

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2022

公路路面病害自动化识别技术指南

Technical Guide for Automatic Identification of Highway Pavement Diseases

草案版次选择

(本草案完成时间: X)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语 1

4 公路路况数据要求 2

 4.1 适用范围 2

 4.2 公路路面二维图像数据要求 2

 4.3 公路路面三维点云数据要求 3

5 公路路面病害图像标注 5

 5.1 标注软件类型 5

 5.2 公路路面图像标注格式 6

6 公路路面病害图像自动化识别 7

 6.1 基于目标检测卷积神经网络的公路路面病害图像自动检测 7

 6.2 基于语义分割卷积神经网络的公路路面病害图像自动分割 7

 6.3 基于深度学习融合网络的公路路面病害图像自动分类 8

7 公路路面病害图像自动化识别评定指标 10

附 录 A （资料性） 公路路面病害二维图像采集设备 11

附 录 B （资料性） 公路路面病害三维点云数据采集设备 14

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件编制单位：东南大学、华设设计集团股份有限公司、陕西高速公路工程试验检测有限公司、江西省公路工程检测中心、江西省天驰高速科技发展有限公司、山东高速工程检测有限公司、河北省交通规划设计研究院有限公司、安徽省高速公路试验检测科研中心有限公司、南京熙赢测控技术有限公司、陕西易村智能交通科技有限公司、广东大道检测技术有限公司

本文件主要起草人：赵池航、季锦章、王心刚、聂磊晶、王斯倩、刘宪明、薛善光、查庆、韩笑飞、程鑫、欧忠、沙月进、高诣民、孙韦、林俊、周杨、高国华、杨旭光、李子兵、陶云啸、宁航、吴云城、周志言、党倩、邵永军、黄卫国、李庆营、张云鹏、束冬林、周洲、胡凯、郑有凤、化丽茹

公路路面病害自动化识别技术指南

1 范围

本文件规定了公路路面病害自动化识别技术的数据采集、识别技术的要求与指标。

本文件适用于高速公路、一级公路、二级公路的路面病害自动化识别，市政道路的路面病害自动化识别也可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 26764 多功能路况快速检测设备

JTG B01 公路工程技术标准

JTG 5210 公路技术状况评定标准

JTG E60 公路路基路面现场测试规程

JTG F40 公路沥青路面施工技术规范

JTG 5142 公路沥青路面养护技术规范

JTG/TF30 公路水泥混凝土路面施工技术细则

JTG/T E61 公路路面技术状况自动化检测规程

3 术语

JTG E20、JTG E42、JTG F40、JTG H10、JTG 5142、JTG/T 5142-01、JTG 5210、DB34/T 2917界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 路面病害自动化识别 Automatic recognition of pavement damage

通过安装在检测车上的路面信息扫描设备采集公路路面状况信息，采用自动化识别技术对公路路面病害进行智能化检测和分类。

3.2 路面二维图像 Two-dimensional Image of pavement

通过安装在检测车上的二维线阵相机对公路路面连续拍摄，采集到的路面二维线阵图像。

3.3 路面三维点云数据 Three-dimensional point cloud data of pavement

通过安装在检测车上的三维线阵相机或三维激光扫描仪对公路路面进行连续拍摄或扫描，采集到的公路路面三维点云数据。

3.4 路面深度图像 Depth image of pavement

将公路路面三维点云数据的高程数据转化为灰度数据，以地面扫描点为像素单位的公路路面图像数据。

3.5 检测正确率 Detection Precision

自动化检测正确的公路路面病害数量除以公路路面病害总数量。

3.6 分类正确率 Classification Precision

自动化分类正确的公路路面病害数量除以公路路面病害总数量。

3.7 识别正确率 Recognition Precision

等于检测正确率乘以分类正确率。

3.8 容错率 Error Rate

被错误识别为有病害的公路路面图像数量除以正常公路路面图像总数量。

4 公路路况数据要求

4.1 适用范围

本方法适用于自主研发的公路路况检测车采集的路面图像数据或购置数据提供方提供的公路路面图像数据、进行公路路面病害自动化识别的情况。

4.2 公路路面二维图像数据要求

4.2.1 数据内容

公路路面二维图像数据应包括：

- a) 里程信息数据，包括定位信息、总里程、桩号、日期、车速等。
- b) 图像信息数据，包括路权图像信息、路面图像信息。
- c) 设备采集状态信息，包括传感器状态信息（工业相机、GNSS 系统、距离测量仪、路权相机等）和传感器异常状态预警（工业相机、GNSS 系统、距离测量仪、路权相机等）。

4.2.2 数据存储要求

a) 路面二维图像数据存储结构

路面二维图像数据保存在根文件夹下的路面信息根文件夹，将多路线阵相机的图像数据分开保存，建议以“时间戳-GNSS 定位信息-相机编号-文件夹编号-序号”命名，应以 JPG 格式保存。

b) 地理数据存储结构

GNSS 系统定位数据保存在根文件夹下的地理位置信息根文件夹，以 GNSS 系统格式进行保存，建议优选北斗卫星导航系统（Beidou Navigation Satellite System, BDS）。

c) 路权相机数据存储结构

路权相机数据保存在根文件夹下的路面信息根文件夹，应以 AVI 格式进行保存。

d) 预设数据存储结构

预设数据保存在根文件夹下的路面信息根文件夹，以 TXT 格式对数据进行保存，预设数据应包括路段数据采集任务开始之前新建工程所要设置的工程信息，主要包括工程目录、工程名、路线名称、检测天气、车道、公路等级、施测方向、匝道、路面类型、起始位置桩号、检测员、工程路径。

e) 车辆位置实时桩号校正数据

针对距离测量仪测量过程中产生的误差会导致控制面板显示桩号不准确的现象，检测车行驶到整公里处车内操作员进行“修正桩号”，系统依据四舍五入原则自动修正桩号，防止因为距离测量仪的误差导致检测过程中桩号误差的累积，以 TXT 格式进行保存。

f) 传感器异常状态预警数据

根据采集到的状态信息对传感器异常状态进行预警，读取状态信息的传感器主要包括二维线阵相机、距离传感器、路权相机、BDS，用以判断传感器异常状态的信息主要包括心跳信号状态信息、设备温度信息、数据缓冲区状态信息，其中心跳信号状态信息主要用来反映传感器与工业控制计算机之间的连接状态，设备温度信息用来反映传感器工作温度是否正常，数据缓冲区状态信息用来反映传感器数据缓冲区数据存储是否存在数据溢出现象，应以 TXT 格式进行保存。

4.2.3 采集过程要求

a) 相邻线阵相机采集的公路路面二维图像重叠范围大于 0.1m。

b) 图像丢失率小于 0.01%。

c) GNSS 后差分定位精度不小于 $\pm 20\text{cm}$ 。

4.3 公路路面三维点云数据要求

4.3.1 数据内容

公路路面三维点云数据应包括：

a) 里程信息数据，包括定位信息、总里程、桩号、日期、车速等。

b) 图像信息数据，包括路面点云数据、路权图像信息。

c) 设备采集状态信息，包括传感器状态信息（工业相机、激光器、GNSS 系统、距离测量仪）、传感器异常状态预警信息（工业相机、GNSS 系统、距离测量仪、路权相机等）2 部分内容。

4.3.2 数据存储要求

a) 路面三维点云数据存储结构

路面三维点云数据保存在根文件夹下的路面信息文件夹，将多路工业相机的点云数据分开保存，建议以“时间戳-GNSS 定位信息-激光器编号-文件夹编号-序号”命名，以 TIF 格式保存。

b) 地理数据存储结构

GNSS 系统定位数据保存在根文件夹下的地理位置信息文件夹，以 GNSS 系统格式进行保存，建议优选北斗卫星导航系统（Beidou Navigation Satellite System, BDS）。

c) 路权相机数据存储结构

路权相机图像数据保存在根文件夹下的路面信息根文件夹，以 AVI 格式进行保存。

d) 预设数据存储结构

预设数据保存在根文件夹下的路面信息根文件夹，以 TXT 格式对数据进行保存，预设数据应包括路段数据采集任务开始之前新建工程所要设置的工程信息，主要包括工程目录、工程名、路线名称、检测天气、车道、公路等级、施测方向、匝道、路面类型、起始位置桩号、检测员、工程路径。

e) 车辆位置实时桩号校正模块

针对距离测量仪测量过程中产生的误差会导致控制面板显示桩号不准确的现象，检测车行驶到整公里处车内操作员进行“修正桩号”，系统依据四舍五入原则自动修正桩号，防止因为距离测量仪的误差导致检测过程中桩号误差的累积，以 TXT 格式进行保存。

f) 传感器异常状态预警

根据采集到的状态信息对传感器异常状态进行预警，读取状态信息的传感器主要包括三维线阵相机、激光器、距离传感器、路权相机、BDS，用以判断传感器异常状态的信息主要包括心跳信号状态信息、设备温度信息、数据缓冲区状态信息，其中心跳信号状态信息主要用来反映传感器与工业控制计算机之间的连接状态，设备温度信息用来反映传感器工作温度是否正常，数据缓冲区状态信息用来反映传感器数据缓冲区数据存储是否存

在数据溢出现象，以 TXT 格式进行保存。

4.3.3 采集过程要求

- a) 相邻三维线阵相机采集的地面点云重叠范围大于 0.1m。
- b) 点云数据丢失率小于 0.01%。
- c) GNSS 后差分定位精度不小于 $\pm 20\text{cm}$ 。

4.3.4 点云数据拼接矩阵的计算

a) 拼接板的设计要求。拼接板应为长条状，样例如图 4.1 所示；拼接板应为大范围平面为主，板内设计具有明显的起伏特征；起伏地区的坡度方向应呈多变特征。

b) 根据拼接板在两幅三维点云的位置计算路面点云数据拼接矩阵。首先，点云关键点检测并特征提取；其次，特征匹配，确定对应关系；最后，估计变换矩阵，完成配准。

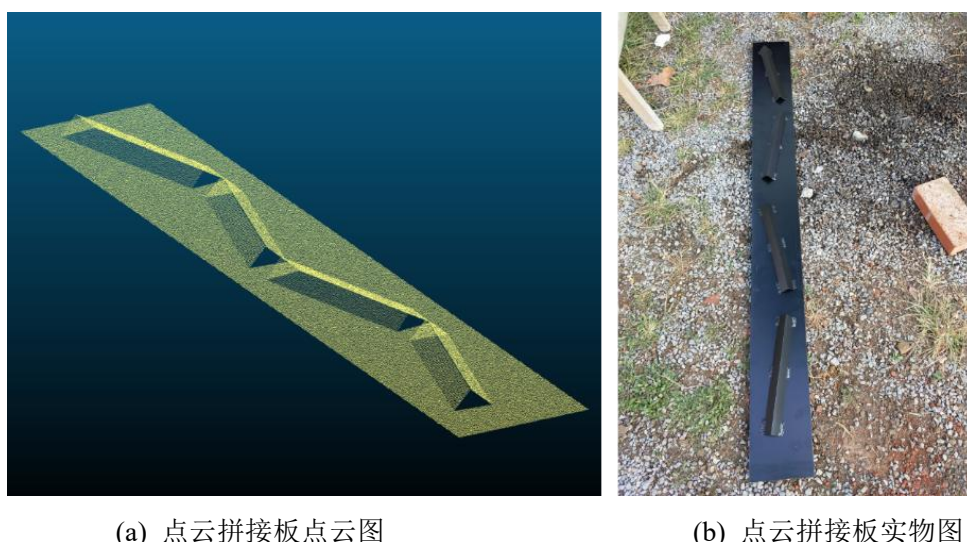


图 4.1 点云拼接板点云图和点云拼接板实物图

4.3.5 拼接完成的路面点云数据格式转换

应将拼接完成的路面点云数据格式由TIF格式转换成二维图像JPG格式。

5 公路路面病害图像标注

5.1 标注软件类型

二维图像标注可以采用以下两种软件系统：一种是 labelme 标注，生成 JSON 格式的标签文件；另一种是 labelimg 标注，生成适用于 PASCAL VOC 数据集的 XML 格式标签文件或适用于 YOLO 数据集的 TXT 格式标签文件。建议采用第二种标注软件系统。

5.2 公路路面图像标注格式

公路路面二维图像标注应该采用 XML 格式标签文件和 TXT 格式的标签文件，格式如下：

a) PASCAL VOC 数据集格式。PASCAL VOC 数据集的文件夹格式为：

```

——VOCdevkit
——VOC2012
——Annotations
——ImageSets
——Main
——JPEGImages

```

其中：

Annotations 文件夹内存放 XML 格式的 PASCAL VOC 数据集的标签，标签文件名与图像文件名对应；

Annotations 文件夹下一级子文件夹 size 内包括了公路快检路面病害图像分辨率信息与图像深度信息；

Annotations 文件夹下一级子文件夹 object 为标注信息，包括标签名字与标注框的位置坐标。

Main 文件夹内存放数据集划分信息，包含公路快检路面病害图像文件名信息的 train.TXT、val.TXT、test.TXT 等文件；

JPEGImages 文件夹内则存放未标注的原始图像。

b) YOLO 数据集格式

YOLO 数据集格式的文件夹格式为：

```

——Data
——train
——images
——labels
——val
——images
——labels
——test
——images
——labels

```

其中：

images 文件夹内存放未标注原始图像，分别将对应训练集、验证集、测试集图像放入对应的 train、val、test 文件夹内的 images 文件夹内；

labels 文件夹存放 TXT 格式的 YOLO 数据集的标签。YOLO 数据集的 TXT 标签格式仅包括标注的基本信息，第一列为标签种类信息，通常用 0、1、2、3……表示类别。

6 公路路面病害图像自动化识别

6.1 基于目标检测卷积神经网络的公路路面病害图像自动检测

可以采用 Faster-RCNN、YOLO、SSD 网络等目标检测卷积神经网络对公路路面病害进行检测。建议采用基于 Faster-RCNN 网络的公路路面病害检测模型，如图 6.1 所示，该网络模型分为特征提取、生成候选区域、检测分类三个部分。

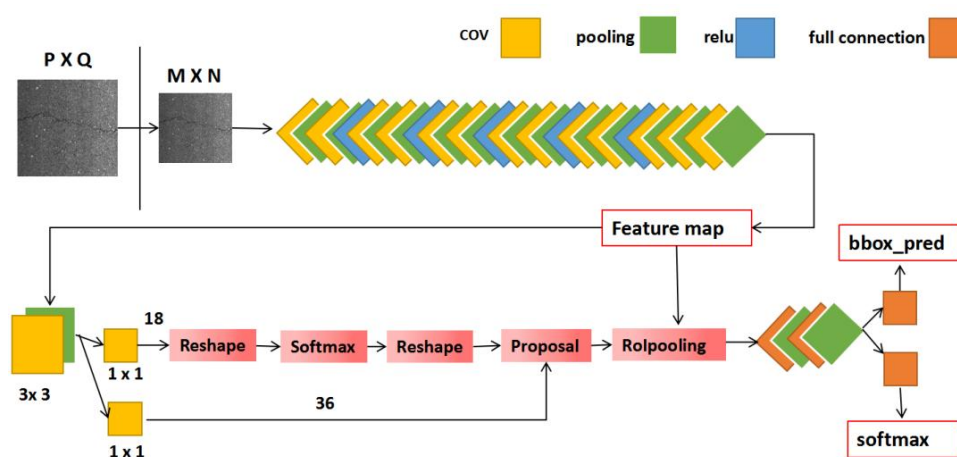


图 6.1 基于 Faster-RCNN 网络的公路路面病害检测模型结构

6.2 基于语义分割卷积神经网络的公路路面病害图像自动分割

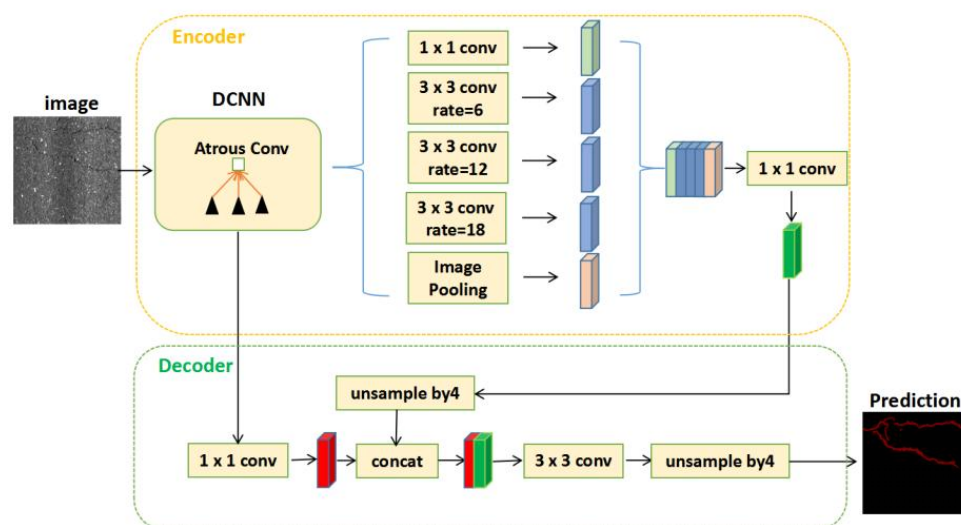


图 6.2 基于 Deeplabv3+ 的公路路面病害分割网络模型结构

可以采用 FCN、U-Net、SegNet、Deeplabv3+等语义分割卷积神经网络对检测到的路面病害进行分割。建议采用基于 Deeplabv3+的公路路面病害分割网络模型，如图 6.2 所示，首先，该模型经过深度可分离卷积进行特征提取得到特征图，其次，进行全局池化，得到 2048 维的特征向量，最后经过全连接层和逻辑回归层输出分割结果。

6.3 基于深度学习融合网络的公路路面病害自动分类

可以采用支持向量机、卷积神经网络、深度学习融合网络等分类器对分割后的路面病害进行分类。建议采用基于深度学习融合网络的公路路面病害分类模型，如图 6.3 所示。

a) 基于深度学习融合网络的公路路面病害分类模型由 Resnet50、Inception V3、Xception 三个网络的特征提取层构成。Resnet50 由 3 个 conv2_x 单元, 4 个 conv3_x 单元, 6 个 conv4_x 单元, 3 个 conv5_x 单元组成, 第一层是一个 7×7 的卷积, 最后一层是一个全连接层, 其中 conv2_x 单元、conv3_x 单元、conv4_x 单元和 conv5_x 单元均包括 3 个卷积层, 卷积算子分别为 1×1 , 3×3 和 1×1 , 最后得到输出特征矩阵; InceptionV3 采用卷积层-卷积层-卷积层-池化层-卷积层-卷积层-池化层的结构, 池化之后加入 3 个 Inception A 单元, 之后连接 1 个 Inception B 单元, 之后再连接 4 个 Inception C 单元, 之后连接 1 个 Inception D 单元, 之后连接 2 个 Inception E 单元, 最后得到输出特征矩阵; Xception 先进行两次卷积核为 3×3 的卷积运算并经过激活函数提高非线性, 之后连接深度可分卷积运算单元, 每一个运算单元都包含 2 次带 ReLU 激活函数的 3×3 深度可分卷积运算和最大池化, 输入模块得到 $19 \times 19 \times 728$ 的特征图, 中间模块是 8 个一样的深度可分卷积运算单元相连, 每一个运算单元都包含 3 次带 ReLU 激活函数的 3×3 深度可分卷积运算, 输出模块是一个深度可分卷积运算单元, 运算单元包含 2 次带 ReLU 激活函数的 3×3 深度可分卷积运算和最大池化, 之后进行 2 次带 ReLU 激活函数的 3×3 深度可分卷积运算, 得到输出特征矩阵;

b) Resnet50、Inception V3、Xception 三个卷积神经网络输出的特征向量进行融合, 可以采用串联、并联、加权等融合规则。公路路面病害自动分类建议采用并联融合规则。

c) 根据融合规则获得融合特征向量, 深度学习融合网络采用丢弃率为 0.5 的 Dropout 层, 最后全连接层并用 Softmax 函数与输出节点相连, 最终输出一个 6 维向量, 该向量中最大分量对应的类别即为路面病害分类结果。

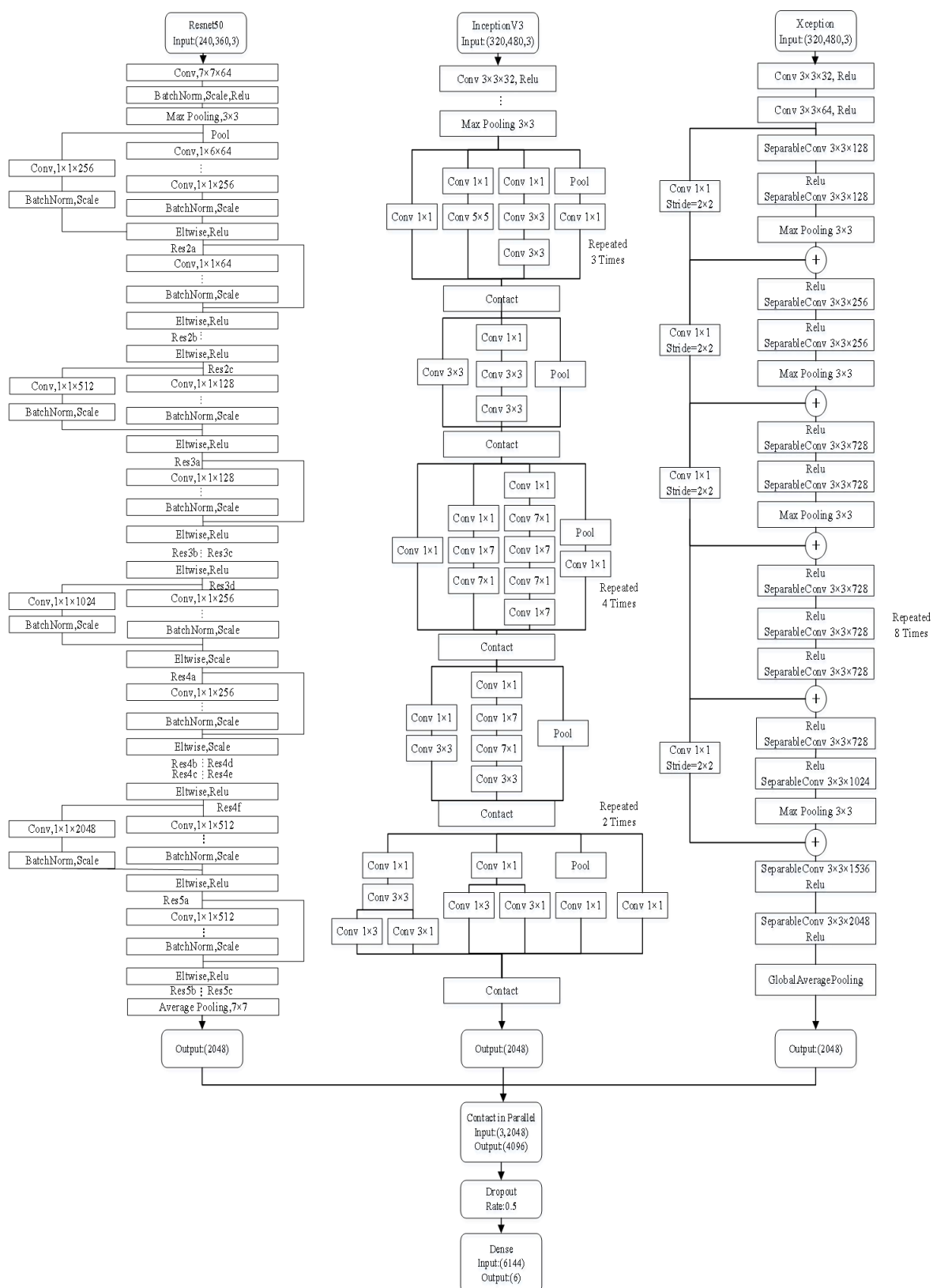


图 6.3 基于深度学习融合网络的公路路面病害分类模型结构

7 公路路面病害图像自动化识别评定指标

采用本指南开展公路路面病害图像自动化识别工作，应该采用表 9.1 中的评定指标。

表 7.1 公路路面病害图像自动化识别评定指标

指标	要求
检测正确率（Detection Precision）	$\geq 95\%$
分类正确率（Classification Precision）	$\geq 95\%$
识别正确率（Recognition Precision）	$\geq 90\%$
容错率（Error Rate）	$\leq 8\%$

附 录 A
(资料性)
公路路面病害二维图像采集设备

A.1 设备组成

公路路面病害二维图像采集设备包括：工业相机套件（二维线阵相机）、照明设备、路权相机（视频相机）、GPS 定位接受器、距离测量仪和工业控制计算机。图 A.1 是公路路面二维图像采集设备在检测车上的布置位置示意图。

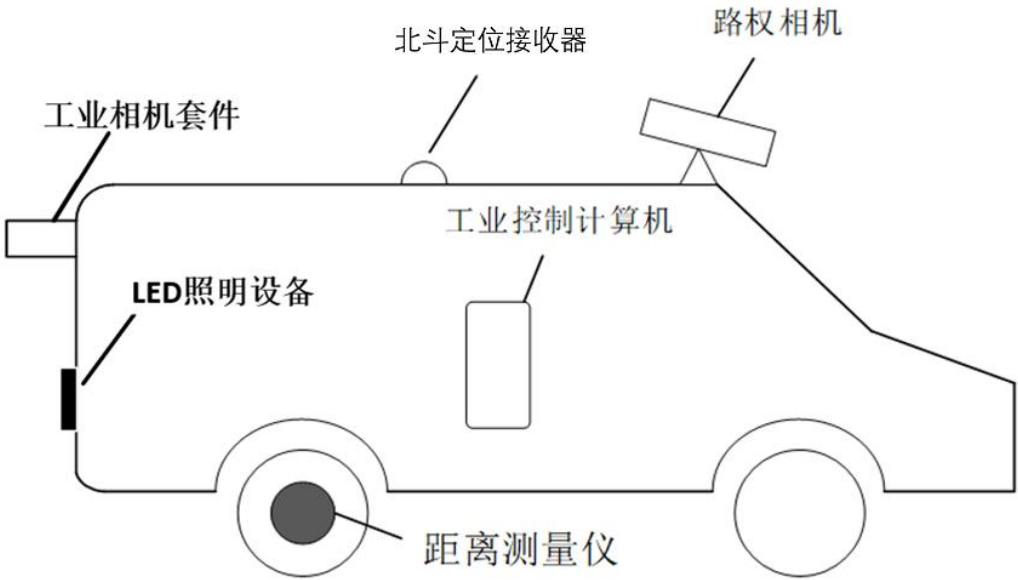


图 A.1 公路路面二维图像采集设备组成及位置示意图

A.2 二维图像采集设备

工业相机套件（二维线阵相机）安置正在检测车尾部，在 LED 照明设备的配合下，垂直向下摄影获取公路路面二维线阵图像。二维线阵相机的参数指标见表 A.1。

表 A.1 线阵工业相机参数指标要求

参数名称	参数数值
采集方式	行图像
行扫描宽度	1.45 米（三个相机）或 2.00 米（两个相机）

地面分辨率	≤1mm
工作温度	0° C~+45° C
工作湿度	10%~80%
存储温度	20° C~+70° C
千兆以太网接口	有
三种工作方式	连续采集、软触发采集、外触发采集

A.3 GNSS 设备

GNSS 接收器布设在检测车顶部以利于更好的接受 GNSS 信号，GNSS 定位器通过 RS232 串口与工业控制计算机相连。GNSS 设备的参数指标要求见表 A.2。

表 A.2 GNSS 设备参数要求

参数名称	参数数值
信号跟踪	采用多星系统内核: BDS: B1、B2、B3 GPS: L1C/A、L1C、L2C、L2E、L5 GLONASS: L1C/A、L1P、L2C/A、L2P、L3 GALILEO: GIOVE-A 和 GIOVE-B、E1、E5A、E5B
定位输出频率	1Hz~50Hz
差分支持	CMR、RTCM2.X、RTCM3.0、RTCM3.2
初始化时间	<10 秒
初始化可靠性	>99.9%
RTK 定位精度	平面: $\pm (8+1 \times 10^{-6} D)$ mm 高程: $\pm (15+1 \times 10^{-6} D)$ mm
功率	1W/2W/5W 可调
传输速率	19.2kbps/9.6kbps 可调
工作温度	-45°C~75°C
防护等级	IP68

A.4 距离测量仪

采用脉冲数为 2048 的增量式光电编码器作为距离测量仪，通过 RS232 串口与工业控制计算机相连。光电编码器通过产生与位移增量相同的脉冲信号来对车轮的位移进行离散

化的表示。车轮每位移单位距离，光电编码器即输出一个脉冲信号，将输出的脉冲信号传入到激光器-3D 相机组件中即可控制激光器-3D 相机组件采集路面图像的频率。

表 A.3 增量式光电编码器参数要求

参数名称	参数数值
每转脉冲数	2048
测量原理	光电
最大转速	6000/秒
启动力矩	1.0Ncm
力矩	0.75 Ncm
工作电压	DC 10V-30V
输出电流	100mA 带短路保护
工作温度	-25°-70°
防护等级	IP50

附录 B
(资料性)
公路路面病害三维点云采集设备

B.1 设备组成

公路路面病害三维点云数据采集设备包括：激光器-3D 相机组件、路权相机（视频相机）、北斗定位接受器、距离测量仪和工业控制计算机。图 B.1 是公路路面病害三维点云数据采集设备在检测车上的布置位置示意图。

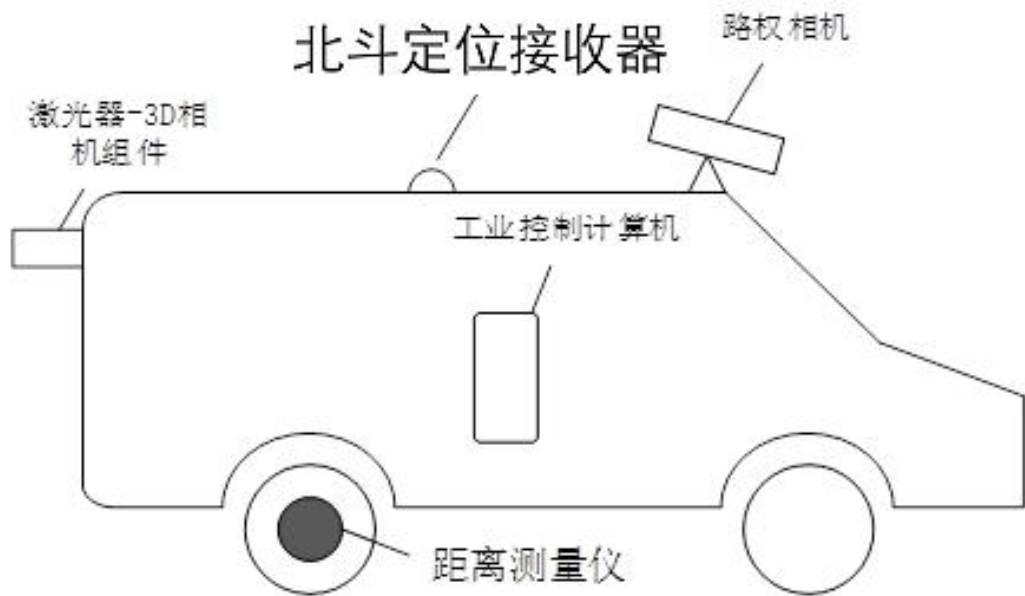


图 B.1 公路路面三维点云数据采集设备组成及位置示意图

B.2 公路路面三维点云数据采集设备

激光器+3D 工业相机安置正在车尾，激光器垂直向下发射激光，经路面反射后被工业相机接收，经计算获得激光器与路面之间的距离，在工业相机上记录该距离。其记录格式为深度图像或转换后的真彩色图像。激光器的具体参数要求见表 B.1。

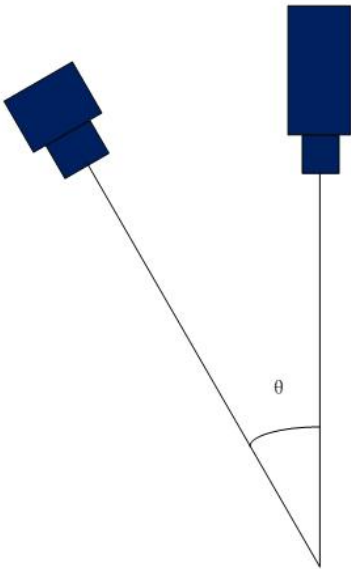
表 B.1 激光器参数指标要求

参数名称	参数数值
扫描方式	行扫描
指向稳定性 (μrad/° C)	< 6

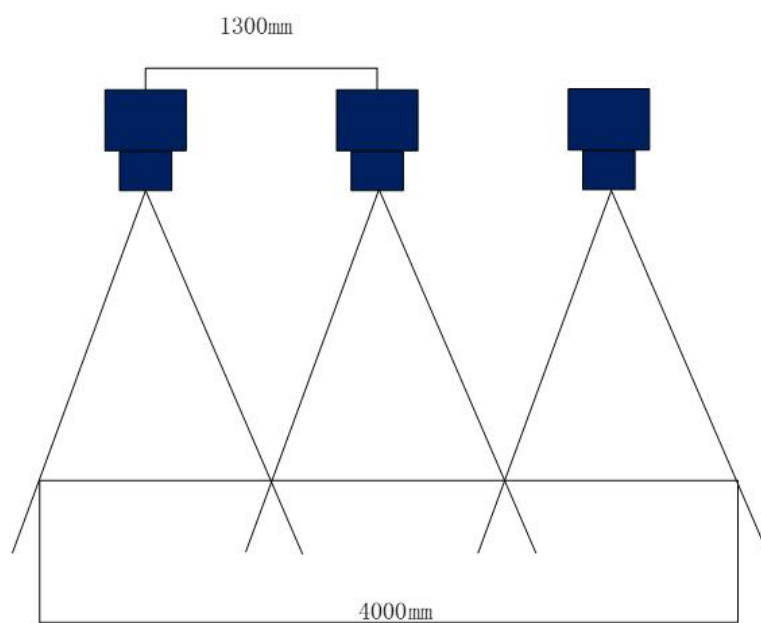
行扫描宽度	1.45 米（三个激光器）或 2.0 （两个激光器）
点云深度精度	≤1mm
激光器的波长	670nm~808nm
波长漂移	≈ 0.1nm（在整个工作温度范围）
供电电压	9~30V
25℃时工作电压	5V(≥ 635nm), 12V(405,450,520nm)
功率	15w
工作电压	12VDC
工作温度	-10~+50℃
千兆以太网接口	有
防护（内置）	静电保护，过压保护（30VDC），过热保护（>50℃）
静电保护	Level 4

B.3 激光器+3D 工业相机的设计与安装

激光器+3D 工业相机的数量不多于 3 台，保证一幅行车道宽度可以由不多于 3 幅的点云数据拼接得到，如图 B.2 所示。激光点云的地面分辨率小于 1mm。GNSS 接收机采用差分定位模式，后差分处理精度高于 10+10ppm。



(a) 激光器与 3D 相机安装示意图



(b) 多台 3D 线阵相机安装图

图 B.2 激光器-3D 相机组件安装示意图

B.4 工业相机、GNSS 设备、距离测量仪的技术参数要求同附录 A。