

文章编号：1005-8451 (2017) 11-0022-06

# 基于雷达与视频分析技术的铁路崩塌落石自动监测报警系统设计与实现

徐成伟<sup>1</sup>, 张德强<sup>1</sup>, 张昊<sup>2</sup>, 王宝田<sup>1</sup>, 黎悦韬<sup>2</sup>

(1.北京经纬信息技术公司, 北京 100081;  
2.中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所, 北京 100081)

**摘要：**提出一种基于雷达与视频分析综合报警评判的铁路崩塌落石自动监测报警系统。系统实时分析高于轨道70 mm的平面雷达扫描数据, 结合目标识别、入侵监测、滞留检测等视频分析技术, 对监测区域的障碍物情况进行综合分析, 及时、准确地发出预警和报警信息, 并启动紧急处置预案, 避免线路障碍物对行车安全造成影响。

**关键词：**崩塌落石; 雷达; 行为分析; 机器视觉

**中图分类号：**U216.41 : TP39 **文献标识码：**A

## Automatic monitoring and alarming system for railway fallen rocks based on radar and video analysis technology

XU Chengwei<sup>1</sup>, ZHANG Deqiang<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>2</sup>, WANG Baotian<sup>1</sup>, LI Yuetao<sup>2</sup>

(1. Beijing Jingwei Information Technology Company, Beijing 100081, China;  
2. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** This article presented an automatic monitoring and alarming system for railway fallen rocks based on radar and video analysis integrated alarming evaluation. The system analyzed the plane radar scan data above 70mm in orbit in real-time, combined with target recognition, intrusion detection, retention detection and other video analysis technology, comprehensively analyzed the obstacles in the monitoring area, sent warning and alarming information timely and accurately, and started the emergency disposal plan. So it could avoid the impact of traffic safety caused by line obstruction.

**Keywords:** fallen rocks; radar; behavior analysis; machine vision

目前, 对铁路崩塌落石的监测主要采用防护网以及在防护网上布设传感器的方式, 在防护网上布设传感器不仅能实现落石的报警, 也能实现落石的预警功能。但是依托于防护网的监测方式, 不具有普遍的适用性。近年来, 通过分析雷达对轨道上方某平面的扫描数据, 自动产生障碍物报警信息的崩塌落石自动监测系统先后在线路上试点。此类系统对报警信息的评判只依赖雷达扫描数据, 很难识别出物体的类别及尺寸, 此外, 普通雷达扫描数据受到降水、霾等环境因素影响较大, 系统误报率普遍较高。

本文提出的铁路崩塌落石自动监测报警系统, 使用雷达、摄像头两种传感器类型, 综合分析雷达

扫描数据、视频图像数据, 对监测区域的安全情况进行报警评判, 从而降低了误报率。

### 1 系统建设目标

铁路崩塌落石自动监测报警系统是行车安全的重要基础保障系统, 对危及列车运行安全的泥石流、崩塌、落石等异物侵限和突发事故等进行实时监测、报警、预警及紧急处置, 实现监测信息分布获取、集中管理和综合运用。

### 2 系统原理

在基于雷达与视频分析技术的铁路崩塌落石自动监测报警系统中, 对雷达扫描数据的评判主要分为数据除噪、物体识别和报警评判3个步骤。对视频内容分析主要分为运动目标检测、目标定位与跟踪

收稿日期: 2017-04-26

基金项目: 北京经纬信息技术公司科研项目(DZYF16-22, 1652DZ2201)。

作者简介: 徐成伟, 工程师; 张德强, 高级工程师。

及报警评判<sup>[1]</sup>3个步骤。当雷达与视频分析均报警后，系统发出报警消息。当雷达与视频分析只有一项报警后，系统发出预警消息。监测数据处理流程如图1所示。

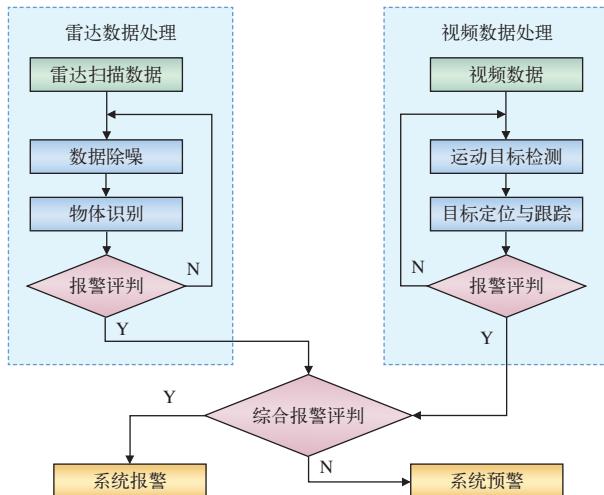


图1 监测数据处理流程

## 2.1 雷达数据处理

### 2.1.1 数据除噪

雷达数据除噪算法主要的工作为过滤掉不在监测区域内的点。

本系统使用改进后的射线法进行采集点的过滤。求出从被测点向右作水平线与多边形交点的个数，单边交点为偶数，点在多边形之外，否则点在多边形内。

### 2.1.2 物体识别

雷达数据处理中的物体识别是借助于图像处理中的特征提取算法完成的。分为2步：(1) 区域分割；(2) 特征提取。区域分割阶段的主要任务是确定特征模式的分类。特征提取阶段的主要任务是提取特征点。

区域分割时，阈值的选取要随着距离的不同进行变化，才能取得比较好的分割效果。

特征提取包含面状特征的提取、线状特征的提取和点状特征的提取<sup>[2]</sup>。本文使用梯度算子方法来提取雷达影像特征<sup>[3]</sup>。

一个影像灰度函数  $g(x, y)$  在点  $(x, y)$  的梯度是一个具有方向和大小的矢量，即：

$$\nabla g(x, y) = \frac{\partial g}{\partial x} i + \frac{\partial g}{\partial y} j \quad (1)$$

在  $\theta$  方向的变化速率：

$$\frac{\partial g}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial g}{\partial y} \sin \theta \quad (2)$$

变化率最大方向为：

$$\theta_{\max} = \arctg \left| \frac{\frac{\partial g}{\partial y}}{\frac{\partial g}{\partial x}} \right| \quad (3)$$

梯度值的大小为：

$$|G(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

导数的计算用差分近似表示：

$$G_{i, j} = \sqrt{(g_{i, j} - g_{i+1, j})^2 + (g_{i, j} - g_{i, j+1})^2} \quad (5)$$

当  $G_{i, j} >$  阈值时，认为像素  $(i, j)$  点是边缘上的点。

### 2.1.3 报警评判

针对提取出来的所有特征，依据文献[4]的要求进行单次报警评判。雷达数据报警评判流程如图2所示。

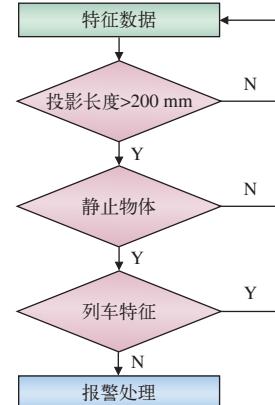


图2 雷达数据报警评判流程

## 2.2 视频数据处理

视频数据处理步骤为：(1) 检测出视频序列中的目标，对目标准确定位；(2) 在后续视频序列对目标持续跟踪；(3) 根据跟踪得到的目标位置、状态和运动等特征判别目标是否符合报警要求。

### 2.2.1 运动目标检测

运动目标检测指将运动对象从静态的或缓慢变化的背景中分离，是目标跟踪、入侵判别的前提<sup>[5]</sup>。检测方法主要包括光流法、帧差法与背景减除法。

背景减除法指将每帧图像与背景图像进行差分运算，区别大的区域为运动区域，其它区域为背景区域。混合高斯背景为每个像素点分别建模，像素点可能有多个状态，结合比较数据属于哪个状态，由此刷新像素点的模型参数，因此，混合高斯能够跟随运动背景变化而不断更新背景模型<sup>[6]</sup>。

选择若干张视频监控背景图像样本，训练建立背景的混合高斯模型，其具体建立方法为：计算前几帧视频图像的平均值和均方差，以此做混合高斯模型的初始值，权值设置为经验值<sup>[7]</sup>。混合高斯模型采用公式（6）进行背景更新。

$$\begin{cases} \mu_i(x, y, t+1) = (1-\alpha)\mu_i(x, y, t) + \alpha f(x, y, t) \\ \delta_i^2(x, y, t) = (1-\alpha)\delta_i^2(x, y, t) + \alpha(f(x, y, t) - \mu(x, y, t))^2 \\ \omega_i(t+1) = \omega_i(t) + \beta \end{cases} \quad (6)$$

其中， $\omega_i(t)$  表示前  $t$  帧训练样本训练得到混合高斯模型中第  $i$  个高斯模型的权重， $\mu_i(x, y, t+1)$ 、 $\delta_i^2(x, y, t+1)$  和  $\omega_i(t+1)$  分别表示第  $(t+1)$  帧训练样本训练得到的混合高斯模型中第  $i$  个高斯模型的均值、方差和权重。 $\alpha$  和  $\beta$  表示预设的参数。

## 2.2.2 目标定位与跟踪

目标物的定位跟踪为下一步的报警评判提供充分的数据支持，目标跟踪方法主要有卡尔曼滤波器跟踪算法、粒子滤波器跟踪算法、均值漂移跟踪算法、偏微分方程跟踪算法<sup>[5]</sup>。

卡尔曼滤波以估计理论为基础估计目标信号的状态，将目标运动都看作近似高斯分布，我们只需得到上一帧图像中跟踪目标的估计值就可以开始观测系统，并不用学习训练以前的数据<sup>[8]</sup>。本系统使用的是文献[5]提出的在卡尔曼滤波基础上建立特征矩阵判别目标运动状态，并采取相应措施的策略。多目标跟踪方法流程如图3所示。

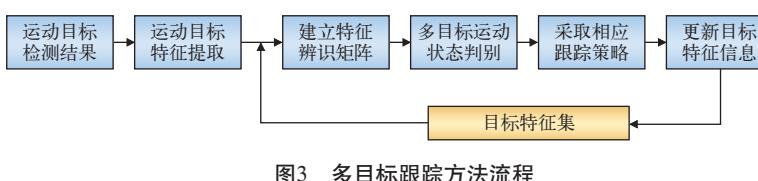


图3 多目标跟踪方法流程

## 2.2.3 报警评判

本系统主要涉及的视频分析方向为入侵监测、滞留监测，使用计算机图形学的方法进行目标行为

分析。除了上述两种监测类型外，视频分析功能还进行特殊类型物体匹配的工作（例如：人、列车），不同类型的目标采取不同的综合报警策略。

本系统采用的是一种基于计算机图形学、通过建立特征距离模型判断目标是否侵入监测区域的方法。实时判断目标质心到边界线的最小距离，当目标在边界线区域内部时，触发入侵报警信息。

## 3 系统设计

### 3.1 系统总体架构

铁路崩塌落石自动监测报警系统设计为两级架构，由现场监测设备和监控中心组成，如图4所示。

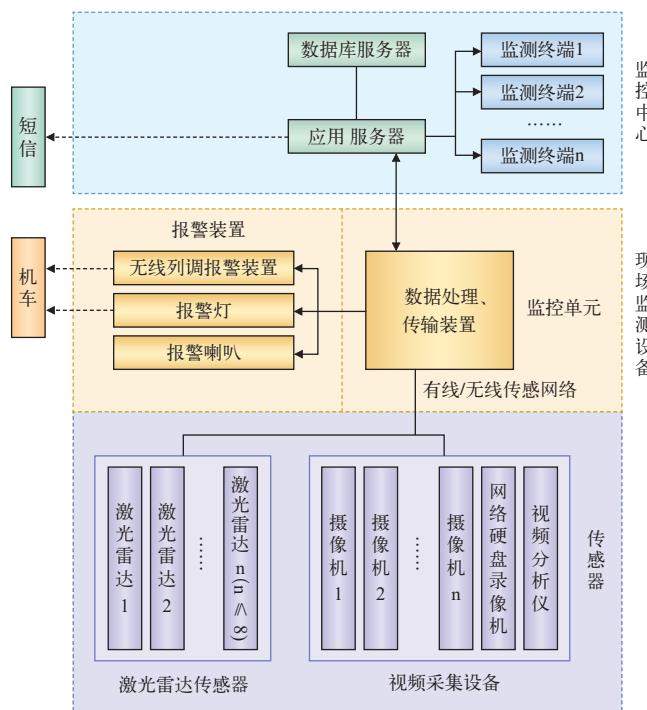


图4 系统总体架构

### 3.1.1 现场监测设备

现场监测设备主要包括现场传感器、监控单元、报警装置等。

现场传感器包括激光雷达传感器、视频采集设备等，实时采集监测区域的扫描及图像数据。

监控单元包括监控单元主机、采集板、网络交换机及 UPS 等设备，接收现场传感器的信息，并对收到的数据进行计算、分析、判断，发出报警或预警。

指令，并通过有线或无线方式，将信息传至监控中心；同时，接收监控中心的控制命令。

报警装置包括无线列调报警装置、报警灯、报警喇叭等，对监测区段附近的列车及人员进行声光警示。

### 3.1.2 监控中心

监控中心设备包括应用服务器、数据库服务器、监测终端等，接收现场监测设备上传的监测报警信息，分析后传递给相应的监测终端；同时实现对现场监测设备进行参数设定、状态监测设备管理等功能。

应用服务器负责接收现场监测设备的实时数据、报警数据，将实时数据和报警数据发送到调度终端、维护终端和数据库服务器。

数据库服务器负责系统数据的集中存储，数据包括实时监测数据、报警数据、设备状态监测数据及系统管理等有关数据。

监测终端包括调度终端和维护终端，其中，调度终端以图文声音实时显示现场监测点监测信息、预警信息和报警信息；维护终端以图文声音实时显示现场监测点监测信息、预警信息、报警信息及设备状态信息。

## 3.2 系统逻辑架构

系统共有5层架构：存储服务层、数据服务层、业务服务层、终端层、接口层，如图5所示。每层之间的通信采用通信中间件技术实现，系统与现场传感器及外部系统的通信由接口层负责。

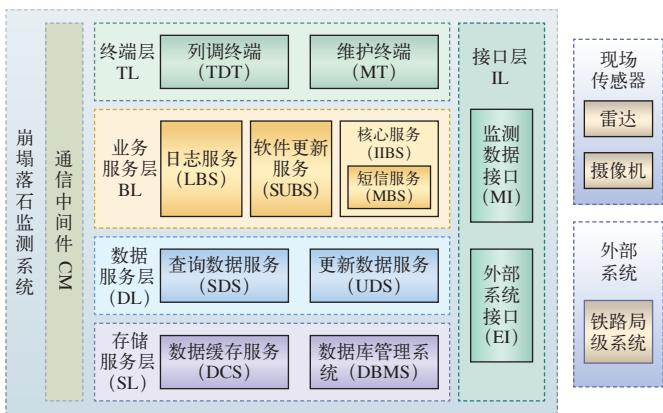


图5 系统逻辑架构

存储服务层由关系型数据库、缓存数据库组成，存储系统的基础信息及现场采集的信息。

数据服务层由查询数据服务、更新数据服务组

成，分别负责数据出、入的操作服务。

业务服务层由核心服务、软件更新服务、日志服务组成，负责系统业务的处理。

终端层由调度终端、维护终端组成，实时展现现场监测点报警状态、设备通信状态。

接口层负责与现场传感器、外部系统通信，从现场传感器采集信息；向外部系统提供报警信息。

### 3.3 网络方案

激光雷达传感器与监控单元之间采用RS485或网络接口方式进行连接，如图6所示。视频采集装置与监控单元之间采用光纤及网络接口方式连接。无线列调报警装置与监控单元之间采用无线网络接口方式连接。报警喇叭、报警灯与监控单元之间采用双绞线连接。监控单元与监控中心之间采用GPRS、网络方式连接。

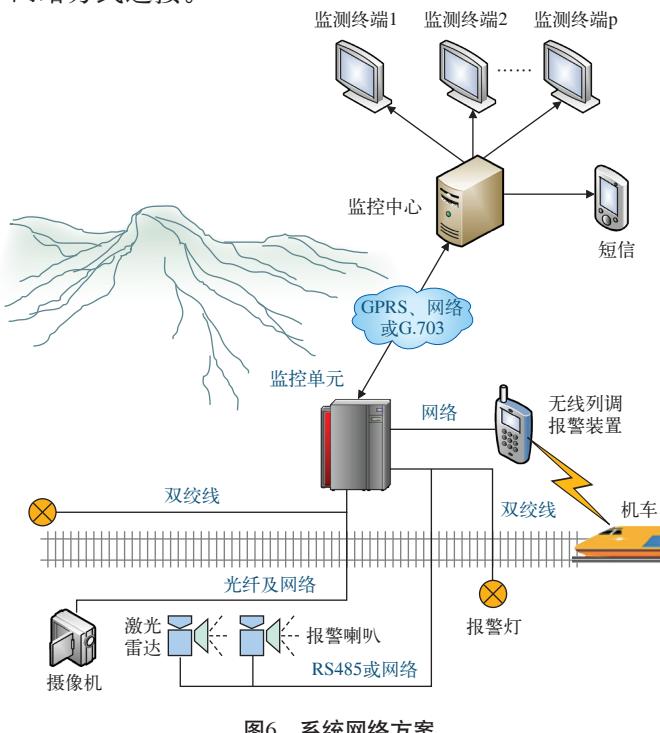


图6 系统网络方案

## 3.4 系统功能设计

系统主要包括自动监测、报警管理、设备管理、查询统计等4个功能模块，如图7所示。

### 3.4.1 自动监测

利用激光雷达传感器对监测范围进行平面扫描，并实时采集障碍物特征数据；利用视频采集装置对现场监测区域进行实时智能监测。

### 3.4.2 报警触发

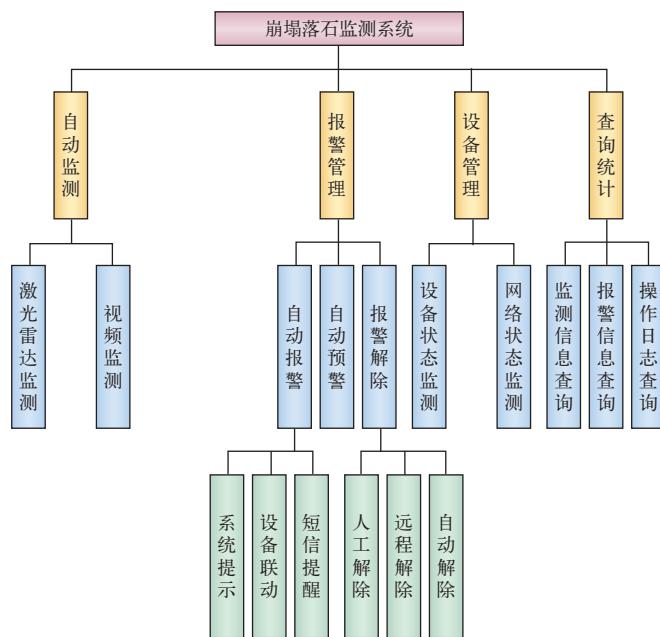


图7 系统功能图

(1) 在监测到监测范围内有障碍物，障碍物停留 15 s 发出一级报警：发出喇叭单音蜂鸣警示。

(2) 在监测到监测范围内有障碍物，且喇叭单音蜂鸣警示 25 s 后发出二级报警：

a. 无线列调语音报警。喇叭单音蜂鸣警示 25 s 后，交替采用本线无线列调制式的同频及异频方式对接近列车发出无线列调语音报警，默认语音内容为：“XX 线上 / 下行 XX 公里 +XX 米发生险情，立即停车”，默认为第 1 min 不间断、之后每 30 s（可调）发送 1 次。

b. 报警灯报警。喇叭单音蜂鸣警示 25 s 后，对接近列车亮红灯；

c. 报警灯报警。喇叭单音蜂鸣警示 25 s 后，对接近列车亮红灯；短信报警。喇叭单音蜂鸣警示 25 s 后，对工务人员发出短信报警，短信内容为“XX 线上 / 下行 XX 公里 +XX 米发生险情，请尽快到达现场处置”。

### 3.4.3 报警解除

(1) 系统发出一级报警未报出二级报警，列车调度员按正常组织行车，并立即通知设备管理单位检查处理，现场确认无异物后解除报警。

(2) 系统发出二级报警，落石清除后，现场监测设备修复前，设备管理单位派人在现场看守，并及时向列车调度员报告现场情况，列车调度员应下达限速及目视行车的调度命令，限速位置为报警点所在闭塞分区；现场修复后，列车调度员使系统恢复正常状态，解除报警。

所在闭塞分区；现场修复后，列车调度员使系统恢复正常状态，解除报警。

(3) 系统发出预警后，列车调度员按正常组织行车，并立即通知设备管理单位检查处理，现场确认无异后解除预警。

### 3.4.4 设备管理

#### (1) 现场监测设备

a. 可实时监测监控单元的工作状态，以文字、图形、图标形式显示监控单元机柜各层单板状态；设备故障时实时生成设备故障报警信息。

b. 可实时监测现场采集设备的工作状态，在线路界面上以文字、图形、图标形式显示现场传感器供电及网络状态；设备故障时实时生成设备故障报警信息。

c. 可实时监测 UPS 的工作状态，在界面上以文字、图形、图标形式显示 UPS 的监测信息；设备故障时实时生成设备故障报警信息。

#### (2) 监控中心设备

可实时监测监控中心系统内部应用服务器、数据库服务器、存储设备等的工作状态，在界面上以文字、图形、图标形式显示设备状态监测信息；设备故障时实时生成设备故障报警信息。

#### (3) 网络状态

可实时监测系统各接口网络状态，网络连接异常时实时生成设备故障报警信息。

### 3.4.5 查询统计

(1) 历史数据查询。以图表、曲线方式显示历史监测数据、报警数据查询结果，并提供查询结果文件的输出和打印功能。

(2) 报警报表生成。以图表、曲线方式，提供各监测点报警统计信息的日报、周报、月报、年报。

(3) 设备故障信息统计。设备故障报警信息的统计查询。

(4) 日志查询。用户操作日志、登录日志的查询。

### 3.5 系统开发环境

监控中心相关程序采用 .Net Framework 4.0 框架进行开发，系统采用 C/S 架构。利用 Microsoft Visual Studio 2013 (VS2013) 作为集成开发环境。编程语言采用 C# (C Sharp)，该语言是微软公司发

布的一种面向对象的、运行于.NET Framework之上的高级程序设计语言，使用它可快速地编写出基于.NET的应用程序。

监控单元程序使用Arm-Linux系统，采用QT作为编译开发环境，使用标准C作为开发语言。

数据存储使用的是Oracle 11g技术，数据缓存采用开源的Redis技术，模块间的通信采用MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)通信协议。

## 4 系统特点

(1) 满足铁路总公司发布技术条件所规定的雷达激光扫描设备进行铁路障碍监测、自动报警、紧急处置等功能，同时具备报警发生后的报警灯及喇叭提示等功能。

(2) 综合分析雷达与视频数据进行报警评判。引入视频行为分析技术，对监测区域的运动目标进行入侵监测、滞留监测等行为分析。

## 5 关键技术

### 5.1 雷达数据除躁

系统通过使用改进后的射线法将不在监测区域里的扫描点进行过滤，减少特征提取工作中的难度，增加了系统报警准确率。

改进后的射线法不仅可以对带岛的多边形进行有效的判断，对于射线经过顶点、点在边上的情况也能正确判断。

### 5.2 雷达数据报警评判

系统通过对对面状特征、线状特征和点状特征的提取，对相关特征信息进行分析、比对，结合文献[4]中对报警物体特性的要求，进行雷达数据的报警评判操作。

### 5.3 高斯背景建模

系统使用基于背景减除法的混合高斯模型建立图像背景模型。混合高斯模型能够随着运动背景变化不断更新背景模型，使得背景模型更趋于现实环境，增加了系统的报警准确性。

### 5.4 图像运动目标跟踪

系统使用基于卡尔曼滤波技术的目标判别及跟踪技术，针对不同的特征辨识矩阵判断目标运行状

态，并采取对应的措施，使得目标发生遮挡时不易丢失，增加了系统的抗干扰能力，减少了系统的漏报率、误报率。

### 5.5 Redis数据缓存技术

Redis是一个高性能的key-value数据库，系统的实时数据、报警数据等关键数据均在Redis存储一份，系统可以从缓存数据库中快速的给相关模块提供相应数据。

### 5.6 MQTT通信中间件技术

MQTT是IBM开发的一个即时通讯协议。本文使用它的轻量级发布和订阅消息传输机制，传输实时数据、报警数据，保证了数据的实时性。

## 6 结束语

本文提出了一种结合雷达扫描与视频智能分析技术进行综合报警评判的铁路崩塌落石自动监测报警系统，提高了报警准确率。从系统在大(同)西(安)高速铁路的试点运行及试验情况看，综合评判情况下的报警准确率比单独雷达报警、摄像头报警均高，相关指标满足规范要求。

### 参考文献：

- [1] 王杰,叶茂,马凤山,等.基于视频图像识别的崩塌落石监测预警系统设计与实现[J].应用基础与工程科学学报,2014,22(5):954-963.
- [2] 贾云得.机器视觉[M].北京:科学出版社,2000:273-295.
- [3] 李华光.基于影像分割、特征提取的雷达影像匹配方法的研究[D].上海:同济大学,2005.
- [4] 中国铁路总公司.铁路障碍自动监测报警系统暂行技术条件:铁总科技[2015]184号[S].中国铁路总公司,2015.
- [5] 陈桦.基于视频的区域入侵检测智能监控系统的设计与实现[D].成都:电子科技大学,2015.
- [6] Chris S., Grimson W.E.L. Learning Patterns of Activity Using Real-Time Tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(8):747-757.
- [7] Deyang Wang,Weixin Xie,Jihong Pei,Zongqing Lu,Moving Area Detection Based on Estimation of Static Background,Journal of Information & Computational Science,2005(1):129-134.
- [8] 权太范.目标跟踪新理论与技术[M].北京:国防工业出版社,2009:32-40.

责任编辑 王浩