Linux – Prinzipien und Programmierung

Dr. Klaus Höppner

Hochschule Darmstadt – Sommersemester 2014

Beispiel zur Motivation

Normalerweise bestehen C-Programme aus mehreren Quelltext- (`.c`) und Header-Dateien (`.h`), die einzeln *kompiliert* und dann zu einem ausführbaren Programm *gelinkt* werden.

Datei `main.c`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <myfunc.h>

int main() {
    int i = myfunc(3);
    printf("Die Antwort heisst: %d\n", i);
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```

Beispiel (Forts.)

Datei `myfunc.h`:

```
#ifndef _MYFUNC_H
#define _MYFUNC_H

int myfunc(int);

#endif
```

Datei `myfunc.c`:

```
#include <myfunc.h>

int myfunc(int x) {
    return(x*2);
}
```


Editoren/IDEs

Prinzipiell können C-Programme mit jedem beliebigen Texteditor geschrieben werden, z. B. *vi*, *emacs*, *kedit*, *nano*. Teilweise bieten diese bereits gewisse Unterstützung bei der Programmentwicklung. z. B. Syntax-Highlighting.

Speziell für die Programmentwicklung existieren spezielle Editoren bzw. Entwicklungsumgebungen (IDE – *integrated development environment*:

- Eclipse mit CDT-Plugin
- KDevelop
- Bluefish
- Geany

Einführung: Manuelles Kompilieren und Linken

Aus den einzelen Quelltexten wird das Programm mit folgenden Befehlen kompiliert und gelinkt:

```
gcc -c -I. -Wall main.c
gcc -c -I. -Wall myfunc.c
gcc -o prog main.o myfunc.o
```

Während des Entwicklungsprozesses muss auf folgende Dinge geachtet werden:

- Ändert sich eine der beiden C-Dateien, so muss diese neu kompiliert, also eine neue Object-Datei erzeugt werden.
- Hat sich eine der beiden Object-Dateien geändert, so muss neu gelinkt werden.

Grundlagen von Makefiles

Der Workflow zum Kompilieren und Linken eines Programms aus verschiedenen Dateien lässt sich automatisieren. Betrachten wir folgende Datei mit dem Namen `Makefile`:

```
CC=gcc
CFLAGS=-I. -Wall

prog: main.o myfunc.o
    $(CC) -o $@ $+

myfunc.o: myfunc.c myfunc.h
    $(CC) -c $(CFLAGS) $<

main.o: main.c myfunc.h
    $(CC) -c $(CFLAGS) $<
```


Regeln in Makefiles

Eine Regel in einem Makefile hat folgende Form:

```
target: dep1 dep2 ...
(TAB)  Anweisung1
(TAB)  Anweisung2
(TAB)  ...
```

wobei innerhalb der Anweisungen folgende Variabeln definiert sind:

- `$@` Name des Targets,
- `$+` Alle Dateien, von denen das Target abhängt,
- `$<` Erste Datei, von der das Target abhängt.

Workflow im Beispiel

- Beim Befehl `make prog` soll das gleichnamige Ziel erzeugt werden. Im Makefile steht, dass das Programm von `main.o` und `myfunc.o` abhängt.
- `main.o` und `myfunc.o` hängen jeweils von der entsprechenden C-Datei sowie beide von `myfunc.h` ab.
- Abhängigkeiten werden rekursiv geprüft:
  - Ist eine der Object-Dateien älter als die entsprechende C-Datei oder `myfunc.h`, so wird die entsprechende C-Datei neu kompiliert.
  - Ist ein evtl. schon vorhandenes Programm `prog` älter als eine der beiden Object-Dateien, so wird neu gelinkt.

Phony Targets

Häufig finden sich in Makefiles Targets wie:

```
clean:
    rm -f abc.o xyz.o
```

Hier wird im Ggs. zu normalen Targets keine Datei erzeugt (sondern in diesem Fall beim Build-Prozess erzeugte Dateien gelöscht). Trotzdem funktioniert das Target, es sei denn, es existiert eine Datei, die zufällig „clean“ heißt. Dann erscheint beim Aufruf von `make clean` die Meldung, dass „clean“ schon aktuell sei.

Um dies zu verhindern, können Targets, die keine Dateien bezeichnen, als *phony* deklariert werden:

```
.PHONY: clean

clean:
    rm -f abc.o xyz.o
```


Implizite Regeln

Die Regeln zum Kompilieren von `main.c` und `myfunc.c` im Beispiel vom Anfang sind faktisch identisch. Diese lassen sich durch eine allgemeine Vorschrift zum Kompilieren ersetzen.

Allerdings muss hier dann noch explizit die Abhängigkeit der Object-Dateien von `myfunc.h` angegeben werden, sonst wird bei Änderungen in dieser Datei nicht mehr automatisch kompiliert.

```
myfunc.o: myfunc.h
main.o: myfunc.h

%.o: %.c
    $(CC) -c $(CFLAGS) $<
```


Inkludieren von Makefiles

In einem Makefile können weitere Makefiles importiert werden, z. B.:
`include filename.mk`

Dies kann verschiedene Funktionen haben:

- Bei einem großen Projekt mit mehreren Makefiles wird z. B. die Datei „global.mk“ inkludiert, die in allen Makefiles benutzte Definitionen enthält;
- es werden Dateien inkludiert, die Abhängigkeitsinformationen für Quelldateien enthalten.

Hierbei können inkludierte Makefiles von GNU-Make automatisch regeneriert werden, wenn diese selber Target sind. Dies ist insbesondere im zweiten Fall sehr nützlich, damit die Abhängigkeiten der Quelldateien immer aktuell sind.

Automatisches Bestimmen von Abhängigkeiten

Der GNU-C-Compiler hat die Optionen `-M` und `-MM`, die einen Make-Schnipsel mit den Abhängigkeiten einer C-Datei ausgeben (im ersten Fall inklusive, im zweiten ohne System-Header).
So kann der Befehl `gcc -MM main.c` folgende Ausgabe erzeugen:
`main.o: main.c myfunc.h`
Dies kann man sich mit folgenden Zeilen im Makefile zunutze machen:

```
include main.d

%.d:%.c
    gcc -M $< | sed 's,\($*\)\.o[ ]*:,\1.o $@ :,g' > $@
```


Konvention: Unterstützen von DESTDIR

Betrachten wir folgendes Makefile:

```
INSTALL_EXE=install -m755 -D

install: $(DESTDIR)/usr/bin/myprog

$(DESTDIR)/usr/bin/myprog: myprog
    $(INSTALL_EXE) $< $@
```

Mit `make install` wird „myprog“ wie gewünscht nach `/usr/bin` installiert.
Sollen die Dateien des Projekts in einem anderen Verzeichnisbaum installiert werden, so ruft man auf:
`make install DESTDIR=/tmp/myprog`
Dies ist hilfreich beim Erstellen von Software-Releases, die als Archiv weitergegeben und auf einem anderen Rechner installiert werden sollen.

gcc: Format der Ausgabedatei

Normalerweise versucht der GNU-C-Compiler gcc direkt ein ausführbares Programm zu erzeugen, beim Aufruf von `gcc xyz.c` unter dem Namen `a.out`, bei `gcc -o myprog xyz.c` als `myprog`.
Mit folgenden Optionen kann die Verarbeitung der Datei vorher abgebrochen werden:

- `-E` Nur Präprozessing, z. B. Ersetzen von `#define`.
- `-S` Nur Kompilieren, ohne Assemblieren. Ausgabe ist eine Datei mit Assemblercode unter dem Namen `xyz.s`.
- `-c` Kompilieren und Assemblieren, aber nicht Linken. Ausgabedatei heißt `xyz.o`.

Weitere Optionen

`-Wall` Zeigt besonders viele Warnungen an.

`-Werror` Warnungen werden als Fehler behandelt, führen also zum Abbruch.

`-I` Zusätzliches Verzeichnis, wo Headerdateien gesucht werden.

`-l` Eine Bibliothek wird dazugelinkt. Achtung: vor den Namen wird automatisch der String „lib“ gestellt, bei `-lpthread` wird also die Datei „libpthread.so“ (dynamische Bibliothek) bzw. „libpthread.a“ (statisch) hinzugelinkt.

`-L` Zusätzliches Verzeichnis, wo Bibliotheken gesucht werden.

Was passiert beim Kompilieren eines Quelltextes?

Betrachten wir folgenden Quelltext in der Datei „test.c“:

```
#include <stdio.h>

int glob_var1 = 7;
int glob_var2;
const int glob_var3 = 99;
int glob_var4 = 77;

int main() {
    int lokal_var = 111;
    int glob_var2 = 192;
    printf("Werte: %d %d %d %d\n",
           glob_var1, glob_var2, glob_var3, lokal_var);
    return(0);
}
```


Sections für Anweisungen und Daten

Beim Kompilieren landen die globalen Variablen in folgenden *Sections*:

- Initialisierte Daten in der Section `.data` (les- und schreibbar)
- Konstante Daten in der Section `.rodata` (nur lesbar)
- Nicht initialisierte globale Variablen und lokale Variablen werden auf dem Stack abgelegt.
- Der Maschinencode der Funktion `main()` landet in der Section `.text`.

Diese Sections lassen sich über der Prozess zum Erzeugen des ausführbaren Programms mit den Programmen `objdump` und `readelf` nachverfolgen.

Optionen

Optionen von `objdump`:

`-h`	Vorhandene Sections
`-t`	Tabelle der verwendeten Symbole
`-d -j .text`	Disassemblieren der Section `.text`
`-s -j .data`	Inhalt der Section `.data`

Optionen von `readelf`

`-h`	Header-Informationen zum Programm
`-S`	Sections
`-s`	Symbole
`-x .rodata`	Hexdump der Section `.rodata`

Bibliotheken

Bisher wurden jeweils alle Quellen einzeln kompiliert und dann zusammengelinkt.

Sollen kompilierte C-Quellen häufig verwendet werden, so können diese zu Bibliotheken zusammen geschnürt werden, die beim Erzeugen eines Programms hinzugelinkt werden.

Hierbei unterscheidet man zwei Fälle:

- Statische Bibliothek, deren Inhalt tatsächlich *beim Linken* in das ausführbare Programm geschrieben wird (somit ist das Programm also hinterher genauso groß, als wäre es aus den Einzelquellen gelinkt worden).
- Dynamische Bibliotheken, bei denen der Code der hinzugelinkten Funktionen erst *zur Laufzeit* dynamisch dazugelinkt wird. Hierdurch wird das Programm kleiner, aber die dynamische Bibliothek muss nun natürlich auch zur Laufzeit gefunden werden!

Statische Bibliotheken

Bei einer statischen Bibliothek wird das Programm `ar` verwendet:
`ar -r libmytest.a abc.o xyz.o`
(mit der Option `-t` wird eine Tabelle der enthaltenen Objectdateien in einer Bibliothek angezeigt, mit `-d` wird eine Objectdatei entfernt).
Anschließend wird mit `ranlib libmytest.a` die Bibliothek indiziert.

Nun kann die Bibliothek hinzugelinkt werden:
`gcc -o prog prog.o -L. -lmytest`

Dynamische Bibliotheken

Nun wird eine dynamische Bibliothek erzeugt:
`gcc -shared -o libmytest.so abc.o xyz.o`
Nach `gcc -o prog prog.o -L. -lmytest` ist das Programm nun dynamisch gegen die Bibliothek gelinkt.

Mit `ldd prog` wird angezeigt, gegen welche dynamischen Bibliotheken das Programm gelinkt ist – und ob bzw. wo diese gefunden werden.
Hierbei wird `libmytest.so` i. A. erstmal *nicht* gefunden! Dies ist erst der Fall, nachdem die Variable `LD_LIBRARY_PATH` so gesetzt wurde, dass das Verzeichnis mit der Bibliothek enthalten ist, z. B.
`export LD_LIBRARY_PATH=.`

Der soname

Dynamisches Linken hat ein Problem: ändert sich die Bibliothek, so sind alte Programme gegen eine wahrscheinlich inkompatible Bibliothek gelinkt.

Daher werden dyn. Bibliotheken mit Versionsnummern versehen:

```
gcc -shared -o libmytest.so.1.0 -Wl,-soname=libmytest.so.1 abc.o xyz.o
ln -s libmytest.so.1.0 libmytest.so.1
ln -s libmytest.so.1 libmytest.so
```

Nun wird *beim Linken* zwar wie bisher `libmytest.so` genommen, aber als Linkinformation der SO-Name verwendet, also `libmytest.so.1`, wie man auch mit `ldd` prüfen kann.
Physikalisch heißt die Bibliothek `libmytest.so.1.0`.

Ablauf bei Änderungen

1. Kompatible Änderung: Es wird eine neue Bibliothek `libmytest.so.1.1` erzeugt, aber der SO-Name beibehalten und der Link `libmytest.so.1` auf die neue Datei umgelegt. Alte wie neue Programme verwenden die neue Bibliothek.
2. Inkompatible Änderung: Es wird `libmytest.so.2.0` mit dem SO-Namen `libmytest.so.2` erzeugt. Der Link `libmytest.so` zeigt auf den neuen SO-Namen. Neue Programme werden gegen die Version 2 gelinkt, alte verwenden wie bisher Version 1 und funktionieren daher immer noch.

ldconfig

Es ist lästig, wenn zum Funktionieren eines Programms `LD_LIBRARY_PATH` gesetzt sein muss.

Für das automatische Finden von dyn. Bibliotheken gibt es im System einen Cache mit Namen und Speicherorten. Damit die dyn. Bibliotheken in einem Verzeichnis im Cache auftauchen, müssen folgende Aktionen erfolgen:

1. Der Name des Verzeichnisses befindet sich in einer Textdatei `/etc/ld.so.conf.d/*.conf` (früher direkt in der Datei `/etc/ld.so.conf`),
2. der Cache wird mit `ldconfig` aktualisiert.

Mit `ldconfig -p` wird der Inhalt des Caches aufgelistet, der Befehl `ldconfig -p | grep libmytest.so` ergibt also, ob diese nun im Cache ist.