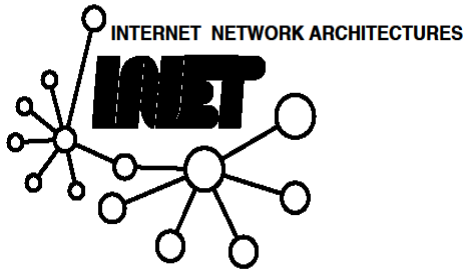


C-Kurs
Debugging
Stack

Debugging

Techniken

Beispiel Debugger: gdb

Debugging

- Nötig während der Entwicklung
  - Hinweis: Code sollte Stück für Stück entwickelt, getestet und debugged werden!
- Nötig, wenn Code nicht compiliert
- Nötig, wenn Software
  „sich anders verhält als erwartet“
- D.h., Resultate unterscheiden sich von Spezifikation
- Typischerweise
  - Nicht, weil die ganze Software voller Fehler ist
  - Sondern, wegen eines kleinen inkorrekten Codefragments (Bug)
- Bug: Codefragment das nicht seiner Spezifikation entspricht

Bugs

- Konsequenzen von Bugs:
  - Compiler gibt syntaktischen/semantischen Fehler (syntax/semantic error)
  - Programm hält mit Laufzeit Fehler (run-time error)
  - Programm hält nie an
  - Programm läuft vollständig, aber gibt inkorrekte Resultate
  - Programm läuft vollständig, aber gibt manchmal inkorrekte Resultate

Syntaktische Fehler

- Vorgehen, wenn der Compiler syntaktische Fehler ausgibt

- Zum ersten Fehler gehen (wegen möglicher Folgefehler)
  - In die passende Zeile im Code gehen (Ist in der Fehlermeldung des Compilers angegeben)
  - Fehler verstehen
  - Fehler beheben
  - Compilieren
  - Fehler behoben ?
    - Wenn ja gegebenenfalls nächsten Fehler beheben
    - Wenn nein versuchen, Fehler zu verstehen und zu beheben…

Bugs: Beispiel

- Beispiel eines buggy Programms

```
int main ( int argc, char *argv[]) {
   int n = 1024;
   int buf[n];
   unsigned int i;
   for (i=n-1; i >= 0; i--) {
      buf[i] = n;
   }
}
```

Debugging (2.)

- Drei Aspekte
  - Code finden, der das Problem verursacht
  - Verstehen, wieso Code ein Problem verursacht
  - Code fixen, sodass das Problem gelöst wird
- Generell:
  - Nach Lokalisierung des Problems ist es relativ einfach das Problem zu verstehen
  - Fixen des Bugs ist verhältnismäßig einfach nachdem das Problem gefunden und verstanden ist
    (Außer für den Fall das ein substantielles Re-design und/oder Re-Implementation notwendig ist)

Debugging (3.)

- Fixen von Bugs (Normalfall):
  - Prüfen der Spezifikation
  - Modifikation des Codes entsprechend der Spezifikation
- Spezialfall:
  - Modifikation der Spezifikation
  - Modifikation des Codes
- Spezialfall 2:
  - Modifikation der Spezifikation: Bug = Feature (Merkmal)

Debugging: Verstehen des Fehlers

- Vorgehen, nachdem eine kleine fehlerhafte Region im Code gefunden wurde
  - Was ist der Zustand des Programms vor Ausführung des Codes
  - Was ist der Zustand des Programms nach der Ausführung
  - Vergleich dieses Zustandes mit dem erwarteten Zustand (nach Spezifikation)
  - Verfolgen des Codes, um zu finden, wo der Zustand nicht wie erwartet verändert wurde
- Was ist der Zustand eines Programms?
  - Namen und Werte aller aktiven Variablen
  - Z.B. $x == 3, y == 7, ...$
  - Der Zustand eines Programms kann sehr, sehr groß sein

Debugging: Fehlerlokalisierung

Schwierigste Schritt: Lokalisierung des Bugs

- Bug == Codesegment mit nicht beabsichtigten Aktionen. Man muss verstehen:
  - Im Detail, was der Code machen sollte
  - Im Detail, was der Code wirklich macht
- Hauptproblem: Riesige Mengen von Details (jedenfalls in nicht trivialen Programmen)

- Haupttrick zum effektiven Debuggen: Einengen des „focus of attention“
- Ausnutzen von Suchstrategien, die es erlauben auf den Bug zu zoomen („zoom in“)

Debugging: Suchstrategie

Gegeben: Buggy Programm

- Am Anfang ist alles OK
- Irgendwann wird ein buggy Statement ausgeführt, danach ist der Programmzustand inkorrekt

Ziel:

- Identifikation des Codeblocks, in dem der Zustand „korrumpiert“ wird.

Verlangt:

- Kenntnis des Zustandes an verschiedenen Punkten während der Ausführung

Debugging: Suchstrategie (2.)

Ausnutzung typischen Strukturen eines Programms

- Anschauen (Display) aller Hauptdatenstrukturen nach
  - Initialisierung
  - An „strategischen Punkten“ während der Programmausführung
  - Am Ende des Programms
- Wie findet man strategische Punkte?
  - Nach der ersten, zweiten, mittleren Iteration einer wichtigen Schleife
  - Nach einem Tastendruck, der ein interaktives Programm zum Absturz bringt
  - Nach dem Punkt, wo das Programm die letzte korrekte Ausgabe liefert

Programmzustandsuntersuchung

Endscheidendes Tool: Mechanismus zum Anzeigen des Zustands

- Eine Möglichkeit: printf von „suspekten“ Variablen
- Probleme:
  - Ändert das Programm
  - Falsches Raten bezüglich der suspekten Variablen
  - Ausgabe von viel zu vielen Daten

Programmzustandsuntersuchung

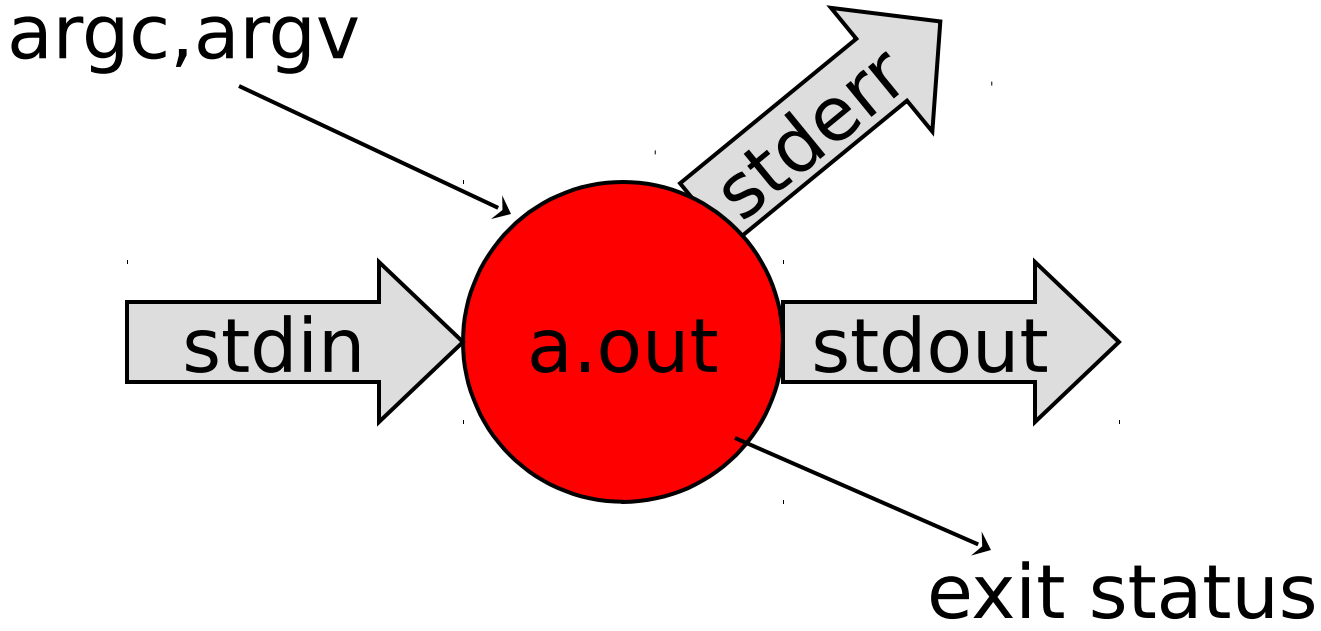
- Zweite Möglichkeit: Debugger
  - Kann ein Programm an bestimmten Punkt unterbrechen
  - Kann bei Unterbrechung den Zustand anzeigen

- Zusätzlich ermöglichen Debugger
  - Den Zustand von Programmen, die durch „run-time“ Fehler (Laufzeitfehler) abstürzen anzuzeigen
  - Führt oft zu dem Punkt, wo der Fehler auftritt

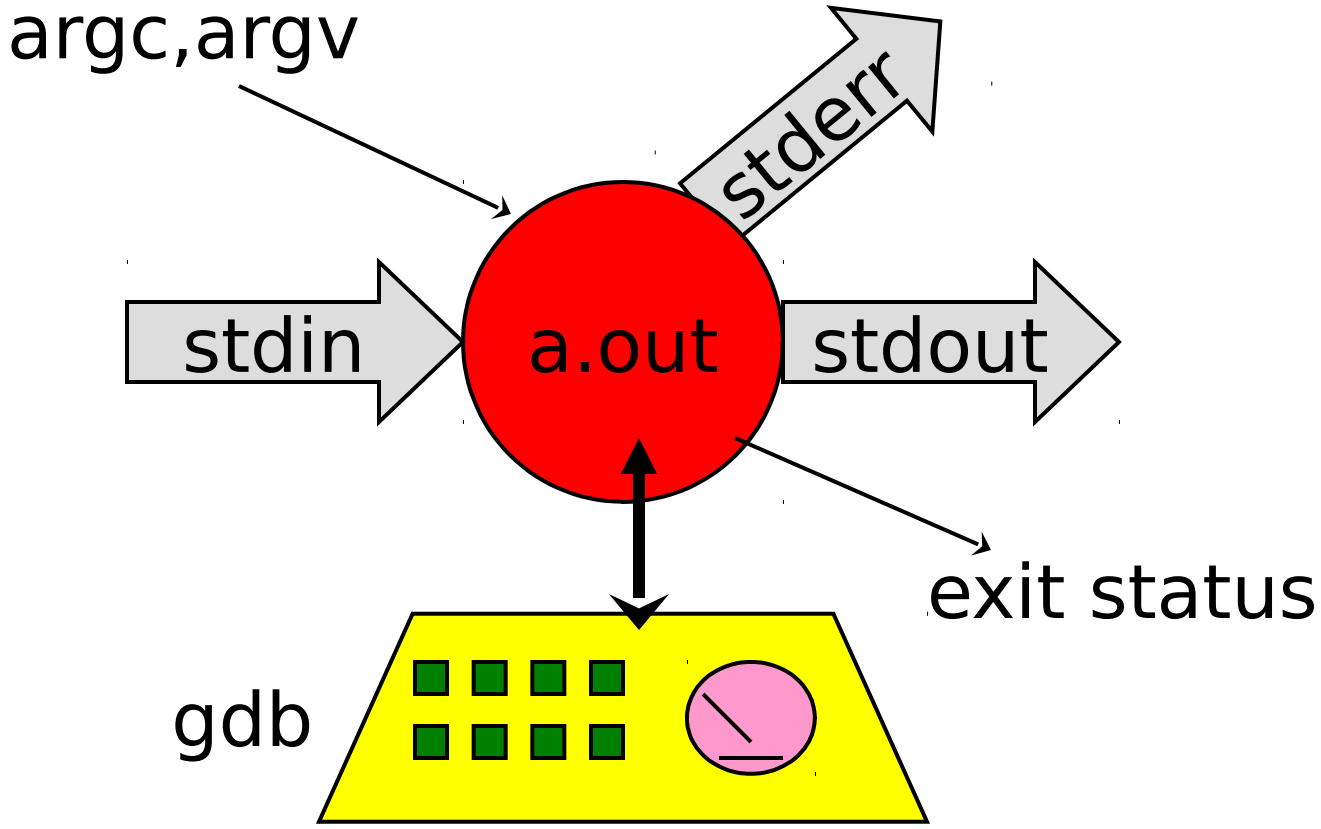
Programmausführung

- Ein C, C++ Programm läuft bis:
  - Zum Ende, und produziert ein Resultat
    - Ist das Resultat korrekt?
    - Ist das Resultat nicht das Erwartete?
  - Bis das Programm einen Fehler findet und exit() aufruft
  - Bis ein Laufzeitfehler zum Stoppen führt
    (z.B. Segmentation fault – core dumped)
    (z.B. Laufzeitfehler – Speicherabzug geschrieben)

Normale Programmausführung



Programmausführung mit Debugger



Debugger

- Über Debugger kann die Programmausführung kontrolliert werden
  - Normale Ausführung (run, cont)
  - An einem gewissen Punkt zu halten (break)
  - Ein Statement pro Schritt (step, next)
    - Über Subroutine Aufrufe hinweg (next)
    - In Subroutinen anhalten (step)
  - Den Programmzustand zu inspizieren (print, eXamine)
    - Variablen (print)
    - Speicher (eXamine)

Debugger (2.)

- Das Tool gdb ist ein Kommandozeilen basierter Debugger für C, C++, ...
- Es gibt GUI font-ends (z.B. ddd, kdbg, xxgdb, ...)

- Funktionalität:
  - Kontrollierte Programmausführung
  - Anzeige von Zustand
  - Zusätzlich: Änderung von Variablen, Speicher, ...

Debugger (3.)

- Um gdb nutzen zu können: Compilieren mit –g Argument
- Gdb nimmt zwei Argumente:
  - `gdb executable core`
- Z.B.:
  - `gdb a.out core`
  - `gdb myprog`
- Das Argument `core` ist optional

gdb Sitzung

- gdb ist wie eine Shell zum Kontrollieren und Beobachten eines Programms

gdb Kommandos: Basis

- quit – verlässt gdb
- help [CMD] – on-line Hilfe für Kommando CMD
- run ARGS – Ausführen des Programms mit Argumenten ARGS, z.B.:
  - a.out datei.in
- wird
  - run datei.in

gdb Kommandos: Status

- where – gibt Aufrufkette (stack trace) aus
  - Mit core dump: Finden welche Funktion das Programm ausgeführt hat als es abgestürzt ist
  - Bei Unterbrechung: Ausgabe der Aufrufkette

Ausflug: Aufrufketten

Aufrufkette: Beispiel

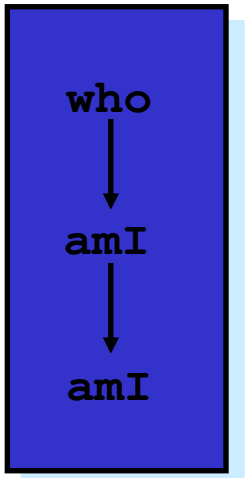
- Code Struktur

```
who(…)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    }
```

- Funktion **amI** rekursiv

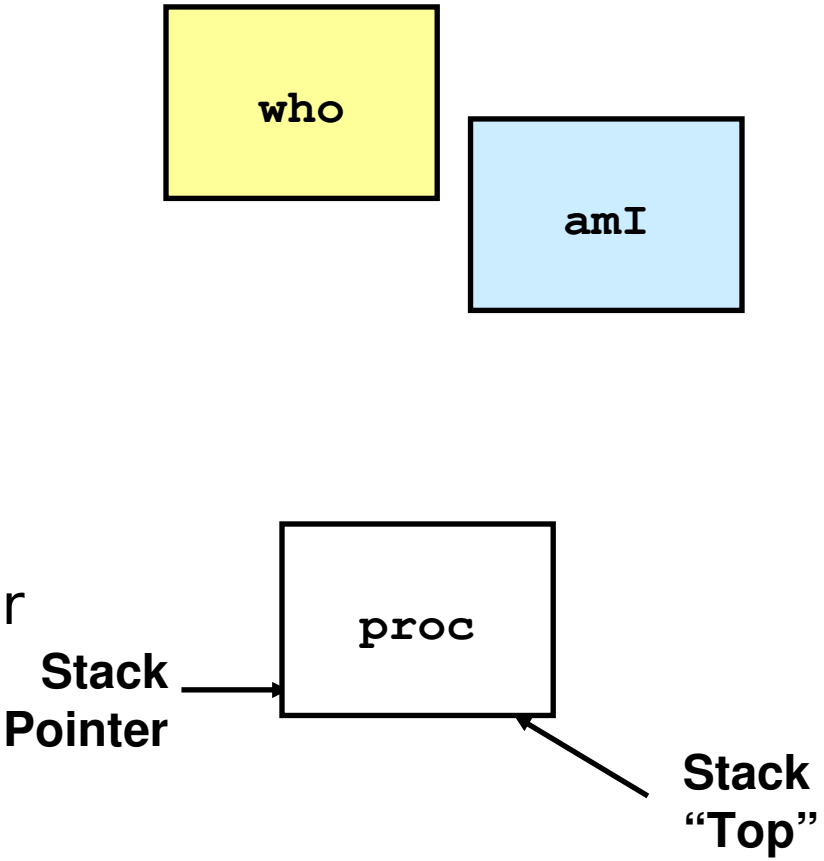
```
amI(…)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    }
```

Aufrufkette



Stack-Frames

- Inhalt
  - Lokale Variablen
  - Rückkehrinformation
  - Parameter
- Speicherverwaltung
  - Speicher alloziert beim Eintritt in die Funktion
  - Freigegeben bei der Rückkehr
- Hilfsmittel
  - Stack-Pointer

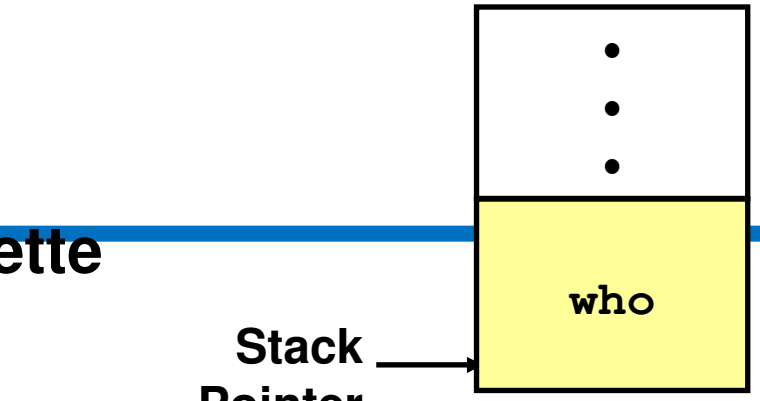


Stack-Operationen

Aufrufkette

```
who(...)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    }
```

who



Stack-Operationen

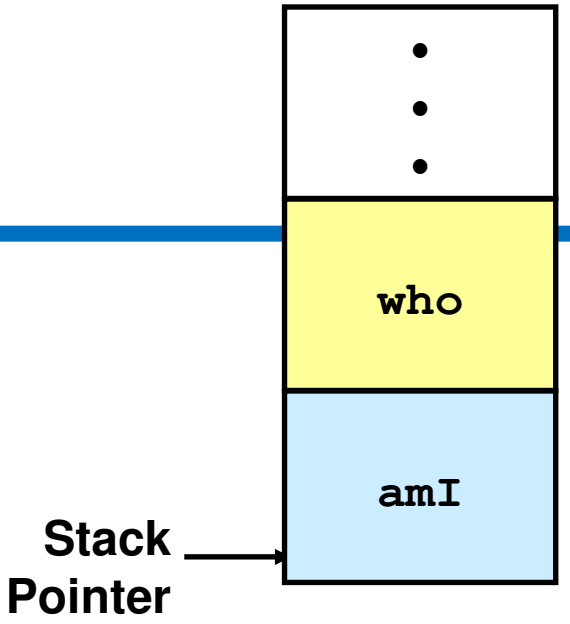
```
amI(...)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    }
```

Aufrufkette

who

↓

amI

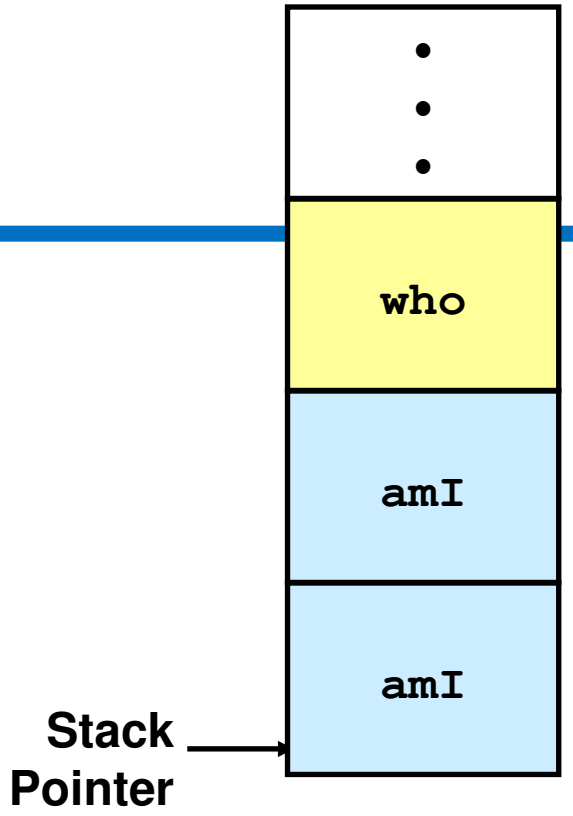


Stack-Operationen

```
amI(...)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    }
```

Aufrufkette

who
↓
amI
↓
amI

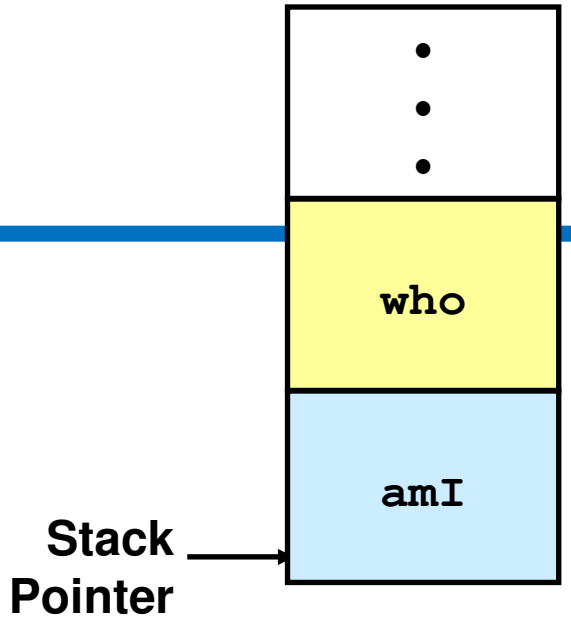


Stack-Operationen

Aufrufkette

```
amI(...)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    }
```

who
↓
amI
↓
amI



Stack-Operationen

```
who(...)
{
    •
    •
    amI();
    •
    •
    •
    }
```

Aufrufkette

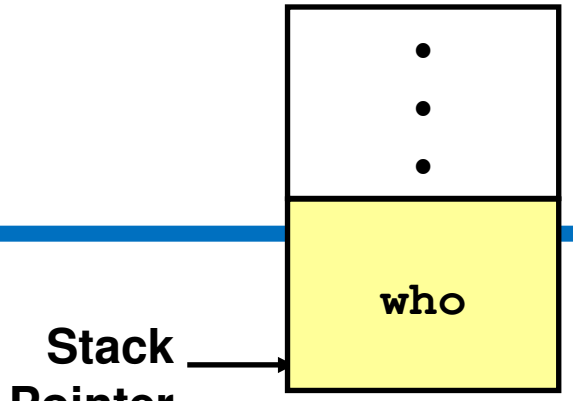
who

↓

amI

↓

amI



Zurück zum Debuggen

gdb Kommandos: Status

- where – gibt Aufrufkette (stack trace) aus
  - Mit core dump: Finden welche Funktion das Programm ausgeführt hat als es abgestürzt ist
  - Bei Unterbrechung: Ausgabe der Aufrufkette

gdb Kommandos: Status (2.)

- up [N] (im stack) – wechseln des Kontext im Stack eine Ebene höher; Ändert den Rahmen (Scope) einer bestimmten Funktion im Stack
- down [N] – wechseln des Kontext eine Ebene niedriger
- list [LINE/PROC] – anzeigen des Programmcodes; zeigt 5 Zeilen Code vor und nach dem momentanen Statement
- print EXPR – zeige die Werte der Expression EXPR

gdb Kommandos: Ausführung

- break [PROC|LINE] – Setzen eines Haltepunks (breakpoint). Wenn das Programm die Funktion PROC (oder die Linie LINE) erhält, wird die Ausführung des Programms unterbrochen und die Kontrolle an gdb übergeben
- next – single step (over procedures); Ausführen des nächsten Statements. Falls das Statement ein Funktionsaufruf ist, ausführen des gesamten Funktionskörpers
- step – single step (into procedures); Ausführen des nächsten Statements. Falls das Statement ein Funktionsaufruf ist, halte beim ersten Statement in der Funktion

Benutzen eines Debuggers

- Am häufigsten nach einem Laufzeitfehler
- Starten von gdb mit core Datei, anzeigen mit where, welche Programmzeile zum Absturz geführt hat
- Wo das Programm abstürzt ist, ist häufig ein erster Hinweis auf den Ort des Fehlers
- Allerdings nur ein erster Hinweis: Der Fehler kann viel früher aufgetreten sein.

Benutzen eines Debuggers (2.)

- Wenn man eine Idee hat, wo der Fehler sein kann
  - Setzen eines Breakpoints kurz vorher im Code
  - Laufen lassen des Programms (mit den selben Daten)
  - Ausführen des Programms in Einzelschritten (single-step) durch die suspekte Region (Nach dem Breakpoint)
  - Ansehen der Werte der suspekten Variablen nach jedem Schritt
- Hierdurch sollte man feststellen können, welche Variable den falschen Wert hat

Benutzen eines Debuggers (3.)

- Nachdem man herausgefunden hat, dass der Wert einer Variablen (z.B. x) falsch ist, muss man herausfinden warum der Wert falsch ist.
- Es gibt zwei Möglichkeiten:
  - Das Statement, das x den Wert zuweist, ist falsch
  - Die Werte der anderen Variablen im Statement sind falsch
- Beispiel
  - `if (c > 0) { x = a + b; }`
  - Falls wir wissen, dass x falsch ist und dass die Bedingung und der Ausdruck richtig implementiert sind, dann müssen wir finden,
    wo a und b gesetzt werden

Debugging Ideen

Debugging Beispiel: „wissenschaftliches Vorgehen“

- Entwicklung einer Hypothese
- Datensammlung zur Verifikation der Hypothese
- Änderung der Hypothese, falls neue Beweismittel vorliegen

- Die Hypothese ist:
  - „Ich denke, der Bug liegt in diesem Statement …“

Gesetze des Debuggen
(Zoltan Somogyi, Melbourne University)

- Before you can fix it, you must be able to break it (consistently)
  - Nicht reproduzierbare Bugs ... Heisenbugs ... sind schwierig
- If you can‘t find a bug where you‘re looking, you‘re looking in the wrong place
  - Eine Pause machen und später mit dem Debuggen weitermachen, ist im allgemeinen eine gute Idee
- It takes two people to find a subtle bug, but only one of them needs to know the program
  - Die zweite Person stellt Fragen, um die Annahmen des Debuggers in Frage zu stellen

Mögliche falsche Annahmen

- Der Binärcode entspricht dem Quellcode, den Sie lesen
- Code der diese Funktion aufruft bekommt niemals unerwartete Argumente
  (dieser Pointer wird niemals NULL sein
  warum sollte jemand NULL übergeben)
- Library Funktionen funkionieren immer ohne Fehler
  (malloc wird mir immer den angeforderten Speicher geben)
- Systembiblioteken und –tools sind fehlerfrei

Sichtbarkeit (Scope) von Variablen

Sichtbarkeitseinschränkungen von Variablen: Warum?

- Ohne Sichtbarkeitseinschränkungen wären alle Variablen immer sichtbar und zugreifbar
- Unbeabsichtigtes Überschreiben von Variablenwerten
  - Z.B. Zwei Funktionen benutzen zufällig die selbe Variable
- D.h. Namen sind nicht wiederverwendbar ohne mögliche Seiteneffekte (unbeabsichtigtes Überschreiben von Werten)

Sichtbarkeitseinschränkungen von Variablen: Welche?

- Global – keine Einschränkung
- Lokal – Einschränkung auf Block
- Static – Einschränkung auf „Datei“

Globale Variablen

- Globale Variablen
  - Beim Start des Programms wird der entsprechende Speicherplatz auf dem Heap allokiert
  - Sind aus allen Modulen des Programms zugreifbar
  - Änderungen der Werte wirken immer global in allen Modulen

  - Um auf eine globale Variable aus einem anderen Modul zugreifen zu können, braucht es folgende Deklaration:

```
extern Typname Variablenname;
```

Globale Variablen

- Globale Variablen
  - Globaler Zugriff kann mit static auf die Datei in der die Variable definiert ist eingeschränkt werden

```
static Typname Variablenname;
```

  - Somit ist kein Zugriff außerhalb der Datei möglich

Lokale Variablen

- Lokale Variablen
  - Lokale Variablen eines Blocks werden auf dem Stack alloziert, d.h. Nach dem Verlassen des Blocks wird der Speicherplatz freigegeben
  - Wird eine lokale Variable als static definiert, so bleibt sie erhalten und behält ihren Wert (Vorsicht!) – sie werden auf dem Heap allokiert

Dynamische Speicherallokation

- Speicher wird mittels `malloc`/`calloc` angefordert
- Allokation erfolgt auf dem Heap
- Inhalte bleiben erhalten, bis Werte überschrieben werden
- Explizites Freigeben mittels `free()`