

基于计算机视觉的虚拟安全空间预警技术

卢振宇, 郭 星, 魏 赛, 汪 磊

(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要:随着现代工业技术的飞速发展,现代工业对安全的要求也越来越高。在工作环境中,由于一些原因如操作人员的注意力、判断力、视力范围的限制,极易发生作业设备超过警戒线而发生事故。文中利用计算机视觉技术,提出了一种虚拟安全空间的预警技术。通过两个摄像头采集实时环境图像,根据透视投影模型和矫正过后的图像中的点的三维位置坐标以及两个摄像头的坐标位置,计算出目标物的物理坐标,然后根据物理坐标计算出目标物和虚拟安全空间之间的距离,将其与安全距离比较,实现预警。仿真实验表明,此项预警技术具有良好的实时性和准确性,能够满足一定范围内的预警需求。

关键词:计算机视觉;预警;透视投影;视频监控;安全空间

中图分类号:TP309

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)02-0237-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.02.059

A Surveillance Technology for Virtual Security Space Based on Computer Vision

LU Zhen-yu, GUO Xing, WEI Sai, WANG Lei

(School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: With the rapid development of modern industry, the modern industry's security requirements are also getting higher and higher. In the work environment, due to some reasons such as the operator's attention, judgment, the limit of the visual range, prone to occur accident when the operating equipment exceeds the warning line. Using computer vision technology, a virtual secure space early warning technology is proposed, through the two camera to collect real-time environmental image, according to the perspective projection model and the three-dimensional position coordinates of the points in the corrected image and the two camera coordinate position, to calculate the physical coordinate of target object, then according to the physical coordinate to calculate the distance between the object and the virtual secure space, comparing with the safe distance, to achieve early warning. Simulation results show that this warning technology has good real-time performance and accuracy, can meet the requirements of early warning in a certain range.

Key words: computer vision; warning system; perspective projection; video surveillance; security space

0 引言

随着经济的快速发展,国家的工业水平越来越发达,同时这些工业对安全的要求越来越高。这些工业也要求工作人员能在安全空间内安全工作,比如变电站,当工作人员在维护一个周围存在高压电的危险环境中,稍不注意,就有可能造成触电事故。因此,在变电站需要维护的区域构造一个安全的工作空间,保障其中维护人员的人身安全是很有必要的。目前,在电

力变电站外围使用部署电子围栏^[1],使用红外线对射^[2]、脉冲探测^[3]、张力检测^[4]等方法,虽然可以防止外人进入变电站,但此类技术都是以线为探测对象,线与线之间存在间隙,不能完全覆盖一个面,从而出现漏检情况,同时由于射线发射装置成本较高,这也导致了整个电子围栏成本较高^[5]。因此若以此类技术作为工作人员的防护体系的技术基础,并不能有效地避免人员伤亡。如果能够构造一个以面为单位的感应立体空间,使得维护人员从任何地方走出立体安全空间,系统

收稿日期:2013-05-04

修回日期:2013-08-12

网络出版时间:2013-11-29

基金项目:安徽大学青年科学研究基金(2009QN0019B);安徽省自然科学基金青年基金项目(11040606Q07);高校省级重点自然科学基金项目(kj2010A023);安徽大学青年骨干教师培养对象经费资助项目

作者简介:卢振宇(1986-),男,硕士研究生,研究方向为计算机视觉;指导教师:吴建国,教授,享受国务院特殊津贴,博士生导师,研究方向为计算机视觉、人工智能。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131129.0826.001.html>

都会报警。文中利用计算机视觉技术,提出了一种以面为探测对象的安全空间预警系统,系统构造出一个虚拟的空间,利用双摄像头对工作环境空间进行监控,一旦工作人员走出安全空间,系统进行报警提醒发出报警信息,极大地提高了变电站工作人员的安全性。

1 系统设计

将两个广角摄像头 Cam₁ 和 Cam₂ 固定在同一支架上,两个摄像头主轴线方向保持平行且两镜头轴心连线与虚拟空间其中一个面保持平行,如图 1 所示。

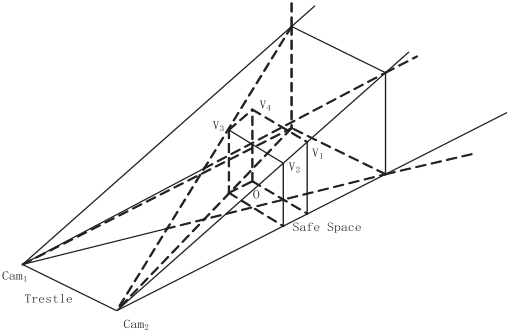


图 1 系统结构示意图

两个摄像头分别采集当前环境的实时图像,获取目标物的二维坐标,然后再由透视投影模型及摄像头与标定板之间的距离,将目标物在视平面上的二维映射点坐标转换为虚拟设定平面上的三维物理坐标,将其分别与两个摄像头连接,得到空间中的两条直线,而这两条直线的交点就是目标物在空间中的位置,再计算目标点 O 所在的空间坐标 (O_x, O_y, O_z), 并与设定的安全空间顶点进行比较,当目标点 O 的坐标超出安全空间的坐标范围时,系统发出预警信息。系统主要由设定模块、畸变矫正模块、人体检测模块、目标位置定位模块和预警模块组成。系统流程如图 2 所示。

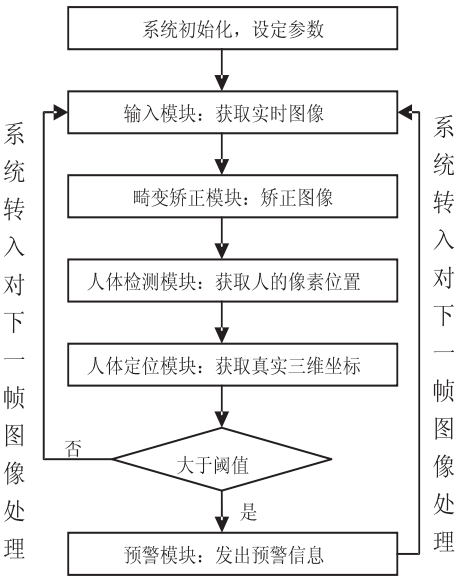


图 2 系统流程图

2 系统实现

2.1 系统设定模块

系统设定模块主要完成一些系统工作需要的参数设定,以及栅栏的安全平面顶点设定工作。

将一个带有刻度的直尺,刻度放入摄像头前方,刻度平面要与两个摄像头连线平行。记下此时直尺平面距离摄像头中心的距离 d,如图 3 所示。此图就是测量摄像头之间的距离,如图所示为 100 mm,因为摄像头的像素为 640 * 480,所以就可以知道每 mm 是 6.4 个像素。

同时,还应根据具体的安装环境与施工文档的要求,合理地设置系统的安全空间上中心点 C_{safe},以及空间的长 L_{safe}、宽 W_{safe}、高 H_{safe}。



图 3 摄像头中直尺距离所占像素个数

2.2 畸变矫正模块

摄像头的畸变主要分为两大类^[6],一类是径向畸变,主要是由于透镜制造工艺即现实中常用的球形透镜引起的,在实际情况下,这种畸变比较小,一般用泰勒级数展开的前两项表示:

$$x_{corrected} = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \tag{1}$$

$$y_{corrected} = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \tag{2}$$

其中, (x,y) 是畸变点在摄像头上的原始位置; (x_{corrected}, y_{corrected}) 是校正后的新位置; r 为畸变点在成像仪上的原始位置到成像仪中心的距离,成像仪中心位置的畸变为 0。

另一类则是由于摄像头在组装过程中透镜不完全平行于成像平面所形成的切向畸变,切向畸变可用下式表示:

$$x_{corrected} = x + [2p_1y + p_2(r^2 + 2x^2)] \tag{3}$$

$$y_{corrected} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2x] \tag{4}$$

该系统使用 OpenCV 库提供的函数来进行畸变校正。

```
cvCalibrateCamera2( object_points,
image_points, point_counts,
img_size, camera_matrix, dist_coeffs,
&rot_vects, &trans_vects, flags );
cvInitUndistortMap( camera_matrix,
dist_coeffs, mapx, mapy );
cvRemap( t, rst, mapx, mapy );
```

系统首先使用 `cvCalibrateCamera2` 函数获取畸变参数 `dist_coeffs` 和摄像头内参矩阵 `camera_matrixc`, 再通过函数 `cvInitUndistoriMap` 计算畸变映射, 该映射将图像中的每个点与其映射位置关联, 最后由 `cvRemap()` 根据新映射的位置 `mapx` 和 `mapy` 生成校正后的图像 `rst`, 完成校正。

2.3 人体检测模块

人体检测采用的方法^[7-9]一般有光流法、帧差法、背景差法。光流法^[10-12]运算公式复杂, 计算量大, 不适用于实时性要求很高的场合; 帧差法^[13-14]就是用相邻的两帧进行差分, 然后根据设定的阈值, 将大于阈值的差别区域设为人体, 但是这种方法只能在人体快速移动的情况下才能检测出完整人体, 当移动稍微缓慢时, 检测出的人体会出现空洞, 不完整。背景差分^[15-16]的基本思想是选取视频图像序列的一帧或多帧不包含任何人体的图像作为参考图像, 然后将待检测图像与背景参考图像进行差分, 经过阈值划分的方法得到目标的二值化图像, 定义公式如下:

$$D_n(x, y) = \begin{cases} 1, & |f_n(x, y) - B_n(x, y)| \geq T \\ 0, & |f_n(x, y) - B_n(x, y)| < T \end{cases} \quad (5)$$

这种方法可以克服帧间差分法的缺点, 同时也可以比较完整和精确地对人体进行检测。但是此方法不能自适应环境的变化, 必须对背景进行实时的更新。

背景更新采用 Surendra 算法^[17], 该算法能够自适应地获取背景图像。它的主要思想是通过当前帧帧差图像找到物体的运动区域, 对运动区域内的背景保持不变, 而非运动区域的背景用当前帧进行替换更新, 这样经过一段时间就可以提取出背景图像。

2.4 目标位置定位模块

摄像头采用的是与人的视觉系统类似的透视投影成像模型^[18]。如图4和图5所示, 基本的透视投影模

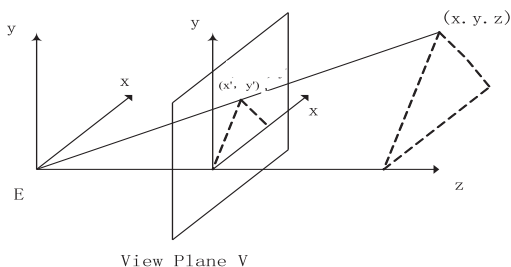


图4 基本透视投影模型

型由视点 E 和视平面 V 两部分构成。视点位置可以看做是摄像头中心的位置, 视平面则是摄像头的成像平面, 对于现实世界中的任意一点 (x, y, z) 与视点 E 的连线与视平面 V 的交点 (x', y') , 即为投影透视结果, 也就是其在成像平面上的一个成像点。

由摄像头的透视投影模型可知, 如果将任意一个带有尺度的直尺置于摄像头的前方, 使带有刻度的一

面平行于摄像头成像平面, 如图5所示, 假设直尺所在平面距离摄像头位置为 d , 设直尺所在的平面为 V_d , 此时世界物理空间中的点集合与平面 V_d 的点集合满足在摄像头视平面是一一映射关系, 即空间中任意一点与平面 V_d 中某一物理点在摄像头视平面上共一个成像点。假设目标物 O 在两个摄像头 Cam_1 和 Cam_2 的视界内, 则其在摄像头 Cam_1 和 Cam_2 的视平面 V_{cam_1} 和 V_{cam_2} 中分别存在一个成像点 $O'_1(x, y)$ 和 $O'_2(x, y)$, 由于视平面上的点集和平面 V_d 的点集满足一一映射关系, 则必然存在 O'_1 和 O'_2 在平面 V_d 上存在映射点 $O'_1(x, y, z)$ 和 $O'_2(x, y, z)$, 此映射点 O'_1 和 O'_2 为平面 V_d 上映射点的实际物理坐标, 而目标物就在摄像头与映射点 O'_1 和 O'_2 连线的交点上, 目标物 O 的坐标即为这两条线的交点坐标。由于精度的限制及误差的存在, 实际求出的两条线可能没有交点, 此时, 可以通过求两条空间直线公垂线段中点的方法, 近似地求出目标物 O 的坐标。

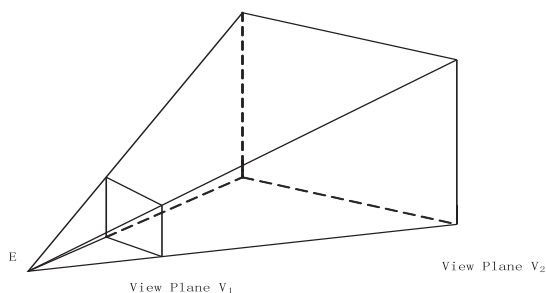


图5 锥体透视模型

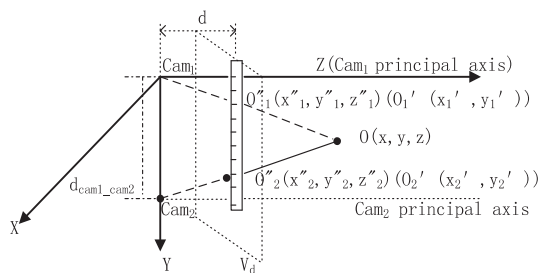


图6 目标物空间坐标计算示意图

建立一个空间直角坐标系, 如图6所示, 以摄像头 Cam_1 中心所在的位置为坐标原点 $C_1(0, 0, 0)$, 假设另一个摄像头 Cam_2 与摄像头 Cam_1 之间的距离为 $d_{\text{cam}_1\text{cam}_2}$, 则摄像头 Cam_2 所在位置坐标 C_2 为 $(0, d_{\text{cam}_1\text{cam}_2}, 0)$ 。由目标物 O 在视平面上的映射点 O' 再次映射到其在直尺平面 V_d 中 O'' 的过程, 实质上是一个由以像素为单位的二维图像坐标转化为以毫米为单位的三维物理坐标的过程。以摄像头 Cam_1 为例, $O'_1(x', y')$ 为目标物 O 在 Cam_1 视平面上所映射的点, 直尺平面 V_d 位于摄像头 Cam_1 的主轴线上, 且在距离 d 时, 图像中每一点相对于图像中心的 X, Y 方向的坐标就是直尺平面 V_d 每一点相对于摄像头 Cam_1 中心在直

尺平面 V_d 投影点的 X,Y 方向的坐标,而其在直尺平面 V_d 映射点 O^{\sim} 的 Z 轴坐标由直尺平面与摄像头之间的距离 d 决定,则在此坐标轴内,由图像坐标点 $O_1^{\sim}(x,y)$ 转化为物理坐标点 $O_1^{\sim}(x,y,z)$ 的公式如下:

$$\begin{cases} x'' = (x' - x'_{center}) \times (S/C_{cam1}) \\ y'' = (y' - y'_{center}) \times (S/C_{cam1}) \\ z'' = d \end{cases} \quad (6)$$

其中 $(x'_{center},y'_{center})$ 为成像平面中心坐标。

同理,可以求出目标物 O 在标定板 B_2 上所成的映射点 $O_2^{\sim}(x,y)$ 所对应的物理坐标 $O_2^{\sim}(x,y,z)$ 。

有了 $C_1、C_2、O_1^{\sim}、O_2^{\sim}$ 这四点空间坐标,由空间直线的关系,两线焦点即可求得目标物 O 的空间坐标。而事实上,由于精度的限制及误差的存在,直线 $C_1O_1^{\sim}$ 和直线 $C_2O_2^{\sim}$ 不一定会有交点,这时可以用这两条直线的公垂线的中点来代替目标点 O ^[19]。

2.5 预警模块

该系统提取人体的最上,最左,最右三个部位的空间坐标 $B_{left},B_{up},B_{right}$ 。以 B_{up} 为例,设求得的 B_{up} 的空间坐标为 (x_0,y_0,z_0) ,根据系统设定模块中设定的四个顶点,可以根据点到空间六个平面距离公式:

$$S = \frac{|Ax_0 + By_0 + Cz_0 + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (7)$$

获得目标物距离安全空间六个面的距离 $S_{up},S_{down},S_{left},S_{right},S_{front},S_{back}$ 。

若 $S_{up} + S_{down} > H_{safe}$,或 $S_{left} + S_{right} > W_{safe},S_{front} + S_{back} > L_{safe}$,则说明工作人员走出安全区域,此时由系统发出预警消息,则说明工作人员在安全区域内,不进行任何操作,针对提取的身体三个部位做同样报警提醒,保证了工作人员身体左右部位都在安全区域。

3 仿真实验对比与分析

预警系统能够成功预警的关键在于目标物三维坐标的定位,因此仿真实验通过计算目标物在三维坐标的误差来近似表示系统的误差。首先测量目标物与摄像头之间的实际距离,再由预警系统算出其与摄像头之间的距离,最后计算误差。实验采用主频为 Core i3-1.70 GHz、内存为 4 GB 的计算机和普通摄像头,摄像头采集的图像分辨率为 640×480,实验结果如表 1 所示,并将实验结果与表 2^[20] 的传统的测距结果进行了比较。

由表 1 和表 2 的数据可以得出结论,在目标距离小于 3 000 mm 时,采用文中所提出的测距方法和传统的测距方法误差均小于 3%,这说明该系统还是达到了一定的精度的,满足实际应用需求;但是,当距离大于 3 000 mm 时,实验方法所测得的数据误差明显小于

传统测距方法的误差。从表 1 中数据可以看出,对于实验方法,当距离太远或者太近时,由于人体距离摄像头太近或者太远,摄像头中人体成像太大或者太小,而造成两个摄像头中采用的匹配像素点一致性误差更大,造成的误差更大。当距离很远时,对于像素尺寸和成像平面大小固定的摄像头来说,目标在像平面上的成像很小,这时会产生较大的误差,在实际的应用中,可以使用两个长焦、广角的摄像头减小此误差。由于实时性也是衡量预警系统性能的一个重要方面,因此,对计算时间进行了记录,系统对每帧图像的计算时间均小于 15 ms,满足实时性要求。

表 1 测量结果及误差

实验距离/mm	实验方法测定距离/mm	误差/%
1 000.0	1 018.4	1.84
1 500.0	1 525.9	1.73
2 000.0	2 030.4	1.52
2 500.0	2 462.5	1.5
3 000.0	3 027.6	0.92
3 500.0	3 471.6	0.81
4 000.0	4 039.6	0.99
4 500.0	4 556.3	1.26
5 000.0	4 913.1	1.74
5 500.0	5 383.9	2.11
6 000.0	5 836.8	2.72
6 500.0	5 800.6	10.7

表 2 传统测距结果及误差

实验距离/mm	实验方法测定距离/mm	误差/%
1 100.0	1 111	1.00
1 670.0	1 704	2.04
2 240.0	2 323	3.71
2 810.0	2 840	1.07
3 380.0	3 194	5.50
3 950.0	4 259	7.82
4 520.0	4 911	13.08
5 090.0	5 111	0.41
5 660.0	6 389	12.88
6 230.0	8 519	36.74
6 800.0	12 788	87.91

4 结束语

提出了一种基于计算机视觉的电力栅栏虚拟安全空间视频监控系统的实现方法,该方法利用双摄像头,通过测量两个摄像头之间的距离等数据,采用了一种不同于传统的计算机双目视觉测距的方法,利用求空

间直线交点的方法近似地计算出目标物的空间三维坐标,再判断出目标人物是否在安全空间内。由于摄像头成像能力的限制,以及测量距离的误差,利用该方法所测得距离与实际距离之间会存在一定的误差,但是完全可以满足使用需求。并且该方法抛弃了传统双目视觉测距所需要的通过特殊标定板进行复杂的摄像头标定工作,使得此系统具有安装简单、高实时性等特点,具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] Zhao Chunxia, Chang Wensen. Design and implement of multi-functional monitoring system for the suspension and guidance system of maglev train [C]//Proc of international conference on measuring technology and mechatronics automation. [s. l.]: [s. n.], 2009:20-22.

[2] Yao Yachuan, Yao Yi, Song Hong. The remote monitoring system based on the OPC technology [C]//Proc of international workshop on intelligent systems and applications. [s. l.]: [s. n.], 2009:18-20.

[3] 杨武,王小华,荣命哲,等. 基于红外测温技术的高压电力设备温度在线监测传感器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(9):113-117.

[4] 祝晓辉. 基于图像处理的电力设备识别方法研究[D]. 保定:华北电力大学, 2007.

[5] 张浩. 图像识别技术在电力设备在线监测中的应用[D]. 北京:北京交通大学, 2009.

[6] Bradski G, Kaehler A. Learning OpenCV [M]. USA: O'Reilly Media, 2008:375-378.

[7] 舒文. 实时场景下的运动目标检测技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2007.

[8] 裴巧娜. 基于光流法的运动目标检测[D]. 北京:北方工业

大学, 2009.

[9] 王欢. 运动目标检测与跟踪技术研究[D]. 南京:南京大学, 2009.

[10] 杨叶梅. 基于改进光流法的运动目标检测[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(9):108-110.

[11] Talukder A, Matthies L. Real-time detection of moving object from moving vehicles using dense stereo and optical flow [C]//Proc of IEEE conference on intelligent robots and systems. [s. l.]: [s. n.], 2004.

[12] Wixson L. Detecting salient motion by accumulating directionally consistent flow [J]. IEEE trans on pattern analysis and machine intelligence, 2000, 22(8):774-780.

[13] Lipton A, Fujiyoshi H, Patil R. Moving target classification and tracking from real-time video [C]//Proc of IEEE workshop on application of computer vision. Princeton, NJ: [s. n.], 1998:8-14.

[14] 王孝艳, 张艳珠, 董慧颖, 等. 运动目标检测的三帧差算法研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2011, 30(6):83-86.

[15] 朱明早, 罗大庸, 曹倩霞. 帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测算法[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(3):215-217.

[16] 曹丹华, 邹伟, 吴裕斌. 基于背景图像差分的运动人体检测[J]. 光电工程, 2007, 34(6):107-111.

[17] Gupte S, Masoud O, Martin R F K, et al. Detection and classification of vehicles [J]. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2002, 3(1):37-47.

[18] Hearn D, Baker M P. Computer graphics with OpenGL [M]. 3rd ed. London: Prentice Hall, 2003:438-455.

[19] 郭星, 刘政怡, 李炜, 等. 一种大屏幕人机交互系统的实现方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(1):176-179.

[20] 徐杰, 陈一民, 史志龙. 双目视觉变焦测距技术[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2009, 15(2):169-174.

(上接第 236 页)

元数据信息发布平台相关联, 可以成为图书馆为教学科研提供服务保障的一种途径。

参考文献:

[1] 张晓娟, 望俊成, 张洁丽, 等. 我国信息资源整合的研究进展分析[J]. 情报科学, 2009, 27(10):1545-1550.

[2] 杨敏, 张斌. 浅议文献传递服务[J]. 图书馆学研究, 2005(4):80-82.

[3] 李菲, 徐恺英, 孙岩, 等. 基于“Living books”的图书馆潜在知识转移模型构建[J]. 情报科学, 2011, 29(12):1889-1891.

[4] 金业阳. 高校图书馆用户抱怨行为研究[J]. 情报理论与实践, 2005, 28(4):406-408.

[5] 毛有桂. 21 世纪的 MARC 格式-MARC2 [J]. 图书馆建设, 2003(3):43-45.

[6] 贾宇群. CNMARC 格式中 330 字段的著录[J]. 大学图书馆

报学刊, 2009, 27(5):54-56.

[7] Haslhofer B, Klas W. A survey of techniques for achieving metadata interoperability [J]. ACM computing surveys, 2010, 42(2):1-42.

[8] 李保利, 陈玉忠, 俞士汶. 信息抽取研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2003(10):1-6.

[9] Nadeau D, Sekine S. A survey of named entity recognition and classification [J]. Lingvisticae investigationes, 2007, 30(1):3-26.

[10] Etzioni O, Cafarella M, Downey D, et al. Unsupervised named-entity extraction from the Web: An experimental study [J]. Artificial intelligence, 2005, 165(1):91-134.

[11] Lagoze C, van de Sompel H. The making of the open archives initiative protocol for metadata harvesting [J]. Library hi tech, 2003, 21(2):118-128.

[12] Maslov A, Creel J, Mikeal A, et al. Adding OAI-ORE support to repository platforms [J]. Journal of digital information, 2010, 11(1):1368-1376.

基于计算机视觉的虚拟安全空间预警技术

作者：[卢振宇](#)，[郭星](#)，[魏赛](#)，[汪磊](#)，[LU Zhen-yu](#)，[GUO Xing](#)，[WEI Sai](#)，[WANG Lei](#)

作者单位：[安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥, 230601](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

ISTIC

年，卷(期)：2014(2)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201402060.aspx