

基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号 远程监测系统

郑子超¹, 李永红¹, 岳凤英²

(1. 中北大学 仪器与电子学院, 太原 030051;

2. 中北大学 电气与控制工程, 太原 030051)

摘要: 传统无人驾驶车辆远程检测系统, 由于信号传输距离的影响, 在信号波传输过程中在电路耦合率衰减下出现监测信号清晰度降低, 信号整体监测效果无法满足实际检测系统应用要求的问题; 对此设计系统通过采用矢量传感器对系统变量、模量与定量数据进行矢量统一计算, 提出基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统; 首先完成基于矢量传感器的系统总体框架设计; 然后根据设计框架建立无人驾驶车辆监控信号交互硬件单元, 通过不同矢量传感器构成监控信号数据矢量转换计算平台; 最后通过对硬件平台的矢量化软件适配, 完成硬件与软件监控信号统一, 提升信号传输强度, 增强信号清晰度, 从而满足无人驾驶车辆信号远程监测要求, 完成系统的设计; 通过对比实验数据表明, 设计的基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统, 能够在 50~100 km 范围内稳定监测车辆状态, 车辆状态数据监测实时性与连续性明显优于传统检测系统。

关键词: 矢量传感器; 无人驾驶车辆信号; 远程监测系统; 信号清晰度

Remote Monitoring System for Unmanned Vehicle Signal Based on Vector Sensor

Zheng Zichao¹, Li Yonghong¹, Yue Fengying²

(1. North University of China College of instruments and electronics, Taiyuan 030051 China;

2. North University of China Electrization and Control Engineering, Taiyuan 030051 China)

Abstract: Due to the influence of signal transmission distance, the traditional remote detection system for driverless vehicles has the problem that the clarity of the monitoring signal is reduced under the attenuation of circuit coupling rate, and the overall monitoring effect of the signal can not meet the application requirements of the actual detection system. In this design system, vector sensors are used to calculate the system variables, modulus and quantitative data, and a remote signal monitoring system for driverless vehicles based on vector sensors is proposed. Firstly, the overall framework design of the system based on vector sensor is completed; secondly, according to the design framework, the interactive hardware unit of unmanned vehicle monitoring signal is established, and the vector conversion calculation platform of monitoring signal data is constituted by different vector sensors; finally, through the vector quantization software adaptation of the hardware platform, the unification of hardware and software monitoring signal is completed, the signal transmission strength is improved, and the efficiency is improved. In order to meet the requirements of remote signal monitoring for driverless vehicles, complete the design of the system. By comparing the experimental data, it shows that the designed remote monitoring system of driverless vehicle signal based on vector sensor can stably monitor the vehicle status in the range of 50~100 km, and the real-time and continuity of vehicle status data monitoring is obviously better than the traditional detection system.

Keywords: vector-based sensors; driverless vehicles; signals; remote monitoring systems

0 引言

随着机车制造技术、互联网大数据计算技术、云计算技术、AI 控制技术的多种技术的快速发展与联合应用, 推动了无人驾驶技术的高速发展。通过对无人驾驶车辆的输

出稳定性控制设计, 提高无人驾驶车的自动驾驶能力, 确保车辆在行驶过程中的安全性, 研究无人驾驶车辆信号远程监测系统在智能化车辆控制设计中具有重要意义。基于多数据综合分析技术与驾驶控制技术于一体的无人驾驶技术, 是汽车制造与设计领域上的一次革命, 无人驾驶技术

收稿日期: 2021-01-07; 修回日期: 2021-03-10。

基金项目: 山西省自然科学基金(201801D121152)。

作者简介: 郑子超(1994-), 男, 山西大同人, 硕士, 主要从事动态测试方向的研究。

李永红(1967-), 男, 山西太原人, 教授, 博士, 主要从事卫星/微惯性组合导航技术、MEMS 传感器设计与生产工艺方向的研究。

岳凤英(1977-), 女, 山西太原人, 副教授, 博士, 主要从事导航、制导与控制方向的研究。

引用格式: 郑子超, 李永红, 岳凤英. 基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(5): 25-29.

将从理念与结构方式上改变人们的生活^[1]。

在无人驾驶车辆控制中,车辆状态数据的实时性、稳定性、准确性决定着车辆控制指令的正确与否。因此,车辆状态的实时监测是发现车辆异常的有效方法。基于上述思想,在无人车辆诸多操作系统中,车辆信号监测系统的监测效果直接决定着其他控制系统能够正常运行以及能够做出正确的指令操作^[2-3]。考虑到无人驾驶车辆的是动态数据点,因此信号的远程监测清晰度决定着监测系统对车辆的监测效果。结合过去无人驾驶车辆的远程监测数据发现,50~100 km 范围内是无人驾驶车常用环境下的信号远程监测最大范围。在此范围内,现有的无人驾驶车辆信号监测系统都会出现不同程度的信号衰减带来的清晰度降低问题,从而导致监测数据稳定性降低^[4]。究其根源在于监测系统信号处理全局变量的模量化,模量信号的不同对称是问题产生根源,而矢量数据能够很好地解决模量带来的问题,因此提出基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统。

1 基于矢量传感器的系统总体框架设计

基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统总框架有两部分构成,分别为监测硬件与监测软件,框架结构设计原理,如图 1 所示。

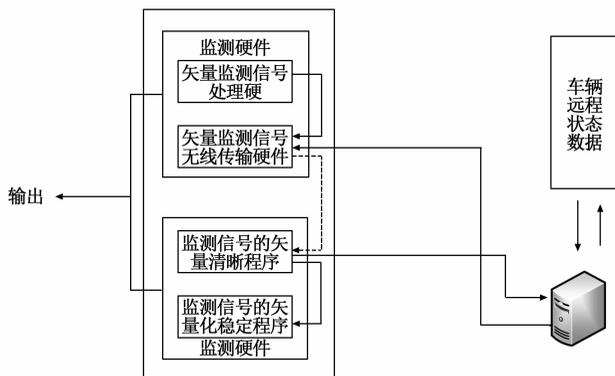


图 1 框架结构设计原理示意图

检测硬件:基于矢量传感器以及相关器件,构建一套以矢量信号数据为核心信号源的信号收发、解析、处理平台。矢量传感器利用检测的定量电压、电流等容易检测到的物理量信号进行信号的远程监测。重要的方面是如何准确地获取信号转速的信息,且保持较高的监测精度,满足实时监测的要求。矢量传感器无需监测硬件,免去了操作麻烦,提高了监测系统的可靠性,降低了监测系统的成本;另一方面,使得监测系统的体积小、重量轻,而且减少了电机与控制器的连线,使得采用矢量传感器的异步电机的调速系统在无人驾驶车辆信号远程监测中的应用更加广泛。利用矢量数据的一致性,通过硬件计算能力对模量数据进行矢量化转换,为后续软件程序的运行搭建处理平台。通过不同矢量传感器之间的数据交换,实现监测信号的连续性与稳定性,为软件程序对信号的控制拟合,提供算力

支持。

监测软件:软件部分主要基于矢量传感器设计硬件功能,通过矢量监测相关算法,对硬件功能的驱动程序进行设计。通过设计程序,使硬件矢量计算功能与数据之间更好的融合,同时通过设计程序使设计硬件的远程监测效果达到系统设计的预期效果。

2 基于矢量传感器的无人驾驶车辆监控信号交互硬件单元设计

2.1 矢量监测信号处理硬件设计

提出系统硬件部分设计根据总框架结构完成,矢量监测信号处理硬件部分设计,主要负责对监测信号的实时高效处理,在矢量环境下对监测信号的模量、变量进行矢量化转换、分析。滤除矢量环境下模量信号噪声提升,增强信号解析能力,保证数据分析、传输、转换效率。

矢量监测信号处理硬件设计包括:多数据矢量传感器 R532、PL542J12 矢量信号处理 MCU、RS544 总线、信号转换接口 485 以及 SIT4176R 矢量信号传感器以及信号传输电路构成。硬件设计结构如图 2 所示。

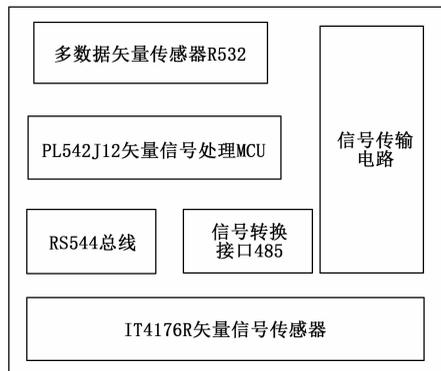


图 2 矢量监测信号处理硬件结构

其工作原理是由多数据矢量传感器 R532 将远端监测信号进行接收,并将其转发至 PL542J12 矢量信号处理 MCU,经过矢量转换处理,经 RS544 总线指令控制,将处理后的矢量信号由信号转换接口 485 推送至 SIT4176R 矢量信号传输芯片经信号传输电路输出。

矢量监测信号处理硬件功能实现过程原理如图 3 所示。

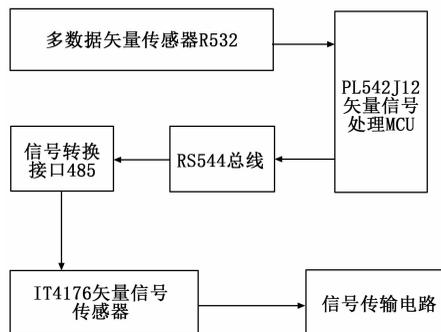


图 3 矢量监测信号处理硬件功能实现过程原理

2.2 矢量监测信号无线传输硬件设计

矢量监测信号无线传输硬件主要通过采用矢量无线信号传输处理器 ZP87KS33E、北斗定位信号传感器与无线信号传输控制电路构成具有矢量信号远程大功率传输功能模组。

ZP87KS33E 矢量无线信号传输处理器具有矢量数据多模拟合分析速度快的特点, 辅助北斗定位信号传感器对远程车辆位置数据的实时更新解析, 由无线信号传输控制电路对多组信号交互拟合提供大功率、全区域覆盖支持。无线信号传输控制电路设计如图 4 所示。

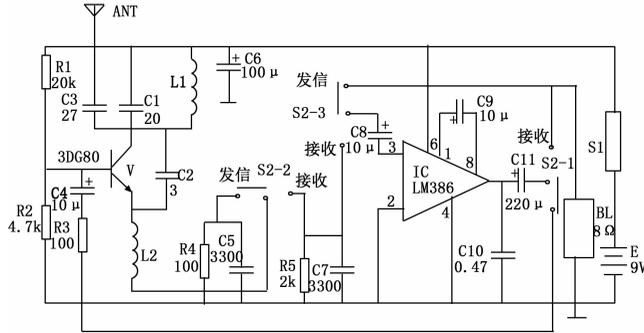


图 4 无线信号传输控制电路

3 基于矢量传感器的硬件平台软件适配

3.1 监测信号的矢量清晰程序设计

在基于矢量传感器硬件的软件适配设计中, 根据远程监测系统功能性, 软件功能设计首先对监测信号的清晰度处理进行设计。设计原理主要基于矢量传感器硬件处理机制与信号滤波相关算法, 对模量信号源包含的噪声进行矢量转换, 从而滤除模量噪声, 提升信号清晰度。程序功能实现的具体过程如下:

将矢量传感器构成硬件获得的数据转换为矢量空间坐标数据, 根据坐标数据创建矢量共维坐标系。在坐标空间中, 定义矢量信号传感器坐标位置与模量信号载入坐标位置, 如图 5 所示。其中, 矢量信号传感器坐标点与坐标空间的原点重合, 将模量信号的矢量空间载入通道的正方向数量设定为 3, 分别沿着 x, y, z 正轴向分布, $\vartheta_1 \in (-\pi, \pi]$ 代表矢量转换后的信号传播水平角度值, $\gamma_1 \in (-\pi/2, \pi/2]$ 代表量转换后的信号传播俯仰角。

当矢量转换过程中存在任何一路信号模量不统一情况时, 程序设计函数会自行根据当下模型转换的矢量环境, 定义 4×1 的矢量转换信号误差向量为 m , 从而统一各路模量转换系数, 其中 4 代表模量信号的声压噪声通道、 x, y, z 方向载入通道相位响应与声压噪声通道相位响应之间的矢量转换误差量; 因此 m 的所对应的矢量系数为 $0^{[5]}$ 。定义此状态下矢量信号转换对角矩阵 Γ 所包含的模量数据因子为 $\exp(km)$, 其中, k 代表矢量噪声滤波范围。

矢量转换后的信号输出向量^[6], 可描述为:

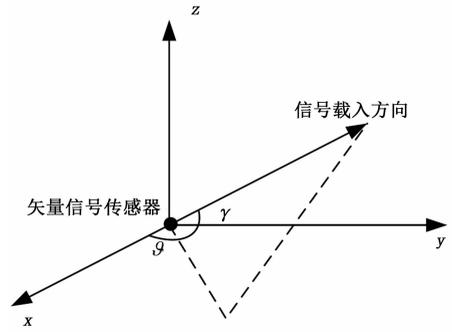


图 5 矢量监测信号的传感器载入方向示意图

$$t(l) = [q(l), b_x(l), b_y(l), b_z(l)]^Y = o(\vartheta_1, \gamma_1)d(l) + i(l) \quad (1)$$

式中, $q(l)$ 代表声压通噪声道输出信号, $b_x(l), b_y(l), b_z(l)$, 分别是信号传播 3 个正向通道输出源数据; $d(l)$ 代表模量信号载入时对应的波形向量; $i(l) = [q(l), b_x(l), b_y(l), b_z(l)]^Y$ 代表声压噪声与正方向 3 通道的矢量转换噪声; $o(\vartheta_1, \gamma_1)$ 代表载入模量信号的导向向量, 其程序对应算法函数形态为:

$$o(\vartheta_1, \gamma_1) = [1, \cos(\vartheta_1)\cos(\gamma_1), \sin(\vartheta_1)\cos(\gamma_1), \sin(\gamma_1)]^Y \quad (2)$$

输出矢量信号的噪声协方差矩阵为:

$$T = R\{t(l)t^J(l)\} = \zeta_D^2 \Gamma(\vartheta_1, \gamma_1) o^J(\vartheta_1, \gamma_1) \Gamma^J T_i \quad (3)$$

其中: $R\{\}$ 代表程序预置的矢量信号输出期望阈值执行过程, ζ_D^2 代表声压噪声矢量转换功率, T_i 代表矢量噪声滤波矩阵, 公式为:

$$T_i = \text{diag}\{\zeta_{iq}^2, \zeta_{ib}^2, \zeta_{ib}^2, \zeta_{ib}^2\} \quad (4)$$

其中: $\text{diag}\{\cdot\}$ 定义为对角矩阵; ζ_{iq}^2 与 ζ_{ib}^2 分别代表声压噪声通道与正向载入通道转换过程中矢量系数对应的噪声功率^[7]。在矢量转换的坐标空间中, 矢量噪声滤波条件为, $\zeta_{iq}^2/\zeta_{ib}^2 = 2$ 。

定义 $V = \text{diag}\{1, \bar{c}, \bar{c}, \bar{c}\}$, 其中, $\bar{c} = \sqrt{\zeta_{iq}^2/\zeta_{ib}^2}$ 。用 V 对声压噪声通道与正向载入通道的矢量转换噪声功率进行滤波补偿, 由此可获得:

$$\tilde{T} = V T V^J \quad (5)$$

根据式 (3), 可得信号清晰处理后的输出信号为:

$$\tilde{T} = \zeta_D^2 \Gamma V o(\vartheta_1, \gamma_1) o^J(\vartheta_1, \gamma_1) V^J \Gamma^J + \zeta_{iq}^2 N_Z \quad (6)$$

其中: N_Z 代表 $Z \times Z$ 的声波矩阵, $Z=3$ 。定义信噪比为 $SNR = 10\log(\zeta_D^2/\zeta_{iq}^2)$ 。

监测信号的矢量清晰程序功能实现流程如图 6 所示。

3.2 监测信号的矢量化稳定程序设计

完成监测信号的矢量处理后, 监测信号的清晰度得到了大幅度提升, 在矢量信号的基础上, 为保证信号传输的稳定性, 设计系统软件部分设计了矢量化稳定程序对其信号进行稳定处理^[8-9]。监测信号的矢量化稳定程序设计功能实现主要基于矢量传感器收集收据, 结合卡尔曼滤波空间的 BLDCM 模型, 对传感器信号输出状态进行转移平衡控

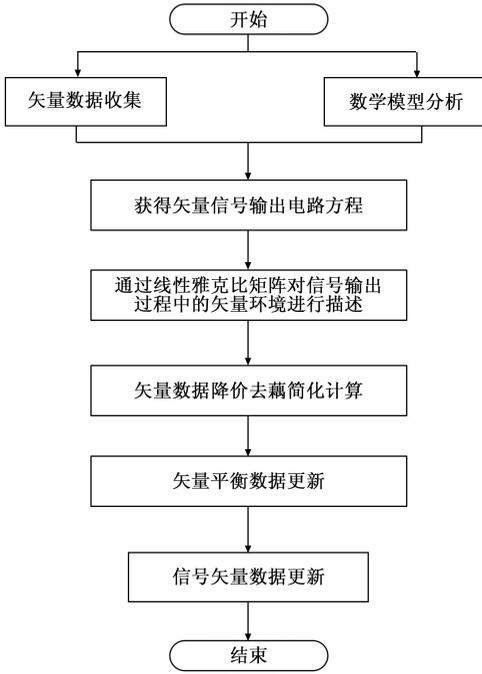


图 6 监测信号的矢量清晰程序功能实现流程

制, 达到稳定信号传输效果^[10]。程序功能实现具体步骤如下所述。

根据矢量传感器收集数据与矢量状态进行数学建模分析, 结合 $\beta-\chi$ 两相静止坐标系上的矢量信号输出电路方程可写为:

$$\begin{bmatrix} b_\beta \\ b_\chi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_d + dA_d & 0 \\ 0 & T_d + dA_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_\beta \\ n_\chi \end{bmatrix} + \xi_r \eta_\xi \begin{bmatrix} -\sin\vartheta \\ \cos\vartheta \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, $A_d = A_f = A_w$, d 代表信号矢量状态算子。定义状态分量 r 为:

$$r = \begin{bmatrix} r_\beta \\ r_\chi \end{bmatrix} = \xi_r \eta_\xi \begin{bmatrix} -\sin\vartheta \\ \cos\vartheta \end{bmatrix} \quad (8)$$

根据矢量信号传输状态随时间的变化特征^[11], 这个基本的 EKF 模型在实际应用中是随时间变化的, 可通过线性雅可比矩阵对信号输出过程中的矢量环境进行方程描述^[12]:

$$\frac{f}{f_y} \begin{bmatrix} n_\beta \\ n_\chi \\ r_\beta \\ r_\chi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{T_d}{A_d} & 0 & -\frac{1}{A_d} & 0 \\ 0 & -\frac{T_d}{A_d} & 0 & -\frac{1}{A_d} \\ 0 & 0 & 0 & -\xi_r \\ 0 & 0 & \xi_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_\beta \\ n_\chi \\ r_\beta \\ r_\chi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{A_d} & 0 \\ 0 & \frac{1}{A_d} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_\beta \\ b_\chi \end{bmatrix} \quad (9)$$

为了简化程序计算流程, 对矢量电路环境中的信号电流系数数量 n_β, n_χ 进行去耦降价, 获得雅可比矩阵, 矢量信号输出矩阵与矢量信号状态转移矩阵如下:

$$G = \frac{\partial g}{\partial c} \Big|_{c=c(y)} = \begin{bmatrix} -\frac{T_d}{A_d} & -\frac{1}{A_d} & 0 \\ 0 & 0 & \mp \xi_r \\ 0 & \pm \xi_r & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$J = \frac{\partial J}{\partial c} \Big|_{c=c(y)} = V = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

根据矢量信号的电路电流与矢量电压状态分量 r_β, r_χ , 可获得监测信号输出过程中的信号矢量角 $\hat{\vartheta}$ 与稳定概率 $\hat{\xi}_r$, 如下:

$$\hat{\vartheta}_r(i) = \arctan \frac{-\hat{r}_\beta(i)}{\hat{r}_\chi(i)} \quad (12)$$

$$\hat{\xi}_r(i) = \frac{1}{\eta_\xi} \sqrt{\hat{r}_\beta(i)^2 + \hat{r}_\chi(i)^2} \quad (13)$$

对信号输出矢量数据进行更新, 更新步骤如下:

对 W_f, T_f, Q_0, i 进行初始化操作; 采集矢量信号输出电路 $n_s, n_m, o_\beta, o_\chi$ 的数据值; 对矢量电路信号电流值 $n_\beta(i), n_\chi(i)$ 与信号状态动势 $r_\beta(i), r_\chi(i)$ 进行数据导出替换。

4 实验结果分析

对基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统的监测信号效果进行对比实验。本文设计的基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统作为系统 1, 基于基站技术的车辆监测系统作为系统 2, 基于 GPS 追踪的车辆监测系统作为系统 3 进行实验验证。

4.1 实验配置

实验采用系统 2 和系统 3 作为对比系统, 分别对设计系统 50~100 km 为半径范围内的信号强度与信号连续性进行对比测试。具体测试步骤如下:

1) 将本文设计系统 1 与两种对比系统 2 和系统 3 接入测试环境, 并统一向参测系统发送测试车辆位置移动数据 (车辆位置数据为 50~100 km 为半径范围内的移动状态数据);

2) 以 30 秒为一个数据结算单位, 连续记录参测系统 10 个单位结算数据;

3) 对结算数据中本文设计系统 1 与系统 2、系统 3 的信号强度;

4) 根据对比结果得出强度测试结果。

按照上述测试方式, 利用相同测试数据与环境, 完成 3 种系统的连续性测试, 并得出结论。

4.2 远程监测信号强度对比实验

对本文设计系统 1 与两种对比系统 2、系统 3 的远程监测信号强度进行对比实验, 其中信号强度 dBm 的值越大越好, 信号强度对比实验结果如表 1 所示。

表 1 不同系统的远程监测信号强度对比实验结果

每个结算单位对应 测试半径值/km	信号强度		
	系统 1/dbm	系统 2/dbm	系统 3/dbm
50	102	45	98
60	135	50	134
70	162	57	145
80	165	60	148
90	175	63	157
100	201	75	175

通过对比表 1 实验结果发现, 系统 1 (基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统) 在测试距离范围内的信号强度明显优于系统 2 (基于基站技术的车辆监测系统) 和系统 3 (基于 GPS 追踪的车辆监测系统) 的信号强度, 且根据信号强度值波动范围来看, 本文所设计的基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统的信号强度稳定性较好; 其原因是所设计的系统 1 根据矢量信号的电路电流与矢量电压状态分量, 获得监测信号输出过程中的信号矢量角与稳定概率, 一定程度上有利于提高远程监测信号强度。

4.3 远程监测信号连续性对比

对本文设计系统 1 与两种对比系统 2、系统 3 的远程监测信号连续性进行对比实验, 其中信号丢包率越小越好, 实验结果如表 2 所示。

表 2 不同系统的远程监测信号连续性对比实验结果

每个结算单位对应 测试半径值/km	信号丢包率		
	系统 1/(%)	系统 2/(%)	系统 3/(%)
50	<1	8.7	7.2
60	<1.2	14.6	8.7
70	<1.5	23.4	9.4
80	<1.1	27.5	13.7
90	<1.4	31.2	24.6
100	<1.5	33.1	32.6

通过对比表 2 实验结果发现, 系统 1 在 50~100 km 测试范围内的信号丢包率, 能够稳定控制在 1.5% 以下, 相对比系统 2 和系统 3 的信号丢包率效果优越性明显, 通过信号丢包率能够侧面反映出系统 1 的信号连续性。其原因是所设计的系统 1 完成监测信号的矢量处理后, 大幅度提升了监测信号的清晰度, 在矢量信号的基础上, 保证了信号传输的稳定性, 更有利于降低信号丢包率。

综上所述, 结合对不同系统的信号强度与连续性对比实验数据综合分析, 可以证明提出的基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统具有提升监测信号清晰度, 优化监测信号实时性与连续行的效果, 起到了改进传统系统, 解决信号质量问题的作用。

5 结束语

文章对传统无人驾驶车辆信号监测系统, 存在的远程信号清晰度随距离基量增加信号衰减, 导致的监测信号清晰度降低问题, 提出了基于矢量传感器的无人驾驶车辆信号远程监测系统。利用矢量数据的统一性, 结合矢量传感器应用技术与矢量传感器相关算法, 对提出系统的软件与硬件进行了相关设计。通过与两种不同监测系统的信号强度与连续性数据对比, 证明了设计系统的可应用性与应用推广价值。设计系统的提出, 为无人驾驶车辆的研发与控制技术的完善, 提供了更多基础实践数据与解决方案。但是本文研究仅在实验环境中进行了测试, 实际无人驾驶车辆信号监测环境更为复杂, 因此该系统有待进一步研究和分析。对于未来的研究, 可就减少事故发生率, 对信号监测系统辅助无人驾驶车辆行驶进行研究, 提高无人驾驶车辆安全性能。

参考文献:

- [1] 陈晨, 钱存元, 李慕君. 全自动无人驾驶系统信号子系统的接口 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (9): 158-160.
- [2] 晏鑫, 任远, 苏晓, 等. 全自动无人驾驶车辆试验线设计方案与功能试验 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (1): 148-150.
- [3] 胡家铭, 胡宇辉, 陈慧岩, 等. 基于模型预测控制的无人驾驶履带车辆轨迹跟踪方法研究 [J]. 兵工学报, 2019, 40 (3): 456-463.
- [4] 覃京燕, 冉蓓. 智慧物流场景下无人驾驶车的产品服务系统设计 [J]. 装饰, 2019, 319 (11): 30-35.
- [5] 刘明霞. 无人驾驶线路列车自动监控系统与综合监控系统集成方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (2): 70-74.
- [6] 袁丛振, 方宇, 胡定玉. 基于自动搜峰和 Shannon 熵的车辆轴承多普勒畸变故障声信号校正研究 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (4): 42-46.
- [7] 韩月起, 张凯, 宾洋, 等. 基于凸近似的避障原理及无人驾驶车辆路径规划模型预测算法 [J]. 自动化学报, 2020, 46 (1): 159-173.
- [8] 黄玲, 郭享聪, 张荣辉, 等. 人机混驾环境下基于 LSTM 的无人驾驶车辆换道行为模型 [J]. 中国公路学报, 2020, 33 (7): 156-166.
- [9] 肖阳俊, 李拥军, 李金波, 等. 一种多技术融合的全自动无人驾驶轨道障碍物检测系统设计 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (1): 117-120.
- [10] 莫建国. 高速铁路地震监测系统中降低信号远程传输失真的技术探讨 [J]. 地震工程学报, 2019, 41 (3): 781-787.
- [11] 刘以倩. 物联网中船舶远程通信微弱信号检测系统设计 [J]. 舰船科学技术, 2018, 40 (16): 125-127.
- [12] 贾帅, 张永波. 基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (11): 76-79.