



(21) 申请号 202410728710.X

G06Q 10/0635 (2023.01)

(22) 申请日 2024.06.06

G06Q 50/26 (2024.01)

(71) 申请人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路  
122号

(72) 发明人 孟杰 谭娟 胡钊政 张佳楠

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限  
公司 42102

专利代理师 李丹

(51) Int. Cl.

G06F 18/2433 (2023.01)

G06F 18/25 (2023.01)

G06V 20/52 (2022.01)

G06V 10/34 (2022.01)

G06V 10/764 (2022.01)

权利要求书6页 说明书15页 附图1页

(54) 发明名称

智慧堆场无盲区多层次安全管控装置

(57) 摘要

本发明公开了一种智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,该装置包括:基于云边协同的堆场全要素无盲区感知模块,包括多源传感器协同的感知模块和堆场多要素无盲区感知云协同模块;基于数据挖掘的堆场历史事故信息分析模块,包括面向事故的视频数据的处理模块和基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块;基于多层次策略的堆场安全管控模块,包括基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块、融合多生产安全状态识别的超前预警模块和堆场突发事件快速响应与应急处理模块。本发明可以提高传统堆场的安全性和效率,减少事故发生的风险,保障作业人员和设备的安全。

基于云边协同的堆场全要素无盲区感知模块

基于数据挖掘的堆场历史事故信息分析模块

基于多层次策略的堆场安全管控模块

智慧堆场无盲区多层次安全管控装置

1. 一种智慧堆场无盲区多层级安全管控装置,其特征在于,包括:

基于云边协同的堆场全要素无盲区感知模块,包括多源传感器协同的感知模块和堆场多要素无盲区感知边云协同模块;

所述堆场多要素无盲区感知边云协同模块,包括堆场感知设备、堆场边缘节点和堆场云端服务器;

所述多源传感器协同的感知模块,用于采用基于多源传感器协同的堆场多要素无盲区感知边云协同模块进行环境检测和目标识别,实现堆场多要素无盲区感知;

基于数据挖掘的堆场历史事故信息分析模块,包括面向事故的视频数据的处理模块和基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块;

所述面向事故的视频数据的处理模块,用于根据干散料堆场内的视频数据进行异常事件的识别;

所述基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块,用于对历史堆场事故进行分类和历史堆场事故致因分析;

基于多层级策略的堆场安全管控模块,包括基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块、融合多生产安全状态识别的超前预警模块和堆场突发事故快速响应与应急处理模块;

所述基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块,用于根据堆场相关技术人员划分出车辆和人员移动的危险区域,结合感知系统建立出带有危险区域标识的2D栅格地图并利用基于改进后的A\*算法的多目标路径规划算法进行堆场多目标路径规划;

所述融合多生产安全状态识别的超前预警模块,用于对异常事件的识别进行实时监测,若判断为危险状态,及时报警并采取相应措施;

所述堆场突发事故快速响应与应急处理模块,根据事故模板将事故类型进行划分,并依据事故类型根据堆场事故分类分析模块的结果进行相应的应急处理,以有效应对不同类型的事故。

2. 根据权利要求1所述的智慧堆场无盲区多层级安全管控装置,其特征在于,所述多源传感器协同的感知模块进行环境检测和目标识别;

采用的步骤如下:

1) 通过部署多种传感器,对堆场内的多种要素进行全面检测,实现堆场的全要素感知;

2) 对堆场部署了多种视觉传感器设备进行标定和同步;

3) 对不同传感器的信息进行融合,完成目标检测。

3. 根据权利要求2所述的智慧堆场无盲区多层级安全管控装置,其特征在于,所述步骤1)中通过部署多种传感器,对堆场内的多种要素进行全面检测,实现堆场的全要素感知;包括:

1.1) 采用主动相机、红外相机、摄像机、激光雷达设备集成对堆场环境进行采集;

1.2) 在进出门设置人脸识别系统和电子栅栏,管理人员进出和记录人员进出情况;

1.3) 在堆场整个范围的角落里布设视觉传感器,实现对堆场场景的实时监控;在堆料区添加激光雷达辅助感知,实现对堆料的实时建模,监测堆放物品的数量、堆垛高度、货物的种类和状态;

1.4) 在堆料区上方角落布设红外相机,视场对着堆料区域,实现堆场内物体的热量分

布的实时检测；

1.5) 在作业区中间布设PTC主动相机,识别出现在画面中的物体、人员或车辆并进行追踪；

1.6) 采用天车实时检测对作业车辆周围的物体和自车进行感知和定位,为车辆的避碰和路线规划提供感知基础,天车连接抓斗的上方安装轮速计对吊钩的速度进行检测。

4. 根据权利要求2所述的智慧堆场无盲区多层级安全管控装置,其特征在于,所述步骤2) 中对堆场部署了多种视觉传感器设备进行标定和同步;具体如下:

通过移动校准车,车顶放置棋盘格,对有相同视场的传感器进行联合标定;对有相同视场的传感器进行联合标定时增强重叠视场;

2.1) 根据视觉相机成像原理,计算移动校准车上摄像机的相机坐标系的角点坐标并得到棋盘格边缘的方向向量 $\vec{k}$ ;对于移动校准车上激光雷达,在一个扫描周期T内,得到标定板平面候选点集 $Z_t = \{z_{t_1}, z_{t_2}, \dots, z_{t_n}\}$ ,然后对候选点集中的 $z_{t_i}$ 求取局部平滑特征,表示为:

$$ss = \frac{1}{|L|\|z_{t_n}\|} \left\| \sum_{z_{t_n} \in z_t, i \neq n} (z_{t_i} - z_{t_n}) \right\|$$

若 $ss > T_0$ ,则激光雷达扫描线束在此处突变,将点云 $z_{t_i}$ 加入平滑特征点集 $z'_t = \{z'_{t_1}, z'_{t_2}, \dots, z'_{t_n}\}$ 构成标定板边缘点集; $T_0$ 为设定阈值;

2.2) 设堆场相机坐标系和激光雷达坐标系下的平面法向量分别为 $\vec{n}_c$ 和 $\vec{n}_L$ ,相机坐标系和激光雷达坐标系下边缘点特征向量分别为 $\vec{k}_c$ 和 $\vec{k}_L$ ,利用标定板几何特征约束建立目标函数H:

$$H = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^2 \left\| R_L^C \cdot \vec{n}_L - \vec{n}_c \right\|^2 + \sum_{j=1}^4 \left\| R_L^C \cdot \vec{k}_L - \vec{k}_c \right\|^2 + \sum_{j=1}^8 \left\| R_L^C \cdot p_L + t_L^C - p_c \right\|^2 \right)$$

其中, $R_L^C$ 为视觉相机坐标系到激光雷达坐标系的旋转矩阵; $t_L^C$ 为视觉相机坐标系到激光雷达坐标系的平移矩阵; $\sum_{j=1}^2 \left\| R_L^C \cdot \vec{n}_L - \vec{n}_c \right\|^2$ 表示面特征约束,

$\sum_{j=1}^4 \left\| R_L^C \cdot \vec{k}_L - \vec{k}_c \right\|^2$ 表示线特征约束, $\sum_{j=1}^8 \left\| R_L^C \cdot p_L + t_L^C - p_c \right\|^2$ 代表角点特征约束;

根据三种几何特征约束联合求解,求出旋转矩阵的闭式解,带入约束方程求得平移向量,从而完成不同传感器之间的外参标定;

2.3) 依次通过对具有相同视场的传感器进行外参联合标定,从而实现对堆场大范围内多源异构传感器的联合标定。

5. 根据权利要求2所述的智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,其特征在于,所述步骤3)中对不同传感器的信息进行融合,完成目标检测;具体如下:

3.1) 对堆场内视觉传感器采集的数据进行编码,编码方式为:在2D检测框形成的锥视区内对点云进行局部顺序的色彩信息涂抹编码,将原来的点云信息 $(x, y, z, r)$ 转化为编码 $(x, y, z, r, S, R, G, B)$ ,其中点云的 $x, y, z$ 为空间位置信息, $r$ 为点云的强度值信息, $S$ 为推荐通道, $R, G, B$ 为点云对应的颜色通道;

3.2) 对点云经过均匀变换后,在2D图像上投影:

$$s \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{v} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi & \Delta \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{C}_1 \mathbf{C}_2 \mathbf{C} \mathbf{X}_L$$

式中,矩阵 $\mathbf{C}_1$ 为相机内参矩阵, $\mathbf{C}_2$ 为外参齐次变换矩阵,通过前面的多传感器联合标定得到; $s$ 为推荐通道, $\mathbf{X}_L$ 为激光雷达坐标系下点云的信息,通过投影得到激光雷达坐标系上的点云 $P(x_L, y_L, z_L)$ 到其平面图像坐标系的位置 $p(u, v)$ 的映射关系;

3.3) 目标检测;

将点云以竖状“柱体”的形式转换为稀疏伪图像,再利用2D卷积网络对伪图像进行检测并预测3D检测框;

利用2D卷积网络对输入点云进行处理,并得到多要素目标识别的3D边界框,3D边界框由参数 $(x, y, z, w, l, h, \theta)$ 定义,其中 $x, y, z$ 为边界框中心坐标, $w, l, h$ 为边界框的分别为边界框的宽度、长度和高度, $\theta$ 为目标朝向;

卷积网络中,目标和锚框之间的回归损失为:

$$\begin{cases} \Delta x = \frac{x_{gt} - x_a}{d_a}, \Delta y = \frac{y_{gt} - y_a}{d_a}, \Delta z = \frac{z_{gt} - z_a}{h_a} \\ \Delta w = \log \frac{w_{gt}}{w_a}, \Delta l = \log \frac{l_{gt}}{l_a}, \Delta h = \log \frac{h_{gt}}{h_a} \\ \Delta \theta = \sin(\theta_{gt}, \theta_a) \end{cases}$$

其中,下标 $gt$ 表示真实框中的值,下标 $a$ 表示预测框中的值,由回归损失给出识别堆场目标的位置、大小和方向,然后通过分类损失给出目标的类别。

6. 根据权利要求1所述的智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,其特征在于,所述面向事故的视数据的数据处理模块中根据干散料堆场内的视频数据进行异常事件的识别;采用的方法如下:

1) 识别堆场内的视频数据的异常分块;

对干散料堆场内的事事故视频数据进行分割,将视频数据分割成短时间的视频段,针对堆场原始事件视频序列进行预处理,使用滑动窗口将堆场的视频图像帧分割为多个二维图像单元,连续 $T$ 帧相邻的二维图像单元堆叠构成三维时空立方体作为堆场事故采样块并提取相应的特征信息,通过PCANet网络识别堆场内的视频数据的异常分块;

$$\tilde{x}_{t,s} = x_{t,s} - \lambda \times I$$

$$\lambda \approx \frac{\max_{1 \leq t \leq T}(G_t) + \min_{1 \leq t \leq T}(G_t)}{4}$$

其中,  $I$ 是与堆场事故采样块 $x_{t,s}$ 维度、大小一致的单位向量;  $\tilde{x}_{t,s}$ 是处理后的堆场事故采样块;  $\max_{1 \leq t \leq T}(G_t)$ 是当前梯度堆场事故特征立方体时空维度上的最大梯度值;  $\min_{1 \leq t \leq T}(G_t)$ 是时空维度上的最小梯度值;

2) 根据识别出的异常分块,对堆场异常事件的检测和判别;

2.1) 利用PCA算法求解 $\tilde{x}$ 的协方差矩阵前 $L_1$ 个最大特征至对应的特征向量作为PCA滤波器,其中 $L_1$ 对应所需滤波器个数;针对每个堆场事故梯度单元 $G_t$ ,第一层输出 $L_1$ 个卷积特征图,第二层针对每个特征图使用卷积滤波器在生成 $L_2$ 个特征图,然后计算直方图特征的标准偏差作为堆场分块特征表现异常得分:

$$s_{app}(i, j) = \sqrt{\sum_{\delta=1}^{2^{L_2-2}} (v\{i, j\}(\delta) - \frac{\sum_{\delta=1}^{2^{L_2-2}} v\{i, j\}(\delta)}{2^{L_2-2}})^2}$$

其中,  $s_{app}(i, j)$ 为堆场表现异常得分,  $v\{i, j\}(\delta)$ 表示直方图特征第 $\delta$ 个区间对应高度值:

2.2) 对堆场分块包含所有像素的光流福值 $I_p$ 进行求和,获得 $s_{mot}(i, j) = \sum_{p=1}^{N_f} I_p$ ,  $N_f$ 为堆场分块的像素个数;

2.3) 运动异常得分和表现异常得分融合为 $s_{con} = \alpha s_{mot} + \beta (1 - s_{app})$ ,设定异常阈值,将堆场异常得分融合与阈值进行比较,实现对堆场异常事件的检测和判别;

根据得分类型的差异,实现对堆场异常事故类别进行判定,从而对堆场异常视频段进行异常类型的辨认和识别。

7. 根据权利要求1所述的智慧堆场无盲区多层级安全管控装置,其特征在于,所述基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块对历史堆场事故进行分类和历史堆场事故致因分析;采用的方法如下:

将堆场中事故的致因要素表示为节点,与网络节点间的因果关系构成了一个干散料堆场安全事故语义网络,建立堆场安全事故语义网络;

堆场事故的致因要素 $X_i$ ,包括:人为因素、设备故障、环境因素、堆场布局、作业管理;

将以上堆场致因要素定义为干散料堆场安全事故语义网络网络节点,堆场事故致因因素之间的关系定义为边,当两个具有代表性的致因因素共同出现在一起堆场事故中,则存在一定的相关关系,共频数愈多,关系愈紧密;通过搜集资料,统计干散料堆场事故的次数,设共有 $K$ 起事故,  $(X_i, X_j)$ 代表因素 $i$ 和因素 $j$ 共同出现一次;

根据堆场安全事故语义网络中间中心度、堆场安全事故语义网络接近中心度和堆场安全事故语义网络特征向量中心度对堆场安全事故语义网络进行评估,计算如下:

(1) 堆场安全事故语义网络中间中心度

经过堆场致因节点 $i$ 的最短路径数量与总路径数量的比值即为堆场致因节点 $i$ 的中间

中心度;假设 $P_{jk}$ 是堆场致因节点j与堆场致因节点k之间的捷径数,且 $P_{jk}(i)$ 是两堆场致因节点间包含堆场致因节点i的捷径数,则:

$$C_B(i) = \sum_j^n \sum_k^n \frac{P_{jk}(i)}{P_{jk}} \quad (j < k, j \neq k \neq i)$$

(2) 堆场安全事故语义网络接近中心度

与堆场致因节点i相连的其他堆场致因节点的捷径距离和即为堆场致因节点i的接近中心度;定义 $d(i, j)$ 为i与j之间最短路径距离,则:

$$C_C(i) = \sum_j^n d(i, j) \quad (i \neq j)$$

(3) 堆场安全事故语义网络特征向量中心度

一个堆场致因节点周围所连接节点的数量大小影响着该堆场致因节点的地位和重要性,同时也受这些相连接堆场致因节点重要性的影响,表示为:

$$C_e(i) = c \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad (i \neq j)$$

其中,c为一个比例常数, $a_{ij}=1$ 当且仅当i与j相连,否则为0;

通过建立网络图,堆场致因边的数量越多的堆场致因节点作用越大,则此因素在整个堆场安全事故语义网络图中的作用越大,影响其他堆场致因节点的能力越强,从数据中挖掘出事故致因间的频繁项集和强关联规则;通过计算堆场事故网络中间中心度、堆场事故网络接近中心度和堆场事故网络特征向量中心度,具有较高的堆场事故网络中心度代表其处于其他堆场致因节点的多条最短路径上,具有较高的堆场事故网络接近中心度,代表其跟所有其他堆场致因节点的距离更近,具有较高的堆场事故网络特征向量中心度,即代表与之相连堆场致因节点的重要性大,以此对堆场事故致因进行分类和分析。

8. 根据权利要求1所述的智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,其特征在于,所述基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块中采用基于改进后的A\*算法的多目标路径规划算法进行堆场多目标路径规划;其步骤如下:

将堆场多目标路径规划表述为: $G=(N, c)$ ,G表示整个堆场搜索空间,N表示堆场目标结点集合,若干个目标点集 $G_i \subseteq N$ , $f(S, G_i)$ 表示由启发式估价函数计算得到起点S相对于目标点 $G_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ )的估价值;堆场事故发生时,通过权衡不同目标之间的优先级设定权重系数 $k_i$ ,调整搜索顺序;

1) 创建堆场多目标路径规划全局Open,Close列表,创建堆场目标的起始搜索结点S,使用公共列表Goals存放堆场规划目标结点,对应每一个堆场规划目标点建立一个Open,Close列表,记为 $G_{op}(i)$ 和 $G_{cl}(i)$ ;

2) 把堆场目标起始点S放入 $G_{op}(i)$ ,扩展S点临近的结点放入 $G_{op}(i)$ ,在每个 $G_{op}(i)$ 中计算起点对应该目标点的估价值,即根据启发式估价函数分别计算 $f(S, G_i)$ ,同时,在每个 $G_{op}(i)$ 中根据计算得到的估价值升序排序,取列表第一个数值放入全局Open列表中,再根据权

重系数 $k_i$ 对全局Open列表的数据进行排序,取估价值最小的堆场目标节点作为下一步的起点,把原起点放入全局Close列表中,各个 $G_{op}(i), G_{cl}(i)$ 列表清空;

3) 到达一个目标点后,循环执行2) 导向一个目标点,设为 $G_a$ ,则将 $G_a$ 从Goals列表中删掉,同时删掉 $G_{op}(i), G_{cl}(i)$ 列表;其余堆场目标点 $G_{op}(i), G_{cl}(i)$ 列表继续参与下一步;

4) 终止条件;判断Open列表是否为空或Goals列表为空,即所有的堆场待规划目标路径分配完毕。

9. 根据权利要求1所述的智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,其特征在于,所述融合多生产安全状态识别的超前预警模块,用于对异常事件的识别进行实时监测,若判断为危险状态,及时报警并采取相应措施;

使用协同检测模块对异常事件的识别结果进行实时监测,识别堆场不安全的堆放方式、异常的声音及异常的运动,若异常事件的识别中的传感器阈值超过安全阈值,发出报警信号;若异常事件的识别中的传感器阈值超过危险报警阈值,对相应设备进行停止控制。

10. 根据权利要求1所述的智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,其特征在于,所述堆场突发事故快速响应与应急处理模块,根据事故模板将事故类型进行划分,并依据事故类型根据堆场事故分类分析模块的结果进行相应的应急处理,以有效应对不同类型的事故;

从堆场以往事故案例及事发后状况中获取基础数据,并对数据进行结构化处理,构建结构化堆场应急处理模板生成模型;

判断当前事故类型,并匹配到该事故类型的处理模板,获取应急处理决策;

构建结构化堆场应急处理模板生成模型,具体流程如下:

将堆场突发事件的情景划分为 $s_k \{ (x_1, x_2, \dots, x_n), (y_1, y_2, \dots, y_n) \}$ ,其中 $x_n$ 为堆场子事件的环境属性,包括堆场突发事件的温度、压力、相对适度和风速;为堆场子事件的状态属性;

一个堆场突发事件由多个堆场子事件构成,从堆场子事件和堆场子事件集合2个层面进行相似度计算;

$$\text{堆场突发事件级别相似度为: } S_{ij}^1 = 1 - \frac{|l_i - l_j|}{\max\{l_i, l_j\}};$$

堆场子事件集合中子事件个数的相似度为:  $S_{ij}^N = 1 - \frac{|N_i - N_j|}{\max\{N_i, N_j\}}$ ;  $S_{ij}^N$ 取值范围为[0, 1];

两个堆场突发事件的子事件集合相似度 $S_{ij} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3] \cdot [S_{ij}^1, S_{ij}^N, S_{ij}^K]^T$ ,  $S_{ij}^K$ 是堆场子事件名称集合的整体相似度,  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 是各相似度分配的权值;

对堆场突发事件的处置任务及应急行动的相似度进行计算,得到堆场子事件的待处理任务及应急行动的相似度 $S_{ab} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3] \cdot [S_{ab}^T, S_{ab}^t, S_{ab}^A]^T$ ;调整权值 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 的值来调整堆场事故应急行动的相似性;

按照相似性排序将多个堆场事件集合在堆场应急管理案例库中进行比对,得到一组相似的堆场子事件,并从中提取出与堆场事故应急处置任务、行动相似的关系,获取应急处理决策;并在事故处理过程中对决策进行查验,确保应急处理决策的施行。

## 智慧堆场无盲区多层次安全管控装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及干散料堆场安全技术,尤其涉及一种智慧堆场无盲区多层次安全管控装置。

### 背景技术

[0002] 干散料堆场环境中,由于作业频繁,料堆的状态更新速度非常快,位置变化频繁,在取料时堆取料机对干散料堆(如煤堆)的切削取料引起的塌陷也会使堆料的大小和形状发生变化。干散货堆场的作业环境复杂,车辆、工作人员、流动机械共同进行作业的过程中,容易存在视野盲区和人为操作失误,导致作业人员人身伤害、作业设备损伤。

[0003] 煤矿、危化品的管控系统化研究多,已投入巨大精力,并且初见成效。干散料堆场研究不足,尚未形成体系化系统。针对干散料堆场的数量多,且研究鲜少、事故频发的现状,借鉴煤矿、危化品的安全管控技术,进行干散货安全生产事故预防及管控服务平台的建设对保障人身安全、财产安全都具有重要的意义。

[0004] 传统堆场存在以下技术问题需要解决,包括:

[0005] 1) 盲区检测问题:传统堆场作业车辆存在盲区,难以实现全方位检测。这导致在车辆行驶和作业过程中存在安全隐患,容易发生事故。解决该问题需要采用全方位检测技术,消除盲区,提高作业安全性。

[0006] 2) 事故信息挖掘问题:传统堆场发生的事故数据庞大,手动查阅和分析耗时且容易出错。为了更好地理解事故原因和影响因素,需要利用视频自动处理和信息抽取技术,对历史事故视频和相关数据进行分析和挖掘,以发现事故的规律和潜在风险因素,为事故预防和安全管理提供依据。

[0007] 3) 安全管控策略问题:传统堆场安全管理存在一定的局限性,缺乏多层次的安全管控策略。为了提高堆场的安全性,需要制定多层次的安全管控策略,包括事前预防、事中预警和事后处理等环节。这包括危险区划分、动线规划、预警系统的建立、事故模板的制定等,以全方位管理和控制堆场的安全风险。

[0008] 解决这些技术问题,可以提高传统堆场的安全性和效率,减少事故发生的风险,保障作业人员和设备的安全。

### 发明内容

[0009] 本发明要解决的技术问题在于针对现有技术中的缺陷,提供一种智慧堆场无盲区多层次安全管控装置。

[0010] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种智慧堆场无盲区多层次安全管控装置,包括:

[0011] 基于云边协同的堆场全要素无盲区感知模块,包括多源传感器协同的感知模块和堆场多要素无盲区感知边云协同模块;

[0012] 所述堆场多要素无盲区感知边云协同模块,包括堆场感知设备、堆场边缘节点和

堆场云端服务器；

[0013] 所述多源传感器协同的感知模块,用于采用基于多源传感器协同的堆场多要素无盲区感知边云协同模块进行环境检测和目标识别,实现堆场多要素无盲区感知；

[0014] 基于数据挖掘的堆场历史事故信息分析模块,包括面向事故的视频数据的处理模块和基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块；

[0015] 所述面向事故的视频数据的处理模块,用于根据干散料堆场内的视频数据进行异常事件的识别；

[0016] 所述基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块,用于对历史堆场事故进行分类和历史堆场事故致因分析；

[0017] 基于多层级策略的堆场安全管控模块,包括基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块、融合多生产安全状态识别的超前预警模块和堆场突发事故快速响应与应急处理模块；

[0018] 所述基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块,用于根据堆场相关技术人员划分出车辆和人员移动的危险区域,结合感知系统建立起带有危险区域标识的2D栅格地图并利用基于改进后的A\*算法的多目标路径规划算法进行堆场多目标路径规划；

[0019] 所述融合多生产安全状态识别的超前预警模块,用于对异常事件的识别进行实时监测,若判断为危险状态,及时报警并采取相应措施；

[0020] 所述堆场突发事故快速响应与应急处理模块,根据事故模板将事故类型进行划分,并依据事故类型根据堆场事故分类分析模块的结果进行相应的应急处理,以有效应对不同类型的事故。

[0021] 按上述方案,所述多源传感器协同的感知模块进行环境检测和目标识别；

[0022] 采用的步骤如下：

[0023] 1) 通过部署多种传感器,对堆场内的多种要素进行全面检测,实现堆场的全要素感知；

[0024] 2) 中对堆场部署了多种视觉传感器备进行标定和同步；

[0025] 3) 对不同传感器的信息进行融合,完成目标检测。

[0026] 按上述方案,所述步骤1)中通过部署多种传感器,对堆场内的多种要素进行全面检测,实现堆场的全要素感知；包括：

[0027] 1.1) 采用主动相机、红外相机、摄像机、激光雷达设备集成对堆场环境进行采集；

[0028] 1.2) 在进出门设置人脸识别系统和电子栅栏,管理人员进出和记录人员进出情况；

[0029] 1.3) 在堆场整个范围的角落里布设视觉传感器,实现对堆场场景的实时监控；在堆料区添加激光雷达辅助感知,实现对堆料的实时建模,监测堆放物品的数量、堆垛高度、货物的种类和状态；

[0030] 1.4) 在堆料区上方角落布设红外相机,视场对着堆料区域,实现堆场内物体的热量分布的实时检测；

[0031] 1.5) 在作业区中间布设PTC主动相机,识别出现在画面中的物体、人员或车辆并进行追踪；

[0032] 1.6) 采用天车实时检测对作业车辆周围的物体和自车进行感知和定位,为车辆的

避碰和路线规划提供感知基础,天车连接抓斗的上方安装轮速计对吊钩的速度进行检测。

[0033] 按上述方案,所述步骤2)中对堆场部署了多种视觉传感器备进行标定和同步;具体如下:

[0034] 通过移动校准车,车顶放置棋盘格,对有相同视场的传感器进行联合标定;对有相同视场的传感器进行联合标定时增强重叠视场;

[0035] 2.1) 根据视觉相机成像原理,计算移动校准车上摄像机的相机坐标系的角点坐标并得到棋盘格边缘的方向向量 $\vec{k}$ ;对于移动校准车上激光雷达,在一个扫描周期T内,得到标定板平面候选点集 $z_t = \{z_{t_1}, z_{t_2}, \dots, z_{t_n}\}$ ,然后对候选点集中的 $z_{t_i}$ 求取局部平滑特征,表示为:

$$[0036] \quad ss = \frac{1}{|L| \|z_{t_n}\|} \left\| \sum_{z_{t_n} \in z_t, i \neq n} (z_{t_i} - z_{t_n}) \right\|$$

[0037] 若 $ss > T_0$ ,则激光雷达扫描线束在此处突变,将点云 $z_{t_i}$ 加入平滑特征点集 $z'_t = \{z'_{t_1}, z'_{t_2}, \dots, z'_{t_n}\}$ 构成标定板边缘点集; $T_0$ 为设定阈值;

[0038] 2.2) 设堆场相机坐标系和激光雷达坐标系下的平面法向量分别为 $\vec{n}_c$ 和 $\vec{n}_L$ ,相机坐标系和激光雷达坐标系下边缘点特征向量分别为 $\vec{k}_c$ 和 $\vec{k}_L$ ,利用标定板几何特征约束建立目标函数H:

$$[0039] \quad H = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^2 \|R_L^C \cdot \vec{n}_L - \vec{n}_c\|^2 + \sum_{j=1}^4 \|R_L^C \cdot \vec{k}_L - \vec{k}_c\|^2 + \sum_{j=1}^8 \|R_L^C \cdot p_L + t_L^C - p_c\|^2 \right)$$

[0040] 其中, $R_L^C$ 为视觉相机坐标系到激光雷达坐标系的旋转矩阵; $t_L^C$ 为视觉相机坐标系到激光雷达坐标系的平移矩阵; $\sum_{j=1}^2 \|R_L^C \cdot \vec{n}_L - \vec{n}_c\|^2$ 表示面特征约束, $\sum_{j=1}^4 \|R_L^C \cdot \vec{k}_L - \vec{k}_c\|^2$ 表示线特征约束, $\sum_{j=1}^8 \|R_L^C \cdot p_L + t_L^C - p_c\|^2$ 代表角点特征约束;

[0041] 根据三种几何特征约束联合求解,求出旋转矩阵的闭式解,带入约束方程求得平移向量,从而完成不同传感器之间的外参标定;

[0042] 2.3) 依次通过对具有相同视场的传感器进行外参联合标定,从而实现对堆场大范围内多源异构传感器的联合标定。

[0043] 按上述方案,所述步骤3)中对不同传感器的信息进行融合,完成目标检测;具体如下:

[0044] 3.1) 对堆场内视觉传感器采集的数据进行编码,编码方式为:在2D检测框形成的锥视区内对点云进行局部顺序的色彩信息(RGB)涂抹编码,将原来的点云信息(x,y,z,r)转化为编码(x,y,z,r,S,R,G,B),其中点云的x,y,z为空间位置信息,r为点云的强度值信息,S为推荐通道,R、G、B为点云对应的颜色通道;

[0045] 3.2) 对点云经过均匀变换后,在2D图像上投影:

$$[0046] \quad s \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{v} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi & \Delta \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{C}_1 \mathbf{C}_2 \mathbf{C} \mathbf{X}_L$$

[0047] 式中,矩阵 $C_1$ 为相机内参矩阵, $C_2$ 为外参齐次变换矩阵,通过前面的多传感器联合标定得到; $s$ 为推荐通道, $X_L$ 为激光雷达坐标系下点云的信息,通过投影得到激光雷达坐标系上的点云 $P(x_L, y_L, z_L)$  到其平面图像坐标系的位置 $p(u, v)$ 的映射关系。

[0048] 3.3) 目标检测;

[0049] 将点云以竖状“柱体”的形式转换为稀疏伪图像,再利用2D卷积网络对伪图像进行检测并预测3D检测框;

[0050] 利用2D卷积网络对输入点云进行处理,并得到多要素目标识别的3D边界框,3D边界框由参数 $(x, y, z, w, l, h, \theta)$ 定义,其中 $x, y, z$ 为边界框中心坐标, $w, l, h$ 为边界框的分别为边界框的宽度、长度和高度, $\theta$ 为目标朝向;

[0051] 卷积网络中,目标和锚框之间的回归损失为:

$$[0052] \quad \begin{cases} \Delta x = \frac{x_{gt} - x_a}{d_a}, \Delta y = \frac{y_{gt} - y_a}{d_a}, \Delta z = \frac{z_{gt} - z_a}{h_a} \\ \Delta w = \log \frac{w_{gt}}{w_a}, \Delta l = \log \frac{l_{gt}}{l_a}, \Delta h = \log \frac{h_{gt}}{h_a} \\ \Delta \theta = \sin(\theta_{gt}, \theta_a) \end{cases}$$

[0053] 其中,下标 $gt$ 表示真实框中的值,下标 $a$ 表示预测框中的值,由回归损失给出识别堆场目标的位置、大小和方向,然后通过分类损失给出目标的类别。

[0054] 按上述方案,所述面向事故的视频数据的处理模块中根据干散料堆场内的视频数据进行异常事件的识别;采用的方法如下:

[0055] 1) 识别堆场内的视频数据的异常分块;

[0056] 对于干散料堆场内的事事故视频数据进行分割,将视频数据分割成短时间的视频段,针对堆场原始事件视频序列进行预处理,使用滑动窗口将堆场的视频图像帧分割为多个二维图像单元,连续 $T$ 帧相邻的二维图像单元堆叠构成三维时空立方体作为堆场事故采样块并提取相应的特征信息,通过PCANet网络识别堆场内的视频数据的异常分块:

$$[0057] \quad \tilde{x}_{t,s} = x_{t,s} - \lambda \times I$$

$$[0058] \quad \lambda \approx \frac{\max_{1 \leq t \leq T} (G_t) + \min_{1 \leq t \leq T} (G_t)}{4}$$

[0059] 其中, $I$ 是与堆场事故采样块 $x_{t,s}$ 维度、大小一致的单位向量; $\tilde{x}_{t,s}$ 是处理后的堆场事故采样块; $\max_{1 \leq t \leq T} (G_t)$ 是当前梯度堆场事故特征立方体时空维度上的最大梯度值; $\min_{1 \leq t \leq T} (G_t)$ 是时空维度上的最小梯度值;

[0060] 2) 根据识别出的异常分块,对堆场异常事件的检测和判别;

[0061] 2.1) 利用PCA算法求解 $\tilde{x}$ 的协方差矩阵前 $L_1$ 个最大特征至对应的特征向量作为PCA滤波器,其中 $L_1$ 对应所需滤波器个数;针对每个堆场事故梯度单元 $G_t$ ,第一层输出 $L_1$ 个卷积特征图,第二层针对每个特征图使用卷积滤波器在生成 $L_2$ 个特征图,然后计算直方图特征的标准偏差作为堆场分块特征表现异常得分:

$$[0062] \quad s_{app}(i, j) = \sqrt{\sum_{\delta=1}^{2^{L_2-2}} (v\{i, j\}(\delta) - \frac{\sum_{\delta=1}^{2^{L_2-2}} v\{i, j\}(\delta)}{2^{L_2-2}})^2}$$

[0063] 其中,  $s_{app}(i, j)$  为堆场表现异常得分,  $v * i, j + (\delta)$  表示直方图特征第  $\delta$  个区间对应高度值:

[0064] 2.2) 对堆场分块包含所有像素的光流福值  $I_p$  进行求和, 获得  $s_{mot}(i, j) = \sum_{p=1}^{N_f} I_p$ ,

$N_f$  为堆场分块的像素个数;

[0065] 2.3) 运动异常得分和表观异常得分融合为  $s_{con} = \alpha s_{mot} + \beta (1 - s_{app})$ , 设定异常阈值, 将堆场异常得分融合与阈值进行比较, 实现对堆场异常事件的检测和判别;

[0066] 根据得分类型的差异, 实现对堆场异常事故类别进行判定, 如堆料坍塌、异常运动模式、作业活动等, 从而对堆场异常视频段进行异常类型的辨认和识别。

[0067] 按上述方案, 所述基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块对历史堆场事故进行分类和历史堆场事故致因分析; 采用的方法如下:

[0068] 将堆场中事故的致因要素表示为节点, 与网络节点间的因果关系构成了一个干散料堆场安全事故语义网络, 建立堆场安全事故语义网络;

[0069] 堆场事故的致因要素  $X_i$ , 包括: 人为因素、设备故障、环境因素、堆场布局、作业管理;

[0070] 将以上堆场致因要素定义为干散料堆场安全事故语义网络网络节点, 堆场事故致因因素之间的关系定义为边, 当两个具有代表性的致因因素共同出现在一起堆场事故中, 则存在一定的相关关系, 共频数愈多, 关系愈紧密; 通过搜集资料, 统计干散料堆场事故的次数, 设共有  $K$  起事故,  $(X_i, X_j)$  代表因素  $i$  和因素  $j$  共同出现一次;

[0071] 根据堆场安全事故语义网络中间中心度、堆场安全事故语义网络接近中心度和堆场安全事故语义网络特征向量中心度对堆场安全事故语义网络进行评估, 计算如下:

[0072] (1) 堆场安全事故语义网络中间中心度

[0073] 经过堆场致因节点  $i$  的最短路径数量与总路径数量的比值即为堆场致因节点  $i$  的中间中心度; 假设  $P_{jk}$  是堆场致因节点  $j$  与堆场致因节点  $k$  之间的捷径数, 且  $P_{jk}(i)$  是两堆场致因节点间包含堆场致因节点  $i$  的捷径数, 则:

$$[0074] \quad C_B(i) = \sum_j^n \sum_k^n \frac{P_{jk}(i)}{P_{jk}} \quad (j < k, j \neq k \neq i)$$

[0075] (2) 堆场安全事故语义网络接近中心度

[0076] 与堆场致因节点  $i$  相连的其他堆场致因节点的捷径距离和即为堆场致因节点  $i$  的接近中心度; 定义  $d(i, j)$  为  $i$  与  $j$  之间最短路径距离, 则:

$$[0077] \quad C_C(i) = \sum_j^n d(i, j) \quad (i \neq j)$$

[0078] (3) 堆场安全事故语义网络特征向量中心度

[0079] 一个堆场致因节点周围所连接节点的数量大小影响着该堆场致因节点的地位和重要性, 同时也受这些相连接堆场致因节点重要性的影响, 表示为:

$$[0080] \quad C_e(i) = c \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad (i \neq j)$$

[0081] 其中, $c$ 为一个比例常数, $a_{ij}=1$ 当且仅当 $i$ 与 $j$ 相连,否则为0。

[0082] 通过建立网络图,堆场致因边的数量越多的堆场致因节点作用越大,则此因素在整个堆场安全事故语义网络图中的作用越大,影响其他堆场致因节点的能力越强,从数据中挖掘出事故致因间的频繁项集和强关联规则;通过计算堆场事故网络中间中心度、堆场事故网络接近中心度和堆场事故网络特征向量中心度,具有较高的堆场事故网络中心度代表其处于其他堆场致因节点的多条最短路径上,具有较高的堆场事故网络接近中心度,代表其跟所有其他堆场致因节点的距离更近,具有较高的堆场事故网络特征向量中心度,即代表与之相连堆场致因节点的重要性大,以此对堆场事故致因进行分类和分析。

[0083] 按上述方案,所述基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块中采用基于改进后的A\*算法的多目标路径规划算法进行堆场多目标路径规划;其步骤如下:

[0084] 将堆场多目标路径规划表述为: $G=(N,c)$ , $G$ 表示整个堆场搜索空间, $N$ 表示堆场目标结点集合,若干个目标点集 $G_i(i=1,2,3,\dots,n)\subseteq N$ , $f(S,G_i)$ 表示由启发式估价函数计算得到起点 $S$ 相对于目标点 $G_i(i=1,2,3,\dots,n)$ 的估价值;堆场事故发生时,通过权衡不同目标之间的优先级设定权重系数 $k_i$ ,调整搜索顺序;

[0085] 1) 创建堆场多目标路径规划全局Open,Close列表,创建堆场目标的起始搜索结点 $S$ ,使用公共列表Goals存放堆场规划目标结点,对应每一个堆场规划目标点建立一个Open,Close列表,记为 $G_{op}(i)$ 和 $G_{cl}(i)$ ;

[0086] 2) 把堆场目标起始点 $S$ 放入 $G_{op}(i)$ ,扩展 $S$ 点临近的结点放入 $G_{op}(i)$ ,在每个 $G_{op}(i)$ 中计算起点对应该目标点的估价值,即根据启发式估价函数分别计算 $f(S,G_i)$ ,同时,在每个 $G_{op}(i)$ 中根据计算得到的估价值升序排序,取列表第一个数值放入全局Open列表中,再根据权重系数 $k_i$ 对全局Open列表的数据进行排序,取估价值最小的堆场目标节点作为下一步的起点,把原起点放入全局Close列表中,各个 $G_{op}(i),G_{cl}(i)$ 列表清空;

[0087] 3) 到达一个目标点后,循环执行2) 导向一个目标点,设为 $G_a(1\leq a\leq n)$ ,则将 $G_a$ 从Goals列表中删掉,同时删掉 $G_{op}(i),G_{cl}(i)$ 列表;其余堆场目标点 $G_{op}(i),G_{cl}(i)$ 列表继续参与下一步;

[0088] 4) 终止条件;判断Open列表是否为空或Goals列表为空,即所有的堆场待规划目标路径分配完毕。

[0089] 按上述方案,所述融合多生产安全状态识别的超前预警模块,用于对异常事件的识别进行实时监测,若判断为危险状态,及时报警并采取相应措施;

[0090] 使用协同检测模块对异常事件的识别结果进行实时监测,识别堆场不安全的堆放方式、异常的声音及异常的运动,若异常事件的识别中的传感器阈值超过安全阈值,发出报警信号;若异常事件的识别中的传感器阈值超过危险报警阈值,对相应设备进行停止控制。

[0091] 按上述方案,所述堆场突发事故快速响应与应急处理模块,根据事故模板将事故类型进行划分,并依据事故类型根据堆场事故分类分析模块的结果进行相应的应急处理,以有效应对不同类型的事故。

[0092] 从堆场以往事故案例及事发后状况中获取基础数据,并对数据进行结构化处理,构建结构化堆场应急处理模板生成模型;

[0093] 判断当前事故类型,并匹配到该事故类型的处理模板,获取应急处理决策;

[0094] 构建结构化堆场应急处理模板生成模型,具体流程如下:

[0095] 将堆场突发事件的情景划分为 $s_k \cdot (x_1, x_2, \dots, x_n), (y_1, y_2, \dots, y_n) +$ , 其中 $x_n$ 为堆场子事件的环境属性, 包括堆场突发事件的温度、压力、相对适度和风速; 为堆场子事件的状态属性;

[0096] 一个堆场突发事件由多个堆场子事件构成, 从堆场子事件和堆场子事件集合2个层面进行相似度计算;

[0097] 堆场突发事件级别相似度为:  $S_{ij}^1 = 1 - \frac{|l_i - l_j|}{\max\{l_i, l_j\}}$ ;

[0098] 堆场子事件集合中子事件个数的相似度为:  $S_{ij}^N = 1 - \frac{|N_i - N_j|}{\max\{N_i, N_j\}}$ ;  $S_{ij}^N$ 取值范围为 $[0, 1]$ ;

[0099] 两个堆场突发事件的子事件集合相似度 $S_{ij} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3] \cdot [S_{ij}^1, S_{ij}^N, S_{ij}^K]^T$ ,  $S_{ij}^K$ 是堆场子事件名称集合的整体相似度,  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 是各相似度分配的权值;

[0100] 对堆场突发事件的处置任务及应急行动的相似度进行计算, 得到堆场子事件的待处理任务及应急行动的相似度 $S_{ab} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3] \cdot [S_{ab}^T, S_{ab}^t, S_{ab}^A]^T$ ; 调整权值 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 的值可以调整堆场事故应急行动的相似性;

[0101] 按照相似性排序将多个堆场事件集合在堆场应急管理案例库中进行比对, 得到一组相似的堆场子事件, 并从中提取出与堆场事故应急处置任务、行动相似的关系, 获取应急处理决策; 并在事故处理过程中对决策进行查验, 确保应急处理决策的施行。

[0102] 本发明产生的有益效果是:

[0103] 1) 本发明通过配置多种传感器基于多传感器协同, 设计目标识别和检测算法, 实现对堆场环境的高效全方位检测, 消除盲区。

[0104] 2) 本发明通过分析事故视频和相关数据, 实现堆场事故的分类分析和事故影响因素间关联规则的挖掘和异常事件的预测;

[0105] 3) 本发明提出了多层级的安全管控策略; 通过危险区域划分和动线规划, 提高安全预防; 利用预警系统识别不安全状态和不安全行为, 并建立事故模板, 实现快速应急响应和处理。通过全过程的管理控制, 实现对堆场事故预防、预警和处理的多层级安全管控策略。

## 附图说明

[0106] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明, 附图中:

[0107] 图1是本发明实施例的结构示意图;

[0108] 图2是本发明实施例的边云协同模块架构图。

## 具体实施方式

[0109] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白, 以下结合实施例, 对本发明进行进一步详细说明。应当理解, 此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明, 并不用于限定本发明。

[0110] 如图1所示, 一种智慧堆场无盲区多层级安全管控装置, 包括:

[0111] 基于云边协同的堆场全要素无盲区感知模块,包括多源传感器协同的感知模块和堆场多要素无盲区感知边云协同模块;

[0112] 多源传感器协同的感知模块,用于采用基于多源传感器协同的堆场多要素无盲区感知边云协同模块进行环境检测和目标识别,实现堆场多要素无盲区感知;

[0113] 具体如下:

[0114] 1) 通过部署多种传感器,对堆场内的多种要素进行全面检测,实现堆场的全要素感知;具体包括:

[0115] 1.1) 采用主动相机、红外相机、摄像机、激光雷达等设备集成对堆场环境进行监管;

[0116] 1.2) 在进出门设置人脸识别系统和电子栅栏,管理人员进出和记录人员进出情况;

[0117] 1.3) 在堆场整个范围的角落里布设视觉传感器,实现对堆场场景的实时监控;

[0118] 在堆料区添加激光雷达辅助感知,在堆料区布设三个激光雷达,分别放置在堆料区三面舱壁上,实现对堆料的实时建模,用于监测堆放物品的数量、堆垛高度、货物的种类和状态;

[0119] 1.4) 在堆料区上方角落布设红外相机,视场对着堆料区域,实现堆场内物体的热量分布的实时检测,有助于发现热量异常的情况;

[0120] 1.5) 在作业区中间布设PTC主动相机,自动识别出现在画面中的物体、人员或车辆并进行追踪,并对异常情况进行捕捉。

[0121] 1.6) 使用天车对作业车辆周围的物体和自车进行感知和定位,为车辆的避碰和路线规划提供感知基础。天车实时检测系在天车四个角上布设视觉传感器,在天车中心安装激光雷达,可以天车连接抓斗的上方安装轮速计对吊钩的速度进行检测,预防吊钩冲顶等危险情况。

[0122] 上述步骤通过部署多种传感器,可以对堆场内的多种要素进行全面检测,实现堆场的全要素感知。

[0123] 2) 对堆场部署的多种视觉传感器设备进行标定和同步;

[0124] 通过移动校准车,车顶放置棋盘格,对有相同视场的传感器进行联合标定;对有相同视场的传感器进行联合标定时增强重叠视场;

[0125] 若出现传感器重叠视场较小,会导致棋盘误检和漏检,以及摄像机和雷达无法进行位姿关联,导致外部参数低的问题,因此引入辅助摄像机,通过增加摄像机个数增强重叠视场;

[0126] 2.1) 根据视觉相机成像原理,计算移动校准车上摄像机的相机坐标系的角点坐标并得到棋盘格边缘的方向向量 $\vec{k}$ ;对于移动校准车上激光雷达,在一个扫描周期 $T$ 内,得到校准车上的标定板平面候选点集 $z_t = \{z_{t_1}, z_{t_2}, \dots, z_{t_n}\}$ ,然后对候选点集中的 $z_{t_i}$ 求取局部平滑特征,表示为:

$$[0127] \quad ss = \frac{1}{\|L\| \|z_{t_n}\|} \left\| \sum_{z_{t_n} \in z_t, i \neq n} (z_{t_i} - z_{t_n}) \right\|$$

[0128] 若 $ss > T_0$ ,则激光雷达扫描线束在此处突变,将点云 $z_{t_i}$ 加入平滑特征点集 $z'_t =$

$\{z'_{t_1}, z'_{t_2}, \dots, z'_{t_n}\}$ 构成标定板边缘点集;  $T_0$ 为设定阈值;

[0129] 2.2) 设堆场相机坐标系和激光雷达坐标系下的平面法向量分别为  $\overline{n_c}$  和  $\overline{n_L}$ , 相机坐标系和激光雷达坐标系下边缘点特征向量分别为  $\overline{k_c}$  和  $\overline{k_L}$ , 利用标定板几何特征约束建立目标函数H:

$$[0130] \quad H = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^2 \|R_L^C \cdot \overline{n_L} - \overline{n_c}\|^2 + \sum_{j=1}^4 \|R_L^C \cdot \overline{k_L} - \overline{k_c}\|^2 + \sum_{j=1}^8 \|R_L^C \cdot p_L + t_L^C - p_c\|^2 \right)$$

[0131] 其中,  $R_L^C$  为视觉相机坐标系到激光雷达坐标系的旋转矩阵;  $t_L^C$  为视觉相机坐标系到激光雷达坐标系的平移矩阵;  $\sum_{j=1}^2 \|R_L^C \cdot \overline{n_L} - \overline{n_c}\|^2$  表示面特征约束,  $\sum_{j=1}^4 \|R_L^C \cdot \overline{k_L} - \overline{k_c}\|^2$  表示线特征约束,  $\sum_{j=1}^8 \|R_L^C \cdot p_L + t_L^C - p_c\|^2$  代表角点特征约束;

[0132] 根据三种几何特征约束联合求解, 求出旋转矩阵的闭式解, 带入点线面约束方程最小化目标函数H, 求得平移向量, 从而完成不同传感器之间的外参标定;

[0133] 2.3) 依次通过对具有相同视场的传感器进行外参联合标定, 从而实现堆场大范围内多源异构传感器的联合标定。

[0134] 3) 对不同传感器的信息进行融合, 进行目标检测;

[0135] 3.1) 首先, 对堆场内视觉传感器采集的数据进行编码, 编码方式为: 在2D检测框形成的锥视区内对点云进行局部顺序的色彩信息 (RGB) 涂抹编码, 将原来的点云信息  $(x, y, z, r)$  转化为编码  $(x, y, z, r, S, R, G, B)$ , 其中点云的  $x, y, z$  为空间位置信息,  $r$  为点云的强度值信息,  $S$  为推荐通道,  $R, G, B$  为点云对应的颜色通道;

[0136] 3.2) 对点云经过均匀变换后, 在2D图像上投影:

$$[0137] \quad s \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{v} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi & \Delta \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{C}_1 \mathbf{C}_2 \mathbf{C} \mathbf{X}_L$$

[0138] 式中, 矩阵  $C_1$  为相机内参矩阵,  $C_2$  为外参齐次变换矩阵, 通过前面的多传感器联合标定得到;  $s$  为推荐通道,  $X_L$  为激光雷达坐标系下点云的信息;

[0139] 通过投影得到激光雷达坐标系上的点云  $P(x_L, y_L, z_L)$  到其平面图像坐标系的位置  $p(u, v)$  的映射关系。

[0140] 3.3) 目标检测;

[0141] 将点云以竖状“柱体”的形式转换为稀疏伪图像, 再利用2D卷积网络对伪图像进行检测并预测3D检测框;

[0142] 利用2D卷积网络对输入点云进行处理, 并得到多要素目标识别的3D边界框, 3D边界框由参数  $(x, y, z, w, l, h, \theta)$  定义, 其中  $x, y, z$  为边界框中心坐标,  $w, l, h$  为边界框的分别为边界框的宽度、长度和高度,  $\theta$  为目标朝向;

[0143] 卷积网络中, 目标和锚框之间的回归损失为:

$$[0144] \quad \begin{cases} \Delta x = \frac{x_{gt} - x_a}{d_a}, \Delta y = \frac{y_{gt} - y_a}{d_a}, \Delta z = \frac{z_{gt} - z_a}{h_a} \\ \Delta w = \log \frac{w_{gt}}{w_a}, \Delta l = \log \frac{l_{gt}}{l_a}, \Delta h = \log \frac{h_{gt}}{h_a} \\ \Delta \theta = \sin(\theta_{gt}, \theta_a) \end{cases}$$

[0145] 其中,下标gt表示真实框中的值,下标a表示预测框中的值,由回归损失给出识别堆场目标的位置、大小和方向,然后通过分类损失给出目标的类别;

[0146] 多源传感器协同的感知系统平台能够对堆场内的各类设备进行管理并配置,实时监控堆场内各环境组成并完成对堆场内全要素识别和监管等任务。

[0147] 所述堆场多要素无盲区感知边云协同模块,包括堆场感知设备、堆场边缘节点和堆场云端服务器;如图2;

[0148] (1) 堆场感知设备端:执行堆场内图像、点云等数据的收集任务,上传到与其连接的边缘节点 $N_0$ 。相机和激光雷达采集人员和车辆等检测目标的感知信息。主动相机和摄像机还可采集堆垛、物品等信息,红外相机可以采集到堆场内物体的热量分布等信息。

[0149] (2) 堆场边缘节点:各个边缘节点通过网络进行连接,在执行计算任务时相互独立。堆场相机边缘节点对采集的视频图像进行相似帧的去除,激光雷达边缘节点完成地面剔除、特征提取等初步的任务,然后边缘节点 $N_0$ 将提取的特征上传至云服务器。云端服务器使用这些特征对模型进行训练,堆场边缘节点 $N_1 \sim N_m$ 接收云端服务器下发的模型,然后堆场边缘节点 $N_1 \sim N_m$ 对堆场要素进行检测和识别,得到识别结果后将其传输至堆场云端服务器进行融合,红外相机边缘节点由于堆场特殊要素的特点和异常情况,如起火、温度变化大等的紧迫性,目标检测、异常识别和预警决策等任务都在边缘端完成,实现从识别异常到快速决策,节省时间,最大限度保护堆场人员和车辆的安全。

[0150] (3) 堆场云端服务器:接收边缘节点 $N_0$ 上传的特征,采用特征对模型进行训练,并将训练好的模型下发到堆场各个边缘节点,然后将堆场边缘节点 $N_1 \sim N_m$ 上传的识别结果进行融合决策。识别流程的计算任务分由多个堆场边缘节点共同完成,充分发挥堆场边缘节点计算能力的同时又降低了云端服务器的计算压力。

[0151] 基于数据挖掘的堆场历史事故信息分析模块,用于对视频内容进行检测和分析,实现对异常事件的识别和预测;

[0152] 包括:面向事故的视频数据的处理模块和基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块;

[0153] 面向事故的视频数据的处理模块,用于根据干散料堆场内的视频数据进行异常事件的识别;具体如下:

[0154] 1) 识别堆场内的视频数据的异常分块;

[0155] 对于散料堆场内的事事故视频数据进行分割,将视频数据分割成短时间的视频段,针对堆场原始事件视频序列进行预处理,使用滑动窗口将堆场的视频图像帧分割为多个二维图像单元,连续T帧相邻的二维图像单元堆叠构成三维时空立方体作为堆场事故采样块并提取相应的特征信息,通过PCANet网络识别堆场内的视频数据的异常分块:

$$[0156] \quad \tilde{x}_{t,s} = x_{t,s} - \lambda \times I$$

$$[0157] \quad \lambda \approx \frac{\max_{1 \leq t \leq T}(G_t) + \min_{1 \leq t \leq T}(G_t)}{4}$$

[0158] 其中,  $I$ 是与堆场事故采样块 $x_{t,s}$ 维度、大小一致的单位向量;  $\tilde{x}_{t,s}$ 是处理后的堆场事故采样块;  $\max_{1 \leq t \leq T}(G_t)$ 是当前梯度堆场事故特征立方体时空维度上的最大梯度值;  $\min_{1 \leq t \leq T}(G_t)$ 是时空维度上的最小梯度值;

[0159] 2) 根据识别出的异常分块,对堆场异常事件的检测和判别;

[0160] 2.1) 利用PCA算法求解 $\tilde{x}$ 的协方差矩阵前 $L_1$ 个最大特征至对应的特征向量作为PCA滤波器,其中 $L_1$ 对应所需滤波器个数;针对每个堆场事故梯度单元 $G_t$ ,第一层输出 $L_1$ 个卷积特征图,第二层针对每个特征图使用卷积滤波器在生成 $L_2$ 个特征图,然后计算直方图特征的标准偏差作为堆场分块特征表现异常得分:

$$[0161] \quad s_{app}(i, j) = \sqrt{\sum_{\delta=1}^{2^{L_2-2}} (v\{i, j\}(\delta) - \frac{\sum_{\delta=1}^{2^{L_2-2}} v\{i, j\}(\delta)}{2^{L_2-2}})^2}$$

[0162] 其中,  $s_{app}(i, j)$ 为堆场表现异常得分,  $v\{i, j\}(\delta)$ 表示直方图特征第 $\delta$ 个区间对应高度值;

[0163] 2.2) 对堆场分块包含所有像素的光流福值 $I_p$ 进行求和,获得 $s_{mot}(i, j) = \sum_{p=1}^{N_f} I_p$ ,  $N_f$ 为堆场分块的像素个数;

[0164] 2.3) 运动异常得分和表现异常得分融合为 $s_{con} = \alpha s_{mot} + \beta (1 - s_{app})$ ,设定异常阈值,将堆场异常得分融合与阈值进行比较,实现对堆场异常事件的检测和判别;

[0165] 根据得分类型的差异,实现对堆场异常事故类别进行判定,如堆料坍塌、异常运动模式、作业活动等,从而对堆场异常视频段进行异常类型的辨认和识别。

[0166] 所述基于社会网络分析法的堆场事故分类分析模块,用于对历史堆场事故进行分类和历史堆场事故致因分析;

[0167] 将堆场中事故要素表示为节点,这些风险网络节点间的因果关系构成了一个干散料堆场安全事故语义网络,建立堆场安全事故语义网络;

[0168] 堆场事故的每个致因因素 $X_1$ ,包括:人为因素、设备故障、环境因素、堆场布局、作业管理;如表1;

[0169] 表1堆场事故致因表

分类	人为因素		设备故障		环境因素	
	编号	致因内容	编号	致因内容	编号	致因内容
堆场致因	X <sub>1</sub>	操作失误	X <sub>4</sub>	堆料设备故障	X <sub>7</sub>	天气恶劣
	X <sub>2</sub>	安全意识不强	X <sub>5</sub>	输送设备故障	X <sub>8</sub>	自然灾害
	X <sub>3</sub>	违规操作	X <sub>6</sub>	起重机故障	X <sub>9</sub>	环境污染
分类	堆场布局		作业管理			
堆场致因	X <sub>10</sub>	堆场规划不合理	X <sub>13</sub>	管理不当		
	X <sub>11</sub>	堆放不当	X <sub>14</sub>	作业流程不合理		
	X <sub>12</sub>	堆垛不稳定	X <sub>15</sub>	缺乏有效管理制度		

[0170] 将以上堆场致因因素定义为干散料堆场安全事故语义网络的网络节点,堆场事故致因因素之间的关系定义为边,当两个具有代表性的致因因素共同出现在一起堆场事故中,则存在一定的相关关系,共频数愈多,关系愈紧密;通过搜集资料,统计干散料堆场事故的次数,设共有K起事故, (X<sub>i</sub>, X<sub>j</sub>) 代表因素i和因素j共同出现一次;

[0171] 根据堆场安全事故语义网络中间中心度、堆场安全事故语义网络接近中心度和堆场安全事故语义网络特征向量中心度对堆场安全事故语义网络进行评估,计算如下:

[0172] (1) 堆场安全事故语义网络中间中心度

[0173] 经过堆场致因节点i的最短路径数量与总路径数量的比值即为堆场致因节点i的中间中心度。假设P<sub>jk</sub>是堆场致因节点j与堆场致因节点k之间的捷径数,且P<sub>jk</sub>(i)是两堆场致因节点间包含堆场致因节点i的捷径数,则:

$$[0174] \quad C_B(i) = \sum_j^n \sum_k^n \frac{P_{jk}(i)}{P_{jk}} \quad (j < k, j \neq k \neq i)$$

[0175] (2) 堆场安全事故语义网络接近中心度

[0176] 与堆场致因节点i相连的其他堆场致因节点的捷径距离和即为堆场致因节点i的接近中心度。定义d(i, j)为i与j之间最短路径距离,则:

$$[0177] \quad C_C(i) = \sum_j^n d(i, j) \quad (i \neq j)$$

[0178] (3) 堆场事故网络特征向量中心度

[0179] 一个堆场致因节点周围所连接节点的数量大小影响着该堆场致因节点的地位和重要性,同时也受这些相连接堆场致因节点重要性的影响,表示为:

$$[0180] \quad C_e(i) = c \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \quad (i \neq j)$$

[0181] 其中,c为一个比例常数,a<sub>ij</sub>=1当且仅当i与j相连,否则为0。

[0182] 通过建立网络图,堆场致因边的数量越多的堆场致因节点作用越大,则此因素在整个堆场安全事故语义网络图中的作用越大,影响其他堆场致因节点的能力越强,从数据

中挖掘出事故致因间的频繁项集和强关联规则。通过计算堆场事故网络中间中心度、堆场事故网络接近中心度和堆场事故网络特征向量中心度,具有较高的堆场事故网络中心度代表其处于其他堆场致因节点的多条最短路径上,具有较高的堆场事故网络接近中心度,代表其跟所有其他堆场致因节点的距离更近,具有较高的堆场事故网络特征向量中心度,即代表与之相连堆场致因节点的重要性大,以此对堆场事故致因进行分类和分析,重视潜在危险致因以采取相应的管控措施来降低风险。

[0184] 基于多层次策略的堆场安全管控模块,包括基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块、融合多生产安全状态识别的超前预警模块和堆场突发事故快速响应与应急处理模块;

[0185] 基于生产安全约束的多要素实时规划管控模块,由堆场相关技术人员划分出车辆和人员移动的危险区域,结合感知系统建立出带有危险区域标识的2D栅格地图并利用基于改进后的A\*算法的多目标路径规划算法进行堆场多目标路径规划;

[0186] 将堆场多目标路径规划表述为: $G = (N, c)$ ,  $G$ 表示整个堆场搜索空间,  $N$ 表示堆场目标结点集合,若干个目标点集 $G_i (i = 1, 2, 3, \dots, n) \subseteq N$ ,  $f(S, G_i)$ 表示由启发式估价函数计算得到起点 $S$ 相对于目标点 $G_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 的估价值。堆场事故发生时,需要权衡不同目标之间的优先级,因此引入权重系数 $k_i$ ,调整搜索顺序;

[0187] 1) 创建堆场多目标路径规划全局Open, Close列表,创建堆场目标的起始搜索结点 $S$ ,使用公共列表Goals存放堆场规划目标结点,对应每一个堆场规划目标点建立一个Open, Close列表,记为 $G_{op}(i)$ 和 $G_{cl}(i)$ ;

[0188] 2) 把堆场目标起始点 $S$ 放入 $G_{op}(i)$ ,扩展 $S$ 点临近的结点放入 $G_{op}(i)$ ,在每个 $G_{op}(i)$ 中计算起点对应该目标点的估价值,即根据启发式估价函数分别计算 $f(S, G_i)$ ,同时,在每个 $G_{op}(i)$ 中根据计算得到的估价值升序排序,取列表第一个数值放入全局Open列表中,再根据权重系数 $k_i$ 对全局Open列表的数据进行排序,取估价值最小的堆场目标节点作为下一步的起点,把原起点放入全局Close列表中,各个 $G_{op}(i)$ ,  $G_{cl}(i)$ 列表清空;

[0189] 3) 到达一个目标点后,循环执行2) 导向一个目标点,设为 $G_a (1 \leq a \leq n)$ ,则将 $G_a$ 从Goals列表中删掉,同时删掉 $G_{op}(i)$ ,  $G_{cl}(i)$ 列表。其余堆场目标点 $G_{op}(i)$ ,  $G_{cl}(i)$ 列表继续参与下一步;

[0190] 4) 终止条件;判断Open列表是否为空或Goals列表为空,即所有的堆场待规划目标路径分配完毕。根据改进后的A\*算法的多目标路径规划算法使得系统能够在保证最优解和优先级规划顺序的情况下,高效地搜索到目标节点,从而保证工作车辆和人员能够快速安全的到达相应工作地点。

[0191] 融合多生产安全状态识别的超前预警模块,用于在生产过程中,根据对可能出现的危险事件进行实时监测,一旦识别到危险状态,就会及时报警并采取相应措施;

[0192] 协同检测模块对起重钩的高度和速度进行监测,当高度超过设定的安全高度,系统发出报警信号;当高度超过危险报警高度,系统对天车进行急停。对于工程车辆碰撞行为预警,作业车辆传感器检测与障碍物距离小于安全距离时,报警器会发出警报。安全距离报警分为提醒报警和危险报警,当车辆与其他物体或人的距离小于提醒报警距离时,系统会发出报警信号,提醒驾驶人停车。如果由于设备故障或驾驶人员操作失误,没有及时进行停车操作,致使距离小于危险报警距离时,系统会控制设备进行急停。对于作业区域人员预

警,在作业区域内识别发现人员没戴安全帽、没穿反光作业背心,则触发系统报警,摄像头对目标进行持续主动跟踪,监测中心弹屏显示当前画面,系统语音持续警报。对于堆料塌方预警,对实时检测到的视频序列进行预处理,提取连续四帧视频图像,然后利用基于自适应混合高斯背景建模法检测堆料存在区域目标,如果检测出目标,且目标范围大于一定值,说明堆料存在异动,系统进行报警提醒。

[0193] 堆场突发事故快速响应与应急处理模块,根据事故模板将事故类型进行划分,并依据事故类型进行相应的应急处理,以有效应对不同类型的事故,全方位、多层次地对堆场安全进行管控,从而提高堆场的安全性和管理效率。

[0194] 从堆场以往事故案例及事发后状况中获取基础数据,并对数据进行结构化处理,构建结构化堆场应急处理模板生成模型;

[0195] 判断当前事故类型,并匹配到该事故类型的处理模板,获取应急处理决策;

[0196] 堆场全要素感知系统利用各种传感器(如摄像头、运动传感器、声音传感器等)实时监测干散料堆场的生产过程,通过图像识别、声音识别等技术识别堆场不安全的堆放方式、异常的声音、运动等情况,并进行预警。数据挖掘模块将事故类型(如物体打击事故、车辆伤害事故、机械伤害事故)与感知数据进行关联分析,建立事故类型与感知数据的关联模型。在干散料堆场中,系统可以将摄像头捕捉到的堆料倾倒、传感器捕捉到的车辆移动等数据与事故类型进行关联。一旦感知模块捕捉到堆料倾倒、车辆碰撞等事故发生的相关数据,应急处理模块立即启动事故处理流程,并系统快速判断当前事故类型,并匹配到该事故类型的处理模板,如紧急疏散、停车指示等。为了实现堆场应急处理智能化和精准化,采用网络爬虫技术从堆场以往事故案例及事发后状况中获取基础数据,并对数据进行结构化处理,构建结构化堆场应急处理模板生成模型,具体流程如下:

[0197] 将堆场突发事件的情景划分为 $s_k * (x_1, x_2, \dots, x_n), (y_1, y_2, \dots, y_n) +$ ,其中 $x_n$ 为堆场子事件的环境属性,包括堆场突发事件的温度、压力、相对湿度和风速;为堆场子事件的状态属性。一个堆场突发事件又由多个堆场子事件构成,故从堆场子事件和堆场子事件集合2个

层面进行相似度计算。堆场突发事件级别相似度为 $S_{ij}^1 = 1 - \frac{|l_i - l_j|}{\max\{l_i, l_j\}}$ 堆场子事件集合

中子事件个数的相似度 $S_{ij}^N = 1 - \frac{|N_i - N_j|}{\max\{N_i, N_j\}}$ , $S_{ij}^N$ 取值范围为 $[0, 1]$ 。两个堆场突发事件的子

事件集合相似度 $S_{ij} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3] \cdot [S_{ij}^1, S_{ij}^N, S_{ij}^K]^T$ , $S_{ij}^K$ 是堆场子事件名称集合的整体相似度, $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 是各相似度分配的权值。同理,对堆场突发事件的处置任务及应急行动的相似度进行计算,得到堆场子事件的待处理任务及应急行动的相似度 $S_{ab} = [\omega_1, \omega_2, \omega_3] \cdot [S_{ab}^T, S_{ab}^t, S_{ab}^A]^T$ 。调整 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 的值可以调整堆场事故应急行动的相似性,按照顺序将多个堆场事件集合在堆场应急管理案例库中进行比对,得到一组相似的堆场子事件,并从中提取出与堆场事故应急处置任务、行动相似的关系,如抢救疏散人员、寻找火源、清除阻塞、恢复通风等。

[0198] 应急处理模块在事故处理过程中对决策进行查验,比如会对堆场事故处置措施进行确认,如确认疏散路线是否畅通、车辆是否已停在安全区域等。事故发生后,应急处理模块会对堆场事故的数据进行保存,包括事故类型、处理模板、感知数据等信息,以便后续对

事故进行分析,为安全管理和预防提供依据。

[0199] 全要素无盲区感知系统通过多种检测设备(如摄像头、雷达、超声波传感器等)对堆场环境进行检测,在边缘节点进行融合处理对检测目标进行识别和跟踪并上传给云端,信息抽取系统接收到融合感知数据后,利用视频自动处理和信息提取技术进行分析和挖掘,通过分析历史事故视频和相关数据,发现事故的规律和潜在的风险因素。通过分析,此模块可以提取出堆场中可能存在的安全隐患、异常行为等信息,并将分析结果传递给安全管控系统。安全管控系统接收到传递的分析结果后,根据这些结果制定多层次的安全管控策略。安全管控系统会根据分析结果实施相应的管控措施,例如调整堆场作业车辆或人员行驶路线、发出预警信号、启动紧急停车系统等。各模块分工明确,相互协同,实现了堆场安全管理的全方位和多层级管控。可以提高传统堆场的安全性和效率,减少事故发生风险,保障作业人员和设备的安全。

[0200] 应当理解的是,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

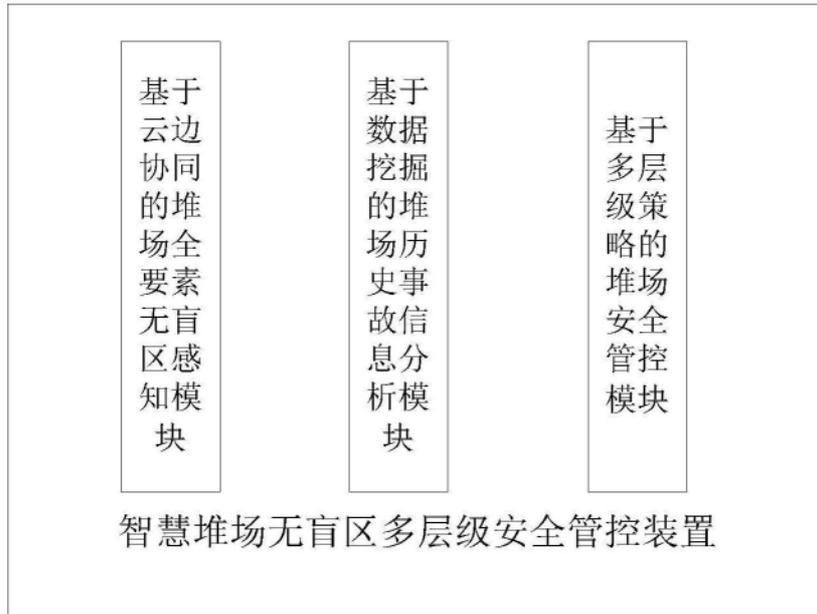


图1

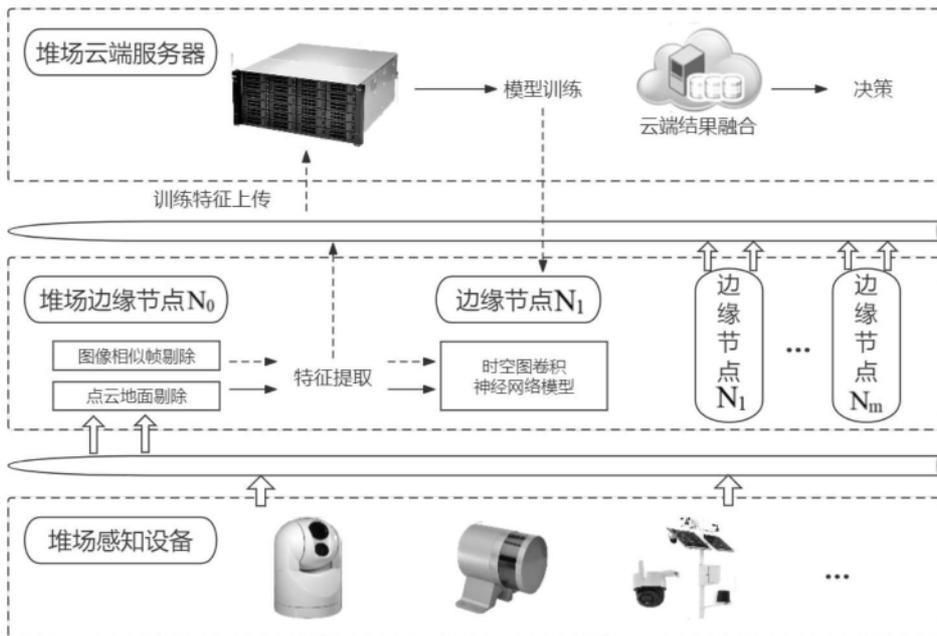


图2