

基于分集接收技术和 ALRT 算法的 MQAM 信号识别^{*}

王明绪¹ 朱西方¹ 黄国庆² 张成根³

(1. 河南工业职业技术学院 南阳 473000; 2. 空军第一航空学院 信阳 464000; 3. 郑州大学 郑州 450000)

摘要: 航空通信中多进制正交振幅调制(MQAM)信号的调制阶数较大时,主要选用平均似然比检验(ALRT)算法来完成信号的识别。提出了一种基于多天线分集接收技术的 ALRT 算法,在一定程度上改善了航空通信 4 种场景下 MQAM 信号的识别性能,通过仿真发现,滑行场景的调制识别性能改善更为明显,易受信噪比影响和信道衰落的 16QAM 信号的调制识别性能也大大改善,此外当信噪比超过 10 dB,基于多天线分集接收的 ALRT 算法下 MQAM 信号的正确识别率基本上达到 100%。

关键词: MQAM 信号; 分集接收技术; ALRT 算法; 航空通信

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

MQAM signal recognition based on diversity reception technology and ALRT algorithm

Wang Mingxu¹ Zhu Xifang¹ Huang Guoqing² Zhang Chenggen³

(1. Henan Polytechnic Institute, Nanyang 473000, China;

2. Air Force First Aviation College, Xinyang 464000, China; 3. Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The high order MQAM (multiple quadrature amplitude modulation) signals are analyzed by the ALRT (average likelihood ratio test) algorithm in aeronautical communication. It proposes a ALRT algorithm based on the receive diversity technique, and progresses the recognition performance. The simulation results show that, the recognition performance of ALRT algorithm based on the receive diversity technique is better in taxi scenario. Susceptible to signal to noise than channel and the fading of the 16QAM signal modulation recognition performance is also greatly improved, in addition, when the signal-to-noise ratio over 10 dB, based on the ALRT algorithm for multi antenna diversity reception MQAM signal the correct recognition rate basically reached 100%.

Keywords: MQAM signals; the receive diversity technique; ALRT algorithm; aeronautical communication

0 引言

多进制正交振幅调制(multilevel quadrature amplitude modulation, MQAM)是一种将振幅键控和相位键控融合在一起的混合数字调制方式。星型 MQAM^[1]进行的是幅度和相位的联合调制,解决了传统的 MASK、MFSK 和 MPSK 频谱利用率低以及抗多径性差等缺陷。基于假设检验的似然比识别法可以分为 3 种:平均似然比检验(average likelihood ratio test, ALRT)法、一般似然比检验(generalised likelihood ratio test, GLRT)法以及混合似然比检验(hybrid likelihood ratio test, HLRT)法, GLRT 算法自身特征局限无法对星型 MQAM 信号进行识别,

HLRT 算法在对 MQAM 信号^[2]进行识别时运算量大,故本文采用 ALRT 算法对 MQAM 信号^[3]进行识别。分集接收技术具有良好的抗衰落性能,有助于提高信号的识别^[4]性能。本文以航空信道中的星型 MQAM 信号为基础,从停场场景、起飞和降落场景、滑行场景和飞行场景等四种场景对航空信道建模,在基于 ALRT 算法的 MQAM 信号的识别上,提出了一种采用多天线分集接收技术的 ALRT 算法,由仿真结果可知,4 种场景下采用多天线分集接收技术^[5]的 ALRT 算法相比单天线的 ALRT 算法识别性能有了较大的改善,特别是负信噪比处、滑行场景下识别性能改变的尤为明显。

收稿日期:2017-02

* 基金项目:河南省教育厅科学技术研究重点项目(14B510003)资助

1 航空信道 MQAM 信号模型

航空信道因通信过程中不同的飞行状态有不同的信道^[6]特征,可以用一个变莱茵因子的莱茵模型来表示:

$$h(\tau, t) = a \exp(j2\pi f_{D_{LOS}} t) \delta(\tau) + \lim_{Q \rightarrow \infty} \frac{b}{\sqrt{Q}} \sum_{q=1}^Q \underbrace{\exp(j\varphi_q)}_{\text{随机相位}} \cdot \delta(\tau - \tau_q) \quad (1)$$

式中: $a \in \mathbb{R}$ 表示视距传播(LOS)的振幅, $f_{D_{LOS}}$ 表示 LOS 的多普勒频移, $b^2 \in \mathbb{R}$ 为非视距多径分量的方差, Q 为非视距多径个数. τ 为时延, φ_q 为第 q 个回波的随机相位, f_{D_q} 为第 q 个回波的多普勒频移, τ_q 为第 q 个回波的多径时延.

定义莱斯衰减因子 $K_{\text{Rice}} = a^2/b^2$, 取

$$E[|h(t)|^2] = a^2 + b^2 = 1 \text{ 得到 } a =$$

$$\sqrt{K_{\text{Rice}}/(K_{\text{Rice}} + 1)} b = \sqrt{1/(K_{\text{Rice}} + 1)}.$$

星型 MAQM 信号的信号模型为:

$$x_{\text{MQAM}}(k) = \sqrt{A} e^{j\theta_k} a_k \quad (2)$$

式中: A 为平均功率, k 为时间索引, a_k 为幅度信息, θ_k 为相位信息.

2 基于多天线分集接收技术的 ALRT 算法

假设在航空信道下,由单天线发射信号,由 N 根天线接收信号,接收到的 MQAM 基带信号不含噪声,表示如下:

$$r_n(k; \mathbf{u}_n^{(i)}) = \sqrt{\rho} x(k) \cdot h_n(k) \quad (3)$$

$$0 \leq k \leq KT_0, n = 1, 2, \dots, N$$

式中: $r_n(k)$ 为接收天线上接收到的无噪声信号, $h_n(k)$ 为发射天线到接收天线之间的信道系数. $x(k)$ 为 MQAM 信号序列, $\mathbf{u}_n^{(i)}$ 为与信号或信道相关的未知参数组成的多维向量, K 为观测数据长度, T_0 表示符号周期.

将无噪声的 MQAM 信号通过匹配滤波器,第 n 根接收天线接收到的基带信号为:

$$\mathbf{y}_n = \mathbf{r}_n(\mathbf{u}_n^{(i)}) + \mathbf{w}_n \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式中: \mathbf{y}_n 为接收到的信号序列, $\mathbf{w}_n = [\omega_{n,1}, \omega_{n,2}, \dots, \omega_{n,L}]^T$ 为加性高斯白噪声序列,且 $\mathbf{w}_n \sim CN(\mathbf{0}, \sigma_n^2 \mathbf{I}_L)$. 假设 H_i 及 $\mathbf{u}_n^{(i)}$ 下,接收信号的似然函数可表示为:

$$\Gamma(\{\mathbf{y}_{n,l}\}_{n=1}^N | H_i, \{\mathbf{u}_n^{(i)}\}_{n=1}^N) = \prod_{n=1}^N R_{n,l}^{(i)} \quad (5)$$

式(5)中 $R_{n,l}^{(i)}$ 的详细表达式为:

$$R_{n,l}^{(i)} = \exp\left(-\frac{|y_{n,l} - \sqrt{\rho} h_{n,l} x_l^{(i)}|^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (6)$$

将式(4)代入式(6)中,得到:

$$R_{n,l}^{(i)} = \exp\left(-\frac{|r_{n,l}|^2 - 2\text{Re}\{y_{n,l}^* \cdot r_{n,l}(\mathbf{u}_n^{(i)})\}}{2\sigma_n^2}\right) \quad (7)$$

由式(7)可知,通过估计得到 $\mathbf{u}_n^{(i)}$ 的参数时,将其代入式(5)求出似然函数. 若 $\mathbf{u}_n^{(i)}$ 的参数分布已知,只用求出期望即可得到似然函数,可得到:

$$\Gamma(\{\mathbf{y}_{n,l}\}_{n=1}^N | H_i) = E_{\mathbf{u}_n^{(i)}} \left[\prod_{n=1}^N R_{n,l}^{(i)} \right] \quad (8)$$

整个信号的似然函数为:

$$\Gamma(\{\mathbf{y}_n\}_{n=1}^N | H_i) = \prod_{l=1}^L \Gamma(\{\mathbf{y}_{n,l}\}_{n=1}^N | H_i) \quad (9)$$

对式(9)求对数:

$$L(\{\mathbf{y}_n\}_{n=1}^N | H_i) = \sum_{l=1}^L \ln \Gamma(\{\mathbf{y}_{n,l}\}_{n=1}^N | H_i) \quad (10)$$

为了识别信号调制类型,规定一个判决准则^[7]:

$$i_{\max} = \arg \max_{i \in \{1, 2, \dots, L\}} L(\{\mathbf{y}_n\}_{n=1}^N | H_i) \quad (11)$$

式(3)~(11)是基于天线分集接收技术的 ALRT 算法的实现方法.

3 仿真与分析

航空信道下,4种场景的参数参考文献[8],设载波频率为 200 MHz,码元周期是 20 μs ,非视距路径个数为 20,然后分别采用单天线接收的 ALRT 算法和多天线接收的 ALRT 算法对 MQAM($M=2, 4, 8, 16$)信号进行仿真.在基于单天线接收的 ALRT 算法仿真时,发射端只有一根天线发射,接收端只用一根天线接收,即 $M=N=1$;在基于多天线接收的 ALRT 算法仿真时,接收端信号有多由天线接收,并且采用分集接收技术,设 $M=1, N=4$. 设定 K 为 800,单天线接收信噪比区间为 $[-5, 20]$ dB,多天线分集接收信噪比区间为 $[-10, 15]$ dB,分别采用单天线接收 ALRT 算法和多天线分集接收技术对 MQAM($M=2, 4, 8, 16$)进行 500 次 Monte Carlo 实验^[7]. 经过仿真得到如图 1~8 所示曲线.

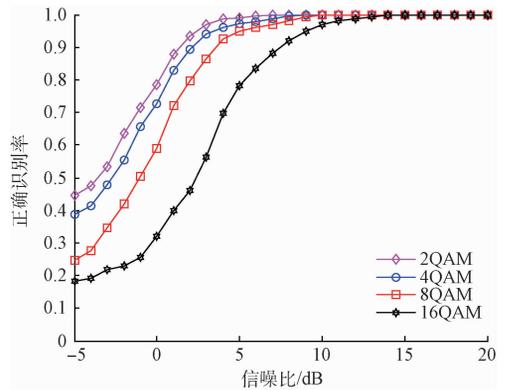


图 1 基于单天线接收的 ALRT 算法下飞行(空空)场景的识别性能曲线

从图 1、3、5 和图 7 可知,在单天线发射单天线接收的情况下,飞行(空空、地空)场景下的调制识别性能曲线优于起飞降落和滑行场景. 飞行空空场景调制识别性能略优于飞行地空场景,而滑行场景的调制识别性能最差. 从图 2、4、6 和图 8 可知,当发射端天线数目为 1,接收端天线数目增加到 4 时,飞机的 4 种场景下 MQAM 信号的调制识别

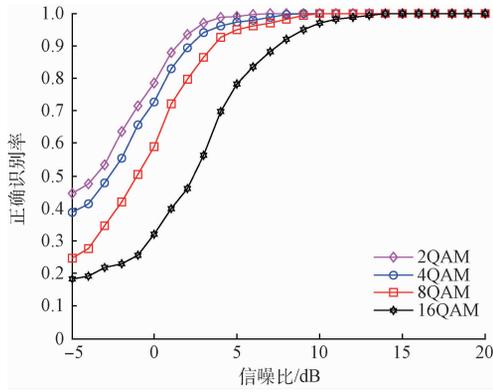


图 2 基于多天线分集接收的 ALRT 算法下飞行(空空)场景的识别性能曲线

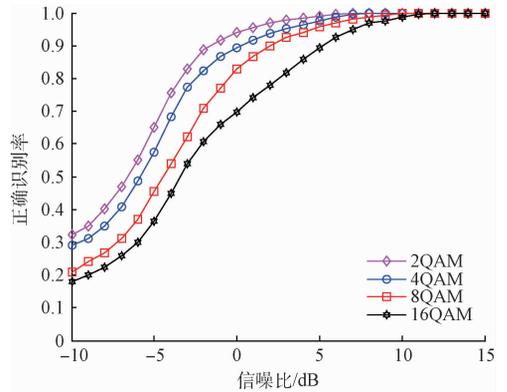


图 5 基于单天线接收的 ALRT 算法下飞降落场景的调制识别性能曲线

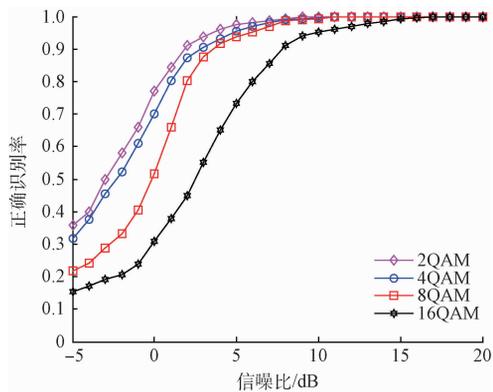


图 3 基于单天线接收的 ALRT 算法下飞行(地空)场景的识别性能曲线

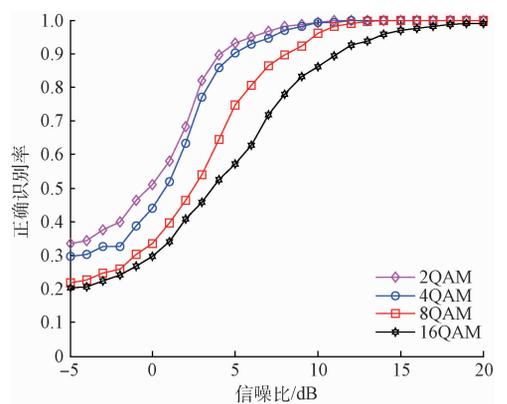


图 6 基于多天线分集接收的 ALRT 算法下飞降落场景的调制识别性能曲线

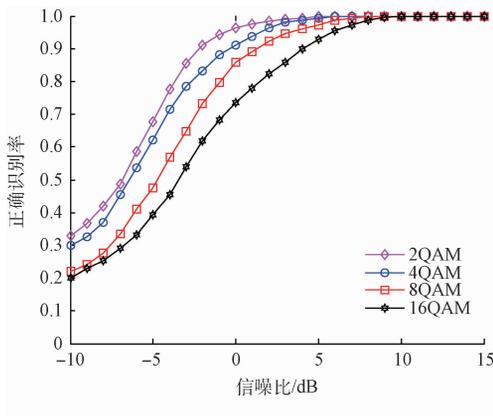


图 4 基于多天线分集接收的 ALRT 算法下飞行(空空)场景的识别性能曲线

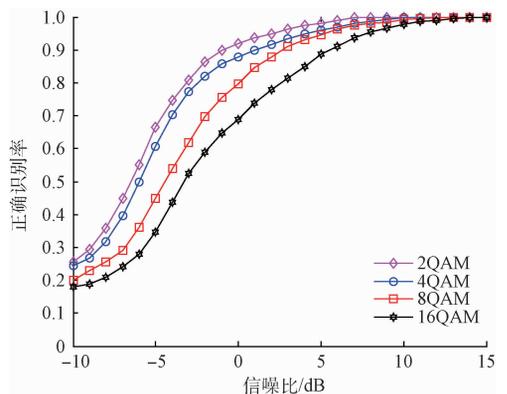


图 7 基于单天线接收的 ALRT 算法下滑行场景的调制识别性能曲线

性能均得到明显的提高,特别是滑行场景的调制识别性能改善更为明显,而且易受信噪比影响和信道衰落的 16QAM 信号的调制识别性能也大大改善,此外当信噪比超过 10 dB,基于多天线分集接收的 ALRT 算法下 MQAM 信号的正确识别率基本上达到 100%,负信噪比下,MQAM

信号的调制识别率也得到明显的改善。同时,相比单天线的 ALRT 算法,多天线分集接收的调制识别曲线的平滑性也大大提高。总的来说,多天线分集接收技术可以有效地改善信道衰落对信号带来的影响,有助于改变 ALRT 算法的调制识别性能。

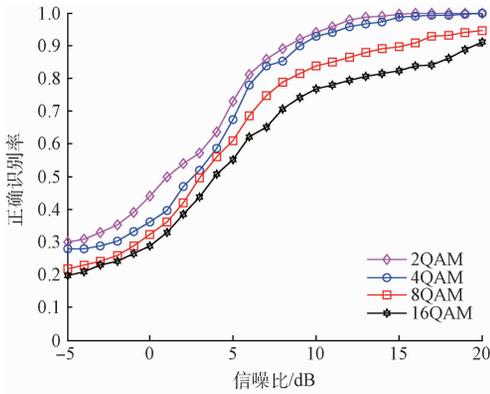


图 8 基于多天线分集接收的 ALRT 算法下滑行场景的调制识别性能曲线

4 结 论

本文采用基于多天线分集接收技术的 ALRT 算法对航空信道中的 MQAM 信号进行识别,所提出的算法在一定程度上改善了 MQAM 信号调制识别率,相比单天线得到 ALRT 算法,调制性能曲线的平滑性也大大得到提高,特别是滑行场景和 16QAM 信号的调制识别性能显著地得到改善。但是,基于多天线分集接收技术复杂度较高,所以需要进一步研究来降低其计算复杂度。

参考文献

[1] 李雁. 数字微波通信中的高阶 QAM 载波同步算法介

绍及仿真[J]. 数字技术与应用, 2015, 47(5): 110-116.

- [2] 李欣, 都建华, 许斌, 等. 自适应系统中各种调制解调技术的性能分析[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(6): 24-27.
- [3] 许维伟, 叶江峰, 张伟. 用于 APSK 和 QAM 信号信噪比估计的改进分段数据拟合算法[J]. 电讯技术, 2015, 55(6): 671-677.
- [4] 高新, 姚远程, 秦明伟. 一种基于小波变换和统计特征的数字信号调制识别方法[J]. 现代电子技术, 2014, 37(19): 73-78.
- [5] 汪忠伟, 黄建尧. 新型警用数字集群信号基带分集接收技术[J]. 电子测量技术, 2015, 38(12): 129-132.
- [6] 周峰, 秦明伟, 郭隆庆. 基于信道损伤的数字调制信号 EVM 计量方法-初步进展与后续挑战[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(12): 1-7.
- [7] 张成根. 航空信道中数字通信信号的调制识别研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- [8] 吕峰, 胡圣波. 16QAM 调制误码性能的 Monte Carlo 仿真[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2015, 33(1): 89-92.

作者简介

王明绪, 1986 年出生, 硕士研究生, 研究方向为现代信号处理。

E-mail: 342926064@qq.com