

无人机产业发展测度及对低空经济的影响评估

邵 晴¹, 宋 皓^{1*}, 郝江峰¹, 王海义²

¹巢湖学院数学与大数据学院, 安徽 合肥

²安徽省政府投资项目评审中心, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年10月25日; 录用日期: 2025年11月19日; 发布日期: 2025年11月28日

摘 要

无人机产业发展对于培育新质生产力, 激发低空经济活力至关重要。无人机产业的高质量发展需要协同有序的系统支撑。基于2014~2024年安徽省16个地级市的面板数据, 构建评价指标体系对无人机产业发展协同度进行评估, 并量化无人机产业对低空经济发展的贡献。结果显示, 无人机产业发展呈现“皖中繁荣、皖北稳定、皖南快速增长”的特征。估算表明, 无人机产业协同度每提升0.1, 可带动低空经济增长约51.13亿元。本研究拓展了复杂系统协同理论, 建立了无人机产业发展的新型分析框架, 并提供了量化的政策启示。

关键词

复杂系统, 协同理论, 无人机, 低空经济

Assessment of Unmanned Aerial Vehicle Industry Development and Its Impact on Low-Altitude Economy

Qing Shao¹, Hao Song^{1*}, Jiangfeng Hao¹, Haiyi Wang²

¹School of Mathematics and Big Data, Chaohu University, Hefei Anhui

²Anhui Provincial Government Investment Project Evaluation Center, Hefei Anhui

Received: October 25, 2025; accepted: November 19, 2025; published: November 28, 2025

Abstract

The development of the unmanned aerial vehicle (UAV) industry is essential to building new quality productivity and stimulate the vitality of low-altitude economy. The high-quality development of

*通讯作者。

文章引用: 邵晴, 宋皓, 郝江峰, 王海义. 无人机产业发展测度及对低空经济的影响评估[J]. 应用数学进展, 2025, 14(12): 1-9. DOI: 10.12677/aam.2025.1412480

UAV industry is supported by a synergetic and orderly system. The synergetic degree of the UAV industry is assessed using an evaluation indicator system constructed from panel data collected from 16 prefecture-level cities in Anhui Province between 2014 and 2024. Furthermore, the contribution of UAV industry to the development of the low-altitude economy is quantified. The result finds that the development of the UAV industry exhibits the characteristics of “prosperity in the central Anhui, stability in northern Anhui, and rapid growth in southern Anhui”. It is estimated that a 0.1 increase in the synergetic degree of the UAV industry can drive approximately 5.113 billion yuan of low-altitude economic growth. This study extends complex system synergy theory to establish a novel analytical framework for the development of the UAV industry, with quantified policy implications.

Keywords

Complex System, Synergy Theory, Unmanned Aerial Vehicle, Low-Altitude Economy

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无人机产业是低空经济的重要驱动力，对国家战略发展具有重要意义[1]。2024年党的二十届三中全会强调要完善无人机等现代基础设施，推动经济社会高质量发展。截至2025年，中国无人机产业进入加速发展期，市场规模突破千亿元。然而，无人机产业发展仍面临产业扩张无序、应用场景开发不足等突出问题，尤其是对区域经济发展缺乏明确指引[2]。为解决这些问题，政府必须加强顶层设计，完善政策体系，补齐无人机产业短板，推动形成优势互补的协同产业生态。

低空经济是以无人机为主要依托，通过各类低空飞行活动带动相关领域发展的综合性经济形态[3]。无人机产业作为低空经济的核心驱动力，在产业引领和应用场景拓展方面具有重要意义。在产业引领方面，无人机产业以技术创新为驱动，融合可再生能源、物联网、人工智能等前沿技术，形成涵盖研发、装备制造、应用场景的完整产业链闭环[4]。在应用场景拓展方面，无人机产业已从农业植保、物流配送等基础领域向城市治理、应急救援、地理测绘等复杂场景延伸[5][6]，形成了涵盖生产、生活、公共服务的三维应用生态。这种双重赋能效应不仅孕育了万亿级的市场前景，还通过技术溢出和模式创新，为低空经济高质量发展提供了可复制的范本。

量化无人机产业发展水平，需要运用复杂系统协同理论。无人机产业相关研究主要集中在通用航空[7]-[9]、无人机技术[10]、电动垂直起降飞行器(eVTOL)[11]和城市空中交通(UAM)[12]等低空制造领域，探讨了相关技术在低空经济中的应用场景和经济效益。国内研究聚焦于无人机产业发展路径，强调产业发展、政策支持、技术创新、基础设施和消费市场等低空服务领域[13]-[16]。无人机产业推动低空经济发展的内在逻辑源于其建立的包括低空制造、低空飞行、低空保障、低空服务在内的系统性功能框架。因此，要量化无人机产业发展水平，需要运用复杂系统协同理论研究系统内部的协同程度和有序运行状态。此外，关于无人机对低空经济的影响存在分歧。主张积极效应的文献强调无人机在技术创新中的催化作用，认为无人机能有效激发低空经济活力[17]；持消极观点的学者则关注产业替代效应，即无人机发展能否对低空经济产生预期效果取决于产业带来的产出增加和时间节约[18]。因此，考察无人机产业发展水平及其对低空经济的影响机制具有重要挑战。

本文基于无人机产业的定义和内涵，构建了无人机产业评价指标体系，运用复杂系统协同理论评估

无人机产业发展水平，并分析其对低空经济发展的影响。本研究为无人机产业的进一步发展提供理论支撑，也为政策制定和资源配置提供科学依据。

2. 评价指标体系

本文收集了 2014~2024 年安徽省无人机产业发展相关数据，数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国工业低空经济统计年鉴》《安徽统计年鉴》以及安徽省发展和改革委员会等权威报告和网站。所用数据为动态面板数据，选取安徽省 16 个地级市作为研究对象。

为了评估安徽省无人机产业发展水平，本文构建了三阶段序参量筛选机制，采用多渠道交叉验证的知识获取方式，以确保无人机产业协同度评估模型的科学性和可靠性。首先，系统梳理国内外研究成果，建立初级和次级指标池；其次，基于产业动力学原理和省级政府数据可得性分析，形成标准化指标体系；最后，采用熵权法和德尔菲法进行专家咨询，构建涵盖创新创造、生产制造、服务保障三个子系统的协同度评估框架。该过程综合考虑了文献依据、实际适应性和专家共识，有效控制了序参量冗余和信息偏差风险，具体如表 1 所示。

Table 1. Evaluation index system for the synergy degree of the UAV industry
表 1. 无人机产业协同度评价指标体系

子系统	一级指标	二级指标	单位	属性
创新创造	无人机创新	专利授权数量	项	正向
		研发项目数量	项	正向
	无人机应用	专利转让许可数量	项	正向
		技术市场交易额	亿元	正向
		创造业指数	/	正向
	无人机创造	高新技术企业数量	家	正向
		新产品开发项目数量	项	正向
生产制造	产业结构升级	生产经营利润	亿元	正向
		技术市场交易额	亿元	正向
		第三产业增加值与第二产业增加值的占比	百分比	正向
	生产效率与质量	工业增加值中能源消耗占比	百分比	负向
		不合格产品质量登记率	百分比	负向
	制造潜力	主营业务利润率	百分比	正向
		产业招标流程数量	项	正向
服务保障	服务业增加值	服务业增加值占比	百分比	正向
		高附加值服务业增加值在服务业中的占比	百分比	正向
	新型服务模式	国家及省级科技企业孵化器数量	个	正向
		国家及省级众创空间数量	个	正向
		地方政府无人机相关政策法规数量	项	正向
	支撑与保障	适用于无人机的飞行空域面积	平方公里	正向
		地方政府数字金融总量	亿元	正向

3. 研究方法

3.1. 无人机产业发展协同度

(1) 数据质量控制与标准化：在复杂系统协同理论中，评价指标体系的二级指标被称为序参量，代表无人机子系统的协同状态。复杂系统的子系统集合记为 $S = (S_1, S_2, S_3)$ ，其中 $S_k (k=1, 2, 3)$ 分别代表创新创造、生产制造和服务保障。假设子系统 S_k 的序参量 j 为 $e_j^k = (e_1^k, e_2^k, \dots, e_n^k)$ ，其中 $j = (1, 2, \dots, n)$ 。该序参量向量 e_j^k 包含全省 p 个城市的区域数据，这些数据分别由 $e_j^k[p]$ 表示。

通过缺失值填补和异常值识别与替换实现序参量的质量控制。本文采用四分位距法识别异常值，利用多项式插值法进行缺失值和异常值的替换。

为控制不同序参量可能具有不同数量级和单位这一情况，采用 Z-Score 法对样本点与总体平均值之间的距离进行标准化处理：

$$e_j = \frac{e_j^k - \mu_j}{\sigma_j} \quad (1)$$

其中， e_j 为标准化后的序参量， μ_j 代表第 j 个序参量的均值， σ_j 代表第 j 个序参量的方差。

(2) 基于序参量的协同度计算方法：复杂系统的协同度由子系统的协同度决定，反映子系统的有序组织程度，通过子系统内的序参量计算得出。

序参量分为正向和负向两类。对于正向指标，序参量 e_j^k 的值越大，协同度越高，反之则越低；对于负向指标，序参量 e_j^k 的值越大，协同度越低，反之则越高。假设 ξ_j 和 ς_j 分别为子系统 S_k 中序参量 e_j^k 的上限和下限，则序参量正向和负向指标的标准化公式如下：

$$e_j^k = \begin{cases} \frac{e_j^k - (1-\varepsilon)\varsigma_j}{\xi_j - \varsigma_j}, & e_j^k \text{ 是正向指标} \\ \frac{(1+\varepsilon)\xi_j - e_j^k}{\xi_j - \varsigma_j}, & e_j^k \text{ 是负向指标} \end{cases} \quad (2)$$

其中， ε 为松弛变量，确保序参量不为零。不同时间窗口的序参量 e_j^k 通过上述公式计算得出。

对序参量 e_j^k 的正向和负向指标进行标准化后，子系统协同度 $d_k(e_j^k)$ 的计算公式如下：

$$d_k(e_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \omega_j [d_k(e_j)_h - d_k(e_j)_0] \quad (3)$$

其中， ω_j 为 e_j 的权重， $d_k(e_j)_0$ 为初始时刻 t_0 (2014 年) 第 k 个子系统的协同度， $d_k(e_j)_h$ 为 t_h 时刻的协同度。无人机产业协同度通过三个子系统协同度的加权几何平均得到，计算公式如下：

$$u = \theta^{\max\{k\}} \sqrt{\prod_{k=1}^{\max\{k\}} (d_k(e_j)_h - d_k(e_j)_0)^{\sigma_k}}, \quad k \geq 1 \quad (4)$$

其中， σ_k 为子系统 d_k 的权重， θ 是符号属性，反映子系统对复杂系统的影响程度，通过层次分析法确定：

$$\theta = \frac{\min(d_k(e_j)_h - d_k(e_j)_0)}{\max(d_k(e_j)_h - d_k(e_j)_0)} \quad (5)$$

3.2. 无人机产业对低空经济的影响测度

(1) 多重共线性诊断：检验无人机产业与低空经济的解释变量和控制变量之间的多重共线性。

假设无人机产业对低空经济的影响测度的解释变量和被解释变量分别为无人机产业发展协同度与低空经济规模，带有残差 ν 的回归模型表示为：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_p x_p + \nu \quad (6)$$

若两个或多个解释变量之间存在相关性，将会影响回归的准确性，即存在非零系数 $\{C_1, C_2, \dots, C_p\}$ ，进而导致：

$$C_0 + C_1 x_1 + C_2 x_2 + \cdots + C_p x_p + \nu = 0 \quad (7)$$

多重共线性的严重程度通过方差膨胀因子(VIF 值)进行衡量：

$$\text{VIF}_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (8)$$

其中， R_i^2 为将第 i 个变量作为被解释变量，与其余解释变量拟合回归方程得到的判定系数。VIF 值越大，表明该变量与其他自变量的相关性越强。

(2) 线性回归模型计算的回归系数代表无人机产业对低空经济的贡献度，多元线性回归模型表示为：

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \nu \quad (9)$$

其中， $\mathbf{X}$ 为解释变量(无人机产业协同度)， $\mathbf{Y}$ 为被解释变量(低空经济发展水平)， $\boldsymbol{\beta}$ 为回归系数， ν 为误差项。

残差平方和(RSS)计算如下：

$$\text{RSS} = \mathbf{Y}^\top \mathbf{Y} - 2\boldsymbol{\beta}^\top \mathbf{X}^\top \mathbf{Y} + \boldsymbol{\beta}^\top \mathbf{X}^\top \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} \quad (10)$$

对残差平方和求导并令导数为零，得到正规方程：

$$\mathbf{X}^\top \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} = \mathbf{X}^\top \mathbf{Y} \quad (11)$$

解得影响系数：

$$\boldsymbol{\beta} = (\mathbf{X}^\top \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^\top \mathbf{Y} \quad (12)$$

4. 无人机产业协同度评估

2014 年至 2024 年安徽省 16 个地级市无人机产业协同度的变化如图 1 所示。总体而言，截至 2017 年，没有一个地级市达到轻度协同($u > 0$)。2017 年至 2019 年，各地级市的发展缓慢且波动。2020 年至 2022 年，各地级市的无人机产业发展受到新冠疫情的严重影响，均呈现出轻度不协同($u < 0$)的现象。疫情之后，系统协同度迅速上升。截至 2024 年，所有地级市都达到了轻度协同。特别是合肥和芜湖的无人机产业协同度达到了高度协同($u > 0.66$)。

本研究旨在分析无人机产业区域协同度的差异。为此，根据国家发展和改革委员会的区域分类标准，将安徽省 16 个地级市划分为三大区域，分别是皖北、皖中和皖南。具体分析如下：

在皖北，2017 年之前，无人机产业呈现出波动状态，在轻度不协同和轻度协同之间摇摆。2022 年之后，蚌埠市和阜阳市发展迅速。仅用了两年时间，蚌埠的无人机协同度就超过了 0.3，达到了中度协同($u > 0.33$)。阜阳市也由于农用无人机补贴政策的高覆盖率实现了中度协同。相反，宿州市的无人机产业协同度相对较低。

在皖中，2019 年之前，合肥市的无人机产业达到了轻度协同。2020 年至 2021 年，协同度有所下降。自 2022 年以来，作为省会的合肥市的协同度取得了显著成效。2022 年之后，滁州市的协同度发展迅速，

呈上升趋势。这是因为滁州市承接了南京市的产业链溢出。安庆市的协同度与滁州市相似。2022 年之后，它发展迅速，紧紧跟随合肥市和滁州市。

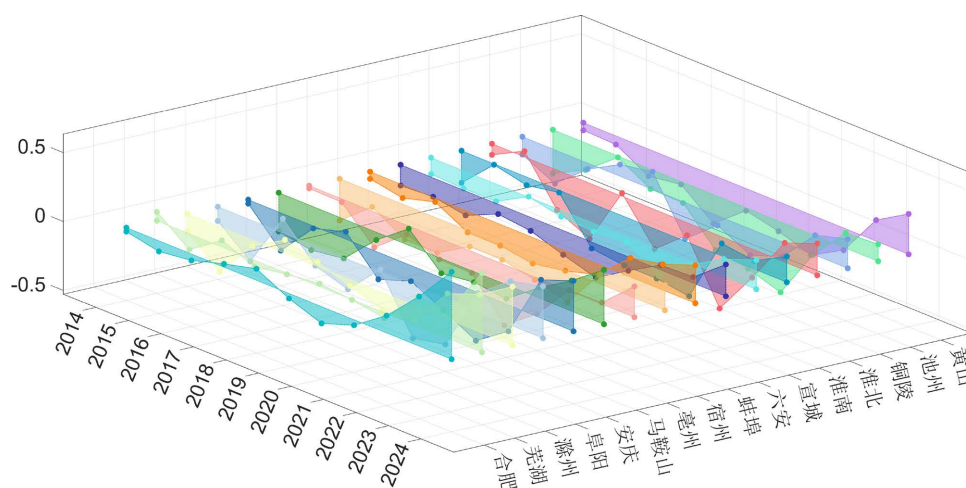


Figure 1. Synergy degree of UAV industry in 16 prefecture-level cities of Anhui province

图 1. 安徽省 16 个地级市无人机产业协同度

在皖南，2022 年之后，芜湖市的无人机产业经历了一段加速增长期，其特点是政策引导加强和产业升级。这导致了中度协同度的实现。除了芜湖的显著发展外，马鞍山市的无人机产业协同度在 2022 年之后也大幅提升。这一提升的主要原因是马鞍山市在传感器和无人机制造领域拥有固有优势。相比之下，池州市和铜陵市则表现得较为滞后。

总之，2014 年至 2017 年，安徽省无人机产业协同度在协同与不协同之间波动。2017 年至 2024 年，协同度持续逐渐上升。2024 年，安徽省整体进入轻度协同阶段，而合肥和芜湖市进入高度协同阶段。该区域的分布格局呈现出“皖中繁荣、皖北稳定、皖南快速增长”的特点。

5. 无人机产业对低空经济的影响

无人机产业对低空经济的影响效应如图 2 所示。很明显，无人机产业协同度的指标变量与低空经济的控制变量密切相关，如区域的人均 GDP、产业结构、政府科技支出等。通过对解释变量和潜在控制变量进行多重共线性诊断(即 VIF 阈值标准设为 10)来选择控制变量。结果确定了符合要求阈值标准的变量。诊断结果表明，传统控制变量与无人机产业指标变量之间存在显著的多重共线性问题。因此，本研究省略了补充控制变量的纳入，并采用主成分分析来提取主成分解释变量。当回归的均方根误差(RMSE)小于 1 时，模型拟合结果被认为是有效的。结果表明，除了淮南市调整控制变量后的 RMSE 大于 0.5 外，其他城市的回归模型对数据的拟合度相对较好，RMSE 值均在 0 到 0.5 之间。

安徽省各城市的影响系数范围为 0 到 80。例如，合肥的影响系数为 75.05，这表明合肥市无人机产业协同度每提高 0.1 个单位，合肥市低空经济水平可以提高 7.505 个单位(亿元)。值得注意的是，池州市和淮南市的无人机产业协同度相对较低，但其影响系数相对较高。这一发现表明，无人机产业协同度对欠发达地区的低空经济也有显著贡献。因此，大力发展无人机产业和提高无人机产业协同度是激发皖南地区低空经济活力的关键措施。总之，安徽省的平均影响系数为 31.95 个单位，总和为 511.3 个单位。显然，安徽省无人机产业协同度每提高 0.1 个单位，低空经济就有相应约 51.13 亿元的平均增长趋势。该模型表明，提高无人机产业协同度对区域低空经济的高质量发展有显著的促进作用。

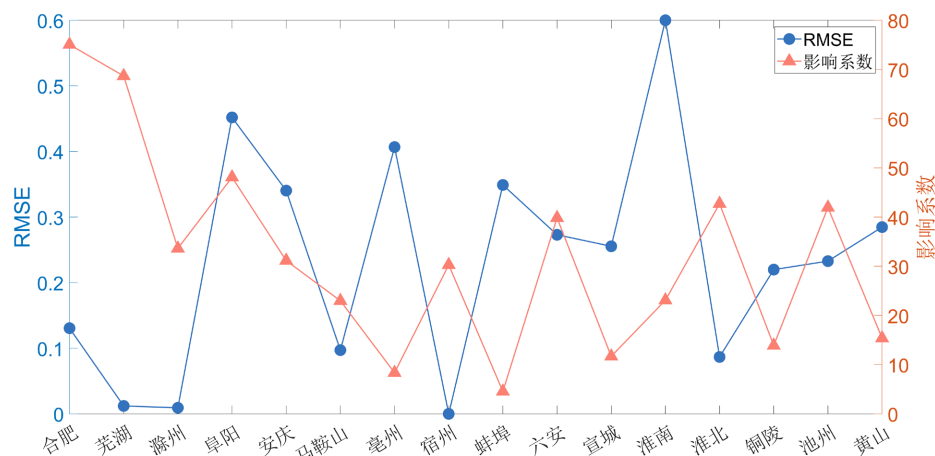


Figure 2. Regression result of the UAV industry and low-altitude economy in Anhui province
图 2. 安徽省无人机产业与低空经济回归结果

6. 结论与启示

6.1. 研究结论

无人机产业系统发展模式的强化被认定为优化低空经济的关键策略。针对现有研究多聚焦于产业应用与场景拓展的局限性，本文从系统视角探究无人机产业发展，评估了不同区域无人机系统协同度的变化及无人机产业对低空经济的贡献。研究表明，无人机产业协同度总体呈现“皖中繁荣、皖北稳定、皖南快速增长”的分布格局。截至 2024 年，全省所有城市无人机产业协同度均达到轻度协同，滁州、阜阳、安庆达到中度协同，合肥、芜湖达到高度协同。此外，研究显示安徽省无人机产业协同度每提高 0.1，低空经济增长预计约 51.13 亿元，且皖中、皖南地区的带动效应更为显著。未来需基于更详细的数据收集，进一步研究无人机产业各子系统对低空经济的影响，为政策制定提供更全面的指导。

未来研究将会构建更精确、更复杂的回归模型，充分考虑不同地区的控制变量。对于无人机产业和低空经济中解释变量和潜在控制变量的多重共线性问题，使用岭回归、主成分回归等更精确的回归模型求解影响系数。

6.2. 政策启示

本文强调各地区需强化政府在无人机产业协同发展中的统筹规划职能，认为应结合区域优势实施多元化发展战略，依据区域产业基础布局制定针对性政策。

皖中地区协同度均值从 0.08 提升至 0.50，达到中度协同水平。该区域无人机产业在制造和农业领域已形成一定积累，未来皖中城市群应从价值链视角重点关注无人机产业发展。制造领域以合肥为核心打造整机制造集群，重点发展工业级无人机和电动垂直起降飞行器(eVTOL)成套设备；建议长江流域开展无人机水产养殖投喂、农田测绘等综合服务，推动安徽智慧农业发展；依托中国科学技术大学等高校设立研究院，培养复合型航空技术人才，提升基础设施网络设计精细化水平。

皖北地区协同度均值从-0.13 提升至 0.30，达到轻度协同水平。该区域无人机产业在制造、农业、物流领域已显现初步成效，未来应聚焦“农林防护 + 工业物流”发展方向，切实提升区域转化应用能力。蚌埠等地需深耕基础制造环节，承接无人机电机、机载设备等中低端零部件生产，构建梯度供应链；建议阜阳、亳州扩大农业植保无人机在农药喷洒、作物监测中的应用规模，提高小麦等主粮种植效益；阜阳、蚌埠应强化乳制品及牛羊肉农产品冷链无人机运输示范城市作用；淮北市需开辟矿区专属低空物流

通道,开展无人机矿山物流、运输安全巡检及生产勘探监测试点。

皖南地区协同度均值从-0.11 提升至 0.38,达到中度协同水平。该区域在制造、旅游、农业、交通等重点领域已取得显著进展,未来需构建“旅游观光 + 山林作业”二维应用体系。黄山应依托新材料产业基础,重点提供航空零部件配套及特种橡胶、复合材料等上游原材料;以芜湖为核心发展城市空中交通(UAM),试点 eVTOL 商业短途飞行,打造长江流域低空旅游枢纽;黄山、宣城利用无人机实现茶园精准管理及特色果树运输,解决山地作业难题;池州、黄山需建立无人机巡检网络,防范森林火灾和地质灾害,同时构建景区应急救援物资无人机配送网络。

基金项目

本研究由安徽省自然科学研究重点项目:基于 Pythagorean 模糊集的多属性群决策方法研究(编号:2022AH051723);巢湖学院科研启动基金:基于服务编排的韧性制造研究(编号 KYQD-2023073)资助。

参考文献

- [1] Hall, A.R. and Coyne, C.J. (2013) The Political Economy of Drones. *Defence and Peace Economics*, **25**, 445-460. <https://doi.org/10.1080/10242694.2013.833369>
- [2] Li, Y., Bi, Y., Wang, J., Li, Z., Zhang, H. and Zhang, P. (2024) Unmanned Aerial Vehicle Assisted Communication: Applications, Challenges, and Future Outlook. *Cluster Computing*, **27**, 13187-13202. <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04631-z>
- [3] Zhou, Y. (2025) Unmanned Aerial Vehicles Based Low-Altitude Economy with Lifecycle Techno-Economic-Environmental Analysis for Sustainable and Smart Cities. *Journal of Cleaner Production*, **499**, Article ID: 145050. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145050>
- [4] Bendorl, M. and Hoffman, J.M. (2022) The Emerging Airspace Economy: A Framework for Airspace Rights in the Age of Drones. *Wisconsin Law Review*, **4**, 953-996.
- [5] Jingfeng, G., Rui, S. and Shiwei, H. (2025) Aerial-Ground Collaborative Delivery Route Planning with UAV Energy Function and Multi-Delivery. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, **36**, 446-461. <https://doi.org/10.23919/jsee.2025.000048>
- [6] Tan, Z., Xiao, L., Tang, X., Zhao, M. and Li, Y. (2023) A FI-Based Radio Map Reconstruction Approach for UAV-Aided Wireless Networks. *Electronics*, **12**, Article 2817. <https://doi.org/10.3390/electronics12132817>
- [7] Sobieralski, J.B. (2013) The Optimal Aviation Gasoline Tax for U.S. General Aviation. *Transport Policy*, **29**, 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.05.003>
- [8] Giovanelli, L. and Rotondo, F. (2022) Determinants and Strategies behind Commercial Airports' Performance in General Aviation. *Research in Transportation Business & Management*, **43**, Article ID: 100795. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100795>
- [9] Boyd, D.D. (2017) A Review of General Aviation Safety (1984-2017). *Aerospace Medicine and Human Performance*, **88**, 657-664. <https://doi.org/10.3357/amhp.4862.2017>
- [10] Miron, M., Whetham, D., Auzanneau, M. and Hill, A. (2023) Public Drone Perception. *Technology in Society*, **73**, Article ID: 102246. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102246>
- [11] Higgins, R.J., Barakos, G.N., Shahpar, S. and Tristante, I. (2021) A Computational Fluid Dynamic Acoustic Investigation of a Tiltwing eVTOL Concept Aircraft. *Aerospace Science and Technology*, **111**, Article ID: 106571. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.106571>
- [12] Yavas, V. and Yavaş Tez, Ö. (2023) Consumer Intention over Upcoming Utopia: Urban Air Mobility. *Journal of Air Transport Management*, **107**, Article ID: 102336. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102336>
- [13] Huang, X., Zhang, Y., Qi, Y., Huang, C. and Hossain, M.S. (2024) Energy-Efficient UAV Scheduling and Probabilistic Task Offloading for Digital Twin-Empowered Consumer Electronics Industry. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, **70**, 2145-2154. <https://doi.org/10.1109/tce.2024.3372785>
- [14] Du, P., Shi, Y., Cao, H., Garg, S., Kaddoum, G. and Alrashoud, M. (2024) 3-D Trajectory Optimization and Communication Resources Allocation in UAV-Assisted IoT Networks for Sustainable Industry 5.0. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, **70**, 1423-1433. <https://doi.org/10.1109/tce.2023.3325131>
- [15] 李连成, 李名良, 马萍萍. 加快推动低空经济高质量发展[J]. 宏观经济管理, 2025(10): 14-20.

-
- [16] 陈元欣, 徐杰忠, 徐泽涵. 低空经济背景下的航空运动产业: 角色定位、实践困境与优化路径[J]. 天津体育学院学报, 2025, 40(5): 532-540.
- [17] Li, Y., Zeng, Q., Shao, C., Zhuo, P., Li, B. and Sun, K. (2024) UAV Localization Method with Keypoints on the Edges of Semantic Objects for Low-Altitude Economy. *Drones*, **9**, Article 14. <https://doi.org/10.3390/drones9010014>
- [18] Çetin, E., Cano, A., Deransy, R., Tres, S. and Barrado, C. (2022) Implementing Mitigations for Improving Societal Acceptance of Urban Air Mobility. *Drones*, **6**, Article 28. <https://doi.org/10.3390/drones6020028>