

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)03-0406-07

论文索引信息: 齐美彬, 杨爱丽, 蒋建国, 李莉. 一种基于改进码本的车辆检测与跟踪方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(3): 406-412

一种基于改进码本的车辆检测与跟踪方法

齐美彬^{1),2)}, 杨爱丽¹⁾, 蒋建国^{1),2)}, 李莉¹⁾

¹⁾ (合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009) ²⁾ (安全关键工业测控技术教育部工程研究中心, 合肥 230009)

摘要: 为了解决固定摄像机下车辆跟踪过程中阴影对检测的影响, 提出一种改进型码本模型的车辆检测方法。该方法直接对 YUV 空间的车辆序列进行处理, 将采样到的背景值聚类成码本, 对于新输入的像素值与其对应位置的码本作比较判断, 提取出前景区域。车辆跟踪中采用 Kalman 预测的方法来处理车辆遮挡问题。实验结果表明, 本算法可以从复杂交通场景图像序列中快速有效地检测出运动目标, 能较好地处理阴影、高亮、遮挡和背景变化等问题, 且计算复杂度小, 能满足实时跟踪的需要。

关键词: 车辆检测; 码本模型; 车辆跟踪; Kalman 预测

A vehicles detection and tracking algorithm based on improved codebook

Qi Meibin^{1),2)}, Yang Aili¹⁾, Jiang Jianguo^{1),2)}, Li Li¹⁾

¹⁾ (College of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009 China)

²⁾ (Engineering Research Center of Safety Critical Industrial Measurement and Control Technology, Ministry of Education, Hefei 230009 China)

Abstract: In order to overcome the effect of shadow in process of vehicles tracking under stationary camera, we present an improved codebook model detection algorithm. This method deal with vehicles sequences directly in the YUV Color Space, and the sampled background values are quantized into codebooks. Input pixel values of new frame are compared with the codebooks to identifying foreground areas. The Kalman Prediction method is used for vehicles tracking which can deal with occlusion. Experiments show that this algorithm can detect moving objects in complex traffic scenes effectively and rapidly. The proposed method can handle shadows, highlights, occlusion and the change of background all of which make this method efficient in both computation and the needs of real-time tracking.

Keywords: vehicles detection; codebook model; vehicles tracking; Kalman prediction

0 引言

车辆的有效检测和实时跟踪, 在智能交通系统 (ITS) 中具有重要作用。影响车辆检测和跟踪的主要因素有: 1) 车辆自身阴影; 2) 车辆间相互遮挡和车辆被背景中的物体遮挡; 3) 同车型车辆之间具有较大的相似性; 4) 光线突变; 5) 夜晚和雨、雪等恶劣天气等。本文主要针对 1)、2) 两种情况开展研

究, 提出一种实时的车辆检测、跟踪方法, 车辆检测环节采用一种改进的码本算法, 用来解决车辆检测中的阴影问题, 跟踪环节采用了基于 Kalman 预测的方法, 用来解决车辆跟踪中的遮挡问题。

1 基于改进码本的车辆检测实现

车辆检测的目的是将车辆从图像中提取出来, 检测的好坏直接关系跟踪的效果。运动检测方法主

收稿日期: 2009-08-10; 修回日期: 2009-10-18

基金项目: 安徽省科技计划项目 (08020303095)。

第一作者简介: 齐美彬 (1969—), 男, 教授。2007 年于合肥工业大学获得信号与信息处理专业博士学位, 主要研究方向为视频编码、智能视觉监控、DSP 技术及应用。E-mail: qimeibin@163.com。

要有:帧间差分方法^[1]、光流场方法^[2]和背景减法^[3]。其中,背景减法计算方法简单,是监控中检测运动目标较常用的方法,该方法的关键是构建较为理想的背景模型。

对于高速公路,背景相对简单,较容易建立背景模型,但对于普通的马路,实际背景容易受光线、背景扰动(树叶等)以及运动目标自身引起的背景变化等因素的影响。对于复杂的场景建立精确的背景模型,很多背景建模和更新算法被提出,但是这些算法都有各自的缺点:混合高斯模型(MOG)^[4]虽能处理复杂、非静止的多模态背景,但它不能适应快速的背景变化,对噪声变化比较敏感;Elgammal等人^[5]提出了基于内核密度估计(KDE)的非参数背景模型,该方法需要大量内存来存储先前的数据,且需要很高的计算开销;Li等人^[6]提出一种基于Bayes决策的方法,该方法在场景比较复杂或前景与背景颜色比较接近时,提取的前景目标很不完整。

Kim等人^[7-8]提出基于码本模型(codebook model)的运动目标检测方法,该算法是利用量化和聚类技术来构建背景模型^[9]。该算法针对彩色监控视频,对背景中的每一个像素点进行一段时间的采样,采样值聚类成码本的形式,码本就代表背景模型。运动检测时,对新输入的像素值与其对应码本作比较,如果能找到与其匹配的码字,则认为该像素点为背景点,否则为前景点。码本方法只计算聚类均值和样本与它的距离,不涉及概率运算,运算速度较快;另外,码本方法能处理高亮和阴影问题,而且训练时允许有前景运动目标。该算法具有较强的鲁棒性,能实现对运动目标较好的检测。

尽管原码本算法对RGB空间的视频序列,已具有较好的检测效果,但也有一些不足之处:1)视频采集设备,如网络摄像机、DV和图像采集卡等采集的视频序列大多是YUV格式的,如果要在RGB空间做运动检测,则需要进行从YUV空间到RGB空间的转换,而该转换运算为浮点型运算,运算量大;2)原算法在RGB空间进行阴影处理时,需要做浮点型运算,进一步加大了运算量。因此,对原算法进行改进,直接在YUV空间做运动检测及阴影处理,省去了大量的浮点型运算,提高了算法的效率。

1.1 初始码本的建立

假设 $\mathcal{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 是一个像素的不同时刻的序列采样值,其中 $x_t (t = 1, 2, \dots, N)$ 是像素的YUV向量,设 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_L\}$ 是该像素的码本,

含有 L 个码字,每个码字 $c_i (i = 1, 2, \dots, L)$ 的内容包含两个信息:一个YUV向量: $v_i = (\bar{Y}_i, \bar{U}_i, \bar{V}_i)$ 和一个10元组: $u_i = \langle Y_i^{\min}, Y_i^{\max}, U_i^{\min}, U_i^{\max}, V_i^{\min}, V_i^{\max}, f_i, \lambda_i, p_i, q_i \rangle$ 。其中, $Y_i^{\min}, Y_i^{\max}, U_i^{\min}, U_i^{\max}, V_i^{\min}, V_i^{\max}$ 分别为码字所对应像素的YUV分量的最小和最大值; f 表示该码字出现的次数; λ 表示码字在训练中没有再次出现的最大时间间隔,可以用它消除冗余码字; p 和 q 分别表示该码字出现后的第1次和最后1次匹配时间,可简单设为帧序号。

在构建码本的训练期间,将 t 时刻的像素点 x_t 的采样值与当前的码本作比较,如果有码字 c_m (m 是匹配码字的索引)与其匹配,则以码字 c_m 作为该采样点的近似编码,表示该码字出现一次。码本提取算法的详细过程如下:

- 1) 将每个像素的码本置空, $L = 0$, 码本 $C = \emptyset$ 。
- 2) 对于训练视频序列的每个像素的序列采样值 $\mathcal{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, $x_t = (Y_t, U_t, V_t)$, $t = 1, 2, \dots, N$:

(1) 如果码本为空,即 $L = 0$,则创建一个码字,并使 $L = L + 1$,码字的内容为

$$v_L = (Y_t, U_t, V_t) \quad (1)$$

$$u_L = \langle Y, Y, U, U, V, V, 1, t - 1, t, t \rangle \quad (2)$$

(2) 如果码本不为空,则根据以下3个条件从码本中找出与 x_t 匹配的码字 c_m :

$$Y_{LL} \leq Y_t \leq Y_{LH} \quad (3)$$

$$U_{LL} \leq U_t \leq U_{LH} \quad (4)$$

$$V_{LL} \leq V_t \leq V_{LH} \quad (5)$$

式中, $Y_{LL}, Y_{LH}, U_{LL}, U_{LH}, V_{LL}$ 和 V_{LH} 是码本训练阈值,须针对具体应用作合适调整:

① 如果找不到与其匹配的码字,即码本中没有码字满足上述条件,则利用式(1)(2)为该像素创建一个码字;

② 如果有码字 c_m 满足上述条件,其内容是

$$v_m = (\bar{Y}_m, \bar{U}_m, \bar{V}_m)$$

$$u_m = \langle Y_m^{\min}, Y_m^{\max}, U_m^{\min}, U_m^{\max}, V_m^{\min}, V_m^{\max},$$

$$f_m, \lambda_m, p_m, q_m \rangle$$

则将码字内容按式(6)、(7)更新:

$$v_m = \left(\frac{f_m \bar{Y}_m + Y_t}{f_m + 1}, \frac{f_m \bar{U}_m + U_t}{f_m + 1}, \frac{f_m \bar{V}_m + V_t}{f_m + 1} \right) \quad (6)$$

$$u_m = \langle \min\{Y_t, Y_m^{\min}\}, \max\{Y_t, Y_m^{\max}\}, \min\{U_t, U_m^{\min}\}, \max\{U_t, U_m^{\max}\}, \min\{V_t, V_m^{\min}\}, \max\{V_t, V_m^{\max}\}, f_m + 1, \max\{\lambda_m, t - q_m\}, p_m, t \rangle \quad (7)$$

3) 训练结束后,计算该像素每个码字没有再次出现的最大时间间隔,即对于 $c_i, i = 1, \dots, L$,

$$\lambda_i = \max\{\lambda_i, (N - q_i + p_i - 1)\} \quad (8)$$

4) 利用 λ 消除冗余码字,得到最能代表真实背景的精练的初始码本 cC (k 是码字的索引)

$$cC = \{c_k \mid c_k \in C \cap \lambda_k \leq T_M\} \quad (9)$$

阈值 T_M 通常取训练帧数的一半,即 $N/2$,表示所有代表背景的码字必须至少在 $N/2$ 帧中出现。之所以引入时间准则 λ ,是因为训练过程中得到的码本存在冗余,其中可能有一些表示前景运动目标和噪声的码字,利用式(9)即可将这些码字在概率意义上分离出去。噪声只会某些帧的某些像素出现,如果开始训练时将其误认为是背景点,添加到码本中去后,噪声是无规律的,此码字在训练中没有再次出现的最大时间间隔较大,将其从初始码本中删除;因为每一时刻,行驶在公路上的车辆面积只占整个交通背景的很小一部分,就公路上的任一点来说,大部分时间是没有车辆遮盖的,利用式(9)亦能消除初始化时有车辆存在时建立的错误码字。

1.2 前景运动目标检测

根据像素采样值与其码本是否匹配来判断前景,对于运动目标检测过程中的新输入像素 $x = (Y, U, V)$ 及其对应的码本 cC ,根据式(10)的3个条件在其码本中寻找与 x 匹配的码字 c_m ,如果找到,则 x 为背景像素,否则为可能的前景像素。

$$\begin{cases} Y_{\text{Det_Low}} \leq Y_t \leq Y_{\text{Det_High}} \\ U_{\text{Det_Low}} \leq U_t \leq U_{\text{Det_High}} \\ V_{\text{Det_Low}} \leq V_t \leq V_{\text{Det_High}} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $Y_{\text{Det_Low}}$ 、 $Y_{\text{Det_High}}$ 、 $U_{\text{Det_Low}}$ 、 $U_{\text{Det_High}}$ 、 $V_{\text{Det_Low}}$ 和 $V_{\text{Det_High}}$ 为检测阈值,这里的阈值比训练码本阈值稍大,也可根据具体应用做相应的调整。

1.3 阴影和高亮问题的解决

利用式(10)检测出的可能是前景像素点,也可能含有阴影、高亮等像素点,需进一步进行判断处理。由实际视觉经验知^[10],在一定的亮度条件下,同一物体在阴影区和非阴影区、高亮区和非高亮区的色调近似一致,阴影区域或高亮区域内物体的色彩没有发生变化或仅发生了微小的变化,可以忽略,亮度变化却比较大,阴影降低了图像的亮度,而高亮提高了图像的亮度。本文正是基于这一规律来处理阴影和高亮问题的,并引入一个新的颜色判决模型,如图1所示,对1.2节检测出的可能为前景运动目

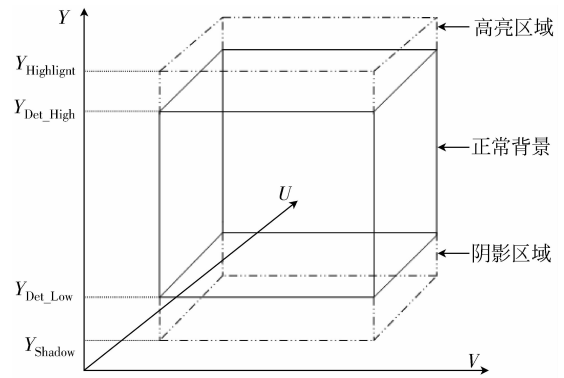


图1 本文所提出的颜色判决模型

Fig. 1 The proposed color decision model

标的像素点,进一步判断其亮度 Y 分量的范围,确定阴影、高亮、背景、真实的前景像素。具体判别方法如下:

根据该颜色判决模型,在同时满足 $U_{\text{Det_Low}} \leq U_t \leq U_{\text{Det_High}}$, $V_{\text{Det_Low}} \leq V_t \leq V_{\text{Det_High}}$ 条件下:

- 1) 满足 $Y_{\text{Det_Low}} \leq Y_t \leq Y_{\text{Det_High}}$ 时,当前像素点为正常背景点;
- 2) 满足 $Y_{\text{Shadow}} \leq Y_t \leq Y_{\text{Det_Low}}$ 时,当前背景点为阴影区域的背景点;
- 3) 满足 $Y_{\text{Det_High}} \leq Y_t \leq Y_{\text{Highlight}}$ 时,当前背景点为高亮区域的背景点;
- 4) 其他,则判定为前景点。

1.4 目标检测过程的码本实时更新

为了适应光照变化和运动目标本身(如停止)引起的背景变化,前景运动目标检测和阴影、高亮区域的判断过程中需要实时更新码本。本文算法能处理背景缓慢变化和运动车辆停止变为背景的情况,并能去除检测过程中树叶摆动等噪声对检测的影响。建立一个缓冲码本 cD ,用来存储与当前码本 cC 没有匹配上的像素点,没有匹配上的像素点有3种可能的情况:1)新出现的背景;2)前景;3)噪声,这些像素点临时存在缓冲码本 cD 中,如果缓冲码本 cD 中的码字被访问次数较多且访问间隔短,说明这些码字是新出现的背景,则将其移到当前码本 cC 中,不满足上述条件的码字将其删除。对于当前码本 cC 中的码字,如果很长时间都没有被访问,说明这些背景点是错误的背景点,则将这些冗余的像素点从背景码本 cC 中删除。前景运动目标检测和阴影、高亮区域的判断过程中使用的是当前码本 cC ,而非缓冲码本 cD 。

具体码本更新实现方法如下:

1) 每采样一个像素点,检测其是否与背景码本 cC 中的码字相匹配:

(1) 如果匹配,则更新相应码字的参数,并调整码本中码字的序列;

(2) 如果不匹配,则检测其是否与缓冲码本 cD 中的码字相匹配:

① 若匹配,则更新相应码字的参数;

② 若不匹配,则生成一个新的码字放入缓冲码本 cD 中。

2) 精练缓冲码本 cD :对于缓冲码本 cD 中的任一码字,如果出现次数低于某一阈值 f_{d_del} ,且其最大未被访问时间间隔大于某一阈值 T_{d_del} ,则将其从 cD 中剔除。

3) 背景码本 cC 的更新:对于缓冲码本 cD 中的任一码字,如果出现次数高于某一阈值 f_{d_c} ,且其在实时监测阶段的平均未被访问的时间间隔小于某一阈值 T_{d_c} 时,则将其从缓冲码本 cD 中转移到背景码本 cC 中,并在缓冲码本 cD 中将其删除。

4) 提炼码本 cC :对于码本中的任意一个码字,若其最大未被访问时间间隔大于某一阈值 T_{c_del} 时,则将其从背景码本中剔除。

2 车辆跟踪算法的实现

车辆跟踪是为了得到同一车辆在不同帧的位置,获取车辆的运动轨迹,为计算交通参数提供依据。在多车辆跟踪时,必须进行车辆匹配,以区分不同车辆。在车辆之间距离较近时,易出现遮挡现象。如果对因遮挡而连通的前景区域直接匹配容易丢失车辆,需估计车辆在下一帧的可能位置,并在此位置周围进行搜索匹配,这样不但减小搜索范围而且降低了误匹配的可能性。对检测出来的车辆进行形态学处理后,通过连通区域分析获得每个车辆目标的质心位置,再使用 Kalman 预测的方法对运动车辆进行跟踪。

2.1 Kalman 滤波器

设线性系统的状态方程和观测方程分别为

$$\text{状态方程: } \mathbf{x}_k = \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (13)$$

$$\text{观测方程: } \mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (14)$$

式中, \mathbf{x}_k 是 k 时刻状态; \mathbf{A} 为状态转移矩阵; \mathbf{w}_{k-1} 是 k 时刻状态噪声; \mathbf{z}_k 是 k 时刻观测向量; \mathbf{H} 为观测矩阵; \mathbf{v}_k 是 k 时刻的观测噪声向量。 $\mathbf{v}_k, \mathbf{w}_{k-1}$ 通常假设

为互相独立的零均值高斯白噪声向量。

在跟踪过程中,由于相邻 2 帧之间的时间间隔较短,目标运动状态变化较小,所以可假设目标在单位时间间隔内是匀速运动。定义 Kalman 滤波器系统状态 \mathbf{x}_k 是一个 4 维向量 (x_k, y_k, x'_k, y'_k) , x_k, y_k, x'_k, y'_k 分别为目标在 x 轴和 y 轴方向上的位置和速度。

2.2 Kalman 跟踪过程

基于 Kalman 滤波的车辆跟踪算法是通过运动估计和目标匹配两个模块实现对车辆的跟踪的。利用前一帧获得的参数作为 Kalman 滤波的状态变量 $\hat{\mathbf{x}}_{t-1}$,当前帧获得的参数作为观测值 z_t ,通过 Kalman 滤波推导获得估计值。以估计值为中心进行目标匹配,如果能匹配上则认为是当前运动目标,如果匹配不上则认为出现了遮挡,使用 Kalman 对其位置进行预测。具体跟踪方法见文献[11]。

3 算法步骤及实验结果分析

3.1 算法步骤

检测跟踪步骤如下:

1) 背景模型训练,得到表示初始背景模型的码本;

2) 输入像素点和码本作比较判断,得到可能的前景像素点,同时更新码本;

3) 去除可能前景像素点中阴影和高亮区域,得到真实的前景点,同时更新码本;

4) 去噪,连通区域分析,根据检测出的运动目标的长宽消除非车辆目标,将运动车辆分割出来;

5) 使用卡尔曼滤波器预测车辆在下一帧中的可能位置;

6) 在预测区域周围对各个车辆进行匹配跟踪。转 2),进行下一轮跟踪。

3.2 实验结果分析

对检测出的所有运动目标进行连通区域分析,把长度和宽度小于一定值的小目标滤除,这样就可以把行人和摩托车等小目标去除,只提取感兴趣车辆。图 2 是马路上有行人干扰的检测结果,其中 (a) 有一辆摩托车; (b) 根据检测出目标的宽度,把摩托车滤除掉了; (c) 有多个摩托车和行人目标; (d) 滤除了摩托车和行人运动目标。

夜晚光线比较暗时,由于光线和车灯的影响,使很多适用于白天的车辆检测方法失效,图 3 是本文的检测结果,可以看出,本文算法在夜晚也可以实现较好的检测。

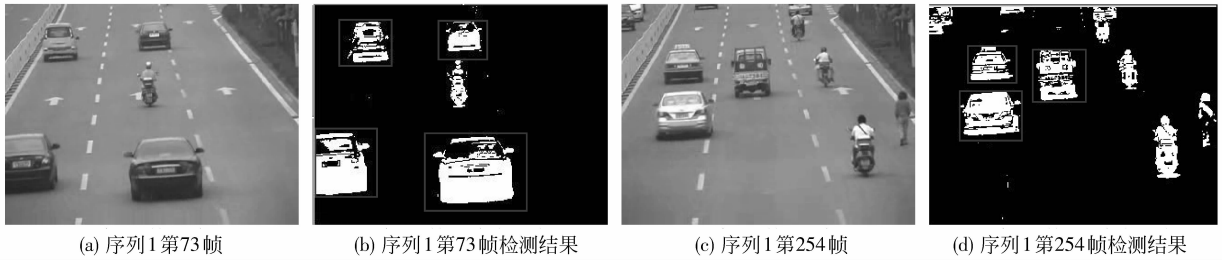


图 2 复杂场景检测结果

Fig. 2 Detection results on complex scene



图 3 夜晚车辆检测结果

Fig. 3 Detection results of vehicles at night

图 4 是普通马路上本文检测方法与其他方法的比较,其中(b)对阴影处理能力不强,检测出来的前景区域比实际大很多;(c)尽管抑制了部分阴影,但是检测出的前景目标很不完整;(d)能抑制大部分

阴影,且得到了较完整的前景区域;图 5 是高速公路上本文检测方法与其他方法的比较,可以看出,本文算法在阴影抑制和目标完整性方面都比前两种方法好。

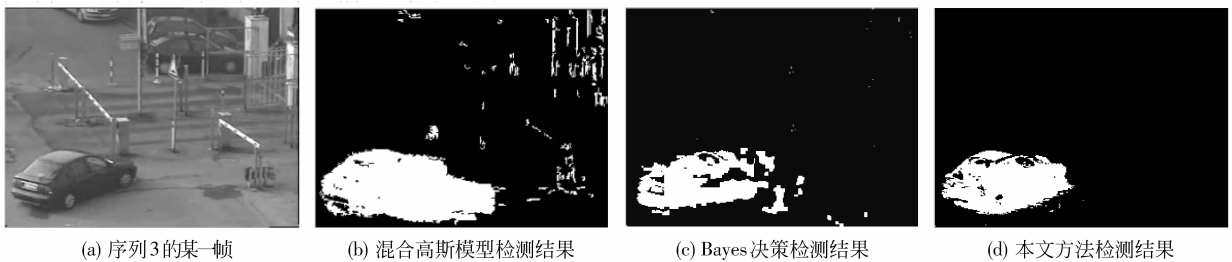


图 4 普通路面检测结果

Fig. 4 Detection results on ordinary road

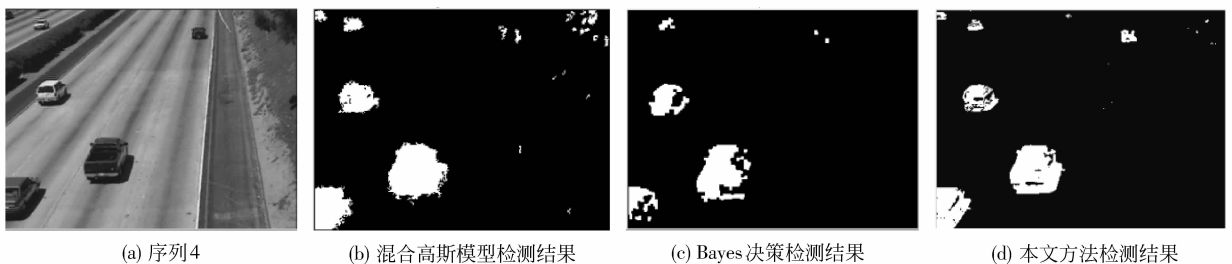


图 5 高速公路检测结果

Fig. 5 Detection results on highway

图 6 是对序列 5 第 168 帧到 182 帧一辆白车的跟踪结果,该车辆是序列 5 中出现的第 16 辆车,其中(a)为序列 5 第 16 辆车刚驶进检测区;(b)为序列 5 第 16 辆车驶出检测区域;(c)为序列 5 第 16 辆车在跟踪区内目标质心在 x 轴坐标变化,可以看出

预测值和测量值很近似。

图 7 是参考文献[12]所提出的粒子滤波方法、经典 CamShift 方法与本文方法的比较结果。可以看出,当出现遮挡时,前面两种方法不能很好的跟踪运动目标,而本文算法仍能有效跟踪。

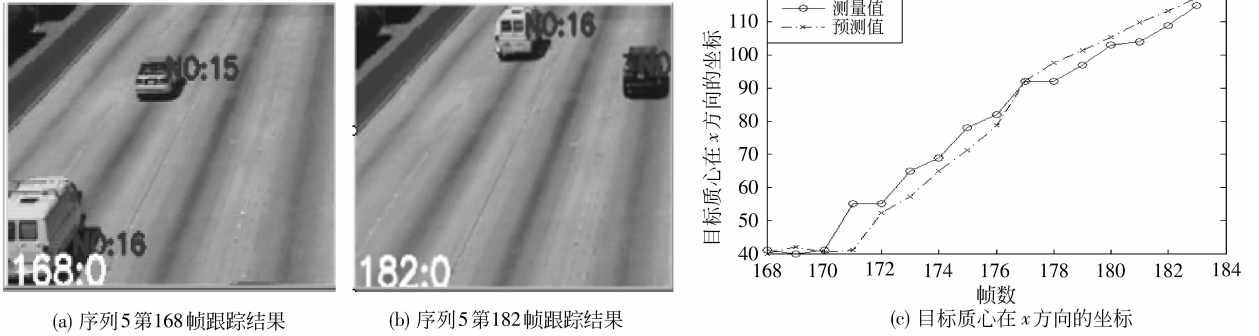


图 6 跟踪结果

Fig. 6 Vehicles tracking results



图 7 跟踪结果对比

Fig. 7 Tracking results comparison

4 结 论

介绍了基于码本的车辆检测和基于 Kalman 预测的车辆跟踪,该方法计算复杂度低,提取运动目标完整,能处理阴影、高亮和遮挡等问题,且能抑制马路上的树木摇动对检测影响,稳健性好。本文未对雨雪天气时车辆检测和跟踪进行深入研究,在未来工作中将研究恶劣天气的情况,以达到更好的检测、跟踪效果,为基于视频的交通信息统计提供更好的方法。

参考文献 (References)

- [1] Wren C R , Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfunder: real-time tracking of the human body [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7) : 780-785.
- [2] Horn B K P, Schunck B G. Determining optical flow [J]. Artificial Intelligence, 1981, 17 (123) : 185-203.
- [3] Jain R. Difference and accumulative difference pictures in dynamic scene analysis[J]. Image and Vision Computing, 1984, 2(2) : 99-108.
- [4] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado, USA: IEEE Computer Society, 1999: 246-252.
- [5] Elgammal A, Hanwood D, Davis L. Non-parametric model for background subtraction [C]//Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision-Part II. Dublin, Ireland: IEEE Computer Society, 2000: 751-767.
- [6] Li Liyuan, Huang Weimin, Gu Y H. Foreground object detection from videos containing complex background [C]//Proceedings of the 11th ACM International Conference on Multimedia. California, USA: IEEE Computer Society, 2003: 2-10.
- [7] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Background modeling and subtraction by codebook construction [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Singapor: IEEE Computer Society, 2004: 3061-3064.
- [8] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model [J]. Real-Time Imaging, 2005, 11(3) : 172-185.
- [9] Dai Kexue, Li Guohui, Tu Dan, et al. Prospects and current studies on background subtraction techniques for moving objects detection from surveillance video [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(7) : 919-927. [代科学, 李国辉, 涂丹, 等. 监控视频运动目标检测减背景技术的研究现状和展望 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(7) : 919-927.]
- [10] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information [C]//Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. California, USA: IEEE Intelligent Transportation Systems Society, 2001: 334-339.
- [11] Yang Yanfang, Qi Meibin, Wang Qian, et al. Multi-object tracking based on motion detection and motion search [J]. Computer Engineering, 2008, 34(19) : 222-224. [杨艳芳, 齐美彬, 王倩, 等. 基于运动检测与运动搜索的多目标跟踪 [J]. 计算机工程, 2008, 34(19) : 222-224.]
- [12] Zhou Shaohua, Chellappa R, Moghaddam B. Visual tracking and recognition using appearance-adaptive models in particle filters [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(11) : 1491-1506.