**问题1：系统设计时OFDM与SC-FDE二者之间的联系是什么？**

回答1：

单载波频域均衡系统结构与OFDM系统极为相似，二者都采用了分块传输技术和FFT/IFFT运算模块，同时都采用了循环前缀来消除码间干扰。不同之处仅仅是SC-FDE系统发送的是单路数据流，它的IFFT模块位于接收端，是为了将经过频域均衡之后的频域数据变成时域数据；OFDM系统的IFFT模块位于发送端，是为了实现多路数据的数字基带调制。

考虑到军用通信中的人为窄带干扰，利用OFDM技术的多路并行传输机制执行相应的子载波资源调度从而实现躲干扰功能，利用控制信道(SC-FDE)传递业务信道实际使用的子载波信息和调制方式、码率等信息，针对实际的窄带干扰情况设计了控制信道的传输协议；针对系统在很低信噪比下的通信性能问题，设计了一种自相关性很强的用于控制信道的导频序列，并在-30DB信噪比的条件下进行了同步性能仿真验证，结果表明具有良好的同步捕获性能，利用此同步序列设计了双系统接收端的同步捕获方案。

**问题2：有没有同其它的设计方案比较，为什么选择OFDM和SC-FDE技术？**

回答2：

本文面向系统设计与实现，工作重点放在了如何让硬件实现更为简单，OFDM技术和SC-FDE技术可以共用许多算法模块，FFT/IFFT的出现也带来了方便。

正交频分复用技术(OFDM），是多载波传输方案的实现方式之一，可以有效的避免频率选择性衰落，频谱重叠也提高了频谱效率。由于其实现方式采用了IFFT和FFT，可以很方便的根据需要进行子载波调度的选择。

单载波频域均衡系统综合了单载波技术和OFDM技术的优点，与OFDM系统相比，由于没有正交调制带来的对载波同步精度的高要求，没有多载波信号叠加带来的峰均比高的问题，因而对功率放大器的动态范围要求相对比较低，降低了功率放大器的实现成本，从而降低了接收端系统的设计难度。

综上，选用OFDM技术是为了利用其子载波调度进行躲干扰通信，考虑到低信噪比下长导频序列带来的有效信息占比问题，我们使用SC-FDE技术作为控制信道，负责双系统同步及为业务信道传递一些控制信息。

**问题3：描述一下仿真的过程，FPGA实现的结果有吗？**

回答3：

由于工作量和时间问题，本文最终在Vivado平台上进行了仿真验证和资源分析，并未上板调试。

我们搭建了OFDM和SC-FDE浮点仿真系统进行算法选择和性能调优，借助MATLAB工具对仿真结果进行处理，将不同信噪比下系统的误码率曲线作为系统性能的评估标准。

首先在AWGN信道下，我们统计系统的误码率曲线，评估整个系统算法的正确性，其次在AWGN和多径信道下通过误码率曲线评估系统的整体性能，之后对比了不同的均衡算法对系统性能的影响，综合性能与实现复杂度选取了迫零均衡算法。对于OFDM系统比较了LS算法后未去噪、采取平滑去噪、不同的平滑点数对信道估计性能的影响；在SC-FDE系统中对比了LS信道估计算法中不同的去噪方案(DFT去噪，平滑去噪)对系统性能的影响，最终采取了DFT去噪方案进行了双重去噪。

**问题4：控制信道有效信息有限，那么传递的控制信息的格式？**

回答4：

控制信道主要承载以下两种控制信息：

码率指示信号：接收端需要根据不同的方案选择对应的接收方案进行解调接收，三种方案的指示信号可以用两比特来完全表示。

下行的子载波调度信息：考虑到人为窄带干扰一般不超过1Mhz，将可调制带宽分为128个子带，可以通过0/1比特来指示子带是否被干扰，那么总共需要128比特，1代表该处子带可用且有信息传递，0代表该子带处有窄带干扰。

即必要的控制信息占据130比特，在控制系统信源192比特的情况下还存在一定的富余用于其他控制信息。

**问题5：控制信道是如何抵抗-30dB的干扰的？**

回答5：

导频序列使用长度为16384点的GHG序列，负责在低信噪比下的同步，接收端该匹配滤波器较传统的滤波器，有更少的抽头数和更小的功率开销，极大节省了硬件资源。

编码采用低码率Turbo-Hadamard编码，使用4个分量码编码器，分别生成对应的校验位，码率接近1/8，在接收端进行全串行译码。

控制系统帧结构包含一个导频符号和90个数据符号，数据部分发送的是编码后序列的重复，即将1472长度的编码结果重复为90\*2048长度的序列，序列重复是为了获得抗干扰增益，在接收端软解调后会将各个重复的部分复用在一起，送去译码。实际过程中以10帧为单位（即重复有效数据序列在10帧范围内重复，可以带来10db的增益）。