

胶带输送机智能视频监控与预警方法

李占利, 陈佳迎, 李洪安, 李慧琳, 赵文博

(西安科技大学计算机科学与技术学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 针对胶带输送机运动中的跑偏、扭曲等异常问题, 提出一种基于视觉计算的胶带输送机智能监测与预警方法。首先利用高斯滤波建立场景模型, 并应用背景减除法提取目标图像。然后使用 Shi-Tomasi 算法检测目标图像中的角点, 并利用金字塔 LK 光流法跟踪检测到的角点。最后根据摄像机成像原理将角点坐标从图像坐标系转换至世界坐标系下, 计算出角点的运动速度。根据胶带输送机上角点的速度判断输送机是否正常运行, 并在必要时发出预警信息。实验结果表明该方法能够较为准确、实时地计算出输送机上胶带的运行速度。

关 键 词: 背景减除法; 角点检测; 光流法; 预警

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2017020230

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2017)02-0230-06

Research on Intelligent Monitoring and Warning Method of Belt Conveyor

LI Zhanli, CHEN Jiaying, LI Hongan, LI Huilin, ZHAO Wenbo

(College of Computer Science & Technology, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: To resolve the problem of belt conveyor's belt running deviation and distortion, we propose an intelligent monitoring and warning method of belt conveyor based on visual computing. Firstly, the video images of belt conveyor in coal mine are preprocessed and the Gaussian Filter is used to establish the background model. Then, the background subtraction method is applied to get the target image. Secondly, the Shi-Tomasi algorithm is used to detect the corners of the target image and these corners are tracked by the method of Pyramid LK optical. Finally, these corners' coordinates are converted from the image coordinate system to camera coordinate system according to the principles of imaging. And we can get the speed of these corners and judge whether the belt conveyor is in a good condition or not according to the corners' speed and then send out some warning information in time when the running belt conveyor is abnormal. The experimental results show that the proposed method has higher veracity and real time quality.

Keywords: background subtraction method; corner detection; optical flow method; warning

煤炭的安全生产一直是社会各界关注的焦点。井下煤矿开采过程中, 运输煤炭的胶带输送机经常出现胶带跑偏、扭曲、撕裂等异常情况, 可能造成经济损失甚至矿难的发生。因此, 胶带

输送机已经成为煤矿井下重点进行监管的内容之一^[1]。然而先前的人工监控胶带输送机的方式早已无法适应当代煤矿开采的步伐。随着计算机视觉技术的日趋成熟, 利用视觉技术提取视频图像中

收稿日期: 2016-08-04; 定稿日期: 2016-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1261114); 中国博士后科学基金资助项目(2016M602941XB); 陕西省教育厅科研计划项目(16JK1497); 西安科技大学教育教学改革与研究项目(JG14040); 西安科技大学创新训练项目(201610704158)

第一作者: 李占利(1964-), 男, 陕西周至人, 教授, 博士, 博士生导师。主要研究方向为数字图像处理和模式识别等。E-mail: lizl@xust.edu.cn

通信作者: 李洪安(1978-), 男, 山东武城人, 讲师, 博士。主要研究方向为数字图像处理和计算机图形学。E-mail: an6860@126.com

的相关信息, 辅助以人工监测的智能化视频监控方式已经逐渐代替人工监控方式, 成为煤炭安全监控技术的研究方向。

目前, 已有众多学者聚焦于探索输送机的安全运输问题。为了解决井下运输机的胶带跑偏问题, 文献[2]提出一种基于视觉计算的监测方法。通过利用 Hough 变换检测并拟合出胶带边缘所在的直线方程, 然后利用该直线与图像坐标系中 x 轴的交点值的改变来预警胶带的跑偏现象。但该方法对于运输机上胶带撕裂和扭曲等异常情况不能很好的预警。文献[3]通过研究输送机压陷阻力的能耗原理, 发现输送机的压陷阻力是由于胶带的黏弹性特性导致的。文献[4]根据相关原型, 建立了一种胶带运送巷道相似模型, 并提出影响胶带运送巷道中粉尘浓度分布的相关因素。在计算机视觉理论的基础上, 文献[5]提出一种输送机上胶带运行速度的监测与预警方法。其是针对输送机上存在大煤块的情况, 如果在输送机上未检测到大煤块时, 该算法不适用。

本文针对由于输送机上检测不到大煤块而不能及时报警的问题, 在角点检测的基础上, 提出了一种新的输送机智能监测与预警方法。通过监测输送机上胶带的运行速度, 判断输送机是否存在胶带跑偏、扭曲、撕裂等情况。首先在井下输送机视频图像上提取出角点, 然后利用得到角点的实际速度表示胶带的运行速度, 即角点的运行速度等于胶带的运行速度。如果角点的运行速度不在正常范围内, 则认为输送机运行不正常, 发出警报。

1 胶带输送机智能视频监控与预警方法

提取出胶带上的煤块, 通过阈值判断胶带上是否有面积较大的完整煤块, 其中阈值设定为 400 像素。若提取出的煤块中有面积大于阈值的, 则应用文献[5]中的基于视觉的输送机运行速度监控预警方法。若没有检测到面积较大的完整煤块, 则利用本文提出的基于视觉计算的胶带输送机智能监测与预警方法。首先对井下的视频图像进行预处理, 采用高斯滤波进行场景建模得到视频图像的背景, 然后根据背景减除法提取目标图像。在提取到的含有目标的图像帧中应用 Shi-Tomasi 算法^[6]提取出目标的角点, 并利用金字塔 LK 光流

法^[7]对提取到的角点进行跟踪, 获得其图像坐标。然后利用摄像机投影原理将角点的图像坐标转换至世界坐标系下, 计算被跟踪角点的运行速度。最终依据视频中角点的运行速度判断输送机是否正常运行。其流程如图 1 所示。

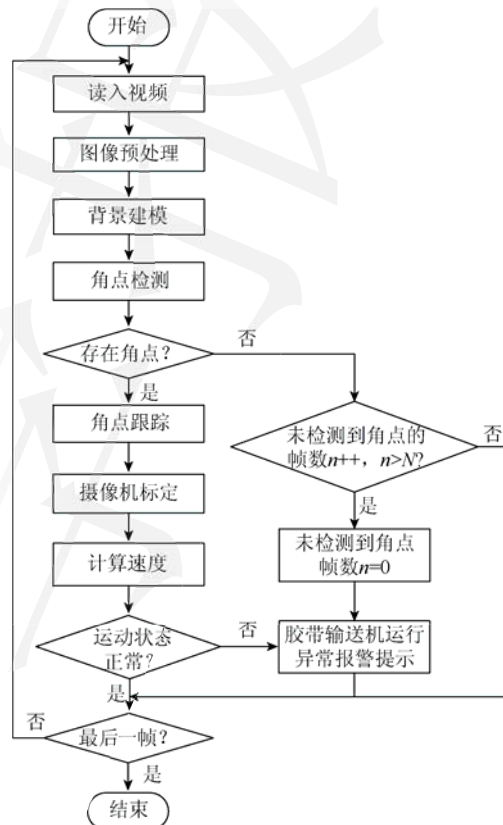


图1 基于视觉计算的胶带输送机智能监测与预警方法流程图

2 角点检测和跟踪

通过计算胶带的运行速度监控输送机的运行情况。通过观察, 与胶带在正常运行时不同, 当胶带发生跑偏、扭曲、撕裂等情况后, 运行速度将发生较大幅度的变化。因此可以根据所判断的胶带的运行速度是否正常来判断胶带输送机的运行是否正常。通过计算目标视频图像中角点的运行速度来计算出胶带的运行速度。先采用高斯滤波进行场景建模得到视频图像的背景, 根据背景减除法^[8]提取出目标图像, 然后检测和跟踪图像中的角点, 计算得到角点的运动速度, 若结果出现异常则进行预警。

2.1 背景减除法

背景减除法具有容易实现、速度快、目标提取结果较为完整等优点, 已经成为运用最广泛的目标提取方法。其思想主要是根据要处理的图像

与背景图像的减法运算, 提取出前景图像, 原理如图 2 所示。

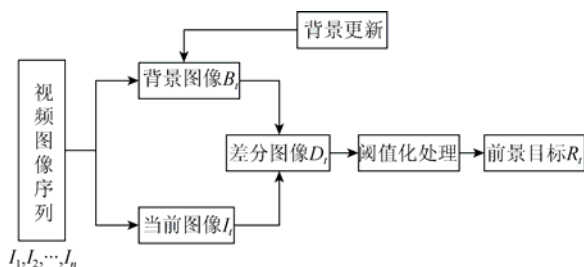


图 2 背景减除法原理图

假设给定一个图像帧序列为 $I_1, I_2, \dots, I_n$, 相减后的目标图像 $D_t(x, y)$ 为

$$D_t(x, y) = |I_t(x, y) - B_t(x, y)| \quad (1)$$

$$R_t(x, y) = \begin{cases} 0, & D_t(x, y) > T \\ 1, & D_t(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2)$$

其中, I_t 为当前图像; B_t 为背景; T 为图像进行阈值化时设定的阈值。

利用式(1)获取背景 B_t 与当前帧 I_t 的像素点灰度值的差值, 再依据式(2)对差分后的图像 $D_t(x, y)$ 进行阈值化得到二值图像 $R_t(x, y)$ 。然后应用形态学方法和区域连通性分析方法处理二值图像 $R_t(x, y)$, 提取出目标。本文中对一部分井下输送机的视频利用背景减除法提取目标, 如图 3~4 所示。



图 3 视频图像

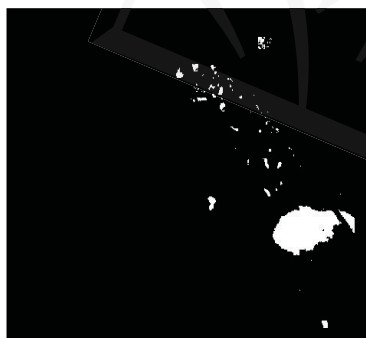


图 4 前景图像

2.2 角点检测

提取出煤块目标后, 利用 Shi-Tomasi 算法提取其中的角点。Shi-Tomasi 算法是 Harris 算法的改进。在 Harris 算法中, 对图像的灰度在水平和垂直方向求导为

$$H(p) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 I \partial^2 I}{\partial x^2 \partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 I \partial^2 I}{\partial x \partial y \partial y^2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

针对每一个角点, 对其四周固定窗口图像进行求导计算

$$M(x, y) = \begin{bmatrix} \sum_{-K \leq i, j \leq K} w_{i,j} I_x(x+i, y+j) \\ \sum_{-K \leq i, j \leq K} w_{i,j} I_x(x+i, y+j) I_y(x+i, y+j) \\ \sum_{-K \leq i, j \leq K} w_{i,j} I_x(x+i, y+j) I_y(x+i, y+j) \\ \sum_{-K \leq i, j \leq K} w_{i,j} I_y(x+i, y+j) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, w_{ij} 为权重系数。角点位于式(4)中的两个特征值都较大或者数值相当的地方, 也就是两个或者两个以上边缘的交点处^[9]。

本文使用 Shi-Tomasi 算法来提取前景图中的角点。从图 4 可以看出, 目标图像是通过二值化方法处理后的图像, 也就是黑白图像, 本文的角点检测仅仅是针对前景目标。图 5 为角点提取结果, 其中红色标记为角点。由于算法提取到的角点数较多, 为了提高角点速度计算的实时性, 算法中通过间隔选取和随机选取策略来确定出具有代表性的角点, 只跟踪具有代表性的角点。



图 5 检测到的角点图像

从图 5 中可以明显的看到, 在二维平面图像中被选取到的角点有很大一部分位于输送机所在的区域内, 只有极少量的角点分布于输送机之外的区域, 可有效地提升角点的检测速率。

2.3 角点跟踪

提取角点之后, 本文采用金字塔 LK 光流法在每一帧前景图像中进行角点跟踪。金字塔 LK 光流法的基本原理是在每帧中跟踪一些检测到的角点, 生成矢量光流场, 通过提取的特征信息, 采用均值的方法估计在接下来帧中角点的移动的速度和方向。实验中提取 K 个角点, 然后把这些待跟踪角点作为一个角点序列来跟踪, 得到该帧中的角点在下一帧中的位置坐标, 算法流程如图 6 所示。

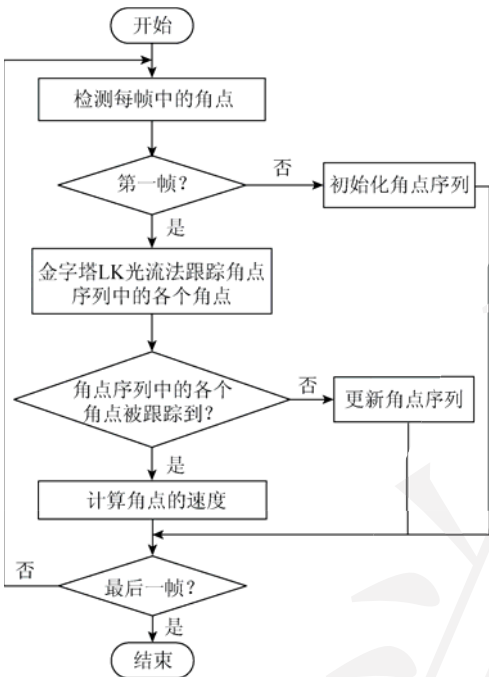


图 6 角点跟踪算法流程图

算法步骤为:

- 步骤 1. 读入视频;
- 步骤 2. 检测当前帧图像中的角点;
- 步骤 3. 判断是否是视频的第一帧, 如果是第一帧, 则转步骤 4, 如果不是第一帧, 则转步骤 5;
- 步骤 4. 建立具有 K 个角点的序列, 从检测到的角点中选取 K 个角点加入角点序列中。具体方法为: 假设检测到 N 个角点, 以 N/K 为步长, 先将第一个检测到的角点加入到角点序列中, 然后在检测到的 N 个角点中, 每隔 $N/K-1$ 个角点选取一个角点加入该角点序列, 直到选取 K 个角点, 完成角点序列的初始化;
- 步骤 5. 使用金字塔 LK 光流法跟踪角点序列中的各个角点, 逐个判定序列中的 K 个角点是否被跟踪到。对于没有被跟踪到的角点 m , 采用领域

搜索法找到距离这个角点最近的一个角点 n , 将角点序列中的角点 m 删除, 然后将角点 n 加入到角点序列中进行角点序列更新;

步骤 6. 重复第步骤 2~5, 直到视频结束。

为了验证本文提出的角点跟踪算法的准确性和实时性, 采用基于金字塔 LK 光流法跟踪前景图像中所提取的角点。实验数据采用某矿井下一部分输送机运行视频, 表 1 为两帧图像中的 10 个角点的位置坐标。其对应的角点跟踪效果如图 7 所示, 图 7(a)、(b)分别为在第 100 帧和第 101 帧中所提取和跟踪到的角点, 用红色标记。从图 7 中可以看出, 所提取的 10 个角点全部被准确跟踪。

表 1 角点的位置坐标

序号	第 100 帧	第 101 帧
1	(214,66)	(207,78)
2	(223,66)	(206,73)
3	(225,65)	(212,88)
4	(227,86)	(222,88)
5	(232,77)	(221,93)
6	(233,100)	(242,92)
7	(235,108)	(242,96)
8	(237,85)	(230,90)
9	(240,111)	(248,107)
10	(242,78)	(231,85)



(a) 第 100 帧图像



(b) 第 101 帧图像

图 7 角点跟踪结果

根据表 1 和图 7 中的实验数据结果,本文中提出的金字塔 LK 光流法可以较为准确地跟踪角点的位置,所选取的角点具有普遍性。

3 速度计算与预警

摄像机投影是将物体从三维立体空间向二维平面映射。本文采用视觉计算技术,从视频图像中重建运动目标在世界坐标系中的三维位置,减少误差。首先标定摄像机的参数,涉及的坐标系分为 3 大类:二维平面图像坐标系、摄像机坐标系和世界坐标系^[10]。图 8 为摄像机的成像模型,其中 O_c 为摄像机的成像中心,物体点 P 在成像平面上投影为 p 。

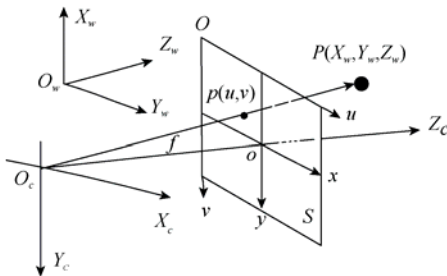


图 8 摄像机投影模型

成像平面上点 (u, v) 与空间中相应点 (X_w, Y_w, Z_w) 的映射关系为

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ t \\ 0^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ t \\ 0^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 M_2 \tilde{P} = \tilde{M} \tilde{P} \quad (5)$$

其中, $1/dx$ 和 $1/dy$ 分别为摄像机在 x 与 y 轴上的采样频率; u_0 和 v_0 分别为摄像机投影模型中图像物理坐标系原点在图像像素坐标系中的 x 坐标和 y 坐标; f 为焦距; R 为旋转矩阵; t 为平移向量; M_1 为内部参数; M_2 为外部参数; M 为投影矩阵。通过将足够多已知二维图像坐标点与其对应的世界坐标点带入式(5)中,得出投影矩阵 M ; 获取图像中角点所对应的三维空间坐标。

在煤块在输送过程中,图像中的煤块不会发

生深度上的运动。故可理解为煤块目标在 OX_wY_w 平面上进行直线平移,设定 $Z_w=0$,求射线 OP 与 $Z_w=0$ 平面的交点坐标,就可以得到一个该空间点的真实坐标。由式(5)可得

$$s \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{wi} \\ Y_{wi} \\ Z_{wi} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, $(X_{wi}, Y_{wi}, Z_{wi}, 1)$ 为世界坐标系下的齐次坐标; $(u_i, v_i, 1)$ 为图像坐标系下齐次坐标。

将式(6)经过反复变形可得

$$\begin{cases} u_i = \frac{m_{11}X_{wi} + m_{12}Y_{wi} + m_{13}Z_{wi} + m_{14}}{m_{31}X_{wi} + m_{32}Y_{wi} + m_{33}Z_{wi} + 1} \\ v_i = \frac{m_{21}X_{wi} + m_{22}Y_{wi} + m_{23}Z_{wi} + m_{24}}{m_{31}X_{wi} + m_{32}Y_{wi} + m_{33}Z_{wi} + 1} \end{cases} \quad (7)$$

令 $Z_w=0$, 式(7)转变为

$$\begin{cases} u_i = \frac{m_{11}X_{wi} + m_{12}Y_{wi} + m_{14}}{m_{31}X_{wi} + m_{32}Y_{wi} + 1} \\ v_i = \frac{m_{21}X_{wi} + m_{22}Y_{wi} + m_{24}}{m_{31}X_{wi} + m_{32}Y_{wi} + 1} \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中含有 8 个待确定参数,当选取输送机所在平面上的不在一条直线的 4 个点的世界坐标和相应的二维图像坐标后,可得到从二维平面图像到胶带输送机平面上的投影矩阵 M ,然后将二维图像上的距离映射为对应三维空间中的实际距离。

二维平面图像上有两点 $P_1(x_1, y_1)$ 和 $P_2(x_2, y_2)$, 其在输送机平面的坐标为 $P_1(X_1, Y_1)$ 和 $P_2(X_2, Y_2)$, 则在图像中两点之间的空间距离为

$$|P_1(X_1, Y_1) - P_2(X_2, Y_2)| = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (9)$$

井下输送机监测的作用是通过计算得到输送机的运行速度,来确定输送机在运动过程中是否发生异常,输送机的速度为

$$v = (d_1 - d_0) / (t_1 - t_0) \quad (10)$$

其中, $t_1 - t_0$ 为时间差; $d_1 - d_0$ 为运动目标在世界坐标系中的坐标值之差。

通过输送机上胶带运行的速度判断输送机的运动状态是否正常,判断规则为

$$w_1 \leq v \leq w_2 \quad (11)$$

其中, w_1 、 w_2 为速度的上下阈值。如果胶带输送机的运行速度 v 不在 w_1 、 w_2 阈值之间,就表示输送机的运行状态发生异常,立即发出警报,提醒相关人员采取相应的措施。

4 实验结果和分析

使用某矿录取的输送机运行视频 Conveyor.avi, 对本文提出的方法进行验证。井下胶带输送机转动时的初始速度为 9 m/s, 摄像机的帧率为 24 fps。本文算法是在 Visual Studio2010 平台上结合 OpenCV2.3.1 实现的。胶带输送机的速度计算结果(表 2), 相应的速度变化情况如图 9 所示。

表 2 胶带输送机的速度计算结果表

帧号	速度(m/s)	帧号	速度(m/s)	帧号	速度(m/s)
5	8.501 5	28	11.428 6	73	9.879 6
6	10.336 2	34	8.357 6	75	10.379 1
7	9.680 6	37	9.181 7	85	8.335 9
9	10.417 3	40	8.969 6	90	9.523 4
12	8.683 8	45	10.818 0	95	11.682 7
15	10.215 6	50	11.181 6	98	9.810 7
18	8.820 5	57	9.248 4	100	8.609 1
19	8.954 6	60	10.100 7	102	10.658 6
22	8.310 4	70	10.841 9	105	9.211 2

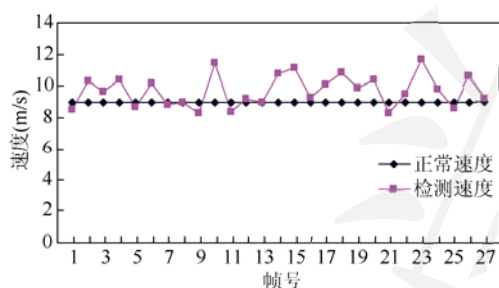


图 9 胶带输送机的速度折线图

从图 9 中可知, 在输送机运转正常的情况下, 计算得到的运行速度会出现轻微的波动, 但不会有较明显的大幅变化。在实验中, 输送机的实际转动速度是 9 m/s, 通过本文算法获得的速度都在 9 m/s 左右浮动。实验结果显示输送机的运动异常监测算法具有很高的可靠性, 可以进行及时预警。

5 结 束 语

本文提出了基于视觉计算的胶带输送机运动异常监测算法, 通过计算胶带的运行速度预测输送机的运动状态是否正常。首先利用高斯模型方法对视频图像进行背景建模, 并使用背景减法获取目标图像。然后检测和跟踪目标图像中的角点特征, 并根据摄像机成像原理计算出角点的实际运动速度。最后通过角点的实际运行速度判断胶带输送机的运动状态, 并在发生异常时给出实时预警。实验结果表明, 本文算法具有较高的实时性和可靠性。

参 考 文 献

- [1] 徐青云, 赵耀江, 李永明. 我国煤矿事故统计分析 & 今后预防措施[J]. 煤炭工程, 2015, 47(3): 80-82.
- [2] 李占利, 赵文博. 基于视觉计算的胶带输送机跑偏监测[J]. 煤矿安全, 2014(5): 118-121.
- [3] 初琦. 带式输送机动态称重检测理论与试验研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2014.
- [4] 张东升, 刘洪林. 新疆大型煤炭基地科学采矿的内涵与展望[J]. 采矿与安全工程学报, 2015, 32(1): 1-6.
- [5] LI Z L, HE Q. Research on speed monitoring method of coal belt conveyor based on video image [J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 8(12): 5093-5101.
- [6] SHI J, TOMASI C. Good features to track [C]//In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE Press, 1994: 593-600.
- [7] 刘彬, 陈向宁, 郭连惠. 一种基于Harris-Sift引导LK光流约束的特征点匹配算法[J]. 测绘科学技术学报, 2014(2): 162-166.
- [8] 张虎, 方华, 李春贵. 基于改进混合高斯模型的自适应运动车辆检测算法[J]. 计算机应用与软件, 2014(1): 286-289.
- [9] DENG J, ZHAI X W, YAN Z X. A new forecast model for the carbon-monoxide concentration in the upper corner of mining face [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2011, 17(1): 39-42.
- [10] 杨幸芳, 黄玉美, 高峰, 等. 用于摄像机标定的棋盘图像角点检测新算法[J]. 图学学报, 2011, 32(5): 1109-1113.