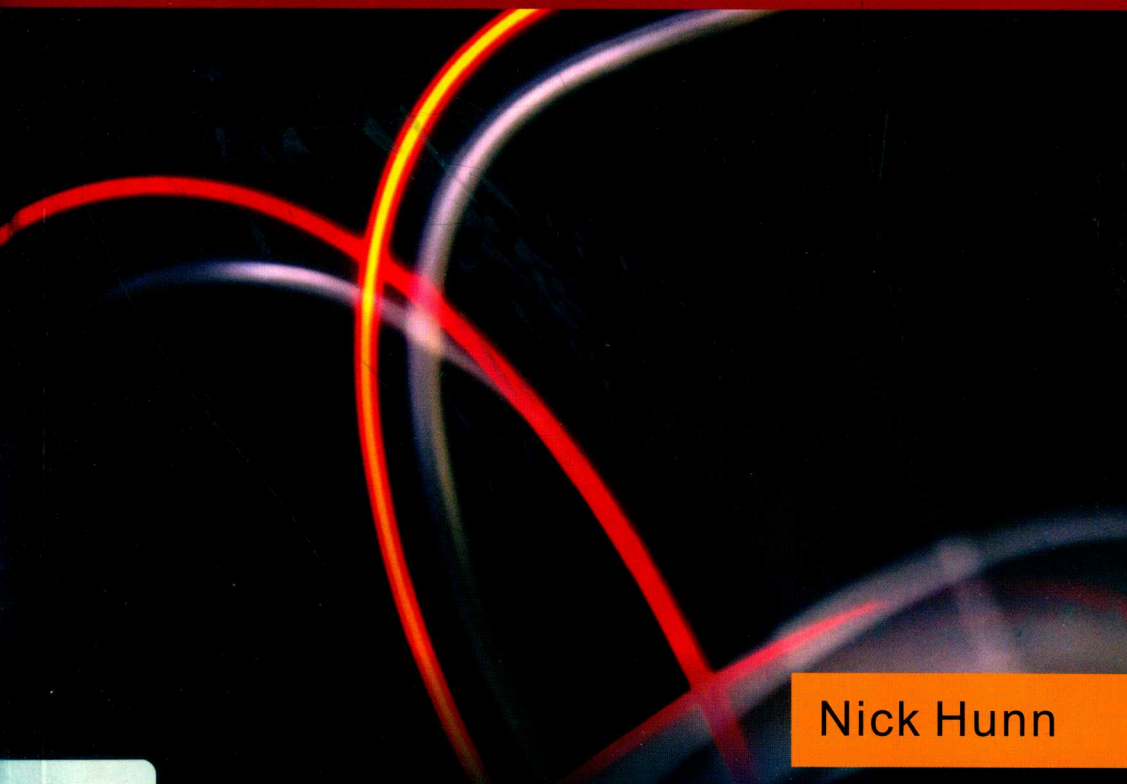
Cambridge Wireless Essentials Series
剑桥无线基础系列

CAMBRIDGE

短距离无线通信基础

Essentials of Short-Range Wireless

〔英〕 尼克·胡恩 著　　王熠晨 任品毅 译



Nick Hunn

西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

Cambridge Wireless Essentials Series
剑桥无线基础系列

Essentials of Short-Range Wireless

短距离无线通信基础

〔英〕 尼克·胡恩 著

Nick Hunn
WiFore Consulting

王熠晨 任品毅 译

西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2013-048

图书在版编目(CIP)数据

短距离无线通信基础/(英)尼克·胡恩(Nick Hunn)著;王熠晨,任品毅译. —西安:西安交通大学出版社,2018.1
书名原文:Essentials of Short-Range Wireless
ISBN 978-7-5693-0374-2

Ⅰ.①短… Ⅱ.①尼… ②王… ③任… Ⅲ.①无线电通信-基本知识 Ⅳ.①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 321269 号

书　　名	短距离无线通信基础
著　　者	(英)尼克·胡恩
译　　者	王熠晨　任品毅
出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网　　址	http://www.xjtupress.com
电　　话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315(总编办)
传　　真	(029)82669097
印　　刷	陕西宝石兰印务有限责任公司
开　　本	700 mm×1000 mm　1/16　印张　18　字数　233 千字
版次印次	2018 年 5 月第 1 版　2018 年 5 月第 1 次印刷
印　　数	0001～1800 册
书　　号	ISBN 978-7-5693-0374-2
定　　价	78.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248　(029)82665249
投稿热线:(029)82665397
读者信箱:banquan1809@126.com

目　录

第1章 引 言

在过去的10年中，移动产品的发展与人们对其接受程度发生了很大变化。在此期间，移动电话与消费类电子产品从科幻小说的世界中走进了日常现实生活。通常无线网络看起来很平常，例如每天用到的电视遥控器、汽车电子锁和信用卡交易。同时，我们也得大量携带多种移动设备。然而，在大多数情况下，这些移动设备和其他静态产品的设计及功能依旧受限于有线连接形式去传递或共享数据。

短距离无线链路有能力传递移动设备间共享的数据，不论是高速数据流的形式，或者偶尔一次的温度指示数的变化。为协助这种过渡形式，大量的研究工作着手于设计无线标准和相关芯片与软件。尽管在许多设计者看来，从有线到无线方式的转变任务艰巨，但是无线方式依旧不失其吸引力。本书的目的在于阐释无线通信的方式并移除人们一直以来对它的一些错误理解，同时研究和解释新提出的无线通信标准。

1.1 标准的发展

在过去的15年里，提出了大量的短距离无线标准。其背后有两个主要的原因。首先是移除电子产品的线缆的诉求推动了便携式产品的持续增长；其次是全球可接入免许可频谱的可用性以及低价硅，特别是在2.4 GHz和5.1 GHz的频带上提供了一个低价的无线融合的经济市场。

不是所有的无线标准都能使用至今——在一些标准被提出的同时，另一些也就消失了。HomeRF与HiperLAN几乎已经被

遗忘了。相较之下，蓝牙与 Wi-Fi 时至今日，依然在数以百万计的设备上使用。它们的成功，使得业界开始意识到可以从这些无线标准中获得巨大收益，这些标准由多硅供应商提供安全保障，从而提高了互操作和更强健的性能。所有这一切标准的出现都源自于竞争与大量工程师不断提炼和发展的结果。

不仅仅是蓝牙与 Wi-Fi，也包括那些针对特定工业化和自动化的产品，都是基于 802.15.4 射频规格的一整套标准，其中还包括 ZigBee、6LoWPAN 和 WirelessHART。其他的一些新出现者，提供了超低功耗与新一代和互联网互联的新的频率优化方案，比如低功耗蓝牙。除此之外，广泛的专有无线电使用相同的未授权频带。

尽管大容量的芯片已经被搭载在各类移动设备之上，但进入市场的应用依旧相对较少。相反，我们可以看到，大部分市场份额是由较少的“强势”应用所占有。例如，被用作游戏控制器以及语音耳机，而 Wi-Fi 成为了无线网络的连接方式。其他的一些标准仍在无线的生态系统中苦苦追寻自身的系统定位。

两个因素造成了这种情况。首先是“规模之路”，这可以使标准在大体量的设备带来“免费路径”的同时具有经济优势；其次是相对复杂性，这涉及到如何将标准转化为互操作性应用。

蓝牙与 Wi-Fi 带来的免费路径是其一大优势，这使得新的应用在被使用时足够便宜。了解到这一现象，我们需要在涉及和生产硅芯片时，也要考虑到它的经济性。

投资半导体始终是一场豪赌，特别是当一家公司的意愿在于支持工业化标准的时候。由于若干家公司可能瞄准同一项标准，所以一个市场常态就是相当比例的公司不会再得到任何市场份额。对于无线芯片设计者来说，这是一个无法避免的情况，芯片的设计成本意味着市场的销售量达到百万，才可以生存下去。一个普遍共识就是，一个复杂无线芯片组的设计成本约在 300 万～1000 万美元范围之间。成本范围的上限处所涉及的芯片通常包括应用处理器并嵌入协议栈。如果芯片中含有多个射频部分的

话，成本可能更高。从一个侧面说明，使用这些设备时生产商需要将每枚芯片的价格压至低于 5 美元。以每年销售 10 亿的蓝牙芯片为例，它的价格现在每枚低于 2 美元。在最多使用者的手机行业，它的售价接近 1 美元。

当售价与潜在的利润为每枚低于 1 美元时，公司需要出售至少 1000 万～2000 万枚芯片来冲抵掉它的开发成本。一些企业将会盈利并得到很大的市场份额，而一些将会因此而破产。

对一项标准而言，证明自身的价值至少需要 3 家厂商来基于其开发互操作产品。如果没有这些，将没有真正的、持续的生态系统的保证。维持标准自身，就需要保证市场每年有 5000 万～10 亿的芯片需求量。

这样的销售量是很难实现的。到目前为止，DECT 是唯一能做到这点的短程无线电标准。但为了做到这一点，开始阶段它是作为一种昂贵的共同产品。对于其他者而言，就只能是依靠“免费路径”这一条。蓝牙与 Wi-Fi 在它们的通常使用方法发现之前，分别被做进了手机与笔记本电脑。这意味着芯片的销售量瞄准硅公司和标准社区的资金。这推动了芯片价格的下降，以便于公司可以设计并生产出最终由消费者买单、价格合适的手机及接入点，并推动行业的良性循环。对于这两种技术来说，芯片的价格现在已经低到可以来支撑一个新产品不断产生应用的繁荣市场。但是，若没有免费路径这一说的话，它们依旧只会是小批量的产品，如果它们还存在的话。这对于标准开发者是一个重要教训也是告诫，开发者需要确保在设计过程当中，他们需要的标准和芯片依旧在售。

1.2　市场

使用无线标准的产品也有一些令人兴奋的新的增长领域。我会在本书的最后一章尽可能地描述一些市场细节，也给一个不同应用的范围指示。值得指出的是，它们的多样性不仅仅在已经

存在的一些领域，也在未来几年中都将会出现的领域。今天，有许多在诸如笔记本、手机上以前从未被使用过的芯片。新市场有望改变这种状况，无线将成为这些产品的一项基本功能。

下面讲到的前三类——游戏、语音和互联网接入，在如今的无线应用中超过90%。剩下的几类也有望加入其中，成为市场的主力。

1.2.1 游戏控制器

Nintendo Wii及其模仿者的成功，提供了无线标准大规模单独使用的范本——蓝牙。在解说用户如何接受无线标准作为整个产品的一部分时，这是一个很好的示例。同时，它也很好地阐释了无线标准是如何成为一个产品功能的一项基本组成部分。不像一部电话或者一台笔记本电脑，无线成为了其众多特性中的一项，如果没有游戏控制器，那么它将无法正常工作。

1.2.2 语音

以在无线耳机中的使用为例，语音是下一个最大的无线应用，这也是售出大量独立蓝牙芯片的主要原因。以估计约有二十亿具有蓝牙功能的移动电话为依托，这一状态很有可能保持若干年。然而，在已售出的耳机中，大约只有三分之一在售出的最初几天之后仍然被使用。

1.2.3 互联网接入

紧随其后的是Wi-Fi，通过一个接入点来将笔记本和手机与互联网连接。在未来的几年里，我们会看到连接将扩展到其他的产品上，并需要向远端网站或者监控服务报告它们的位置所在，以及使用日益增长的公共及个人接入点。尽管使用量一直在增加，但是据估计有超过一半基于PC和超过四分之三基于移动手机的Wi-Fi芯片从未被关机。

尽管Wi-Fi有直接连接到网络的能力，但它的使用近乎全部

都是发送邮件和浏览网页。当我们仅仅只需要网络连接而不涉及人的时候，由低功耗标准 ZigBee 与蓝牙作为网关，在新一代电池供电产品进行网络连接的竞争中脱颖而出。

1.2.4　互联网连接设备

互联网连接设备是一些新兴市场增长的关键所在。以下部分提供了关于此的概述，第 12 章将探讨有关它们的详细信息。

1.2.4.1　健康与健身

无线有望通过连接个人设备与医疗服务器或者个人 Web 应用程序变革医疗保健服务。这被称作远程医疗、电子医疗或移动医疗，后者通常一般指使用产品连接或者使用移动电话连接。这个市场背后的驱动力是，人口老龄化所带来的医疗成本过高，社会有降低医疗成本的需要。由于三分之一的人口长期忍受慢性病的折磨，它也同时试图通过提供具有建设性的反馈来解决个人健康管理问题。

这个市场是广泛的，涵盖了运动、健身和健康，同时也涵盖了为老人和体弱者提供生活辅助设备，来帮助他们保持自己的自主性和居家生活。由于每个装置都需要装配几十个不同的简易传感器，因此它打开了一个需求数十亿无线设备的潜在市场。

1.2.4.2　智能能源

智能能源是家电消耗能量的远端控制。世界各国都在制定降低能源的战略，并且一个积极追寻的途径就是主动地控制能源的使用方式。智能能源倡议尝试改变用户的行为，或者使用较少能源，或者提高其利用率，以便减少发电所需的设施。

这个方式的一个重要基础就是提供智能电表，来告知用户他们实际的消费。下一步就是家电提供者控制家用电器来降低或分散能源使用。气表与水表是不可能供电的，而壁挂式和立式产品，如恒温器和显示器，可能需要电池或者扫功率。因此超低功耗无线标准的优势在于，包括 ZigBee 与低功耗蓝牙，解决了这类市场需求。

1.2.4.3 工业自动化

尽管只是个较小的市场，在工业自动化及工厂内，一些无线应用仍具有较高价值，因为有线的传感器花费不菲。无线技术开辟了安装更多数量监视传感器的可能性，特别是安装在旋转或者移动的器械上，在这之上布线通常是昂贵或不可实现的。

用于工业自动化上的无线技术的优势在于得到了有关机械状态的良好反馈，以减小由于维护和停机所花费的成本。

1.2.4.4 家庭自动化

家庭自动化起步发展缓慢，但是随着易于安装无线产品的可用性的增加，现在其需求也开始增长。目前市场中的产品主要是用于报警，包括防盗和安全（如监测烟雾与一氧化碳气体）。尽管这些供应商特定提供的产品大多使用专有的无线标准，ZigBee 与低功耗蓝牙正在发展解决这类问题的配置，并对这个市场带来互操作性。一些其他新兴的无线标准正在出现来专门针对这些市场，其中主要的是 Z-Wavehe 和 EnOcean 公司联盟。

1.2.4.5 消费附件

如今在家庭自动化中最成功的应用就是电视的遥控器，尽管它使用的是红外线。无线技术在家庭内使用的产品越来越多，再加上扩展无线连接到智能手机的愿望，导致了厂商从红外到标准无线连接的转变。

1.3 什么是标准？

这似乎是一个很明显的问题，但是在继续讨论之前，有必要对一个标准，或至少是一个无线标准进行定义。随着时间的推移，标准这个词的含义已随着越来越多被称为标准的规范而改变。下面的定义是我自己对于什么是一项标准的看法，并确定了我在这本书中所包括或者排除的内容。

从哲学的观点看，一项标准的目的在于可以使采用它的设备

同时工作，或者共享设计细节。我认为一项标准必须能够使不同的生产厂商通过使用技术要素来实现它。换句话说，如果它仅仅只支持一种芯片和协议堆栈，那么它就不能被称之为标准。即使这项规格被公开发布，若一个制造商消失，标准也会随之死亡，那它就不是标准。也就是说，排除了像 Z-Ware 和 ANT 这类的“标准”。它们可能在未来吸引其他供应商的目光，但在今天它们是单一供应商使用，并给产品设计师带来设计风险的标准。正如我所指出的，要保持其生存，一项标准每年需要被搭载在约 100 万枚芯片上。如果做不到这点，纯粹经济因素也会威胁它的长期生存。

我想要说明的下一点是标准或参考具有一个向上延伸至足够多层来提供设计互操作应用能力的协议栈。如果没有，那么它本质上就是一个标准的构建块而已。因此 802.15.4 就倒在了这一缺陷上，即使它提供了 ZigBee、WirelessHART 和 6LoWPAN 的基础，而 802.11 则通过使用 TCP/IP 至少在其命名方式上越过了这点。但这是真正的 Wi-Fi 联盟的工作，改变其位置从纯粹的射频和基带到一个适当的状态、可互操作的标准。802.11 是 Wi-Fi 将自身立场从纯粹的一种无线电基带转变为一项适当的互操作的标准的结果。如果一项标准不提供这种级别的定义，那么在安装和使用中，将会存在定义不清、用户难以理解的风险。

我的第三点将探讨标准主体如何来确保产品可以共同工作。这需要设备在允许进入市场之前必须达到统一的合格条件。如果不能做到这点，那么设计师的设计弹性会过于大以至于达不到标准所规定的细节部分，从而导致产品无法工作。这也就是标准数量开始下降的原因所在。

最后，我想补充一个要求，标准必须具有强制执行方案允许它删除市场上不符合规定的产品。没有这一点，那么资格审查过程是没有意义的，并且强制执行方案是必须使用的。迄今为止，只有蓝牙与 Wi-Fi 可以声称做到了这点，而 ZigBee 尽管有

此方案，但并没有做到位。表 1.1 是标准和非标准同时进行对比的示意表。

表中具有更高的评分标准，更易被发现构建了一个可互操作性产品的环境。当一个标准具有以上四个特点的话，那就可以断言，它已经成功地从一项具有良好 PR 的专有标准成为了一项真正的标准。

表 1.1 无线标准表

标准	应用配置文件	多供应商	授权程序	执行程序
蓝牙	是	是	是	是
802.11	不适用	是	否	否
Wi-Fi	是	是	是	是
802.15.4	不适用	是	否	否
ZigBee	是	是	是	不活跃
低功耗蓝牙	是	是	是	是
无线 HART	不适用	是	否	否
6LoWPAN	不适用	是	否	否
Z-Wave	是	否	是	否
ANT	是	否	否*	否
无线 M-Bus	否	是	否	否

* ANT 资格是自我认证的。

1.4 无线标准的选择

尽管可用的不同标准与搭载的芯片数目众多，但仍是只有相对较少数目的应用会被大量使用。多样性欠缺的一个重要原因就在于适用标准支持互操作应用的相对难易程度。这并不是很吸引芯片供应商的兴趣。为了达到高产量，一般是选择硅、栈和应用提供商的注意力集中于高度集成的应用程序，并希望能拓展市场应用的领域。

事实是大部分硅公司用来支持大范围不同应用的资源是有限的。它们通过将数以百万计的芯片销售给几个大客户的手段来盈利。为了推进这项事业，它们开发了参考标准，设计流行产品，例如耳机、接入点与个人电脑适配器。由于市场上的大多数产品都是基于此的，实用知识使用有其他目的的标准有一些令人惊讶。

如果没有一个比较的标准和芯片间的接口，那么选择出最合适的无线标准，然后将其设计成为应用将会变得相当困难。理解标准是不易的，设计者需要知道如何选择一项标准是一项重要技能，如何使用它进行连接，如何将它与自己的数据协议进行对接。

在实践中，设计者很少能在无线标准的范围之内做出改变。如果需要改变的过多，它将不再是一项标准。然而，大部分关于无线通信的书籍都专注于描述自己所选择标准的精细细节。这也许非常有意义，但是对于大多数设计者来说却是无关紧要的。知道的足够多对于做出明确的决定是重要的，但是在产品设计方面，信息包格式的精确细节与编码机制方面的知识是过于学术而不实用的。

1.5 无线应用的领域

尽管无线的发展有多个不同的原因，但是采用它的过程通常也沿着相同的路径发展。它的第一步是用来取代电缆。这其中的原因可能是为了方便，也有可能是出于降低电缆安装成本的考虑。后者是因为高危环境的需求，比如工业厂房，在这类地方铺设传感器的线缆可能需花费数百或数千美元。

一旦公司对于作为线缆替代品的无线方式感到满意的话，那么下一步将会使点到点的替换改变，这样就可以连接更多的产品。这是连接拓扑结构与电缆可用性的不同，它总是施加一个一对一的关系，尽管在网络层之外可能有更复杂拓扑的选项。即使拓扑增加了产品互联的复杂性，在这个阶段，它们中的大部分仍

被设计为独立实体，无线方式给它们提供了更为灵活的连接方式。

最后也就是最有趣的阶段，在产品设计上的原则就是，这个设备以无线方式连接并且无线连接是它存在的一个不可分割的部分。通常，这意味着通过某种网关形式实现自动互联网连接。今天，业内人士仅是在第一阶段上理解这一点。在接下来的十年里，更多的设计者将会理解无线互联网连接产品的含义，这很可能会改变设计和使用产品的方式。

1.5.1 无线标准与专用无线

对无线的欢迎，第一个也是最常见的原因就是它替代了设备之间的电线。对许多这些应用来说，并没有标准的需要，因为连接的两个装备是由同一个制造商所生产，而使用专用无线连接的市场依旧存在。

在两个终端不是由同一个制造商所生产的情况下，标准的重要性将会凸显出来。常见的例子是耳机与手机，或者笔记本与接入点。只要需要无线链路的设备超出了单一公司的产品单，标准将提供产品生态系统的互操作性，从而可以适用于多个厂商产品间的互动。我们回头来阐释“生态系统”这个词汇。一项成功标准的主要目标就在于可以实现不同厂商所生产出的产品相互连接问题。所能支持的生态系统越大，那么这个标准就越是成功。

电缆的替换随应用的变化而随之变换。它们可能会要求在一个极大的范围之内（也许以公里计算）得到高数据速率、专用或Ad-Hoc连接。随着无线标准解决更多的应用和扩大自己功能的需求，它们背离了专用无线电系统，而采用短距离通信标准，这是一个渐进的举措，因为随着芯片和协议栈不断做出很多工作以及经济规模的扩大，使得硅的成本也更为低廉。

1.5.2 拓扑的重要性

第一个简单的变化是设计师和用户需要在使用无线的时候，