

基于前景分割的目标实时检测方法

牛杰^{1,2*}, 卜雄洙², 钱堃³

(1. 常州信息职业技术学院 电子与电气工程学院, 江苏 常州 213164;
2. 南京理工大学 机械工程学院, 南京 210094; 3. 东南大学 自动化学院, 南京 210096)
(*通信作者电子邮箱 njroge1@gmail.com)

摘要:针对基于单一颜色信息的目标分割算法易受光线因素影响的问题,提出一种颜色及深度信息融合进行前景分割的目标实时检测方法。采用 Kinect 传感器采集低成本深度(RGB-D)图像,利用改进的 ViBe 算法及多帧差分法分别对于 RGB 以及深度图像进行建模。前景分割后,利用选取基准(SC)融合策略优化目标结果,然后通过 rg Chromaticity 颜色模型计算前景区域直方图信息并与模板匹配完成目标标记。实验结果表明,该方法对于环境光线及噪声干扰具有一定的鲁棒性,对于 ViBe 算法中背景前景同色误检及“鬼影”现象,对于深度图像分割中前景背景距离过近而造成误检现象都有很好的识别效果。

关键词:目标检测;背景建模;前景分割;ViBe 算法;Kinect 传感器
中图分类号: TP391.413 **文献标志码:** A

Real-time object detection method based on foreground segmentation

NIU Jie^{1,2*}, BU Xiongzhuzhu², QIAN Kun³

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Changzhou College of Information Technology, Changzhou Jiangsu 213164, China;
2. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China;
3. School of Automation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: Aiming at the problem that object segmentation algorithms based on single color information are very sensitive to the changes on lighting, a novel approach to detect target based on the fusion of color and depth information was proposed. Firstly, improved Visual Background Extractor (ViBe) and multiple-frame subtraction algorithm were used to establish models for RGB and depth images which captured by Kinect sensor respectively. Then, strategy of Selection Criterion (SC) was used to optimize segmentation results. Lastly, most likely target was labeled by calculating similar degree between foreground and template in the rg chromaticity space. The experimental results demonstrate that the proposed method exhibit a certain degree of resilience to light disturbance and noise, and it can overcome the disadvantages of single RGB based algorithms effectively.

Key words: target detection; background modeling; foreground segmentation; ViBe algorithm; Kinect sensor

0 引言

目标检测一直是计算机视觉的重要课题。检测是跟踪、计数、分类等应用的基础,在人机交互、智能监控等领域有着较大的发展前景。目标检测可以理解为在动态复杂场景中实时定位物体位置^[1]。

典型的目标检测算法可以分为背景减除法^[2]、活动轮廓法^[3]、Mean Shift 方法^[4]、时间差分法^[5]、光流法^[6]等。其中,背景减除法具有简单有效的特点。在建立了良好的背景模型后,该方法可以取得很好的分割效果。目前应用最广的是混合高斯建模法(Gaussian Mixture Model, GMM)^[7-8],该方法对于背景变化和光照扰动具有一定的自适应性,但是其灵敏度无法准确调谐^[9],在处理高低频背景突变时能力欠缺。同时,GMM 方法还存在建模复杂、参数方差会对含噪图像产生错误影响等缺点。近年来,一种非参数聚类背景分割算法

ViBe (Visual Background Extractor)^[10] 由于其快速、有效的优点受到了越来越多的关注。该方法基于概率统计的原理对于背景进行建模,并采取一种简单的空间传播方式更新背景模型。利用单帧即可建立背景模型,并能有效抑制虚影、相机抖动等因素对前景分割的影响,具有良好的算法性能。但是,由于 ViBe 算法自身特点,在处理光强突变以及初始帧存在动态物体时,存在较大的识别错误率。

本文提出并开发了一种基于低成本颜色深度(Red Green Blue-Depth, RGB-D)传感器的前景分割改进算法,利用 RGB-D 图像分别建立 ViBe 背景模型及深度模型,用深度模型来指导背景模型更新策略,从而克服 ViBe 模型中前景和背景颜色相近导致的伪背景问题,以及建模帧存在动态目标的虚假前景问题。利用直方图匹配在 rg Chromaticity 颜色模型中完成前景目标定位。通过公用 Kinect RGB-D 视频库图像测试,与常用背景差分算法进行对比分析,实验结果验证了其有效性。

收稿日期: 2013-11-21; **修回日期:** 2013-12-29。 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61105094);江苏省大学生实践创新训练计划项目(201312317013Y);常州市应用基础研究计划资助项目(CJ20130006)。

作者简介: 牛杰(1983-),男,江苏淮安人,讲师,博士研究生,主要研究方向:机器视觉、智能机器人; 卜雄洙(1966-),男,吉林延吉人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:智能测控系统、机器视觉; 钱堃(1982-),男,江苏南京人,讲师,博士,主要研究方向:服务机器人导航、人机交互。

1 算法框架

本文利用微软公司的 Kinect 传感器进行图像采集,与传统视觉传感器相比,Kinect 能够同时获取场景的 RGB 图像和不受环境可见光谱干扰的深度图像。

选取任一单帧图像开始 ViBe 背景以及深度信息建模。在背景模型基础上,完成 ViBe 以及深度图像的前景分割。分割结果经信息融合后进行形态学滤波,根据前景目标的状态变化,更新背景模型并输出最终分割结果。考虑目标的主颜色特征进行跟踪器匹配,完成目标定位。具体算法流程如图 1 所示。

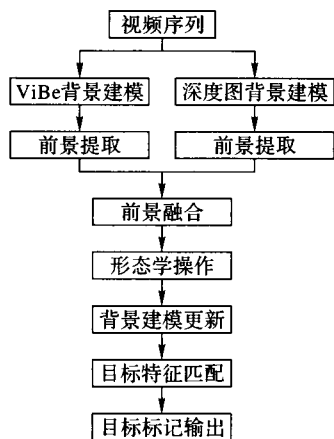


图 1 算法流程

2 背景建模

2.1 ViBe 背景建模

ViBe 是一种统计意义上的运动目标检测方法。通过存储一定数量的先前位置及其邻域像素值进行背景建模。待测图像与模型像素值进行比较,以判断该像素点属于前景或背景,然后采用一种随机性策略进行背景模型更新。本文将背景滤波引入到 ViBe 算法以改善性能,具体步骤如下:

1) 单帧背景建模。待建模帧中,假定单个像素点 X 与其邻域像素值有着相似的空间分布,从图像每个像素的 8 邻域中随机抽取 N 个邻域像素值 $V(x)$ 作为该像素的背景模型。利用该操作遍历图像所有像素点,完成整个图像背景建模。

2) 分类过程。待分类图像像素点与背景模型中的同一位置像素的 N 个值进行比较,差值绝对值小于设定阈值 R ,匹配计数加 1。若匹配计数大于设定的最小匹配数 NUM ,认定该像素是背景点;否则为前景点。

3) 背景模型更新。当一个像素点归类为背景后,启动背景模型更新。设定时间采样因子 Φ ,按照 $1/\Phi$ 的概率,用当前点像素值替换 ViBe 背景模型中对应点像素值,然后,从该点邻域中随机选择一个像素点位置,用该像素值对被选邻域位置像素点值进行替换。

4) 滤波处理。首先移除前景中面积小于等于 10 像素的区域;然后选择在面积小于等于 20 像素的前景区域中填充空洞。上述操作中,所有接触图像边缘的区域,不论面积大小,维持原貌。

2.2 深度信息背景建模

Kinect 传感器可以提供最高每秒 30 帧 640×480 的 RGB-D 图像。由于采集的深度图像误差随着距离增加而增加,对于室内窗帘等含氨纶材料检测效果差,且存在环境噪声干扰,本文通过实验的方式,得到具体的参数后,利用单纯的背景差法进行深度信息背景建模,具体步骤如下:

1) 采集 M 帧深度图像,计算该 M 帧深度图像所有像素点的深度信息均值作为背景图像像素点像素值,完成背景模型。

2) 待分类深度图像的所有像素点像素值与背景模型对应点像素值比较,如果差值绝对值大于设定阈值 T ,则认定该像素是前景点;否则是背景点。其中,阈值 T 根据 M 的不同可以设置不同值。实验得出如式(1)所示的 T 值,效果良好,检测误差在 20 cm 以内。

$$T = \begin{cases} 5, & M \geq 300 \\ 20, & 300 > M \geq 100 \\ 30, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

3) 针对深度图像中固定背景噪声内嵌在前景像素点的情况,设定深度图像像素的前景计数变量 i ,当某位置像素点判定为前景点时,变量值 i 加 1;否则 i 值清零。若 i 值超过最大设定计数值,则直接将该位置判定为背景, i 值清零。

3 前景融合策略

ViBe 算法可以精确地检测出前景物体。但是当目标与背景颜色相近,或者建模帧存在运动物体时,存在较高的识别错误率。另一方面,基于深度图像信息的背景差分法,则不受环境颜色及光照信息的影响。同时,利用多帧深度信息建模可以克服背景中存在运动物体的不利因素,但是深度信息也存在目标与背景距离很近时无法检出的问题。

本文巧妙地利用单一 Kinect 传感器采集 RGB-D 图像,采用选取基准(Selection Criterion, SC)融合策略,将 ViBe 算法和深度图像背景差分法有机结合,从而克服了各自缺点,达到良好的检测效果。具体步骤如下。

1) ViBe 提取前景图像 M_v 进行形态学处理(开闭操作)。
2) 利用文献[11]算法映射深度前景图像至 RGB 坐标,得到深度前景映射图像 M_d 。
3) 比较 M_v 和 M_d 中对应像素,按照以下原则进行前景融合:

- ① 同为前景像素,则直接判断为前景。
- ② M_v 中前景像素对应 M_d 中非前景像素,需考虑“鬼影”及目标与背景距离过近因素,以 RGB 图像为基准,直接输出结果供后期颜色模型判别,并用 ViBe 算法重新更新背景模型。
- ③ M_d 中前景像素对应 M_v 中非前景像素,需考虑噪声及颜色、突变光照影响,以深度映射图像为基准,利用形态学滤波后输出检测结果。

4 分离目标匹配

本文对于融合算法处理后的前景目标图像,利用 rg

Chromaticity 颜色模型^[12]进行处理以克服光照影响。换算公式如下:

$$r_{cr} = R/(R + G + B) \quad (2)$$

$$g_{cr} = G/(R + G + B) \quad (3)$$

其中: r_{cr} 和 g_{cr} 分别是该颜色模型的两个分量。计算对应的颜色直方图与待检模板直方图进行比较,采用 Bhattacharyya 距离来衡量相似度进行标记。假设目标的颜色分布为 $q = \{q^{(u)}\}_{u=1,2,\dots,m}$, 图像前景目标的颜色分布为 $p(x_i) = \{p^u(x_i)\}_{u=1,2,\dots,m}$, 则 q 和 $p(x_i)$ 的相似度可以用下式表示:

$$d_c[p(x_i), q] = \sqrt{1 - \rho[p(x_i), q]} \quad (4)$$

其中: $\rho[p(x_i), q]$ 即为 Bhattacharyya 系数。

$$\rho[p(x_i), q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p^u(x_i) q^u} \quad (5)$$

得到目标以及前景结果的巴氏距离后,设计如下的颜色观测似然函数:

$$p_c(z_i | x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_c} \exp\left(-\frac{d_c^2[p(x_i), q]}{2\sigma_c^2}\right) \quad (6)$$

其中: σ_c 为高斯标准差,实验中取为0.5。式(6)的值越大说明前景结果与目标越相似,候选前景为真实运动目标的可能性越大。本文取最大相似度值进行标记。需要注意的是,只要设定相似度最小阈值,该方法很容易可以推广到多目标定位。此外还可以联合目标轮廓形状等判别因素,减少单一颜色所带来的定位误差。

5 实验结果与分析

根据以上理论,取 $N = 20$, $R = 20$, $NUM = 2$, $\Phi = 16$, 实验平台 2.2 GHz Intel Core i7 处理器、Windows7 64 位 PC 机,编程环境为 VS2005 + OPENCV2.1。

实验1 室内环境,单一日光灯闪烁模拟光强扰动,利用氨纶材质窗帘加大深度图像噪声,Kinect 同时采集 RGB 及深度图像并建模,目标选择为人体颜色。结果如图2所示。

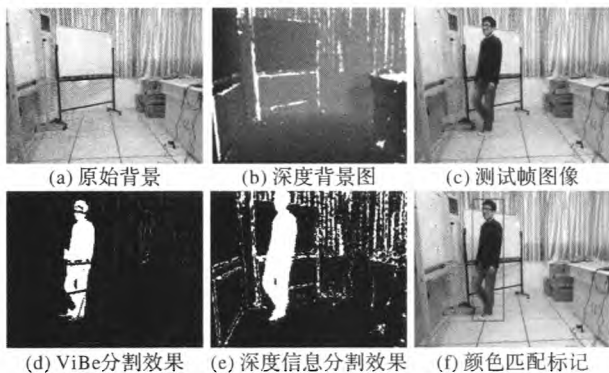


图2 正常态前景分割效果

图2(d)所示 ViBe 分割时,人体存在断续情况,原因是此时人体的衣服颜色和背景相似,ViBe 由于自身算法限制,无法检出。深度图像(e)由于氨纶面料的存在,红外探测时存在较多噪点。但是人体检测完全,通过 SC 融合策略,结合进一步基于直方图的目标判定,无需去噪即可最终定位标记到理想目标图像。

实验2 环境同实验1。Kinect 同时采集 RGB 及深度图

像并建模,目标模板选择为与背景白板颜色相近的普通 A4 白纸。结果如图3所示。

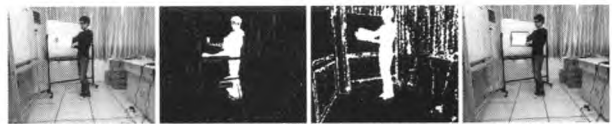


图3 与背景颜色相近前景分割效果

图3(b)中,利用 ViBe 算法分割,由于白纸与背景背板颜色一致,导致不能检出。而深度图则不受颜色影响,利用 SC 融合策略,合并融合两者共同前景后,基于深度前景图像,形态学滤波后输出最终前景,利用颜色匹配进行目标标记如图3(d)所示。

实验3 环境同实验1。Kinect 同时采集 RGB 及深度图像并建模,目标模板选择为蓝色普通 A4 文件夹。结果如图4所示。



图4 与背景深度相近前景分割效果

图4(c)中,利用深度信息进行前景分割,由于目标贴近背景,深度信息上无法分辨,因此出现漏检情况;而此时的 ViBe 算法如图4(b)所示,效果良好;将二者进行 SC 融合,目标标记如图4(d)所示。

实验4 环境同实验1。Kinect 同时采集 RGB 及深度图像并建模,ViBe 建模帧存在动态物体,目标选择为人体颜色。结果如图5所示。

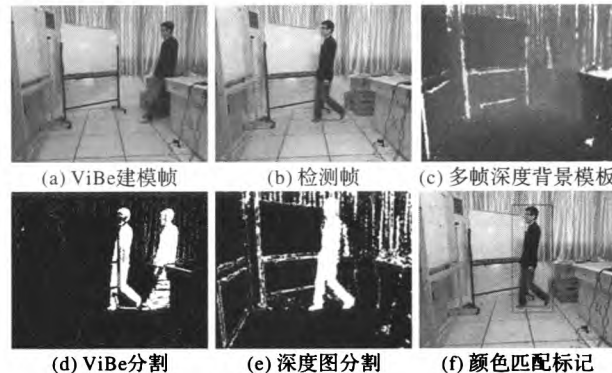


图5 ViBe 建模帧存在动态物体分割效果

由于 ViBe 是单帧建模,因此可能出现建模帧存在运动物体的情况,虽然 ViBe 通过背景更新可以逐渐消除“鬼影”现象,但是所需时间较长,通过多帧建模的深度背景图像,则不受背景动态物体影响。除去共同前景像素部分,形态学滤波后,叠加输出深度图像得到前景图像,利用颜色信息进行匹配标记如图5(f),效果良好。

为了更好地说明本文方法性能,选取德国阿尔伯特·路德维希·弗莱堡大学公共 Kinect 数据库 (<http://www.informatik.uni-freiburg.de/~spinello/RGBD-dataset.html>) 图像^[13]与其他常用前景分割算法混合高斯模型 (Gaussian Mixture Model, GMM)^[14]、K 最近邻 (K-Nearest Neighbor, KNN)^[15]、ViBe^[10]、直方图法^[16]进行比较。统计结果如表1所示。其中:真阳(True Positive, TP)定义为前景目标且被检

出;假阳(False Positive, FP)定义为背景被误判为前景;真阴(True Negative, TN)定义为背景目标且被正确识别;假阴(False Negative, FN)定义为前景目标被误判为背景。前景识别率(Recall, Re)、背景识别率(Specificity, Sp)、假阳率(False Positive Rate, FPR)、假阴率(False Negative Rate, FNR)、误检率(Percentage of Wrong Classifications, PWC)和精度(Precision, Pre)统计指标计算方法如式(7)~(12)所示:

$$Re = TP / (TP + FN) \tag{7}$$

$$Sp = TN / (TN + FP) \tag{8}$$

$$FPR = FP / (FP + TN) \tag{9}$$

$$FNR = FN / (TP + FN) \tag{10}$$

$$PWC = \frac{FN + FP}{TP + FN + FP + TN} * 100\% \tag{11}$$

$$Pre = TP / (TP + FP) \tag{12}$$

表 1 本文分割算法以及对比结果

算法	指标					
	Re	Sp	FPR	FNR	PWC/%	Pre
GMM	0.687 2	0.983 6	0.016 4	0.312 8	3.329 2	0.716 9
KNN	0.631 1	0.981 5	0.018 5	0.368 9	5.379 9	0.792 6
ViBe	0.592 3	0.977 3	0.022 7	0.407 7	6.525 7	0.764 3
直方图法	0.767 3	0.936 5	0.063 5	0.232 7	7.768 4	0.525 1
本文算法	0.826 4	0.983 8	0.016 2	0.173 6	3.018 3	0.832 6

图像库 640×480 分辨率图像中,本文算法速度可以达到每秒 21 帧,满足视频实时性要求。根据表 1 统计结果,本文算法效果所有统计指标都为同类算法最优,其中误检率指标提升明显。这与本文算法综合利用 RGB 以及深度图像,而其他的算法都是只利用了 RGB 图像进行识别有关。

6 结语

针对传统背景建模算法存在的问题,提出了一种基于 Kinect 深度传感器的前景分割目标实时检测方法。该方法利用单一的低成本 RGB-D 传感器,对于 RGB 及深度图像分别进行建模,融合 ViBe 算法以及深度图像前景分割的优点,通过映射关系找到两者对应前景像素区域后,利用本文提出的选取基准 SC 融合策略指导背景更新及前景输出。将本文算法与常用背景差分算法 GMM、KNN 等进行比较,在保证实时性的前提下,融合深度信息的前景分割算法能够更加准确地得到正确前景目标。同时,相比激光传感,Kinect 传感器实现深度图像采集的低成本化。但是存在检测距离在 4 m 以上时无返回信号以及对特定衣服面料检出错误率高等不足。未来的工作需要进一步细化融合策略,以及在目标标识时加入轮廓信息等元素以便得到更好的前景目标提取效果。

参考文献:

[1] HU W, TAN T, WANG L, *et al.* A survey on visual surveillance of object motion and behaviors [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2004, 34 (3): 334 - 352.

[2] PICCARDI M. Background subtraction techniques: a review [C]// Proceedings of the 2004 International Conference on Systems, Man

and Cybernetics. Piscataway: IEEE Press, 2004, 4: 3099 - 3104.

[3] MEI J, SI Y, KARIMI H R, *et al.* A novel active contour model for unsupervised low-key image segmentation [J]. Central European Journal of Engineering, 2013, 3(2): 267 - 275.

[4] COMANICIU D, MEER P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603 - 619.

[5] LIPTON A J, FUJIYOSHI H, PATIL R S. Moving target classification and tracking from real-time video [C]// WACV '98: Proceedings of the 4th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998: 8 - 14.

[6] BARRON J L, FLEET D J, BEACHEMIN S S. Performance of optical flow techniques [J]. International Journal of Computer Vision, 1994, 12(1): 43 - 77.

[7] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747 - 757.

[8] CHEN L, ZHANG R, HU J, *et al.* Improved Gaussian mixture model and shadow elimination method [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(5): 1394 - 1397. (陈雷, 张荣国, 胡静, 等. 改进的混合高斯模型及阴影消除方法 [J]. 计算机应用, 2013, 33(5): 1394 - 1397.)

[9] ELGAMMAL A M, HARWOOD D, DAVIS L S. Non-parametric model for background subtraction [C]// ECCV '00: Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer-Verlag, 2000: 751 - 767.

[10] BARNICH O, van DROOGENBROECK M. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1709 - 1724.

[11] NAKAMURA T. Real-time 3-D object tracking using Kinect sensor [C]// proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Piscataway: IEEE Press, 2011: 784 - 788.

[12] KLOSS G K, SHIN H, REYES N H. Dynamic colour adaptation for colour object tracking [C]// Proceedings of the 2009 24th International Conference on Image and Vision Computing. Piscataway: IEEE Press, 2009: 340 - 345.

[13] SPINELLO L, ARRAS K O. People detection in RGB-D data [C]// Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Piscataway: IEEE Press, 2011: 3838 - 3843.

[14] ZIVKOVIC Z. Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction [C]// Proceedings of the 2004 17th International Conference on Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004, 2: 28 - 31.

[15] ZIVKOVIC Z, van der HEIJDEN F. Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(7): 773 - 780.

[16] ZHENG J, WANG Y, NIHAN N L, *et al.* Extracting roadway background image: a mode-based approach [EB/OL]. [2013-06-02]. http://pdf.aminer.org/000/315/378/an_image_processing_algorithm_saving_valuable_time_in_a_sequence.pdf

基于前景分割的目标实时检测方法

作者：[牛杰](#)，[卜雄洙](#)，[钱堃](#)，[NIU Jie](#)，[BU Xiongzhu](#)，[QIAN Kun](#)

作者单位：[牛杰, NIU Jie\(常州信息职业技术学院电子与电气工程学院, 江苏常州213164; 南京理工大学机械工程学院, 南京210094\)](#)，[卜雄洙, BU Xiongzhu\(南京理工大学机械工程学院, 南京, 210094\)](#)，[钱堃, QIAN Kun\(东南大学自动化学院, 南京, 210096\)](#)

刊名：[计算机应用](#)[ISTIC](#)[PKU](#)

英文刊名：[Journal of Computer Applications](#)

年，卷(期)：2014, 34(5)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyy201405055.aspx