

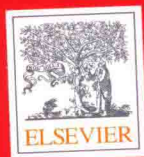
嵌入式系统经典丛书

Handbook of Serial
Communications Interfaces



串行通信接口 规范与标准

[美] Louis E. Frenzel Jr 著
林 赐 译



清华大学出版社

嵌入式系统经典丛书

串行通信接口 规范与标准

[美] Louis E. Frenzel Jr 著
林 赐 译

清华大学出版社

北 京

Handbook of Serial Communications Interfaces: A Comprehensive Compendium of Serial Digital Input/Output (I/O) Standards

Louis E. Frenzel Jr

ISBN: 978-0-12-800629-0

Copyright © 2016 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Tsinghua University Press.

Copyright © 2016 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd and Tsinghua University Press. All rights reserved.

Published in China by Tsinghua University Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.. This edition is authorized for sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macao SAR). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2016-8811

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

串行通信接口规范与标准/(美) 路易斯·弗伦泽尔(Louis E. Frenzel Jr)著; 林赐译. —北京: 清华大学出版社, 2017
(嵌入式系统经典丛书)

书名原文: Handbook of Serial Communications Interfaces: A Comprehensive Compendium of Serial Digital Input/Output (I/O) Standards
ISBN 978-7-302-47123-3

I. ①串… II. ①路… ②林… III. ①串行接口—技术 IV. ①TP334.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 103624 号

责任编辑: 王 军 李维杰

装帧设计: 牛静敏

责任校对: 曹 阳

责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 110mm×188mm 印 张: 14 字 数: 306 千字

版 次: 2017 年 6 月第 1 版 印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 59.80 元

产品编号: 069230-01

译者序

当我写这篇序言的时候，正值圣诞节之际。这在西方可是个盛大节日，家家户户很早就准备好了圣诞树、圣诞礼物，张灯结彩，热热闹闹，喜气洋洋。此时，天公也很应景地下了几场鹅毛大雪，窗外一派银装素裹、粉妆玉砌的景象。虽是良辰美景，但我却格外思念远方的故乡，正所谓“独在异乡为异客，每逢佳节倍思亲”。

由此，思接千载，视通万里。遥想当年，诸侯争霸，战事频发，狼烟四起；苏武牧羊，鸿雁传书；更有甚者，人们寄托神话中的青鸟为其传书，正如唐代李白有诗曰“愿因三青鸟，更报长相思”。从这些古代的通信手段，我们可以看出通信在人们的日常生活中起到了举足轻重、至关重要的作用。到了近代，随着电话、电报以及互联网的诞生，通信变得快捷、方便，再也不会出现“烽火连三月，家书抵万金”“九度附书向洛阳，十年骨肉无消息”“忆郎郎不至，仰首望飞鸿”这样的情形。

但是，随着信息时代的来临、通信方式的快速发展，人们对通信技术提出了各种各样的要求，一

些陈旧的通信接口和协议变得难以适应时代的发展，同时，为满足五花八门的需求，各式各样的通信接口如雨后春笋般地涌现出来。作为一名通信工程师，如果抱残守缺，故步自封，那么就难以胜任工作岗位，难免在职业的发展生涯中磕磕碰碰。本书的出现，为广大工程师打开了一扇了解串行通信接口的窗户。虽然透过这扇窗，读者不能全面了解串行接口的所有细节内容，但是本手册却起到了提纲挈领的作用，只要读者顺藤摸瓜，“按图索骥”，就必有收获。作为一本专为串行接口写的手册，本书的编排井然有序，每章的格式也非常统一，便于读者在串行接口之间进行横向比较。相信通过本书，读者可以汲取串行接口设计的精髓，对串行接口的认识更上一层楼。

在这里要感谢清华大学出版社的编辑们，她们为本书的翻译投入了巨大的热情，并付出了很多心血。没有她们的耐心和帮助，本书不可能顺利付梓。本书全部章节由林赐翻译，参与本次翻译的还有林茂辉、方毅、许宏洲，在此一并表示感谢！

在这本经典之作的翻译过程中，译者如临深渊，如履薄冰，唯恐达不到前辈提出的“信、达、雅”的标准，误人子弟，鉴于译者水平有限，谬误之处在所难免，如有任何意见和建议，请不吝指正，感激不尽！

译 者

2016/12/24

于加拿大渥太华大学荔枝街

前 言

使用微控制器或任何其他电子设备都涉及接口的使用，接口就是将一台设备连接到另一台设备进行通信的电子电路。如果你正在设计电子设备，那么你可能已经接触过一个或多个接口。例如，最常见的有线接口是消费类设备中的 USB 和 HDMI，以及工业设备中的 RS-232 / RS-485。但是，有线接口还有数十种其他类型，其中一些不为人们所熟知。多年来，为达到特定目的，人们开发出了许多新的串行接口。本书试图对所有比较常见的有线和无线接口进行编目。本书可以作为选择、比较和使用串行接口的指南。

其中几章旨在简要介绍相关的数据通信和网络技术。这些章涵盖了有线基带接口、宽带基础以及无线理论与技术。你也许已经拥有了必要的技术背景来使用这本书，但是即使你还未拥有相应的技术背景，这些章也会给你带来关于这些基础知识的一个简要课程。其余章专门描述各个接口和协议。为了使读者能够方便比较各个接口，本书采用一种标准的格式来描述接口。

请注意，接口描述很简短，只描述了一些你需要知道的关键数据。每个接口的详细信息和相关协议未包含在本手册中。接口总结有助于你为了达到比较的目的，聚焦于主要的规范和应用。如果需要更多细节，可以去查看标准的原始来源或一些可用的图书。

本书分成几个重点部分。前三部分涵盖了有线基带接口，按照数据速率列出了接口：慢速、中速和高速。为了高效地使用这些章，当聚焦于实际应用时，可以先估计实际应用所需的数据速率，然后到相关的部分查看可用的接口。在每部分，接口是按照字母顺序排列的。每个接口都是简短的一章。然后，你就可以为项目选择最适合的接口了。

另一部分重点介绍了采用调制技术的宽带接口。在这部分，本手册回顾了最常用的调制方法。最后，有一章专门介绍了无线的基础知识，这一章讲解了阅读无线接口章节所需的基础知识。

关于接口列表，其中一个关键点就是：在描述接口时，只使用了 OSI 模型的物理层和数据链路层（参见第 2 章）。有些情况下，可能会简要介绍一下相关的高层协议。有时，几种不同的协议使用了一个通用的物理接口。由于这些协议变体的复杂性，本书只是简单提到而没有完全描述这些协议。

本书不打算详细介绍每个接口标准。大多数接口规范有几十甚至几百页长，在一本书中不可能涵盖它们的方方面面。许多接口是专有的，或要求具

有某个组织的成员资格，才可以访问。因此，本书总结了最常见的接口，让你能够横向比较，找到自己所需的最适合接口。我可能错过了一些可用的接口。如果你知道本书需要囊括的任何接口，请通知我，我将在未来的版本中包括它们。

我希望你能发现这本书是你的良师益友。我非常乐意接受来自你可能希望提交的任何更正，或本书应该添加任何接口或特征的反馈。

祝万事如意！

Louis E. Frenzel Jr
作于德克萨斯州奥斯汀市
2015 年

目 录

第 1 章	串行 I/O 通信简介	1
第 2 章	串行 I/O 入门: 简要介绍数据通信和 网络	5
第 3 章	选择适当的接口	37

第 I 部分 低速接口(0~10Mb/s)

第 4 章	单总线	43
第 5 章	执行器传感器接口(AS-i)	49
第 6 章	位总线	55
第 7 章	C 总线	59
第 8 章	控制器局域网(CAN)	63
第 9 章	DMX512	69
第 10 章	FlexRay	75
第 11 章	基金会现场总线	79

第 12 章	高速可寻址远程传感器通信协议 (HART).....	85
第 13 章	内部集成电路(I ² C)总线	91
第 14 章	IO-Link.....	97
第 15 章	集成电路内置音频(I ² S)总线	101
第 16 章	本地互联网络(LIN).....	105
第 17 章	仪表总线(M-Bus)	109
第 18 章	Microwire 总线.....	113
第 19 章	乐器数字接口(MIDI).....	117
第 20 章	MIL-STD-1553.....	121
第 21 章	Modbus.....	125
第 22 章	车载自动诊断系统(OBD) II.....	129
第 23 章	电源管理总线(PMBus).....	135
第 24 章	过程现场总线.....	139
第 25 章	RS-232	145
第 26 章	RS-422	151
第 27 章	RS-423	155
第 28 章	RS-485	159
第 29 章	系统管理总线(SMB).....	163

第 30 章	T1/E1	167
--------	-------	-----

第 II 部分 中速接口(10Mb/s 到 1Gb/s)

第 31 章	以太网	173
--------	-----	-----

第 32 章	火线(FireWire)	177
--------	--------------	-----

第 33 章	联合测试行动小组(JTAG)	183
--------	----------------	-----

第 34 章	面向媒体的系统传输(MOST)	187
--------	-----------------	-----

第 35 章	串行外设接口(SPI)	191
--------	-------------	-----

第 36 章	通用串行总线(USB)	195
--------	-------------	-----

第 III 部分 高速接口(1Gb/s 到 100Gb/s)

第 37 章	100G 以太网连接单元接口(CAUI)	203
--------	----------------------	-----

第 38 章	通用电气接口- 28G(CEI-28G)	207
--------	----------------------	-----

第 39 章	通用公共无线电接口(CPRI)	211
--------	-----------------	-----

第 40 章	显示接口(DP)	215
--------	----------	-----

第 41 章	千兆以太网(GE)	219
--------	-----------	-----

第 42 章	光纤通道(FC)	225
--------	----------	-----

第 43 章	高清多媒体接口(HDMI)	231
--------	---------------	-----

第 44 章	超传输(HT 总线)	237
--------	------------	-----

第 45 章	无限带宽技术(IB)	241
第 46 章	JESD204	247
第 47 章	Kandou 总线	251
第 48 章	闪电接口	253
第 49 章	低压差分信号(LVDS)	257
第 50 章	移动产业处理器接口(MIPI)	261
第 51 章	移动高清链接(MHL)	265
第 52 章	光传输网络(OTN)	269
第 53 章	PCIe 总线	273
第 54 章	无源光网络(PON)	277
第 55 章	RapidIO	281
第 56 章	串行连接 SCSI(SAS)	285
第 57 章	串行 ATA 接口规范(SATA)	289
第 58 章	串行数字接口(SPI)	293
第 59 章	同步光网络(SONET)和同步数字 体系(SDH)	297
第 60 章	雷电	303
第 61 章	10G 和 40G 以太网连接单元接口 (XAUI 和 XAUI)	307

第 62 章	测试的考虑因素	311
--------	---------------	-----

第IV部分 宽带接口

第 63 章	宽带接口概念	319
--------	--------------	-----

第 64 章	有线电视数据服务接口规范 (DOCSIS)	331
--------	--------------------------------	-----

第 65 章	数字用户线路(DSL)	337
--------	-------------------	-----

第 66 章	G3-PLC	343
--------	--------------	-----

第 67 章	G.hn	347
--------	------------	-----

第 68 章	家庭插电(HP)	351
--------	----------------	-----

第 69 章	多媒体同轴电缆联盟(MoCA)	355
--------	-----------------------	-----

第 70 章	电力线智能计量演化(PRIME)	359
--------	------------------------	-----

第 71 章	X10 接口	363
--------	--------------	-----

第V部分 无线接口

第 72 章	无线接口	369
--------	------------	-----

第 73 章	802.15.4	379
--------	----------------	-----

第 74 章	蓝牙(BT)	383
--------	--------------	-----

第 75 章	数字增强无绳电信(DECT)	387
--------	----------------------	-----

第 76 章	易能森(EnOcean)	391
--------	--------------------	-----

第 77 章	ISA100-11a	395
第 78 章	工业科学医疗(ISM)无线接口	399
第 79 章	近场通信(NFC)	403
第 80 章	超宽带(UWB)	407
第 81 章	Wi-Fi	411
第 82 章	无线 HART	415
第 83 章	ZigBee	419
第 84 章	Z-Wave	423
术语表		427

串行 I/O 通信简介

1844 年，塞缪尔·莫尔斯发明的电报是最早的电气/电子系统。它早于电灯泡、电话和收音机。它采用了摩尔斯电码的点划线，是一个串行输入/输出 (I/O) 系统。紧接着，在 19 世纪末 20 世纪初，人类发明了无线电，同时发明的还有采用摩尔斯电码的马可尼电报系统。在 20 世纪初期，使用 5 位 Bardot 码，打字机式机电终端的电传打字机终于问世了。无线电报过去被广泛应用于海洋和全球电报服务。

直到 20 世纪 60 年代初，人们才开发和部署了第一个真正的二进制串行接口。RS-232 标准就是一个例子，人们开发了 RS-232，并将其作为接口应用于电传打字机终端，以及最早的大型计算机 CRT 终端。此后，人们根据各种特定的目的，开发了众多不同的串行接口。当今，实际上存在着几十种不同的串行 I/O 接口，从低速工业设备到超高速光纤系统，几乎都可以看到串行 I/O 接口的应用。

基本原理

数字数据采用两种方式从一个点传送到另一个

点：并行和串行。在并行传输中，所有位从源设备到目标设备一次性传输完成。在串行传输中，每次发送一位。这使得并行传输更快，但是这也要求并行传输有多条通道或路径，每个位对应一条通道或路径。由于并行传输需要更多的硬件，因此并行传输更昂贵。如果使用电线，则需要大型复杂的电缆或总线。

由于串行数据传输只需要一条路径或电缆，因此所需的线路较少。由于只需要一条路径，因此无线传输成为一种选择。串行连接的成本较低，如今，速度通常不再是限制因素。

年复一年，随着更小更快的 IC 和处理器的出现，数字电路速度也随之增加，在多条通道上的并行传输已经达到其能力的极限。由于杂散分布的电感电容，再加上电缆和印刷电路板总线导体的串扰很大，因此并行传输达不到人们所需的更高传输速率。线与线之间的时序偏移可能导致错误。

另一方面，相对较快的电路使得串行传输更加实用，电路和电缆更简单、更便宜。在无线或光纤电缆中，人们强制使用串行数据。

在这些条件的综合作用下，人们开发了大量的串行 I/O 方法和标准。当今，在几乎所有的电子设备中都部署了使用这些标准的接口。这些串行接口将设备与设备、设备与网络、印刷电路板(PCB)与印刷电路板、IC 芯片与 IC 芯片连接起来了。

因为串行接口如此众多，所以工程师通常不知道所有可用的替代技术。与此同时，一些接口比起其他接口更有竞争力。此时，人们的问题就是：针对特定应用，哪种接口技术最合适？一些接口是专用的，而其他接口则是通用的。此外，在设备上工作的技术人员或实验者可能不知道他们正在使用的接口的细节，从而妨碍了故障排除或测试工作。

本书提供了解决方案，书中记载了所有最流行、最常用的接口，汇总了各种接口的规格和标准。工程师和技术人员可以使用本书，为新设计选择接口，验证接口是否正常工作，也可以仅仅为了熟悉新接口的规格和标准而阅读本书。



方法

本书第2章总结了串行数据通信的基本原理，涵盖了数据速度、同步和异步、线路编码、纠错、物理介质和所涉及的基本电路。

接下来，本书对最流行的串行接口进行分类，分成三个组：低速(0 至 10Mb/s)、中速(10Mb/s 至 1Gb/s)或高速(1Gb/s 至 100Gb/s)。然后，每个接口都用标准的格式表示，给出商业名称、标准、速度、编码、介质、协议、通用应用和其他相关数据。