

道路环境与驾驶行为数据同步采集系统研发

杨 轸^{1,2}, 汪名选^{1,2}, 刘 帅^{1,2}

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804;

2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 高精度、可移植、多维度的在途车辆及其周边驾驶环境数据在 L3 级及以上自动驾驶汽车场景库测试、不良驾驶行为谱构建以及在途实时交通管控等领域有至关重要的作用, 由单一传感器构成的数据采集系统在精度、维度上都受到了较大限制, 导致其可靠度较低; 为实现多类数据传感器协同一体化, 研发了一款包含激光雷达、车载运动测量与组合定位、车载踏板与方向盘位移传感器和雷视道路多维感知一体机的多模块道路环境数据与驾驶行为同步采集系统, 支持多项交通数据采集任务的并行处理, 融合了用户的真实驾驶行为, 并基于该系统设计了依维柯某车型的数据实车采集平台; 该系统由上位机与下位机两个子系统构成, 集成了多模块数据采集、储存、传输与标定等功能, 且对各个模块完成了时间同步处理, 适用于两客一危场景, 并设计了易操作的上位机用户交互界面, 对多模块数据实现实时可视化, 直观查看各时段数据的变化规律, 具有较高的应用价值。

关键词: 智能交通; 多源交通数据; 系统设计; 多模块数据采集平台; 数据同步可视化; Socket 网络编程

Development of Synchronous Collection System for Road Environment and Driving Behavior Data

YANG Zhen^{1,2}, WANG Mingxuan^{1,2}, LIU Shuai^{1,2}

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The high-precision, portable, and multi-dimensional driving environment data of vehicles in transit and their surroundings play a crucial role in the fields of the L3 level and above autonomous vehicle scenario library testing, bad driving behavior spectrum construction, and real-time traffic control in transit. The data acquisition system composed of single sensor is greatly limited in accuracy and dimension, resulting in low reliability. In order to realize the collaborative integration of multiple types of data sensors, a multi-module and road environment data and driving behavior synchronous acquisition system including lidar, vehicle motion measurement and combined positioning, vehicle pedal and steering wheel displacement sensor and Rayleigh integrated machine was designed and developed. It supports the parallel processing of multiple traffic data collection tasks, integrates the real driving behavior of users, and designs a data real vehicle collection platform for a certain IVECO model based on this system. The system is composed of two subsystems of upper computer and lower computer, integrating the multi-module data acquisition, storage, transmission and calibration functions, and completing the time synchronization processing for each module, it is suitable for "tourist chartered buses, Liner buses and dangerous goods transport vehicles" scenario, and designs the easy-to-operate upper computer user interface, real-time visualization of multi-module data, intuitive view of the data variation law in each period, with a high application value.

Keywords: intelligent transportation; multi-source traffic data; system design; multi-module data acquisition platform; data synchronization visualization; socket network programming

0 引言

随着我国智能交通、智慧城市的建设与发展, 交通数据的采集方式已由早期的人工计数和调查表, 逐步发展为视频图像、感应线圈、激光与毫米波雷达、红外监测等新型数据采集技术, 该领域的自动化趋势日渐明显^[1]。交通数据采集可面向多个应用层面, 包括交通协同运行与管控、道路交通状态监测、交通流调控与诱导等等, 而现有的研究较多基于交通管控层面对特定区域进行涵盖多目标的交

通数据采集, 针对在途交通层面(如面向自动驾驶的真实道路驾驶数据采集、面向驾驶行为谱研发、交通预警)的研究较少。

对于自动驾驶领域而言, 自动驾驶仿真场景库是自动驾驶测试验证不可或缺的角色, 建立场景库则需要大量的场景数据, 依据三支柱测试法^[2-5], 为保证测试中的安全与可靠性, 通常至少需要 $10^6 \sim 10^8$ 个自动驾驶场景, 虽然目前德国 KITTI、美国 NHTSA、中国腾讯 TAD Sim 等团队

收稿日期: 2023-05-23; 修回日期: 2023-06-30。

基金项目: 国家自然科学基金(52372336); 国家重点研发计划(2022YFC3002604)。

作者简介: 杨 轸(1974-), 男, 博士, 副研究员。

引用格式: 杨 轸, 汪名选, 刘 帅. 道路环境与驾驶行为数据同步采集系统研发[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(4): 210-218, 225.

都在为自动驾驶测试开发领域构建了大型的自动驾驶场景数据库, 其中公认具有代表性的成果有 PEGASUS 和 A-daptIVe 等^[6-8], 但是其相关的技术资料在包含项目工作领域、项目组成、项目费用等基本文件的基础上^[9], 对高精度驾驶场景大数据采集技术的研发仍有进一步提升的空间。自动驾驶的数据源可分为真实数据与仿真数据, 描述了道路环境、各类交通参与者与主控车辆本身的状态信息^[10-14], 其中真实数据则包含自然驾驶数据, 要求在车辆上安装各类传感器进行数据采集^[15], 由于自然驾驶数据对于维度、精度的要求较高, 搭建可靠的多模块数据采集平台至关重要, 这也成为了自动驾驶领域后期各项仿真研究的奠基。而对于不同工况驾驶行为谱构建层面则需要大量不同场景下本车与周围环境车辆相对位置、速度、加速度等各项指标, 王可等人^[16-17]利用车辆加速度、车道偏移、本车与后车间距等指标研究不良驾驶行为谱的分析方法。目前对于该方面研究的数据采集方式包含驾驶模拟器、无人机视频识别、激光雷达、毫米波雷达、车辆 CAN 总线、GPS 等^[18], 其中驾驶模拟器本身存在一些局限性, 一方面模拟器场景搭建与真实场景存在一定差别, 一定程度上影响了驾驶员的决策, 另一方面模拟器的数据可靠性有待进一步研究; 而其余的单一数据采集手段在精度与数据采集多样性上有待提升, 故研发一套集本车驾驶行为与周围环境车辆数据于一体的多模块可移植高精度数据采集平台对该领域的深入研究起着不可或缺的作用。

目前对于交通数据采集的研究采用了多种数据采集设备与方法, 可以分为基于路侧监控设备和基于车载设备的交通数据采集方式, 对于路侧监控设备数据采集方式而言, Kim 等人^[19]证明了无线微波雷达检测器在交通检测中的可行性; Kong 等人^[20]利用三轴检测器检测的三轴波形对车辆建立标签; 刘元昊等人^[21]采用雷视一体机的毫米波雷达与双目相机相结合的方式对交通流信息进行采集, 利用毫米波雷达获取车辆位置、速度等信息, 利用双目相机实时检测流量与驾驶行为, 通过分析视频图片提取车辆运动轨迹, 但缺点在于对被遮挡车辆的各类车型识别精度不高, 且采集位置始终固定, 无法对同一目标长时间跟踪, 没有融合其它设备。对于车载设备数据采集方式而言, 朱红赛^[22]结合“组合导航系统+激光雷达+摄像头”传感器方案设计了无人驾驶车载传感器数据采集与处理系统, 张艺等人^[23]选取激光雷达、毫米波雷达、全景相机作为主要传感器, 证明了多种设备融合下采集精度高于单一设备, 但是缺乏融合后的数据优化处理。陈骏生^[24]提出一种基于自动驾驶电动车辆的数据采集方法, 完成激光雷达、音视频数据和 CAN 总线数据的传输和融合, 但未完成时间同步。以上各研究对于数据精度方面缺乏验证, 且驾驶人本身的驾驶行为也往往被忽视, 在数据采集深度方面也有很大的研究发展空间。

总结国内外研究现状与发展趋势可得, 上述各类系统与平台在交通数据采集方面发挥着显著的作用, 但与此同

时也存在一些不足, 主要表现在以下 3 个方面:

1) 当前现有的交通数据采集系统研究中, 对于路侧采集方式而言, 存在针对特定的数据采集需求、局限于固定数据采集模式的现象, 并且这些数据采集设备需要布设于特定的路段或区域, 以山西五孟智慧高速路段为例, 其全长包含 36 个毫米波雷达和卡口视频融合的感知点位, 利用视频检测提取车牌数据, 再通过雷达对运行轨迹和变道行为进行检测, 此种方案一方面要考虑到施工难度与工程造价的问题, 另一方面所获得的交通数据精度不足, 数据内容不够全面, 应用价值仅局限于交通管控层面, 而难以为自动驾驶、驾驶行为谱构建等在途交通环境数据领域的进一步研究提供有效帮助。而对于车载设备数据采集方式而言, 设备的多样性有待提升, 且数据融合及优化处理也有较大研究空间。

2) 现有的交通数据采集与监测系统包含固定采集源针对固定范围的视频图像分析, 易受到采集摄像头监测范围及清晰度的约束, 且易受到外界天气等因素的干扰。

3) 目前的数据采集系统结构单一, 大多采用了固定的一种至两种采集设备, 采集获得的数据效用有限, 且缺乏将驾驶行为数据与交通环境数据进行同步采集、将多源交通数据进行融合的相关实践与研究。

因此如何在满足高精度、高效率、多方位的数据采集技术需求的条件下研发面向多领域的多模块交通数据采集平台是该领域应当长期研究的问题, 本文完成了一种道路交通环境与驾驶行为数据同步采集系统, 该系统融合高精度定位与惯性测量、雷达检测、视频识别与驾驶行为数据采集, 实现了多方位、高精度的采集需求, 可移植于小汽车、货运车辆、客运大巴等多种车辆类型。

1 系统总体设计

1.1 需求分析

多模块数据采集平台在进行交通数据采集的过程中, 不同的模块承担着不同的采集任务, 针对交通在途场景而言, 采集的交通场景数据应当具有真实性、代表性、可靠性等特点, 综合考虑场景数据的需求, 将数据分为本车数据和其它交通参与者数据两大类, 如图 1 所示。其中本车数据由定位与运动参数、驾驶行为参数构成。其它交通参与者数据由机动车、非机动车、行人运动参数组成, 本车运动参数可以细分为本车定位信息、加速度和三轴姿态角, 驾驶行为参数可以细分为踩踏踏板、转动方向盘的情况; 其他交通参与者的运动参数可以细分为速度、相对本车的距离等信息。

与此同时, 为了最大化满足多源交通数据采集的总体要求, 该系统在硬件方面还需包含以下特性:

1) 采集精度的可靠性。为保证交通场景数据的准确性, 数据采集模块的精度需要在一定范围内, 例如本车位置精度在 0.1 m 内、速度精度在 0.1 m/s 内、周边车辆位置相对精度在 0.5 m 内、前后感知距离在 100 m 以上等。

2) 系统时间同步。在该系统中, 由于各个模块硬件上

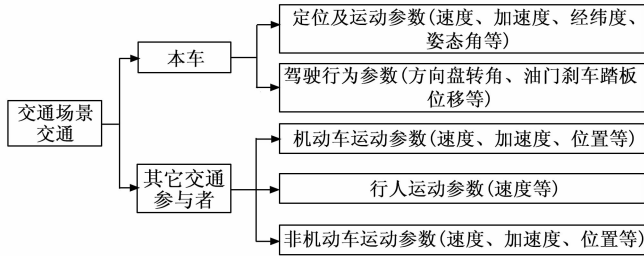


图 1 多模块交通数据采集要素

的离散性，无法为每个模块提供统一的全局时钟，而由各个硬件模块独立维护各自的本地时钟。又由于这些模块的采样频率、运行特性存在不一致性，因此即使所有模块时间戳在某一时刻被校准一致，在经历一段时间后，这些本地时钟也会出现不一致。为保证每个模块的本地时钟在某一时刻再次重合，必须进行系统时间同步操作。系统时间同步一向是设备系统集成中的一个重点和难点。常见的同步方法包括网络授时、卫星授时、无线电波授时等方法，不同的方法由于数据传输平均时间延误，也存在着不同的自身难以逾越的精度限制。

在软件方面需求包含以下特性：

1) 多模块数据集成可视化。为保证采集获得的交通环境与驾驶行为数据在系统时间同步的基础上便于我们对驾驶人所做出的决策进行准确判断以及分析周边道路环境对驾驶人行为的影响，需要将各模块的数据进行同步集成可视化。

2) 多种数据传输模式。支持实时和时段传输模式，其中实时传输模式支持按照设备采样频率在实验现场连续采集并传输设备数据；时段传输模式依据给定的时间段范围集中传输各设备模块暂存的数据。

3) 数据格式统一化。上位机程序可以将各下位机采集模块获得的数据转换为统一的便携式数据格式如 txt、csv 等，便于后期的数据共享及使用。

1.2 系统总体结构

依据采集获得的多源交通环境与驾驶行为数据的系统需求，选用数据采集设备由表 1 所示，场景要素主要分为本车和其他交通参与者，其中本车数据采集工作由车载运动测量与组合定位系统与位移传感器承担，其它交通参与者数据采集工作由道路多维感知一体机激光雷达承担。

设计多源交通环境与驾驶行为数据的总体结构如图 2 所示。其中下位机子系统可以细化为数据采集器、I/O 转换与数传模块和数据存储模块，其主要功能是采集、转换和存储各模块的多源交通环境与驾驶行为数据，并将这些数据封装成统一格式的数据包，通过 RJ45 网口、TCP 协议、CAN 总线接口等方式传输至上位机系统。上位机子系统具有对下位机子系统采集获得的数据进行预处理分析、修正标定、动态实时可视化及存储等功能，并能够将所有的数据导出为便携格式的数据文件便于后期的分析与建模。

表 1 交通数据采集设备与内容

编号	场景要素	数据内容	采用设备
1	本车	姿态和绝对位置	运动测量与组合定位系统
		本车踩踏踏板、转动方向盘位移	位移传感器
2	其他交通参与者	本车周围目标相对位置、速度等信息	道路多维感知一体机
		本车周围目标点云	激光雷达

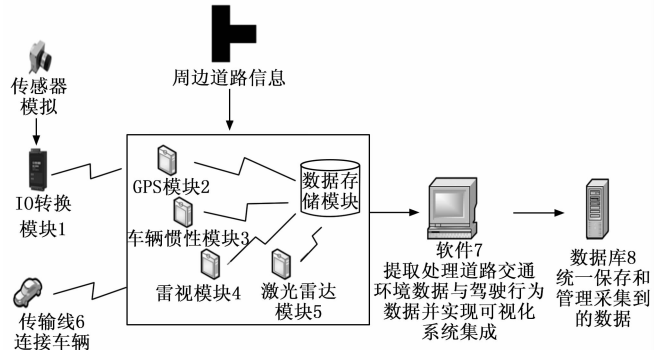


图 2 系统总体功能图

在该系统中，上位机子系统同时与下位机子系统的多个模块连接，各模块采用的数据通信方式可以互不相同，各模块的采集过程可以同步运行，每一个模块均只有一个唯一固定的采集器设备，其中车载踏板与方向盘位移传感器模块中的每个 I/O 转换模块可以与 1~4 个位移传感器连接。每个模块的数据处理与封装均由存储模块实现，存储从连线与通信模式上来看，上位机子系统与下位机子系统之间的通信可以采用 RJ45 网口，利用 TCP/IP 通信协议进行数据传输。

1.3 硬件系统基本功能

在对多源道路交通环境及驾驶行为数据进行采集、转换、传输和预处理的过程中，往往要经历如图 3 所示的若干个步骤。以位移传感器为例，首先要将驾驶人转动方向盘、踩踏踏板的物理量通过传感器转化为电信号模拟量，再通过 IO 转换模块将模拟量通过 RJ45 通信接口与工控机相连，利用工控机对数据进行处理、标定与存储。各个模块传输至车载电脑的数据内容与格式互不相同，需要利用上位机程序进行标定、处理、分析与可视化，以实现对应功能。

为实现各模块数据同步采集功能，利用机器人操作系统 (ROS, robot operating system) 实现同步传输，通过消息传递通信的分布式多进程框架，将网络通信中的 TCP/IP 通信机制封装为 ROS 话题节点通信机制，从而实现多进程间点对点的耦合连接。在 ROS 系统中，每个模块被视为节点 (Node)，节点为执行进程，节点间可以以消息 (Message) 进行相互通信，而话题 (Topic) 用于标识消息的名称，每个消息必须发布到对应的话题中，再通过话题实现

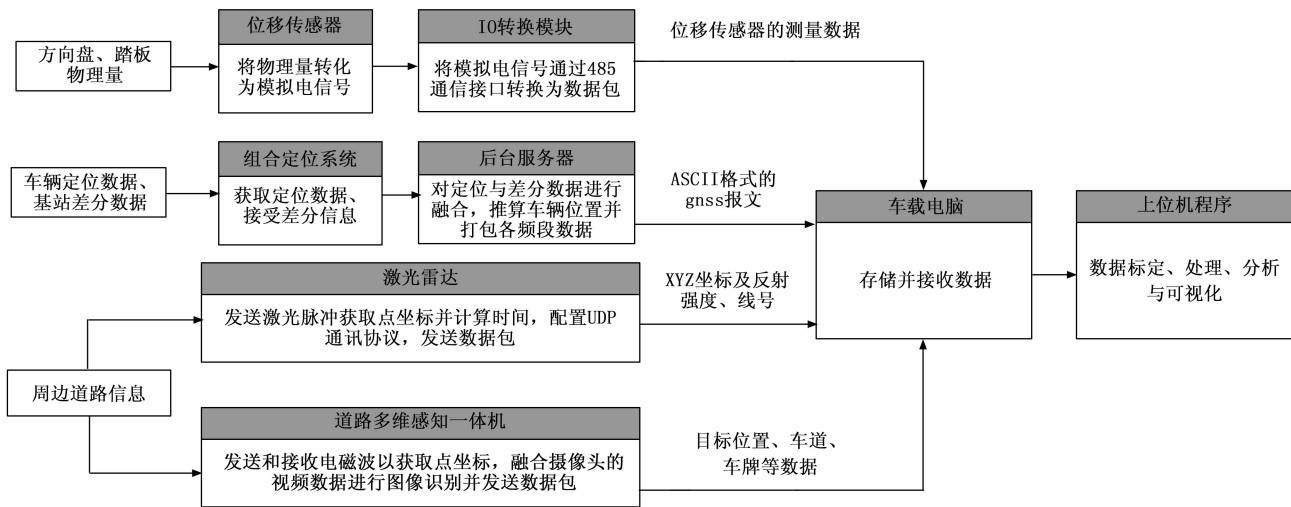


图 3 系统各模块功能图

ROS 分布式网络的路由转发, 节点间可以订阅 (Subscribe) 某话题以获取该话题消息, 也可以发布 (Publish) 消息至对应话题。基于 ROS 的道路环境与驾驶行为数据同步采集系统总体框架如图 4 所示。

本文设计的数据采集系统总体框架思路如下:

1) 编写 launch 脚本, 确保各模块数据采集装备电路正

常后, 利用 roslaunch 命令实现一键启动。

2) 各个模块的数据采集节点在完成数据采集工作后以消息的数据结构形式发布 (Publish) 相应话题 (Topic), 各个传感器数据处理节点通过订阅 (Subscribe) 对应话题对源数据进行处理。

3) 各模块数据处理脚本工作结束后, 时空配准节点对各模块不同类型数据进行时空配准, 为每帧数据附上时间戳以完成时间同步和维持采集对象的信息统一性, 并将各模块数据发布以供其它节点订阅。

2 系统模块设计

2.1 系统模块选型与布局

根据采集系统设计方案, 需要确定各模块所用的设备类型, 综合考虑设备性能参数和数据采集需求, 对各模块的设备一一进行选型与布设。

收集各模块对应数据信息, 应配备轻型大容量高性能车载电脑, 本系统选用工控机收集相应数据并实现数据处理、标定与可视化。

为采集本车定位信息与运动状态, 需要应用本车 CAN 口输出本车经纬度、三轴加速度和三轴姿态角, 故应当采用高精度差分定位模块结合惯性测量单元, 精度达到 0.1 m 以内。其次, 需要通过位移传感器采集驾驶人对于踏板与方向盘的操控情况, 其中采集方向盘位移的传感器量程应采用 1 000 mm, 踏板传感器的量程采用 500 mm, 并需要通过 I/O 联网模块将传感器模拟信号转换为数字信号传至工控机。

为采集本车周边交通参与者信息, 需要采集本车周围目标的位置、速度、类型与偏移量, 故本车需要布设多个传感器以满足上述采集需求。在车顶架两侧安装大于等于 32 线的激光雷达覆盖本车周围 360° 的目标三维点云坐标信息, 前后各安装一个道路多维感知一体机, 利用视频识别原理对本车前后交通参与者进行实时识别以及速度、类型信息的提取, 测距精度应

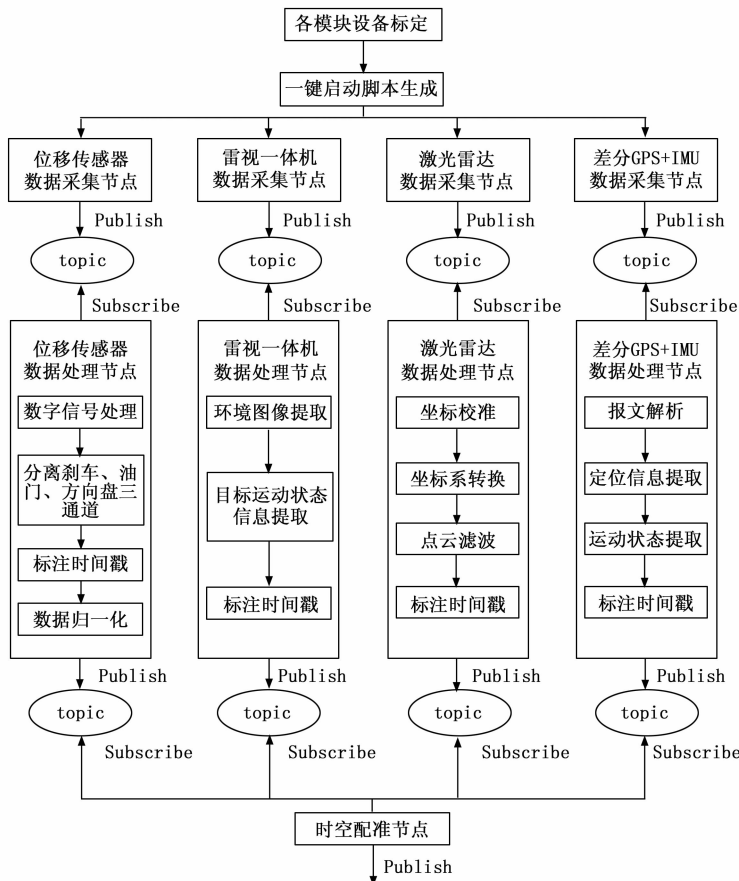


图 4 基于 ROS 的数据同步采集系统总体框架

在 0.3 m 内,测速精度应在 1 km/h 以内,要求采集范围内不出现本车车身。

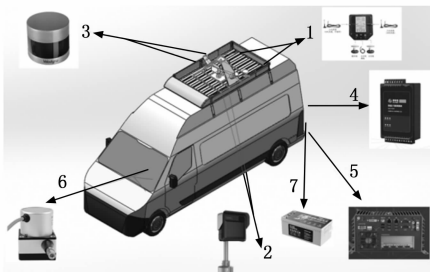
为实现对各模块的持续供电,需采用大容量长续航的车载电源,本系统采用 24 V/100 Ah 的磷酸铁锂电池,并根据各模块不同的工作电压及工作模式配备了相应的变压与稳压模块。

结合上述需求,各模块实现的选型及技术参数如表 2 所示。

表 2 系统各模块及其对应功能

模块名称	功能	技术参数
雷视多维感知模块	实现路口位置行人、车辆以及非机动车检测以及定位;支持多目标的位置,车道,速度、方向、轨迹等信息检测。	检测距离:200 m; 测距精度:±0.1~±0.3 m; 测速精度:误差1 km/h 内。
32 线激光雷达模块	拥有 32 个通道,200 米的测量范围,双回波模式,每秒能够产生 120 万个三维点云坐标,360°水平视场和 40°的垂直视场。	水平视场:360°; 垂直视场:40°(-25~15°); 范围精度:±3 cm。
车载运动测量与组合定位系统模块	实现车辆定位(XYZ 坐标)、车辆三轴加速度、车辆经纬度和行驶路线监控等功能。	位置精度:0.03 m; 速度精度 0.08 m/s。
车载方向盘与踏板位移传感器模块	提供驾驶人转动方向盘、踩踏油门和刹车踏板的位移量。	量程:1 000 mm
磷酸铁锂电池、变压与稳压模块	对各模块设备进行供电、稳压与变压。	24 V/100 Ah。
工控机	实时存储、分析数据。	32 G 内存,512 G 固态硬盘。
I/O 联网模块	组合各种数字量、模拟量、扩展采集的功能。	传输距离:1 200 m; 接口类型:RJ45。

最终确定该系统下位机硬件布设方案如图 5 所示,设备支撑结构主要由两层车顶架组成。



1. 车载运动测量及组合定位系统; 2. 雷视道路多维感知一体机; 3. 32 线激光雷达; 4. I/O 联网模块; 5. 工控机模块; 6. 位移传感器模块; 7. 车载电源与变压稳压模块。

图 5 系统布置方案

2.2 系统模块测试

2021 年 1 月 18 日,课题组委托上海机动车检测认证技术研究中心有限公司开展“道路交通环境与驾驶行为同步采集系统”的性能测试(如图 6 所示)。测试在该公司测试跑道开展现场,中心内部测试道路长约 800 m,宽约 40 m,可开展汽车整车性能测试及智能网联汽车 ADAS 功能测试。



图 6 第三方现场检查

1) 车载运动测量与组合定位系统模块:

该模块和定位基站、后台服务器构成完整的测试系统。能够实时提供车辆的主要运动参数和高精度定位信息,并根据不同的需求配置不同的工作模式,包括数据输出类型和刷新频率等。由于针对汽车应用设计,在定位连续性、航向的稳定性等方面的性能比一般 RTK 定位模块有明显改善,经过定位基站差分后的静态差分精度可以达到 ±2.5 mm 左右,动态差分精度可以达到 ±10 mm 左右。

对该车载运动测量及组合定位系统进行测试,其中待测组合定位系统安装在车辆中部,基准定位系统安装在车辆尾部,二者在车辆轴线方向上的距离为 1.5 m,测试其定位精度与速度精度。待测组合定位系统每 0.01 秒输出一次位置坐标,采样频率为 100 Hz,两套定位系统在同一时间戳下的定位坐标对比结果及平均速度对比结果如表 3 和表 4 所示。

2) 车载踏板与方向盘位移传感器模块:

分别将 3 个米朗 MPS-XS 位移传感器连接在车辆的油门踏板、制动踏板位移和方向盘的转动轴上,驾驶人在操作时传感器能够实时输出三者的位移模拟信号,经过 I/O 联网模块转为数字信号后向上位机传输位移数据,进而通过位移判定驾驶人的驾驶行为,如表 5 所示。

该系统测试过程中对制动踏板、油门踏板和方向盘的转动进行操作,测试过程中,油门深度不断变大,方向盘完成向右换道,制动踏板不变,数据变化表所示,由此判断该位移变化符合实际情况。

3) 雷视道路多维感知一体机模块:

该模块用于检测主控车辆前后侧的目标运动状态,支持毫米波雷达检测目标信息与视频数据的融合,可提供基于视频的车牌、车辆特性识别结果等信息,包含颜色、品牌等,同时可提取机动车、非机动车与行人距离相机中心

表 3 定位坐标比对数据

北京时间	待测定位系统定位坐标		基准定位系统定位坐标		误差绝对值	中误差
	UTM X	UTM Y	UTM X	UTM Y		
2021-01-18 17:15:08.779	329 614.515	3 463 316.167	329 615.398	3 463 317.280	0.092 5	0.092 4
2021-01-18 17:15:08.789	329 614.590	3 463 316.332	329 615.471	3 463 317.381	0.156 3	
2021-01-18 17:15:08.799	329 614.616	3 463 316.445	329 615.545	3 463 317.482	0.171 4	
2021-01-18 17:15:08.809	329 614.739	3 463 316.452	329 615.618	3 463 317.583	0.075 1	
2021-01-18 17:15:08.819	329 614.713	3 463 316.532	329 615.692	3 463 317.684	0.100 0	
2021-01-18 17:15:08.829	329 614.888	3 463 316.610	329 615.765	3 463 317.785	0.033 9	
2021-01-18 17:15:08.839	329 614.962	3 463 316.780	329 615.838	3 463 317.886	0.100 3	
2021-01-18 17:15:08.849	329 615.037	3 463 316.900	329 615.912	3 463 317.988	0.118 2	
2021-01-18 17:15:08.859	329 615.111	3 463 316.932	329 615.985	3 463 318.089	0.051 4	
2021-01-18 17:15:08.869	329 615.185	3 463 316.971	329 616.059	3 463 318.190	0.024 6	

表 4 定位速度比对数据

北京时间	待测定位系统速度 / (m/s)	基准定位系统速度 / (m/s)	误差绝对值	中误差
2021-01-18 17:15:08.769	12.556	12.583	0.028	0.055 6
2021-01-18 17:15:08.869	12.917	13.000	0.083	
2021-01-18 17:15:08.969	12.639	12.722	0.083	
2021-01-18 17:15:08.069	12.417	12.444	0.028	
2021-01-18 17:15:08.169	12.694	12.750	0.056	
2021-01-18 17:15:08.269	12.806	12.861	0.056	

表 5 驾驶行为数据

北京时间	油门	方向盘转角	制动
2021-01-18 16:12:15.692	54.037	477.083	51.108
2021-01-18 16:12:15.723	56.642	481.127	51.433
2021-01-18 16:12:15.749	62.175	488.088	51.433
2021-01-18 16:12:15.780	66.733	493.657	51.759
2021-01-18 16:12:15.806	70.314	504.565	51.759
2021-01-18 16:12:15.833	74.545	516.609	51.433
2021-01-18 16:12:15.864	79.428	529.305	51.433
2021-01-18 16:12:15.890	83.335	533.881	51.433
2021-01-18 16:12:15.921	90.171	542.326	51.108

的 XY 偏移以及纵向、横向速度, 如表 6 所示。

利用该系统中的定位模块对雷视一体机感知精度进行测试, 在测试场地中, 测试车辆与目标车辆均安装经标定的车载运动测量与组合定位系统, 两车位于相邻车道同向行驶, 测试车辆不断改变与目标车辆之间的距离, 追及并超越目标车辆。测试车辆采用雷视一体机实时采集前后方目标车辆的相对位置, 通过比对测试车辆感知到的目标车辆

坐标与目标车辆基准定位系统的定位坐标, 测试前后侧目标车辆的感知精度, 其中车辆行驶航向角为 28.9°, 当感知坐标为 (3.564, 179.428) 时, 即目标车辆位于测试车辆前方 180 m 处, 位置测量误差为 0.227 3 m。最后计算可得测试场景中前后目标车辆距离的中误差即前后侧目标车辆感知精度为 0.255 8 m。

表 6 前后侧目标车辆感知比对数据

北京时间	测试 x	测试 y	感知 x	感知 y	目标 x	目标 y	误差绝对值	中误差
2021-01-18 14:52:29.960	852.976	735.629	3.564	179.428	943.489	890.859	0.227 3	0.255 8
2021-01-18 14:52:31.960	868.692	763.651	4.390	159.416	949.339	901.484	0.217 2	
2021-01-18 14:52:33.960	884.325	792.235	4.427	139.176	955.444	911.430	0.446 4	
2021-01-18 14:52:35.960	900.290	821.132	4.122	117.746	960.651	922.079	0.201 1	
2021-01-18 14:52:37.960	916.414	850.271	3.263	94.926	965.935	931.878	0.475 8	
2021-01-18 14:52:39.960	932.660	879.453	3.352	73.105	970.803	941.644	0.226 0	
2021-01-18 14:52:41.960	947.359	905.756	4.210	56.943	978.031	953.886	0.025 6	
2021-01-18 14:52:43.960	960.606	930.316	3.559	45.922	985.611	968.583	0.347 9	
2021-01-18 14:52:45.960	974.682	955.394	3.006	32.253	993.179	982.466	0.394 1	
2021-01-18 14:52:47.960	989.077	981.634	3.120	17.174	1 000.198	995.243	0.120 4	
2021-01-18 14:52:51.960	1 019.104	036.102	3.805	-9.937	1 017.463	1 025.575	0.013 6	
2021-01-18 14:52:53.960	1 034.767	1 064.605	3.894	-32.772	1 022.367	1 034.359	0.314 2	
2021-01-18 14:52:55.960	1 050.954	1 094.006	3.229	-56.640	1 026.709	1 042.355	0.326 0	
2021-01-18 14:52:57.960	1 067.676	1 124.150	4.733	-81.272	1 032.317	1 050.548	0.245 0	

4) 32 线激光雷达模块:

该激光雷达模块在主控车辆运动时利用脉冲回波原理,以每秒 120 万点的数据回波速率实时扫描周围道路基础设施和各类道路使用者信息,生成相对应的 XYZ 激光点云数据。

对该模块进行测试过程中,目标车辆静止停放,测试车辆与目标车辆并列停放,采用 32 线激光雷达采集左右两侧车辆的点云数据,在可视化点云数据中量取目标车辆与测试车辆激光雷达的最短水平距离,并与实际测量的两车最短水平距离做比对,改变测试车辆的位置进行多次测量,以此测试左右侧目标车辆的感知精度,测试结果如表 7 所示。

表 7 左右侧目标车辆感知比对数据

点云数据最短距离/m	实际测量距离/m	误差绝对值/m	中误差/m
3.564	3.508	0.056	0.069
2.782	2.706	0.076	
4.231	4.123	0.108	
2.612	2.566	0.046	
1.985	1.903	0.082	
1.846	1.894	0.048	
3.582	3.493	0.089	
5.036	5.104	0.068	
6.034	6.123	0.089	
3.689	3.666	0.023	

2.3 实验结果与分析

通过对 4 个模块实地性能测试数据进行分析,可得到以下结论:

1) 对于车载运动测量与组合定位系统模块,在车辆通过内插与 INS 融合后采样频率取 100 Hz 情况下,比对各个时间戳下的待测组合定位系统与已标定的基准定位系统之间的坐标误差,求取中误差即定位精度为 0.092 4 m,测试时段内误差最大值为 0.171 4 m,最小值为 0.024 6 m,采用 RTK 技术的定位精度优于 0.1 m;其次,在定位速度方面,求取平均速度中误差即速度精度为 0.055 6 m/s,其中误差最大值为 0.083 m/s,误差最小值为 0.028 m/s,因此速度精度优于 0.1 m/s。两者的波动均在合理范围内,证明车载运动测量与组合定位系统模块的精度满足整体需求。

2) 对于车载踏板与方向盘位移传感器模块,缓慢踩踏油门过程中油门踏板位移呈现线性增长趋势,变道过程中的方向盘位移量符合现实驾驶逻辑,表明该模块能够精确采集驾驶员的加速、刹车、变道、转向等各类驾驶行为数据。

3) 对于雷视道路多维感知一体机模块,采用雷视一体机测量前后侧目标车辆的感知误差最大值为 0.475 8 m,最小值为 0.013 6 m,总体精度优于 0.3 m,满足识别精度要求。

4) 对于 32 线激光雷达模块,采用激光雷达测量左右侧

目标车辆的感知误差最大值为 0.108 m,最小值为 0.023 m,总体精度优于 0.1 m,表明该模块能够较为精确地通过点云检测周围环境车辆与本车间距离,并同时生成高精度的点云数据,且该测试系统的有效感知范围大于 150 m。

5) 上述 4 个模块的测试数据可同步输出,每个数据文件均包括定位系统时间戳,通过时间戳对齐的方式可实现数据的实时匹配。

3 交互界面与功能设计

3.1 软件系统基本功能

在进行道路交通环境与驾驶行为数据同步采集系统设计开发时,所运用的上位机子系统软件应当具有如下特征与功能:

1) 软件系统登录、退出界面:用户可以根据数据库中储存的用户名及密码,输入相应信息后即可进入软件系统界面,随时打开或退出程序。

2) 简洁的用户交互界面:登录成功打开上位机程序界面后,可以看到简洁明了的用户交互界面,各个图表、说明文字、按钮、滑动块精确且易读的表现形式,给用户带来至简的体验感与清晰的指引,根据界面上的各个按钮自主选择需要查看的模块数据信息,交互形式通常是便于理解和操作的形式,以单击和拖拉为主,降低用户思考时间,在使用方面较为便利。

3) 数据结果可视化展示:基于下位机各采集模块采集获得的惯导与定位数据、传感器数据、雷视多维感知数据和激光点云数据,用户可以自主选择 TCP 和时段文件流两种文件读取形式,根据用户反馈的需要,实时动态更新地显示各模块源数据对应的分析与标定结果,各数据及其对应标签排列整齐简洁明了地展示在系统界面中,相应的图表实现了可拖拽、可缩放功能并且能够自行调节文件读取速率,从而直观查看各个时段的数据变化规律,每一帧的数据源格式在读取的同时展示在信息板上,实现了一一对应。

3.2 系统登录

本系统在 Ubuntu18.04 下采用基于 C++ 的 QT Creator 5.10.0 进行上位机软件的总体设计。系统运用了 Socket 网络编程、TCP/IP 协议以及多线程同步等技术。其中系统的登录界面如图 7 所示,其中用户信息管理与数据库相连接。

3.3 总体设计开发

该平台开发内容包含前端交互式 UI 设计与后端数据流传输,其中前端 UI 继承了 QCustomPlot (QCP) 类,调用 QCP::iRangeDrag 和 QCP::iRangeZoom 类函数实现在 Qwidget 控件中以可拖拽、可缩放的图表实时绘制驾驶模拟数据;使用 QLabel 和 QTextBrowser 捕获并展示每帧数据各个字段的对应值。后端开发部分将行车影像与数据帧时间戳完成同步,将数据帧的各个字段逐一解析并放入对应的 QVector 中,最后完成各个子模块 Signal-Slot 函数的编写。



图 7 系统登录界面

3.4 车载运动测量与组合定位系统模块

图 8 所示为车载运动测量与组合定位系统模块的上位机界面, 右下侧为下位机子系统传输的 16 进制报文用上位机程序转换为 NMEA-0183 数据格式后, 采用其中“GNGGA”协议语句, 并将输出的每一帧间隔 100 ms 的带有同步

时间戳的 GPS 数据以数据流的形式展现在界面上; 右上侧为数据解读界面, 将实时显示车辆的经纬度、速度、三轴加速度、姿态角等信息; 左侧为数据可视化界面, 以折线图的形式实时显示车辆的速度、定位偏差、经纬度偏差和姿态角偏差信息。其中数据传输方式分为文件传输与 TCP/IP 协议传输, 前者用于导入已采集完成的 GPS 数据, 后者用于在采集过程中实时解析由 CAN 总线发送的报文字段。

3.5 车载方向盘与踏板位移传感器模块

图 9 为车载踏板与方向盘位移传感器模块的上位机界面, 右下侧的每一帧数据为某一固定时刻位移传感器模拟量经过 I/O 转换模块转换后输出的位移原始量及经过归一化预处理标定后的修正量; 上侧为数据可视化界面, 实时显示位移传感器标定后的修正量, 有助于更直观地判断驾驶人的踩踏油门踏板与转动方向盘的频率与幅度。

3.6 雷视道路多维感知一体机模块

图 10 为雷视道路多维感知一体机模块的上位机界面,

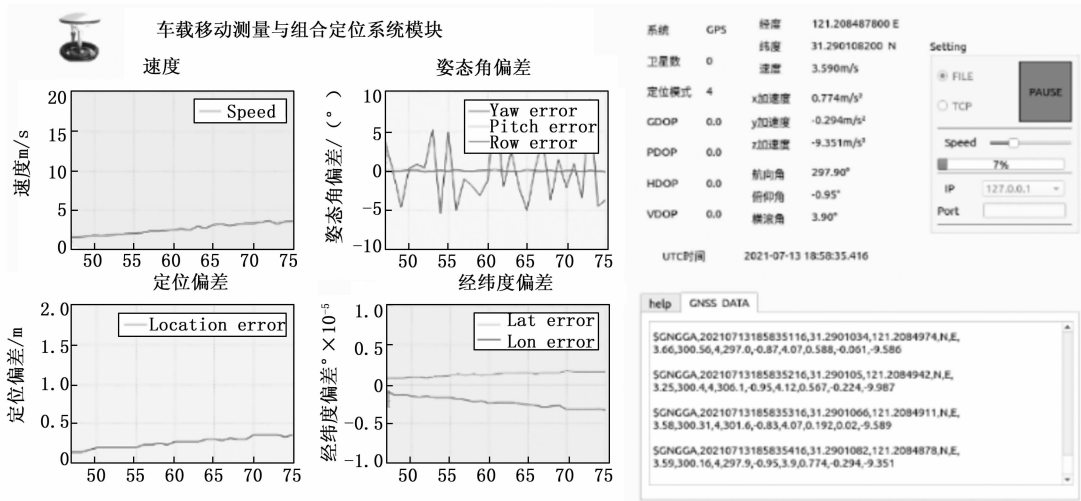


图 8 车载移动测量与组合定位系统界面

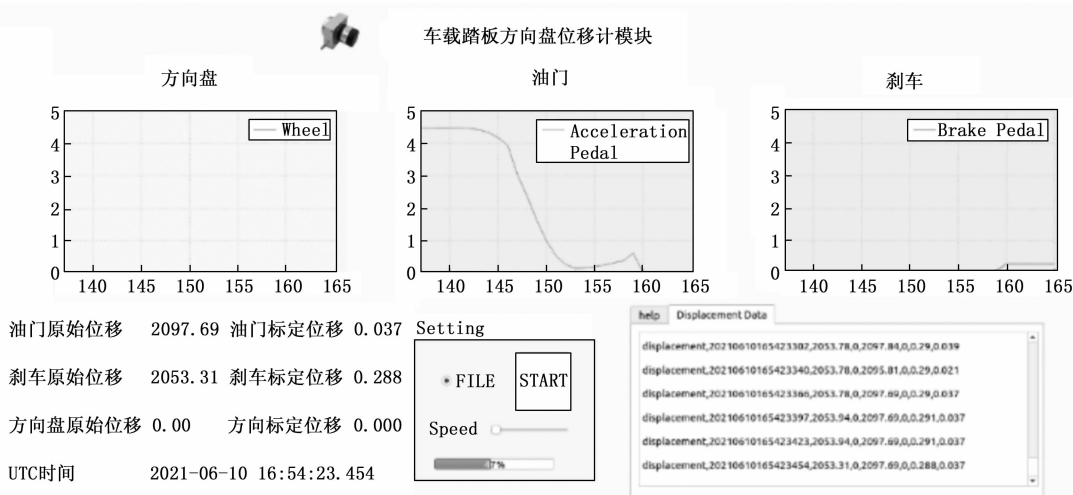


图 9 车载方向盘与踏板位移传感器系统界面



图 10 雷视道路多维感知一体机系统界面

右下侧为下位机子系统传输的雷视目标检测结果数据流；右上侧为数据解读界面实时显示视频识别获得的目标类型（分为机动车、非机动车与行人）、目标的大小（依次为大型车、中型车、小型车）、目标的车牌号码及车牌颜色、目标的纵向与横向速度、目标相对于相机的 X、Y 偏移、事件的触发状态、触发的事件类型和雷达的活跃状态。在实时输出目标参数的同时，在左侧界面显示同一时间戳下抓拍的实时影像，便于协助判断目标当前状态。

3.7 镭神 32 线激光雷达模块

图 11 为镭神 32 线激光雷达模块的上位机界面，利用基于 C++ 的 Pcl 点云动态链接库与 QT 相连接，在左侧实时可视化每一帧的 Pcd 格式点云数据，且点云数据可与车载运动测量与组合定位模块相融合，根据惯性模块的三轴姿态角数据对点云进行坐标系转换，最后构建出完整的道路三维点云场景。

作为依据。为证明其适用性，本文对下位机子系统的 4 个模块分别进行了系统测试，证明了其测量精度的可靠性，验证结果表明该系统采集精度能够满足多方位交通数据自动化采集的总体需求。上位机子系统中融合了 4 个模块的用户交互界面，并完成了模块间的时间同步，各数据信息简洁明了地展示在系统界面中，相应的可视化图表实现了可拖拽、可缩放功能并且能够自行调节文件读取速率，从而直观查看各个时段的数据变化规律，具有较高的应用价值。

参考文献：

- [1] 王殿海, 蔡正义, 曾佳棋, 等. 城市交通控制中的数据采集研究综述 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20 (3): 95 - 102.
- [2] KOOPMAN P. Challenges in autonomous vehicle validation: keynote presentation abstract [C] // IEEE. Proceedings of the 1st International Workshop on Safe Control of Connected and Autonomous Vehicles. New York: IEEE, 2017: 3.
- [3] BAGSCHIK G, RESCHKA A, STOLTE T, et al. Identification of potential hazardous events for an unmanned protective vehicle [C] // Intelligent Vehicles Symposium. IEEE, 2016.
- [4] 李霖, 朱西产. 智能汽车安全技术评价方法研究 [C] // 2015 中国汽车工程学会年会论文集, 上海, 2015: 488 - 490.
- [5] RSENER C, HILLER J, WEBER H, et al. How safe is automated driving? human driver models for safety performance assessment [C] // IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) 2017, Yokohama, Japan, 2017.
- [6] YURTSEVER E, LAMBERT J, CARBALLO A, et al. A survey of autonomous driving: common practices and emerging technologies [J]. IEEE Access, 2020 (99): 1
- [7] HUANG X, WANG P, CHENG X, et al. The apollo-scapes open dataset for autonomous driving and its application [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2019, 42 (10): 2702 - 2719.

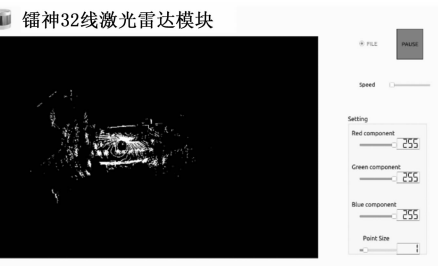


图 11 镭神 32 线激光雷达模块系统界面

4 结束语

本文针对多方位多角度的交通信息数据采集任务，通过总结相关需求，设计与开发了一款可移植的道路环境数据与驾驶行为同步采集系统，该系统的各个数据采集模块具有高度灵活性与普遍适用性，可移植于小汽车、货运车辆、客运大巴等多种车辆类型，系统集成了多模块数据采集、储存、传输、标定与可视化等功能，支持多项交通数据采集任务的并行处理，且融合了驾驶人本身的驾驶行为

(下转第 225 页)