

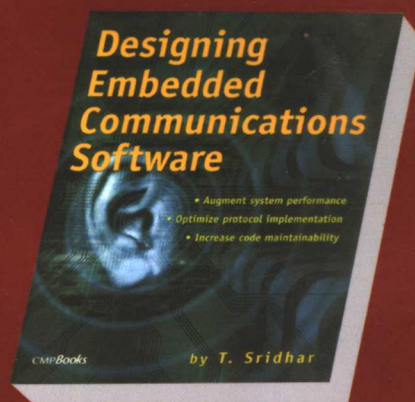
嵌入式系统译丛

[美] T. Sridhar 著

彭甫阳 王怀彬 王安生 译

嵌入式 通信软件设计

Designing Embedded
Communications Software



CMPBooks



北京航空航天大学出版社
<http://www.buaapress.com.cn>

嵌入式系统译丛

嵌入式通信软件设计

Designing Embedded Communications Software

[美] T. Sridhar 著

彭甫阳 王怀彬 王安生译

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内 容 简 介

全书共分9章,内容涉及通信软件的OSI七层模型、软件的划分、协议软件的实现、通信软件中表和其它数据结构、缓冲区管理、定时器管理、管理软件及相关问题、多板通信软件设计以及嵌入式通信软件开发过程等,还提供了通信软件设计的真实实例。很多内容以前只是散见于一些技术文献、内部文件甚至设计人员的头脑中,本书是第一次系统地对这些内容进行整理和提升。本书既适合于初学者,也适合于有经验的程序员;既可作为大学通信软件设计课程的教材,也可作为软件实践者自学和提高了的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式通信软件设计 / (美) 斯瑞德哈(Sridhar, T.)
著; 彭甫阳等译. — 北京: 北京航空航天大学出版社,
2004. 11

ISBN 7-81077-361-5

I. 嵌… II. ①斯…②彭… III. 通信软件—软件
设计 IV. TP311.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 060505 号

本书英文版原名: **Designing Embedded Communications Software**
Copyright © 2003 by CMP Books, except where noted otherwise.
Published by CMP Books, CMP Media LLC, 4601 West 6th St, Suite B
Lawrence, KS 66049, USA. All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 CMP Books 公司授权北京航空航天大学出版社在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区)独家出版发行。版权所有。

北京市版权局著作权登记号: 图字: 01-2003-4612

嵌入式通信软件设计 Designing Embedded Communications Software

[美] T. Sridhar 著

彭甫阳 王怀彬 王安生 译

责任编辑 孔祥夔

*

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(100083) 发行部电话: 010-82317024 传真: 010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印刷 各地书店经销

*

开本: 787×960 1/16 印张: 12.25 字数: 274 千字

2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷 印数: 5 000 册

ISBN 7-81077-361-5

定价: 24.00 元

译者序

通信与计算机的结合彻底改变了我们的世界,而各种各样的通信设备是实现这一切的基础。在绝大多数通信设备中,嵌入式通信软件发挥着越来越重要的作用。但对一般软件开发人员来说,嵌入式通信软件的开发仍是高深莫测的。

本书作者 T. Sridhar 是 FutureSoft 公司的首席技术官和分管工程的副总裁,负责通信系统软件结构设计,具有非常丰富的嵌入式通信软件设计和开发经验。在本书中,他将揭开嵌入式通信软件设计的神秘面纱,系统地引领读者进入这一领域。从嵌入式通信软件的基本概念,到通信软件设计中要考虑的专门问题,再到嵌入式软件设计和开发中的高级专题和技术细节,循循善诱,层层深入。

全书共分 9 章,内容涉及通信软件的 OSI 七层模型、软件的划分、协议软件的实现、通信软件中的表和其它数据结构、缓冲区管理、定时器管理、管理软件及相关问题、多板通信软件设计以及嵌入式通信软件开发过程等,还提供了通信软件设计的真实实例。本书内容全面,从嵌入式通信软件的基本概念、技术和方法到高深的专题研究,覆盖了嵌入式通信软件设计人员感兴趣的几乎所有方面。书中很多内容以前只是散见于一些技术文献、内部文件甚至设计人员的头脑中,现在作者第一次很好地将其组织到了本书中。

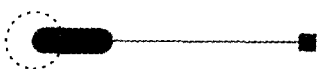


本书是关于嵌入式通信软件设计方面的好书,是有志从事嵌入式通信软件设计和开发人员的必读教材。既适合于初学者,也适合于有经验的程序员;既可作为大学通信软件设计课程的教材,也可作为软件实践者自学和提高了的参考书。每章后有参考文献阅读提示和练习题,有助于加深印象,深入研究。

由于译者水平所限,译文中难免出现不妥之处,敬请读者批评指正。

译者

2004年8月



序 言

本文档描述 Unix Vax-11 汇编器 As。As 设计用于对 C 编译器产生的代码进行汇编；同时也考虑了对人直接编写的代码进行处理的问题，不过通常没有更多的偏爱。

——伯克利 Vax/Unix 汇编器参考手册(1983)

尽管嵌入式通信系统在不同环境下的设计、开发和部署已有数十年的历史，但对一般软件开发人员来说，为这样的系统设计软件仍然是高深莫测的。在通常情况下，研发嵌入式通信软件面临的问题和挑战方面的知识以传闻和轶事的形式被嵌入式系统开发人员所掌握。最近，一些会议，如通信设计会议，已将这一主题列入中心议题，但软件设计的这一专门领域仍然难以把握。形成鲜明对比的是，Web 和基于 Web 的服务的普及不到 10 年时间，却产生了大量的技术文献讨论 Web 服务的软件设计和开发。

通信系统的设计和开发近些年经历了明显的转变，已越来越重视研发费用的降低，从而导致在构造嵌入式通信系统时常常采用商用芯片和商用(或第三方)软件。这一趋势具有广泛影响，因此要求新一代软件开发人员应熟悉建立和集成大量可复用的软件构件。这些构件随交换设备、路由器、流量聚合器(DSLAM、CMTS)和负载均衡器等联网系统一起提供。各类供应商目前提供网络处理器、协处理器、软件栈或单个协议软件，也体现了这一



趋势。

为使这一趋势继续推进,系统掌握联网系统嵌入式通信软件的设计和开发知识,无论对初学者、还是经验丰富的专业人员都是很有必要的。我高兴地看到,T. Sridhar 以其丰富的产品开发经验,在本书中填补了这一领域的空白。

这是一本组织良好的书,既适合初学者,也适合有经验的程序员。例如,书中首先介绍了 OSI 参考模型,协议软件部件的作用,设备驱动程序,以及在产品设计的早期就必须考虑的设计问题等;然后系统地引领读者考虑通信软件设计中的专门问题,例如与通信软件功能划分有关的问题。

待读者掌握了这些概念后,作者又引领读者进入数据结构设计、缓冲区管理和定时器管理等技术细节。而这些技术细节就形成了任何通信软件部件的支架,对研制出高性能产品是非常重要的。我特别喜欢第 8 章,该章讨论了通信领域软件设计中常被忽视但又十分困难的部分。最后,本书还介绍了软件开发过程的各个阶段,并以两个非常有名的商用产品中通信软件设计实例的讨论作为结束。

在 Intel 公司,我们为能有机会通过提供可编程构造单元实现联网工业的转变而高兴。我们的部分目标是建立一个很强的通信软件供应商生态系统,使得整个联网系统可通过对商用软件和芯片的集成而获得。本书的重要贡献在于揭开通信软件设计方面的神秘面纱。今天,许多大学课程没有很好介绍通信软件的设计。此外,对于想参与成长着的通信软件设计和开发生态系统的专业开发人员来说,本书是了解该领域基本概念和问题的良好开端。对这两类读者,我都强烈推荐这本书。

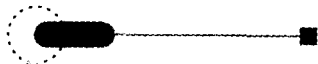
Raj Yavatkar

软件总架构师

网络处理部

Intel 公司

2003 年 5 月



前言

随着因特网的迅速普及,通信设备的重要性也不断提升。这些设备用在网络的各个部分,从联网的 PDA 个人数据代理和寻呼机,到复杂的中心局交换机。绝大多数的网络设备都有健全的通信软件功能,用于和其它设备及网络管理等控制实体通信。

与其它工程领域一样,设计是产品开发的第一步。目前,已有一些网络和通信方面的书,包括网络系统设计的工程方法方面的书。本书主要讨论通信系统的软件问题,特别是用来构造嵌入式通信设备的软件。主机系统好多年前就已有协议和联网功能,事实上,它们成了操作系统的一部分。本书则专注于嵌入式通信系统,特别是采用实时操作系统的嵌入式通信系统。

本书从嵌入式系统软件设计人员的角度讨论通信软件的设计。这就要求读者对实时系统概念有所了解,如任务、中断、调度和进程间通信等。本书包括了各类工程组织和工程实践方面的一些问题。读者也许会对某些概念已经熟悉,因为也许读者在公司的内部文件或厂商的白皮书中见过。

在我从事通信软件设计和开发的岁月,有幸与几位通信软件方面的专家打交道。这些专家向我提供和指出了许多通信软件设计方面的窍门和技术。本书的出发点就是介绍这些通信软件设计方面的问题,以帮助初入通信软件设计的工程人员打下一个好的基础。

目标读者

本书基本读者是那些编写通信软件的嵌入式系统工程师,包括新进入通信软件开发领域的人员和在该领域已有一定经验的人员。第一类人员能从本书获得他们通常要从文章、同事、内部文件和 Web 站点等多个渠道才能搜集到的信息。第二类人员通过本书能对系统中的其它问题有所了解,如协议栈开发人员能学到有关系统结构和软件方面的



知识。

本书还适合正开始通信软件编写的嵌入式工程师和正进行通信软件项目的研究生和本科生阅读。

本书组织

第1章讨论基于软件的实现环境中 OSI 的七层模型,概要讨论了通信设备的一些问题。这是通信设备软件开发的基础。

第2章详细讨论了通信系统软件设计涉及的各个因素;讨论了主机和嵌入式通信软件的需求,包括实时操作系统、协议栈、硬件加速和设计折衷等。还详细介绍了带硬件加速和不带硬件加速情况下的软件设计。

第3章从软件划分的角度再次审视分层的概念,探讨了为什么严格分层是很困难的。还介绍了任务、模块和接口需求。

第4章是有关协议栈及其实现的详细描述。本章讨论的内容有状态表及其实现,协议模块之间的接口和协议栈的管理。

第5章讨论了通信系统所用表的设计问题。配置、状态和统计以及协议操作可能都需要表。本章讨论了表的数据结构分配、表的设计及表的访问机制。

第6章详细分析了通信软件设计中的缓冲区管理和定时器管理方案;讨论了 mbuf 和 STREAMS 缓冲区方案,还讨论了定时器的设计,包括定时器任务和事件的使用。

第7章主要讨论通信系统中管理软件的设计。所讨论的一些关键问题有:管理方案、管理协议抽象的采用和配置的保存和恢复等。

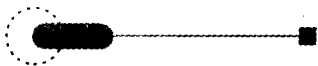
第8章探讨与多 CPU 和多板系统软件设计有关的问题,包括常见的多板体系结构、CPU 间消息层抽象和冗余设计等。

第9章是从工程实践人员角度考察通信软件设计和开发。本章详细描述了开发各阶段及其输出、硬件无关性和 COTS 板测试等。

致 谢

感谢我的雇主 FutureSoft 公司和它的 CEO——K. V. Ramani 先生对我的支持。很幸运与几位优秀的工程师共事,他们帮助我形成了本书的许多思想(即使他们没有意识到这一点)。这些人是 KK. Srinivasan、S. Ravikumar、Dr. Raj Yavatkar、Vijay Doraiswami、Kwok Kong、Manikantan Srinivasan、Rajesh Kumar、Elwin Eliazer,还有其他几位。

衷心感谢 Intel 公司的首席软件架构师 Raj Yavatkar 博士为本书作序。



CMP Books 出版社的 Robert Ward 在本出版项目的一开始就与我一起工作,是他使本书成为现实。Michelle O'Neal 不断对我提供鼓励,并且项目管理出色。Justin Fulmer 耐心地对本书进行了编辑和修改。Paul Temme 处理整个项目,使一切运转正常。

如果不提技术编辑 Sue Thorstensen,就是我的失职。她让我的书紧扣主题,并多次对手稿进行润色。Manikantan Srinivasan、Vijay Doraiswami 和 Sandhya Ravikumar 对本书提出了许多宝贵意见。Mani 指出了书中的一些重复和前后不一致之处。

没有我妻子 Padmini Sridhar 的支持和鼓励,本书也是不可能完成的。我妻子自始至终都在后面支持我。Ramasamy Rathnam 和 Asokan Selvaraj 鼓励我把思想落实到纸上。我还要感谢我的支持网络,主要包括 T. Saraswathi 夫人、Girija Suresh 博士、R. Suresh、Sunder Mahalingam 和 Suresh Gopalan 博士等。特别是 Suresh,在我陷入停顿时让我继续下去。

本书的目标是作为一本嵌入式通信软件设计的实践人员指南。如果本书能在读者下一项目的一个或几个阶段对把握和提升有所帮助的话,本书的目的就达到了。书中任何错误或疏漏,由本人负责。但愿本书能对读者有所帮助。

更 新

希望通过 E-mail 得到消息更新的读者,请发送一封空白电子邮件到 embeddedcoms@news.cmpbooks.com。如有建议或修改意见,请发邮件到 tsridhar@mail.com。



目 录

第1章 引 言

1.1 OSI 参考模型	1
1.1.1 物理层	3
1.1.2 数据链路层	3
1.1.3 网络层	3
1.1.4 传输层	4
1.1.5 会话、表示和应用层	4
1.1.6 网络通信	4
1.2 通信设备	5
1.3 软件构件类型	9
1.3.1 协议软件	9
1.3.2 基础软件和系统软件	10
1.4 设计考虑——序曲	11
1.5 小 结	12
1.6 阅读材料	12
1.7 习 题	12

第2章 通信系统软件考虑

2.1 基于主机的通信	13
2.1.1 用户模式与核心模式	13
2.1.2 主机网络接口	15



2.1.3	STREAMS 结构	16
2.1.4	套接字接口	18
2.1.5	基于主机的联网软件存在的问题	18
2.2	嵌入式通信软件	19
2.2.1	实时操作系统	19
2.2.2	存储问题	21
2.2.3	设备问题	23
2.2.4	软/硬件划分	23
2.2.5	硬件加速	25
2.2.6	控制板和数据板	27
2.2.7	为硬件加速开发软件	28
2.3	小 结	29
2.4	阅读材料	30
2.5	习 题	30

第 3 章 软件划分

3.1	严格分层方法的局限性	31
3.2	任务与模块	33
3.2.1	进程与任务的比较	34
3.2.2	任务实现	35
3.2.3	任务调度	35
3.3	模块与任务分解	36
3.4	划分案例研究——第二层交换器	36
3.4.1	设备驱动程序	37
3.4.2	协议功能	41
3.4.3	系统与管理任务	43
3.4.4	硬件加速	43
3.5	第三层交换器/路由器	43
3.6	模块与任务接口	45
3.6.1	函数/过程接口	45
3.6.2	消息/事件接口	47
3.6.3	标准接口与专用接口	49
3.7	小 结	50
3.8	阅读材料	50



3.9 习 题	50
---------------	----

第4章 协议软件

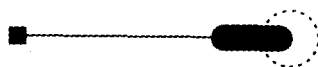
4.1 协议实现	51
4.1.1 状态机	52
4.1.2 协议数据单元(PDU)处理	57
4.1.3 协议接口	58
4.1.4 配置与控制	61
4.1.5 系统启动	63
4.1.6 协议升级	64
4.2 小 结	65
4.3 阅读材料	65
4.4 习 题	65

第5章 表与其它数据结构

5.1 表	66
5.2 结构/表的划分	69
5.2.1 控制块	69
5.2.2 接口控制块	72
5.3 实 现	74
5.3.1 控制块分配与初始化	74
5.4 访问加速	76
5.4.1 访问方法优化	77
5.4.2 硬件支持	77
5.4.3 高速缓冲	78
5.5 表大小的调整	78
5.6 表访问例程	80
5.7 小 结	81
5.8 阅读材料	82
5.9 习 题	82

第6章 缓冲区与定时器管理

6.1 缓冲区管理	83
6.1.1 全局缓冲区管理	83

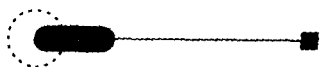




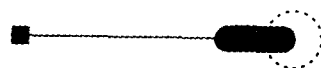
6.1.2	局部缓冲区管理	84
6.1.3	单缓冲池和多缓冲池	84
6.1.4	缓冲区大小	85
6.1.5	缓冲池及缓冲区大小选择对照单	86
6.1.6	伯克利系统发布(BSD)的 mbuf 库	86
6.1.7	STREAMS 缓冲区方案	90
6.1.8	缓冲区方案之比较	91
6.1.9	缓冲区管理方案范例	92
6.1.10	缓冲区管理中的异常条件	95
6.2	定时器管理	96
6.2.1	任务各自进行自己的定时管理	96
6.2.2	差值定时器计数的使用	98
6.2.3	定时器管理任务	100
6.3	小 结	103
6.4	阅读材料	104
6.5	习 题	104

第 7 章 管理软件

7.1	设备管理	105
7.2	管理方案	106
7.3	路由器管理	107
7.3.1	SNMP 管理	107
7.3.2	基于 CLI 的管理	108
7.3.3	基于 HTTP 的管理	108
7.4	管理子系统体系结构	108
7.4.1	SNMP 的使用	108
7.4.2	CLI 的使用	110
7.5	代理与协议间的接口	111
7.5.1	代理与协议之间的内存分离	113
7.6	设备到管理程序的通信	113
7.7	系统建立与配置	114
7.7.1	引导参数配置	114
7.7.2	引导后配置	115
7.8	配置的保存与恢复	115



7.9 小 结	117
7.10 阅读材料	117
7.11 习 题	118
第 8 章 多板通信软件的设计	
8.1 通信设备的通用结构	119
8.1.1 单板设计	120
8.1.2 基于机壳的设计	120
8.1.3 基于机架的设计	121
8.2 多板体系结构	123
8.3 单控制卡+多线卡结构	125
8.3.1 线卡到线卡的通信	125
8.3.2 线卡到控制卡的通信	125
8.3.3 消息类型与协议	126
8.3.4 软件在控制卡和线卡之间的划分	127
8.3.5 划分抽象化	127
8.4 RTOS 对分布的支持	129
8.5 适应分布的数据结构调整	130
8.6 适应分布的状态机调整	131
8.6.1 单一控制平面	131
8.6.2 分立控制平面	132
8.7 多板软件管理接口	133
8.8 多板软件开发对照表	133
8.9 单控制卡+多线卡结构的评价	134
8.10 多线卡全分布结构	134
8.11 多板系统中的故障与容错	136
8.11.1 故障类型	136
8.11.2 控制卡与线卡冗余选择方案	137
8.11.3 控制卡冗余	138
8.11.4 线卡冗余	138
8.11.5 控制卡和线卡的冗余模型与待机模型总结	140
8.12 小 结	140
8.13 阅读材料	140
8.14 习 题	141





第9章 通信软件的开发

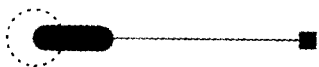
9.1 产品开发步骤	142
9.1.1 第三层交换机产品需求	143
9.1.2 高层或系统设计	144
9.1.3 低层设计	145
9.1.4 编 码	145
9.1.5 测 试	145
9.2 独立于硬件的开发	147
9.2.1 模拟环境的采用	147
9.2.2 独立于操作系统的程序设计	149
9.3 COTS板的采用	151
9.4 开发环境与工具	152
9.5 测试工具与设备	153
9.6 小 结	154
9.7 阅读材料	155
9.8 习 题	155

附录A 商用系统举例

Juniper Networks 的公司 M 系列路由器	156
Cisco Systems 公司的 12000 系列路由器	157
Cisco IOS™ 软件	157

附录B 常用术语与缩略语

参考文献	174
------------	-----



在本章中...

- OSI 参考模型
- 通信设备
- 软件构件类型
- 设计考虑——序曲

第1章

引言

通信系统设备繁多,复杂程度各异,小到手持电话,大到中心局交换设备。早期的通信设备(如电话)全部由电路构成,不含软件;但新的通信设备则含有软件,并用软件来完成通信设备在网络中的功能。例如,蜂窝电话里就有一个微处理器运行协议栈软件,用以实现与蜂窝网络的通信。通常,该软件还包括其它的一些功能,例如从网络下载软件升级程序以及与互联网链接等。

开发通信软件策略的第一步是了解通信设备的一些共性问题,然后再根据这些共性问题考虑具体硬件的变化。在一些系统中,代码大小比性能更重要;而在另一些系统中,完整的协议功能也许并不需要。本章通过分析 OSI(开放系统互连)七层模型来介绍各种类型的通信系统及每层软件功能之间的关系。

1.1 OSI 参考模型

OSI 模型(见表 1.1)由国际标准化组织提出,是通信系统的基础。OSI 七层模型按模块化思想将通信协议功能划分为七层;而这七层的功能既可由硬件实现,也可由软件实现,或者由软/硬件结合来实现。每层都能独立工作,但每层都建立在其下面各层的基础上。

七层模型的主要用途是应用于教学和比较研究。为了满足特定应用的需求,绝大多数实际的实现多少会与该模型有些偏差。

七层模型的每一层实现一项特定的通信功能。这种逻辑上的划分带来的是模块化开