

# YUV 颜色空间和图论切割的阴影去除算法

刘清, 秦秀丽, 文松柏, 郭建明  
(武汉理工大学自动化学院, 湖北 武汉 430063)

**摘要:**针对智能视频监控系统中阴影常由于其自身的属性而被错误地检测成前景目标的问题,提出了一种 YUV 颜色空间和图切割算法相结合检测阴影的新方法. 首先,在获取的前景运动区域中综合考虑 YUV 颜色空间的亮度和色度信息来检测阴影区域并融合形态学滤波等操作得到确定的阴影和目标种子点,然后进一步通过图切割算法获得阴影与目标的优化分割,以提高阴影区域的检测精度. 实验证明,该方法能有效地检测并去除视频监控场景中运动物体所携带的阴影.

**关键词:**前景分割;阴影去除;YUV 颜色空间;图切割

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-4785(2010)06-0556-05

## The algorithm of shadow-elimination based on YUV color space and graph theory

LIU Qing, QIN Xiu-li, WEN Song-bai, GUO Jian-ming  
(School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

**Abstract:** In intelligent video surveillance systems, the moving cast shadows are often mistaken as the object due to its own properties. Consequently, a YUV color space-based theory and a graph-theory-based shadow detection method were proposed to improve the quality of detection. First, the precise seeds of the foreground and shadow were obtained by the YUV color space based on the comprehensive consideration of luminance and chrominance information and morphological filtering. Then the maximum flow minimum cut graph theory algorithm was employed to obtain the optimized segmentation of the shadow and target. Experimental results show that the proposed method can detect and eliminate the cast shadow effectively.

**Keywords:** foreground segmentation; shadow elimination; YUV color space; graph-theory

视频序列图像的分析主要是针对图像序列中人们所感兴趣的部分进行的,也就是前景目标,比如运动的人和车辆等,而阴影的存在严重影响了运动目标提取的准确性. 所以,为了获取更好的分割结果,必须检测并去除阴影. 这也使得阴影检测成为近年来智能视频监控技术中研究的一个热点. 目前针对阴影检测消除的方法主要可以分为2大类:基于模型和基于阴影特征的方法.

基于模型的方法需要根据对象的形状、场景以及光照等先验条件建立相应的模型,通过统计分析来判别每个像素点是否属于阴影区域. 比如, Yoneyama 等设计了关于2-D车辆阴影联合模型的6种模式<sup>[1]</sup>,通

过跟踪车辆运动轨迹来判断消失点,确定用哪类模型对图像平面得到的运动前景进行匹配<sup>[2]</sup>. Collado 等则定义了车辆的几何模型<sup>[3]</sup>,并利用该模型的能量函数在图像中搜索匹配的车辆. 此类方法虽然在模型建立准确的前提下可以取得相对较好的检测效果,但模型建立的复杂度和计算时间与监控场景背景复杂度有很大的关系,一般只在一些特定的场景中采用该方法进行阴影的检测与去除.

基于特征的方法则是先提取出包含阴影的运动区域,然后通过颜色、纹理、梯度等特征来检测阴影区,最终将阴影和目标分开. 比如,在颜色方面, Cucchiara 等采用 HSV 颜色空间只对运动区域进行阴影检测与去除<sup>[3]</sup>,由于 HSV 颜色空间无法准确鉴别黑色车辆及其阴影,实验中对于黑色车辆及小型目标会发生丢失现象,需要通过合理设置阈值来改善检测效果. Horprasert 等在 RGB 颜色空间,利用归一

收稿日期:2010-03-05.

基金项目:湖北省自然科学基金资助项目(2009CDB403).

通信作者:刘清. E-mail:qliu2000@163.com.

化的亮度变化和色度偏移来识别阴影<sup>[4]</sup>. 运用基于颜色的方法对监控场景的光照变化较为敏感,如果物体的部分像素和阴影具有相似的颜色特征,以上方法极有可能会将这些物体像素误判为阴影<sup>[3]</sup>. 利用梯度特征进行检测,Chien 等人先假定监控场景中阴影部分的亮度值是缓慢变化的,然后采用梯度滤波器将输入图像中的阴影去除<sup>[3,5]</sup>. 该方法对背景单一、阴影较弱的室内场景有效,但对阴影边缘去除的效果不好. 在纹理方面,Leone 等用基于纹理的方法进行阴影检测<sup>[6]</sup>,首先利用阴影比其覆盖的背景灰度值小的特性,得到候选的阴影像素,然后采用优化的 Gabor 核函数提取候选点附近和相应背景点附近的 Gabor 特征值,如果这 2 个特征值相近,则认为纹理相似,判定为阴影像素. 该方法选取的核函数越多,检测性能越好,但计算也更复杂. 同时该方法适合运动物体和背景纹理差别比较大的情况<sup>[3]</sup>.

近年来有学者提出基于 2 类方法的融合来实现阴影的检测,如 Qin 等人<sup>[7]</sup>利用阴影的粗模型与 HSV 颜色空间结合的方法,但这只是对提高检测速率有一定成效. 本文考虑到基于模型方法的模型复杂度和计算时间都随着场景的复杂度而增加,选择基于 YUV 颜色空间的特征方法,同时为简化 YUV 检测阴影的阈值选取及后处理问题,在基于颜色空间检测的基础上引入了图切割算法方法以提高目标分割的鲁棒性. 即在前景运动区域中通过 YUV 阴影检测的约束条件得到确切的目标和阴影种子点后,再利用图论中的最大流最小切割算法在该运动区域上进一步分割,从而得到相对精确、平滑的前景目标图像.

## 1 阴影检测

### 1.1 YUV 颜色空间阴影检测

目前大多数视频采集设备所采集的图像都是基于 RGB 颜色空间,但该空间各分量之间相关性高、冗余信息多、计算量大. 考虑到 RGB 空间到 YUV 空间的转换过程是线性的,且 YUV 空间亮度信号  $Y$  和色度信号  $U, V$  是相互独立的. 本文选择在 YUV 颜色空间上结合形态学操作来获得置信度很高的阴影像素点集和前景目标像素点集.

RGB 颜色空间到 YUV 颜色空间的线性转换公式为

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B, \\ U &= -0.147R - 0.289G + 0.437B, \\ V &= 0.615R - 0.515G - 0.100B. \end{aligned} \quad (1)$$

对式(1)进行方程组近似变换得

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B,$$

$$U = (B - Y) * 0.565, \quad (2)$$

$$V = (R - Y) * 0.713.$$

很显然,式(2)较式(1)在计算上少了 4 次乘法,2 次加法,有效地提高了转换运算速率. 在对转换速率有特殊要求的场合,还可以选择文献[8]中提到的查表法,该方法不需要乘法运算,其方法相较于式(1)极大地提高了转换效率.

根据已有的视觉经验可知,在 YUV 颜色空间检测阴影的规则可以归纳如下:

**规则 1** 阴影区域中像素的亮度低于背景像素和前景像素的亮度;

**规则 2** 阴影区域中像素的色度与背景像素色度相比几乎相等.

假设输入视频序列中的某一帧图像上的某一个位置( $i$  处)对应的像素点为  $X_i$ ,令  $IC = (Y_c(X_i), U_c(X_i), V_c(X_i))$  为该像素点所对应的当前帧中的 YUV 颜色空间各分量信息值;  $IB = (Y_b(X_i), U_b(X_i), V_b(X_i))$  为该像素点所对应的背景帧中的 YUV 颜色空间各分量信息值. 检测中间结果用二值图表示,1 代表是前景像素点,0 代表是阴影像素点.

根据规则 1 有如下判断函数:

$$\text{PoutImg1}(X_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Y_c(X_i) - Y_b(X_i)| > T_Y; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

式中:  $\text{PoutImg1}(X_i)$  是根据亮度信息得到的带有前景和阴影分区的输出图像;  $T_Y$  为对应的亮度阈值.

根据规则 2 有如下判断函数:

$$\text{PoutImg2}(X_i) = \begin{cases} 0, & \text{if } |U_c(X_i) - U_b(X_i)| + |V_c(X_i) - V_b(X_i)| > T_{UV}; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

式中:  $\text{PoutImg2}(X_i)$  是根据色度信息得到的带有前景和阴影分区的输出图像;  $T_{UV}$  为对应色度阈值.

通过调整亮度阈值和色度阈值得到检测结果  $\text{PoutImg1}(X_i)$  和  $\text{PoutImg2}(X_i)$ , 并进行与操作得到最终检测结果;但由于场景中各种因素的影响,检测结果中往往会存在噪声或空洞现象,不利于后续的处理分析,故利用形态学操作中的开、闭等运算,合理选取腐蚀膨胀因子得到置信度很高的目标和阴影像素点.

YUV 颜色空间检测方法为获得相对精确的目标信息,在后处理操作上必须综合考虑腐蚀、膨胀结构元素大小以及连通性判断面积阈值的选取等问题,虽然可以得到比较接近运动目标轮廓的结果,但往往存在部分轮廓信息丢失或是多个目标合并的现象. 因

此,考虑引入图切割算法,根据由 YUV 检测得到的阴影和目标种子点集建立相应的统计模型,利用图切割的最小切割算法获得阴影与目标的优化分割,从而得到相对精确、干净、平滑的目标信息。

## 1.2 图论分割去除阴影

### 1.2.1 图论分割基本原理

基于图论的图像分割技术是近年来图像分割领域的一个新的研究热点,该方法基本思想为

1) 建立与欲解决问题相适应的网络图。

2) 确定该网络图中边的权值函数,使图像分割目标(能量最小化)对应图的最小割。

3) 寻求一种算法来求解最小割问题。

图 1 给出了一个  $3 \times 3$  的网络图  $G = (V, E)$  [9] 的图切割示例,其中  $V$  表示图中的所有结点的集合(一般情况下,结点对应于图像的像素、体素或是其他特征), $E$  表示图中所有连接结点的边的集合(像素之间的关系),每条边具有相应的权值,边的粗细代表了其权值的大小。运用图割算法最终将图像像素按其特征分割成了两大部分(图 1(d)所示)。

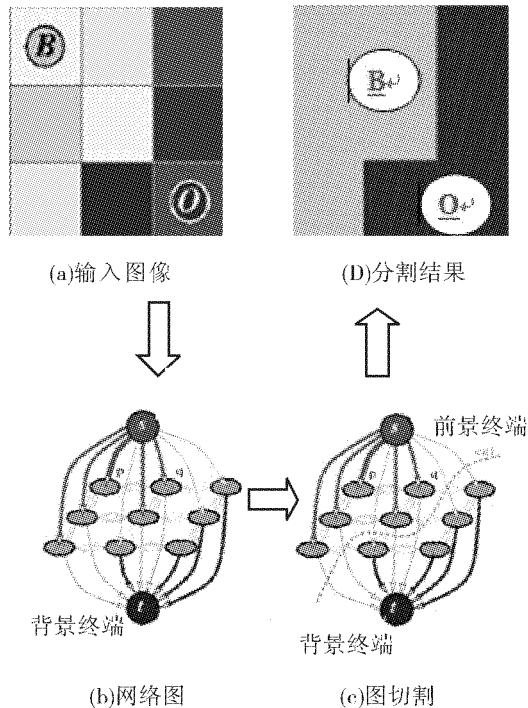


图 1 图切割示例

Fig. 1 An example of graph cut

### 1.2.2 图论分割去阴影

首先通过 YUV 检测得到的运动区域中前景和阴影像素信息值的集合,然后将其映射成带有结点和权重的信息网络图,对该网络图进行最大流最小分割得到前景目标( $O$ )与阴影( $B$ )的优化分割。

图像上位置为  $(i, j)$  的像素点  $p_{ij}$  对应图上的节

点  $v_{ij}$ , 并给定 2 个终端,源  $S$  和汇  $T$ , 分别代表视频帧中的目标和阴影。定义相邻像素之间的特征绝对差值为边的容量  $w_{pq}$ , 如对于 2 个节点  $p, q$  所连接的边的权重为

$$w_{pq} = |F(p) - F(q)|.$$

基于文献[10]选择像素的亮度信息为其特征来计算边权重值,则  $F(p)$ 、 $F(q)$  分别为像素点  $p$  和  $q$  的亮度值函数。定义  $c(S, T)$  为一个  $(S, T)$  切割的容量,其等价于从  $S$  到  $T$  的边权值之和。即

$$c(S, T) = \sum w_{pq}.$$

假设  $f(S, T)$  为流网络中所有流出  $S$  (或是流进  $T$ ) 的总流量值,则有

$$f(S, T) = \sum f(S, v), v \in V,$$

$$(\text{或 } f(S, T) = \sum f(v, T)).$$

网络  $G$  的一个割就是将  $V$  划分为  $S$  和  $T = V - S$  两部分,使  $s \in S, t \in T$ 。Ford 和 Fulkerson 于 1956 年提出了最大流最小切割定理,即任一个网络图中,最大流的流量等于最小割的容量。公式表示为

$$\max(f(S, T)) = \min(c(S, T)).$$

基于以上思想,本文在由 1.1 中 YUV 阴影检测得到的前景目标点和阴影点的基础上,对输入视频帧进一步检测并去除阴影,以克服 YUV 空间阴影检测的不足,从而得到理想的分割效果。即将由 YUV 颜色空间初步检测到的结果映射成网络图,即得到目标和阴影种子像素点集合  $O$  和  $S$ , 初始化  $k_o$  簇和  $k_s$  簇目标和阴影,通过 K-means 对  $O$  和  $S$  对应的图像像素进行聚类,得到每一簇目标和阴影的平均色彩值  $U_{oi}$  和  $U_{sj}$  (均包含  $R, G, B$  3 个分量,  $i \in k_o, j \in k_s$ ), 然后根据图像能量值式(3)计算每个点是属于目标还是阴影,即某个点的标签  $f=1$  则为目标,  $f=0$  则为阴影,则该问题转化为最小化能量函数的问题。

$$E(f) = \sum_{p \in V} D(f_p) + \sum_{(p, q) \in N} V(f_p, f_q). \quad (3)$$

式中:  $D(f_p)$  是定义像素点  $p$  为标签  $f_p$  代价,  $f_p$  代表数据项,  $N$  为 4 邻域系统的网格图像,  $V(f_p, f_q)$  是定义 2 个相邻像素点  $p, q$  为标签  $f_p, f_q$  的代价,代表平滑项。

设  $p$  点的 RGB 色彩为  $C(p)$ , 则  $p$  点的数据项容量  $D(f_p)$  可以定义如下:

$$\begin{cases} D(f_p = 1) = 0, D(f_p = 0) = \infty, p \in O, \\ D(f_p = 1) = \infty, D(f_p = 0) = 0, p \in S, \\ D(f_p = 1) = \frac{\min\_obj}{\min\_obj + \min\_shd}, p \in V - O \cup S, \\ D(f_p = 0) = \frac{\min\_shd}{\min\_obj + \min\_shd} \end{cases}$$

式中: $\min\_obj$  和  $\min\_shd$  分别是  $k_o$  类目标迭代和  $k_s$  类阴影迭代的最小的类,计算公式如下:

$$\min\_obj = \min \sum_{i \in k_o}^{R,G,B} (C(p) - U_{oi})^2,$$

$$\min\_shd = \min \sum_{i \in k_s}^{R,G,B} (C(p) - U_{sj})^2.$$

假设 2 个像素  $p, q$  的色彩差值为  $C_{pq}$ , 则有

$$C_{pq} = \sum_{R,G,B} (C(p) - C(q))^2, \text{ 那么有}$$

$$V(f_p, f_q) = \frac{\lambda}{C_{pq} + 1}.$$

式中: $\lambda$  为二元能量系数,用于平衡数据项和平滑项之间的关系,采用 Y. Boykov 和 V. Kolmogorov 算法<sup>[10]</sup>来最小化式(3)中的能量  $E(f)$ , 即:分别以  $O$  和  $S$  2 个终端建立搜索树来寻找增广路径,反复进行以下 3 个算法步骤:

1) “growth”:生长树  $S, T$  到两者相接,即找到  $s-t$  路径;

2) “augmentation”:扩张路径;

3) “adoption”:修改重建树  $S, T$ .

直至搜索树  $S$  和  $T$  中不再存在活动节点且被已饱和的边独立分开即可等价求取最小切割,完成运动目标及阴影的优化分割.

## 2 实验结果及分析

为了验证本文算法,选取多种室内外场景视频图像序列进行了前景目标提取实验. 本文给出了在强光及环境复杂度相对适中的室外情况(如图 2 实验一)以及正常光照室内环境(如图 3 实验二)的阴影检测去除的实验效果. 从实验结果可以看出,目标与阴影可以被平滑、完整地检测区分开来.

实验中,图 2(d)和图 3(d)是采用文献[14]中 YUV 色度和亮度结合检测去除阴影的算法得到的结果,可以看出,该方法可以检测出前景目标,保证结果的基本正确,但检测结果依然可能存在目标合并(如图 2(d)中右侧上下 2 个目标合并为一个目标体)、目标不完整(如图 3(d)中目标脖子部分未被检出)以及噪声点等现象,必须通过形态学操作以及选取合适的面积阈值进行连通性区域标识法分析等后处理操作得到相对较好的结果. 而本文方法对于 YUV 颜色空间亮度阈值和色度阈值的选取要求相对较低,只需得到确定为阴影和前景的种子点即可,同时,最小切割得到的检测结果干净、平滑,后处理操作相对简单,效果较为理想.

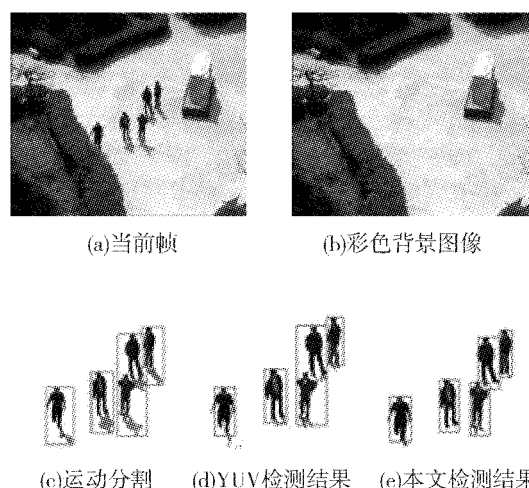


图 2 前景分割实验一结果

Fig. 2 Foreground segmentation results of experiment I

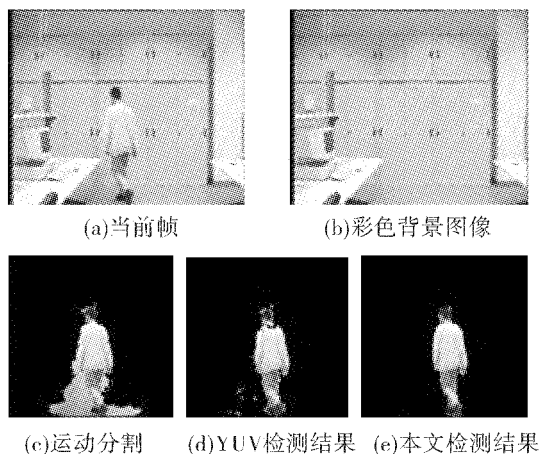


图 3 前景分割实验二结果

Fig. 3 Foreground segmentation results of experiment II

## 3 结束语

针对摄像头固定的监控场景,研究了基于 YUV 颜色空间和图切割相结合的阴影检测方法. 采用 YUV 颜色空间进行阴影检测,在一定程度上可以满足视频监控系统实时处理的需求. 检测过程中,由于各种因素的影响,前景可能会存在空洞或是边缘损失或是噪音现象,此时,可以反复采用不对称的腐蚀膨胀形态学操作来进行处理,本文主要利用  $3 \times 3$  的十字腐蚀因子来滤除独立噪音,同时采用  $3 \times 3$  的矩型膨胀因子来对前景区域膨胀,以保证目标的完整性. 而图论算法的引入,弱化了 YUV 颜色空间阴影检测阈值难以选取的问题,同时,又在一定程度上保证了目标分割的平滑性以及完整性. 实验表明,利用 YUV 颜色空间以及图论分割算法相结合的方法可有效地去除视频监控场景中运动物体所携带的阴影. 后续的工作则将侧重于运动目标的跟踪以及行

为识别等方面.

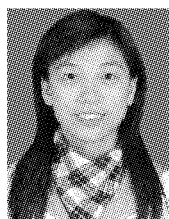
## 参考文献:

- [1] YONETAMA A, YEH C H, KUO C C J. Moving cast shadow elimination for robust vehicle extraction based on 2D joint vehicle/shadow models[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2003: 229-236.
- [2] 刘宏, 李锦涛, 刘群, 等. 融合颜色和梯度特征的运动阴影消除方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(10): 1279-1285.  
LIU Hong, LI Jintao, LIU Qun, et al. Moving cast shadow elimination based on color and gradient features[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(10): 1279-1285.
- [3] COLLADO J M, HILARIO C, ARMINGOL J M, et al. Model based vehicle detection for intelligent vehicles[C]//Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Parma, Italy, 2004: 572-577.
- [4] HORPRASERT T, HARWOOD D, DAVIS L S. A statistical approach for real-time robust background subtraction and shadow detection[C]//Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision: Frame Rate Workshop. Kerkira, Greece, 1999: 1-19.
- [5] CHIEN S Y, MA S Y, CHEN L G. Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(7): 577-586.
- [6] LEONE A, DISTANTE C. A texture-based approach for shadow detection[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Como, Italy, 2005: 371-376.
- [7] WANG Shengke, QIN Bo, FANG Zhenghua, et al. Fast shadow detection according to the moving region[C]//2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Hong Kong, China, 2007: 1590-1595.
- [8] 冯永超, 罗敏, 贺贵明. 一种快速 YUV-RGB 彩色空间变换方法[J]. 微型机与应用, 2002(7): 59-60.
- [9] BOYKOV Y, KOLMOGOROV V. An experimental comparison of min-cut/max-flow algorithms for energy minimization in vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(9): 1124-1137.
- [10] WANG Song, SISKIND J M. Image segmentation with ratio cut[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(6): 675-690.
- [11] 于丹, 汤井田, 徐大宏, 等. 基于最大流的交互式目标提取算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(5): 246-250.  
YU Dan, TANG Jingtian, XU Dahong. Interactive object extraction based on Max-flow[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(5): 246-250.
- [12] BOYKOV Y, FUNKA-LEA G. Graph cuts and efficient N-D image segmentation[J]. International Journal of Computer Vision, 2006, 70(2): 109-131.
- [13] CUCCHIARA R, GRANA C, PICCARDI M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information[C]//Proceedings of 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Oakland, USA, 2001: 334-339.
- [14] 马国峰, 杨俊红, 周兵. 基于 YUV 颜色空间的视频运动检测[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(4): 3700-3708.  
MA Guofeng, YANG Junhong, ZHOU Bing. Motion detection in video based on YUV color space[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(4): 3700-3708.

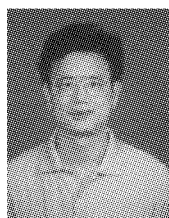
## 作者简介:



刘清, 女, 1966年生, 教授, 博士生导师, 中国人工智能学会理事, 湖北省自动化学会常务理事. 主要研究方向为智能控制技术、智能移动机器人、智能视频监控、计算机实时控制和信息系统集成.



秦秀丽, 女, 1984年生, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图像处理、视频分析.



郭建明, 男, 1962年生, 副教授, 主要研究方向为智能控制技术、计算机实时控制与信息系统集成、智能视频分析.