

智能家居

Z-Wave 入门实战



四



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

- ◎ [德] Christian Pätz 施镇乾 / 编著
- ◎ 陈松根 / 译
- ◎ 杨宝瑜 / 图文整理

智能家居

Z-Wave 入门实战



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书深入浅出地为读者解答三个问题：为什么是 Z-Wave？什么是 Z-Wave？如何实现 Z-Wave？本书的第 0 章——从过去看未来，以宏观的视角去看 IT 市场走过的路，借鉴 IT 行业的发展，分析科技产业的发展规律，再对比 Z-Wave 技术目前在欧美市场的发展情况，让读者可以从多个维度去思考物联网产业未来的发展轨迹，从而解答第一个问题；余下的 6 章涵盖了比较全面的内容，包括射频基础理论、市场上各种同类型技术的分析比较、Z-Wave 技术的体系与机制、各种主要功能的原理与具体实现方式、真实世界的实用案例等，为读者解答第二个、第三个问题。

读者对象：

1. 想了解 Z-Wave 技术的研发人员与决策者；
2. 考虑入行智能家居行业的技术人员；
3. 智能控制相关行业的专业人员；
4. 与物联网相关产业的销售与产品经理。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能家居 Z-Wave 入门实战 / (德) 克里斯蒂安·佩雅茨, 施镇乾编著; 陈松根译; 杨宝瑜图文整理. —北京: 电子工业出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-121-29974-2

I. ①智… II. ①克… ②施… ③陈… ④杨… III. ①住宅-智能化建筑 IV. ①TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 232844 号

责任编辑：富 军

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：北京京科印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：13 字数：255 千字

版 次：2016 年 10 月第 1 版

印 次：2016 年 10 月第 1 次印刷

印 数：3 500 册 定价：38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：(010)88254456。

Dear CK,

I am excited for your dedicated work to make this book a reality.

Since Z-Wave is meanwhile a truly global technology it was more than time to have the fundamental book about Z-Wave in Chinese Language.

You closed this gap and I hope you also pave the way to create the same level of excitement about Smart Home in China as we see it in North America or Europe. I hope this huge translation work will bring you the reward you deserve.

Yours truly

Dr. Christian Pätz

亲爱的 CK,

通过你的专注与努力终于把这本书变成现实了，为此我感到非常兴奋。

目前，Z-Wave 已经是一个无可置疑的国际技术，但是一直以来都欠缺一本有份量的中文入门书籍。

现在你填补了这个缺口，我祝愿你在中国开创出一条路，让你那边智能家居产业的发展跟上北美和欧洲那么让人兴奋的水平，我也希望你编写这本书的巨大付出能为你带来你应得的回报。

你最真挚的

Dr. Christian Pätz



出版说明

关于 Z-Wave，很多朋友经常问下面的问题：

1. “为什么智能家居/物联网不用 Wi-Fi 与蓝牙技术而要弄一个 Z-Wave 出来呢？”
2. “看到欧美市场 Z-Wave 产品越来越流行，我想深入了解它，到底哪里可以找到相关的资料呢？”
3. “我想在家里安装一套 Z-Wave 智能家居系统，到底应该如何入手？”
4. “公司经常收到海外客户查询 Z-Wave 产品，我们想评估企业如何入手开发与生产 Z-Wave 产品，哪里有相关的资料？”

这些问题不是三言两语就可以回答的，我尝试去找资料，但发现，目前关于 Z-Wave 技术的中文资料比较欠缺，网上流传的小量信息大多已经过时，反令很多人对 Z-Wave 技术产生误解。我深感需要一本内容全面又容易理解的中文书籍来解答这三个问题：

1. 为什么是 Z-Wave？
2. 什么是 Z-Wave？
3. 如何实现 Z-Wave？

所以萌生了编写本书的念头。

得到好朋友 Dr. Christian Pätz 的授权，我把他的著作 Z-Wave Basics 翻译成中文，并做了一些必要的内容更新与最新技术的补充，增加了“第 0 章——从过去看未来”，以宏观的视角去看 IT 市场走过的路，借鉴 IT 行业的发展，分析科技产业的发展规律，再对比 Z-Wave 技术目前在欧美市场的发展情况，让读者可以从多个维度去思考物联网产业未来的发展轨迹，从而解答第一个问题；余下的 6 章涵盖了比较全面的内容，为读者解答第二个、第三个问题。

希望读者享受阅读本书，并有所帮助。感谢读者对本书的支持！

相对于 2013 年发行的英文原版，本中文版本增加及更新了以下部分内容：

- 从 IT 行业发展历史总结规律，预示后 IT 时代（物联网）的去向；
- Z-Wave 的保安技术，包括 S0 和 2016 年推出的 S2 技术；
- 500 系列芯片的更新；



- 各国/地区频率与相关法规标准资料更新与增补；
- FLiRS 的更新；
- 【自动添加】功能（Auto Inclusion）的更新，作为【添加】的默认方法；
- Z-Wave Plus；
- 壁上按钮及壁上内嵌件的比较。

Z-Wave 与 Sigma Designs 是 Sigma Designs 的注册商标，而其他商标版权属于其版权持有者。

序

相信没有人会反对过去的 50 年是人类历史上科技发展最快速的半个世纪，我们这代人或多或少都经历了因科技带来的生活方式的改变。现在的小孩一出生就接触平板电脑、智能手机，小学生课余不是去球场踢球，而是在家里用平板电脑玩网络游戏，这些都是我们小时候那个年代连科学家都无法想象的。

一门科技的发展往往会成就另一门新科技的诞生，托马斯·爱迪生（Thomas Edison, 1847—1931）发明直流发电机和灯泡启发了他的助手尼古拉特斯拉（Nikola Tesla, 1856—1943）发明交流电发电机和变压器，成功地解决了远距离电力传输的难题，最终让电力和电灯得以进入美国人的家庭。电灯的技术也成就了真空管的发明，到后来半导体的发明也让集成电路变成现实，从而发展出半导体微处理器，也就是今天一切 IT 科技发展的基石。没有个人电脑的普及，也就不会有互联网的普及；没有互联网与无线电通信的发展，也不会有今天的智能手机。

IT 科技的发展有两个主要方向：一个是互联网化（Connectivity）；另一个是功能的聚合化（Convergence）。智能手机就是这两个主线发展的最佳例子，不仅可用于打电话，而且还把很多功能，如拍照、录像、音乐与视频播放、支付、信息沟通、电子商务、社交、导航、游戏等越来越多的功能“聚合”在里面。

旅游或者出差前，先用智能手机的电子商务软件把机票预订好，再打开电子地图计划一下行程、预订合适的酒店，顺便找到酒店附近评价不错的餐厅，并订好桌。到达机场后，等行李出来的时候，可以打开出租车预约 APP 预约送到餐厅的路线；上车之后，马上用智能手机找到餐厅的公共账号，打开菜单，先看看有什么好吃的；上菜的时候，用智能手机拍些照片，发到社交网上与朋友分享；用餐完毕后，使用电子钱包结账；回到酒店，觉得这个餐厅还真不错，于是打开饮食网站的 APP，上传美食照片，再给个赞。以上这些情节，你是不是觉得很熟悉？一系列的工作，今天只需要一个智能手机加上网络就能超快速完成。这就是“聚合”和“网络”的威力。

这两个 IT 主线发展到今天，不但没有慢下来，而且仍在继续聚合更多的产品 and 功能。很多人相信，下一波要聚合与互联的目标不是什么科幻的新发明，

而是你家里天天打交道的东西。

大约从 2000 年开始，欧美出现越来越多的技术与想法，为反向整合（Retrofit）提供了各种方案。反向整合就是倒过来把家里传统的非智能设备，如照明、空调、窗帘、影音，甚至一个水杯，通过有线或无线的方式连接到本地网络与互联网而建立一个“物联网”，通过智能手机和互联网访问和控制家中的一切。近年不断被炒作的“智能化”一般是指通过物联网上产品本身自带的传感器或网络传感器为系统控制器（一般是网关）提供环境监测数据，提供条件触发的信息，系统通过预先设定的各种条件操作家里的一切设备，无须人手操作，为用户带来生活上更多的方便性、安全性及降低能源的浪费。这仅仅是物联网可以带来的无数可能性中的一些基本功能而已。

随着智能终端产品与互联网的全面普及，物联网进入寻常百姓家庭如箭在弦上，我们称其为后 IT 时代。后 IT 时代将具有比前 IT 时代更巨大的产业，因为这次变革所牵涉的不仅仅是一个新产品，而是几乎在任何生活上都能接触到的“传统”产品。跨度之广前所未有，未来的 30 年对于 IT 行业将会是充满机会与挑战的，你准备好了吗？

施镇乾

C. K. Sze

2016 年 6 月 21 日

目 录

第 0 章 从过去看未来——让我们先看树林再看树木	1
0.1 百花齐放的 10 年（1975—1984 年）	2
0.2 新的游戏规则	5
0.3 蓝色巨人崛起的背景	6
0.4 大卫挑战巨人——UNIX 操作系统的出现	7
0.5 科技行业的发展规律	9
0.6 Z-Wave 的市场现况	10
第 1 章 概述	15
1.1 什么叫智能家居	16
1.2 智能家居的定义	20
1.3 无线通信网络的层级模型	20
1.4 对家居无线管控的要求	22
1.5 无线家居网络的选择	23
1.5.1 运用 27MHz 或 433MHz 频带的模拟管控	23
1.5.2 供应商的自定义（Proprietary）数码协议	23
1.5.3 Wi-Fi 或 WLAN	24
1.5.4 基于 IEEE 802.15.4 的通信网络	25
1.5.5 ZigBee	25
1.5.6 EnOcean	27
1.5.7 DECT ULE	27
1.5.8 Z-Wave	28
1.6 Z-Wave 的历史	29
1.7 Z-Wave 成为开放标准	32
第 2 章 无线电层	33
2.1 无线电基础	34
2.2 Z-Wave 采用的频谱	34
2.3 无线传送距离的估算	40

2.3.1 天线 (Antenna)	40
2.3.2 衰减 (Attenuation)	42
2.3.3 与其他无线电信号源的距离	43
2.3.4 墙壁效应厚度	44
2.3.5 无线电波的阴影区域 (Wireless Shadow)	45
2.3.6 反射 (Reflection)	45
2.3.7 干扰 (Interference)	45
2.3.8 什么架设高度最合适	46
2.4 电磁能 (EME) 与健康	47
第3章 Z-Wave 网络的技术基础	49
3.1 G.9959 数据通信	50
3.1.1 物理层的功能 (PHY)	50
3.1.2 无线数据帧 (Wireless Frame)	52
3.1.3 网络识别码 (Home ID) 和节点识别码 (Node ID)	53
3.1.4 网络媒介的接入功能 (MAC)	58
3.1.5 数据可靠性及纠错	60
3.2 路由 (Routing)	62
3.2.1 路由的基础	62
3.2.2 路由的演算方法	64
3.3 设备及网络种类	67
3.3.1 网络中的角色: 控制器 (Controller) 及从机 (Slave) 设备	67
3.3.2 给设备供电的不同方式	69
3.3.3 总结	73
3.4 对网络的人工更新	73
3.4.1 【排除】——移除一个功能设备	73
3.4.2 故障节点列表	74
3.4.3 故障设备的移除	75
3.4.4 网络的重新组织 (Network Re-organization)	76
3.5 网络的自动更新 (Automated Updating)	77
3.5.1 静态更新型控制器 (Static Update-Controller) ——“旧”方法	78
3.5.2 探索帧 (Explorer Frame) ——“新”方法	80
3.5.3 网络中探索帧和 SUC/SIS 的比较	80

3.6 网络组态 (Network Configuration)	83
3.6.1 拥有单一可携控制器的 Z-Wave 网络	83
3.6.2 拥有单一静态控制器的 Z-Wave 网路	83
3.6.3 网络中有可携静态控制器	84
3.6.4 网络中有 SUC/SIS 控制器	85
3.6.5 不同网络组态的比较	86
第4章 Z-Wave 应用层 (Application Layer)	87
4.1 设备及指令	88
4.1.1 Z-Wave 设备的种类	88
4.1.2 指令集 (Command Class)	89
4.1.3 Basic 指令集	91
4.1.4 设备集 (Device Class)	92
4.2 设备的管理	96
4.2.1 节点资料帧 (Node Information Frame)	96
4.2.2 提问 (Interview)	97
4.2.3 设置 (Configuration)	98
4.2.4 电池管理	100
4.2.5 电池电量寿命的优化	102
4.2.6 关联 (Association)	105
4.3 场景 (Scenes)	108
4.3.1 实例	108
4.3.2 场景快照 (Snapshot)	111
4.3.3 IP 网关内场景的定义	111
4.3.4 运用计时器激活场景	111
4.3.5 用无线设备激活场景	113
4.3.6 用布尔逻辑 (Boolean Logic) 激活场景	114
4.3.7 具备脚本 (Scripting) 的复杂场景	116
4.3.8 场景及关联组的比较	116
4.4 用户界面 (User Interface)	117
4.4.1 壁上控制器及遥控器	117
4.4.2 安装工具包	118
4.4.3 面向用户的网页界面 (Web Interface)	120



4.5 智能家居无线技术的安全性	120
4.5.1 安全性及典型攻击的一般资料	121
4.5.2 加密 (Encryption) 及重播式攻击 (Replay-Attacks)	121
4.5.3 拒绝服务式攻击 (Denial-of-Service Attack)	123
4.5.4 无线安全性的其他方面	123
4.5.5 Z-Wave 的安全性概念	124
4.5.6 安全性的成本	124
4.5.7 论题	125
4.6 Z-Wave Plus	126
4.7 S2 安全性技术	128
第 5 章 实施 Z-Wave 的一些注意事项和技巧 (Tips & Tricks)	133
5.1 建立网络——基本的流程	134
5.1.1 定义需要的功能	134
5.1.2 选择正确的设备	135
5.1.3 Z-Wave 壁上按钮和嵌入件的比较	137
5.1.4 将所有设备【添加】进一个网络中	139
5.1.5 【添加】设备的方法	139
5.1.6 【添加】控制器	142
5.1.7 【添加】电池供电设备	145
5.1.8 设置 (Configuration)	145
5.1.9 关联 (Association) 及场景 (Scene)	146
5.2 日常维护——如何让网络保持稳定	146
5.2.1 无线电层级	147
5.2.2 Z-Wave 的组网及路由	147
5.3 已知的问题及侦错方法	149
5.3.1 语言的一致性	149
5.3.2 功能的不匹配	150
5.3.3 缺乏向前兼容性 (Forward Compatibility)	150
5.3.4 多通道 (Multi Channels) 与多事件 (Multi Instances)	151
5.3.5 历史遗留下来的问题	152
5.3.6 IP 网关	152
5.3.7 弱的校验总和 (Check Sum)	153

第 6 章 更多 Z-Wave 的专题	155
6.1 法律状况	156
6.1.1 Z-Wave 的重要专利	157
6.1.2 对 Z-Wave 不利的重要专利	158
6.2 软件开发工具包 (SDKs)	160
6.3 调光器的一般资料	161
6.3.1 前缘相位控制 (Leading-edge Phase Control)	162
6.3.2 应用在电感性负载的前缘相位控制	163
6.3.3 后缘相位控制调光器 (Trailing-edge Phase Control)	163
6.3.4 万用调光器 (Universal Dimmer)	164
6.3.5 荧光灯/日光灯 (Fluorescent Lamps)	165
6.3.6 LED 灯	165
6.3.7 调光器的总结	165
附录 A Z-Wave 的设备集 (Device Class)	167
附录 B Z-Wave 的指令集 (Command Class)	171
附录 C 有用的线上资源	185
附录 D 参考书目 (Bibliography)	187
附录 E 技术词汇中英文对照表 (Terminology, English/Chinese Conversion)	189

第 0 章

从过去看未来 ——让我们先看树林再看树木

- 百花齐放的 10 年（1975—1984 年）
- 新的游戏规则
- 蓝色巨人崛起的背景
- 大卫挑战巨人——UNIX 操作系统的冒起
- 科技行业的发展规律
- Z-Wave 的市场现况

历史总是以不同的方式在重复，借鉴过去 30 年 IT 行业的发展历程，我们可以从中获得一些启示。



0.1 百花齐放的 10 年（1975—1984 年）

不管对厂家还是用户，这都是一个摸索的阶段。

20 世纪 70 年代，个人电脑开始萌芽，80 年代，个人电脑市场已经开始变得非常热闹了。当时出现了很多电脑品牌，相信今天大部分人都没有听过。不过，那个年代，个人电脑对于大部分老百姓来说，其实还是很遥远的。其中当然包括大家都熟悉的苹果电脑。史蒂夫·乔布斯（Steve Jobs）创办苹果电脑之前，其实在 Atari（雅达利）公司待过。当时 Atari 的主要业务是生产我们俗称为“街机”（Arcade Machine）的商业游戏机。所谓个人电脑，与其说是电脑，不如说是一台带键盘的高级游戏机，电脑中间有一个插槽，游戏固化在一个插入式的组件（Plug-in Module）上，用户想要玩新的游戏就要去买新的插入组件（还有人记得 90 年代任天堂的红白机吗？）。同样地，如果用户想用这台“电脑”编程的话，也需要插一个 BASIC 语言组件进去，这样用户才可以做一些简单的 BASIC 编程。BASIC 是当时比较流行的一个高阶电脑编译语言的简称，全称为 Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code，如图 0.1 所示。



图 0.1 Atari 个人电脑，配备了 BASIC 语言模块

BASIC 语言并非 Atari 的发明，组件也非标配。标配是两个游戏操纵杆 (Joystick)。

除了苹果和 Atari，其实从 20 世纪 80 年代开始，市场上就涌现出了不少的个人电脑品牌，如英国的 Acorn、Amstrad、Apricot、Computers、Cantab、Dragon Data、Grundy、Jupiter、Memotech、Oric、Sinclair，美国的 APF、Bally (Bally 是做弹珠机与角子老虎机的，并不是瑞士那个皮具品牌)、Coleco、Commodore、Franklin、Mattel、Radio shack (是 Tandy 的品牌)、德州仪器 (也出过 PC！当然是用自己的 TMS 处理器)、Videobrain，澳洲的 Microbee Systems，比利时的 DAI、GEM、Gradient，巴西的 Prologica，法国的 Thomson (现在叫 Technicolor)，中国香港的 Comx、EACA (其 Genie 系列是 RadioShack 的低价兼容机)、Rabbit、Vtech，荷兰的 Aster、飞利浦、Matra，日本的 Fujitsu、NEC、OKI，Sega、Sharp、Tomy，新西兰的 Technosys，瑞典的 Luxor，中国台湾的 Multitech (现在叫 Acer)，苏联 (USSR) 的 Elektronika、AGAT、Intercompex、Iskra (主要是克隆苹果与 DEC) 等，市场热闹了好几年，如图 0.2 所示。



图 0.2 1975—1985 年期间部分个人电脑品牌的 logo

这些电脑基本上都不兼容其他品牌，也没什么有商业价值的应用，卖的就是硬件。事实上，大部分公司对于个人电脑可以干什么并没有什么远见，基本上就是造个硬件出来，后面的事就留给用户自己想办法了。但为了让那些不太专业，不会搞汇编语言开发的用户可以入手，都会提供一个 BASIC 翻译器 (Interpreter) 程序固化在 ROM 里面，这差不多是标配 (包括苹果 II 型个人电脑)。如果想把用户写的 BASIC 程序保存下来，就要用上家里的那台卡式录音机了。电脑通过把数据调制成音频并输出到录音机的 AUX 输入端录下来。这个时期的个人电脑大部分连软盘 (Floppy Diskette) 都还没有，因为这种设备不但非

常昂贵，而且大部分的电脑都还未发展出 DOS（Disk Operating System，磁盘操作系统）来支持这些设备，如图 0.3 所示。



图 0.3 卡式录音带是个人电脑早期的主流记录媒介

雄霸 20 世纪六七十年代的电脑巨无霸“蓝色巨人”IBM 也在 1981 年推出个人电脑（PC）。IBM 第一个型号为 5150 的个人电脑其实本身没有什么创新，只是把该有的东西都做在里面，标准配置包括一个型号为 5151 的 12 英寸黑白（应该是黑绿才对）的、可以显示 25 行、每行 80 个字符的“商业”显示器，一对 5.25 英寸软盘驱动器（Floppy Disk Drive）提供单面 160kB 的数据储存容量，也支持录音机音频接口，还有一个打印机界面接口，支持一个可以选配的 IBM 点阵打印机，使其可以做些文书编辑之类的事情，所以这算是第一台“商业级”的个人电脑了。IBM 由于其强大的品牌及大量的高端客户，在当时销售非常不错，如图 0.4 所示。



图 0.4 IBM5150 个人电脑与 5151 显示器

By Ruben de Rijcke - Own work, Picture licensed under terms of CC BY - SA 3.0