

OOFDM 系统恒定吞吐量自适应调制算法

刘 佳,邱绍峰

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院,重庆 400065)

摘要: 在光通信系统中,光纤对系统性能影响较大。为了减小多模光纤的色散对光正交频分复用(OOFDM)系统性能的影响,阐述了一种新的基于恒定吞吐量的自适应调制算法,改进的算法与原始的恒定吞吐量的自适应调制算法相比,在系统误码率变化不大的情况下,算法的复杂度降低了,仿真结果证明改进算法是正确可行的。

关键词: 自适应调制;功率分配;多模光纤;正交频分复用

中图分类号: TN914 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8788(2011)02-0011-03

An adaptive modulation algorithm for constant throughput of OOFDM systems

Liu Jia ,Qiu Shaofeng

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University
of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In optical communication systems, optical fibers have strong impacts on system properties. In order to minimize the effects of dispersion of multimode fibers on OOFDM system characteristics, a novel constant-throughput-based adaptive modulation algorithm is introduced. Compared with the original one, the improved algorithm is less complicated when the system BER remain not much changed. The simulation results indicate that the improved algorithm is corrects and feasible.

Key words: adaptive modulation; power allocation; multimode fiber; OFDM

0 引 言

目前,光正交频分复用(OOFDM)技术研究的热点课题主要是把它应用于骨干网中进行无色散补偿的高速率、长距离传输,以及将 OOFDM 技术应用在光接入网中实现低成本、有线与无线相结合的灵活接入。由于多模光纤(MMF)传输的模式比较多,色散比较严重,从而影响了系统的性能。OOFDM 和自适应调制能够很好地克服色散,因此提出了基于自适应调制的 OOFDM MMF 通信系统。由于大多数时候系统的传输速率是恒定不变的,因此本文主要阐述恒定吞吐量的自适应调制算法。

1 基于自适应调制的 OOFDM 系统

文献[1]中提出的基于自适应调制的正交频分复用(OFDM)MMF 通信系统如图 1 所示。

在发送端,通过信道估计得到信道情况,根据自适应调制和功率分配算法决定各个子载波分配的比特数和发射功率大小。各个子载波的调制方式决定后,发送端将编码后的二进制高速数据流分配到各个子载波上进行调制,调制以后的信号经过串/并变换、快速傅里叶逆变换(IFFT)、并/串变换、加循环前缀(CP)后,由马赫—曾德爾调制器(MZM)将电

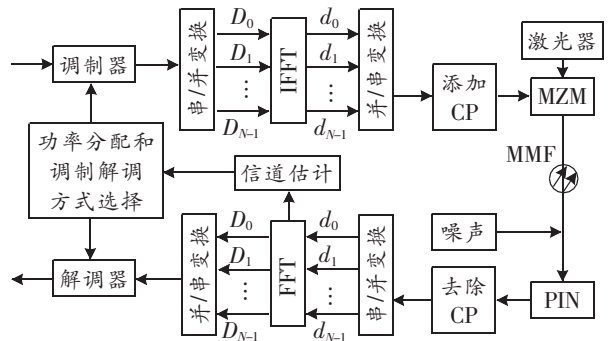


图 1 带自适应调制的 OFDM MMF 系统

信号转换为光信号,耦合入 MMF 传输。在接收端,先通过光信号探测器(PIN)把光信号转换为电信号,然后去掉 CP,串/并变换,再经过快速傅里叶变换(FFT),把低速的并行数据流转换成高速的串行数据流,最后进行解调,每个子载波上的解调和调制的方式是对应的。

文献[2]中提到,OFDM MMF 通信系统与无线 OFDM 系统不同,前者涉及到电信号要转化为光信号的问题。本文讨论的是非相干光的问题,所以采用了把输入信号的共轭加载到相应共轭子信道的子载波上的方法,进行 FFT 就可以使得输入 MMF 的电流为实数。所谓共轭子信道是互为的概念,假设子信道个数为 512,那么第 1 号子信道的共轭子信

道就是第 511 号子信道。

2 OOFDM 系统自适应调制算法原理

2.1 MMF 信道模型

文献[3]提出的具有 N 个导模数的 MMF,其传递函数可以由式(1)表示,式中, $t_{d,n}$ 为第 N 个导模的时延,各个导模的时延可以认为是相互独立且均匀分布的。文献[4]中提出对式(1)进行 FFT 得到 MMF 的频率响应函数,见式(2)。

$$h(t) = \sum_{n=1}^N \delta(t - t_{d,n}) , \tag{1}$$

$$H(f) = \sum_{n=1}^N e^{-j2\pi f t_{d,n}} . \tag{2}$$

2.2 基于恒定吞吐量的 OOFDM 系统自适应调制算法

文献[5]中所提到的吞吐量是指每个 OFDM 符号中所传输的每个子信道的平均比特数,记为 BPS。在恒定吞吐量的 OOFDM 系统中自适应调制算法的优化目标是在吞吐量和发射总功率恒定的情况下,使系统的误码率最小。

2.2.1 一种新的功率分配方法

按照文献[6]中提出的功率分配方法,假设第 m 个子信道的信道增益与噪声功率的比值为 H_m ,功率分配值为 P_m ,第 n 个子信道的信道增益与噪声功率的比值为 H_n ,功率分配值为 P_n ,那么它们之间的关系如式(3)所示,

$$P_n = P_m + \frac{1}{H_m} - \frac{1}{H_n} . \tag{3}$$

当总发射功率 P 和信道情况已知时,只要知道一个子载波的发射功率,就可以得出所有子载波的发射功率,同时所有子载波的功率和为 P_T ,如式(4)所示

$$P_T = \sum_{n=1}^N P_n = N \left(P_m + \frac{1}{H_m} \right) - \sum_{n=1}^N \frac{1}{H_n} . \tag{4}$$

但是由于求出来的每个子信道的值有可能大于总发射功率 P ,这时就需要对第 1 个确定的子载波的功率进行调整,比较复杂。文献[6]中提出的新方法就是先对信道状态值 H_n 进行排序,由式(3)可知, P_n 大小情况和 H_n 一致,如果 $H_1 \leq H_2 \leq \dots \leq H_n$,那么 $P_1 \leq P_2 \leq \dots \leq P_n$ 。由于 $P_T \leq P$,这里假设功率分配完整即 $P_T = P$ 且第 1 个 $P > 0$,根据式(3)和(4)可得到式(5)。假设 $P_1 \leq 0$,那么这个子载波的发射功率就为 0,剔除这个子载波,给第 2 个子载波分配功率,直到找到 $P_m > 0$,然后依此类

推求出所有子载波的功率。这样就减少了选择第 1 个子载波的功率是多少带来的运算复杂度:

$$P_1 = \frac{1}{N} \left(P - \frac{N}{H_1} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{H_n} \right) , \tag{5}$$

$$P_2 = \frac{1}{N-1} \left(P - \frac{N-1}{H_2} + \sum_{n=2}^N \frac{1}{H_n} \right) . \tag{6}$$

2.2.2 恒定吞吐量的自适应调制算法

在文献[7]中得到每个子载波的发射功率后,由于子信道的信道情况已知,第 n 个子信道的信噪比就为 $r_n = P_n H_n$ 。根据公式(7)和(8)可以求出每个子信道采用不同调制方式时的误码率。

$$p_{\text{BPSK}} = \text{erfc}(\sqrt{2r}) , \tag{7}$$

$$p_{\text{MQAM}} = \left[1 - \frac{1}{L} \right] \text{erfc} \sqrt{\frac{3}{L^2 - 1} r} . \tag{8}$$

式中, L 为调制阶数,例如对于 4QAM(相位正交幅度调制), $L = 2$,对于 8QAM, $L = 3$,以此类推。

按照文献[7]定义一个新的函数即比特增加代价函数 $f_n(m)$,其中 n 表示子载波的编号, m 表示子载波 n 上的调制方式, $f_n(m)$ 等于在使用更高一级的调制方式时误码率增加值与传输比特数增加值之比, $e_n(m)$ 和 $e_n(m+1)$ 分别表示子载波 n 上所用调制方式为 m 和 $m+1$ 下的期望误码率, $b_n(m)$ 和 $b_n(m+1)$ 分别表示调制方式为 m 和 $m+1$ 下的传输比特数,则

$$f_n(m) = \frac{\Delta e}{\Delta b} = \frac{e_n(m+1) - e_n(m)}{b_n(m+1) - b_n(m)} . \tag{9}$$

具体的恒定吞吐量自适应调制算法的流程图见图 2,其中, B_{total} 为所要分配的比特数, B 为所有子信道分配的比特数总和,数组 $a(n)$ 用来存放每个

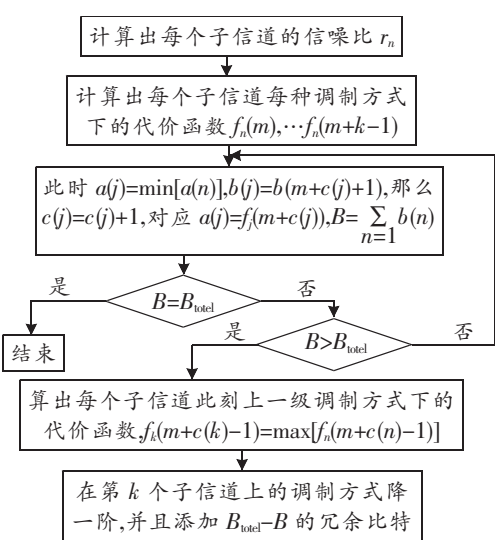


图 2 恒定吞吐量自适应调制算法的流程图

子信道用此时的调制方式计算的比特增加代价函数值,数组 $b(n)$ 用来存放每个子信道分配的比特数,数组 $c(n)$ 用来存放每个子信道调制阶数增加的次数,调制方式有 k 种(包括不调制), n 为子载波个数。

2.3 基于恒定吞吐量的 OOFDM 系统自适应调制算法的改进

根据新的功率分配方法可知,对于信道情况比较差的子信道,不为其分配功率,因为利用这些子信道传输信息会使系统的误码率增大,在系统要求误码率较低的情况下,不能满足要求。当这些子信道不能传输信息时,为其分配的比特数就为 0。于是,自适应调制算法可以得到改进,初始化分配那些发射功率不为 0 的子信道的发送比特数,然后再利用原始的恒定吞吐量自适应调制算法分配余下的比特数,最后对某些子信道的调制方式进行调整。

假设最低的调制阶数为不调制,最高为 64QAM,也就是说比特分配数是从 0~6,子信道数为 100,要分配的比特数为 300,同时也假设根据功率分配的结果可知 30 个子信道是不分配功率的。我们初始化每个子信道的调制方式为 4QAM,即每个可用的子信道分配的比特数为 2,那么剩下的要分配的比特数为 160,利用原始的恒定吞吐量算法在可用的 70 个子信道上分配 160 个比特。最后对调制方式为 4QAM 的子信道的调制方式再进行一次调整,算出 $f(4QAM)$,然后进行从小到大排序,并且依次算出每个子信道的 $f(BPSK)$ 。将第 1 个子信道的 $f(4QAM)$ 与最后一个子信道的 $f(BPSK)$ 进行对比,如果 $f(4QAM) > f(BPSK)$,则将第 1 个子信道的调制方式变成二进制相移键控(BPSK),最后一个子信道的调制方式变成 8QAM;如果 $f(4QAM) < f(BPSK)$,则情况相反。接着将第 2 个子信道与倒数第 2 个子信道进行对比,一直比到 $x/4$ 处($x/4$ 为整数, x 代表运用原始比特分配算法调制方式为 4QAM 的子信道的个数),就可得出所有子信道最终的比特分配方式。

3 仿真与结果分析

仿真采用的光纤长度为 1 km,MMF 信道的频率响应曲线如图 3 所示,从图中可以看出,在 1.2、5.3 和 9.2 GHz 等频率处信道情况较差。假设恒定吞吐量的算法为 A 算法,改进后的算法为 B 算法。具体的仿真参数如表 1 所示,系统中每个 OFDM 符号的比特数为 600,每个子信道平均分配 3 个比特,有效信号的传输速率为 1.17 Gbit/s,400

个子信道中有 200 个用来传输调制后的信息,剩下的 200 个子信道是前 200 个子信道的共轭信道,用来传输共轭信息。

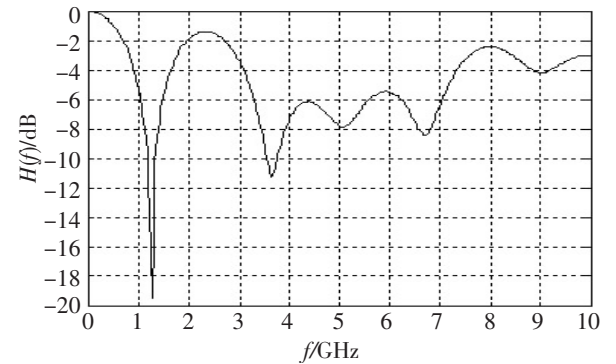


图 3 MMF 信道的频率响应曲线

表 1 OOFDM 系统自适应调制算法仿真参数

部分参数	算法种类	
	A 算法	B 算法
FFT/IFFT	512	512
OFDM 符号周期/ns	51.2	51.2
循环前缀长度/ns	12.8	12.8
总的符号周期/ns	64	64
所用子信道数目	400	400
调制方式选择	不调制,BPSK, 4QAM,8QAM, 16QAM,32QAM, 64QAM	不调制,BPSK, 4QAM,8QAM, 16QAM,32QAM, 64QAM
信道带宽/GHz	10	10
子信道比特分 配初始化情况	没有初始化子信道 的比特分配数目	发射功率分配不为 0 的子信道分配比特

图 4 和图 5 分别是 A 算法和 B 算法的功率分配和比特分配结果的比较图。从图中可以看出,对于情况较差的信道,分配的发射功率较小,比特数也较少,甚至都不分配。图 6 所示为 A 算法与 B 算法系统的误码率比较。从图 6 中可以看出,B 算法与 A 算法相比,当系统要求误码率为 10^{-3} 时,只需增加 4 dB 的信噪比,这里假设功率分配为 0 的子信道个数为 $y(0 < y < 200)$,那么 B 算法只需分配 $3y$ 个

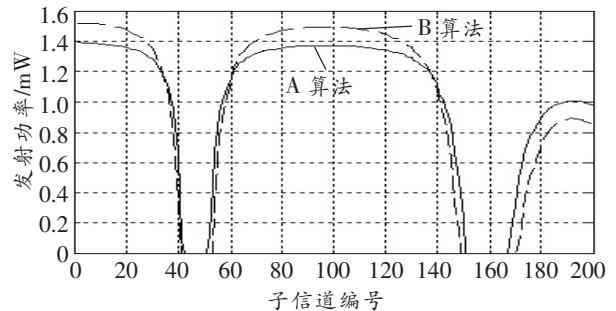


图 4 A 算法和 B 算法功率分配结果比较

(下转第 63 页)