|  |  |
| --- | --- |
| Inline Text Wrapping Picture | Inline Text Wrapping Picture |

硕士研究生学位论文阶段报告

学 号: 2015140109

姓 名: 张晟

学 院: 信息与通信工程学院

专业(领域): 电子与通信工程

研究方向: 移动通信理论与技术

导师姓名: 林家儒

北京邮电大学

2017年10月16日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 论文题目 | 散射通信信道测量与建模研究 | | |
| 论文类型 | 应用研究 | 选题来源 | 中央、国家各部门项目 |
| 开题日期 | 2017-01-10 | 是否开题题目 | 是 |
| 论文开始日期 | 2017-01-10 | 报告日期 | 2017-10-25 |
| 报告地点 | 主楼1005 | 报告时间 | 上午 10:00-10:30 |
| **研究内容简介**  1．选题背景：  散射通信是指利用对流层及电离层中的不均匀性对电磁波产生的散射作用，进行的超视距通信。具有可靠性高，保密性好，单跳距离远，顽存性强等特点。由于对流层散射通信具有上述的种种优势，得到学术界的高度重视。  无线通信发展的整个历程都在对抗无线信道的不理想特性。要想实现可靠的散射通信，就必须对散射信道传播特性进行深入的分析。只有对散射信道进行准确的测量，才能提出针对性的解决方案，无线信道建模是对无线信道的抽象描述，在无线通信系统的设计评估、标准化和方案设计中起着重要的作用。  总之，在无线通信系统设计与实施中，必须充分利用无线信道特性，并采取相适应的物理层技术。只用清楚的掌握了无线信道的传播特性，才能最大化的利用资源，提高通信的可靠性。  信号的传输过程，在完全理想的条件下，信号从发射端到接收端是一个单一的信号组成，由发射端到达接收端，从而完成了通信的过程。但在实际的散射通信系统中，信号会在传输过程中在空、时、频发生变化，到达信号不再是单一的信号，而是由一系列经过衰减、反射、折射和衍射等的信号组成。同时，由于接收机的热噪声影响，带来加性高斯白噪声。当发射机和接收机之间产生相对位移或者传输媒介位置变化时，会产生多普勒频移，这更增加了通信系统的困难。散射信道，是一个十分典型的无线信道，由于传输路径长，产生较大的衰落，由于传输过程中存在信号的散射、折射等现象导致接收机存在多路信号，同时散射通信还受气候，地形等诸多条件影响，由于这些特殊性，散射信道的测量成为研究的热点。  无线信道测量主要研究收发机之间的无线链路在空、时、频三个维度上的相关性，主要的性能指标有多径时延、最大多普勒频移、收发天线的功率和路径损耗等特性。通过实际建模重现无线电波的传播过程。  无线信道测量方法分为时域和频域两类。早期的时域信道测量通过发射速率同信道时变速率相近的窄带脉冲进行信道探测，其核心思想是基于辛克函数的卷积特性。采用此种方法进行信道测量的设备称为脉冲探测器。脉冲探测方法采用相对比较简单的结构，且能直观的展现信道的部分特征。但是对信道特性描述较为粗略。频域测量方法常采用扫频法对信道频域特性进行测量。如利用网络分析仪对室内环境进行的频域特性测量。为了减小对发射端信号峰值功率的限制，并最小化来自其他信道的干扰，脉冲压缩技术（如 PRBS 和 chirp）越来越广泛的应用于信道探测中，其中压缩算法主要有滤波器方法、滑动相关法、并行相关检测法、以及步进相关。此外，近些年来MIMO 通信系统的发展，也促进了 MIMO 信道测量系统的发展。如采用时分多路复用而无需正交波形的 SISO/SIMO 结构中，从不同的天线发射连续的波形，在接收端或顺序接收或并行接收进行 MIMO 的信道测量的设备称为脉冲探测器。  无线信道建模主要分为物理模型和分析模型，物理模型分为确定模型，几何统计模型和非几何统计模型。分析模型分为传播驱动模型和相关分析模型。通过对采集到的信道数据进行建模分析，最终得出信道的相关特性。  在散射通信系统的研究与测试中，需要研究散射系统在不同的信道模型下传输效果，这就需要进行大量的实验，包括野外测试，而野外测试能最真实的反应实际散射通信系统的传输条件，但每次测试开销巨大，并且测试环境的搭建也非常麻烦。同时，单一的测试环境局限性比较大，不能反应通用的散射通信系统。基于这些原因，散射信道模拟仪的搭建将非常有必要。信道模拟仪相对于野外测试更加方便灵活，信道变换模型多。因此，在野外测试之前，先在信道模拟仪上测试将极大提高散射通信系统的研发效率与开销。  2.研究内容  本课题首先分析无线信道的传播特性，以及产生的原因，以及对通信系统带来的影响。为了定量的分析出散射信道相关特性，设计并搭建信道采集平台，利用已有设备在Xilinx FPGA上实现信道数据采集平台，然后野外采集信道数据，在本地建立信道分析模型，分析实际信道的相关特性参数，并与已有经验特性参数对比分析，完成信道测量系统。最终在实验室建立多径多普勒信道模型，完成简易信道模拟仪的搭建。  2.1 信道传播特性和产生原因。信道传播特性根据作用距离大小的不同，无线信道衰落可以分为两大类：大尺度衰落和小尺度衰落。大尺度衰落包括：路径损耗和阴影衰落。路径损耗描述的是平均接收信号功率的变化。阴影衰落主要是由于传播环境中大型障碍物的阻挡和遮蔽造成；小尺度衰落是指无线信道在短距离范围内的快速变化，主要包括：多径效应和多普勒效应。多径效应与多普勒效应导致无线信道产生色散现象，这种色散现象主要表现在时间、频率、角度三个维度。时间色散导致无线信道频率选择性衰落，对应的参数包括时延扩展和相关带宽，功率延迟分布刻画了时间色散特性。频率色散导致无线信道时间选择性衰落，对应的参数包括多普勒扩展和相关时间，多普勒功率谱刻画了频率色散特性。角度色散导致无线信道空间选择性衰落，对应的参数包括角度扩展和相关距离，角度功率谱刻画了角度色散特性。这三种色散现象相互独立，可能部分或同时存在于无线信号的传播过程中。  2.2设计信道采集方案。传统的信道测量方案，通过在发送端循环发送PN序列，接收端采集数据，与本地序列对比，通过数据分析，提取出信道的相关特性参数。要想提高对信道的分析精度，就必须增加采样率，同时增加了数据采集量，这就对传输采集到的数据提出了更高的要求。本方案考虑到散射信道的特殊性，链路距离长、路径损耗大、同时要考虑到实现的复杂度等方面，设计数据采集方案。考虑到Golay互补序列有较好的自相关特性，其自相关函数的旁瓣衰减快，通过仿真分析选取其作为传输序列，在接收机内做匹配滤波，输出两序列的相关值，这样有效的对信道数据进行了下采样，可以大大减少了采集数据的传输量，减少的系统设计的复杂度。  2.3信道采集平台的实现。按照系统采集方案的设计，在Xilinx FPGA上实现信道数据采集平台。发送端循环发Golay互补序列，进行BPSK调制后经过RRC成型滤波器之后，将信号调制到中频信号后，经DA和射频端发出。接收机进行相反操作，将接收到的序列利用匹配滤波进行同步捕获，并进行相应的位同步调整，然后输出匹配滤波后的相关值。FPGA通过网口与PC机相连，利用网口采集数据传输到PC端。整个信道采集系统根据散射信道时变特性，重复同步捕获操作，完成数据的采集。  2.4建立信道模型分析信道传播特性。无线信道建模主要分为物理模型和分析模型，物理模型分为确定模型，几何统计模型和非几何统计模型。分析模型分为传播驱动模型和相关分析模型。由信道传播特性可知，在信道的传播过程中，多径时延、多普勒频移和入射角的扩散是不相关的，同时移动信道应遵从广义平稳特性，根据信号在时域、频域、空域描述线性时变信道的三维随机系统函数和它们之间傅里叶变换的关系，可以分析出信道的传播特性。由于上述系统函数都是三维随机函数，为了简化分析，假设移动信道遵从点散射扩散模型。即移动信道从物理上可以看作在接收端所接收的信号是具有不同延迟、不同频移、不同入射角的足够多传播路径反射，散射的总和，这些路径通常认为是不相关的，即符合点散射模型的。利用上述三维系统随机函数，做相应傅里叶变换分析，可以得出信道传播特性的相关参数。考虑散射信道传播的特殊性，由于接收信噪比低使得一般信道冲激响应提取算法的性能恶化，大大降低多径信号的幅度分辨率和时间分辨率，使得信道参数的提取变得非常困难，本方案拟采用在接收端进行匹配滤波操作，这样就有效的提高了接收信道的信噪比，从而能更精确的提取出信道特性参数。在信道冲激响应的基础上开展大尺度衰落参数和小尺度参数提取算法的研究，有效的提高在低信噪比条件下，信道参数测量的精度。  2.5建立信道模拟仪。在实验室条件下建立简易的具有多径时延和多普勒频移的MIMO信道模型。实际的传输系统中，信道是在射频部分对无线通信系统产生影响，本课题将信道模型加到在发送端RRC成型滤波前，因为发送端相对简单，资源占用小。在发送端，建立多径时延多普勒信道模型，模拟实际中MIMO无线信道，在中频带内加入高斯白噪声，从而整体模拟了实际的信号传输过程。然后在现有散射通信平台中测试信道模拟仪，验证信道模拟仪的性能与正确性，并做相关误差分析。  3.关键技术  本课题为实现散射信道测量系统的设计并建立模型分析相应的信道传播特性参数，关键科学问题主要有一下几个。  3.1 信道测量平台方案的设计。本课题最终要实现信道采集系统，并在野外实际采集信道数据。这就必须考虑FPGA的存储和运算能力，重点更要考虑硬件和PC机之前的数据传输，要想更精确的提取信道特性必须增加采样率，但这样会对采集到的数据传输提了更高的要求，如何有效的采集并传输信道数据成为本课题首先要解决的一个问题。本课题采用在接收端FPGA内对接收数据进行匹配滤波操作，直接将相关结果输出这样有效的对数据进行了下采样，同时匹配滤波结果还可以为系统作为位同步指示，这样可以有效的根据散射信道的时变特性，重复同步采集操作。这样可以大大减少FPGA和PC机之间数据的传输压力，同时有效的提取出信道数据。  3.2 建立信道模型分析信道传播特性。本课题的重点是分析信道的传播特性，为了准确分析出信道的传播特性，必须利用一些先进的信道特性提取算法，有针对性并完整的提取出信道的传播特性参数，为通信系统的方案设计提供定量的理论依据。本课题首先采用点散射信道模型，根据采集到的信道数据的相关值以及它们之间的傅里叶变换对，对信道特性做分析，在时域、频域和空域对信道的相关特性进行数据分析得到信道的多径延迟功率谱、多普勒频移功率谱、收发天线功率等特性参数。并与已有的经验参数对比分析。  3.3 信道模拟仪的设计。在完成了信道数据采集和信道传输特性分析后，根据相关分析结果，在FPGA中实现散射信道模拟仪，在基带建立多径多普勒信道模型，设置基带模拟的多径时延和多普勒频移信道参数，同时在中频段内加入高斯白噪声，这样就模拟了无线信道的传播环境，并做相关测试分析。  4.论文计划  2017.01-2017.02 阅读相关参考文献，了解研究现状和相关研究的热点内容，找到合理的研究方向，制定合理的研究计划。  2017.03-2017.05 制定信道数据采集方案，对方案进行可行性研究，编写FPGA信道数据采集程序及网口端的数据传输程序，并野外采集信道数据。  2017.06-2017.07 对采集的信道数据进行处理分析，建立多径信道模型，分析野外信道数据，得到分析结果。  2017.08-2017.10 根据信道数据分析结果，实验室搭建简易信道模拟仪，建立多径信道模型，并在FPGA中实现信道模拟仪并测试。  2017.11-2017.12 撰写毕业设计论文，准备答辩。  5. 论文进度及目标  5.1 论文进度  2017.01-2017.02 基于前一年的工作积累学习，通过阅读相关的文献，确定的基本的信道研究方案，并制定了合理的研究计划。  2017.03-2017.05 用了两个月的时间，搭建了野外信道数据采集系统，并在FPGA中实现了该系统，并做了相关测试工作，并在野外采集到了大量的信道数据。  2017.06-2017.07 对采集的数据进行过滤、去噪声等工作，分析数据的正确性，建立信道分析模型，对信道数据进行建模分析。得出信道相关特性。  2017.08-2017.10 利用两个月的时间，根据得出的信道特性，在实验室条件下建立信道模拟仪，模拟实际野外信道传出条件，并进行相关测试。  2017.11-2017.12 总结整个工作，对整体工作进行分析，并撰写毕业设计论文，准备答辩。  5.2 论文研究目标  本课题的研究目标是设计一个完整的信道数据采集平台，并进行相应的数据分析，最终得出散射信道传播特性的相关参数，为通信系统的设计提供有力的依据，同时，根据得出的相关参数，完成信道模拟仪设计及实现。首先，课题要求对实际信道进行传播特性测量，因此需要对信道进行合理的建模分析，做出符合实际的假设，同时，信道特性的提取算法的准确性和有效性也非常重要，通过对信道采集数据在时、频、空三个域进行分析，得出信道的最大多径时延，最大多普勒频移和信道损失等相关特性，并与理论数据对比分析。同时课题要求实现整个数据系统采集系统，所以更要考虑系统的可实现性和实现的复杂度等方面。考虑到实际系统硬件的存储和运算能力以及FPGA和PC机通信的传输能力，要求设计一种合适并且高效的信道数据采集系统，提高测量系统的准确性和降低数据采集系统的实现复杂度成为本课题的重点研究目标之一。第三，由于需要建立信道模拟仪，需要考虑整体系统的资源占用，信道的精度等方面因素，以及网口和信道模拟仪之间的数据交换等系统问题。  本课题最终要达到的效果是设计出完整的信道采集系统并建立信道模拟仪，首先搭建信道数据采集系统，并在野外采集信道数据建立信道分析模型，对信道传播特性进行分析，得出相应的信道传播参数。利用这些特性反过来建立信道模拟仪，在实验室模拟信道实际信道传播环境，为以后在实验室中进行通信系统仿真提供基础条件。 | | | |

|  |
| --- |
| **论文进展情况**  2016.11-2017.12 确定毕业论文题目：阅读相关文献，根据以前的积累，确定毕业论文的研究方向，确定毕业论文题目。  2017.01-2017.02 制定研究方案及进度安排：阅读相关参考文献，了解研究现状和相关研究的热点内容，制定合理的研究计划及进度安排。  2017.03-2017.05 信道数据采集并野外采集信道数据：确定信道数据采集方案，对方案进行可行性研究，编写FPGA信道数据采集程序及网口端的数据传输程序，并在实验室条件下进行相关测试分析，最终在野外采集信道数据。  2017.06-2017.07 分析信道数据：对采集的信道数据做相关过滤处理，并建立多径信道模型，编写信道分析程序，对野外信道数据进行处理分析，最终得到信道相关特性的指标数据，并与理论数据分析对比。  2017.08-2017.09 建立信道模拟仪：根据信道数据分析结果，建立多径信道模型，模拟野外信道传输条件，并在FPGA中实现信道模拟仪，并做相关测试。  2017.10-2017.11 总结梳理所做的工作对存在的问题进行整改分析。  2017.11-2017.12 撰写毕业设计论文，准备毕业设计答辩。 |
| **工作成果**  一、已完成的工作内容  首先查阅国内外文献，充分了解信道传播特性、信道测量方案和建立信道分析模型，然后对各类算法、方案实现的可行性和复杂度进行相关分析，选择合适的设计方案和分析算法。确立系统的可行性分析，在理论方面，国内外已经有了对无线信道传播分析、测量并建模分析的完整理论和实现方案。由于Golay自相关特性有很好的相关特性，在同步的导频中应用广泛，可以用作信道测量的发送PN序列。在FPGA内利用匹配滤波计算序列的相关特性，可以认为对信号进行下采样处理，有效的降低了数据传输的压力。在建模分析方面，无线信道分析模型种类较多，根据实际系统需求，选取了点散射模型对信道特性进行建模分析。在工程实现方面，实验室有完整的FPGA开发环境和硬件条件，具有示波器、频谱仪、噪声源等设备，这为信道测量平台的实现提供了有力的保障，基于Xilinx Virtex 6 FPGA的硬件环境，设计实现信道数据采集平台，编写了完整的收发系统和网口数据通信系统程序。完成编程工作之后，利用Modelsim软件进行时序验证。在时序验证通过后，利用Xilinx的ISE工具和Modelsim编写测试程序，针对每个模块进行充分测试，从而验证程序的正确性。  第二，查阅相关资料，了解常用的信道分析模型，结合散射信道特性，选择合适的模型进行建模分析野外实际采集的信道数据，通过模型分析比较，最终得出散射信道传播特性的相关参数，并与已有的经验参数对比分析。  最后，在实验室环下，搭建信道模拟仪，通过在基带建立多径信道模型，设置基带模拟的多径时延和多普勒频移信道参数，同时在中频段内加入高斯白噪声，这样就模拟了无线信道的传播环境，采集信道数据，在PC端做相应的数据分析，验证系统设计的正确性，并对系统的模拟误差作相关分析。  二、取得的阶段性成果：  通过为期近一年的工作，取得的阶段性成功主要有一下几点：  1.完成的信道采集系统在FPGA端的设计及实现，并验证的实际的采集系统的正确性，并实际在野外采集了散射信道传播特性的数据。  2.对野外采集的数据进行了建模分析，从空、时、频三个角度对信道数据进行了相关分析，得出了散射信道的最大多径时延，最大多普勒频移，多径数据等先关参数，并与理论数据做了相关对比分析，验证了采集系统的正确性。  3.在实验室条件下搭建了信道模拟仪，在FPGA中建立信道多径传输环境，在PC端通过网口向FPGA中设计多径个数，多普勒频移，每一径的时延，在中频部分加入高斯噪声，模拟了野外多径多普勒信道的传输环境，并做相关测试，验证系统的正确性。  三、主要创新点  1.PN序列的选取。本课题拟采用Golay互补序列作为信道测量的发送的随机序列，由于Golay互补序列有很好的自相关特性，在无线同步中得到了广泛的应用。考虑到散射信道传播的特殊性，必须选取一个好的PN序列，才能有效的提取信道传播特性相关参数，并为后期模型建立打下基础。  2.数据采集方案的设计。要想提高信道采集的准确性，必须增加对接收信号的采样率，但同时增加了对采集数据传输的负担，为了降低数据传输量，对接收数据进行下采样。本课题拟采用在接收端FPGA内对接收数据进行匹配滤波操作，直接将相关结果输出这样有效的对数据进行了下采样，同时匹配滤波结果还可以为系统作为位同步指示，这样可以有效的根据散射信道的时变特性，重复同步采集操作。这样不仅可以减小FPGA和PC机间数据传输压力，还可以有效的提取信道特性数据。  3.信道测量模型。本课题首先拟采用点散射信道模型，根据采集到的信道数据的相关值以及它们之间的傅里叶变换对，对信道特性做分析，在时域、频域和空域对信道的相关特性进行数据分析得到信道的多径延迟功率谱，多普勒频移功率谱，收发天线功率等特性参数。然后利用先进的信道提取算法，对信道特性参数进行准确的估计，从而得出散射信道传播特性相关参数，并与已有的经验参数做对比分析。 |

|  |
| --- |
| **计划及进度安排**  通过近一年的工作，完成选题，研究方案确立，编写了FPGA信道数据采集程序及网口端的数据传输程序，并野外采集信道数据，然后对采集的信道数据建立多径信道分析模型，得到分析结果。最后，根据信道数据分析结果，建立多径多普勒信道模型，并在FPGA中实现信道模拟仪并测试。基本完成了毕业论文的工作。  下一阶段，主要是对所做的工作进行梳理总结，并发现存在的问题及时解决，同时开始撰写毕业设计论文，准备毕业答辩。 |
| **问题及整改方案**  论文中所遇到的问题及整改方案：  1.数据采集方案的设计。要想提高信道采集的准确性，必须增加对接收信号的采样率，但同时增加了对采集数据传输的负担，为了降低数据传输量，对接收数据进行下采样。本课题拟采用在接收端FPGA内对接收数据进行匹配滤波操作，直接将相关结果输出这样有效的对数据进行了下采样。这样不仅可以减小FPGA和PC机间数据传输压力，还可以有效的提取信道特性数据。  2.信道模拟仪中的设计。需要产生正弦信号，叠加到传输信号中，模拟多普勒频移。初步方案是在计算机中产生正弦信号，通过网口传入，经过测试，网口速率太低，无法满足多普勒频移要求，改为在FPGA内部直接产生正弦信号，网口只传入相应多普勒频移值即可，这样满足了系统的设计要求。 |

|  |
| --- |
| **参考文献**  [1] Young W R, Lacy L Y. Echoes in Transmission at 450 Megacycles from Land-to-Car Radio Units[J]. Proceedings of the Ire, 2012, 38(3):255-258.  [2] Nobles P, Ashworth D, Halsall F. Propagation measurements in an indoor radio environment at 2, 5 and 17 GHz[C]// IET, 1993:4/1 - 4/6.  [3] Smulders P F M, Wagemans A G. Frequency-domain measurement of the millimeter wave indoor radio channel[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 1995, 44(6):1017-1022.  [4] Salous S. Chirp sounder measurements for broadband wireless networks and cognitive radio[C]// International Symposium on Communication Systems Networks and Digital Signal Processing. IEEE, 2010:846-851.  [5] Demery, Andrew. D. Wideband characterisation of UHF mobile radio channels in urban areas.[J]. University of Liverpool, 1989.  [6] Parsons J D, Demery D A, Turkmani A M D. Sounding techniques for wideband mobile radio channels: a review[J]. Communications Speech & Vision Iee Proceedings I, 1991, 138(5):437-446.  [7] Price R, Green P E. A Communication Technique for Multipath Channels[J]. Proceedings of the Ire, 1958, 46(3):555-570.  [8] Vilar E, Moulsley T J, Austin J. A system to measure LOS atmospheric transmit-tance at 19 GHz[P]. AGARD Confproc. 346.  [9] John G.Proakis, Masoud Slehi. digit communications[M]. McGraw-Hill Higher Education. 2007.  [10] 吴伟陵，牛凯. 移动通信原理[M]. 电子工业出版社. 2009.  [11] 杨大成. 移动传播环境：理论基础 分析方法和建模技术[M]. 机械工业出版社. 2003.  [12] 赵雪丽. 散射信道测量方案的研究[D],西安：西安电子科技大学 2014  [13] 隋占菊. 散射信道特征参数测量技术[D],西安：西安电子科技大学 2009  [14] 陈彬. 宽带信道模拟器的数字硬件设计与实现[D],成都：电子科技大学 2015  [15] 冯松. 无线信道测量参数提取算法研究[D]. 西安电子科技大学, 2013: 5-67.  [16] Chao S.Transmission characteristics of a NLOS cloud-scattering  channel[C].Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011: 2066-2069.  [17] Ming Y.Simulation and Analysis of the Effects of Tropospheric Scat-  tering Channel on Signal Waveforms[C]//Wireless Communications Networking and Mobile Computing (Wi COM), 2010 6th International Conference on. IEEE, 2010: 1-4.  [18] 张力军，张宗橙等：数字通信（第四版），电子工业出版社,2008  [19] 丁玉美等，数字信号处理，西安电子科技大学出版社，2003  [20] 徐松毅，姜韬.散射信道测量方法研究.无线电通信技术，2003  [21] 陈迅轶，蒋玲鸽等.一种实时的外场多径信道测量方法.微机计算机信息，2006 |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 姓 名 | 职 称 | 职务 | 工 作 单 位 | | 林家儒 | 教授 | 组长 | 北京邮电大学 | | 别志松 | 副教授 | 成员 | 北京邮电大学 | | 董超 | 讲师 | 成员 | 北京邮电大学 | | 牛凯 | 教授 | 成员 | 北京邮电大学 | | 王思野 | 讲师 | 成员 | 北京邮电大学 |   **评审小组** |

|  |
| --- |
| **导师评语**  该生按计划进行了散射通信信道测量与建模方面的相关研究, 取得了一些成果。 |
| 导师：  日期： 年 月 日 |
| **阶段报告小组意见：** |
| 负责人：  日期： 年 月 日 |
| **学院意见：** |
| 负责人：  日期： 年 月 日 （签章） |