

文章编号:1001-9081(2006)09-2065-03

基于快速归一化互相关函数的运动车辆阴影检测算法

王晓冬, 霍宏, 方涛

(上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200240)

(xflora@sjtu.edu.cn)

摘要:视频检测是智能交通系统中一种重要的检测手段,但是运动车辆阴影的存在严重影响了检测效果。为了减少阴影对检测系统中交通参数计算的影响,采用了一种快速归一化的互相关函数(FNCC)直接对灰度视频图像检测运动阴影。通过引入三个加总表(sum-table)和设定阴影检测区使传统归一化互相关函数(NCC)算法的复杂度大大降低。实验表明该算法可以实时有效地检测出运动车辆的阴影。

关键词:视频检测; 阴影检测; 归一化互相关函数; 加总表

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Moving vehicles' shadow detection with fast normalized cross-correlation

WANG Xiao-dong, HUO Hong, FANG Tao

(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Video detection plays an important role in intelligent transportation system, and the shadows of moving vehicles have serious influence on object detection and segmentation. By adopting a FNCC (Fast Normalized Cross-Correlation) algorithm in this paper, moving shadows were directly detected from grayscale video sequences. By applying three sum-tables in FNCC and detecting shadows within a confined range, the computational complexity had been significantly reduced compared with the traditional NCC (Normalized Cross-Correlation) algorithm. And the experimental results have shown that this method can detect moving vehicles' shadows efficiently and accurately.

Key words: video detection; shadow detection; NCC; sum-table

0 引言

视频检测系统以其安装维护方便,可以检测到大范围、高质量的交通场景信息等优点,已成为智能交通系统中的重要检测手段。多数视频检测方法都是通过在视频图像上设置虚拟检测线圈,提取运动前景来进行交通参数的计算。由于光照的影响,提取的运动前景中往往含有车辆的阴影。一方面,车辆阴影和车辆具有相似的运动特征往往会被误判为车辆,另一方面,如果视频图像中车辆的阴影把多辆车连在一起,会造成车辆的漏检。因此,去除阴影的影响在交通视频检测系统中是个至关重要的环节。

目前已有多种阴影检测算法。文献[1,2]中对现有的阴影检测算法进行了分类比较。主要分为四大类:基于参数的统计学方法、不基于参数的统计学方法、基于模型的确定性方法和不基于模型的确定性方法。统计学方法是根据图像的某些特征计算概率统计函数将目标分为阴影区和非阴影区,其参数的选取至关重要,大都利用到图像的颜色信息。基于模型的确定性方法,要为检测区域不同的目标建立模型,由于室外环境复杂,其模型的建立也非常复杂耗时。本文选取的快速归一化互相关函数法属于一种不基于模型的确定性方法,利用归一化互相关函数的性质检测运动阴影,同时又通过引入三个加总表,大大降低了传统互相关函数的计算复杂度。另外,该算法仅对灰度空间检测,并通过设定阴影检测区进一

步提高了检测效率。

1 算法原理

1.1 光照模型^[2]

在白天的交通场景中,太阳为主要的光源。对于视频图像中某像素点 (x, y) 的光照模型为:

$$s_k(x, y) = E_k(x, y)\rho_k(x, y) \quad (1)$$

其中, $s_k(x, y)$ 为 (x, y) 处像素点的亮度, $\rho_k(x, y)$ 为物体表面的反射系数, $E_k(x, y)$ 为物体表面单位面积接受到的光强度。下标 k 表示这些物理量随时间而缓慢变化。可以认为 $\rho_k(x, y)$ 不随时间变化,为一常量 $\rho(x, y)$ 。 $E_k(x, y)$ 的计算公式由(2)给出:

$$E_k(x, y) = \begin{cases} c_A + c_p \cos \angle (N(x, y), L), & \text{无阴影} \\ c_A + k(x, y)c_p \cos \angle (N(x, y), L), & \text{半影} \\ c_A, & \text{暗影} \end{cases} \quad (2)$$

其中 c_A 和 c_p 分别是环境和光源的亮度, $N(x, y)$ 是物体表面的法向量, L 是物体表面到光源的方向矢量, $k(x, y)$ 是半影(太阳光没有被物体完全遮挡形成半影)相对于无阴影时光能的损失系数($0 \leq k(x, y) \leq 1$)。暗影(太阳光被物体完全遮挡形成暗影)的光强为一常数,也就是半影光强公式中 $k(x, y) = 0$ 的情况。本算法中,假设运动车辆的阴影是由太

收稿日期:2006-04-03; 修订日期:2006-05-27 基金项目:上海市科委 2005 年重大项目(05dz15004)

作者简介:王晓冬(1982-),女,河北沧州人,硕士研究生,主要研究方向:交通视频检测; 霍宏(1972-),女,辽宁本溪人,讲师,博士研究生,主要研究方向:智能信息处理; 方涛(1965-),男,四川彭山人,教授,博士生导师,主要研究方向:遥感与地理信息系统、智能信息处理。

阳光完全被车辆遮挡形成,因此公式(2)简化成(3):

$$E_k(x,y) = \begin{cases} c_A + c_p \cos \angle(N(x,y),L), & \text{无阴影} \\ c_A, & \text{有阴影} \end{cases} \quad (3)$$

视频图像中像素点 (x,y) 在未被阴影覆盖和被阴影覆盖时的亮度比值为:

$$r(x,y) = \frac{(c_A + c_p \cos \angle(N(x,y),L))\rho(x,y)}{c_A \rho(x,y)} \quad (4)$$

其中: $c_A, c_p, \cos \angle(N(x,y),L)$ 都是缓慢变化的,在一个较短的时间里可以将这几个参数近似为常数,即像素点 (x,y) 在未被阴影覆盖和被阴影覆盖时的亮度呈线性关系。

1.2 归一化的互相关函数

由概率论中相关系数的性质可知,若随机变量 X 和 Y 呈线性关系,则 X 和 Y 的相关系数为1。在信号处理中,归一化互相关函数(NCC)经常被用来衡量两个信号之间的相似性。两个信号越相似,则其 NCC 值越接近于1。由1.1节分析可知,像素点 (x,y) 在未被阴影覆盖和被阴影覆盖时的亮度值近似呈线性关系。因此可以利用互相关系数的性质来进行阴影检测。

设视频图像的大小 $M \times N$,令 $B(x,y)$ 为背景图像, $C(x,y)$ 为当前帧图像。定义以 (x,y) 为中心点、大小为 $(2L+1) \times (2L+1)$ 的模板 $T_{x,y}(m,n) = C(x+m,y+n)$,其中 $-L \leq m \leq L, -L \leq n \leq L$ 。像素点 (x,y) 处归一化的互相关函数由(5)式给出:

$$NCC(x,y) = \frac{ER(x,y)}{E_B(x,y)E_{T_{x,y}}} \quad (5)$$

其中:

$$ER(x,y) = \sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L B(x+m,y+n)T_{x,y}(m,n) \quad (6)$$

$$E_B(x,y) = \sqrt{\sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L B(x+m,y+n)^2} \quad (7)$$

$$E_{T_{x,y}} = \sqrt{\sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L T_{x,y}(m,n)^2} \quad (8)$$

$E_B(x,y)$ 和 $E_{T_{x,y}}$ 分别为背景图像能量函数和模板能量函数。如果 $C(x,y)$ 被阴影覆盖,则应满足:

$$NCC(x,y) < T_{ncc} \quad (9)$$

其中, T_{ncc} 为一接近于1的固定阈值。

直接采用(5)式进行阴影检测^[3],涉及多次乘法及开方运算,计算量很大。且其复杂度还依赖于模板 $T_{x,y}$ 的大小。而视频检测中要求算法简单而高效,能够进行实时性处理。本算法通过采用一种快速互相关函数^[4,5]的计算方法来减小传统归一化互相关函数算法的复杂度。

1.3 快速归一化互相关函数

快速归一化互相关函数($FNCC$)利用三个加总表(sum-table^[5])对传统 NCC 计算公式进行改进:

对于一个二维离散变量 $g(x,y), x=0,1,\dots,M-1; y=0,1,\dots,N-1$ 。关于 $g(x,y)$ 的加总表表示为:

$$S(x,y) = g(x,y) + S(x-1,y) + S(x,y-1) - S(x-1,y-1) \quad (10)$$

当 $x < 0$ 或者 $y < 0$ 时, $S(x,y) = 0$ 。 $g(x,y)$ 在以 (x,y) 为中心,大小为 $m \times n$ 的模板上的和可以由加总表计算得出:

$$\sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} g(x+i,y+j) = S(x+m/2,y+n/2)$$

$$-S(x-m/2-1,y+n/2) - S(x+m/2,y-n/2-1) + S(x-m/2-1,y-n/2-1) \quad (11)$$

由以上分析对 NCC 公式进行改写:

视频图像的大为 $M \times N$,模板 T 的大小为 $(2L+1) \times (2L+1)$ 。对于像素 $(x,y), B_square[x,y], C_square[x,y]$ 分别为背景帧和当前帧在 (x,y) 处灰度值的平方, $BC_data[x,y]$ 为背景帧和当前帧在 (x,y) 处灰度值的乘积。根据(10)式可得 $B_square[x,y]$ 的加总表为:

$$SB_square[x,y] = B_square[x,y] + SB_square[x,y-1] + SB_square[x-1,y] - SB_square[x-1,y-1] \quad (12)$$

同理,可以得到 $C_square[x,y]$ 以及 $BC_data[x,y]$ 的加总表: $SC_square[x,y]$ 和 $SBC_data[x,y]$ 。

NCC 计算公式的分母里含有开方运算,开根号需要花费大量的时间周期,所以算法中将原公式进行平方。 $NCC(x,y)$ 平方后的取值范围仍然为 $[-1,1]$,检测方法及效果不变。

综上所述,改进后的 $FNCC$ 计算公式为:

$$FNCC(x,y) = \frac{ER^2(x,y)}{E_B^2(x,y)E_{T_{x,y}}^2} \quad (13)$$

其中:

$$ER(x,y) = SBC_data[x+L,y+L] - SBC_data[x-L-1,y+L] - SBC_data[x+L,y-L-1] + SBC_data[x-L-1,y-L-1] \quad (14)$$

$$E_B^2(x,y) = SB_square[x+L,y+L] - SB_square[x-L-1,y+L] - SB_square[x+L,y-L-1] + SB_square[x-L-1,y-L-1] \quad (15)$$

$$E_{T_{x,y}}^2 = SC_square[x+L,y+L] - SC_square[x-L-1,y+L] - SC_square[x+L,y-L-1] + SC_square[x-L-1,y-L-1] \quad (16)$$

$FNCC$ 计算公式中不含有开方运算,乘法次数也大大减少,且其计算复杂度不再依赖于模板的大小。假设检测区域大小 $M \times N$,模板大小 $m \times n$,则 NCC 算法的复杂度为 $O(m \cdot n \cdot M \cdot N)$,计算一次 NCC 值需要 $(3 \times m \times n + 1)$ 次乘法、 $(3 \times m \times n)$ 次加法和一次开方运算。而 $FNCC$ 算法的复杂度降为 $O(M \cdot N)$,计算一次 $FNCC$ 值仅需要5次乘法和18次加(减)法。

在交通环境中,运动阴影总是伴随车辆出现,并且灰度值分布集中。因此算法还通过设定阴影检测区以进一步提高检测效率。

2 基于 $FNCC$ 的运动车辆阴影检测

2.1 提取运动前景

算法的目的是减少移动车辆阴影对视频检测的影响,因此只需针对视频中的运动区域进行阴影检测。运动前景的提取采用背景差法。

一般在一段较长时间内,背景至少在50%的时间内可以被观测到。本文中背景的建立采用时间中值法,即把图像序列中某个点在一段时间内的所有灰度值的中间值作为该点的

背景。

背景初始化取视频序列的前 N 帧,即对于每个像素点,取前 N 帧像素灰度值的中值作为该点的初始背景。一般取 $N = 100$ 即可提取出符合真实环境的背景。

设 $C(x,y)$ 和 $B(x,y)$ 分别表示当前帧和背景帧,则运动前景即为满足 $|C(x,y) - B(x,y)| > T$ 的所有点。其中 T 为一阈值,算法中取 $T = 40$ 。

为了对环境变化有良好的鲁棒性,算法对视频序列的每一帧都进行背景更新。和初始化类似,每次均取视频序列的上 100 帧,取中值作为背景。

2.2 设定阴影检测区

在天晴、太阳光作为主要光源的交通环境中,运动车辆阴影点的灰度值总是集中分布在一定范围内 $[V_{\min}, V_{\max}]$ 。将运动前景中,像素灰度值在 $[V_{\min}, V_{\max}]$ 之间的点作为阴影检测区。仅对阴影检测区进行检测。

缩小检测范围,不但可以提高算法的运行速度,而且还可以减少误判的概率。使得在 $[V_{\min}, V_{\max}]$ 之外,但是满足 $FNCC$ 前提条件的点不可能被判为阴影。

2.3 检测运动车辆阴影

对阴影检测区的每个点进行检测。如果点 (x,y) 为阴影,则其灰度值应该小于相应位置处的背景灰度值,并且其 $FNCC$ 值接近于 1。即当点 (x,y) 满足(17)式时,则将其判为阴影点。

$$\begin{cases} E_B^2(x,y) > E_{T,x,y}^2 \\ FNCC(x,y) < T_{fncc} \end{cases} \quad (17)$$

式中, T_{fncc} 为一个接近于 1 的常数。 $FNCC(x,y)$ 、 $E_B^2(x,y)$ 和 $E_{T,x,y}^2$ 分别由式(13)、(15)和(16)计算得出。

2.4 试验结果

采用在上海市 A4 高速公路上采集的一段视频作为样本,视频图像大小 320×240 ,速率 30 帧/s,在 P4 2.66G CPU, 512M 内存的 PC 机上进行实验。实验中,取 $T_{fncc} = 0.96$, $L = 5$, $V_{\min} = 40$, $V_{\max} = 90$ 。

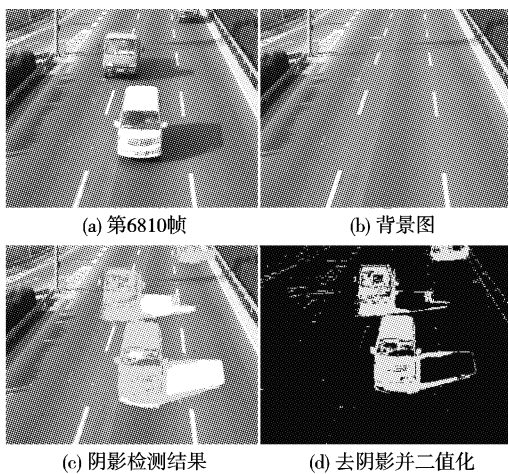


图1 第6810帧图像阴影检测效果

图1和图2分别为第6810帧和第8240帧图像阴影检测效果图。图1中车辆阴影覆盖了邻车道,图2中车辆的阴影覆盖了三个车道,并且和另一辆车粘连在一起。从图中可以看出,本算法基本消除了运动车辆的阴影。

在实际的检测系统中,可设定虚拟线圈对运动车辆阴影进行检测。如图3所示,在视频图像的中间车道上设定了一个大小为 120×45 像素的虚拟检测线圈,在此线圈中进行阴影检测时,处理速度可以达到和视频同步,即为 30 帧/s。

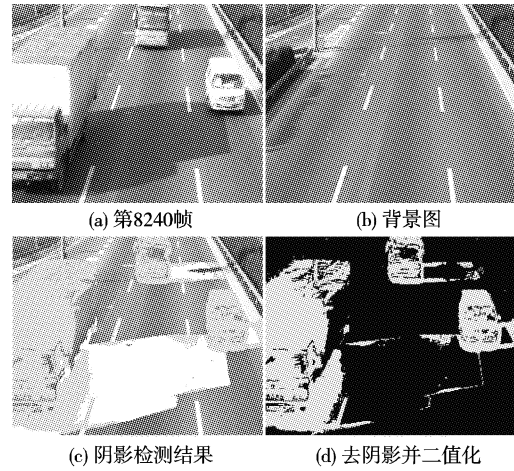


图2 第8240帧图像阴影检测效果



图3 设定检测线圈检测示意图

实验表明,快速归一化互相关函数算法可以正确地检测到车辆阴影,基本消除了车辆阴影对后续交通参数计算的影响。

3 结语

本文依据视频图像中像素点被阴影覆盖时和没有被阴影覆盖时的灰度值成线性关系这一原理,利用互相关函数的性质对视频序列中的运动车辆进行阴影检测。同时利用三个加总表(sum-table)和设定阴影检测区两个方法降低了传统归一化互相关函数算法的复杂度。实验表明,运用快速归一化互相关函数算法可以实时有效地检测出运动车辆的阴影,基本消除了车辆阴影对后续交通参数计算的影响。

参考文献:

- [1] PRATI A, MIKIC I, TRIVEDI M, *et al.* Detecting moving shadows: formulation, algorithms and evaluation[EB/OL]. <http://cvrr.ucsd.edu/aton/publications/pdfpapers/TRshadow.pdf>, 2001.
- [2] PRATI A, MIKIC I, TRIVEDI M, *et al.* Detecting moving shadows: algorithms and evaluation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(7): 918-923.
- [3] JACQUES JCS, JUNG CR, MUSSE SR. Background subtraction and shadow detection in grayscale video sequences[A]. *Computer Graphics and Image Processing[C]*, 2005. 189-196.
- [4] LEWIS JP. Fast normalized cross-correlation[EB/OL]. <http://www.idiom.com/~zilla/Work/nvisionInterface/nip.pdf>, 1995.
- [5] TSAI DM, LIN CT. Fast normalized cross correlation for defect detection[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24: 2625-2631.
- [6] LO BPL, VELASTIN SA. Automatic congestion detection system for underground platforms[A]. *International Symposium on Intelligent Multimedia, Video & Speech Processing[C]*. IEEE. Hong Kong, 2001. 158-161.