

汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统设计

吴玮玮

(陕西国防工业职业技术学院, 西安 710300)

摘要: 有意电磁波与汽车仪器电磁传输波产生的混合干扰, 降低了汽车组合仪表的稳定运行能力, 造成仪表设备失灵; 为避免上述情况的发生, 设计汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统; 在步进电机驱动电路中, 设置汽车组合仪表控制器、分离电源与 PCB 电路板、有意电磁干扰数字传感器; 分配有意电磁波空时域源地址, 通过计算干扰信号平坦度的方式, 确定脉冲参数的取值范围, 实现汽车组合仪表有意电磁的空时域干扰效应分析; 估算有意电磁波干扰信号的数目, 按照信号分解的处理原则, 求解联合分离修正函数, 实现电磁干扰的联合分离; 在设置频率范围在 100 MHz~1 GHz 之间、幅度范围为 0.5~5 V、脉冲宽度范围为 10~100 ns 区间后, 通过实验结果表明, 设计系统应用后可以在混合信号中, 按照空域、时域标准的不同分离有意电磁波, 且分离后的信号波长、信号频率依然在 1.0 μm 、300 Hz 左右, 不会因混合干扰降低汽车组合仪表的稳定运行能力。

关键词: 组合仪表; 有意电磁干扰; 空时域; 联合分离; 源地址; 信号平坦度; 信号分解; 修正函数

Design of Space Time Domain Joint Separation System for Automobile Combined Instrument with Intentional Electromagnetic Interference

WU Weiwei

(Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

Abstract: The mixed interference generated by intentional electromagnetic waves and electromagnetic transmission waves of automotive instruments reduces the stable operation ability of the automotive instrument cluster, causing instrument equipment failure. To avoid the above problem, an intentional electromagnetic interference space time domain joint separation system for the automotive combination instrument is designed. In the stepper motor drive circuit, the system designs the car combination instrument controller, separates the power supply from the PCB circuit board and intentionally electromagnetic interference digital sensors, assigns the spatial and temporal source addresses of intentional electromagnetic waves, determines the range of pulse parameters by calculating the flatness of interference signals, achieves the analysis of spatial and temporal interference effects of intentional electromagnetic waves in automotive combination instruments, estimates the number of intentional electromagnetic interference signals, solves the joint separation correction function by the processing principles of signal decomposition, and achieves the joint separation of electromagnetic interference. The experiment is set up under the conditions of frequency range between 100 MHz and 1 GHz, amplitude range between 0.5 V and 5 V, and pulse width range between 10 ns and 100 ns, experimental results show that the designed system can separate intentional electromagnetic waves from mixed signals according to different spatial and temporal standards, and the separated signal wavelength and frequency are still 1.0 μm and 300 Hz, it will not reduce the stable operation ability of automobile combined instruments due to mixed interference.

Keywords: combined instrument; intentional electromagnetic interference; space time domain; joint separation; source address; signal flatness; signal decomposition; modified function

0 引言

汽车组合仪表是一种多功能型仪表设备, 可以显示出车辆里程、故障等多项运行参数。作为人和汽车的交互界面, 组合仪表提供了驾驶车辆所需的各类参数信息, 是汽车必不可少的部件结构。在实际应用过程中, 汽车组合仪表不仅能够提供车辆的基本信息, 还可以帮助驾驶员了解车辆的行驶状况, 以确保驾驶的安全性^[1]。此外, 组合仪

表也是汽车的重要组成部分, 对于车辆的外观和性能也有较大影响。有意电磁是一种非正常的干扰性电磁波信号, 其目的是干扰汽车组合仪表的正常功能。这种电磁干扰会带来超宽带电磁能量, 从而对汽车仪表的运行能力造成影响。

为将有意电磁从混合电磁传输波中分离出来, 吴春等^[2]提出了基于三角函数正交特性的伺服系统, 该系统向电机施加角速度相同、幅值不同的速度指令, 按照正弦余弦

收稿日期: 2023-12-19; 修回日期: 2024-01-26。

作者简介: 吴玮玮(1980-), 男, 硕士, 副教授。

引用格式: 吴玮玮. 汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 252-259.

函数对汽车组合仪表的电磁转矩进行相乘与积分处理，并根据转动惯量的表达方式，确定系统主机对有意电磁干扰信号的分离能力。吴志钢等^[3]提出了基于动态故障树联合动态 Bayes 网络的分离系统，在误动及遮断失效原理的基础上，确定有意电磁波与汽车仪器电磁传输波的混合强度，并采用动态蒙特卡洛处理方式，将有意电磁波信号在混合波段中分离出来。从分离效果的角度来看，基于三角函数正交特性的伺服系统、基于动态故障树联合动态 Bayes 网络的分离系统的作用能力相对较为局限，并不能将有意电磁波信号与汽车仪器电磁混合传输波完全分离开来，依然有可能对汽车组合仪表的稳定运行能力造成影响。

为解决上述问题，设计新型汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统。空时域分离是一种信号处理手段，可以在空间、时间两个维度上对混合信号进行分类处理^[4]。在汽车组合仪表体系中，有意电磁波、仪器电磁波同时在空间和时间上传播，使得接收器元件在接收信号时必须同时考虑空间和时间两个维度层面。因此，本文在设计汽车组合仪表有意电磁干扰系统时，使用空时域分离技术，在空间和时间上同时分解电磁信号，一方面保障了接收器对混合波信号的理解与接收能力，另一方面也可以使主机元件对电磁信号的传播方向与相位进行准确定义。

1 联合分离系统的硬件平台设计

汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统的硬件平台结构包括步进电机驱动电路、组合仪表控制器、分离电源与 PCB 电路板、数字传感器四部分，本章节针对其具体设计方法展开研究。

1.1 汽车组合仪表的步进电机驱动电路

汽车组合仪表通常通过步进电机来实现指针显示和数码管切换等功能。步进电机驱动电路负责控制和驱动步进电机的旋转，以确保准确的指针位置和显示。因此，首先设计汽车组合仪表的步进电机驱动电路。

汽车组合仪表的步进电机驱动电路通常由 DRV8811 步进电机专用的集成型驱动芯片来实现，实物如图 1 所示。

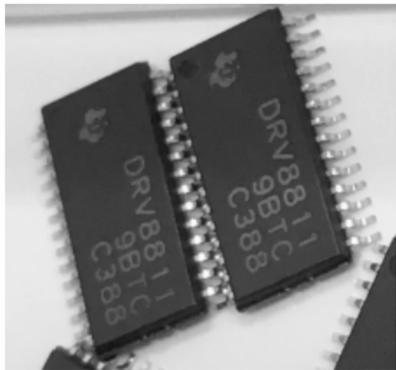


图 1 DRV8811 芯片

DRV8811 芯片内部集成了两路 H 桥驱动电路，其中与 +VDD 端相连的为 Step+ 引脚，与 -VCC 端相连的为

DIR-引脚。从功能性角度来看，Step+ 引脚所能负荷的电力等级相对较高，汽车组合仪表电磁传输波会在电信号的聚合作用下，大量累积在该类型引脚组织之中，当汽车行驶速度突然增大时，已被存储的电磁传输波释放至导线组织中，以供 CX051 电力驱动装置与 ULN2003 电动机的直接调取与利用^[5]。DIR-引脚与多个反相器装置保持串联关系，在汽车组合仪表显示基本信息时，该结构可以对有意电磁波起到一定的过滤作用。ULN2003 电动机提供了有意电磁波传输所需的电力信号，在汽车组合仪表步进电机驱动电路中所负荷的电压等级最高。完整的汽车组合仪表步进电机驱动电路连接结构如图 2 所示。

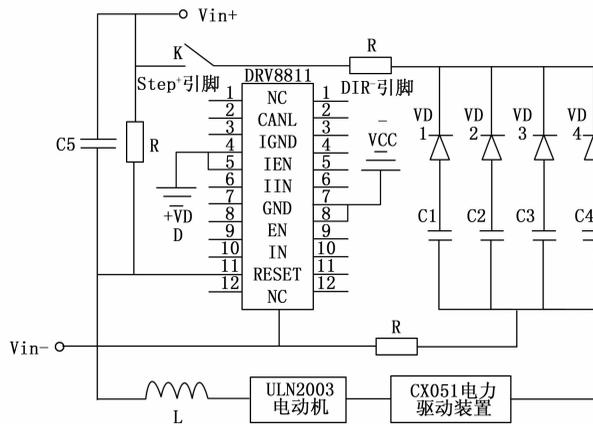


图 2 汽车组合仪表的步进电机驱动电路图

CX051 电力驱动装置可以对汽车组合仪表的步进电机驱动电路中的传输电量进行恒流性控制，当有意电磁波所能负荷的电量水平较低时，该元件快速吸收 DRV8811 芯片输出的低压型电流，并对其进行恒流控制；反之，若当有意电磁波所能负荷的电量水平较高时，该元件只充当负荷容器，不会对传输电量进行恒流处理^[6]。车辆行驶过程中，电量信号只能由 Vin+ 级流向 Vin- 级，所以 +VDD 端、-VCC 端与 Step+ 引脚、DIR- 引脚的连接关系不会发生对调。

1.2 汽车组合仪表控制器

组合仪表控制器是整个系统的核心控制单元。它负责接收和处理来自车辆主控系统或其他传感器的数据，并控制仪表的显示、报警和交互等功能。同时，它也负责与其他系统模块进行通信和数据交换。因此，以 STM32F103VET6 为核心，设计汽车组合仪表控制器。对于有意电磁干扰的空时域联合分离，汽车组合仪表控制器具有以下优势：首先，控制器部件使用 STM32F103VET6 型号的中心处理器，其次，具有丰富合理的外设部件，可以直接利用步进电机驱动电路输出的电力信号；此外，STM32F103VET6 处理器外置有 CAN 通信设备，只要保证 SPI 端口处于持续开放的连接状态，有意电磁波与汽车仪器电磁传输波混合信号就可以传输至处理器部件之中，以便于系统主机对其进行按需分离处理^[7]。EEPROM 组件、CPU 单元串联于 STM32F103VET6 中心处理器的同一边缘

侧,前者在有意电磁干扰情况下,提供较高的振荡频率,从而使得电磁信号的空域与时域振动特征发生明显变化,以便于主机元件能够将干扰性信号准确分离出来;CPU 单元具有动态读取汽车组合仪表有意电磁干扰信号的能力,当步进电机驱动电路中的电力信号输出量能够负担汽车组合仪表的运行需求时,该部件组织在单位时间内采集到的混合电磁波信号总量,决定了系统主机在空时域情况下对于信号样本的分离处理能力^[8]。具体的汽车组合仪表控制器结构模型如图 3 所示。

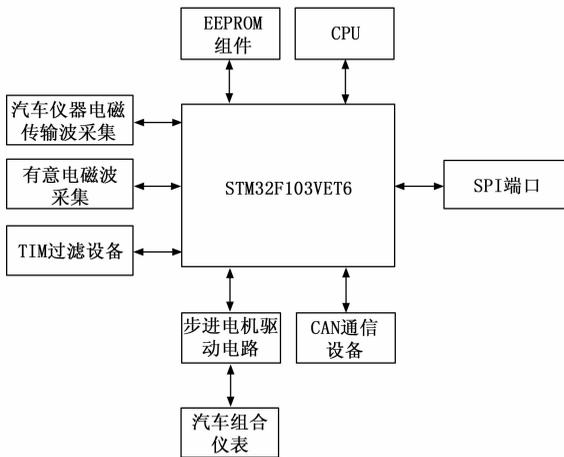


图 3 汽车组合仪表控制器结构模型

SPI 端口、CAN 通信设备保持串行连接关系,对于汽车组合仪表控制器而言,单一部件结构的开放并不足以使主机元件对控制器组件输出的信号参量进行分离处理,只有两个部件结构的同时开放,才能满足在空时域条件下对汽车组合仪表有意电磁干扰信号进行分离处理的实际应用需求。

1.3 分离电源与 PCB 电路板

由于汽车电子设备通常面临着电磁干扰和噪声等问题,为了保证仪表系统的稳定性和可靠性,设计分离电源和专门的 PCB 电路板。其中,分离电源可以提供稳定的电力支持,避免干扰和波动对仪表系统的影响,实物如图 4 所示。



图 4 分离电源

局和增加屏蔽措施来减少电磁干扰并提高系统抗干扰能力。分离电源是汽车组合仪表的步进电机驱动电路的下级附属结构,包括一个 V-接线区和一个 V+接线区。DC 线是直接和汽车组合仪表步进电机驱动电路相连的传输导线,由一股正极线缆、一股负极线缆相互缠绕而成。其中,正极线缆接入分离电源的 V+接线区,系统主机针对有意电磁干扰进行空时域联合分离时,该端级组织负责传输正向的电力信号^[9]。负极线缆接入分离电源的 V-接线区,系统主机针对有意电磁干扰进行空时域联合分离时,该端级组织负责传输负向的电力信号。具体的分离电源接线形式如图 5 所示。

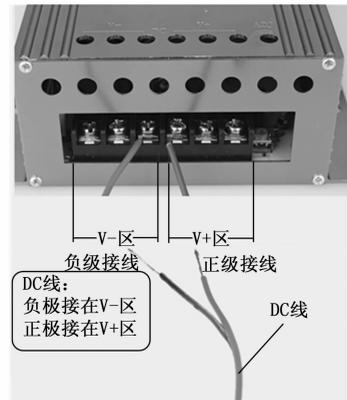


图 5 分离电源接线形式

PCB 电路板的存在意义是辅助汽车组合仪表分离电源的运行,由射频前端、中心处理器、辅助模块三部分组成。为了让三者组成统一的模块整体,发挥每一部分对信号空时域分离的作用,需要分离电源为其提供基础动力支持,更需要适宜的步进电机驱动电路运行模式,以确保各个模块的正常工作^[10]。在分离电源的驱动作用下,射频前端负责对汽车组合仪表有意电磁干扰信号进行聚合处理;中心处理器是 PCB 电路板的核心运行部件,与分离电源保持同步运行状态,可以在提取射频前端部件所聚合有意电磁干扰信号的同时,避免分离电源正、负线缆出现反接情况;辅助模块的运行稳定性较强,分离电源保持连续运行状态的情况下,PCB 电路板对于汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统主机的供电有可能出现非稳定状态,但由于辅助模块的存在,有意电磁干扰对汽车组合仪表的干扰强度能够得到有效控制,故而系统主机对干扰信号分离处理的准确性也就能得到保障。

1.4 有意电磁干扰数字传感器

有意电磁干扰数字传感器是指将采集到的车速、转速、油量、温度等电磁输入信号转换成数字输出信号的 A/D 模块,利用 64 位 ROM 与单线接口串联逻辑控制单元、高速暂存器部件,将转换后的信号传输给组合仪表控制器,从而使得外接数据库主机可以实现对汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离信号的实时存储,以供显示和实时监控。

PCB 电路板则承载了各个电路和元器件,通过优化布

64 位 ROM 与单线接口是有意电磁干扰数字传感器的核心部件, 在接收干扰信号存储与逻辑控制单元所输出有意电磁波的同时, 按照 A/D 转换原则, 对电磁波信号进行处理, 从而满足外接数据库主机对于分离后信号参数的实时存储需求^[11]。对于汽车组合仪表有意电磁干扰数字传感器结构的建模参考图 6。

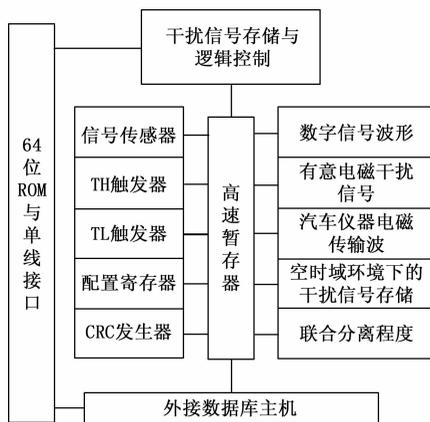


图 6 有意电磁干扰数字传感器连接结构

有意电磁干扰数字传感器的高速暂存器部分兼具信号传感器、TH 触发器、TL 触发器、配置寄存器、CRC 发生器的功能。其中, 信号传感器可以根据汽车组合仪表有意电磁干扰信号在空时域中的传输形式, 确定数字信号的传输波形。TH 触发器负责调取汽车组合仪表运行过程中可能出现的有意电磁干扰信号, TL 触发器负责调取常规汽车仪器电磁传输信号, 两个部件结构对于信号参数的处理能力相同, 所以系统主机在实施联合分离处理时, 不会存在信号传输行为具有明显差异化效果的情况^[12]。配置寄存器存储空时域环境下的有意电磁干扰信号, 在确保 CRC 发生器保持连接状态的情况下, 系统主机可以根据该部件的运行状态, 确定联合分离指令的执行强度。

2 汽车组合仪表有意电磁的空时域干扰效应分析

汽车是一个电子系统密集的环境, 车内可能存在各种电子设备和通信系统。这些设备和系统会产生电磁辐射干扰, 并可能对汽车组合仪表造成影响。因此, 为了进一步扩大化硬件设计成果, 增强系统稳定性和抗干扰能力, 分析汽车组合仪表有意电磁空时域干扰效应。将有意电磁波源地址信息分配到空间和时间两个维度上, 实现系统主机对电磁波数据包的追踪和分离处理。通过将源地址信息映射到二维坐标系, 可以确保每个有意电磁波信号的分离标识符的唯一性, 从而实现对数据包的精准分配。通过计算干扰信号的平坦度, 判断是否存在特定频率上的能量集中。

2.1 有意电磁波的空时域源地址分配

空时域源地址分配是一种处理汽车组合仪表有意电磁干扰信号的方式, 通过将有意电磁波源地址信息分配到空间、时间两个维度上, 实现系统主机对电磁波数据包的精

确追踪与联合分离处理。将源地址信息分配到空间、时间维度上, 可以保障系统主机对每一个有意电磁波信号所赋予分离标识符的唯一性, 在实施联合分离处理时, 能够确保对数据包文件的精准分配^[13-14]。具体来说, 实现空时域源地址分配, 需要将汽车组合仪表有意电磁信号的源地址信息映射到二维坐标系之中, 其中横坐标代表干扰信号的空间信息, 纵坐标代表时间信息。运算过程中, 每一个信号对象都对唯一坐标点, 所以系统主机在进行联合分离处理时, 根据横、纵坐标就可以确定有意电磁波的来源。

规定 α_x 表示汽车组合仪表有意电磁波的横坐标定义项, α_y 表示纵坐标定义项, 且 α_x 、 α_y 不能同时等于零, m_x 、 m_y 表示有意电磁波在空间上、时间上的源地址信息查询参数, χ 表示基于分离标识符的有意电磁波数据赋值参数, b 表示汽车组合仪表有意电磁波的实时分配参数。在上述物理量的支持下, 可将有意电磁波的空时域源地址分配表达式定义为:

$$M = \frac{\sqrt{m_x (\alpha_x^{-1/2}) + m_y (\alpha_y^{-1/2})}}{b(\chi + 1)} \quad (1)$$

在空间和时间维度上, 汽车组合仪表有意电磁干扰信号地址被分配为不同的波段信息, 且每个波段信息所对应的源地址不会随联合分离指令的实施而发生变化。

2.2 汽车组合仪表有意电磁干扰信号的平坦度计算

平坦度影响汽车组合仪表有意电磁干扰信号在传输过程中的功率增益水平, 对于联合分离系统而言, 平坦度越大的传输信号的功率增益水平越高, 在实施空时域源地址分配时, 该类型信号所占用的信道容量也就越大。因此, 通过有意电磁波的空时域源地址分配初步确定了干扰信号的发射位置。以此为根据, 通过计算干扰信号的平坦度, 判断是否存在特定频率上的能量集中。如果干扰信号的频谱不平坦, 意味着某些频率上的能量较高, 可能对特定频段的敏感系统造成严重的干扰。

系统运行目的是将有意电磁波在汽车仪器电磁传输波混合信号中分离出来, 而所占据信道容量越大的传输信号往往越容易被系统主机所发现, 因此在计算平坦度指标时, 以求得极大值结果为宜^[15]。在汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统中, 步进电机驱动电路保持级联化连接状态, 保障高水平的平坦度有助于抑制有意电磁噪声在空间和时间上造成的影响, 既可以帮助系统主机实施对混合信号的分离, 也能够维持汽车组合仪表单元的稳定运行状态。

在公式 (1) 的基础上, 求解汽车组合仪表有意电磁干扰信号的平坦度计算式如下:

$$\alpha = \frac{1 + \hat{B}^2 + (\delta | \Delta V |)^2}{2 | \beta M |} \quad (2)$$

其中: \hat{B} 表示已占用空时域信道内的汽车组合仪表有意电磁干扰信号编码特征参数, ΔV 表示有意电磁干扰信号的单位传输量, δ 表示有意电磁波传输过程中的信号干扰强度^[16], β 表示汽车组合仪表有意电磁波的绝对稳定传输

参数。

平坦度是一项相对物理量，在空时域条件下，保障汽车组合仪表有意电磁干扰信号的稳定传输，既可以避免有意电磁波与汽车仪器电磁传输波的过度混合，也能够解决数字传感器无法准确获取到关联测试信号的问题。

2.3 空时域中的有意电磁干扰脉冲参数计算

根据平坦度计算结果确定了能量集中的信号，即明确了汽车组合仪表有意电磁干扰信号。考虑到空时域中的有意电磁干扰脉冲是一种短暂的汽车组合仪表有意干扰电磁波的能量浪涌，因此，为了保证系统主机能够根据信号来源实施联合分离处理，分离混合在一起的有意电磁波与汽车仪器电磁传输波，计算有意电磁干扰脉冲参数。

脉冲参数是一项矢量物理系数，其取值大于零，表示有意电磁波与汽车仪器电磁波的传输方向一致，定义空时域分离环境时，应在同一传输周期内完成对信号参数的取样；脉冲参数小于零时，表示有意电磁波与汽车仪器电磁波的传输方向不一致，定义空时域分离环境时应在相邻传输周期内完成对信号参数的取样^[17-18]。

规定 C 表示空时域中的汽车组合仪表有意干扰电磁的能量浪涌强度，其计算式如下：

$$C = \frac{1}{\sqrt{\gamma x}} Z_\epsilon + \tilde{Z}_\epsilon \quad (3)$$

式中， ϵ 表示汽车组合仪表有意干扰电磁信号所属的传输周期定义参数，且 $\epsilon \neq 0$ 的不等式取值条件恒成立， Z_ϵ 表示基于参数 ϵ 的有意干扰电磁信号脉冲矢量系数， \tilde{Z}_ϵ 表示基于参数 Z_ϵ 的数值项度量值， x 表示空时域中的有意电磁干扰信号脉冲值。

汽车组合仪表有意电磁的空时域干扰效应可以理解为有意电磁波对汽车组合仪表的干扰作用能力，对于联合分离系统而言，有效控制干扰作用的表现能力，即当前运行期间空时域中的有意电磁干扰脉冲参数。因此，联立公式 (2)、公式 (3)，得到空时域中的有意电磁干扰脉冲参数计算式表示为：

$$Z = \frac{C}{\alpha} \left[\sqrt{1 + \frac{4(k-j)^2}{|\varphi l|^2}} - 1 \right] \quad (4)$$

式中， k 表示空间上的电磁信号混合程度， j 表示时间上的电磁信号混合程度， l 表示有意电磁干扰信号的单位脉冲长度， φ 表示脉冲周期。

3 有意电磁干扰的空时域联合分离

根据有意电磁干扰脉冲参数，分析得到了干扰信号的时域特征，将其与系统中其他信号进行区分，从而准确地识别出有意电磁干扰信号，实现有意电磁干扰的空时域联合分离。因此，系统主机实施对汽车组合仪表有意电磁干扰的空时域联合分离，应根据干扰信号的数目估计值，完成对干扰信号的分解处理，再联合相关参数指标，定义具体的联合分离修正函数表达式。

3.1 有意电磁波干扰信号的数目估计

估计有意电磁波干扰信号数目就是判断有意电磁波在

汽车仪器电磁混合传输波段中的占比情况，由于计算结果为非标准值，所以对于系统主机而言，在实施对干扰信号的空时域联合分离处理时，只能由该项物理量作为基础判别条件，并不能以估值结果为标准，定义具体的分离执行方案。从数值角度来看，只要所设定分离标准合理，干扰信号的数目估值条件就可以无限接近有意电磁波干扰信号的实际数值水平^[19]。

规定 L_1, L_2, \dots, L_n 表示 n 个不相等的汽车组合仪表有意电磁干扰信号的数值定义项，其取值满足如下表达式。

$$L_1, L_2, \dots, L_n \in [1, +\infty) \quad (5)$$

在公式 (5) 的基础上，设 φ 表示有意电磁波、汽车仪器电磁传输波在空时域下的混合关系， η 表示系统主机对汽车组合仪表有意电磁波干扰信号的取样效率， h 表示标准分离对象在空时域中的数值映射结果， \tilde{H} 表示有意电磁波的干扰能力度量值^[20]。在上述物理量的支持下，联立公式 (4)，推导有意电磁波干扰信号的数目估计计算式如下：

$$J = \varphi Z - \tilde{H} \times \frac{\eta h}{L_1 L_2 \dots L_n} \quad (6)$$

联合分离对汽车组合仪表有意电磁波干扰信号的数量水平提出了明确要求，因此为保证联合分离处理的准确性，在取样信号对象时，应避免对相同电磁波段进行重复定义。

3.2 空时域条件下的有意电磁干扰信号分解

由于估计得到的有意电磁干扰信号是连续的，加大了分离难度。为此，在空时域条件下分解有意电磁干扰信号。在汽车组合仪表的单位运行周期内，将连续的有意电磁干扰信号分割成多个不连贯部分。对于系统主机而言，以连续信号作为分离对象，必然存在一定的局限性，但若在不改变信号传输特点的情况下，以同一连续信号所对应的多个不连贯部分作为分离对象，既可以解决局限性，也能够达到提升分离准确性的目的^[21]。

规定 \hat{g} 表示空时域条件下的有意电磁干扰信号的传输特性表达式，其计算结果如公式 (7) 所示。

$$\hat{g} = f \times \frac{1}{\lambda (d' - d_0)} \quad (7)$$

式中， f 表示有意电磁干扰信号在单位传输周期内的谐振强度， d' 表示空时域条件下有意电磁干扰信号的实时传输相位， d_0 表示有意电磁干扰信号的初始传输相位， λ 表示电磁干扰信号的传输阶数值。

联立公式 (6)、公式 (7)，可将空时域条件下的有意电磁干扰信号分解结果表示为：

$$D = (-1)^{\iota+\kappa} J \hat{g} + \bar{A}^\kappa \quad (8)$$

其中， ι 表示空间条件下的信号分解参数， κ 表示时间条件下的信号分解参数^[22]， \bar{A} 表示连续有意电磁干扰信号分离对象的平均值。

3.3 联合分离修正函数求解

对于系统主机而言，联合分离汽车组合仪表有意电磁干扰信号时，将相同或相似的信号对象存储于同一数据库

主机之中，而这些相同或相似的信号对象往往来源于同一连续波段。因此，为了保证最终的分离效果，构建并求解联合分离修正函数。

联合分离修正函数是系统主机分离汽车组合仪表有意电磁干扰信号所遵循的处理条件。关于修正是指在空时域条件下，针对有意电磁干扰信号所定义的分处理标准。修正函数要求分离后汽车组合仪表有意电磁干扰信号在空时域中应保持一致性特征，具体的修正与调整方式取决于联合分离处理的执行标准^[23-24]。设 μ 表示汽车组合仪表有意电磁干扰信号在空时域条件下的联合分离权重赋值， $\bar{\omega}$ 表示容限值，最大容限值为 $\bar{\omega}_{\max}$ ， \bar{p} 表示有意电磁干扰信号的实时分离结果， I 表示电磁干扰信号的联合分离阈值，联立公式 (8)，可将联合分离修正函数计算式表示为：

$$S = \mu \exp\left(-\sum_{\omega=\bar{\omega}_{\min}}^{D^2} I\bar{\omega} \times \bar{p}\right) \quad (9)$$

至此，实现对相关参数指标的计算与处理，联合各级硬件应用单元，完成汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统的设计。该函数通过对有意电磁干扰信号的修正和调整，能够使分离后的信号在空时域中保持一致性特征。通过权重赋值和容限值的设定，可以控制对分离结果的影响程度，从而使分离结果在一定范围内保持稳定。

4 实验分析与研究

为突出说明汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统、基于三角函数正交特性的伺服系统、基于动态故障树联合动态 Bayes 网络的分离系统的应用差异性，设计如下对比实验。

4.1 实验准备

准备一台实验车辆、一台受体车辆，将电磁波装置放置在实验车辆上，闭合控制开关，为电磁波信号提供稳定的传输环境。实际的实验场景如图 7 所示。



图 7 实验场景

图 7 中，白色车辆为受体车辆，黑色车辆为实验车辆。行车过程中，受体车辆始终跟随在实验车辆后方，且两车距离不超过电磁波信号的最大辐射范围，详细实验原理如图 8 所示。

同时，按照图 9 布设电磁发生器，模拟有意电磁干扰。

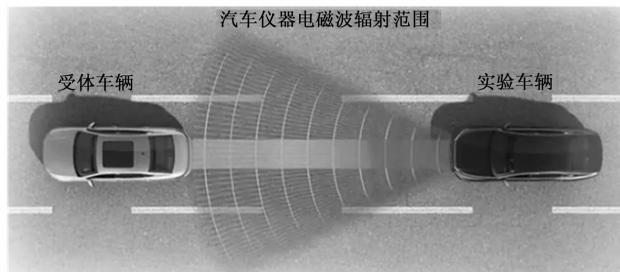


图 8 实验原理

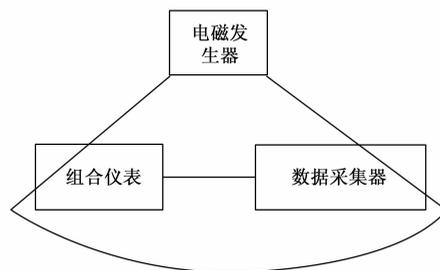


图 9 模拟环境

图 9 中，将汽车组合仪表安装在适当位置实验车辆上，并连接到数据采集器。电磁发生器放置在一定距离内，以模拟有意电磁干扰信号的发射源。设定电磁发生器的相关参数为：频率范围：100 MHz~1 GHz；幅度范围：0.5~5 V；脉冲宽度范围：10 ns~100 ns。实验中，首先，选择 300 MHz 作为干扰信号的中心频率，然后，对干扰信号的频率进行步进调整，从 200 MHz 逐步增加到 400 MHz，保持每次增加固定的步进值 10 MHz。设置修正函数的权重赋值为 0.5、容限值为 0.01 mm、联合分离阈值为 1 mW。随着实验时间的延长，汽车仪器电磁传输波会与有意电磁波发生混合，这种信号混合行为会严重干扰汽车组合仪表的稳定运行能力，从而导致仪表设备失灵的问题。截取一段包含有意电磁波的辐射信号作为实验对象，将其输入计算机软件之中，分别应用不同方法对所得波段进行分离处理，根据具体分离情况，分析所选用方法的应用能力。

通常情况下，汽车仪器电磁传输波在空域、时域中的传输行为具有明显的规律性，但有意电磁干扰信号传输行为的随机性较强，无论是波长还是频率极限值，都不具有明显的数值规律。本次实验分两部分进行，其中空域分离就是按照电磁信号波长对混合信号进行分离处理，时域分离就是按照电磁信号频率对混合信号进行分离处理。

4.2 空域分离实验

图 10 反映了汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统（第一组）、基于三角函数正交特性的伺服系统（第二组）、基于动态故障树联合动态 Bayes 网络的分离系统（第三组）空域分离实验的具体实验情况。

分析图 10 可知，在空域条件下，分离前汽车仪器电磁传输波与两种类型的有意电磁波混合在一起，经过第一组

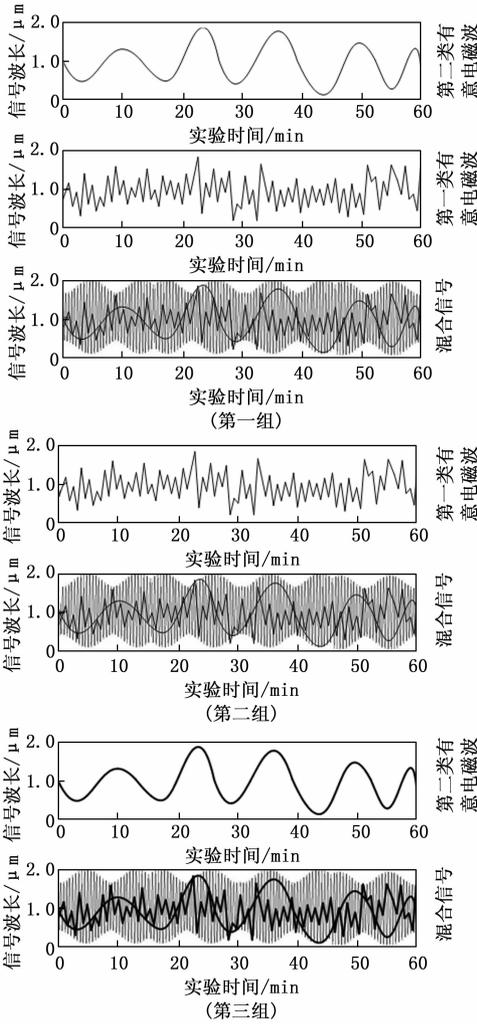


图 10 空域分离实验结果

系统的分离处理之后，两类有意电磁波被完全分离出来，且分离后信号波长依旧维持在 $1.0 \mu\text{m}$ 左右；第二组系统只能将第一类有意电磁波分离出来，第二类有意电磁波依然与汽车仪器电磁传输波保持混合状态；第三组系统只能将第二类有意电磁波分离出来，第一类有意电磁波依然与汽车仪器电磁传输波保持混合状态。

4.3 时域分离实验

图 11 反映了第一组、第二组、第三组时域分离实验的具体实验情况。

分析图 11 可知，在时域条件下，分离前汽车仪器电磁传输波也与两种类型的有意电磁波混合在一起，经过第一组系统的分离处理之后，两类有意电磁波也被完全分离出来，分离后的信号频率依然在 300 Hz 上下波动；第二组系统只能将第二类有意电磁波分离出来，第一类有意电磁波依然与汽车仪器电磁传输波保持混合状态；第三组系统只能将第一类有意电磁波分离出来，第二类有意电磁波依然与汽车仪器电磁传输波保持混合状态。

综合上述实验可知基于三角函数正交特性的伺服系统、

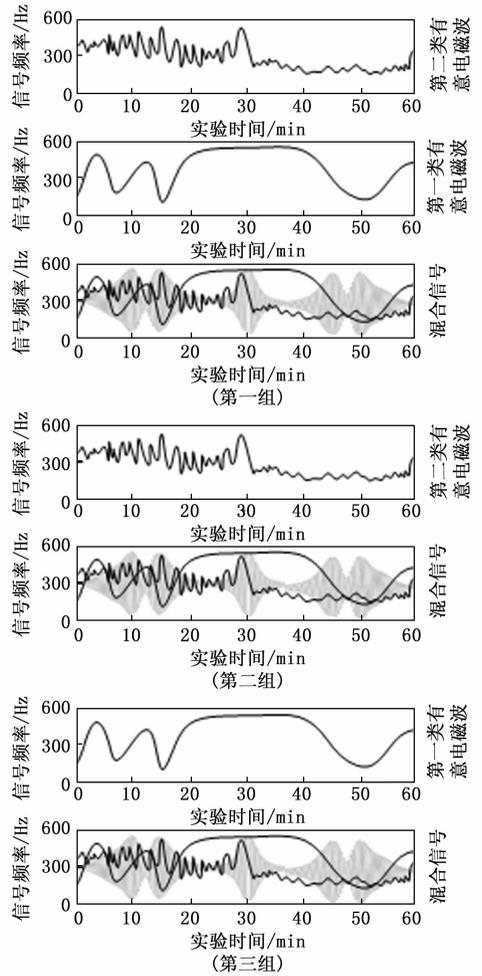


图 11 时域分离实验结果

基于动态故障树联合动态 Bayes 网络的分离系统在空时域条件下，对于混合信号的分离处理能力具有一定的局限性，并不能将有意电磁干扰完全与汽车仪器电磁传输波分离开来，故而依然有一定几率造成仪表设备失灵的问题。汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统的应用，可以将所有有意电磁波与汽车仪器电磁传输波分离开来，能够较好解决仪表设备失灵的问题，符合维护汽车组合仪表稳定运行能力的实际应用需求。

5 结束语

汽车组合仪表有意电磁干扰空时域联合分离系统的设计，以解决电磁干扰在汽车组合仪表中的突出问题为目标，通过对硬件设备部件设计与软件算法的优化，实现了对有意电磁干扰信号的有效抑制。与此同时，该系统采用空时域联合分离技术，对不同时间和空间域上的混合信号进行分离处理，既实现了对目标信号的有效提取，也提高了信号处理的准确性。通过上述设计，不仅提高了汽车组合仪表的信号处理能力和电磁兼容性能，也为解决类似问题提供了更有价值的参考意见。然而，随着汽车电磁环境的不断变化，该系统仍然可能存在一些未被完全解决的问题。

未来, 相关组织机构可以继续深入研究信号处理以及电磁兼容领域的各项应用技术, 力求应对汽车电磁环境中可能出现的各种挑战。

参考文献:

- [1] 梁涛, 谢彦召, 席志豪. 有意电磁干扰辐射下电子设备响应的 ∞ 范数上确界评定方法 [J]. 西安交通大学学报, 2022, 56 (9): 160-168.
- [2] 吴春, 郑露华, 支恩. 基于三角函数正交特性的永磁伺服系统机械参数辨识方法 [J]. 中国电机工程学报, 2022, 42 (4): 1617-1625.
- [3] 吴志钢, 陈雯, 朱军, 等. 基于动态故障树联合动态 Bayes 网络的汽轮机跳机电磁阀配电系统可靠性研究 [J]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 2023, 50 (4): 81-88.
- [4] 肖圳, 何彦, 李育锋, 等. 改进 MDSMOTTE 与 PSO-SVM 在汽车组合仪表分类预测中的应用 [J]. 工程设计学报, 2022, 29 (1): 20-27.
- [5] 张震, 尤伟强, 肖利华, 等. 基于 CANFD 的智能汽车域控制器软件升级系统设计 [J]. 中北大学学报 (自然科学版), 2022, 43 (4): 321-326.
- [6] 林程, 蒋雄威, 庄兴明, 等. 电动汽车永磁同步驱动电机控制器用变权重叠型过调制方法 [J]. 汽车工程, 2022, 44 (11): 1725-1734.
- [7] 向学位, 袁彬, 柴建云, 等. 驱动永磁同步电机的新型机械-电子混合逆变器 [J]. 电机与控制学报, 2022, 26 (5): 17-25.
- [8] 张军, 张杰, 龙江. 基于离散傅里叶变换的永磁同步电机驱动系统电流测量偏置误差在线补偿方法 [J]. 机床与液压, 2022, 50 (23): 114-118.
- [9] 张朋飞, 秦伟, 刘疆, 等. 基于介质谐振器和 PCB 技术的 SPDT 滤波开关 [J]. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2022, 34 (4): 694-699.
- [10] 王力, 谢晓怀, 张亦弛. 基于红外图像的 ISSA-BP 神经网络机载电路板芯片故障诊断 [J]. 红外技术, 2023, 45 (3): 241-248.
- [11] 杨安平, 周鸿猷, 方婕, 等. 基于荧光强度比技术的强抗干扰柔性荧光光纤温度传感器 [J]. 激光与光电子学进展, 2023, 60 (13): 73-80.
- [12] 王天资, 章建文, 张磊, 等. 抗电磁宽频率响应 IEPE 型压电式振动传感器设计研究 [J]. 传感技术学报, 2023, 36 (1): 9-14.
- [13] 王海亮, 王兴贵, 薛晨, 等. 基于 Markov 链的 MMC-MG 并网微源功率分配控制策略 [J]. 电网技术, 2022, 46 (9): 3651-3661.
- [14] 虞味, 周媛媛. 基于预报单光子源的相位匹配被动诱骗态量子密钥分配 [J]. 光学学报, 2021, 41 (2): 163-170.
- [15] 徐珂, 尚自乾, 严发宝, 等. 毫米波宽带太阳射电观测系统的信号平坦度补偿方法 [J]. 中国科学: 技术科学, 2021, 51 (4): 413-423.
- [16] 赖春露, 姚统, 王路. 低延迟有限冲激响应平坦数字微分器的优化设计 [J]. 电子学报, 2021, 49 (3): 477-483.
- [17] 沈志文, 黄洪全, 王敏, 等. 基于粒子群的开关复位型探测器输出脉冲参数识别 [J]. 核电子学与探测技术, 2022, 42 (6): 1011-1019.
- [18] 庄杰, 韩瑞, 季振宇, 等. 量化电导率模型参数多样性导致的脉冲电场消融预测的不确定性 [J]. 物理学报, 2023, 72 (14): 242-249.
- [19] 赵英健, 田波, 王春阳, 等. 基于 FDA-MIMO 雷达的主瓣 SMSP 干扰空时域联合抑制方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44 (7): 2157-2165.
- [20] 徐亮, 王晶, 杨文镜, 等. 基于 Conv-TasNet 的多特征融合音视频联合语音分离算法 [J]. 信号处理, 2021, 37 (10): 1799-1805.
- [21] 张梦楠, 李春茂, 刘凯, 等. 基于广义 S 变换和奇异值分解的局放信号降噪优化方法 [J]. 电网技术, 2021, 45 (8): 3305-3313.
- [22] 殷逸冰, 文振华, 左洪福. 基于静电信号变分模态分解和随机森林的气路故障识别方法 [J]. 推进技术, 2023, 44 (5): 292-304.
- [23] 黄宇, 赵杰, 陈建国. 复杂电磁环境下电子通信信号抗干扰方法 [J]. 计算机仿真, 2023, 40 (8): 159-163.
- [24] 章雯, 张君, 王璐, 等. 稀疏正交联合约束多通道非负矩阵分解声信号分离算法 [J]. 声学学报, 2023, 48 (1): 249-263.
- [24] ORTA A H, KERSEMANS M, ROOZEN N B, et al. Characterization of the full complex-valued stiffness tensor of orthotropic viscoelastic plates using 3D guided wavefield data [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2023, 191: 110146.
- [25] 薄连坤, 罗来源, 熊瑾煜. 利用拖船辐射噪声的深海声学参数近场匹配场反演方法 [J]. 声学学报, 2018, 43 (6): 915-924.
- [26] SHI F, HUTHWAITE P. Ultrasonic wave-speed diffraction tomography with undersampled data using virtual transducers [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2018, 65 (7): 1226-1238.
- [27] HUANG Y, SHAO C, WU B, et al. State-of-the-art review on Bayesian inference in structural system identification and damage assessment [J]. Advances in Structural Engineering, 2019, 22 (6): 1329-1351.
- [28] ROBERTO A. On-line bayesian model updating for structural health monitoring [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2018, 103: 174-195.
- [29] CHEN Z, ZHANG R, ZHENG J, et al. Sparse bayesian learning for structural damage identification [J]. Mechanical systems and signal processing, 2020, 140: 106689.
- [30] CANTERO-CHINCHILLA S, CHIACHIO J, CHIACHIO M, et al. A robust bayesian methodology for damage localization in plate-like structures using ultrasonic guided-waves [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2019, 122: 192-205.

(上接第 251 页)