

交通工程建设中多源融合感知技术的应用与优化探讨

郭大鹏

山东省路桥集团有限公司，山东 济南 250014

DOI:10.61369/ME.2025060029

摘 要： 随着城市化与智能网联汽车技术的发展，传统单一传感器已无法满足交通工程对感知全面性、准确性与实时性的需求。本文以多源融合感知技术为研究对象，通过文献调研与案例分析，阐述其基本原理与分类，剖析在高速公路、城市交通、智能网联汽车及特殊环境中的应用场景，梳理关键算法与优化策略，指出当前面临的数据异构性、计算复杂度等挑战，并展望未来发展趋势。研究表明，多源融合感知技术可有效弥补单一传感器局限，为智能交通系统提供核心支撑，未来需进一步推进技术融合与标准化建设。

关 键 词： 多源融合感知；交通工程；传感器；智能交通；数据融合算法

Discussion on the Application and Optimization of Multi-Source Fusion Perception Technology in Transportation Engineering Construction

Guo Dapeng

Shandong Luqiao Group Co., LTD., Jinan, Shandong 250014

Abstract： With the development of urbanization and intelligent connected vehicle technology, traditional single sensors can no longer meet the demands of traffic engineering for comprehensive perception, accuracy and real-time performance. This paper takes multi-source fusion perception technology as the research object. Through literature review and case analysis, it expounds its basic principles and classification, analyzes its application scenarios in expressways, urban traffic, intelligent connected vehicles and special environments, sorts out key algorithms and optimization strategies, points out the current challenges such as data heterogeneity and computational complexity, and looks forward to future development trends. Research shows that multi-source fusion perception technology can effectively make up for the limitations of a single sensor and provide core support for intelligent transportation systems. In the future, further promotion of technology integration and standardization construction is needed.

Keywords： multi-source fusion perception; traffic engineering; sensor; intelligent transportation; data fusion algorithm

引言

城市化加速致交通流量激增，智能网联汽车技术推动交通系统向“全域感知、协同管控”转型。然而，传统单一传感器（如摄像头、雷达）因视场窄、抗干扰弱，难以应对复杂交通场景。为此，多源融合感知技术通过整合多类型传感器数据，实现“1+1>2”的感知效果，成为智能交通系统（ITS）发展的关键，可提升交通事件响应效率、优化管控策略，保障出行安全高效。从研究现状看，国际上欧洲借C-ITS推进车路协同融合，美国凭“智能城市挑战赛”优化交通流量与信号，日本京瓷2025年将推出全球首个相机-LiDAR融合传感器；国内依《数字交通发展规划纲要》推进感知网络建设，江苏长天智远数字孪生高速使决策响应缩60%，深圳龙岗交警借多源融合将事故处理时间从40分钟压至5分钟。本文即围绕该技术原理、场景应用等展开，采用文献调研法与案例分析法开展研究^[1]

一、多源融合感知技术的基本原理与分类

（一）核心原理

多源融合感知技术通过整合摄像头、雷达、激光雷达

（LiDAR）、GPS等传感器数据，利用时空同步、坐标转换与数据关联技术，弥补单一传感器缺陷。例如，通过北斗统一授时实现设备时钟同步，二次标定不同坐标系数据，完成里程桩号与空间坐标系的转换^[2]。

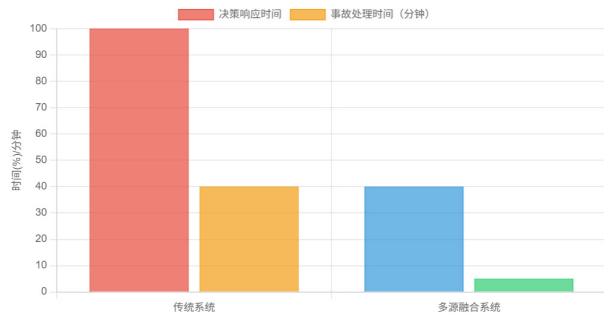


图1 多源融合感知技术性能提升对比

（二）技术分类

表 1 多源融合感知技术分类表

分类维度	具体类型	核心特点与应用示例
融合层次	数据层融合	直接处理原始数据，保留信息完整，如相机与 LiDAR 点云融合检测目标
	特征层融合	提取特征后融合，如相机视觉特征与雷达几何特征结合识别目标
	决策层融合	独立决策后整合，灵活性高，适用于传感器异构场景
融合方法	概率统计法	含卡尔曼滤波、贝叶斯网络，处理数据不确定性，如 SAGA-KF 跟踪目标 ^[3]
	人工智能法	基于 CNN、Transformer，自动学习复杂模式，如 CMMF Net 实现多智能体感知 ^[4]
	几何模型法	依托投影关系，如 BEV 投影统一多传感器数据
传感器类型	视觉 - 雷达融合	结合视觉语义与雷达距离，解决时空同步问题
	激光雷达 - 相机融合	整合三维几何与语义信息，提升复杂场景感知
	多模态融合	集成 GPS、IMU 等，实现全方位环境感知

（三）系统架构

多源融合感知技术在交通场景中的系统架构，是整合多类型感知设备（如光纤光栅传感器、视频、雷达、GNSS、IMU 等）、数据传输网络、边缘计算节点与中央处理平台的分层协作体系，旨在实现交通数据高效采集、处理与应用。其核心逻辑为：前端分布式感知节点实时采集多维度交通数据，边缘侧预处理并初步融合以减传输负荷，关键数据经协同调度传至中央平台，结合算法模型深度融合，最终为高速公路协同管理、城市交通信号控制、智能网联汽车定位避障等场景提供精准决策支持，平衡数据利用效率与系统稳定性。

表2 多源融合感知系统的架构设计

架构类型	优点	缺点
集中式架构	融合效果好，能够充分利用所有信息	计算负担重，实时性要求高，对通信带宽要求严格
分布式架构	减轻了中央处理器的负担，提高了系统的实时性和可靠性	可能损失部分信息，融合效果可能不如集中式架构
混合式架构	结合了集中式和分布式架构的优点	实现复杂度较高

二、多源融合感知技术的应用场景

多源融合感知技术在多类交通场景成效显著。高速公路场景中，鄂州机场高速用 1.6 万个光纤光栅传感器结合视频、雷达实现“触觉+视觉”全天候感知，罗如意等人的算法保障车辆轨迹连续低时延；大兴机场高速借视频孪生技术协同管理服务区与收费站，事故疏导缩短 35% 拥堵时间。城市交通场景，深圳龙岗交警靠多源融合将事故处理效率提 8 倍，智汇云舟平台动态调灯提升 15%–30% 路网通行效率，华为与软通智慧的车路云方案融合数据实现边缘侧自主决策。智能网联汽车场景，Wei Liu 的 UniMSF 框架、V2I-MSF 框架各有定位与避障优化作用。特殊环境下，2025 年多目标跟踪框架融合检测结果，KITTI 数据集 HOTA 达 80.13%^[5]。

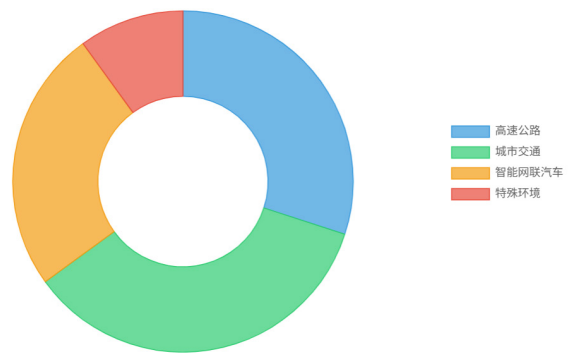


图2 多元融合感知技术应用场景分布

三、关键算法与优化策略

表 3 多元融合感知关键技术

技术分类	具体方向	核心内容
时空同步与校准	时间同步	鄂州机场高速用北斗授时保障时钟一致；Xuan Di 等人软件估计相机延迟实现时间对齐
	空间校准	蔡坤阳利用协方差平移不变性，设计多坐标系估计算法，避免毫米波雷达配准困难
	时空联合校准	罗如意团队通过二次标定，实现多坐标系自由转换
融合算法	概率统计算法	Jiwon Kwak 的 EKF-LGBM 模型结合扩展卡尔曼滤波与梯度提升机，减轻噪声干扰
	深度学习算法	BEVFusion 框架在鸟瞰图空间统一多模态特征，NuScenes 数据集上 3D 检测性能领先 ^[6]
系统优化	架构优化	分层设计（数据采集 - 处理 - 应用层）提升可维护性，边缘计算下放任务降低中央压力
	流程优化	预处理阶段通过噪声滤波提升数据质量，融合策略按需选择早期 / 晚期融合

四、挑战与发展趋势

多源融合感知技术当前面临不少现实挑战。数据上，传感器数据格式、坐标系异构，深圳案例需处理兼容性，海量数据

也增加传输压力；算法上，复杂场景难兼顾实时性与精度，Melih Yazgan提多代理网络易拥堵；系统上，设备集成难、成本高且缺标准，中国信通院正推视频孪生交通标准。发展方向集中在三方面：算法上，深度学习与多源融合结合更紧密，如 MSPTF 网络降计算成本；架构上，边缘-云协同普及，Xuan Di 方案兼顾实时处理与隐私；应用上，车路云一体化成主流，华为实现区域 AI 协同，全域感知体系也在构建，可实现交通设施“厘米级”数字化。

参考文献

[1]Cognitive Disentanglement for Referring Multi-Object Tracking[EB/OL].<https://arxiv.org/pdf/2503.11496>, 2025.

[2]Wei Liu.UniMSF: A Unified Multi-Sensor Fusion Framework for Intelligent Transportation System Global Localization[EB/OL].<https://arxiv.org/pdf/2409.12426>, 2024.

[3]罗如意. 智慧高速多源异构感知数据实时高精度融合算法 [J]. 中国交通信息化 , 2024(4): 11-15.

[4]视频孪生技术赋能智慧交管建设 [EB/OL].<https://blog.csdn.net/asiafinance/article/details/146507314>, 2025.

[5]Kyocera.Revolutionizing Detection:Kyocera Unveils the World’ s First Camera-LIDAR Fusion Sensor[EB/OL].<https://americas.kyocera.com/news/2025/01/07113743.html>, 2025.

[6]BEVFusion: Multi-Task Multi-Sensor Fusion with Unified Bird’ s-Eye View Representation[EB/OL].<https://arxiv.org/pdf/2205.13542>, 2022.