

文章编号: 2095-2163(2020)07-0166-04

中图分类号: TN911

文献标志码: A

自导飞行器控制指令传输均衡技术优化设计

林涛, 郭建松

(中国人民解放军91431部队, 海口570100)

摘要: 为了提高导弹自导飞行器控制指令传输的带宽和码元保真性能, 提出基于自适应信道扩频的飞行器控制指令传输均衡技术。构建飞行器控制指令传输信道的传输模型, 采用互相关检测方法进行飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测, 采用波特间隔均衡方法构建飞行器控制指令传输信道均衡模型, 结合模糊度辨识方法进行飞行器控制指令传输信号的自适应信道扩频, 提取飞行器控制指令传输信号的功率谱特征量, 结合波束形成方法进行飞行器控制指令传输信道扩频过程中的聚焦处理, 有效抑制旁瓣干扰, 采用自适应信道扩频方法实现飞行器控制指令传输扩频优化。仿真结果表明, 采用该方法进行飞行器控制指令传输扩频的带宽较大, 旁瓣抑制能力较好, 具有很好的控制指令传输抗干扰能力, 降低了输出误比特率, 具有很好的飞行器控制指令传输质量提升效能。

关键词: 导弹; 飞行器; 控制指令; 传输; 滤波; 信道均衡

Optimization design of control command transmission equalization technology for homing aircraft

LIN Tao, GUO Jiansong

(No. 91431 Troops of PLA, Haikou 570100, China)

[Abstract] In order to improve the bandwidth and symbol fidelity performance of missile aircraft control command transmission, an aircraft control command transmission equalization technology based on adaptive channel spread spectrum is proposed. The transmission model of aircraft control instruction transmission channel is constructed, and the anti-interference filtering detection of aircraft control instruction transmission signal is carried out by using cross-correlation detection method. The adaptive channel spread spectrum of aircraft control instruction transmission signal is combined with ambiguity identification method, and the power spectrum characteristic quantity of aircraft control instruction transmission signal is extracted. Focusing processing is carried out in the process of spreading spectrum of aircraft control instruction transmission channel by combining beamforming method, which effectively suppresses sidelobe interference. The simulation results show that this method has wide bandwidth, good sidelobe suppression ability, good anti-interference ability of aircraft control instruction transmission, reduced output bit error rate, and good efficiency of aircraft control instruction transmission quality improvement.

[Key words] missile; Aircraft; Control instruction; Transmission; Filtering; Channel equalization

0 引言

随着探测制导技术的发展, 导弹飞行器的制导控制精度越来越高, 为了进一步提高导弹制导和导引的精度, 需要进行飞行器控制指令的优化传输设计, 建立飞行器控制指令传输信道均衡模型, 结合抗干扰滤波设计, 提高导弹飞行器的抗干扰能力, 相关的飞行器制导控制指令的优化传输和信道均衡方法研究受到人们的极大关注。建立飞行器控制指令传输均衡控制算法, 结合信道扩频和解扩处理方法, 进行飞行器控制指令传输均衡处理和抗干扰设计, 提高导弹飞行器的控制精度^[1]。

飞行器控制指令传输中, 由于信息传输的保密性要求, 对飞行器控制指令传输安全性和保真性要求较高, 构建飞行器控制指令传输信道的扩频模型, 结合飞行器控制指令传输信道均衡技术, 进行飞行

器控制指令传输扩频优化, 提高飞行器控制指令传输信道的带宽, 降低飞行器控制指令传输信道的码间干扰, 研究飞行器控制指令传输均衡技术, 在提升飞行器控制指令传输的质量方面具有重要意义。当前, 飞行器控制指令传输及飞行器控制指令传输扩频方法主要有分数间隔均衡扩频方法和脉冲调制扩频方法等, 上述方法在进行飞行器控制指令传输扩频中存在模糊度较大和自适应性不好的问题。针对上述问题, 提出基于自适应信道扩频的飞行器控制指令传输均衡技术。构建飞行器控制指令传输信道的传输模型, 采用互相关检测方法进行飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测, 采用波特间隔均衡方法构建飞行器控制指令传输信道均衡模型, 结合模糊度辨识方法进行飞行器控制指令传输信号的自适应信道扩频, 提取飞行器控制指令传输信号的

作者简介: 林涛(1988-), 男, 大专, 主要研究方向: 导弹测试技术及应用。

收稿日期: 2020-05-10

功率谱特征量,结合波束形成方法进行飞行器控制指令传输信道扩频过程中的聚焦处理,有效抑制旁瓣干扰,采用自适应信道扩频方法实现飞行器控制指令传输扩频优化。最后进行仿真实验分析,展示了本文方法在提高飞行器控制指令传输扩频能力方面的优越性能。

1 飞行器控制指令传输信道的传输模型和滤波抗干扰处理

1.1 飞行器控制指令传输信道的传输模型

为了实现基于自适应信道扩频的飞行器控制指令传输扩频,首先构建飞行器控制指令传输信道模型^[2],设原始输入的飞行器控制指令传输信道传输的码元为 $x = [x(0), \dots, x(N-1)]$, 其中 $x(n)$ 为有限长的离散飞行器控制指令传输码元, $0 \leq n \leq N-1$, 则 x 的飞行器控制指令传输信道中传输码元的离散傅里叶变换(DWT)定义如下:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp(-j \frac{2\pi}{N} nk), \quad (1)$$

其中, $0 \leq k \leq N-1$, 表示飞行器控制指令传输码元序列的长度,设信号 $x(n)$ 经离散正交小波变换后,用 $X = DFT\{x\}$ 来表示有限时间序列下飞行器控制指令传输信号传输的带宽,对 x 进行 DFT,即:

$$X = [X(0), \dots, X(N-1)]. \quad (2)$$

计算飞行器控制指令传输信号的输出的相位偏移,对有限长的智能飞行器控制指令传输码元序列进行高分辨重构,提取飞行器控制指令传输信号的

码元特征量,在不同分辨率下进行波束形成,对码元序列 $j = 0, 1, \dots, M$ 进行统计特征分析,得到飞行器控制指令传输信号的能量 $E_j = \sum_k |C_j(k)|^2$, 对于整数 N_0, N_1 级的飞行器控制指令传输信道带宽,提取信道 $v_0(n), v_1(n)$ 的高阶谱特征量为: $C_j(k) = [x(t), \varphi_{j,k}(t)]$ 。用 $H_0(k), H_1(k)$ 分别表示信道冲激响应函数,在一帧信号较短的时间内得到飞行器控制指令传输信号的输出能量谱表示为 $E = \|x(t)\|^2 = \sum_j \sum_k |C_j(k)|^2 = \sum_j E_j$ 。令的训练序列自适应调整系数为 $N_0^{(j)} \approx \alpha^j N, N_1^{(j)} \approx \alpha^{j-1} \beta N$, 则:

$$N_0^{(j)} = 2\text{round}(\frac{\alpha^j}{2}N), \quad (3)$$

$$N_1^{(j)} = 2\text{round}(\frac{\beta\alpha^{j-1}}{2}N). \quad (4)$$

其中, $1 \leq j \leq J$, 表示尺度系数,根据上述信号分析,进行飞行器控制指令传输信道建模^[3]。

1.2 飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测

采用互相关检测方法进行飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测,采用波特间隔均衡方法构建飞行器控制指令传输信道均衡模型^[4],飞行器控制指令传输信号传输的通频带为 $c^{(j)}$, 由此得到飞行器控制指令传输信号的信息序列为: $N^{(1)} = N, N^{(j)} = N_0^{(j-1)}, 2 \leq j \leq J$, 每个子信号的用 P_j 描述,因此 $\sum_j P_j = 1$, 自适应调整均衡器抽头系数,进行抗干扰滤波检测^[5],得到滤波检测器如图 1 所示。

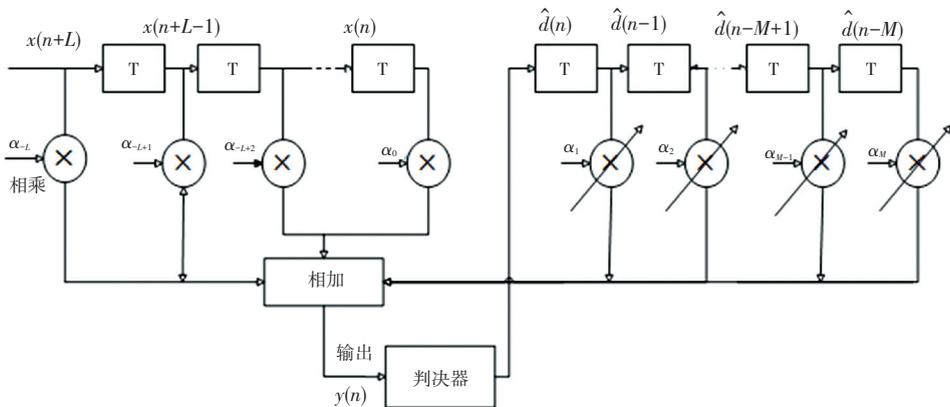


图 1 飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测器

Fig. 1 Anti-interference filter detector for communication signal

采用滤波检测方法估计信道中的码间干扰,对飞行器控制指令传输信道进行降噪处理,得到抗干扰滤波输出过程描述如下:

$$C^{(0)} \leftarrow DFT\{x\}, \quad (5)$$

$$\{C^{(j)}, W^{(j)}\} \leftarrow AFB(C^{(j-1)}, N_0^{(j)}, N_1^{(j)}), \quad (6)$$

$$w^{(j)} \leftarrow DFT^{-1}\{W^{(j)}\}, \quad (7)$$

$$c^{(j)} \leftarrow DFT^{-1}\{C^{(j)}\}, \quad (8)$$

其中, $1 \leq j \leq J$, AFB 表示飞行器控制指令传输信号的分解滤波器组。 $c^{(j)}, w^{(j)}$ 分别表示分数间隔均衡系数和波特间隔均衡系数,由此得到飞行器控制指

令传输信号的抗干扰滤波的优化过程描述为:

$$C^{(j)} \leftarrow DFT\{c^{(j)}\}, \quad (9)$$

$$W^{(j)} \leftarrow DFT\{w^{(j)}\}, \quad (10)$$

$$C^{(j-1)} \leftarrow SFB(C^{(j)}, W^{(j)}, N^{(j)}), \quad (11)$$

$$y \leftarrow DFT^{-1}\{C^{(0)}\}, \quad (12)$$

其中, $1 \leq j \leq J$, SFB 表示滤波传递系数, 根据上述分析, 实现飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测, 根据滤波检测结果, 进行飞行器控制指令传输扩频处理。

2 飞行器控制指令传输扩频优化

2.1 特征提取及自适应信道扩频

在上述构建飞行器控制指令传输信道的传输模型, 并采用互相关检测方法进行飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测的基础上, 进行飞行器控制指令传输扩频优化设计^[6], 本文提出基于自适应信道扩频的飞行器控制指令传输均衡技术, 得到飞行器控制指令传输信道的高阶谱特征量为:

$$Z_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |\text{sgn}[x(m)] - \text{sgn}[x(m-1)]| w(n-m). \quad (13)$$

其中:

$$\text{sgn}[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ -1, & x < 0. \end{cases} \quad (14)$$

$$w(n) = \begin{cases} \frac{1}{2N}, & 0 \leq n \leq N-1, \\ 0, & \text{其他}. \end{cases} \quad (15)$$

在线性调制系统进行信道均衡配置^[7], 得到飞行器控制指令传输信道的短时能量 E_n :

$$E_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} [x(m)w(n-m)]^2. \quad (16)$$

设计两个抽头延迟滤波器, 得到滤波函数:

$$T_j = \begin{cases} \sigma \sqrt{2 \ln(N)} \left(1 - \frac{J}{2} \times \frac{E_j}{\sum_{j=1}^{J+1} E_j}\right), & j = 1, 2, \dots, J, \\ \sigma \sqrt{2 \ln(N)} \times \frac{E_j}{\sum_{j=1}^{J+1} E_j}, & j = J+1. \end{cases} \quad (17)$$

其中, N 表示飞行器控制指令传输信号的长度, J 为帧长度, 采用直接序列扩频方法^[8], 得到自适应加权系数为:

$$\hat{w}_j^k = \begin{cases} \text{sign}(w_j^k) (|w_j^k| - \beta \cdot T_j), & \text{if } |w_j^k| \geq T_j, \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (18)$$

其中, $\beta = e^{-m \times \frac{|w_j^k|^2 - T_j^2}{T_j}}$; $m > 0$; β 是飞行器控制指令传输信道的调节因子:

$$T_j = \sigma_j \sqrt{2 \ln(N)}, \quad j = 1, 2, \dots, J+1, \quad (19)$$

$$\sigma_j = \frac{\text{median}(d_j(k))}{0.6745}, \quad (20)$$

其中, $d_j(k)$ 表示欧式距离, 采用波特间隔均衡方法构建飞行器控制指令传输信道均衡模型。

2.2 飞行器控制指令传输扩频输出

在提取飞行器控制指令传输信号的功率谱特征量的基础上, 结合波束形成方法进行飞行器控制指令传输信道扩频过程中的聚焦处理^[9], 得到信道扩频带宽为:

$$\hat{w}_j^k = \begin{cases} w_j^k, & \text{if } |w_j^k| \geq T_j, \\ 0, & \text{else} \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, J+1. \quad (21)$$

采用自适应信道扩频方法实现飞行器控制指令传输扩频优化, 自适应信道扩频函数为:

$$\hat{w}_j^k = \begin{cases} \text{sign}(w_j^k) (|w_j^k| - T_j), & \text{if } |w_j^k| \geq T_j, \\ 0, & \text{else} \end{cases}, \quad (22)$$

结合子载波检测方法, 进行飞行器控制指令传输调制解调, 输出为:

$$x(t) = A s(t) r_i + n(t) \theta_i. \quad (23)$$

其中, r_i, θ_i 分别为信号发送时刻的码元速率和随机码的切谱宽度, 此时, 多径信号到达接收端的谱密度 $R_{MDMMA}(k)$ 满足:

$$\text{abs}[|z(k)|^2 - R_{MDMMA}(k)] = \min_i \text{abs}[|z(k)|^2 - R_{MDMMA_i}] \quad (24)$$

采用扩频序列去调制载波, 建立估计误差 $e(n)$ 和步长因子 $\mu(n)$ 之间的线性相关关系, 构建判决反馈均衡器,

$$C_T(f) = \sum_{k=-K}^K c_k e^{-j2\pi k T}, \quad (25)$$

其中, c_k 为均衡器抽头系数, N 为恢复出所传输的信息的数据采样长度, 采用波束形成方法进行飞行器控制指令传输信道扩频过程中的聚焦处理, 有效抑制旁瓣干扰, 实现飞行器控制指令传输扩频^[10]。

3 仿真实验与结果分析

为了测试本文方法在实现飞行器控制指令传输扩频中的应用性能, 结合 Matlab 进行仿真实验, 假设飞行器控制指令传输采用飞行器控制指令传输, 噪声增益为 12 dB, 飞行器控制指令传输信道中的多径扩展的带宽为 1.25 ms, 前馈滤波器阶数设定为 24, 反馈均衡器的阶数为 3, 码间干扰的强度为 $SNR = 0 \sim 20$ dB, 在上述仿真环境和参数设定的基础上飞行器控制指令传输扩频处理, 脉冲发射频率从 4.6 kHz ~ 20 kHz, 得到飞行器控制指令传输信道

的输出信号如图 2 所示。

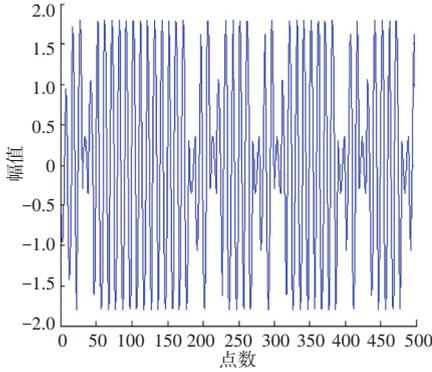


图 2 飞行器控制指令传输信号
Fig. 2 Communication signal

以图 2 的信号为载波信号,进行飞行器控制指令传输扩频处理,得到扩频输出如图 3 所示。

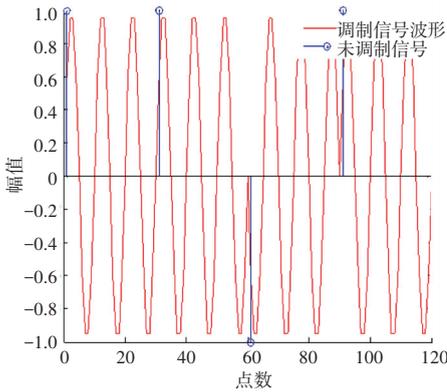


图 3 飞行器控制指令传输扩频输出
Fig. 3 Communication spread spectrum output

分析图 3 得出,采用本文方法进行飞行器控制指令传输扩频的输出均衡性较好,带宽较大,有效抑制旁瓣干扰,测试输出误比特率,得到对比结果如图 4 所示,分析图 4 得知,采用该方法进行飞行器控制指令传输扩频的带宽较大,旁瓣抑制能力较好,具有很好的飞行器控制指令传输抗干扰能力,降低了输出误比特率,具有很好的飞行器控制指令传输质量提升效能。

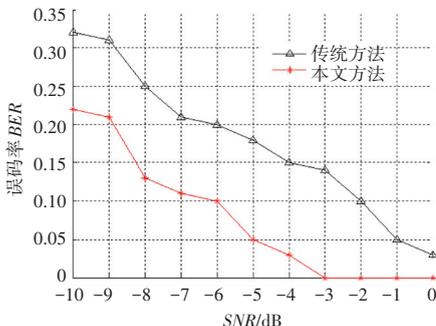


图 4 输出误比特率对比

Fig. 4 Output bit error rate comparison

4 结束语

构建飞行器控制指令传输信道的扩频模型,结合飞行器控制指令传输信道均衡技术,进行飞行器控制指令传输扩频优化,提高飞行器控制指令传输信道的带宽,本文提出基于自适应信道扩频的飞行器控制指令传输均衡技术。构建飞行器控制指令传输信道的传输模型,采用互相关检测方法进行飞行器控制指令传输信号的抗干扰滤波检测,采用波特间隔均衡方法构建飞行器控制指令传输信道均衡模型,结合模糊度辨识方法进行飞行器控制指令传输信号的自适应信道扩频,提取飞行器控制指令传输信号的功率谱特征量,结合波束形成方法进行飞行器控制指令传输信道扩频过程中的聚焦处理,有效抑制旁瓣干扰,采用自适应信道扩频方法实现飞行器控制指令传输扩频优化。分析得知,本文方法进行飞行器控制指令传输扩频的带宽较大,旁瓣抑制能力较好,具有很好的飞行器控制指令传输抗干扰能力,降低了输出误比特率,应用价值较高。

参考文献

- [1] 张秋月,张林让,谷亚彬,等. 恒包络 OFDM 雷达飞行器控制指令传输一体化信号设计[J]. 西安交通大学学报,2019,53(6): 77-84.
- [2] 冯径,熊鑫立,蒋磊. 软件飞行器控制指令传输适配器的调制模式识别算法[J]. 东南大学学报(自然科学版),2017,47(3):456-460.
- [3] 罗亚松,胡生亮,刘志坤,等. 正交频分复用水声飞行器控制指令传输自适应调制算法[J]. 国防科技大学学报,2017,39(1): 153-158.
- [4] 张凯,于宏毅,胡赞鹏,等. 稀疏信道下基于稀疏贝叶斯学习的精简星座盲均衡算法[J]. 电子与信息学报,2016,38(9): 2255-2260.
- [5] XIE S L, LIU Y, YANG J M, et al. Time-Frequency Approach to Underdetermined Blind Source Separation[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2012, 23(2): 306-315.
- [6] ALFARO V M, VILANOVAB R. Robust tuning of 2DoF five-parameter PID controllers for inverse response controlled processes [J]. Journal of Process Control, 2013, 23(4): 453-462.
- [7] 黄朝,许鑫,刘敦歌,等. 基于多传感器的微弱磁异常信号提取方法研究[J]. 电子测量技术, 2015, 38(10): 91-95.
- [8] 龙清,胡光波. 基于自适应噪声抵消的无线传感网络信道优化[J]. 智能计算机与应用, 2016, 5(4): 93-96.
- [9] 石鑫,周勇,胡光波. 基于信号峰脊陡变调制的雷达测距算法[J]. 物联网技术, 2015, 5(4): 12-14.
- [10] 马知瑶,周一览. 光纤陀螺寻北启动误差抑制方法研究[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(6): 33-35.