

多传感器下自动驾驶汽车伺服系统控制方法^{*}

张磊¹, 张卫东², 徐增勇¹, 韦延方³

(1.河南交通职业技术学院 汽车学院, 河南 郑州 450015;
2.新星职业技术学院 基础部, 新疆 新星 839000;
3.河南理工大学 电气学院, 河南 焦作 454000)

摘要:自动驾驶汽车传感器采集的数据感知周围环境存在多样性、异步化,从而影响自动驾驶汽车伺服系统的正常控制。为此 提出了多传感器下自动驾驶汽车伺服系统控制方法。对自动驾驶汽车运行数据进行高频传感采样,采集自动驾驶汽车传感器异步控制数据。在采集数据的基础上,结合贝叶斯估计,得到似然函数,完成自动驾驶汽车传感器异步控制数据融合。构建伺服系统控制模型,获得位置环响应,将融合后的数据发送到控制中心,实现自动驾驶汽车伺服系统控制。试验结果表明:所提方法与实际滤波曲线几乎相同,具有较好的自动驾驶汽车传感器异步融合效果,能够提高自动驾驶汽车伺服系统融合控制精度及效率。

关键词:自动驾驶汽车;通信协议;传感器;异步融合控制;伺服系统

中图分类号:TH122 文献标识码:A 文章编号:1001-2354(2025)08-0166-08

DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2025.08.020

Control of autonomous vehicle's servo system based on multiple sensors

ZHANG Lei¹, ZHANG Weidong², XU Zengyong¹, WEI Yanfang³

(1. Automotive College, Henan College of Transportation, Zhengzhou 450015;
2. Basic-department, Xinxing Vocational and Technical College, Xinxing 839000;
3. School of Electrical Engineering, Henan University of Technology, Jiaozuo 454000)

Abstract: The data collected by autonomous vehicle sensors perceives diversity and synchronization of the surrounding environment, thus affecting the normal control of the autonomous vehicle's servo system. Therefore, in this article a method is proposed for the control of the autonomous vehicle's servo system based on multiple sensors. The operation data on the autonomous vehicle is sampled by the high-frequency sensor, and the asynchronous control data on the autonomous vehicle sensor is collected. On the basis of the collected data, combined with Bayesian estimation, the Likelihood function is obtained to complete the asynchronous fusion control of data on the autonomous vehicle. The servo system's control model is constructed to identify the position-loop response, and the fused data sent to the control center realizes the control of the autonomous vehicle's servo system. The experimental results show that the curve worked out by this method is almost the same as the actual filtering curve; this method, with a good asynchronous-fusion effect of autonomous vehicle sensors, ensures higher accuracy and efficiency in the fusion control of the autonomous vehicle's servo system.

Key words: autonomous vehicle; communication protocol; sensor; asynchronous fusion control; servo system

自动驾驶汽车是一种结合传感器、计算机视觉、人工智能和控制系统等技术,能够实现无人驾驶的智能

车辆。自动驾驶汽车通常配备多种传感器,用于获取周围环境的感知信息。在自动驾驶汽车运行过程中,

* 收稿日期:2024-03-07; 修订日期:2025-02-10

基金项目:河南省高等学校重点科研项目计划(23B580006)

若传感器出现故障或数据不准确^[1-2], 汽车无法进行精准定位, 影响自动驾驶汽车的正常运行。为此, 研究自动驾驶汽车伺服系统控制, 以提高自动驾驶汽车的安全性能。相关学者针对这一问题展开了广泛研究。

文献[3]提出一种异步电机无速度传感器简化模型预测转矩控制方法。利用自适应状态观测器, 估计转子磁链与电磁转矩。采用归一化设计方法, 简化代价函数构造过程, 降低算法的复杂度。但该方法中的自适应状态观测器需要较高的计算资源, 控制效率还需进一步提升。文献[4]提出了一种组合导航系统的信息融合算法。将多传感器组合导航系统原始状态方程变换为状态向量之间的关系, 构成新的状态方程和量测方程。基于具有尺度与小波特性的矩阵算子, 改进异步融合算法, 并应用于多传感器组合导航系统。但该方法中小波分析的性能很大程度上取决于所选的小波基函数, 小波基函数需要根据特定的场景选择, 缺乏对环境的感知能力, 容易影响控制精度。文献[5]提出了一种创新的数据融合方法, 通过整合来自不同来源的异构数据改进基于长短记忆网络(long short-term memory, LSTM)的噪声预测模型, 优化十字路口的循环时间、减少拥堵和提高可持续性, 实现交通信号的控制。该方法虽然进行了数据融合, 但LSTM需要花费较长的时间和资源进行调参和训练, 以找到最优的模型参数, 会影响控制过程的实时性。文献[6]通过量纲分析, 建立了粗轧中板拱度的数学模型。将建立的数学模型与数据驱动技术相结合, 融合热轧板拱机构数据信息, 用于准确预测板坯的弯曲值, 实现热轧板拱机构的控制。但实际生产环境中存在温度、湿度等因素的变化, 对热轧板拱机构的控制会造成影响, 该方法缺乏根据周围环境实时调整设备状态的能力, 需要考虑多种因素, 以保证系统的控制精度。文献[7]采用GP2Y0A21YK0F红外传感器、TFminiPlus激光雷达传感器和Risym US-100超声波测距模块获取有效的传感器数据。将这些传感器数据输入基于支持向量机的多传感器数据融合模型中, 通过计算准确的障碍位置, 进而规划爬壁机器人的行进速度, 实现机器人的精准控制。但由于基于支持向量机的多传感器数据融合模型需要根据周围环境进行调优, 会降低系统的整体响应速度。文献[8]采用遗传算法中的自然选择和遗

传机制, 对避障控制参数进行优化。在集群行为规则的基础上, 结合运动学和动力学原理, 设计对应的3种速度项, 以应对不同的避障场景。但该方法未进行多传感器数据融合处理, 难以有效感知复杂的环境, 控制精度较低。

为此, 提出了多传感器下自动驾驶汽车伺服系统控制方法。使用视觉传感器、激光雷达和GPS接收器等多种传感器全面感知环境, 采集自动驾驶汽车传感器异步控制数据, 提高自动驾驶汽车的控制精度。采用TCP协议处理高频采样信号, 通过损失函数和贝叶斯估计融合来自不同传感器的异步控制数据, 进一步提高自动驾驶汽车对周围环境的感知能力, 从而更准确地判断车辆状态和周围环境, 提高控制效果。基于融合后的数据, 构建伺服系统控制模型, 描述车辆运行状态与控制输入之间的动态关系, 采用PID控制器对车辆运行状态进行调节, 并通过自适应控制策略对PID参数进行实时调整, 优化控制效果, 提高伺服系统的响应速度, 实现自动驾驶汽车伺服系统的高效控制。

1 多传感器下自动驾驶汽车数据采集

该次研究主要用到的多传感器如下:

1) 视觉传感器 通过Basler ace acA1300-30gm视觉传感器摄像头获取图像数据, 用于环境感知和识别障碍物, 为自动驾驶系统提供了丰富的视觉信息。这些图像数据经过计算机视觉算法的处理, 可以识别出道路的边缘、交通标志的含义及行人和车辆的动态信息。伺服控制系统根据视觉传感器的数据, 可以调整车辆的行驶速度和方向, 以适应复杂的交通环境。

2) 激光雷达 采用Velodyne VLP-16的激光雷达测量周围环境物体的距离和反射强度, 生成精确的点云数据。伺服控制系统利用激光雷达的数据, 可以实时计算车辆与周围物体的距离和相对速度, 从而作出及时的避障反应。同时, 激光雷达的高精度测量数据还可以用于地图构建和导航, 提高自动驾驶汽车的定位精度和导航能力。

3) GPS接收器 通过Trimble BX992 GPS接收器为自动驾驶汽车提供了全球定位系统的位置和时间信息。伺服控制系统结合GPS数据, 可以确定车辆当前

的位置和行驶轨迹,从而规划出合理的行驶路径。此外, GPS 数据还可以用于与其他车辆或交通管理系统进行通信和协同,提高整个交通系统的运行效率。

为了确保自动驾驶汽车运行中,上述传感器采集的实时数据能准确地发送到上级控制单元,需要对自动驾驶汽车运行数据实行高频采样处理。设定自动驾驶汽车运行 1 s 能够收集 10 个运行数据的采样速率,获取的数据经无线通信传送至管理系统,并在管理系统延迟的情况下,存储一段时间的运行数据。监测端未收到信息,会再发出采集信号,此时会发生空采样与多采样的状况^[9]。单采样、空采样与多采样的情况如下:

自动驾驶汽车在 T 时传递数据,因为时延 T_0 比采样周期 T_s 短,所以控制中心会在 $T + 1$ 时收到消息,此种情况就为单采样。自动驾驶汽车在 $T + 1$ 时传输信息,延时 T_1 比 T_s 大,控制中心会在 $T + 3$ 时接收到数据,这样 $T + 2$ 时无法接收到信息,此时为空采样情况。在 $T + 3$ 时,收集到两个数据,此时为多采样情况。然而在 $T + 3$ 时之前,自动驾驶汽车运行数据已经被控制中心采集,此时出现了数据紊乱。这是因为数据在传输到控制中心时使用了 UDP 协议,该协议不同于 TCP,UDP 不能按照顺序传输数据。TCP 协议虽然能够保证数据依次传输,但是如果出现遗失情况,当前位置的信息接收不到,则此后的数据也会受到影响,从而令系统通信中止。面对反馈环境的网络延时,结合补偿环节与高频采样进行处理。

自动驾驶汽车传感器异步控制数据的采集与自动驾驶汽车运行中数据的单采样、空采样和多采样情况相同。为此,对传感器异步控制数据进行采集。通信协议^[10-11]在 $T + 1$ 时属于单采样,此时控制中心采集到的传感器异步控制数据表达式为:

$$X_d(T+1) = X(T) \quad (1)$$

式中: X_d ——传感器异步控制参数;

$X(T)$ —— T 时传递的数据。

在 $T + 2$, $T + 3$ 及 $T + 4$ 时,出现空采样,此时控制中心采集到的传感器异步控制数据与 $T + 1$ 时相同,如下式所示:

$$X_d(T+4) = X_d(T+3) = X_d(T+2) = X_d(T+1) \quad (2)$$

在 $T + 5$ 时会产生多采样,自动驾驶汽车会同时接收到控制中心在 $T + 1$, $T + 2$ 及 $T + 3$ 这 3 个时间点的

命令数据,并且按照最新的命令进行工作。 $T + 5$ 时控制中心采集到的传感器异步控制数据为:

$$X_d(T+5) = X(T+3) \quad (3)$$

式中: $X(T+3)$ —— $T+3$ 时传递的数据。

在处理过程中,将控制中心采集到的传感器异步控制数据进行总结,表达式为:

$$X_d(T) = \begin{cases} X(T) & (T = T' + h_{di}) \\ X_d(T+1) & (T > T' + h_{di}) \\ X(n) & (n = t_{di} + h_{di}) \end{cases} \quad (4)$$

式中: h_{di} ——网络延迟步数, $h_{di} = \frac{t_{di}}{T_s}$;

t_{di} ——数据自身的延时;

$X(n)$ ——第 n 个延迟数据;

T' ——数据总延时。

由此实现自动驾驶汽车传感器异步控制数据采集,具体流程图如图 1 所示。

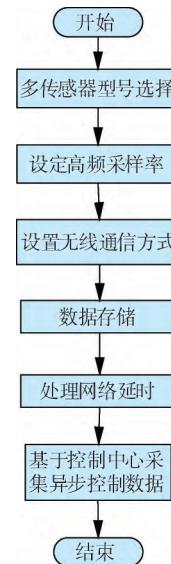


图 1 自动驾驶汽车异步数据采集流程图

2 自动驾驶汽车传感器异步控制数据融合

多传感器采集的自动驾驶汽车传感器异步控制数据中存在大量差异较大的数据,为此需要融合处理。结合贝叶斯估计与伺服系统完成传感器异步控制数据融合。

假设 $\bar{\omega}$ 是自动驾驶汽车传感器中参数 Ω 内的一个变量, $\bar{\omega}'$ 则为参数 $\bar{\omega}$ 在判定空间 ψ 内取值的评估值, $Z(\bar{\omega}', \bar{\omega})$ 为损失函数, $Z(\bar{\omega}', \bar{\omega})$ 为 $\bar{\omega}'$ 与 $\bar{\omega}$ 的实函数,

需要保证有两个前提,即:

- 1) 针对全部 $\bar{\omega}' \in \psi$ 与 $\bar{\omega} \in \Omega$, 使 $Z(\bar{\omega}' | \bar{\omega}) \geq 0$;
- 2) 针对各个 $\bar{\omega} \in \Omega$ 最少要保证 ψ 中具有一个 $\bar{\omega}'$,

令 $Z(\bar{\omega}' | \bar{\omega}) = 0$ 。

损失函数的数学预期值 $R = E[Z(\bar{\omega}' | \bar{\omega})]$ 为风险函数 $E(\cdot)$ 为损失函数。此函数极小值预估为贝叶斯估计。当损失函数取平方误差函数时,贝叶斯估计^[12-13]为最小均方差预估,损失函数取平均函数,贝叶斯估计则为最大似然函数。触觉模块主要通过一系列触觉传感器检测车辆与周围环境物体的接触情况,这些传感器分布在触觉模块的不同位置,形成一个感知区域。触觉模块的宽度决定了这个感知区域的横向尺寸,从而影响了传感器对物体接触信息的捕获能力。从而能够获得自动驾驶汽车传感器的异步控制数据融合表达式。这时第 i 个传感器恢复原始信号为:

$$\tilde{C}_i = x_i \Delta x X_d(T) R \quad (5)$$

式中: Δx ——控制方向上触觉模块的宽度;

x_i ——第 i 个传感器中的异步控制数据;

$X_d(T)$ —— T 时传递的传感器异步控制参数。

式(5)中涉及了多个因素,其中有传感器中的异步控制数据、触觉模块的宽度、控制中心采集到的传感器异步控制数据,以及损失函数的数学预期值。首先,考虑传感器中的异步控制数据,这些数据是传感器直接采集到的关于车辆状态或环境信息的原始数据;然后,引入触觉模块宽度这一因素,触觉模块宽度反映了传感器感知范围的横向尺寸,它影响了传感器对物体接触信息的捕获能力,并考虑控制中心采集到的传感器异步控制数据;最后,引入损失函数的数学预期值,损失函数用于衡量预测值与实际值之间的差异,其数学预期值反映了预测的风险或不确定性。在恢复原始信号时,考虑到预测的不确定性,可以通过损失函数的数学预期值对恢复过程进行修正,以提高信号的准确性和可靠性。这时第 i 个传感器的信号为:

$$C_i = (x_i \Delta x + x_j \Delta y) \tilde{C}_i(x_i, y_i) \quad (6)$$

式中: Δy —— Y 方向垂直的触觉模块宽度;

x_j ——第 j 个传感器中异步控制数据;

y_i ——第 i 个传感器中的数据。

针对传感组单元,其输出需要符合正态布局的假设,然而经过相应的信号处理后,传感组单元很难遵从正态分布。因 \tilde{C}_i 遵从正态分布,可得到融合密度函数

表达式为:

$$f_i = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tilde{C}_i - C)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (7)$$

式中: σ_i ——标准差;

C ——噪声信号,通过传感器设定参数进行获取。

将式(7)转变为平均融合函数,得到融合函数^[14]表达式为:

$$L = \prod_{i=1}^r f_i \quad (8)$$

式中: r ——自动驾驶汽车触觉模组个数。

由此完成自动驾驶汽车传感器异步控制数据融合。

3 自动驾驶汽车伺服系统控制方法

在融合自动驾驶汽车传感器异步控制数据后,基于伺服系统中的控制模型实现自动驾驶汽车伺服系统控制。

在自动驾驶汽车控制工作中,自动驾驶汽车运行情况与位置均会发生变化,使得伺服系统的转换惯性与干扰负载发生改变,负载波动导致转速与位置产生偏差,进而导致自动驾驶汽车控制水平下降。采集伺服电机的传感器异步融合数据,获得全部伺服电机的具体位置和速度等运行数据,构建伺服系统控制模型,利用标记好的运动变量,把自动驾驶汽车异步控制数据传输至自动驾驶汽车内部,得到各种运行情况下的工作特征控制信息。伺服系统控制模型如图 2 所示。

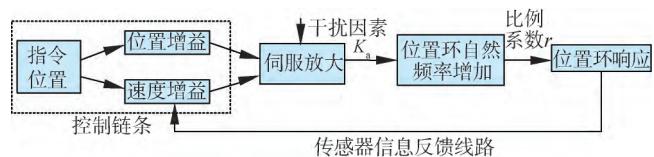


图 2 伺服系统控制模型

在伺服系统控制模型中,设置融合后数据的指令位置为 $X_e(L)$,干扰因素为 $F_d(s)$,位置环响应为 $X(s)$,此时获得位置环响应的表达式:

$$X(s) = \frac{\omega_p^2 C_i [X_e(L) - F_d(s)]}{s^2 + \xi_p K_v + K_p} \quad (9)$$

式中: s ——自动驾驶汽车运行位置;

ω_p ——位置环自然频率;

ξ_p ——位置环阻尼系数;

K_p ——位置增益;

K_v ——速度增益。

在位置环比例值 K_p 增加的情况下,位置环自然频率 ω_p 升高,位置环阻尼系数 ξ_p 减小,为此,将 K_p 设定成固定值时会引起波动,且振动幅度与位置环自然率成正比。

通过伺服系统控制模型可以看出,自动驾驶汽车在运行状态中,无论哪种位置与运动情况负载干扰对自动驾驶汽车各部件的大小、周期基本一致,且对整个伺服电机速度、方位也有一定干扰作用,导致自动驾驶汽车的所有部件出现细微偏差。同时 PID 参数、扰动负载等变量均会对伺服系统产生一定的消极影响,从而导致伺服系统的定位与控制性能下降,相应的运行状态数据会在自动驾驶汽车伺服电机编码中显现出来。自动驾驶汽车运动特性是保证自动驾驶汽车运行准确性的关键因素。因为自动驾驶汽车定位变化较快,为此,全部位置运行状态由式(9)获得,并将数值发送到自动驾驶汽车控制中心,通过运行状况显示出来。选择采集板卡,并联、同步地收集自动驾驶汽车运行过程中的实际数据,对其运行特征实行控制,从而实现自动驾驶汽车传感器异步融合控制。

基于上述内容,建立输入、方法和输出之间的逻辑关系,具体如下:

1) 输入 自动驾驶汽车通过多个传感器(如雷达、摄像头、GPS 等)实时采集周围环境信息,以及车辆自身的运行数据,包括位置、速度及加速度等,由于这些传感器数据是异步的,其采样率和更新时间也有所不同。

2) 方法 ①数据融合利用贝叶斯估计或其他高级数据融合技术,对来自不同传感器的异步控制数据进行融合,以获取更加准确、全面的车辆运行状态信息;②构建伺服系统控制模型,基于融合后的数据,构建伺服系统控制模型,该模型描述了车辆运行状态(如位置、速度)与控制输入(如转向角、加速度)之间的关系,通过标记好的运动变量,将自动驾驶汽车异步控制数据传输至汽车内部,用于指导伺服系统的动作;③PID 控制及自适应调整,采用 PID 控制器调节车辆的运行状态,采用自适应控制策略对 PID 参数进行实时调整,这样可以根据实际情况优化控制效果,提高伺服系统的响应速度和稳

定性。

3) 输出 根据伺服系统控制模型计算出的控制指令,通过执行机构作用于车辆,实现对车辆运动、制动、转向等行为的精确控制。

4 仿真实验分析

1) 试验目的 为了验证所提方法的自动驾驶汽车传感器异步融合控制效果,采用所提方法、文献[3]方法和文献[4]方法对自动驾驶汽车传感器异步融合控制进行试验。其中,文献[3]方法采用自适应状态观测器对异步电机的转子速度、定、转子磁链和电磁转矩进行精确估计,用于在没有速度传感器的情况下估计电机的关键状态变量;文献[4]针对多传感器组合导航系统中不同采样率的数据,提出了一种信息融合算法,用于处理和融合来自不同传感器的数据,以提高导航系统的精度;而所提方法结合贝叶斯估计对自动驾驶汽车传感器采集的异步控制数据进行融合,以提高数据的一致性和可靠性,这也是一种状态估计和数据融合技术。由此可见,这 3 种方法都涉及到了状态估计、数据融合,系统复杂度降低及通过试验验证性能提升等方面,尽管其应用的领域不同,但这 3 种方法的最终目标都是为了实现有效控制。

2) 试验内容 分析不同方法的自动驾驶汽车传感器滤波效果、控制效率和控制精度。

3) 试验设备 自动驾驶汽车的电机类型为无刷直流电机,电机功率为 1 000 W,设置传感器精度为 0.01°,采集的数据为通过 Basler ace acA1300-30gm 视觉传感器、Velodyne VLP-16 的激光雷达和 Trimble BX992 GPS 接收器获取的数据信息。自动驾驶汽车示意图如图 3 所示。



图 3 自动驾驶汽车示意图

4) 试验样本筛选 由于该次试验是基于自动驾驶汽车的传感器数据融合控制,因此,试验样本即为通过视觉传感器、激光雷达和 GPS 接收器收集到的异步数据信息,不需要进行额外的样本筛选。

5) 试验流程:

①检查无刷直流电机、位置传感器等设备,确保自动驾驶汽车的要求;确保各传感器(视觉传感器、激光雷达及 GPS 接收器)正常运行,并校准传感器数据的准确性;

②使用所提方法、文献[3]方法和文献[4]方法分别对自动驾驶汽车传感器异步融合控制进行试验;

③设定自动驾驶汽车每秒内能够收集 10 个运行数据,使用通信协议进行数据传输,确保异步控制数据的顺利传递,设置传感器精度为 0.01°,获取通过视觉传感器、激光雷达和 GPS 接收器收集到的异步数据信息 $X_d(T)$,记录试验中的关键参数,如传感器数据、电机功率及位置传感器精度等;

④根据贝叶斯估计获取融合后的密度函数 f_i ,转换融合密度函数表达式为平均融合函数 L ,通过该函数实现异步数据的融合处理。

6) 试验次数:为了保证试验效果,每种试验均进行 10 次,取结果的平均值作为最终结果。

7) 试验数据采集和处理

①数据采集 通过自动驾驶汽车上的传感器实时收集数据,包括视觉图像、激光雷达扫描数据和 GPS 定位数据等;

②数据预处理 对采集到的原始数据进行清洗、去噪和格式统一等预处理操作,确保数据的质量和一致性。

4.1 自动驾驶汽车传感器滤波效果分析

对比不同方法的自动驾驶汽车传感器异步控制数据滤波,与实际滤波越接近,说明该方法的自动驾驶汽车传感器异步数据融合效果越好。实际滤波是通过选择合适的滤波算法,以及根据实际情况调整滤波参数后,使滤波后的数据既能准确反映系统状态,又尽可能地去除噪声和干扰。不同方法的自动驾驶汽车传感器异步控制数据滤波如图 4 所示。

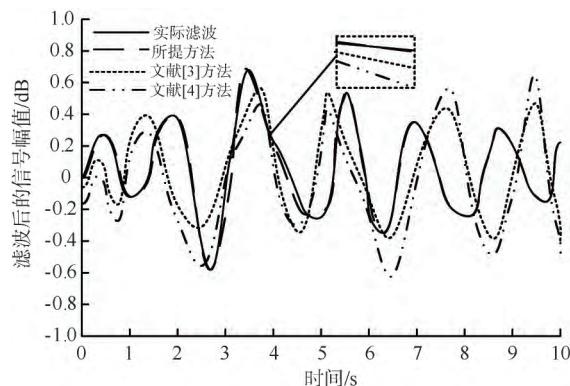


图 4 不同方法的自动驾驶汽车传感器异步控制数据滤波

由图 4 能够看出,文献[3]方法和文献[4]方法的曲线与实际自动驾驶汽车传感器异步控制数据滤波曲线差别较大,而所提方法的最大波动范围在 $-0.6 \sim 0.65$ dB 之间,最小波动范围在 $-0.2 \sim 0.2$ dB 之间,与实际滤波曲线几乎相同,说明所提方法的自动驾驶汽车传感器异步融合效果较好。所提方法的滤波曲线与实际滤波曲线高度一致,这是因为所提方法考虑了贝叶斯估计和伺服系统控制,能够更好地利用传感器数据之间的关联性和时序性。相比之下,文献[3]方法和文献[4]方法可能在数据处理过程中缺乏有效的融合技术,导致滤波效果与实际情况偏差较大。所提方法在滤波过程中保留了数据的主要特征和变化趋势,避免了信息丢失和数据失真,这种方法在处理传感器数据时更加细致,能够更准确地还原实际情况,提高了滤波的完整性,保证了控制的精度。而文献[3]方法和文献[4]方法容易在数据处理时发生误差传播问题,导致在去除噪声和干扰的同时,也损失了一部分重要的信息。

4.2 自动驾驶汽车伺服系统控制效率

对比不同方法的电机扭矩,判断自动驾驶汽车伺服系统控制效率,越快达到目标扭矩,该方法的效率越高。为了避免超调量大导致的控制不稳定问题,通过调整 PID 参数减少超调现象,具体来说,可以通过减小比例系数(P)降低系统对误差的敏感性,从而减小超调量。同时,结合实际需求适当调整积分系数(I)和微分系数(D),帮助系统更快地达到稳态,减少振荡。不同方法的自动驾驶汽车电机扭矩如图 5 所示。

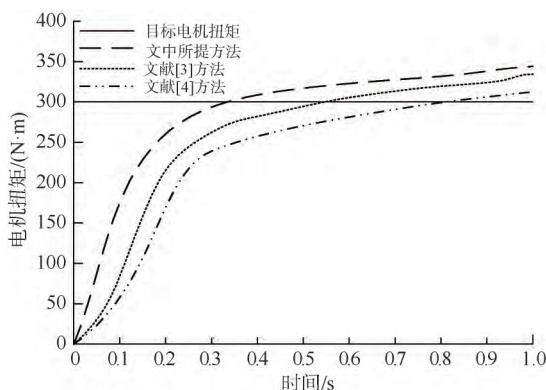


图 5 不同方法的自动驾驶汽车电机扭矩

观察图 5 可知, 文献 [3] 方法和文献 [4] 方法分别在 0.55 和 0.8 s 时达到自动驾驶汽车目标电机扭矩, 而所提方法只需要 0.33 s 即达到目标电机扭矩, 表明所提方法能够提高自动驾驶汽车伺服系统控制效率。尽管图 4 中显示的所提方法的电机扭矩响应最快, 但同时在试验中观察到其存在较大的超调现象。因此, 需要综合考虑自动驾驶汽车的稳定性等因素评估控制效率。汽车稳定性可以通过测量车辆行驶轨迹的位移偏差获得, 稳定性好的车辆可以沿着预定路径准确行驶而不会产生较大的位移。

4.3 自动驾驶汽车伺服系统控制精度

对比不同方法的位移, 判断自动驾驶汽车伺服系统控制精度, 位移越接近真实位移, 该方法的精度越高。将所提方法与文献 [3] 方法、文献 [4] 方法和未采用数据融合方法(文献 [8] 方法)进行对比测试, 不同方法的位移对比如图 6 所示。

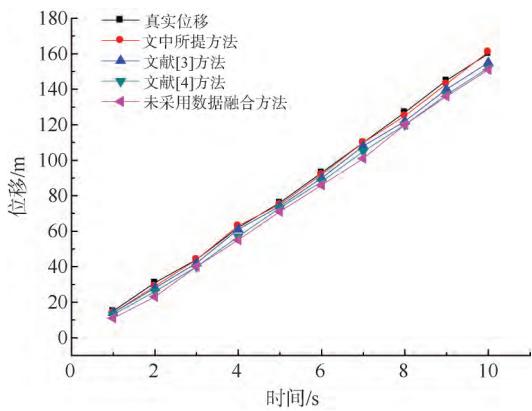


图 6 不同方法位移对比

从图 6 可以看出, 随着时间的增加, 不同方法的位移均增大。在 10 s 时, 文献 [3] 方法和文献 [4] 方法的位移与真实位移相比具有较大的误差, 分别为 5 m 和

8 m, 而所提方法的位移与真实位移的误差仅为 1 m。由此, 计算每种方法在每个时间点的位移与真实位移之间的偏差, 并求取平均偏差来衡量整体精度。将均方根误差(RMSE)和平均绝对误差(MAE)作为评估控制精度的指标。所提方法、文献 [3] 方法和文献 [4] 方法的 MAE 值分别为 1.6, 2.9 和 3.1 m; 3 种方法的 RMSE 值分别为 2.08, 3.62 和 3.87 m。由上述计算结果可以看出, 所提方法的位移与真实位移的差距最小, 其伺服系统控制精度最高, 文献 [3] 方法、文献 [4] 方法的控制精度次之, 未采用数据融合方法的控制精度最低。

5 结论

为了保障自动驾驶汽车的正常运行, 提出了一种多传感器下自动驾驶汽车伺服系统控制方法。基于多种传感器采集自动驾驶汽车异步控制数据, 结合贝叶斯估计与伺服系统融合自动驾驶汽车传感器异步控制数据, 建立伺服系统控制模型, 实现异步融合控制。试验结果证明, 所提方法具有较好的自动驾驶汽车传感器异步融合效果, 以及较高的传感器异步融合控制精度及效率。

参考文献

- [1] 彭文正, 敖银辉, 黄晓涛, 等. 多传感器信息融合的自动驾驶车辆定位与速度估计[J]. 传感技术学报, 2020, 33(8): 1140–1148.
- [2] Li X, Xu S. Multi-sensor complex network data fusion under the condition of uncertainty of coupling occurrence probability [J]. IEEE Sensors Journal, 2021, 21(22): 24933–24940.
- [3] 张延庆, 尹忠刚, 高峰涛. 异步电机无速度传感器简化模型预测转矩控制[J]. 电力电子技术, 2022, 56(9): 46–49.
- [4] 刘丽丽, 林雪原, 陈祥光. 一种多传感器组合导航系统的改进异步融合算法[J]. 中国空间科学与技术, 2021, 41(4): 77–84.
- [5] Chahinez O, Doua O, Sadok B Y. EcoLight+: a novel multi-modal data fusion for enhanced eco-friendly traffic signal control driven by urban traffic noise prediction [J]. Knowledge and Information Systems, 2023, 65(12): 5309–5329.
- [6] Song L B, Xu D, Liu P F, et al. A novel mechanism fusion

- data control method for slab camber in hot rolling [J]. Journal of Iron and Steel Research (International) , 2023 , 30(5) : 960–970.
- [7] 张小俊, 刘昊学. 基于数据融合的爬壁机器人控制系统设计 [J]. 传感器与微系统 2023 , 42(4) : 103–106.
- [8] 李宁, 魏登, 曹裕捷, 等. 自动驾驶电动汽车避障控制算法 [J]. 仪器仪表学报 2021 , 42(5) : 199–207.
- [9] Li G , Zhang J , Wu X , et al. Small-signal stability and dynamic behaviors of a hydropower plant with an upstream surge tank using different pid parameters [J]. IEEE Access , 2021 , 9: 104837–104845.
- [10] 程阳洁, 秦帆, 徐永红, 等. 跨嵌入式平台的 Modbus/TCP 协议库函数实现 [J]. 核动力工程 2022 , 43(4) : 136–142.
- [11] 杨芳, 焦守荣. 基于 TCP/IP 协议的除草机器人远程监测系统设计 [J]. 农机化研究 2021 , 43(5) : 240–244.
- [12] Esparza L J R , Baltazar-Larios F. Bayesian estimation for a mortality model via the aging process [J]. Statistics and Its Interface , 2022 , 15(1) : 19–28.
- [13] 周燕, 李华旺, 张永合. 基于有界网格的贝叶斯滤波位置估计法 [J]. 激光与光电子学进展 2022 , 59(5) : 108–115.
- [14] 黄泽琼, 谢小鹏. 结合融合函数的双轮机器人二型模糊控制 [J]. 计算机仿真 2022 , 39(2) : 380–386.

作者简介: 张磊(1981—), 男, 讲师, 硕士, 研究方向: 新能源汽车技术
和智能网联汽车技术。E-mail: 6280890@ qq.com