

文章编号:1671-251X(2020)06-0031-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2019100047

煤矿四旋翼飞行机器人环境信息数据压缩算法

梁艳^{1,3}, 马宏伟^{1,3}, 崔亚仲², 薛旭升^{1,3}, 聂珍^{1,3}, 张力^{1,3}



扫码移动阅读

- (1. 西安科技大学 机械工程学院, 陕西 西安 710054;
2. 国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司, 陕西 神木 719300;
3. 陕西省矿山机电装备智能监测重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要:针对四旋翼飞行机器人在煤矿巷道中的飞行路径与轨迹多变,导致其在动态空间中采集的环境信息数据有较大冗余的问题,提出了一种煤矿四旋翼飞行机器人环境信息数据压缩算法。采用小波分析中的默认阈值降噪方法对原始数据进行降噪处理,以提高信噪比;以甲烷监测为例介绍数据压缩算法,将巷道空间沿巷道方向拆分成若干个截面,选取每个拆分截面的甲烷浓度有效值,并通过有效值对甲烷浓度检测数据进行重构。实验结果表明,通过算法压缩和重构的甲烷浓度信号与人工检测结果相比误差很小,数据压缩算法能够提取出甲烷浓度数据有效值,去除机器人采集到的冗余环境信息,从而提高数据传输的有效性和实时性。

关键词:煤矿四旋翼飞行机器人; 机载传感器; 环境信息; 数据冗余; 数据压缩; 甲烷浓度
中图分类号:TD76 文献标志码:A

Environmental information data compression algorithm for coal mine four-rotor flying robot

LIANG Yan^{1,3}, MA Hongwei^{1,3}, CUI Yazhong², XUE Xusheng^{1,3}, NIE Zhen^{1,3}, ZHANG Li^{1,3}

- (1.College of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology,
- Xi'an 710054, China; 2.CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu 719300, China;
- 3.Shaanxi Key Laboratory of Mine Electromechanical Equipment Intelligent Monitoring,
- Xi'an 710054, China)

Abstract:In view of problem that flight path and trajectory of four-rotor flying robot in coal mine roadway are changeable, which leads to great redundancy of environment information data collected by the robot in dynamic space, an environmental information data compression algorithm for coal mine four-rotor flying robot is proposed. The default threshold noise reduction method of wavelet analysis is used to reduce the noise of original data to improve signal-to-noise ratio; taking methane monitoring as an example to introduce data compression algorithm, the roadway space is split into several sections along the roadway direction, and the effective value of methane concentration of each split section is selected and used to reconstruct the detection data of methane concentration. The experimental results show that the methane concentration signal compressed and reconstructed by the algorithm has little error with the manual detection result, the data compression algorithm can extract the effective value of methane concentration data and remove the redundant environmental information collected by the robot, thereby improving the effectiveness and real-time performance of data transmission.

Key words: coal mine four-rotor flying robot; airborne sensor; environmental information; data redundancy; data compression; methane concentration

收稿日期:2019-10-23;**修回日期:**2020-06-05;**责任编辑:**胡娴。
基金项目:国家自然科学基金项目(E050103);国家自然科学基金重点项目(51834006);陕西省重点研发计划重点产业创新链项目(S2018-YF-ZDLGY-0011);陕西省教育厅专项科研计划项目(18JK0504);陕西省科技计划项目青年基金项目(2018JQ5116)。
作者简介:梁艳(1996—),女,陕西蒲城人,硕士研究生,主要研究方向为煤矿机器人,E-mail:852190330@qq.com。
引用格式:梁艳,马宏伟,崔亚仲,等.煤矿四旋翼飞行机器人环境信息数据压缩算法[J].工矿自动化,2020,46(6):31-34.
LIANG Yan,MA Hongwei,CUI Yazhong,et al.Environmental information data compression algorithm for coal mine four-rotor flying robot[J].Industry and Mine Automation,2020,46(6):31-34.

0 引言

现阶段煤炭仍然是我国的主要能源,但煤矿安全生产形势却非常严峻。为保障煤矿安全生产,建立完善可靠的煤矿安全监测系统极为重要^[1-2]。传统的井下环境监测方式以在井下设立监测点为主,存在数据空间覆盖度不足、灵活度不高等问题^[3]。目前,煤矿机器人成为研究热点,行走机器人被应用于煤矿救援、探测、巡检等。行走机器人主要获取近地信息,仍然存在一定的区域局限性及占空比大、灵活度不高、效率低等问题^[4-5]。

四旋翼飞行机器人具有结构简单、占空比小、反应迅速、灵活度高等优点,能够在空中悬停、垂直起飞和降落,适用于在煤矿巡检及灾后救援工作中监测现场环境信息,如 CH_4 浓度、 CO 浓度、 CO_2 浓度、 O_2 浓度、粉尘浓度、温度、湿度等^[6-7]。然而,煤矿四旋翼飞行机器人飞行环境复杂,在空间狭小、机械设备多、视觉环境差、噪声干扰严重的井下巷道中,机器人根据地形信息进行避障,其飞行路径多变,导致机载传感器采集的环境信息数据有较大冗余^[8-10]。

煤矿四旋翼飞行机器人检测到的环境信息数据必须安全、稳定、快速地传输到远程监控平台。针对煤矿四旋翼飞行机器人采集的环境信息数据的冗余特性,提出了一种数据压缩算法,用于对采集的环境信息数据进行压缩,以保证数据传输的有效性和实时性,提高数据传输效率。根据数据压缩与重构理论,对原始信号先进行降噪处理,再进行压缩,选取有效值,最后重构并传输。

1 数据降噪处理

矿井环境复杂,噪声干扰多,因此,首先用小波分析方法对原始数据进行降噪处理,以提高信噪比。小波分析降噪方法包括默认阈值降噪、给定阈值降噪、强制降噪 3 种。其中默认阈值降噪方法能适应信号频率的局域变化且更能突出数据应用特征,本文采用默认阈值降噪方法进行数据预处理。

默认阈值降噪方法通过函数 $\text{ddencmp}()$ 生成信号的默认阈值,然后用函数 $\text{wdencmp}()$ 进行降噪处理^[11-12]。其基本步骤如下:① 对信号进行小波分解。② 对分解后的高频系数进行阈值量化。③ 用低频系数和阈值量化后的高频系数进行小波重构。

2 飞行机器人环境信息数据压缩算法

以甲烷监测为例,假设煤矿四旋翼飞行机器人

在巷道中对甲烷气体进行监测,其在巷道深度(l)、高度(h)、宽度(d)方向均有监测数据。本文压缩数据的原则如下:① 在沿巷道方向每一拆分截面上选择甲烷浓度最大值。② 因每一拆分截面上,在高度方向(纵向)、宽度方向(横向)都有大量甲烷浓度数值,所以,在每一截面的横、纵方向分别选取最大值。③ 在每一截面上,选取纵向最大值、横向最大值中较大的值作为当前深度处的有效值。

将巷道空间沿巷道方向拆分成 $N(N \geq 1)$ 个截面,每一个拆分截面上横向和纵向的甲烷浓度分别为 $d_c(d_c = d_{c1}, d_{c2}, \dots, d_{cn}, n \geq 1, 1 \leq c \leq N), h_c(h_c = h_{c1}, h_{c2}, \dots, h_{cn})$,则巷道中甲烷浓度数据队列 C 可以表示为

$$C = \{d_c \cup h_c\} \quad (1)$$

设横向、纵向甲烷浓度最大值分别为 $d_{c\max}, h_{c\max}$,即

$$d_{c\max} = \max(d_{c1}, d_{c2}, \dots, d_{cn}) \quad (2)$$

$$h_{c\max} = \max(h_{c1}, h_{c2}, \dots, h_{cn}) \quad (3)$$

每一个拆分截面的有效值为

$$C_{c\max} = \begin{cases} d_{c\max} & d_{c\max} \geq h_{c\max} \\ h_{c\max} & h_{c\max} > d_{c\max} \end{cases} \quad (4)$$

监测段所有截面有效值的集合为 $C_{\max} = \{C_{1\max}, C_{2\max}, \dots, C_{N\max}\}$, $C_{\max}$ 即为最终输出的有效采集信号。数据压缩与重构流程如图 1 所示。

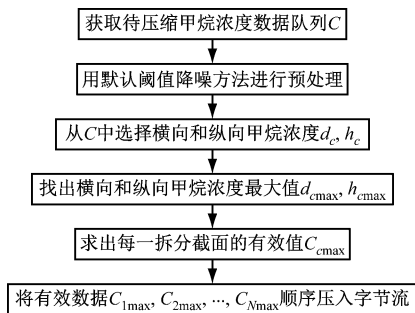


图 1 数据压缩与重构流程

Fig. 1 Flow of data compression and reconstruction

3 实验分析

3.1 数据采集和降噪

在实验室搭建实验场景,煤矿四旋翼飞行机器人依次飞往设定轨迹中的各监测点,通过携带的传感器采集甲烷浓度数据。机器人飞行轨迹如图 2 所示,与该轨迹相匹配的原始甲烷浓度采集点位置如图 3 所示。

采用默认阈值降噪方法对原始冗余环境信息进行降噪,结果如图 4 所示。由图 4 可知,默认阈值降噪方法有效抑制了噪声,且很好地保留了原始信号

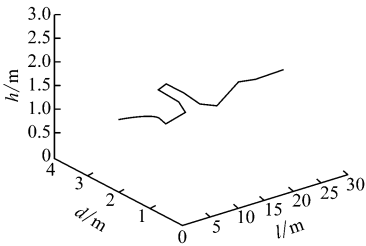


图2 机器人飞行轨迹
Fig. 2 Robot flight trajectory

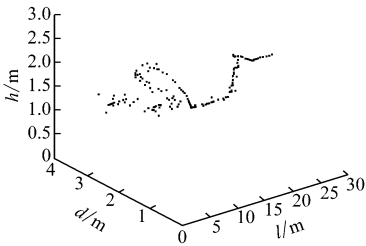


图3 原始甲烷浓度采集点位置
Fig. 3 Locations of original methane concentration collecting points

的特征尖峰点。
针对四旋翼飞行机器人的轨迹,在沿巷道方向

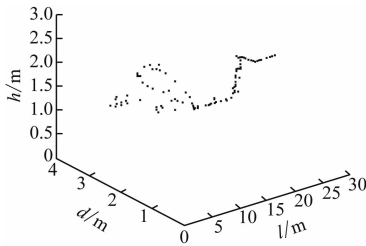


图4 降噪后的甲烷浓度采集点位置
Fig. 4 Locations of methane concentration collecting points after noise reduction

拆分成的 N 个截面中选择 5 个不同状态下(巷道起始检测段、向右避障、向左避障、向下避障、飞出监测段)的截面,各截面的原始甲烷浓度信息如图 5 所示,其中 k 表示甲烷体积分数。

由图 5 可看出,避障时的采集点位置随着飞行机器人的轨迹变化,在没有障碍物的起始检测段和飞出监测段,甲烷浓度采集点位置基本保持在纵向和横向的中心位置;每个截面中均有较多采集点,表明飞行机器人采集的原始信息中含有较多冗余信息。

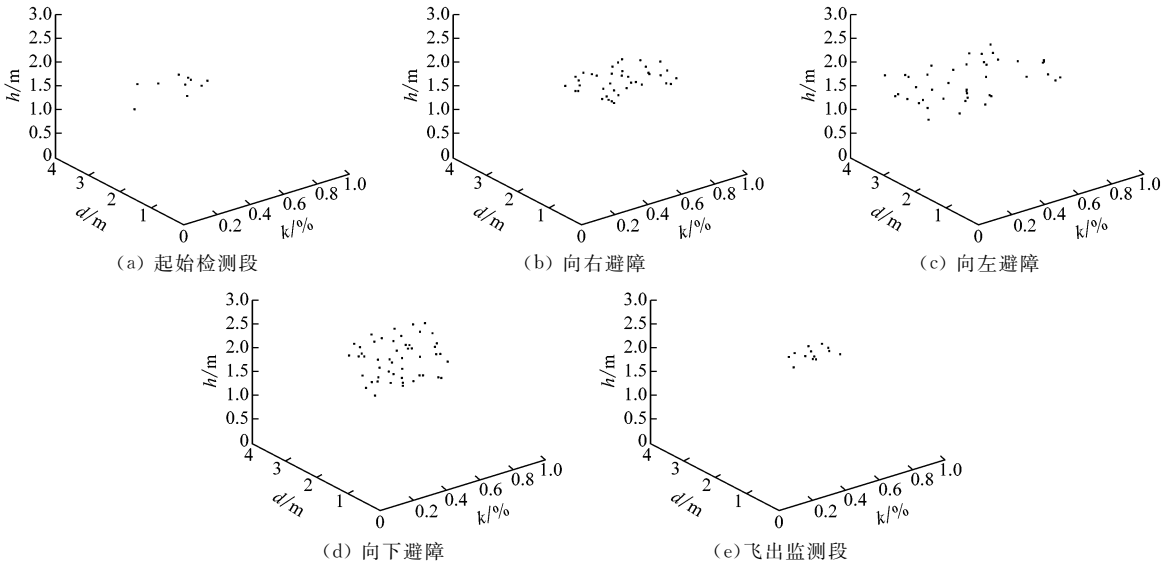


图5 不同状态下各截面的原始甲烷浓度信息
Fig. 5 Original methane concentration information of each section under different states

3.2 数据压缩和重构

在 Matlab 平台实现数据压缩算法,对原始甲烷浓度信息进行压缩和重构,得到沿巷道方向每个拆分截面的甲烷浓度有效值,将各数据点与人工检测到的各截面甲烷浓度有效值进行对比,结果如图 6 所示,部分采样点数据见表 1。

由表 1 和图 6 可知,通过算法压缩和重构的甲烷浓度信号与人工检测结果相比误差很小,验证了采用数据压缩算法去除煤矿四旋翼飞行机器人采集的冗余环境信息的可行性。

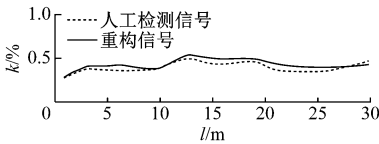


图6 甲烷浓度重构信号与人工检测结果对比
Fig. 6 Comparison of reconstructed signal of methane concentration with manual detection results

4 结语

针对煤矿四旋翼飞行机器人采集的环境信息数据的冗余特性,提出了一种数据压缩算法,将巷道空

表 1 部分采样点人工检测值、重构值及误差
Table 1 Manually detected values, reconstructed values and errors at some sampling points

巷道深度/m	人工检测值/%	重构值/%	绝对误差/%
0.90	0.27	0.29	0.02
3.13	0.38	0.41	0.03
6.40	0.35	0.42	0.07
9.50	0.37	0.36	0.01
12.69	0.50	0.53	0.03
15.37	0.43	0.48	0.05
18.79	0.47	0.49	0.02
21.10	0.36	0.43	0.07
25.30	0.34	0.39	0.05
29.81	0.46	0.43	0.03

间沿巷道方向拆分成 N 个截面,根据有效性来选取每个拆分截面的甲烷浓度,并基于数据压缩和重构理论对甲烷浓度检测数据进行重构。实验结果表明,通过算法压缩和重构的甲烷浓度信号与人工检测结果相比误差很小,数据压缩算法能够提取出甲烷浓度数据有效值,去除机器人采集到的冗余环境信息,从而提高数据传输的有效性和实时性。

参考文献(References):

[1] 马宏伟,姚阳,赵昊,等. 矿山钻孔救援探测机器人设计[J]. 工矿自动化,2019,45(9):1-6.
MA Hongwei, YAO Yang, ZHAO Hao, et al. Design of mine drilling rescue and detection robot [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(9): 1-6.

[2] 孙继平,钱晓红. 2004—2015 年全国煤矿事故分析[J]. 工矿自动化,2016,42(11):1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Analysis of coal mine accidents in China during 2004-2015[J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(11): 1-5.

[3] 胡汇洋,许应康,李扬. 试飞数据的压缩传输技术研究[J]. 现代电子技术,2015,38(10):78-79.
HU Huiyang, XU Yingkang, LI Yang. Research on technology of data compression transmission in flight test[J]. Modern Electronics Technique, 2015, 38(10): 78-79.

[4] 齐帅,李宝林,程岩. 煤矿救援机器人研究应用现状和需解决的问题[J]. 矿山机械,2012,40(6):7-10.
QI Shuai, LI Baolin, CHENG Yan. Study and application status of rescue robots used in collieries and existing problems [J]. Mining & Processing

Equipment, 2012, 40(6): 7-10.

[5] 薛旭升. 煤矿救援机器人无线通信系统及布放装置研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.
XUE Xusheng. Research on wireless communication system and arrangement device for mine rescue robots [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2013.

[6] 吴肖. 基于矿井无线通信技术与无人机联合搜索探测的分析与研究[J]. 内蒙古煤炭经济,2018(17): 85-87.
WU Xiao. Analysis and research of combined search and detection based on mine wireless communication technology and UAV [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2018(17): 85-87.

[7] 薛旭升,马宏伟,尚万峰. 煤矿救援无线通信机器人系统设计[J]. 矿山机械,2015,43(4):104-107.
XUE Xusheng, MA Hongwei, SHANG Wanfeng. Design of wireless communication robot system for rescue in colliery [J]. Mining & Processing Equipment, 2015, 43(4): 104-107.

[8] 张旭辉,董润霖,马宏伟,等. 基于虚拟现实的煤矿救援机器人远程控制技术[J]. 煤炭科学技术,2017, 45(5):52-57.
ZHANG Xuhui, DONG Runlin, MA Hongwei, et al. Study on remote control technology of mine rescue robot based on virtual reality[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 52-57.

[9] 邓丹枫. 煤矿井下无线安全监测系统的数据压缩技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
DENG Danfeng. Research on data compression technology of safety monitoring system for underground coal mine [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.

[10] SAWLIKAR A P, KHAN Z J, AKOJWAR S G. Power optimization of wireless sensor networks using encryption and compression techniques [C]// International Conference on Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies, 2014.

[11] MABBERG J. Generalized Huffman coding for binary trees with choosable edge lengths [J]. Information Processing Letters, 2015, 115(4): 502-506.

[12] 潘显兵. 一种改进的小波阈值降噪方法性能分析[J]. 微计算机信息,2006,22(7):112-113.
PAN Xianbing. Analysis of an improved methods in wavelet threshold denoising [J]. Microcomputer Information, 2006, 22(7): 112-113.