

Ka 频段 LMS 信道中 Turbo - OFDM 技术研究

李云云¹, 达新宇^{1,2}

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘要:提出了 Ka 频段 LMS 信道中的 Turbo - OFDM 技术,进行了 Ka 频段卫星通信信道特性分析及 LMS 信道模型研究,并在 Chun Loo 提出的 Ka 频段 LMS 信道模型的基础上建立了 Turbo - OFDM 系统模型,仿真结果表明该技术性能良好。

关键词:Ka 频段; Turbo 码; 正交频分复用; 陆地移动卫星

中图分类号: TN927.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2006)01 - 0064 - 03

Ka 频段陆地移动卫星(LMS: Land Mobile Satellite)系统中存在的多径效应、多普勒频移和阴影效应严重影响着数字信号传输的可靠性,所以须采取有效的措施来削弱这些不利因素的影响。而 1993 年 C. Berrou 提出了以并行级联卷积码(PCCC)形式出现的 Turbo 码,由于其接近香农极限的纠错能力,非常适合于要求强大纠错能力的卫星通信系统^[1]。

多载波的正交频分复用(OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)由于其结构简单,频谱利用率高,抗频率选择性和信道时变的特点,是实现高速数据传输的好方式^[2]。自 20 世纪 90 年代末期开始,受 OFDM 相继在地面数字电视、蜂窝移动通信、无线局域网和宽带无线接入等领域成功应用的鼓励和影响,一些学者开始研究将 OFDM 应用于卫星通信系统^[2]。

在 Ka 频段卫星通信中,提出采用 Turbo 编码的 OFDM 制式,国外仅有 Fernando 等人做了简单的研究^[3],国内目前还没有此方面的相关研究。为了实现高速数据传输且可靠性高的目标,提出了 Turbo - OFDM 技术^[4]应用于 Ka 频段 LMS 信道。在 Chun Loo 提出的 Ka 频段 LMS 信道模型的基础上建立了 Turbo - OFDM 系统模型,并对 Turbo 译码算法和系统误码率性能进行了仿真,仿真结果表明 MAX - LOG - MAP 译码算法是最好选择,该技术与传统的卷积编码(CC - OFDM)方式和网格编码(TCM - OFDM)方式相比,系统性能有明显改善。

1 Ka 频段 LMS 信道模型

Ka 频段尽管为宽带多媒体通信提供了可观的带宽。可是 Ka 频段的陆地移动通信还存在许多制约和困难。相对 L/S 频段,Ka 频段的 LMS 通信受更多不利的传播条件影响^[5]。这些不利条件包括:Ka 频段的大气传播效应(尤其是降雨)的影响;多径效应引起的衰减;阴影效应引起的衰减;多普勒频移效应引起的衰减等。

Ka 频段的传播受天气影响恶化情况非常严重,所以文献中通常情况下可用的 LMS 信道模型对 Ka 频段 LMS 系统并不适用,因为它们工作在空气衰减可忽略的低频频段。加上不同地域也有区别。尽管在相关文献中报道了有关 Ka 频段传播测量和信道建模的大量工作,但他们仅仅考虑了像 GEO 卫星系统和固定卫星系统中的大气衰减,或者仅考虑移动环境引起的衰减,如工作在低频段(L/S)的陆地移动卫星系统一样。仅有的例外是 Chun Loo 所做的工作^[6],他考虑了大气衰减对 Ka 频段 LMS 信道模型的影响。

1.1 Ka 频段卫星通信信道传播特性

收稿日期:2005 - 06 - 03

基金项目:国防预研基金资助项目

作者简介:李云云(1982 -),女,四川绵阳人,硕士生,主要从事信道编码、OFDM 技术研究。

在 Ka 频段卫星通信中,由于大气层对传输信号的吸收、散射等作用明显加剧,使接收信号的幅度、相位、极化方式等参数随时间发生明显波动,传输信道已成为一个变参的衰落信道。影响 Ka 频段卫星链路质量的主要因素有:大气吸收、降雨、云雾及对流层闪烁等。

依照 Loo 仰角为 14°条件下在加拿大得到的 Ka 频段传播测量值,当综合所有的衰减因素时大气的衰减是一个高斯过程。它的概率密度函数(PDF)可表述为

$$P_{\omega}(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\omega}} \exp\left[-\frac{(r - m_{\omega})^2}{\sigma_{\omega}^2}\right] \quad (1)$$

其中, m_{ω} 和 σ_{ω} 是大气衰减各自的均值和标准差。

1.2 Lutz 的 LMS 信道模型

依照 Lutz 的模型,LMS 信道可分成 2 种状态:坏(Bad)状态和好(Good)状态,称为阴影状态和无阴影状态(如图 1 所示),这 2 种状态是分时的。

在好状态的信道中,直射信号分量存在且不存在阴影遮蔽效应,多径信号添加在直接卫星信号上,接收信号的包络 r 服从 Rician 分布,其概率密度函数为

$$P_{\text{good}}(r) = 2kr \exp(-k(r^2 + 1)) I_0(2kr) \quad (2)$$

式中, k 为莱斯因子。

在坏状态的信道中,不存在直射波信号分量,接收信号的包络 r 服从 Rayleigh - Lognormal 分布;在阴影遮蔽一定的条件下,包络 r 服从 Rayleigh 分布,其概率密度函数为

$$P_{\text{bad}}(r|s_0) = \frac{2r}{s_0} \exp\left(-\frac{r^2}{s_0}\right) \quad (3)$$

它的平均能量 s_0 受到阴影遮蔽的作用,服从 lognormal 分布,其概率密度函数为

$$f_{\text{lg}}(s_0) = \frac{10}{\sqrt{2\pi}\sigma \ln 10} \frac{1}{s_0} \exp\left[-\frac{(10 \log_{10} S_0 - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

显然,在坏的情形下,信道实际上是 Suzuki 分布,它的概率密度函数为

$$P_{\text{bad}}(r) = \int_0^{\infty} P_{\text{bad}}(r|s_0) f_{\text{lg}}(s_0) ds_0 \quad (5)$$

因此,假设 B_s 是坏情形的平均持续时间,接收信号幅度的概率密度函数表述为

$$P_{\beta}(r) = (1 - B_s) P_{\text{good}}(r) + B_s P_{\text{bad}}(r) \quad (6)$$

1.3 Ka 频段的 LMS 信道模型

将 Ka 频段大气衰减定义为 ω ,移动环境引起的衰减定义为 β 。 β 可进一步表示为 $\beta = RS$,其中 S 表示阴影率, R 为相应的多径衰落。大气衰减 ω 和移动环境引起的衰减 β 假设为统计独立的,因为造成衰减的根本的装置是互相独立的。所以,如果传送的信号能量是归一化的,那么接收信号的幅度可表示为 $r = \omega\beta$ 。

由于移动环境和大气衰减在内的衰落都是影响 Ka 频段传输的主要因素,所以大气衰减必须综合到 Ka 频段 LMS 信道模型中去。Chun Loo 提出联合信号幅度的概率密度函数 $P_T(r)$ 为

$$P_T(r) = P_{\beta}(r) P_{\omega}(r) \quad (7)$$

2 Turbo - OFDM 系统组成

Turbo 码将卷积码和随机交织器结合在一起,实现了随机编码的思想。同时,采用软输出迭代译码来逼近最大似然译码,而使得比特误码率接近 Shannon 限^[7]。OFDM 作为一种典型的多载波传输方式,具有与 CDMA 系统相类似的传输性能且频谱利用率更高,接近于 Nyquist 速率,并具有巧妙的对付码间干扰(ISL)的内

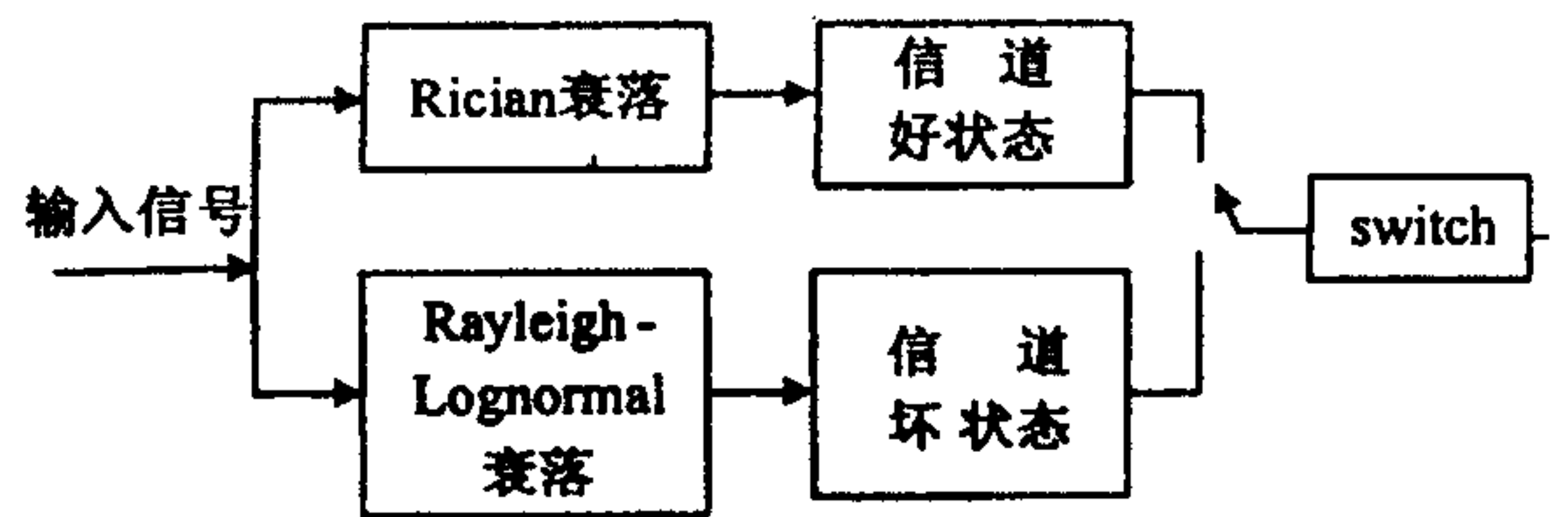


图 1 Lutz 的 LMS 信道模型图

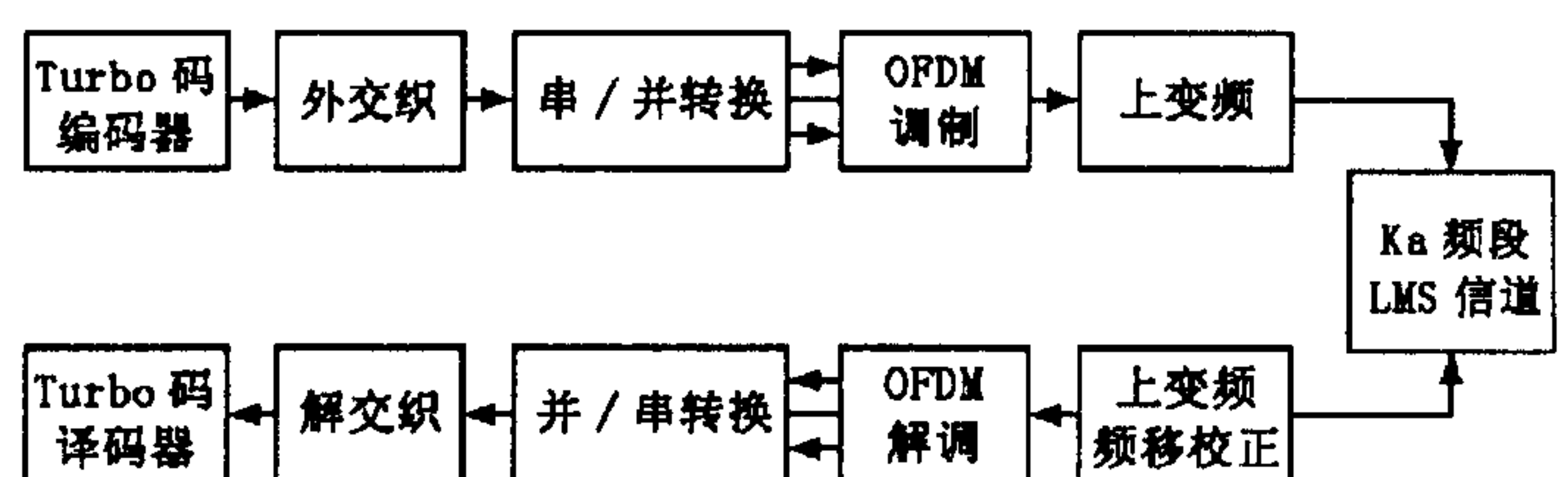


图 2 Turbo - OFDM 系统框图

在机制,易于实现大容量高速宽带传输。Turbo - OFDM 方案是将 Turbo 码与 OFDM 技术、交织技术等相结合,而形成的一种系统,因而系统传输的可靠性更高和有效性更好。Turbo - OFDM 系统组成如图 2 所示。

在 Turbo - OFDM 系统中,外交织器的作用是均化噪声,分散由于信道的深幅衰落导致的突发错误,化突发差错为随机差错。Turbo 码编码器内也有一个交织器称为内交织器,它是为了防止信息的不良反馈,对输入信息序列的比特顺序进行重置,使交织前后的序列相关性减小。

3 仿真结果

根据图 2 的 Turbo - OFDM 系统框图,利用仿真软件 Microwave Office 2003 / Visual System Simulator 2003 进行了仿真。仿真中,信息传输速率为 3.125 Mbit/s;地面端的载波频率为 29.2 GHz;Turbo 编码采用 1/3 码率,分量编码器采用(13,15)RSC 编码器,迭代次数为 8 次,交织长度为 1 000;Turbo 码中的内交织器和 Turbo - OFDM 外交织器均采用伪随机交织;在发送端与接收端,分别采用 128 点 IFFT 与 FFT 实现信号的调制与解调。图 3 给出 Turbo 采用不同的译码算法的误码率性能,比起 MAX - LOG - MAP 和 SOVA 算法,MAP 算法有最好的性能,但是 MAX - LOG - MAP 算法和 MAP 算法的性能差别很小,所以综合系统复杂度和性能考虑 MAX - LOG - MAP 译码算法是最好选择。

将图 2 中的 Turbo 编译码的方框分别用 TCM 编译码和卷积编译码的框图替换,就可以对这三者在 Ka 频段卫星信道中的性能进行对比分析。系统的误码率仿真曲线如图 4 所示。与 TCM - OFDM 相比 Turbo - OFDM 可获得 1.0 dB 的编码增益,与 CC - OFDM 相比可获得 3.0 dB 的编码增益。从比较的结果可以看出,Turbo - OFDM 与传统的卷积编码(CC - OFDM)方式和网格编码(TCM - OFDM)方式相比,具有更好的误码率性能。

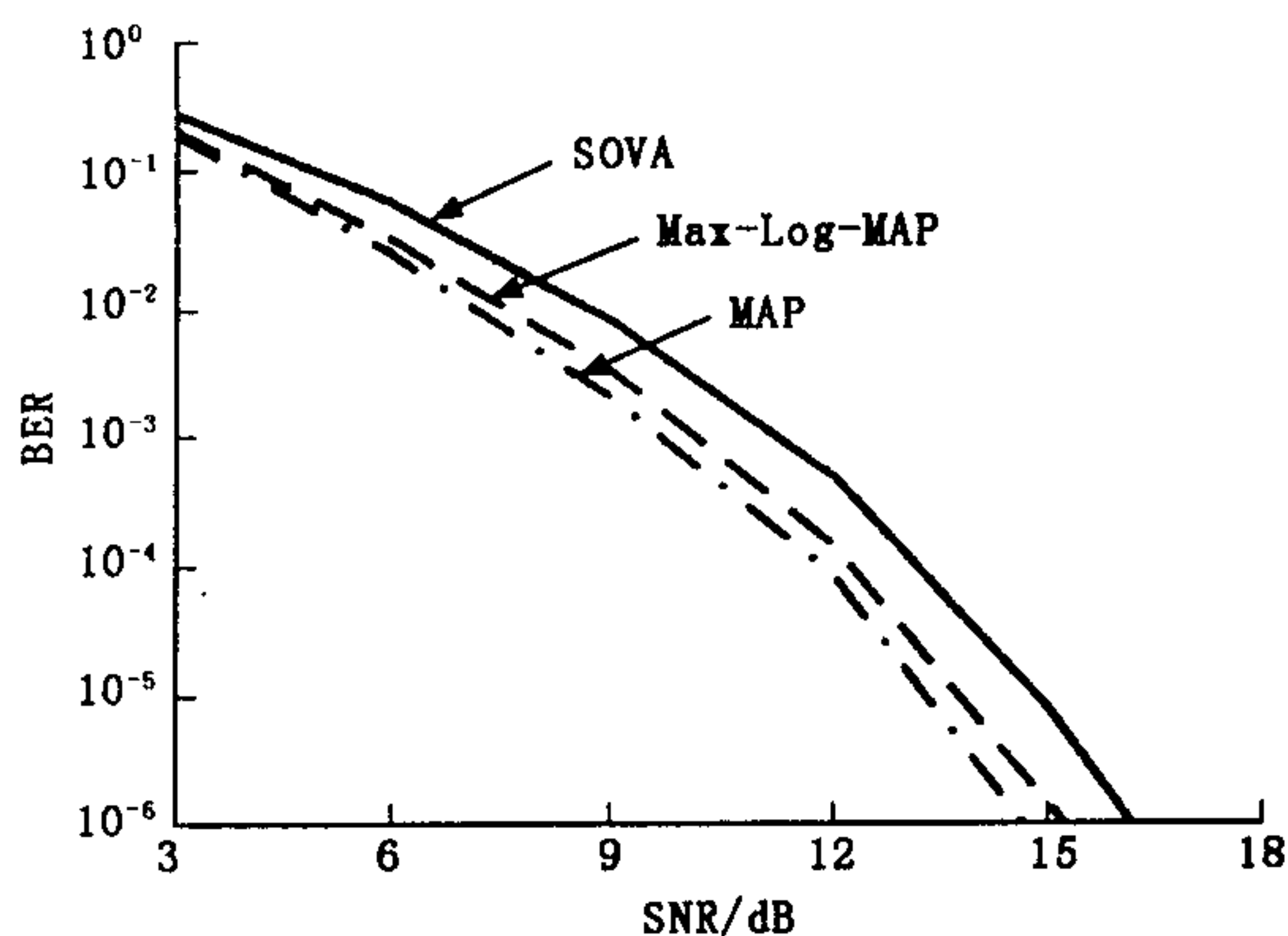


图 3 不同译码算法误码率性能曲线图

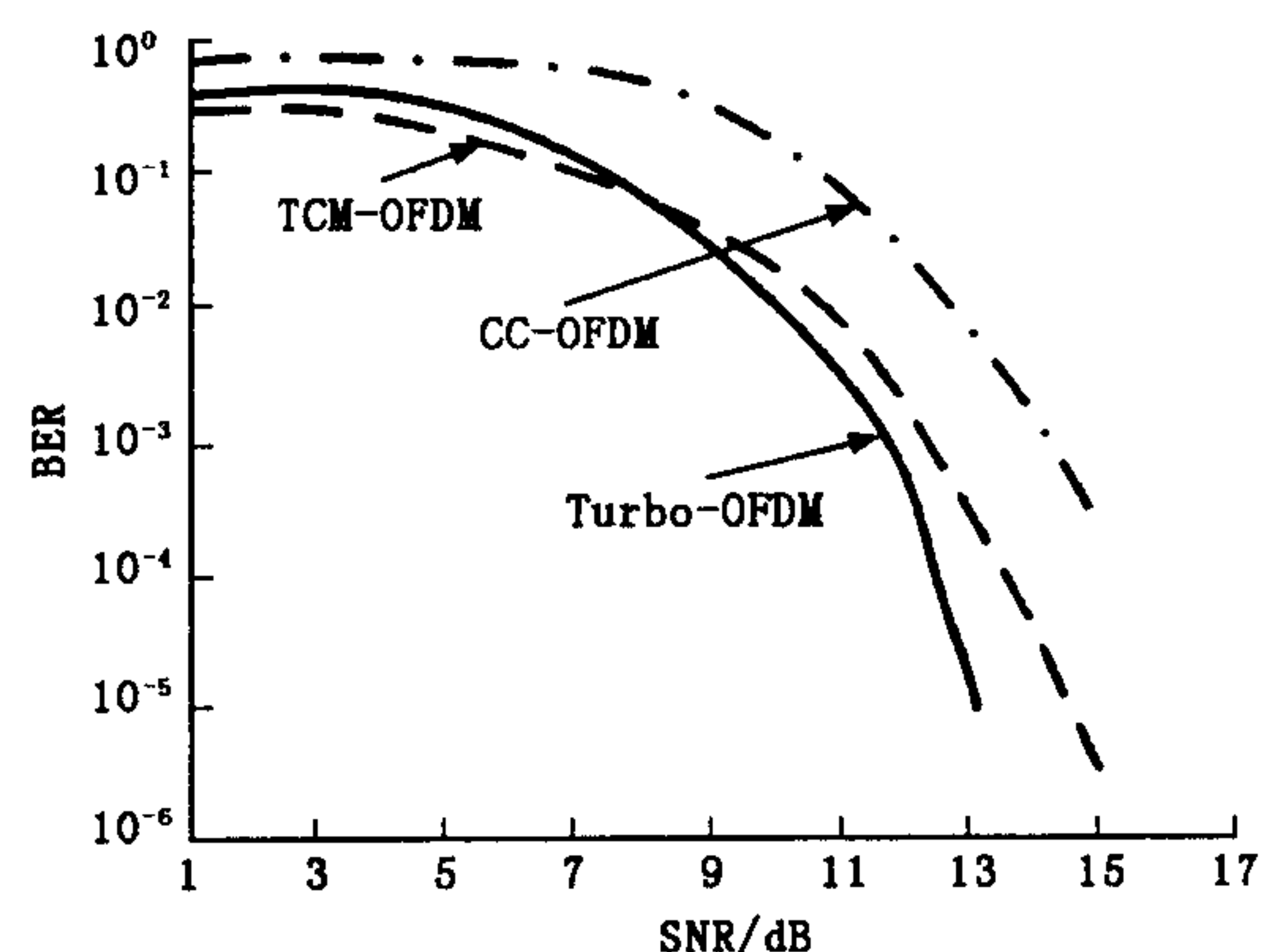


图 4 子载波数为 64 时误码率性能曲线图

仿真结果表明,本文提出的 Ka 频段 LMS 系统 Turbo - OFDM 方案,比 CC - OFDM 和 TCM - OFDM 性能更加优越。

参考文献:

- [1] Franz V, Bauch G. Iterative Channel Estimation for "Turbo" - Detection[J]. 2nd ITG Conference Source and Channel Coding, 1998, 44(10): 149 - 154.
- [2] Ibnkahla M. High - Speed. Satellite Mobile COFDM Communications Technologies and Challenges[J]. IEEE Proceedings, 2004, 92(2): 312 - 339.
- [3] Fernando W A C. Suitability of Turbo Coded OFDM or LEO Satellite Channels in Global Mobile Communications[J]. IEEE Trans, 2001, 44(10): 196 - 197.
- [4] Jin Young Kim. Turbo - Coded OFDM System for a Mobile Satellite Broadcasting System[J]. IEEE. VTC01, 2001, 6(1): 945 - 949.
- [5] Wenzhen Li, Choi Look Law, Tong J, et al. Ka - band Land Mobile Satellite Channel Model: With Rain Attenuation And Other Weather Impairments in Equatorial Zone[A]. IEEE, VTC[C]. Tokyo, 2000, 2468 - 2472.