ auch als statische Programm-Analyse bezeichnet
- ▶ In manchen Sprachen sehr weitgehend bis zu mathematischen Korrektheitsbeweisen

Der Compiler will helfen

- ▶ Moderne Compiler haben eine Vielzahl an Warnungen
- ▶ Standardsatz mit `-Wall`
- ▶ Bei Fehlern eventuell `-Wextra`
- ▶ Manpage zum Finden einzelner Warnungen
- ▶ Warnungen lesen, verstehen und beheben!

Compilerwarnungen: Beispiel

```
#include <iostream>

int fibonacci(int i) {
    switch(i) {
        case 0: return 0;
        case 1: return 1;
        default: fibonacci(i-1) + fibonacci(i-2);
    }
}

int main() {
    std::cout << fibonacci(1) << std::endl;
    std::cout << fibonacci(2) << std::endl;
    std::cout << fibonacci(3) << std::endl;
}
```

Was macht dieses Programm?

Compilerwarnungen: Beispiel

Der Compiler kann hier helfen:

```
g++ -Wall fibonacci.cc
```

Ausgabe:

```
fibonacci.cc:5:33: warning: expression result unused [-Wunused-value]
      default: fibonacci(i-1) + fibonacci(i-2);
                    ~~~~~ ~~~~~
fibonacci.cc:7:5: warning: control may reach end of non-void function [-Wreturn-type]
    }
    ~
2 warnings generated.
```


Debugger

Debugger sind mächtige Werkzeuge zur Laufzeit-Untersuchung

- ▶ **Breakpoints** können das Programm unterbrechen
 - ▶ beim Erreichen bestimmter Codezeilen
 - ▶ beim Aufrufen bestimmter Funktionen
 - ▶ optional mit Bedingungen (z.B. $x > 0$)
 - ▶ beim Zugriff auf Variablen (**Watchpoints**)
 - ▶ beim Werfen oder Fangen von Exceptions
- ▶ Im angehaltenen Programm können Informationen ausgegeben und verändert werden
 - ▶ Werte von Variablen
 - ▶ Die aktuelle Funktionshierarchie (**Backtrace**)
 - ▶ Arbeitsspeicher-Inhalte
 - ▶ Werte von CPU-Registern

Wichtig

Debugger benötigen zusätzliche Informationen über das Programm (Option `-g3`, CMake: Debug-Build)

Standard-Debugger

GDB ist der Standard-Debugger unter Linux

- ▶ unterstützt viele Programmiersprachen
- ▶ weitreichende Dokumentation im Internet
- ▶ viele IDEs können mit GDB zusammenarbeiten
- ▶ erlaubt Rückwärts-Debugging
- ▶ erfordert spezielle Konfiguration unter macOS

LLDB ist der Standard-Debugger unter macOS

- ▶ Teil des LLVM-Projekts, das auch clang entwickelt
- ▶ schlecht dokumentiert
- ▶ Kommandozeilen-Interface oft sehr umständlich
- ▶ versteht Quellcode sehr gut durch Interaktion mit clang

Vorbereitung (für alle Debugger)

Programm ohne Optimierung und mit Debug-Informationen kompilieren

- ▶ Kommandozeile: `-O0 -g3`
- ▶ CMake: Neues Build-Verzeichnis mit `-DCMAKE_BUILD_TYPE=Debug`

Speichern der eingegebenen Befehle zwischen Sitzungen aktivieren:

```
echo "set history save on" > ~/.gdbinit
```

GDB: Programm starten und Breakpoints

GDB für Programm buggy starten

```
gdb buggy
```

Breakpoint in Zeile 42 von buggy.cc setzen

```
break buggy.cc:42
```

Programm starten (oder neu starten, falls es läuft)

```
run [eventuelle Kommandozeilen-Argumente]
```

GDB: Programmsteuerung

Programm nach einem Breakpoint weiterlaufen lassen

```
continue
```

Nächste Zeile ausführen (nicht in Funktionen hineinspringen)

```
next
```

Nächste Zeile ausführen (in Funktionen hineinspringen)

```
step
```

Bis zum Ende der aktuellen Funktion weiterlaufen lassen

```
finish
```

GDB: Informationen ausgeben

Einen Ausdruck ausgeben (Variablen etc.)

```
print point.x
```

Alle lokalen Variablen anzeigen

```
info locals
```

Alle Funktionsargumente anzeigen

```
info args
```

Aktuellen Stacktrace anzeigen

```
backtrace # oder kurz bt
```

Der Stacktrace listet die ineinander geschachtelten Funktionsaufrufe auf, beginnend mit der aktuellen Funktion bis `main()`.

GDB: Fazit

Mächtiges Werkzeug, aber nicht leicht zu bedienen

Mächtiges Werkzeug, aber nicht leicht zu bedienen

⇒ Einfacher mit Hilfe einer IDE

Beispiel: QT Creator

Sanitizers

Sanitizer sind spezielle Compiler-Komponenten, die den generierten Code **instrumentieren**, so dass bestimmte Fehler zur Laufzeit erkannt werden:

- ▶ Address Sanitizer (`-fsanitize=address`): Erkennt ungültige Speicherzugriffe
- ▶ Undefined Behavior Sanitizer (`-fsanitize=undefined`): Erkennt Programmcode, der undefiniertes Verhalten auslöst. Nicht sehr zuverlässig.
- ▶ Thread Sanitizer (`-fsanitize=thread`): Erkennt Probleme bei der Programmierung mit mehreren Threads. Hier können mehrere CPU-Kerne gleichzeitig auf eine Variable zugreifen, was sogenannte **data races** erzeugt.
- ▶ In eine ähnliche Kategorie fällt das externe Tool **valgrind**, mit dem das Programm auf simulierter Hardware ausgeführt wird, die viele Fehler erkennt, aber durch die Simulation sehr langsam ist.

Warum Sanitizers?

- ▶ Oft kann ein Programm nach einem falschen Speicherzugriff etc. noch lange weiterlaufen.
- ▶ Viel später greift ein anderer Programmteil auf den überschriebenen Speicherbereich zu, und das Programm crasht.
- ▶ Ein Debugger kann nur sagen, wann dieser Crash passiert.
- ▶ Ein Sanitizer erkennt oft den wirklichen Grund für einen Bug.
- ▶ Manche Klassen von Fehlern treten in Debug-Builds nicht auf und können mit Debuggern nicht untersucht werden.
- ▶ Sanitizers können auch mit Optimierung verwendet werden, man muss nur die Debuginformation anschalten (-g3).