

# 基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统设计

刘涛

(北方自动控制技术研究所, 太原 030000)

**摘要:** 车辆行驶模式的改变会导致道路障碍观测盲区的出现, 如何在满足车辆运行安全的条件下, 对道路障碍进行快速检测已经成为了一项亟待解决的问题; 基于此引入激光雷达多源数据融合理论, 设计路障检测系统; 利用多源以太网接口电路, 提供激光图像传感器、路障特征提取分类器、TVPS150PBS图像解码器所需的应用电子量, 再借助可编程逻辑器件, 对待融合多源数据进行整合, 完成路障检测系统硬件设计; 规划雷达工作模式的识别环境, 利用多源异构传感器设备, 对检测角点特征进行提取处理, 整合上述所有数据信息, 完成雷达脉冲组序列的建模处理, 实现基于激光雷达多源数据融合路障检测系统的应用; 实验结果表明, 激光雷达多源数据融合原理支持下路障检测系统的PF指标最大数值与最小数值的差值为60 MHz; PR指标的差值为4 800 MHz, PW指标的差值为700 MHz; 以上指标表明所设计系统的观测盲区更小, 可在满足车辆运行安全的条件下, 实现对道路障碍的快速检测。

**关键词:** 激光雷达; 多源数据融合; 路障检测; 以太网接口电路; 图像传感器; 异构传感器; 检测角点特征; 脉冲组序列

## Design of Roadblock Detection System Based on Lidar Multi-source Data Fusion

LIU Tao

(North Automatic Control Technology Research Institute, Taiyuan 030000, China)

**Abstract:** The change of vehicle driving mode will lead to the emergence of blind spots in road obstacle observation. How to quickly detect road obstacles under the condition of satisfying vehicle operation safety has become an urgent problem to be solved. Based on this, the Lidar multi-source data fusion theory is introduced, and the roadblock detection system is designed. Utilize the multi-source Ethernet interface circuit to provide the application electronics required by the laser image sensor, the roadblock feature extraction classifier, and the TVPS150PBS image decoder, and then use the programmable logic device to integrate the multi-source data to be fused to complete the roadblock detection system hardware design. Plan the recognition environment of the radar working mode, use multi-source heterogeneous sensor equipment to extract and process the detection corner features, integrate all the above data information, complete the modeling processing of the radar pulse group sequence, and realize the roadblock based on the multi-source data fusion of the lidar application of detection system. The experimental results show that the difference between the maximum value and the minimum value of the PF index of the roadblock detection system supported by the lidar multi-source data fusion principle is 60 MHz. The difference of the PR index is 4 800 MHz, and the difference of the PW index is 700 MHz. The above indicators show that the observing blind zone of the designed system is smaller, and the rapid detection of road obstacles can be realized under the condition of meeting the safety of vehicle operation.

**Keywords:** lidar; multi-source data fusion; roadblock detection; ethernet interface circuit; image sensor; heterogeneous sensor; detection of corner features; pulse sequence

## 0 引言

多源数据融合利用相关性手段, 将调查所获信息综合到一起, 并借助互联网主机, 对这些信息参量进行统一的分析与评价, 最终获得高度统一的数据信息调查处理结果。该项技术的研发初衷在于对多种类型的数据信息进行综合与应用, 并从中分析不同数据源的特点, 从而使得输出指令中包含更完整、更丰富的信息参量<sup>[1]</sup>。在信息选择方面,

多源数据融合技术的应用必须保证信息选择的正确性, 且待融合对象间不得存在错误或非合理的连接关系, 这也是确保多源数据能够获得理想化融合效果的主要原因<sup>[2]</sup>。通常情况下, 多源数据融合技术常与激光雷达设备配合使用, 前者能对后者所采集到的数据信息参量进行深度加工, 从而使得融合后文件更符合实际应用需求。

路障检测是道路障碍物检测的简称形式, 在车辆运行过程中, 由于形式模式等外在作用条件的改变, 会导致驾

收稿日期: 2021-04-07; 修回日期: 2021-05-14。

作者简介: 刘涛(1995-), 男, 甘肃秦安人, 硕士研究生, 主要从事系统工程方向的研究。

引用格式: 刘涛. 基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 55-59, 65.

驶者所观测到的道路情况发生改变,这也是促使道路障碍观测盲区出现的主要原因<sup>[3]</sup>。传统 DSP 应用系统在实施路障检测的过程中,通过最大类间方差法确定最佳的阈值结果,再通过直线拟合的方式,实现对障碍物边缘的连接与定位。然而此系统在缩小观测盲区方面的应用能力有限,并不能完全保障车辆的运行安全。为解决此问题,设计基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统,联合多源以太网接口电路、激光图像传感器等多个硬件设备结构,对激光雷达的工作模式进行识别,再借助已提取的检测角点特征,建立必要的雷达脉冲组序列模型。

### 1 基于激光雷达的路障检测系统硬件设计

激光雷达多源数据融合路障检测系统的硬件执行结构由多源以太网接口电路、激光图像传感器、路障特征提取分类器等多个结构共同组成,具体方案设计步骤如下。

#### 1.1 多源以太网接口电路

路障检测系统的多源以太网接口电路采取嵌入式连接形式,需要有电量循环通路、数据融合通路的配合,才能实现多源以太网络的综合控制。激光雷达驱动芯片内部提供了千兆以太网所需的接口组织,因此数据融合指令执行所需的信息参量,只有在网络隔离变压器、千兆网物理层芯片等多个结构元件的作用下,才能建立激光雷达设备与系统核心检测主机之间的应用连接关系<sup>[4]</sup>。考虑到以太网通讯功能,多源接口电路需要与激光雷达设备保持长距离通信联系,且由于 C1、C2、C3 等多个电容设备的存在,多源以太网芯片必须选取 88E1111 型号的连接装置,一方面抵御由多源数据融合行为带来的电气隔离作用,另一方面也可增强路障检测信号的输出强度,从而使得待融合数据信息的传输距离不断延长<sup>[5]</sup>。当存在不同电平传输情况时,多源以太网接口电路可保证激光雷达设备的正常运行,并可将 SGMII 接口与 MAC 接口顺次相连,不仅在最大程度上保护了 88E1111 多源以太网芯片,也不会影响路障检测信息的实际传输行为,这也是主电路结构体能够将并行激光信号直接转换为差分串行雷达信号的主要原因。多源以太网接口电路图如图 1 所示。

#### 1.2 激光图像传感器

激光图像传感器具有光谱响应广、大面积感光、光子转换效率高、动态范围广、影像失真率低、杂讯能力低的应用优势,不仅能够保证所检测到路障图像的质量水平,也始终具有较高的抗噪点能力,从而为多源数据融合提供较为稳定的信息传输环境<sup>[6]</sup>。虽然激光图像传感器的应用,可能会加大多源以太网接口电路的实际连接尺寸条件,易使系统的硬件执行环境稍显复杂,但由于其自身强大的处理灵活性,可在某方面大幅提升信息参量的特有传输性能,这不仅能够严格控制路障检测系统的搭建成本,也可加强激光雷达设备的耦合性处理能力,从而使得传感器元件的应用能力得到有效促进。根据多源以太网接口电路的实际

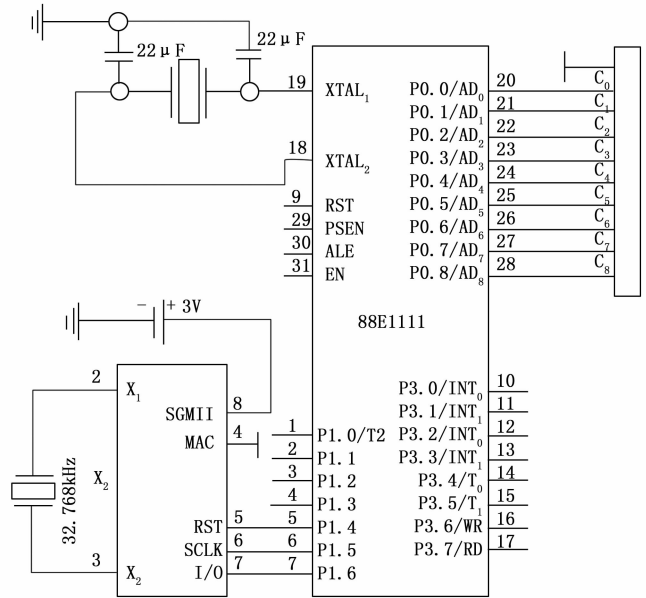


图 1 多源以太网接口电路图

连接需求,激光图像传感器设备中需要同时包含 PAL、GAL、CPLD 等多种型号的可编程芯片结构,并需要以此为基础,设计完全独立的门阵列组织<sup>[7]</sup>。通常情况下,激光图像传感器与多源以太网接口电路间的连接关系必须满足半定制型专用集成条件,为弥补传感器元件在门电路数量方面的不足,设备结构体还需具备一定的模块分层能力,可在实现多源数据融合的同时,对系统相关硬件执行结构进行联合调试。

表 1 激光图像传感器主要设计参数

传感器设备名称	参数值
激光图像有效像素	720(H) × 576(V)
路障信息最大检测帧率	25 fps
激光图像相面尺寸	1/3"
激光图像色彩	黑白
路障信息信噪比	46 dB
多源数据输出形式	CS(多源接口)
激光图像检测尺寸	35.5 mm × 36 mm × 63 mm
传感器工作电压	DC + 12V ± 10%

#### 1.3 路障特征提取分类器

路障特征提取分类器的检测任务通常包括激光雷达多源数据获取、障碍物图像深度信息挖掘、待融合点云数据生成等多种类型。基于多源数据融合技术所获取的激光雷达型路障图像信息属于一种新型的传输应用数据,其资源本质与传感器所采集到的激光图像相类似,由于信息参量的检测同源性,所有可能输出的激光雷达多源数据都维持最原始的排列顺序<sup>[8-9]</sup>。因此,对于路障特征提取分类器所采集到的激光雷达多源信息而言,其融合处理指令必须遵照最初的像素级处理条件,一方面对检测到的路障信息进

行按需排序, 另一方面也可使激光雷达设备的多源数据融合处理需求得到有效满足。

规定  $N$  代表非负自然数集合,  $i$ 、 $e$  代表其中两个随机选取的自然数值项, 且在整个集合区间内  $i \geq e$  的物理定义式恒成立, 设  $\beta$  代表路障信息的检测特征值, 联立上述物理量, 可将分类器设备对于系统路障特征检测值的提取权限定义为:

$$A = \frac{1}{|\beta|} \frac{\sum_{i,e \in N} I_i P_i - I_e P_e}{\sigma_i^2 + \sigma_e^2} \quad (1)$$

式中,  $I_i$  和  $I_e$  分别为第  $i$  与第  $e$  个激光雷达图像射频频指标,  $P_i$  和  $P_e$  分别为第  $i$  与第  $e$  个多源数据融合系数,  $\sigma_i$  和  $\sigma_e$  分别为两个不同的路障信息检测权限值。

#### 1.4 TVPS150PBS 图像解码器

TVPS150PBS 图像解码器是一款检测能力极强的解码器设备结构, 可将激光雷达输出的 PAL 型与 NTSC 型制式多源数据信号转换为数字色差检测信号, 且在实施检测指令的同时, 高通 TVPS150PBS 解码芯片支持多个路障图像检测信息的同时存在。检测系统中的多源数据融合指令由高通 TVPS150PBS 解码芯片独立完成, 但主要的模拟数据 A/D 转换行为确是由图像编辑器设备实现的<sup>[10]</sup>。由于高通 TVPS150PBS 解码芯片与图像编辑器设备间始终存在一定强度的多源数据传输关系, 因此与激光雷达匹配的检测信息流始终保持原有的 BT-656 格式。该模块内输入的多源数据不得违背 YUV4:2:2Planar 规则, 且采集到的检测信息也只能在 DM642 VPORT 端口的作用下, 才能实现由激光雷达缓冲区到 TVPS150PBS 解码芯片的存储位置转换。大多数道路障碍图像的最大存储条件可到 5 120 Bytes, 且由于多源数据融合理论的存在, 独立的缓冲区允许多个系统可编程检测元件的共同存在, 其中可编程逻辑器件负责对多源路障检测数据进行初步处理, 而其它设备应用结构则可借助图像编辑器, 建立与高通 TVPS150PBS 解码芯片的实用连接关系, 从而为多源数据融合提供较为稳定的传输与检测应用环境<sup>[11]</sup>。

#### 1.5 可编程逻辑器件

路障检测系统可编程逻辑器件由外部连接设备、内部连接设备两部分共同组成, 且两类设备结构在实际应用过程中, 完全遵循激光雷达元件的多源数据融合需求。

外部连接设备位于道路表面下端, 两排车辆行驶轨道需借助激光雷达检测线路, 实现在左、右端道路边缘主机之间的路障图像信息传输。激光雷达检测线路将车辆行驶轨道完全贯穿, 且由于核心检测主机的调度影响, 这些线路结构体能够准确记录道路障碍物的实际存在情况, 并可将这些信息数据以检测图像的方式, 反馈至激光雷达应用主机之中, 从而方便后续多源数据融合指令的顺利执行与调取<sup>[12]</sup>。可编程逻辑器件外部连接设备如图 2 所示。

内部连接设备存在于路障检测主机中, 包含 CPLD、

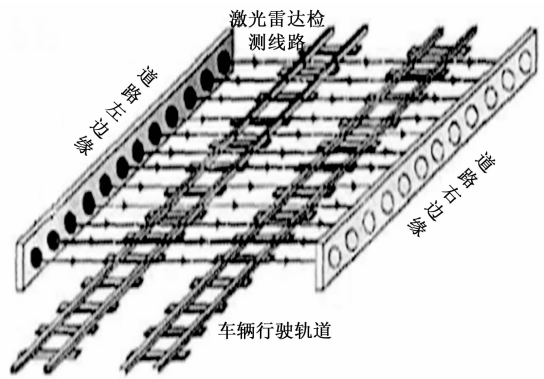


图 2 可编程逻辑器件外部连接设备

FPGA、MCU 三类应用芯片。其中, CPLD 芯片作为核心检测元件, 可记录激光雷达主机中多源数据的实际输入情况。FPGA 芯片则负担必要的多源数据融合指令, 可直接支配路障检测主机的输出行为, 并借助传输通道, 建立芯片设备与激光雷达间的应用连接关系<sup>[13]</sup>。MCU 芯片负责与可编程逻辑器件外部设备相连, 从而实现对道路障碍物的精准检测。

## 2 基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统软件设计

在激光雷达多源数据融合理论的作用下, 按照雷达工作模式识别、多源异构传感器连接、检测角点特征提取、雷达脉冲组序列建模的处理流程, 实现对系统路障检测信息的跟踪与应用。

### 2.1 雷达工作模式识别

在多源数据融合环境下, 激光雷达的检测与应用需求能够得到较好满足。与传统单一化检测模式相比, 激光雷达能够较好适应多源数据的传输变动需求, 不仅具有较好的检测灵活性, 也能够对道路障碍图像中包含的数据信息进行较好分辨<sup>[14]</sup>。为了满足多源数据信息的功能化融合需求 (成像、跟踪、搜索), 激光雷达一般会通过变化检测信号输出参数范围的方式, 来应对不同形式的道路障碍存在情况。

#### 1) 第一识别阶段:

在此过程中, 激光雷达信号输出量  $u_0$  的最小取值结果始终为 1, 但其最大取值结果则可不断向着  $+\infty$  趋近, 当道路障碍图像中的检测信息值等于  $f_{\max}$  时, 可将雷达工作模式识别第一阶段的检测能力定义为:

$$S_A = f_{\max}(\dot{y}) + \sum_{n=1}^{u_0} \frac{C_1 C_n}{n \times \varphi^2} d\bar{C} \quad (2)$$

其中:  $\dot{y}$  代表检测信息取值为  $f_{\max}$  时的系统检测特征量,  $C_1$ 、 $C_n$  分别代表最小与最大的多源数据参量值,  $\bar{C}$  代表  $C_1$  与  $C_n$  平均数值,  $n$  代表实际检测次数,  $\varphi$  代表多源检测信息的融合权限量。

#### 2) 第二识别阶段:

在此过程中, 激光雷达被系统检测主机赋予了兼性执

行的能力，且执行系数始终保持为  $r$ ，受到多源数据融合原理的影响， $r \in N$  的定义表达式也恒成立。设  $d_1$  代表第一个道路障碍物信息检测量， $d_r$  代表第  $r$  个道路障碍物信息检测量，联立公式 (2)，可将雷达工作模式识别第二阶段的检测能力定义为：

$$P_A = \sum_{r \in N} \frac{S_A}{A} \cdot \chi_r \sqrt{(d_r - d_1)} \quad (3)$$

其中： $\chi_r$  代表多源化激光雷达数据的检测权限量。

### 2.2 多源异构传感器

多源异构传感器也就是多个不同的数据信息检测传感器，常见的应用形式包含以下几类：

1) 主动式传感器：通过向激光传感器发射检测信号的方式，对道路障碍物进行准确识别，再将返回信号以多源数据的形式，传输至系统检测主机之中<sup>[15]</sup>。该类型传感器可直接提供系统检测主机所需的道路障碍物角度及距离信息，且测量精准度水平极高，但其始终属于一种主动式的传感器应用元件，极有可能因外界环境因素的影响，而出现检测精度水平的下降。主动式传感器结构如图 3 所示。

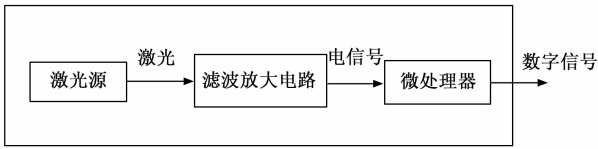


图 3 主动式传感器结构图

2) 被动式传感器：以障碍物反射能量作为激光雷达的目标检测信息，相比于主动式传感器，该类型应用结构可直接测度系统所管辖道路的宽度水平，并可为多源数据融合提供相对精准的信息提取环境<sup>[16]</sup>。被动式传感器结构如图 4 所示。

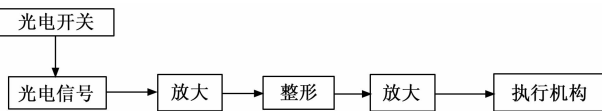


图 4 被动式传感器结构图

综合采用这两种传感器结构，在保证测量精准度的同时，也能够为多源数据融合提供相对精准的信息提取环境，进而提升路障特征提取准确率。

### 2.3 检测角点特征提取

角点特征提取能够较好地提取道路障碍物的检测特征，但是会引入与检测目标无关的其它角点，这些无用角点不但对激光雷达多源数据的融合毫无作用，甚至还会对实际检测准确性造成影响，增加多源数据融合的计算复杂度<sup>[17-18]</sup>。因此，为得到理想的检测角点特征提取结果，需要先消除多源数据中的无用角点信息，再根据激光雷达的具体射频输出能力，为后续的路障检测执行创造良好应用条件。设  $E_1, E_2, \dots, E_m$  分别代表  $m$  个不同的道路障碍物角点特征信息， $\Delta H$  代表无用角点数量值在单位时间内的变化总量，联立

公式 (3)，可将系统检测角点特征提取结果定义为：

$$V = P_A \cdot k \frac{\Delta H(E_1 + E_2 + \dots + E_m)}{t_m - t_1} \quad (4)$$

式中， $k$  为道路障碍物角点剔除系数， $t_1$  为第一个角点剔除步长值， $t_m$  为第  $m$  个角点剔除步长值。

### 2.4 雷达脉冲组序列建模

路障检测工作模式的构建一般完全遵循各时刻的激光雷达脉冲组序列，而这些序列参量交叠则会形成全新的模组数据条件，即雷达脉冲组序列模型。为了能够获得最为直观的道路障碍物检测结果，雷达脉冲组序列模型的构建需要从相干脉冲、填充脉冲两部分同时进行<sup>[19-20]</sup>。所谓相干脉冲是基于主动式传感器的多源数据融合基础，而填充脉冲则是基于被动式传感器的多源数据融合基础。设  $\bar{h}$  代表激光雷达相干脉冲波的输出量均值， $\bar{l}$  代表激光雷达填充脉冲波的输出量均值，联立公式 (4)，可将系统雷达脉冲组序列模型表示为：

$$Z = \frac{\bar{h}^\delta \cdot V}{\sum_{x_0 \rightarrow +\infty} \xi \times \bar{l}^\delta} \quad (5)$$

其中： $x_0$  为奇数级激光脉冲检测系数， $x_m$  为偶数级激光脉冲检测系数， $\xi$  为道路故障数据的多源融合基向量， $\delta$  为既定融合参数差值。

综合上述步骤，总结基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统软件流程，如图 5 所示。

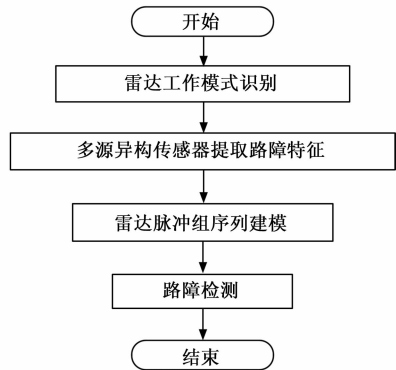


图 5 基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统软件流程图示意图

至此，完成各项指标系数的计算与处理，在激光雷达多源数据融合机制的作用下，实现路障检测系统的搭建与应用。

## 3 实用能力测试

针对路障检测系统观测盲区的问题，进行实验验证与分析。首先应用基于激光雷达多源数据融合的路障检测系统控制车辆进行进行为（实验组），再应用 DSP 路障检测系统控制车辆进行进行为（对照组），最后将测试过程中所记录的数据信息进行识别与对比，从而确定缩小系统观测盲区的实用性手段。图 6 为观测盲区测试图。



图 6 观测盲区测试

已知  $PF$ 、 $PR$ 、 $PW$  指标均能反应车内观测者所观察到的盲区范围大小，由于检测主机工作模式的不同，这些物理参数项的实际数值水平也会随之变化。通常情况下，上述三项指标的表现数值均以坐标量的形式出现，且横、纵坐标的数值水平越小，代表车内观测者所观察到的盲区范围越小，反之则越大。表 2、表 3 记录了实验组、对照组  $PF$ 、 $PR$ 、 $PW$  指标的具体数值变化情况。

表 2 实验组参数值

检测主机工作模式	$PF$ /MHz	$PR$ /MHz	$PW$ /MHz
VS	(35,50)	(2 000,2 600)	(300,600)
MTT	(40,20)	(3 000,2400)	(400,200)
RWS	(15,35)	(3 600,3 000)	(500,300)
STT	(20,5)	(4 000,3 400)	(400,100)
TWS	(33,41)	(4 600,4 000)	(150,50)
TAS	(10,22)	(5 000,4 400)	(250,50)
PUW	(17,31)	(4 100,4 300)	(170,100)

表 3 对照组参数值

检测主机工作模式	$PF$ /MHz	$PR$ /MHz	$PW$ /MHz
VS	(90,78)	(3 500,2 900)	(700,800)
MTT	(70,40)	(3 400,2 800)	(500,310)
RWS	(105,75)	(3 900,3 700)	(650,450)
STT	(50,35)	(4 200,3 800)	(470,300)
TWS	(47,63)	(5 000,4 200)	(290,100)
TAS	(30,45)	(6 500,5 100)	(300,250)
PUW	(26,50)	(4 500,5 600)	(290,180)

其中：VS 为车辆低速行进状态，MTT 为车辆高速行驶状态，RWS 为车辆匀速行进状态，STT 为车辆匀加速行进状态，TWS 为车辆匀减速行进状态，TAS 为车辆变加速行进状态，PUW 为车辆变减速行进状态。

分析表 2 可知，在实验组检测系统支持下， $PF$  指标在车辆低速行进状态时具有最大的数值计算结果 85 MHz，在车辆匀加速行进状态时具有最小的数值计算结果 25 MHz，二者间差值为 60 MHz。 $PR$  指标在车辆变加速行进状态时具有最大的数值计算结果 9 400 MHz，在车辆低速行进状态时具有最小的数值计算结果 4 600 MHz，二者间差值为 4 800 MHz。 $PW$  指标在车辆低速行进状态时具有最大的数

值计算结果 900 MHz，在车辆匀减速行进状态时具有最小的数值计算结果 200 MHz，二者间差值为 700 MHz。

分析表 3 可知，在对照组检测系统支持下， $PF$  指标在车辆匀速行进状态时具有最大的数值计算结果 180 MHz，在车辆变加速行进状态时具有最小的数值计算结果 75 MHz，二者间差值为 105 MHz。 $PR$  指标在车辆变加速行进状态时具有最大的数值计算结果 10 600 MHz，在车辆低速行进状态时具有最小的数值计算结果 6 400 MHz，二者间差值为 4 200 MHz。 $PW$  指标在车辆低速行进状态时具有最大的数值计算结果 1 500 MHz，在车辆匀减速行进状态时具有最小的数值计算结果 390 MHz，二者间差值为 1 110 MHz。

数值量计算公式遵循：

$$\sum = a + b \tag{6}$$

其中： $a$  表示横坐标记录数值， $b$  表示纵坐标记录数值。提取上述差值量计算结果，绘制对比结果如表 4 所示。

表 4 实验参数值对比

参数值	实验组	对照组
$PF$ /MHz	60	105
$PR$ /MHz	4 800	6 400
$PW$ /MHz	200	390

分析表 4 可知，实验组  $PF$  指标差值与对照组  $PF$  指标差值相比，下降了 45 MHz；实验组  $PR$  指标差值与对照组  $PR$  指标差值相比，下降了 1 600 MHz；实验组  $PW$  指标差值与对照组  $PW$  指标差值相比，下降了 190 MHz。

综上所述，在实际测试过程中，实验组  $PF$  指标、 $PR$  指标、 $PW$  指标数值均低于对照组记录结果，为此能够得出所设计系统的观察盲区较小，能够有效提升路障检测的准确率。符合缩小车内观测者所观察到盲区覆盖面积的实际应用需求。

#### 4 结束语

激光雷达多源数据融合技术支持下路障检测系统的  $PF$  指标差值为 60 MHz、 $PR$  指标差值为 4 800 MHz、 $PW$  指标差值为 700 MHz，与对照组相比均得到有效控制，能够较好抑制道路障碍观测盲区的出现，满足车辆的安全运行条件，且新型检测系统同时对激光图像传感器、TVPS150PBS 图像解码器等多个硬件设备结构的应用形式进行完善，不仅实现了对激光雷达工作模式的精准识别，也从根本上落实了脉冲组序列模型的应用需求，具备较强的推广可行性。

#### 参考文献：

[1] 时亚军, 顾洁, 李楠, 等. 基于多源数据融合的恶劣气象下 10 kV 配变实时状态评估 [J]. 高电压技术, 2020, 46 (2): 87-99.

(下转第 65 页)