

# 物联网工程 项目的设计与实现



著◇刘芳

西北工业大学出版社

# 物联网工程项目的设计与实现

刘 芳 著



西北工业大学出版社

西 安

**【内容简介】** 本书共 10 章，分别介绍了物联网的基本概念，特别是 LPWAN 网络的原理介绍；在结合物联网在智能交通、智慧农业、智慧物业等具体案例应用上，分析了物联网项目设计的思路与实现的方法；最后结合“互联网+”应用，分析了智慧物业的商业应用模式。

本书可供院校通信工程、计算机科学与技术、自动化、物联网工程等信息类专业的教师、学生以及从事相关行业的工程师及项目负责人阅读参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

物联网工程项目的设计与实现/刘芳著. —西安：  
西北工业大学出版社，2019.7  
ISBN 978-7-5612-6515-4

I. ①物… II. ①刘… III. ①互联网络—应用 ②智能  
技术—应用 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 145768 号

### WULIANWANG GONGCHENG XIANGMU DE SHEJI YU SHIXIAN 物 联 网 工 程 项 目 的 设 计 与 实 现

---

责任编辑：朱晓娟	策划编辑：付高明
责任校对：张 友	装帧设计：尤 岛
出版发行：西北工业大学出版社	
通信地址：西安市友谊西路 127 号	邮编：710072
电 话：(029) 88491757, 88493844	
网 址：www.nwpup.com	
印刷者：兴平市博闻印务有限公司	
开 本：787 mm×1 092 mm	1/16
印 张：13.5	
字 数：246 千字	
版 次：2019 年 7 月第 1 版	2019 年 7 月第 1 次印刷
定 价：45.00 元	

---

如有印装问题请与出版社联系调换

# 前 言

物联网是新一代信息技术的重要组成部分，也是“信息化”时代的重要发展阶段的代表。物联网就是物物相连的互联网，物联网通过智能感知、识别技术、网络通信技术、计算机技术，广泛应用于物联网工程项目中，因此也被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。物联网是互联网应用的拓展，与其说物联网是网络，不如说物联网是实际的业务和应用。据 Forrester 等机构预测，物联网业务有望成为具有万亿级产值规模的新兴产业。物联网工程是为实现预定的应用目标而将物联网的各要素有机地组织在一起的工程，本书结合已经实现的物联网工程应用项目，撰写了物联网应用项目的设计与实现。

本书共 10 章：第 1 章物联网 LPWAN 概述；第 2 章基于 LoRaWAN 的无线广域网组网原理与应用；第 3 章基于 LPWAN 的低功耗室内定位系统的设计与实现；第 4 章智慧停车系统的设计与实现；第 5 章基于车路协同的辅助驾驶系统设计；第 6 章农业物联网农产品安全溯源系统的实现；第 7 章冷库监测系统云控宝的设计与实现；第 8 章智能水位控制系统的设计与实现；第 9 章智慧物业的实施方案；第 10 章基于物联网的井盖自动防护装置。

本书涉及的物联网应用项目均为已经实施的项目，笔者参与了项目的建设，结合项目撰写了本书。在项目设计中，笔者清楚地阐述了项目设计的意义和背景、开发的技术方案和流程以及实践的效果分析。项目在工程应用中有较好的实用性和经济效果，设计方案有一定的参考价值。

笔者为武汉工商学院副教授和武汉慧联无限科技有限公司物联网教学资源库建设专家，研究方向为物联网工程应用，参与了本书涉及项目的研究和设计。

在撰写本书的过程中，曾参阅了相关文献资料，在此，谨向其作者表示感谢。

物联网应用项目设计涉及的知识广泛，由于水平有限，书中难免存在不足和疏漏之处，恳望读者指教。

编 者

# 目 录

第 1 章 物联网 LPWAN 概述 .....	1
1.1 物联网概述 .....	1
1.2 LoRaWAN 无线局域网 .....	6
第 2 章 基于 LoRaWAN 的无线广域网组网原理与应用 .....	12
2.1 LoRaWAN 协议 .....	12
2.2 LoRaWAN 无线通信模块 Modem 介绍 .....	19
2.3 LoRaWAN 无线城域网在智慧城市中的应用 .....	33
2.4 无线广域网的行业应用实例 .....	35
2.5 基于 LPWAN 的智慧城市应用 .....	38
第 3 章 基于 LPWAN 的低功耗室内定位系统的设计与实现 .....	46
3.1 绪论 .....	46
3.2 系统方案 .....	47
3.3 功能与指标 .....	51
3.4 实施原理及过程 .....	54
3.5 硬件框图 .....	64
3.6 特色与创新点 .....	68
第 4 章 智慧停车系统的设计与实现 .....	69
4.1 智慧停车的现状 .....	69
4.2 智慧停车解决的问题 .....	70
4.3 智慧停车实现的功能 .....	70
4.4 智慧停车研究的基本思路和方法 .....	71
4.5 智慧停车系统项目实施的组织结构 .....	75
4.6 智慧停车系统管理 .....	76

4.7	智慧停车项目实施计划 .....	78
4.8	武汉某大学智能交通系统方案实例分析 .....	78
4.9	系统实施硬件设施 .....	81
<b>第5章</b>	<b>基于车路协同的辅助驾驶系统设计</b> .....	<b>83</b>
5.1	绪论 .....	83
5.2	系统方案 .....	84
5.3	功能与指标 .....	86
5.4	实施原理及过程 .....	90
5.5	硬件结构 .....	93
5.6	系统测试 .....	98
<b>第6章</b>	<b>农业物联网农产品安全溯源系统的实现</b> .....	<b>103</b>
6.1	研究的主要内容 .....	103
6.2	设计与实现 .....	107
6.3	关键技术指标 .....	109
6.4	学术价值和应用价值 .....	112
6.5	基于区块链技术的农产品溯源系统数据安全可信的总体解决思路 .....	115
<b>第7章</b>	<b>冷库监测系统云控宝的设计与实现</b> .....	<b>120</b>
7.1	绪论 .....	120
7.2	相关技术和理论概述 .....	121
7.3	冷库云控制整体设计方案 .....	123
7.4	冷库云平台应用开发设计 .....	125
7.5	冷库云平台系统设计 .....	128
7.6	冷库云平台功能实现与设计 .....	132
7.7	结论 .....	152
<b>第8章</b>	<b>智能水位控制系统的设计与实现</b> .....	<b>153</b>
8.1	系统概述 .....	153
8.2	系统实现的总框架 .....	154
8.3	传感器、继电器、主控芯片的选型与分析论证 .....	157
8.4	关键技术分析 .....	160

8.5 系统实施预期效果·····	162
<b>第9章 智慧物业的实施方案</b> ·····	<b>164</b>
9.1 社区物业概况及发展趋势·····	164
9.2 现有物业管理问题、原因分析和创新的解决办法·····	165
9.3 智慧物业慧家生活发展·····	167
9.4 项目实现功能介绍·····	168
9.5 市场可行性及前景分析·····	179
9.6 智慧物业的概念框架·····	180
9.7 项目功能实现·····	181
9.8 项目推广策略·····	185
9.9 项目开发运行·····	186
<b>第10章 基于物联网的井盖自动防护装置</b> ·····	<b>191</b>
10.1 绪论·····	191
10.2 系统方案·····	193
10.3 功能与指标·····	195
10.4 系统功能设计·····	197
10.5 实施原理及过程·····	198
10.6 硬件框图·····	199
10.7 特色与创新点·····	203
<b>参考文献</b> ·····	<b>205</b>

# 第 1 章 物联网 LPWAN 概述

## 1.1 物联网概述

### 1.1.1 物联网定义

在 2011 年我国工信部发表的《物联网白皮书》（下称白皮书）中，对物联网的定义为：“物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别，通过网络传输互联，进行计算、处理和知识挖掘，实现人与物、物与物信息交互和无缝链接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。”

“物联网技术和标准包括服务业和制造业在内的物联网相关产业、资源体系、隐私和安全以及促进和规范物联网发展的法律、政治和国际治理体系。”物联网体系结构如图 1-1 所示。

感知层实现对物理世界的智能感知识别、信息采集处理和自动控制，并通过通信模块将物理实体连接到网络层和应用层。

网络层主要实现信息的传递、路由和控制，包括延伸网络、接入网络和核心网络。

应用层包括应用基础设施/中间件和各种物联网的应用。应用基础设施/中间件为物联网应用提供信息处理、计算等通用基础服务设施、能力及资源调用接口，以此为基础实现物联网在众多领域的各种应用。

### 1.1.2 无线传感器网络

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）可以定义为：无线传感器网络

是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成，通过无线通信方式形成的一个多跳自组织的网络系统，其目的是协作感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息，并发送给观察者。

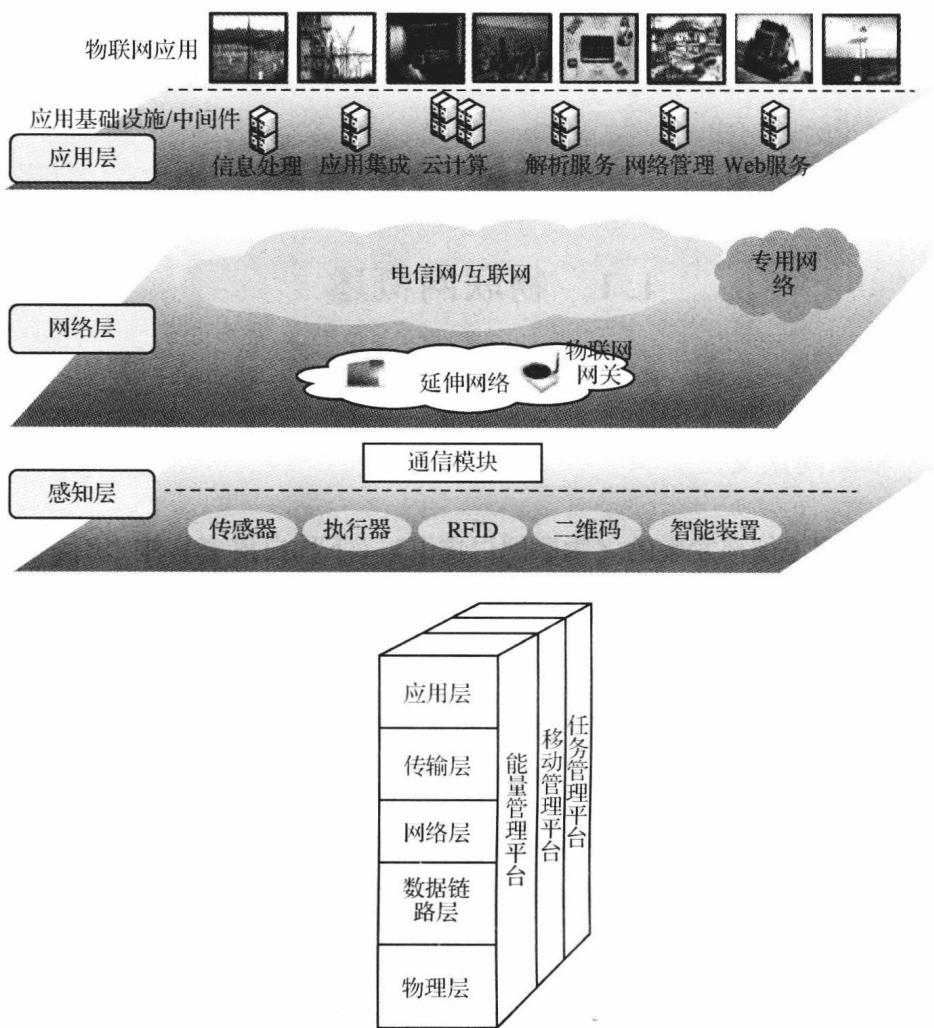


图 1-1 物联网体系结构

无线传感器网络的三个基本要素：传感器、感知对象和观察者。无线传感器网络是一种全新的信息获取和处理技术，是集微机电技术、传感器技术和通信技术为一体的技术。无线通信技术是无线传感器网络的支撑技术之一。目前常见的无线网络包括移动通信网、无线局域网、蓝牙网络和 Ad Hoc 网络等，它们在通信方式、动态组网以及多跳通信等方面有许多相似之处，但同时也存在很大的差别。与这些无线网络相比，无线传感器网络具有如下特点：①电源能量有限；②通信能量有限；③传感器节点的计算能力和存储能力有限；④网络规模大，分布广；⑤自组织、动态性网络；⑥无线

传感器网络的传感器节点具有数据融合能力，与 Mesh 网络的区别是数据少、易移动以及注重节点的能源，与无线 Ad Hoc 网络相比数量多、密度大、易受损、拓扑结构变动频繁。此外，无线传感器网络的传感器节点还具有广播式点对多通信、节点能量及计算能力受限等特点。

目前最常见的短距离的无线通信技术有 IrDA/红外、蓝牙、WiFi（802.11 标准）、ZigBee 技术和 LoRa 技术。

无线传感器网络的发展阶段分为四代：

第一代无线传感器网络是将传统的传感器采用点对点传输、连接传感控制器而构成的。

第二代无线传感器网络在第一代无线传感器网络的基础上增加了获取多种信息信号的综合处理能力，并通过与传感控制器的相连，组成了具有信息综合和信息处理能力的传感器网络。

第三代无线传感器网络是指基于现场总线的智能传感器网络。现场总线是连接智能化现场设备和控制室之间的全数字、开放式的双向通信网络。现场总线技术的发展最终促使现场总线控制系统取代第二代传感器网络。

21 世纪，微机电系统（Micro-Electro-Mechanical Systems，MEMS）技术、低功耗的模拟和数字电路技术、低功耗的无线射频技术的发展使得开发小体积、低成本、低功耗的微传感器成为可能，将成千上万个体积小、质量轻的传感器协同工作，就构成了第四代无线传感器网络。

物联网与无线传感器网络的关系见表 1-1。

表 1-1 物联网与无线传感器网络的关系

比较项	无线传感器网络	物联网
定义	大量的静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络	通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别
终端	大量的传感器节点	传感器、RFID、二维码、GPS、内置移动的各种模块
基础网络	无	传感网、互联网、电信网、移动网等
通信对象	物对物	物对物、物对人

无线传感器网络的体系结构如图 1-2 所示。监测区域中随机分布着大量的传感器节点，这些节点以自组织的方式构成网络结构。每个节点既有数据采集又有路由功能，采集数据经过多跳传递给汇聚节点，连接到互联网。在网络的任管理节点对信息进

行管理、分类、处理，最后供用户进行集中处理。

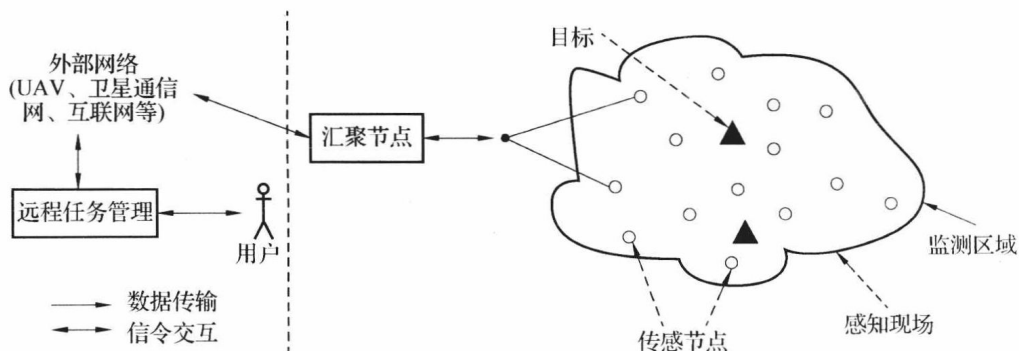


图 1-2 无线传感器网络的体系结构

### 1.1.3 窄带物联网

窄带物联网是万物互联网络的一个重要分支，已经通过《第三代伙伴计划协议》(3GPP) 成为低功耗广域的标准。窄带物联网是由 3GPP 标准化组织定义的一种技术标准，是一种专为物联网设计的窄带射频技术。其以室内覆盖、低成本、低功耗和广连接为特点。这种技术可应用于 GSM 网络和 LTE 网络。和窄带网络对应的则是宽带网络 (Broadband network)，一般指的是带宽超过 155kb/s 的网络。

窄带物联网的应用：物联网应用有很大的机会去改变企业和城市创造广阔的社会与经济效益的方式，但安全、稳定连接的前提是对捕捉到的所有潜在的窄带物联网应用全部进行创新与合作。窄带物联网端到端的解决方案，针对低数据速率、大规模终端数目及广覆盖要求等典型的 M2M 应用场景，可以为运营商开辟广阔的物联网市场，同时在政企等行业领域（如智慧城市、电力和燃气/水务提供厂商等），有着广泛的应用前景。

窄带物联网的优势：2016 年物联网的应用主要使用 WiFi 和蓝牙技术，数据准确率很低、耗电量极大。而广域物联网可以用光纤，但只适用于连接摄像头等宽带终端；低容量传感器虽然可以使用 2G/3G/4G 网络，但难以满足低功耗、低成本的要求。

首先，单个基站并发连接数（一个基站能容纳的芯片接入数）比以前明显多了很多。2G 网络是 14 个，3G 网络并发是 128 个，4G 网络是 1 200 个，在 NB-IOT 标准

中，最大连接数可以达到5万个。采用NB-IOT技术可以更加高效率地利用频谱资源，其信令带宽只有200kb/s，这也是“窄带”名称的由来。其次，覆盖增强超过100倍。物联网很多应用场景都是封闭的，这就对其探测最弱网络信号的能力提出了严格的要求，NB-IOT的特点是覆盖灵敏度比采用传统技术的物联网强20dB。最后，超低的功耗。功耗只有2G网络的1/10，一块6000mA·h的锂电池可以用超过10年，以后还有进一步提升的空间。

#### 1.1.4 低功耗广域网络 (Low Power Wide Area Network, LPWAN)

低功耗广域网络 (LPWAN) 融合了有线宽带和无线技术等这些能应用到物联网中的各项技术，如BTLE、WiFi、Thread、蜂窝网络等。其发展历程如下：

2015年3月，LoRa联盟由Semtech牵头成立，该联盟成员包括思科，IBM，Kerlink和一些电信运营商，中国企业（如AugTek、门思科技和拓宝科技等）也加入该联盟。该联盟为全球首个针对低功耗广域网络建立的联盟组织，在不到一年时间其会员发展至150家。

2015年6月，LoRa联盟公开发布了全球首个运营级低功耗广域网络协议——LoRaWAN 1.0规范，该规范文本可从LoRa联盟网站下载。该协议将开放给传感器、基站和网络服务商等各类厂商，保证各参与方的互操作性。

2015年12月，物联网智库联合南京八月科技（AugTek）、深圳洲斯物联等12家单位，发起全国首家低功耗广域网络产业联盟（LPWANA），联盟将给产业链各环节企业提供一个技术交流、供需对接、商务合作、科技成果转化的平台。

2015年12月，法国运营商巨头Orange公布了该公司物联网战略的细节，明确了将首批应用LoRa物联网技术的17个区域。Orange将采用LoRaWAN技术，基于非授权频段。这一物联网于2016年第一季度推出，首批已在17个城区应用物联网，包括波尔多、马赛、尼斯、巴黎等。

2016年1月，中兴结盟LoRa，推广低功耗广域网络，中兴微电子与美国Semtech公司签署了战略合作协议，双方将在LoRa芯片及应用层面进行深入合作，并在智慧城市领域开展网络的建设。此外，中兴微电子与Lierda等20余家合作厂商共同建立中国LoRa应用合作生态圈。

## 1.2 LoRaWAN 无线局域网

### 1.2.1 LoRa 技术介绍

LoRa 作为一种无线技术，基于 Sub-GHz 的频段使其更易以较低功耗远距离通信，可以使用电池供电或者其他能量收集的方式供电，较低的数据速率也延长了电池寿命和增加了网络的容量，LoRa 信号对建筑的穿透力也很强。LoRa 技术通信距离可以达到 15km，10mA 接收电流，睡眠电流小于  $5\mu\text{A}$ 。LoRa 的这些技术特点更适合于低成本大规模的物联网部署。

物联网应用中的无线技术，除城域网的 2G/3G/4G 外，还有局域网和短距的多种通信技术，比如 2.4GHz 频段的 WiFi、蓝牙、ZigBee 和 Sub-GHz 等等。这些短距无线技术，优、缺点也都非常明显。而且从无线应用开发和工程运行维护人员角度来看，一直以来都存在这样一个两难问题：设计人员在更长的距离和更低的功耗两者之间只能二选一。而采用 LoRa 技术之后，设计人员现在可做到两者都兼顾，最大限度地实现更长距离的通信与更低的功耗，同时还可节省额外的中继器成本。

一般说来，传输速率、工作频段和网络拓扑结构是影响传感网络特性的三个主要参数。传输速率的选择将决定系统的传输距离和电池寿命。工作频段的选择要折中考虑频段和系统的设计目标。而在 FSK 系统中网络拓扑结构的选择是由传输距离要求和系统需要的节点数目来决定的。升特 (Semtech) 公司采用新的扩频技术的高性价比收发机方案将会改变以往的折中考虑方式，为用户提供一种简单的系统而又能实现远距离通信、长电池寿命并增加系统容量，进而扩展传感网络，于是 LoRa 技术应运而生了。

LoRa 融合了数字扩频、数字信号处理和前向纠错编码技术，拥有前所未有的性能。此前，只有那些高等级的工业无线电通信会融合这些技术，而随着 LoRa 的引入，嵌入式无线通信领域的局面发生了彻底的变化。

前向纠错编码技术是给待传输数据序列中增加了一些冗余信息，这样，数据传输进程中注入的错误码元在接收端就会被及时纠正。这一技术减少了以往创建“自修复”数据包来重发的需求，且在解决由多径衰落引发的突发性误码中表现良好。

一旦数据包分组建立起来且注入前向纠错编码以保障可靠性，这些数据包将被送到数字扩频调制器中。这一调制器将分组数据包中每一比特馈入一个“展扩器”中，将每一比特时间划分为众多码片。LoRa 调制解调器经配置后，可划分的范围为 64~4 096 码片/比特。AngelBlocks 配置调制解调器可使用 4 096 码片/比特中的最高扩频因子（12）。相对而言，ZigBee 仅能划分的范围为 10~12 码片/比特。

通过使用高扩频因子，LoRa 技术可将小容量数据通过大范围的无线电频谱传输出去。实际上，当通过频谱分析仪测量时，这些数据看上去像噪声，但区别在于噪声是不相关的，而数据具有相关性，基于此，数据实际上可以从噪声中被提取出来。其实，扩频因子越高，可从噪声中提取出来的数据越多。

在一个运转良好的 GFSK 接收端，8dB 的最小信噪比（SNR）需要可靠的解调信号，采用配置 AngelBlocks 的方式，LoRa 可解调一个信号，其信噪比为 -20dB，GFSK 方式与这一结果差距为 28dB，这相当于范围和距离扩大了很多。在户外环境下，6dB 的差距就可以实现 2 倍于原来的传输距离。

为了有效地对比不同技术之间传输距离的表现，我们使用一个叫作“链路预算”的定量指标。链路预算包括影响接收端信号强度的每一变量，在其简化体系中包括发射功率加上接收端灵敏度。

AngelBlocks 的发射功率为 100mW（20dBm），接收端灵敏度为 -129dBm，总的链路预算为 149dB。比较而言，拥有灵敏度 -110dBm（这已是其极好的数据）的 GFSK 无线技术，需要 5W 的功率（37dBm）才能达到相同的链路预算值。在实践中，大多 GFSK 无线技术接收端灵敏度可达到 -103dBm，在此状况下，发射端发射功率必须为 46dBm 或者大约 36W，才能达到与 LoRa 类似的链路预算值。

因此，使用 LoRa 技术能够以低发射功率获得更长的传输距离，这种低功耗广域技术正是我们所需的。

在传输速率和距离方面，传输速率是系统设计中一个关键的可变因素，它将决定整个系统整体性能的很多属性。无线传输距离由接收机灵敏度和发射机输出功率共同决定，两者之间的差值称为链路预算。输出功率受限于标准规范，因此只有通过提高灵敏度来增加距离，而灵敏度又受数据速率非常大的影响。对所有的调制方式来说，越低的速率，接收机的带宽越窄，接收灵敏度就越高。在现今高性价比无线收发机中应用最广泛的调制方式是 FSK 或者 GFSK。要进一步减小 FSK 系统的接收机带宽，唯

一可行的办法就是提高参考晶体的精确度。在等同的数据速率条件下，商用的低成本扩频调制方式可以获得比传统 FSK 调制方式高 8~10dB 的灵敏度。升特公司将推出一款新的收发机，这款收发机集成了一种名为 LoRa 的扩频调制方式和传统的 GFSK 调制方式。在 GFSK 调制和 LoRa 扩频调制两种系统中灵敏度相对数据速率的关系曲线如图 1-3 所示。

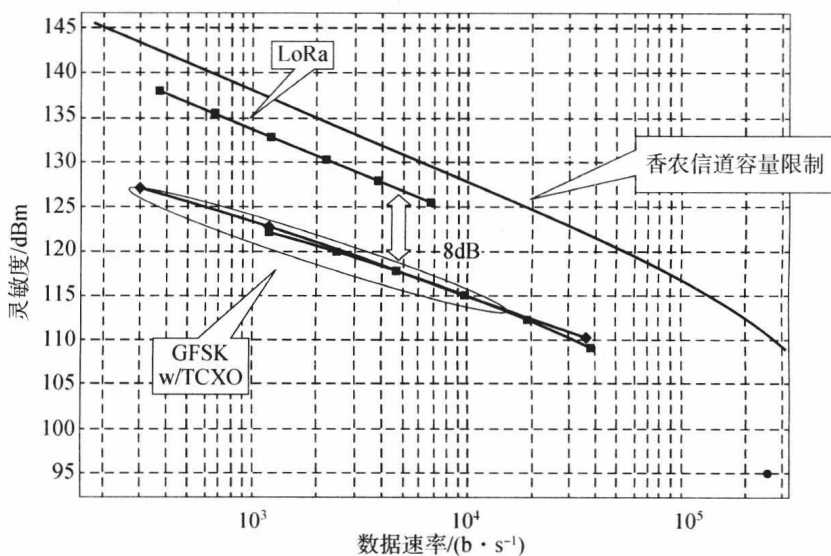


图 1-3 灵敏度相对数据速率的关系曲线

与 FSK 系统相比，使用同样低成本的晶体时这种新的扩频方式在灵敏度上提高了 30dB，理论上相当于增加了 5 倍的传输距离。

### 1.2.2 LoRa 无线传感器网络的原理

无线传感器网络的实现需要自组织网络技术，相对于一般意义上的自组织网络，传感器网络具有以下特点，需要在体系结构的设计中加以特殊考虑。

(1) 无线传感器网络中的节点数目众多，这就对传感器网络的可扩展性提出了要求。由于传感器节点的数目多，开销大，传感器网络通常不具备全球唯一的地址标识，这使得传感器网络的网络层和传输层相对于一般网络而言有很大的简化。

(2) 自组织传感器网络最大的特点就是能量受限，传感器节点受环境的限制，通常由电量有限且不可更换的电池供电，因此在考虑传感器网络体系结构以及各层协议设计时，节能是设计的主要考虑目标之一。

(3) 由于传感器网络应用环境具有特殊性、无线信道不稳定以及能源受限的特点，传感器网络节点受损的概率远大于传统网络节点，因此保障自组织网络的健壮性是必需的，以保证部分传感器网络的损坏不会影响全局任务的进行。

(4) 传感器节点高密度部署，网络拓扑结构变化快，对拓扑结构的维护也提出了挑战。

根据以上特性分析，传感器网络需要根据用户对网络的需求设计适应自身特点的网络体系结构，为网络协议和算法的标准化提供统一的技术规范，使其能够满足用户的需求。无线传感器网络通信体系结构包括横向的通信协议层和纵向的传感器网络管理面。通信协议层可以划分为物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层，而网络管理面可以划分为能耗管理面、移动性管理面和任务管理面。网络管理面主要用于协调不同层次的功能以求在能耗管理、移动性管理和任务管理方面获得综合考虑的最优设计。

### 1.2.3 无线传感器网络的节点软硬件结构

无线传感器网络的节点同时具有传感、信息处理和进行无线通信及路由的功能。对于不同的应用环境，节点的结构也可能不一样，但它们的基本组成部分是一致的，一个节点通常由传感器、微处理器、存储器、A/D 转换接口、无线发射以及接收装置和电源组成。概括而言，无线传感器节点可分为传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块四个部分，无线传感器节点的体系结构如图 1-4 所示。

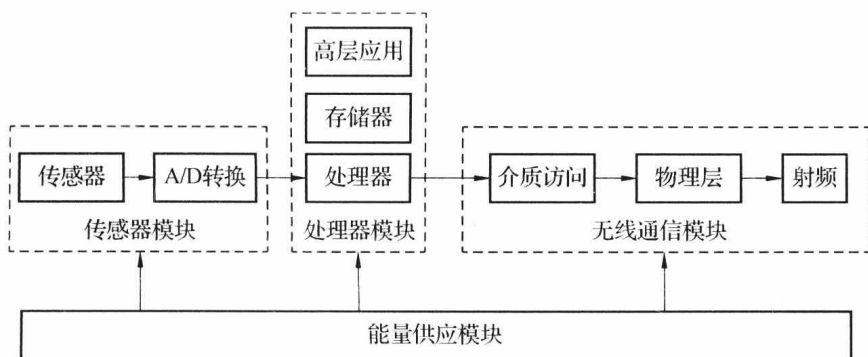


图 1-4 无线传感器节点的体系结构

传感器模块负责信息采集和数据转换；处理器模块控制整个传感器节点的操作，处理本身采集的数据和其他节点发来的数据，运行高层网络协议；无线通信模块负责