

无线局域网中的智能天线技术

殷勤业, 张 莹

(西安交通大学信息与通信工程系, 陕西西安 710049)

摘要: 针对无线局域网性能和速度等方面的不足, 讨论采用智能天线技术改善无线局域网的性能. 重点介绍波束切换系统、自适应阵列天线系统以及基于收、发分集的多输入多输出系统在无线局域网中的应用, 给出了不同系统的结构及关键技术. 最后介绍了一种实用的应用于 IEEE 802. 11b 标准的波束切换系统.

关键词: 无线局域网; 智能天线; 波束切换; 自适应阵列; 多输入多输出

中图分类号: TN925. 93 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 12A-141-07

Smart Antenna Technology for Wireless LAN Systems

YIN Qin ye, ZHANG Ying

(Dept. of Information and Communication Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China)

Abstract: The article provides an overview of Smart Antenna technology in wireless LAN systems. Since Smart Antenna technology has powerful spatial processing ability, it is regarded as a promising solution to enhancing the data rates and capacity of wireless LAN systems. This article discusses the switched beam based, the adaptive array based and Multiple Input Multiple Output based wireless LAN systems and their relevant key technologies. A set of small size, practical switched beam antenna system, well suited for IEEE 802. 11b Standard, is designed and tested. The antenna system has 9dB gain and can be applied to the wireless Access Point. Based on the testing results, an improved scheme is also proposed, with all the beams cophasal excited.

Key words: wireless LANs; smart antenna system; switched beam; adaptive array; multiple input multiple output

1 引言

无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)是计算机网络与无线通信技术相结合的产物,一方面,它在有线局域网的基础上通过无线 Hub、无线访问节点(Access Point, AP)、无线网关、无线网卡以及天线等设备使计算机之间的无线通信得以实现,从而在大量的应用环境中弥补了有线网络的不足;另一方面, WLAN 具有建网快捷,支持终端移动性,网络结构弹性化等固有优势.特别是近年来,各种功能强大的便携式数据终端以及多媒体终端因价格大幅下降而迅速普及, WLAN 标准的进一步完善和相互融合、新型无线传输技术的层出不穷极大促进了 WLAN 的迅猛发展,业已在医疗、销售、制造、仓储、运输、家庭办公以及学校等众多不适合布线或需要移动办公的企事业单位和场合得到了广泛应用.

与有线网络截然不同的是,由于 WLAN 使用无线频段,信道经常会发生剧烈的变化,直接导致不可预测的信道衰落.此外,无线信道还面临多径干扰和空间其他无线设备的干扰.无线频率作为宝贵的资源,要求无线局域网有着严格的频率及带宽限制.所有这些因素导致无线局域网在性能和速度等方面与传统以太网还存在一定差距.对于干扰受限的无线通信

系统来说,增加带宽是提高容量的一个有效方法,然而增加带宽常常受到频带的限制.利用空域资源,采用多天线系统是一种更有效的手段.

智能天线技术是具有“动态”性和“智能”性的天线系统.它的范围非常广,目前的研究热点——自适应阵列天线和 MIMO(Multiple Input Multiple Output)多天线系统,都属于智能天线范畴.该技术可以提供较大的阵列增益或分集增益,因而可以有效地提升 WLAN 的系统容量和传输速率.研究如何将智能天线技术应用于无线局域网以提高其性能有着重要的意义.

本文的第二节简单介绍了无线局域网技术的标准,提出了该技术现有的一些问题.第三节是对 WLAN 中智能天线技术的综述.该节详细介绍了每一类智能天线系统在 WLAN 中的应用研究情况.文章的第四节讨论了 WLAN 中波束切换系统的具体设计,介绍了一种实用的,应用于 IEEE 802. 11b 标准的波束切换系统并给出了系统的实测结果和改进方案.第五节是对全文的总结.

2 无限局域网概述

2.1 无线局域网的标准

在目前已有的 WLAN 诸多标准中,比较有影响力的三类

标准为美国电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 制定的 IEEE 802. 11 系列、欧洲电信标准委员会(European Telecommunications Standard Institute, ETSI) 制定的高性能无线局域网(High Performance Radio Local Area Network, HIPERLAN) 系列以及日本电波产业会(Association of Radio Industries and Businesses, ARIB) 制定的高速无线接入网(High Speed Wireless Access Network, HiSWAN) 系列^[1]。

IEEE 802. 11 最初发布于 1997 年。此后, 为了使 IEEE 802. 11 能够提供更高的通信速率, 无线以太网兼容性联盟(Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA) 组织对 IEEE 802. 11 原有的物理层规范进行了扩充, 分别形成了无线保真(Wireless Fidelity, Wi-Fi) 规范和无线保真 5(Wireless Fidelity 5, Wi-Fi5) 规范, 它们又分别称为 IEEE 802. 11b 和 IEEE 802. 11a。IEEE 802. 11b 使用的频段为 2.4GHz, 其物理层采用直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 技术及补偿编码键控(Complementary Code Keying, CCK) 技术, 可以提供 5.5 及 11-Mbps 的通信速率。IEEE 802. 11a 使用的频段为 5GHz, 其物理层采用正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 调制技术, 可以提供高达 54Mbps 的通信速率。2003 年通过的 IEEE 802. 11g 标准的物理层也采用了 OFDM 技术, 和 IEEE802. 11a 一样数据传输速率可达 54Mbps, 并与 IEEE 802. 11b 标准兼容。

为了给不同类型的无线广带接入网制定标准, ETSI 提出了广带无线接入网(Broadband Radio Access Network, BRAN) 计划。作为 BRAN 标准中的一种, HIPERLAN 又有两种类型, 分别为 HIPERLAN/1 和 HIPERLAN/2。HIPERLAN/1 工作在 5GHz 频段, 数据速率最高可达 25Mbps, 与 IEEE 802. 11b 相当。HIPERLAN/2 也工作在 5GHz, 对应于 IEEE 802. 11a, 采用 OFDM 调制技术, 支持的最高数据速率为 54Mbps。它和 802. 11a 标准的物理层几乎相同^[2], 但在 MAC 层却大相径庭, HIPERLAN/2 更能体现对多媒体业务的支持。

日本 ARIB 针对 NextG 无线通信系统, 提出了多媒体移动接入通信(Multimedia Mobile Access Communication, MMAC) 系统^[3]。HiSWAN 就是其中非常有代表性的一类标准。其中, HiSWANa 工作于 5GHz 频段, 物理层基本与 802. 11a 相似, 支持的标准数据速率为 27Mbps。HiSWANb 工作于 25/27GHz 频段, 数据速率为 6-54Mbps。

针对 NextG 无线通信需求, WLAN 的各种标准正迅速发展, 以支持更高的传输速率和更好的传输质量, 充分展现了 WLAN 领域旺盛的创造力和无限的发展机遇。当然, 对于今后要在无线局域网中开展的多媒体业务来说, 最高为 54Mbps 的数据速率还远远不够。为了进一步提升无线局域网的传输速率, 实现有线与无线局域网的无缝结合, IEEE 成立 802. 11n 工作小组, 以制定一项新的高速无线局域网标准 IEEE 802. 11n^[4]。该标准计划将 WLAN 的实际吞吐量增大至 100Mbps 以上, 成为继 802. 11b、802. 11a、802. 11g 之后无线局域网标准上的又一重大进展。和以往的 IEEE 802. 11 标准不同, IEEE 802. 11n 协议为双频工作模式(包含 2.4GHz 和 5GHz 两个工作频段)。这样, IEEE 802. 11n 保障了与以往的 IEEE 802. 11a, b, g

标准兼容。

2.2 WLAN 同 3G 的关系

新一代(NextG) 无线通信系统, 可分为无线接入和无线移动两部分。无线接入系统为慢速移动或者位置比较固定的无线终端提供宽带数据业务、多媒体业务和因特网业务等等, 以 WLAN 为例; 而无线移动系统则为移动较快的无线终端提供上述业务, 以 3G 为代表。关于 3G 和 WLAN 的关系, 可以从技术和应用等多个层面进行分析。

首先, WLAN 提供了高带宽, 但却是在有限的覆盖范围内(建筑物内以及户外的短距离, 约 30-150 米)。与此相比, 3G 网络支持广域的移动性(1-2 千米), 但是数据速率明显低于 WLAN, 最高能达到 2Mbps。3G 与 WLAN 在覆盖范围和带宽上具有不同的优势和局限性, 在这种程度上, 它们没有相互构成竞争, 而是相互补充。其次, WLAN 主要用于支持数据业务, 而 3G 被设计用于同时支持语音和数据业务。语音信号可以错误但不能容忍时延; 数据信号能够允许时延但不能容忍错误。这就导致 3G 和 WLAN 在实现技术上有很大不同。此外, 3G 是建立在蜂窝架构上的, 适合于支持移动环境中的数据服务。而 WLAN 则强调终端的便携性, 对移动性的支持不高。最后, 3G 工作于 2000MHz 频段附近, 是需要收费的, 而 WLAN 在无需许可的频带上运行, 因此它们也更易受到其他工作在同一频带的技术(如蓝牙)的干扰。

综合上述, 可以认为 WLAN 和 3G 这两种技术存在某些关联, 但差异是相当明显的。他们之间呈现很强的互补性, 尽管在边缘上可能有竞争。

2.3 WLAN 面临的问题

尽管无线局域网在日常生活中的作用越来越大, 但其性能和速度与传统以太网相比还有一定距离, 因此如何提高无线网络的性能和容量日益显得重要。这里对无线局域网仍需面对的一些关键问题进行讨论。

(1) 无线信道直接导致的问题与有线网络截然不同。由于 WLAN 使用无线频带, 电磁环境较为复杂, 信道经常会发生剧烈的变化, 多径效应引起的频率选择性衰落和其他干扰源的存在使实现无线信道的高速数据传输比有线信道困难。在室内, 最主要的干扰源是工作于 2.4GHz 的家用微波炉。另外, 电梯电机、复印机、防盗装置和无绳电话也会产生干扰。

(2) 系统容量

系统容量低从根本上说是由于无线通信有限的频谱资源导致。有限的频谱资源也制约了数据传输速率。只有通过提高频谱利用率来解决这一问题。采用频率复用技术和高阶调制技术可以提高频率利用率, 但频率复用会引起大的共信道干扰(Co-Channel Interference, CCI) 并降低调制阶数, 而调制阶数的提高又会导致误码率增大。

(3) 吞吐量和服务质量(Quality of Service, QoS)

随着无线局域网业务种类的增多, 对网络吞吐量和服务质量的要求也就越来越高。提高频率利用率是解决这一问题的方法之一。还有一些其他的制约因素如有效的媒体接入控制(Media Access Control, MAC)、链路层控制(Link Layer Control, LLC)、不同种类的业务融合、规划, 这些都是保证高吞吐

量和 QoS 的关键。

(4) 覆盖范围

覆盖范围不是无线局域网的关键问题,但是它制约系统容量、数据速率以及吞吐量。接入无线局域网的用户数与日俱增,导致要想达到同样的数据速率,不得不降低网络的覆盖范围。研究表明,随着距离和用户数量的增加,实际数据速率远远低于理论速率,数据吞吐量也会随着距离的增大而急剧下降。

3 无线局域网中的智能天线技术

智能天线技术^[5,6]因包含了很多高级信号处理技术而得名,本质上不同于传统的天线技术。概括地讲,智能天线系统是指由多天线与空时信号处理算法的有机结合所形成的具有“动态”和“智能”特性的天线系统。该技术一方面可以利用空域分集手段或自适应波束形成技术有效抑制干扰,增大信干比(Signal to Interference Rate, SIR),从而成倍提升系统容量;另一方面可以利用分集技术显著减小多径衰落,提升系统的可靠性和通信质量,同时可以通过分集增益或阵列增益,提高网络覆盖范围或降低无线终端的发射功率,延长终端电池寿命。简言之,智能天线技术使通信资源不再局限于时间域、频率域或码域,而进一步拓展到了空间域,是解决无线通信资源严重不足,提高系统容量与通信质量的一种非常有效的技术手段。

传统意义上,智能天线系统主要分为四大类⁷:扇区化天线系统、波束切换天线系统、波束形成天线系统和分集天线系统。四类智能天线系统中,扇区化天线系统和波束切换天线系统的“智能”层次较低,对无线通信系统用户容量的增加能力和通信质量的提高能力均有限,但这两种系统的成本低,且易于实现。波束形成天线系统和分集天线系统的“智能”层次则相对较高,是目前智能天线技术研究领域的热点。

3.1 WLAN 中智能天线技术的引入

现有的 WLAN 标准大多采用一个全向天线进行无线电波的发射和接收,而将智能天线强大的空时域处理技术引入无线局域网,无疑可以很好地解决一些 WLAN 面临的问题。比如:无线信道所涉及的频率选择性衰落以及共信道干扰,就可以分别采用分集技术和干扰抵消技术来解决;吞吐量和服务质量(QoS)以及系统容量的问题可以采用分区、波束形成、接收分集、发射/接收分集等技术得以解决;而智能天线特有的空时域编码技术以及波束形成技术可以使网络的安全问题从传统的时、频域解决方法扩展到空域来解决。基于智能天线技术的种种优势,研究如何将智能天线技术应用于无线局域网以提高其性能有着重要的意义。

尽管当前的 3G 系统已经广泛地采用智能天线技术,但由于 3G 和 WLAN 系统存在较大差异,所以不能将应用于 3G 的智能天线技术简单地套用在 WLAN 系统中。首先,3G 和 WLAN 的多址方式存在较大差异。3G 中的多个用户通过码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)的方式共享信道,同一时刻可以有多个移动终端同基站通信;而 WLAN 中的多个终端采用类似于以太网的介质共享协议分时共享信道,同一时刻只有一个终端可以和服务器通信,不存在像 3G 中需要

同时产生多个波束的情况。另外,3G 和 WLAN 所支持的覆盖范围、终端移动性、带宽以及数据业务的不同也导致应用于 WLAN 中的智能天线技术将不同于应用于 3G 中的。

无线局域网由于覆盖范围限制,几乎都是单一小区的,只有少数机构需要多小区配置。对于大多数小型办公环境来说,点对点(Peer to Peer)的无线局域网就可以完全满足需求了。因此扇区化天线系统几乎不应用于 WLAN 中。下面主要介绍其它几类智能天线系统在 WLAN 中的应用。

3.2 波束切换天线系统

波束切换天线系统是在覆盖范围内产生多个不同指向的窄波束,每一时刻仅选择一个波束覆盖范围进行通信。其中,每个波束可以由单个有向天线阵元(如喇叭口天线)产生,也可以由多个天线阵元组成天线阵产生。文献[8]和[9]分别给出了单个天线产生波束及天线阵产生波束的适用于 WLAN 的波束切换系统。波束切换智能天线的“智能性”主要体现在其波束切换要受到波束选择算法的控制。具体而言,在波束切换系统中,波束选择算法首先要确定用户处于哪个波束中,然后将开关切换到具有最佳接收性能的那个波束。

WLAN 中的用户大部分是静止的或者慢速移动的,且 WLAN 是分时共享信道,因此可以方便地使用波束切换系统^[10]。利用天线阵列产生多个窄波束,覆盖用户区域,这样可以获得比全向天线大的多的阵列增益,从而提高网络覆盖范围,降低网络设备的功率。典型的波束切换系统见图 3-1。

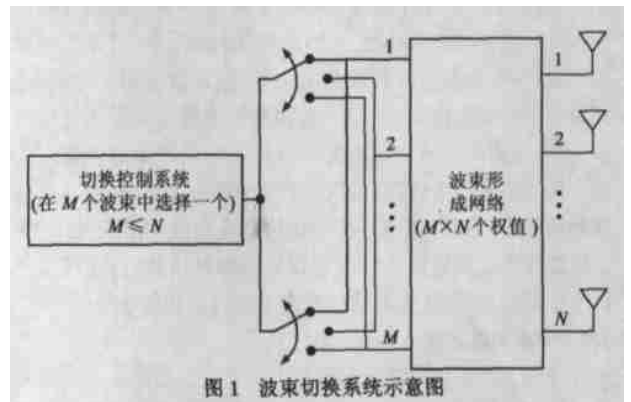


图 1 波束切换系统示意图

波束切换系统使用固定的波束形成网络(Beam Forming Network, BFN),一般在射频端实现。图 1 所示的系统只需要一个波束形成网络,一个 RF 切换和选择特定波束的逻辑控制电路,实现起来较为简单。这样的波束切换系统存在一些局限。首先,对于那些波达方向(Direction Of Arrival, DOA)与期望接收分量方向十分接近的多径分量,系统无法保证期望分量免受其干扰。其次,由于扇贝现象(scalloping),无线设备接收到的功率电平要发生波动。扇贝现象是指当 DOA 与 BFN 产生的波束轴线发生偏离时,天线方向图的滚降系数将发生变化,是角度的函数。通常 BFN 产生的波束在 3dB 点处交叉,因此当无线设备从某个波束的中心移向边缘时,用户的信号强度要发生变化。

尽管具有上述缺点,波束切换系统产生的阵列增益能够显著提高系统容量及覆盖范围,而且复杂度和成本较低,因而

受到制造商们的青睐. 波束切换系统的具体实现主要涉及天线单元、天线阵列及高频开关阵列的设计. 本文的第 4 节将介绍应用于 WLAN 的波束切换天线系统的具体设计.

3.3 波束形成天线系统

波束形成天线系统由天线阵元间距小于或等于 $1/2$ 电波波长的多个天线阵元构成, 可呈现为线阵、圆阵或面阵等不同几何分布, 并可动态地调节各个天线的权值, 利用电波相干叠加的原理减少干扰, 实现系统容量的提升. 由于波束形成的过程可以自适应地进行, 所以很多文献都将波束形成天线系统等同于自适应天线系统.

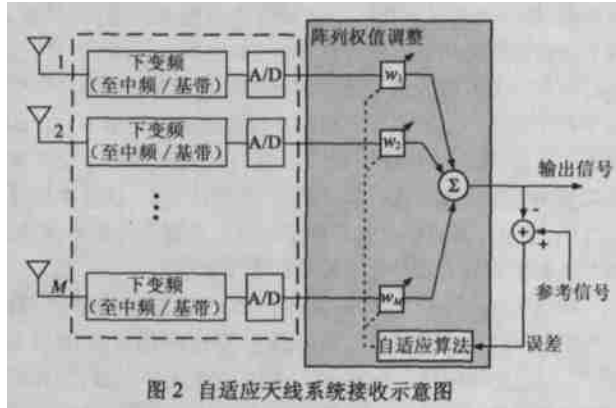


图2 自适应天线系统接收示意图

图2是自适应天线系统的接收示意图^[9]. 发送和接收是一个相反的过程. 图中虚线框中下变频及A/D转换模块可以放在阵列权值调整模块之后. 也就是说, 自适应天线系统的波束形成过程(主要指阵列权值的调整)既可以在射频完成, 也可以在中频或基带完成, 但一般在基带进行波束形成比较简单. 阵列权值的自适应调整过程可以使阵列产生的波束方向动态地对准来波方向, 并可以在干扰方向设置零陷, 起到干扰抑制的作用. 因此, 在WLAN中应用自适应波束形成技术, 除了可以提供波束切换系统能够提供的阵列增益外, 还可以提供干扰抑制增益, 从而有效地提高系统容量和传输速率.

3.4 分集天线系统

分集天线系统由阵元间距远大于电波波长的多个天线构成, 其几何分布可以具有不规则性和任意性. 在大多数散射环境中, 分集天线是一种非常有效的抵御多径衰落的方法, 通过使接收到的多径信号变成互不相关的信号, 从而达到改善系统接收性能的目的. 分集天线同波束形成天线的最大不同在于: 前者要求分集用的多信号彼此之间应经历理想的独立衰落, 而后者则要求多个天线阵元上的多信号彼此之间应具有理想的相关性. 另外, 分集天线更适合应用于宽带系统.

分集天线系统可细分为接收分集、发射分集和发射/接收分集等三种结构. 其中发射/接收分集是发射分集与接收分集的综合, 由多个发射多个接收(Multiple Transmit Multiple Receive, MTMR)天线构成, 具有空域的多输入多输出(MIMO)体系结构. 具有MIMO结构的发射/接收分集系统结合了发射分集与接收分集的特点, 是目前WLAN中智能天线技术的研究热点, 所以我们重点介绍这种基于收/发分集的MIMO系统.

3.4.1 MIMO系统 MIMO技术能在不增加带宽的情况下成

倍地提高通信系统的容量和频率利用率. 在由 N_T 个发射天线和 N_R 个接收天线组成的MIMO系统中, 当各收、发天线对之间的衰落是相互独立、瑞利同分布时, 信道容量正比于 $N_{\min} = \min\{L, N_T, N_R\}$, 其中 L 代表多径的个数. 可见MIMO信道链路除了具有SIMO信道(单输入多输出信道, 即接收分集结构)所能提供分集增益和干扰抑制增益外, 还利用空间的 N_{\min} 信道进行并行传输, 实现空域复用(spatial multiplexing).

就WLAN的使用环境而言, 基本上分室内和室外两种. 室外的角度扩展比较小, 此时采用波束切换技术对系统性能的提升效果比较好. 而对于室内的WLAN系统而言, 由于接收信号的角度散布非常大, 即使阵元间距没有远大于十个波长, 也能为系统提供比较理想的分集增益. 基于收/发分集的MIMO系统恰好适合这一实际情况. 在有强烈干扰的情况下, 具有干扰抵消功能的波束形成系统会比分集系统的效果更好.

3.4.2 MIMO OFDM系统 由于目前越来越多的WLAN物理层标准采用了OFDM调制技术, 而MIMO技术所提供的分集增益和空域复用增益能在有限的带宽下成倍地提高系统容量, 这对于今后要开展的在无线局域网中的多媒体业务以及实时业务来说, 无疑是一个非常好的选择. 因此, 将MIMO技术与OFDM技术相结合将是未来无线局域网发展的趋势.

MIMO与OFDM都是提高频谱利用率实现高速数据传输的有效技术. OFDM是在频域将已有的频带划分成多个并行的子信道实现频率分集, 而MIMO则是在空域利用独立不相关的传输路径实现空间分集. 两者的结合将进一步提高无线局域网的系统容量. 图3和图4给出了MIMO OFDM系统的发送、接收框图^[11].

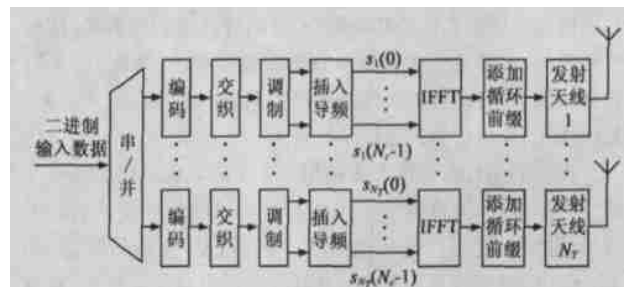


图3 MIMO OFDM系统发送框图

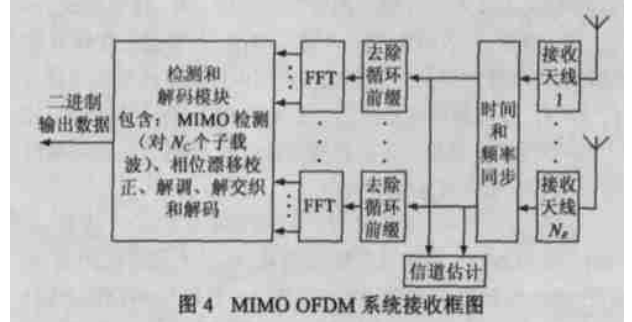


图4 MIMO OFDM系统接收框图

从图中可以看出, MIMO OFDM系统有多个发送天线, 多个接收天线. 发射端和接收端的多个天线可以提供空间分集, 克服电波衰落的不利影响. 输入的比特流经串/并转换分为多个分支, 每个分支都进行OFDM处理, 即经过编码、交织、调

制、插入导频信号、IFFT 变换、加循环前缀(Cyclic Prefix, CP) 等过程,再经天线发送到无线信道中;接收端进行与发射端相反的信号处理过程,例如,去除 CP、FFT 变换、解码等,同时进行信道估计、定时、同步、MIMO 检测等技术,来完全恢复原始的比特流。

3.4.3 MIMO 系统中的关键技术 虽然目前有关 MIMO 的研究已经取得了不少进展,但要将 MIMO 技术应用于无线局域网中,还涉及很多理论和工程上的问题需要解决。下面对基于 WLAN 的 MIMO 系统中的关键技术做一概括。

(1) 接收分集

接收分集采用多个天线接收,可以对抗信道衰落,抑制干扰。接收分集有三种典型的分集合并策略:最大比合并、等增益合并和选择合并。其中选择合并是最简单的,目前的 IEEE 802.11b WLAN 产品在移动终端和接入点处都采用了选择合并。最大比合并具有最优的合并性能,具有抑制自然干扰的优势,但不适用于抑制与 WLAN 同频段的无线产品引入的共信道干扰。此外,最大比合并的性能对信道估计误差比较敏感。

(2) 发射分集

发射分集根据是否需要反馈信息,可分为开环发射分集、闭环发射分集和盲发射分集。开环发射分集利用前馈信息或训练序列,对无线信道进行估计,进而指导接收机有效接收。常用的开环发射分集结构有空时发射分集、延迟分集和极化分集等。闭环发射分集利用接收机向发射机反馈信道信息,并根据信道信息对发射机端的分集结构进行配置。闭环发射分集主要包括选择发射分集、预 Rake 发射和发射自适应阵列等。

(3) 空时编码

针对由 MIMO 天线构成的 MIMO 体系结构,不少学者相继提出了多种类型的空时编码(Space Time Coding, STC) 方案。其突出特点是针对空、时二维进行联合编码,能最大限度提高无线信道中的传输速率。STC 主要包括分层空时码(Layered Space Time Coding, LSTC)、空时分组码(Space Time Block Coding, STBC)和空时格形码(Space Time Trellis Coding, STTC)等。更复杂的 STC 方案是上述几类 STC 的级联结构。目前,空时处理技术仍有许多问题待解决,如空间相关性对系统性能的影响问题、不同空时处理算法之间的结合问题等。

(4) 同步问题

没有精确的同步算法就不可能对传送的数据进行可靠接收。随着未来 WLAN 系统中数据传输速率的不断提高,将使发送、接收端的同步越来越困难。此外,由于 WLAN 的带宽相对较宽,要在大的频带范围内实现同步是一个技术难点。在 MIMO OFDM 系统中,如何实现高数据率下各个子信道的同步以及信道之间的同步尚待研究。

(5) 动态资源分配

未来的高速无线局域网将存在多种业务,为了保证其 QoS,必须研究动态资源分配方案。一方面 WLAN 中的多个用户会共享系统资源,另一方面不同用户对通信业务的要求不同。因此,为了尽可能提高系统的频谱利用率,有必要研究能同时兼顾效率与性能动态资源分配算法。具体到具有 MIMO

OFDM 结构的 WLAN 系统,动态资源分配包括动态子载波信道分配、动态比特分配、动态编码效率调整及动态传输速率调整等。

除了以上五点外还有其它的一些技术需要考虑,如信道估计、自适应调制、定时跟踪、MIMO 信号的检测问题等等。若要涉及具体实现,又会引入许多工程问题。比如:怎样在有限的终端空间上安置多个不相关的天线,还需要对天线技术进一步研究;MIMO 系统的接收机需要处理大量数据,从而复杂性大大提高,如何合理设计接收机是一个难点;还有 MIMO 系统与现有 SISO 系统的整合问题等等。

4 WLAN 中波束切换系统的设计

目前在 WLAN 中采用智能天线技术的具体实现都是基于波束切换系统的,文献[8, 9, 12]给出了几种典型的应用于 WLAN 中的波束切换系统。基于自适应阵列和分集天线的 WLAN 系统尚在理论研究阶段。我国在该领域的研究处起步阶段,这方面的报导很少。

WLAN 中的波束切换系统实现起来比较简单,主要涉及天线单元、天线阵列以及高频开关阵列的设计。

4.1 天线单元设计

在无线通信中,天线单元的选择非常关键。除了必须满足系统提出的频带、驻波比、增益、极化等性能指标外,在实际中还要做到单元间的互耦小、一致性好和加工方便等。

天线的种类繁多,形式多样。典型的大类就有反射面天线、喇叭天线、线天线、缝隙天线等。这里要着重介绍微带天线。微带天线与普通微波天线相比,具有剖面薄、体积小、重量轻;可与载体表面共形;馈电网络可与天线结构一起制成,适合于用印刷电路技术大批量生产;能与有源器件和电路集成为单一的模块;容易实现双频段工作等大量优点^[13],因而得到广泛的应用。目前已有的基于波束切换的 WLAN 系统大部分是采用微带天线,如前面提到的文献[8, 9, 12]以及文献[14, 15]。

由于无线局域网的频带范围相对较宽,所以对单元天线的带宽要求就比较高。为了达到 WLAN 的频带范围,必须寻求展宽频带的方法。仍以微带天线为例,其高 Q 的谐振特性决定了微带贴片天线的窄频特性。故有关微带贴片天线展宽频带的方法可以由降低 Q 值的各个方面去探讨,也可以考虑用附加的匹配措施来实现。常用的方法有采用厚基板、采用介电常数较小或 $\tan \delta$ 较大(有耗)的基板、附加阻抗匹配网络、采用多层结构等。关于微带天线的详细介绍可以参见文献[16]。

4.2 天线阵列设计

天线阵通常采用线阵和面阵两种形式。线阵的馈电结构一般采用串馈或并馈。微带串馈线阵的结构形式很多,可以根据馈源是行波还是驻波,馈电点在中心还是端点处等因素划分为多个子类。不同结构形式的阵列可以获得不同的波束指向、带宽和效率。并馈微带线阵具有两种基本的并合馈电方式,均匀分布和锥削分布。常见的微带线阵有梳形阵、城墙线阵、蛇形线阵、对数周期微带阵等。微带线阵的二维组合即为面阵。常见的有梳形线面阵、矩形贴片阵、交叉馈电极化阵等。对于微带面阵,除了馈线与天线面共面的结构外,还有许多利

用电磁耦合或用探针连接的多层结构,以及采用有源馈电网络的设计。

除了以上的两种基本阵列形式外,还有微带共形阵以及可以实现空域电控扫描的阵列(其中使用最多的是相位扫描,即相控阵)。

对于不同形式的阵列,需要通过设计要求确定各天线元的位置及各阵元的激励相位。限于篇幅,我们不对阵列设计多作介绍,具体参见文献[17]。

4.3 高频开关阵列设计

高频开关最主要的两个性能指标是隔离度(Isolation)和插入损耗(Insertion Loss)^[18]。隔离度是衡量开关截至有效性的指标,它是指开关在关断后所泄漏的信号能量。插入损耗是开关由于物理结构造成的传输损耗,一般主要考虑导通状态下电流通过时的热损耗。

除了上述两点,在设计开关阵列时还需要考虑切换速度(一般的PIN二极管可以达到ms级)以及开关本身对信号相位的影响等因素。

事实上,对于波束切换系统的开关阵列实现,既可以在射频端进行,也可以置于中频或基带进行。这点与波束形成的原理类似。一般情况下,开关阵列在射频端完成更简单。

4.4 一种实用的波束切换 WLAN 系统

本小节将介绍一套应用于无线访问节点(AP)的波束切换系统。该天线系统适用于 IEEE 802.11b 标准,可在 9 个波束方向任意分时切换,从而实现水平 360° 范围的扫描或搜索。

根据需求,将水平 360° 空间划分为三个扇区,每个扇区 120°,由一个单面天线阵列负责。单面天线阵俯仰角覆盖 90°,方位角覆盖 120°。每个单面天线阵列在水平面上形成三个可切换的波束,各波束宽度为 40°。天线阵的峰值增益要求不低于 9dB。各个波束分时工作。工作频段为:2400~2483MHz。

4.4.1 模块设计 单面天线阵采用三元均匀直线阵,利用微带延迟线馈电。波束的选择是通过开关阵列切换不同的延迟线组合,改变三个阵元的激励相位,从而得到指向不同方向的三个波束。

由于在 120° 的范围内希望分成三个波束分时工作,为了使这些波束增益接近,天线单元的方向性应在 120° 的范围比较平坦,因此单元天线的 E 面半功率角应该超过 120°。本文选择了长度约为 1/4 波长的带短路钉的微带矩形贴片天线作为单元天线,如图 5 所示。其中贴片宽度 W 主要影响天线阻抗和方向图,贴片长度 L 主要影响天线的谐振频率,而开槽宽度 a 与开槽深度 b 对天线的输入阻抗也有较大影响。

波束切换是通过射频开关阵列对不同传输线组的选通或截止来实现的。本文以 Agilent 的 HSMP 3890 PIN 二极管作为

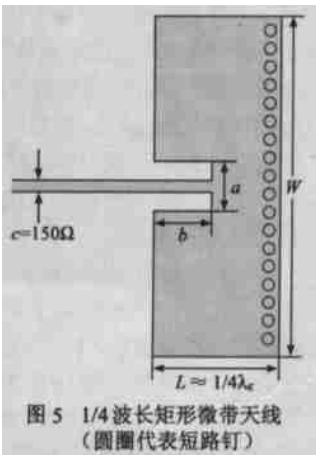


图 5 1/4 波长矩形微带天线 (圆圈代表短路钉)

基本的射频开关^[19,20],开关电路形式采用分流式单刀单掷开关^[18](Shunt Single Pole Single Throw, Shunt SPST)。即二极管正偏时,开关关断;二极管反偏时,开关打开。

由于电路的工作频率在 2.44GHz 左右,PIN 二极管的分布参数对电路的影响已经不能忽略,导致开关电路的插入损耗和隔离度远不能达到预期的指标。因此,我们采用构造谐振电路的方法,补偿寄生电容和寄生电感所带来的能量损失。经过谐振网络补偿后,中心频率处插入损耗 0.128dB,隔离度均在 27dB 以下。

4.4.2 系统实测结果 对系统方向图的测试是在空旷的室外进行,利用频谱分析仪(Agilent E4406B)对发射阵列天线的电磁场进行水平 360 度扫描。实测方向图见图 6。

图 6 中深色虚线表示功率下降 3dB 的半功率点。实测结果表明各个波束的方向性基本满足要求,旁瓣电平保证在 4.5dB 以下,且 9 个波束的 3dB 带宽能完全覆盖 360 度。此外,利用射频网络分析仪测得整个系统的有效频带范围内驻波比值基本都低于 2.

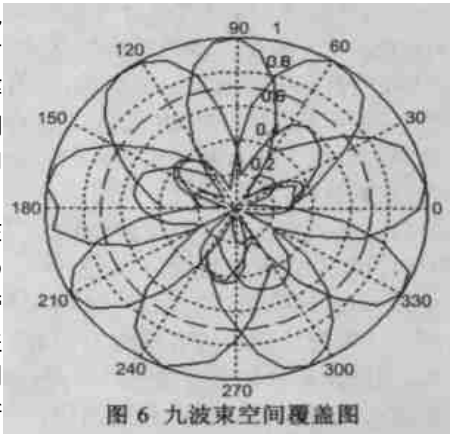


图 6 九波束空间覆盖图

5,说明整个系统的带宽符合设计要求。

整个系统的实物照片见图 7。

4.4.3 阵列改进方案 实测结果表明系统的各个波束并不是完全一致的。侧向波束的主瓣增益要比同相波束的低 1dB 左右,而侧向波束的旁瓣电平又显著高于同相波束的旁瓣电平。此外,同相激励所形成的波束总是能很好的实现预期目标,而另外两个侧向波束经常不能满足要求,需要反复进行修正和调整。由此可以判断,同相激励所形成的波束对制作上的一些偏差不敏感,而非同相激励的侧向波束则敏感许多,这对将来应用于生产是非常不利的。

如果能保证天线阵列在工作时各个阵元都是同相激励,则整个天线系统的性能将得到提高,同时也有利于实际调试。因此我们对系统的外形进行了修改。新方案的外形呈正九棱柱,见图 8。

这样的设计将给我们带来一系列的便利:首先,由于采用正九棱柱的对称结构,使得每个阵元都是同相激励,既提高了整个天线系统的性能,又保证了每个工作波束的一致性,也更利于我们对系统进行调试;其次,新的方案不用考虑 Diode 对

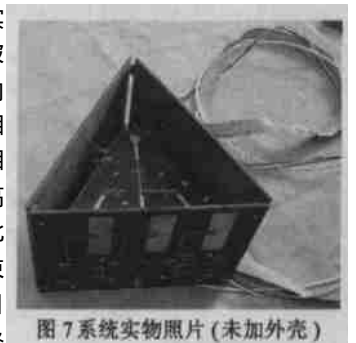


图 7 系统实物照片 (未加外壳)

延迟线相位变化的影响;最后,改进的天线系统更接近圆柱形,较原来的三棱柱形状节省空间,从外形上来说更可取。

尽管应用于 WLAN 的波束切换系统原理比较简单,但在具体实现上还存在很多技巧。概况地说,无论对天线单元还是对阵列、开关阵列的设计都要保证既满足 WLAN 足够宽的频带范围,又能提供尽量高的阵列增益。同时,天线系统向小型化、轻便化发展也是一个必然的趋势。

5 结束语

无线局域网技术发展迅猛,新标准不断出台,而智能天线技术以其特有的优势必然应用于未来的无线局域网中。目前,无论从理论研究方面,还是从工程实现角度,都有很多工作需要进一步深入。如何将智能天线技术以及相应的空时处理技术更有效地应用于无线局域网,使其向更高速率、更大容量、更好性能的方向发展,将是无线通信领域的研究热点。

参考文献:

- [1] R van Nee, G Awater, et al. New high rate wireless LAN standards[J]. IEEE Commun., 1999, 37(12): 82-88.
 - [2] Jamshid Khur Jush, Peter Schramm, et al. HiperLAN2: Broadband wireless communications at 5 GHz[J]. IEEE Commun., 2002, 40(6): 130-136.
 - [3] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB). Multimedia Mobile Access Communication (MMAC) Systems [EB/OL]. <http://www.arib.or.jp/mmac/e/index.htm>, Mar. 2003.
 - [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE Standard to more than triple the rate of wireless LANs to over [EB/OL]. <http://standards.ieee.org/announcements/>, Sep. 2003.
 - [5] Paulraj A J, et al. Space-time processing for wireless communications [J]. IEEE Personal Signal Processing Magazine, 1997, 14(11): 49-83.
 - [6] Joseph C Liberti, Theodore S Rappaport. Smart antennas for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA applications[M]. Prentice Hall PTR, 1999.
 - [7] Xiaojun Wu. Signal Processing for Next-Generation Wireless Communications with Cooperation of Multicarrier, Multiple Access and Multiple Antennas[D]. Xi'an: a Dissertation in Information and Communications Engineering of Xi'an Jiaotong University, 2002.
- 吴晓军. 新一代无线通信中的多载波多址天线技术及其信号处理方法研究[D]. 西安: 西安交通大学信息工程研究所博士学

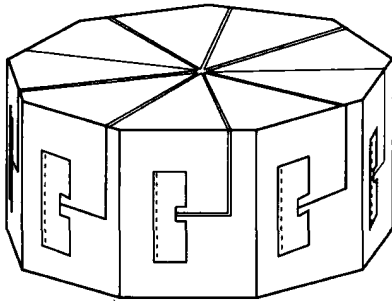


图 8 改进阵列外形图

位论文, 2002.

- [8] F Thudor, A Louzir. Low cost, multi-beam antenna for WLAN applications [DB/OL]. <http://www.ctsystems.com/zeland/publi.htm>, 2002.
- [9] Hsueh Jyh Li, Cherr Wei Huang. Design of switched sector planar antenna for wireless LAN [A]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium [C]. 2003, 3: 662-665.
- [10] G T Okamoto. Smart Antenna Systems and Wireless LANs [M]. KAP, 1999.
- [11] Allert van Zelst, Tim C W Schenk. Implementation of a MIMO OFDM-based wireless LAN system [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2004, 52(2): 483-494.
- [12] Kamakar. Smart mobile wireless LAN card antenna [A]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium [C]. 2003, 2: 30-33.
- [13] Shunshi Zhong. Microstrip Antenna Theory and Applications [M]. Xi'an: the publishing house of Xidian University, 1991.
- [14] Shih-Huang Yeh, Kir Lu Wong. Dual-band F-shaped monopole antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN application [A]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium [C]. 2002, 4: 72-75.
- [15] Ying Jung Chang, Ruey Bing Hwang. Switched beam system for low-tier wireless communication systems [A]. Asia Pacific Microwave Conference [C]. 2001, 2: 946-949.
- [16] R B Waterhouse. Microstrip patch antennas: a designer's guide [M]. KAP, 2003.
- [17] David M Pozar, Daniel H Schaubert. Microstrip antennas: the analysis and design of microstrip antennas and arrays [M]. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995.
- [18] Microsemi Watertown. The PIN diode circuit designers' handbook [M]. Microsemi Corp, 1998.
- [19] N A M Yunus, R Waguan, V Postoyalko. Design of a microstrip SPDT PIN diode switch [A]. IEEE ICSE Proceedings [C]. IEEE International Conference on Semiconductor Electronics, 2002. 465-469.
- [20] B C C Chang, Y Qian, T Itoh. A reconfigurable leaky mode patch antenna controlled by PIN diode switches [A]. IEEE International Symposium [C]. IEEE Antennas and Propagation Society, 1999. 4: 2694-2697.

作者简介:

殷勤业 男, 1950 年出生于江苏南京, 教授、博士生导师, 1982 年、1985 年和 1989 年分别获西安交通大学学士、硕士和博士学位, 现为西安交通大学信息与通信工程系系主任, 主要从事空间谱估计、智能天线、神经网络理论及应用和时频分析等方面的研究工作。E-mail: qyin@mial.xjtu.edu.cn.

张莹 女, 1980 年出生于陕西西安, 2002 年获西安交通大学学士学位, 现为西安交通大学信号与信息处理专业博士研究生, 主要研究方向为无线通信中的空时信号处理、无线局域网、时频分析等。