

改进的混合高斯模型及阴影消除方法

陈雷¹, 张荣国^{1*}, 胡静¹, 刘焜²

(1. 太原科技大学 计算机科学与技术学院, 太原 030024; 2. 合肥工业大学 机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

(* 通信作者电子邮箱 rg_zh@163.com)

摘要: 为了有效减少运动目标检测中混合高斯模型的计算量和提高阴影消除的准确性, 提出了一种选择性地更新混合高斯模型和基于亮度变化消除阴影的方法。首先, 在各个高斯分布进行更新之前, 先将其权值与不属于背景的高斯分布的比重进行比较, 若前者较大, 则此高斯分布不更新, 反之则更新; 然后, 在阴影消除时, 将亮度的变化程度作为阴影检测阈值的一个因子, 以使其随亮度变化自适应地做出调整。最后, 将该方法与传统方法在室内外视频条件下进行了实验对比, 结果表明该方法的计算时间约为传统方法的 1/3, 阴影消除更加准确。

关键词: 运动目标检测; 自适应; 背景减除; 阈值; 混合高斯模型; 阴影消除

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Improved Gaussian mixture model and shadow elimination method

CHEN Lei¹, ZHANG Rongguo^{1*}, HU Jing¹, LIU Kun²

(1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China;

2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: To reduce the computation of Gauss mixture model effectively and improve the accuracy of shadow elimination in moving object detection, an algorithm which updated the model selectively and eliminated the shadow by the change of brightness was proposed. Firstly, the weight of the Gauss distribution and the rate of those that did not belong to the background were compared before updating the Gauss distribution, if the former was larger, then did not update it, otherwise, updated it; Secondly, the range of brightness change was chosen to be a threshold factor of shadow detection, so that the threshold could be adjusted adaptively according to the change of brightness. Finally, compared this algorithm with the traditional ones through experiments on indoor and outdoor videos, the experimental results show that the time consumption of the algorithm is about one-third of the traditional ones, the accuracy of shadow eliminating is improved and the efficiency of the algorithm is confirmed.

Key words: moving object detection; adaptive; background subtraction; threshold; Gaussian mixture model; shadow elimination

0 引言

运动目标检测是人体运动视觉^[1]分析中的重要研究课题, 对目标分类、跟踪、识别与理解有着重要作用, 经典方法有光流法^[2]、帧间差法^[3-4]以及背景减除法^[5-6]。背景减除法可适应多模态背景, 检测出的目标较完整, 应用较广; Stauffer等^[5]利用混合高斯模型解决了背景建模和背景更新两个关键问题, 缺点是计算量大, 在初期易检测失败; KaewTraKulPong等^[7]根据模型匹配次数采用两种学习率和参数更新方式, 解决了初期检测失败问题, 计算量仍较大; 白向峰等^[8-9]利用偏差均值作为匹配时的阈值参数来简化方差计算, 可对背景像素点的混合高斯模型仍持续地更新, 实时性差; 王典等^[10]采取在某高斯分布的权值足够大后, 在一定帧数内不再更新, 以去除背景点的模型持续更新, 但不能检测到间隔帧数内的背景变化, 背景易被误判为运动目标; Zivkovic等^[11]采取高斯分布个数自适应选择来简化计算, 但每当新的高斯分布出现时都要分配存储空间, 效果并不明显。在运动

目标检测中阴影容易被检测为目标, 影响了检测结果, 必须进行抑制, 有基于模型和属性两种方法。文献[7]在红、绿、蓝(R(Red)、G(Green)、B(Blue))彩色空间进行了阴影消除, 但亮度变化需限制在较小范围内, 且对这一范围未给出合适的设置方法; 文献[10]及贾棋等^[12]基于色调、饱和度、亮度(H(Hue)、S(Saturation)、V(Value))模型消除阴影, 不足同上; 王宁等^[13-15]采用了基于属性的方法, 计算复杂度较高, 实时性不强。

本文针对混合高斯模型计算量大的问题, 提出利用高斯分布的权值选择性地更新模型, 并提出在 RGB 空间中利用亮度变化信息自适应地控制阴影检测阈值, 最后通过实验进行了验证。

1 传统方法

1.1 混合高斯模型

混合高斯模型用多个高斯分布的组合来表示背景像素值分布, 其样本通过下式获得:

收稿日期: 2012-10-24; 修回日期: 2012-12-11。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51075113); 太原科技大学博士基金资助项目(20122015)。

作者简介: 陈雷(1981-), 男, 山东菏泽人, 硕士, 主要研究方向: 图像处理、计算机视觉; 张荣国(1964-), 男, 山西太原人, 教授, 博士, 主要研究方向: 计算机图形学与辅助设计、图形图像处理、模式识别; 胡静(1977-), 女, 山西大同人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 图形图像处理、优化算法; 刘焜(1963-), 男, 陕西汉中, 教授, 博士, 主要研究方向: 现代设计方法。

影判断时的阈值是与其亮度的变化成比例变化的,在图 1 中表示为 ΔOMF 与 $\Delta OI_s'A_1$ 是相似的,所以由下式:

$$\begin{cases} \|I_s'A_1\|/\|MF\| = \|OA_1\|/\|OF\| \\ \|MF\| = D\sigma \\ \|OF\| \approx \|OE\| = e \\ \|OA_1\| = a \end{cases} \quad (12)$$

可得:

$$\|I_s'A_1\| = (a/e)D\sigma \quad (13)$$

所以本文改进的阴影消除方法是:对于某前期被判为运动目标的点 $SP(x,y)$, x,y 分别为行坐标和列坐标,将 $SP(x,y)$ 与其对应混合高斯模型中描述背景的前 B 个高斯分布依次先利用式(7)和式(8)求出 a 和 c ,然后根据下式做阴影判断:

$$SP(x,y) = \begin{cases} 0, \varepsilon < a/e < 1 \wedge c < (a/e)D\sigma \\ 1, \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

其中 ε 是为保留亮度较低的运动目标而设置的较小的阈值。如果某高斯分布使得 $SP(x,y) = 0$,就将此点判断为阴影,对于其他高斯分布不需再与其进行比较判断,这就允许亮度有较大的变化范围,提高了阴影判断的准确度,避免了将亮度低的运动目标划分为阴影消除掉,实现了阴影判断时阈值随亮度变化的自适应调节。

3 实验结果和分析

为验证本文算法有效性,分别取 PETS2009 视频库 S2.L1walking 中 View_007 和 <http://cvrr.ucsd.edu/ato-n-testbed/> 中 Shadow Detection Data-Row 的 Highway II 及 Laboratory 视频进行了实验,并将实验数据分别与文献[5](以下简称 S 方法)及文献[7](其运动目标检测方法以下称为 P 方法,阴影消除方法以下称为 Py 方法)的方法进行了对比。其中 View_007(压缩后)与后两个视频分辨率均为 360×288 ,运行环境:PC 机 CPU 为 Intel Corei3 M350,主频 2.27 GHz,内存 2 GB,MatlabR2008a 版本。

运动目标检测时 S 和 P 方法对匹配成功的背景点对应的高斯分布进行了持续更新,需做指数及开方运算,计算量大,本文利用匹配成功的高斯分布的权值大小,对属于背景的高斯分布的持续更新进行了有效抑制。图 2 中所示是对各视频用本文方法和 S 方法及 P 方法处理时每帧视频所用时间的对比。

根据视频拍摄的环境,在图 2 及下文所述中对视频 View_007 的处理称作室外非刚体实验,对 Highway II 的处理称作室外刚体实验,对 Laboratory 的处理称作室内非刚体实验。由图 2 可知,改进后的 S 方法在开始时处理时间较大,这是因为属于背景的高斯分布在开始时权值还不够大,经过一段时间的学习更新,权值达到所设定的阈值后,匹配成功的属于背景的高斯分布就不再更新了,所以处理时间会保持在较小的值上。时间曲线的波动是由于运动目标的运动使得混合高斯模型进行了更新,这样本文算法其实只是对场景中的变化区域进行参数更新,从而保证了运动检测效果,因为初始化时虽对每个像素建立了 K 个高斯分布,而实际上大部分背景像素点并不需要用 K 个高斯分布来描述,用 $1 \sim K$ 的某个数值大小个高斯分布就可以完全描述了,本文方法中混合高斯模型虽包含 K 个高斯分布,但实际利用到的个数完全取决于实际背景点的复杂程度,真正意义上实现了高斯分布个数的自适应

选择。例如:某一点处的背景有两种状态,那么其对应混合高斯模型中前两个高斯分布的权值就会较大,所以与这两个高斯分布匹配成功的像素值对应的点就是背景点,这两个高斯分布就没必要持续更新,而其他高斯分布并未用来描述背景,只在运动目标出现时才用到,这一点从图 2 中可以明显地看出来。表 1 是各实验视频用本文方法和 S 方法与 P 方法处理视频所用平均时间的对比。

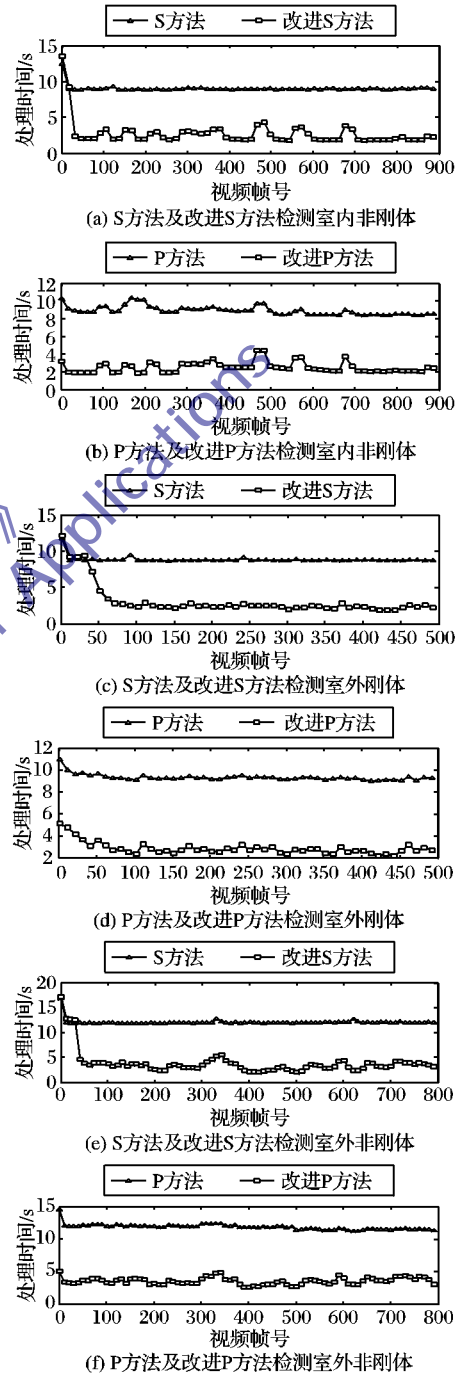


图 2 处理时间对比 ($K = 5$)

表 1 处理视频所用平均时间对比

算法	高斯分布个数	学习率	标注差	处理每帧视频所用平均时间/s		
				室内非刚体	室外刚体	室外非刚体
S 方法	5	0.02	5	8.953 3	8.792 1	11.989 5
改进 S 方法	5	0.02	5	2.469 2	3.030 0	3.695 4
P 方法	5	0.002	6	8.875 3	9.321 9	11.849 4
改进 P 方法	5	0.002	6	2.457 6	2.837 0	3.480 2

由图2中所示对各视频进行运动目标检测时的处理时间变化曲线和表1中处理各视频时每帧视频所用平均时间可以看出,本文方法明显优于S方法和P方法。图3是对各视频进行运动检测后抽取的部分检测结果,进一步验证了本文方法的有效性。

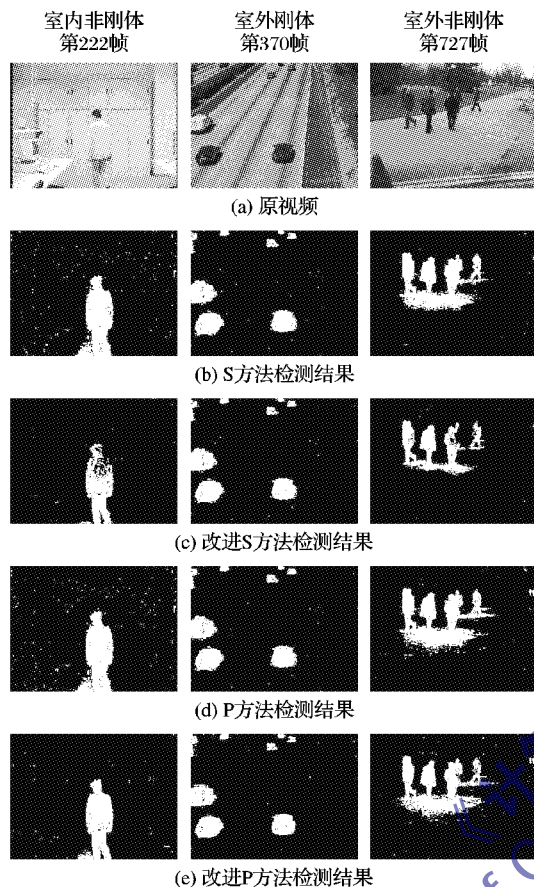


图3 检测结果对比

由图3中所示的检测结果可知运动目标在背景上投射的阴影也被检测出来了,成为运动目标检测结果的一部分,改变了目标的轮廓及形状等特征,必须进行消除。KaewTraKulPong等利用在RGB彩色空间中可以提取像素亮度信息与颜色信息的特点,在RGB彩色空间中基于混合高斯模型进行了阴影消除,但是在进行阴影判断时,对亮度变化程度设置了一个较大的下限值,使一部分亮度较低的阴影未被消除,而阴影区的特点就是亮度较低,对此本文提出允许亮度有较大程度变化的方法进行改进;另外,其采用的阈值是像素点对应混合高斯模型中属于背景的高斯分布的标准差,即 $\|MF\| = D\sigma$,没有充分利用亮度变化的信息,使部分实际运动目标也被当作阴影消除了,本文对这一不足的改进措施是将亮度变化程度作为阴影判断时的阈值的一个因子,使阈值可以随亮度变化程度的不同而自适应地做出调整,以避免将部分亮度较低的实际运动目标判为阴影消除掉,也使得亮度变化的下限可以取得更小,以将更多的阴影消除掉。图4所示是在各种条件下用Py方法和用本文方法进行阴影消除后的运动目标检测结果。

对比图4对各视频的实验结果可以看出,采用本文方法后对真正阴影的消除更加彻底,同时对亮度较低的实际运动目标的错误消除得到了有效抑制,进一步证明了本文阴影消

除方法优于Py方法。

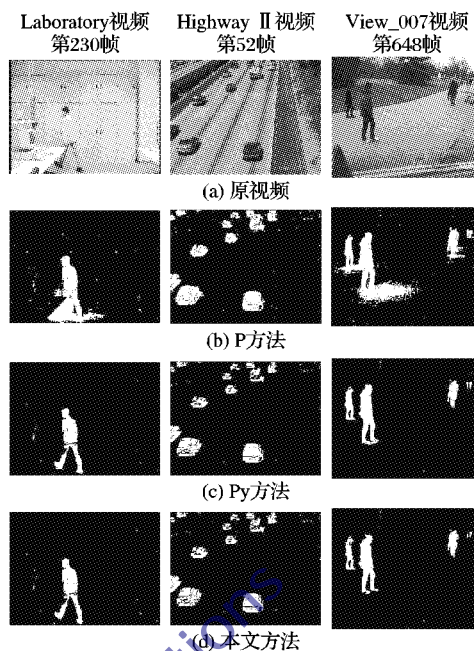


图4 阴影消除结果

4 结语

分析了基于混合高斯模型的运动目标检测方法速度较慢,难以实用的原因,并提出利用高斯分布的权值作为判决条件,对大量背景点持续匹配成功造成的模型冗余更新进行了抑制,提高了检测速度;然后分析了文献[7]所提方法中阴影消除不彻底及错误消除的原因,并提出用亮度变化程度自适应控制阴影消除时的阈值来改进,最后通过实验进行验证,实验结果表明,本文所提方法有效地改善了混合高斯模型的实用性及阴影消除的彻底性和准确性。

参考文献:

- [1] 王亮,胡卫明,谭铁牛. 人运动的视觉分析综述[J]. 计算机学报, 2002, 25(3): 225-237.
- [2] STEIN F. Efficient computation of optical flow using the census transform[C]// DAGM 2004, LNCS 3175. Berlin: Springer, 2004: 79-86.
- [3] ZHANG R, ZHANG S-Z, YU S-Y. Moving objects detection method based on brightness distortion and chromaticity distortion[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2007, 53(3): 1177-1185.
- [4] 杨莉,张荣国,胡静,等. 基于C-V模型的运动目标水平集提取方法[J]. 太原科技大学学报, 2012, 33(4): 254-258.
- [5] 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. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 246-252.
- [6] MANDELLOS N A, KERAMITSOGLOU I, KIRANOUDIS C T. A background subtraction algorithm for detecting and tracking vehicles[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(3): 1619-1631.
- [7] KAEWTRAKULPONG P, BOWDEN R. An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection[C]// Proceedings of the 2nd European Workshop on Advanced Video-based Surveillance Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 149-158.

0.318)(图3),该点即为满足精度要求的分段点。

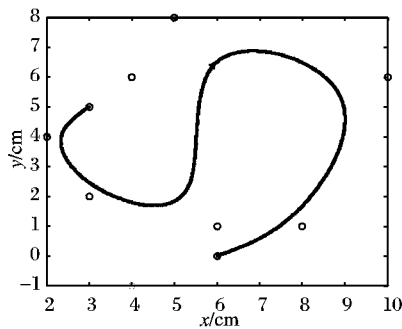


图3 符合精度要求的分段点

又如6次空间B样条曲线,其控制点为(1,2,0)(2,3,1)(3,4,2)(4,4.5,3)(5,3.5,4)(6,2.5,5)(7,2,6)(8,2.5,7)(9,4,8)(10,5.5,9),通过B样条曲线正算及非均匀参数化得到如图4所示空间B样条曲线。

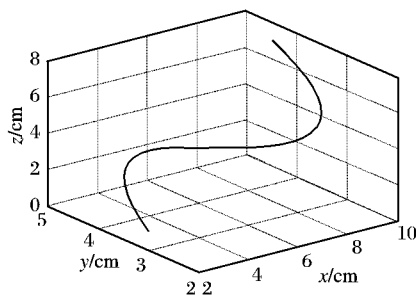


图4 空间6次B样条曲线

设定对该曲线按弧长进行均匀分段并求取分段点坐标值,设曲线距起始点分段弧长分别为1.9,3.8,5.7,7.6,9.5,11.4,其精度要求为0.01,限定弧长计算误差0.002,求出 $|\Delta| \leq 0.004$ 可满足分段精度要求,设置二分搜索的终止条件。程序运行后得到如图5所示符合精度要求的弧长分段点,其分段点的坐标值为:

x :3.1367, 4.4238, 5.5430, 6.7617, 8.0234, 9.0000
 y :4.0141, 4.0284, 2.9704, 2.1939, 2.6904, 4.0000
 z :2.1367, 3.4238, 4.5430, 5.7617, 7.0234, 8.0000

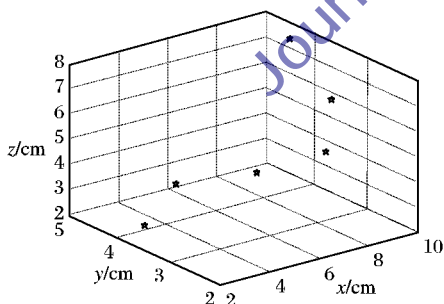


图5 6次B样条曲线等弧长分段点

5 结语

沿曲线路径对表面加工误差的检测中,在检测路径中按曲线弧长对分段点进行准确定位是保证检测点合理分布以及测量数据后续精确建模和误差分析的关键技术之一。

本文讨论了B样条曲线弧长计算方法并对弧长计算误差与分段误差的关系进行分析,通过建立弧长分段点搜索区间及二分法确定符合精度要求的弧长分段点。比较其他的弧长近似算法或近似弧长参数化方法所确定的分段点,该方法计算简便,并能较好地对弧长分段点进行精度控制。该方法对曲线弧长参数化方法没有限制,实验证明是解决参数曲线精确分段的有效方法。

参考文献:

- [1] 郑惠江,何改云,丁伯慧. 离散数据环境下复杂曲面检测点布局策略研究[J]. 机械工程学报, 2011, 47(24): 8-13.
- [2] 吴继春,唐小琦,陈吉红,等. 一种实时快速NURBS插补算法研究与实现[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(6): 1224-1227.
- [3] LYU W. Curves with chord length parameterization[J]. Computer Aided Geometric Design, 2009, 26(3): 342-350.
- [4] BASTL B R, JÜTTLER B, LÁVICKA M, et al. Curves and surfaces with rational chord length parameterization[J]. Computer Aided Geometric Design, 2012, 29(5): 231-241.
- [5] PAPAIOANNOU S G, PATRIKOUSAKIS M M. Curve interpolation based on the canonical arc length parametrization[J]. Computer-Aided Design, 2011, 43(1): 21-30.
- [6] SAKKALIS T, FAROUKI R T, VASERSTEIN L. Non-existence of rational arc length parameterizations for curves in R^n [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2009, 228(1): 494-497.
- [7] MICHAL B, MIROSLAV L. A symbolic-numerical approach to approximate parameterizations of space curves using graphs of critical points[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2013, 242: 107-124.
- [8] 白鸿武. 参数曲线弧长的一种估算方法[J]. 机械科学与技术, 2010, 29(1): 24-27.
- [9] 白鸿武,叶正麟,张书玲. Bézier曲线的近似弧长参数化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(8): 1165-1168.
- [10] 贾春阳,杨岳,陈峰,等. 弧长原则的NURBS曲线离散算法[EB/OL]. [2012-08-12]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.201208011652.013.html>.
- [11] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理B样条[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994: 229-236.
- [12] 翟瑞彩,谢伟松. 数值分析[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001: 201-213.

(上接第1397页)

- [8] 白向峰,李艾华,李喜来,等. 新型背景混合高斯模型[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(6): 983-988.
- [9] 金广智,石林锁,白向峰,等. 基于混合高斯模型的新型目标检测系统[J]. 计算机应用, 2011, 31(12): 3360-3365.
- [10] 王典,程咏梅,杨涛,等. 基于混合高斯模型的运动阴影抑制算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(5): 1021-1026.
- [11] 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.

- [12] 贾棋,郭禾,宫宇. 一种实用的运动人体检测与阴影消除方法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(s2): 151-153.
- [13] 王宁. 图像的阴影检测与去除算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [14] 张杰,丁广太. 运动人体阴影检测算法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(7): 1519-1522.
- [15] 王晓东,霍宏,方涛. 基于快速归一化互相关函数的运动车辆阴影检测算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(9): 2065-2068.