

无人机测控系统抗干扰性的优化

徐 进 刘重阳 廖 文

(西安工程大学电子信息学院 西安 710048)

摘 要:针对无人机巡检中遇到的干扰,采用了抗干扰分段编码方案。提出了基于认知 OFDM 方法,构造一个较低的冗余优化设计方法。抗干扰段编码方案可以恢复丢失的数据包、穿过双奇偶校验数据包,避免突发干扰的主要用户的认知用户通信过程。实验结果表明,该方案比未编码方案具有更低的误帧率和更高的吞吐量性能,使得无人机的抗干扰性能得到提高。

关键词:无人机;输电线路;抗干扰;分段编码

中图分类号: TP92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1020

Optimization of UAV control system anti-jamming

Xu Jin Liu Chongyang Liao Wen

(College of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on the rapid development of unmanned aerial vehicles (UAV), especially in the inspection of national power network. The inspection of the UAV transmission line can accurately find the fault point to ensure the stable operation of the system. According to the interference in the inspection of UAV, the anti jamming subsection coding scheme is adopted. This paper proposes a method based on cognitive OFDM, which is based on a low redundancy optimization design method. The anti interference segment coding scheme can recover the lost packets through the dual parity packets and avoid the interference of the main users of the cognitive user communication process. The experimental results show that the proposed scheme has lower frame error rate and higher throughput performance than the uncoded scheme, which improves the anti-jamming performance of uav.

Keywords: unmanned aerial vehicle; transmission line; anti-interference; block coding

0 引 言

无人机是用于输电线路检测设备的新技术^[1]。无人机输电线路的巡检,可以准确地找到故障点,以确保系统的稳定运行^[2]。目前面临技术和安全的多种考验,提高技术水平、解决安全问题是当务之急。

现有技术中,无人机在操作过程中,在受无线干扰情况下,遥控指令丢失的现象无法控制,图像数据显示异常;飞行数据、飞机状态等信息无法回传地面正确显示;传回的航拍图像数据无法正常显示。

本研究的目的是设计一套无人机抗干扰分段编码系统,以解决现有技术中导致的上述多项缺陷。

抗干扰单元可选配置、功能可开关,适应行业设备友好互通。

1 无人机巡检系统

在国网公司的“十二五”生产规划中明确提出,在特高压线路、跨区长距离输电线路、主干线路以及人工巡检无法到达的地区推广应用直升机、无人机、机器人巡线等智能巡检,显著提高输电线路安全运行可控、能控、在控水平。

1.1 无人机巡检的关键技术

1)飞行姿态的控制^[3]。无人机检查过程中,需要保证图像效果的平稳收集,不稳定的风和空气会影响特写镜头塔和线路检查。为了检查可以安全进行,无人机的飞行需要稳定的精确控制。针对无人机飞行姿态所造成的外部干扰和不稳定的系统问题,有可能对两种模糊神经网络的增益自适应模糊控制器进行分析和研究,上述方法具有高跟踪精度、小稳定误差、不受外界干扰和鲁棒性等优点。

2)无线通信技术和抗干扰性^[4]。塔和传输线路附近有相对较强的磁场,会极大地影响传输信号。基站和无人机的双向信息传输,采用无线传输模块。操作员和基站进行相应的动作指令和飞行控制,拍摄实时视频,传输图像数据,确定无人机的具体位置,需要有长距离、传输速度快、抗干扰能力强等优点。

3)线路故障检测技术^[5]。无人机安装高清摄像机和普通摄像机,检查视频和照片存储,根据 UAV 设备收集信息给相关运营商确定传输线运行。上述方式可以及时发现线路和塔异常情况,如闪络痕迹、悬浮异物、断线、绝缘子损坏等。配备红外仪器的无人飞行器可以承受超过红外光谱图像分析的热异常的表面温度,可以判断接头、绝缘子、线路等是否有故障。此外,UAV 配备了不同的设备,如激光雷达探测器、UV 成像仪等检测塔和实际操作的线路是否正常。

4)图像数据的预处理和优化。为了确保塔楼和线路运行的顺利检测,应收集高质量的冲击信息。在图像信息和传输线图像的收集过程中,由于机身或无人航空成像装置的抖动导致在发生模糊图像问题时定位和诊断线路故障,因此,恢复模糊图像是非常重要的部分。改变传输线走廊在更复杂的环境下,逐步减少背景和图像之间的差异,提高识别图像的难度。依靠肉眼识别图像问题,很可能错过部分故障,且效率低下。因此,分析和判断无人机收集的图像信息,应用合理的图像处理方法非常重要。

1.2 无人机巡检的航路规划

根据无人机航路规划涉及因素多、计算量大的特点,采用遗传算法进行航路规划。遗传算法是一种从原始社会进化演变而来的随机方法^[6-7]。它的特点是作用于构造对象,没有派生和连续性的推导,并有固定的隐式并行性和优化性。通过使用概率优化法,可以获得最佳方式,并主动引导,可以自主地调节方向,不用固定的规则。这些属性已经普遍用于组合化信号的处理、自适应控制和人工生命领域。它是现代智能计算的关键技术。

原始群体由固定数量的个体组成,在飞行的开始和结束之间采用连续的折线连接。每个个体(染色体)代表一个具有选择、交叉和突变作为基本操作符的路径。当进化完成时,最大适合度的路径是无人机巡检路径的最好选择^[8-9]。

2 抗干扰系统

本研究针对关键技术中的抗干扰部分,提出了一种优化的无人机抗干扰分段编码系统,如图 1 所示。

控制器 1 发送端的抗干扰数据实时采样单元 a3 用于对采集的原始数据生成抗干扰数据;相对原始数据,抗干扰数据被控制在不同时间(时域)和不同通道上(空域)进行编码,编码后发送;无人机 2 的接收端解码后,若原始数据正确则丢弃抗干扰数据,若原始数据部分有误或者部分

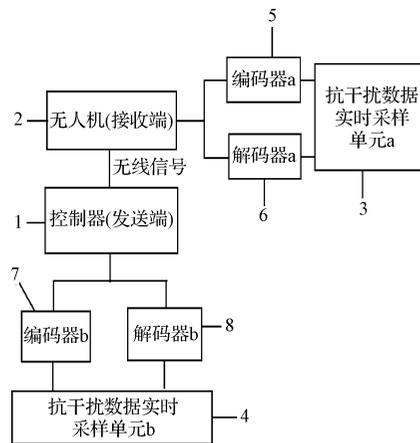


图 1 系统框图

丢失,则从解码出来的抗干扰数据中获取纠正^[10]。抗干扰码流的大小(相对于原始数据)根据传输通道带宽进行调整算法参数控制,抗干扰码流的时差(相对于原始码流)根据时延要求进行调整算法参数控制。空中飞行的无人机 2 和地面站为双向通道,同时是发送端也是接收端,受干扰情况下采用最大自纠正,使控制指令正常处理,图像数据正常显示,由于引入自纠正用的抗干扰数据,抗干扰数据实时采样单元 a3 和抗干扰数据实时采样单元 b4 对数据传输时延或者传输带宽可能有损耗,但通过调整算法参数在满足资源性能的前提下,可以最大程度地恢复受干扰数据^[11]。

3 分段编码理论

在抗干扰数据实时采样单元中具体的编码过程描述如下:固定长度为 L 的 K 个数据组的序列,一开始对这些序列的第一 Bit 编码以形成长度为 N 的线性块码。同样, K 的第二 Bit 分组被编码以形成码字。之后,获得长为 N 的 L 个分段码,其次通过 N 个并行子信道发送。接收设备通过迭代解码法执行低复杂度的解码。因为分段码是短线性块码,所以 L 个块码字的信息 Bit 和奇偶校验 Bit 不是交织的,使得可以采用并行编码和解码,即相同的编码器和解码器可以在编码和解码过程中使用,从而大大降低了实现的复杂性。段编码不是交织的,因此在高干扰率下,吞吐量将降低。所以,需要增加奇偶校验位以提高误差检测和校正性能^[12]。

在分组丢失时,分段代码重传分组,而不重传所有 KL 个 Bit。接收设备仅需要检查分组码的双位以获得丢失的数据组。在解码所有 L 个码之前,可以通过重传来恢复分组。

分段码的实质是分组码,校验矩阵 \mathbf{H} 由 Tanner 图构造。Tanner 图中的边是 \mathbf{H} 中的元素。分段编码集合为 $\Omega_j, j=1, 2, \dots, N, N$ 为变量数,校验的数量为 M 。定义 $L_M = \{l_j, j=1, 2, \dots, 2^M - 1\}$, L 中的元素为第 j 个节点集合中包含的个数,即 $l_j = |\Omega_j|$,且 $\sum_{j=1}^{2^M-1} l_j = N$ 。 Ω_j 为采用二

进制表达 j 时, Tanner 图中连接到校验节点使用的变量节点的边(二进制“1”的位置)。例如, $L_3 = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$, 构造的分段码是(7, 4)汉明码。

分段编码的帧差错率 Pr_{AJC} 为:

$$Pr_{AJC} = Pr\{m > M\} + Pr\{E | m \leq M\} Pr\{m \leq M\} = \sum_{m=M+1}^N Pr_m + \sum_{m=0}^M Pr\{E | m\} Pr_m, m = 0, 1, \dots, N \quad (1)$$

系统吞吐量为:

$$T_{AJC} = \frac{K}{N}(1 - Pr_{AJC}) \quad (2)$$

译码后丢失 n 个数据包的概率为:

$$Pr_n = \binom{N}{n} p^n (1-p)^{N-n}, n = 0, 1, 2, \dots, n = N \quad (3)$$

其中, $\binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N-n)!}$, p 为系统干扰率。冗余负载 Bit 数为一随机变量。当 $m > M$ 时, 系统误帧率为 1; 对于 $m < M$, $Pr_m\{E | m\} \neq 0$ 。记 N_{dec} 为原 KL Bit 经分段编码后成功解码的比特数量, 得到:

$$Pr\{E | m\} = Pr\{N_{dec} > (N - m)L\} \quad (4)$$

FER 的分段编码与特定的编码结构相关联。对于少量的冗余分组数 M , 在给定代码结构之后, 可以计算 $m \leq M$ 的差错率。给出了一种最小化对偶校验 Bit 的短分组迭代译码设计方法。本文设计的分段编码基于最小化 FER 或最大化系统吞吐量。

4 仿真与分析

使用 MATLAB 仿真得出如下结果。

在干扰速率不同的情况下使用抗干扰子编码和非码率编码的 OFDM 的吞吐量^[13], 如图 2 所示。

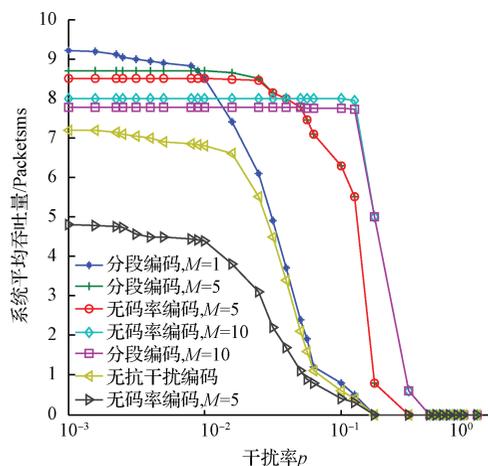


图 2 干扰率下 2 种编码的吞吐量

考虑 $N = K + M$ 个子信道, 占用 $K = 40$ 子信道的数据序列和子信道数据 $L = 10\ 000$ Bit 组长度。所以, 包括编码分组的分段的数量 $K = 40$ 和非码率的码率 $k = KL = 4 \times 10^5$ Bit。针对无码率, 冗余率服从高斯分布。当冗余组的数目被编码时, 分段码吞吐量的性能明显高于非

编码率的功能。没有抗干扰码的系统的吞吐量也高于 $M = 1$ 无码率码系统的吞吐量^[13]。当 $M = 5$ 、干扰率 $p < 0.05$, 分段码吞吐量优于非编码率时, 在 $p < 0.05$ 时, 两种抗干扰码具有相似的吞吐性能。

随着冗余组数目 M 的增加, 非编码速率吞吐量高于分段码的功能。当 $M = 10$ 、当干扰率 $p < 0.2$ 时, 非编码率高于分段编码。所以, 针对低干扰和短冗余分组, 可以利用分段编码实现高吞吐量增益。

伴随干扰率的增加, 达到其最大的吞吐量, 编码冗余数据包的数量增加。随着 M 的增大, 吞吐量下降, 即编码冗余组 M 的最佳数量, 使吞吐量达到最高。当干扰率 $p < 0.01$, 使用最佳冗余分组编号 1 时, 没有编码率为 1。当干扰率 $p < 0.01$, 分段编码率无编码时, 冗余分组的数量分别为 2 和 3。因此, 当低干扰率 ($p < 0.01$) 和冗余分组的最优数量被编码 $M \leq 4$ 时, 可以利用分段编码实现最大的吞吐量^[14], 如图 3 所示。

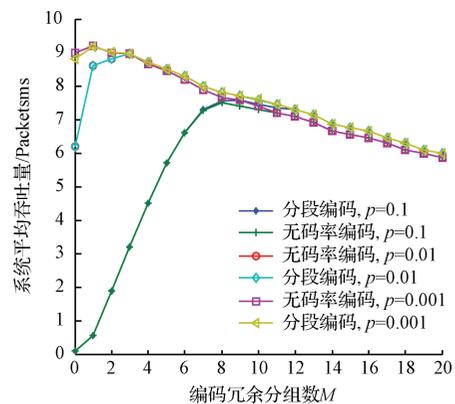


图 3 2 种编码的分组数与吞吐量

5 结论

实验结果表明, 能够在低干扰率和短码冗余包的情况下实现更低的 FER 和更高的吞吐量性能。说明了将抗干扰分段编码技术应用于无人机巡检中, 可以大大降低其干扰, 解决了巡检过程中遇到的大多数问题。

参考文献

- [1] YUE G S, WANG X D. Efficient ARQ protocols with antijamming coding for cognitive radios [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2012, 9(11): 1472-1486.
- [2] 厉秉强, 王骞, 王滨海, 等. 利用无人直升机巡检输电线路[J]. 山东电力技术, 2010(1): 1-4.
- [3] YUE G S, WANG X D. Design of efficient ARQ schemes with anti-jamming coding for cognitive radios [C]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2012: 1-6.

- [4] 沈磊,李昶君,高坤,等. 无人机输电线路巡检作业实施标准基于 MD-1000 型工业无人机[J]. 信息技术与信息化,2015(1):40-44,47.
- [5] 张永,李德波,吴翔,等. 无人机巡检输电线路技术的应用与分析[J]. 宿州学院学报,2013,28(8):87-88.
- [6] 雷英杰,张善文. 遗传算法工具箱及应用:第二版[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2013.
- [7] 杨楠,张健,朱凡,等. 基于遗传算法的无人机航迹规划代价函数[J]. 火力与指挥控制,2012,37(5):132-135.
- [8] PLANK J S, BUCHSBAUM A L, COLLINS R L, et al. Small parity-check erasure codes-exploration and observations[C]. IEEE International Conference on Dependable Systems and Networks, 2012: 326-335.
- [9] 邓荣军,王斌,熊典,等. 基于遗传算法的输电线路无人机巡检路径规划[J]. 计算机测量与控制,2015,23(4):1299-1301.
- [10] 诸葛葳. 无人机巡检输电线路技术的应用探析[J]. 科技经济市场,2015(5):16.
- [11] 周海峰. 无人机巡检输电线路技术的应用与分析[J]. 建筑工程技术与设计,2015(18):1238.
- [12] 陈晓兵,马玉林,徐祖舰. 无人飞机输电线路巡线技术探讨[J]. 南方电网技术,2008,2(6):59-61.
- [13] 李力,徐勋建,李波,等. 空线路无人机巡线技术探讨[J]. 湖南电力,2012,32(1):44-47.
- [14] 吕明,罗新,刘正云. 无人直升机线路巡检技术实用化研究[J]. 湖北电力,2012,36(3):10-12.

作者简介

徐进,1959 年出生,教授,硕士研究生导师,主要研究方向为智能控制、智能检测、信号与信息处理。

E-mail:739900982@qq.com

刘重阳(通讯作者),1992 年出生,硕士研究生,主要研究方向为智能电网在线监测和智能控制。

E-mail:623011465@qq.com

廖文,1989 年出生,硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理。

E-mail:793820224@qq.com

(上接第 25 页)

- [8] 蔡娟,李东新. 基于优化 k 均值建模的运动目标检测算法[J]. 国外电子测量技术,2016,35(12):20-23.
- [9] 陈建祥,静大海. 基于链码的分水岭和区域合并算法[J]. 国外电子测量技术,2016,35(12):36-39.
- [10] 蔡诗威,郭太良,姚剑敏. 一种基于卷积神经网络的性别识别方法[J]. 电视技术,2014,38(19):188-191.
- [11] 刘仁明,毛建旭,历艳琨. 基于随机森林回归的人脸特征点定位[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(5):684-693.
- [12] MITRAVINDA V R, KUMAR D V V S P. Research on license plate recognition and extraction from, complicated images[J]. International Journal of Engineering Research & Applications, 2014, 4(10):105-108.
- [13] 李丹,沈夏炯,张海香,等. 基于 Lenet-5 的卷积神经网络改进算法[J]. 计算机时代,2016(8):4-6.
- [14] 王义兴,黄凤岗,韩金玉,等. 基于颜色搭配与纹理特征的车牌定位方法[J]. 中国图象图形学报,2009,14(2):303-308.
- [15] ZHAO Z H, YANG S P, MA Z Q. License plate character recognition based on convolutional neural network LeNet-5[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(3):638-641.

作者简介

孙晶晶,1992 年出生,硕士研究生,主要研究方向为图像处理。

E-mail:1205102437@qq.com