DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2026.02.013

全景视觉技术在农业信息感知中的应用现状与发展趋势

王超柱[1], 程俊潞[2], 乔璐[3], 李文春[4], 邱威[2], 田光兆[2*]

(1. 江苏省农业机械试验鉴定站,江苏南京,210017; 2. 南京农业大学工学院,江苏南京,211800;
3. 农业农村部南京农业机械化研究所,江苏南京,210014; 4. 图木舒克银丰现代农业装备有限公司,新疆图木舒克,843900)

摘要:在传统农业向智慧农业转型的过程中,农业场景对规模化、高精度信息感知的需求日益增长。传统单、双目视觉由于视野受限,难以满足复杂环境下全方位监测的要求。全景视觉技术凭借360°无死角视野、信息获取快速完整及实时性强等优势,已成为农业智能化升级中不可替代的关键技术手段。本文旨在系统梳理全景视觉系统在农业领域的应用现状与发展现状,为全景视觉技术与农业装备的深度融合提供理论参考。以成像原理和硬件结构为依据,将系统划分为云台旋转式、多相机阵列式、鱼眼镜头式及折反射镜式四类架构,并结合典型案例分析其在作物监测、表型调查及农机导航等领域的应用演进。研究表明,全景视觉已形成多层次应用格局:云台旋转式系统畸变小,但实时性差,适用于静态长势监测;多相机系统帧率高且位姿误差小,能够支撑动态高维表型重构与定位;鱼眼系统结构简单,经校正可抑制边缘畸变,实现广域监控;折反射系统紧凑且无延迟,导航避障偏差小。当前全景视觉在农业应用中仍存在复杂环境适应性瓶颈、动态场景实时处理短板、三维信息重构效率与精度不足以及技术标准化与系统兼容性缺失四大问题。为此,未来应将全景视觉技术聚焦于多模态传感器融合感知,利用深度学习驱动模型自适应优化以提升泛化能力,并与农业物联网深度协同构建感知—决策—调控一体化体系。同时,加强技术开源化与行业标准化建设,将加速全景视觉技术在精准农业中的规模化落地应用。

关键词:全景视觉;智慧农业;深度学习;信息感知;多传感器融合;三维重建
中图分类号:S24 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-7217(2026)02-0142-11

王超柱, 程俊潞, 乔璐, 李文春, 邱威, 田光兆. 全景视觉技术在农业信息感知中的应用现状与发展趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2026, 7(2): 142－152
Wang Chaozhu, Cheng Junlu, Qiao Lu, Li Wenchun, Qiu Wei, Tian Guangzhao. Application status and development trends of panoramic vision technology in agricultural information perception [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2026, 7(2): 142－152

0 引言

在国家乡村振兴战略的推动下,智慧农业正成为解决传统农业效率低、资源浪费、管理粗放等问题的关键途径[1]。作为智慧农业的关键感知技术之一,全景视觉(又称全向视觉)凭借360°无死角视野、信息获取快速完整、实时性强等突出优势,突破了传统单/双目视觉的视野局限,在农业生产的精准化、智能化升级中发挥着不可替代的作用[2]。

全景视觉技术兴起于20世纪60年代末至70年代初,其发展如今已深度融合人工智能、光电子学、图像处理、模式识别等多学科的交叉技术。其核心是通过全景视觉传感器、图像采集卡与处理系统的协同工作,从复杂农业场景中提取目标物体的识别、定位、跟踪等关键信息,为植物生长监测、病虫害预警、自动化考种、农业机械导航等环节提供技术支撑[3]。

经过数十年发展,全景视觉技术在农业领域已积累了一定研究基础,形成了云台旋转式、多相机、鱼眼、折反射镜四类主流系统架构,并在生长监测[4-5]、表型测量[6]、农业机器人导航[7-10]和自动化作业[11-12]等场景

收稿日期:2025-12-25 修回日期:2026-03-16
基金项目:新疆生产建设兵团第三师图木舒克市科技计划项目(KY2025JBGS10);政府采购项目(JSZB-2024100013);国家重点研发计划(2024YFD2001101)
第一作者:王超柱,男,1981年生,江苏南京人,硕士,高级工程师;研究方向为农业机械智能化鉴定技术。E-mail: wangchaozhu1981@163.com
*通信作者:田光兆,男,1983年生,河南信阳人,博士,副教授;研究方向为智能化植保技术与装备。E-mail: tgz@njau.edu.cn

中取得初步应用。

然而，随着计算机硬件、深度学习、物联网等技术的飞速迭代，传统全景视觉系统面临的环境适应性差、动态处理能力不足、三维信息缺失等问题日益凸显[13]，已难以满足当前智慧农业对规模化、高精度、实时感知的需求。近年来，深度学习与全景视觉的深度融合[14]、多传感器融合技术的升级[15]、嵌入式边缘计算的普及以及农业物联网[16]的广泛应用，为全景视觉技术的突破提供了新的契机。同时，数字孪生、畜禽养殖全景监测、农产品采收机器人视觉引导等新兴应用场景的出现，也拓展了全景视觉技术的应用边界。

当前，国际上关于全景视觉技术的研究已聚焦于Transformer架构驱动的小样本识别[17-18]、多模态数据融合导航[19-20]、NeRF 三维重建[21-22]等前沿方向，国内则在低成本嵌入式全景系统、无人机载全景监测等领域取得阶段性进展[23-24]。

但现有综述类研究多局限于早期技术梳理，未能系统涵盖近几年的核心突破与新兴发展趋势。为此，本文以全景视觉系统的四类架构为分类基础，梳理其在智慧农业应用领域的技术升级与典型应用，剖析当前技术在复杂环境适应性、动态实时处理、标准化应用等方面存在的问题，最后结合多传感器融合、嵌入式智能、深度学习、农业物联网等前沿技术，展望未来发展趋势，为全景视觉技术与农业装备的深度融合提供理论参考与技术借鉴，助力智慧农业的高质量发展。

1　全景视觉技术基础与系统分类

1.1　技术核心原理

全景视觉技术的核心是突破传统视觉系统的视角局限，通过光学设计与数字图像处理的协同，实现≥180°乃至360°全周范围的环境信息完整采集、精准重构与有效解读[25]。其技术体系包括：光学成像、图像校正、特征融合、信息提取4个部分，涵盖光学原理、计算机视觉算法及多学科交叉技术，最终为农业场景提供无死角、高保真的环境感知支持。

1.2　系统组成架构

全景视觉系统是硬件设备与软件算法的集成，核心由传感器模块、图像采集卡、处理系统及显示模块四部分构成，各模块协同实现环境信息的采集、传输、处理和呈现流程。各模块功能、技术方案及技术要求如表1所示。

表1　全景视觉系统各模块功能、技术方案及技术要求

Table 1　Functions, technical solutions, and technical requirements of pan-vision system modules

系统模块	核心功能	技术方案	农业应用的技术要求
传感器模块	环境信息采集，决定成像质量与视野范围	1.普通相机（适配云台、多相机阵列系统）； 2.超广角鱼眼镜头相机（视角180°～220°）； 3.多光谱传感器（与全景相机融合）	1.分辨率：主流4K级； 2.帧率：动态场景≥30fps； 3.环境适应性：高湿度及粉尘环境
图像采集卡	连接传感器与处理系统，实现模拟信号转数字信号及高速传输	1.常规接口型（USB3.0/HDMI2.1）； 2.高端集成型（FPGA集成采集与预处理功能）	1.高传输带宽，支持多相机同步传输； 2.低延迟≤10 ms； 3.适配多品牌传感器图像格式
处理系统	运行畸变校正、图像拼接、目标识别等核心算法	1.嵌入式处理系统； 2.桌面级/服务器级处理系统（GPU集群）； 3.轻量化深度学习模型＋边缘计算	1.嵌入式系统功耗10～30 W； 2.支持算力密集型任务； 3.解决嵌入式算力不足问题
显示模块	全景信息呈现，反馈至用户或农业装备控制系统	1.本地显示终端（工业级触摸屏、VR头显）； 2.远程可视化平台（基于WebGL/Unity引擎）	1.全景无拼接缝隙； 2.色彩还原度高（色差≤5%）； 3.支持多视角切换（鸟瞰图、局部放大图）

1.2.1　传感器模块

传感器是信息采集的核心部件，直接决定系统的成像质量与视野范围。农业场景中常用的传感器包括：普通CCD（charge coupled device）/CMOS（complementary metal oxide semiconductor）相机、超广角鱼眼镜头相机和多光谱传感器。

1.2.2　图像采集卡

图像采集卡是连接传感器与处理系统的关键枢纽，负责将模拟图像信号转换为数字信号并高速传输。农业应用中需满足：高传输带宽、低延迟、兼容性强。

1.2.3　处理系统

处理系统是全景视觉的核心单元，承担畸变校正、图像拼接、目标识别等算法运行任务。根据应用场景分为两类：一是嵌入式处理系统，具备体积小、功耗低的优势，适配农业机器人等移动设备；二是桌面级/服务器级处理系统，适用于大规模农田三维重建、海量全景数据离线分析等算力密集型任务。

1.2.4　显示模块

显示模块负责将处理后的全景信息直观呈现给用户或反馈给农业装备的控制系统。农业场景中主要采

用两类形式:一是本地显示终端,用于现场操作人员实时观察农田环境、机器人作业状态;二是远程可视化平台,支持大规模农田全景数据的远程访问、历史回溯与多用户共享。

1.3 分类依据与四类系统特性对比

以光学成像方式和硬件结构为核心,可将全景视觉系统分为4类:一是单相机动态成像(云台旋转式),通过相机旋转扫描实现全景覆盖;二是多相机静态阵列(多相机式),通过固定布局的多相机同步采集拼接;三是单镜头超广角成像(鱼眼式),通过特殊镜头直接获取宽视野图像;四是折反射协同成像(折反射镜式),通过反射镜与相机组合实现全向感知。该分类方式已在农业机器人、智慧农业监测等领域形成共识。各类全景视觉系统性能参数如表2所示。

表2 四类全景视觉系统性能参数对比

Table 2 Performance parameter comparison of four types of pan-vision systems

系统类型	核心结构与成像原理	技术优势	局限性	适用农业场景
云台旋转式全景视觉	伺服电机驱动单相机旋转,采集多角度图像后拼接生成全景图	成像畸变小(≤3%);成本较低;可灵活更换镜头	实时性差(360°扫描需1~5 s);旋转机构易受田间粉尘磨损	作物长势长期监测、农田资源普查、玉米果穗自动化考种
多相机阵列式全景视觉	3~6个相机环形布局,精确标定后同步采集、快速拼接	分辨率高;实时性强(帧率≥30fps);成像质量均匀	硬件成本高;系统体积大;相机同步与标定精度要求高(位姿误差≤0.1°)	农业机器人导航、作物三维重建、大规模农田实时监控
鱼眼镜头式全景视觉	单台鱼眼相机采集半球视野图像,经校正转换为标准全景图	结构简单、体积小;成本适中;可实时成像	边缘畸变率≥20%,需复杂校正;低光照下噪声较大	温室360°监测、农业车辆环视导航、热带果园三维全景虚拟漫游
折反射镜式全景视觉	普通相机与特殊反射镜组合,通过反射光线实现360°全向成像	结构紧凑;实时性好(无拼接延迟);成本较低	反射镜设计加工难度大;图像边缘分辨率低;遮挡问题突出	农业机器人避障、田间杂草识别、作物局部特征提取、农业机械定位

2 农业场景中的技术突破与应用进展

2.1 云台旋转式全景视觉

云台旋转式全景视觉通过伺服电机驱动单相机旋转采集多角度图像,经拼接生成全景图,凭借结构简单、成本可控的优势,在农业静态场景中持续发挥作用[26-27]。近年来,高速云台硬件升级与AI辅助拼接算法的革新,有效弥补了传统系统实时性差、拼接依赖人工干预的短板,推动其在作物监测、自动化考种等领域的应用升级。

2.1.1 技术突破

传统云台旋转式系统的核心瓶颈在于旋转速度慢(360°扫描需1~5 s),难以适配准动态农业场景。近年来,高速伺服电机与精密传动机构的融合应用,实现了云台旋转性能的跨越式提升。郑曦尧[28]开展了基于二维旋转云台监控视频实时拼接技术研究,通过SIFT算法进行帧间稀疏特征点匹配、通过YOLOv5分割出左右两帧中的可能运动目标,结合光流法判断最佳缝合线,进而实现影像融合。熊乔等[29]利用单个可变焦云台和银河飞腾(YHFT)图像处理板,依托YHFT-DSP数字信号处理能力,设计了一种便捷高效的、可以独立自动运行的全景视图生成系统。

2.1.2 典型应用

旋转云台搭载摄像机采集单张图像,并通过图像处理技术拼接为全景图像,通常用在作物长势监测和农业环境信息采集领域。Rojas等[30]通过搭载在无人机上的云台相机获取水稻田二维图像,并结合地理参考标记与图像拼接技术,构建了反映作物生长态势的二维地图,如图1所示。Wang等[31]利用配备高分辨率摄像头的无人机在不同飞行模式、光照条件及拍摄角度下收集数据,对比评价了基于单目视觉的无人机定位与建图方法,实现了葡萄园的精确定位与地图构建。李林等[32]利用无人机搭载云台相机,通过移动智能设备远程控制相机角度和拍摄范围,采集的图像通过App集成算法进行拼接与识别,实现农作物病虫害或生长状态的快速勘察。

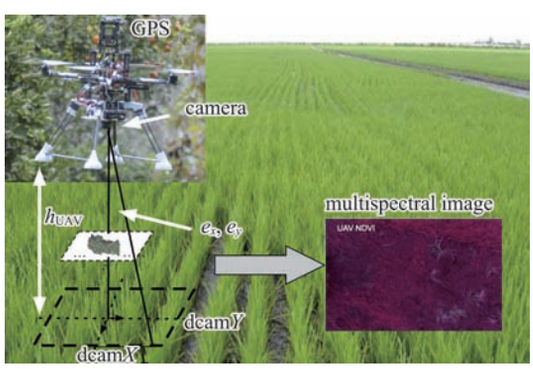


图1 无人机搭载云台相机在水稻田采集图像

Figure 1 The drone-mounted gimbal camera captures images in the rice paddy field

2.2　多相机全景视觉

多相机全景视觉技术通过多台相机的协同工作与信息融合，突破了单相机视野局限与信息采集维度不足的瓶颈，能够实现农业场景的全方位、高分辨率图像获取，为精准农业的智能化决策与执行提供了关键的视觉感知支撑[33-34]。该技术凭借其宽视野覆盖、多维度信息同步采集的核心优势，在作物生长状态监测、农业作业设备导航等领域展现出应用潜力，成为精准农业视觉感知体系中的重要组成部分。

2.2.1　技术突破

多相机全景视觉技术的核心技术突破集中于多相机同步采集、同时定位与地图构建（simultaneous localization and mapping，SLAM），它融合导航两大关键方向，为农业复杂场景下的精准感知与自主作业奠定了技术基础。

在多相机同步采集方面，通过采用高精度时间同步模块与标准化数据传输协议，实现了多台相机采集时序的微秒级同步，有效规避了因采集时差导致的图像错位、信息丢失等问题。Jeong 等[35]研发了名为 AgriChrono 的多模态数据集采集平台，该平台集成了多台相机与多种传感器，通过远程时间同步技术实现了 RGB、深度等数据的同步采集，如图 2 所示。该系统能够精准捕捉农业环境中光照变化与作物生长的动态特征，其构建的数据集为农业场景下的三维重建等研究提供了高质量的同步数据支撑。



图 2　AgriChrono 多模态数据集采集平台

Figure 2　AgriChrono multimodal dataset acquisition platform

在 SLAM 融合导航方面，突破了传统视觉 SLAM 在农业非结构化场景下鲁棒性不足的难题，通过将多相机全景视觉信息与惯性测量单元（inertial measurement unit，IMU）数据进行多源融合，构建了适用于农业环境的高精度定位与地图构建模型。姜帆等[36]提出一种基于轮式里程计的全景惯性 SLAM 初始化方法，应用于地面测量系统、地面移动机器人，该算法能够得到较高精度的尺度信息。

2.2.2　典型应用

基于上述技术突破，多相机全景视觉技术在农业领域形成了两大典型应用方向，分别为作物三维重建与农业车辆自主导航优化，有效推动了精准农业的产业化落地。

在作物三维重建应用中，多相机全景视觉系统通过多角度同步采集作物的图像信息，结合三维重建算法，能够快速、精准地构建作物的三维模型。该模型可清晰呈现作物的株高、冠层结构、分枝数量等关键生长参数，为作物生长状态监测提供了直观、量化的评估依据。Yang 等[37]提出了一种面向复杂植物三维重建的表型分型平台，该平台利用多视图图像并引入了重建算法与平台的联合评估标准，为精细化植物三维重建提供了一种自动化且集成的解决方案。Wu 等[38]开发了 MVS-Pheno 便携式低成本单株表型平台，如图 3 所示。该平台包括 4 个主要组成部分：半自动多视角立体（multi-view stereo，MVS）图像采集设备、数据采集控制台、针对玉米植株的数据处理和表型提取软件，以及数据管理系统。



图 3　MVS-Pheno 表型平台

Figure 3　MVS-Pheno phenotyping platform

Wang 等[39]基于多视图图像的运动恢复结构算法生成的三维重建点云，提出了 3D 表型分析流程 3DPhenoMVS，实现了对番茄全生命周期 17 种表型特征的计算。

在农业车辆自主导航优化应用中，多相机全景视觉技术为农业拖拉机、植保无人机等作业车辆提供了全方位的环境感知能力，显著提升了自主导航的精准度与稳定性。

李盛辉等[40]提出了基于全景视觉的 SLAM 方法，设计实现了 IMU 硬件电路模块，建立了农业车辆运动模型和全景视觉系统观测模型，将多目全景视觉和 IMU 结合，采用扩展卡尔曼滤波，实现了自主导航农业车辆的 SLAM 过程，如图 4 所示。Islam 等[41]提出一种立体视觉 SLAM 系统，该系统融合了 ORB 特征点与 LSD 线特征恢复的图像增强技术，从低光照及多雾的农业环境中获取精准的空间信息。通过与 VINS-SLAM、PL-SLAM 和 ORB-SLAM2 等先进算法对比，验证定位精度。Ma 等[42]提出了一种基于 YOLOD-SLAM2 算法的导航线提取和行人障碍物检测的方法。

实验结果显示,提取的导航线的平均角度偏差小于5°,验证了其准确性。



图4 PV-SLAM系统采集的图像

Figure 4 Panoramic images captured by the PV-SLAM system

2.3 鱼眼全景视觉

鱼眼全景视觉技术依托鱼眼镜头的大视场角优势,可实现单镜头360°全景图像采集,相比多相机全景视觉系统,具有结构更简洁、安装维护便捷、成本更低等核心优势[43]。在农业场景中,该技术能够快速覆盖设施农业大棚、田间作业区域等空间范围,高效获取全方位环境与作物信息,尤其适用于空间相对封闭或对设备小型化要求较高的农业场景,为精准农业感知技术提供了更灵活的解决方案[44-45]。

2.3.1 技术突破

鱼眼全景视觉技术的核心突破集中于无畸变镜头研发与深度学习校正算法优化两大方向,有效解决了传统鱼眼镜头图像畸变严重、画质失真等关键问题,为农业场景的精准感知奠定了技术基础。

在无畸变镜头研发方面,通过光学设计优化与特殊光学材料应用,突破了传统鱼眼镜头大视场角与低畸变不可兼得的技术瓶颈。张欣婷等[46]设计了一款双波段闭路电视鱼眼镜头,系统工作波段480~850 nm,可见光和近红外光双波段成像,可实现昼夜不间断采集图像,如图5所示。张潇等[47]基于平面对称光学系统的波像差理论,分析了鱼眼镜头各光学面的波像差贡献,将贡献突出的表面选定为非球面待选对象,并利用波像差随非球面系数的变化规律指导系统优化。

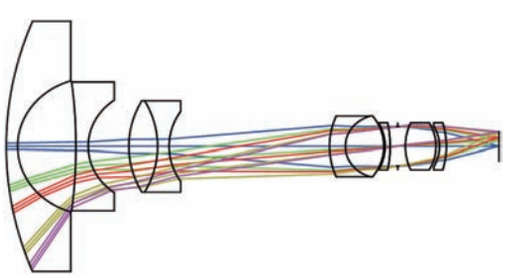


图5 双波段闭路电视鱼眼镜头结构

Figure 5 Structure of the dual-band CCTV(closed circuit television) fisheye lens

在深度学习校正算法方面,突破了传统几何校正算法对复杂畸变场景适配性不足的问题,通过构建基于卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)的端到端畸变校正模型,实现了鱼眼图像的精准、快速校正。李晗[48]、Liao[49]、Feng[50]等均提出基于CNN的鱼眼镜头校正方法,可同时标定鱼眼镜头的内参并进行图像畸变校正。

2.3.2 典型应用

由于无畸变镜头与深度学习校正算法的技术突破,鱼眼全景视觉技术在设施农业与农业车辆/机器人导航两大领域形成了典型应用,有效提升了农业生产的智能化水平。

在设施农业环境监测应用中,鱼眼全景视觉系统覆盖大棚内部空间,实现了对作物生长状态及水产养殖对象的同步监测。宋佳音等[51]利用Scaramuzza鱼眼相机标定方法求解参数并建立测量系统模型,最后利用图像处理技术对实验图像进行轮廓提取、分割及极值点提取,实现对作物高度的测量。Aini等[52]利用鱼眼相机结合深度学习技术解决温室软壳蟹养殖中的关键检测难题。通过在温室轨道系统上部署鱼眼镜头的物联网监测方案,配合鱼眼图像展平和2D图像平场校正等增强方法,成功在蟹蜕壳后1 h的狭窄窗口期内实现了92.0%的蜕壳蟹检测成功率,如图6所示。



图6 鱼眼镜头拍摄的温室软壳蟹养殖环境

Figure 6 Soft-shell crab farming environment captured by the fisheye lens

在车辆全景导航应用中,鱼眼全景视觉技术为农业拖拉机、采摘机器人等作业车辆提供了全方位的环境感知能力,显著提升了车辆在狭小、复杂农业空间中的导航安全性与精准度。

张倩[53]提出了一种新的温室机器人SLAM系统,利用鱼眼全景视觉SLAM和多源信息融合的技术来实现移动机器人在温室环境中的实时定位与三维稠密点云地图构建。Cañadas-Aránega等[54]设计并验证了一款面向温室运输任务的农业车辆,该农业车辆具备100 kg负载能力和自主导航能力,通过集成3D激光雷达、鱼眼相机和超声波传感器实现了与作业人员的安全协作,为温室环境中的农业自动化提供了可实际应用的硬件平台和验证基础,如图7所示。



图 7　用于温室运输的农业车辆

Figure 7　Agricultural vehicle for greenhouse transportation

2.4　折反射镜全景视觉

折反射镜全景视觉通过普通相机与特殊曲面反射镜的组合，利用光学反射原理实现360°全向成像，凭借结构紧凑、实时性好、成本可控的优势，在农业近距离感知场景中占据重要地位[55-56]。近年来，新型光学结构设计的优化与精准分割算法的革新，有效破解了传统系统图像畸变不均、目标识别精度不足的瓶颈，推动其在杂草识别、农业机器人避障与定位等领域的深度应用[57]。

2.4.1　技术突破

传统折反射系统存在反射镜加工难度大、图像边缘分辨率低、遮挡问题突出等缺陷。近年来，光学结构的创新设计成为技术突破的核心方向。

张雨泽等[58]针对平面对称光学系统的波像差理论展开研究，通过建立物像空间光学元件材料折射率与波像差的关联模型，修正了传统像差理论在折反射全景成像系统中的适用性。曹一青[59]提出基于光焦度控制方程与超大视场六阶波像差理论的系统初始参数确定方法。通过Zemax光学设计软件对初始结构进行优化迭代，最终设计出由1块偶次非球面反射镜与6块折射透镜组成的折反射全景光学系统，为紧凑型全景成像设备开发提供了可行方案。

2.4.2　典型应用

面向精准农业的实时感知需求，研究者分别在农业环境遥感、零样本检测模型构建及动态障碍物识别等方向取得进展。王敏[60]采用抛物面反射镜设计了搭载于微型无人机平台上的折反射式实时全景成像光学系统，并将球面全景图像投影为柱面图像。Wang等[61]针对无人农机导航中农田障碍物标注样本稀缺的问题，提出一种基于YOLOX骨干网络的零样本障碍物检测模型，将零样本学习引入实时检测系统，通过编码器—解码器级联模块及语义空间分类与无锚定位模块的融合实现检测。Xu等[62]采用折反射全景相机和Lucas-Kanade光流算法，结合背景动态模型与K-means聚类分割，实现了农业机械运动状态下动态障碍物（农机与行人）的实时检测，有效过滤背景干扰与噪声光流。

3　现存问题与技术挑战

尽管全景视觉技术在农业领域的应用已取得显著进展，但受农业场景复杂性、作业动态性及技术适配性等因素制约，其在规模化落地过程中仍遇到诸多瓶颈，这些问题也成为推动技术迭代升级的核心方向。

3.1　复杂环境适应性瓶颈

农业场景的开放性与不确定性导致全景视觉系统面临严峻的环境适应性挑战。极端天气（如暴雨、暴雪、强光照、雾霾）易造成图像模糊、曝光过度或噪声激增，大幅降低特征提取与目标识别精度；同时，作物多样性带来的形态差异（如高矮秆作物混种、叶片密集程度不同）及生长周期中的形态变化，会导致现有算法模型泛化能力不足，难以实现跨作物、跨生育期的稳定监测，限制了技术的普适性应用。

3.2　动态场景实时处理短板

在农业机械高速作业、畜禽动态活动等场景中，全景视觉系统的实时处理能力存在明显短板。一方面，高速作业下（如农机行驶速度≥5 km/h）全景图像的采集帧率与传输带宽难以匹配，易出现图像拖影、数据丢包；另一方面，运动目标（如奔跑的畜禽、飘落的叶片）的快速位移会导致目标定位偏移、跟踪丢失，现有算法在多目标遮挡、快速变道等复杂动态场景下，难以兼顾处理速度与识别精度，无法满足实时作业调控需求。

3.3　三维信息重构效率与精度不足

全景视觉与三维重建技术的融合应用仍受限于效率与精度的双重制约。当前基于全景图像的农田三维重构多依赖多帧图像拼接或NeRF等算法，不仅需要海量图像数据支撑，且重建耗时较长（大规模农田场景重建需数小时），难以满足实时监测与动态调控需求；同时，全景图像边缘区域畸变的影响及田间遮挡问题（如作物叶片重叠、农机阴影），会导致三维模型出现细节缺失、几何失真，关键参数（如株高、冠层体积）的估算精度难以满足精细化管理要求。

3.4　技术标准化与系统兼容性缺失

全景视觉在农业应用领域尚未形成统一的技术标准与规范，导致不同厂商的硬件设备（如全景相机、传感器）接口不统一、参数不兼容，难以实现多设备协同联动；同时，数据采集格式、算法模型输出指标的差异，使得全景数据难以与农业物联网平台、数字孪生系统高效对接，形成数据孤岛。此外，缺乏统一的性能评估标准（如检测精度、环境适应性的量化指标），也给技术

选型与成果转化带来困难。

4 发展趋势与未来展望

针对全景视觉在农业领域应用的现存瓶颈,结合人工智能、物联网等技术发展,未来其技术迭代与应用拓展将聚焦多维度融合、智能化升级与标准化构建,推动技术从可行向可靠跨越,为智慧农业赋能。

4.1 多模态传感器融合全景视觉系统

多模态传感器融合是突破全景视觉环境适应性瓶颈的核心方向。通过全景视觉与激光雷达、多光谱传感器、IMU的深度融合,可互补各传感器优势,实现多源数据实时同步对齐与融合分析,显著提升极端天气、作物密集遮挡等复杂农田环境下的感知精度与鲁棒性,为精准农业作业提供全面感知支撑。

4.2 深度学习驱动的自适应全景视觉技术

深度学习技术的深度赋能将推动全景视觉向自适应、自优化方向演进。通过构建基于Transformer、强化学习等先进框架的自适应模型,系统可自动适配不同作物类型、生育期及环境条件,动态调整图像预处理策略、特征提取方式与识别模型参数,大幅提升技术的泛化能力;同时,结合时序全景数据的增量学习技术,模型可实现持续迭代优化,逐步提升复杂场景下的目标识别与状态监测精度,适配农业生产的动态变化需求。

4.3 农业物联网与全景视觉协同管控

全景视觉将与农业物联网系统深度协同,构建包含感知、决策、调控的一体化管控体系。未来,全景视觉终端将作为物联网核心感知节点,实现与土壤传感器、气象站、灌溉设备等的无缝联动;通过全景图像数据与物联网多源数据的融合分析,可精准生成农田管理决策方案,并驱动执行设备实现自动化调控(如变量灌溉、精准施肥)。此外,基于全景视觉的可视化监控将与物联网平台深度集成,实现大规模农田的远程精准管控与动态态势感知。

4.4 技术开源与标准体系建设

技术开源化与行业标准化将加速全景视觉在农业领域的规模化落地。一方面,开源算法框架、数据集与硬件参考设计的推广,将降低技术研发门槛,促进产学研协同创新;另一方面,行业协会与科研机构将推动制定统一的硬件接口标准、数据采集规范与性能评估指标,解决设备兼容性差、数据孤岛等问题。未来,标准化的全景视觉系统将更易与现有农业信息系统对接,大幅提升技术成果的转化效率与应用范围。

参 考 文 献

[1] 张学俊,顾沈明,李斌. 机器视觉技术在农业生产中的应用研究[J]. 农村经济与科技,2019,30(23):55-56.
Zhang Xuejun, Gu Shenming, Li Bin. Research on application of machine vision technology in agricultural production [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2019, 30(23): 55-56.

[2] 费艳如. 基于全景视觉的农业车辆定位方法研究[D]. 南京:南京农业大学,2021.
Fei Yanru. Research on agricultural vehicle location method based on panoramic vision [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2021.

[3] Zhang M, Li L, Wang A, et al. A novel farmland boundaries extraction and obstacle detection method based on unmanned aerial vehicle [C]// 2019 ASABE Annual International Meeting. St. Joseph, MI: ASABE, 2019: 1900369.

[4] 宋明轩,白波,杨俊涛,等. 裸地不变量约束的花生株高无人机稳健估算方法[J]. 智慧农业(中英文),2025,7(6):124-135.
Song Mingxuan, Bai Bo, Yang Juntao, et al. Robust UAV-based method for peanut plant height estimation using bare-soil invariant constraints [J]. Smart Agriculture, 2025, 7(6): 124-135.

[5] 马稚昱,清水浩,辜松. 基于机器视觉的菊花生长自动无损监测技术[J]. 农业工程学报,2010,26(9):203-209.
Ma Zhiyu, Hiroshi Shimizu, Gu Song. Non-destructive measurement system for plant growth information based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(9): 203-209.

[6] Huang C, Yang W, Duan L, et al. Rice panicle length measuring system based on dual-camera imaging [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 98: 158-165.

[7] 李明,李旭,孙松林,等. 基于全方位视觉传感器的农业机械定位系统[J]. 农业工程学报,2010,26(2):170-174.
Li Ming, Li Xu, Sun Songlin, et al. Localization system of agricultural machinery based on omni-directional vision sensor [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 170-174.

[8] 孟祥希. 基于全景视觉的自动泊车方法研究[D]. 长春:吉林大学,2021.
Meng Xiangxi. Research on automatic parking method based on panoramic vision [D]. Changchun: Jilin University, 2021.

[9] 黄银锋,孙国祥,汪小旦,等. 设施农业自主移动装备导航技术研究进展[J]. 智能化农业装备学报(中英文),2025,6(4):1-16.

Huang Yinfeng, Sun Guoxiang, Wang Xiaochan, et al. Research progress in navigation technology for autonomous mobile equipment in facility agriculture [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2025, 6(4): 1－16.

[10] 梁明旭，袁昌荣，夏先飞，等. 机器人技术在蔬菜生产领域的应用现状及发展趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2025，6(4)：50－63.
Liang Mingxu, Yuan Changrong, Xia Xianfei, et al. The current application and future trends of robotics in vegetable production [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2025, 6(4): 50－63.

[11] 王传宇，郭新宇，吴升，等. 采用全景技术的机器视觉测量玉米果穗考种指标[J]. 农业工程学报，2013，29(24)：155－162.
Wang Chuanyu, Guo Xinyu, Wu Sheng, et al. Investigate maize ear traits using machine vision with panoramic photograyphy [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(24): 155－162.

[12] 杜建军，郭新宇，王传宇，等. 基于全景图像的玉米果穗流水线考种方法及系统[J]. 农业工程学报，2018，34(13)：195－202.
Du Jianjun, Guo Xinyu, Wang Chuanyu, et al. Assembly line variety test method and system for corn ears based on panoramic surface image [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34 (13): 195－202.

[13] 应婧，王攀，卢营蓬，等. 计算机视觉技术在农业上的应用初探[J]. 四川农业与农机，2019(1)：25.

[14] Kumbasar N, Güller M T, Miloğlu Ö, et al. Deep-learning based fusion of spatial relationship classification between mandibular third molar and inferior alveolar nerve using panoramic radiograph images [J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2025, 100(Part A): 107059.

[15] Wang Z X, Jia C Y, He W Z, et al. Integrated multi-modal flexible sensors and AI-driven fusion modeling for internal and external quality detection of agricultural products [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 166: 105401.

[16] Xu J Y, Gu B X, Tian G Z. Review of agricultural IoT technology [J]. Artificial Intelligence in Agriculture, 2022, 6: 10－22.

[17] Dey P, Dhang S, Dev S, et al. NES-VIT-NET: A nested vision transformer-based network for near-surface NO_2 estimation from satellite and ground observations [C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Athens, GREECE: Inst Elect & Elect Engineers, 2024: 7300－7303.

[18] Sun W, Sun Q, Sun H M, et al. ViT-rPPG: A vision transformer-based network for remote heart rate estimation [J]. Journal of Electronic Imaging, 2023, 32(2): 023024.

[19] Azeem A, Li Z, Siddique A, et al. Unified multimodal fusion transformer for few shot object detection for remote sensing images [J]. Information Fusion, 2024, 111: 102508.

[20] Li J, Tu C, Xu F, et al. Weld seam recognition and tracking with omnidirectional wall-climbing robot for spherical tank inspection [J]. Journal of Autonomous Vehicles and Systems, 2025, 5(1): 011003.

[21] Zhou L L, Wu G X, Zuo Y B, et al. A comprehensive review of vision-based 3D reconstruction methods [J]. Sensors, 2024, 24(7): 2314.

[22] Wu J H, Wyman O, Tang Y D, et al. Multi-view 3D reconstruction based on deep learning: A survey and comparison of methods [J]. Neurocomputing, 2024, 582: 127553.

[23] 李盛辉. 自主导航智能农业车辆的全景视觉系统关键技术研究[D]. 南京：南京农业大学，2016.
Li Shenghui. Research on the key techniques of panoramic vision system for autonomous navigation agricultural vehicles [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.

[24] 姜飞，朱月强，刘永微，等. 基于图像拼接的无人机视角目标检测系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制，2025，33(10)：64－71.
Jiang Fei, Zhu Yueqiang, Liu Yongwei, et al. Design and implementation of a detection system for UAV perspective targets based on image stitching [J]. Computer Measurement & Control, 2025, 33(10): 64－71.

[25] Szeliski R. Computer vision: algorithms and applications [M]. 2nd ed. Cham: Springer, 2022.

[26] Yang F, Chen H, Zhang X G, et al. SPLAC: A single-step PTZ camera linear auto-calibration method [J]. Neurocomputing, 2025, 645: 130377.

[27] 呼亚萍，孔韦韦，李萌，等. 改进TV图像去噪模型的全景图像拼接算法[J]. 计算机工程与应用，2021，57(17)：203－209.
Hu Yaping, Kong Weiwei, Li Meng, et al. Improved panoramic image mosaic algorithm for TV image denoising model [J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(17): 203－209.

[28] 郑曦尧. 二维旋转云台监控视频实时拼接技术研究[D]. 桂林：桂林电子科技大学，2024.
Zheng Xiyao. Research on real-time splicing technology of 2-D rotating pinion surveillance video [D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology, 2024.

[29] 熊乔，扈啸，陈跃跃. 基于可变焦云台摄像机和飞腾DSP的全景视图生成系统[C]// 第二十届计算机工程与工艺年会暨第六届微处理器技术论坛论文集. 北京：中国计算

机学会, 2016.

[30] Rojas J, Martinez C, Mondragon I, et al. Towards image mosaicking with aerial images for monitoring rice crops [C]// Chang I, Baca J, Moreno H A, et al. Advances in automation and robotics research in Latin America. Panama City: Springer, 2017: 279－296.

[31] Wang K, Kooistra L, Wang Y, et al. Benchmarking of monocular camera UAV-based localization and mapping methods in vineyards [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 227: 109661.

[32] 李林, 谭志平, 邓彤, 等. 一种无人机作物农情图像采集与分析系统: CN201710289524.0[P]. 2017－08－04.

[33] Zhu K Y, Liu Y Z, Ren X C, et al. Panoramic deformation measurement and crack identification in concrete with deep-learning-based multi-camera DIC [J]. Measurement, 2025, 256(Part A): 118133.

[34] Su Z Y, Wang L Q, Zheng J W, et al. Multi-view camera motion compensation in bridge displacement measurement with panoramic camera [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2025, 231: 112717.

[35] Jeong J, Vu T A, Jony M, et al. AgriChrono: A multi-modal dataset capturing crop growth and lighting variability with a field robot [R]. arXiv: 2508.18694, 2025.

[36] 姜帆, 相恒茂, 季顺平. 基于轮式里程计的全景惯性SLAM系统初始化[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(4): 21－24.
Jiang Fan, Xiang Hengmao, Ji Shunping. Initialization of panoramic-inertial SLAM system based on wheel odometry [J]. Journal of Geomatics, 2023, 48(4): 21－24.

[37] Yang D N, Yang H J, Liu D F, et al. Research on automatic 3D reconstruction of plant phenotype based on multi-view images [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 220: 108866.

[38] Wu S, Wen W L, Wang Y J, et al. MVS-Pheno: A portable and low-cost phenotyping platform for maize shoots using multiview stereo 3D reconstruction [J]. Plant Phenomics, 2020, 2020: 1848437.

[39] Wang Y H, Hu S T, Ren H, et al. 3DPhenoMVS: A low-cost 3D tomato phenotyping pipeline using 3D reconstruction point cloud based on multiview images [J]. Agronomy, 2022, 12(8): 1865.

[40] 李盛辉, 夏春华, 姬长英, 等. 自主导航农业车辆的全景视觉同时定位与地图创建[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(3): 598－609.
Li Shenghui, Xia Chunhua, Ji Changying, et al. Simutaneous localization and mapping for autonomously-navigating agricultural vehicle based on panoramic vision [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2017, 33(3): 598－609.

[41] Islam R, Habibullah H, Hossain T. AGRI-SLAM: a real-time stereo visual SLAM for agricultural environment [J]. Autonomous Robots, 2023, 47(6): 649－668.

[42] Ma Z, Yang S Y, Li J B, et al. Research on SLAM localization algorithm for orchard dynamic vision based on YOLOD-SLAM2 [J]. Agriculture, 2024, 14(9): 1622.

[43] 林泉, 李磊, 方中华, 等. 全景摄像机的原理与进展[J]. 自然杂志, 2017, 39(2): 131－136.
Lin Quan, Li Lei, Fang Zhonghua, et al. Principle and progress of panoramic camera [J]. Chinese Journal of Nature, 2017, 39(2): 131－136.

[44] Biljecki F, Zhao T H, Liang X C, et al. Sensitivity of measuring the urban form and greenery using street-level imagery: A comparative study of approaches and visual perspectives [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2023, 122: 103385.

[45] Li D F, Lei Y, Fan J L, et al. Real-time path planning for multi-scenario headland turns in agricultural vehicles using panoramic vision and sequential frame correlation method [J]. Journal of Industrial Information Integration, 2025, 48: 100938.

[46] 张欣婷, 亢磊, 吴倩倩. 双波段CCTV鱼眼镜头光学系统设计[J]. 应用光学, 2021, 42(6): 1006－1010.
Zhang Xinting, Kang Lei, Wu Qianqian. Optical system design of dual band CCTV fish-eye lens [J]. Journal of Applied Optics, 2021, 42(6): 1006－1010.

[47] 张潇, 吕丽军. 鱼眼镜头光学系统的非球面优化设计[J]. 应用光学, 2019, 40(5): 863－870.
Zhang Xiao, Lü Lijun. Aspheric optimization design of fisheye lens optical system [J]. Journal of Applied Optics, 2019, 40(5): 863－870.

[48] 李晗, 葛动元, 姚锡凡. 面向鱼眼相机标定和畸变处理的深度神经网络[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(17): 7260－7267.
Li Han, Ge Dongyuan, Yao Xifan. Deep neural network for fisheye camera calibration and distortion correction [J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(17): 7260－7267.

[49] Liao K, Lin C, Zhao Y. A deep ordinal distortion estimation approach for distortion rectification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2021, 30: 3362－3375.

[50] Feng H, Wang W, Deng J, et al. SimFIR: a simple framework for fisheye image rectification with self-supervised representation learning[C]// Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. Piscataway: IEEE, 2023: 12418－12427.

[51] 宋佳音, 池志祥, 张晓鹏, 等. 基于鱼眼镜头的树高测量方法[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(13): 5424－5431.
Song Jiayin, Chi Zhixiang, Zhang Xiaopeng, et al. Tree

height measurement method based on fisheye lens [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(13): 5424－5431.

[52] Aini M A B, Leong S H, Yong Y T, et al. Image enhancement for detection of underwater moulted crabs in greenhouse soft-shell crab farming using deep learning [J]. Smart Agricultural Technology, 2025, 12: 101223.

[53] 张倩. 温室机器人多传感器定位与建图方法研究[D]. 南京：南京农业大学, 2022.
Zhang Qian. Research on multi-sensor positioning and mapping methods of greenhouse [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2022.

[54] Cañadas-Aránega F, Moreno J C, Blanco-Claraco J L, et al. Autonomous collaborative mobile robot for greenhouses: Design, development, and validation tests [J]. Smart Agricultural Technology, 2024, 9: 100606.

[55] Karnas G. Design and application of omnidirectional mirror for catadioptric optical system dedicated to high-speed video registration of lightning [J]. Measurement, 2025, 242 (Part A): 115806.

[56] 张越, 张宁, 徐熙平, 等. 融合结构光的折反射全景单目视觉测距[J]. 光学精密工程, 2024, 32(4): 490－503.
Zhang Yue, Zhang Ning, Xu Xiping, et al. Catadioptric omnidirectional monocular visual distance measurement method integrating structured light [J]. Optics and Precision Engineering, 2024, 32(4): 490－503.

[57] 包晟, 刘智颖, 黄蕴涵, 等. 基于Q-con非球面的折反射式全景光学系统设计[J]. 光子学报, 2023, 52(5): 252－266.
Bao Sheng, Liu Zhiying, Huang Yunhan, et al. Design of catadioptric panoramic optical system based on Q-con aspheric [J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(5): 252－266.

[58] 张雨泽, 吕丽军. 折反射全景成像光学系统的优化设计[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(7): 55－57, 61.
Zhang Yuze, Lü Lijun. Optimal design of catadioptric panoramic imaging optical system [J]. Industrial Control Computer, 2021, 34(7): 55－57, 61.

[59] 曹一青. 超大视场折反射全景光学成像系统设计[J]. 应用光学, 2021, 42(4): 608－613.
Cao Yiqing. Design of catadioptric panoramic optical imaging system with ultra-large field of view [J]. Journal of Applied Optics, 2021, 42(4): 608－613.

[60] 王敏. 无人机载折反射式实时全景遥感成像及图像处理技术研究[D]. 长沙：国防科技大学, 2019.
Wang Min. Research on real-time panoramic remote sensing imaging and image processing technology for UAV [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2019.

[61] Wang T H, Chen B, Wang N, et al. Zero-shot obstacle detection using panoramic vision in farmland [J]. Journal of Field Robotics, 2024, 41(7): 2169－2183.

[62] Xu H Z, Li S C, Ji Y H, et al. Dynamic obstacle detection based on panoramic vision in the moving state of agricultural machineries [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 184: 106104.

Application status and development trends of panoramic vision technology in agricultural information perception

Wang Chaozhu[1], Cheng Junlu[2], Qiao Lu[3], Li Wenchun[4], Qiu Wei[2], Tian Guangzhao[2*]

(1. *Jiangsu Agricultural Machinery Testing and Appraisal Station, Nanjing* 210017, *China*; 2. *College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 211800, *China*; 3. *Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing* 210014, *China*; 4. *Tumushuke Yinfeng Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Tumushuke* 843900, *China*)

Abstract: In the transition from traditional agriculture to smart agriculture, the demand for large-scale, high-precision information perception in agricultural scenarios is increasing. Traditional monocular and binocular vision, limited by their field of view, struggle to meet the requirements of all-round monitoring in complex environments. Panoramic vision technology, characterized by 360° unobstructed field of view, fast and complete information acquisition, and strong real-time performance,

has become an irreplaceable key technical means in the intelligent upgrading of agriculture. This paper aims to systematically review the application status and development progress of panoramic vision systems in the agricultural field, providing theoretical reference for the in-depth integration of panoramic vision technology and agricultural equipment. Based on imaging principles and hardware structures, the systems are classified into four architectural types: pan-tilt rotating type, multi-camera array type, fisheye lens type, and catadioptric type. Combined with typical cases, the application evolution in fields such as crop monitoring, phenotypic investigation, and agricultural machinery navigation is analyzed. The research shows that panoramic vision has formed a multi-level application pattern: pan-tilt rotating systems have small distortion but poor real-time performance, suitable for static growth monitoring; multi-camera systems have high frame rates and small pose errors, capable of supporting dynamic high-dimensional phenotypic reconstruction and positioning; fisheye systems have a simple structure, and edge distortion can be suppressed through calibration to achieve wide-area monitoring; catadioptric systems are compact with no delay and small deviations in navigation and obstacle avoidance. Currently, panoramic vision in agricultural applications still faces four major issues: bottlenecks in adaptability to complex environments, shortcomings in real-time processing of dynamic scenes, insufficient efficiency and accuracy of 3D information reconstruction, and lack of technical standardization and system compatibility. Therefore, in the future, panoramic vision technology should focus on multi-modal sensor fusion perception, use deep learning-driven adaptive model optimization to improve generalization ability, and deeply collaborate with the agricultural Internet of Things to build an integrated perception-decision-regulation system. Meanwhile, strengthening technology open-sourcing and industry standardization will accelerate the large-scale application of panoramic vision technology in precision agriculture.

Keywords: panoramic vision; smart agriculture; deep learning; information perception; multi-sensor fusion; 3D reconstruction

Foundation items: Science and Technology Program of the Third Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Tumsuk City (KY2025JBGS10); Government Procurement Project (JSZB-2024100013); National Key Research and Development Program of China(2024YFD2001101)

First Author: Wang Chaozhu, E-mail: wangchaozhu1981@163.com

*__Corresponding Author:__ Tian Guangzhao, E-mail: tgz@njau.edu.cn