论文题目：基于认知的子带跳频OFDM系统研究

# 立题依据：不少于800字；

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)是一种能抵抗频率选择性衰落的高速率传输技术，已经被多种通信技术标准所采用，包括数字用户环路(DSL)，数字音频广播(DAB)，数字视频广播(DVB)，以及新一代的无线局域网(WLAN)和LTE-Advanced的下行空口技术。OFDM很容易克服多径时延环境中的符号间干扰(inter-symbol-interference, ISI)。

跳频(Hopping Frequency, FH)技术是一种有效的电子对抗通信技术，在军事通信领域有着广泛的应用。跳频技术是在信息传输过程中使信号的频率随时间跳变的一种技术。普通的信号一般调制在单一频率上，容易被干扰和侦听。而跳频通信的频率不断变化，只要收发双方跳频的规律一致，就可实现安全可靠的通信。

认知无线电的两大主要任务是发现频谱机会和利用频谱机会。在军事通信中，信道上的干扰情况往往十分复杂。通过认知无线电勘察信道频谱特性，在合适的频段传输信息能够有效地回避干扰，提高通信的可靠性。OFDM在频谱成形方面具有单载波传输无法匹敌的优势，根据认知系统得到的频谱信息选择关闭干扰较大的频段上的子载波，从而合理利用频谱。

未来的信息化战争对通信网络的性能提出了更高的要求，具体来说就是要求通信网络具有通信系统数字化、通信处理实时化、高速数据通信、支持高速移动以及更高的抗干扰性等能力。同时，在军事通信中，安全保密始终是一个要重视的问题。认知跳频OFDM系统结合了三者的优势，通过OFDM系统保证了高速率的数据传输，又能利用认知无线电有效地对抗干扰，跳频技术的引入有助于防侦听，保证了通信的安全性与保密性。

## 参考文献：

[1] 陈斌. 跳频序列的生成方法及其在FH-OFDM通信系统中的应用[D]. 西安电子科技大学, 2009.

[2] 宿兴辉. 跳频OFDM及相关技术的研究[D]. 北京邮电大学, 2009.

[3] 戈立军, 巨阿强, 李春雨,等. 基带跳频多频带OFDM超宽带系统频率同步算法[J]. 南开大学学报自然科学版, 2013(4):81-87.

[4] 王琳琳. OFDM-FH通信系统抗干扰研究[D]. 西安电子科技大学, 2008.

[5] 陈月强. 短波信道下多载波跳频通信技术研究[D]. 西安电子科技大学, 2007.

[6] Shi Q, Yang Z, He L, et al. All digital baseband frequency hopping OFDM system[C]// IEEE Singapore International Conference on Communication Systems. 2008:661-665.

[7] Jeon W G, Chang K H, Cho Y S. An equalization technique for orthogonal frequency-division multiplexing systems in time-variant multipath channels[J]. IEEE Transactions on Communications, 1999, 47(1):27-32.

[8] Tarasak P, Lin Z, Peng X, et al. Performance Evaluation of Fast Frequency Hopping OFDM over UWB Channels[C]// IEEE Vehicular Technology Conference, Vtc Spring 2009, 26-29 April 2009, Hilton Diagonal Mar, Barcelona, Spain. DBLP, 2009:1-5.

[9] Roque D, Siclet C. Performances of Weighted Cyclic Prefix OFDM with Low-Complexity Equalization[J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(3):439-442.

[10] Schmidl T M, Cox D C. Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM[J]. IEEE Transactions on Communications, 1998, 45(12):1613-1621.

# 内容目标：不少于2500字（博士生不少于4000字）；

为了满足未来的信息化战争对于军事通信系统的需求，高速率、高可靠的子带跳频OFDM系统具有其独有的优势。扩展能力强，频谱利用率高，具有很强的抗衰落能力等特点使得OFDM系统被广泛应用于各种通信系统中，跳频技术的引入使得其具有了极强的防侦听能力，通过认知系统的频谱感知可以优化对OFDM系统中子载波的调度，进一步提高系统的频谱利用率和抗干扰能力。对于此系统的研究对于工程应用具有重要的理论指导意义。

## 研究内容：

### 子带跳频OFDM系统仿真平台搭建

此系统一共分为两个信道，业务信道和控制信道。业务信道采用OFDM方案，用于业务数据的传输。控制信道基于SC-FDMA，用于下行指示。本文主要研究业务信道部分，即OFDM系统的关键技术，同时负责控制信道中部分信令的设计。

业务信道采用OFDM技术方案，在子带跳频OFDM系统中，信道在频域上可以划分成多个子频带，各个子频带中可能存在各种程度的干扰。认知系统负责感知各个子带上的干扰情况，然后给出子带上子载波的选择指示。子带跳频OFDM系统依据认知系统所给出的指示信息选择关闭OFDM信号上的部分子载波，这样可以避开干扰，更有效地利用频谱资源。

子带跳频OFDM系统发送端调制拟采用MQAM调制方式。二进制比特流通过MQAM调制得到QAM复数符号序列，然后依据认知系统提供的指示，结合所选择的跳频图案选择在QAM符号序列的某些位置插入零值，再添加控导频序列。干扰的认知依靠SINR的计算来估计得出，利用已知的导频信息可以估计出该频段上的干扰功率值，以此为参考可以进行子载波的资源调度。导频序列用于信道估计，用于承载跳频同步信息和子载波接收同步信息。

将上述过程产生的序列进行串并变换之后经过IFFT得到OFDM时域样值，再并串变换后添加循环前缀，得到OFDM信号的复包络。此时由于串并之前根据认知系统的指示在干扰较强的频段所对应的信号位置上插入了零值，即该子载波上没有调制信息，原始QAM符号调制在干扰较弱的频段所对应的子载波上。OFDM调制完成之后添加循环前缀(Cyclic Prefix, CP)，用于对抗多径时延扩展。最后将得到的信号按照跳频方案进行跳频，即进行基带信号的频谱搬移，频谱搬移所对应的频率由跳频序列决定。

信道的仿真可以通过限带高斯白噪声和瑞利衰落模型来模拟频域上的不均匀干扰。

接收端将下变频、DAC之后的跳频信号根据跳频方案进行跳频同步，其实是对跳频信号的相干解调，得到基带接收信号。对基带接收信号进行载波同步和定时同步，去CP之后依据控制信道的信息进行OFDM信号的解调，将子载波上的数据组合成正确的数据流。通过对解调结果的数据统计，以对比传统子带跳频OFDM系统的性能来研究本系统的抗干扰能力。

控制信道用于下行指示，应该负责承担传输跳频图案的同步信令和子载波资源分配信息的任务。由于控制信道是工作在固定频点的单载波信号，无法躲避干扰，所以采用Turber-Hadamard这样有足够抗干扰能力的短码以及低速率传信。在这样的情况下，控制信令必须进行信息压缩，才能够在一定的时间内完成信息的完整传递。

### 跳频方案设计

为了防止第三方拦截收发双方的通信信号，就必须阻止其获悉收发双方所使用的频率，为此就需要发送双方经常改变载波频率。一般情况下，我们把发送方的载波频率改变的情况，叫做跳频图案。

在理想情况下，跳频图案应该是随机变化的，这样能够更有力地保证通信的可靠性。但在实际实现中，随机变化的跳频图案是很难实现准确即时的接收的，那么，我们通常采用的跳频图案是收发双方事先约定好的、按照一定规律变化的伪随机序列。一个好的跳频图案应该考虑以下几点：

1. 图案本身的随机性要好，要求参加跳频的每个频率出现的概率相同。随机性好，抗干扰能力强。
2. 图案的密钥量要大，要求跳频图案的数目要足够多，这样抗破译的能力强。
3. 图案的正交性要好，要求各图案之间出现的频率重叠的机会要尽量的小。

跳频图案的性质，主要是依赖于伪随机码的性质。所以选择合适的伪码序列成为获得好的跳频图案的关键。

用来控制载波频率跳变的地址码序列通常被称作跳频序列。在跳频序列的控制下，载波频率跳变的规律称为跳频图样或跳频图案。

跳频序列的性能对跳频系统的性能有重大影响，直接影响到系统的抗截获、抗干扰、同步等性能及系统的组网能力。如果跳频序列设计的不好，即使跳频通信系统的其他方面设计的很出色，也达不到抗干扰的目的。设计具有理想性能的跳频序列是本课题的研究内容之一。

理论上来说跳频序列应该是一种伪随机序列，也就是说任何一种伪随机数生成算法都可以用来生成跳频序列。目前比较常用的跳频方案有：基于m序列的伪跳频序列，基于RS码的跳频序列，基于混沌序列的跳频序列。从随机性上来看，m序列的序列空间最小，RS码的序列空间稍大，混沌序列的序列空间最大。这说明混沌序列具有更大的随机性，更难破解和预测。而在跳频间隔上，混沌序列也是三者之中最大的。混沌序列拥有最优良的性能同时也拥有最高的复杂度。通过仿真分析跳频序列的统计特性，研究跳频方案的性能。

### 控制信道设计

控制信道承载调度以及其他控制信息，具体包含传输格式、资源分配、上行调度许可、功率控制以及上行重传信息等。本课题中控制信道应承载以下两种控制信息：

1. 跳频方案的选择信息，在未选取跳频方案的情况下，接收端需要根据控制信道选择与发送端相同的跳频方案，以便收发能够进行正确的跳频同步，这是整个跳频OFDM系统正常工作的前提。
2. 下行子载波的调度信息，用于下行子载波接收的控制，即告诉接收端信息分布在哪些子载波上，便于接收端OFDM符号同步。

跳频方案的选择关系到整个系统的防侦听能力，因此控制信道在传输此信息时应该考虑信息安全的问题。受控制信道帧长限制，不能通过一般的加密算法来保证其信息安全，需要对帧格式进行设计以满足保密性的要求。由于伪随机序列的产生大都基于几个参数，控制信道应该负责传递这参数或者是与参数选择有关的一些信息。处于保密性的要求，应该尽量不直接传递参数。为一个参数集合设计一个能够通过控制信道所传递的信息遍历这个集合的方案，便是本课题的研究内容之一。

子载波的调度关系到系统的抗干扰能力，在跳频同步的情况下，控制信道应该承载下行子载波的调度信息。控制信道只传递当前子带下子载波的调度信息，同样受限于控制信道帧长，子载波的选择信息承载在有限长度的序列中需要有足够的信息压缩率。这需要对控制信道帧格式进行合理的设计，使其能满足系统单个子频带下所有子载波调度信息的需求。

### 跳频图案与子载波资源联合调度

由于全频带频谱资源有限，采用子带跳频的方式，即以某一子带带宽为单位进行跳频，而不是信号全带宽，这样可以保证跳频有足够的频点范围。由于在跳频过程中还需考虑窄带干扰，故在选取跳频图案时要尽可能减少在窄带干扰较多的子带上通信的时间，在假设窄带干扰在一定时间内不变的情况下，动态而有目的地选择合适的跳频图案能提高系统的有效带宽，以获得更高的速率。

子载波资源调度也需要根据干扰的情况来决定，在干扰较强的频带，如果信道基本已经不容许信息传输的情况下则可以在该频带选择不分配子载波资源。而如果在干扰不是特别强的情况下，仍允许有一定的传输速率，则可以适当降低传输速率，使其能接近信道的信道容量，从而最大化地利用信道资源。

由于子载波的调度会因跳频频点的改变而改变，所以两者的调度也需要联合起来，考虑干扰分布强弱来选择跳频图案，基于跳频频点以及当前子带干扰情况合理地分配子载波资源，以达到对信道的最大利用率。

## 研究目标：

本课题意在从实际应用场景为出发点，通过系统级仿真，深入研究和评估基于认知的子带跳频OFDM系统中关键技术的性能，在实现复杂度可以允许的情况下，进一步提高频谱效率和传输容量。

首先用C++程序搭建传统的子带跳频OFDM系统，通过增加模拟信道的方式仿真验证下行发送流程的正确性和完整性。之后研究各种跳频方案的性能，从中选取性能较优且复杂度较低的算法，在选定的跳频方案基础上设计控制信道格式。然后为原有子带跳频OFDM系统添加控制信道和跳频模块，仿真验证控制信道协议和跳频模块的正确性，在此基础之上分析研究系统各个模块的性能，为以后的项目工程提供参考。同时规范程序接口，优化代码的效率和可读性，降低将来代码移植的难度。

# 方案设计：不少于800字（博士生不少于1000字）；

## 研究方案设计：

本课题的研究是在理论分析的基础上，进行方案设计，通过计算机仿真实验验证流程的正确性与完整性，进一步分析系统中算法的性能。

通过前期调研，查阅相关文献资料，并在指导老师的帮助下，结合自身相关学习经验，针对本课题的研究内容和特性，制定了以下研究方案：

1. 理论知识准备，利用学校图书馆，网上论文数据库、相关书籍等资源，查阅相关文献资料，储备理论知识，为后续算法优化和方案设计打下基础；
2. 确定具体的研究任务，在理论知识和相关调研的基础上，结合具体的实际情况选择主要的技术研究点；
3. 进行技术调研，对课题系统中的下行通信流程以及具体的算法技术进行学习，然后针对具体的技术方案进行技术调研，确定实现方式；
4. 设计技术方案，在理论准备和技术调研的基础上，对基于认知的子带跳频OFDM系统流程进行设计，确定各个模块的技术实现方案；
5. 搭建系统级仿真平台，实现各个模块功能，完成联调和测试工作。完善系统级仿真平台上的实现代码，对算法进行性能仿真，并通过仿真结果的验证，进一步优化和完善方案设计；
6. 完成论文，整理相关文献资料，程序代码和仿真结果，完成论文最终的撰写和答辩工作。

## 技术路线：

1. 设计C++程序代码结构，对系统部分进行模块化细分，确定各个模块的功能；
2. 依照设计的系统流程方案先完成发送端代码的编写，借助Matlab对数据进行频谱分析来测试发送流程的正确性；
3. 编写接收端各模块代码，通过与发送端程序联调来测试、修正代码；
4. 完成总体流程框架，添加模拟信道进行对系统进行性能仿真；
5. 结合仿真结果调整与改进系统设计方案，修改对应代码，不断进行仿真与方案改进；
6. 对算法与程序进行优化，整理代码。

## 可行性分析：

OFDM系统已经被多种通信技术标准所采用，跳频OFDM系统也已经被应用于实际场景的通信系统中，其可行性早已被充分验证。LTE系统中常借助频谱感知的信息进行资源调度，而LTE系统的下行由OFDM技术实现，故认知OFDM也是是可行的。

综上所述，本课题在认知信息的基础之上搭建子带跳频OFDM的基本流程，并在实现的平台上进行一些算法优化，具有充分的可行性，能够完成既定的目标。

# 课题特色：不少于500字（博士生不少于800字）；

## 1 基于认知的子带跳频OFDM系统

将OFDM与跳频技术结合起来的子带跳频OFDM系统具有更强的灵活性、更高的频谱利用率、更强的抗衰落能力和更优秀的抗截获能力，充分利用了OFDM调制技术和跳频技术的优点。根据认知信息的指示，OFDM系统可以更有效地调度子带上的子载波资源，更进一逼提高了频谱资源的利用，同时也增强了抗干扰能力。

## 2 跳频方案与子载波联合调度方案的设计

由于全频带频谱资源有限，采用子带跳频的方式，即以某一子带带宽为单位进行跳频，而不是信号全带宽，这样可以保证跳频有足够的频点范围。由于在跳频过程中还需考虑窄带干扰，故在选取跳频图案时要尽可能减少在窄带干扰较多的子带上通信的时间，在假设窄带干扰在一定时间内不变的情况下，动态而有目的地选择合适的跳频图案能提高系统的有效带宽，以获得更高的速率。

子载波资源调度也需要根据干扰的情况来决定，在干扰较强的频带，如果信道基本已经不容许信息传输的情况下则可以在该频带选择不分配子载波资源。而如果在干扰不是特别强的情况下，仍允许有一定的传输速率，则可以适当降低传输速率，使其能接近信道的信道容量，从而最大化地利用信道资源。

由于子载波的调度会因跳频频点的改变而改变，所以两者的调度也需要联合起来，考虑干扰分布强弱来选择跳频图案，基于跳频频点以及当前子带干扰情况合理地分配子载波资源，以达到对信道的最大利用率。

## 3 控制信道的设计

控制信道的设计是整个系统研究的重要一步，控制信道承载的跳频信息应该具有一定的保密性，不能让跳频方案的选择被截获。控制信道承载的子载波调度信息又需要具有足够的信源压缩率，能够在有限的长度里承载各个子载波的开关信息。两种情况下的控制信道都需要仔细地设计。

# 基础条件：不少于500字（博士生不少于800字）；

## 研究工作积累基础：

通过本科和研究生阶段通信课程的学习，对通信领域的相关技术和知识有比较系统的了解和认识。在研究生阶段，在实验室LTE相关项目中完成MATLAB 到CCS平台的代码移植工作，熟悉OFDM系统相关算法。曾经参与实验室软件无线电的基带信号处理等相关项目，对C++平台数字信号处理流程的仿真实现有着比较清晰而全面的了解。对于系统的关键技术理解透彻，明确研究任务和实现目标，优化算法和系统仿真相结合，最大可能地提升系统性能。

## 已具备的实验条件：

1. 本课题的老师在无线通信领域，有着卓越的理论研究成果和实践开发经验，能够把握课题的大方向，可以对一些概念模糊的问题提出有效指导；
2. 本人参与过实验室相关项目，熟悉系统流程与相关算法，具备良好的C++编程基础；
3. 具备VS，MATLAB等软件平台。

## 缺少的实验条件和拟解决途径：

1. 缺少验证平台。通信系统仿真程序的各个模块，在C++平台下都很难验证其正确性。而对于整个系统的功能更是如此，缺少一个可以进行对比的平台。可以通过C++平台的数据导入MATLAB进行数据分析，对比MATLAB中通信模块的数值计算结果以验证其C++程序的正确性。
2. 虽然有LTE和软件无线电等项目的实践经验，但缺少对子带跳频OFDM系统最新技术成果的研究，还需要在深入细致了解技术实现流程的基础上，不断查阅文献，结合数学推导，对研究方案进行改进。

# 学位论文工作计划:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间 | 研究内容 | 预期效果 |
| 2016年3月 | 子带跳频OFDM系统关键技术调研 | 明确研究任务和方向 |
| 2016年5月 | 搭建子带跳频OFDM系统C++仿真平台 | 实现对子带跳频OFDM系统的仿真 |
| 2016年6-7月 | 根据理论推导，对现有方案提出优化和改进 | 完成技术方案的改进和优化工作 |
| 2016年8月 | 对方案进行数值仿真，调整改进技术方案 | 完成仿真结果的处理工作 |
| 2016年9月 | 对系仿真结果进行对比分析 | 分析仿真结果，得出结论 |
| 2016年10-11月 | 撰写论文撰写 | 完成论文撰写 |