

# 嵌入式协议栈 $\mu$ C/TCP-IP

——基于STM32微控制器

$\mu$ C/TCP-IP, The Embedded Protocol Stack For the STM32 ARM Cortex-M3

 IAR  
SYSTEMS

 STMicroelectronics

[加拿大] Christian L é gar é 著  
邝 坚 等译



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

# 嵌入式协议栈 $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ ——基于 STM32 微控制器

$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ , The Embedded Protocol Stack For  
the STM32 ARM Cortex-M3

[加拿大] Christian Légaré 著

邝 坚 等译

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书分为两部分,主要以 Micrium 公司的  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  协议栈为参考,阐述了 TCP/IP 协议栈的工作原理。其中,第一部分讲解了因特网协议的基础,涵盖了  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  的实现及应用的多个方面;第二部分以基于 ARM Cortex-M3 架构的  $\mu\text{C}/\text{Eval-STM32F107}$  多功能开发板为基础,向读者展示了  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  的应用实例。配合 IAR System Embedded Workbench for ARM 开发工具,用户可以迅速搭建起开发环境,并以极大的便利投入到寓教于乐的学习和开发中。

本书适用于嵌入式系统开发人员、咨询顾问、爱好者及有兴趣了解 TCP/IP 协议族内在工作原理的学生。 $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  不仅仅是一个良好的学习平台,同样还是一个可以用于多种产品的完整的商业软件包。

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式协议栈  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  / (加)勒加雷  
(Légaré, C.) 著; 邝坚等译. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013. 1

书名原文:  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ , The Embedded Protocol  
Stack For the STM32 ARM Cortex-M3

ISBN 978-7-5124-0964-4

I. ①嵌… II. ①勒… ②邝… III. ①计算机网络—  
通信协议 IV. ①TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 228321 号

英文原名:  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ , The Embedded Protocol Stack For the STM32 ARM Cortex-M3

Copyright © 2011 by Micrium Press.

Translation Copyright © 2013 by Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 Micrium 出版社授权北京航空航天大学出版社在中华人民共和国境内独家出版发行。版权所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2012-0409 号

## 嵌入式协议栈 $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ ——基于 STM32 微控制器 $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ , The Embedded Protocol Stack For the STM32 ARM Cortex-M3

[加拿大] Christian Légaré 著

邝 坚 等译

责任编辑 何小庆 刘 晨 刘朝霞

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1 000 1/16 印张:39.5 字数:842 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-0964-4 定价:118.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

谨以此书献给我热爱着的妻子 Nicole、我们的两个女儿 Julie Maude 和 Valérie Michéle, 以及我们的两个孙女 Florence Sara 和 Olivier Alek。我要感谢他们对我的支持和理解, 正是他们的支持和理解让我能够遵从我的内心(我总是鼓励他们做事时遵从自己的内心), 并最终完成本书。

——Christian Légaré

# 译者序

当今绝大多数的嵌入式设备都将网络互联作为其必备功能之一，这已是不争的事实，而无处不在的 TCP-IP 网络注定是各类网络互联技术的首选。这就为嵌入式系统的开发者提出了新的要求，不仅要了解嵌入式处理器、嵌入式操作系统和实时系统的开发理念，嵌入式网络协议栈以及其应用技能也成为开发者必须掌握的内容。这便是我从何小庆先生处接手此书中文译本工作的主要原因。

本书原著由 Christian L egar e 先生撰写，于 2011 年底在美国出版。其内容涵盖了嵌入式协议栈设计和实现过程中需要考虑的各种要素，在美国一经出版即受到了广大读者，尤其是从事嵌入式系统开发和研究工作读者的厚爱。

全书共分为两部分，第 1 部分是  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ : The Embedded Protocol，主要以最新版的  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  为例，对网络协议栈的基本原理、嵌入式网络协议栈的设计与实现进行了介绍，与具体的 MCU 无关；第 2 部分是  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  and the STMicroelectronics STM32F107，主要配合  $\mu\text{C}/\text{Eval-STM32F107}$  评估板，介绍了  $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$  及所依附的  $\mu\text{C}/\text{OS-III}$  实时操作系统在 ARM Cortex-M3 内核的 STM32 嵌入式微控制器上的应用实例和应用开发方法等，同时也对  $\mu\text{C}/\text{Probe}$  这一先进的可视化在线监视工具的使用进行了介绍。

从事实时嵌入式系统设备开发和高校教学逾二十年，本人深切体会到一个嵌入式系统的开发者具备完整系统级概念和经验的重要性，对于嵌入式 TCP-IP 协议栈这个子系统同样如此。实时嵌入式系统的个性化特点经常需要开发者裁剪、补充或优化核心代码（在遵守知识产权协议的前提下）。从入门到应用只是第一步，而真正掌握往往是对经典源码的理解和掌控。一套小型、经过验证、有代表性且平台无关的公开源码的系统，对于初学者成长为真正意义的嵌入式系统工程师来说无疑是最佳研究对象，而  $\mu\text{C}$  系列的软件正是完全符合这类特征的典型系统。

不仅如此，我希望读者充分利用本书第 2 部分所提供的实践资源和例程，对嵌入式技术的理解和开发技能的掌握只能通过大量的实践，Learning by doing 是不二法门。

本书的翻译过程中得到我所在研究团队中各位老师的鼎力支持，其中包括卞佳丽老师、戴志涛老师和刘健培老师；并特别感谢完成译文初稿的研究生们，第 1 部分

由康亮、徐璟亮、向旻和王云龙承担,第 2 部分由梅隆魁完成。同时还要感谢北京航空航天大学出版社和北京麦克泰软件技术有限公司在资源和技术上的保证。

我们一直期望将本书翻译成一本完全按照中文习惯来叙述的中文版图书,并且努力做到行文的通顺和概念准确;然而,由于翻译时间上较为仓促,加之译者能力所限,难免存在错误和疏漏,书中如有不妥之处恳请读者批评指正。

邝 坚

2013 年 1 月于北京邮电大学

# 目 录

## 第 1 部分 嵌入式协议栈 $\mu$ C/TCP-IP

序 言	1
前 言	3
第 1 章 绪 论	6
1.1 本书的组织结构	6
1.2 约 定	6
1.3 各章节内容	7
第 2 章 网络简介	10
2.1 网 络	10
2.2 什么是 TCP/IP 协议栈	12
2.3 OSI 七层模型	13
2.4 TCP/IP 与 OSI 模型的对应	15
2.5 出发点	18
2.6 第 1 层——物理层	19
2.7 第 2 层——数据链路层	19
2.8 第 3 层——网络层	21
2.9 第 4 层——传输层	23
2.10 第 5~7 层——应用层	23
2.11 总 结	24
第 3 章 嵌入式 TCP/IP:在实现中面临的挑战	27
3.1 评价指标	27
3.1.1 带 宽	27
3.1.2 连通性	28
3.1.3 吞吐量	28

3.2	CPU .....	28
3.3	以太网控制器接口 .....	29
3.3.1	零拷贝 .....	31
3.3.2	数据校验和 .....	32
3.3.3	占用空间 .....	32
3.3.4	$\mu$ C/TCP-IP 代码占用空间 .....	33
3.3.5	$\mu$ C/TCP-IP 附加选项代码占用空间 .....	34
3.3.6	$\mu$ C/TCP-IP 数据占用空间 .....	35
3.3.7	$\mu$ C/TCP-IP 附加选项代码空间 .....	38
3.3.8	总 结 .....	39
<b>第 4 章</b>	<b>LAN=以太网 .....</b>	<b>41</b>
4.1	拓扑结构 .....	41
4.2	以太网硬件开发的注意事项 .....	42
4.3	以太网控制器 .....	43
4.3.1	自动协商 .....	44
4.3.2	双工不匹配 .....	46
4.4	以太网 802.3 帧格式 .....	47
4.5	MAC 地址 .....	49
4.6	通信方式 .....	50
4.6.1	单 播 .....	51
4.6.2	广 播 .....	51
4.6.3	组 播 .....	52
4.7	地址解析协议(ARP) .....	53
4.8	ARP 数据包 .....	57
4.9	总 结 .....	58
<b>第 5 章</b>	<b>IP 网络 .....</b>	<b>60</b>
5.1	协议簇 .....	60
5.2	网际协议(IP) .....	63
5.3	寻址和路由 .....	64
5.4	子网掩码 .....	65
5.5	保留地址 .....	66
5.6	寻址类型 .....	67
5.6.1	单播地址 .....	67
5.6.2	组播地址 .....	67
5.6.3	广播地址 .....	68
5.7	默认网关 .....	68



5.8 IP 配置 .....	70
5.9 私有地址 .....	71
5.10 总 结 .....	74
<b>第 6 章 故障诊断 .....</b>	<b>75</b>
6.1 网络故障诊断 .....	75
6.1.1 因特网信报控制协议(ICMP) .....	76
6.1.2 ping 工具 .....	78
6.1.3 Trace Route 工具 .....	80
6.2 协议和应用分析工具 .....	84
6.2.1 网络协议分析仪 .....	85
6.2.2 Wireshark .....	86
6.2.3 $\mu$ C/IPerf .....	93
6.3 总 结 .....	96
<b>第 7 章 传输协议 .....</b>	<b>97</b>
7.1 传输层协议 .....	97
7.2 客户端/服务器架构 .....	99
7.3 端 口 .....	100
7.4 UDP .....	103
7.5 TCP 详解 .....	105
7.6 TCP 连接阶段 .....	107
7.7 TCP 序列化数据 .....	108
7.8 TCP 应答数据 .....	110
7.9 TCP 传输保证 .....	111
7.10 TCP 流量控制机制(拥塞控制) .....	114
7.10.1 Nagle 算法 .....	116
7.10.2 糊涂窗口综合症 .....	117
7.11 TCP 性能优化 .....	118
7.11.1 多重连接 .....	120
7.11.2 持续定时器 .....	120
7.11.3 保持存活 .....	122
7.12 总 结 .....	122
<b>第 8 章 套接字 .....</b>	<b>124</b>
8.1 套接字的唯一性 .....	125
8.2 套接字接口 .....	126
8.3 套接字 API .....	127
8.4 阻塞式和非阻塞式套接字 .....	129

8.5 套接字应用 .....	130
8.5.1 数据报套接字(UDP 套接字) .....	130
8.5.2 流套接字(TCP 套接字) .....	132
<b>第 9 章 服务和应用</b> .....	<b>135</b>
9.1 网络服务 .....	136
9.1.1 动态主机配置协议(DHCP) .....	136
9.1.2 域名系统(DNS) .....	138
9.2 应用 .....	141
9.3 应用性能 .....	142
9.3.1 文件传输 .....	143
9.3.2 超文本传输协议(HTTP) .....	145
9.3.3 远程登录协议(TELNET) .....	146
9.3.4 电子邮件 .....	147
9.4 总结 .....	150
<b>第 10 章 <math>\mu\text{C}/\text{TCP-IP}</math> 简介</b> .....	<b>151</b>
10.1 可移植性 .....	151
10.2 可扩展性 .....	151
10.3 编码标准 .....	151
10.4 MISRA C .....	152
10.5 安全性认证 .....	152
10.6 实时操作系统(RTOS) .....	152
10.7 网络设备 .....	153
10.8 $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 协议 .....	153
10.9 应用协议 .....	153
<b>第 11 章 <math>\mu\text{C}/\text{TCP-IP}</math> 架构</b> .....	<b>155</b>
11.1 $\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 模块关系 .....	155
11.1.1 应用程序 .....	155
11.1.2 $\mu\text{C}/\text{LIB}$ 库 .....	157
11.1.3 BSD 套接字 API 层 .....	157
11.1.4 TCP/IP 层 .....	157
11.1.5 网络接口(IF)层 .....	158
11.1.6 网络设备驱动层 .....	158
11.1.7 物理(PHY)层 .....	158
11.1.8 CPU 层 .....	159
11.1.9 实时操作系统(RTOS)层 .....	159
11.2 任务模型 .....	159

11.2.1	$\mu$ C/TCP-IP 任务和优先级	160
11.2.2	接收一个数据包	161
11.2.3	发送一个数据包	162
<b>第 12 章</b>	<b>目录与文件</b>	<b>165</b>
12.1	框图	165
12.2	应用程序代码	165
12.3	CPU	167
12.4	板级支持包 BSP	168
12.5	网络板级支持包(NET_BSP)	169
12.6	$\mu$ C/OS-III 与 CPU 无关的源代码	170
12.7	$\mu$ C/OS-III 与 CPU 相关的源代码	171
12.8	$\mu$ C/CPU 与 CPU 无关的源代码	172
12.9	$\mu$ C/LIB 可移植的库函数	173
12.10	$\mu$ C/TCP-IP 网络设备	174
12.11	$\mu$ C/TCP-IP 网络接口	175
12.12	$\mu$ C/TCP-IP 网络操作系统抽象层	176
12.13	$\mu$ C/TCP-IP 网络 CPU 相关代码	176
12.14	$\mu$ C/TCP-IP 网络 CPU 无关源代码	177
12.15	$\mu$ C/TCP-IP 网络安全管理的 CPU 无关源代码	178
12.16	总结	179
<b>第 13 章</b>	<b>开始使用 <math>\mu</math>C/TCP-IP</b>	<b>184</b>
13.1	安装 $\mu$ C/TCP-IP	184
13.2	$\mu$ C/TCP-IP 示例工程	184
13.3	应用程序代码	185
<b>第 14 章</b>	<b>网络设备驱动</b>	<b>192</b>
14.1	$\mu$ C/TCP-IP 设备结构	192
14.2	设备驱动模型	192
14.3	MAC 层设备驱动 API	193
14.4	物理层的设备驱动	194
14.5	中断处理	195
14.5.1	NETDEV_ISR_HANDLER()	196
14.5.2	NETPHY_ISR_HANDLER()	198
14.6	接口、设备、物理层配置	199
14.6.1	回环配置	199
14.6.2	以太网 MAC 配置	201
14.6.3	以太网物理层配置	205

14.7	网络板级支持包	206
14.7.1	网络设备板级支持包	206
14.7.2	杂项网络 BSP 函数	208
14.8	内存分配	209
14.9	DMA 支持	209
14.9.1	使用 DMA 接收	211
14.9.2	使用 DMA 发送	213
<b>第 15 章</b>	<b>缓冲区管理</b>	<b>216</b>
15.1	网络缓冲区	216
15.1.1	接收缓冲区	216
15.1.2	发送缓冲区	216
15.2	网络缓冲区结构	217
15.3	网络缓冲区大小	218
<b>第 16 章</b>	<b>网络接口层</b>	<b>222</b>
16.1	网络接口配置	222
16.1.1	添加网络接口	222
16.1.2	配置互联网协议地址	224
16.2	启动和停止网络接口	225
16.2.1	启动网络接口	225
16.2.2	停止网络接口	226
16.3	网络接口最大传输单元	226
16.3.1	获取网络接口最大传输单元	226
16.3.2	设置网络接口最大传输单元	226
16.4	网络接口硬件地址	227
16.4.1	获得网络接口硬件地址	227
16.4.2	设置网络接口硬件地址	228
16.5	获取链路状态	228
<b>第 17 章</b>	<b>套接字编程</b>	<b>230</b>
17.1	网络套接字数据结构	230
17.2	完整的 SEND() 操作	232
17.3	套接字应用程序	233
17.3.1	数据报套接字	234
17.3.2	流式套接字(TCP 套接字)	238
17.4	加密套接字	244
17.5	2MSL	244
17.6	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 套接字错误码	245

17.6.1 致命的套接字错误码	245
17.6.2 套接字错误码列表	245
<b>第 18 章 定时器管理</b>	246
<b>第 19 章 调试管理</b>	248
19.1 网络调试信息常量	248
19.2 网络调试监控程序	249
<b>第 20 章 统计和错误计数器</b>	250
20.1 统计	250
20.2 错误计数器	251
<b>附录 A <math>\mu</math>C/TCP-IP 设备驱动 API</b>	252
A.1 MAC 设备驱动函数	252
A.2 PHY 设备驱动程序函数	268
A.3 设备驱动程序 BSP 函数	274
<b>附录 B <math>\mu</math>C/TCP-IP API 参考</b>	283
B.1 通用网络函数	283
B.2 网络应用程序接口函数	285
B.3 ARP 函数	297
B.4 网络 ASCII 码函数	305
B.5 网络缓冲区函数	310
B.6 网络连接函数	316
B.7 网络调试函数	318
B.8 ICMP 函数 NetICMP_CfgTxSrcQuenchTh( )	334
B.9 网络接口函数	335
B.10 IGMP 函数	355
B.11 IP 函数	357
B.12 网络安全函数	376
B.13 网络套接字函数	379
B.14 TCP 函数	425
B.15 网络定时函数	435
B.16 UDP 函数	436
B.17 通用网络功能函数	441
B.18 BSD 函数	446
<b>附录 C <math>\mu</math>C/TCP-IP 配置和优化</b>	456
C.1 网络配置	456
C.2 调试配置	459
C.3 参数检查配置	460

C. 4	网络计数器配置 .....	461
C. 5	网络定时器配置 .....	461
C. 6	网络缓冲区配置 .....	462
C. 7	网络接口层配置 .....	462
C. 8	ARP (地址解析协议)配置 .....	463
C. 9	IP 配置 .....	464
C. 10	ICMP 配置 .....	465
C. 11	IGMP 配置 NET_IGMP_CFG_MAX_NBR_HOST_GRP .....	465
C. 12	传输层配置 NET_CFG_TRANSPORT_LAYER_SEL .....	465
C. 13	UDP 配置 .....	466
C. 14	TCP 配置 .....	467
C. 15	网络套接字配置 .....	468
C. 16	网络安全管理配置 .....	471
C. 17	BSD 套接字配置 NET_BSD_CFG_API_EN .....	473
C. 18	网络应用接口配置 NET_APP_CFG_API_EN .....	473
C. 19	网络连接管理配置 .....	474
C. 20	应用相关配置 .....	474
C. 21	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 优化 .....	476
<b>附录 D</b>	<b><math>\mu\text{C}/\text{TCP-IP}</math> 错误代码 .....</b>	<b>478</b>
D. 1	网络错误代码 .....	479
D. 2	ARP 错误代码 .....	479
D. 3	网络 ASCII 错误代码 .....	479
D. 4	网络缓存错误代码 .....	480
D. 5	ICMP 错误代码 .....	480
D. 6	网络接口错误代码 .....	480
D. 7	IP 错误代码 .....	481
D. 8	IGMP 错误代码 .....	481
D. 9	操作系统错误代码 .....	482
D. 10	UDP 错误代码 .....	482
D. 11	网络套接字错误代码 .....	482
D. 12	网络安全管理错误代码 .....	484
D. 13	网络安全错误代码 .....	484
<b>附录 E</b>	<b><math>\mu\text{C}/\text{TCP-IP}</math> 典型应用 .....</b>	<b>485</b>
E. 1	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 配置和初始化 .....	485
E. 2	网络接口、设备和缓冲区 .....	490
E. 3	IP 地址配置 .....	498

E.4	套接字编程 .....	500
E.5	$\mu$ C/TCP-IP 统计和调试 .....	503
E.6	使用网络安全管理功能 .....	505
E.7	其 他 .....	508
附录 F	参考文献 .....	509
附录 G	$\mu$ C/TCP-IP 许可政策 .....	510

## 第 2 部分 基于 STM32F107 微控制器的应用

序 言 .....	512
第 1 章 绪 论 .....	513
1.1 准备运行示例 .....	513
1.2 $\mu$ C/Probe .....	514
1.3 章节安排 .....	514
第 2 章 安 装 .....	516
2.1 硬 件 .....	516
2.2 软 件 .....	517
2.3 下载本书所需的 $\mu$ C/TCP-IP 工程 .....	518
2.3.1 \EvalBoards .....	519
2.3.2 $\mu$ C/CPU .....	522
2.3.3 $\mu$ C/LIB .....	523
2.3.4 $\mu$ C/OS-III .....	524
2.3.5 $\mu$ C-IPerf .....	525
2.3.6 \ $\mu$ C-DHCPc-v2 .....	525
2.3.7 \ $\mu$ C-HTTPs .....	525
2.3.8 \ $\mu$ C-TCPIP-v4 .....	526
2.4 下载 $\mu$ C/Probe .....	526
2.5 下载 IAR Embedded Workbench for ARM .....	527
2.6 下载 Tera Term Pro .....	527
2.7 下载 IPerf for Windows .....	528
2.8 下载 Wireshark .....	528
2.9 下载 STM32F107 相关手册 .....	529
第 3 章 $\mu$ C/TCP-IP 基本示例 .....	530
3.1 $\mu$ C/TCP-IP 示例 #1 .....	530
3.1.1 示例工程是如何运行的 .....	532
3.1.2 编译并下载应用 .....	539
3.1.3 运行程序 .....	540
3.1.4 使用 Wireshark 网络协议分析仪 .....	544

3.1.5	使用 $\mu\text{C}/\text{Probe}$ 监视变量 .....	546
3.2	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 示例 #2 .....	551
3.3	运行应用程序 .....	556
3.3.1	显示 IP 地址参数 .....	556
3.3.2	使用 ping 命令测试目标板的连通性 .....	558
3.4	使用 Wireshark 可视化观察 DHCP 过程 .....	558
3.5	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 示例 #3 .....	560
3.6	运行应用 .....	562
3.7	总 结 .....	564
<b>第 4 章</b>	<b><math>\mu\text{C}/\text{TCP-IP}</math> 性能示例</b> .....	<b>565</b>
4.1	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 示例 #4 .....	565
4.1.1	如何使示例运行起来 .....	566
4.1.2	运行应用 .....	569
4.1.3	IPerf .....	569
4.1.4	Iperf on the PC .....	570
4.1.5	在目标板上运行 $\mu\text{C}/\text{IPERF}$ .....	571
4.2	使用 $\mu\text{C}/\text{PROBE}$ 监视变量 .....	573
4.3	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 库的配置 .....	579
4.4	UDP 性能 .....	582
4.4.1	将目标板用作服务器 .....	583
4.4.2	将开发板用作客户端 .....	584
4.4.3	UDP 测试总结 .....	585
4.5	TCP 性能 .....	585
4.5.1	将开发板用作服务器 .....	585
4.5.2	将开发板用作客户端 .....	586
4.6	TCP 性能测试总结 .....	587
4.7	使用 Wireshark 网络协议分析仪 .....	587
4.7.1	TCP 三次握手 .....	588
4.7.2	TCP 流控 .....	588
4.7.3	错误的 TCP 接受窗口大小测试 .....	589
4.8	总 结 .....	593
<b>第 5 章</b>	<b>HTTP 服务器示例</b> .....	<b>594</b>
5.1	$\mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 示例 #5 .....	594
5.2	运行应用 .....	602
5.3	总 结 .....	603
<b>附录 A</b>	<b>以太网驱动</b> .....	<b>604</b>
<b>附录 B</b>	<b><math>\mu\text{C}/\text{TCP-IP}</math> 许可政策</b> .....	<b>612</b>



# 第 1 部分

## 嵌入式协议栈 $\mu$ C/TCP-IP

### 序 言

---

传输控制协议/因特网协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)就是人们经常提到的 TCP/IP 协议。设计人员可能对 TCP/IP 协议比较熟悉,但最终用户却往往对其鲜有耳闻,因而也没意识到 TCP/IP 在日常生活中的重要角色。但事实上,TCP/IP 的确是每一个网络设备的基础。更加具体地说,IP 协议是众多通信协议的集合,这些通信协议共同构成了因特网及大多数商业网络的基础。TCP/IP 协议簇中的 TCP 协议和 IP 协议是这些通信协议中最先被定义的两个协议。大多数历史学家会告诉读者,这两个协议最初是由美国国防部(Department of Defense,DoD)在 20 世纪 70 年代中期开发的。

如果读者遵循正确的步骤来实现 TCP/IP 协议,那么在设计阶段应该不会大费周折。但是,一旦走错一步,就会深陷泥沼。

读者可以在很多地方学到 TCP/IP 协议的知识,比如嵌入式系统大会(Embedded Systems Conference)。事实上我就是多年前的一次 ESC 上第一次遇到了 Christian L egar e。在我们进入 ESC 会场前的交谈中,Christian 就告诉我他的 TCP/IP 课程广受欢迎。

于是,我决定听一下 Christian 的课程。的确,他是对的,而且实至名归。在一天之中的大部分时间里,他成功吸引了 50 多名工程师的注意。不仅如此,在这个过程中我自己也学到了一些东西。在参加 Christian 的嵌入式 TCP/IP 课程之前,我把自已定位成一个初学者,所以我吃惊地发现 Christian 可以同时给不同水平的学生授课。无论是像我一样的初学者,还是像那些专业级的学生,Christian 都能牢牢地吸引每一个人,并且确保每个问题都能被解答和理解。

我很高兴看到 Christian 用同样的方法编写了这本书。事实上,当我第一次看到本书的章节和插图时就觉得十分熟悉。毫无疑问,Christian 这本书使用了与他授课