

河北省科学院学报

HEBEISHENG KEXUEYUAN XUEBAO

2020 年 12 月

第 37 卷 第 4 期

总第 134 期

目 次

基于卷积神经网络的图像检测识别算法综述·····	曾文献,张淑青,马 月,李伟光(1)
边缘计算与云协同问题研究·····	王文礼,贾芝婷(9)
基于机器学习的股票预测研究综述·····	张倩倩,林天华,祁旭阳,赵 霞(15)
涡流扩散比影响下的水下光通信性能分析·····	缪建成,耿欣蕊(22)
一种变电压 X 射线图像序列融合增强算法 ·····	乔运伟,刘英杰,李子文,李 野(29)
基于 LoRa 扩频技术的电梯状态监测系统设计与实现 ·····	郝虎全,孙瑞轩,肖 磊(35)
基于 DSP 和 SPI 总线的机载天线参数记录功能设计与实现 ·····	王 龙(42)
基于深度学习的滴灌带滴孔质量检测方法研究 ·····	姚利彬,罗英豪,郝存明(49)
工业机器人自动纸箱坯拆垛上料系统的研发应用 ·····	李 欣(54)
基于 PID 控制的一体化恒温激光器系统设计 ·····	刘英杰,李子文(58)
基于公开数据的河北网络安全等级保护测评项目分析及机构能力评估研究 ·····	王云丽,韩珍珍,杨文焕,成 彬(64)
基于 CiteSpace 的精准扶贫研究可视化分析 ·····	李素芳,孙晓晔(72)
大运河江苏段沿线城市三生空间冲突的演化特征 ·····	林芙蓉,车 通,罗云建(80)
基于生态位理论的浮游动物时空群落分布特征及测度 ·····	尹 凡,王文嫣,闫 玮,赵迎希,刘 明(90)
《河北省科学院学报》2020 年总目次 ·····	(99)

JOURNAL OF THE HEBEI ACADEMY OF SCIENCES

Vol. 37 No. 4

Dec. 2020

CONTENTS

- Overview of image detection and recognition algorithms based on convolutional neural network
..... ZENG Wen-xian, ZHANG Shu-qing, MA Yue, LI Wei-guang (1)
- Research on edge computing and cloud collaboration WANG Wen-li, JIA Zhi-ting (9)
- A review of stock forecasting based on machine learning
..... ZHANG Qian-qian, LIN Tian-hua, QI Xu-yang, ZHAO Xia (15)
- Underwater optical communication performance under the influence of the eddy diffusivity
ratio LIAO Jian-cheng, GENG Xin-rui (22)
- An enhanced algorithm of variable voltage X-ray image sequence fusion
..... QIAO Yun-wei, LIU Ying-jie, LI Zi-wen, LI Ye (29)
- Design and implementation of elevator condition monitoring system based on LoRa spread
spectrum technology HAO Hu-quan, SUN Rui-xuan, XIAO Lei (35)
- Implementation of data record based on DSP and SPI bus on airborne antenna
..... WANG Long (42)
- Research on detection for dripping irrigation pipe holes based on deep learning
..... YAO Li-bin, LUO Ying-hao, HAO Cun-ming (49)
- Development and application of industrial robots incarton-blank
stacksautomaticunstacking andfeeding system LI Xin (54)
- Design of integrated constant temperature laser system based on PID control
..... LIU Ying-jie, LI Zi-wen (58)
- Analysis of evaluation project of Hebei classified protection of cybersecurity and research
on the capacity of assessment organization based on Public Data
..... WANG Yun-li, HAN Zhen-zhen, YANG Wen-huan, CHENG Bin (64)
- Visualization ananalysis on research of targeted poverty alleviation based on CiteSpace
..... LI Su-fang, SUN Xiao-ye (72)
- Changes in spatial conflict among production-ecological-living spaces of the cities along
the Grand Canal (Jiangsu Section) LIN Fu-rong, CHE Tong, LUO Yun-jian (80)
- Spatial and temporal community distribution characteristics of theand data measurement of
zooplankton based on niche theory
..... YIN Fan, WANG Wen-yan, YAN Wei, ZHAO Ying-xi, LIU Ming (90)
-

文章编号:1001-9383(2020)04-0001-08

基于卷积神经网络的图像检测识别算法综述

曾文献,张淑青,马月,李伟光

(河北经贸大学 信息技术学院,河北 石家庄 050061)

摘要:介绍了卷积神经网络与图像识别的前置技术,对主流图像检测算法进行了综述,对比了主流算法模型在 voc2007+2012 和 COCO 数据集中的性能,接着讨论了图像识别算法的部署及应用,最后对卷积神经网络下的图像检测与识别算法进行了总结与展望。

关键词:卷积神经网络;图像检测;图像识别

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Overview of image detection and recognition algorithms based on convolutional neural network

ZENG Wen-xian, ZHANG Shu-qing, MA Yue, LI Wei-guang

(College of Information Technology, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China)

Abstract: This article introduces the front-end technology of convolutional neural networks and image recognition, reviews mainstream image detection algorithms, compares the performance of mainstream algorithm models in the voc2007+2012 and COCO datasets, and then discusses the deployment and application of image recognition algorithms. Finally, the image detection and recognition algorithm under convolutional neural network is summarized and prospected.

Keywords: Convolutional neural network; Image detection; Image recognition

0 引言

随着人工智能技术的不断发展,图像的数量呈指数函数型增长,图像检测识别技术的应用也愈加广泛,如何在深度学习基础上对海量图像数据进行智能处理成为计算机视觉领域研究的热点之一^[1]。

近年来,深度学习技术越来越成熟,计算机视觉的应用范围也逐渐扩大,在很多领域都取得了比较良好的成果,给图像检测技术的发展带来更多元的研究方向^[2]。卷积神经网络下的

收稿日期:2020-09-23

基金项目:河北省科技厅科技计划项目(199676265D)

作者简介:曾文献(1971-),男,陕西旬阳人,硕士,教授,研究领域为计算机视觉及物联网技术。

图像检测算法主要包括基于快速 CNN 的检测算法和基于回归学习的检测算法。本文主要对这两种方法中的主流算法进行了总结分析。

1 卷积神经网络与图像识别前置技术

1.1 CNN 网络模型

在图像检测识别领域,最常用的网络模型为 CNN 网络模型,如图 1 所示。在该模型中,可将输入信息在不同阶层不同结构中根据需求进行平移不变分类^[3]。

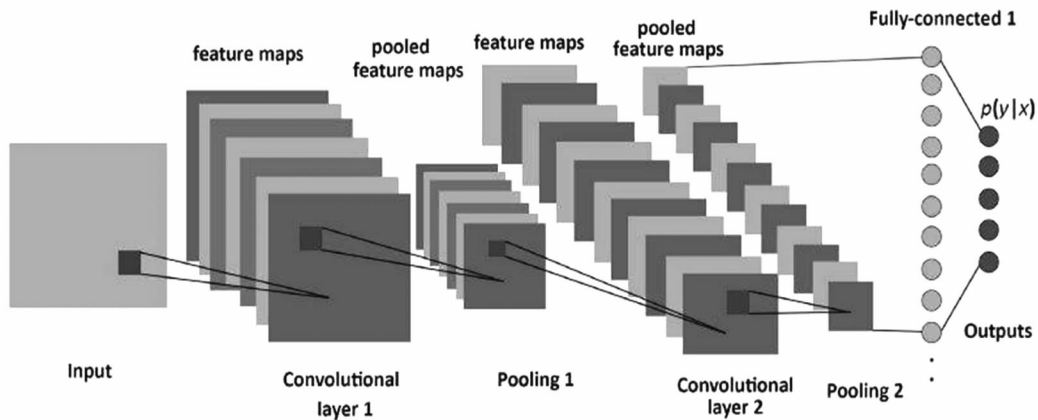


图 1 CNN 网络模型

1.2 图像识别前置技术

1.2.1 深度学习框架

近年来,深度学习技术在理论和基础框架方面都取得了重大的突破,本节主要对主流的深度学习框架进行综述。

深度学习框架包括主要包括 Theano、TensorFlow、MXNet、Keras、PyTorch 和 Caffe。其中,Theano 是一个 python 库,可理解为数学表达式的编译器,是早期深度学习开发与研究的行业标准。TensorFlow 是现阶段使用最多的深度学习框架。MXNet 支持多种语言,比较适用于云平台。Keras 是一个高层神经网络 API。PyTorch 可使用 GPU 加速,相较于其他框架具有实现动态神经网络的优点。Caffe 可支持 Matlab 和 python 等接口,是现今较为流行的框架之一。

1.2.2 Numpy 包

图像处理过程中,大多数场景都需要先将图像转换成矩阵或向量,再进行图像识别,因此 Numpy 包是图像识别算法中非常重要的前置技术。Numpy 矩阵对图片进行科学计算,将图片处理过程简化为空间向量计算,进而实现图像的识别。

2 基于卷积神经网络的图像检测算法

2.1 基于快速 CNN 的检测算法

基于快速 CNN 的检测算法主要包括 R-CNN、SPP-Net、Fast RCNN、Faster RCNN、R-FCN、Mask R-CNN、Cascade R-CNN 和 TridentNet 等,本节主要分析了几种主流的基于快速 CNN 的检测算法。

2.1.1 R-CNN

RCNN 算法^[4]是 2013 年由 Grishick 等人提出,以 Alexnet 为主干网络,算法的网络模型如图 2 所示。在 RCNN 中,将 CNN 与候选框推荐方法进行结合,检测过程分为了特征提取 + SVM 分类两部分,在精度方面有了较大的提升,但检测速度比较缓慢。

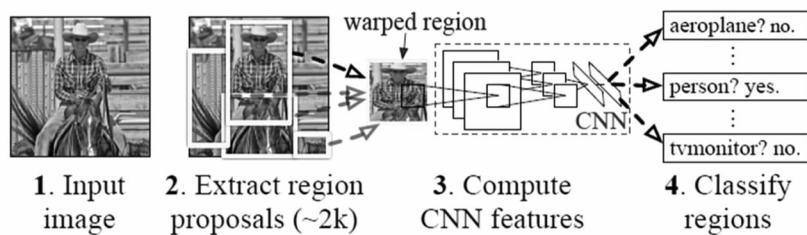


图 2 RCNN 网络模型

2.1.2 SPP-Net

SPP-Net 算法^[5]是 2014 年由 He 等人提出,它是以 ZF-5 为主干网络的算法,可对任意大小的图像进行池化。SPP-Net 在最后一层添加了 SPP 层,每一张图像仅进行一次卷积,当输入任意尺寸图片(w,h)时,想要输出 21 个神经元时,我们可以利用空间金字塔对图片进行尺度划分完成特征提取。

2.1.3 Faster RCNN

Faster RCNN 算法^[6]主要是对 FastCNN 算法^[7]中一些不足地方进行的改进,2015 年由 Ren 等人提出,是以 VGG-16 为主干网络的算法,网络模型如图 3 所示。算法的损失函数分为 RPN 分类损失、RPN 位置回归损失、ROI 分类损失和 ROI 位置回归损失四个部分,具体的计算公式如公式(1)所示。

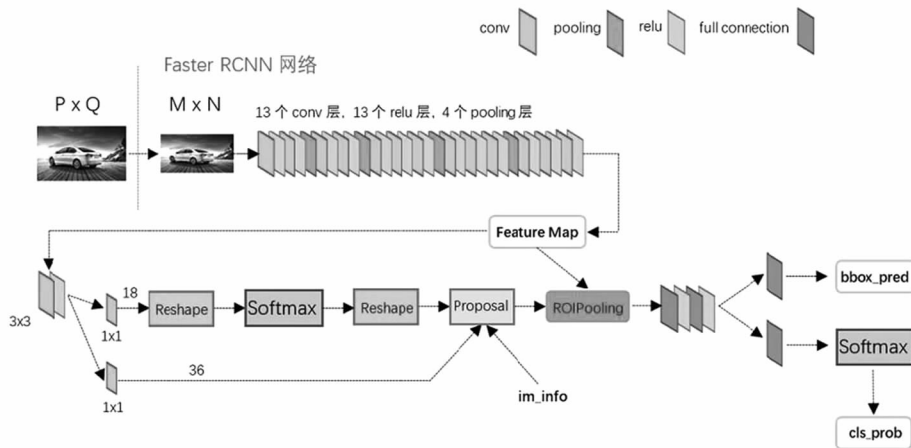


图 3 Faster RCNN 网络模型

$$L(p_i, t_i) = \frac{1}{N_{cls}} \sum_i L_{cls}(p_i, p_i^*) + \lambda \frac{1}{N_{reg}} \sum_i p_i^* L_{reg}(t_i, t_i^*) \quad (1)$$

式中, p_i 表示正样本预测分类概率, 当为正样本时, $p_i^* = 1$, 否则 $p_i^* = 0$; t_i 为正样本时预测的 Bounding Box 的参数化坐标, t_i^* 为样本的 Ground Truth 的 Bounding Box 的参数化坐标, N_{cls} 表示 mini-batch size, N_{reg} 表示 Anchor Location, $p_i^* L_{reg}(t_i, t_i^*)$ 表示只有预测为正样本时回归 Bounding Box。 L_{cls} 为分类误差, 是两个类别的对数损失, 如公式(2)所示, L_{reg} 是检测误差。

$$L_{cls}(p_i, p_i^*) = -\log[p_i p_i^* + (1 - p_i)(1 - p_i^*)] \quad (2)$$

2.1.4 Mask R-CNN

Mask R-CNN^[8]是 2017 年由 He 等人^[8]提出,选择 ResNET-101-FPN 为主干网络,FCN 网络模型如图 4 所示。它在 Faster RCNN 网络基础上加入了一个预测目标掩饰的并行分支,不但提高了检测精度,还可以利用 FCN 网络实现实例分割,具有高速、高准确率、简单易用等特点,并在损失函数中加入了 mask 分支,计算公式如公式 3 所示。

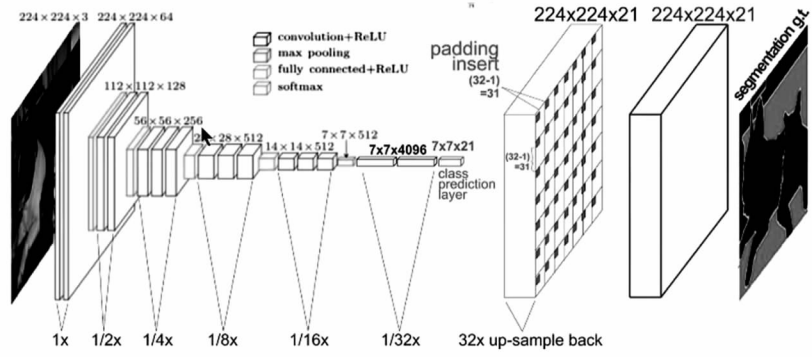


图 4 FCN 网络模型

$$L = \bar{L}_{cls} + L_{box} + L_{mask} \quad (3)$$

式中 L_{cls} 为分类误差, L_{box} 是检测误差, L_{mask} 为分割误差。

2.2 基于回归学习的检测算法

基于回归的检测算法又称为单阶段检测算法,主流算法包括 YOLO 系列、SSD 系列、RetinaNet、CornerNet、CenterNet、EfficientDe 等。本节对主流的 YOLO 系列、SSD 系列、RetinaNet 和 CenterNet 进行介绍。

2.2.1 YOLO 系列

YOLO 系列从 2015 发展至今共有四个版本,本节从算法原理分别对其介绍。

YOLOV1 算法^[9]是 2016 年由 Redmond 等人提出,在它的实验过程中使用了一个单独的 CNN 模型,实现了端到端的检测,网络模型如图 5 所示。各边界框的类别置信度如公式 4 所示。

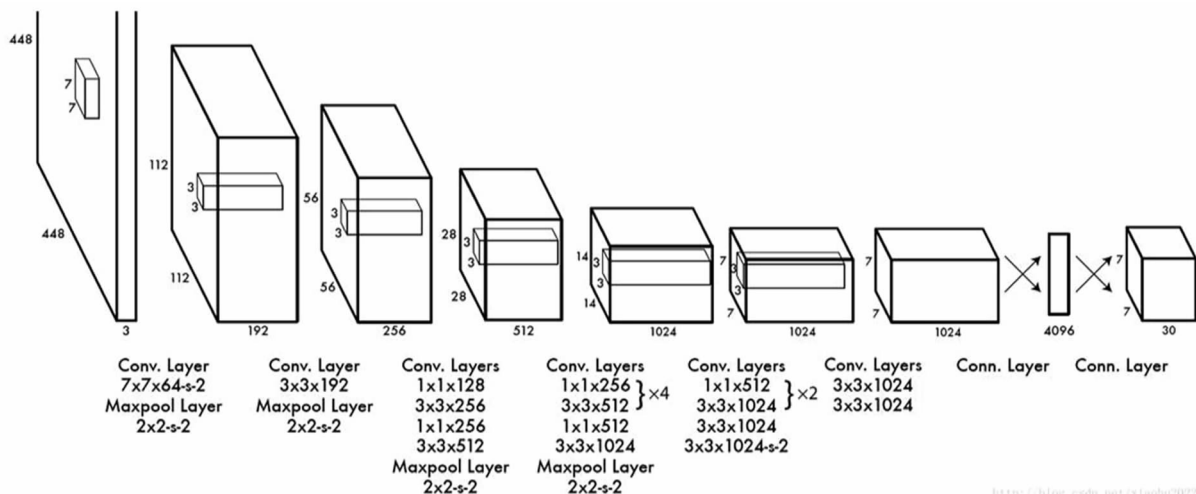


图 5 YOLOV1 网络模型

$$Pr(class_i | object) * Pr(object) * IOU_{pred}^{truth} = Pr(class_i) * IOU_{pred}^{truth} \quad (4)$$

式中, $Pr(object) * IOU_{pred}^{truth}$ 为 *Confidence*, IOU_{pred}^{truth} 为预测框和实际框的 IOU, 是描述两个区域重合度的评价指标, 重合度越高, 代表模型的定位越准确。

YOLOV2 算法^[10]是 2017 年 Redmon 等在 V1 基础上进行了 BN 操作, 选择 Darknet-19 作为主干网络, 提升了模型的收敛速度。使用 anchor boxes 来预测边界框相对于先验框的 offsets, 位置预测公式和边界框预测公式如公式(5)–(6)所示。

$$x = (t_x * w_a) + x_a, y = (t_y * h_a) + y_a \quad (5)$$

$$b_x = \sigma(t_x) + c_x, b_y = \sigma(t_y) + c_y, b_w = p_w e^{t_w}, b_h = p_h e^{t_h} \quad (6)$$

式中, x, y 为预测边框中心, x_a, y_a 为先验框中心点坐标, w_a, h_a 为宽和高, t_x, t_y 为要学习参数。 b_x, b_y, b_w, b_h 分别为预测边框的中心和宽高。

YOLOV3 算法^[11]是 Choi 等人利用 Darknet-53 作为主干网络, 在网络中加入了残差模块, 在检测精度和速率方面都得到很大的提升。

YOLOV4 算法^[12]是 2020 年 Bochkovski 等人提出, 主要由 CSP Darknet53 主干网络和 SPP、PAN 结构组成, 网络模型如图 6 所示。

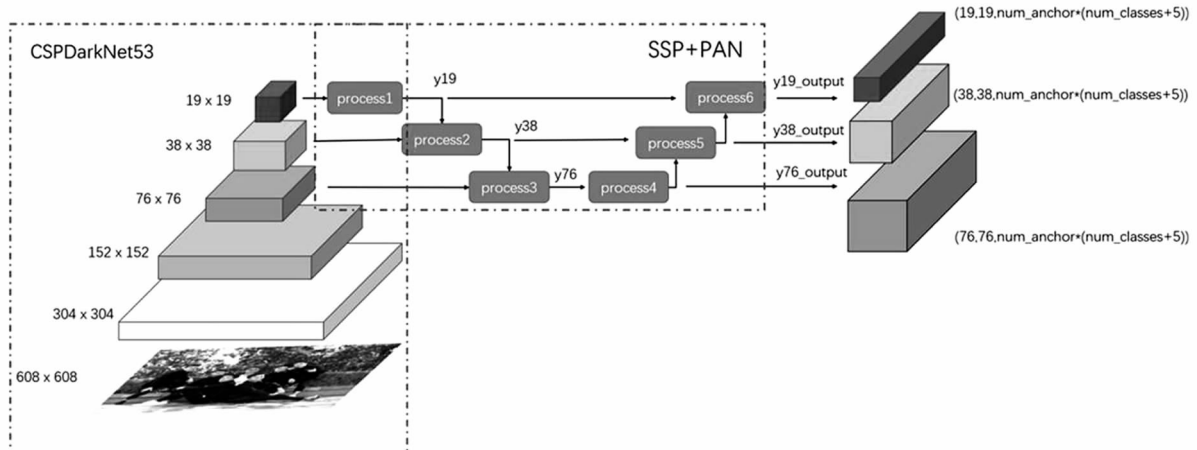


图 6 YOLOV4 网络模型

YOLOV4 算法选择 Mish 作为激活函数, 如公式(7)所示。式中, $\tanh(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$, $\text{softplus}(x) = \log(1 + e^{2x})$ 。

$$y = x * \tanh(\text{softplus}(x)) \quad (7)$$

2.2.2 SSD 系列

SSD^[13]系列网络是 2016 年由 Liu 等人提出, 主要利用不同层特征完成检测, 实验结果在检测精度和准确率等方面有着显著提升, 网络模型如图 7 所示。它使用 default box 来预测生成边界框, 计算公式如公式(8)所示。

$$S_k = S_{min} + \frac{S_{max} - S_{min}}{m - 1} (k - 1), \text{ 其中 } k \in (0, 1) \quad (8)$$

SSD 改进算法主要包括 DSSD^[14]、DSOD^[15]和 FSSD^[16]。其中, DSSD 算法^[14]选择 Resnet-101 作为主干网络, 使用多个反卷积层来扩展低维度信息的上下文信息。FSSD 算法^[16]将 FPN 和 SSD 进行特征融合, 把网络中某些 feature 调整为同一尺寸再融合。

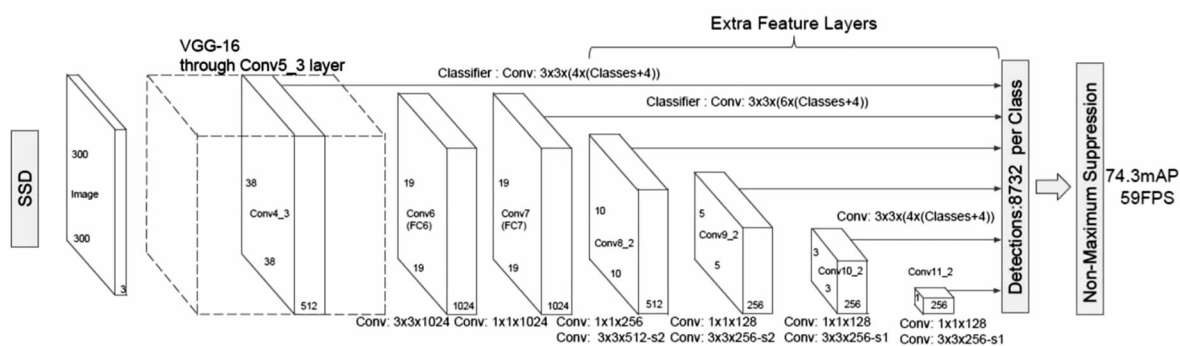


图 7 SSD 网络模型

2.2.3 RetinaNet

RetinaNet 算法^[17]是 2017 年 Lin 等人针对样本类别不平衡导致单阶段检测算法精度低问题所提出,利用 FPN 作为主干网络,网络模型如图 8 所示。

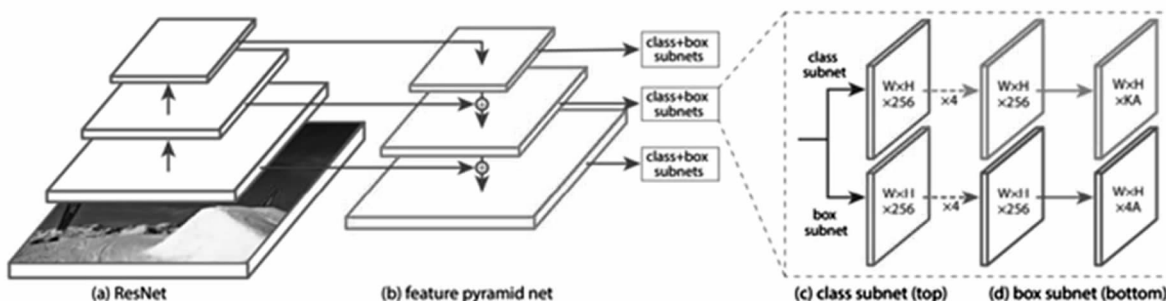


图 8 RetinaNet 网络模型

该模型使用 focal loss 作为训练过程的损失函数,计算公式如公式(9)所示。

$$FL(p_i) = -(1 - p_i)^\gamma \log(p_i) \tag{9}$$

式中, $(1 - p_i)^\gamma$ 为调节因子,当 $\gamma=0$ 时, FL 等价于 CE,在论文[17]的实验中,当 $\gamma=2$ 时实验效果最好。

2.2.4 Centnet

Centnet 算法^[18]是 2019 年 Duan 等人提出,使用关键点来确定目标,将检测问题转换成中心点估计思想。该算法选择 Hourglass 作为主干网络进行提取特征,以 center pooling 和 cascade corner pooling 进行 key point forecast,网络模型如图 9 所示。

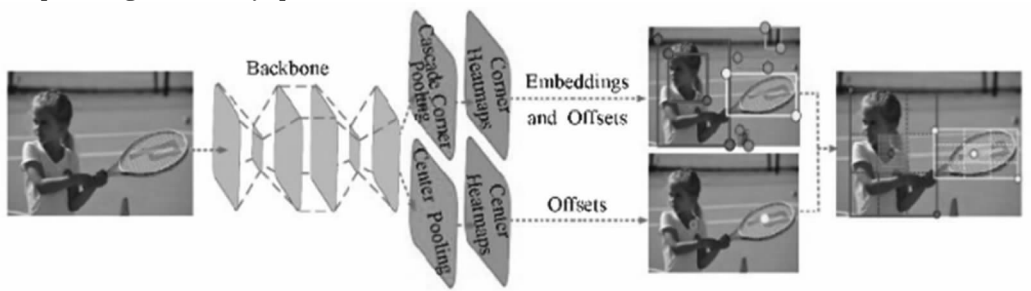


图 9 Centnet 网络模型

2.3 算法模型性能对比

在深度学习检测识别算法中,常用的性能评价指标包括检测速度(FPS,每秒处理图片的数量)、交并比(IOU)、准确率(Accuracy)、查准率(P)、召回率(R)平均精确度(AP)和平均精确率均值(mAP,由 P-R 曲线决定)等。计算如公式(10)所示。

$$P = \frac{TP}{TP+FP}, R = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{TP}{T}$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, IOU = \frac{TP}{TP+FP+FN} \quad (10)$$

2.3.1 VOC2007+2012 数据集上算法模型性能对比

VOC2007 和 VOC2012 数据集是计算机视觉领域的标准数据集,主要包括 20 类不同的数据,是图像检测领域使用最多的数据集,是检验算法性能好坏的评价基准之一。上述主流算法在以 VOC2007+2012 为训练集,VOC2007 为测试集的实验过程中,性能对比如图 10 所示。

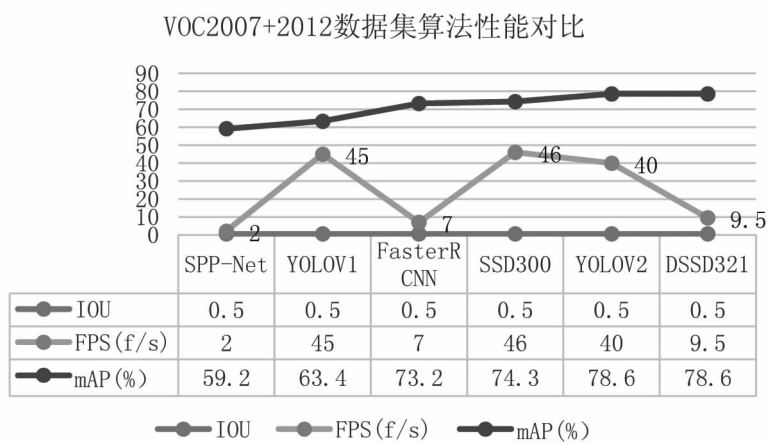


图 10 VOC2007+2012 数据集上算法模型性能对比

2.3.2 COCO 数据集上算法模型性能对比

Microsoft COCO 数据集是微软团队收集用来进行图像识别、语义分割等任务的数据集,包含 91 个物体类别,可应用于多种不同场景,是现如今图像分割领域最大的数据集。上述算法在 COCO 数据集上实验的模型性能如图 11 所示。

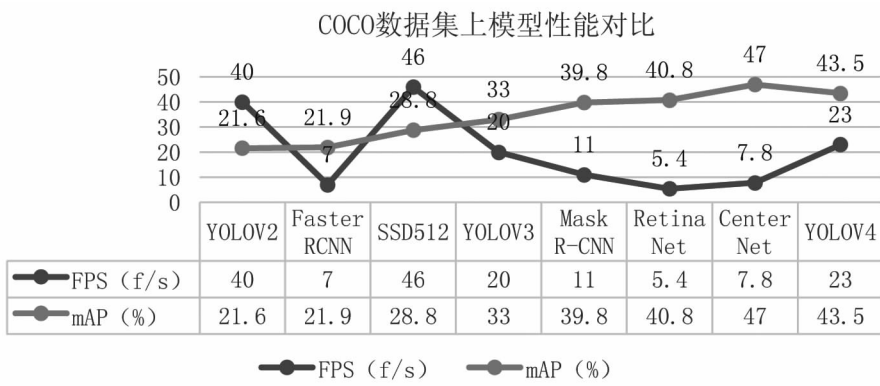


图 11 COCO 数据集上算法模型性能对比

3 图像识别算法的部署及应用

3.1 图像识别算法部署模式

研究表明,人类对世界的感知 80%来自视觉,因此图像识别技术变得越来越重要。图像识别算法的部署模式主要可分为以下三类:

(1)基于公共云云计算的计算机集群,利用公共 API 服务的形式提供接口,用户通过调用 API 接口进行图像的识别,可在实时性要求较低的场景中使用。

(2)基于私有云云计算的计算机集群,这种方式需要用户自己搭建私有云架构系统,将图像识别算法打成容器镜像等方式进行部署。

(3)基于 ARM 的硬件部署,这种方式不仅需要将算法和硬件耦合,还需要算法的开发人员和硬件的生产商共同设计开发,以达到图像识别的目的。

3.2 实际应用场景

图像识别算法的应用场景非常广泛,在不同部署模式下都有其相对应的应用场景。公共云部署模式主要针对图像识别实时性要求不高的场景,如人脸识别,车牌识别,垃圾广告识别等。私有云计算部署模式主要针对国家安监部门、刑侦机关及一些大型企业等应用场景。ARM 的硬件部署主要将图像识别算法应用到一些专用硬件中,使算法在硬件内部完成计算并输出识别结果。

4 总结与展望

本文首先介绍了 CNN 和图像识别前置技术,然后综述了主流目标检测算法,对各算法在 VOC2007+2012 和 coco 数据集中的实验结果进行了对比,最后总结了算法的部署及应用。通过综述发现,如何进一步简化图像检测识别过程、如何进一步提升检测精度和速率等,将会是未来目标检测领域发展的重中之重。

参考文献:

- [1] 王颢.深度学习在图像识别中的研究与应用[J].科技视界,2020,(24):37-38.
- [2] 黄健,张钢.深度卷积神经网络的目标检测算法综述[J].计算机工程与应用,2020,56(17):12-23.
- [3] Zhang,W. Shift-invariant pattern recognition neural network and its optical architecture. In Proceedings of annual conference of the Japan Society of Applied Physics,1988.
- [4] AGRAWAL P,GIRSHICK R,MALIK J. Analyzing the performance of Multilayer Neural Networks for Object Recognition[J]. Lecture Notes in Computer Science,2014.
- [5] He K,Zhang X,Ren S, et al. Spatial pyramid pooling in deep convolutional networks for visual recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2015,37(9):1904-1916
- [6] Ren S,He K,Girshick R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks[C]// Conference on Neural Information Processing Systems,2015:91-99.
- [7] Girshick R. Fast R-CNN[C]//International Conference on Computer Vision,2015:1440-1448.
- [8] He K,Gkioxari G,Dollar P, et al. Mask R-CNN[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision,2017:2980-2988.
- [9] Redmon J,Divvala S,Girshick R, et al. You only look once: unified, real-time object detection[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2016:779-788.

文章编号:1001-9383(2020)04-0009-06

边缘计算与云协同问题研究

王文礼, 贾芝婷

(河北经贸大学 信息技术学院, 河北 石家庄 050061)

摘要:随着5G技术的成熟,传统的云计算架构难以满足大数据背景下新型应用低时延、大连接的需求,边缘计算应运而生。边缘计算更加靠近数据产生的网络边缘,能够快速完成数据处理,支持用户迅捷请求。本文针对边缘计算,阐述云一边协同理念,对比分析现有协同方法,提出一种云中心参与的“云一边一端”协同架构,最后总结现有问题并对未来发展趋势进行展望。

关键词:边缘计算;云计算;“云一边一端”协同框架

中图分类号:TP393

文献标识码:A

Research on edge computing and cloud collaboration

WANG Wen-li, JIA Zhi-ting

(College of Information Technology, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China)

Abstract: With the maturity of 5G technology, the traditional cloud computing architecture is difficult to meet the needs of new applications with low latency and large connectivity under the background of big data, so edge computing emerges as the times require. Edge computing is closer to the edge of the network generated by data, it can complete data processing quickly and support users' quick request. For edge computing, this paper describes the concept of cloud edge collaboration, proposes "Cloud-Edge-Terminal" collaborative architecture with cloud center participation, and finally summarizes the existing problems and prospects the future development trend.

Keywords: Edge computing; Cloud computing; "Cloud-Edge-Terminal" collaborative framework

引言

近年来,物联网技术、5G技术的发展与成熟,促进了一系列新兴应用的诞生,例如无人驾驶、虚拟/增强现实、全景视频直播等^[1]。新兴应用大多为计算密集型应用或数据密集型应用,

收稿日期:2020-09-14

基金项目:2020年河北经贸大学培育项目(PY2020084);2020年河北经贸大学研究生创新计划项目

作者简介:王文礼(1995-),男,山东东明人,硕士研究生,研究方向:边缘计算与云协同。

大都呈现“大链接”并且要求“低时延”。云计算自提出以来,改变了日常生活、工作和学习方式。然而,云计算要求将数据上传至云中心并完成计算,大量数据传输会造成较高的成本代价。因此,传统的集中式云架构难以满足新兴应用的时延要求。边缘计算^[2,3]的提出旨在靠近数据产生的网络边缘就近处理数据,从而满足用户在低时延、低能耗、安全及隐私方面的需求。

目前,在学术界与产业界对“边缘计算”并没有严格意义上统一的定义。欧洲电信标准化协会 ETSI、国际标准化组织 ISO/IEC JTC1/SC38 和边缘计算产业联盟给出了多个不同的边缘计算概念,这些概念达成一个共识:在更加靠近数据产生侧完成数据处理,就近提供服务。文献[3]将边缘计算分为三个阶段,给出了每个阶段的典型事件,认为边缘计算的基本思想是功能缓存(function cache)。文献[4]将边缘计算看作使能技术,通过在网络边缘侧提供各类所需资源,满足行业低时延、安全与隐私等方面的需求。文献[5-6]对边缘计算场景和架构进行了介绍,说明了未来的发展趋势以及可能遇到的问题。

2018 年 11 月边缘计算产业联盟发布《边缘计算与云协同白皮书》^[7],认为边缘计算与云计算协同工作可以满足多种需求场景的匹配,主要分为三类、六种主要业务形态。同年,阿里云联合中国电子技术标准化研究院一同发布了《边缘云计算技术及标准化白皮书》,提出从覆盖范围出发将边缘云计算的应用场景分为全网和本地覆盖两大类,并且给出智慧城市、互动直播等边缘云计算的架构。企业界如华为、思科和西门子等公司也推出了边缘计算的解决方案。任务卸载与资源匹配是边缘计算的关键技术之一,学术界与产业界开始大量的关注、研究与实践,正在成为理论与技术热点。文献[8]对移动边缘计算中服务请求进行研究,对任务在边缘计算服务器和云服务器间的分配进行优化,并提出了 GAMEEC 算法。文献[9]利用软件定义网络的思想,将任务卸载问题抽象为非线性规划问题,并将该问题分解为任务下发和资源分配两个子问题,目的是减少任务持续总时间和降低能耗。文献[10-11]提出了一种基于任务优先级的调度策略,为边缘网络中不同用户进行任务卸载提供了技术方案。文献[12]对边缘计算进行了剖析,并分析了边缘计算的标准化进程,解读了不同组织机构标准化存在的不足,给出了未来发展的期望。

本文首先对边缘计算的概念及架构进行梳理,然后介绍云一边协同架构,阐述所提出的“云一边一端”三层协同服务模型,最后进行总结并对边缘计算与云协同未来发展进行展望。

1 边缘计算的概念及架构

边缘计算在靠近数据产生侧就近处理数据,从而提供迅捷服务。边缘计算自正式提出以来,产业界及学术界对其展开了探索,但目前仍处于起步阶段。

1.1 边缘计算概念

1.1.1 边缘计算定义

目前边缘计算并没有严格意义上统一的定义,边缘计算部分定义如表 1 所示。

不同组织机构给出的边缘计算的定义不完全相同,但其表达了一个共同的观点,即在数据产生的网络边缘就近处理。

1.1.2 移动边缘计算

边缘计算的移动性最先被关注,但并不能将边缘计算与移动边缘计算^[13](Mobile Edge Computing, MEC)简单等同。有学者将 MEC 称为多接边缘计算(Multi-Access Edge Compu-

ting, MEC)。

表 1 边缘计算定义

机构	定义
ISO/IEC JTC1/SC38	将主要处理和数据存储放在网络的边缘节点的分布式计算形式。
ECC	在靠近物或数据源头的网络边缘侧,融合网络、计算等核心能力的开放平台,就近提供边缘智能服务。
ETSI	在移动网络边缘提供 IT 服务环境和计算能力,强调靠近移动用户,以减少网络操作和服务交付的时延,提高用户体验。

1.2 边缘计算架构

文献[14]中边缘计算产业联盟给出了边缘计算的一种可行架构,该架构在边缘计算现有研究中使用较多,其简化示意图如图 1 所示。

终端层位于网络边缘,由种类丰富的终端设备构成,产生大量异构数据。受限于终端设备自身资源,终端层设备大多无法完成持续时间长、计算量大数据。

边缘层作为云层和终端层的桥梁,更加靠近网络边缘的终端设备,向终端层完成终端设备产生数据的处理,就近支持终端层服务;面向云层可以完成云层服务的对接。

云层具有丰富的计算、存储等资源,擅长处理长周期、大数据量复杂计算。但随着终端种类与数量的丰富,产生的数据呈现爆发式增长趋势,受限于网络传输代价,云计算对于新兴低时延应用支持存在一定不足。



图 1 边缘计算架构

2 边缘计算与云协同

云中心与边缘、终端设备有多个维度的协同,文献[15]给出了基于边云协同的 AR 分析计算框架,文献[16]以车联网为基础提出多体强化学习的协同计算策略。通过资源的合理调配,可以最大化三者性能,提高服务质量。可本节首先对比分析边缘计算现有协同方法,重点关注计算卸载过程中策略生成方法,然后给出一种“云—边—端”三层协同架构模型。

2.1 边缘计算协同方法对比

边缘计算的资源协同主要由计算卸载与资源分配体现,边缘计算卸载方法可以按目标分为 3 类:降低系统能耗、降低任务持续时间、增加系统收益。常见计算卸载方法优缺点对比如表 2 所示。

表 2 常见计算卸载方法对比

方法	优点	缺点
降低系统能耗 ^[17-18]	系统能耗小,适用范围广	未考虑应用的时延需求
降低任务持续时间 ^[19-20]	计算总时延低	未考虑设备可承受最大功耗
增加系统收益 ^[21-22]	充分考虑了应用的需求,系统收益大	需要考虑不同应用的特定需求,普适性差

2.1.1 降低系统能耗方法

文献[17]提出了一种以最小化系统能耗为目标的卸载方案,并给出卸载请求和许可框架,将用户共享资源问题建模为混合整数线性问题。

文献[18]基于粒子群算法设计了多资源计算卸载方法,提出了一套新的能耗适应度评价方法,将系统能耗拆分为云中心、边缘服务器和设备三部分。实验结果表明,提出方法能够在一定程度上降低系统能量消耗。能耗模型表示如公式(1)所示,其中 E_{edge} 表示边缘设备能耗, E_{ec} 表示边缘服务器能耗, E_{cc} 表示云服务器能耗。

$$E_{sun} = \sum_{i=1}^{max} E_{edge} + \sum_{j=1}^{max} E_{ec} + \sum_{k=1}^{max} E_{cc} \quad (1)$$

2.1.2 降低任务持续时间方法

文献[19]针对物联网平台,使用模糊优化理论对物联网边缘计算平台的资源分配问题进行研究,提出基于遗传算法的资源分配方法,并证明了所提方法在任务处理时间、能量消耗及服务满意度有所提高。

文献[20]以最小化缓存时延为目标,基于车联网应用构建通讯计算模型,并提出了基于蚁群算法的预缓存方法,仿真实验结果表明所提出的算法在构建的模型下能够有效降低内容缓存时间。

2.1.3 增加系统收益卸载方法

文献[21]以车联网为场景,先使用 K-means 方法对车辆进行聚类以确定通讯模式,再通过分布式 Q 学习方法确定信道及功率分配方案,以达到最大化车与基础设施通信遍历容量的目标,从而使系统收益最大化。

文献[22]提出了云边协同实体搜索框架,并给出了搜索方法,通过仿真实验验证所提方法能够有效提高搜索效率。其中,实体识别以多层受限玻尔兹曼机为基础,使用公式(2)作为能量函数。

$$E(v, h | \theta) = - \sum_{i=1}^n a_i v_i - \sum_{j=1}^m b_j h_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v_i w_{ij} h_j \quad (2)$$

2.1.4 其他方法

针对时延、能耗要求相对宽松的场景,综合考虑时延与能耗等问题,将计算卸载问题转化为多目标优化问题,从而达到降低系统能耗的同时缩短任务执行时间。

文献[23]同时考虑了时延及能耗,任务处理总时间表示为公式(3),将系统能量消耗表示为公式(5)。以最小化计算时间与系统能耗的加权和为目标,以机器学习为基础提出了一种随机卸载方法,通过 Q 学习算法生成迁移策略。实验结果表明,较任务本地化处理能有效降低任务处理时间与系统能耗加权和。

$$t(S_t) = \frac{n_0 u_0}{f_{loc}} + t(m_t) + \frac{n_{N+1} u_{N+1}}{f_{loc}} \quad (3)$$

$$t(m_t) = \max \begin{cases} \sum_{j=1}^N \frac{(1 - \omega_j) n_j u_j}{f_{loc}}, LCU = 0 \\ \sum_{j=1}^N \omega_j \left(\frac{n_j u_j}{f_{ser}} + \frac{n_j}{R(p_{tx})} \right), LCU = 1 \end{cases} \quad (4)$$

系统能耗表示为:

$$e(S_t) = \frac{n_0 u_0 P_{loc}}{f_{loc}} + e(m_t) + \frac{n_{N+1} u_{N+1} P_{loc}}{f_{loc}} \quad (5)$$

$$e(m_t) = \text{sum} \begin{cases} \sum_{j=1}^N \frac{(1 - \omega_j) n_j u_j P_{loc}}{f_{loc}}, LCU = 0 \\ \sum_{j=1}^N \frac{\omega_j n_j P_{tx}}{R(P_{tx})}, LCU = 1 \end{cases} \quad (6)$$

尽管现有边缘计算架构中已将云层加入,但大多并未明确给出云中心在边缘计算中的应用。边缘计算与云计算二者各有所长、互为补充,适用场景不同。边缘计算的出现将云服务延伸到了网络边缘,在数据产生的边缘就近处理并在云中心进行协同将成为云计算技术新的发展趋势。

2.2 “云一边一端”协同框架

边缘计算现有研究大多着眼于边缘层,与终端设备构成“边一端”二元架构,在全局性及整体性上存在一定局限。尽管已有学者将云层引入边缘计算架构中,但很少关注云中心在全局调控中发挥的强大功能。本文提出一种“云一边一端”协同框架,在传统的“边一端”二元架构中引入云中心,突出云中心的调控作用,将边缘计算与云计算有机结合,构建“云一边一端”协同框架。该框架,将云计算优势资源下沉至网络边缘层,同时实现边缘计算的局部优势开展开来与云计算实现协同,充分发挥二者优势。“云一边一端”框架示意图如图 2 所示。

本文所提出“云一边一端”协同架构能够为终端用户将任务卸载至边缘服务器提供理论意义及架构支持。边缘计算服务器更加靠近数据产生端,但其资源量与云中心相比仍然有限,因此为用户卸载的任务寻求一个合适的边缘计算服务器是卸载问题的关键。

模型主要针对“云一边”协同中的资源协同。在资源协同调度过程中,终端设备的任务卸载首先选择更加靠近的边缘服务器集群。云端负责任务卸载的调度,进行卸载决策,处理终端的卸载请求,为卸载任务匹配最佳的边缘服务器,当边缘设备资源不足时将参与协同计算。具体过程如图 3 所示。

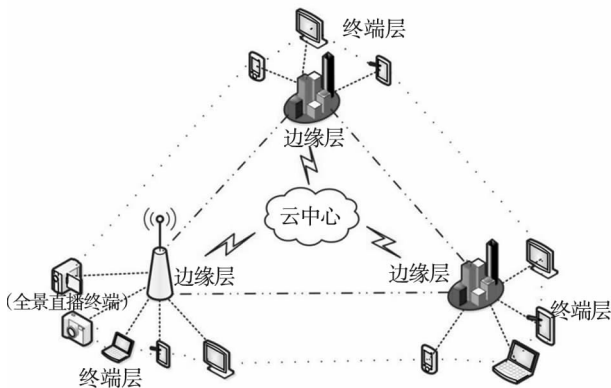


图 2 “云一边一端”协同示意图

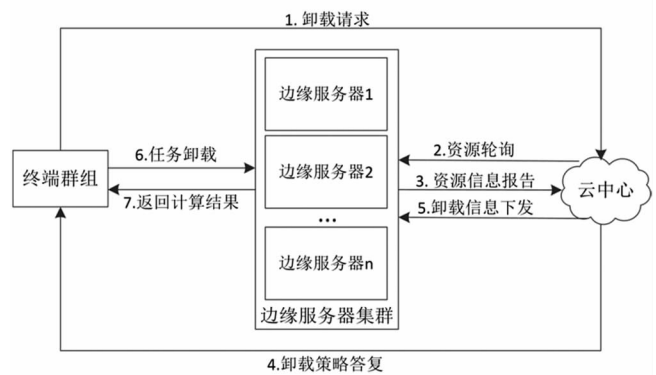


图 3 任务卸载过程示意图

3 总结与展望

3.1 总结

边缘计算的研究仍处于起步阶段,主要存在以下几方面问题:(1)目前尚未有公认的实验平台与方法,其标准化程度还有待提高。(2)云中心与边缘计算协同的任务调度、资源分配研究边缘计算的研究往往在特定的背景下进行,对于解决实际问题还需要进一步探索。(3)现有

研究大多集中于计算卸载,在实现边缘计算的规模化应用前,安全性问题仍需进一步研究。

3.2 未来展望

边缘计算技术方兴未艾,云计算技术开始走向成熟,5G技术逐渐趋于成熟的背景下,边缘计算与云计算的结合将成为技术趋势。边缘计算与云协同的研究刚刚起步,在云边端协同框架下的任务弹性调度与资源动态分配是将来可能的研究热点之一。此外,区块链技术与边缘计算技术的协同,也可能成为技术的发展方向。

参考文献:

- [1] 赵梓铭,刘芳,蔡志平,肖依.边缘计算:平台、应用与挑战[J].计算机研究与发展,2018,55(02):327-337.
- [2] Shi W ,Dustdar S. :The Promise of Edge Computing. Computer 49(5),78-81(2016).
- [3] Shi W ,Fellow,IEEE,et al. Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal 3(5) ,637-646 (2016).
- [4] 丁春涛,曹建农,杨磊,王尚广.边缘计算综述:应用、现状及挑战[J].中兴通讯技术,2019,25(03):2-7.
- [5] 赵梓铭,刘芳,蔡志平,肖依.边缘计算:平台、应用与挑战[J].计算机研究与发展,2018,55(02):327-337.
- [6] 施巍松,张星洲,王一帆,张庆阳.边缘计算:现状与展望[J].计算机研究与发展,2019,56(01):69-89.
- [7] 边缘计算产业联盟.边缘计算与云计算协同白皮书(2018),2018.11
- [8] Wu H ,Deng S ,Li W ,et al. Service Selection for Composition in Mobile Edge Computing Systems. In:IEEE 2018 IEEE International Conference on Web Services (ICWS),PP. 355-358 . IEEE, San Francisco, CA, USA (2018).
- [9] Chen M ,Hao Y. :Task Offloading for Mobile Edge Computing in Software Defined Ultra-dense Network. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 36(3) ,287-597(2018).
- [10] 董思岐,吴嘉慧,李海龙,胡磊,屈毓铤.面向优先级用户的移动边缘计算任务调度策略[J/OL].计算机应用研究:1-5. <https://doi.org/10.19734/j.issn.1001-3695.2019.03.0131>.
- [11] 董思岐,吴嘉慧,李海龙,屈毓铤,胡磊.面向优先级业务的移动边缘计算资源分配策略[J/OL].计算机工程:1-7. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0054490>.
- [12] 吕华章,陈丹,范斌,et al.边缘计算标准化进展与案例分析[J].计算机研究与发展,2018,55(03):487-511.
- [13] ETSI. Mobile edge computing-a key technology towards 5G[R]. 2015.
- [14] 边缘计算产业联盟.边缘计算参考架构 3.0(2018),2018.11
- [15] 别勇攀,关庆锋,姚尧.基于边云协同的AR空间分析计算框架[J].地球信息科学学报,2020,22(06):1383-1393.
- [16] 叶佩文,贾向东,杨小蓉,牛春雨.面向车联网多智能体强化学习边云协同卸载[J/OL].计算机工程:1-9[2020-09-11]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0058323>.
- [17] You C,Huang K,Chae H,et al. Energy-Efficient Resource Allocation for Mobile-Edge Computation Offloading (Extended Version)[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2017,16(3):1397-1411.
- [18] 徐佳,李学俊,丁瑞苗,刘晓.移动边缘计算中能耗优化的多重资源计算卸载策略[J].计算机集成制造系统,2019,25(04):954-961.
- [19] 郭荣佐,邓涵文,陈芳莹,黄君.物联网边缘计算资源分配模糊建模与优化研究[J].小型微型计算机系统,2020,41(09):1878-1886.
- [20] 刘可欣,陈桂芬.基于移动边缘计算的车联网缓存策略研究[J/OL].计算机应用研究:1-5[2020-09-10]. <https://doi.org/10.19734/j.issn.1001-3695.2019.12.0700>.
- [21] 张海波,栾秋季,朱江,李方伟.车辆异构网中基于移动边缘计算的任务卸载与资源分配[J].物联网学报,2018,2(03):36-43.
- [22] 王汝言,刘宇哲,张普宁,亢旭源,李学芳.面向物联网的边云协同实体搜索方法[J].计算机工程,2020,46(08):43-49.
- [23] 孟浩,霍如,郭倩影,黄韬,刘韵洁.基于机器学习的MEC随机任务迁移算法[J].北京邮电大学学报,2019,42(02):25-30.

文章编号:1001-9383(2020)04-0015-07

基于机器学习的股票预测研究综述

张倩倩¹,林天华¹,祁旭阳¹,赵霞²

(1. 河北经贸大学信息技术学院,河北 石家庄 050061;2. 河北经贸大学经管实验中心,河北 石家庄 050061)

摘要:越来越多的学者投入到股市预测的研究中,探求股市发展规律,也不断有新的科学技术应用到股市预测,以求能够预先掌握其发展趋势。本文对各种股票预测方法研究进行综述。介绍了基于传统时间序列、隐马尔可夫模型等传统预测模型,以及基于机器学习、深度学习的决策树、神经网络、组合模型等新型创新模型,并介绍了各模型的优缺点,总结了基于神经网络的股票预测模型的基本步骤。最后,对股票预测研究方法做出总结与展望。

关键词:股票预测;神经网络;时间序列;机器学习

中图分类号:TP391

文献标识码:A

A review of stock forecasting based on machine learning

ZHANG Qian-qian¹, LIN Tian-hua¹, QI Xu-yang¹, ZHAO Xia²

(1. College of Information Technology, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China)

2. Economic Management Experimental Center, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China)

Abstract: More and more scholars have been involved in the research of stock market prediction, exploring the law of stock market development, and constantly applying new science and technology to stock market prediction, in order to be able to grasp its development trend in advance. This paper reviews the research on various stock forecasting methods. This paper introduces the traditional forecasting models based on traditional time series and hidden Markov model, as well as the new innovative models such as decision tree, neural network and combination model based on machine learning and deep learning. It also introduces the advantages and disadvantages of each model, and summarizes the basic steps of stock forecasting model based on neural network. Finally, the research methods of stock forecasting are summarized and prospected.

Keywords: Stock forecasting; Neural network; Time series; Machine learning

收稿日期:2020-09-08

基金项目:河北省自然科学基金项目(F2019207061)

作者简介:张倩倩(1996-),女,河北廊坊人,硕士研究生,研究方向:数据挖掘与分析。

0 引言

股市如今已成为中国经济发展不可或缺的重要组成部分^[1],由于其高回报率,一直是备受欢迎的投资之一^[2]。然而股票价格波动率取决于诸多因素,如股票政策、恐慌情绪、股本、利率、期权、认股权证、大型金融公司的合并和所有权等^[3]。科学有效的方法用于股票市场的“智能”预测不仅可以为交易监管机构制定稳定金融市场的政策提供基本信息,另一方面,对于投资者而言,股价预测也是获利和避免风险的一个重要参数^[4]。

根据模型构建的不同理论,股票价格预测模型主要分为两类^[5],一类是基于统计理论的传统统计模型,例如传统时间序列模型、隐马尔可夫模型等;另一类是基于机器学习、深度学习的创新型模型,例如基于支持向量机的预测模型、基于决策树的创新模型、基于神经网络的创新模型等新型股票预测方法。

1 传统股票预测模型

传统的股票预测模型主要是基于统计学与概率论来进行预测研究。例如有传统时间序列模型、隐马尔可夫模型等股票预测研究的传统方法模型^[6]。

1.1 传统时间序列模型

金融数据是一种具有时间序列性质的数据^[7],时间序列的特点就是其值具有一定的时间先后性和随机性,相邻时间具有相关性且整体呈现某种趋势或者是周期性的变化^[8]。根据时序特征不同主要分为确定性模型和随机性模型,主要的模型及分析方法如图1所示^[9-12]。

传统时间序列模型的确定性模型中有许多变化的因素,如趋势变化、季节变化、周期性变化、不规则变化和循环波动等各种因素^[11],为了解决这类问题常用分解方法^[13]、移动平均法^[14]、指数平滑法^[15]和季节系数法^[14]来分析构建时间序列模型^[9]。

在随机性模型中统计学家利用随机理论研究时间序列发现由许多随机因素引起的变化也是有规律可循并非混乱不堪,该类模型主要有自回归滑动平均模型 ARMA^[15]、差分整合移动平均自回归模型 ARIMA^[16]、自回归条件异方差模型 ARCH^[17]、广义 ARCH 模型 GARCH^[18]等。经济学家 Robert 在上世纪八十年代提出了 ARCH 模型,并对当时的英国通货膨胀指数进行了预测^[19]。Majumder 等人使用前馈神经网络、ARIMA、线性模型和 Holt-Winter 方法等多种股票预测算法,对 35 只股票进行了预测分析,结果表明时间序列算法 ARIMA 平均预测精度最高^[20]。何永沛通过反向过程确定并结合阻尼最小二乘法提出的 ARMA 模型参数估计算法对股票进行预测,与 SAS 建立的模型对比,该改进算法取得了更为满意的预测精度^[21]。

1.2 隐马尔可夫模型

隐马尔可夫模型 (Hidden Markov Model, HMM) 是离散马尔可夫模型的衍生模型^[22]。

Hamilton 首次将 HMM 作为机制转移模型用于经济领域经济周期的预测^[23],在此之后,

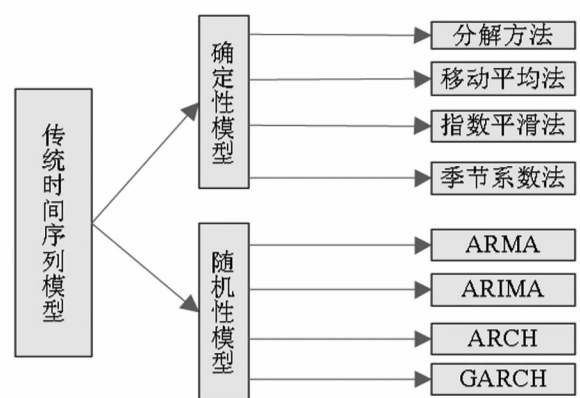


图1 传统时间序列模型及分析方法

HMM 从最初的信息技术领域不断发展到经济金融领域,模型在不断的改进完善^[22]。Zhang 引入预测池用改进的连续型 HMM 对标普 500 指数和道琼斯指数进行预测^[24]。HMM 和马尔可夫过程的主要区别在于隐含状态的概念,而股票指数可以看作是分别由不同的隐藏状态生成的序列,Cui 等人利用改进的 HMM 探索股票数据中隐藏状态市场制度与观察序列股票指数之间的逻辑关系来预测股指,提出的模型不仅获得了更好的精度,而且可以区分不同时间的各种经济状况^[4]。

传统预测方法一般都是采用线性模型拟合股价的发展规律,而股价序列一般都是非线性非平稳的^[7]。这些方法都存在一些缺陷,如信息提取困难等,尤其在样本数量少、分布不均的情况下会导致预测误差增大、预测能力降低的问题^[6],无法获得很好的预测效果。

2 新型股票预测方法

股票价格的波动是受政治,经济,投资心理等诸多因素影响的非线性运动,数据具有较强的波动性、混沌性、非线性和模糊性的特点^[6]。基于统计原理的传统模型没有重新处理或学习的过程,因此对样本的拟合度和推断性较低,然而基于机器学习、深度学习的创新预测模型的拟合度和外推能力要高于统计模型^[25]。

2.1 基于 SVM 的预测模型

支持向量机^[26](support vector machine, SVM)理论是 20 世纪 90 年代 Vapnik 在统计学习理论的框架下提出的一种新型的学习机器^[27]。相比于传统预测方法, SVM 采用了结构风险最小化原则,能够较好地解决小样本、非线性和高维数问题,具有较好的泛化能力^[28]。

黄同愿等人通过对比实验选择最优的径向基核函数,又利用网格寻参、遗传算法和粒子群算法选择出最佳核函数参数,构建 SVM 模型进行股票预测,进而提高了股票预测精度^[6]。黄朋朋等人利用 SVM 对技术指标组合进行数据挖掘从而实现预测股价反转点的方法,结果表明该方法较任意技术指标在召回率和准确率方面都很高,有着较高的投资回报率^[28]。Jai-wang 等人利用 SVM 对股票买卖点进行预测,并取得了较好的表现^[29]。胡蓉提出了一种多输出函数回归的支持向量回归算法,与单输出 SVM 相比有效避免了过拟合并且具有更高的预测精度和抗噪能力^[27]。

2.2 基于决策树的预测模型

决策树是一种成熟的数据挖掘技术,基于决策树衍生出许多算法来适合线性和非线性的数据集进行趋势预测^[30]。根据决策树衍生出来的许多算法模型,科研人员在此基础上进行了创新及改进,衍生出许多基于决策树的新型训练模型应用于股票预测研究。

XGBoost 是一种基于梯度提升决策树的改进算法^[31],能够有效地构建增强树并且并行运行,包括回归树和分类树^[32-33]。王燕等人通过网格搜索算法对 XGBoost 模型进行参数优化构建了 GS-XGBoost 股票预测模型,该模型相较于 XGBoost 原模型、GBDT 模型以及 SVM 模型在 MSE、RMSE 与 MAE 三个评价指标上都表现出了较好的预测结果^[31]。王禹等人以 Cart 决策树为基础,采用 boosting 级联多棵决策树的方法建立股票预测模型来解决拟合度的问题^[34],并通过五特征和七特征来比较分析,结果表明该方法使均方误差下降。张潇等人选取 16 种股票技术指标利用随机森林算法预测股票涨跌趋势并回测,平均预测方差为 0.07,表明该算法能够处理规模较大的数据,预测准确度高,噪声容忍度强,非常适合股票数据处理^[35]。

2.3 基于神经网络的预测模型

神经网络能够映射十分复杂的非线性关系,具有强大的非线性泛化能力和良好的自适应性,同时具有很强的学习能力和抗干扰能力,能够较为准确的预测股票价格序列,因而神经网络为股价序列的建模与预测提供了新的方法^[7]。

2.3.1 遗传神经网络

遗传算法是一种基于自然选择和自然遗传的自适应优化搜索算法。但是,它收敛速度慢,学习效率低,很容易达到局部最小值,在股票预测中还远远不够完善,将其与神经网络结合进行优化,形成遗传神经网络,以克服上述缺点^[36],应用于股票价格的预测。

Luo 等人利用 PCA 算法对 BP 神经网络进行优化,建立了 GABP 股票预测模型,该优化模型提高了股票价格的预测精度^[5]。Yu 等人基于网络舆情形成模式和股市技术指标,提出了一种 BP 神经网络模型,实验证明该模型具有较高的预测精度和广阔的应用前景^[37]。綦方中等人针对 BP 神经网络存在较大误差的问题,在 BP 神经网络的基础上引入主成分分析法 PCA 和改进的果蝇算法 IFOA,提出 PCA-IFOA-BP 神经网络的股价预测模型,该模型是一种比 BP 神经网络、PCA-BP 和 PCA-FOA-BP 的预测精度更高的有效可行的预测模型^[38]。

2.3.2 卷积神经网络

卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)一般包含卷积层和池化层,其显著的特点就是能够感知局部视野、权重共享以及弱化特征具体位置^[39],可以使参数训练规模大大缩小。由于 CNN 的结构更近似的模仿了生物神经系统,所以其在图像处理、文本处理、语音识别等领域被广泛应用,并取得了显著的效果^[40]。近些年,不断有学者开始将 CNN 应用于金融时间序列的预测研究。

由于 CNN 在对图像处理方面能有效提取隐藏的数据特征,王宇轩将金融时间序列数据进行标准化对齐,将金融时间序列转化为图像,建立卷积神经网络模型对金融时间序列数据进行预测^[41],并取得了令人满意的结果。蔺晓也基于 CNN 在图片挖掘方面取得的成就,根据股票数据 K 线图,手工标记股票反转点后,用前向传播和后向传播算法训练参数,利用 CNN 模型预测测试数据的反转点,又结合马尔科夫链模型统计股票异常点,根据证交所提供的股票异常点公告利用 CNN 模型对检测出的异常点进行评价^[39]。张贵勇结合金融时间序列的特点改进 CNN 预测模型,并将 CNN 能够有效提取数据特征的优点与 SVM 的分类预测能力相结合,基于此将模型用于股指预测,有效地提高了预测精度^[42]。

2.3.3 长短期记忆神经网络 LSTM

长短期记忆神经网络(long short-term memory networks, LSTM)是一种时间递归神经网络,适合处理和预测时间序列中间隔和延迟相对较长的重要事件,这一技术特征与股票预测问题有着很高的契合度^[43],将普通循环网络中的隐藏节点设计为自循环形式,记忆单元维持一个误差流,进而可以记忆长时期的有效信息,避免梯度爆炸和梯度消失^[44]。LSTM 在文本预测、情感分析和股票预测等领域都有着非常优异的表现,结合股票特性将基础数据转换为相关技术指标,进而深度挖掘股票数据中深层隐含的信息与规律^[45]。宁昱博等人将 LSTM 与 Adaboost^[46]结合提出的 LSTM-Adaboost 模型对比 BP 神经网络和单纯的 LSTM 网络模型,预测性能显著提高,命中率提升 7 个百分点^[47]。Kumar 等人提出了一种 LSTM 的递归神经网络对纳斯达克的股票价格进行预测,使用 Adam 优化器作为反向传播算法,并测试了三种常用

的输出激活层的性能,验证了该算法的适用性^[48]。

2.3.4 径向基神经网络 RBF

径向基(RBF)神经网络是一种使用内部局部调整处理单元来学习分类任务和实值函数近似的神经网络^[49],RBF 使用一种自组织和监督学习的混合学习方法,使得网络学习速度比反向传播更快,RBF 神经网络的体系结构和学习规则是真正自适应的,适合实时任务。它具有很强的生物背景和逼近任意非线性函数的能力,并具有单隐层前馈网络^[50]。

马东宇利用 Gaussian 型 RBF 神经网络具有逼近任意非线性连续函数的能力,建立输入与输出之间的函数关系构造出 Gaussian 型 RBF 神经网络股票预测模型^[51],并与 BP 神经网络进行比较,结果表明该模型具有更高的预测精度,并且在股市预测方面具有可行性和有效性。阚子良使用 K-means 聚类算法优化 RBF 神经网络隐含层高斯径向基激活函数的数据中心点与扩展常数,以聚类簇作为隐含层神经元的个数,基于该模型对股票收盘价进行预测,结果表明 RBF 神经网络模型在预测上的预测效果优于支持向量回归机^[52]。

建立神经网络模型预测股票涨跌趋势,一般是先确定数据基本特征,选择合适的模型,然后是获取训练模型最优参数,最后对测试数据进行预测,通过以上文献的阅读,一般可以总结为如下图 2 的步骤:

2.4 组合模型

在股票预测中,无论使用哪种预测方法,都受到一定的预测限制,并且所使用的数据和信息也是有限的。因此,Bates 和 Granger 提出的组合预测方法,该方法充分利用不同预测模型中包含的信息进行预测,突出不同预测方法的优点,避免缺点,组合方法逐渐被应用于股票市场的预测^[53]。组合预测方法通常包括线性组合预测方法和非线性组合预测方法^[54]。

Tian 通过小波重构股票数据将 ARIMA 模型和 SVR 模型组合,提出的 ARIMA-SVR 股票预测模型与单一的模型相比大大提高了预测精度^[10]。朱嘉瑜提出了一种用于股票价格预测的人工神经网络 ANN、隐马尔可夫模型 HMM 和粒子群优化算法 PSO 的组合模型 APHMM 模型,结果显示该组合模型具有良好的测试效果,同时也显示出 PSO 算法可以有效的优化 HMM 参数的初始值^[55]。Sachdev 等人将模糊理论与遗传算法组合提出了 FGA 组合模型,并测试了该模型在指数交易时段的各个历史时期的性能,与以前的模型相比,该方法可提供最佳的结果^[56]。Weihong 等人提出基于 BP 神经网络的组合预测模型和基于 SVM 的组合预测模型分别对四只股票进行了预测,通过评估这些预测方法的结果,认为选择具有最佳预测结果的方法作为组合预测模型可以大大提高预测效果^[57]。

3 总结与展望

股票市场价格受诸多因素共同影响,呈现出不同的特点,任何模型都很难将股票市场的影

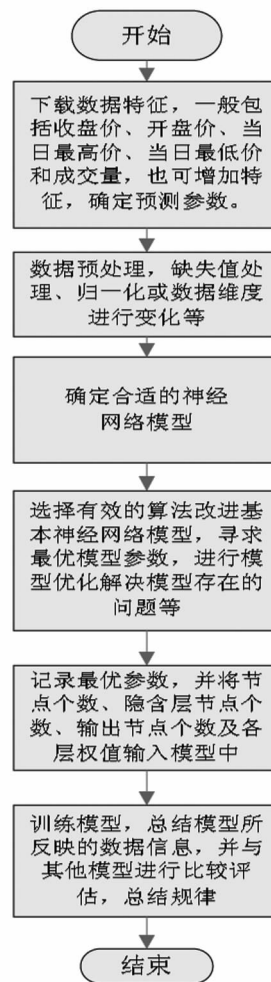


图2 神经网络模型基本步骤

响因素全部囊括,更不可能将全部因素的影响都体现在模型中^[58],单一的模型更是难以满足股票预测需求,学术研究者从理论的高度和层面对股票进行研究,归纳总结出股票发展的规律,并结合实际情况进行具体的分析研究,以求探究股票运行原理^[7]。

参考文献:

- [1] 邢伟琛. 大数据环境下的股票预测探究[J]. 中国商论, 2020, (03): 31—32.
- [2] Kuo R J, Lee L C and Lee C F (1996), Integration of Artificial NN and Fuzzy Delphi for Stock market forecasting, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 2, pp. 1073—1078.
- [3] Hassan M R, Nath B. Stock market forecasting using hidden Markov model; a new approach[C]. intelligent systems design and applications, 2005, 8(5): 192—196.
- [4] Cui X, Shang W, Jiang F, et al. Stock Index Forecasting by Hidden Markov Models with Trends Recognition[C]. international conference on big data, 2019, 12(01), 5292—5297.
- [5] Luo B, Chen Y, Jiang W. Stock Market Forecasting Algorithm Based on Improved Neural Network[C]// Eighth International Conference on Measuring Technology & Mechatronics Automation, IEEE, 2016, pp. 628—631, doi:10.1109/ICMT-MA. 2016. 154.
- [6] 黄同愿, 陈芳芳. 基于 SVM 股票价格预测的核函数应用研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(02): 89—94.
- [7] 史书真. 股价时间序列的分析与预测研究[D]. 大连理工大学, 2013.
- [8] 王振龙. 时间序列分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006
- [9] 赵洪科, 吴李康, 李徽, 张兮, 刘淇, 陈恩红. 基于深度神经网络结构的互联网金融市场动态预测[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(08): 1621—1631.
- [10] Ye, Tian. Stock forecasting method based on wavelet analysis and ARIMA-SVR model[C]// International Conference on Information Management. IEEE, 2017: 102—106, doi:10.1109/INFOMAN. 2017. 7950355. .
- [11] 郝博乾. 基于时间序列分析的股票预测模型研究[D]. 电子科技大学, 2011.
- [12] O. A. Bayuk, D. V. Berzin. Algorithm for Forecasting Stock Prices of Russian Banks[J]. 2019 Twelfth International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD), Moscow, Russia, 2019, 1—3, doi:10.1109/MLSD. 2019. 8910987.
- [13] Cleveland R B, Cleveland W S, McRae J E, et al. STL: A seasonal-trend decomposition[J]. Journal of Official Statistics, 1990, 6, 1: 3—73.
- [14] Das, Samarjit. Time Series Analysis[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.
- [15] Douglas C. Montgomery, John S. Gardiner, Lynwood A. Johnson. Forecasting and Time Series Analysis[M]. New York, McGraw-Hill, 1990.
- [16] Engle R F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of U. K. Inflation[J]. Econometrica, 1981, 50(4): 987—1008.
- [17] Bollerslev T. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity[J]. Journal of Econometrics, 1986, 31(3): 307—327.
- [18] Bahdanau D, Cho K, Bengio Y. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate[J]. Computer science, 2014.
- [19] R. F. Engle, Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of variance of United Kingdom Inflation. Econometrica, 1982, (50), 987—1008.
- [20] M. M. R. Majumder, M. I. Hossain and M. K. Hasan, "Indices prediction of Bangladeshi stock by using time series forecasting and performance analysis," 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), Cox's Bazar, Bangladesh, 2019, 2(1), pp. 1—5, doi:10.1109/ECACE. 2019. 8679480.
- [21] 何永沛. ARMA 模型参数估计算法改进及在股票预测中的应用[J]. 重庆工学院学报(自然科学版), 2009, 23(02): 109—112.
- [22] 黄冉. 基于隐马尔科夫模型(HMM)的股票价格预测分析[D]. 青岛大学, 2015.
- [23] Hamilton J D. A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle[J]. Econometrica, 1989, 57(2): 357—384.
- [24] Zhang D, Jiang Q. and Xin L. Application of Neural Networks in Financial Data Mining [J]. International Journal of Computational Intelligence, 2004, 1(2): 116—119.
- [25] Tomohiro Takagi, Michio Sugeno. Fuzzy Identification of System and its Application to Modeling and Control. Transac-

- tion on Systems, Man, and Cybernetics, 1985, 15(1): 116–132.
- [26] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory[M]// The nature of statistical learning theory. Springer, 1995.
- [27] 胡蓉. 多输出支持向量回归及其在股指预测中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, (10): 226–229.
- [28] 黄朋朋, 韩伟力. 基于支持向量机的股价反转点预测[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(09): 214–218.
- [29] Jaiwang G, Jeatrakul P. A forecast model for stock trading using support vector machine[C]// 2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). IEEE, 2017, 1–6, doi: 10.1109/ICSEC.2016.7859923.
- [30] S. S. Panigrahi, J. K. Mantri. A text based Decision Tree model for stock market forecasting[J]. 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), Noida, 2015: 405–411, doi: 10.1109/ICGCIoT.2015.7380497.
- [31] 王燕, 郭元凯. 改进的 XGBoost 模型在股票预测中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(20): 202–207.
- [32] Andersson J O. The new foundations of evolution; on the tree of life[J]. Quarterly Review of Biology, 2011, 60(3): 114–115.
- [33] Hendrikx J, Murphy M, Onslow T. Classification trees as a tool for operational avalanche forecasting on the Seward Highway, Alaska[J]. Cold Regions Science & Technology, 2014, 97: 113–120.
- [34] 王禹, 陈德运, 唐远新. 基于 Cart 决策树与 boosting 方法的股票预测[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2019, 24(06): 98–103.
- [35] 张潇, 韦增欣. 随机森林在股票趋势预测中的应用[J]. 中国管理信息化, 2018, 21(03): 120–123.
- [36] Shen W, Xing M. Stock Index Forecast with Back Propagation Neural Network Optimized by Genetic Algorithm[C]// International Conference on Information & Computing Science. IEEE, 2009, pp. 376–379, doi: 10.1109/ICIC.2009.441.
- [37] Yu Y, Wang S, Zhang L. Stock price forecasting based on BP neural network model of network public opinion[C]// International Conference on Image. IEEE, 2017, pp. 1058–1062, doi: 10.1109/ICIVC.2017.7984716.
- [38] 蔡方中, 林少倩, 俞婷婷. 基于 PCA 和 IFOA-BP 神经网络的股价预测模型[J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(01): 116–121+156.
- [39] 蔺晓. 基于卷积神经网络的股票交易反转点与异常点检测[D]. 华中科技大学, 2016.
- [40] Bengio Y. Learning Deep Architectures for AI[J]. Foundations & Trends in Machine Learning, 2009, 2(1): 1–127.
- [41] 王宇轩. 基于卷积神经网络的股票预测[D]. 天津工业大学, 2019.
- [42] 张贵勇. 改进的卷积神经网络在金融预测中的应用研究[D]. 郑州大学, 2016.
- [43] 包振山, 郭俊南, 谢源, 张文博. 基于 LSTM-GA 的股票价格涨跌预测模型[J]. 计算机科学, 2020, 47(S1): 467–473.
- [44] 周阳. 基于 LSTM 模型的上证综指价格预测研究[D]. 南京邮电大学, 2019.
- [45] 王霄鹏. 基于 LSTM 改进模型的股票预测研究[D]. 重庆理工大学, 2020.
- [46] FREUND Y, SCHAPIRE. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting[J]. Journal of Computer and System Sciences, 1997, 55(1): 119–139.
- [47] 宁昱博, 张玉军. LSTM-Adaboost 股价预测模型[J]. 辽宁科技大学学报, 2019, 42(05): 383–388.
- [48] Kumar S, Ningombam D. Short-Term Forecasting of Stock Prices Using Long Short Term Memory[C]// 2018 International Conference on Information Technology (ICIT). 2018, 12(01), 182–186. 10.1109/ICIT.2018.00046
- [49] Moody J, Darken C. Fast Learning in Networks of Locally-Tuned Processing Units[J]. Neural Computation, 1989, 1(2): 281–294.
- [50] 马东宇. 基于 Gaussian 型 RBF 神经网络的函数逼近与应用[D]. 中南大学, 2011.
- [51] 阚子良. 基于改进机器学习方法的股票预测研究[D]. 长春理工大学, 2019.
- [52] Bates J M, Granger C W J. “Combining of forecasts” [J]. Operations Research Quarterly, 1969, 20(40): 451–468.
- [53] Weihong Wang, Shuangshuang Nie. The Performance of Several Combining Forecasts for Stock Index[C]// International Seminar on Future Information Technology & Management Engineering. IEEE, 2009: 450–455, doi: 10.1109/FITME.2008.42.
- [54] 朱嘉瑜, 叶海燕, 高鹰. 基于隐马尔可夫模型的股票价格预测组合模型[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(21): 4945–4948.
- [55] Sachdev A, Sharma V. Stock Forecasting Model Based on Combined Fuzzy Time Series and Genetic Algorithm[C]// International Conference on Computational Intelligence & Communication Networks. IEEE, 2016: 1303–1307, doi: 10.1109/CICN.2015.250.
- [56] Weihong Wang, Shuangshuang Nie. The Performance of Several Combining Forecasts for Stock Index[C]// International Seminar on Future Information Technology & Management Engineering. IEEE, 2009: 450–455, doi: 10.1109/FITME.2008.42.
- [57] 王绍泽. 隐马尔可夫模型在股市中的应用[D]. 大连理工大学, 2019.
- [58] 张斌. 基于回声状态网络的短期股价预测模型[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(05): 268–272+333.

文章编号:1001-9383(2020)04-0022-07

涡流扩散比影响下的水下光通信性能分析

缪建成¹, 耿欣蕊²

(1. 海装装备项目管理中心, 北京 100000; 2. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要: 盐度与温度的涡流扩散比并不总是等于1, 尤其是在高纬度和中高纬度海洋地区。本文通过考虑涡流扩散比的影响, 研究了实际水下光通信系统的性能。利用弱湍流中的 Rytov 理论, 推导出了经过孔径平均后平面波和球面波的闪烁指数。并进一步研究了平均信噪比 (SNR, Signal-to-Noise Ratio) 等典型通信性能指标。结果表明, 基于可变涡流扩散比得到的闪烁指数及性能指标不同于基于涡流扩散比等于1得到的闪烁指数及性能指标。同时, 随着接收孔径的增大, 基于可变涡流扩散比与基于涡流扩散比等于1得到的结果之间的不同逐渐缩小。

关键词: 涡流扩散比; 水下光通信; 闪烁指数; 信噪比

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

Underwater optical communication performance under the influence of the eddy diffusivity ratio

LIAO Jian-cheng¹, GENG Xin-rui²

(1. *Equipment Project Management Center of Naval Equipment Department, Beijing 100000, China;*

2. *The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China*)

Abstract: Generally, the eddy diffusivity ratio of salinity to temperature is not equal to one, especially in the upper and mid-to-high latitude ocean. In this paper, the performance of practical underwater optical communication (UOC) systems is investigated by considering the influence of the eddy diffusivity ratio other than one. Specifically, using the Rytov theory in weak turbulence, the aperture-averaged scintillation indices for the plane and spherical waves are derived. The typical performance criteria including the mean signal-to-noise ratio and bit error rate are further studied. It is found that the scintillation index and the associated UOC performance differ between the cases of the unity and variable eddy diffusivity ratio. Such a difference becomes smaller as the receiving aperture increases.

Keywords: The eddy diffusivity ratio; Underwater optical communication (UOC); Scintillation indices; Signal-to-noise ratio (SNR)

收稿日期: 2020-11-30

作者简介: 缪建成(1984-), 男, 江苏南通人, 工程师, 主要研究方向: 航空装备项目管理.

0 引言

鉴于水下光通信(UOC, Underwater Optical Communication)的优势,海洋中光波传播特性相关问题亟待研究。UOC利用高频光波作为通信载体,可以提供大容量、低时延的中短距离数据链路。因此UOC对许多水下应用具有很大的吸引力^[1,2]。

目前有许多关于海洋湍流中光学闪烁现象的相关研究,这些研究^[5,7~17]基于Nikishov谱^[6]。关于闪烁指数和UOC性能的相关研究中都将Nikishov谱中的一个参数,即温度与盐度涡流扩散比的取值设定为1。然而,由于风的混合和表层水与大气的热交换作用的影响,海洋湍流折射率谱模型的典型特征是不稳定分层^[18,19]。在这种背景下,涡流扩散比不再等于1,特别是在高纬度海洋区域^[20]。

本文研究了涡流扩散系数不等于1时的UOC性能。首先推导了考虑可变涡流扩散比的弱海洋湍流中平面波和球面波的孔径平均闪烁指数表达式,然后根据数值结果分析了平均信噪比(SNR, Signal-to-Noise Ratio)。

1 海洋湍流折射率起伏功率谱

本节主要介绍了海洋湍流折射率谱(Nikishov谱)。海洋湍流折射率起伏功率谱可以表示为^[21]:

$$\Phi_n(\kappa) = (4\pi)^{-1} C_0 \left[\frac{\alpha^2 \chi_T}{\omega^2} \right] \epsilon^{-1/3} \kappa^{-11/3} [1 + C_1 (\kappa \eta)^{2/3}] \times [\omega^2 \exp(-A_T \delta) + d_r \exp(-A_S \delta) - \omega(d_r + 1) \exp(-A_{TS} \delta)] \quad (1)$$

其中,

$$A_T = C_0 C_1^{-2} Pr_T^{-1} \quad (2)$$

$$A_S = C_0 C_1^{-2} Pr_S^{-1} \quad (3)$$

$$A_{TS} = 0.5 C_0 C_1^{-2} Pr_{TS}^{-1} \quad (4)$$

$$\delta = 1.5 C_1^2 (\kappa \eta)^{4/3} + C_1^3 (\kappa \eta)^2 \quad (5)$$

其中, T, S 和 TS 分别表示温度、盐度和温盐耦合。 $C_0 = 0.72$ 是Obukhov-Corrsin常数, $C_1 \approx 2.35$ 是常数且取决于与实验数据比较。 Pr_T, Pr_S 和 Pr_{TS} 是普朗特数。 κ 表示空间频率。 $\alpha = 2.56 \times 10^{-4} l/\text{deg}$ 是一个常数。 $\eta = (\nu^3/\epsilon)^{1/4}$ 是Kolmogorov微尺度的长度, ν 和 ϵ 分别表示运动粘度和每单位质量流体湍流动能耗散率。 χ_T 为均方温度耗散率。 ω 定义了温度和盐度分布对折射率分布的贡献,它在-5和0之间变化。趋于-5时,温度占优势;趋于0时,盐度占优势。 d_r 是涡流扩散比, d_r 的定义式为^[21]:

$$d_r = \frac{|\omega|}{R_F} \quad (6)$$

其中, R_F 定义为^[21]:

$$R_F \approx \begin{cases} |\omega| - \sqrt{|\omega|(|\omega| - 1)}, & |\omega| \geq 1 \\ \frac{1}{1.85 - 0.85|\omega|^{-1}}, & 0.5 \leq |\omega| \leq 1 \\ \frac{1}{0.15}, & |\omega| < 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

2 孔径平均下的闪烁指数及系统性能

本节主要推导了平面波、球面波孔径平均闪烁指数表达式,并给出了平均信噪比和平均误码率的计算表达式。通过增加接收孔径可以降低闪烁指数,从而进一步提高了通信系统的性能。弱湍流条件下,平面波、球面波在直径为 D 的圆接收孔径上的闪烁指数分别可以表示为^[22]:

$$\sigma_{i,pl}^2(D) = 8\pi^2 \kappa^2 L \int_0^1 \int_0^\infty \kappa \Phi_n(\kappa) \exp\left(-\frac{D^2 \kappa^2}{16}\right) \left[1 - \left(\cos \frac{L\kappa^2}{k} \xi\right)\right] d\kappa d\xi \quad (8)$$

$$\sigma_{i,sp}^2(D) = 8\pi^2 k^2 L \int_0^1 \int_0^\infty \kappa \Phi_n(\kappa) \exp\left(-\frac{D^2 \kappa^2 \xi^2}{16}\right) \left\{1 - \cos\left[\frac{L\kappa^2}{k} \xi(1-\xi)\right]\right\} d\kappa d\xi \quad (9)$$

其中 λ 是光束的波数, L 是传播路径长度, ξ 表示归一化传播路径长度。将式(1)代入式(8),可以得到:

$$\sigma_{i,pl}^2(D) = 2\pi k^2 LC_0 \left[\frac{\alpha^2 \chi_T}{\omega^2}\right] \epsilon^{-1/3} (\omega^2 I_{1,pl} + d_r I_{2,pl} - \omega(d_r + 1) I_{3,pl}) \quad (10)$$

其中,

$$I_{i,pl} = \operatorname{Re} \int_0^1 \int_0^\infty \kappa^{-8/3} \exp(-a_i \kappa^{4/3}) \exp\left(-b_i \kappa^2 - \frac{D^2 \kappa^2}{16}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{jL\kappa^2}{k} \xi\right)\right] d\kappa d\xi + \\ C_1 \eta^{2/3} \operatorname{Re} \int_0^1 \int_0^\infty \kappa^{-2} \exp(-a_i \kappa^{4/3}) \exp(-b_i \kappa^2) \exp\left(-\frac{D^2 \kappa^2}{16}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{jL\kappa^2}{k} \xi\right)\right] d\kappa d\xi \quad (11)$$

其中, $a_i = 1.5A_i C_1^2 \eta^{4/3}$, $b_i = A_i C_1^3 \eta^2$, $i = 1, 2, 3$ 分别表示下角标 T, S 和 TS , $j = \sqrt{-1}$, $\operatorname{Re}(x)$ 表示了 x 的实数部分。使用麦克劳林级数将函数 $\exp(-a_i \kappa^{4/3})$ 表示并且计算其中的积分,可以得到:

$$I_{i,pl} = 3\left(\frac{L}{k}\right)^{5/6} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(2n/3 - 5/6)(-a_i)^n}{(11 - 4n)n!} \left(\frac{L}{k}\right)^{-2n/3} + \\ 3C_1 \eta^{2/3} \left(\frac{L}{k}\right)^{1/2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(2n/3 - 1/2)(-a_i)^n}{(9 - 4n)n!} \left(\frac{L}{k}\right)^{-2n/3} \left\{\frac{9 - 4n}{6} \left(\frac{16kb_i + kD^2}{16L}\right)^{1/2-2n/3} \times \right. \\ \left. \left[1 + \left(\frac{16kb_i + kD^2}{16L}\right)^2\right]^{3/4-n/3} \sin\left[\frac{9 - 4n}{6} \tan^{-1}\left(\frac{16L}{16kb_i + kD^2}\right)\right]\right\} \quad (12)$$

将式(1)代入式(9),可以得到:

$$\sigma_{i,sp}^2(D) = 2\pi k^2 LC_0 \left[\frac{\alpha^2 \chi_T}{\omega^2}\right] \epsilon^{-1/3} (\omega^2 I_{1,sp} + d_r I_{2,sp} - \omega(d_r + 1) I_{3,sp}) \quad (13)$$

与化简平面波闪烁指数的过程类似,可以得到:

$$I_{i,sp} = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(2n/3 - 5/6)(-a_i)^n}{n!} \left\{b_i^{5/6-2n/3} {}_2F_1\left(\frac{2n}{3} - \frac{5}{6}, \frac{1}{2}; \frac{3}{2}; -\frac{D^2}{16b_i}\right) - \right. \\ \operatorname{Re} \int_0^1 \left[b_i + \frac{D^2}{16} \xi^2 + \frac{iL}{k} \xi(1-\xi)\right]^{5/6-2n/3} d\xi + \frac{C_1 \eta^{2/3}}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(2n/3 - 1/2)(-a_i)^n}{n!} \\ \left. \left\{b_i^{1/2-2n/3} {}_2F_1\left(\frac{2n}{3} - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}; \frac{3}{2}; -\frac{D^2}{16b_i}\right) - \operatorname{Re} \int_0^1 \left[b_i + \frac{D^2}{16} \xi^2 + \frac{iL}{k} \xi(1-\xi)\right]^{1/2-2n/3} d\xi\right\} \quad (14)$$

其中, ${}_2F_1$ 是高斯超几何函数。

信噪比是衡量通信系统可靠性的主要标准之一。接收机探测器输出端的平均信噪可以表

示为^[23]:

$$\langle \text{SNR} \rangle = \frac{\text{SNR}_0}{\sqrt{1 + \sigma_I^2(D) \text{SNR}_0^2}} \quad (15)$$

其中, SNR_0 表示无海洋湍流时的信噪比。

误码率是 UOC 系统性能的另一个关键性能指标。在采用开关键控 (OOK, On-Off Keying) 调制进行直接检测的前提下, 平均误码率可以表示为^[23]:

$$\langle \text{BER} \rangle = \frac{1}{2} \int_0^\infty p_I(u) \text{erfc} \left[\frac{\langle \text{SNR} \rangle u}{2\sqrt{2}} \right] du \quad (16)$$

其中 $\text{erfc}(\cdot)$ 是互补误差函数。 $p_I(u)$ 是随机衰落辐照信号概率密度函数。弱湍流条件下, 我们假设 $p_I(u)$ 服从对数正态分布^[23], 具体可以表示为:

$$p_I(u) = \frac{1}{u \sigma_I(D) \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\ln u + 0.5 \sigma_I^2(D)]^2}{2 \sigma_I^2(D)} \right\}, u > 0 \quad (17)$$

3 结果与讨论

我们将呈现平面波和球面波的孔径平均闪烁指数以及 UOC 系统平均信噪比和平均误码率的数值结果。分析计算过程中限制闪烁指数不大于 1, 这与弱湍流条件相对应。分析计算过程中相关参数具体设置如下。

$$\epsilon = 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}^3, \chi_T = 10^{-5} \text{K}^{-2} \text{s}^{-3}, \lambda = 0.530 \mu\text{m}, \alpha = 2.56 \times 10^{-4} \text{l}/\text{deg},$$

$$\text{Pr}_T \approx 7, \text{Pr}_S \approx 700, \text{Pr}_{TS} = 13.86,$$

$$\nu = 1.0576 \times 10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1}, A_T = 1.863 \times 10^{-2}, A_S = 1.9 \times 10^{-4}, A_{TS} = 9.41 \times 10^{-3}.$$

盐度是 35 ppt, 温度是 20°C^[24]。

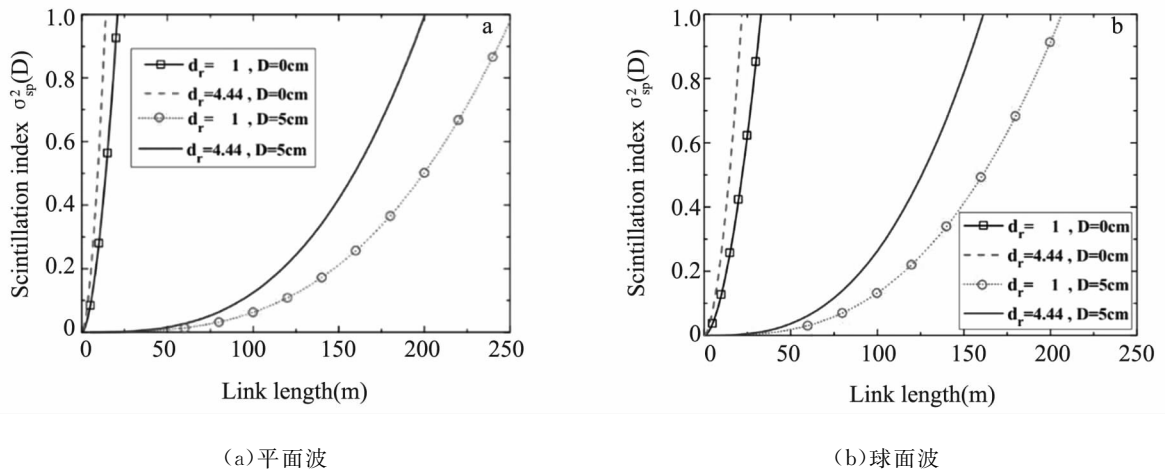


图 1 闪烁指数与链路长度的关系

在图 1 中, 我们通过曲线图描述了不同的接收孔径下闪烁指数随链路长度的变化规律。在计算式(12)和式(14)中的无穷级数时, 由于对所涉及参数的典型值, 级数收敛迅速, 我们选择 n 为 30。 $D=0\text{cm}$ 对应于点接收机的情况。 $D=5\text{cm}$ 表示接收孔径为直径 5cm 的圆形孔径。从图 1 可以看出, 对于点接收机, 随着链路长度的增加, 平面和球面波的闪烁指数急剧增加。我们发现接收孔径从 $D=0\text{cm}$ 增加到 $D=5\text{cm}$, 闪烁指数显著降低, 这充分反应了孔径平

均的光强闪烁抑制效果。在点接收和孔径平均接收情况下, $d_r = 4.44$ 的曲线总是高于 $d_r = 1$ 的曲线。这一现象意味着之前基于 $d_r = 1$ 得到的结果低估了 $\omega = 2.5$ 时的闪烁指数。

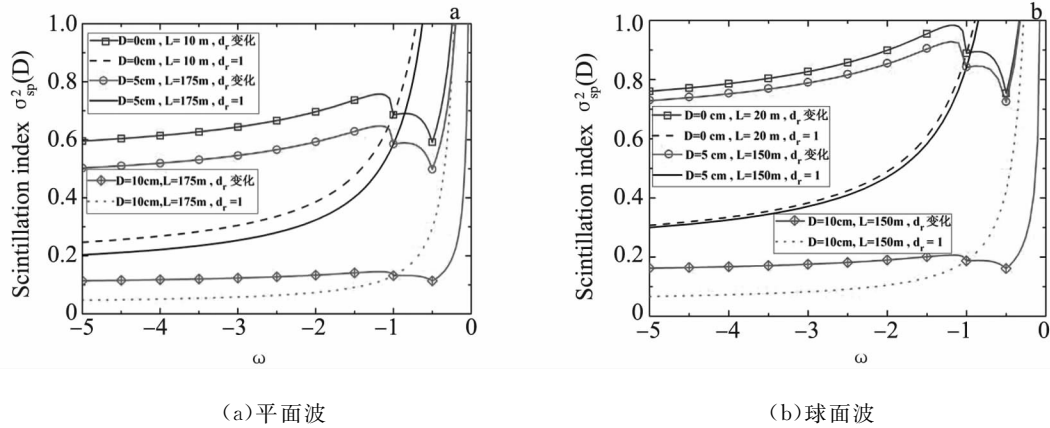


图2 闪烁指数与 ω 关系

在图2中,我们绘制了在某一特定链路长度下,平面波和球面波的闪烁指数关于 ω 的函数曲线。我们考虑两个有限尺寸的接收孔径,即, $D=5\text{cm}$ 和 $D=10\text{cm}$ 。为了清楚地反映孔径平均效应,我们还将 $D=0$ 的情况作为基准。从图2可以看出, $d_r = 1$ 时对应的曲线随 ω 从 -5 增加到 0 单调增加。根据式(6)计算 d_r 时,曲线分为三个部分。第一部分在 $\omega = -5$ 和 -1 之间,在这一段曲线中,闪烁指数首先随着 ω 的增加而缓慢增加,然后在 ω 接近 -1 时,随 ω 的增加而急剧下降。第二段在 $\omega = -1$ 和 $\omega = -0.5$ 之间,在这一段曲线中,闪烁指数随 ω 的增加抛物线地减少。第三段对应的范围是 $\omega > -0.5$,在这一段曲线中,我们可以清楚地看到闪烁指数随着 ω 的增加而急剧增加。这种闪烁指数随参数 ω 的变化趋势可以通过式(6)和式(7)中 d_r 的定义来解释。我们还注意到,对于特定的链路长度和接收孔径直径,基于 $d_r = 1$ 得到的曲线和基于式(6)的 d_r 得到的曲线相交于 $\omega = -1$ 。当 $\omega < -1$ 时,基于 $d_r = 1$ 得到的曲线小于基于式(6)得到的 d_r 的曲线,而对于 $\omega > -1$,情况相反。因此,我们可以得出结论,以前基于 $d_r = 1$ 的结果,在 $\omega < -1$ 时低估了闪烁指数,在 $\omega > -1$ 时高估了闪烁指数。

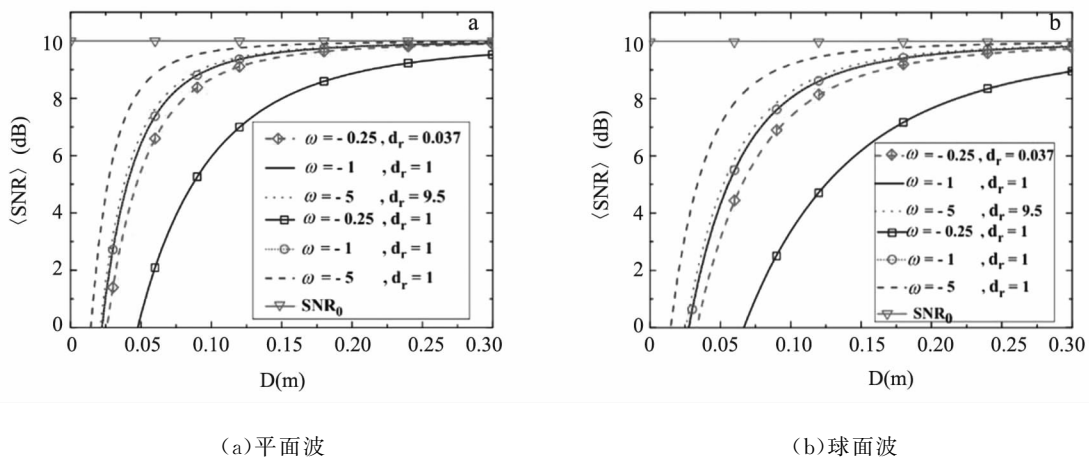


图3 不同 ω 与 d_r 条件下,平均信噪比与接收孔径 D 的关系

在图3中,我们给出了以dB为单位的平均信噪比与接收孔径的关系。我们比较了基于式(6)的 d_r 得到的平均信噪比与基于 $d_r=1$ 得到的平均信噪比。对应于 SNR_0 的曲线表示无海洋湍流情况下的平均信噪比。我们假定无海洋湍流时的平均信噪比为10dB。从图3中我们可以看出,对于所有湍流情况,平均信噪比随着 D 趋近于零而趋于零,随着 D 的增大而趋于 SNR_0 。这清楚地表明,使用大的接收孔径可以克服海洋湍流的不利影响。对于接收孔径较小的情况,我们还可以看到,当 $\omega=-5$ 时,基于 $d_r=1$ 得到的平均信噪比优于基于 $d_r=9.5$ 得到的平均信噪比;当 $\omega=-0.25$ 时,基于 $d_r=0.037$ 得到的平均信噪比优于基于 $d_r=1$ 得到的平均信噪比。这些现象说明之前基于 $d_r=1$ 得到的结果在 $\omega<-1$ 时低估了平均信噪比,在 $\omega>-1$ 时高估了平均信噪比。

4 结束语

本文利用Rytov方法,研究了弱海洋湍流条件下涡流扩散比对平面波和球面波平均闪烁指数的影响。分析了UOC系统的平均信噪比 ρ 。结果表明,与大接收孔径相比,涡流扩散率对小接收孔径闪烁指数和UOC性能的影响更为显著。本文的研究结果对UOC系统的设计具有一定的指导意义。通过研究,可以发现海洋湍流引起的光强闪烁会明显降低通信系统信噪比,为保证通信质量,建议在UOC系统设计中应考虑闪烁抑制技术,如大孔径接收、多光束发射等技术。

参考文献:

- [1] M. A. Khalighi, C. Gabriel, T. Hamza, S. Bourennane, P. Léon, V. Rigaud. Underwater wireless optical communication; recent advances and remaining challenges[J]. Proceedings of the IEEE Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), 2014; 1-4.
- [2] Z. Zeng, S. Fu, H. Zhang, Y. Dong, J. Cheng. A survey of underwater optical wireless communications[J]. IEEE Commun. Surveys Tuts, 2017, 19: 204-238.
- [3] J. W. Giles, I. N. Bankman. Underwater optical communications systems. Part 2: basic design considerations[J]. Proceedings of MILCOM (IEEE), 2005; 1700-1705.
- [4] S. Arnon. Underwater optical wireless communication network[J]. Opt. Eng, 2010, 49, 015001.
- [5] L. J. Johnson, R. J. Green, M. S. Leeson. Underwater optical wireless communications; depth dependent variations in attenuation[J]. Appl. Opt, 2013, 52: 7867-7873.
- [6] V. V. Nikishov, V. I. Nikishov. Spectrum of turbulence fluctuations of the sea-water refraction index[J]. Int. J. Fluid Mech. Res, 2000, 27: 82-98.
- [7] Y. Ata, Y. Baykal. Scintillations of optical plane and spherical waves in underwater turbulence[J]. J. Opt. Soc. Am, 2014, 31: 1552-1556.
- [8] H. Gerçekcioglu. Bit error rate of focused Gaussian beams in weak oceanic turbulence[J]. J. Opt. Soc. Am, 2014, 31: 1963-1968.
- [9] Z. Wang, P. Zhang, C. Qiao. Scintillation index of Gaussian waves in weak turbulent ocean[J]. Opt. Commun, 2016, 380: 79-86.
- [10] Y. Baykal. Expressing oceanic turbulence parameters by atmospheric turbulence structure constant[J]. Appl. Opt, 2016, 55: 1228-1231.
- [11] Y. Baykal. Scintillation index in strong oceanic turbulence[J]. Opt. Commun, 2016, 375: 15-18.
- [12] H. Gerçekcioglu. BER of annular beams in weak oceanic turbulence[J]. Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Technol, 2017, 5: 262-273.

-
- [13] M. Yousefi, S. Golmohammady, A. Mashal, F. D. Kashani. Analyzing the propagation behavior of scintillation index and bit error rate of a partially coherent flat-topped laser beam in oceanic turbulence[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 2015, 32:1982–1992.
- [14] M. Yousefi, F. D. Kashani, S. Golmohammady. Scintillation and bit error rate analysis of a phase-locked partially coherent flat-topped array laser beam in oceanic turbulence[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 2017, 34:2126–2131.
- [15] X. Yi, Z. Li, Z. Liu. Underwater optical communication performance for laser beam propagation through weak oceanic turbulence[J]. *Appl. Opt.*, 2015, 54:1273–1278.
- [16] M. C. Gökçe, Y. Baykal. Aperture averaging and BER for Gaussian beam in underwater oceanic turbulence[J]. *Opt. Commun.*, 2018, 410:830–835.
- [17] M. C. Gökçe, Y. Baykal. Aperture averaging in strong oceanic turbulence[J]. *Opt. Commun.*, 2018, 413:196–199.
- [18] R. Griffis, J. Howard. *Oceans and Marine Resources in a Changing Climate: A Technical Input to the 2013 National Climate Assessment*, 2013.
- [19] O. I. Mamayev. *Temperature-Salinity Analysis of World Ocean Waters*, 1975.
- [20] G. Einsele. *Sedimentary Basins, Evolution, Facies, and Sediment Budget*, 2000.
- [21] M. Elamassie, M. Uysal, Y. Baykal. Effect of eddy diffusivity ratio on underwater optical scintillation index[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 2017, 34:1969–1973.
- [22] L. C. Andrews, R. L. Phillips, C. Y. Hopen. *Laser Beam Scintillation with Applications*, 2001.
- [23] L. C. Andrews, R. L. Phillips. *Laser Beam Propagation through Random Media*, 2nd ed, 2005.
- [24] E. B. Kraus, J. A. Businger. *Atmosphere-Ocean Interaction*, 1994.
-

(上接第8页)

- [10] Redmon J, Farhadi A. YOLO9000: better, faster, stronger[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017:6517–6525.
- [11] Redmon J, Farhadi A. YOLOv3: an incremental improvement[J]. *ar Xiv*:1804.02767, 2018.
- [12] Bochkovskiy A, Wang C Y, Liao H Y M. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection[EB/OL]. [2020-02-17]. <https://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf>.
- [13] Liu W, Anguelov D, Erhan D, et al. SSD: single shot multibox detector[C]//European Conference on Computer Vision, 2016:21–37.
- [14] Fu C Y, Liu W, Ranga A, et al. DSSD: deconvolutional single shot detector[EB/OL]. (2017-12-10). <https://arxiv.org/pdf/1701.06659.pdf>.
- [15] Shen Z, Liu Z, Li J, et al. DSOD: learning deeply supervised object detectors from scratch[C]//IEEE International Conference on Computer Vision, 2017:1937–1945.
- [16] Li Z, Zhou F. FSSD: feature fusion single shot multibox detector[J]. *ar Xiv*:1712.00960, 2017.
- [17] Lin T Y, Goyal P, Girshick R, et al. Focal loss for dense object detection[C]//International Conference on Computer Vision, 2017:2999–3007.
- [18] Duan K, Bai S, Xie L, et al. Center Net: keypoint triplets for object detection[J]. *ar Xiv*:1904.08189, 2019.
- [19] Donggeun YOO, Sunggyun Park, Joon-Young Lee, et al. AttentionNet: Aggregating Weak Directions for Accurate Object Detection[J]. *arXiv*:1506.07704v2, 2015

文章编号:1001-9383(2020)04-0029-06

一种变电压 X 射线图像序列融合增强算法

乔运伟¹, 刘英杰¹, 李子文¹, 李野²

(1. 河北省激光研究所, 河北 石家庄 050081; 2. 长春理工大学 理学院, 吉林 长春 130022)

摘要:等效厚度差异悬殊工件的变电压 X 射线图像序列经过融合后细节模糊, 对比度降低。为此, 本文提出了一种变电压 X 射线图像序列融合增强算法。首先用基于非锐化掩模的加权融合方法实现图像序列的融合, 以提高融合图像的对比度, 然后再利用基于金字塔变换的增强算法对融合图像进行增强。实验结果显示, X 射线图像得到了显著增强。

关键词: X 射线图像; 图像融合; 图像增强; 金字塔分解

中图分类号: TP391

文献标识码: A

An enhanced algorithm of variable voltage X-ray image sequence fusion

QIAO Yun-wei¹, LIU Ying-jie¹, LI Zi-wen¹, LI Ye²

(1. Hebei Laser Research Institute, Shijiazhuang Hebei 050081, China;

2. School of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin 130022, China)

Abstract: After fusion, detail blurs and contrast decreases for variable voltage X-ray image sequences of detected object with great difference in equivalent thickness. For this reason, this paper proposes an enhanced algorithm of variable voltage X-ray image sequence fusion. Firstly, the weighted fusion method based on non-sharp mask is used to realize the image sequence fusion to improve the contrast of the fused image, and then the enhanced algorithm based on pyramid transform is used to enhance the fused image. The experimental results show that the X-ray images are significantly enhanced.

Keywords: X-ray image; Image fusion; Image enhancement; Pyramid decomposition

1 概述

X 射线检测是目前工业无损检测中的主要技术之一, 是利用 X 射线的穿透性对受检工件进行透照检测的。由于受检工件的厚度、密度等存在差异, 在利用同一强度的 X 射线进行透照时, 射线经过受检工件后的衰减程度不同, 对应的在成像平板上呈现出明暗不同的灰度图像^[1,2]。当受检工件由多层复合材料构成, 结构复杂时, 工件的等效厚度差异较大, 因而, 在 X

收稿日期: 2020-09-15

作者简介: 乔运伟(1985-), 河北任丘人, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 图像处理技术。

射线的透照图像上往往出现过曝光和欠曝光现象,无法展现出工件内部的完整结构,导致结构信息缺失严重。

为实现等效厚度差异悬殊工件的检测,相关研究人员提出分区透照、厚度补偿、变能量透照等方法^[3]。其中,变能量透照方法通过递增 X 射线机管电压以获取受检工件不同厚度范围的透照子图,能够在单幅图像中完整的保留工件结构信息,然后通过对子图的加权融合得到最终图像。此方法具有一定的先进性和可借鉴性,且融合后图像信噪比提高了,但图像变得模糊,对比度远不如原始图像高^[4,5]。

因此,本文针对变电压图像序列融合后细节模糊的问题,提出了一种新的变电压 X 射线图像序列融合增强算法。该算法将非掩模锐化方法与加权平均算法结合,实现对变电压图像序列的高对比度融合,然后用基于金字塔变换的增强算法处理,进一步增强图像细节。实验表明此方法可以达到较好的融合增强效果。

2 图像增强方案

变电压 X 射线图像序列融合增强算法分为去噪、锐化、融合、增强四大步骤。具体实验步骤如图 1 所示。

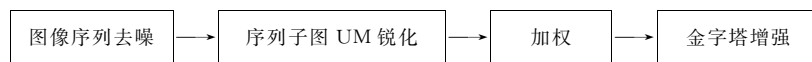


图 1 算法操作流程

2.1 双边滤波去噪

目前常用的高斯滤波器和均值滤波器等平滑滤波器,只考虑到空域信息的差别或图像值域的差别,会平滑掉变化剧烈的边缘,造成边缘模糊,对高频细节保护性不好。双边滤波是一种非线性的滤波方法,折中考虑空域信息和灰度相似性的影响,在平滑图像的同时可以很好的保留图像的边缘。双边滤波器的输出像素值依赖于输入图像对应位置的邻域像素值的加权和,定义如下:

$$g(i, j) = \frac{\sum_{p, q} f(p, q) \omega(i, j, p, q)}{\sum_{p, q} \omega(i, j, p, q)} \quad (1)$$

其中, $g(i, j)$ 表示输出图像在 (i, j) 位置的像素值, p, q 表示输入图像在 (i, j) 处的邻域像素位置, $f(p, q)$ 表示 (i, j) 位置的邻域像素值。 $\omega(i, j, p, q)$ 是权重系数,取决于空间域核 d 和值域核 r 的乘积:

$$d(i, j, p, q) = \exp\left(-\frac{(i-p)^2 + (j-q)^2}{2\sigma_d^2}\right) \quad (2)$$

$$r(i, j, p, q) = \exp\left(-\frac{\|f(i, j) - f(p, q)\|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

$$\omega(i, j, p, q) = \exp\left(-\frac{(i-p)^2 + (j-q)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(i, j) - f(p, q)\|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (4)$$

在图像的非边缘区域,像素值在较小的范围内变化,对应的像素值域权重接近于 1,此时,起决定性作用的是空间域权重;在图像的边缘区域,像素值在较大的范围内变化,对应的像素值域权重变大,起到主要作用,从而保持了图像边缘信息,达到了去噪保边的目的。

2.2 非锐化掩模边缘增强

非锐化掩模算法(Unsharp Masking, UM)通过提高图像中高频分量所占的比例来提高图像边缘和细节的一种图像增强方法。原始图像经过低通滤波后得到低频信息,原始图像减去低频信息得到图像的高频信息,再将高频信息按照一定的比例缩放后加到原始图像中,从而达到增强图像边缘和细节的目的。

$$Y = X + \alpha(X - \bar{X}) \quad (5)$$

其中, Y 为输出图像, X 是输入图像, \bar{X} 是输入图像平滑滤波的结果, $(X - \bar{X})$ 是图像的高频信息, α 是增强因子, 决定了高频信息的叠加比例。增强因子的值要慎重选择, 当振幅较大的阶梯状边缘的高频分量放大时, 会产生所谓的反弹或伪影, 在这种情况下, 过度增强会在实际边缘附近产生一条白线或黑线。此外, 这种涟漪可能会掩盖高对比度边缘附近的低对比度特征。

2.3 加权平均融合法

加权平均融合法具有简单、快速的优点, 是常用的空间域图像融合算法。设 f_1 和 f_2 是要融合的原图像, 则加权平均融合结果可表示为:

$$F(i, j) = \omega_1 f_1(i, j) + \omega_2 f_2(i, j) \quad (6)$$

其中, $f_1(i, j)$, $f_2(i, j)$, $F(i, j)$ 分别表示原始图像和融合图像在 (i, j) 位置的值, ω_1 与 ω_2 分别为 f_1 和 f_2 的加权系数, $\omega_1 + \omega_2 = 1$ 。

2.4 基于 UM 的融合算法

对用由高到低电压采集的图像序列中的子图进行双边滤波去除噪声, 然后进行高斯滤波, 分离得出高频信息 hp_i , 对子图的高频分量进行累加, 得到序列图像的高频信息和, 如式(7)。然后根据 UM 算法的原理, 图像序列融合后的图像可表示为:

$$hp = \sum_i hp_i \quad (7)$$

$$Y = \sum_i \omega_i X_i + \alpha hp \quad (8)$$

其中, $\sum_i \omega_i = 1$ 。

在提取高频信息时要慎重选择滤波器核的尺寸。较小核有利于提高图像的锐利度和细节的可见性, 但同时提高了噪声的高频分量, 会产生典型的细颗粒现象, 中等尺寸核可增强中、高频分量, 但会抑制没有轮廓可增强的对象, 较大核会滤掉大尺寸低对比度区域的边缘^[6]。

用此方法对气阀的 X 射线图像序列进行融合, 然后对融合图像进行增强。

2.5 基于金字塔变换的增强算法

金字塔变换可以实现对原始图像的多尺度分解, 能在不同的分辨率上突出图像的细节信息^[7]。先对图像序列融合结果进行高斯金字塔分解, 然后在此基础上建立高频信息的拉普拉斯金字塔, 然后对拉普拉斯金字塔进行非线性变换, 利用逆变后的拉普拉斯金字塔进行重构, 得到增强图像, 如图 2 所示。

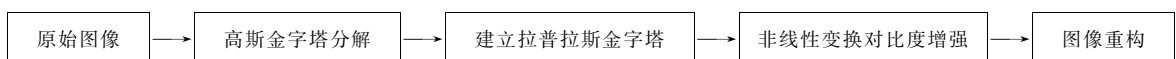


图 2 金字塔增强算法流程

2.5.1 图像高斯金字塔分解

原始图像用 5×5 高斯核进行低通滤波,并下采样得到尺寸为原始图像 $1/2$ 的子图,对子图循环进行上述操作,直到子图不可再分,便得到了图像的高斯金字塔。

2.5.2 图像拉普拉斯金字塔建立

将第 l 层高斯金字塔子图,插值到第 $l+1$ 层图像的大小,并用第 $l+1$ 层图像减去插值图像得到细节图像,即为第 l 层拉普拉斯金字塔图像,对每层高斯金字塔子图进行如上操作,就得到了图像拉普拉斯金字塔。

2.5.3 图像重构

图像重构即图像分解的逆过程,对第 i 层的高斯金字塔图像进行低通滤波和插值计算后,与 $i+1$ 层的拉普拉斯金字塔图像进行叠加,得到第 $i+1$ 层子图,将 $i+1$ 层子图作为下一次重构的输入图像,如此循环,直到得到和原始图像大小一致的输出图像。

如果按上述分解—重构的步骤操作,不对中间子图进行任何增强处理的话,那么就会得到与原始图像一样的重构图像,没有任何增强效果。为了达到图像增强的目的,本文对含细节信息的拉普拉斯金字塔的每层图像做归一化增强。通过滤波得到的图像高频分量数值有正有负,通过公式(9)将各层拉普拉斯子图归一化到 $[-1, 1]$,得到每层的归一化权重图像 λ_i 。

$$nor = \begin{cases} \frac{value - \min}{\max - \min}, \min \geq 0 \\ -\frac{value - \min}{\max - \min}, \max \leq 0 \\ \frac{value}{\max}, value > 0 \ \& \ \max > 0 \ \& \ \min < 0 \\ -\frac{value}{\min}, value < 0 \ \& \ \max > 0 \ \& \ \min < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$value$ 是图像当前位置的像素值, \max 是图像的最大值, \min 是图像的最小值, nor 是图像当前位置归一化后的值。

对归一化后的权重图像进行修正。

$$c_i = \lambda_i^p \quad (10)$$

对修正的权重图像进行金字塔系数反变换,重构图像可增强图像的对比度。当指数 p 的取值小于 1 时,较小的值相对于较大的值被放大,从而控制了对比度增强的程度。

3 实验结果与分析

目前,对 X 射线图像处理结果的评价主要依据主观评价为主,客观量化分析为辅的评价原则。主观评价即由人眼直接观察处理图像并进行评估,简单、直观,适用于处理结果间差异悬殊的情况,但当处理结果间差异较小,主观评价难以给出准确的判断时,就需要结合客观量化指标对处理结果做出正确的判定^[8]。本文采用图像标准差和信息熵来对图像进行客观评价。

标准差表征了被统计数据与其平均值的偏离程度,可作为评价图像对比度的指标,值越大,表示反差越大,图像的对比度越好;反之,图像的对比度越差。标准差的定义:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i, j) - \mu)^2} \quad (11)$$

其中, μ 是图像 f 的均值。

图像信息熵可以用来衡量图像信息丰富度, 值越大说明图像含有的信息越丰富, 图像质量越高, 相应方法的处理效果越好, 反之效果越差。信息熵的定义为:

$$E = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \log p_i \quad (12)$$

其中, L 是图像的灰度级数, p_i 是灰度值 i 在图像中出现的概率, $p_i = \frac{n_i}{n}$, 由灰度值为 i 的像素个数 n_i 与图像像素总数 n 的比值决定。

采用直接加权平均融合算法和本文算法对 40kV 到 120kV 的气阀透照图像(图 3)进行融合增强。用 7×7 的滤波核来获得高频分量, $\alpha=1, p=0.8$, 采用对数函数为不同电压下的图像赋予权重系数 ω_i , 低电压子图对应较大的权重系数, 高电压子图对应较小的权重系数, 以防止融合后的图像动态范围超出显示器的动态范围。融合增强结果如图 4 所示。

从主观评价来看, 加权平均融合的图像中出现了模糊现象, 且气阀玻璃罩信息的缺失, 而基于 UM 加权融合后的图像, 保留了气阀的完整信息, 气阀内部结构层次分明且对比度效果较好。再经过改进的金字塔变换增强后, 图像边缘更加锐利, 轮廓更清晰。

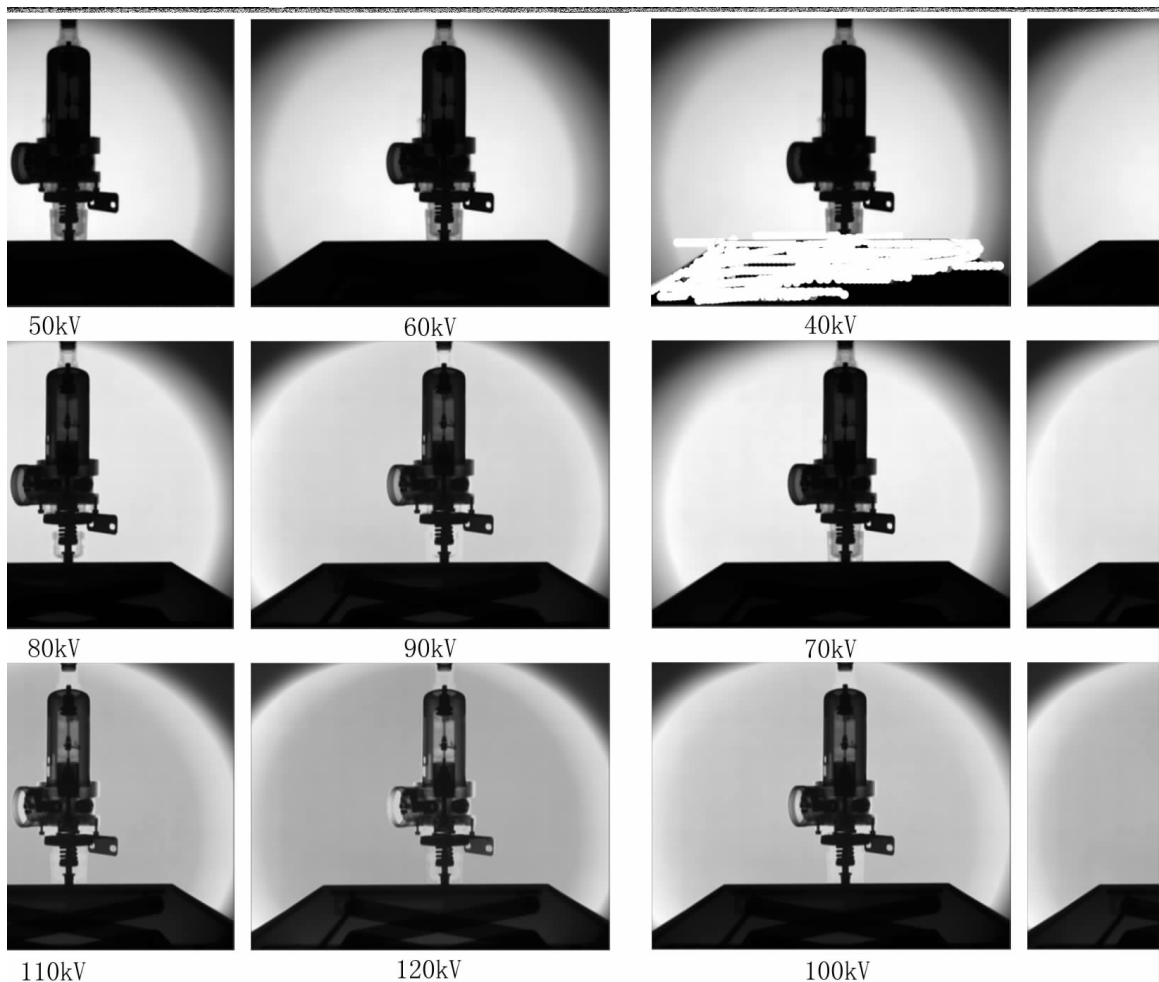


图 3 40kV—120kV 电压下气阀图像序列

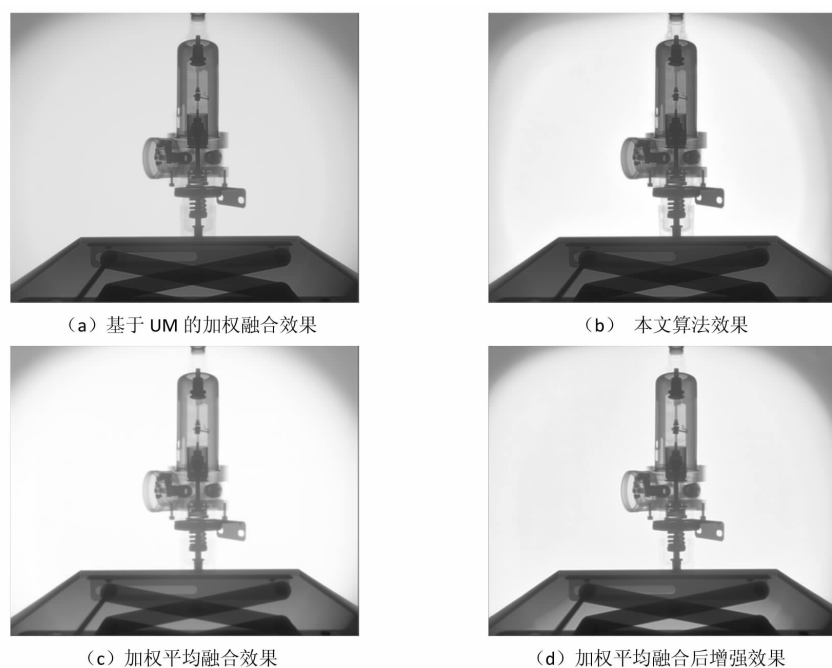


图4 融合增强效果对比

表1给出了两种方法处理的量化比较结果。从结果可以看出,无论是标准差还是信息熵,基于UM加权融合法的效果都优于直接加权融合法,经过基于金字塔变换的增强算法增对融合图像增强后,效果更佳。客观评价结果与主观评价结果一致。

表1 客观评价

图像	评价指标	直接加权平均融合法	加权平均后增强	基于UM加权融合法	本文算法
图4	标准差	8095.537	12179.305	12152.542	15919.491
	信息熵	1.639	1.789	2.912	7.786

4 结论

本文提出的基于UM的加权平均融合算法,可以对等效厚度悬殊的结构复杂的被测物进行快速准确的融合,且有效地降低了由于像素值加权平均融合引起的模糊程度,对融合结果采用基于金字塔变换的增强方法进行增强,加强了边缘细节信息,使融合效果更清晰。实验结果表明,本文算法能清晰地显示出被测工件的内部复杂结构,融合图像的动态范围得到显著扩展,对比度得到有效加强。本方法原理简单,对变电压X射线图像序列的融合增强效果显著。

参考文献:

- [1] 射线检测[M]. 中国机械工程学会无损检测分会编. 北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 强天鹏. 射线检测(第二版)[M]. 中国劳动社会保障出版社,2007.
- [3] Li Y H, Han Y, Chen P. X-ray energy self-adaption high dynamic range (HDR) imaging based on linear constraints with variable energy[J]. IEEE Photonics Journal, 2017, 10(2): 1-14.
- [4] Li H X, Chen X D, Wang Y, et al. Sparse CT reconstruction based on multi-direction anisotropic total variation (MDATV) [J]. Biomedical engineering online, 2014, 13: 92.
- [5] Fei P, Yu Z L, Wang X, et al. High dynamic range optical projection tomography (HDR-OPT)[J]. Optics express, 2012, 20(8): 8824-8836.
- [6] Pieter Vuylsteke, Emile Schoeters. Image Processing in Computed Radiography. International Symposium on Computerized Tomography for Industrial Applications and Image Processing in Radiology. Berlin, Germany, March 15-17, 1999.
- [7] 祁艳杰. 复杂结构件的X射线序列图像融合技术研究[D]. 太原:中北大学, 2015
- [8] 周景超, 戴汝为, 肖柏华. 图像质量评价研究综述[J]. 计算机科学, 2008, 35(7): 1-4.

文章编号:1001-9383(2020)04-0035-07

基于 LoRa 扩频技术的 电梯状态监测系统设计与实现

郝虎全, 孙瑞轩, 肖磊

(河北省自动化研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要: 电梯安全运行关系到每个人, 日常管理维护工作至关重要。为此我们使用 STM32 做为控制器开发了一套电梯运行参数监测系统, 该系统包括主模块和子模块两部分, 两个模块通过 LoRa 进行数据互传配合工作, 完成电梯轿厢以及机房周围相关信号的采集。该系统具有适用性广、非接触检测、实时性强等优点。

关键词: LoRa; 非接触检测; STM32

中图分类号: TP311.1

文献标识码: A

Design and implementation of elevator condition monitoring system based on LoRa spread spectrum technology

HAO Hu-quan, SUN Rui-xuan, XIAO Lei

(Hebei Institute of Automation, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: The safe operation of the elevator concerns everyone, and daily management and maintenance work is very important. For this reason, we use STM32 as the controller to develop an elevator operating parameter monitoring system. The system includes two parts: the main module and the sub-module. The two modules communicate with each other through LoRa to complete collection of the relevant signals around the elevator car and the machine room. The system has the advantages of wide applicability, non-contact detection, and strong real-time performance.

Keywords: LoRa; Non-contact detection; STM32

引言

随着城市发展规模越来越大, 人民的居住质量需求提高, 住宅小区的电梯使用量急剧增

收稿日期: 2020-10-20

基金项目: 河北省科学院科技计划项目(2020G14)

作者简介: 郝虎全(1993-), 男, 河北石家庄人, 助理工程师, 主要从事自动化产品的开发。

加。电梯的使用给人民的出入带来便利的同时,由于电梯故障导致的问题越来越多,经济损失也越来越大^[1]。市场上现有的电梯检测系统检测的信号种类较少,同时系统内模块间通信需要用到电梯的随行电缆,在电梯的随行电缆没有余量的情况下系统无法安装。本文针对市场中存量老旧电梯的监测问题,设计了一套电梯状态监测系统。

1 系统设计

1.1 电梯状态监控需求分析

电梯状态监测系统通过传感器获取电梯的实时运行状态,通过无线传输的方式把传感器的数据传递至机房,解析处理后将信息上传到服务器。将电梯的光幕、平层、上行变速、下行变速、检修、油杯、温度、人体感应、超重报警、抱闸控制、开门信号、关门信号等信号上传到服务器后,服务器通过各信号的组合关系就可以判断出现阶段电梯的状态。

1.2 LoRa 技术分析

本系统采用 LoRa 无线传输的方式,工作在 1GHz 以下的频段,通信距离较远,一般适用于 0.5km~2km 距离的信号传输,理想条件下通信距离大于 7km,是无线网络中一种比较简单且低功耗的解决方案。LoRa 无线传输是低功耗广域网的无线通信技术,低功耗可以增加电池的使用时长,连接算法中的 Aloha 方法有数据时才进行连接,电池可以工作几年。该通信技术覆盖广、低速率、低功耗。和其他无线的通信技术相比,LoRa 通信技术可以同时实现远距离和低功耗,也可以自行组网私有的通信网络,和蓝牙、WiFi 等技术,LoRa 组网方便,稳定性也更高。在运营商的网络没有覆盖的地区可以进行自组网,LoRa 技术传输过程中采用了扩频技术来增强抗干扰能力,十分契合系统对无线传输技术的需求^[2]。

1.3 系统总体方案设计

系统包括主模块和子模块两部分,如图 1 所示。两个模块采用 STM32 做为控制器,通过 LoRa 进行数据无线传输,一起对电梯的光幕、平层、上行变速、下行变速、检修、油杯、温度、人体感应、超重报警、抱闸控制、开门信号、关门信号等信号进行采集。两个模块采集信息完成后,通过 NB-IOT 的方式将信息上传到服务器,实现云端对电梯状态的监测。

主模块通过非接触式传感器进行机房相关信号的采集,采集完成后将采集到的信息与子模块上报的信息一起上传给服务器。

子模块通过非接触式传感器进行轿厢相关信号的采集,采集完成后将数据上报给主模块。

2 硬件设计

在监测系统总体的方案设计中,系统组成部分主要分为数据采集部分和主控部分,从而实现系统对信号的采集和对无线数据的传输。子模块主要由 MCU、微电流传感器、温度传感器、液位传感器、人体感应传感器、LoRa 模块以及电源模块等组成。主模块在子模块的基础上增加了 NB-IOT 模块。总体硬件设计如图 2 所示。

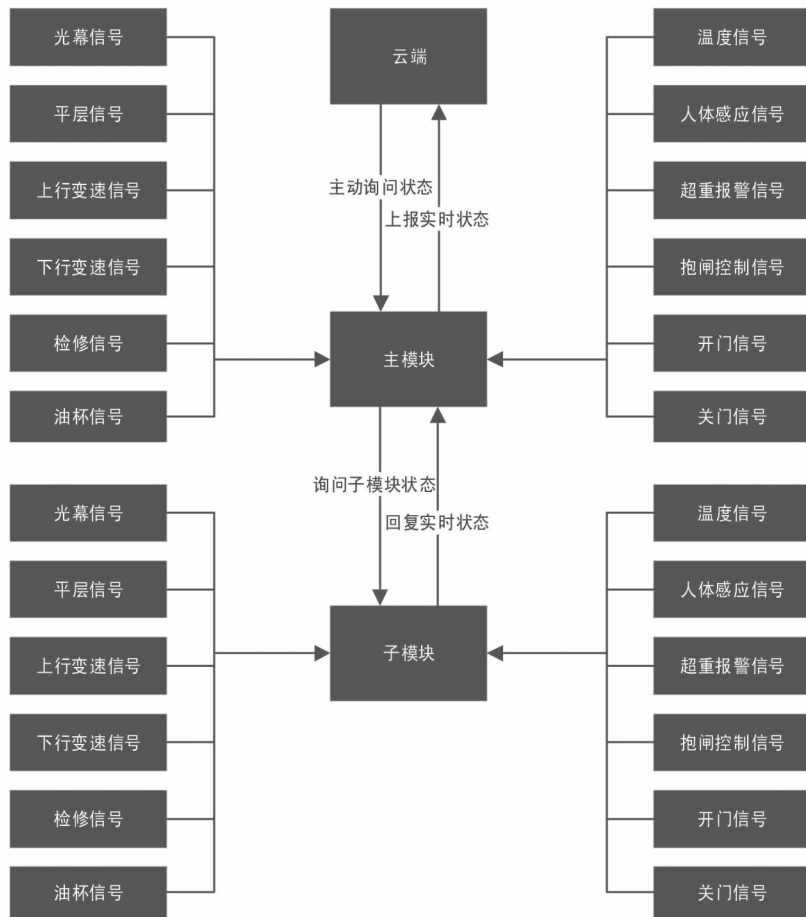


图 1 系统结构图

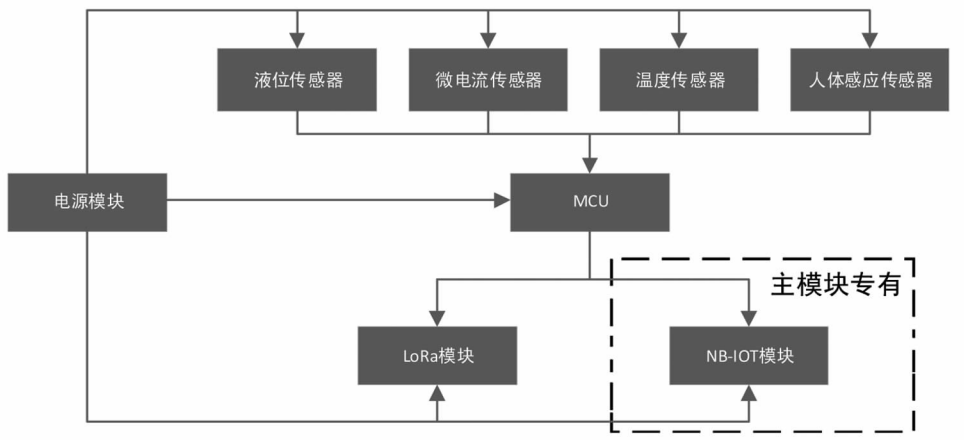


图 2 硬件结构图

2.1 MCU 选型

根据监测系统需求分析,采集部分的处理芯片处理的数据量相对比较少,因此对处理芯片的主频要求不是很高,但是处理器芯片需要有足够的引脚、USART 接口用来完成对其他外设的控制。本文数据采集部分使用的处理器芯片是意法半导体公司生产的功耗较低、外设接口够用、成本相对较低的 STM32F103C8T6 芯片。该处理器芯片是 32 位的微控制器芯片,主频性能上该芯片的主频是 72MHz,存储空间上该芯片有 64K 的数据存储空间,同时该处理器

2.3 电源模块设计

系统中各部分需要的供电电压各不相同,MCU 需要 3.3V 的直流供电,NB-IOT 模块需要 3.8V 的直流供电,LoRa 模块以及各传感器都需要 5V 的直流供电。所以在系统的供电部分,选用了 5V 的直流适配器为整个系统供电,在模块的内部采用 AMS1117 和 XC6227 将输入的电压转化为合适的电压,如图 5 所示。

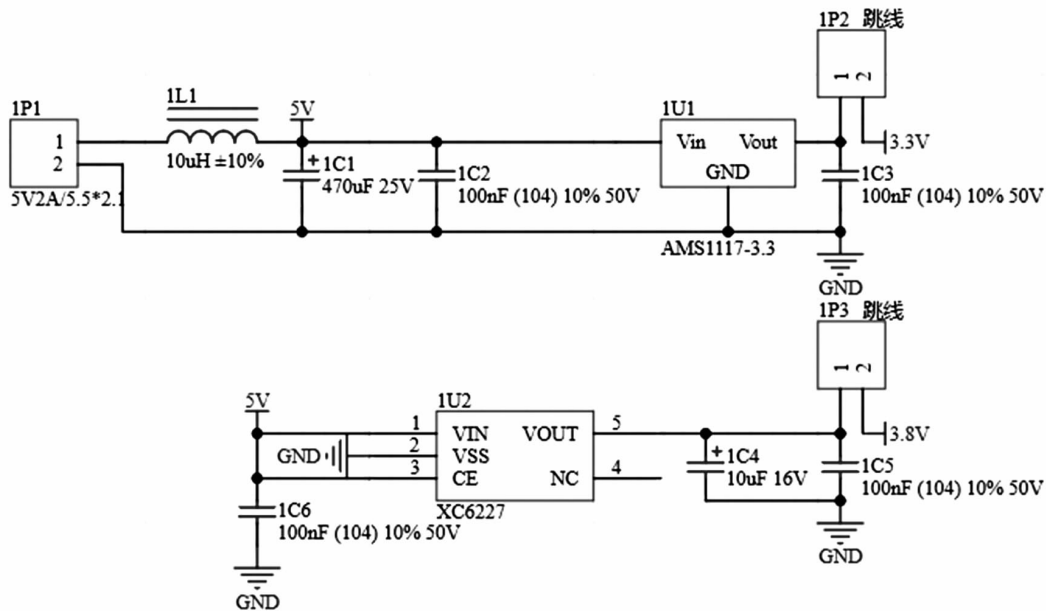


图 5 电源模块电路原理图

2.4 LoRa 模块选型

LoRa 通信模块选用亿佰特生产的 E22-400T30S,该款 LoRa 模块内部集成了 SX1268 射频芯片,这款芯片是由 Semtech 公司生产研发的 LoRa 通信的射频收发芯片,该芯片可以处理射频信号,是一款半双工的收发器芯片。该模块工作在 410Mhz~441Mhz,每 1Mhz 的频率做为一个信道,一共可以分为 32 个信道,该模块可以通过串口用指令修改模块通信相关的各种参数。该模块 可以自适应的进行信道的跳转和地址的选择。模块电路原理图如图 6 所示。

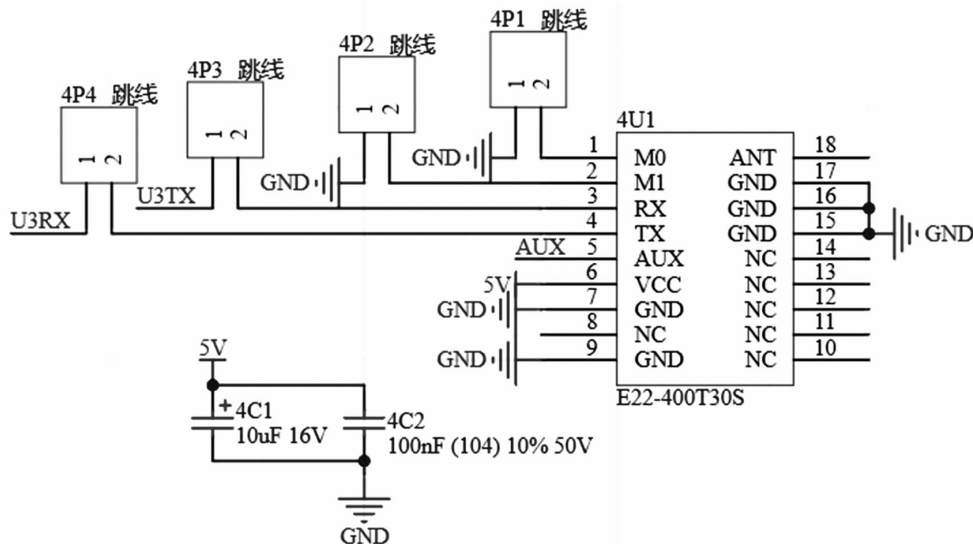


图 6 LoRa 模块电路原理图

2.5 NB-IOT 模块选型

NB-IOT 模块选择了有人物联网公司的 NB73-CTA 模块,该模块集成了 SIM 卡和天线,性能不损失的同时做到了集成度更高,降低了硬件设计的成本。该模块通过 USART 与控制器通信,初始化过程中设置通信的目标服务器及端口等信息即可开始正常工作。NB-IOT 模块电路原理图如图 7 所示。

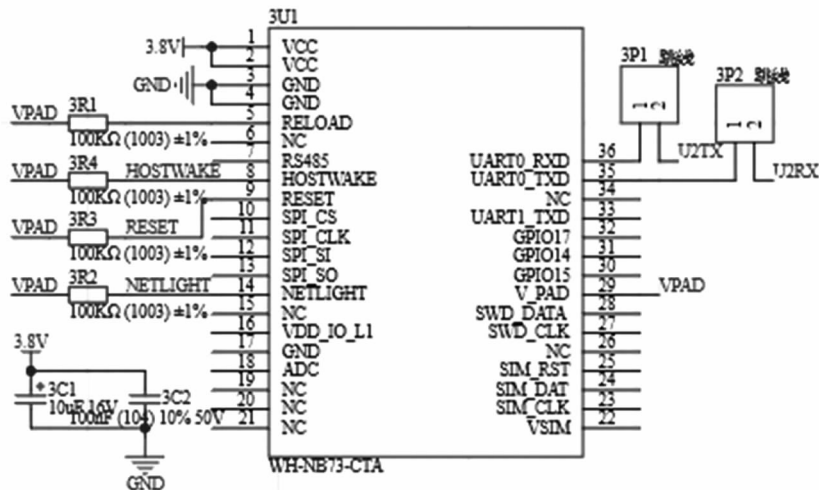


图 7 NB-IOT 模块电路原理图

3 软件设计

本文针对软件部分的设计中主要有硬件部分的程序设计以及云平台软件部分的程序设计两部分。云平台的软件设计通过登录云平台之后将写好的系统服务软件部署到服务器来完成,数据采集部分和主控部分的嵌入式软件的开发是在 Keil 公司的 MDK 集成开发环境通过 C 语言开发完成的。程序的工作流程图如图 8 所示。

3.1 主模块程序设计

在主模块程序中,首先初始化 MCU 的时钟和外设驱动。微处理器初始化后,主模块就可以和子模块开始组网。在这个过程当中,主模块的 LoRa 通信模块通信地址设置成 00,该模块的工作模式为唤醒模式并且进行定向传输,之后可以与子模块进行通信,发送对子模块的配置相关指令,在子模块通过命令配置过程完成之后主模块就可以对子模块发送入网的探测数据帧,如果主模块之后有收到子模块的应答后就说明子模块已经成功的入网。子模块在成功的入网之后主模块就开始对 NB-IOT 模块进行初始化,之后与有人云平台进行 TCP 握手连接。

主模块在完成各部分的初始化之后,开始等待处理器芯片的外部中断被信号触发或者串口通信的接收中断被信号触发。传感器状态发生变化触发了外部中断或者服务器下发命令模块接收到后触发串口中断,主模块向子模块下发信息采集的命令。在接收到子模块回传的信息之后,主模块采集各传感器的状态信息,之后与子模块回传的信息一起编码发送给服务器。

3.2 子模块程序设计

在子模块程序中,首先初始化 MCU 的时钟和外设驱动。子模块初始化完成之后等待芯片的外部中断触发或者是串口通信中断触发。传感器状态发生变化触发了外部中断或者主模块下发命令模块接收到后触发串口中断,子模块采集各传感器的状态信息,之后将信息编码发

送给主模块。

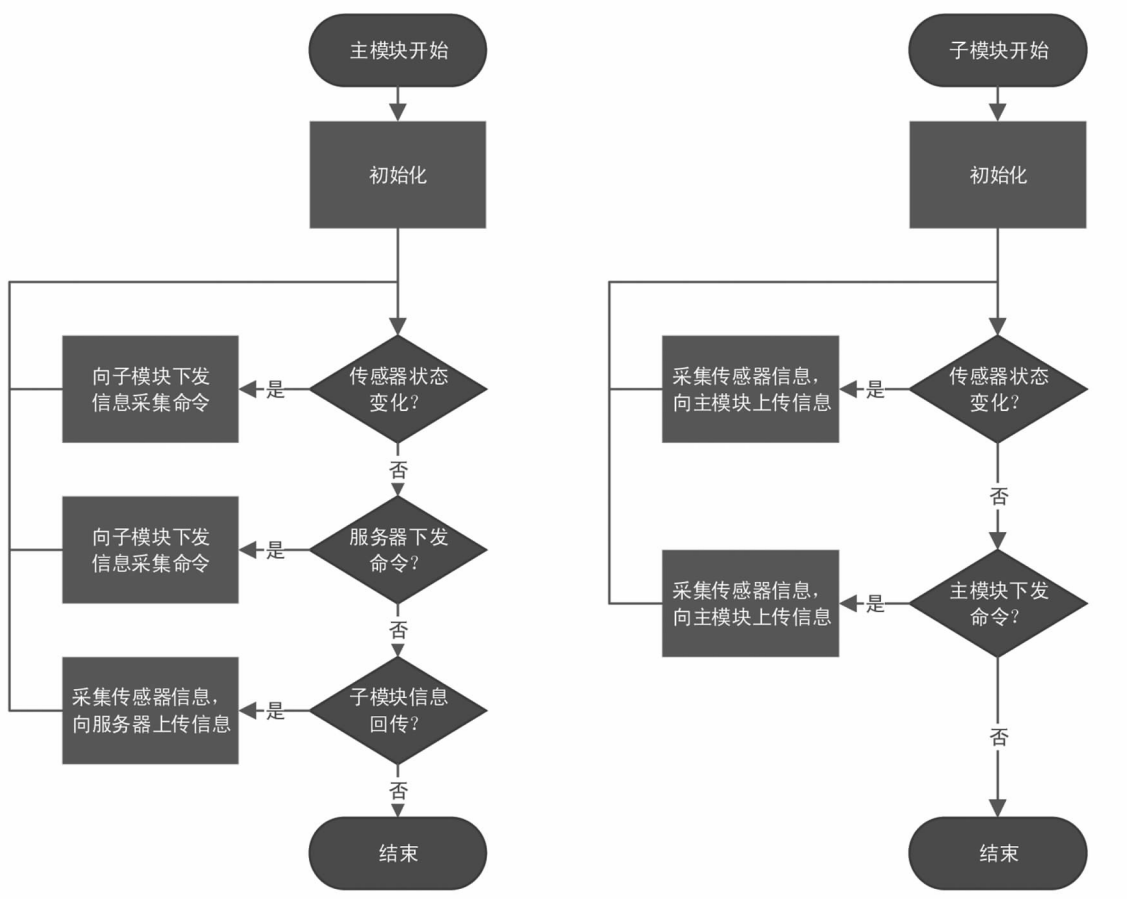


图 8 程序工作流程图

4 实验测试

在对主模块和子模块的各部分进行调试之后,完成了实验测试系统的功能测试以及分析,测试结果基本符合系统设计的要求。最后通过对主模块和子模块进行功能测试,检验系统的基本功能,通过云平台可以对节点上传信息进行实时的显示,还可以在云平台查看采集节点上传的历史信息,测试的结果基本达到了之前预期的目标,初步验证了监测系统的可行性。

5 结语

本文实现了一套电梯信号监测系统。系统监测的信号种类增加了油杯液位、人体感应等信号的检测,在电梯状态监测的过程中更加实用。同时在系统安装时无需占用电梯的随行电缆等资源,安装较为方便。此系统为电梯的日常维护和监测提供了便利。

参考文献:

[1] 盛奇. 基于 Zigbee 和物联网的智能电梯监控系统设计[J]. 南方农机, 2019, (17): 95.
 [2] 宋亚儒. 基于 LORA 的货运列车制动监测系统研究与设计[D]. 中北大学, 2020.

文章编号:1001-9383(2020)04-0042-07

基于 DSP 和 SPI 总线的机载天线 参数记录功能设计与实现

王 龙

(中国电子科技集团公司第五十四研究所,河北 石家庄 050081)

摘 要:针对机载动中通天线需要进行数据记录的问题,设计了一种基于 DSP-JDSPF28335 和 SPI 总线的 Flash 数据记录最小系统,该系统能够同时记录伺服控制参数和天线状态参数,为分析天线在飞行过程中的跟踪效果提供了数据支持,为问题排查和故障定位提供了强有力的证据。

关键词:数据记录;SPI;Flash

中图分类号:TP202

文献标识码:B

Implementation of data record based on DSP and SPI bus on airborne antenna

WANG Long

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Aiming at the airborne antenna requires parameter data records. A minimum system by the FLASH memory based on DSP-JDSPF28335 and SPI bus was designed, the system can record servo control parameters and state of the antenna parameters at the same time, it provides data support to analyze the tracking results in the process of flight, and also offers strong evidence for fault detection and fault location.

Keywords: Data records; SPI (Serial Peripheral Interface); Flash

0 引言

机载天线是卫星通信链路的重要组成部分。动中通天线由一套高精度、高可靠度的伺服系统实时对其方位、俯仰进行控制以完成对目标卫星的跟踪,伺服控制系统参数种类多而且刷新速率快。为了防止机载天线在空中工作异常时无据可查,亟需设计一种参数存储最小系统。

机载天线工作参数包括伺服控制参数和天线状态参数。伺服控制参数包括电机电流、转速参数, PID 控制器的比例、微分、积分参数, 以及角度零点参数等。天线状态参数包括天线的

收稿日期:2020-08-16

作者简介:王 龙(1986-),男,工程师,主要研究方向:伺服控制、软件设计。

座架角度参数,空间指向角度值参数,限位状态参数,载机惯导数据参数,工作状态参数等。伺服控制参数是做伺服闭环控制时使用,状态参数是反应天线工作过程的参数,刷新速率较快。

基于现有 JDSPF28335 为主控芯片的天线伺服控制系统,利用芯片外设 SPI(Serial Peripheral Interface)总线,设计搭载两片 Flash 存储芯片,实现机载动中通天线的参数存储功能。

1 总体设计

DSP-JDSPF28335 主控芯片采用高性能 CMOS 技术,工作频率高,浮点运算强,中断响应迅速,外设丰富,包含 I2C、ECAN、EPWM、SCI、SPI 等外设。

SPI 总线作为高速串行接口,支持主从工作模式,通常包括一个主设备和多个从设备,主机发起数据的传送和流向,从机读取或向主机发送数据。

根据 DSP 芯片和 SPI 总线的特点,确定设计以 DSP 为主机,两片 Flash 芯片为从机的机载天线参数存储系统。Flash 选用 Micron 公司 N25Q128A 和 N25Q00AA 型号,N25Q128A 存储容量 128MB,用来存储伺服控制参数,N25Q00AA 存储容量 1GB 用来存储天线状态参数。

现有机载动中通天线伺服控制系统以 DSP-JDSPF28335 为主控芯片,外设包含 CAN 总线、I2C 总线、UART 等。在现有平台上增加 SPI 总线,以中断方式向 FLASH 发送数据实现数据存储功能。硬件设计结构框图见图 1。



图 1 硬件设计结构框图

2 硬件电路设计

伺服控制主控芯片 DSP-JDSPF28335 正常工作需要电源电路、时钟电路、复位电路等外围电路,以及 CAN 通信总线、UART 串口通信、I2C 通信等外设电路,文中不再赘述,本文主要介绍新增 SPI 总线外设的电路设计。

主设备与从设备正常通信主要采用 4 线制,分别是两根数据线,片选线和时钟线。另外还需要 Flash 芯片的供电接口线和暂停通信控制线进行辅助。SPI 通信接口线,见表 1。

表 1 SPI 通信接口线

线名称	作用
CLK	时钟线
MISO	主机输入/从机输出线
MOSI	主机输出/从机输入线
\overline{CS}	片选信号
HOLD	暂停信号传输线

CLK 时钟线:时钟信号由主机产生,用于主、从机之间的数据传输,在 CLK 特定的时钟沿

才能进行数据的发送和接收。

MISO 数据线:在 CLK 的上升沿,从机设备发送数据到主设备,在 CLK 的下降沿,主机采样该数据。

MOSI 数据线:在 CLK 的上升沿,主机设备发送数据到从设备,在 CLK 的下降沿,从机采样该数据。

$\overline{\text{CS}}$ 片选信号线:主机设备产生片选信号,低电平有效,从机的片选信号是否有效决定了该从机是否可以和主机通信。

HOLD 信号线:在主从机通信过程中,可暂停数据通信。

本文选用的 N25Q128A、N25Q00AA 型号 Flash 只存在存储容量上的差别,接线方式完全一致。电路设计原理图,见图 2。

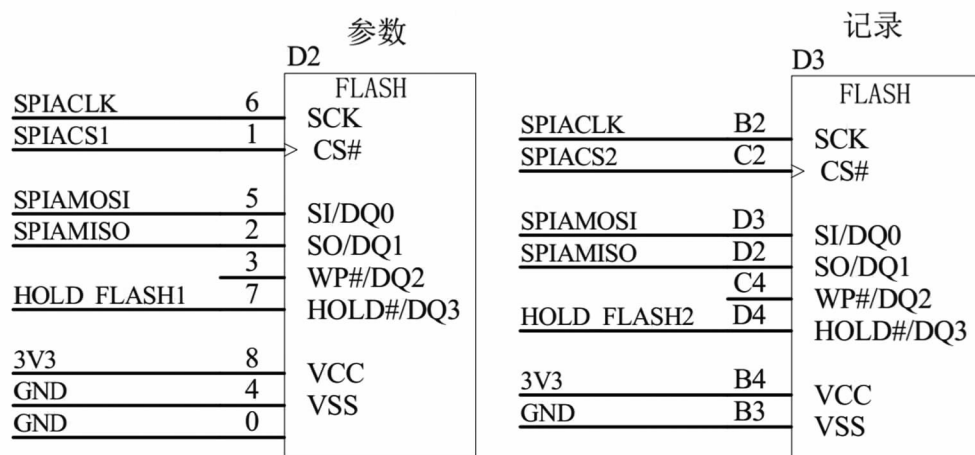


图 2 Flash 接口电路设计原理图

DSP-JDSPF28335 电路设计原理图,见图 3。其中引脚 J13、J14 对应 SPI 总线的 MISO、MOSI 引脚,J12 对应 SPI 总线的时钟信号,H12、H13 分别对应 Flash 的片选信号,B2、C2 分别对应 Flash 的 HOLD 引脚。

天线外部供电电压为 24V,因此 DSP-JDSPF28335 和 Flash 供电需要经过 DC/DC 转换,第一步通过选用编号 G1 型号 DPK5-24S5IM 电源芯片完成 24V 到 5V 的电压转换,第二步将 5V 电压通过编号 N1 型号 TPS767D301PWP 转换为 3.3V,电源部分电路设计原理图,见图 4。

3 软件设计

DSP-JDSPF28335 作为主机需要初始配置 SPI 通信时钟、通信波特率、以及部分 IO 功能,内部设有专用的 SPI 寄存器 SpiaRegs,DSP 针对外设 SPI 的基配置如下:

```
GpioCtrlRegs.GPBMUX2.bit.GPIO54 = 1; // 配置 GPIO54 为 MOSI
GpioCtrlRegs.GPBMUX2.bit.GPIO55 = 1; // 配置 GPIO55 为 MISO
GpioCtrlRegs.GPBMUX2.bit.GPIO56 = 1; // 配置 GPIO56 为 SPICLK
GpioCtrlRegs.GPBMUX2.bit.GPIO57 = 0; //将片选信号作为通用 IO 配置
GpioCtrlRegs.GPBDIR.bit.GPIO57 = 1; //将片选信号引脚配置为输功能
```

GpioCtrlRegs.GPAMUX2.bit.GPIO31 = 0; //将 HOLD 信号作为通用 IO 配置
GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO31 = 1; //将 HOLD 信号引脚配置为输功能
SpiaRegs.SPICCR.bit.CLKPOLARITY = 1; //配置 SPI 时钟上升沿输出、下降沿读入

SpiaRegs.SPIBRR = 63; //数据传输速率配置

SPI 波特率的计算公式为:

$$\text{BaudRate} = \text{LSPCLK} / (\text{SPIBRR} + 1),$$

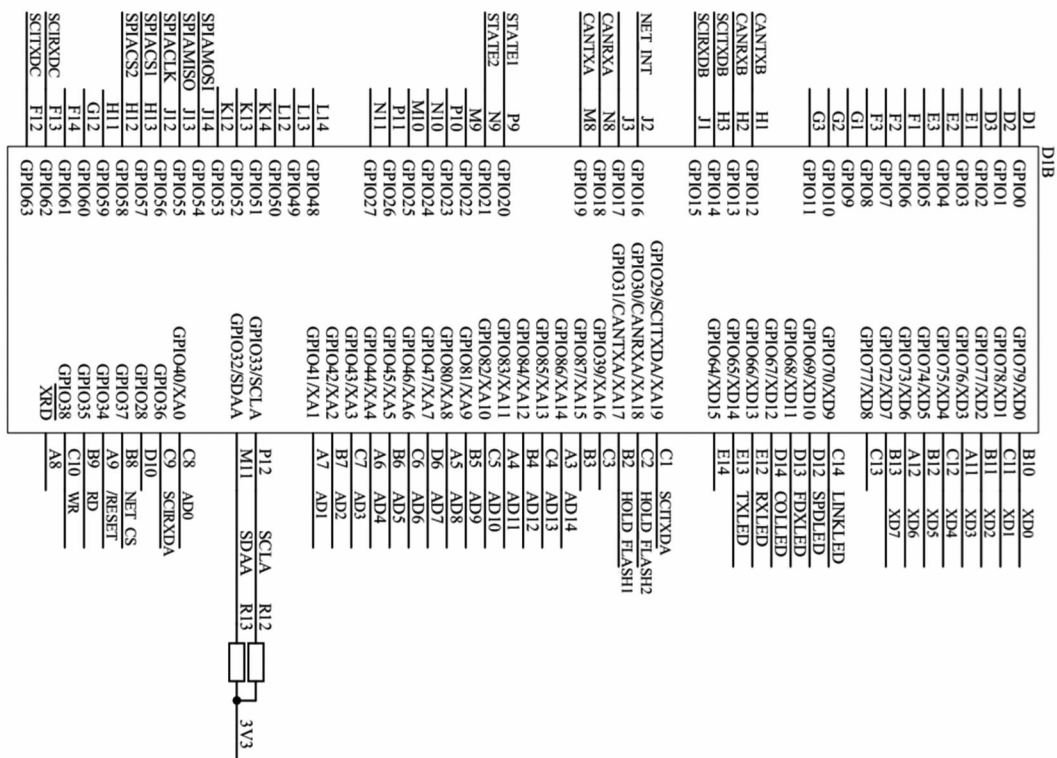


图 3 DSP 电路设计原理图

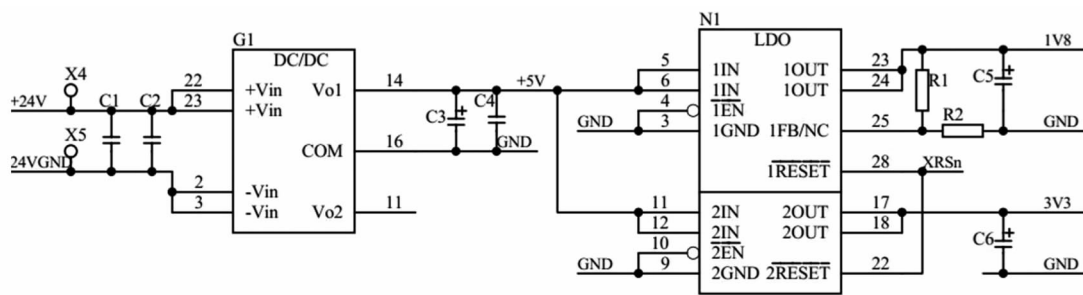


图 4 电源部分设计原理图

LSPCLK 的值由 DSP 的外部时钟源和时钟寄存器配置决定,系统 LSPCLK 配置值是 25MHz,可以计算出 SPI 通信波特率。

SpiaRegs.SPICCR.bit.SPICCHAR = 7; //数据长度配置,此处配置为 8bit

SpiaRegs.SPICTL.bit.MASTER_SLAVE = 1; //将 DSP 配置为主机模式

由于两片 Flash 均挂载在 SPI 总线上, DSP 对状态参数的 Flash 配置, 只需将 GPIO58 按照 GPIO57 配置, GPIO31 按照 GPIO30 配置即可。

完成 SPI 的配置之后, 就可以进行数据存储操作, 存储步骤主要由“片选”、“使能”、“擦”、“写”四步构成。需要注意的是操作前要先进行“片选”和“使能”操作, “擦”的作用是将芯片上的所有 bit 值置为 1, “写”的作用是将所需的 bit 值由 1 变为 0。

“片选”时控制对应的 DSP 引脚输出为低电平即可。

`GpioCtrlRegs.GPBDIR.bit.GPIO57 = 0;` // 片选信号拉低, 之后可以向 SPI 总线发送指令

“使能”指令为 `0x06`, 首先控制片选信号 \overline{CS} 为低电平, 再发送“使能”指令, “使能”操作时序见图 5。

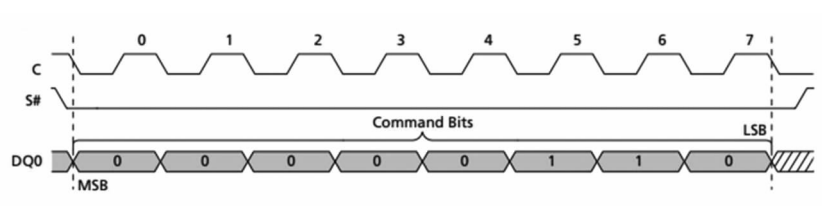


图 5 SPI“使能”操作时序图

中断发送“使能”命令代码如下:

```
SpiaRegs.SPITXBUF = ((Unsigned int) 0x06) <<< 8;
```

“使能”操作完成后, 进行“擦”操作, 指令代码为 `0xD8`, “擦”指令操作与“使能”指令一致, 发送“擦”指令后, 紧接发送“擦”的地址, 芯片首地址一般都是 `0x000000`。“擦”指令时序图见图 6。

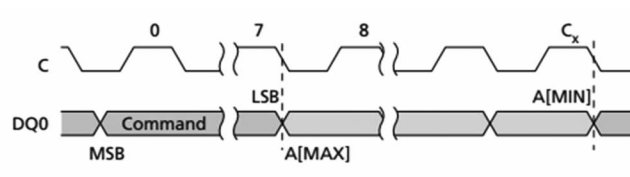


图 6 “擦”指令操作时序图

中断发送“擦”命令代码如下:

```
SpiaRegs.SPITXBUF = ((Unsigned int) 0xD8) <<< 8;
```

完成“擦”操作后, 进行“写”操作, “写”操作时先发送“写”指令, “写”指令代码为 `0x02`, 然后是数据地址 `0x000000`, 最后是所写的的数据内容, 写完一个字节后可以继续写下一个字节, 当所有需要写的数据发送完毕以后, 将“片选”信号置为高电平, 即完成本次数据写入。“写”操作时序图见图 7。

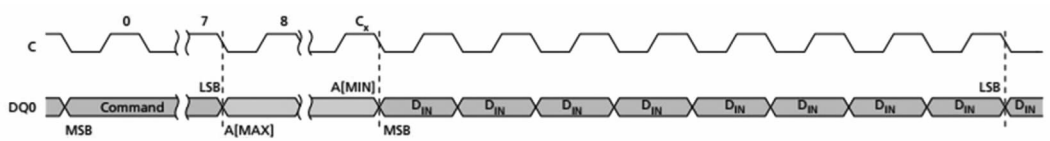


图 7 “写”操作时序图

中断发送“写”命令代码如下:


```
SpiaRegs.SPITXBUF = ((Unsigned int)0x02) << 8;
```

发送地址代码:

```
SpiaRegs.SPITXBUF = ((Unsigned int)0x00) << 8;
```

U8_Buff[i]用来存放待写入的数据,发送“写”数据代码如下:

```
if(i < 51){
```

```
SpiaRegs.SPITXBUF = (Unsigned int) (U8_Buff[i]) << 8;
```

```
i++;}
```

```
else{
```

```
GpioCtrlRegs.GPBDIR.bit.GPIO57=1;} //片选电平拉高,完成写入
```

需要注意的是: DSP 与 Flash 进行 SPI 通信时, 必须保证当前的总线处于“闲”状态, 即当前 DSP 未向 SPI 总线发送指令或数据。

完整的数据记录操作流程见图 8。

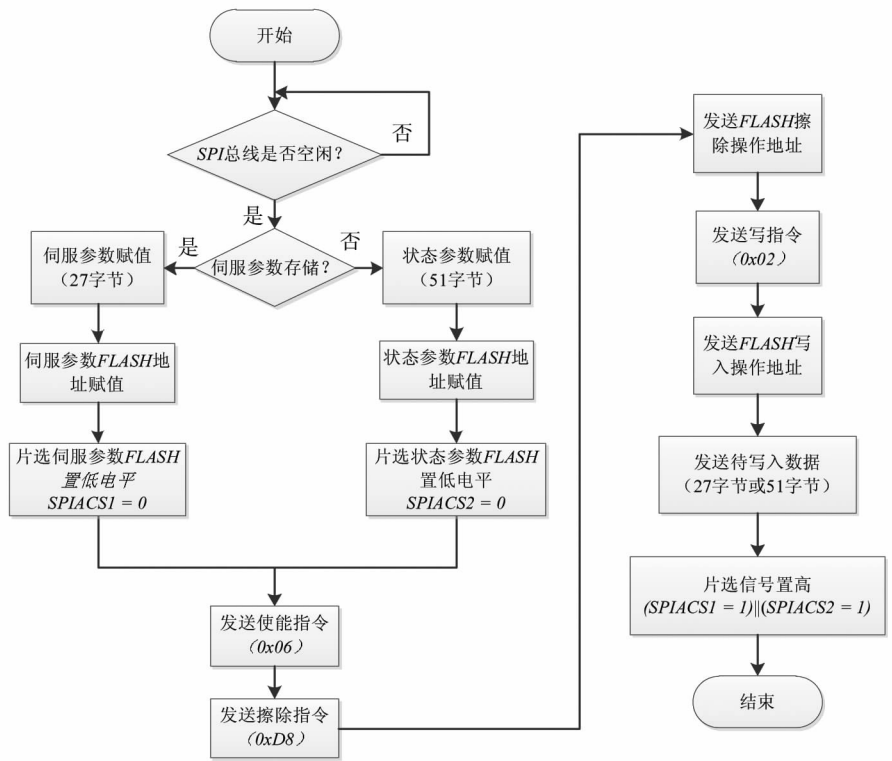


图 8 Flash 操作流程

可见以 DSP 作为主机, Flash 作为从机的数据写入简单快捷, 对哪个 Flash 操作, 只需选中该 Flash, 再按照 SPI 操作流程进行操作即可。

伺服控制参数的数据格式如下, 共计 27 字节。

```
typedef struct _PARAMETER_STRU
```

```
{
```

```
Float stf32_AZMotorCurrent;
```

```
Float stf32_ELMotorCurrent;
```

```
Float stf32_AZMotorCurrent;
```

```
        :  
    Unsigned char stu8_P;  
    Unsigned char stu8_I;  
    Unsigned char stu8_D;  
}PAR;
```

天线状态参数格式如下,共计 51 字节

```
typedef struct _ANTSTUS_STRU  
{  
    Float stf32_AZAngle;  
    Float stf32_ELAngle;  
    Float stf32_POLAngle;  
        :  
    Float stf32_INSHHeading;  
    Float stf32_INSPitch;  
    Float stf32_INSRoll;  
    Unsigned char stu8_WorkType;  
}ANTSTUS;
```

4 结束语

对于机载动中通天线,数据记录功能有着十分重要的作用。当天线返回地面时从存储芯片里读出记录的数据,可以完全复现天线在空中的工作状况,以备不时之需,这是可靠性设计不可或缺的部分。本文基于现有伺服系统平台设计了一种通过 SPI 总线进行数据记录的最小系统,将天线伺服参数和状态参数分别记录到 Flash 内,存储方式简单、安全、可靠。该最小系统已经在新研产品中得到了推广应用。

参考文献:

- [1] 廖彬彬,张福洪,等. SPI 总线接口的 SoPC 模块设计与实现[J]. 现代电子技术,2008,31(2):13-16.
- [2] 胡剑凌. DSP 技术原理与应用系统设计[M]. 北京. 科学出版社,2019.
- [3] 杜要锋. 一种机载天线驱控跟踪单元的设计实现[J]. 河北省科学院学报,2018,35(2):55-60.

文章编号:1001-9383(2020)04-0049-05

基于深度学习的滴灌带滴孔质量检测方法研究

姚利彬^{1,2}, 罗英豪³, 郝存明^{1,2}

(1. 河北省科学院应用数学研究所, 河北 石家庄 050081; 2. 河北省信息安全认证工程技术研究中心, 河北 石家庄 050081;
3. 河北省科学院, 河北 石家庄 050081)

摘要:滴灌带在生产过程中需要对内镶的滴片进行打孔操作,滴孔的漏打或者打偏,在使用时会影响农作物的生长,目前还没有高效的在线滴孔质量检测的方法。文章对深度学习模型卷积神经网络和用于目标检测的YOLO算法进行了研究,提出了一种基于深度学习的滴孔质量快速检测算法。该方法首先采用YOLO算法对滴槽和滴孔定位,获取二者的坐标位置,然后获取二者的中心坐标差值,通过与预设值进行比较,判断滴孔是否合格。并将该算法应用于滴灌带生产线上进行实验分析,结果表明该方法在滴孔质量检测应用上达到了良好的效果。

关键词:滴灌带;滴孔检测;深度学习;卷积神经网络;YOLO

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Research on detection for dripping irrigation pipe holes based on deep learning

YAO Li-bin^{1,2}, LUO Ying-hao³, HAO Cun-ming^{1,2}

(1. Institute of Applied Mathematics, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
2. Hebei Authentication Technology Engineering Research Center, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
3. Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: In the production process of the dripping irrigation pipe, the dripping heads embedded in the pipes need to be punched holes. No holes or deflected holes can cause the deaths of cropper locally. At present, there is no effective method to detect the state of the holes online. A research on the deep learning model convolutional neural networks and YOLO algorithm for target detection is made in paper, and the paper proposes an online detection algorithm of holes based on deep learning. The algorithm first uses the YOLO network to locate the drip trough and the hole, and obtains both the coordinates of them. Then the difference between the two coordinates is calculated and compared with the predefined thresholds to judge whether the hole is qualified. Finally, the algorithm was applied to the production line of drip irrigation pipe for experimental analysis. The experiments shows good results and practicability of this method.

收稿日期:2020-09-29

作者简介:姚利彬(1986-),河北石家庄人,硕士,工程师,研究方向:机器视觉.

Keywords: Dripping irrigation pipe; Holes detection; Deep learning; Convolution neural networks; YOLO

0 引言

滴灌技术^[1]是一种常用有效的农业灌溉技术,该技术主要是通过滴灌带上的滴片,在一定水压下缓慢地向土壤滴水。因此滴灌带质量是滴灌技术应用效果的关键。

目前在滴灌带生产过程中存在如下问题:1)滴片不能完全附贴于滴灌带上;2)滴孔冲打不正确,存在漏打或者打偏现象。滴灌带质量检测,主要是检测滴孔是否漏打、打偏、未打通等现象,要求滴孔要打在滴槽区域内,不能超出一定的范围。滴灌带打孔不合格,可能会造成滴水效果不佳,直接影响农作物的生长。

目前,国内滴灌带厂商的生产速度在80~120(m/min)之间,传统的人工在线检测和线下抽检方式,效率低、漏检率高,已不能满足当今的生产需求^[2]。研究和开发高效成熟的滴灌带自动在线检测设备^[3]已经成为滴灌带生产企业的共同需求。目前意大利一家企业应用配有视觉检测装置的滴灌带生产线^[3],但设备昂贵且稳定性欠佳。国内自1974年从墨西哥引入滴灌设备至今^[5],已基本形成了比较齐全的节水滴灌设备生产制造体系,但尚未开发出成熟的滴孔检测设备,本文提出了一种基于深度学习^[6-8]的滴孔在线检测算法,以实现滴孔在线检测功能。

1 检测系统整体设计

本文主要采用高速工业相机配备LED光源作为图像输入设备,根据滴片在滴灌带上的凹凸特征,利用高度变化触发感应信号的滴片检测装置和编码器信号,触发工业相机采集图像,基于深度学习图像处理技术对采集图像进行分析,完成滴孔质量检测功能,最后记录检测结果,同时联合控制模块,综合判断是否应该进行报警处理^[9]。滴灌带滴孔检测系统主要由图像采集模块、图像检测模块、信号控制模块构成,各模块包含主要设备如图1所示。

其中,图像采集模块负责采集图像;图像检测模块负责对图像进行处理、识别,同时在系统界面实时显示检测结果;信号控制模块负责对检测、编码器、报警等信息的综合控制。

2 滴灌带滴孔检测算法

滴孔检测就是一个寻找滴孔并判断位置的过程:首先选择待检滴片图像,将其送入检测系统;然后采用基于深度学习模型卷积神经网络^[9,10]的目标检测定位方法,从送检图像中检测出

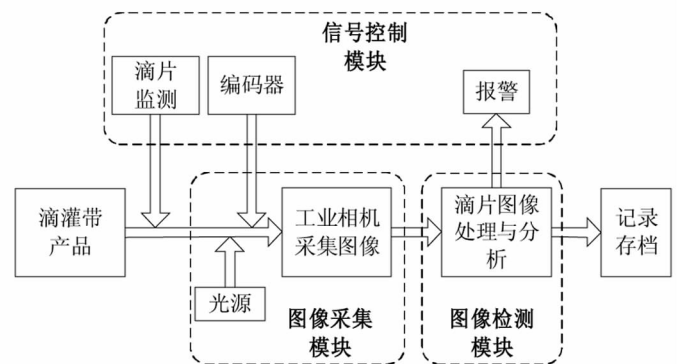


图1 检测系统的主要构成

滴槽和滴孔区域并保存信息;最后,根据预设的阈值判断滴孔大小和位置是否合格,返回结果。

2.1 卷积神经网络分析

为使卷积神经网络达到多层网络结构进行学习、训练方式,借鉴了视觉系统的开发架构,将若干个卷积层与池化层交错组合,首先,利用卷积层的算法特点,通过滤波器来获取被测图像的局部特征,然后在池化层通过调整分辨率,增强图像对平移、倾斜等类的空间变形的抵抗力^[11]。卷积层和池化层的算法原理如下所述。

卷积层 对于大小为 $r \times c$ 的原图像 X ,通过大小为 $w \times w$ 的滤波器组 K ,对原图像进行卷积操作, s 为卷积滤波器的移动步长,所获得的卷积特征图为 Y ,大小即为 $((r-w)/s+1) \times ((c-w)/s+1)$,根据公式:

$$y_i = \sigma(b_i + \sum_j k_{ij} * x_i)$$

其中, $*$ 为卷积运算, x_i 为输入图像, y_i 为输出图像, k_{ij} 为滤波器参数, b_i 为偏置量, σ_i 为激活函数。

池化层 将所得的卷积特征图 Y 划分为多个子区域(可有重叠),然后选用一种池化方法将每个子区域的特征进行聚合,重新获得特征图 F ,通常池化过程有三种方式可以选择,平均池化、最大池化或是随机池化^[12] 等。

选用的方法不同,池化结果也会不同,假设卷积特征图 Y 中第 n 个池化区域为 R_n ,则不同池化方法得出的结果如下:

$$(1) \text{ 最大池化: } f_n = \max_{m \in R_n} y_m;$$

$$(2) \text{ 平均池化: } f_n = \frac{1}{R_n} \sum_{m \in R_n} y_m;$$

$$(3) \text{ 随机池化: 先对区域 } R_n \text{ 进行概率计算: } p_m = \frac{y_m}{\sum_{k \in R_n} y_k}, \text{ 基于概率 } p_m \text{ 在区域 } R_n \text{ 中随机}$$

选择一个位置 l 处的值来作为池化的结果: $f_n = y_l, l \sim P(p_1, \dots, p_{R_n})$ 。

本文选用能较好的保留背景图像的平均池化方法进行处理特征图像。

2.2 滴槽和滴孔区域检测

现较流行用于目标检测的算法——YOLO^[13] 算法是一种基于深度学习的目标检测算法,它最大特点就是检测速度快,可以在图像中一次性预测多个目标位置,同时对目标进行分类,从而实现目标检测。为高效区分待检目标和背景区域,YOLO 算法采用了 24 个卷积层和 2 个全连接层组成的一个多层卷积神经网络。实际上是将原图像划分为 $m \times m$ 个子区域,将各个区域的位置和图像内容作为基础,利用概率预测物体框,以及各个物体框包含物体目标的置信度,最后汇总成一个张量,实现了将检测问题当做回归问题解决,提高检测速度。基于上述 YOLO 的特点,本项目采用基于 YOLO 的卷积神经网络算法,对滴孔和滴槽进行自动检测。

2.3 滴孔孔位判断

YOLO 算法检测出滴孔和滴槽区域后,还需要对滴孔和滴槽矩形框的坐标位置进行比较,从而判断滴孔位置是否合格。实际生产线上,滴孔可分为四种状态:无孔、正常、偏差和超差。无孔是指滴孔未被打穿或者滴孔面积太小;超差和偏差是指滴孔与滴槽相对位置大于预设值的情况。通过对检测出的滴孔、滴槽的坐标和预设阈值进行比较,来判断滴孔状态,假设坐标偏差分别以 Δx 、 Δy 表示,若 Δx 、 Δy 其中一个大于偏差阈值且不大于超差阈值,则认为是

偏差,若 Δx 、 Δy 其中一个大于超差阈值,则认为
是超差。如图 2 所示,其中 2(a)表示孔位正常,2
(b)表示孔位偏差,2(c)表示孔位超差。设在 x 和
 y 方向的偏差阈值分别为,超差阈值分别为,则判
断流程如图 3 所示。

3 检测结果分析

3.1 实验评价标准

通过对 YOLO 目标检测测试和滴孔在线检测
测试的结果进行实验分析,以准确率和误检率
作为检测质量的评价标准。其中 YOLO 目标检测准确
率越高表示效果越好,滴孔检测误检率越低表示效果越
好,二者计算公式如下:

$$Accuracy_{YOLO} = \frac{\text{目标被检测出图像数量}}{\text{图像总数}}$$

$$Error_{\text{滴孔}} = \frac{|\text{滴孔检测不合格数} - \text{滴孔实际不合格数}|}{\text{滴孔总数}}$$

3.2 实验结果分析

对工业相机采集的 10000 张原始滴片图像进行人
工标注,用于训练 YOLO 网络。由于人为不可量化等
原因,人工对滴槽和滴孔进行标注时所选取的区域大小
会有差异,最后取训练图像滴槽的长和宽的平均值作为
最终的判断参数。表 1 汇总了 YOLO 算法测试结果:
对于 10000 张测试图像,dbox(滴槽)的检测准确率达到
了 99.98%,circle(滴孔)的检测准确率达到了 100%,检测效果非常好。

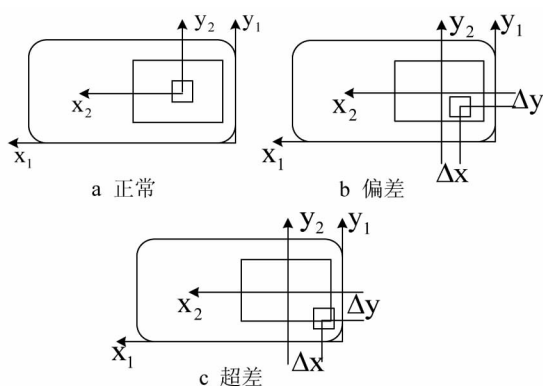


图 2 滴孔孔位状态

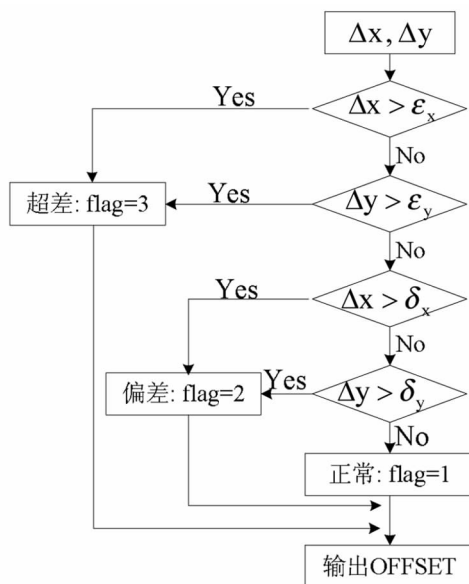


图 3 滴孔孔位判断流程

表 1 YOLO 算法测试结果

检测目标	检测数/总数	准确率
circle	10000/10000	100%
dbox	9998/10000	99.98%
circle,dbox	9998/10000	99.98%

在完成 YOLO 目标检测之后,需要进行滴灌带在线检测测试。一卷滴灌带长度约为
3000m,内置滴片数量为 12000 个,根据现场生产进行了 3 次测试。检测实验结果见表 2,结果
表明,作者提出的检测算法具有很好的检测效果,能够较准确的检测出滴孔和滴槽的位置关
系。当生产线以 100(m/min)的正常速度工作时,检测误差率控制在 0.012%以内。

表2 检测系统测试结果

测试结果	滴灌带长度(m)	滴片总数(个)	检测不合格(个)	实际不合格(个)	误检率(%)
第一次	6000	24000	31	29	0.083
第二次	9000	36000	39	43	0.0111
第三次	12000	48000	62	67	0.0104
平均误检率					0.0099

4 结论

本文研究了深度学习算法,将深度学习模型卷积神经网络结合 YOLO 目标检测算法应用在滴灌带生产线上,检测滴孔孔位是否合格。经实验分析,提出的算法在误检率和时间上都明显优于人工检测,取得了良好的效果。但由于光源等外界条件的影响,使得获取的滴片图像质量较差,这也影响了算法的性能。因此,如何获取高质量的图像也是将要研究的重点问题。

参考文献:

- [1] 李世英. 对我国节水灌溉技术发展的几点思考[J]. 节水灌溉, 2001, (1): 30—31.
- [2] 杨冬, 王显超. 论我国滴灌带生产技术的产生及其在农业领域的发展[J]. 种子科技, 2020, (4): 95—97.
- [3] 来燕子. 基于计算机视觉的滴灌带孔位检测方法研究[D]. 西安电子科技大学, 2009.
- [4] 中国节水网. <http://www.timesinfo.com.cn/content.asp?id=546>.
- [5] 位思华. 滴灌管生产质量在线自动检测统[D]. 西安交通大学, 2004.
- [6] 孙志军, 薛磊, 许阳明, 王正. 深度学习研究综述[J]. 计算机研究应用, 2012, 29(8): 2805—2810.
- [7] Hinton G E, Salakhutdinov P R. Reducing the dimensionality of data with neural networks[J]. Science, 2006, (313): 504—507.
- [8] Bengio Y. Learning deep architectures for AI[J]. Foundations and Trends in Machine Learning, 2009, 2(1): 1—127.
- [9] 潘俊朋, 董洁. 一种基于机器视觉的滴灌带孔位在线检测方法[J]. 机床与液压, 2019, 47(7): 67—71.
- [10] 周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述[J]. 计算机学报, 2017, 40(6): 1229—1251.
- [11] 郝存明, 朱继军, 张伟平. 基于深度学习的安全帽检测方法研究[J]. 河北省科学院学报, 2018, 35(3): 7—11.
- [12] Y-Lan B, Jean P, Yann L C. A Theoretical Analysis of Feature Pooling in Visual Recognition[C]. In: Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning, Haifa, Israel, 2010: 371—382.
- [13] Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection[J]. Computer Science, 2016: 779—788.

文章编号:1001-9383(2020)04-0054-04

工业机器人自动纸箱坯拆垛 上料系统的研发应用

李欣

(河北省机电一体化中试基地,河北 石家庄 050081)

摘要:主要论述工业机器人和 PLC 在纸箱坯拆垛上料工序中的应用。设计专用夹具用于纸箱坯的夹取。工业机器人于 PLC 之间通过 MODBUS 进行通讯。拆垛中使用光电开关配合机器人实现对纸箱垛位置和偏移角度的测量,精确定位垛型位置和角度,准确抓取纸箱坯,提升拆垛生产效率,降低工人劳动强度。使用 PLC 和工业机器人安全策略,实现人机近距离高效工作,提高了拆垛系统的稳定性和安全性。

关键词:工业机器人,纸箱拆垛,夹具,MODBUS 通讯

中图分类号:TP520.5030

文献标识码:A

Development and application of industrial robots in carton-blank stacks automatic unstacking and feeding system

LI Xin

(Hebei Electromechanical Integration Pilot Base, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: This paper mainly introduced the application of industrial robots and PLC in carton-blank stacks automatic unstacking and loading process. A special fixture is designed for the clamping of carton blanks. The industrial robot communicates with PLC through MODBUS. By using photoelectric switches and industrial robots to measure the position and offset angle of carton-blank stacks, we have realized the precise grasping of the carton-blank, this greatly improves the efficiency of unstacking and effectively reduces the labor intensity of workers. The safety strategy of PLC and industrial robot is used to realize human-machine close interaction, efficient work and improve the stability and safety of unstacking and feeding system.

Keywords: Industrial robots; Depalletizers; Fixtures; MODBUS communication

收稿日期:2020-11-20

基金项目:河北省科学院科技计划项目(20801)

作者简介:李欣(1990-),男,河北滦县人,助理工程师,主要研究方向:机械设计制造与自动化。

0 引言

随着国家“中国制造 2025”战略的推进,消费需求不断升级,产品需求多样,产品更新换代周期不断加快,制造业人力资源短缺等因素,对于制造型企业的生产提出了更高的要求。在产品制造过程中,引入机器人系统可以显著提高产品加工效果,有效降低人力资源成本。本文讨论工业机器人和 PLC 在纸箱坯拆垛上料工序中的应用。

1 设备布局及供料流程

纸箱坯拆垛上料系统作为饮料装箱机的上料系统,负责拆垛抓取料垛中的纸箱坯并上料。纸箱坯拆垛上料系统流程为:(1)料垛由运输车运至拆垛站内;(2)供料辊道将料垛运输至拆垛位置;(3)工业机器人末端工具运行到检测位置进行检测;(4)工业机器人完成纸箱坯抓取;(5)将纸箱坯放置在上料传送带。

系统由运输车,供料辊道,托盘运输辊道,工业机器人,夹具,横移皮带,上料输送带构成,现场空间狭小,上料输送带和供料辊道分别安放于工业机器人两侧,这样布置节省空间,且工业机器人工作范围可覆盖取放料位置。纸箱坯拆垛上料流程:系统开始运行,由运输车将堆垛在托盘上的纸箱坯运输到供料辊道旁,供料辊道转动将纸箱坯运输到拆垛位置并定位,到位后辊道 PLC 向工业机器人发送就绪信号,机器人开始拆垛上料(完整的拆垛过程需要 12min),与此同时运输车返回运送下一垛纸箱坯。托盘上的纸箱坯拆垛完毕后,工业机器人发送完毕信号到辊道 PLC,启动横移皮带将空托盘运输到托盘输送辊道上,此时运输车已经将满垛的纸箱坯运输到供料辊道旁,启动供料辊道,将纸箱坯运输到拆垛位置并定位,开始新一轮的拆垛。此时运输车运行到托盘输送辊道旁,托盘输送辊道启动,将空托盘输送至运输车上,由运输车将空托盘运走,完成一个供料循环。系统布局如图 1 所示。

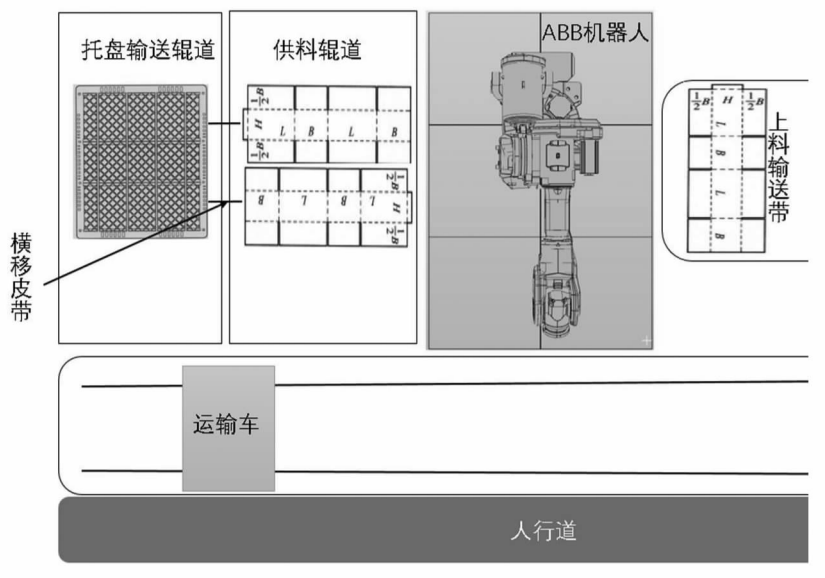


图 1 系统布局示意图

2 系统通讯

机器人采用 ABB 公司的 IRB4600 机器人,支持 MODBUS/TCP 通讯,工业 PC 通过 MODB-

US/TCP 与机器人进行通讯,机器人与西门子 PLC 通过 I/O 通讯控制机器人状态。辊道 PLC 与运输车 PLC 之间采用 MODBUS RTU 通讯,由于在运输中两个 PLC 相隔最远距离为 500m,辊道 PLC 与运输小车 PLC 通过 DTD434M 无线通讯终端功能模块将 MODBUS RTU 转换成无线信号进行无线传输,传输距离 3km 满足使用要求,系统通讯拓扑图如图 2 所示。

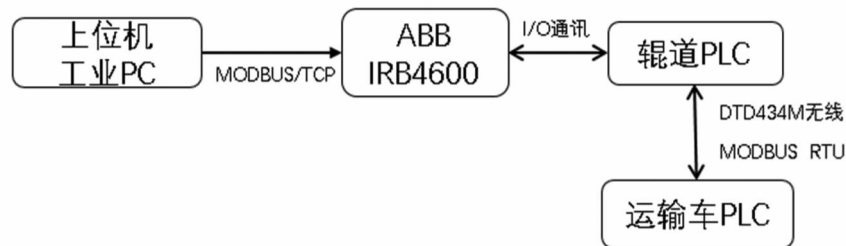


图 2 系统通讯拓扑图

3 抓取逻辑和夹具设计

3.1 夹具介绍

包装机采用 0201 型开槽式瓦楞纸箱,纸箱垛在出厂时为两列反向层叠式摆放,每一列也为 25 张一组的反向层叠摆放。在上料时要求 75 张一组,同向排列整齐放入上料位置。这要求抓取过程要一次取一组 25 张,共抓取三次总数 75 张完成一次上料过程。为了稳定的抓取纸箱坯设计了专用的夹具,夹具材料采用 6061 铝合金,减小运动惯量。夹具由夹具底座,活动托板,顶部压板和侧抬板构成,活动部件由气缸带动。

抓取时由机器人带动夹具移动到 A 列最高处的一组纸箱坯旁,执行位置和角度检测过程,定位后,将侧抬板伸入一层下的第二层空隙中,侧抬板气缸动作,抬起侧抬板,将一层纸箱坯的一侧抬起。活动托板气缸动作,插入一层纸箱坯下部。顶部压板气缸动作下压,使一组 25 层纸箱坯夹在活动托板和顶部压板中间,纸箱坯稳定夹在夹具上随机器人一起运动,完成抓取动作。放置动作则相反。

3.2 位置和偏移角度测量

在纸箱坯的运输中由于车辆的颠簸,会有纸箱坯整体偏移和歪斜的情况发生,这需要在抓取每一组纸箱坯之前对被抓取纸箱坯进行高度和位置角度进行测量,使得夹具可以顺利插入第二层空隙中,不发生夹具和纸箱坯的错位。

(1)高度测量。纸箱坯材料较软,每一组纸箱坯的高度不相同,抓取前需要测量纸箱垛高度,夹具上有一个水平照射的测高光电开关 A 光电,在测高时照射纸箱垛侧面,照射到纸箱垛时输出 1,照射不到时输出 0。测高时采用步进循环测量法。工业机器人到达测量高度后,进入检测程序每下降 1mm 检测一次测高光电开关状态,循环检测,直到测高光电开关变为 1,记录此时的机器人 TCP 点位置数据为 Pa 并跳出循环,使用 Pos robotarget.trans.z 函数提取 Pa 点的 Z 轴数据作为纸箱垛的高度。完成高度测量。

(2)位置和角度测量。纸箱坯为长方形,夹取前只需测量最外侧边的两个点的坐标即可计算得知纸箱坯的位置和角度,在夹具贴近纸箱边的一侧安装有两个距离为 300mm 的 B 光电开关和 C 光电开关,测量时机器人沿 X 轴正向移动,每位移 1mm 检测一次 B 光电和 C 光电的状态,当 B 光电或者 C 光电变为 1 时记录机器人 TCP 点位置数据分别为 Pb 点和 Pc 点,使用 Pos robotarget.trans.x 函数提取 Pb 点和 Pc 点的 X 轴数据 Pbx 和 Pcx 作为测量数据。

公式(1)计算位置为 S :

$$S = \frac{(Pbx + Pcx)}{2} \quad (1)$$

公式(2)计算角度为 α :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{|Pbx - Pcx|}{300} \right) \quad (2)$$

计算得到的 S 位置和 α 角度信息,用函数

MoveL Offs(robotarget Point, x, y, z), Vmax, z1, tool0\WObj:=wobj0;

写入机器人抓取点,即可使夹具以准确的位置和角度进行抓取。

4 PLC 和机器人安全策略

当设备出现故障时需要工人对纸箱坯型进行整理,此时工人进入机器人的工作范围内会出现碰撞危险,机器人不可进入人员操作区域,此时采取两种安全保护措施,采用 PLC 安全控制程序,和 ABB 机器人 World Zone 安全区域相配合,同时保障工作人员和设备安全。将进入生产区域的安全门的打开信号和区域中间的对射安全格栅信号输入 PLC 和 ABB 工业机器人,信号被触发时系统判定区域内有人员进入。在 ABB 机器人程序中设定 World Zone 安全区域。

VAR shapedata volume;

CONST pos corner1 := [200, 100, 100];

CONST pos corner2 := [600, 400, 400];

WZBoxDef Inside, volume, corner1, corner2;

指令定义箱型安全区域,当有人员进入区域时,ABB 机器人如果在箱型安全区域外工作,则会正常运行,当 ABB 机器人要进入箱型安全区域时会触发保护程序,机器人会在箱型安全区域外侧等待,直到人员离开区域关闭安全门,并点击继续运行按钮时,机器人被允许进入箱型安全区域工作,确保人员和设备安全。

5 结语

本文设计了一套拆垛系统,在拆垛和上料过程中可替代 4 名工人,实现了上料完全自动化,在生产使用中证明,高效安全,且具有高柔性,在抓取不同尺寸的纸箱坯时只需选择不同参数即可。本系统可克服纸箱坯在运输中的位移和偏斜,适用于高速包装线的纸箱拆垛供应,在现场经过反复实验连续运行良好,抗干扰能力强,运行效率高,于石家庄中粮可口可乐公司推广使用,具有可观的经济效益和发展前景。

参考文献:

- [1] 闫九祥,赵永国,张艳芳,等.基于单目视觉的工业机器人拆垛系统设计与实验[J].机床与液压,2020,48(3):18-23.
- [2] 吴亚兰,李庆.一种木制板材自动上料机的改进研究[J].佳木斯大学学报,2019,37(2):256-257
- [3] 孙祥云,李丹.PLC控制在工业机器人组装系统中的应用[J].中国新技术新产品,2020,(02):18-19.
- [4] 陈晓东,石江涛,贾仁耀.3D机器视觉在智能机器人拆垛中的应用[J].电气应用,2019,38(S1):31-35.
- [5] 曹明,张苗苗,刘凯凯.超声波测距系统在拆垛机器人上的应用[J].科技资讯,2019,17(33):95+97.
- [6] 毕玉超,高勇,丛鑫,刘辉,高坤.ABB拆垛机器人辅助吸盘装置的设计[J].烟草科技,2019,52(05):105-108.

文章编号:1001-9383(2020)04-0058-06

基于PID控制的一体化恒温激光器系统设计

刘英杰,李子文

(河北省激光研究所,河北 石家庄 050081)

摘要:激光器运行时受自身温度和环境温度的影响,其输出功率、输出波长会有很大的变化,在一些精密测量场合,严重影响了系统的测量精度。据此本文提出了一种采用半导体制冷片(TEC)技术,结合紧密的保温结构设计,采用高精度的激光器驱动电路和进口激光器,基于智能化PID控制温度技术,设计了一套一体化的恒温激光器,主要应用于高精密度测量的场合。

关键词:半导体制冷片;激光器;PID

中图分类号:TN242

文献标识码:A

Design of integrated constant temperature laser system based on PID control

LIU Ying-jie, LI Zi-wen

(Laser Research Institute of Hebei, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: The output power and output wavelength of the laser will change greatly under the influence of its own temperature and ambient temperature. In some precision measurement occasions, the measurement accuracy of the system is seriously affected. In order to solve this problem, this paper proposes a kind of integrated constant temperature laser based on the technology of thermoelectric cooler (TEC), combined with close insulation structure design, using high-precision laser driver circuit and imported laser, based on Intelligent PID control temperature technology, designed a set of integrated constant temperature laser, mainly used in high-precision measurement occasions.

Keywords: Thermoelectric cooler(TEC); Laser; PID

0 序言

浮法玻璃生产过程中,目前主要利用激光折射、反射原理,采用线激光器与线阵 CCD 技术相结合的方法测量玻璃厚度。传统的激光器由于受温度的影响,容易引起激光器输出功率、波长、频谱的变化,造成 CCD 采集到的含有玻璃厚度信息的激光光斑信号不稳定,严重影响浮法玻璃厚度的测量精度。笔者研究设计了一套一体化的恒温激光器系统,应用于玻璃厚度的测

收稿日期:2020-09-21

作者简介:刘英杰(1984-),男,河北邢台人,助理工程师,主要研究方向为仪器仪表设计与开发、嵌入式软件设计与开发。

量中,该系统具有模糊PID控制,无须人为操作,动态响应好,上升时间快,超调小,控温精度高,体积小等特点。经过实践证明,采用该系统后,玻璃厚度的测量精度有了明显地提高。

1 系统的总体结构

一体化恒温激光器系统总体结构有集中控制单元,电源模块、激光器驱动电路、温度采集电路、半导体制冷片TEC驱动电路、上位机通信接口、计算机、散热片、风扇等组成。结构示意图如图1所示。电源模块为整个系统提供电源,系统通过计算机设置温度参数,并保存在集中控制单元内,也可以通过计算机上面的专用软件查看激光器的工作温度曲线。集中控制单元经过温度采集电路实时采集激光器的温度数据,根据温度数据通过PID算法控制半导体制冷片TEC驱动电路,实现精准快速的制冷或加热,保证激光器能够在恒定的温度下工作。

2 系统的关键控制模块设计

2.1 激光器的恒功率驱动电路

激光器的恒功率驱动电路如图2所示。该电路采用Q1的基极Vbe为基准电压,Vbe具有 $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ 的温度特性。电路采用两个三极管,R2用于输出功率调整,并作为负载电阻,电路结构简单,可靠性高。

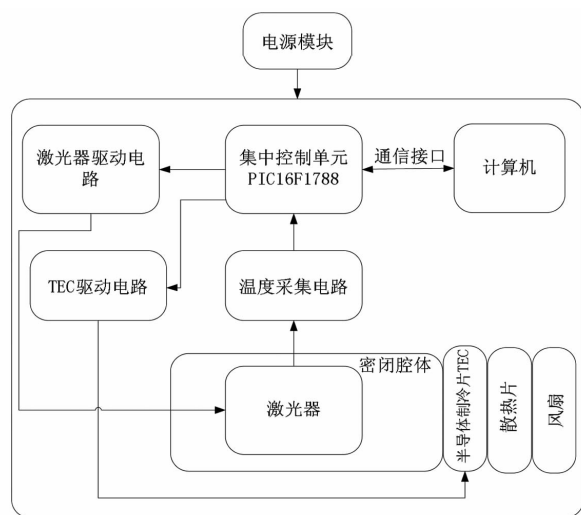


图1 系统结构示意图

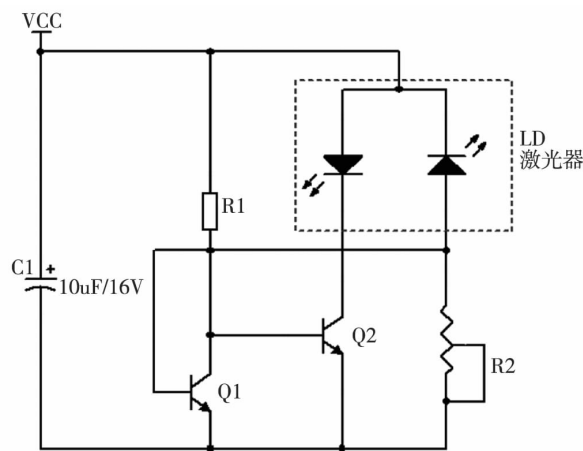


图2 恒功率驱动电路

2.2 温度采集电路

系统采用PT100铂电阻作为温度采集传感器。PT100无铠甲的薄电阻,具有体积小,测量精度高,响应迅速的特点。PT100温度采集电路如图3所示。

该电路采用REF3225作为基准源,REF3225整体性能非常优秀,0.01%的绝对精度,7ppm的温漂。采用双运放MCP604组成恒流源,为PT100铂电阻供电,为了防止PT100工作时自身发热引起的测量误差,要求工作电流不大于1mA,该系统设计的恒流源输出电流为1mA,恒流源电流计算公式参考 $V_{REF} + 2.5\text{V}/R_{21}$ 。系统设计的测温范围为零下 40°C 到零上 120°C ,在该温度范围内PT100的电阻变化范围为 84.27Ω 到 146.07Ω 。电阻值变化引起电信号变化,该信号经过差分放大器,有源滤波器之后,被AD采集器ADS1110A转换为数字信号,提供给集中控制单元。零下 40°C 到零上 120°C 温度范围内,差分放大器和有源滤波器对信号的放大倍数为10倍。

[放大倍数公式为 $(R22/R27) * (R29/R32)$]，对应的输出电压信号 A/D2 范围 0.8427V~1.4607V。AD 采集器 ADS1110A 是一种精密、可连续自校准的串行 A/D 转换器，带有差分输入和高达 16 位的分辨率，其串行接口为 I2C 总线，电源电压 2.7V~5.5V，低电流消耗 240 μ A，低噪声 4 μ V。集中控制单元读取 A/D 转换器的数字信号后，经过进一步的线性优化处理，使整个系统的测温精度达到 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。大大满足了恒温激光器的温度要求。

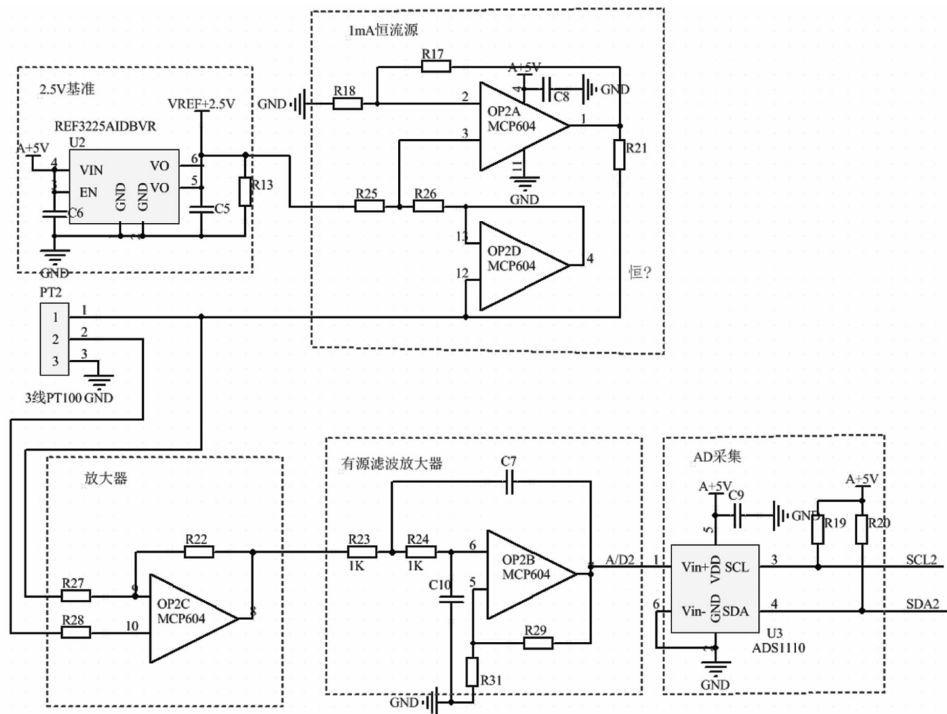


图 3 PT100 温度采集电路

2.3 半导体制冷片 TEC

半导体制冷片也叫热电制冷片，是一种热泵。它的优点是结构简单、体积小，主要应用在一些空间受到限制，可靠性要求高，无制冷剂污染的场合。它既可以制冷，又可以加热，通过改变电流的极性来决定在制冷片的同一面上实现制冷或者加热。恒温激光器系统采用 TEC 作为制冷或加热源，维持激光器在同一温度范围内工作，保证激光器工作温度的稳定性。实现了一体化，体积小，成本低的设计要求。半导体制冷片 TEC 型号为 TEC1-12704，输入电压范围 2.5V~15V，启动电流 4A，峰值功率 60W，峰值温差 55 $^{\circ}\text{C}$ ，交流内阻 3 Ω 。

2.4 TEC 驱动控制电路

TEC 驱动控制电路如图 4 所示。制冷过程要求 TEC 制冷片的电流由正极流向负极，此过程由集中控制单元控制 PMW1+ 产生 10kHz 的方波脉冲信号，占空比根据采集的温度信息进行时时调整，PMW1+ 脉冲信号高电平时使 B1(BTS7960)的上桥边导通，B1 的 4 脚 OUT 输出 VCC 电源供给 TEC 的正极，同时此过程要求 PWM2- 信号保持低电平，使 B2(BTS7960)的下桥边处于导通状态，使 TEC 的负极保持接地状态，保证了 TEC 的电流由正极流向负极。加热过程要求集中控制产生相反的控制信号即 PWM2- 为方波脉冲信号，PWM1+ 保持低电平。6N137 是一款用于单通道的高速光耦合器，能实现把数字信号与 TEC 的制冷电源进线隔离，以提供系统的可靠性，同时也有效地防止烧坏控制单元芯片。2 片 BTS7960

组成的 H 桥电路,可以提供最大 43A 的驱动电流,完全能够满足 TEC 的功率要求。

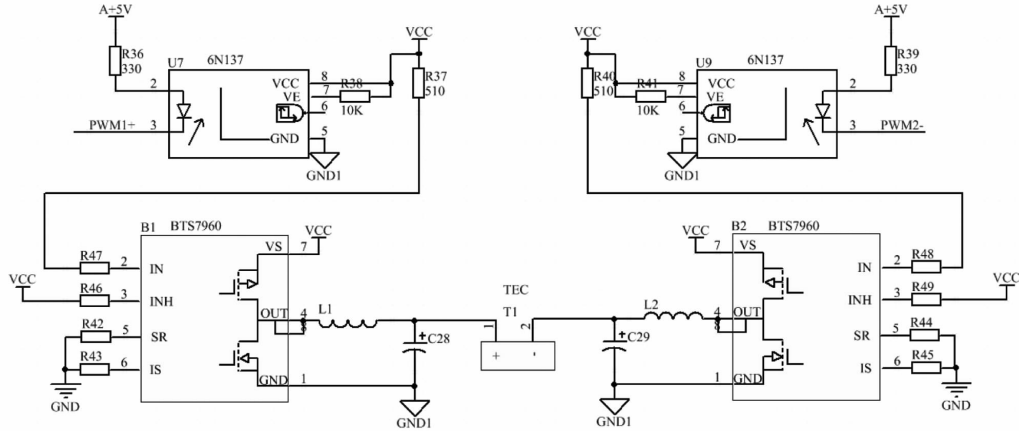


图 4 TEC 驱动控制电路

2.5 与上位机通信接口电路

控制电路与上位机通信接口采用异步串口通信,波特率为 115200,数据位 8,停止位 1,校验位 0,无流控制。电路图如图 5 所示,采用芯片 MAX232 实现串口通信。与上位机的通信数据帧格式为帧头+命令+帧字节数+数据+校验和。例如上位机发送给控制电路的设定恒定温度 15℃的命令格式为:A5 03 06 00 0F BD,字节数均为十六进制数。

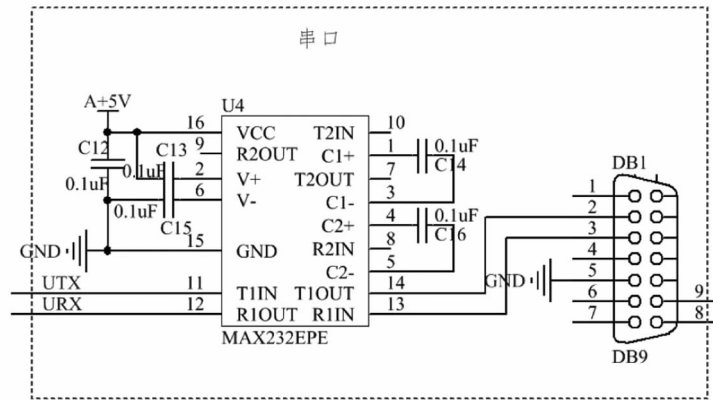


图 5 与上位机通信接口电路

2.6 集中控制单元

集中控制单元电路如图 6 所示,该单元采用单片机 PIC16F1788 作为中央处理器。PIC16F1788 运行频率为 32MHz,具有两路 PWM 输出功能,1 路异步串口,1 路 I2C 接口。单片机首先读取 A/D 传感器采集的温度信息,把读取到的温度信息进滤波算法处理之后得到稳定的时时温度信息,然后把温度信息经过 PID 控制算法计算出相应的制

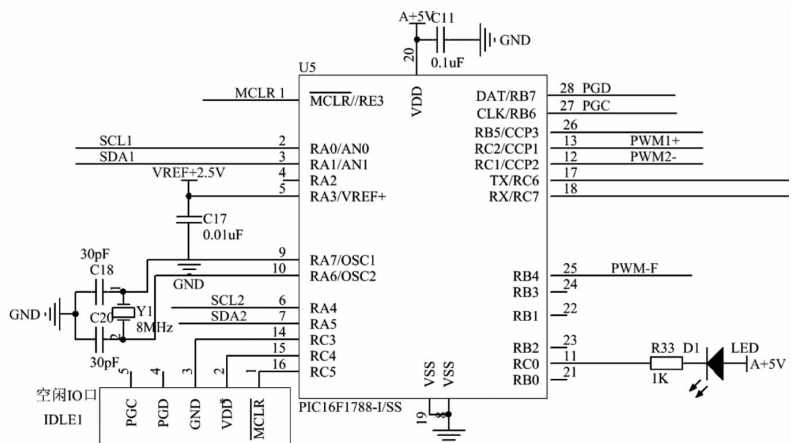


图 6 集成控制单元电路

冷或者加热功率对应的脉冲占空比,经过多次的温度采集调整占空比之后最后达到稳定的温度状态。单片机程序中采用的PID技术是一种在工业过程控制中,按偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)进行控制的PID控制器,具有结构简单,易于实现,适用面广,参数设定简单,控制精度高等特点。理想的PID控制模型为公式(1):

$$\Delta u(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

公式(1)中的三个参数, K_p 为比例增益; K_i 为积分增益; K_d 为微分增益。PID主要得程序模型:

```
// PID算法系数装载
void Pid_init()
{ hightime= 100; //输出的占空比
  e1 = 0;      //本次的温度差
  e2 = 0;      //前一次的温度差
  e3 = 0;      //两次前的温度差
  kp = 40;     //需要根据试验确定参数
  ki = 0.15;   //需要根据试验确定参数
  kd = 5;      //需要根据试验确定参数
}
e1 = ad_temp1 - set_temp1; //温度差
duk = (kp * (e1 - e2) + ki * e1 + kd * (e1 - e2 * 2 + e3)); // PID 运算公式。
uk = uk + duk; //每次调整根据PID计算的调整数值
```

经过反复的实验测试,探索出一组PID控制器参数 k_p, k_i, k_d ,使温度能够快速达到稳定状态,温度恒定时偏差值尽量小,此时的PID控制器参数为最优。系统设计中采用该PID后调整达到了 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 的温差范围,控制精度高。

3 实验结果与分析

系统设置目标恒定温度为 10°C 时,实验时初始温度为 15°C 。系统启动运行后,激光器的实时温度如图7所示。可以看出,经过系统的PID控温之后,激光器很快进入稳定的目标温度 10°C 。恒温误差范围为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。满足激光器运行时对温度的要求。

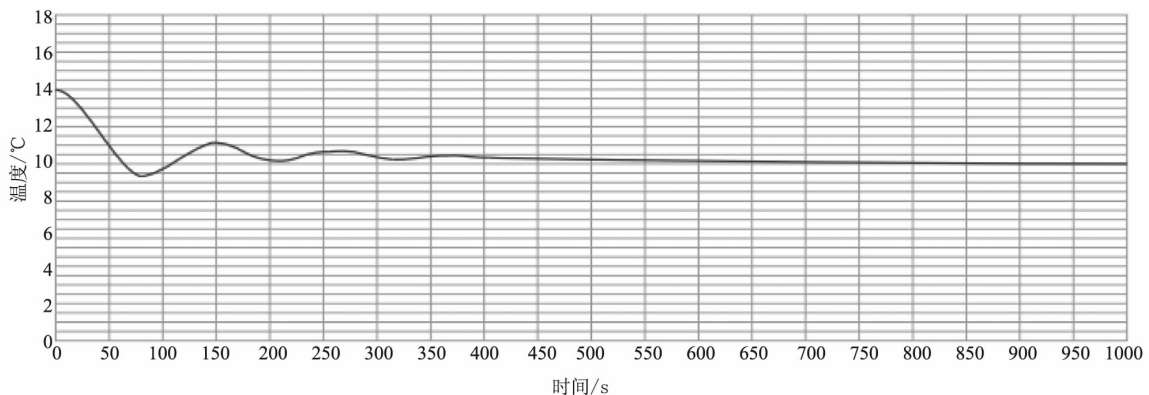


图7 实时温度图

采用恒温激光器测得玻璃厚度数据如表1所示。采用普通激光器测得玻璃厚度数据如表2所示。采取10h的实验数据可以看出采用恒温激光器测量的玻璃厚度精度由原来的0.11mm提高到了0.01mm。由于恒温激光器的温度维持在一个恒定状态,激光器的输出功率,输出波长的变化范围很小,不再受外界温度的影响,这样CCD采集到的玻璃厚度精度得到了很大地提高。

表1 采用恒温激光器测得数据表

当前时间	光斑前沿	前沿偏移	绝对厚度(mm)
8:17:40	2410	1721	37.92
9:17:40	2411	1722	37.93
10:17:40	2411	1722	37.93
11:17:40	2411	1722	37.93
12:17:40	2410	1721	37.92
13:17:40	2410	1721	37.92
14:17:40	2410	1721	37.92
15:17:40	2410	1721	37.92
16:17:40	2411	1722	37.93
17:17:40	2411	1722	37.93
18:17:40	2410	1721	37.92

表2 采用普通激光器测得数据表

当前时间	光斑前沿	前沿偏移	绝对厚度(mm)
8:10:20	2400	1711	37.82
9:10:20	2401	1712	37.83
10:10:20	2403	1714	37.85
11:10:20	2404	1715	37.86
12:10:20	2407	1718	37.89
13:10:20	2408	1719	37.90
14:10:20	2409	1720	37.91
15:10:20	2410	1721	37.92
16:10:20	2411	1722	37.93
17:10:20	2411	1722	37.93
18:10:20	2411	1722	37.93

4 结论

本文设计的一体化恒温激光器,体积小,工作稳定可靠,成本低,工作温度范围 $-40^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$,控温精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,满足工厂使用时的环境条件。经过多次实际测试,采用一体化恒温激光器之后,玻璃厚度的测量精度由原来的 $\pm 0.08\text{mm}$,提高到了 $\pm 0.01\text{mm}$ 。该系统已经在多个玻璃工厂得到了推广应用,不仅提高了工厂生产工艺水平,而且产品销量不断增加,为工厂带来了更大地收益。

参考文献:

- [1] 安可民,文胜.半导体制冷技术在量热仪中的应用[J].煤质技术,2006,(6):28-29.
- [2] 沈晓玲.NTC热敏电阻温度特性的研究[J].龙岩学院学报,2006,24(6):36-37.
- [3] 陈振林,孙中泉.半导体制冷器原理与应用[J].微电子技术,1999,27(5):63-65.

文章编号:1001-9383(2020)04-0064-08

基于公开数据的河北网络安全等级 保护测评项目分析及机构能力评估研究

王云丽^{1,2}, 韩珍珍^{1,2}, 杨文焕^{1,2}, 成彬^{1,2}

(1. 河北省科学院应用数学研究所, 河北 石家庄 050081;
2. 河北省信息安全认证工程技术研究中心, 河北 石家庄 050081)

摘要: 收集河北省网络安全等级保护测评机构的项目数据和基本状况, 针对项目信息进行数据分析, 并结合有关国家标准建立了一套用于测评机构能力评估的模糊综合评价模型。首先收集公开的河北省网络安全等级保护测评机构的项目数据, 针对缺失的指标数据, 使用随机森林方法进行拟合填充, 重点针对2016年—2019年的项目信息进行数据分析; 其次, 基于国家标准, 以问卷形式集合专家对该标准指标的相对重要性意见, 之后通过模糊层次法将专家意见量化, 形成各个指标的权重; 最后, 通过逐层累乘计算各层次指标的综合权重和专家打分比例, 并根据最大隶属度原则做出判断, 得出能力评估结论。

关键词: 网络安全等级保护测评机构; 能力评估; 模糊综合评价法

中图分类号: TN915.08

文献标识码: A

Analysis of evaluation project of Hebei classified protection of cybersecurity and research on the capacity of assessment organization based on Public Data

WANG Yun-li^{1,2}, HAN Zhen-zhen^{1,2}, YANG Wen-huan^{1,2}, CHENG Bin^{1,2}

(1. Institute of Applied Mathematics, Hebei Academy of Sciences, Hebei Shijiazhuang 050081, China;
2. Hebei Authentication Technology Engineering Research Center, Hebei Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Collected the project data and basic status of assessment organization of classified protection of cybersecurity and assessment organization in Hebei Province, analyzed the data based on the project information, and established a set of fuzzy comprehensive evaluation models for the assessment of the capabilities of the assessment organization in conjunction with relevant national standards. First of all, collect the public project data of Hebei province assessment organization of classified protection of cybersecurity, and use the random forest method to fill in the missing indicator data, focusing on the data analysis of the project infor-

收稿日期: 2020-08-25

基金项目: 河北省科学院两院合作项目(201515)

作者简介: 王云丽(1973-), 女, 河北高邑人, 副研究员, 主要从事计算机网络安全及大数据分析的研究。

mation from 2016 to 2019; second, based on national technical standards, the experts' opinions on the relative importance of the standard indicators are collected in the form of a questionnaire, and then the expert opinions are quantified by the fuzzy hierarchy method to form the weight of each indicator; finally, the comprehensive index of each level is calculated by layer-by-layer cumulative multiplication. The weighting and expert scoring ratio, and make judgments according to the principle of maximum membership, and draw conclusions of ability assessment.

Keywords: The assessment organization of classified protection of cybersecurity, capability assessment, Fuzzy comprehensive evaluation method

1 研究目的和意义

网络安全等级保护制度是国家网络安全工作的基本制度、基本策略和基本方法^[1]。网络安全等级测评是等级保护工作的重要环节,是等级保护制度一项有效落实。网络安全等级保护制度 2.0 系列新标准于 2019 年 12 月 1 日正式实施。自《网络安全法》正式施行(2017 年 6 月 1 日)以来,监管部门对政府、医疗、教育等各个行业的网络安全保卫日益重视。

网络安全等级保护工作包括定级、备案、安全建设和整改、网络安全等级测评、网络安全检查五个阶段。信息系统建设完成后,运营、使用单位或者其主管部门应当选择符合国家要求的测评机构,依据《网络安全等级保护测评要求》等技术标准,定期对信息系统安全等级状况开展等级测评。2009 年在江苏、浙江、广东、福建等几个省开展等级保护的试点工作。2010 年 6 月获批的公安部信息安全等级保护评估中心,是全国第一家测评机构。等级测评机构的证书有效周期为 3 年,到期后,需要再次现场评审。

为加强网络安全等级保护测评机构管理,规范测评行为,提升测评能力和质量,《网络安全等级保护测评机构管理办法》于 2018 年 3 月发布。2018 年底发布了《信息安全技术 网络安全等级保护测评机构能力要求和评估规范》(GB/T 36959—2018),里面给出了网络安全等级保护测评机构能力级别要求,分为 I 级、II 级、III 级,但是并没有给出指标的具体应用方法。本文研究的目的是,在复审测评机构过程中,通过模糊综合评价法构建模型,为能力评估提供量化依据。

2 测评机构基本状况

2009 年 7 月到 10 月,公安部《关于开展信息安全等级保护测评体系建设试点工作的通知》,由 6 个省公安部门 and 12 个专门测评机构参加,开始了国家等级测评体系建设试点工作。

截止到 2019 年 12 月底,河北省等级测评共有 10 家,见表 1。

表1 河北省网络安全等级保护测评机构名录

机构编号	机构名称	推荐日期
DJCP2011130039	河北赛克普泰计算机咨询服务有限公司	2011-01-01
DJCP2011130040	河北省信息安全测评中心	2011-03-01
DJCP2011130041	河北恒讯达信息科技有限公司	2011-08-01
DJCP2011130042	石家庄星安信息安全测评技术有限公司	2011-12-01
DJCP2016130043	河北兰科网络工程集团有限公司	2016-01-15
DJCP2016130044	河北翎贺计算机信息技术有限公司	2016-01-15
DJCP2018130045	河北方维信息系统工程监理有限公司	2018-04-04
DJCP2018130046	河北千诚电子科技有限公司	2018-04-04
DJCP2018130176	河北华测信息技术有限公司	2018-10-19
DJCP2018130177	河北索派科技有限公司	2018-10-19

其中9家测评机构注册地点在省会。7家为高新技术企业,5家拥有信息安全服务资质(信息安全风险评估服务资质认证、信息系统安全运维服务资质认证、信息安全应急处理服务资质认证),通过信息安全管理体系认证的有4家。从CNAS官网获悉,通过软件测试能力验证的有3家。

3 测评项目基本情况

采用网上公开的等级测评项目信息数据,招投标信息主要来源是“天眼查(www.tianyancha.com)”。“天眼查”显示的各测评机构的招投标信息大都是2013年以后的,共获取到165条有效的等级测评项目信息,其中项目信息中具有合同额的只有135个。见图1。

字段说明:

ID:等级测评机构名称

project:等级测评项目名称

amount:等级测评项目金额

announce_date:等级测评项目中标公告日期

area:等级测评项目所属地区

category:等级测评项目所属行业

3.1 项目总量逐年上升

统计显示,等级测评项目2013年—2019年共有165个。2013年—2015年河北的测评项

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 165 entries, 0 to 164
Data columns (total 6 columns):
ID                165 non-null object
project           165 non-null object
amount            135 non-null float64
announce_date     165 non-null object
area              165 non-null object
category          165 non-null object
dtypes: float64(1), object(5)
memory usage: 7.8+ KB
```

图1 获取的等级测评项目数量(2013年—2019年)

目很少共有4个测评项目,2016年数量开始增加,有9个;2017年—2019年呈逐年上升趋势,测评数分别为29,48,75。鉴于2013—2015年的公开数据信息较少,本文重点分析2016年1月—2019年12月的数据信息,共161条。

3.2 项目地区分布情况

统计结果见图2,石家庄是开展等级测评项目最多的地区,省直单位大多在省会石家庄,单独一列统计,省直单位开展等级测评的项目数量高于石家庄市级单位,后面依次是唐山、张家口、秦皇岛等地区。

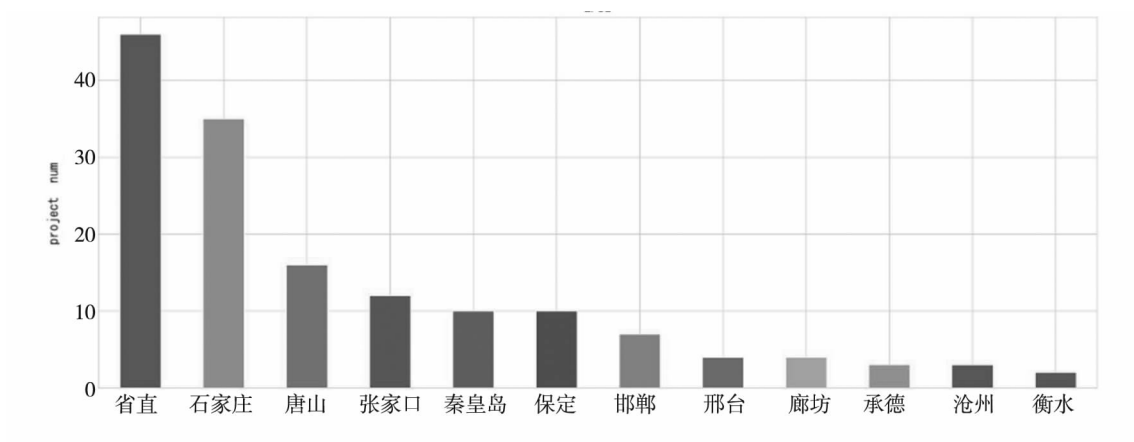


图2 2016—2019年的河北等级测评项目的地区分布情况

省直、石家庄、秦皇岛、张家口等地区,每年都开展等级测评工作,见图3。

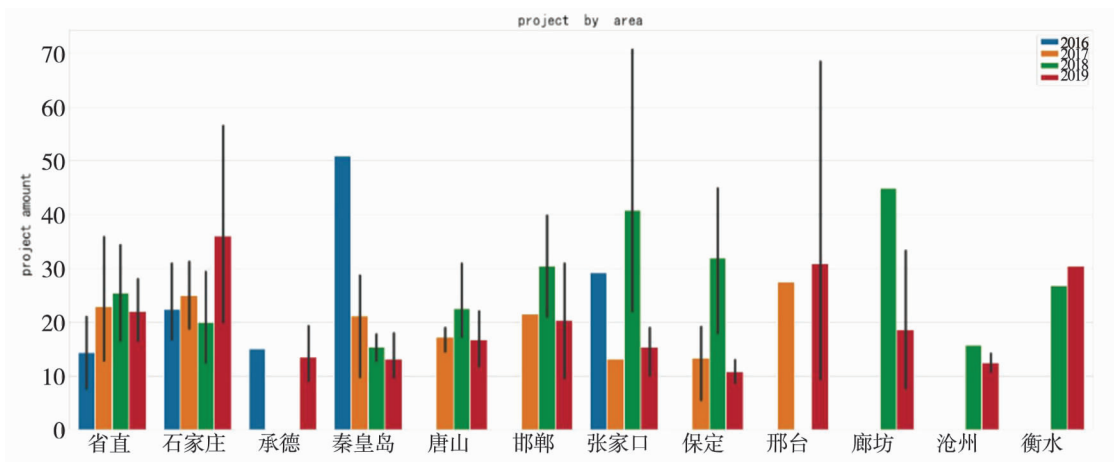


图3 各地区年度测评项目开展情况——数量(黑色竖条为误差棒)

3.3 项目行业分布情况

统计显示,政府部门是开展等级测评项目数量最多的行业,后面依次是高校、电业、烟草、医院等行业。政府行业2016年—2019年每年都开展等级测评工作,见图4。



图 4 各行业年度测评项目开展情况 (纵坐标为单价)

3.4 项目金额整体平稳

为了规范等级保护测评项目收费,建立公平、公正、有序、竞争的测评市场环境,中关村信息安全测评联盟依据《信息安全测评联盟自律公约》,于2016年1月发布了《中关村信息安全测评联盟等级测评项目收费指导意见(试行)》,该指导意见于2017年10月废止。研究项目金额时,观察到获取的项目信息,中标公告里面没有公布中标金额,项目金额是缺失的,截图见图5。

ID	project	amount	contract_date	contract_year	contract_month	area	category	remark
3	河北省监狱管理局信息系统安全风险评估服务项目	NaN	2015/12/22	2015	2015/12/1	省直	政府	NaN
15	国投曹妃甸港口有限公司信息安全等级保护测	NaN	2017/6/13	2017	2017/6/1	唐山	港口	国有集团
18	大唐河北发电有限公司本部(总经理工作部)大唐河北公司信息安全等级保护测评及咨询服务项目	NaN	2017/7/14	2017	2017/7/1	石家庄	电扬	国有集团
21	大唐国际发电股份有限公司陡河发电厂(厂长办公室)陡河发电厂信息安全测评询价	NaN	2017/8/22	2017	2017/8/1	唐山	电扬	国有集团
22	大唐武安发电有限公司(控制部)变电站自动化系统等级测评项目	NaN	2017/8/10	2017	2017/8/1	邯郸	电扬	国有集团
23	大唐保定热电厂(设备管理部)第2次保定热电厂变电站自动化系统等级测评询价采购询价	NaN	2017/9/11	2017	2017/8/1	保定	电扬	国有集团
28	河北大唐国际唐山热电有限责任公司(物资供应部)唐山热电信息安全等级保护测评	NaN	2017/9/9	2017	2017/9/1	唐山	电扬	国有集团
32	河北大唐国际王滩发电有限责任公司(总经部)王滩发电公司信息安全测评项目	NaN	2017/10/20	2017	2017/10/1	唐山	电扬	国有集团
36	河北大唐国际丰润热电有限责任公司(计划营销部)DCS等级保护测评项目	NaN	2017/11/13	2017	2017/11/1	唐山	电扬	国有集团
46	河北大唐国际丰润热电有限责任公司(计划营销部)	NaN	2018/5/30	2018	2018/5/1	唐山	电扬	NaN

图 5 中标公告中缺失金额的等级测评项目(部分截图)

3.4.1 随机森林算法拟合缺失的项目金额

本文采用 Random Forest(随机森林算法,简称 RF)^[2]对项目金额缺失的数据进行拟合。随机森林是由一系列树型分类器 $\{h(x, \Theta_k), k=1, \dots\}$ 组合而成的分类器。其中元分类器 $h(x, \Theta_k)$ 使用 CART 算法构建的没有剪枝的分类回归树; x 是输入向量; Θ_k 是独立同分布的随机向

量,决定了单颗树的生长过程;森林的输出采用单颗树输出结果的简单平均得到。训练样本集使用 Bagging 方法形成每颗树的训练集。

RF 生成步骤为:

- (1) 从总训练样本集中用 Bootstrap 采样选取 k 个子训练样本集,并预建 k 棵分类树;
- (2) 在分类树的每个节点上随机的从 n 个指标中选取 m 个,选取最优分割指标进行分割;
- (3) 重复步骤(2);
- (4) 由 k 棵分类树形成随机森林。

运用模型进行级别评判时,需把待测样本集输入到训练完毕的 RF 各分类树中,各叶子节点上的风险级别分布即为该棵分类树的风险评价结果。通过下列等式决策并平均各棵分类树叶子节点上的风险级别分布后得到整个 RF 对待测样本集的结果。

$$p(c | v) = \sum_{t=1}^T P_t(c | v)$$

式中: T 为 RF 中树的数目; c 为风险等级; p 为概率函数。

选取“等级测评机构名称(ID)”、“等级测评项目名称(project)”、“等级测评项目中标公告日期(announce_date)”、“等级测评项目所属地区(area)”、“等级测评项目所属行业(category)”进行合同额的数据拟合。“合同额(amount)”确定为标签。

下面针对拟合填充后的 161 条数据进行分析。

3.4.2 项目金额变化趋势

2018 年后,新增加了测评机构,项目数量和项目总额有了较大幅度的提升。但项目均额变化太大,趋势平稳,如图 6 所示。

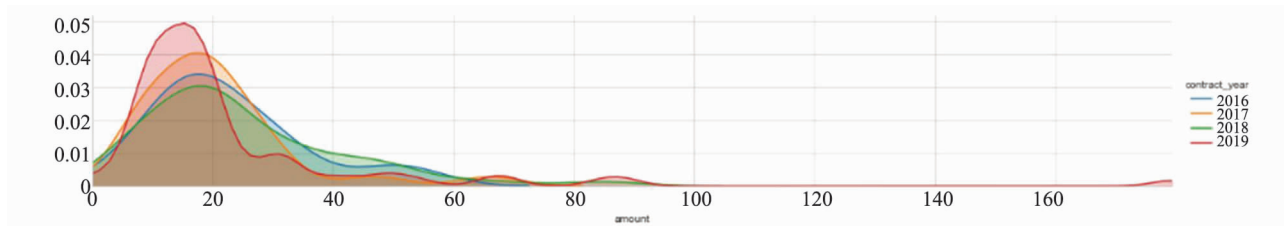


图 6 测评项目均额密度图——年度

等级测评项目的合同额,2016 年 22.82 万元、2017 年 20.20 万元、2018 年 25.02 万元、2019 年 23.15 万元总体价格平稳,等级测评项目的合同均额,大多集中在 23.56 万左右,见图 7 所示。

可以看出,总体项目金额成正态分布,测评市场运行状况良好。

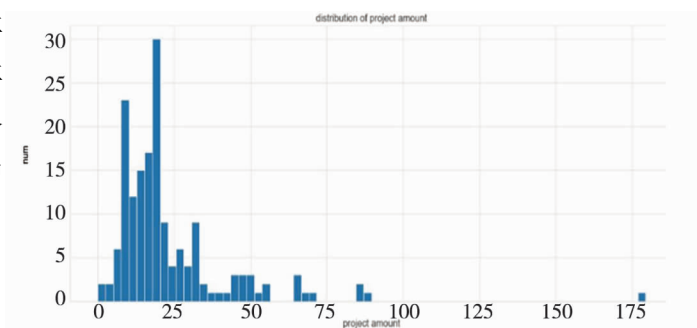


图 7 等级测评项目的合同均额特征分布

3.5 外来测评机构开展项目情况

针对近年的 165 个项目中,只有石家庄市城市轨道交通 2018 年度等级测评服务项目由中国电子信息产业集团有限公司第六研究所(工业控制系统信息安全技术国家工程实验室)实施。其余的大多为河北省的测评机构实施。

3.6 同一单位连续开展项目情况

河北白沙烟草有限责任公司、河北省工商行政管理局、河北省人力资源和社会保障厅、河北医科大学第四医院连续三年开展等级测评工作；河北大唐国际丰润热电有限责任公司、河北省发展和改革委员会、河北省教育考试院、河北省商务厅、河北省道路运输管理局连续两年开展等级测评工作。开展两次以上等级测评工作的单位，占统计项目的 5%。

4 模糊综合评价算法构建能力评估模型

模糊综合评价法(fuzzy comprehensive evaluation method),是根据模糊数学的隶属度理论来描述模糊界限的,能够把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰,系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。

4.1 确定指标及权重向量

首先参考标准 GB/T 36959—2018 的指标体系确定指标,有“基本条件”、“组织管理能力”、“测评实施能力”、“设施和安全设备与保障能力”、“质量管理能力”、“规范性保证能力”、“风险控制能力”、“可持续发展能力”指标能力要求。其中“风险控制能力”,I 级、II 级、III 级的能力要求是相同的^[3],不再选用模型评估的指标。

以问卷的形式集合专家对指标相对重要性的意见,采用层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)来确定各指标 u_i 的权重,两两比较结果构成判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/6 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \\ 5 & 1 & 1/2 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 6 & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 4 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1/3 & 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1 & 1/4 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

若 $CI_A < 0.1, CR_A < 0.1$,表明判断矩阵具有满意的一致性,可以接受,则得出判断矩阵的最终权重;若未通过,则需要重新构建成对比较矩阵。

经计算, $CI_A = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{7.121 - 4}{4 - 1} = 0.0202$,根据平均随机一致性指标 RI 标准值^[4]计算:

$$CR_A = \frac{0.0202}{1.32} = 0.015 < 0.1$$

表明矩阵 A 通过了一致性检验。对应的权重向量为:

$$a = [0.0436, 0.2220, 0.3155, 0.1780, 0.1193, 0.0748, 0.0467]$$

4.2 确定评语集

根据标准 GB/T 36959—2018,里面确定了测评机构能力的三种级别,从低到高依次是:I 级、II 级、III 级。

评语集(级别): $V = \{ \text{I 级, II 级, III 级} \}$

4.3 建立模糊评判矩阵

对测评机构的每个因素隶属于各个评语的程度进行评价,有专家打分和隶属度函数两种

方法,本文采用专家打分的方法。

以某测评机构为例,对于“基本条件”,20%的专家认为是“Ⅰ级”,60%的专家认为是“Ⅱ级”,20%的专家认为“Ⅲ级”,则该测评机构的“基本条件”隶属于评语集 V“Ⅰ级”、“Ⅱ级”、“Ⅲ级”三个评语的程度为: $r_1=[0.2,0.6,0.2]$ 。

同样,“组织管理能力”的评语为: $r_2=[0,0.4,0.6]$,”测评实施能力”的评语为: $r_3=[0,0.4,0.6]$,”设施和设备安全与保障能力”的评语为: $r_4=[0.8,0.2,0]$,”质量管理能力”的评语为: $r_5=[0,0.2,0.8]$,”规范性保证能力”的评语为: $r_6=[0,0,1]$,”可持续性发展能力”的评语为: $r_7=[0,0,1]$ 。得到,模糊评判矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.4 模糊综合评判

基于合适的模糊合成算子计算总评价 $B = a * R$,根据最大隶属度原则做出判断。计算结果:

$$B = [0.0436, 0.220, 0.3155, 0.1780, 0.1193, 0.0748, 0.0467] \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [0.1511, 0.3006, 0.5482],$$

由于 B 中最大数 0.5482 出现在第 3 位置,即总体评语隶属于第 3 个评语“Ⅲ级”的程度是 0.5482,故“Ⅲ级”就是该测评机构的最终评估结果。

5 结束语

本文提出的一种基于模糊综合评价法的测评机构能力评估模型,是依据 GB/T 36959—2018 标准的指标,结合公开的数据,采用专家打分并根据最大隶属度得出的结论。该模型的构建虽然是基于公开的数据,但对于审核部门对测评机构现场复审时的能力评估仍然适用。

参考文献:

- [1] 网络安全法与网络安全等级保护制度培训教程(2018年版)[M]. 电子工业出版社 2018.
- [2] 赖成光,陈晓宏,赵仕威,王兆礼,吴旭树. 基于随机森林的洪灾风险评价模型及其应用[J]. 水利学报,2015,46(01):58—66.
- [3] 信息安全技术 网络安全等级保护测评机构能力要求和评估规范(GB/T 36959—2018)[S]. 中国标准出版社.
- [4] 徐云峰. 基于 AHP 理论的信息系统安全评估方法[J]. 信息安全,2011,11(9):120—122.

文章编号:1001-9383(2020)04-0072-08

基于 CiteSpace 的精准扶贫研究可视化分析

李素芳¹, 孙晓晔^{2,3}

(1. 河北华烨冀科信息技术有限责任公司, 河北 石家庄 050081; 2. 河北省科学院应用数学研究所, 河北 石家庄 050081;
3. 河北省信息安全认证工程技术研究中心, 河北 石家庄 050081)

摘要: 本文选取 2014 年至 2019 年 CNKI 数据库中关于“精准扶贫”的期刊, 利用 CiteSpace 分析作者合作网络、机构合作网络、关键词共现、关键词聚类等, 探讨近几年来精准扶贫的发展情况、研究热点以及趋势。研究表明, 关于精准扶贫的发文自 2014 年初现, 经快速增长后进入平稳时期, 形成了中国农业大学、中国科学院、广西大学、中国人民大学等一批主要研究机构, 莫光辉、张琦、黄承伟等学者发文较多。但是学者之间、机构之间缺少合作。目前, 精准扶贫研究集中在金融扶贫、教育精准扶贫、新时代、政策执行、贫困、反贫困、大数据、社会治理等热点领域。随着精准扶贫工作的不断推进, 学者和机构应加强合作, 关注扶贫成效评价、脱贫户返贫与返贫风险、稳定脱贫长效机制构建方面的研究, 为国家决策提供参考。

关键词: CiteSpace; 精准扶贫; 可视化; CNKI

中图分类号: G353.1

文献标识码: A

Visualization analysis on research of targeted poverty alleviation based on CiteSpace

LI Su-fang¹, SUN Xiao-ye^{2,3}

(1. Hebei Huaye Jike Information Technology Co., Ltd, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
2. Institute of Applied Mathematics, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
3. Hebei Information Security Certification Engineering Technology Research Center, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Based on the periodicals about targeted poverty alleviation from CNKI database, the analysis is presented by CiteSpace in such aspects as authors cooperation network, organization cooperation network, keyword co-occurrence, keyword clustering, then it is discussed that the development, research hotspot and trend of targeted poverty alleviation in recent years. The research shows that the papers about targeted poverty alleviation have been published since 2014, and entered a stable period after rapid growth. The research institutions that have more publications are China Agricultural University, Chinese Academy of Sciences, Guangxi University, and Renmin University of China and so on. Scholars such as Mo Guanghui, Zhang Qi, and Huang Chengwei have published more papers. But cooperation is few among scholars,

收稿日期: 2020-07-22

基金项目: 河北省科学院科技攻关项目(20611)

作者简介: 李素芳(1970-), 女, 河北省元氏人, 工程师, 主要从事计算机软件设计研发工作。

so is among institutions. At present, research on targeted poverty alleviation focuses on eight hot areas: financial poverty alleviation, education targeted poverty alleviation, new era, policy implementation, poverty, anti-poverty, big data and social governance. With the progress of targeted poverty alleviation, scholars and institutions should strengthen cooperation, and pay attention to the evaluation of poverty alleviation effectiveness, the research on poverty-returning phenomenon and risk, the construction of long-term mechanism for stable poverty alleviation.

Keywords: CiteSpace; Targeted poverty alleviation; Visualization; CNKI

引言

2013年11月,习近平总书记在湖南省十八洞村考察时首次提出“精准扶贫”思想,之后,“精准扶贫”在国家及全社会的重视和推进下,在学术界也掀起了研究热潮。自2013年起,截止2019年12月31日,短短几年,在CNKI(China National Knowledge Infrastructure)数据库中,以“精准扶贫”为主题词的文献,可查询到30000多条。众多相关文献为进一步研究精准扶贫提供了技术理论保障,同时对快速把握该领域的整体概况也是巨大的挑战。2020年是决胜全面建成小康社会、决战脱贫攻坚之年,为了从整体把握精准扶贫的研究情况,促进精准扶贫理论研究和实践探索更加深入地开展,本文采用CiteSpace可视化文献分析工具,以CNKI中的相关文献为样本,进行可视化呈现和相关分析,以期精准扶贫的后续研究提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文使用的数据来源于CNKI数据库。在国内,CNKI具有收录期刊论文全面、获取便利的特点,对文献的发文量、期刊来源、作者及机构分布等都能很好地描述。

考虑到文献的相关性和权威性,选取数据时将文献范围限定为核心期刊、CSSCI(Chinese Social Sciences Citation Index)和CSCD(Chinese Science Citation Database),以“精准扶贫”为主题词,时间截止到2019年,共检索到3356条结果,经手工剔除新闻报道、会议通知、书评以及部分信息缺失(如缺少年份、作者信息)、署名为课题组的数据,得到2763篇“精准扶贫”相关文献。将这些期刊的题录信息(篇名、作者、作者单位、期刊名称、发表年份、关键词、摘要)以Refworks格式导出,作为CiteSpace的数据来源进行后续的研究分析。

1.2 研究方法

本文利用文献分析软件CiteSpace对精准扶贫相关文献进行可视化分析。CiteSpace是信息分析领域中影响力较大的可视化软件,由美国Drexel大学的陈超美教授基于Java平台开发,能够识别某一学科领域的关键文献,揭示该学科领域的研究热点以及在一定时期发展的趋势与动向,形成若干研究前沿领域的演进历程,能够客观反映科学发展情况^[1]。

本文采用CiteSpace 5.6.R1(64-bit)版本,对相关文献进行作者合作网络、机构合作网络、关键词共现、关键词聚类、关键词时区图分析,通过可视化的图谱呈现“精准扶贫”的研究进

展、研究主题、研究热点以及发展趋势。

2 精准扶贫研究的时间分布特征

在 CiteSpace 中,时间切片选择 1 年,可在 Process Reports 中得到每年的发文数量,如图 1 所示。由图 1 可以看出,学术界开始出现精准扶贫相关文献的最早时间是 2014 年,晚于习近平总书记首次提出“精准扶贫”概念的时间 2013 年。近几年,关于精准扶贫研究的发文量呈现上升趋势,尤其是 2015 年到 2017 年,发文量呈现井喷式增长,说明精准扶贫进入高速发展期,出现了研究热潮。上述文献产出情况与我国的政策息息相关。2015 年,国务院发布了《中共中央国务院关于打赢脱贫攻坚战的决定》,进一步确定把精准扶贫、精准脱贫作为基本方略,要求到 2020 年实现现有标准下贫困人口全部脱贫^[2]。2017 年到 2018 年,发文量增长变缓,2019 年与 2018 年的发文量相当,略有下滑,说明研究已经趋于平衡。这种变化趋势表明,扶贫研究具有很强的应时性和应策性。



图 1 2014—2019 年期间精准扶贫相关文献数量年度分布图

3 作者和机构分布情况

3.1 作者分布情况

通常情况下,一个领域的研究现状,可以在一定程度上通过该领域内发文数量较多的作者的研究活动反映出来。在 CiteSpace 软件中对作者节点进行处理,生成高产作者频次统计表(表 1)和作者合作网络。其中,作者合作网络中含 372 个节点、186 连接,密度为 0.0027。每个节点代表一名作者,连接表示作者之间的合作关系。从作者合作网络中可以看出,研究精准扶贫的学者较多,但是相互之间的合作较少。

表 1 精准扶贫研究发文数量作者排名(大于 10 篇)

序号	作者	频次	年度	序号	作者	频次	年度
1	莫光辉	22	2016	7	曾维忠	11	2016
2	张琦	17	2015	8	庄天慧	11	2016
3	黄承伟	16	2016	9	许汉泽	11	2016
4	汪三贵	15	2016	10	李小云	11	2016
5	左停	13	2016	11	邢成举	10	2016
6	郑瑞强	13	2015	12	陈成文	10	2017

研究精准扶贫的学者中,以广西大学的莫光辉^[3]发文数量最多,有 22 篇,接下来依次是北京师范大学的张琦、国务院扶贫办全国扶贫宣传教育中心的黄承伟、中国人民大学的汪三贵^[4]、中国农业大学的左停^[5]、江西农业大学的郑瑞强^[6]等,发文数量超过 10 篇的共有 12 人。通过对作者的统计分析,可以得知我国精准扶贫的研究不仅需要更多学者的加入,还需要加强学者之间的合作和交流。

3.2 机构分布情况

我国研究精准扶贫的机构以高校为主,如表 2 所示。此外,科学院、社会科学院对精准扶贫也有所研究。机构合作网络中含 223 个节点、77 连接,密度为 0.0031。与作者分布情况相似,机构之间的合作极少,各机构间的横向合作有很大的提升空间。

表 2 精准扶贫研究发文频次机构排名(前 10)

序号	发文机构	频次
1	中国农业大学人文与发展学院	45
2	中国科学院地理科学与资源研究所	26
3	广西大学公共管理学院	20
4	中国人民大学农业与农村发展学院	20
5	中国社会科学院农村发展研究所	19
6	中央民族大学经济学院	17
7	中国科学院大学	17
8	四川大学经济学院	16
9	西北农林科技大学人文社会发展学院	16
10	华中师范大学社会学院	16

4 精准扶贫的研究内容、热点和趋势分析

4.1 研究内容——关键词共现分析

关键词共现分析,可以直观反映某学科领域的研究情况。在 CiteSpace 软件中,把 2014 年

至 2019 年的数据,按 1 年时间切片,并按照“Top50”规则提取关键词,根据关键词出现的频次进行排名,得到表 3 所示按频次排名前 24 的关键词统计表。中心性超过 0.1,就表示通过该节点开展的研究比较多,该节点的影响力比较大^[7]。(频次:表示关键词在文献中出现的次数;中心性:表示该关键词在所有关键词中的地位)

表 3 关键词的频次和中心性统计分布

序号	关键词	频次	中心性	序号	关键词	频次	中心性
1	精准扶贫	1926	0.74	13	乡村旅游	44	0.10
2	贫困户	116	0.35	14	习近平	44	0.11
3	精准脱贫	108	0.12	15	多维贫困	44	0.07
4	脱贫攻坚	99	0.08	16	教育精准扶贫	41	0.05
5	民族地区	85	0.06	17	精准识别	41	0.17
6	乡村振兴	76	0.05	18	农村	40	0.08
7	扶贫开发	71	0.10	19	文化扶贫	38	0.15
8	职业教育	65	0.03	20	反贫困	36	0.05
9	贫困治理	63	0.17	21	路径	33	0.01
10	产业扶贫	61	0.08	22	大数据	31	0.04
11	金融扶贫	59	0.06	23	扶贫对象	27	0.12
12	教育扶贫	45	0.15	24	建档立卡	25	0.18

由表 3 可知,频次排名和中心性排名均靠前的关键词有:精准扶贫、贫困户、精准脱贫、扶贫开发、贫困治理、教育扶贫、乡村旅游、精准识别、文化扶贫、扶贫对象、建档立卡等。通过关键词共现分析,可以归纳出精准扶贫研究的内容主要为:

(1)对精准扶贫相关政策的解读,即精准扶贫的概念研究^[8]。精准扶贫是解决脱贫攻坚的重要指导思想,随着扶贫工作的推进,形成了成熟完备的精准扶贫理论基础,指引着地方扶贫政策的确立和实施。

(2)精准扶贫存在的问题和遇到的困难,即精准扶贫要解决什么问题。包括对扶贫对象的研究和精准识别,对多维贫困、深度贫困的认识,对“返贫”如何处理等。

(3)精准扶贫的路径探索^[9],即怎么实现精准扶贫。针对不同地区不同情况提出了不同的扶贫方案如金融扶贫、教育扶贫、旅游扶贫、文化扶贫等。

(4)精准扶贫实施过程中的具体方案和方法。通过建档立卡初步确定贫困户,通过大数据的方法实现“识真贫”。

4.2 研究热点——关键词聚类分析

在 CiteSpace 软件中,将 2014 年至 2019 年的数据,按 1 年时间进行切片,按照“Top50”规则提取高频关键词,并聚类,通过 LLR(Log-likelihood ratio,对数似然比)算法提取聚类标签,得到图 2 所示关键词聚类图谱,可知 Modularity $Q=0.5801$, Mean Silhouette $=0.5494$ 。聚类模块值 Modularity $Q>0.3$ 说明聚类结构显著,聚类结果是可信的;聚类平均轮廓值 Mean Si-

houette>0.5,说明聚类是比较合理的。经过滤,得到 8 个聚类群组,反映了最近几年的研究热点。



图 2 精准扶贫关键词聚类图谱

根据关键词聚类分析的结果,对国内“精准扶贫”研究的热点领域可归纳到如下几个方面:

- (1) 围绕金融机构、扶贫贷款、政策性金融、引导基金、信贷扶贫、政策性银行、互联网金融等开展的金融扶贫研究。
- (2) 新时代精准扶贫的内涵研究。
- (3) 围绕教育信息化的教育精准扶贫研究。
- (4) 政策执行过程中的实践困境及其对策研究。
- (5) 对贫困地区、贫困村、贫困户等扶贫对象的研究。只有对扶贫对象本身、贫困原因、贫

精准扶贫研究历年关键词的变化,也反映了我国精准扶贫逐渐从理论走向落地实施的过程。

结语

本文基于 CiteSpace,选取 2014 年至 2019 年“精准扶贫”相关文献为样本数据,通过作者合作网络、机构合作网络和关键词共现分析、聚类分析、时区图分析,对精准扶贫的研究现状、热点和趋势进行了可视化呈现,得出如下结论:

(1)精准扶贫的研究具有政策性和时效性,自 2013 年“精准扶贫”思想首次被提出之后,引起了学术界研究的热潮,发文数量持续增长,研究整体上呈现良好发展态势。

(2)通过分析作者、机构合作网络可知,当前致力于研究精准扶贫的学者、机构数量众多,但作者之间、机构之间缺少合作,需要加强相互之间的交流和合作,从而推动精准扶贫研究的开展。

(3)通过对关键词共现分析、聚类分析、时区图分析,可以知道精准扶贫的研究内容、热点以及趋势。研究内容包括精准扶贫指导思想、问题和对策、路径、具体实施方案等。研究热点集中在金融扶贫、教育精准扶贫、新时代、政策执行、贫困、反贫困、大数据、社会治理八个领域。通过关键词时区图谱,可以看出在不同时期精准扶贫有不同的研究重点以及整个研究的演变历程。

综上所述,利用 CiteSpace 对“精准扶贫”相关文献的研究,可以揭示精准扶贫研究的整体发展情况和发展脉络,预测之后的发展方向。2020 年是决战脱贫攻坚的关键时期,预估对“精准扶贫”效果的评价考核、脱贫户返贫与返贫风险监测、脱贫人口和所在地区的自我发展能力,以及稳定脱贫持续发展的长效机制构建等方面的研究,将会成重点。

参考文献:

- [1] 田军. 信息可视化分析工具的比较分析——以 CiteSpace、HistCite 和 RefViz 为例[J]. 图书馆学研究, 2014, (14): 90—95, 54.
- [2] 王超, 刘俊霞. 中国反贫困工作 40 年历史演进——基于 1979~2018 中国反贫困政策的量化分析[J]. 中国农村经济, 2018, (12): 2—18.
- [3] 莫光辉. 精准扶贫: 中国扶贫开发模式的内生变革与治理突破[J]. 中国特色社会主义研究, 2016, (2): 73—94.
- [4] 汪三贵, 殷浩栋, 王瑜. 中国扶贫开发的实践、挑战与政策展望[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2017, (7): 18—25, 189.
- [5] 郑瑞强. 精准扶贫的政策内蕴、关键问题与政策走向[J]. 内蒙古社会科学(汉文版), 2016, (5): 1—5.
- [6] 左停, 杨雨鑫, 钟玲. 精准扶贫: 技术靶向理论解析和现实挑战[J]. 贵州社会科学, 2015, (8): 156—162.
- [7] Chaomei C. Citespace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature[J]. Journal of the Association for Information Science & Technology, 2014, 57(3): 359—377.
- [8] 杨玉杰, 李志红. 基于文献可视化工具(SATI)的精准扶贫研究热点及趋势分析[J]. 科技促进发展, 2019, (15): 734—739.
- [9] 邓维杰. 精准扶贫的难点、对策与路径选择[J]. 农村经济, 2014, (6): 78—81.
- [10] 郑瑞强, 曹国庆. 基于大数据思维的精准扶贫机制研究[J]. 贵州社会科学, 2016, (10): 87—96.
- [11] 莫光辉. 大数据在精准扶贫过程中的应用及实践创新[J]. 求实, 2016, (10): 87—96.

文章编号:1001-9383(2020)04-0080-10

大运河江苏段沿线城市三生空间冲突的演化特征

林芙蓉¹,车通¹,罗云建^{1,2}

(1. 扬州大学园艺与植物保护学院/生物科学与技术学院,江苏扬州 225009

2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家重点实验室,北京 100085)

摘要:定量探讨三生空间的冲突可为国土空间管控提供科学依据和数据支撑。以大运河江苏段沿线城市为研究区,利用1980、1990、2000、2010和2018年的五期影像,构建三生空间冲突测度模型,探求大运河江苏段三生空间冲突的演化特征。结果表明:1980年—2018年三生空间格局变化明显:生产空间的面积由38408.59 km²持续减少到31993.95 km²,降幅16.7%;生活空间的面积逐年增加,从1980年的7283.18 km²到2018年的13273.86 km²,增幅达82.3%;生态空间面积整体保持稳定。38年间研究区的空间冲突也随之发生变化:稳定可控的区域零散分布于运河周边,面积变化趋势表现为先减少后增加,于2000年达到最小值;基本可控的大片地区与大面积的水体具有高度的重合性,变化趋势与稳定可控一致;基本失控的区域散布于整个研究区,但面积逐年下降;严重失控的地区主要集中于研究区南部(镇江、常州等),前期呈现扩张之势,2000年之后开始收缩。冲突强度较低的土地利用结构以水体和建设用地为主,冲突强度较高的区域主要发生在耕地和建设用地之间。此外,部分林地和局部水体处于长期失控状态。

关键词:三生空间;空间冲突;时空特征;大运河江苏段

中图分类号:P901

文献标识码:A

Changes in spatial conflict among production-ecological-living spaces of the cities along the Grand Canal (Jiangsu Section)

LIN Fu-rong¹, CHE Tong¹, LUO Yun-jian^{1,2}

(1. College of Horticulture and Plant Protection/College of Bioscience and Biotechnology,

Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research

Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Quantifying spatial conflict among production-ecological-living spaces can provide scientific basis and data support to control terrestrial spaces. In this study, 30 m resolution Landsat images (1980, 1990, 2000, 2010 and 2018) were used to explore changes in spatial conflict among production-ecological-living spaces of the cities along the Grand Canal (Jiangsu

收稿日期:2020-06-12

基金项目:大运河文化带建设研究院专项(DYH18YB04);国家自然科学基金(31500388);扬州市重点研发项目(社会发展)专项(YZ2019051);中国博士后科学基金(2016M601144、2017T100112)

作者简介:林芙蓉(1996-),女,江苏句容人,硕士研究生,主要从事城市景观生态学的研究。

通信作者:罗云建,Email:yjluo@yzu.edu.cn

Branch). Results showed that production space area gradually decreased from 38408.59 km² in 1980 to 31993.95 km² in 2018, falling by 16.7%; living space expanded from 7283.18 km² in 1980 to 13273.86 km² in 2018, increasing by 82.3%; ecological space was in a stable state. According to spatial conflict intensity, four levels were categorized in an increasing order: stable and controllable, basically controllable, basically uncontrollable, and severely uncontrollable. Stable and controllable regions were scattered around the canal. Change trend of area in this level decreased from 1980 to 2000, and then increased. Most areas belong to basically controllable level were lakes such as Lake Taihu, Gaoyou, Hongze and Luoma, whose trend was the same as stable and controllable level. The region under basically controllable level was distributed widely but decreased from 1980 to 2018. The severely uncontrollable region was mainly in the southern cities (e. g. Zhenjiang and Changzhou), and its area firstly expanded from 1980 to 2000, and then shrank gradually. The land use structure with low conflict intensity was dominated by water and built-up land, while the area with high conflict intensity happened between farmland and built-up land. In addition, some woodlands and water were out of control for a long time.

Keywords: Ecological- production- living spaces; Spatial conflict; Spatiotemporal pattern; The Grand Canal (Jiangsu Section)

大运河作为我国唯一“在用”的世界文化遗产,在生态、经济、文化领域中一直发挥着重要功能^[1]。改革开放以来,大运河地区在经济社会迅猛发展的同时,也经历了城市化快速推进、乡村转型发展提速、区域建设开发相对粗放等过程,严重改变了区域土地利用结构,“生态—生产—生活”(简称三生)空间之间的冲突日益尖锐,并由此引发了一系列生态环境问题,威胁着区域生态安全。如何优化管控三生空间冲突,促进生态空间山清水秀、生产空间集约高效、生活空间宜居适度,实现国土空间融合发展,已经成为国家政府部门和学术界关注的热点难点^[2]。

空间冲突是土地利用冲突内涵的丰富与延伸,源于空间资源的数量有限性及功能的多宜性^[3]。近些年,人们基于不同视角,对土地利用空间冲突进行了较为广泛的研究,内容主要涉及土地利用冲突的来源、类型、识别、演变、机制、预测、管理等工作^[3-9]。这些研究整体呈现从静态研究到动态分析、从过程认知到机制探索、从定性描述到定量解析的发展态势。但也存在一些不足:(1)以短时间序列研究为主,缺乏从长时间序列上定量探究土地利用空间冲突的演变特征及内在机制;(2)关注特定行政范围(如城市群、省、市),缺乏对流域尺度的关注;(3)相对缺乏基于“三生”空间联动的研究。

大运河江苏段是中国大运河的发祥地^[10],流经了徐州、宿迁、淮安、扬州、镇江、常州、无锡、苏州等8个地级市,但面临着资源环境形势严峻、生态空间挤占严重等突出问题^[11]。在深入推进长三角城市群一体化和大运河文化带建设的关键期,本文以江苏段沿线八市为研究对象,基于1980—2018年多期Landsat卫星影像,定量研究改革开放以来三生空间结构及冲突的演化特征,将为生态运河的保护开发、规划建设、国土空间优化等工作提供科学依据和数据支撑。

1 研究区概况

大运河江苏段($30^{\circ}47'—34^{\circ}58'N$ 、 $116^{\circ}22'—121^{\circ}20'E$),全长 683 km,流经徐州、宿迁、淮安、扬州、镇江、常州、无锡和苏州 8 个地级市(图 1)。地处暖温带和北亚热带的过渡区,气候温和、四季分明、雨热同期,年均气温 $15^{\circ}C$,年均降水量 1027 mm。

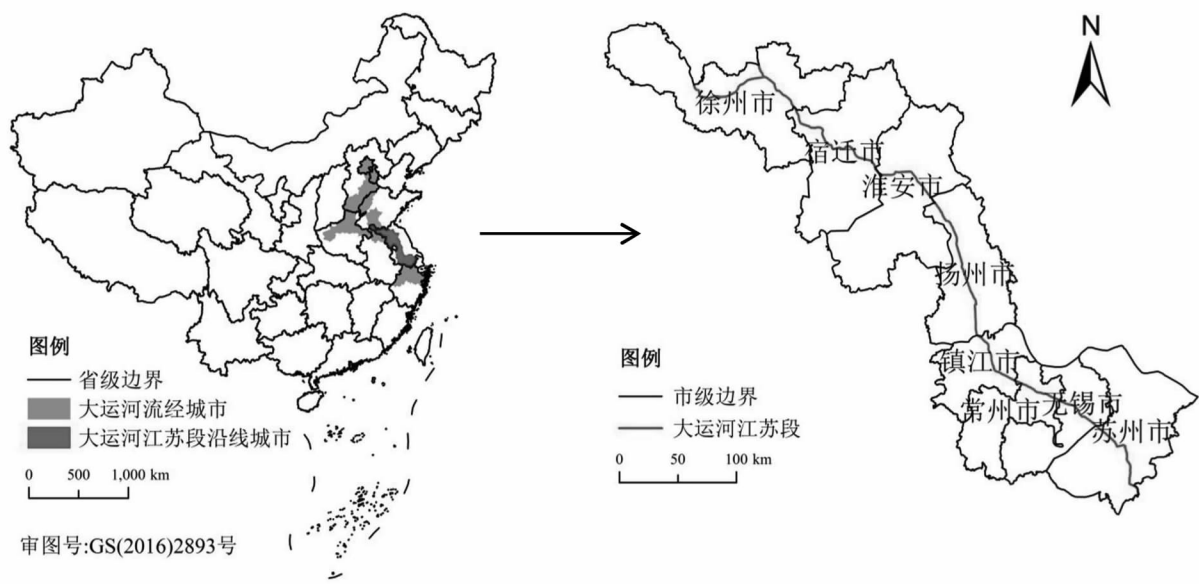


图 1 大运河江苏段沿线城市的区位图

2 数据与方法

2.1 数据来源及预处理

以空间分辨率为 30 m 的 1980 年—2018 年五期 Landsat 影像为数据源(1980 年为 Landsat MSS 影像,1990、1995、2000 和 2010 年为 Landsat TM/ETM 影像,2018 年为 Landsat 8 OLI 影像),所选影像成像较好,研究区内晴朗无云。在对影像进行辐射校正、几何纠正、裁剪等预处理的基础上,采用中国科学院土地利用分类体系^[12],根据监督分类(最大似然法)和目视解译,将土地利用类型分为 5 个一级类型(耕地、林地、草地、水体和建设用地)和 13 个二级类型。利用 ArcGIS 随机选点的功能,选取 500 个点,得到 1980、1990、2000、2010 年和 2018 年解译结果的精度分别为 88.8%、90.8%、93.2%、91.3%和 93.9%,能够满足解译数据精度要求。

2.2 研究方法

2.2.1 三生空间的划定

科学准确地划分空间类型是研究三生空间结构及冲突的前提。目前对三生空间的划分有两种方法。(1)基于土地利用类型的划分:依据土地的主要功能,对土地利用类型进行归并处理,从而确定三生空间^[13-14];(2)基于土地主体功能的划分:根据土地功能在主次强弱上的差异,对土地的生态、生产和生活功能进行赋值量化,从而确定土地的主体功能^[15-16]。前者实现了与传统土地利用的衔接,在一定程度上兼顾了土地的功能,但对其主体功能动态性的考虑有

所欠缺;后者具备目标地域的针对性和评价体系的综合性,在三生功能评价上有一定的优势,但却难以开展多主体的空间叠加融合^[17]。

根据研究需要,本文采用第一种方法,划定大运河江苏段的三生空间(表1),以便探究三生空间结构及冲突的演变特征。

表1 大运河江苏段三生空间的划分

空间类型	具体对应的土地利用类型
生态空间	有林地,灌木丛,疏林地,草地,河渠,湖泊,水库坑塘,滩地
生产空间	水田,旱地,各类园地等其他林地
生活空间	城镇用地、农村居民点,工矿、工业区、盐场、交通道路等其他建设用地

2.2.2 三生空间冲突分析的尺度

本文采用杨清可等^[18]提出的方法,即网格数约为斑块数的1/2,确定合理的研究尺度(网格大小)。1980、1990、2000、2010年和2018年5个时期的斑块数分别约为8.9万、8.8万、4.7万、4.3万和4.2万个。经过多次实验,使用1500 m×1500 m网格对研究区进行等间距划分最为合理,进而将研究区划分成26632个网格。

2.2.3 三生空间冲突强度的度量

综合考虑三生空间冲突的复杂性、脆弱性及动态性,三生空间的冲突强度可用公式 $SCCI = SCI + SFI - SSI$ 来度量,式中SCCI为空间冲突综合指数,SCI为空间复杂性指数,SFI为空间脆弱性指数,SSI为空间稳定性指数^[2,19]。此外,为研究三生空间冲突的演化特征,本文选用Min-max标准化方法,对SCCI进行标准化。

(1)空间复杂性指数。城市扩张使土地利用变得复杂破碎,导致土地利用效率低下与空间冲突加剧。空间复杂性采用面积加权平均斑块分形指数(AWMPFD)来表征。该指数反映了人类活动对空间景观格局的影响,其值越大,受人类干扰水平越低。

$$AWMPFD_i = \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right] \quad (1)$$

式中, n 为空间类型数量(即生态空间、生产空间和生活空间, $n=3$), i 为第 i 个网格, j 为第 j 个空间类型, P_{ij} 为斑块周长, a_{ij} 为斑块面积, A 为网格面积,

(2)空间脆弱性指数。土地系统的脆弱性主要来自于外部压力的影响,不同的土地利用在不同时期对外界干扰的抵抗力存在较大差异。基于三生空间面积转移矩阵^[19-21],定量评价三生空间的脆弱性:

$$SFI_i = \sum_{j=1}^n F_j \times \frac{a_i}{A} \quad (2)$$

式中, n 为空间类型数量(即生态空间、生产空间和生活空间, $n=3$), F_j 为第 j 类空间的脆弱度(生产空间的脆弱度设为5,生态空间为3,生活空间为1), a_i 为第 i 个网格中各个空间类型的面积, A 为网格面积。

(3)空间稳定性指数。一般情况下,土地利用单元的空间形态越破碎,稳定性越差,空间冲突越强烈。本文选用景观破碎度指数来衡量土地利用的稳定性:

$$SSI_i = 1 - PD_i = 1 - \frac{n_i}{A} \quad (3)$$

式中, PD 为斑块密度, n_i 为第 i 个网格内的斑块数量, A 为网格面积。

3 结果与分析

3.1 三生空间的结构演变

从 1980 年到 2018 年, 生产空间的面积由 38408.59 km² 持续减少到 31993.95 km², 面积占比下降了 11.2%; 生活空间的面积逐年增加, 其面积占比增加了 10.4%; 生态空间面积略有增加, 但整体保持稳定(表 2)。在长达 38 年的时间里, 整体表现为生产空间与生活空间的冲突博弈, 其中两者在 2000 年—2010 年间的面积变化最为剧烈。

表 2 1980 年—2018 年三生空间的结构变化

年份	生产空间		生态空间		生活空间	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
1980	38408.59	66.6	12016.10	20.8	7283.18	12.6
1990	38232.32	66.3	12104.50	21.0	7371.05	12.8
2000	36512.49	63.3	12283.02	21.3	8912.37	15.4
2010	32712.77	56.7	12535.70	21.7	12458.05	21.6
2018	31993.95	55.4	12440.06	21.6	13273.86	23.0

生活空间随着时间的推移, 从市中心向外成辐射状扩张, 不断吞食生产空间和生态空间, 导致生产空间和生态空间日益破碎化(图 2)。从地区分布来看, 南北差异明显, 苏州、无锡、常州的城市化水平高, 生活空间面积占比提升较快, 生活空间分布日趋集中; 徐州、宿迁、淮安的生活空间分布较为分散, 但也呈现出整体连片的趋势。

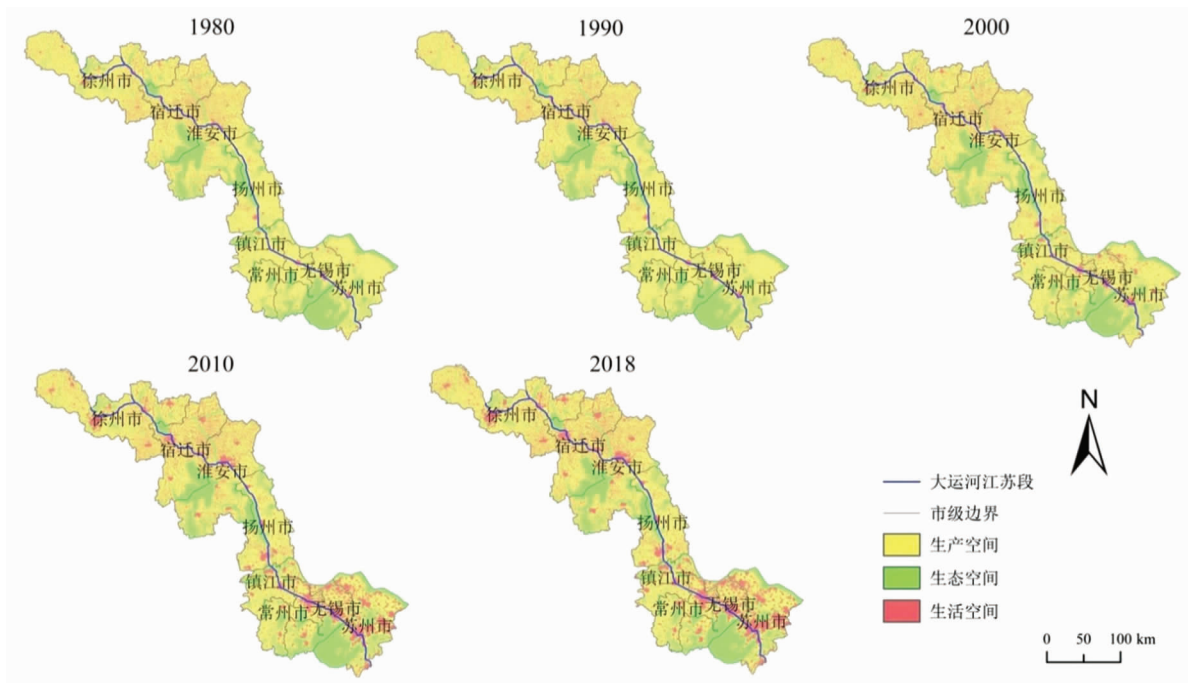


图 2 1980 年—2018 年大运河江苏段沿线城市三生空间的分布格局

3.2 三生空间的冲突分析

3.2.1 三生空间冲突的演化特征

依据三生空间冲突的可控性,并结合研究区空间冲突指数的频数分布图,将冲突划分为4个级别:稳定可控 $[0.0,0.5)$ 、基本可控 $[0.5,0.7)$ 、基本失控 $[0.7,0.8)$ 和严重失控 $[0.8,1.0]$ (图3)。

从空间分布上看,稳定可控的区域零散分布于运河周边,早期主要位于常州、无锡,后在各市均有分布,并逐渐向外扩张,在研究区南部(常州、无锡、苏州)有连片的趋势,与生活空间中城镇空间的分布保持着相对一致性(图4)。处于基本可控级别的地区主要分布于水体周围,尤其与大面积的水体——太湖、高邮湖、洪泽湖和骆马湖有着高度的重合性。基本失控的区域分布较广,集中分布与徐州的丰县和沛县、淮安的涟水县和城区的北部、扬州、无锡的江阴市、苏州的北部。近年来,处于该级别的区域面积有所减少,尤其在研究区南部(无锡、苏州)面积锐减。严重失控的地区较为集中,主要位于研究区的镇江、常州和无锡,并逐渐向南北扩张,于2000年面积达到最大值,随后冲突强度有所下降,可控性得到了提高,但研究区的中南部(扬州、镇江、常州)依旧是该级别的主要分布区域。

整体来看,不同级别的年变化趋势不尽相同(图5)。稳定可控和基本可控有着相似的变化趋势,均呈现出先下降再增长的态势,于2000年达到最小值,分别为5.81%和30.36%。基本失控的面积逐年下降,面积占比从1980年的48.31%到2018年的38.47%,共减少9.83%。严重失控的年变化曲线变化规律与稳定可控和基本可控完全相反,表现为先增后减,于2000年达到最大值17.68%。从市级进行分析,徐州、宿迁、淮安、扬州、镇江和苏州与整体基本保持一致趋势;常州和无锡基本可控的面积占比却表现为先增后降,于2010年达到最大值30.83%和48.37%。

3.2.2 不同冲突可控级别的土地利用结构及其变化

上文根据冲突的可控性,分级别展示了它们的面积占比情况,并从研究区整体和市级两个角度展开分析。下面将探究各级别下的土地利用结构,由于各市的总体趋势与整体几乎保持一致,在此只展示整体的土地利用情况(图6),得到以下结果:

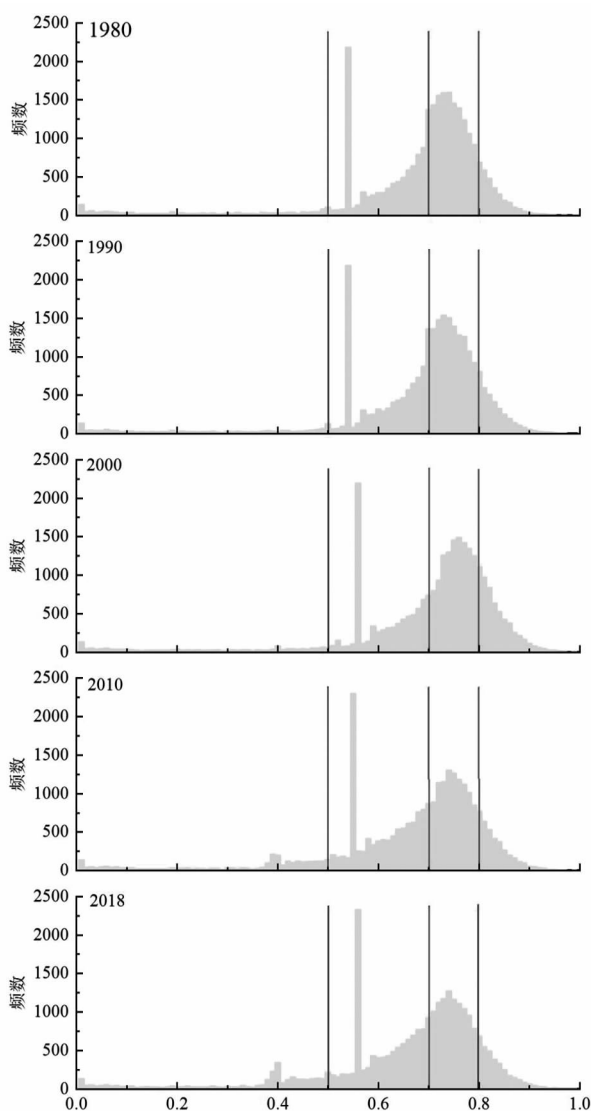


图3 冲突综合指数的频数分布图

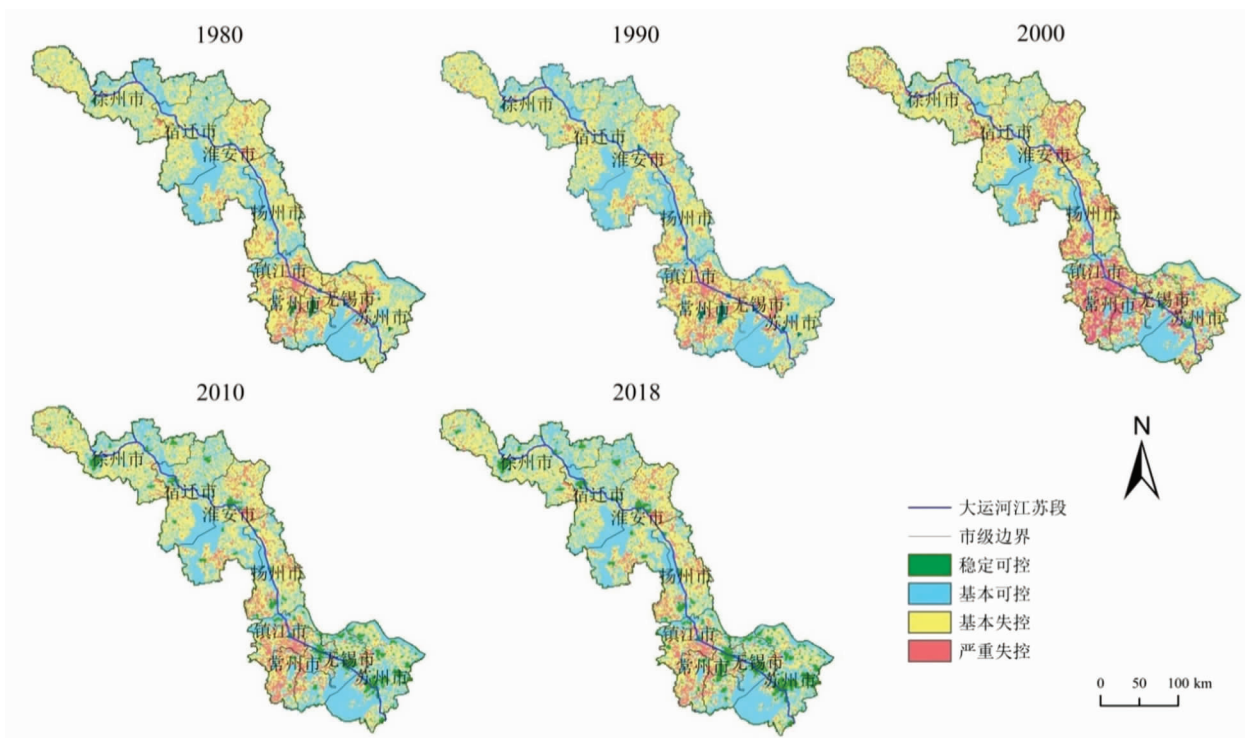


图4 1980年—2018年大运河沿线城市三生空间冲突强度的分布

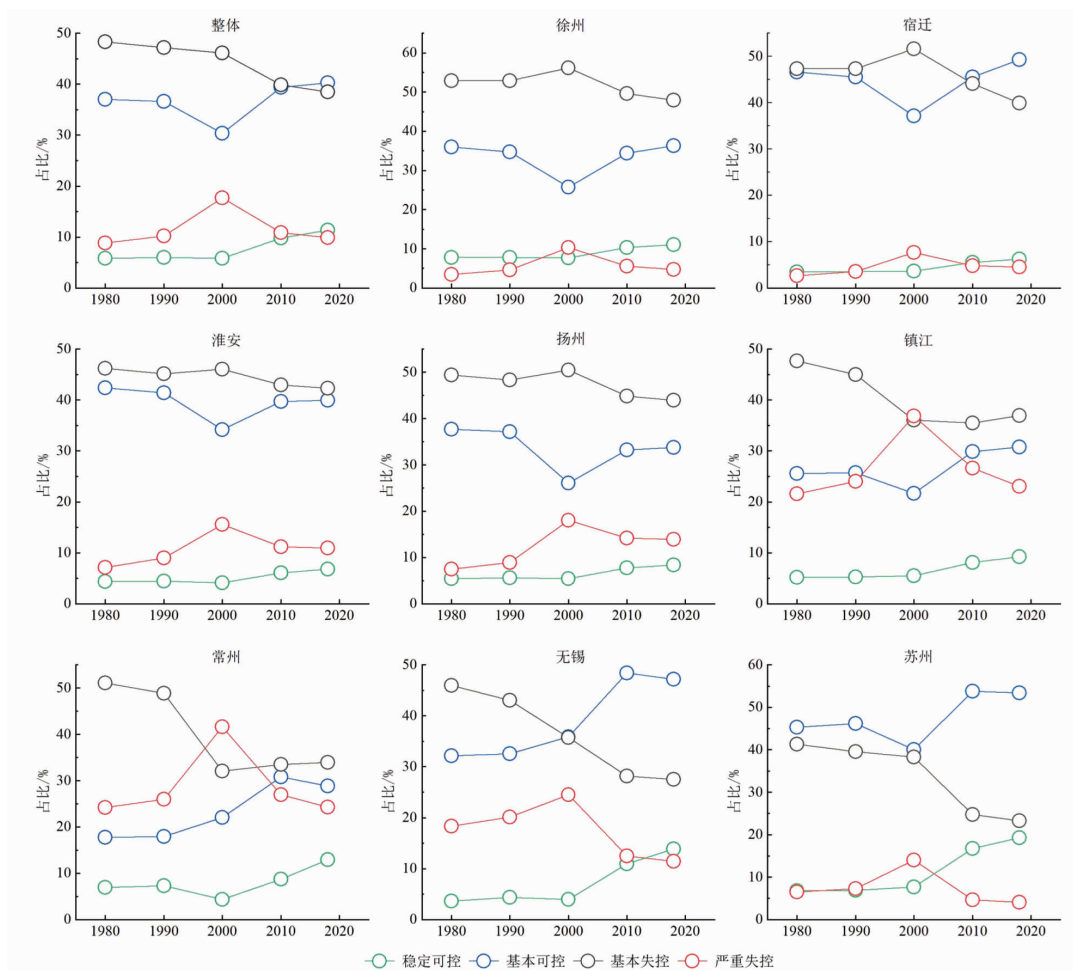


图5 1980年—2018年不同空间冲突级别面积占比的变化

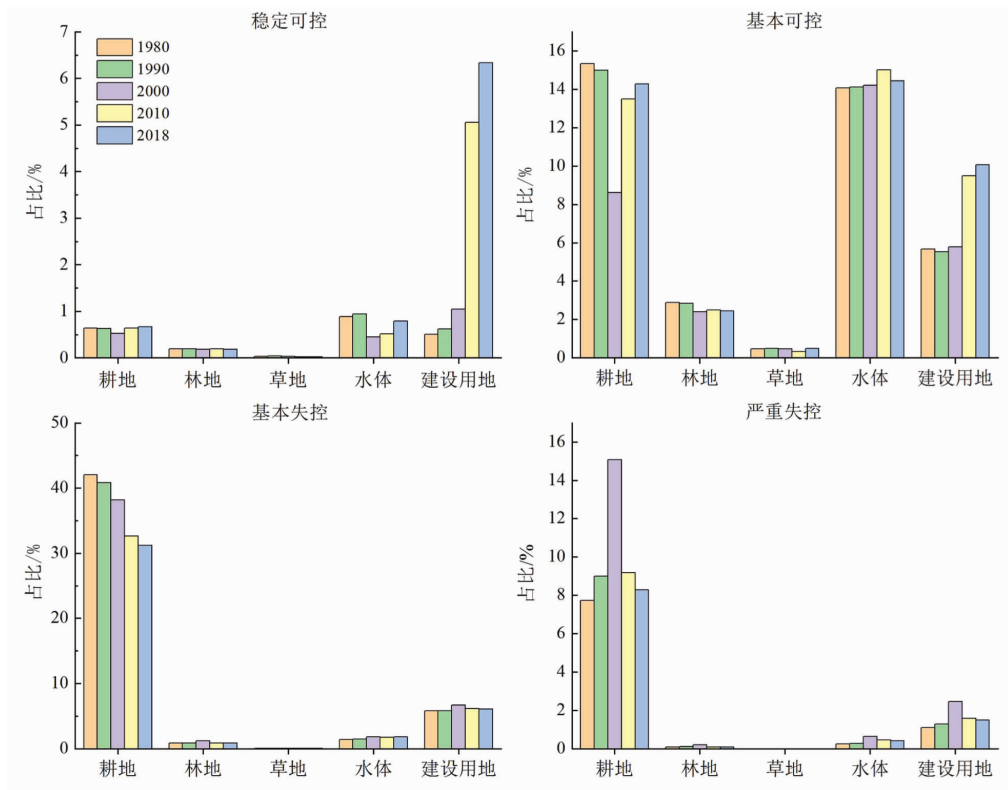


图6 大运河江苏段沿线城市不同冲突可控级别土地利用类型结构的变化

(1)稳定可控:主要的土地利用类型为耕地、水体和建设用地。稳定可控级别下的耕地年变化不大;水体在2000年的面积有较大的缩减,后期又有所回转,总体较为稳定;建设用地的面积呈现一直上升的趋势,在2000年—2010年上升的幅度最大,于2018年达到6.3%,成为稳定可控的主要土地利用类型。

(2)基本可控:土地利用结构较为丰富,各土地利用均占有一定比例。水体和耕地是该级别最主要的土地利用类型。1990年—2000年处于该级别的耕地面积减少较多,其他年份变化不大;水体、林地和草地多年来相对保持稳定,年平均分别为14.4%、2.6%和0.4%;建设用地于2000年—2010年增加较大。

(3)基本失控:主要土地利用类型为耕地,建设用地次之。该级别下的耕地面积逐年递减,由1980年的42.0%到2018年的31.2%,共减少10.8%;建设用地1980年—2018年相对稳定,于2000年达到最大值6.7%;水体、林地和草地总体表现为稳定,1980年—2018年的平均值分别为1.6%、0.9%和0.1%。

(4)严重失控:严重失控和基本失控的土地利用结构相差不大,但在年变化上具有一定的差异。同时,该级别的各土地利用类型均呈现出先升后降的趋势,间接表明了研究区可控性有所提高。

4 讨论

1980—2018年研究区三生空间的结构变化明显(图2),其中,各空间在2000年—2010年面积变化最为显著。这主要是因为自1978年改革开放以来,我国经济 and 城市化得到快速发

展,建设用地不断扩张,尤其在2000年—2010年间扩张速度最高,这与施利锋等^[22]的研究完全符合。对三生空间冲突的计算结果进行统计,发现研究区冲突情况依然不容乐观,半数区域(48.4%—57.1%)处于失控之中(图5)。Zhang等^[23]从全国分析,表明冲突程度高的地区集中在经济社会功能高、生态功能低的经济发达城市。京津冀城市群、长三角城市群和珠三角城市群都具有较高的冲突水平。研究区隶属长三角地区,与Zhang等^[23]的结论是一致的。

虽然冲突形势严峻,但是本研究发现2000年后随着时间推移,研究区的冲突情况有所好转:处于严重失控级别的地区可控性有所加强,稳定可控和基本可控的面积稍有增加。究其原因,主要是城市化水平提高,受人影响程度加大,所以复杂性指数下降。同时,随着建设用地占比增大,小斑块之间产生了连接,斑块数量减少,逐渐形成城市网络,使得系统越发稳定,因此脆弱性指数降低,稳定性指数升高,综上导致冲突综合测度指数下降。从土地利用方面进行分析,处于失控区域的主要土地利用类型为耕地和建设用地,其中耕地是失控地区的最主要的土地利用,然而研究区的耕地面积逐渐减少,这可能是导致冲突可控性级别有所降低的原因之一。这些变化与政策导向也有一定的关系,如党的十七届五中全会明确要求“树立绿色、低碳发展理念”。十八大报告再次论及“生态文明”,并将其提升到更高的战略层面,并由“四位一体”变为“五位一体”。同时大运河申遗的成功,运河沿线城市按照各市特色和需求对大运河进行保护与利用也为冲突可控性的增加贡献了一份力量。

研究区冲突情况也具有南北差异、城乡差异以及边缘效应。首先,各市不同冲突级别的年变化曲线与整体基本保持一致趋势,但是在数量上具有南北差异:研究区南部(镇江、常州)空间冲突情况比北部(徐州、淮安、宿迁)严峻,表明南部地区的空间结构状况不甚良好,与前人的研究相似(葛亮等,2019)。其中,苏州城市化水平最高,发展最快,又有大面积的水系(太湖),因此冲突综合测度指数偏低,与其他市的变化相差较大。其次,城乡差异明显。城市中心结构较好,所以多半处于稳定可控;乡村同属建设用地,但是与其他土地利用的接触面较广,尤其是耕地。根据研究发现使得可控性较差的很大一部分原因是耕地和建设用地之间的转变,因此乡村的冲突可控性相对城市较差。最后,由于冲突产生的最基本原因就是空间之间的博弈,导致边缘效应明显。

冲突不同可控级别的土地利用结构亦存在差异:处于可控的区域集中于水体等生态用地和一些建设用地;失控区域主要发生于耕地和建设用地之中,主要原因是这两种土地利用类型本身的基数就较大,而且城区扩张导致两种土地利用发生冲突加剧(图6)。林地和草地的基数小,因此在各级别下的面积占比相对较少。然而,研究区的部分林地处于失控级别,可见林地的冲突情况也不容乐观,需要一些政策支持来保护林地。绝大部分的水体处于基本可控级别,部分处于失控级别,表明研究区的局部水域可能存在破碎化严重等问题。同时,研究区为大运河江苏段沿线城市,水系较为发达,故而对水体的保护规划就显得尤为重要。

5 结论

基于三生空间视角,本文构建了三生空间冲突综合测度模型,对1980年—2018年间大运河江苏段沿线城市三生空间冲突的演化特征进行分析得到以下结论:

(1)1980年—2018年间生产空间面积虽然逐年减少,但始终占据主导地位,占总面积的一半以上;生态空间分布集中,总体变化不大,略有提升;生活空间零散分布,但面积占比不断

升高。

(2)空间分布上稳定可控的区域零散分布于运河周边;严重失控的地区分布较为集中,主要位于研究区西南部和中部;基本可控和基本失控的面积较大,分布较广。

(3)研究区的冲突情况近年来有所好转,但情况仍不容乐观。需要合理规划城区的扩建,并对耕地进行一些整改,使两者能够较好的发展,这对降低冲突有一定的作用。水体以及林地等生态空间的保护也势在必行,林地大部分处于基本失控之中。此外,近年来水体的局部地区不断恶化,导致了在严重失控中面积增加,需要对这些地区加以重视。

参考文献:

- [1] 夏锦文. 以系统思维“三位一体”建设大运河文化带[J]. 群众, 2018, (11): 15-16.
- [2] 廖李红, 戴文远, 陈娟, 等. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1823-1833.
- [3] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 等. 基于 CLUE-S 模型的县域生产—生活—生态空间冲突动态模拟及特征分析[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5897-5908.
- [4] Campbell D J., Gichohi H., Albertmwangi, et al. Land use conflict in Kajiado District, Kenya[J]. Land Use Policy, 2000, 17: 337-348.
- [5] 于伯华, 吕昌河. 土地利用冲突分析: 概念与方法[J]. 地理科学进展, 2006, (03): 106-115.
- [6] 杨永芳, 朱连奇. 土地利用冲突的理论及诊断方法[J]. 资源科学, 2012, 34(06): 1134-1141.
- [7] 周国华, 彭佳捷. 空间冲突的演变特征及影响效应——以长株潭城市群为例[J]. 地理科学进展, 2012, 31(06): 717-723.
- [8] 彭佳捷, 周国华, 唐承丽, 等. 基于生态安全的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(09): 1507-1519.
- [9] 贺艳华, 唐承丽, 周国华, 等. 基于地理学视角的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群地区为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1660-1674.
- [10] 阮超毅. 京杭大运河江苏段标志性景观设计研究[D]. 南京林业大学, 2007.
- [11] 葛亮, 高扬, 陆春锋, 等. 京杭大运河江苏段沿线土地生态空间差异及响应[J]. 水土保持研究, 2019, 26(01): 330-337.
- [12] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京, 中国科学技术出版社, 1996.
- [13] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. 资源科学, 2015, 37(07): 1332-1338.
- [14] 白如山, 姜玉培, 江进德. 江淮城市群“三生”空间结构的多尺度分析[J]. 中国名城, 2016, (10): 21-28.
- [15] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J]. 地理学报, 2016, 71(01): 49-65.
- [16] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(07): 1290-1304.
- [17] 柳冬青, 马学成, 巩杰, 等. 流域“三生空间”功能识别及时空格局分析——以甘肃白龙江流域为例[J]. 生态学杂志, 2018, 37(05): 1490-1497.
- [18] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(01): 97-106.
- [19] 周德, 徐建春, 王莉. 环杭州湾城市群土地利用的空间冲突与复杂性[J]. 地理研究, 2015, 34(09): 1630-1642.
- [20] Kamusoko C, Aniya M, Adi B, et al. Rural sustainability under threat in Zimbabwe: Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. Applied Geography, 2009, 29(3): 435-447.
- [21] Zhou D, Lin Z L, Liu L M. Regional land salinization assessment and simulation through cellular automaton: Markov modeling and spatial pattern analysis. Science of the Total Environment, 2012, 439(15): 260-274.
- [22] 施利锋, 黄贤金. 中国大运河沿线城市扩张时空差异研究[J]. 地理科学进展, 2019, 38(08): 1206-1216.
- [23] Zhang Y N, Long H L, Tu S S, et al. Spatial identification of land use functions and their tradeoffs/synergies in China: Implications for sustainable land management[J]. Ecological Indicators, 2019, 107.

文章编号:1001-9383(2020)04-0090-09

基于生态位理论的 浮游动物时空群落分布特征及测度

尹凡,王文嫣,闫玮,赵迎希,刘明

(河北环境工程学院,河北 秦皇岛 066102)

摘要:通过对长江口及其邻近水域理化参数的分析表明,缺氧区与邻近海域浮游动物群落结构存在差异。长江口及其海域主要受长江、钱塘江、台湾暖流及江浙沿海水系的影响。且水体中硝酸盐、磷酸盐和硅酸盐从近岸到大陆架外层普遍呈下降趋势。夏季溶解氧浓度最低,长江口下游在夏季形成低氧带。由此,浮游动物的优势种具有明显的季节性演替,且得到浮游动物数量和生物量存在显著的时空变化。

关键词:浮游动物;生物多样性;群落结构;时空分布

中图分类号:Q958

文献标识码:A

Spatial and temporal community distribution characteristics of theand data measurement of zooplankton based on niche theory

YIN Fan, WANG Wen-yan, YAN Wei, ZHAO Ying-xi, LIU Ming

(Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao Hebei 066102, China)

Abstract: The physicochemical parameters of changjiang Estuary and its adjacent waters were analyzed in this paper, and the results showed that there were differences in zooplankton community structure between the anoxic area and the adjacent waters. The Yangtze Estuary and its sea areas are mainly affected by the Yangtze River, Qiantang River, Taiwan Warm current and The Coastal water systems of Jiangsu and Zhejiang. And the nitrate, phosphate and silicate in the water from the near shore to the outer continental shelf generally show a downward trend. The concentration of dissolved oxygen is the lowest in summer, and the lower reaches of Yangtze Estuary form hypoxia zone in summer. Thus, the dominant species of zooplankton had obvious seasonal succession, and there were significant spatiotemporal changes in zooplankton quantity and biomass.

收稿日期:2020-09-26

基金项目:河北省科技厅科技计划项目(20557689D、20557694D);河北省人社厅“三三三人才资助工程”资助项目

作者简介:尹凡(1983-),女,河北省石家庄人,博士,副教授,研究方向:环境经济学等。

通讯作者:王文嫣(2000-),女,河北省秦皇岛人,研究方向:区域经济发展等。

Keywords: Zooplankton; Biodiversity; Community structure; Time and space distribution

1 简介

河口与海湾相连,由于周围有陆地,河口有一定程度的封闭。河口是海洋资源综合利用的复杂区域,具有较为密切的生态服务功能。河口是海洋综合开发的集中区和热点地区^[1]。由于其优越的自然条件,长江口河口是许多海洋经济动物的繁殖和护理的关键场所,也是珍稀濒危海洋生物和鸟类的栖息地。它具有生产力高、生物多样和生物资源丰富等特点,在粮食生产和水净化方面发挥着重要作用。此外,还发挥着保护生物多样性、调节环境和气候等重要的生态功能^[2]。

半个多世纪以来,中国河口生态系统在多重压力下发生了巨大变化。全球气候变化,如变暖趋势和极端天气事件,可能对河口生态系统的变化产生影响。然而,人类活动对中国河口生态系统的影响更为显著^[3]。首先,近几十年来围垦已成为缓解供需矛盾、扩大社会生存发展空间的最便捷方式。其次,河口也是海洋水产养殖最常见和最主要的区域。随着人口的增长和经济社会的发展,对海产品的需求不断增加,海洋水产养殖业发展迅速。河口是接收陆基废水排放的主要区域之一^[4]。陆地污水排放继续对河口造成环境压力,局部沿海水域受到严重污染,海洋生境退化和环境灾害频繁发生。

围垦对河口生态环境的直接破坏具有暴力、破坏性和不可逆转的性质。大规模的填海工程改变了河口的面积、形状和地形,对河口的潮汐波和波浪等水动力条件产生了重大影响。这导致了水动力输沙条件的变化,侵蚀了围垦土地附近的海岸、海底地形、港口航道、河口航道和河口潮气量。填海工程改变了河口的物理和化学环境,并引起海洋生态系统的变化。围垦活动对浮游生态系统的影响通常是间接的,而对底栖生态系统的威胁则相对直接的。围海造地工程的填海、挖沙和掩埋等活动使海域的生活条件发生了巨大变化,底栖生物数量减少,群落结构发生变化,生物多样性下降。人工堤防数量的增加,使得湾内浮游植物的生态群落结构趋于简单,浮游动物生物量逐渐减少,呈现小型化趋势。底栖生物栖息地密度逐年下降,鱼卵数量处于较低水平^[5]。浮游动物对调节鱼类资源和初级生产具有重要作用。浮游动物的种类组成和种群分布将直接或间接地限制海洋生产力,这也与渔业的兴衰密切相关。一些浮游动物对污染物也极为敏感,它们对污染物的积累和转移,在生态毒理学和水环境保护中占有一定的地位。海洋水产养殖作为近海的一项重要经济活动,对浮游动物的分布特征有着重要的影响。例如,海带养殖通过营养竞争影响浮游植物和浮游动物的生长,而贝类养殖则以浮游植物和浮游动物幼虫为食,间接或直接影响浮游动物的分布^[6]。

本文利用多年来研究区综合调查和生态监测数据,研究了浮游动物群落的物种组成、优势种分布、生物量、时空分布特征和长期变化,探讨水产养殖活动对浮游动物群落特征的影响,有助于解释水产养殖活动中海洋生态系统的现状和变化,对水产养殖生态系统的可持续发展具有重要意义。

2 研究区概况

2.1 长江口及其邻近水域的生态特征

长江是我国最大的河流,年平均入海口为 $9.28 \times 10^{11} \text{ m}^3$,占海域径流总量的 84.4%。长江口地处亚热带,属中纬度季风区。长江口受长江冲刷水、台湾暖流、浙江沿岸洋流和黄海沿岸洋流的影响,独特的水文特征,如“淡水季调”和“锋移”。受季风和长江径流的影响,长江水通常呈现三种不同的扩散路径:(1)春季,长江冲淡出水口,向东南扩张;(2)从春末秋初,长江淡水主要分布在西南—东北部;(3)北风在秋天和冬天很流行。夏季,长江由于淡水涌入而堵塞,且台湾暖流主要沿长江底部向北推进;冬季,台湾暖流增加,长江涨水削弱了台湾暖流在长江表面和底部向北推进。除此,在夏季,长江东临稀水,东临低盐舌,河口为高温低盐。河口外为低温高盐区。因为其受台湾暖流影响,温度高,盐度大。而在在冬季,长江口地区为低温低盐区,河口外为高温高盐区。河口区与相邻海域垂直混合均匀,无分层现象,且春天和秋天在夏季和冬季之间过渡。

长江口介于北纬 $28^{\circ}45' \sim 33^{\circ}25'$,东经 $118^{\circ}20' \sim 123^{\circ}25'$,其具有以下化学特征:(1)长江口及邻近水域化学养分分布复杂。从长江口到大陆架外围,长江口东北部存在大量高硝酸盐地区。冬季半年主要是长江的辐散和江苏沿海高营养卤水的运移。春季和夏季台湾暖流对长江口化学养分有重要影响。在浙北沿海水域中,长江与海水的接触使水柱产生较快,从而导致了长江口水域中的限磷转化为限氮。硝酸盐和硅酸盐在长江口及其邻近水域具有良好的保守特性,而磷酸盐、亚硝酸盐等有机质具有非保守性。随着沿海地区的快速发展,长江口富营养化日益严重,长江口营养盐结构发生了重大变化。目前长江口硅酸盐浓度较高,硝酸盐和磷酸盐浓度较低。今天,含硝酸盐和磷酸盐的硅酸盐的状况已经逆转,硅酸盐浓度急剧下降,硝酸盐和磷酸盐浓度显著上升。河口地区主要营养成分由硅酸盐转变为硝酸盐,氮磷比增加一倍以上。(2)长江口低氧区的溶解氧通常受物理、化学和生物过程的影响。它维持海洋生物的生长、代谢和生殖需要,是衡量海洋生态系统和环境质量的重要指标。长江口溶解氧的分布主要受温度和盐度的影响。在春秋两季河流体垂直唾液混合,溶解氧在垂直方向均匀分布;夏季,由于三角洲水域层次分明,溶解氧垂直交换受阻。由于溶解氧的供应不足,在分解基础有机物质时造成了严重的氧损失。长江口外海域低氧带面积 13700 km^2 ,平均厚度约 20m。本文研究了长江口缺氧区长期变化及其对东海生态系统的响应。近十年来,长江口富营养化问题日益严重。它被认为是全球海洋中最大的缺氧区之一,将对东海陆架的生物地球化学循环产生影响。

2.2 浮游生物的种类及分布

浮游生物是生活在水中的漂流有机体,其缺乏有效的迁移能力。有些浮游生物有游泳的能力,但它们游得比当前的洋流快,所以它们不能在水中有效地游泳。浮游生物在海洋、湖泊和河流的水域中没有运动能力或非常弱。因此,它不能逆流而行,而是漂浮在水面上。浮游生物种类繁多,根据个体的大小,浮游生物可分为六大类(见表 1)。一般来说,浮游生物很小,但也有直径为 2 米的伞状水母。从形态上来看,浮游生物在体内了储存大量的水、油滴、脂肪和气体且在它们身上在表面有复杂的突起,因此它们十分适应漂浮。

表1 浮游生物的种类

体型大小	体型种类	详细例子
> 1 cm	巨型浮游生物	海獭
5 mm~10 mm	大型浮游生物	大型桡足类、磷虾
1 mm~5 mm	中型浮游生物	小水母、桡足类
50 μm ~1 mm	小型浮游生物	硅藻、蓝藻
5 μm ~50 μm	微型浮游生物	甲藻、金藻类
< 5 μm	超微型浮游生物	细菌

浮游生物的种类和数量随时间(主要是季节分布)和空间(主要是水平和垂直分布)而变化。根据纬度,海洋浮游生物大致可分为三类:寒带、温带和热带。一般来说,寒冷地区的浮游生物种类很少,而且每种浮游生物的数量都很大。相比之下,热带浮游生物种类繁多,每一种都很小;温带浮游生物介于两者之间。浮游生物的水平分布与寒流和暖流密切相关,因此一些种类的浮游生物常被当作寒流、暖流的指示物。例如,帆船海獭和银钱水母可以作为东海黑潮的指示物种。其影响因素抛开温度和洋流以外,盐度也会对海洋浮游生物的水平分布产生影响。一般来说,近岸浮游生物是一种分布广泛的广盐种,而近岸浮游生物是一种分布较窄的窄种。除外,营养和温度同样也会影响海洋浮游生物水平分布素。

浮游生物垂直分布和栖息在不同深度的水层中。浮游植物进行光合作用,并只分布在上层约0—200m的光里。且因为它们受的光照强度以及每个种类的需要的光照强度不同,浮游植物分布在光照层的不同层中,例如,角毛藻通常位于表层,而藻类通常位于较深的水层(>20m)。浮游动物也分布不同水层中,但各水层的种类和数量有显著差异。其他类型分布在上、中、下三层,个别物种如深海磷虾分布在深海中。胶囊水母漂浮在海面上,帆海獭等安全气囊都是漂浮的生物。一般来说,浮游动物种类(如桡足类、糠木类、浮游两栖类等)随着深度的增加而增加($\leq 1000\text{m}$),但数量随着深度的增加而减少。

3 研究内容及方法

3.1 样品采集及处理

浮游动物标本的采集和分析方法按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)执行。采用浅水型I型浮游生物网(组网规格:网眼内径为50cm,网眼长度为145cm,网眼直径为0.505mm。采集的样品立即用5%福尔马林溶液固定,然后返回实验室,在立体显微镜下(包括类型、数量等)用电子天平称量总湿重至0.01g进行分析鉴定。

从25号浮游生物网中4个深度(0.5m、2.0m、4.0m、6.0m),利用水阱采集了51个水样。混合后取1L作为浮游植物和浮游动物的定量样本。再由公式定量计数,又通过室内分析,研究水体的理化因素,主要计算水体的总磷、总氮和叶绿素a。

多样性指数计算如下:

$$D = (S - 1) / \ln N$$

$$H' = - \sum (N_i / N) \ln (N_i / N)$$

其中 N_i 为第 i 种个体数, N 为浮游动物个体总数, S 为浮游动物个体数。可以大致反映水质的优劣。

3.2 实验测算

丰度和生物量丰度: 采样时过滤水的量以每立方米水的数量 (m^3) 表示。生物量是根据每个地点浮游动物的总湿重计算的过滤水的量 (mg/m^3) 来转换的。生态优势: 浮游动物优势公式 (Y):

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中, n_i 为第 i 型个体数, n 为样本总数, f_i 为发生频率, $Y \geq 0.02$ 为优势种划分准则。优势种周转率 (R) 计算公式:

$$R(\%) = (a+b-2c)/(a+b-c) \times 100$$

其中 a 和 b 分别为两个季节的优势种数, c 为两个季节共有的优势种数。利用 Primer5 软件对浮游动物群落进行非线性多维尺度分析 (NMDS), 利用 Primer5 软件对浮游动物种类和累积百分比进行分析。使用 Surfer8 软件创建站点、生物量和丰度剖面。

3.3 浮游动物种类测量

本文选取了 2018 年的 5 月和 8 月, 对长江口 (北纬 $30^{\circ}25'$, 东经 $120^{\circ}45'$) 浮游动物种类进行了抽样调查, 其测量数据结果如图 1, 图 2。

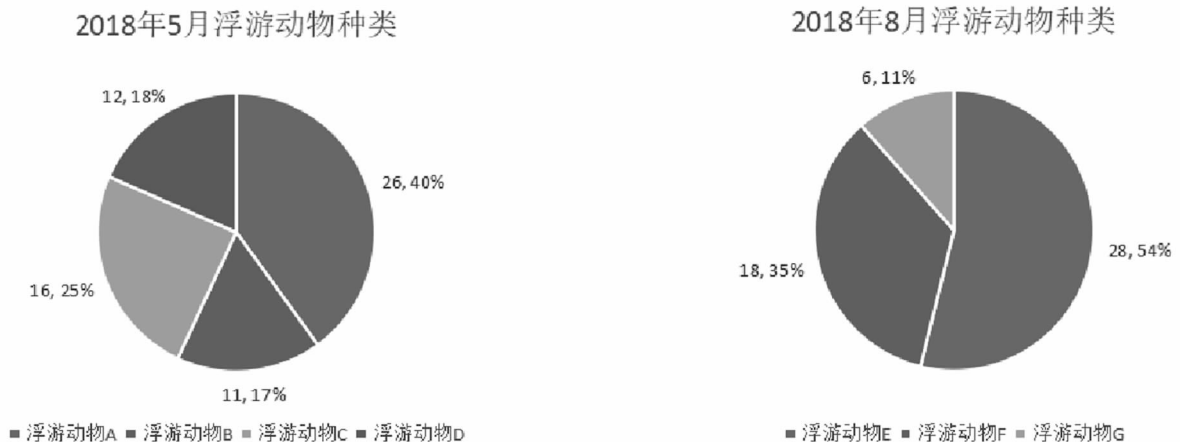


图 1 2018 年 5 月浮游动物种类占比 (%)

图 2 2018 年 8 月浮游动物种类占比 (%)

4 研究结果分析及讨论

在我国东海沿岸海域, 夏季和冬季共发现浮游动物 108 种 (包括不明种类)。浮游幼虫有 14 种, 其中桡足类和海獭的种类和数量占很大一部分, 其中桡足类是最为重要的类群。水母共有 19 种, 占总数的 17.59%。浮游动物种类以夏季最多 (93 种), 春季最多 (55 种), 冬季最多 (39 种)。研究表明, 我国东海海域夏季和秋季浮游动物种类明显高于春季和冬季的浮游动物种类。虽然同一地区春季的植物种数量高于夏季, 但夏季物种数量仍明显高于春季。从站点分布来看, 本研究发现各季节物种数量与纬度呈负相关, 且达到显著水平。从纬度分布来看, 同一区域各网的平均种数与纬度呈负相关。在春季和冬季, 这个水平是非常引人注目, 夏季也达到了一个较高水平。但夏季差异为北纬 $30.5^{\circ}N$, 平均每网种数明显高于其他纬度。夏

季鱼类种类较多,主要是因为长江口和舟山渔场的纬度为 30.5°N。它属于亚热带向温带的过渡地带。其次,强大的台湾暖流将大量的热带物种、近海物种甚至远海物种带入海洋。因此,在北纬 30.5 度的几个地点,聚集了丰富的生态群落,浮游动物的平均数量也随之增加。本研究从区域分布的角度发现,春、冬两个地区的群落差异达到极显著水平,而在夏季,除 B、C 两个群落差异显著外,其余均为显著水平。A、B 区域与 A、C 区域差异显著。气温是影响春冬季南北温差的主要因素。因此,不同中温区域的分布导致了区域贫困。浮游动物在水池中的分布情况如图 3 所示。

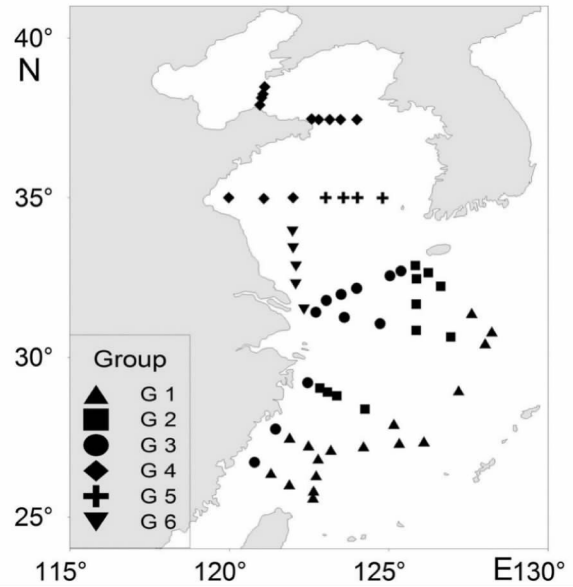


图 3 浮游动物水池分布均匀^[7]

五个水池共鉴定出 82 种(含未鉴定种)浮游动物。其中无脊椎动物和轮虫种类较多,分别包括 38 种(含不明种)和 33 种(含不明种),占比分别为 46.3%、40.2%;桡足类和水蚤类种类较少,分别为 6 种(含不明种)和 5 种(含不明种),占 13.5%(见表 1)。五个水池浮游动物优势种以无脊椎动物为主,轮虫次之。优势种为恩斯特块茎(100.0%)和幼虫(85.7%)、滚焰毛虫(57.1%)、小毛虫(42.9%)、纵向轮虫(42.9%)和螺旋龟轮虫(42.9%)较高。同时,轮虫、裸虫和轮虫的发生频率为 28.6%;此外,球形沙虫、圆螺、淡水虫、锥虫、中国钟形虫、王的钟形虫、棉铃虫、枯枝、幼虫、外来细胞、轮虫和扁轮虫的发生频率相对较低。全部为 14.3%;在大型浮游动物中,只有无节无节幼虫水仙和无节幼虫占优势,而角的数量较少,其在五个水池中没有形成优势种群(见表 3)。

表 2 五个水池浮游动物种类组成

湖泊	项目	原生动物	轮虫纲	桡族类	枝角目	总计
水池 P ₁	物种数量	6	3	2	1	12
	成分百分比	50	25	16.7	8.3	100
水池 P ₂	物种数量	21	15	5	4	45
	成分百分比	46.7	33.3	11.1	8.9	100
水池 P ₃	物种数量	34	21	6	3	64
	成分百分比	53.1	32.8	9.4	4.7	100
水池 P ₄	物种数量	3	4	3	1	11
	成分百分比	27.3	36.4	27.3	9.1	100
水池 P ₅	物种数量	27	19	5	4	55
	成分百分比	49.1	34.5	9.1	7.3	100
总计	物种数量	38	33	6	5	82
总计	成分百分比	46.3	40.2	7.3	6.2	100

表3 五个水池浮游动物优势种及优势度

名字	优势度							发生频率/ %
	2013.07	2014.10	2015.06	2016.08	2017.06	2018.08	2018.10	
球形砂壳虫						0.03		14.3%
圆钵砂壳虫	0.04							14.3%
恩茨筒壳虫	0.24	0.06	0.06	0.24	0.06	0.02	0.07	100%
小筒壳虫					0.04	0.02	0.02	42.9%
淡水筒壳虫					0.02			14.3%
侠盗虫	0.08	0.14	0.24	0.05		0.11	0.16	85.7%
锥形拟铃虫		0.04						14.3%
中化拟铃虫							0.02	14.3%
王氏拟铃虫				0.03				14.3%
漩涡菌						0.03		14.3%
累枝虫			0.03					14.3%
刺胞虫							0.03	14.3%
异胞虫	0.07							14.3%
泡形纯毛虫	0.03	0.07						28.6%
暗小异尾轮虫				0.08	0.03	0.17		42.9%

五个水池浮游动物的平均密度为 3794.98/L,生物量为 2.4558 mg/L。其中原生动物密度最高,为 2853.43/L,占 75.2%;其次是轮虫,密度为 860/L,占 22.7%;桡足类 74.08/L,占 2.0%;丁香 7.47/L,占 0.1%。轮虫和桡足类生物量分别为 1.1133 mg/L 和 0.9132 mg/L,分别占 45.3%和 37.2%;水蚤类和无脊椎动物的生物量分别为 0.3389 mg/L 和 0.0904 mg/L,占 17.5%。由于五个水池的水体相互连接,且有不同的环境条件和营养成分(从总池到五个池的总磷分别是 0.298、0.322、0.267、0.197、0.603 mg/L),水平分布浮游动物密度和生物量变化很大,从第五池的 1.089、0.933、1.147、1.27、1.57 mg/L,最高池的密度:5971.76/L,含量:5.6981 mg/L,池中最低(密度:1521/L,生物量:0.48 mg/L),第二个和第三个池的浮游动物密度是相似的,分别是 4637.28/L、4410.38/L,它高于四个池(2434.5/L),第三池和第四池的生物量是相似的,2.1127 和 2.109 mg/L,分别高于第二池的 1.8797 mg/L(图 4)。

物种组成、生物量分布等一系列参数可以用来表示浮游动物的多样性,但应用最广泛的是多样性指数^[8]。对比来说,多样性指数具有最可信的生态指标^[9]。本研究采用根据浮游动物密度计算的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)和 Margalef^[10]物种丰富度指数(d),从不同角度和侧面对五个水池进行了分析。动物的多样性分布在第五池中最高(H' :2.72, J :0.77, d :1.35);第二池(H' :2.14, J :0.67, d :1.03)、第三池(H' :2.16, J :0.68, d :1.02)与 5 个池相似且低于 5 个池:第一池(H' :1.91, J :0.76, d :0.67),第四池(H' :1.82, J :0.62, d :0.84)更低(图 5)。

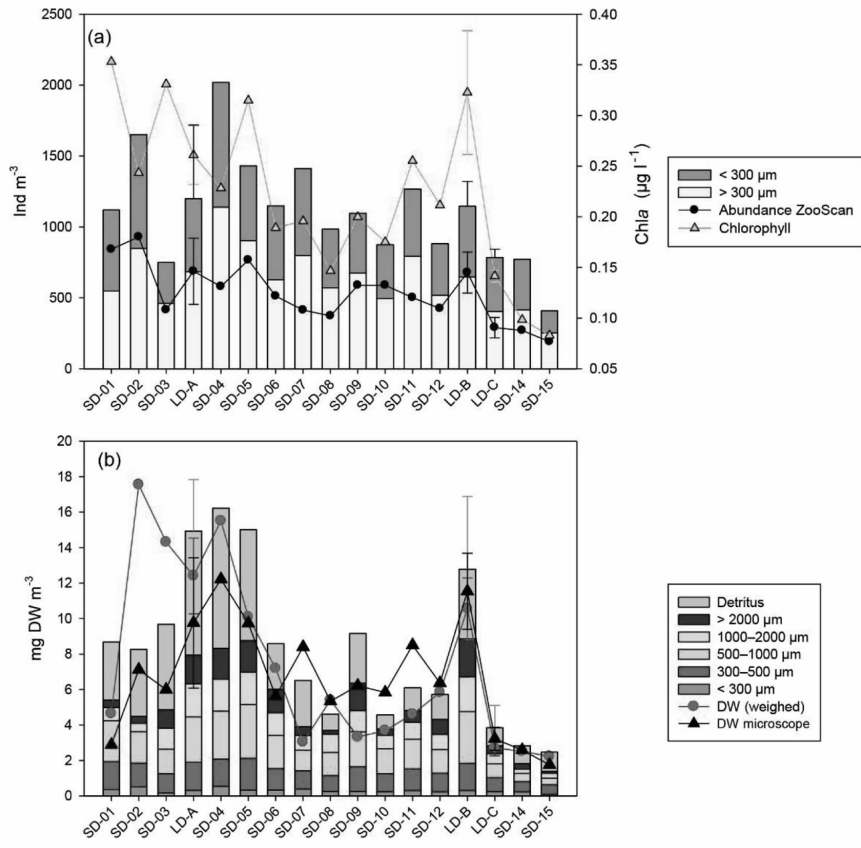


图 4 超快横截面浮游动物数量和生物量

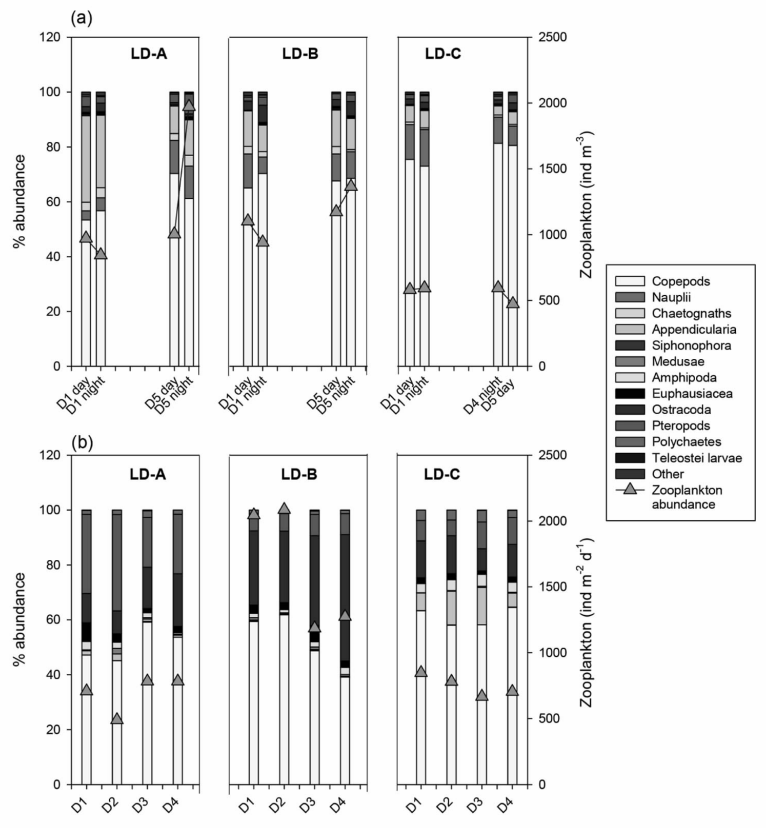


图 5 浮游动物丰度(橙色三角形)与主要分类群(条形)比较

5 结论

通过对长江口及其邻近水域理化参数的分析,得到长江口水文、化学、叶绿素 a 和初级生产力的空间分布和季节变化特征。结果表明,长江口及其海域主要受长江、钱塘江、台湾暖流及江浙沿海水系的影响。水体中硝酸盐、磷酸盐和硅酸盐从近岸到大陆架外层普遍呈下降趋势。夏季溶解氧浓度最低,长江口下游在夏季形成低氧带。叶绿素 a 浓度具有明显的季节性变化,夏>春>秋>冬。叶绿素 a 浓度的水平分布通常以沿海水域高、国外海平面低为特征。长江口及其附近海域的浮游动物在四个季节共发现 460 种,隶属于 7 门、15 纲、36 目、133 科、246 属。在浮游动物群落中,桡足类占据了很大一部分,有 193 种,桡足类就占据浮游动物总数的 42.0%。浮游动物的优势种具有明显的季节性演替。长江口浮游动物群落可分为近岸低盐群、宽温宽盐群、低温高盐群、高温宽盐群、高温高盐群五种生态类型。

参考文献:

- [1] Steinberg, D. K., Landry, M. R. . Zooplankton and the ocean carbon cycle[J]. *Ann Rev Mar Sci*, 2017, (9): 413-444.
- [2] Ger, K. A., Urrutiacordero, P., Frost, P. C., Hansson, L. A., Sarnelle, O., Wilson, A. E., et al. The interaction between cyanobacteria and zooplankton in a more eutrophic world[J]. *Harmful Algae*, 2016, (54): 128-144.
- [3] Kelly, P. T., Solomon, C. T., Weidel, B. C., Jones, S. E. Terrestrial carbon is a resource, but not a subsidy, for lake zooplankton[J]. *Ecology*, 2016, (5): 1236-1242.
- [4] Bass, J. A. B., Pinder, L. C. V., Leach, D. V. Temporal and spatial variation in zooplankton populations in the river great ouse: an ephemeral food resource for larval and juvenile fish[J]. *River Research & Applications*, 2015, (3): 245-258.
- [5] Turner, J. T. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump[J]. *Progress in Oceanography*, 2015, (130): 205-248.
- [6] Desforges, J. P., Galbraith, M., Ross, P. S. Ingestion of microplastics by zooplankton in the northeast pacific ocean [J]. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 2015, (3): 320-330.
- [7] Yin Fan, Zhang Ya-ming, Liu Ming. Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Zooplankton Community[J]. *Revista Científica-facultad de Ciencias Veterinarias*, 2018, (28): 465-474.
- [8] 郭飞飞,张云,赵广,等.金沙河水库浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *生态学杂志*, 2016, (8): 2208-2216.
- [9] 鞠永富,于洪贤,于婷,等.松花江哈尔滨段浮游动物群落结构特征与水质评价[J]. *湖泊科学*, 2017, (3): 646-653.
- [10] 吴利,李源玲,陈延松.淮河干流浮游动物群落结构特征[J]. *湖泊科学*, 2015, (5): 932-940.

《河北省科学院学报》2020 年总目次

第 1 期

- Spark 数据倾斜问题研究 张占峰,王文礼,耿珊珊,贾芝婷(1)
- 基于随机森林算法的城区土地覆盖分类研究 左晓庆,李潇雨,刘怀鹏(8)
- 止水带在线截面检测系统的设计与实现 张震(17)
- 基于 MATLAB 的 6R 机器人逆运动学求解分析 孟凡刚,曹东江,尚江华(22)
- 蜂群自组网双信道频率分集多址接入协议 张玉鹏,陈仕进,李北国(30)
- 船载卫星通信天线控制的关键技术 吴姣(36)
- 一种新型波导圆极化天线 李凡,牛传峰(41)
- 医用 PSA 制氧设备的远程检验和实时监控系统的技术研究 何桐,安生永(46)
- 基于分子筛制氧机富氧气体组分的检验研究 耿燕,安生永,王月英,吴少帅(51)
- 清热散结胶囊三维荧光指纹图谱研究 朱丹丹,乔沁汾,李鑫,杨莉丽(55)
- 微生物肥料发展及作用机理综述 郑立伟,闫洪波,张丽,黄媛媛,黄亚丽(61)
- 河北省县域贫困特征及致贫因素分析 刘欣,朱苏加,秦彦杰(68)
- 浅析京津冀区域生态环境协同治理对策 尹凡,朱佳明,刘明,仵凤清(74)

第 2 期

- 基于 WEFCMO 算法的引导型商品营销实训辅助策略研究
..... 和志强,罗长玲,陈萌,王梦雪(1)
- 基于 SOA 架构的创新服务与管理平台设计与实现 张立佳,王宏昭,李正涛(8)
- 基于 BiLSTM-Attention 的电商评论情感分析 史振杰,董兆伟,庞超逸,张百灵,孙立辉(12)
- 安瓿瓶视觉检测关键技术研究与应用 任亚恒,高晓芝,程煜,郝存明,陈宏彩(20)
- 基于 Kriging 模型优化算法的含分布式电源配电网多目标无功优化研究
..... 石佩玉,田晓军,路文梅,李燕,高波,李彤坤(24)
- 语音增强技术研究综述 曹丽静(30)

- 网络安全态势感知中数据融合算法应用综述…………… 苏小玉,徐奎奎(37)
- 多退化失效模式下基于功能仿真的可靠性建模方法研究…………… 贾占强,杨建永(45)
- 基于 m 序列泊松分布统计模型仿真实现…………… 刘 市,王永超,杨国学(51)
- 基于船载卫通站的双天线跟踪自动切换技术…………… 马吉文,王志超,米青超(55)
- 一种多波束通信设备的设计与实现…………… 任 鹏,董志伟,高景涛(60)
- 一种低剖面宽频带微带天线设计…………… 张 宙,李安平,刘松涛(66)
- 一种新的基于 PRM 的多端口微波器件测量方法…………… 宋 蒙,李光福(71)
- 外置碳氢涤除器在二氧化硫自动监测仪上的应用
…………… 李雅微,董 浩,王宏杰,高 超,孙 程,崔志旺(77)
- 我国森林城市的发展历程与研究热点…………… 辛泊雨(80)
- 中国研发投入强度发展轨迹的分析和思考…………… 王 鹏,朱苏加(86)

第 3 期

- 基于深度学习的医疗影像识别技术研究综述…………… 张 琦,张荣梅,陈 彬(1)
- 基于空间大数据、云计算技术的省级自然资源空间基础信息平台架构设计…………… 赫 瑞(9)
- 面向多领域应用的软件无线电架构设计…………… 赵宾华,黄 伟,邓 炜(15)
- 基于二进制小波变换的 MODIS 多波段数据融合…………… 许 晨,康 雪,吕达仁(20)
- Stewart 式并联天线副面位姿调整机构设计与分析
…………… 段艳宾,程志峰,王大为,窦玉超,金 超(27)
- 手持频谱仪在地面站天线故障检测中的应用…………… 李 光,秦顺友(32)
- 一种大型阵列天线转台的结构设计…………… 王志波,郭向峰,赵 望(37)
- 新型低剖面 Ku 波段平板天线设计…………… 李 凡,赵 航(41)
- 基于多期遥感数据的华蓥山中段植被覆盖变化研究
…………… 杨 玲,周学铖,熊丽媛,徐争强,胡 祎,吕 品(46)
- 银川市红墩子矿区钻孔亚粘土数据 kriging 插值方法比较研究…………… 孙 涵(55)
- 高效毛细管电泳法同时检测饲料中四种镇静类药物
…………… 王 涛,韩 芸,滑鹏敏,张 伟,韩 旭(65)
- 万古霉素人工抗原的制备及鉴定…………… 李玉静,刘鹏茹,刘静静,李春生(69)
- 平菇新品种‘冀杂 37’选育及区域栽培试验…………… 孙立永,张根伟(73)
- 基于自组织映射的国内“文旅”研究述评…………… 蔡礼彬,朱哲哲(77)

河北省重点产业科技资源分布及现状分析 张立佳,崔俊辉,张效玮(88)

大气污染物与经济增长关系机理分析及协调发展测度 ... 尹 凡,刘芷彤,聂延庆,刘 明(95)

体外诊断试剂行业分析及河北省体外诊断试剂高质量发展对策研究
..... 王 丽,张秀杰,王鹏飞,张晓刚,李 挥,刘若锦(101)

第 4 期

基于卷积神经网络的图像检测识别算法综述..... 曾文献,张淑青,马 月,李伟光(1)

边缘计算与云协同问题研究..... 王文礼,贾芝婷(9)

基于机器学习的股票预测研究综述..... 张倩倩,林天华,祁旭阳,赵 霞(15)

涡流扩散比影响下的水下光通信性能分析..... 缪建成,耿欣蕊(22)

一种变电压 X 射线图像序列融合增强算法 乔运伟,刘英杰,李子文,李 野(29)

基于 LoRa 扩频技术的电梯状态监测系统设计与实现 郝虎全,孙瑞轩,肖 磊(35)

基于 DSP 和 SPI 总线的机载天线参数记录功能设计与实现 王 龙(42)

基于深度学习的滴灌带滴孔质量检测方法研究 姚利彬,罗英豪,郝存明(49)

工业机器人自动纸箱坯拆垛上料系统的研发应用 李 欣(54)

基于 PID 控制的一体化恒温激光器系统设计 刘英杰,李子文(58)

基于公开数据的河北网络安全等级保护测评项目分析及机构能力评估研究
..... 王云丽,韩珍珍,杨文焕,成 彬(64)

基于 CiteSpace 的精准扶贫研究可视化分析 李素芳,孙晓晔(72)

大运河江苏段沿线城市三生空间冲突的演化特征 林芙蓉,车 通,罗云建(80)

基于生态位理论的浮游动物时空群落分布特征及测度
..... 尹 凡,王文嫣,闫 玮,赵迎希,刘 明(90)

《河北省科学院学报》2020 年总目次 (99)

《河北省科学院学报》稿约

《河北省科学院学报》是由河北省科学院主办的自然科学学术性刊物,1984年创刊,季刊,国内外公开发行人,它以繁荣科学文化、促进学术交流、发现人才、为两个文明建设服务为办刊宗旨。主要刊登应用数学、计算机技术、自动化、能源、化工、地理科学及生物技术等学科的学术论文。

欢迎院内外广大作者投稿,对来稿有以下要求:

1. 来稿务必论点明确、数据可靠、文字精练,并注意保守国家机密。

2. 文稿格式要求规范,采用第三人称,项目要齐全,按顺序给出:题目(一般不超过20个字)、作者、工作单位、摘要(300字以内)关键词(3—8个)、英文摘要(与中文摘要对应,包括英文题目、作者姓名、工作单位及关键词)、正文(包括图表一般不超过5000字)、参考文献(按标准格式书写)。

3. 物理量的符号和单位一律按中华人民共和国法定计量单位使用。文中各种符号、单位、脚标及大小写均要书写清楚。易混淆的外文字母、符号,请用铅笔注明。

4. 文中的图、表只附最必要的,并给出中文的图题、表名。小图宽度小于7cm,大图宽度不超过15cm,插图中的纵、横坐标的标目(物理量的符号和单位)要齐全。照片要清晰。表格应采用三线表,表头栏目不宜过繁。

5. 来稿若系基金资助课题、攻关项目或博士论文,请分别注明资助来源、项目编号,本刊将优先发表上述稿件。

6. 参考文献只需择主要者列入,并按在正文中出现的次序标引。未公开发表的文献一般不宜引用。参考文献按下列格式书写(作者超过3人的加“等”):

期 刊:序号 作者.题名[J].刊名(外文期刊可缩写),出版年,卷号(期号):起止页码

书 籍:序号 作者.书名[M].版本(第1版不标注).出版地:出版者,出版年

学位论文:序号 作者.题名:[博士(硕士)学位论文].保存地点:保存单位,年份

论 文 集:序号 作者.题名.见(英文用In):主编.论文集名.出版地:出版者,出版年,起止页码

专 利:序号 专利申请者.题名.国别,专利号.出版日期

技术标准:序号 起草责任者.标准代号 标准顺序号—发布年 标准名称.出版地:出版者,出版年

7. 投稿时请附第1作者简介,包括姓名、出生年月、籍贯、学位(硕士以上)、职称、主要研究方向等。

8. 稿件文责自负,但编辑部有权作技术性和文字性修改。

9. 论文发表后,请作者随时将国内外的收录、获奖信息告知编辑部。

10. 如作者未特别声明,视为同意本人论文同时收入我刊加入的各种检索。

11. 请勿一稿多投。投稿5个月没有接到录用通知,方可另投它处。本刊概不退稿,请作者自留底稿。来稿一经刊出,按规定向作者收取文章版面费并酌致稿酬,赠送当期本刊一册。

来稿请寄:050081 石家庄友谊南大街46号河北省科学院学报编辑部

联系电话:(0311)83017907 83019546 Email:hbks2008@126.com