

# 一种可视化智能户外监控系统

刘晓冬 苏光大 周全 田超

(清华大学电子工程系图象图形研究所, 北京 100084)

**摘要** 针对目前流行的可视化监控系统存在的缺陷, 研制了一种利用计算机系统辅助完成运动目标自动检测和分类的智能化监控系统; 并针对户外监控场景复杂、干扰大, 人体识别困难等问题, 提出了检测块、提取函数、特征点等概念, 以及基于影子模式的投影直方图技术, 基于时空信息的累加和技术和基于边缘检测的几何模型技术等关键技术, 以解决户外复杂背景下的人体识别困难问题, 以降低户外监控的漏警率和误警率。

**关键词** 监控系统 可视化 智能

中图法分类号: TP273.5 TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)12-1024-06

## A Visual Intelligent Outdoor Surveillance System

LIU Xiao-dong, SU Guang-da, ZHOU Quan, TIAN Chao

(Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** Aiming at the shortcomings of prevalent visual surveillance system, an intelligent surveillance system which can accomplish automatic detection and classification of moving objects by making use of the computer system is presented in this paper. It mainly consists of such modules as cameras, video capturing, change detection, classification, human interface, alarm log and image database etc. Because current image difference technique raises some problems as refreshing frequency of reference image and binary threshold selection problems after subtraction of pixel brightness, such concepts as detecting block, extraction function, binary output function are introduced in this paper to resolve these problems. In addition to, there are complex scenes and lots of disturbance in outdoor environments, so some key techniques such as projection histogram of silhouette pattern, accumulation based on space-time information and geometric model based on edge detection are presented to solve the difficulty of human body recognizing and decrease the ratio of missing alarm and false alarm.

**Keywords** Surveillance system, Visualization, Intelligence

## 0 引言

传统的监控系统主要是通过带有如下传感器的设备实现的:

- (1) 红外传感器. 它主要是检测温度的变化.
- (2) 容积传感器. 它主要敏感于密闭房间内的压力变化.
- (3) 电接触传感器. 它主要响应诸如门打开之类的动作.

由于上述设备都存在着监控人员无法验证警报

确切性的缺陷, 因此, 近年来逐渐出现了可视化监控系统<sup>[1]</sup>. 它通常是由连接到一套电视监视器上的一个或多个摄像机组成的. 虽然这种系统实现了人们“眼见为实”的愿望, 但同时它也要求监控人员不停地监视屏幕, 通过解释获得的视频信息, 然后做出相应的决策. 但让监控人员长期盯着众多的电视监视器也是一项繁重的工作, 特别是当监控点较多时, 监控人员几乎无法做到完整全面地监控. 为此, 我们开发研制了一种可视化智能监控系统.

该系统是利用计算机辅助监控人员完成监控任务, 即计算机系统负责完成运动目标的自动检测和

分类, 并负责维护图象序列数据库, 只有异常情况发生时, 计算机系统才发出预警, 以提醒监控人员, 并将存储在数据库中包含有警报原因的图象序列回放在监视器上. 这种方法不仅降低了监控人员的劳动强度, 而且克服了可能的人为失误.

在环境条件改变较小的情况下(如室内), 可以采用简单的当前图象与背景图象相减或连续的帧间相减的方法来检测出运动目标. 但在存在着各种不同干扰的户外, 由于光线变化和背景目标的运动(如树叶)都将引起虚警, 因此在复杂的户外场景中, 通过使用图象序列来检测、识别和选择出运动目标是计算机视觉领域最困难的任务之一<sup>[2,3]</sup>, 同时也是制约户外监控的主要因素之一. 为此, 提出了一系列技术以解决该问题, 从而使得户外监控成为可能.

### 1 总体结构及模块定义

一个可视化智能户外监控系统主要是由电视摄像机、图象获取模块、变化检测模块、分类模块、人机接口模块以及数据库等组成(见图 1).

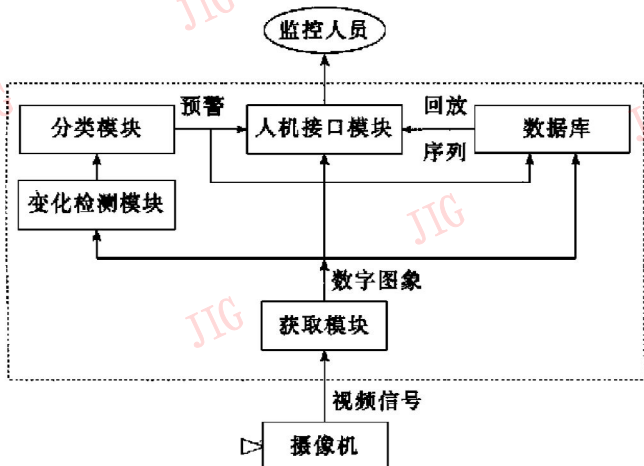


图1 可视化智能户外监控系统结构图

该系统首先将电视摄像机拍摄的模拟视频信号经获取模块处理后形成数字图象序列(一般, 图象获取模块主要是由带 A/D 转换器的视频捕获卡构成); 然后数字图象同时被发送给变化检测模块、人机接口模块和数据库. 在正常情况下, 人机接口模块将在监视器上直接通过显示获得数字视频序列. 虽然变化检测模块的基础仍是普遍采用的帧间相减技术, 但是目前的图象差值技术存在着如下问题:

(1) 首先是参考图象的刷新问题. 一个低的刷新频率可以导致图象差值对户外光线变化的敏感; 相反, 一个高的刷新频率将导致灵敏度的严重下降,

特别是无法检测到相对慢速的运动物体, 因此, 为了解决这个问题, 需首先引入检测块的概念.

**定义 1** 对于一个宽为  $W$ , 高为  $H$  的图象, 以  $W/n$  为单位等分宽, 以  $H/m$  为单位等分高, 从而得到  $m \times n$  个小图象区域, 每个小区域称为一个检测块.

当物体运动时, 将从一个检测块进入另一个检测块, 通过测量单位时间内运动物体穿越的块数, 即可获得该物体的运动速率. 如果目标运动速率较慢, 则系统自动降低当前的刷新频率, 否则, 系统自动升高当前的刷新频率, 从而确保运动目标的正确捕获. 这种自适应调节方案解决了固定刷新频率存在的矛盾.

(2) 其次, 目前的图象差值技术还存在着象素灰度值相减后二值化时的阈值选择问题. 特别是在低对比度图象的情况下(如暗处), 由于灰度值变化太小而难以区分移动目标区域和噪音区域, 这样将造成运动目标的大部分被遗失, 因而出现漏警现象. 为了解决该问题, 也需首先定义一个提取函数.

**定义 2** 设  $C_k = \{c_k(x, y)\}$  代表当前图象,  $R_k = \{r_k(x, y)\}$  代表参考图象, 其中  $(x, y)$  为象素点的坐标,  $0 \leq c_k(x, y), r_k(x, y) \leq 255$ , 则函数  $E_k(c_k(x, y), r_k(x, y))$  定义如下:

$$E_k(c_k(x, y), r_k(x, y)) = 1 - \frac{2\sqrt{c_k(x, y)r_k(x, y)}}{c_k(x, y) + r_k(x, y)} \quad (1)$$

这里函数  $E_k(c_k(x, y), r_k(x, y))$  称为提取函数.

易知, 式(1)中  $0 \leq E_k(c_k(x, y), r_k(x, y)) \leq 1$ . 不妨设阈值为  $T$ , 则  $T \in [0, 1]$ .

**定义 3** 基于提取函数  $E_k$  的二值化输出函数  $B_k(x, y)$  定义如下:

$$B_k(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } E_k(c_k(x, y), r_k(x, y)) > T \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

提取函数  $E_k(c_k(x, y))$  在  $r_k(x, y) = 5$  和  $r_k(x, y) = 50$  两种情况下的变化曲线如图 2 所示. 当  $c_k(x, y) = r_k(x, y)$  时, 提取函数  $E_k$  取最小值 0. 随着

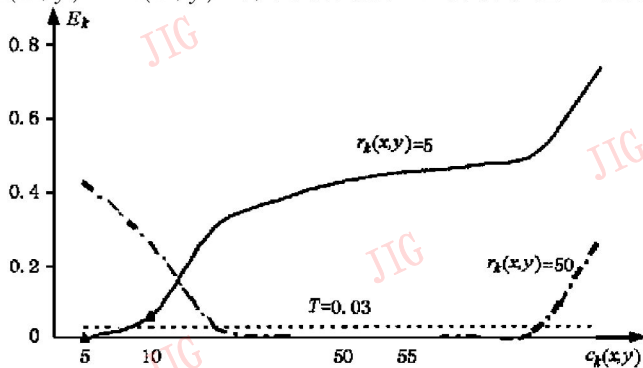


图 2 提取函数  $E_k$  变化曲线图

$c_k(x, y)$  和  $r_k(x, y)$  间的差值增加, 提取函数的值也随之增加. 特别是在  $r_k(x, y) = 5$  的情况下,  $E_k$  增长更快. 这意味着, 如灰度值有一个较小的改变, 在低灰级区能被检测出来, 而在中(或高)灰级区则有可能被忽略. 即提取函数能够根据像素的灰度级自动调整图像差值的灵敏度, 这是简单相减所无法做到的.

从图2可见, 通过检验如下两种情况, 即可了解各灰度级区的提取情况: 一是低灰度级区的点 ( $c_k(x, y) = 10, r_k(x, y) = 5$ ); 一是中等灰度级区的点 ( $c_k(x, y) = 55, r_k(x, y) = 50$ ), 此时提取函数的阈值  $T = 0.03$ , 且在以上两种情况下,  $c_k(x, y)$  和  $r_k(x, y)$  间的差值均为 5. 检验结果为: 其中, 低灰度级区的点使  $B_k(x, y) = 1 (E_k = 0.057191 > T)$ , 从而被提取; 而中等灰度级区的像素点将被忽略 ( $E_k = 0.001134 < T$ ). 这进一步证实了提取函数能够根据像素的灰度级进行提取, 从而解决了低灰度级区的漏警现象.

该可视化智能户外监控系统的变化检测模块在检测到运动目标, 并经分类模块处理后, 即将人从其它运动物体(如树叶、宠物等)中分离出来. 如果确实检测到了人的存在, 则分类模块就发出预警信息, 该预警信息一方面直接发往人机接口模块, 并驱动语音以唤醒监控人员的注意; 另一方面则发往图象序列数据库, 然后将刚刚存储在数据库中的包含警报原因的图象序列提取出来, 并通过人机接口回放在监视器上. 其中, 分类模块的人体识别功能是图象处理, 也是户外监控的难点和关键.

## 2 复杂背景下的人体识别技术

户外监控要求对运动人体的识别, 能够排除各种复杂背景的干扰(如树叶的摇曳). 而排除各种干

扰的一些关键技术有如下一些.

### 2.1 影子模式的投影直方图技术

经提取函数  $E_k$  处理后, 由输出函数  $B_k$  输出的运动目标影子模式, 可以事先通过多次实验以获得沿不同方向、不同速度运动的人体影子模式; 然后对这些人体影子模式分别进行横、纵投影直方图运算. 不妨设某一实验条件下,  $B_k$  输出的影子模式图象  $SP$  为  $m \times n$  矩阵(见式3). 其中  $SP[x, y] \in \{0, 1\}$ ,  $x \in [1, n], y \in [1, m]$ .

$$\begin{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix} & \rightarrow & \begin{matrix} C_1 \\ \\ C_2 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} \quad (3)$$

$m \times n$

式中,  $C_1$  为横投影直方图变化区间下限;  $C_2$  为横投影直方图变化区间上限;  $L_1$  为纵投影直方图变化区间下限;  $L_2$  为纵投影直方图变化区间上限.

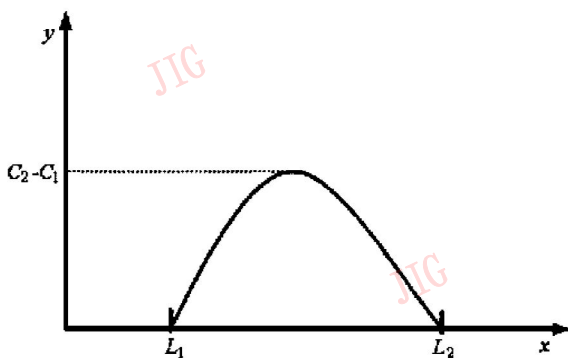
**定义4**  $x$  列纵投影  $VP_x$  为该列上 1 的个数, 其计算公式为

$$VP_{x \in [1, n]} = \sum_{y=1}^m SP[x, y] \quad (4)$$

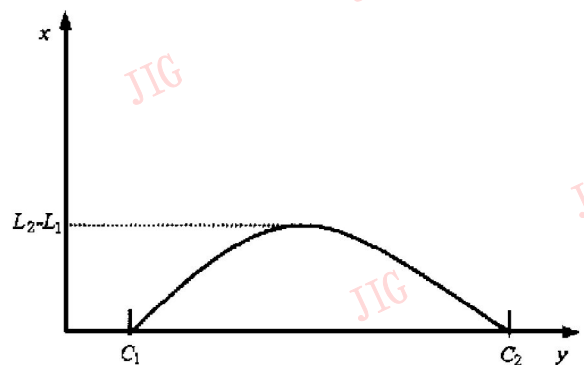
**定义5**  $y$  行横投影  $HP_y$  为该行上 1 的个数, 其计算公式为

$$HP_{y \in [1, m]} = \sum_{x=1}^n SP[x, y] \quad (5)$$

根据式(3)和式(4)可以得到  $SP$  的纵投影直方图(见图3(a)). 根据式(3)和式(5)可以得到  $SP$  的横投影直方图(见图3(b)).



(a) 纵投影直方图



(b) 横投影直方图

图3 影子模式图象  $SP$  的横纵投影直方图

根据  $SP$  的横纵投影直方图进一步提取出以下两个人体特征参数: ①参数  $P_1$  为纵投影直方图的标准偏差; ②参数  $P_2$  为横纵投影直方图的变化区间之比  $((C_2 - C_1) / (L_2 - L_1))$ . 这样便得到一个反映人体特征的特征参数对集合  $F = \{(P_{1i}, P_{2i}) \mid i = 1, 2, \dots, k, k \geq 1\}$ .

一般, 从实际场景中得到的运动目标影子模式按上述方法求出横纵投影直方图后, 即可进一步计算出其特征参数对  $(P_{1r}, P_{2r})$ , 然后将该特征参数对, 与  $F$  集合中的元素按下式依次匹配.

$$|P_{1r} - P_{1i}| < \epsilon_1, \text{ 且 } |P_{2r} - P_{2i}| < \epsilon_2, i = 1, 2, \dots, k \quad (6)$$

若存在某一元素使式(6)成立, 则表明该特征参

数对与某一标准人体特征参数匹配(误差不大于  $\epsilon_1, \epsilon_2$ ), 也即表明该运动目标为人, 系统就发出预警.

当人体某区域灰度值变化较为平坦时, 可能会在影子模式中产生空洞现象, 这将对计算结果产生影响. 此时可利用文献[4]中提出的补空洞技术加以补偿, 从而得到一个没有损失的运动目标视图. 图 4 的上排从左至右依次给出了摄像机采集的由远及近运动人体数字图象、影子模式、补偿影子模式及其横纵投影图; 下排从左至右依次给出了由左及右运动人体的摄像机采集数字图象, 影子模式, 补偿影子模式及其横纵投影图.

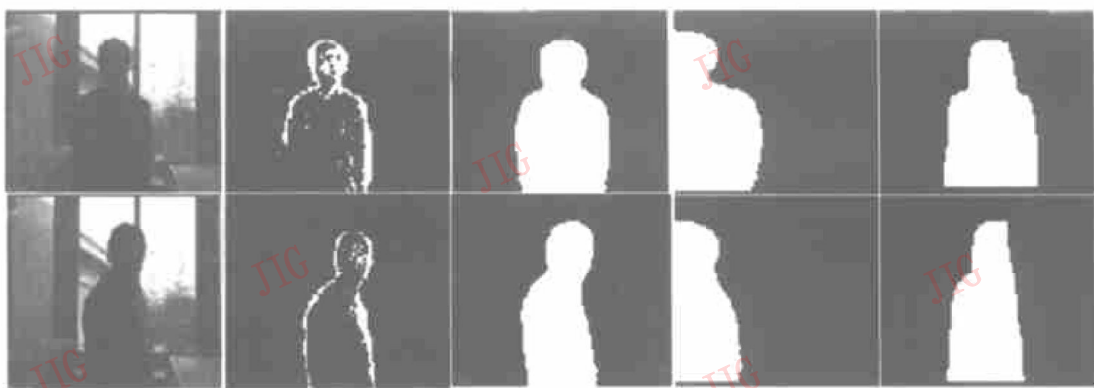


图 4 运动人体影子模式及横纵投影例图

### 2.2 基于时空信息的累加和技术

虽然利用检测块技术不仅可以检测目标的运动速率, 还可以检测目标的运动方向. 但要检测目标运动方向, 需首先确定一个坐标, 因此对于包含  $m \times n$  个检测块的图象, 不妨设左上角为坐标原点. 这样当一个目标从  $(i, j)$  块运动到  $(k, l)$  块  $(1 \leq i, k \leq m, 1 \leq j, l \leq n)$  时, 通过比较  $i, k$  和  $j, l$  间的大小, 即可获得该物体的运动方向. 例如, 当  $i = k, j < l$  时, 该物体为向右运动; 当  $j = l, i < k$  时, 该物体为向下运动.

通过分析人体的运动特征发现, 在一个较短的

时间间隔内, 人体将在空间沿着某一固定的方向运动(见图 5(a)). 而树叶的摇曳则是随机摆动的(见图 5(b)).

基于上述时空特征, 在对运动目标进行分类识别时, 可以采用如下算法: 在一定的时间范围  $(t_2 - t_1)$  内, 以时间间隔  $\Delta t (\Delta t < t_2 - t_1)$  为单位检测目标的运动方向, 若目标沿着某一方向运动, 则在代表该方向的特征量上累加 1. 最后, 若该目标在某一方向上的累加大于阈值  $T_p$  时, 则表示该目标可能是人, 系统即发出预警. 否则, 表示树叶的摆动, 可忽略之.

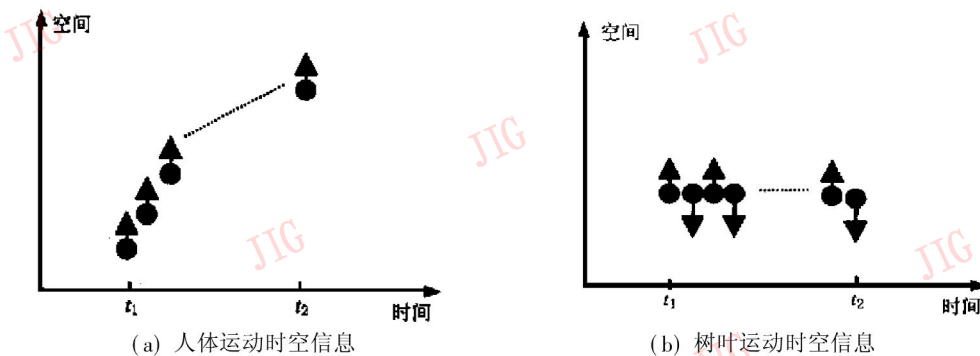


图 5 人体与树叶运动特征比较

采用该方法时, 阈值  $T_p$  的选取至关重要, 因为树叶的摆动也有可能在一方向形成一定的累加和. 但与人的运动相比, 该累加和一般较小, 所以只要通过多次实验选取适当大小的  $T_p$  将其屏蔽掉即可.

### 2.3 基于边缘检测的几何模型技术

由于考虑到物体的边、角、峰、谷等局部视图区

域最富有结构、纹理和运动信息, 因此可以先采用边缘检测技术(如 Sobel 滤波)来获得目标的边缘图象. 然后将获得的目标轮廓抽象成圆柱几何模型(见图 6(a)), 并利用数学方法求出各子部分圆柱的质心, 称之为特征点(见图 6(b)).

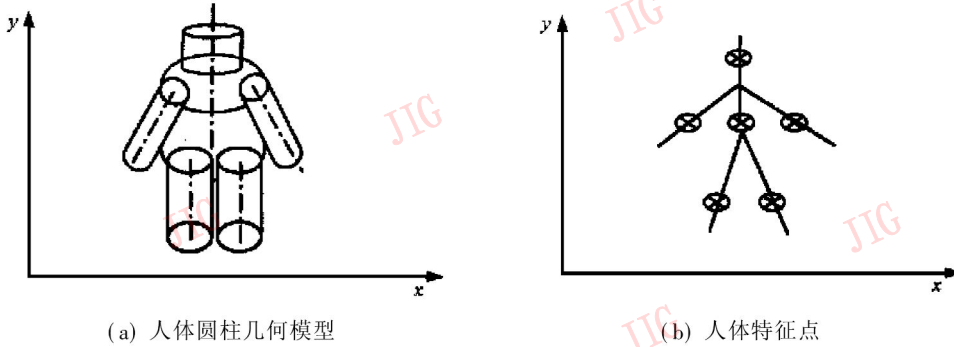


图6 人体几何模型及其特征点

因为根据人体生理特征和运动特征, 各特征点间存在着一定的距离比例关系和方位关系, 因此在检测过程中可通过将各目标的特征点间的距离比例参数和方位参数与人体相应的标准参数进行比较, 若在一定的误差允许范围内, 则表明该目标是人, 系统即发出预警.

为了进一步提高监控系统的识别可靠性, 可以考虑综合利用以上3项技术, 即不妨设  $H_1$  代表利用影子模式的投影直方图技术进行人体识别的功能模块;  $H_2$  代表利用基于时空信息的累加和技术进行人体识别的功能模块;  $H_3$  代表利用基于边缘检测的几何模型技术进行人体识别的功能模块. 则可以在系统中同时运行这3个模块, 每个模块在检测到人体时将输出“真”, 否则为“假”. 由这3个模块加一个表决程序即形成一个屏蔽冗余结构(见图7).

DELL PIII 500 PC 机上运行. 并在杭州九溪玫瑰园别墅区对3 000幅不同的户外场景进行了测试. 其中2 000幅来自于人体运动, 1 000幅来自于其它的场景变化, 包括树叶的运动, 飞虫的运动以及光线的变化. 测试结果如表1所示.

表1 可视化智能户外监控系统测试结果

检测结果	人体运动 (2 000 幅)	其它场景变化(1 000 幅)		
		树叶(498)	飞虫(310)	光线(192)
报警(人)	1 981	0	42	7
不报警(非人)	19	498	268	185

从表1可以看出, 该系统对人体运动的正确检测率可以达到99.05% (1 981/2 000), 其中19例漏警均为夜间无灯光照射处, 运动人体被黑暗的背景所淹没, 从而无法在图象序列中检测到变化所致, 而在红外灯光能照射到的监控区域内, 即使离摄像机较远(40m)处的人体运动, 也能被很好地检测到, 由此可见, 只要在夜间能够合理地布置光源, 就可以进一步地降低人体检测的漏警率. 此外, 通过正确地选取阈值还可以完全屏蔽掉由树叶运动引起的误警. 从表1中可以看到本系统对树叶运动的正确检测率已达100%. 实验证明, 一般光线变化对传统红外监控的干扰较大, 特别是晴天光线较强时, 红外监控的误警率高达80%以上, 而本系统的光线变化误警率仅有3.64% (7/192). 事实上, 正常的光线变化不会对本系统造成影响, 只有剧烈的光线变化(如闪电)才有可能引起误警, 但是, 飞虫(如蛾子)的运动却对本系统的影响稍大, 可以引起13.55% (42/310)的

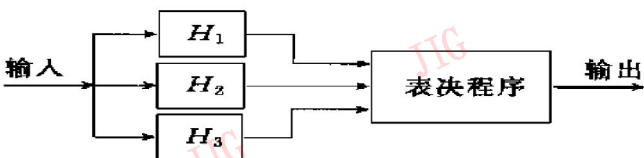


图7 提高识别可靠性的屏蔽冗余结构

其中表决程序作“3中取2”的表决. 只要  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  3个模块中的至少两个模块输出为“真”, 表决程序将输出“真”, 即表示检测到了人体目标, 这样也就屏蔽掉了任何一个模块可能出现的识别错误.

## 3 实验结果分析

上述的智能户外监控系统的原理样机已经在

误警率,这主要是由于摄像机经常与光源架设在一起,离光源较近的飞虫如果掠过摄像机镜头,将引起较大面积的且较剧烈的光线变化,从而引起误警,这也是此系统需要进一步研究和改进的地方。

## 4 结 论

本文介绍了一种新研制的基于视频序列结构的计算机辅助监控系统,并引入了检测块、提取函数等概念,解决了数字图象差值运算时存在的刷新频率、二值化阈值选择等问题,因而具有去噪防漏警功能。该系统是为杭州九溪玫瑰园别墅区户外监控研制的,它针对现场自然环境复杂,监控场景多(将近 200 个监控点)等特点,利用了影子模式的投影直方图技术、基于时空信息的累加和技术、基于边缘检测的几何模型技术以及屏蔽冗余结构等技术,因而大大提高了户外复杂场景中的人体识别率。通过对原理样机的测试,表明该系统具有很好的性能指标。

### 参 考 文 献

- 1 李振玉. 图象通信与监控系统. 北京: 中国铁道出版社. 1994.
- 2 Cravino F Delucca *et al.* DEKF system for crowding estimation by a multiple-model approach. *Electronics Letters*. 1994, 30(5): 390~ 391.
- 3 Regazzoni C S. A distributed extended kalman filtering network for estimation of multiple objects. *Electronics Letters*. 1994, 30(15): 1202~ 1203.
- 4 Michael Hotter, Robert Thoma. Image segmentation based on object oriented mapping parameter estimation. *Signal Processing*, 1988, 15: 315~ 334.



刘晓冬 1971 年生,现为清华大学电子工程系信息与通信工程专业博士后. 主要研究方向为监控系统、网络计算、操作系统、工程数据库. 已发表 20 余篇学术论文.



苏光大 1948 年生,清华大学电子工程系图象图形研究所,副教授. 毕业于清华大学电子系. 长期从事图象处理系统的教学和科学研究工作. 目前主要科研方向为人像识别和高速图象处理. 先后 5 次获部委级科技成果奖,发表论文 30 余篇.



周 全 1977 年生,现为清华大学电子工程系信号与信息处理专业硕士研究生. 主要研究方向为监控系统.



田 超 1976 年生,毕业于清华大学电子工程系,现为美国康奈尔大学硕士研究生. 主要研究方向为动态人体跟踪技术.

## 欢迎订阅《软件学报》

《软件学报》由中国科学院软件研究所主办,科学出版社出版,是中国计算机学会会刊。《软件学报》及时反映我国计算机软件研究的学术水平和应用成果,是计算机软件工程、技术及应用人员最好的参考书。《软件学报》被美国工程信息公司 Ei Page One 数据库和 Ei Compendex 数据库、英国科学文摘(SA)、中国科学引文数据库等国内外多家检索机构收录,成为展示我国软件科技成果的一个重要的国际窗口。

《软件学报》在 2001 年将由原来的 144 页增版至 160 页,但价格不变,定价仍然为 20.00 元。

国内邮发代号: 82-367 国外发行代号: M 4628

欢迎读者到当地邮局订阅,也随时欢迎大家提出宝贵意见和建议,并踊跃投稿,为推动计算机事业的发展共同做出努力。