

技术发明奖公示内容

一、 项目名称：区域旅游共生模式构建及资源协同优化关键技术及应用

二、 提名者及提名意见（包含提名等级）：

提名者：陕西省教育厅

提名意见：

该项目紧密围绕区域智慧旅游发展的重大需求，深入且系统地研究了动态共生单元划分、环境协同感知与资源优化调度等关键问题，融合群智决策与优化理论，提出了基于拓扑势的网络划分与交互构建、协同多点强化学习服务链部署、深度强化学习行迹稳定性调控及任务预调度云资源协同优化等一系列创新方法。项目构建了面向智慧旅游共生体系的高效分析与管理系统，有效解决了单元协作难、服务响应延迟高、行为安全管控弱和资源协同效率低等核心难题。

研究成果紧密契合《智慧旅游创新发展行动计划》的政策导向与“十五五”旅游产业数字化转型升级需求，发表论著获国内外学者高度评价，对推动旅游管理从“规模扩张”向“质量效益”转型提供了关键理论支撑与技术实现路径。相关成果已成功应用于多家企业，在区域智慧旅游示范建设中实现产业转化，提升了运营效率与用户体验，具有显著的经济与社会效益。成果材料齐全规范，无知识产权争议，完成人排序无异议，符合陕西省科学技术进步奖的提名条件。

提名该项目为陕西省技术发明奖二等奖。

三、 项目简介：

在区域智慧旅游环境中，人流、物流与信息流共同构成了多维度、强耦合的动态共生系统，位置信息作为系统协同与资源调度的关键枢纽，是实现高效服务与精细管理的核心要素。当前，面向旅游地共生体系的位置服务仍面临多重挑战：动态网络中共生单元时空异质性高、耦合关系复杂，导致单元交互模糊与模式构建困难；道路与环境感知数据来源多样、结构异构，造成感知整合与实时响应能力不足；游客行为轨迹复杂多变，安全控制与服务推荐的实时性、准确性及隐私保护难以兼顾；跨单元资源协同调度泛化能力弱，制约了区域旅游整体服务效能与运营水平的提升。

为此，本项目在国家自然科学基金（61100009）、陕西省科技转移与推广计划项目（2017CG-022）、陕西省自然科学基金基础研究计划（2012JQ8052）、陕西省教育厅重点实验室项目（17JS100）、西安市科技计划项目（CXY1439,201805037YD15CG21(4)）、西安市社会科学规划基金（GX1306,18J192）、西安市碑林区科技计划项目（GX1912,GX1623,GX1819）以及企业委托项目的资助下，围绕共生单元社区划分与演化分析、功能服务链协同部署、位置预测与调度安全控制、异构数据融合与资源优化调度等方面展开相关理论及应用研究，取得一批重要应用基础研究成果，形成了区域旅游共生模式构建及资源协同优化关键技术。

本项目经过多年研究，发表高水平论文 45 篇，其中 SCI 收录 33 篇、EI 收录 12 篇。授权国家发明专利 26 件，其中国际发明专利 2 件、实用新型专利 2 件，登记软件著作权 41 件。研究成果经陕西云创网络科技有限公司、星易通航天科技（南京）有限公司等企业推广应用，取得了良好的社会效益和经济效益；依托该研究项目，已培养博士研究生 2 名，硕士研究生 19 名。

四、 客观评价：

1、国内外专家的代表性引文评价

(1) Sara Bouchenak，博士，里昂国立应用科学学院计算机科学系“计算机科学中的女性”委员会主席，“云计算与分布式大数据系统”学术项目主席。在其发表在一区期刊 *ACM Computing Surveys* 文章中引用该项目成果，说明提出的一种基于贡献加权聚合的异构联邦学习算法，有助于减少通信延迟，从而提升无偏联邦学习系统的整体性能。

(2) Sakshi Patni，韩国加图立大学教授，马来西亚举行的 IEEE ICECCS 会议上获得的最佳论文奖，第七届国际图像处理与模式识别最新趋势会议上获得最佳论文奖。在其发表在二区期刊 *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 文章中引用该项目成果，说明基于析取图邻域的多变量候鸟优化算法，具有搜索速度快、效率高等优点，有效表明该算法为代表的群智能算法对解决 NP 难问题展现出良好的应用前景。

(3) 华东科技大学计算机科学与工程系教授、IEEE 高级会员，博士生导师虞慧群，在其发表在一区期刊 *IEEE Internet of Things Journal* 文章中引用

该项目成果，说明提出的基于 CoMP 零强迫波束形成的强化学习业务功能链部署方法，能够最小化边缘 SFC 有序运行的服务流成本和功耗成本。

(4) Seong Ho Jeong，韩国外国语大学信息与通信工程系的教授，担任国际电信联盟（ITU-T）第 12 工作组（性能、服务质量（QoS）和用户体验质量（QoE））的副主席，以及 ITU-T 第 16 工作组第 1 工作分组（多媒体内容交付）主席，在其发表在一区期刊 *Expert Systems with Applications* 文章中引用该项目成果，说明提出的基于 CoMP 零强迫波束形成的强化学习业务功能链部署方法，能够增强人工智能的可扩展性并驱动 6G 解决方案的演进。

(5) 浙江财经大学经济学博士周晟佳，在其发表在一区期刊 *Expert Systems with Applications* 文章中引用该项目成果，说明提出的一种基于变分自编码器社区检测(CSEA)的网络核心结构提取算法，可以更准确地发现社区结构，具有出色的社区划分效果。

(6) 北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会北京市科技专家、中国传媒大学数据科学与智能媒体学院党委副书记、博士生导师宋金宝，在其发表在一区期刊 *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 文章中引用该项目成果，说明提出的CSEA 算法在密集复杂真实网络中，特别是在中小型网络中具有出色的社区划分效果，可以准确地划分具有未知社区结构的复杂真实网络。

(7) 西安交通大学教授、博士生导师孙建永，在其发表在一区期刊 *Knowledge-Based Systems* 文章中 引用该项目成果，说明提出的基于变分自编码器的社区检测(CSEA)网络核心 结构提取算法与其他社区检测算法相比具有创新性和竞争力。

五、 应用情况和效益：

本项目已应用于 7 家单位，将区域旅游共生模式构建及资源协同优化关键技术应用于智慧景区管理、交通调度与资源协同优化等方面，服务了近 200 家景区单位和50 家物流客户。

项目开发的信息采集装置将物联网感知、多源异构数据融合与智能协同计算等多项技术融合，是一种高度智能的无线电系统。自 2020 年以来，星易通航天科技（南京）有限公司将这一技术广泛应用于定位与轨迹跟踪系统

中，展现出了极高的应用价值，推广效益显著。

该项目中设计的基于变分自编码器的单元演化趋势分析算法，能够敏锐捕捉交通流量演化规律与区域协同关系，形成旅游交通网络流量分析与优化系统。陕西云创网络科技有限公司将该算法实际应用于智慧旅游平台，实现对关键路段流量的精准预测与疏导策略生成，有效降低高峰时段 30%的拥堵指数。

该项目设计的行迹追踪和游览任务调度系统，可以对游客及导游进行室内外精确定位，引导游客或导游变更游览路线。西安美上美信息技术（集团）有限公司应用该系统在景区部署了导游机和游客机，解决了景点中游客分布不均衡的问题，提升了游客的游览体验，同时在避免因过度拥挤造成安全事故上取得了一定的效果。

西安商龙信息科技有限公司应用了该项目设计的动态网络聚类算法，通过对复杂旅游网社群数据的分析，系统成功地对具有未知结构的复杂动态网络进行准确划分，为旅游网社群提供了强有力的技术支持。

该项目中设计的基于无线信号的室内定位算法不仅能优化每个网络区域的接入点信息，降低区域指纹识别的复杂度。还对无线信号进行智能分析和处理，实现了对室内环境的精准感知。南京圣鼎信息科技有限公司将其实际应用于大型商业综合体与博物馆室内导航场景，系统自适应能力出色，在各种复杂场所均能提供稳定可靠的定位服务。

该项目设计的云资源优化分配模型，具备支持大规模实时交通数据处理与仿真推演的能力，可为区域车辆提供动态路况分析与行驶建议。自 2022 年以来，江苏讯言智能科技有限公司将该模型应用于智能交通云控平台，实现了对营运车辆的动态路径引导，显著提高了道路通行效率。

天翼交通科技有限公司应用了该项目设计的车辆跟踪控制算法，共同研发了一套配送任务调度监测控制系统。通过高精度定位与强化学习速度调控策略，系统成功地实现了对配送车辆状态的实时监控与动态任务分配，为同城物流提供了强有力的技术支持。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象 及规模	应用起止时间	单位联系人/ 电话
1	星易通航 天科技 (南京)有 限公司	信息采集装置	定位与轨迹跟 踪系统	2020 年 1 月 -2024 年 12 月	陈志明
2	陕西云创 网络科技 股份有限 公司	基于变分自编 码器的单元演 化趋势分析	旅游交通网络 流量分析与优 化系统	2020 年 6 月 -2024 年 12 月	黄德成
3	西安美上 美信息技 术（集团） 有限公司	行迹追踪和游 览任务调度系 统	旅游导览项目	2020 年 1 月 -2024 年 12 月	王燕
4	西安商龙 信息科技 有限公司	基于拓扑势的 动态网络聚类 算法	旅游网社群分 析系统	2020 年 7 月 -2024 年 12 月	田辉
5	南京圣鼎 信息科技 有限公司	基于无线信号 的室内定位算 法	基于无线信号 的室内定位系 统	2021 年 2 月 -2024 年 12 月	牛广波
6	江苏讯言 智能科技 有限公司	云资源优化分 配模型	路况分析与行 驶建议	2022 年 4 月 -2024 年 12 月	李洪江
7	天翼交通 科技有限 公司	车辆跟踪控制 算法	配送任务调度 监测控制系统	2022 年 9 月 -2024 年 12 月	倪恺悦

六、 主要知识产权目录：（限 10 条，所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2024 年 12 月 31 日之前。填写论文专著时请注意按原文中英文填写）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	METHOD FOR PREDICTING CAR-FOLLOWING BEHAVIOR UNDER APOLLO PLATFORM	加拿大	3065617	2022 年 07 月 19 日	3065617	西安理工大学	Rong Fei, Shasha Li, Haozheng Wu, Fang Liu, Aimin Li, Yu Tang, Zhanmin Wang
2	发明专利	数据采集方法	日本	6895475	2021 年 6 月 9 日	6895475	西安理工大学	费蓉、王冲、李军怀
3	发明专利	一种基于移动终端的博物馆实时路径诱导方法	中国	ZL201610681991.3	2017 年 05 月 03 日	2470573	西安理工大学	费蓉、韩奇哲、李军怀、郭玉玲、程驰明、沙敬原、王谭
4	发明专利	一种基于时空特征的行人路径预测方法	中国	ZL202311253071.8	2024 年 05 月 03 日	6971016	西安理工大学	李爱民、周昊田、崔世淼、费蓉、周中银、周红芳、李军怀、刘雅君、黑新宏、拓守恒
5	发明专利	一种基于任务预调度的 WebIDE 云服务器资源	中国	ZL201811194678.2	2018 年 10 月 15 日	4755119	西安理工大学	王怀军、高茜茜、李军怀、王侃

		分配方法						
6	发明专利	一种室内位置的反向传播神经网络概率密度预测方法	中国	ZL202110985511.3	2023 年 09 月 19 日	6341277	西安理工大学	费蓉、郭与番、李军怀、李爱民、张宽、杨璐
7	论文	A multivariate migrating birds optimization algorithm based on disjunctive graph neighborhood for scenic spot vehicle scheduling	中国	10.1016/j.eswa.2023.119775	2023 年 03 月 08 日	Expert Systems With Applications	西安理工大学	Rong Fei, Zilong Wang, Junhuai Li, Facun Zhang, Hailong Peng, Junzhi Cheng
8	论文	HFedCWA: heterogeneous federated learning algorithm based on contribution-weighted aggregation	中国	10.1007/s10489-024-06123-4	2024 年 12 月 19 日	Applied Intelligence	西安理工大学	Jiawei Du, Huaijun Wang, Junhuai Li, Kan Wang, Rong Fei
9	论文	A novel network core structure extraction algorithm utilized variational autoencoder for community detection	中国	10.1016/j.eswa.2023.119775	2023 年 03 月 08 日	Expert Systems with Applications	西安理工大学	Rong Fei, Yuxin Wan, Bo Hu, Aimin Li, Qian Li
10	论文	Reinforcement learning-based	中国	10.1016/j.future.2022.11.022	2022 年 11 月 24 日	Future Generation	西安理工大学	Kan Wang, Xuan

		ed cost-efficient service function chaining with CoMP zero-forcing beamforming in edge networks				Computer Systems		Liu, Hongfang Zhou, Dapeng Lan, Zhen Gao, Amir Taherkordi, Yujie Ye, Yuan Gao
--	--	---	--	--	--	---------------------	--	---

承诺：上述知识产权无争议且为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利指发明人）的同意，有关知情证明材料均存档备查。

七、 主要完成人情况：

主要完成人：（依次列写完成人姓名）

排名	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	费蓉	教授	计算机科学与工程学院 副院长	西安理工大学	西安理工大学	项目负责人及主要完成人，负责项目的整体构想与实践。针对社群划分问题，提出了一种基于变分自编码器网络核心结构提取方法，提取区域旅游动态环境中的关键特征并降维，提高了方法的实时性，为提供个性化、高效的网络服务奠定了坚实的基础。
2	王怀军	副教授	物联网工程系主任	西安理工大学	西安理工大学	项目主要完成人，主要承担异构联合学习与资源调度研究。提出了基于贡献加权聚合的异构联合学习模型，在

						提升模型泛化性能的同时兼顾了隐私保护；完成了基于多变量迁徙鸟群优化的跨单元资源调度方法，实现车辆、等资源在密集与稀疏场景下的动态协同；进一步设计了基于任务预调度的云资源优化分配方法，有效缩短了游客服务响应时间，推动了跨单元资源调度的高效运行。
3	李爱民	副教授	无	西安理工大学	西安理工大学	项目主要完成人，主要承担共生模式交互构建与分类研究。设计了区域旅游环境下的交互模式挖掘方法，重点分析平台治理、旅游供给与单元需求间的动态协同关系，提出了三类典型共生模式。通过模型仿真与实验测试，验证了不同模式对景区运行效率和资源利用率的影响，建立了共生模式智能识别与干预机制，为区域旅游智能化管理提供了理论依据和决策参考。
4	李军怀	教授	计算机科学与工程学院院长	西安理工大学	西安理工大学	项目主要完成人，在社区关系分析、室内位置分析、等问题提出了关键思路和解决方案，并指导了各种方案的实施。
5	陈志明	工程师	无	星易通航天	星易通航天	项目主要完成人，

				科技（南京）有限公司	科技（南京）有限公司	合作研发了信息采集装置，可对位置信息进行识别与读写，对行动轨迹以及移动位置进行跟踪和识别，解决了批量人流、车流管理识别困难的问题，且采集方式简单，运行成本较低。
6	王侃	副教授	无	西安理工大学	西安理工大学	项目主要完成人，提出一种移动边缘计算网络中联合无线多播的服务功能链部署算法，考虑数据流、服务器功能维护功耗、服务器功能服务功耗和无线传输功耗4种系统开销，建立波束成形设计和SFC映射的联合优化模型，为车路云间提供可靠的网络信息传输机制。

八、 主要完成单位情况：

主要完成单位：（依次列写单位名称）

排 名	完成单位	贡 献
1	西安理工大学	<p>西安理工大学主要完成项目策划; 提供研究所需要的设备、场地、时间及图书资料, 完成整个项目的研究成果。具体包括:</p> <p>（1）针对区域旅游系统中单元关系复杂、演化趋势不明确的问题，提出了基于拓扑势与变分自编码器的社区划分与演化分析模型。该方法能够有效识别单元间的协同演化规律，揭示治理、供给与需求之间的动态关联，为区域旅游智能管理和资源协同调配提供了理论与技术基础。</p> <p>（2）面向旅游服务响应滞后和功能协同效率低下的瓶颈，提出了融合协同多点传输与强化学习的服务功能链部署机制，并结合无线多播内容共享策略，显著优化高、低需求区域之间的协作效率，降</p>

		<p>低跨单元通信开销，全面提升服务响应速度与资源处理能力。</p> <p>（3）为解决单元动态位置预测不准、行迹冲突与调度不稳定的问题，构建了基于概率密度预测、冲突区域控制和强化学习速度调控的一体化行迹安全与调度方法。该体系实现了高精度位置估计、动态风险预警与稳定路径规划，显著增强复杂旅游环境下多类资源的调度效率和系统稳定性。</p>
2	星易通航天科技(南京)有限公司	<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：星易通航天科技（南京）有限公司在无线射频技术和信息安全领域耕耘多年，提出了多种智能解决方案。本项目中的主要贡献如下：</p> <p>（1）合作研发了位置信息采集装置，具备识别与读写功能，可对移动目标的行动轨迹与实时位置进行持续跟踪与识别，有效解决了共生体系中信息采集复杂度高的问题。该装置采集方式简便，且运行成本较低。</p> <p>（2）该装置集成了道路环境感知、信号处理、软件无线电、功率控制与协同通信等多项技术，体现出较高的系统集成度和技术综合性，具有良好的推广应用价值和实际效益。</p>
3		

九、 完成人合作关系说明：（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。下表中的“项目排名”指在本次报奖中的完成人排序。）

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果名称
1	共同专利	费蓉 1/6、李爱民 3/6	2021 年 04 月	2022 年 04 月	METHOD FOR PREDICTING CAR-FOLLOWING BEHAVIOR UNDER APOLLO PLATFORM
2	论文合著	费蓉 1/6、李军怀 4/6	2021 年 12 月	2022 年 12 月	A multivariate migrating birds optimization algorithm based

					on disjunctive graph neighborhood for scenic spot vehicle scheduling
3	共同专利	费蓉 1/6、李军怀 4/6	2016 年 03 月	2017 年 03 月	一种基于移动终端的博物馆实时路径诱导方法
4	共同专利	费蓉 1/6、李爱民 3/6、李军怀 4/6	2023 年 02 月	2024 年 02 月	一种基于时空特征的行人路径预测方法
5	共同专利	王怀军 2/6、李军怀 4/6、王侃 6/6	2017 年 10 月	2018 年 10 月	一种基于任务预调度的 WebIDE 云服务器资源分配方法
6	共同专利	费蓉 1/6、李爱民 3/6、李军怀 4/6	2021 年 12 月	2023 年 06 月	一种室内位置的反向传播神经网络概率密度预测方法
7	论文合著	费蓉 1/6、王怀军 2/6、李军怀 4/6、王侃 6/6	2023 年 09 月	2024 年 09 月	HFedCWA: heterogeneous federated learning algorithm based on contribution-weighted aggregation
8	论文合著	费蓉 1/6、李爱民 3/6	2021 年 12 月	2022 年 12 月	A novel network core structure extraction algorithm utilized variational autoencoder for community detection
9	共同专利	费蓉 1/6、李军怀 4/6	2019 年 03 月	2021 年 03 月	数据采集方法

不 限 条 目	共同 获奖	费蓉 1/6、王怀军 2/6、 李爱民3/6、陈志明5/6	2021 年 03 月	2024 年 06 月	移动位置服务 中的群智决策 及优化关键技术
------------------	----------	----------------------------------	-------------	-------------	-----------------------------

注意：专家提名项目还应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业。