Inline Text Wrapping Picture

南京理工大学

全日制硕士研究生学位论文

开题报告登记表

|  |  |
| --- | --- |
| 姓 名： | 刘哲汗 |
| 学 号： | 123104010600 |
| 学 科： | 通信与信息系统 |
| 所在院系： | 电子工程与光电技术学院 |
| 指导教师： | 刘光祖 |
|  |  |

2024年12月27日

|  |
| --- |
| **一、 拟选定学位论文的题目名称**  基于OFDM的远距离自组网研究 |
| **二、 选题的科学意义和应用前景**  为了解决即时快速组网的问题，人们提出了无线自组网的概念。这是一种特殊的无线通信网，能够实现快速自动组网而无需依赖任何预先架设的网络设施，并具有很强的抗毁性和灵活性。无线自组网广泛应用于军事通信、城乡应急与抢险救援通信、海上通信、矿山隧道与地下空间通信等场景，在军用、专用、民用方面均存在广阔的实际需求与市场。  在需求与市场的推动下国内无线自组网技术得以快速发展，并且有相应成熟产品得到推广应用，广泛应用于网络体系结构、跨层设计、服务发现、网络互联和信息安全传输等。  但网络拓扑高度动态、通信环境多变使信道接入控制成为了自组网技术的难点。现有的无线自组网技术与应用系统仍存在不少缺陷，且不能满足各方面不断增加的新需求，主要体现在网络传输速率不高、传输时延大、组网速度慢、不能有效支持节点移动、传输可靠性不足、不能支持远距离传输等方面。因此研究开发高速率、低时延和高可靠且支持节点移动的高性能无线自组网具有重要技术研究意义和实际应用价值。  OFDM技术能够有效抑制和消除由于信道的时延扩展引起的频率选择性衰落，相比较其他通信技术，在实际运用中具有更高的频谱利用率，在5G、starklink、Wifi等体制上有广泛的应用。如何从物理层、MAC层、网络层等方面设计合适的自组织网络成为重要的研究热点。 |
| **三、 背景科研项目情况简介**  无人机，是一种由操作人员通过无线装置与控制程序操纵的飞行器，与传统载人飞行器相比，无人机造价、运行与训练成本、起降要求更低，风险系数更小、人员安全系数更高。正是由于这些独特的优势，无人机得到了世界各国的重视与研究，自从上世纪五十年代在越南战场上被应用于空中侦察与电子情报任务以来，无人机得到了长足的发展。  然而，单架无人机由于其覆盖范围有限、载荷能力较弱、一旦发生故障或被击落即导致任务失败等缺点，在实际应用场景中会面临许多问题。为了解决上述缺点导致的问题，人们开始逐渐将研究重点转移到多无人机协同技术上，无人机集群的概念引起了人们广泛的关注。无人机自组织网络为无人机集群提供了一种自组织的组网方式，主要思想是将无人机集群中每一架单独的无人机都当成是一个独立的网络通信节点，节点可以收发数据包，也具有路由功能，网络中的节点通过彼此间的信息交互来获取网络中的节点位置、信道资源占用情况以及节点状态等信息，自主构建一个无中心的无线通信网络。无人机自组织网络的提出有效地弥补了传统通信网络依赖固定通信基础设施、难以适应复杂环境与突发状况的缺点，成为了移动自组织网络领域新的研究热点。  本项目的科研背景主要是在无人机自组网应用，适用于在低空经济、海洋通信，地理条件不利于建立常规的通信措施等环境，地面、高空、舰载通信终端和多个无人机在一片海域和空域执行协同勘察任务，无人机在空中有广泛的视野，可以对船载设备周围的大片海域进行勘察，将图像和遥测数据回传到船载终端，这样实现地海空协同工作。可以有多个无人机前往目的地不同方位进行勘察，并且每个机载设备都可以看作一个节点，并且任何节点的加入或退出不会影响其他节点正常连接和数据通信。节点之间数据共享，最终将有效信息通过中继节点传回船载终端设备，达到多方位、多空域、多海域的勘察任务。当网络内节点之间相对位置随机变化时，根据链路通信质量自动路由管理，保证信息通过最短路径进行传输。  自组织路由每个节点均实时统计与接收其他节点的连接关系等信息，并实时动态分享至其他节点，每个节点均拥有整个网络的拓扑结构信息和路由信息。基于MAC层控制协议对每个节点的收发信息进行控制，通过网络传递数据的目标节点，以及下一跳节点的信息、数据长度等信息。同时，节点具有自动多跳接力功能，在受距离、障碍物等因素影响时，节点之间可以实现接力中继传输，并根据节点之间的实时状态选择最优接力中继路径。节点之间传输采用OFDM载波调制技术，具有良好的射频穿透性，可以有效对抗多径衰落、多普勒频移等效应，保证节点在快速移动中进行实时双向传输。 |
| **四、学位论文主要研究内容**  （罗列本学位论文研究的主要问题，例：本学位论文主要包括以下几个方面的研究内容：1、纳米流体的制备：主要研究……。2、纳米流体输运参数实验研究：主要研究……。3、纳米流体聚集结构导热系数理论研究：主要研究……。4、……）  （1）OFDM体制的物理层收发机设计  物理层数据链路的承载方案，包括系统编码方式、传输带宽、物理层的帧结构、捕获、定时、均衡方法等功能模块具体方案设计。从发射端来说，一般分为加扰、卷积、交织、频域调制、子载波映射、添加循环前缀、组帧等操作。为了数据传输的正确性和稳定性，可以为数据设计固定的帧格式，由于自组网中需要考虑节点之间数据传输的时延，因此帧结构也需要精心设计。接收端方面，需要对接收到的信号进行自动增益捕获、选取合适的同步算法进行时间、频率定时、信道的估计与均衡、解子载波映射（或在信道估计之前）、解映射、解交织、解卷积、解加扰，获得数据后根据帧格式读取数据，根据协议判别为有效数据或控制数据，再交给数据链路层进行处理。  （2）基于CSMA/CA的数据链路层设计  同频组网下，为提高信道占用率，需要在MAC层对信道资源进行合适的分配，通信设备需要进行快速的收发切换。CSMA/CA在网络负载较低的情况下能够有更高的信道利用率，考虑通过检查信号能力强度、前导信号相关进行信道监测，采用的退避原则和超时重传机制，并在协议上规划分配每个设备能够占用信道的时间。  （3）实现多跳的网络层动态路由设计  为实现远距离自组网，需要网络节点具备多点中继和转发功能，每个节点不仅是数据的接收者或发送者，同时也是路由器，负责将数据转发到下一个节点。通过有效的路由发现、维护和更新策略，可以确保在动态变化的环境中，数据能够可靠地从源节点传输到目的节点。  （4）通信感知一体化  如今，越来越多的通信设备采用OFDM体制，例如5G、WiFi、还有Starlink的低轨互联网卫星，在已知某些通信体制物理帧帧结构和参数的情况下，通过对自由空间中电磁信号的捕获和解码，获取信道信息。例如在WiFi设备使用较多的家居环境中，通过对环境的电磁环境监测，实现智能家居设备的自动控制和能效管理；当然，也可反向对使用OFDM体制的设备进行干扰，包括物理电磁频谱和协议上进行干扰。 |
| **五、 预期解决的主要问题**  （对每个预期解决的问题介绍其难点所在、国内外研究的现状和趋势、解决问题的基本思路和技术路线、预期解决到什么程度）  （1）物理层帧格式与系统参数设计  数据传输的帧格式对发送和接收端的所有操作均有影响，在实际系统中，不合理的帧格式不仅使得传输不稳定，造成一些不必要的时延和资源浪费，造成网络信道利用率较低，还会让峰均比抑制操作因为数据量过大影响时序设计。OFDM系统的参数如IFFT点数、循环前缀长度等则关乎系统的运算量、峰均比和抗符号间干扰的能力。前导同步信号选用也影响接收机的捕获和定时效率、精确度。  （2）数据链路层信道划分和信道分配  目前，国内主要是基于WiFi的随机多址接入技术的自组网系统和基于LTE 时分多址（TDMA）技术的自组网系统。基于WIFI的随机多址接入自组网系统依赖现有的WiFi标准进行网络功能的改进和创新，以适应相应的无线自组网应用需求，具体根据自组网应用情况选择退避算法和重传机制。CSMA/CA接入技术通过RTS/CTS的这套握手机制很大程度上解决了信道接入冲突的问题，但是增加了协议的控制开销，信道利用率的下降，当节点数量较多时，退避的概率增加，从而导致传输时延也随之上升。基于LTE的TDMA通过时隙分配算法给不同节点分配时隙资源避免信道冲突，但网络节点的变化会时隙分配的算法复杂度增加，并且TDMA的时间同步是一个技术难点，旨在寻找适用于当前移动自组网的最优的信道接入算法和信道控制技术。  （3）实现远距离自组网的动态路由  远距离自组网如无人机组网的应用情况下，网络拓扑结构由于节点频繁移动可能导致路由信息过时，有高动态性，可以使用快速的路由发现机制，减少路由更新时间；由于频繁的网络分区，网络可能因节点移动而分隔，可以使用利用缓存技术，保留已知的路由信息；由于移动节点通常受电池限制，可以设计节能的路由协议，优化数据传输路径；另外，自组网网络可能存在网络风暴。  （4）通信感知一体化  整个OFDM系统接收机需要设计成对已知通信体制结构的接收，结构复杂且工作量较大，提取出合适信息后还需要考虑应用场景和应用方法，发射机若要对已有通信设备进行干扰，则面临道德方面的问题。 |

|  |
| --- |
| **六、开题条件（包括学术条件、设备条件、经费概算及其落实情况）**  本课题组长期从事基带的数字信号处理技术研究，指导老师也均从事通信相关的工作，承担过不少通信相关项目的研究工作，具有丰富的技术经验积累和完整的理论基础体系。课题组拥有完备的设备及平台进行仿真和测试，课题研究经费充足，可以满足课题研究的必要开支。 |
| **七、文献综述**  （通过对文献的整理和归纳，对应“学位论文主要研究内容”一栏所列出的问题，介绍国内外学者对这些问题的研究结果及对其前景的看法。）  随着国家低空空域管理改革的不断推进，民用无人机(unmanned aerial vehicles，UAV)飞行需求呈现迅猛增长趋势，并在商业、公共、军事、旅游和体育等领域得到了广泛应用[1]。5G网络建设带动通信领域的快速发展，无人机之间的通信能力得到大幅提升，未来无人机群将比单一无人机拥有更广泛的应用前景[2]。与单一无人机相比，无人机群的群体效益更高，生存能力更强，同时群体协同作业也具有更高的机动性。因此，无人机群在联合侦察、搜索救援、协同作战等任务中具有更广泛的应用[3]。  研究表明，无线自组织网络是最适合用于无人机群系统协同作业的网络结构[4]，自组织指通信终端不依赖任何其他设备，各个设备独立运行，通过相关调度算法自动地组成网络结构，通过组建强伸缩性、高动态性、迅速组网和抗毁能力强的无人机群自组织网络，能够实现高度的群体智能化，协同完成众多单机难以实现的任务。  一、OFDM物理层设计  凭借极高的频谱利用率和易与DSP模块FFT运算相结合的特性，近年来，OFDM调制解调技术近年来得到广泛且成功的应用。在对4G蜂窝网络的空中接口进行考虑时，由于OFDM对多径效应有很强的抵抗能力，OFDM调制与解调技术被采用。随着多进多出技术的出现，LTE将OFDM技术作为网络演进的标准，已经在全球获得商用，中国于2013年颁发了4G牌照，OFDMA被采用为LTE的下行技术[5]。在第五代移动通信中，OQAM-OFDM技术由于对各载波之间无需同步，具有更好的兼容性，成为5G关键技术的重要组成部分。现有针对美国太空探索公司SpaceX的低轨物联网星座卫星研究指出，Starlink同样采用了OFDM技术体制[6][7]。  文献[8]讨论了在环境日益复杂的情况下OFDM系统的同步问题，首先对常用的同步方法进行了分类，根据是否利用了辅助数据可大致分为两类。非数据辅助算法不增加额外数据，提高了系统利用率，主要包含盲同步和基于循环前缀的算法，往往复杂度较高，例如文献[9]就提出过一种频率盲同步算法，利用了虚拟子载波的特性，但计算繁琐；文献[10]和文献[11]则是基于最大似然估计法利用CP进行定时估计，实现简单，但是性能较差。  数据辅助方式则主要包含了基于导频和基于训练序列两类方法。典型的OFDM系统中，常在时频域插入一些导频信号用于系统的信道估计与均衡，以Meyr和Classen为代表的学者提出了一些基于导频特性的同步算法[12]，以Schmidl为代表的学者则提出构造特殊的训练序列，通过序列自相关特性完成定时和频率同步。文献[13]指出OFDM在未来的遥测系统中具有潜在的技术优势，但是由于遥测通信具有低信噪比和高动态的特点，会给该技术的具体应用带来不小的挑战。同时，由于多种通信系统均可使用非授权频段使得工作在该环境下的WLAN系统容易受到窄带干扰的影响，因此该文主要研究了针对高动态遥测环境以及窄带干扰环境下的OFDM同步技术。  针对非授权频段上OFDM系统容易受到窄带干扰影响的问题，该文研究了窄带干扰环境下的OFDM系统同步算法。首先分析了窄带干扰对OFDM通信系统性能的影响，并以Park算法为例，理论分析并仿真了NBI对同步算法定时度量函数的影响；然后分别研究了基于时域和频域的窄带干扰消除技术，并通过仿真不同的干扰消除技术来测试OFDM同步算法的性能变化；最后针对频域干扰检测给出了一种能够更好地滤除受到干扰的子载波的阈值设定方法。文献[14]针对高速场景下快衰落信道中OFDM系统的信道估计问题做了细致研究。在分析无线信道统计特性的基础上，分别采用Clarkc模型、Jakes模型、改进的Jakes模型以及TDL模型对无线信道建模。文献[15]根据信道忙闲比调整接入参数，根据网络繁忙状态设置不同优先数据的接入概率，并在分析网络协议与碰撞概率、吞吐量指标相互关系的基础上设置等待时延等参数，最终设计出一种具有QoS(Quality of Service)保障、支持低优先级业务的长距离CSMA/CA协议。传统自组网中CSMA/CA协议是使用较多的随机接入协议，但在无人机自组网中，由于传输时延较大将导致CSMA/CA协议端到端时延增大，不能满足无人机自组网的需求。此外，由于访问是基于发送器的感知，该协议存在隐藏终端问题，当网络负载较重时，隐藏终端将导致通信系统性能严重下降。  二、数据链路层设计  文献[16]在无人机自组织网络中使用GPS 模块提供时钟同步，实现了时隙ALOHA 协议。而IEEE802.11DCF协议以冲突避免的载波侦听多路访问（Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance,CSMA/CA）为基本的接入方式。文献[17]为无人机自组织网络提出了一种新颖的MAC协议LODMAC（Location Oriented Directional MAC），它结合了方向性天线的利用和MAC层内相邻节点的位置估计，在IEEE802.11 DCF 协议的基础上通过定义新的BTS（Busy To Send）帧以及RTS（Request To Send）帧和CTS（Clear To Send）帧，有效解决了定向天线的聋节点问题，提升了网络性能。文献[18]提出了一种AMUAV 协议，基于 802.11DCF 协议的RTS/CTS 机制解决隐终端问题，同时每个节点使用GPS获取定位信息，利用信道侦听更新目标信息表，采用全向天线与定向天线结合的方式发送数据。仿真表明该协议实现了对吞吐量和时延的优化。  文献[19]为在无人机机载中继通信网络中减少中继延迟，提出了一种动态时分多址接入方案，以减少空中中继通信中的中继延迟，并允许多个节点有效地访问网络。所提出的方案还执行有效的资源分配并支持无缝语音通信，以适应节点频繁加入和离开的军事通信环境，同时应用了时间镜像方案。时间镜像方案的原理为：从源节点接收数据包的中继节点直接将数据包中继到目标节点，而无需任何其他处理。所提出的方案将两个时隙指定为一个镜像时隙，以最小化在中继节点的时隙分配过程中引起的延迟。通过将空闲的镜像时隙划分为多个微型时隙并允许节点随机访问微型时隙，可以完成时隙分配。  文献[20]根据不同网络场景下不同MAC协议的性能优势设计了一种称为CT-MAC的自适应MAC协议。CT-MAC允许无人机在执行侦察任务时根据其自身位置在CSMA 和TDMA之间切换。仿真结果表明与单MAC 协议相比，CT-MAC通过快速透明的MAC切换始终保持理想的性能，验证了协议的可行性与有效性。文献[21]针对无人机自组织网络提出了一种自适应容错同步MAC协议，称为FS-MAC，该协议可以在飞行器自组织网络（Flying Ad Hoc Network,FANET）的CSMA/CA和TDMA协议之间切换。文献[22]针对无人机自组网中基于邻节点协作的时隙接入问题提出了一种自组织的冲突发现机制，每个广播节点都可通过该机制来判断自己的传输是否成功。文章将时隙接入问题转化为两个模型，并且提出两种分布式的同步算法来实现这两个模型中的纳什平衡。  由于Ad Hoc多跳无线网络在无人机网络领域的重要性，在过去几年中，人们对基于IEEE 802.11载波侦听多路访问/冲突避 免（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoid，CSMA/CA）的无线自组网络的网络性能产生了极大的兴趣[23][24][25]，尤其是对多接口网络的网络性能。目前，国内外文献主要基于马尔科夫链来描述Ad Hoc网络中单个节点的状态，进而对网络吞吐量、 时延等性能建立数学分析模型。文献[26]基于有限节点的单冲突域网络等假设，建立二维马尔科夫链模型描述节点状态，并对饱和网络吞吐量进行建模分析。文献[28]在文献[27]的基础上研究了非饱和状态下网络的吞吐量，其分析结果能准确捕获非饱和网络吞吐量的一些特性。文献[30]通过考虑多跳Ad Hoc网络中节点通信范围和载波侦听范围间的关系，分析了多冲突域网络中隐藏终端对网络吞吐量的影响。文献[30]基于接口均匀选择策略，提出了单冲突域多接口吞吐量建模的方法。文献[31]在文献[27]的基础上，通过考虑节点独特的稳态概率，对饱和场景下的单接口多冲突域网络吞吐量性能进行了建模分析。但以上这些文献缺乏对多冲突域下多接口网络吞吐量建模方法的研究。为此，本文基于文献[31]对多冲突域网络容量的研究和文献[30]的多接口策略，对多冲突域下多接口无人机自组网 饱和吞吐量进行建模分析。为了研究多接口无人机自组网络吞吐量性能，本文首先针对CSMA/CA多冲突域下多接口无人机自组网，使用二维马尔科夫链模型对无人机节点发包概率、包碰撞概率等重要参数进行数学分析；其次将分析结果应用于环形编队无人机网络，并对该网络饱和吞吐量进行数学建模；最后，对该饱和网络吞吐量分析模型进行了仿真验证及性能分析。  三、网络层路由设计  路由协议是移动自组织网络（Mobile Ad hoc network，MANET）实现自组织功能的关键技术。近年来，研究人员提出了 多种不同的路由协议，包括基于距离向量的协议、基于链路状态的协议、基于位置的协议等。按照路由建立方式的不同，可以将这些路由协议主要分为先验式路由和反应式路由以及混合式路由三类。移动自组织网络的先验式路由协议是由传统有线网络路由协议演化而来的，适用于网络规模较小、拓扑变化缓慢的场景。先验式路由协议会主动维护前往网络中所有节点的路由。当需要发送报文时，节点可以通过查询路由表获得前往目的节点的下一跳信息。类似于有线网络路由协议，无线自组织网络中的先验式路由协议也可以分为链路状态式与距离矢量式两类。其中，链路状态路由协议会在每个节点上构建、存储全网拓扑，并基于全网拓扑使用Dijkstra算法计算全网路由。而全网拓扑的构建是通过节点将自身的一跳邻居信息周期性地分享给网络中的其他节点完成的。距离矢量路由协议通过分布式地执行Bellman-Ford算法建立全网路由。在距离矢量式路由协议中，节点会将路由表周期性地分享给邻居节点，松弛邻居节点的路由，直至路由收敛。相比于链路状态路由，距离矢量路由的收敛速度更慢，路由计算所产生的开销也更少。优化链路状态路由协议[32][33]（Optimized Link State Routing，OLSR）是一种适用于MANET的链路状态路由协议。OLSR协议在继承 此类协议路由收敛迅速、报文传输延迟较低等优点的同时使用多点中继机制限制信令报文在网络中的扩散，在一定程度上弥补了链路状态类路由协议开销过大的缺点。目的序列距离矢量协议[34]（Destination Node Sequence Distance Vector，DSDV）协议是一种经典的适用于MANET的距离矢量式路由协议。该协议的特点是通过目的节点序列号机制解决了其他同类型协议存在的路由环路问题。反应式路由协议是专用于移动自组织网络的新型路由协议[35]。在空闲时，反应式路由协议不会主动计算前往其他节点的路由，也不会主动地与其他节点周期性地交换拓扑或路由信息。当需要发送业务数据时，源节点才会广播路由请求报文（Routing Request，RREQ），寻找路由。目的节点收到RREQ后会向源节点回复路由应答报文（Routing Reply）完成路由的建立。如此，在网络拓扑发生变化时，反应式路由协议不需要更新整张路由表，只是按需地重新寻找路径。因此相较于先验式路由，反应式路由可以减少路由所产生的控制开销，对节点能量与存储空间受限的MANET 更加友好，也更适用于大规模的动态网络环境。典型的反应式路由包括：动态源路由协议[35]（Dynamic Source Routing，DSR）与无线自组织网络按需平面距离矢量路由协议[36]（Ad Hoc On-demand Distance Vector，AODV）。DSR协议会将RREQ 传播过程中经过的所有节点地址记录在源地址列表中。如果已有前往目的地址的路由，中间节点收到RREQ后会将包含完整路径信息的RREP报文发送回源节点；如果没有则转发RREQ并将其地址添加到源地址列表中，直到目的节点收到RREQ报文。AODV协议是DSDV与DSR的结合体。AODV协议不再将完整路径信息保存在RREQ报文中，而是将路由的建立分为反向路由建立于正向路由建立两个过程。中间节点收到RREQ报文后会先建立前往源节点的反向路由，其中反向路由的下一跳为从其处首次收到RREQ报文的邻居节点。接着中间节点根据其是否已有前往目的节点的路由选择回复RREP或转发RREQ。同时，AODV还使用了DSDV的目的序列号机制来避免路由环路的形成。混合式路由协议结合上述两类协议的特点，从而在一定程度上平衡了路由开销与路由效率。区域路由协议[37]（Zone Routing Protocol，ZRP）是混合式路由协议 的典型代表。该协议将网络划分为多个圆形区域。节点使用先验式路由协议计算前往本区域内所有节点的路由。如果有要发往域外节点的业务数据，节点则使用反应式路由在域间寻找路由。  在OLSR协议中，节点会维护两跳邻居信息，以便从一跳邻居中选择出可以覆盖所有二跳邻居的节点集合。集合中的节点被称为MPR（MultiPoint Relay）节点。在广播携带链路状态信息的拓扑控制（Topology Control，TC）报文时，只有MPR节点才可以转发报文。通过这种方式OLSR协议可以有效地减少建立网络拓扑所产生的信令报文数量。MPR集合的计算是一个经久不衰的议题。OLSR 协议使用一种贪心算法计算MPR节点[38]：节点会贪心地选择一跳邻居中可以覆盖最多未被覆盖的二跳邻居的邻居，如此循环直到所有二跳邻居都被覆盖。此算法简单有效，但容易陷入局部最优解。同时贪心MPR计算算法会使得MPR节点比非MPR节点消耗更多能量。文献[39]提出了一种基于“意愿”的MPR计算方案。该文中，节点会根据自身的能 量状态宣布一个适当的意愿值，若电池电量不足，节点会宣布W\_LOW意愿，避免其被选为MPR节点；反之则宣布W\_HIGH意愿。作者表示该方案可以在不影响 OLSR功能的前提下更好地平衡负载。文献[40]优化了OLSR所使用的贪心算法，节点会将一跳邻居按能量水平优先排序，优先指定剩余能量更高的节点作为MPR节点；若有多个能量水平相近的一跳邻居则优先选择覆盖最多二跳邻居的节点。文献[41]提出了一种基于模糊逻辑的MPR算法。接收到Hello消息后，每个节点会使用模糊逻辑算法根据节点间距离、相对移动性和接收到的信号强度对邻居进行评估。在指定MPR节点时，节点会优先选择评估值更高的邻居。文献[42]提出一种基于DQN的MPR 智能计算算法。作者将MPR选择过程建模为一个马尔科夫决策过程：智能体每次决策的动作为一个k维的01向量表示是否选择某一邻居为MPR节点，其中k为节点的邻居数量。经验证，该算法具有更高的公平性且冗余性低于基于贪心的MPR计算算法。  四、通感一体化  在最近的几年中，通信感知一体化系统的研究工作也逐渐增多。由于目前的主流移动通信系统以及无线局域网（Wireless Local Area Network，WLAN）中大面积 使用的802.11a/g/n系列协议均使用了OFDM调制解调方式，因此在通信感知一体化场景研究中，大多都使用了OFDM调制解调作为最基本的方案。在此前，文献[43]提出了使用OFDM信号进行信道估计，原因在于其在信道衰落以及多径效应中有更好的适应性。这篇文章已经从原理上阐述了OFDM信号如何应用于信道估计，并且从已有的OFDM通信系统中提取出一部分功率用于传感功能，提出了将OFDM信号沿子载波维度与时间维度进行二维化的矩阵展开，后续使用离散傅里叶变换或饭离散傅里叶变换法对矩阵提取出其中的信道时延以及信道多普勒频移等参数。同时，该系统直接对调制信号进行操作，而不是对基带信号进行处理，因此简化了系统的复杂度。在后续的研究，例如文献[44]中，已经在应用OFDM调制解调的基础上，加入了MIMO收发模块，用来控制发送波束的方向[45][46]。发射端在形成OFDM信号后，通过MIMO发射天线阵列经过不同的馈电相位后，得到人为控制的波束指向。在视距（Line of Sight,LOS）条件下，通过接收天线阵列获得来自目标的直射反射回波。通过对接收天线阵列的多路接收信号进行最小描述长度标准（Minimum Description Length,MDL）来对多路回波信号进行目标数量检测，然后利用多路信号分类算法（multiple signal classification algorithm，MUSIC）来接收到对多路子信号的样本子空间进行SVD矩阵分解得到的样本子空间与噪声子空间进行比较，得到关于回波DOA的伪频谱函数，通过伪频谱函数尖峰判断回波角度，并以此推断目标的相对角度[47][48]。在得到目标数量以及回波到达角后，对多路接收子信号做统一相位的处理后，将OFDM信号沿着子载波维度与时间维度二维化展开为系数矩阵，分别沿两个维度做离散傅里叶变换/反离散傅 里叶变换。对得到的矩阵的每个元素取模后得到数个尖峰，通过定位每个尖峰在矩阵上的横纵坐标位置，得到被探测目标相对感知系统的相对距离以及相对速度。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **八、学位论文工作进度安排** | | | | | | | |
| **序号** | **时间** | **研究内容** | | **预期效果** | | | |
| 1 | 2024.10 | 2024.11 | | OFDM物理层设计和工程搭建┧ | | | |
| **九、文献/论文**  入学以来国内外刊物上发表或拟发表的文章 | | | | | | | |
| **序号** | **论文题目** | | **发表信息** | | **排名** | **类别** | **对应学位论文章节** |
|  |  | |  | |  |  |  |
|  |  | |  | |  |  |  |
|  |  | |  | |  |  |  |
|  |  | |  | |  |  |  |
|  |  | |  | |  |  |  |
|  |  | |  | |  |  |  |
|  |  | |  | |  |  |  |

查阅主要文献资料目录清单

|  |
| --- |
| [1]Xu C,Liao X.Tan J et al．Recent research progress of unmanned aerial vehicle regulation policies and technologies in urban low alti tude［J］．IEEE Access,2021,8:74175-74194.  [2]Wei Y,Blake M B，Madey G R.An operation-time simulation framework for UAV swarm configuration and mission planning［J］．Procedia Computer Science,2023,18:1949-1958.  [3]Brust M R，Zurad M,Hentges L,et al．Target tracking optimiza tion of UAV swarms based on dual-pheromone clustering［C］IEEE International Conference on Cybernetics(CYBCONF)．New York:IEEE，2019:1-8.  [4]Sahingoz O.K．Networking models in flying ad-hoc networks(FANETs):concepts and challenges［J］．Journal of Intelligent ＆ Robotic Systems,2014,74(1):513-527．  [5]杨学志.通信之道-从5G到微积分[M].北京：电子工业出版社，2016.282-283.  [6]Humphreys,T.E,Iannucci,P.A.,Komodromos,Z.M.and Graff,A.M.Signal structure of the Starlink Ku-band downlink.IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems,2023,59(5),6016-6030.  [7]Komodromos ZM,Qin W,Humphreys TE.Signal Simulator for Starlink Ku-Band Downlink:InProceedings of the 36th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2023) 2023 Sep 15,2798-2812.  [8]徐童晖.复杂环境下OFDM信号同步技术及其FPGA实现研究[D].成都：电子科技大学，2020.  [9]宋铁成.下一代移动通信系统中的OFDM技术[J].移动通信,2011,11:20-23.  [10]Tourtier P J,Monnier R,Lopez P.Multicarrier modem for digital HDTV terrestrial broadcasting[J].Signal Processing Image Communication,1993,5(5-6):370-403.  [11]Van de Beek,Jan Jaap,Sandell,et al.Low-complex frame synchronization in OFDM systems[C].IEEE ICUPC.IEEE,1995:982-986.  [12]M.Speth,F.Classen,H.Meyr.Frame Synchronization of OFDM systems in frequency selective fading channels[C].IEEE Vehicular Technology Conference.IEEE,2010.  [13]李雅欣.高动态及干扰环境下OFDM同步技术研究[D].西安：西安电子科技大学，2017.  [14]郑亚平.快衰落信道中OFDM系统信道估计算法研究[D]:西安：西安电子科技大学，2017.  [15]顾时豪.基于竞争的航空自组织网络MAC协议研宄[D].上海交通大学，2016.  [16]Zhixian Z,Yajun W,Yuan Y,et al:Implementation of UAVs communication network based on dynamic TDMA MAC protocol[C].2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE).IEEE,2010,6:551-554.  [17]Temel S,Bekmezci I:LODMAC:Location oriented directional MAC protocol for FANETs[J].Computer Networks,2015,83:76-84.  [18]Alshbatat AI,Dong L.Adaptive MAC protocol for UAV communication networks using directional antennas[C].2010.International Conference on Networking,Sensing and Control(ICNSC).IEEE,2010:598-603.  [19]Park J,Baek H,Lim J:A Dynamic TDMA Scheme for UAV Based Relay in Combat Net Radio Networks[C].International Conference on Information Networking (ICOIN).IEEE,2019:290-295.  [20]Wang W,Dong C,Wang H,et al:Design and implementation of adaptive MAC framework for UAV ad hoc networks[C].2016 12th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks(MSN).IEEE,2016:195-201.  [21]Zhang M,Dong C,Huang Y.FS-MAC:An adaptive MAC protocol with fault-tolerant synchronous switching for FANETs[J].IEEE Access,2019,7:80602-80613.  [22]Yao K,Wang J,Xu Y,et al: Self-organizing slot access for neighboring cooperation in UAV swarms[J]:IEEE Transactions on Wireless Communications,2020,19(4):2800-2812.  [23]WANG F,LI S P,DOU Z F,et al.Markov modeling methods for performance analysis of IEEE 802.11 protocol[C]//2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology,Electronic and Automation Control Conference,2018:2071-2075.  [24]SHAH A F M S,ILHAN H,TURELI U.Modeling and performance analysis of the IEEE 802.11 MAC for VANETs under channel fading and capture effect[C]//2019 IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications,2019:1-5.  [25]KAFAIE S,AHMED M H,CHEN Y Z,et al.Performance analysis of network coding with IEEE 802.11 DCF in multi-hop wireless networks[J].IEEE Transactions on Mobile Computing,2018,17(5):1148-1161.  [26]KARABULUT M A,SHAH A F M S,ILHAN H.Performance modeling and analysis of the IEEE 802.11 DCF for VANETs[C]//2017 9th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT),2017:346-351.  [27]BIANCHI G.Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J].IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2000,18(3):535-547.  [28]MALONE D,DUFFY K,LEITH D.Modeling the 802.11 distributed coordination function in nonsaturated heterogeneous conditions[J].IEEE/ACM Transactions on Networking,2007,15(1):159-172.  [29]WANG B,SONG F,ZHANG S D,et al.Throughput modeling analysis of IEEE 802.11 DCF mechanism in multi-hop non-saturated wireless ad-hoc networks[C]//2008 International Conference on Communications,Circuits and Systems,2008:383-387.  [30]BENCINI L,FANTACCI R,MACCARI L.Analytical model for performance analysis of IEEE 802.11 DCF mechanism in multi-radio wireless networks[C]//2010 IEEE International Conference on Communications,2010:1-5.  [31]LIU X J,SAADAWI T N.Throughput analysis of IEEE 802.11 multihop ad hoc wireless networks under saturation condition[C]//the IEEE symposium on Computers and Communications,2010:245-248.  [32]Clausen T,Jacquet P:Optimized link state routing protocol (OLSR)[J]:IETF RFC,2003,3626(3626):1- 75.  [33]Jacquet P,Muhlethaler P,Clausen T,et al:Optimized link state routing protocol for ad hoc networks[C]:IEEE INMIC 2001:Technology for the 21st Century:IEEE,2001:62-68.  [34]Perkins C E,Bhagwat P:Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers[J]:ACM SIGCOMM computer communication review,1994,24(4):234 244.  [35]Johnson D B,Maltz D A,Broch J:DSR:The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks[J]:Ad hoc networking,2001,5(1):139-172.  [36]Perkins C,Belding-Royer E,Das S:Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing[J]:IETF RFC,2003,3561(3561).  [37]Mittal S,Kaur P:Performance Comparison of AODV,DSR and ZRP Routing Protocols in MANET's[C]:2009 international conference on advances in computing,control,and telecommunication technologies:IEEE,2009:165-168.  [38]Williams B,Camp T:Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks[C]:Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing:2002:194-205:  [39]De Rango F,Fotino M,Marano S:EE-OLSR:Energy Efficient OLSR routing protocol for Mobile ad-hoc Networks[C]:MILCOM 2008-2008 IEEE Military Communications Conference:IEEE,2008:1-7.  [40]Prajapati S,Patel N,Patel R:Optimizing performance of OLSR protocol using energy based MPR selection in MANET[C]:2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies:IEEE,2015:268-272.  [41]Dashbyamba N,Wu C,Ohzahata S,et al:An improvement of OLSR using fuzzy logic based MPR selection[C]:2013 15th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS):IEEE,2013:1-6.  [42]陈博伦:切片化自组织网络智能路由与映射研究[D]:电子科技大学,2021.  [43]Christian Sturm,Werner Wiesbeck:Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing[J]:IEEE | Vol:99,NO:7,2011-1  [44]Enrico Paolini,Andrea Giorgetti:System-Level Analysis of Joint Sensing and Communication based on 5G New Radio[J]:IEEE journal on selected areas in communications,2022-1-28.  [45]L:Pucci,E:Matricardi,E:Paolini,W:Xu,and A:Giorgetti:Performance analysis of joint sensing and communication based on 5G New Radio[J]:IEEE Work:on Adv:in Netw:Loc:and Nav:(ANLN),Globecom 2021,Madrid,Spain,2021-10.  [46]A:Evers,J:A:Jackson:Analysis of an LTE waveform for radar applications[J] in 2014 IEEE Radar Conference,Cincinnati,USA,2014-5 ,pp:0200–0205.  [47]YUJIAN PAN ,GUO QING LUO,HUAYAN JIN,AND WENHUI CAO:Direction-of-Arrival Estimation With ULA:A Spatial Annihilating Filter Reconstruction Perspective[J]:IEEE ACCESS:Received March 17,2018,accepted April 13,2018,date of publication April 20,2018,date of current version 2018-5-16.  [48]Azardokht Zahernia,Mohammad Javad Dehghani,Reza Javidan:MUSIC Algorithm for DOA Estimation Using MIMO Arrays[C]:The 6th International Conference on Telecommunication Systems,Services,and Applications 2011. |

注：本表可加页。

|  |
| --- |
| **导师审核意见**  未审。 |
| **指导教师签名：刘光祖**    **年 月 日** |

注：本表由学院（系）保存，在学位论文答辩时提供给答辩委员,供委员参考。

南京理工大学硕士研究生学位论文开题报告评分表

学号：123104010600 姓名：刘哲汗

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 评审  项目 | 评 分 标 准 | | 得分  （百分制） |
| 一、选题依据、选题难度及先进性（50%）A | 80~100分 | 选题为本学科前沿领域，具有很强的先进性，有较大的理论意义或应用价值；或选题技术难度高，有较大的实用价值和经济效益，有足够的工作量。 |  |
| 60~80分 | 选题为本学科前沿领域，并具有较强的先进性，有一定的理论意义和实用价值；或有一定的技术难度、实用价值和经济价值；有足够的工作量。 |
| 60分以下 | 所选课题缺乏理论意义和应用价值，基本没有实用价值和经济效益；或者所研究的内容已经被前人解决；研究课题与本学科的发展方向不一致，先进性不明显，工作量不足。 |
| 二、理论基础和专门知识(25%)  B | 80~100分 | 所选课题涉及较深的基础理论和专门知识或解决工程技术问题所需的基础理论和专门知识。 |  |
| 60~80分 | 所选课题涉及的基础理论和专门知识一般或解决工程技术问题所需的基础理论和专门知识一般。 |
| 60分以下 | 所选课题涉及的基础理论和专门知识不够或解决工程技术问题所需的基础理论和专门知识不够。 |
| 三、文献综述（25%）C | 80~100分 | 阅读较广泛，综述较全面，归纳总结较正确，掌握了本学科国内外发展最新动态。 |  |
| 60~80分 | 阅读和综述一般，基本了解本学科国内外发展最新动态。 |
| 60分以下 | 阅读量不足，综述不够，基本上不了解本学科国内外发展最新动态。 |
| 总分 | 总分=0.5A+0.25B+0.25 C | |  |

南京理工大学硕士研究生学位论文开题报告答辩意见表

学号：123104010600 姓名：刘哲汗

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 报告日期 | |  | | | 报告地点 | |  | 听众人数 |  |
| 审  批  专  家  组  名  单 | 姓名 | | | 职称 | | 所在学科（专业） | | | |
|  | | |  | |  | | | |
|  | | |  | |  | | | |
|  | | |  | |  | | | |
|  | | |  | |  | | | |
|  | | |  | |  | | | |
|  | | |  | |  | | | |
| 审  批  专  家  组  意  见 | 专家组组长签字：  年 月 日 | | | | | | | | |
| 总体评价等级 | | | A(优)； B(良)； C(合格)； D（不合格） | | | | | | |