

一种融合纹理和颜色信息的背景建模方法

王吉文^{1,2}, 何加铭^{1,2*}

(1. 宁波大学 通信技术研究所, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江省移动网应用技术重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 鉴于目前视频序列的运动目标检测常使用背景差分法, 但其受光照变化以及阴影影响, 不能准确区分出运动物体的特点, 因此提出一种新的背景建模算法. 该算法融合纹理信息和颜色信息建立背景模型, 其中的纹理信息采用LBP算子进行描述. 为更好地描述纹理信息, 进一步改进了基本的LBP算子, 并同时引入抗噪因子增强抗噪声影响. 实验证明, 提出的算法在大多数情况下都取得良好的效果.

关键词: 运动目标检测; 背景差分; 背景建模; 纹理信息; 局部二值模式; 抗噪因子

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2013) 01-0043-05

运动目标检测在视频监控、智能交通等领域都有着广泛的应用. 背景差分法凭借对硬件要求低、算法设计相对简单、效果良好等优点, 成为了运动目标检测的重要方法. 背景差分就是将背景从视频图像中除去, 提取运动目标. 但由于背景模型受到自然环境等因素影响, 使得背景建模是一个长期而艰难的研究课题.

背景的描述通常分成两类: 一类是采用颜色等图像像素信息来描述背景, 另一类是采用纹理等图像结构信息来描述背景. 第一类算法以高斯模型^[1]为代表, 对所有像素点都使用高斯模型, 共同组成背景模型. 由于高斯模型无法解决风吹动树叶、光照的变化等外界干扰, Grimson^[2]提出了混合高斯模型(Mixture of Gaussian, MOG), 建立多个模型来描述背景, 因此对这些问题的解决有一定的效果. MOG 也是目前使用最广泛的算法, 但对该算法的改进^[3-4]也一直进行着. 这类算法对于大多数情况甚至包括光照渐变具备很好的效果, 但对于阴影的处理却表现得不尽人意. 另一类算法以纹理信息建立背景模型为代表, 其中最著名的算法是 Heikkila 等人^[5]提出统计某个区域内的基本LBP (Local Binary Pattern, 局部二值模式)纹理得到 LBP 纹理直方图, 并利用其直方图建立的背景

模型. 由于纹理信息几乎不受光照变化及阴影的影响, 使得纹理建模, 特别是LBP纹理模型深受研究者^[6-7]的喜爱. 此类算法在绝大多数情况下都有很好的效果, 但对于区域纹理特征不丰富的情况下, 表现也不尽人意. 如再天空、海洋等区域纹理特征不丰富的情况, 就无法区分前景与背景, 此时判断得出的背景就往往出现空洞等情况.

通过分析两类算法的优缺点后可知, 若将两者融合, 即融合颜色信息与纹理信息描述背景信息, 似乎可以得到很好的背景模型. 近年来, 对融合颜色与纹理信息描述背景的算法^[8], 在一定程度上改善了单一模型无法解决的问题, 但在如何更好地结合两者, 却成为了亟待解决的问题. 目前大多数的融合算法都采用联合参数^[9-11]方法, 但比较生硬结合, 不能很好解决这个问题.

笔者采用的融合算法区别于通过联合参数进行融合的方法, 采用纹理筛选, 再结合颜色信息建立背景模型的融合方法, 算法简单, 效果也有明显改进.

1 背景模型描述

1.1 LBP 纹理特征

LBP 是一种灰度变化描述算子^[5], 该算子通过

收稿日期: 2012-10-08.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://nbdxlg.paperopen.com/>

基金项目: 国家科技重大专项 (2011ZX03002-004-02); 浙江省移动网络应用技术联合重点实验室项目 (2010E10005).

第一作者: 王吉文 (1987-), 男, 福建南平人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 系统集成与智能控制. E-mail: boot.bin@163.com

*通信作者: 何加铭 (1949-), 男, 浙江杭州人, 博士/教授, 主要研究方向: 系统集成与智能控制. E-mail: hejiaming@nbu.edu.cn

对像素与邻域像素的差值进行二值化, 从而得到二元图, LBP 算子定义如下:

$$LBP_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p, \quad (1)$$

$$s(u) = \begin{cases} 1, u \geq 0, \\ 0, u < 0, \end{cases}$$

其中, g_c 表示区域内中心位置 (x_c, y_c) 处的像素灰度值; g_p 表示均匀分布在中心 (x_c, y_c) 半径为 R 的圆周上 P 个点的灰度值, 对于那些不能落在精确位置的像素点进行灰度值内插。

图1为 3×3 邻域(半径取1, 圆周上8个点), 其中1到8即为LBP算子编码的顺序。一般情况下, 选取圆周上点数越多, 纹理描述越准确, 但是复杂度也相应提高。

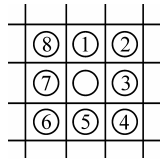


图1 LBP($P=8, R=1$)纹理算子

1.2 LBP算子改进

LBP算子进行纹理描述时虽有很多优点, 但也存在一些不足。首先, 像素之间差值有3种状态, 即 $=0, >0, <0$ 。它们分别表示不同意义, >0 与 <0 分别表示像素值变大或变小, $=0$ 表示像素值不变, 显然将LBP算子运用到纹理建模不应该将 $=0$ 与 >0 情况归为一类。因此为提高抗噪声能力, 引入抗噪因子 n , 即可以改进的LBP算子如下:

$$LBP_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^{2p}, \quad (2)$$

$$s(u) = \begin{cases} 1, u > n, \\ 0, -n \leq u \leq n, \\ 2, u < n. \end{cases}$$

利用(2)式将3种状态进行区分。引入抗噪因子 $n \in \{2, 5\}$, 文中根据经验值取 $n=3$ 。

但是(2)式存在一个问题, 即将 2^p 改为 2^{2p} 时, 计算量也由此大大增加, 内存也消耗过大。所以对LBP算子再次作了如下改进:

$$LBP = (LBP_{P,R}(x_c, y_c), LBP'_{P,R}(x_c, y_c)),$$

$$LBP'_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c - n) 2^p,$$

$$s(u) = \begin{cases} 1, u > 0, \\ 0, u \leq 0, \end{cases}$$

$$LBP'_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c - n) 2^p, \quad (3)$$

$$s(u) = \begin{cases} 1, u < 0, \\ 0, u \geq 0. \end{cases}$$

(3)式中将 $u > n$ 表示为 $(1, 0)$, $u < n$ 表示为 $(0, 1)$, $-n \leq u \leq n$ 表示为 $(0, 0)$, 同样能够表达(2)式的3种情况。通过统计区域内像素点的基本LBP纹理得到LBP直方图, 引入二元直方图的方式表示LBP算子, 虽然2次计算LBP算子, 但是准确度却大大提高, 同时较(2)式表示方法也大大降低了计算的复杂度, 节约了内存。

1.3 颜色信息描述

颜色信息模型就是对图像中的每个像素的颜色或灰度值进行建模, 以此获取每个像素的颜色信息。不妨设像素点值的概率密度分布符合高斯分布, 每个像素点由 K 个高斯模型表征, 则第 k 个高斯分布的概率密度函数为:

$$\eta_k(x, \mu_k, \sum_k) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} |\sum_k|^{1/2}} \cdot e^{1/2(x-\mu_k)^T \sum_k^{-1} (x-\mu_k)}, \quad (4)$$

式中, μ_k 表示均值矢量, $\sum_k$ 表示协方差矩阵。

当前像素点颜色值与该像素点位置的过去时刻像素颜色值相关, 其概率为:

$$P(X_{i,t} | X_{i,1}, \dots, X_{i,t-1}) = \sum_{k=1}^K \omega_{i,t-1,k} \cdot \eta_k(X_{i,t}, \mu_{i,t-1,k}, \sum_{i,t-1,k}). \quad (5)$$

根据高斯函数有以下特性:

$$Color_{x,y,t}(s) = \begin{cases} 0, s \geq \pm 2.5\sigma_{x,y,t-1,k}, \\ 1, s \leq \pm 2.5\sigma_{x,y,t-1,k}, \end{cases} \quad (6)$$

$$s = I_{x,y,t} - \mu_{x,y,t-1,k},$$

式中, $\mu_{x,y,t-1,k}$ 即是 $t-1$ 时刻第 k 个高斯模型的均值; $I_{x,y,t}$ 表示 t 时刻像素点的颜色值; $Color_{x,y,t}(s)$ 表示时刻 t 在 (x, y) 处, 当前像素点的颜色值与上一时刻第 k 个高斯模型颜色均值的差是否在 $\pm 2.5\sigma$ 范围内, 在范围内, 则判断为当前像素点匹配第 k 个高斯模型, 否则不匹配。

1.4 纹理信息融合颜色信息的背景描述

纹理模型在绝大多数情况下都可以很好地地区

分前景与背景, 但对于纹理特征不丰富的时候, 由于其灰度值太过于接近, 所以 LBP 算子将无法区分前景和背景. 而颜色信息在绝大多数情况下保持稳定, 当纹理特征不丰富的时候, 颜色信息也同样具有很好的区分度, 故融合纹理信息与颜色信息表示背景模型. 笔者将背景 $BG_{x,y,t}$ 表示如下:

$$BG_{x,y,t} = (LBP_{x,y,t}, Color_{x,y,t}), \quad (7)$$

其中, $LBP_{x,y,t}$ 为像素点直方图信息; $Color_{x,y,t}$ 为颜色信息, 采用混合高斯模型方式表征. 笔者采用二元 LBP 直方图的纹理模型与基于颜色特征的混合高斯模型进行融合, 并且采用共同权值的方式. 对于 1 帧图像先进行 LBP 纹理信息建模, 纹理筛选过滤混合高斯模型无法处理的阴影, 再进行混合高斯模型处理, 得到的背景受到的阴影影响不大, 又不会出现明显空洞问题, 而大量的实验也验证了此算法的有效性.

2 背景差分算法

2.1 背景建模

本算法实施过程的前提是摄像头为静止, 并且建模与更新都是针对像素点独立进行, 但此并不影响算法有效性. 阐述像素点的建模过程如图 2 所示.

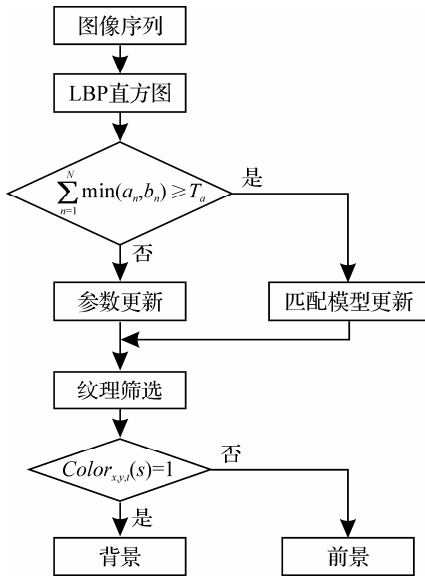


图2 像素点建模流程

在图2的流程中, 首先对图像序列进行 LBP 编码, 计算当前像素点的 LBP 直方图, 将当前帧像素点的 LBP 直方图 Ha 与背景模型中对应像素的直方

图 Hb 进行匹配性比较, 即与当前背景模型的直方图进行相似性比较. 参考文献[5], 用(8)式来衡量它们的相似性:

$$H = \cap(\overline{Ha}, \overline{Hb}) = \sum_{n=1}^N \min(a_n, b_n), \quad (8)$$

式中: $\overline{Ha}, \overline{Hb}$ 为 LBP 直方图, 根据(3)式计算 2 次 LBP 直方图, 若 1 次的值相同则表示相似; N 为条目数. 相似性度量的阈值 T_a 是用户设定的参数, 根据文献[5], 一般在 0.6~0.7 之间就可得到较好的结果. 对于背景模型包含的 K 个直方图, 可根据其权值进行降序排列. 将当前帧中像素点的 LBP 直方图 Ha 与降序排列好的 $\{h_0, h_1, \dots, h_{k-1}\}$ 进行相似性匹配. 如果背景模型中所有直方图相似度都小于 T_a , 那么进行参数更新, 最低权值的直方图将被 Ha 取代, 并被赋予低的初始权值, 此时一般取 0.01~0.05, 同时作权值的归一化处理. 如果找到了匹配的直方图, 则进行匹配模型更新. 需按(9)式更新背景直方图:

$$\overline{Hb} = a_b \overline{Hb} + (1 - a_b) \overline{Ha}, a_b \in [0, 1], \quad (9)$$

式中, a_b 为用户设定的学习速率.

直方图的权值更新如下:

$$w_k = a_w M_k + (1 - a_w) w_k, a_w \in [0, 1], \quad (10)$$

式中, M_k 对于匹配的直方图值为 1, 其余值为 0. 背景模型的更新速度由学习速率参数 a_b, a_w 来控制; 其值由用户设定, 数值越大模型更新越快, 但易受噪声影响. 通常情况下它们取值较小, 如 0.01~0.05 就可得到好的结果. 至此即完成了纹理筛选工作.

2.2 背景更新和前景提取

纹理筛选过的像素点依然满足高斯分布.

若满足(6)式匹配为 1, 判断为背景, 否则判断为前景.

如果判断出是背景, 则进行下列更新:

$$\mu_{x,y,t} = (1 - a_m) \mu_{x,y,t-1} + a_m I_{x,y,t}, a_m \in [0, 1], \quad (11)$$

$$\sigma_{x,y,t}^2 = (1 - a_m) \sigma_{x,y,t-1}^2 + a_m (I_{x,y,t} - \mu_{x,y,t})^2, \quad a_m \in [0, 1], \quad (12)$$

$$w_k = (1 - a_w) w_k + a_w (1 - Color_{x,y,t}(s)), \quad a_w \in [0, 1], \quad (13)$$

其中, a_m 与 a_w 都为学习率. 通常情况下, 它们取 0.01~0.05 间的较小值就可以得到较好的结果; 取值越大, 背景更新越快, 此时适用于变化快的背景; 而取值越小就适用于稳定的背景.

背景定义如下: 将 LBP 直方图与高斯模型按照权值进行降序排序, 并在 K 个降序排列好的直方图与高斯模型中选取满足下式的最少的前 B 个直方图与高斯模型来表征背景 ($B < K$):

$$w_0 + \dots + w_{B-1} > T_B, T_B \in [0, 1], \quad (14)$$

式中, T_B 为用户设定的 1 个阈值, 其值与 K 紧密相关, 参考文献[3], K 值一般取 3~5, T_B 一般取 0.6~0.7.

前景检测在背景模型更新前完成, 而利用(6)式可进行前景提取.

3 实验结果与分析

实验从多个常用数据测试集的测试序列中选取 3 个进行实验. 其中, 图 3 为室外弱阴影, 大量区域纹理接近视频序列. 图 4 选取的序列是室内灯光照射运动物体产生阴影的视频序列. 图 5 为交通监控的视频序列.

首先, 比较文中算法与其他算法的室外场景背景建模结果(图 3). 从图 3 可以看出混合高斯模型无法解决阴影问题, 而 LBP 纹理建模却可以较好解决阴影问题, 但是对于墙壁、地面这些纹理信息不丰富的情况却无法区分前景与背景; 对于衣服纹理接近的情况下, 则出现了大量的空洞. 而本文算法相对于混合高斯模型, 阴影少了很多, 相对于 LBP 纹理分割的结果, 空洞也少了许多.

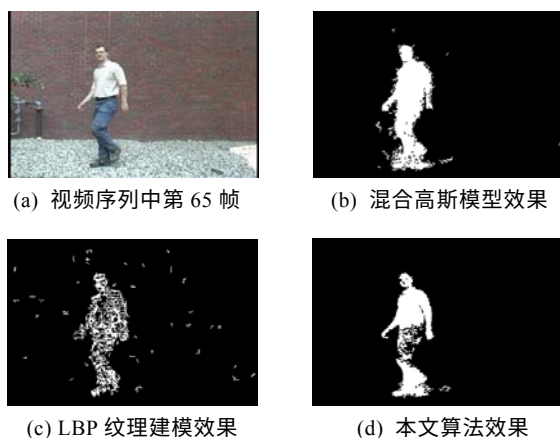


图 3 室外视频序列实验结果

对于室内的处理情况如图 4 所示. 从图 4 中可以很明显看出混合高斯模型在光照发生变化的时候, 阴影问题非常突出; 衣服纹理接近的情况下, LBP 纹理分割算法显得无力. 而本文算法得到了

较好的处理能力.

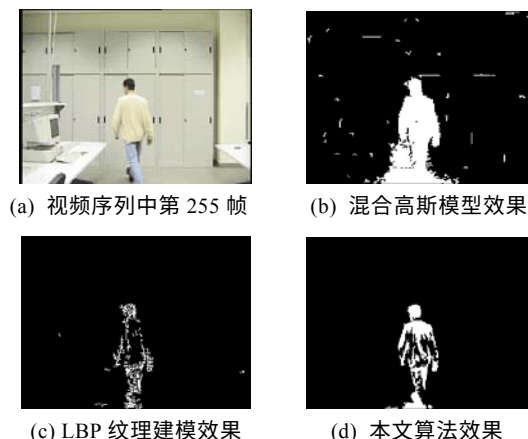


图 4 室内视频 Laboratory 序列实验结果

为了更好地说明本文算法的实用性, 图 5 即为本文算法在高速公路上的处理效果. 从高速公路视频序列与其他算法比较可以看出, 本文算法在真实场景中也具有很好的处理效果, 可为智能交通监控应用提供了可靠的支持.

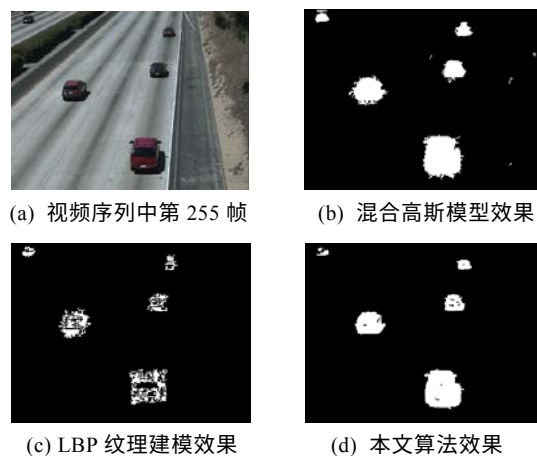


图 5 高速公路视频序列实验结果

最后, 对本文算法性能也做了测试. 采用电脑的主频 1.6 GHz, 内存为 988 MB. 图像的分辨率为 360×240 , 参数的选择参照文中第 2 节与第 3 节内容, 得到本文算法平均处理速度为 $21 \text{ f} \cdot \text{s}^{-1}$, 基本上满足实时性要求.

4 结论

提出了一种新的融合纹理和颜色信息的背景建模方法, 通过大量的实验及替换多种场景, 结果都验证了本文算法的有效性, 新算法既解决颜色信息模型阴影问题, 又解决了纹理信息模型在纹

理信息不丰富的情况下无法区分前景与背景的问题.

目前, 本文方法还存在少量阴影与少量空洞问题. 因此, 拟改进纹理建模与混合建模融合算法, 采用动态融合方法改进阈值的选择, 使之自适应视频序列的变化; 拟引入运动学的形状分割技术对运动物体预判断; 拟采用形态学图像处理相关技术优化处理结果; 这些将是今后需研究的方向.

参考文献:

- [1] Wren C R, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Real-time tracking of the human body[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 780-785.
- [2] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]. Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999:246-252.
- [3] Lee D S. Effective Gaussian mixture learning for video background subtraction[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(5): 827-832.
- [4] Lin H H, Chuang J H, Liu T L. Regularized background adaptation: A novel learning rate control scheme for Gaussian mixture modeling[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(3):822-836.
- [5] Heikkila M, Pietikainen M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(4):657-662.
- [6] Zhang Baochang, Gao Yongsheng. Kernel similarity modeling of texture pattern flow for motion detection in complex background[J]. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, 2011, 21(1):29-38.
- [7] Kim W, Kim C. Background subtraction for dynamic texture scenes using fuzzy color histograms [J]. IEEE Signal processing letters, 2012, 19(3):127-130.
- [8] Marks T K, Hershey J R, Movellan J R. Tracking motion, deformation, and texture using conditionally Gaussian processes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(2):348-363.
- [9] 徐剑, 丁晓青, 王生进, 等. 一种融合局部纹理和颜色信息的背景减除方法[J]. 自动化学报, 2009, 35(9):1145-1150.
- [10] Chua T W. Fuzzy rule-based system for dynamic texture and color based background subtraction[C]. 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Brisbane, QLD, 2012:1-7.
- [11] 刘泉志, 胡福桥. 混合高斯模型和 LBP 纹理模型相融合的背景建模[J]. 微型电脑应用, 2010, 26(9):42-45.

Background Modeling Algorithm Based on Combination of Texture and Color

WANG Ji-wen^{1,2}, HE Jia-ming^{1,2*}

(1.Institute of Communication, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Key Laboratory of Mobile Internet Application Technology of Zhejiang Province, Ningbo 315211, China)

Abstract: Currently, the background subtraction is often used in moving target detection of video sequences. However, with the varying illumination and shadow, this method can not accurately distinguish motioning objects. To tackle this shortfall, a new background modeling algorithm which fuses texture and color information to create a background model is proposed in this paper. The texture information is often described with LBP (local binary pattern, local binary mode) operator. The basic LBP operator is improved in this work to characterize the texture information, while the anti-noise factor is also introduced to enhance the anti-noise impact. Experimental results show that the proposed algorithm has achieved satisfactory results in most cases.

Key words: moving objects detection; background subtraction; background model; texture information; local binary pattern; anti-noise factor

(责任编辑 章践立)