

doi:10.13756/j.gtxyj.2017.01.006

光通信系统与网络技术

频偏估计中一种移除调制相位信息的算法

白晓杰¹, 白夫文¹, 林 通¹, 李海涛², 黄丽艳², 韩纪龙²

(1. 国家电网公司信息通信分公司, 北京 100761; 2. 武汉光迅科技股份有限公司, 武汉 430205)

摘要:对一种移除调制相位信息的算法进行了进一步研究,使其适用于更高阶调制格式的相干系统。该算法对接收到的复数信号的实部和虚部分别采用绝对值操作,移除调制的相位信息。通过对 28 GBaud 的 64QAM(64 阶正交幅度调制)相干系统进行仿真,来研究该算法在 64QAM 系统中的性能。仿真结果表明,该算法无需乘法器,而且在频偏估计中的性能与传统的 M 次幂运算的性能接近。因此,该算法相比 M 次幂运算在性能不变的情况下,降低了算法的复杂度。

关键词:相干光通信;频偏估计; M 次幂运算;相位信息移除

中图分类号:O436

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2017)01-0016-03

An Algorithm for the Removal of Modulated Phase in Frequency Offset Estimation

BAI Xiao-jie¹, BAI Fu-wen¹, LIN Tong¹, LI Hai-tao², HUANG Li-yan², HAN Ji-long²

(1. State Grid Information and Telecommunication Brand, Beijing 100761, China;

2. Accelink Technologies Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

Abstract: An algorithm to remove the modulated phase is further investigated to make the algorithm be suitable for the coherent systems of higher-order modulation format. In the algorithm, the absolute operation is respectively implemented on the real part and imaginary part of received complex signals to remove their modulated phases. The performance of the proposed algorithm in a 28 GBaud coherent 64 ary Quadrature Amplitude Modulation (64QAM) system is investigated through simulation. The simulation results show that the proposed algorithm requires no multiplier and reaches the approximate performance as the M th-power operation in the frequency offset estimation. Therefore, the algorithm reduces the complexity with similar performance compared with M th-power operation.

Key words: coherent optical communication; frequency offset estimation; M th-power operation; modulated phase removal

0 引 言

频偏估计是对接收信号和本地光源的频偏差进行估计,从而实现频偏补偿。目前,已有许多频偏估计算法被提出,例如,利用相邻相差法进行频偏估计^[1]、基于最小二乘法的频偏估计算法^[2]和基于FFT(快速傅里叶变换)的频偏估计法等^[3]。在这些算法中,都需要先去除调制的相位信息再进行频偏估计,否则这些调制的相位信息会对频偏估计值造成很大的干扰。目前,主要采用 M 次幂运算的方式来去除调制的相位信息,然而这种方法的计算复杂度较大,对于长度为 N 的数据块, M 次幂运算需要做 $4N\log_2 M$ 次实数乘法运算,而且 M 次幂运算属于非线性运算,会导致加性噪声被信号放大,增大噪声的干扰。本文提出一种 M 次幂的简化算法,该算法采用绝对值操作来实现相位信息的去除^[4],无需乘法器,复杂度低,而且对抗噪声性能较好。

随着相干光通信速率的迅速提升,人们对更高阶调制格式的研究正在不断进行。本文将这种 M

次幂的简化算法应用于 64QAM(64 阶正交幅度调制)相干光通信系统中,旨在进一步研究该算法在更高阶调制格式中的性能。本文介绍了该算法的原理,理论分析了其抗噪声的能力,并在 28 Gbaud 的 64QAM 相干光通信系统中进行了仿真,结果表明,该算法无需乘法运算,复杂度低,并且在估计精度和估计范围方面均接近于传统的 M 次幂运算。

1 基本原理

在考虑到 ASE(放大自发辐射)噪声、载波频偏和相位噪声的情况下,DSP(数字信号处理)模块接收到的第 k 个数据点可以表示为^[5]

$$y_k = A_k \exp[j(\theta_k + 2\pi\Delta f T_s + \varphi_k)] + n_k,$$

式中, $k=1,2,\dots,N$; A_k 为数据点的幅值; θ_k 为数据点的相位; Δf 为频偏值; T_s 为符号周期; φ_k 为相位噪声; n_k 为加性 ASE 噪声; N 为数据点个数。

在采用基于 FFT 的频偏估计之前,需要先将 y_k 作 4 次幂运算,移除调制信息^[3],得到

$$y_k^4 = A_k^4 \exp[j(8\pi\Delta f T_s + 4\varphi_k)] + n_k', \quad (1)$$

收稿日期:2016-07-26

作者简介:白晓杰(1973—),男,河北保定人。高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统通信规划与建设。

通信作者:黄丽艳,高级工程师。E-mail:liyan.huang@accelink.com

式中,调制的相位信息 θ_k 已被去除,根据傅里叶变换性质可知, y_k^4 的频谱存在一个峰值,对应的频率值即为 $4\Delta f$ 。式(1)中, n'_k 为噪声项,且有

$$n'_k = n_k^4 + 4s_k \cdot n_k^3 + 6s_k^2 \cdot n_k^2 + 4s_k^3 \cdot n_k,$$

其中, $s_k = A_k \exp[j(\theta_k + 2\pi\Delta f T_s + \varphi_k)]$ 。可见,4次幂运算属于非线性运算,会产生信号与 ASE 噪声的乘积项,从而扩大了对信号的干扰。

M 次幂简化算法利用绝对值操作来近似去除调制的相位信息,无需乘法操作,降低了复杂度,而且避免了信号与 ASE 噪声乘积项的产生,减弱了噪声的干扰。

为了推导方便,忽略 ASE 噪声的影响,对复数信号 y_k 分别取实部和虚部,可得:

$$\begin{cases} I_1 = \text{real}(y_k) = A_k \cos\psi_k \\ Q_1 = \text{imag}(y_k) = A_k \sin\psi_k \end{cases},$$

式中, $\psi_k = \theta_k + 2\pi\Delta f T_s + \varphi_k$ 。

利用二倍角公式,可以使相位角翻倍,即

$$\begin{cases} \cos(2\psi_k) = \cos^2\psi_k - \sin^2\psi_k \\ \sin(2\psi_k) = 2\cos\psi_k \cdot \sin\psi_k = 0.5 \times \\ [(\cos\psi_k + \sin\psi_k)^2 - (\cos\psi_k - \sin\psi_k)^2] \end{cases}。$$

为了不使用乘法器,我们用绝对值操作代替平方操作来近似实现相位角的翻倍,即

$$\begin{aligned} |A_k \cos\psi_k| - |A_k \sin\psi_k| &\approx |A_k| \cos^2\psi_k - \\ |A_k| \sin^2\psi_k &= |A_k| \cos(2\psi_k), \\ |A_k \cos\psi_k + A_k \sin\psi_k| - |A_k \cos\psi_k - A_k \sin\psi_k| &= \\ \sqrt{2} |A_k| [\sin(\psi_k + \pi/4) - \cos(\psi_k + \pi/4)] &\approx \\ \sqrt{2} |A_k| [\sin^2(\psi_k + \pi/4) - \cos^2(\psi_k + \pi/4)] &= \\ \sqrt{2} |A_k| \sin(2\psi_k)。 \end{aligned} \quad (2)$$

为了使所得余弦函数和正弦函数的系数相同,对式(2)乘以 $\sqrt{2}$,得到相位角翻倍后的表达式为

$$\begin{cases} \sqrt{2} |A_k| \cos(2\psi_k) \approx \sqrt{2} \cdot (|I_1| - |Q_1|) = I_2 \\ \sqrt{2} |A_k| \sin(2\psi_k) \approx |I_1 + Q_1| - |I_1 - Q_1| = Q_2 \end{cases},$$

相位角翻倍后的复数形式可以表示为

$$y_2 = I_2 + jQ_2。$$

同理,4次幂运算可以在上面计算结果的基础上使用相同的方法得到,即

$$\begin{cases} \sqrt{2} |A_k| \cos(4\psi_k) = |I_2| - |Q_2| = I_4 \\ \sqrt{2} |A_k| \sin(4\psi_k) = |I_2 + Q_2| - |I_2 - Q_2| = Q_4 \end{cases},$$

$$y_4 = I_4 + jQ_4。$$

需要指出的是,在式(2)乘以 $\sqrt{2}$ 时,因为 $\sqrt{2} \approx 23/16$,所以可以通过加法和移位操作实现^[6],无需乘法器操作。而绝对值操作只需要将数据的符号位置零,

即只需要简单的逻辑操作,因此,从以上推导可以看出,在实现对相位角翻倍的操作过程中,只需要作简单的逻辑操作和加法运算即可,无需乘法运算。

2 仿真结果

我们对 28 Gbaud 的 64QAM 相干光通信系统进行了仿真。将 M 次幂简化算法与传统的 M 次幂运算作了对比,分别采用这两种方法对接收信号去除调制的相位信息,然后采用基于 FFT 的频偏估计算法对去除调制相位信息的信号进行相位估计。

图 1 所示为仿真得到的归一化方差与 SNR(信噪比)的关系曲线。为了模拟实际情况,仿真时图 1 所用频偏值从 $[-3.4 \text{ GHz}, 3.4 \text{ GHz}]$ 范围内随机选取,每个 SNR 都进行了 2 000 次仿真,数据的总长度为 $N=2\,048$,激光器线宽设为 100 kHz。从图中可以看到:在基于 FFT 频偏估计的算法中, M 次幂简化算法和 M 次幂运算在估计精度方面相同,只是在 SNR 门限方面, M 次幂简化算法比 M 次幂运算高了 1 dB。

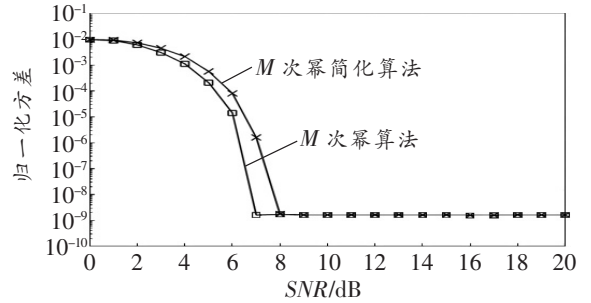


图 1 归一化方差与 SNR 的关系

图 2 所示为仿真得到的归一化方差与频偏的关系曲线。仿真中设 SNR 为 10 dB,总的数据点个数为 $N=2\,048$ 。对每个频偏值都进行了 2 000 次仿真。由图 2 可见,不同频率处的归一化方差呈现出不同的幅值,而且相邻频率的幅值上下起伏剧烈,这是由 FFT 的栅栏效应造成的^[7]。从图 2 中还可以

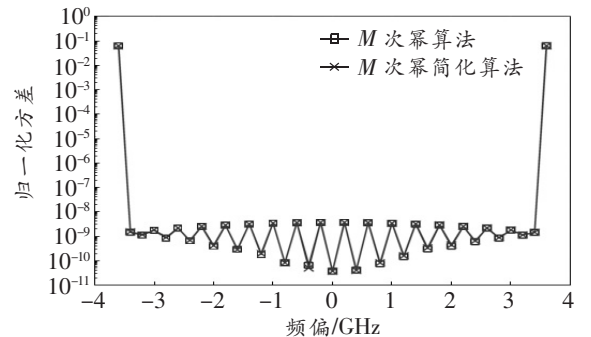


图 2 归一化方差与频偏的关系

看出, M 次幂简化算法和 M 次幂运算可以达到相同的估计范围和相应的估计精度。

3 结束语

本文对将 M 次幂简化算法应用于 64QAM 相干光通信系统中进行了研究, 该算法采用实数的绝对值操作, 对接收到的复数信号的实部和虚部分别进行操作, 近似实现相位角的翻倍, 从而去除调制的相位信息。该方法与传统的 M 次幂运算相比, 复杂度低, 无需乘法器。在 64QAM 相干光通信中, 我们将 M 次幂简化算法和 M 次幂运算分别用于基于 FFT 的频偏估计中并进行了对比, 仿真结果表明, 这两种算法性能相近。

参考文献:

[1] Leven Andreas, Kaneda Noriaki, Koc Ut-Va, et al. Frequency estimation in intradyne reception [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2007, 19(6): 366—368.
[2] Li Ming, Zhao Jian, Chen Lian-Kuan. Least-squares carrier frequency offset estimation for coherent optical QPSK receivers [C]//CSNDSP 2014. Manchester,

UK:IEEE, 2014: 40—43.

[3] Selmi Mehrez, Jaouen Yves, Ciblat Philippe. Accurate digital frequency offset estimator for coherent PolMux QAM transmission systems [C]//ECOC 2009. Vienna, Austria:VDE,2009: P3.08.
[4] Han J, Li W, Yuan Z,et al. A simplified implementation method of Mth-power for frequency offset estimation [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2016, 28(12): 1317—1320.
[5] Leng Haijun, Yu Song, Li Xin, et al. Frequency offset estimation for optical coherent M -QAM detection using chirp z-transform [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2012,24(9): 787—789.
[6] Huang Dezhaoh, Cheng Tee-Hiang, Yu Changyuan. Accurate two-stage frequency offset estimation for coherent optical systems [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2013, 25(2): 179—182.
[7] Zhong Kang Ping, Ke Jian Hong, Gao Ying, et al. Carrier phase estimation for DP-16QAM using QPSK partitioning and quasi-multiplier-free algorithms [C]//OFC 2014. San Diego, USA:OSA,2014;W4K.2.



(上接第 9 页)

由于物理层光信号损伤导致的误码率偏高问题, 使光网络连接建立的阻塞率得到有效降低。

4 结束语

随着基于 OpenFlow 技术的光网络规模的日益增大, SDON 中长距离光路由于物理层光信号损伤造成了 OSNR 劣化, 为此, 本文提出了一种基于 OSNR 感知的路径优化机制。该机制通过在光网络的流表交互过程中引入 OSNR 因素, 有效解决了因 OSNR 劣化而导致通信阻塞率偏高的问题。

参考文献:

[1] 赵继军, 陈曦, 王丽荣. 基于多物理层损伤限制的光网络 RWA 算法研究 [J]. 光通信技术, 2011, 35(5): 8—11.
[2] 陈翾, 朱娜, 张君怡, 等. WDM 网络分布式物理损伤感知 RWA 算法 [J]. 光通信研究, 2011, (6): 8—10.
[3] 沈若愚, 朱娜, 钱琴, 等. WDM 网感知波长传输质量的

权重和波长标识 [J]. 光通信技术, 2010, 34(10): 15—17.

[4] 赵继军, 王丽荣, 纪越峰, 等. 基于损伤感知的动态 RWA 算法性能比较研究 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(3): 655—659.
[5] 狄浩, 李乐民, 虞红芳, 等. WDM 网络中基于传输损伤的公平 RWA 算法 [J]. 通信技术, 2009, 42(9): 130—132.
[6] ITU-T Rec. G. 680-2007, Physical Transfer Functions of Optical Network Elements [S].
[7] Cukurtepe H, Yayimli A, Mukherjee B. Inverse multiplexing gain considering physical layer impairments in mixed line rate networks [C]// IEEE Symposium on Computers and Communications. Cappadocia, Turkey: IEEE Computer Society, 2012: 219—224.
[8] 王汝言, 张普钊, 隆克平, 等. WDM 网络中一种基于分层图的 RWA 算法 [J]. 光通信技术, 2007, 31(10): 961—964.