

UWB-OFDM 系统的实现结构

徐 斌, 毕光国

(东南大学移动通信国家重点实验室, 江苏南京 210096)

摘 要: 超宽带(UWB)技术与正交频分复用(OFDM)调制相结合的 UWB-OFDM 系统可能成为短距离、高数据率无线网络理想的传输/接入方案之一。然而,随着带宽增加,UWB-OFDM 系统的实现难度也随之增大。为此,本文系统地研究了频域直扩、多支路分集、多支路频域均衡、双层多载波频分复用、双层多载波频率分集、双层多载波跳频等几种典型的实现结构,以及它们的组合。分析了不同实现结构的特点及相互关系,为 UWB-OFDM 系统的设计提供一定的理论参考。

关键词: 超宽带; 正交频分复用; 频率分集; 实现结构; 并行处理

中图分类号: TN914, TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 12A-157-04

Implementation Structures for UWB-OFDM Systems

XU Bin, BI Guang-guo

(State Key Laboratory of Mobile Communications, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: An ultra-wideband orthogonal frequency division multiplexing system (UWB-OFDM) may be an ideal transmission/access solution for short-range, high data rate, wireless networks. As the occupied bandwidth increases, however, its implementation becomes more and more difficult. To solve this problem, we investigate a few of typical implementation structures, frequency-domain direct spreading (FDSS), multi-branch diversity (MBD), multi-branch frequency-domain equalization (MBFDE), double-layer multi-carrier frequency division multiplexing (DLMC-FDM), double-layer multi-carrier frequency diversity (DLMC-FD), double-layer multi-carrier frequency hopping (DLMC-FH), and their combinations, for UWB-OFDM systems. The analysis focuses on the characteristics of each structure and the relationship between any two structures. The findings try to provide a theoretical foundation for the design of UWB-OFDM systems.

Key words: ultra-wideband; orthogonal frequency division multiplexing (OFDM); frequency diversity; implementation structure; parallel processing

1 引言

近年来,超宽带(UWB)技术在无线通信领域的应用引起了人们广泛的关注^[1~10]。相对于传统的窄带无线通信系统,UWB 无线通信系统具有高空间频谱效率、高测距精度、低截获概率、抗多径衰落、不干扰现有通信系统、低功耗、低成本等诸多优点和潜力^[1]。这些优点使 UWB 通信成为中短距无线网络理想的传输/接入技术之一^[2]。然而,为了使 UWB 无线网络在密集多径环境中提供高数据率、多用户同时通信、以及使 UWB 系统同众多的窄带通信系统共存,UWB 系统仍然面临着众多严峻的挑战^[1]。如何很好地解决多径干扰(MPI)、窄带干扰(NBI)、多用户干扰(MUI)、实现复杂度及低功耗和低成本等问题将是 UWB 系统设计的关键。为此,人们进行了大量的研究,提出了众多的解决方案。其中,UWB 与 OFDM 相结合的 UWB-OFDM 系统既可以通过灵活的频谱划分或多带策略巧妙地解决 NBI 和 MUI 问题,也可以通过循环前缀(CP)和频域均衡很好地克服 MPI,还可以利用丰富的带宽资源和频率分集

有效地抑制衰落,因而成为短距离、高数据率无线个域网(WPAN)主要的物理层传输技术之一^[3,4]。

然而,随着使用带宽和传输速率的增加,UWB-OFDM 系统对采样速率、模数变换(DAC)和数模变换(ADC)速率、信道编码复杂度、信号处理速度、射频(RF)前端和天线带宽的要求都将大大提高。其中,每个环节都有可能成为 UWB-OFDM 系统实现中的瓶颈。为此,本文将从 UWB-OFDM 系统实现结构的角度研究解决上述问题的各种途径。

不失一般性,在本文的研究中,假设 UWB-OFDM 系统可以获得足够的带宽用于干扰抑制或频率分集。根据带宽的使用方式,UWB-OFDM 系统的实现结构主要分为单频带(Single-Band)结构和多频带(Multi-Band)结构两大类。本文将在第 2 节中,研究单频带结构,包括频域直扩结构(FDSS)、多支路分集结构(MBD)和多支路频域均衡结构(MBFDE)等;在第 3 节中,研究多频带结构,包括双层多载波频分复用结构(DLMC-FDM)、双层多载波频率分集结构(DLMC-FD)和双层多载波跳频结构(DLMC-FH)等;在第 4 节中,介绍其它结构;最后,给出

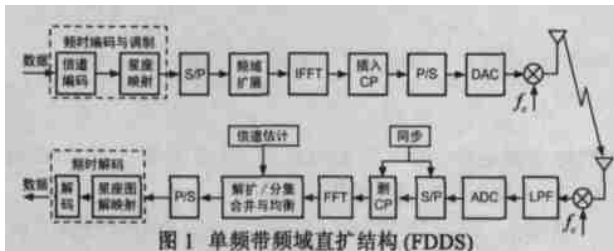
本文的小结.

2 单频带结构

采用载波调制的单频带结构的主要特点是,经过 DAC 后的信号占用 UWB-OFDM 系统所有可获得的带宽,该信号被调制在单个中心载波上发射,其频谱特性通过子载波加载或滤波进行控制.下面,分别介绍 FDSS、MBD 和 MBFDE 三种单频带结构及它们之间的相互关系.

2.1 频域直扩结构(FDSS)

在 UWB-OFDM 系统中,假设有丰富的带宽可以获得,那么,这些带宽既可以通过信道编码的方式获得频率分集和编码增益,也可以通过时间和频率扩展的方式获得抗干扰或频率分集能力,例如广义的 MC DS-CDMA 系统^[11].不失一般性地,本文仅讨论频率扩展的情况.为此,我们可以设计如图 1 所示的单频带频域直扩结构(FDSS).在该结构中,数据既可以分别通过信道编码和星座图映射获得复信号,也可以通过频时联合编码与调制获得复信号. IFFT 提供的子载波数远远大于串并转换(S/P)后的复信号个数,这样,每个复信号可以通过直接扩展的方式调制在多个子载波上发射,这些子载波既可以是相邻的或衰落相关的,也可以是不相邻的或衰落独立的.当这些子载波衰落相关时,接收端可以通过简单的解扩算法获得抗 MUI 或 NBI 的能力,但不能有效地抑制衰落;当这些子载波衰落独立时,接收端可以通过简单的合并(如最大比合并)获得频率分集增益及抗衰落能力,但需要相对复杂的信号处理算法实现有效的干扰抑制.



2.2 多支路分集结构(MBD)

在 FDSS 结构中,为了获得最大的频率分集增益,需要尽可能地使传输相同复信号的多个子载波衰落独立,一种简单而直观的方法是通过周期重复的扩展方式使这些子载波之间的频率间隔最大.不难知道,该方法将使时域信号具有离散脉冲的特性,根据这样的特性,我们可以简化 FDSS 结构,获得如图 2 所示的等价结构——单频带多支路分集结构(MBD).

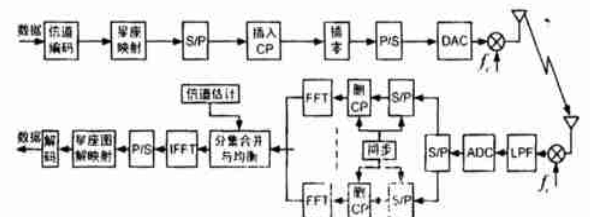
在发射端,根据上述信号的特性,MBD 结构可以对经过 S/P 后的信号先进行 IFFT 处理后再通过插入零单元的方法获

得与 FDSS 结构相同的时域离散等效信号,这样,将大大降低 IFFT 的复杂度.假设在 FDSS 结构中,信号周期重复的次数为 D,那么,IFFT 的计算量将降低到约 1/D.在接收端,根据时域信号的脉冲特性,信号可以分成多支路并行接收和处理,这样,不仅可以在一定程度上降低每条支路上 FFT 的复杂度,还可以通过并行处理大大降低系统对 FFT 计算速度的要求.

同 FDSS 结构比较,MBD 结构没有改变编解码、RF 和天线部分的设计,但简化了 IFFT/FFT 的实现.MBD 结构是 FDSS 结构一种特殊情况的简化而等价的实现方法.既然多支路相应的信道响应可以假设为衰落独立的,那么,通过分集合并,MBD 结构可以获得很好的分集性能,从而有效地抑制衰落.如果把多支路看作衰落独立的多天线,不难理解,通过适当的信号处理,MBD 结构也可以很好地抑制 MUI.

2.3 多支路频域均衡结构(MBFDE)

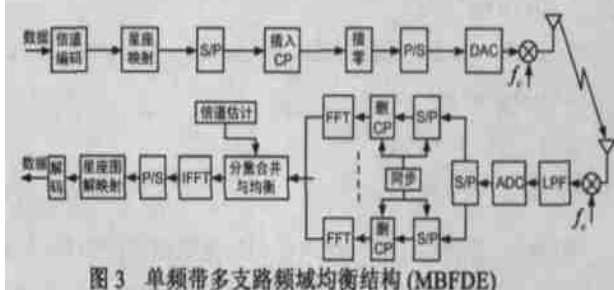
OFDM 调制虽然可以有效地抑制 MPI,但也存在很多问题,例如,峰-均功率比(PAPR)和频率同步等问题.为了解决这些问题,人们提出了具有同等 MPI 抑制能力的替代结构——采用 CP 的频域均衡(FDE)技术^[12].借助该思想,在 MBD 结构的基础上,我们可以设计如图 3 所示的单频带多支路频域均衡结构(MBFDE)^[5,6].假设收发端不采用频时联合编解码与调制解调的情况.在发射端,除了经过 S/P 后的复信号不需要经过 IFFT 变换而直接插入 CP 之外,其他的部分都与 MBD 结构相同.在接收端,除了需要对经过分集合并与均衡后的信号进行 IFFT 处理之外,其余部分也都与 MBD 结构相同.



可见,MBFDE 结构除了继承 MBD 结构的抗 MPI、抗 MUI 和并行处理等优点之外,还具有降低发射信号 PAPR 和提高抗衰落能力等优点.缺点则包括:不便于采用频时联合编码与调制技术提高系统性能,不能通过自适应子载波加载方法抗 NBI,以及增加的 IFFT 运算提高了接收机的复杂度.不过,MBFDE 结构可以通过适当的信号处理算法很好地抑制 NBI.相对于 D 路 FFT 运算,当 D 较大时,一路 IFFT 给接收机增加的复杂度也相对较小.

3 多频带结构

在单频带结构中,虽然可以通过 MBD 和 MBFDE 结构在一定程度上降低 IFFT/FFT 的复杂度和处理速度,但并没有降低系统对 RF 带宽、采样和 ADC 速率的要求.虽然可以通过自适应子载波加载避免 NBI,但复杂较高.为了降低系统对 RF 带宽、采样和 ADC 速率的要求,以及更加灵活地抑制 NBI,我们可以采用多频带结构.多频带结构的基本思想是,把可获得的带宽分成多个较小的子频段灵活使用,每个子频段单独调



制在相应的中心载波上发射,当某个子频段内存在 NBI 时,可以通过停止其使用而巧妙地避免 NBI.

在多频段结构中,既在整个带宽内采用多个中心载波调制多个子频段的信号,也在每个子频段内采用 OFDM 多载波调制多路并行信号,因此,多频段结构也称为双层多载波结构.本节将主要介绍 DLMC-FDM、DLMC-FD 和 DLMC-FH 等三种双层多载波结构.

3.1 双层多载波频分复用结构(DLMC-FDM)

DLMC-FDM 结构如图 4 所示,其基本思想是,把高速率的数据分成多个数据流(Multi-stream),每个数据流由一个子频段传输,而在每个子频段内,则采用 FDSS 实现结构.

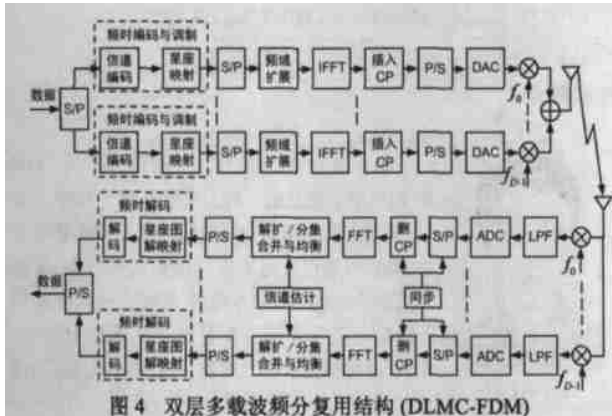


图 4 双层多载波频分复用结构(DLMC-FDM)

在 DLMC-FDM 结构中,既可以通过增减子频段的使用个数灵活地调节数据率,也可以停用存在强干扰的子频段灵活地抑制干扰,同时也降低了系统对 RF 带宽、编解码、采样和 ADC 速率的要求.由于每个子频段都采用 FDSS 结构,在扩展因子相同的情况下,DLMC-FDM 与 FDSS 结构具有相同的抗干扰能力.

在获得上述优点的同时,DLMC-FDM 结构也存在一些缺点.首先,不采用 IFFT/FFT 全数字快速实现把多个子频段调制到多载波上,将增加系统的复杂度.其次,为了在提高频谱利用率的同时降低子频段之间的相互干扰,系统将提高对滤波器性能的要求.另外,在每个子频段内,传输相同复信号的多个子载波之间的频率间隔受限,可能影响频率分集的性能.

3.2 双层多载波频率分集结构(DLMC-FD)

在 FDSS 结构中,当信号采用周期重复的方式实现频域直扩时,为了降低系统对 RF 带宽、IFFT/FFT 处理速度、采样和 ADC 速率的要求,也可以采用如图 5 所示的等价实现结构

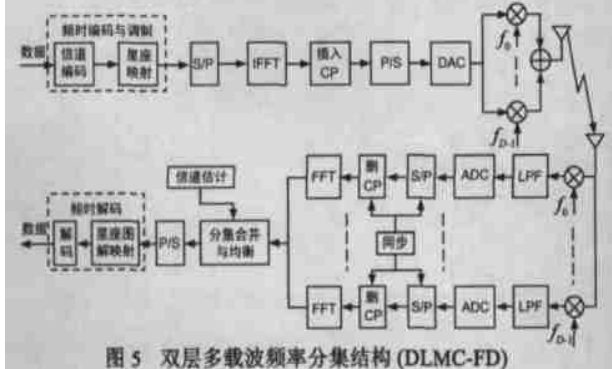


图 5 双层多载波频率分集结构(DLMC-FD)

——双层多载波频率分集结构(DLMC-FD).

DLMC-FD 结构继承了双层多载波结构的灵活性,因而可以自适应地选择部分干扰和衰落较小的子频段来传递信息,也可以通过增减子频段的使用个数灵活地调节频率分集增益或抗干扰能力,从而有效地控制通信质量或通信距离.

同 MBD 结构比较,DLMC-FD 结构的主要差别体现在 RF 部分.DLMC-FD 结构通过双层多载波调制不仅降低了 IFFT/FFT 的处理速度,还降低了系统对 RF 带宽的要求,并增加了抑制 NBI 的灵活性.

3.3 双层多载波跳频结构(DLMC-FH)

在 DLMC-FD 结构中,还可以以一个或多个 OFDM 符号为周期,交替地使用可获得的子频段,即在一个或多个 OFDM 周期内,有规律地选择使用一个或多个子频段.这样,可以设计如图 6 所示的双层多载波跳频结构(DLMC-FH)^[4],其中,在每个 OFDM 周期内只使用单个子频段,而交替周期为一个 OFDM 符号.这样,通过切换中心频率,可以使系统在每一时段内等效于只使用了单个子频段,因而大大降低了 UWB/OFDM 系统的实现复杂度.通过设计适当的跳频序列,DLMC-FH 也可以有效地抑制 MUI^[4].

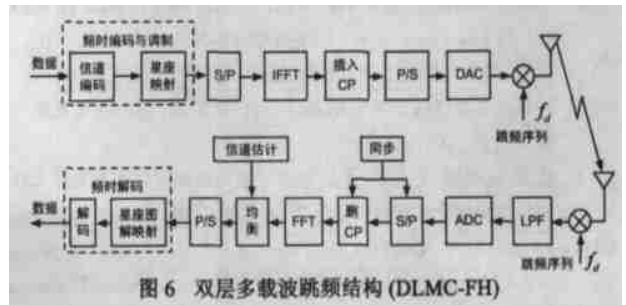


图 6 双层多载波跳频结构(DLMC-FH)

DLMC-FH 结构在获得上述优点的同时也存在一些缺点.首先,在瞬时功率谱密度严格受限的情况下,既然在一个或多个 OFDM 周期内只使用单个子频段发射信号,那么,总发射功率将低于其他结构.其次,减少每个 OFDM 符号使用的子频段数将降低频率分集性能.另外,中心频率的快速切换也会给实现带来一定的困难.

4 其他结构

前面介绍的几种实现结构都是采用载波的调制方式.实际上,我们还可以直接采用脉冲取代载波来传递信息^[5~8],获得脉冲调制的 MBD 和 MBFDE 结构等,从而降低 UWB-OFDM 系统 RF 部分的功耗和实现成本.脉冲既可以是“带通”的,也可以是“基带”的,并都可以通过很多方法来设计和生成^[13].当采用“带通”脉冲时,我们可以设计相互正交的两种脉冲来代替上述结构中的 I/Q 两路载波^[8].我们也可以采用共轭映射的方法,使 IFFT 的输出为实数,从而采用“基带”脉冲来传递 OFDM 信号^[17].

除了上面研究的各种结构之外,我们也可以把两种或多种结构相互结合起来使用,设计更丰富的实现结构,从而获得性能与复杂度之间的期望折衷.例如,脉冲 MBD 结构与 DLMC-FH 结构的结合^[8].还可以借鉴空时编码的基本思想,

设计与时频编码相结合的 UWB-OFDM 的实现结构^[9].

5 结束语

为了降低 UWB-OFDM 系统的实现难度,本文从系统结构的角度研究了降低系统对 RF 带宽、IFFT/FFT 处理速度、采样和 ADC 速率要求的各种途径,分析了各种结构之间的关系.目的在于为 UWB-OFDM 系统设计提供一定的参考.在后继的工作中,将通过理论分析或仿真对各种结构的性能做进一步的比较研究,以及提出新的实现结构.

参考文献:

- [1] PORCINO D, HIRT W. Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41 (7): 66 - 74.
- [2] ROY S, et al. Ultrawideband Radio Design: The Promise of High-Speed, Short-Range Wireless Connectivity [J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(2): 295 - 311.
- [3] AIELLO G R, ROGERSON G D. Ultra-Wideband Wireless Systems [J]. IEEE Microwave Magazine, 2003, 4(2): 36 - 47.
- [4] ANU Batra, et al. Multi-band OFDM physical layer proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a[R]. USA: IEEE P802.15-03/268r2, 2003.
- [5] 徐斌. 提高无线网络频谱效率的信号处理算法研究,第七章:一种超宽带无线通信系统的基带设计方案[D]. 北京:北京航空航天大学, 2003. 141 - 157.
- [6] 徐斌,杨晨阳,毛士艺. 采用脉冲调制和循环前缀的超宽带无线通信系统[J]. 电子与信息学报, 已录用, 2004.
- [7] XU Bin, YANG Chenyang, MAO Shiyi. A carrierless UWB/OFDM system[A]. Proc. of 7th International Conference on Signal Processing [C]. Beijing, ICSP, 2004. 1865 - 1869.
- [8] SABERINIA E, TEWFIK A H. Pulsed and non-pulsed OFDM ultra wideband wireless personal area networks[A]. IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies [C]. Virginia: 2003. 275 - 279.
- [9] XU Bin, YANG Chenyang, BI Guangguo. Time frequency code for UWB/OFDM systems [A]. Proc Global Mobile Congress '04 [C]. Shanghai: 2004. 292 - 296.
- [10] XU Bin, BI Guangguo. Channel estimation using complementary sequence pairs for UWB/OFDM systems [J]. IEE Electronics Letters, 2004, 40(19): 1196 - 1197.
- [11] YANG Lie-liang, HANZO L. Multicarrier DS-CDMA: a multiple access scheme for ubiquitous broadband wireless communications [J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(10): 116 - 124.
- [12] SARI H, KARAM G, JEANCLAUDE I. Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting [J]. IEEE Communications Magazine, 1995, 33(2): 100 - 109.
- [13] PARR B, et al. A novel ultra-wideband pulse design algorithm [J]. IEEE Communications Letters, 2003, 7(5): 219 - 221.

作者简介:



@seu.edu.cn.

徐斌男, 1974年出生于四川仁寿, 1998和2003年于北京航空航天大学获学士和博士学位. 现为东南大学移动通信国家重点实验室博士后, 研究兴趣包括超宽带通信和无线网络, 重点研究无线通信中的信号处理, 在国内外权威期刊及国际会议上以第一作者发表学术论文 20 余篇, 获部级科技进步二等奖一项. E-mail: binxu918



毕光国男, 1939年出生于浙江舟山, 1960年毕业于南京工学院, 现为东南大学无线电工程系教授, 博士生导师, 中国通信学会会士, IEEE 高级会员, 研究兴趣包括: 移动和个人通信网络, 广带和超宽带通信, 现代通信中的智能信息处理, 在上述领域发表学术论文 200 余篇.