



上海市“十二五”重点图书

现代无线通信系统盲处理技术新进展 基于智能算法

阮秀凯 刘 莉 张耀举 戴瑜兴 著



 復旦大學出版社

上海市“十二五”重点图书

现代无线通信系统盲处理技术新进展 基于智能算法

阮秀凯 刘 莉 张耀举 戴瑜兴 著

 復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代无线通信系统盲处理技术新进展:基于智能算法/阮秀凯等著. —上海:
复旦大学出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-309-11150-7

I. 现… II. 阮… III. 无线电通信-通信系统-研究 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 297897 号

现代无线通信系统盲处理技术新进展:基于智能算法
阮秀凯 刘 莉 张耀举 戴瑜兴 著
责任编辑/梁 玲

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
上海市崇明县裕安印刷厂

开本 787 × 1092 1/16 印张 13.5 字数 304 千
2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-11150-7/T · 527
定价: 39.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

作者简介

阮秀凯, 博士, 副教授, 硕士生导师。2011年毕业于南京邮电大学信息与信号处理专业, 获博士学位。现任中国宇航学会光电技术专业委员会委员, 浙江省电气数字化设计技术工程实验室总工程师兼副主任, 温州大学信息与通信工程系主任, 温州大学激光与光电子技术研究所副所长。入选温州市“551人才工程”, 温州市科技项目评审专家库成员, IEEE Trans. Signal Processing 及《电子与信息学报》等学术期刊审稿专家。主要从事信号与信息处理、模式识别、机器学习、计算神经科学和复杂非线性动力学的研究工作。已完成国家自然科学基金项目 2 项, 主持国家自然科学基金项目 1 项, 以主要成员身份参与国家自然科学基金项目 3 项、浙江省重点科技创新团队自主项目和浙江省教育厅项目 4 项。在国内外学术期刊发表 SCI/EI 收录论文 30 余篇, 申请发明专利 15 项, 参编教材 2 部。

刘 莉, 硕士, 主任工程师。2008年毕业于南京邮电大学, 获硕士学位。毕业后至今就职于中兴通讯股份有限公司, 从事电信级路由器转发面软件开发, 任软件系统工程师、项目开发经理。

张耀举, 博士, 教授, 硕士生导师。1990年毕业于河南师范大学物理系, 获理学硕士学位。2009年毕业于日本熊本大学光学工程专业, 获工学博士学位。长期在高校从事教学和科研工作: 2001年以前在郑州轻工业学院任副教授, 2001年至今在温州大学工作, 2004年晋升为教授, 曾任温州大学物理与电子信息工程学院副院长。主要研究方向为微纳光学元件设计与应用、光学显微技术、光学俘获技术、光学信息处理等。先后主持 3 项国家自然科学基金项目和 2 项浙江省科研项目, 曾获浙江省高校科研成果奖 2 项和温州市科技进步奖 2 项。在国内外学术期刊发表论文 100 余篇。

戴瑜兴, 博士, 教授, 博士生导师。先后任职于原湖南省建筑学校、湖南师范大学、湖南大学, 现任温州大学物理与电子信息工程学院院长。1998年晋升为教授, 2003年被评为博士生导师, 2009年被评为国家二级教授。主持完成国家重大科技专项课题、国家发改委产业化项目、浙江省重大科技专项和湖南省战略性新兴产业科技攻关与重大科技成果转化项目近 30 项。作为第一完成人, 获湖南省科技进步奖一等奖 1 项、中国机械工业科学技术奖一等奖 1 项、教育部科技进步奖二等奖 4 项和湖南省科技进步奖二等奖 2 项; 作为主要完成人, 获国家科技进步奖二等奖 1 项和湖南省科技进步奖一等奖 1 项。

前言

The failures and reverses which await men—and one after another sadden the brow of youth—add a dignity to the prospect of human life, which no Arcadian success would do.

Henry David Thoreau

无线通信系统盲处理技术经过近 40 年的发展完善,各类算法层出不穷,推动该技术走向“成熟”阶段。然而,任何一项技术对于“成熟”的定义随着其周边交叉技术的发展和演变而有着重定义的必要。例如在过去的 20 年中,无线通信系统从模拟、单媒体和低速率系统演化到今天的数字、多媒体和高速率系统,使得现阶段大量的应用需要高速数据速率来实现,无线通信也从单一的人与人之间的通信演变为人与机、人与物、物与物之间的直接通信。而且,随着 3G、长期演化(LTE)和物联网(IoT)等的提出和迅速发展,使得信号传输速率的极大提高并引起无线传输信道的时变特性增强,这必然对盲处理技术提出了更为严格的技术要求:

(1) 信道的快速时变特性场合增多,例如无线传感泛在网,该领域的研究文献均假设传感器节点间的信道变化情况和数据率相对较慢,采用准静态信道进行建模。但是若传感器节点处于快速移动状态(如运输、军用指挥车、警用监测车等),此时的信道是时变的。在时变信道环境下,即使能够获取长数据段,信道的时变特性会造成长数据段难于平稳,用该非平稳数据进行参数估计得到的结果也是不可靠的。此时要求使用尽可能短的数据段进行参数估计,以减小信道时变性带来的影响,要求盲检测算法需要具有仅使用较短的数据块就能够有效消除码间干扰。

(2) 密集感知网络的信道衰落特性较传统无线通信的信道特性更为复杂,这就要求信号盲处理技术具有较强对抗复杂信道的能力。无线传感器感知环境的多样性及复杂性,节点间的通信由于直射、绕射及散射等传播途径的影响,使得传感器节点之间的无线通信链路的衰落特性异常复杂。而且,当节点间通信链路处于深度衰落时,接收容易发生差错甚至无法接收;为了在衰落环境中保证可靠通信就必须以较大能耗为交换代价,这就与传感网节能目标构成了直接矛盾。而现有作为 IoT 关键技术的无线传感器网络的研究往往没有关注这

一极为影响能耗的特点;与此同时,为减少能耗和系统开销则要求算法在降低运算复杂度和加快收敛速度方面作一定努力。

(3) 小数据量通信的场合增多,例如在军事通信中,通信内容会尽量压缩(如一条作战命令加上训练序列仅数十个码元)。而对于无线传感网网络系统而言,源物体所需要传递的有用信息通常很少,例如仅需汇报货物名称和位置信息、简明的周围环境信息传递、突发信息的传播等,此时源信息的数据量长度对于传统盲算法是远不足够的,而若在这些有用信息帧中加入辅助信息来使得数据量得以满足算法要求,必然带来能量和带宽的浪费。而且,在某些通信场合,由于码率较低,需要数据较长则意味着系统的延时长,这在有些系统中是无法忍受的。例如短波通信中,在码率为 2.4 k/s 时,若实现盲处理需要 2 000 个码元,则系统的时延接近 1 s。

(4) 随着通讯技术的迅猛发展,调制方式的多样化和星座密集化成为必然趋势,例如 QAM 本身作为高效的数字调制方式已被广泛使用于目前的中、大型数字微波通信系统、有线电视网络、卫星通信、IEEE802.XX 协议族等领域;可以预计,未来的通信领域采用的主要调制制式极大可能就是密集 MPSK 和 QAM 调制,这使得现阶段对此两类信号盲处理技术的深入研究具有实质意义,这就要求盲处理算法的适用性和自适应能力急待加强。

基于以上背景,现阶段深入展开基于各类智能算法的通信信号盲处理的应用研究具有一定价值。正是在研究和了解当前技术发展背景的情况下,完成本书,即《现代无线通信系统盲处理技术新进展:基于智能算法》的写作。

全书共 8 章:第 1 章简要介绍无线通信系统的结构和发展概况及其盲处理算法的相关知识。第 2 章介绍人工神经网络和相应的知识,并介绍一种从 BP 神经网络着手开始研究盲处理问题,并给出复数域 BP 神经网络的信号盲处理方法和该类方法的优劣说明。在第 3 章中介绍智能体的概念,并给出基于多智能体系统的盲处理方法。第 4 章介绍基于支持向量机框架下的盲处理算法,讲述支持向量机的原理,给出基于 ϵ -支持向量回归机的信道估计新方法,并介绍基于支持向量回归方法 MPSK 和 QAM 的盲信号处理方法,然后引入星座匹配误差函数,并根据线性支持向量回归和有序风险最小化原则,由恒模和星座匹配误差函数联合组成的新经验风险项构造出一个新的代价函数,进而通过迭代求解优化问题获得均衡器。第 5 章介绍神经动力学和 Hopfield 神经网络的相关知识,特别地,从神经动力学角度论述连续 Hopfield 神经网络可有效工作的原因,以及 Hopfield 神经网络权值矩阵对吸引子和相轨迹的影响。并给出如何根据系统接收信号与发送信号之间的子空间关系,构造一个适用于现代通信系统中的盲检测的特定性能函数和优化问题。第 6 章分别展示如何基于连续多阈值神经元 Hopfield 网络模型实现通信信号盲处理的理论和方法,针对多相制信号的特点给出两种连续相位多阈值激励函数形式,并分析讨论该两类激励函数参数的选择,分别给出连续多阈值神经元 Hopfield 网络工作于同步和异步模式下的新能量函数及其相关证明;介绍采用幅相连续激励法解决稀疏 QAM 信号的盲检测思路,并针对 QAM 信号的特点,分别给出连续幅度和相位多阈值激励函数形式,分析讨论该类激励函数的特点。第 7 章则从另一个角度提出采用同相正交振幅连续激励法解决密集 QAM 信号盲检测方法。该章介绍如何从激励函数角度分析放大因子选择的范围,给出该特定问题的同步和异步运行模式下的新能量函数形式,并证明和分析所设计的能量函数部分定理,介绍在研究基于

Hopfield 神经网络的信号盲处理方法这一课题的过程中所发现的几类现象说明,主要包括当信号的统计信息缺失或失真情况下,连续多阈值神经元 Hopfield 神经网络的盲检测能力;如该通用高阶 QAM 的激励函数被使用于作为低阶 QAM 信号盲检测问题时的适用性;并论述长接收序列时 Hopfield 网络盲检测算法框架。第 8 章给出基于多输入多输出泛函网络框架下信号处理方法的思路,并给出网络结构设计、网络状态更新原则等,分析和讨论该方法的优点和缺陷及其未来的改进思路。最后是全文总结和给出未来可能深化的研究展望。

最后,作者感谢国家自然科学基金(No. 61201426, 61274006, 61377021)的资助。感谢蒋啸、李昌、韦文生、谈燕花、蔡启博、施肖菁等几位老师在成书阶段的各项工作,同时感谢复旦大学出版社梁玲和李婉茹编辑所提供的帮助。

由于作者学识有限,涉猎并不全面,书中错误难免,恳请有关学者批评指正。

阮秀凯*

2015 年 1 月于温州大学

* 作者的联系方式:Email: ruanxiukai@wzu.edu.cn。

编写说明

《现代通信系统盲处理技术新进展——基于智能算法》一书主要由以下 8 章组成：

第 1 章简要介绍无线通信系统的结构和发展概况，以及其盲处理算法的相关知识。

第 2 章介绍人工神经网络及相应知识，从 BP 神经网络着手研究盲处理问题，同时给出复数域 BP 神经网络的信号盲处理方法和该类方法的优缺点说明。

在第 3 章中介绍智能体的概念，并给出基于多智能体系统的盲处理方法。

第 4 章介绍基于支持向量机框架下的盲处理算法，介绍支持向量机的原理，给出基于 ϵ -支持向量回归机的信道估计新方法，并介绍基于支持向量回归方法的 MPSK 和 QAM 的盲信号处理方法，然后引入星座匹配误差函数，并根据线性支持向量回归和有序风险最小化原则，由恒模和星座匹配误差函数联合组成的新经验风险项构造一个新的代价函数，进而通过迭代求解优化问题获得均衡器。

第 5 章介绍神经动力学和反馈神经网络的相关知识，特别地从神经动力学角度论述连续反馈神经网络可有效工作的原因，论述反馈神经网络权值矩阵对吸引子和相轨迹的影响。并给出如何根据系统接收信号与发送信号之间的子空间关系，构造一个适用于现代通信系统中的盲检测的特定性能函数和优化问题。

第 6 章分别展示如何基于连续多阈值神经元 Hopfield 网络模型实现通信信号盲处理的理论和方法，针对多相制信号的特点给出两种连续相位多阈值激励函数形式，并分析讨论这两类激励函数参数的选择，分别给出连续多阈值神经元 Hopfield 网络工作于同步和异步模式下的新能量函数及其相关证明。介绍采用幅相连续激励法解决稀疏 QAM 信号的盲检测思路，并针对 QAM 信号的特点，分别给出连续幅度和相位多阈值激励函数形式，分析讨论该类激励函数的特点。

第 7 章则重在从另一个角度提出采用同相正交振幅连续激励法解决密集 QAM 信号盲检测方法。介绍如何从激励函数角度分析放大因子选择的范围；给出该特定问题的同步和异步运行模式下的新能量函数形式；并证明和分析所设计的能量函数部分定理；介绍在基于反馈神经网络的信号盲处理方法这一研究课题中发现的几类现象，包括当信号的统计信息缺失或失真情况下，连续多阈值神经元反馈神经网络的盲检测能力；通用高阶 QAM 的激励函数被使用作为低阶 QAM 信号盲检测问题时的适用性；论述长接收序列时 Hopfield 网络

盲检测算法框架。

第8章给出基于多输入多输出泛函网络框架下信号处理方法的思路,并给出网络结构设计、网络状态更新原则等;分析和讨论该方法的优点和缺陷,以及未来的改进思路和未来可能深化的研究展望。

目录

第 1 章 无线通信系统和盲处理方法	001
1.1 无线通信系统	001
1.1.1 无线通信的溯源和近况	001
1.1.2 无线通信系统的若干部分	002
1.1.3 无线通信系统中的信号盲处理	007
1.2 基于智能算法的信号盲处理技术发展现状	009
本章小结	014
本章参考文献	014
第 2 章 基于 BP 神经网络盲均衡方法	019
2.1 神经网络概述	019
2.1.1 人工神经网络的神经元模型	019
2.1.2 人工神经网络的特点	023
2.1.3 人工神经网络的连接模型	024
2.1.4 人工神经网络的学习规则	026
2.2 BP 神经网络概述	027
2.3 BP 算法原理	028
2.4 BP 算法的缺陷和已有改进方法	031
2.5 基于 BP 复数神经网络的信号盲处理	032
2.5.1 代价函数	032
2.5.2 激励函数	033
2.5.3 权值设计	033
本章小结	039
本章参考文献	039

第3章 基于多智能体系统的盲均衡方法	040
3.1 多智能体系统	041
3.1.1 多智能体特性及其发展	041
3.1.2 多智能体系统的构造	042
3.1.3 MIMO 系统的盲均衡模型	043
3.2 基于微粒子多智能体系统的盲均衡算法	045
3.2.1 微粒群算法原理及理论发展	046
3.2.2 用于 MIMO 系统盲均衡的微粒子多智能体系统	047
3.2.3 PSO 算法应用前景	049
3.3 基于蚁群多智能体系统的盲均衡算法	049
3.3.1 蚁群智能体及其算法理论发展	050
3.3.2 用于 MIMO 系统盲均衡的蚁群多智能体系统	051
3.3.3 ACO 算法应用前景	053
3.4 基于免疫多智能体系统的盲均衡算法	054
3.4.1 人工免疫系统算法及其理论发展	055
3.4.2 用于 MIMO 系统盲均衡的免疫多智能体系统	057
3.4.3 AIS 算法应用前景	059
3.5 仿真算例	060
3.5.1 3 种多智能体系统算法的参数分析	060
3.5.2 MIMO 系统 QPSK 信号盲恢复	064
3.5.3 性能分析	066
3.5.4 3 种多智能体系统的算法比较	066
本章小结	068
本章参考文献	068
第4章 基于支持向量机的信道估计和盲均衡方法	070
4.1 支持向量机的特点	071
4.2 支持向量机基本原理概述	071
4.2.1 学习问题	071
4.2.2 VC 维和结构风险最小化原则	072
4.2.3 特征空间和核函数	074
4.2.4 支持向量分类	075
4.2.5 支持向量回归	078
4.3 基于 ϵ -支持向量回归机的信道估计新方法	081
4.3.1 基于训练序列的信道估计建模	082
4.3.2 基于 ϵ -支持向量回归机的信道估计	083
4.4 基于支持向量回归的 MPSK 信号盲检测	087
4.5 基于支持向量回归的 QAM 信号盲检测	090

4.6	基于星座匹配误差的支持向量机盲均衡算法	094
4.6.1	星座匹配误差算法概要	094
4.6.2	结合星座匹配算法的支持向量回归盲检测方法	094
4.6.3	代价函数的迭代解法	096
4.7	仿真算例	098
4.7.1	基于 ϵ -支持向量回归机的信道估计试验	098
4.7.2	基于支持向量回归的 MPSK 盲均衡试验	101
4.7.3	基于星座匹配误差的支持向量回归 QAM 盲均衡算法试验	103
	本章小结	106
	本章参考文献	107
第 5 章	Hopfield 反馈神经网络概述及其盲检测优化问题构建	109
5.1	神经动力学	110
5.2	Hopfield 神经网络概述	115
5.3	连续 Hopfield 神经网络基本原理概述	117
5.3.1	连续 Hopfield 神经元模型	118
5.3.2	连续 Hopfield 神经网络在优化计算中的说明	119
5.4	系统模型和信号盲检测优化问题构建	120
5.5	权阵配置	122
5.6	连续 Hopfield 神经网络盲检测算法的起始阶段变化规律	124
	本章小结	125
	本章参考文献	125
第 6 章	基于幅相激励的连续多阈值神经元 Hopfield 网络的信号盲检测	126
6.1	MPSK 与 QAM 信号说明	126
6.2	优化函数和 HNNCMVN 结构	128
6.3	基于幅相联合激励法的激励函数设计	129
6.3.1	MPSK 信号盲检测的连续相位多阈值激励函数	129
6.3.2	MPSK 信号盲检测的连续相位多阈值 EXP 激励函数设计	129
6.3.3	MPSK 信号盲检测的连续相位多阈值 SIN 激励函数设计	133
6.3.4	MPSK 信号盲检测的连续相位多阈值激励函数与传统二节 激励函数的对比	133
6.3.5	QAM 信号盲检测的连续幅度多阈值和相位多阈值激励函数设计	134
6.4	能量函数设计与证明和平衡条件	142
6.5	信号统计信息缺失的盲处理能力	147
6.6	仿真实验与分析	147
	本章小结	161
	本章参考文献	161

第7章 基于同相正交振幅激励的连续多阈值神经元 Hopfield 网络的密集 QAM	
信号盲检测	162
7.1 密集 QAM 信号	163
7.2 连续振幅多阈值神经元复值激励函数	164
7.2.1 连续振幅多阈值 SIN 激励函数的设计	164
7.2.2 激励函数的逆函数积分和	165
7.2.3 激励函数的拐点、引点和斥点	166
7.2.4 激励函数的临界斜率	168
7.2.5 激励函数的临界斜率与衰减因子 β 的关系	171
7.2.6 从激励函数角度的放大因子范围确定	171
7.3 能量函数的设计和讨论	176
7.4 HNNCMVN 盲处理方法具有高阶激励函数可激励低阶信号的能力	180
7.4.1 信号点“散布”	181
7.4.2 星座判决引导函数的设计	182
7.5 长接收序列情况处理	183
7.6 仿真实验与分析	184
本章小结	194
本章参考文献	194
第8章 基于泛函网络的信号盲处理方法	195
8.1 泛函网络概述	195
8.1.1 泛函网络的特点	195
8.1.2 泛函网络的结构	196
8.2 基于 FN 的信号直接盲检测的方法	196
8.2.1 用于信号盲检测的 MIMO 泛函网络设计	196
8.2.2 系统模型及其优化问题构建	197
8.2.3 神经函数 σ 设计	199
8.2.4 神经函数的参数学习策略设计	199
8.3 仿真算例	200
8.3.1 FN 盲处理算法仿真	200
8.3.2 正确检测率与数据量的关系	200
8.3.3 随机信道情况下不同学习率的算法性能	201
本章小结	201
本章参考文献	202

第 1 章 无线通信系统和盲处理方法

近 40 年来,在微电子技术和计算机技术的推动下,无线通信从过去简单的无线对讲或广播方式,发展成为一个把有线和无线融为一体、固定和移动相互连通的全国规模甚至全球范围的通信系统。通信行业出现了“百舸争先竞风流”的局面。在此期间,通信的理论技术不断走向成熟和深化,应用领域持续拓展,同时也积累了大量的工程实践和技术力量,为通信行业的下一步大跨步发展做了最好的储备。2008 年开始的金融危机,使得人们再次从发展科技的方式推动经济复苏,从而催生“天罗地网”的大网络、“智慧地球”、“物联网”等概念的提出和实施,大通信时代呼之欲出。

本章旨在简要归纳说明无线通信系统的发展过程和新时代通信体系的组成,介绍无线通信系统的若干重要组成部分以及信号盲处理算法的发展和研究现状。同时,重点归纳基于智能算法的现代通信系统中的信号盲处理方法,为下文展开详细论述作必要的预备知识铺垫。

1.1 无线通信系统

1.1.1 无线通信的溯源和近况

通信(Communication)是一切将信息从发送者传送到接收者的整个过程。人类自诞生以来,信息就如同物质和能量一样,是人类赖以生存和发展的资源之一。人类通信的历史可以追溯到远古,当时文字、信标、烽火及驿站等作为主要的通信方式,曾经延续了几千年。电通信的发展历史从 1837 年美国人莫尔斯发明人工电报装置开始,至今经历了 173 年。翻开厚厚的电信史册,沿着历史的脚步一路走来,可以看到在技术和市场需求的双重驱动下,仅有一百多年历史的电通信发生了翻天覆地的巨变,取得了令人惊叹的辉煌成就。移动通信增长率一直在以超摩尔定律的速度发展着。无线通信产业大体上经历了如下 3 个阶段:

- (1) 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,从模拟到数字通信的转化;
- (2) 20 世纪 80 年代中期到 90 年代中期,从固定到移动通信的演变基本完成,语音通信

走向成熟;

(3) 20 世纪 90 年代后期到 21 世纪的第一个十年,单一网络个人通信走向成熟,网络面积不断扩大完善,通信网络固定化。各类网络的整合、共通工作开始进入实质阶段。各种新标准和新协议不断发布,宽带无线固定接入、宽带无线局域网、移动宽带系统和互操作的广播网络、各类增值运营业务和流媒体、音视频通信、图像和视频压缩编码、复杂调制等各类技术不断融合发展,智慧小区、安全城市、安全校园等概念开始发展。

现代通信网络迎来了“大通信网络时代”,这使得通信领域出现以下各种新特征:

(1) 由于各国的经济利益,各种通信标准并存;通信产品的生存期缩短,开发费用上升;同时也造成频率分配和管理更为困难;如何缩减产品开发成本、灵活更改升级产品功能和频谱共用研究工作需继续深化。

(2) 以大数据、图像及视频等多媒体业务将继续深入发展,并向各行业领域推进;信息高速传输、调制制式复杂化以携带更多信息、各类终端共同接入网络的防碰撞、安全认证、防信息盗窃、多用户接入等可能成为热点。通信网络的交换、传输和接入等各个环节有待突破。尤其是在移动环境和频谱资源有限的条件下,如何稳定、可靠、高效地支持高速率数据传输的研究有待推进。

(3) 民用娱乐生活增值业务大幅度扩展,手持终端成为基本通信和远程操控平台;手持终端的无缝快速接入互联网技术将进一步统一和推动;现实产品层面则体现在无线通信终端产品集成了越来越多的通信技术和功能,如 GSM、WCDMA、VDO、WiMax、LTE、无线局域网、蓝牙、调频收音机、全球定位系统、数字电视等。

(4) 城区无线局域网建设将持续发展,同时偏远农村和广袤大地的通信设施和方法薄弱会得以加强;卫星通信和中继通信将成为一种很好的辅助通信手段得以政策扶持。

(5) 无线传感网络将在各个领域进行试验和做技术研讨,传感节点能耗、信息传输抗干扰的要求严格、虚拟多天技术将得以应用、协作通信的概念将在传感网中得以发展。

(6) 特有应用场合的传感网技术需进一步发展和建模,以适用于更多实际场合。

(7) 低能耗短距离通信兴起,无线传送短数据、统计量信息缺失或失真场合的接收端均衡、预畸变技术将进入研究学者的工作范围。

(8) 通信信号处理和智能信息分析、信息挖掘、信号特征提取、联合决策等智能软计算方法将在信号接收端得以应用和发展。

(9) 各种网络相辅相成、共通互惠成为趋势,对于技术标准的兼容性提出更多要求等。

这里总结了现代通信体系组成,如图 1-1 所示(图中英文不逐一注明)。

为了清晰描述调试方式的多样化和数据传输数据的提高,这里特别给出宽带无线局域网(RLAN)的应用技术参数,如表 1-1 所示。

1.1.2 无线通信系统的若干部分

无线通信系统(Wireless Communication System, WCS)也称为无线电通信系统,由发送设备、接收设备、无线信道 3 大部分组成,它是利用无线电波以实现信息和数据传输的系统^[1]。根据工作频段或传输手段分类,可细分为中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。图 1-2 为无线通信系统框图。

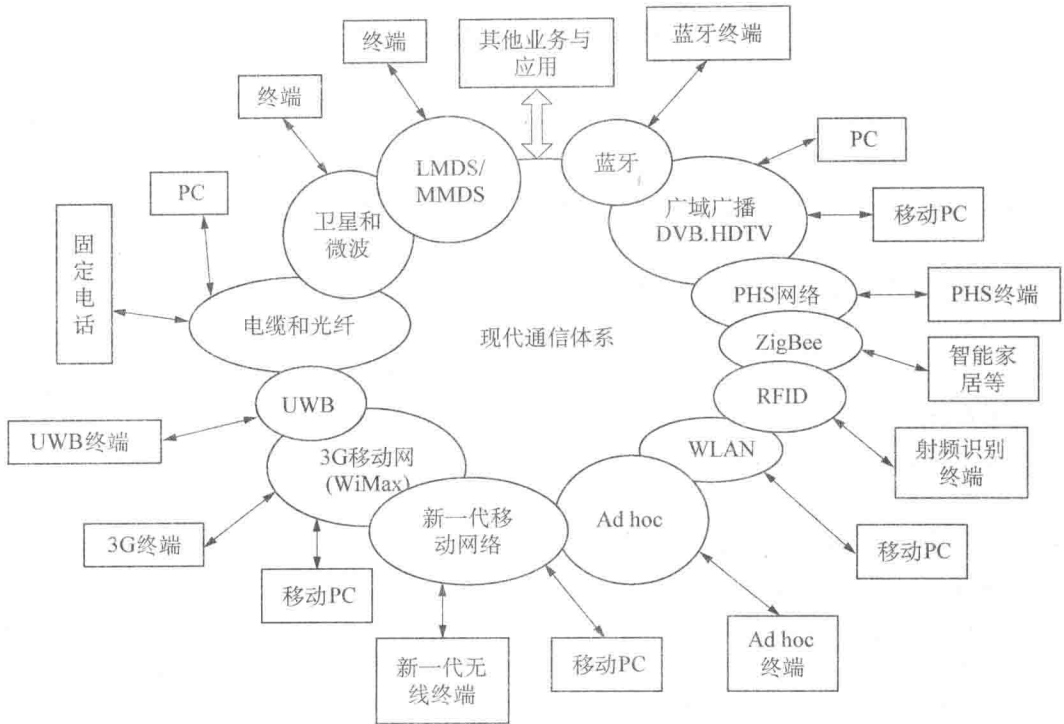


图 1-1 现代通信体系组成

表 1-1 RLAN 应用的部分技术参数

网络标准	IEEE 项目 802.11a	IEEE 项目 802.11		ETSI BRAN HIPERLAN/2	MMAC HSWA HiswANa
		11b	11g		
调制	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSD-OFDM BPSK-OFDM 52 个子载波	CCK (8 个复码片扩散)	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSD-OFDM BPSK-OFDM 52 个子载波	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSD-OFDM BPSK-OFDM 52 个子载波	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSD-OFDM BPSK-OFDM 52 个子载波
数据速率 (Mbit/s)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 和 54	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48 和 54		6, 9, 12, 18, 27, 36 和 54	6, 9, 12, 18, 27, 36 和 54

(来源:ITU-RM.1450-2 建议书)

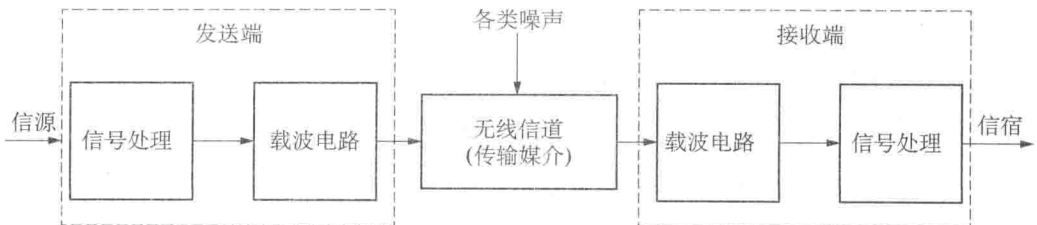


图 1-2 无线通信系统框图

1. 数字调制方式

多进制相移键控(M-ary Phase Shift Keying, MPSK)又称多相制,因其较高的频谱效率和良好的抗噪性能,已在无线通信系统中得到广泛应用,特别是在短波通信和移动通信。当对数据传输速率的要求高过 8PSK 能提供的上限时,一般采用正交幅度调制(Quadrature Amplitude Modulation, QAM)方式。因为 QAM 的星座点比 PSK 的星座点更为分散,星座点之间的距离因此更大,能提供更好的传输性能:一般数字调制方式下,通常 1 个码元携带 1 比特(bit)的信息,而 QAM 调制信号的幅度和相位都携带信息,对于 M 进制 QAM 中随 M 值的增大,所携带的信息量也随之增加。与 MPSK 不同的是,QAM 同相和正交两路基带信号的电平相互独立。QAM 调制方式综合了脉冲幅度调制(Pulse Amplitude Modulation, PAM)与 PSK 的优点(PSK 可以认为是幅度不变、仅有相位变化的特殊的正交幅度调制),并通过采用多进制方式来提高频带利用率/提高信息传输速率,因此在频带利用率和接收端误译码率等指标方面,QAM 比单一调制正弦波一个参数的调制方式要优越。但是 QAM 星座点的幅度不是完全相同的,所以它的解调器需要能同时正确检测相位和幅度,而不像 PSK 解调只需要检测相位,这就增加了 QAM 解调器的复杂性。随着电子技术的不断发展,设备复杂性也在相对降低,因此 QAM 方式是日前高速调制解调器中比较好的调制方式。目前,QAM 调制主要用在有线数字视频广播和宽带接入等通信系统方面。QAM 调制方式的多媒体高速宽带数据广播系统采用 DVB-C 有线数字视频广播标准,代表着数字化发展方向,有 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM 之分。数字越大,频带利用率越高,但同时抗干扰能力也随之降低。QAM 在安全授权方面比 MPSK 调制方式更可靠,完全能满足海量信息传输的需要,其传输速率更高,通道还可优化。QAM 目前还被广泛用于 ADSL 调制技术,在 QAM 调制中,发送数据在比特/符号编码器内被分成速率各为原来 1/2 的两路信号,分别与一对正交调制分量相乘、求和后输出。接收端完成相反过程,正交解调出两个相反码流,均衡器补偿由信道引起的失真,判决器识别复数信号并映射回二进制信号。采用 QAM 调制技术,信道带宽至少要等于码元速率,为了定时恢复还需要另外的带宽,一般要增加 15%左右。与其他数字调制技术相比,QAM 调制技术具有充分利用带宽、抗噪声强等特点。

常用调制技术的功率效率和带宽效率来衡量其性能的优劣,也主要根据这两个指标来选择调制方案。实际中常常遇到的情况是需要对其中一个指标作出必要的牺牲以换取另一个指标的提升。所谓功率效率(有时也称为能量效率),通常表示为在接收机输入端特定的误码率(如 10^{-6})下每比特信号能量和噪声功率谱密度的比值 E_b/N_0 (量纲: dB),其中 E_b 表示平均比特能量, N_0 表示噪声功率谱密度,它描述了在低功率条件下一种调制技术保持数字信息信号正确传送的能力。所谓带宽效率(Bandwidth Efficiency),是指在给定带宽内每赫兹数据率吞吐量的值 C/W (量纲: (bits/s)/Hz),它描述了调制方案在有限的带宽内容纳数据的能力。MPSK 带宽效率可以用比特率(Bit Rate)比上带宽率(Bandwidth Ratio)来度量, $\frac{C}{W} = \log_2 M$,而 QAM $\frac{C}{W} = 2 \log_2 M$ 。图 1-3 表示误符号率(Symbol Error Probability)为 $P_M = 10^{-5}$ 情况下几种调制方式的带宽效率比较情况^[2]。