

Embedded Linux lernen mit dem Raspberry Pi



Jürgen Quade studierte Elektrotechnik an der TU München. Danach arbeitete er dort als Assistent am Lehrstuhl für Prozessrechner (heute Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme), promovierte und wechselte später in die Industrie, wo er im Bereich Prozessautomatisierung bei der Softing AG tätig war. Heute ist Jürgen Quade Professor an der Hochschule Niederrhein, wo er u.a. das Labor für Echtzeitsysteme betreut. Seine Schwerpunkte sind Echtzeitsysteme, Embedded Linux, Rechner- und Netzwerksicherheit sowie Open Source. Als Autor ist er vielen Lesern über das dpunkt-Buch »Linux-Treiber entwickeln« und die regelmäßig erscheinenden Artikel der Serie »Kern-Technik« im Linux-Magazin bekannt.

Jürgen Quade

Embedded Linux lernen mit dem Raspberry Pi

Linux-Systeme selber bauen und programmieren

Jürgen Quade
quade@hsnr.de

Lektorat: René Schönfeldt
Copy Editing: Ursula Zimpfer, Herrenberg
Satz: data2type GmbH, Heidelberg
Herstellung: Frank Heidt
Autorenfotos: privat (Quade)
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, www.exclam.de
Druck und Bindung: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-86490-143-0

1. Auflage 2014
Copyright © 2014 dpunkt.verlag GmbH
Wieblinger Weg 17
69123 Heidelberg

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

Vorwort

Die Zahlen der Marktforscher sind beeindruckend: Bei einer Weltbevölkerung von über 7 Milliarden Menschen werden pro Jahr mehr als 13 Milliarden Prozessoren hergestellt. Ein vergleichsweise kleiner Anteil davon (etwa 350 Millionen) landet in Form eines PCs oder Notebooks auf unserem Schreibtisch. Der erheblich größere Teil wird aber in Waschmaschinen, Autos, TV-Geräten, Digicams, Smartphones oder Automatisierungsanlagen eingebettet.

Embedded Systems

Der Markt dieser eingebetteten Systeme kann grob in zwei Lager eingeteilt werden. Sogenannte Deeply Embedded Systems setzen auf einfache 8- oder 16-Bit-Prozessoren, wie der bekannte Atmega, der im populären Arduino-Board steckt. Anwendungs- und Systemsoftware ist häufig proprietär und die Geräte erledigen vorwiegend einfache Aufgaben, so beispielsweise die Spiegelsteuerung in einem Auto. Werden demgegenüber komplexere Funktionen – allem voran Vernetzung – gefordert, greift der Entwickler für ein Open Embedded System zu 32-Bit-Prozessoren und immer häufiger zu einem Standardbetriebssystem, insbesondere Linux. Linux treibt heute Fernseher, Digicams, Router-Hardware, Uhren und vieles mehr an. Das auch aus gutem Grund, schließlich ist es funktional, bekannt und vor allem Open Source.

Embedded Linux

Allerdings wird Linux in einem eingebetteten System nur selten über eine Standarddistribution, wie beispielsweise Ubuntu, installiert. Das liegt nicht nur an der meist nicht konformen Hardware. Vielmehr wird das System auf die leistungsschwächere Hardware, auf andere Hardwareplattformen (ARM statt x86) und auf die auszuführende Funktionalität abgestimmt. Auch werden andere Update-Zyklen benötigt als auf dem Desktop üblich. Hinzu kommt die Notwendigkeit, Sensoren und Aktoren anzukoppeln und softwaretechnisch anzusprechen.

*Ein eigenes
Embedded Linux
konfektionieren*

Hierfür benötigen Entwickler ein umfangreiches Know-how. Das beginnt beim Entwicklungsprozess, der typischerweise in Form einer Host-/Target- und Cross-Entwicklung abläuft, der Entwicklungsumgebung, die linuxspezifisch kommandozeilenorientiert ist, geht über notwendige Kernelerweiterungen, um damit eigene Hardwareerweiterungen anzusprechen, und endet bei den Applikationen, die nicht zuletzt

aufgrund minimaler Ressourcen nur bedingt auf vorhandene Funktionen aufsetzen können.

Dieses Know-how möchte das vorliegende Buch in praxisorientierter und kompakter Weise vermitteln.

*Der Raspberry Pi als
Praxisbeispiel*

Damit Sie die Inhalte nachvollziehen können, werden viele Techniken mithilfe des Raspberry Pi vorgestellt. Der Raspberry Pi ist ein Anfang 2012 auf den Markt gekommener Kleincomputer, der sich nicht zuletzt wegen seiner leichten Erweiterbarkeit gut als Herzstück eines eingebetteten Systems einsetzen lässt. Mit einem ARM-Prozessor ausgestattet, ist er zudem bei einem Preis von unter 40 € (ohne Speicherkarte, ohne Netzteil) preiswert. Dieser günstige Preis zusammen mit einem »Fun-Faktor« haben für eine hohe Verbreitung gesorgt. Aus diesem Grund eignet er sich besonders gut als Basis für eigene Experimente im Bereich Embedded Linux.

*Ziel des Buchs: Ein
eigenes Embedded-
Linux-System*

Methodisch werden Sie an das Thema durch den Aufbau und die Konfektionierung eines komplett eigenen Systems herangeführt. Neben dem Lerneffekt steht am Ende ein eingebettetes System für den Raspberry Pi, das effizienter, schneller und vor allem auch sicherer als eine Standarddistribution ist.

Vom Systemanwender zum Systementwickler: Während die meisten Bücher rund um den Raspberry Pi zeigen, wie Sie — häufig auf Basis der Linux-Variante Raspbian — Systeme unterschiedlicher Funktionalität aufbauen, entwickeln Sie mithilfe des vorliegenden Mitmach-Buches und des Raspberry Pi Ihr eigenes Embedded Linux. Mit der Anwendung im Blick zeigt das Buch, woraus ein Embedded Linux besteht und wie es funktioniert. Es erläutert Hintergründe und zeigt Lösungen, die sich auch in zeitkritischeren Umgebungen einsetzen lassen. Der Raspberry Pi ermöglicht den schnellen und einfachen Einstieg in die Welt eingebetteter Linux Systeme.

Das Thema Embedded Linux lässt sich in einem Buch von rund 300 Seiten auch als Einführung nicht annähernd vollständig abhandeln. Die Auswahl und Tiefe der dargebotenen Aspekte orientieren sich primär an deren Wichtigkeit, an der Aktualität, aber auch an meinen eigenen Fachkenntnissen. Sie erfolgen in eher kompakter Form.

Kempen, im März 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Gut zu wissen	9
2.1	Die Architektur eingebetteter Systeme	11
2.1.1	Hardware	11
2.1.2	Software	14
2.1.3	Auf dem Host für das Target entwickeln	19
2.2	Arbeiten mit Linux	21
2.2.1	Die Shell	23
2.2.2	Die Verzeichnisstruktur	24
2.2.3	Editor	25
2.3	Erste Schritte mit dem Raspberry Pi	26
2.3.1	System aufspielen	27
2.3.2	Startvorgang	29
2.3.3	Einloggen und Grundkonfiguration	30
2.3.4	Hello World: Entwickeln auf dem Raspberry Pi	30
3	Embedded von Grund auf	33
3.1	Der Linux-Kernel	34
3.2	Das Userland	41
3.2.1	Systemebene	43
3.2.2	Funktionsbestimmende Applikationen	59
3.3	Cross-Development für den Raspberry Pi	64
3.3.1	Cross-Generierung Kernel	64
3.3.2	Cross-Generierung Userland	67
3.3.3	Installation auf dem Raspberry Pi	71
3.4	Bootloader »Das U-Boot«	76
3.4.1	Kernel von der SD-Karte booten	80
3.4.2	Netzwerk-Boot	84
3.5	Initramfs: Filesystem im RAM	86

4	Systembuilder Buildroot	95
4.1	Überblick	95
4.2	Buildroot-Praxis	99
	4.2.1 Installation auf der SD-Karte	101
	4.2.2 Netzwerk-Boot per U-Boot	104
4.3	Systemanpassung	110
	4.3.1 Postimage-Skript	111
	4.3.2 Postbuild-Skript	113
4.4	Eigene Buildroot-Pakete	131
	4.4.1 Grundstruktur	131
	4.4.2 Praxis	137
4.5	Hinweise zum Backup	141
5	Anwendungsentwicklung	143
5.1	Cross-Development	144
5.2	Basisfunktionen der eingebetteten Anwendungsprogrammierung	147
	5.2.1 Modularisierung	148
	5.2.2 Realzeitaspekte	150
5.3	Hardwarezugriffe	155
	5.3.1 Systemcalls für den Hardwarezugriff	156
	5.3.2 GPIO-Zugriff über das Sys-Filesystem	162
6	Gerätetreiber selbst gemacht	167
6.1	Einführung in die Treiberprogrammierung	168
	6.1.1 Grundprinzip	169
	6.1.2 Aufbau eines Gerätetreibers	170
	6.1.3 Generierung des Gerätetreibers	173
6.2	Schneller GPIO-Treiberzugriff	176
	6.2.1 Digitale Ausgabe	177
	6.2.2 Digitale Eingabe	185
	6.2.3 Programmierhinweise zum Hardwarezugriff	192
7	Embedded Security	197
7.1	Härtung des Systems	199
	7.1.1 Firewalling	200
	7.1.2 Intrusion Detection and Prevention	212
	7.1.3 Rechtevergabe	213
	7.1.4 Ressourcenverwaltung	219

7.1.5	Entropie-Management	224
7.1.6	ASLR und Data Execution Prevention	225
7.2	Entwicklungsprozess	226
7.3	Secure-Application-Design	229
7.3.1	Sicherheitsmechanismen in der Applikation	230
7.3.2	Least Privilege	231
7.3.3	Easter Eggs	233
7.3.4	Passwortmanagement	233
7.3.5	Verschlüsselung	235
7.3.6	Randomisiertes Laufzeitverhalten	236
8	Ein komplettes Embedded-Linux-Projekt	237
8.1	Hardware: Anschluss des Displays	238
8.2	Software	240
8.3	Systemintegration	249
	Anhänge	
A	Crashkurs Linux-Shell	259
B	Crashkurs vi	269
C	Git im Einsatz	273
D	Die serielle Schnittstelle	279
	Literaturverzeichnis	283
	Stichwortverzeichnis	287