

矿井无线多媒体传感器网络单摄像机矿灯视频定位

尤凯明¹ 杨 维¹ 柳 瑞² 闫增宝²

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院 北京 100444; 2. 榆神煤炭榆树湾煤矿有限责任公司 陕西 榆林 719000)

摘要: 针对煤矿井下光照强度低和井下巷道狭长的特点,提出了一种面向煤矿井下带状结构巷道场景的无线多媒体传感器网络单摄像机矿灯视频定位算法。在光照强度低的井下巷道,将矿灯作为井下人员的特征识别物,通过检测矿灯来识别井下人员。摄像机沿着带状结构巷道纵向布置各自独立检测矿灯,计算矿灯在巷道地面上映射点的位置。建立摄像机与矿灯在巷道地面上映射点所构成的三维空间直线,通过计算摄像机与映射点所构成三维空间直线和矿灯距离巷道地面高度所在平面的交叉点,获得井下人员的位置坐标,实现在光照强度低的带状结构巷道场景中对井下人员进行定位。在实际巷道的试验结果表明,单摄像机矿灯视频定位算法对井下人员定位的平均误差为0.37 m。

关键词: 无线多媒体传感器网络; 视频定位; 煤矿井下; 矿灯定位; 互联网+

中图分类号: TD65; TP393 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)07-0103-06

Personnel positioning with single video camera and miner's lamp based on wireless multimedia sensor network in mine

You Kaiming¹, Yang Wei¹, Liu Rui², Yan Zengbao²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Yushen Coal Yushuwan Coal Mine Company Limited, Yulin 719000, China)

Abstract: According to the features of the low illumination intensity in the underground mine and the mine narrow and long roadway, a single video camera and miner's lamp video positioning algorithm was provided based on the wireless multimedia sensor network faced to the strip structure roadway in the underground mine. In the mine roadway with the low illumination intensity, the miner's lamp would be the feature identified object of the underground personnel. With detection of the miner's lamp, the underground personnel could be identified. The video cameras set along the strip structure roadway in the longitudinal direction could individually detect the miner's lamp and the ground reflection location of the lamp in the roadway could be calculated. A 3D space straight line formed with the video camera and the lamp ground reflection point in the roadway was established. With the calculation on the 3D space straight line formed with the camera and the lamp reflection point and the plane crossing point from lamp distance to the roadway ground height, the location coordinates of the underground personnel could be obtained and the positioning of the underground personnel could be realized in the strip structure roadway with the low illumination intensity. The experiment results in the actual roadway showed that the a single video camera and miner's lamp video positioning algorithm would have an average error of 0.37 m for the underground personnel positioning.

Key words: wireless multimedia sensor network; video positioning; underground mine; miner's lamp positioning; internet plus

0 引 言

煤矿安全生产对无线可视多媒体服务有大量的需求^[1-2]。无线多媒体传感器网络(Wireless Multi-

media Sensor Networks, WMSNs)是在传统无线传感器网络(WSNs)基础上引入图像、音频、视频等多媒体应用的新型传感器网络,具有丰富的多媒体感知能力、快捷方便的无线接入、灵活多变的拓扑结构等

收稿日期: 2016-03-12; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.07.018

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51474015); 国家重点研发计划资助项目(2016YEC0801806)

作者简介: 尤凯明(1989—)男,满族,辽宁沈阳人,博士研究生。Tel: 010-51682162, E-mail: youkaiming@bjtu.edu.cn

引用格式: 尤凯明, 杨 维, 柳 瑞, 等. 矿井无线多媒体传感器网络单摄像机矿灯视频定位[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 103-108, 115.

You Kaiming, Yang Wei, Liu Rui, et al. Personnel positioning with single video camera and miner's lamp based on wireless multimedia sensor network in mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 103-108, 115.

特点,这些特点使得 WMSNs 对实现煤矿井下多媒体监测具有重要的价值^[3-6]。在煤矿井下构建 WMSNs,对井下人员进行 WMSNs 视频定位,可以保障井下人员的安全生产^[7-8]。

在 WMSNs 多媒体监测中,定位分为多摄像机视频协作定位^[9-11]和单摄像机视频非协作定位^[12-13]。考虑到井下巷道通常是狭长的带状结构,井下人员在带状结构巷道中只能沿着巷道行走,行走路径相对简单。所以在带状结构巷道中可以采用易于布置、适用性强的单摄像机视频非协作定位算法对井下人员进行定位。

WMSNs 单摄像机视频定位通常是通过借助目标高度信息,利用目标在摄像机成像平面上映射的像素坐标计算出目标的实际位置坐标,实现对目标单摄像机视频定位。文献[12]在指定位置检测目标头部,计算出目标的高度模型,利用图形几何关系实现对目标单摄像机视频定位。文献[13]借助目标高度信息,通过观测目标的全部身体在摄像机成像平面上的尺寸,计算目标与摄像机之间的距离,实现对目标的单摄像机视频定位。但由于煤矿井下光照强度低和井下人员衣物容易附着大量煤尘的特点,使得井下人员与巷道背景极为相似难以识别^[14]。

为此,笔者针对井下人员与巷道背景极为相似难以识别的特点,提出了一种面向煤矿井下带状结构巷道场景的 WMSNs 单摄像机矿灯视频定位算法。由于井下人员需携带矿灯提供辅助照明,矿灯的亮度与周围昏暗的背景形成强烈的反差,所以在本算法中通过检测矿灯来定位井下人员。摄像机沿着带状结构巷道纵向布置,各自独立监测井下巷道的不同区域。摄像机检测矿灯并计算矿灯在巷道地面上的映射点,建立摄像机与映射点所构成的三维空间直线。通过计算三维空间直线和矿灯距离巷道地面高度所在平面的交叉点,获得井下人员的位置信息,从而在光照强度低的带状结构巷道中对井下人员进行定位。

1 煤矿井下 WMSNs 结构与场景

煤矿井下无线多媒体传感器网络体系结构如图 1 所示,系统主要由部署在煤矿井下的无线多媒体基础网络、有线光纤骨干网以及地面监控调度中心等 3 层体系结构组成^[15]。无线多媒体基础网络,由摄像机、手机、各种传感器构成,主要负责采集井下

人员位置及周围环境的信息,经过簇头节点的聚合处理,以多跳中继的方式传递至汇聚节点。汇聚节点通过有线光纤骨干网将收集的井下人员位置及周围环境的信息传递至地面监控调度中心,实现地面监控调度中心对煤矿井下环境的全面监测。此外,地面监控调度中心通过互联网与远程管理用户相连接,使得远程管理人员可以对本地煤矿的安全进行查询和监控。

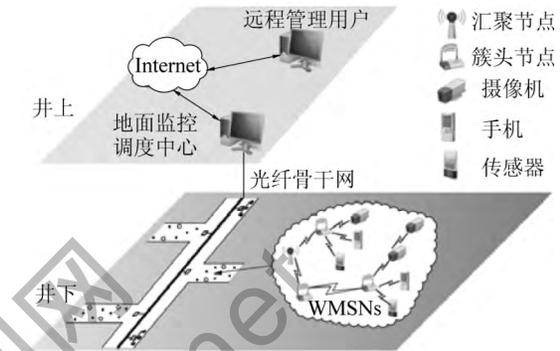


图 1 煤矿井下无线多媒体传感器网络体系结构

Fig. 1 Architecture of WMSNs in underground coal mine

煤矿井下带状结构巷道场景中部署 WMSNs 的定位结构如图 2 所示,图中带状结构巷道由巷道入口、弯曲巷道和直线巷道共同组成。为了描述摄像机和井下人员的位置坐标,在巷道入口沿着巷道方向,以巷道横向方向为 x_w 轴,纵向方向为 y_w 轴,高度方向为 z_w 轴,建立煤矿井下世界坐标系。因此,煤矿井下世界坐标系可以沿着巷道描述煤矿井下的任意一点位置。在实际场景中,可根据煤矿井下实际环境手动选取煤矿井下世界坐标系的位置。

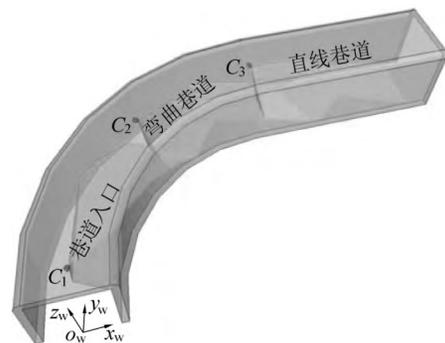


图 2 煤矿井下人员的定位场景

Fig. 2 Scene of miner localization in underground coal mine

在图 2 中, C_1 、 C_2 、 C_3 表示具有相同图像处理、数字处理和无线发送接收能力的多媒体网络摄像机位置(以下简称摄像机)。在 WMSNs 多媒体监测中,摄像机采用有向感知模型^[16]。为充分利用井下

巷道狭长的结构特点, 摄像机 C_1 、 C_2 和 C_3 沿巷道纵向方向吊挂在巷道壁上方中部, 分别俯视倾斜向下监测巷道入口区域、弯曲巷道区域和直线巷道区域。在图 2 中, 摄像机俯视倾斜向下监测井下巷道, 所覆盖巷道地面和巷道墙壁的区域为一个四角锥形范围^[17]。

2 煤矿井下单摄像机矿灯视频定位

2.1 背景差分法识别矿灯

煤矿井下光照强度低、粉尘多, 井下人员衣物附着大量煤尘, 这使得井下人员与巷道背景相似难以识别。为了在井下人员与巷道背景相似的环境下识别井下人员, 考虑到井下人员在井下工作时需携带矿灯辅助照明, 矿灯的亮度与周围较暗的背景形成强烈的反差, 所以将矿灯作为井下人员的特征识别物, 可采用背景差分法^[18]检测矿灯来识别井下人员。

在摄像机采集井下巷道视频序列中选取一帧未出现井下人员的图像作为初始背景图像。通过将摄像机采集井下巷道视频序列的当前图像与背景图像作差值, 获得差值图像。对所获得的差值图像采用均值滤波进行平滑处理, 减少煤矿井下由于矿灯光点发散所造成的噪声干扰。通过选取合适的阈值将滤波后的差值图像计算为像素只有 0 和 1 的二值图像, 获得差值图像的二值图像。

若所获得二值图像的像素全部为 0, 则表明摄像机所监测的井下巷道区域未出现井下人员。此时, 将摄像机采集井下巷道视频序列的当前图像作为背景图像进行更新。反之, 在所获得二值图像中存在像素为 1 的区域, 则表明摄像机所监测的井下巷道区域出现了井下人员。并且可知, 井下人员所携带矿灯在摄像机 CMOS 成像平面上映射的范围为在所获得二值图像中像素为 1 的全部区域。通过计算在二值图像中像素为 1 区域的几何中心, 获得矿灯在摄像机 CMOS 成像平面上的像素坐标。

2.2 摄像机视觉成像模型

为了获得矿灯在巷道地面上映射点在煤矿井下世界坐标系下的物理坐标, 根据摄像机线性成像原理^[19], 建立煤矿井下巷道地面与摄像机 CMOS 成像平面的对应关系, 摄像机视觉成像模型如图 3 所示, 图 3 为图 2 中沿着带状巷道纵向方向布置摄像机的视觉成像模型。

在图 3 中, 灰色阴影部分表示在图 2 中巷道地

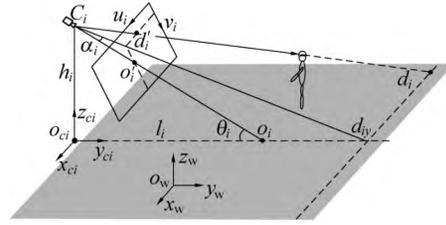


图 3 摄像机视觉成像模型

Fig. 3 Camera vision imaging model

面所在平面, $\rho_w x_w y_w z_w$ 表示在图 2 中已建立的煤矿井下世界坐标系。 C_i 表示摄像机节点, ρ_{ci} 为摄像机 C_i 在巷道地面上的垂直投影。 o_i' 为摄像机 C_i 成像平面的中心像素点, ρ_i 为摄像机 C_i 成像平面中心像素点 o_i' 在巷道地面上所对应的映射点。以 o_{ci} 为坐标原点, 直线 $o_{ci}o_i$ 为 y_{ci} 轴, 垂直于巷道地面方向为 z_{ci} 轴, 建立摄像机 C_i 所对应的右手直角坐标系 $o_{ci}x_{ci}y_{ci}z_{ci}$ 。通过测量摄像机 C_i 与摄像机 C_i 成像平面中心像素点在巷道地面上映射点 o_i 的水平距离 $o_{ci}o_i$ 和垂直距离 $o_{ci}C_i$, 可以得到摄像机 C_i 在垂直方向的倾斜角 θ_i , 即

$$\theta_i = \arctan(h_i/l_i) \quad (1)$$

其中 l_i 和 h_i 分别为摄像机 C_i 与映射点 o_i 的水平距离和垂直距离。在图 3 中, μ_i 和 ν_i 分别为摄像机 C_i 成像平面在水平和垂直方向的像素坐标。假设摄像机 C_i 的焦距为 f , CMOS 成像平面在水平和垂直方向上的物理尺寸分别为 m 和 n , 图像分辨率为 $M \times N$, 其中 M 和 N 分别为摄像机 C_i 成像平面在水平和垂直方向的像素数量。当摄像机 C_i 检测到矿灯时, 可根据矿灯在 CMOS 成像平面上的像素坐标 $d_i'(u_i, \nu_i)$, 唯一确定矿灯在巷道地面 $x_{ci}o_{ci}y_{ci}$ 平面上所对应映射点的位置坐标 $d_i(x_{ci}, y_{ci}, 0)$, 即

$$\begin{cases} x_{ci} = \frac{mh_i(2u_i - M) \cos \alpha_i}{2Mf \sin(\theta - \alpha_i)} \\ y_{ci} = \frac{h_i}{\tan(\theta - \alpha_i)} \end{cases} \quad (2)$$

其中 α_i 为直线 $C_i o_i$ 与直线 $C_i d_{iy}$ 的夹角; d_{iy} 为矿灯在巷道地面上映射点 d_i 与 y_{ci} 轴的垂直交点。 α_i 的值可由矿灯在摄像机 C_i 成像平面上垂直方向物理尺寸与摄像机 C_i 焦距 f 之比的正切值得到, 即

$$\alpha_i = \arctan \frac{n(N - 2\nu_i)}{2Nf} \quad (3)$$

$(x_{ci}, y_{ci}, 0)$ 是映射点 d_i 在摄像机 C_i 所对应直角坐标系 $o_{ci}x_{ci}y_{ci}z_{ci}$ 的坐标, 而在煤矿井下 WMSNs 应用中, 需将所有信息统一在同一个标准坐标系下, 即

煤矿井下世界坐标系 $o_w x_w y_w z_w$ 。假设煤矿井下世界坐标系 $o_w x_w y_w z_w$ 围绕 z_w 轴逆时针旋转 φ 角,然后平移一个向量 $t_w(a_w, b_w, c_w)$ 后可与坐标系 $o_{ci} x_{ci} y_{ci} z_{ci}$ 重合,则映射点 d_i 坐标 $(x_{ci}, y_{ci}, 0)$ 转换成煤矿井下世界坐标系下的坐标为 $d_{wi}(x_{wi}, y_{wi}, z_{wi})$,即

$$\begin{bmatrix} x_{wi} \\ y_{wi} \\ z_{wi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ci} \\ y_{ci} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_w \\ b_w \\ c_w \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 $o_{ci} x_{ci} y_{ci} z_{ci}$ 坐标系中的原点 o_{ci} 在煤矿井下世界坐标系下的坐标为 (a_w, b_w, c_w) 。

2.3 单摄像机矿灯视频定位算法

当井下人员进入到摄像机 C_i 监测区域时,摄像机 C_i 通过将采集到视频序列的当前图像与背景图像作差值来检测矿灯,获得矿灯在摄像机 C_i 成像平面上的像素坐标,并通过式(2)和式(4)计算出矿灯相对于摄像机 C_i 在巷道地面上映射点的煤矿井下世界坐标 $p_i(x_{wi}, y_{wi}, z_{wi})$ 。

摄像机 C_i 在煤矿井下世界坐标系下的坐标在部署时已被测量,并假设其值为 $C_i(x_{wci}, y_{wci}, z_{wci})$ 。通过摄像机自身的位置坐标 $C_i(x_{wci}, y_{wci}, z_{wci})$ 与矿灯相对于摄像机 C_i 在巷道地面上映射点的位置坐标 $p_i(x_{wi}, y_{wi}, z_{wi})$,建立摄像机 C_i 与映射点所构成的三维空间直线 L_i ,即

$$\frac{x_{li} - x_{wi}}{x_{wi} - x_{wci}} = \frac{y_{li} - y_{wi}}{y_{wi} - y_{wci}} = \frac{z_{li} - z_{wi}}{z_{wi} - z_{wci}} = s_i \quad (5)$$

其中,直线 L_i 上的点在煤矿井下世界坐标系下的坐标为 (x_{li}, y_{li}, z_{li}) , s_i 为三维空间直线 L_i 的参数。

假设矿灯距离巷道地面的高度为 h_0 。通过三维空间直线 L_i 与矿灯距离巷道地面高度所在平面的交叉点,可以获得井下人员在煤矿井下世界坐标系下的位置坐标。也就是将矿灯距离地面的高度 h_0 代入式(5),即 $z_{li} = h_0$,求出三维空间直线 L_i 参数 s_i 的值为

$$s_i = \frac{h_0 - z_{wi}}{z_{wi} - z_{wci}} \quad (6)$$

将三维空间直线 L_i 参数 s_i 值代入式(5)可得

$$\begin{cases} x_{li} = (x_{wi} - x_{wci}) s_i + x_{wi} \\ y_{li} = (y_{wi} - y_{wci}) s_i + y_{wi} \end{cases} \quad (7)$$

其中 (x_{li}, y_{li}) 为井下人员在煤矿井下世界坐标系下的位置坐标。

3 试验结果与性能分析

为了检验所提出的煤矿井下 WMSNs 单摄像机矿灯视频定位算法的性能,在实际巷道场景中进行试验测试。测试地点选择了北京交通大学轨道减振与控制实验室的地下巷道,如图4所示。巷道为马蹄型结构,巷道的底板埋深为10 m,上层覆土厚度为6 m,净宽和净高均为4 m,壁厚为0.55 m。在测试中,利用三角支架将3台同构摄像机 TY803-130 沿着巷道纵向方向布置在巷道顶部,3台同构摄像机全部由锂电池组供电,摄像机实际布置和试验平面拓扑结构分别如图4和图5所示。

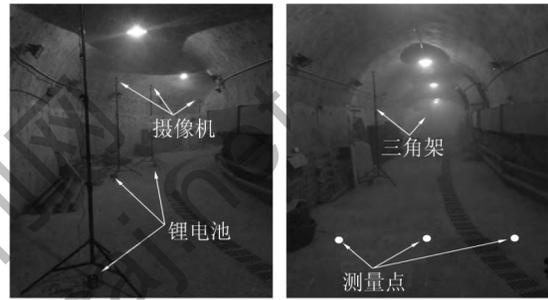


图4 摄像机的实际布置

Fig. 4 Actual deployment of cameras

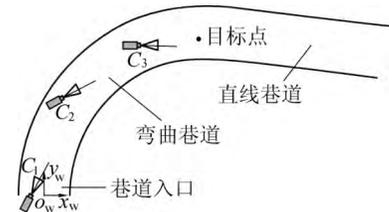


图5 试验的平面拓扑结构

Fig. 5 Planar topology of the experiment

在巷道入口区域,以巷道的横向方向为 x_w 轴,纵向方向为 y_w 轴,高度方向为 z_w 轴建立世界坐标系。如图5所示,测试中的摄像机按照图2中 C_1 、 C_2 和 C_3 的布置方式进行布设。摄像机 C_1 沿着弯曲巷道中心线方向布置监测巷道入口区域,摄像机 C_2 沿着弯曲巷道中心线方向布置监测弯曲巷道区域,摄像机 C_3 沿着直线巷道纵向方向布置监测直线巷道区域。

3台同构摄像机内部固有参数取值如下:焦距 6.0 mm、感光元器件 CMOS 的物理尺寸 4.8 mm×3.6 mm 和图像分辨率 1 280×960 pixel。3台摄像机外部参数的设置见表1,包括摄像机所在位置的世界坐标、世界坐标系 $o_w x_w y_w z_w$ 的 x_w 轴与摄像机 C_i 坐标系 $o_{ci} x_{ci} y_{ci} z_{ci}$ 的 x_{ci} 轴在逆时针方向的偏航夹角 φ 和摄像

机光轴在垂直方向上倾斜向下的俯仰夹角 θ 。

表 1 摄像机外部参数

Table 1 Geometrical parameters of cameras

摄像机	$(x_w, y_w, z_w) / m$	$\varphi / (^\circ)$	$\theta / (^\circ)$
C_1	(-1.00, 0, 2.87)	-26.6	22.0
C_2	(1.50, 7.50, 2.90)	-62.7	22.6
C_3	(7.50, 11.50, 2.90)	-91.2	18.2

在测试中, 测试人员身穿蓝色工作制服, 头戴安全帽, 安全帽上的矿灯处于开启状态, 用于模拟携带矿灯的井下人员。通过手工测量获得矿灯距离巷道地面的高度为 1.60 m。测试人员以正常步行速度行走进入已布置摄像机 C_1 、 C_2 和 C_3 的巷道区域。3 台摄像机采集巷道的视频信息, 共同监测巷道。图 6a、图 6b 和图 6c 分别为某时刻摄像机 C_1 、 C_2 和 C_3 采集巷道视频序列的当前图像。摄像机 C_i 通过将采集到视频序列的当前图像与背景图像作差值来检测矿灯。因矿灯的光照强度与巷道背景具有较大的反差, 所以选取差值图像最大灰度值的 60% 作为阈值。测试表明这样设定的阈值, 检测矿灯具有较好的性能。



(a) 摄像机 C_1 (b) 摄像机 C_2 (c) 摄像机 C_3

图 6 摄像机拍摄巷道的图像

Fig. 6 Images of tunnel taken by cameras

摄像机 C_i 以每隔 0.5 s 的时间间隔检测矿灯, 并计算矿灯在摄像机 C_i 成像平面上的像素坐标。通过运用式(2)和式(4), 将矿灯在摄像机 C_i 成像平面上的像素坐标计算为矿灯相对于摄像机 C_i 在巷道地面上映射点的世界坐标。建立摄像机 C_i 与映射点所构成的三维空间直线 L_i 。然后, 通过式(6)和式(7)可计算出三维空间直线 L_i 与矿灯距离巷道地面高度所在平面的交叉点, 从而得到测试人员在世界坐标系下的位置坐标。

为了检测采用所提出 WMSNs 单摄像机矿灯视频定位算法对矿灯定位的精度, 在已布置 3 台摄像机的巷道地面上设定 10 个测量点。测量点在巷道地面上以横向和纵向间隔为 1 m 的距离形成网格, 测量点在世界坐标系下的坐标可通过手工测试获得。测试中, 测试人员在行走过程中要经过巷道地面上的测量点。每当测试人员行走至测量点时, 测

试人员在测量点处站立停留约 1 s。当测试人员同时被 2 台摄像机定位时, 选择与矿灯距离较近摄像机所定位的位置作为矿灯定位结果。

将所提出算法的定位结果与测试人员的实际位置进行比较, 定义定位误差为

$$E_p(i) = \sqrt{[x_r(i) - x_i(i)]^2 + [y_r(i) - y_i(i)]^2} \quad (8)$$

其中: $(x_r(i), y_r(i))$ 为测试人员的实际位置坐标, $(x_i(i), y_i(i))$ 为测试人员的定位坐标。则定位误差的平均值为

$$\bar{E}_p = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q E_p(i) \quad (9)$$

其中 Q 为所考察目标的测量点数。采用所提出的单摄像机矿灯视频定位算法对矿灯进行定位的测试结果如图 7 所示。观察图 7 可知, 大多数测量点的估计坐标与实际坐标在某一方向上存在误差, 这是因为测试人员在测试过程中头戴的矿灯总是背向巷道入口方向照射。

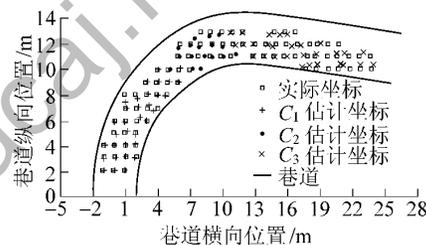


图 7 单摄像机矿灯视频定位的试验数据

Fig. 7 Experimental data of single video camera miner's lamp localization

根据图 7 的测试数据, 利用式(8)计算出测试人员的定位误差, 如图 8 所示。当摄像机 C_1 、 C_2 和 C_3 所考察目标的测量点数分别为 27、23 和 35 时, 利用式(9)计算出测试人员平均定位误差分别为 0.24、0.27 和 0.54 m。当摄像机 C_1 、 C_2 和 C_3 所考察目标的总测量点数为 85 时, 利用式(9)计算出测试人员总平均定位误差为 0.37 m。

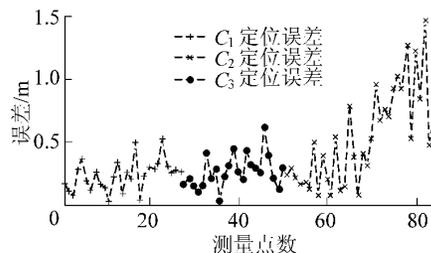


图 8 单摄像机矿灯视频定位的误差

Fig. 8 Error of single video camera miner's lamp localization

观察图 8 可知, 摄像机 C_3 在考察目标最后 15

个测量点时,对测试人员的定位误差有所增大。这是因为摄像机 C_3 监测直线巷道考察目标最后 15 个测量点时,测试人员的矿灯在摄像机 C_3 成像平面上的映射位置处于成像平面边缘。由于边缘成像物像的非线性关系^[20],使得摄像机的边缘成像存在畸变,导致摄像机对矿灯定位具有较大的误差。

为了检测采用所提出的算法对处于连续运动状态下矿灯进行定位的性能,在已布置摄像机 C_1 、 C_2 和 C_3 的巷道区域,测试人员以正常步行速度行走进入巷道。测试人员沿着巷道内的测量点以 90° 直角弯折线行走,测试人员折线行走轨迹以及每隔 0.5 s 自动采用所提出的算法对测试人员折线行走进行定位的估计轨迹,如图 9 所示。测试人员运动的估计轨迹是通过将相邻 2 次测试人员的定位位置结果用直线线段相连获得的。从图 9 可以看出,采用所提出的单摄像机矿灯视频定位算法,通过对运动状态下井下人员的连续定位,可以较准确地估计出运动状态下井下人员的运动轨迹。

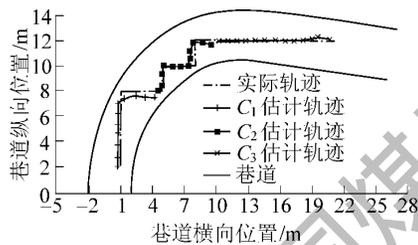


图 9 单摄像机矿灯视频定位的轨迹跟踪

Fig. 9 Trajectory tracking with single video camera miner's lamp localization

4 结 论

无线多媒体传感器网络对实现煤矿井下多媒体监测具有重要的价值。面向煤矿井下带状结构巷道场景提出了一种煤矿井下无线多媒体传感器网络单摄像机矿灯视频定位算法。

1) 采用背景差分法,通过将采集井下巷道视频序列的当前图像与背景图像作差值,可有效检测矿灯,识别井下作业人员。

2) 通过计算摄像机与矿灯在巷道地面上映射点所构成三维空间直线和矿灯距离巷道地面高度所在平面的交叉点,可有效获得井下作业人员的位置坐标,实现对井下作业人员的定位。

3) 在实际巷道的试验结果表明,煤矿井下无线多媒体传感器网络单摄像机矿灯视频定位算法对矿灯定位的平均误差为 0.37 m,对处于运动状态下的

井下人员可以进行跟踪。

参考文献(References):

- [1] 孙继平.煤矿信息化自动化新技术与发展[J].煤炭科学技术, 2016, 44(1): 19-23, 83.
Sun Jiping. New technology and development of mine informatization and automation [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 19-23, 83.
- [2] Zhang Yu, Yang Wei, Han Dongsheng *et al.* An integrated environment monitoring system for underground coal mines—wireless sensor network subsystem with multi-parameter monitoring [J]. Sensors, 2014(14): 13149-13170.
- [3] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdhury K R. Wreces, multimedia sensor networks: current trends and future directions [J]. Sensors, 2010, 10(7): 6662-6717.
- [4] Almalkawi I T, Zapata M G, Al-Karaki J N *et al.* Wireless multimedia sensor networks: current trends and future directions [J]. Sensors, 2010, 10(10): 6662-6717.
- [5] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdhury K R. A survey on wireless multimedia sensor networks [J]. Computer Networks, 2007, 51(4): 951-960.
- [6] Zhao Xiaohu, Wang Zhongliang, Zhao Keke. Research on distributed image compression algorithm in coal mine WMSN [J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, Advanced Institute of Convergence Information Technology 2011, 5(2): 283-291.
- [7] You K, Yang W, Han R. The video collaborative localization of a miner's lamp based on wireless multimedia sensor networks for underground coal mines [J]. Sensors, 2015, 15(10): 25103-25122.
- [8] Pei Z, Deng Z, Xu S *et al.* Anchor-free localization method for mobile targets in coal mine wireless sensor networks [J]. Sensors, 2009(9): 2836-2850.
- [9] Liu Liang, Zhang Xi, Ma Huadong. Optimal node selection for target localization in wireless camera sensor networks [J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2010, 59(7): 3562-3576.
- [10] Karakaya M, Qi Hairong. Collaborative localization in visual sensor networks [J]. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2014, 10(2): 18-23.
- [11] Lin Qingtao, Zeng Xiangbing, Jiang Xiaofeng *et al.* Video nodes based collaborative object localization framework in wireless multimedia sensor networks [J]. Equip Manuf Technol Autom, 2011, 317: 1078-1083.
- [12] Qi Meibin, Zhang Rui, Jiang Jianguo *et al.* Moving object localization with single camera based on height model in video surveillance [C]//Bioinformatics and Biomedical Engineering. The 1st International Conference on IEEE, Wuhan, China, 2007.
- [13] Ztarak H, Akkaya K, Yazici A. Lightweight object localization with a single camera in wireless multimedia sensor networks [C]//

(下转第 115 页)

- in mine tunnel based on joint electromagnetic wave and ultrasonic distance measurement [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology 2014, 34(5) : 490-494.
- [17] Tian Zijian ,Zhang Liya ,Chen Wei.Improved algorithm for navigation of rescue robots in underground mines[J].Computers and Electrical Engineering 2013(39) : 1088-1094.
- [18] Mcerady D ,Doylel ,Forstrom H *et al.* Mobile ranging using low-accuracy clocks[J].IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2000 48(6) : 951-958.
- [19] Girod L ,Bychovskiy V ,Elson J *et al.* Locating tiny sensors in time and space: a case study [C] //2002 IEEE Int'l Conf on Computer Design: VLSI in Computers and Processors ,Freiburg 2002: 214-219.
- [20] 邵丽鹏,朱梅冬,杨 丹.基于 ZigBee 的加权质心定位算法的仿真与实现[J].传感技术学报 2010 23(1) : 149-152.
Gao Lipeng ,Zhu Meidong ,Yang Dan.Simulation and implement of weighted centroid localization algorithm based on ZigBee [J].Chinese Journal of Sensors and Actuators 2010 23(1) : 149-152.
- [21] 刘晓文,王振华,王淑涵,等.基于 RSSI 算法的矿井无线定位技术研究[J].煤矿机械 2009 30(3) : 59-60.
Liu Xiaowen ,Wang Zhenhua ,Wang Shuhan *et al.* Study of WSN localization based on RSSI in coal mine [J].Coal Mine Machinery , 2009 30(3) : 59-60.
- [22] 乔钢柱,曾建潮.信标节点链式部署的井下无线传感器网络定位算法[J].煤炭学报 2010 35(7) : 1229-1232.
Qiao Gangzhu ,Zeng Jianchao. Localization algorithm of beacon nodes chain deployment based on coal mine underground wireless sensor networks [J].Journal of China Coal Society 2010 35(7) : 1229-1232.
- [23] Von Hippel A R. Dielectrics and waves [M]. Inc: John Wiley & Sons ,1962.
- [24] Nerguizian C ,Despins C L. Radio-channel characterization of an underground mine at 2.4GHz [J].IEEE Trans on Wireless Communications 2005 4(5) : 2441-2453.
- (上接第 108 页)
- Global Telecommunications Conference IEEE Honolulu ,HI ,USA , 2009.
- [14] 孙继平,贾 倪. 矿井视频图像中人员目标匹配与跟踪方法 [J].中国矿业大学学报 2015 44(3) : 525-533.
Sun Jiping ,Jia Ni. Human target matching and visual tracking method in coal mine [J].Journal of China University of Mining & Technology 2015 44(3) : 525-533.
- [15] 韩睿松,杨 维.基于改进虚拟势场的煤矿井下 WMSN 覆盖增强算法[J].煤炭学报 2015 40(4) : 959-964.
Han Ruisong ,Yang Wei. A coverage-enhancing algorithm based on improved virtual potential field for WMSN in underground coal mine [J].Journal of China Coal Society 2015 40(4) : 959-964.
- [16] Ma Huadong ,Liu Yonghe. Correlation based video processing in video sensor networks [C] //Wireless Networks ,Communications and Mobile Computing 2005 International Conference on IEEE , Hawaii ,USA 2005.
- [17] 张 波,罗海勇,胡广大,等.多媒体传感器网络中被动目标定位算法[J].东南大学学报: 自然科学版 2011 41(2) : 266-269.
Zhang Bo ,Luo Haiyong ,Hu Guangda *et al.* Passive target localization algorithm for multimedia sensor networks [J]. Journal of Southeast University: Natural Science 2011 41(2) : 266-269.
- [18] Piccardi M. Background subtraction techniques: a review [C] // Systems ,man and cybernetics. 2004 IEEE International Conference on IEEE ,Hague ,Netherlands 2004.
- [19] Heikkil J ,Silvén O. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction [C] //Computer Vision and Pattern Recognition. Proceeding 1997 IEEE Computer Society Conference on IEEE ,Puerto Rico ,1997.
- [20] Douchamps D ,Chihara K. High-accuracy and robust localization of large control markers for geometric camera calibration [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence ,IEEE Transactions on , 2009 31(2) : 376-383.