

基于色调直方图和区域合并的彩色图像分割算法

冷美萍, 鲍苏苏

(华南师范大学 计算机学院, 广州 510631)

(liverpings@126.com)

摘要:近年来随着机器视觉、模式识别和基于内容的图像检索等技术的不断提高以及彩色图像的大量使用,图像分割特别是彩色图像的分割显示出越来越重要的地位。为此提出了一种快速有效的彩色图像分割方法,主要包括三个步骤:首先将RGB颜色空间转换成HSV空间,把图像中的像素点根据饱和度和亮度划分为奇异点和非奇异点;然后对非奇异点和奇异点分别采用基于色调和灰度直方图进行分割;最后综合这两种分割结果,采用区域合并技术进行合并。实验结果表明,该方法对彩色图像能够有效地提取目标物体,具有一定的鲁棒性。

关键词:彩色图像分割;奇异点;色调直方图;区域合并

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Color image segmentation algorithm based on hue level histogram and region merging

LENG Mei-ping, BAO Su-su

(School of Computer Science, South China Normal University, Guangzhou Guangdong 510631, China)

Abstract: In recent years, with the advancement of machine vision, pattern recognition and content-based image retrieve and the wide use of color images, image segmentation, especially color image segmentation, has played a more and more important role. Therefore, a fast and effective segmentation method for color image was proposed, which mainly included three steps. Firstly RGB color space was transformed into HSV space, and image pixels were divided into singular and non-singular points according to their saturation and intensity; then the singular and non-singular points were segmented respectively based on hue level histogram and grey level histogram respectively; finally region merging method was adopted to merge the previous results of segmentation. The experimental results show that this method can effectively extract color image of the object and have certain robustness.

Key words: color image segmentation; singular point; hue level histogram; region merging

0 引言

图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤,在图像工程中占据重要的位置。它的目的就是把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣的目标。合理的图像分割有助于更好地进行图像识别、理解。

随着技术的进步,彩色图像的使用越来越多,其分割也越来越引起人们的重视。彩色图像分割是指在一幅彩色图像中分离出主要的色彩一致的区域,通常用于灰度图像分割的方法并不适合直接分割彩色图像。彩色图像分割算法的关键在于如何利用丰富的彩色信息来达到分割的目的。要分割一幅彩色图像,首先要选择好合适的颜色空间,其次要采用适合于此空间的分割策略和方法。现已提出的彩色图像分割方法主要包括聚类法^[1]、基于邻域的区域生长法^[1]和边缘检测等^[2]。而这些算法存在着初始聚类中心固定、收敛缓慢、迭代费时、分割结果琐碎等问题。

基于此,本文提出一种快速有效的彩色图像分割方法。其基本思想是:首先将RGB颜色空间转换成HSV空间,接着把图像中的像素点根据饱和度和亮度划分为奇异点和非奇异点;对于非奇异点采用基于色调直方图的方法分割,同时也兼顾了色调直方图的周期性;对于奇异点,由于其饱和度低或者

亮度比较低,像素呈现出灰度属性,采用基于灰度直方图的方法进行分割;最后采用区域合并技术合并前两个阶段的分割结果。这里区域合并包括两步:第一步是消除较小的琐碎区域和噪声点的干扰;第二步在LUV空间中,对于剩下的区域再根据LUV颜色相似原则进行合并。算法步骤如图1所示。

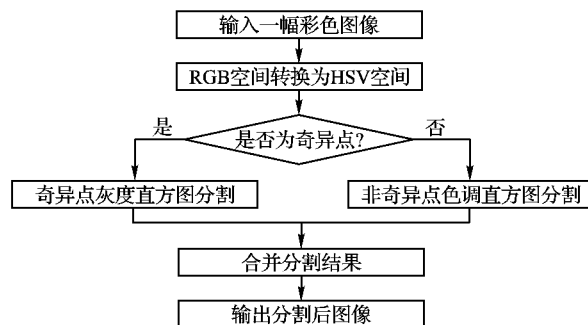


图1 分割流程

1 像素点划分

1.1 HSV颜色空间

HSV空间是一种具有代表性的颜色空间,比较接近人对颜色的视觉感知。在HSV空间中,颜色由色调、饱和度和亮度(H、S、V)组成,其中V表示颜色的明暗程度,H表示不同颜

收稿日期:2009-09-06;修回日期:2009-11-01。 基金项目:广东省自然科学基金团队项目(6200171)。

作者简介:冷美萍(1984-),女,江西九江人,硕士研究生,主要研究方向:图像分割; 鲍苏苏(1951-),男,湖南长沙人,教授,博士,主要研究方向:信号处理、数字图像处理、模式识别。

色即色调,而 S 表示颜色的深浅。故我们将 RGB 空间转换到 HSV 空间,RGB 到 HSV 空间的转换用 Foley and VanDam 算法描述^[3],其中 RGB 已经归一化为 $[0,1]$:

```

max = maximum of RGB
min = minimum of RGB
V = max
S = (max - min) / max
delta = max - min
if R = max, H = (G - B) / delta
if G = max, H = 2 + (B - R) / delta
if B = max, H = 4 + (R - G) / delta
H = H / 6
if H < 0, H = H + 1

```

1.2 奇异点和非奇异点的划分

奇异点和非奇异点的划分主要是把图像中的像素点按照其对比度和灰度进行归类。 H 、 S 、 V 分别代表一个像素点的色调、对比度以及亮度,并将其归一化为 $[0,1]$,如上算法所描述,如果 $S \leq A$ 或者 $V \leq B$ (A 、 B 是常量),就认为该点是奇异点;反之就是非奇异点。

2 基于色调直方图的分割

H (色调) 分量可以描述人对不同颜色的感觉。对比传统的 k 均值等聚类方法,基于直方图的方法克服了传统方法的初始聚类数目固定、迭代耗时、颜色量化带来的精度损失等诸多缺点。本文方法首先采用 H 分量的一维统计直方图对非奇异点聚类;而对于奇异点,考虑到色调的不稳定性,采用基于灰度的一维统计直方图进行聚类。

2.1 算法步骤

1) 将 h 由 $0 \sim 359$ 分量压缩为 $0 \sim 255$,统计非奇异点色调分量的频数,作出直方图,纵轴 $h(i)$ 表示 h 在某个色调点出现的频数,横轴 i 表示色调的刻度。

2) 找初始峰值。

$P_0 = \{i, h(i) \mid h(i) \geq h(i-1) \& h(i) \geq h(i+1), 1 \leq i \leq 255\}$, P_0 是初始峰值的集合。注意当 $i = 255$ 时, $h(i+1)$ 等价于 $h(0)$ 。

3) 找明显峰值。

$P_1 = \{p_i, h(p_i) \mid h(p_i) \geq h(p_{i-1}) \& h(p_i) \geq h(p_{i+1}), p_i \in P_0\}$, P_1 表示明显峰值的集合。

4) 去除小峰值。对于峰值集合 P_1 ,当峰值小于一定的阈值时,将这个峰值从 P_1 中去除。阈值我们设定为图像面积的 T_1 ,生成峰值集合称为 A 。

5) 去除相邻的峰值。若 A 中有两个峰值靠得很近,认为这两个峰值所代表的区域颜色相似。所以当两个峰值之间距离小于 T_2 时,去除较小那个。考虑到色调分量的周期性,生成峰值集合 B 。

6) 去除波谷不深的峰值。当两个峰值之间的波谷深度大于一定的阈值 T_3 ,认为这两个峰值所代表的区域相似,不能分割。波谷深度计算式如下:

$$deep = \frac{\sum_{p_i=p_1}^{p_2=p_2} B(p_i)}{p_2 - p_1 + 1} \quad (1)$$

(其中: p_2, p_1, p_i 表示色调的刻度; $B(p_i)$ 表示对应于 p_i 色调值的出现频率,生成最终峰值集合 C 。)

2.2 色调直方图的周期性

对于前面生成的峰值集合 C ,在每两个峰值之间寻找直

方图频数的最小值作为分割的阈值。若 C 有 M 个元素 $\{p_1, p_2, \dots, p_M\}$,在 p_i 和 p_{i+1} ($i = 1 \sim M-1$) 之间的最小值集合为 $\{V_1, V_2, \dots, V_{M-1}\}$;同时考虑到色调的周期性,在 p_M 和 p_1 之间也存在最小值 V_M 。如果 $V_M < V_1$,最终生成的阈值集合为 $\{V_M, V_1, V_2, \dots, V_{M-1}\}$;如果 $V_M > V_{M-1}$,最终生成的阈值集合为 $\{V_1, V_2, \dots, V_{M-1}, V_M\}$ 。用这个阈值集合对非奇异点组成的图像进行分割,得到 M 个区域。

3 基于灰度直方图的分割

由于非奇异点采用基于色调的直方图进行了处理,剩下的都是奇异点。奇异点因其对比度较低或亮度较暗,主要呈现灰度信息,所以采用灰度直方图进行处理。基于灰度直方图思想与基于色调直方图思想基本相同,这里不再赘述,注意唯一不同的是灰度直方图不用考虑其周期性。

假设对奇异点的分割得到 N 个区域,这样综合前面的非奇异点分割结果共得到 $M+N$ 个分割区域,统计每个区域的均值,得到 $M+N$ 个初始聚类中心。用均值代替相应区域中的像素点,就得到一个初始的分割结果图。

可以看出,基于色调和灰度直方图的分割算法具有以下两个优点。

1) 灵活性和简便性。根据具体的图像内容确定初始聚类中心,而且无需迭代,同时也充分考虑了奇异点和非奇异点的影响。

2) 普适性。从统计学的角度来看,直方图是图像的灰度频度统计特性,显然基于波峰和波谷的分割是基于每个特定图像的。

4 区域合并

由于在初始的分割结果中,存在一定的过分割现象和噪声区域,需要分别对其合并和消除。合并时,采用 LUV 空间。注意,这里 $M+N$ 个初始聚类中心相当于种子点。

4.1 LUV 颜色空间

在彩色图像分割中,由于 HSV 空间侧重于色彩的表达,其 H 分量能够充分表达颜色的信息,因此分割时采用 H 分量进行分割,但是考虑到 H 分量的奇异性,所以采用基于灰度直方图的分割方法加以辅助;而在区域合并时,由于 LUV 空间侧重于视觉的一致性,表现为其在视觉感知方面更加均匀, LUV 空间中欧式距离能很好地表达颜色的相似性^[4],同时奇异点又少。LUV 颜色空间转换的步骤如下。

1) 在色彩空间转换之前进行颜色校正。

$$g = \begin{cases} ((f + 0.055) / 1.055)^{2.4}, & f \geq 0.04045 \\ f / 12.92, & f < 0.04045 \end{cases} \quad (2)$$

其中: f 代表 r, g, b 颜色分量; g 代表处理后的 r, g, b 。

2) 对于 RGB 色彩空间到 CIE-XYZ 空间的线性变换,采用最新的推荐标准,对颜色分量 G 的坐标做了改动,标准白光为 D65^[5],坐标为 $(0.312713, 0.329016)$,变换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4306 & 0.3416 & 0.1783 \\ 0.2220 & 0.7067 & 0.0713 \\ 0.0201 & 0.1296 & 0.9392 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

3) 从 CIE 的 XYZ 到 LUV 模型的转换式如下^[6]:

$$L = \begin{cases} 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16, & Y/Y_0 > 0.008856 \\ 903.3(Y/Y_0), & Y/Y_0 \leq 0.008856 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} U = 13L(U' - U_0) \\ V = 13L(V' - V_0) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} U' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \\ V' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \end{cases} \quad (6)$$

各式中的下标0对应于参考白色。其中 $U_0 = 0.1978$, $V_0 = 0.4683$, $Y_0 = 1$ 。这里根据实际情况不需要对整幅图像中每个像素进行颜色转换,只需要对前面两个阶段生成区域的代表颜色(聚类中心,共 $M + N$ 个)进行转换就可以了。

4.2 区域合并

区域合并分为小区域合并和大区域合并。小区域合并的目的是消除图像中琐碎的区域和噪声点的干扰,使图像看起来比较均匀;大区域合并的目的是合并图像中颜色相似的区域,使分割结果更符合人类的视觉效果。

4.2.1 小区域合并

小区域合并的目的是消除噪声的影响并提高后面的区域与区域颜色合并算法的效率。为了更好地进行区域合并,首先对分割后的图像进行区域标注(每个区域有一个主颜色),然后对标注矩阵进行分割。注意标注矩阵中不同的标记值对应于分割图像中不同的区域(注意:同一个区域往往被分割成各种大小不等的区域甚至琐碎的区域,这些区域在空间上是不相邻的,但具有相同的主颜色,表现在标注矩阵上就具有相同的标记值)。在进行小区域合并之前,需要进行灰度标注和寻找相邻区域。

1) 灰度标注。

灰度标注的方法很多,有游程编码法、像素标记法、线标记法以及区域增长法等^[7]。为简单起见,本文采用区域增长法,标注对象为分割后的图像,算法思想如下。

①按照八邻域准则,对图像从上往下、从左向右扫描,取不为0的像素值,取出后将该像素值置为-1,压入堆栈。

②如果堆栈不为空,从堆栈中抽出一个种子像素点,判断该像素点的邻域是否有与其相等的像素点,若存在,将检测到的像素点压入堆栈;若不存在,表示具有相同标记值且空间上八邻域相连的区域已经标注完毕,返回①进行下一个区域的标注。

③重复操作,直到图像中所有区域已经标记完成。

这样,给每个空间不相邻的区域打上了唯一的标记。

2) 寻找相邻区域。

为了使小区域能够合并到与其相邻的颜色相近的大区域中,就必须记录标记图中每个区域的相邻区域。算法思想如下:

①对标记图扫描(其中扫描顺序及连通准则同上),取前景像素,假定其值为 $p1$;

②判断该像素的八邻域,如果该像素的八邻域像素值 $p2$ 不等于 $p1$,就把这个像素值的标记值加入到 $p1$ 的邻域列表中;如果相等则进行下一个像素的扫描。

③重复操作,直至扫描完整幅图像。

3) 小区域合并。

经过前面灰度标注处理及相邻区域寻找后,就可以进行小区域的合并。小区域合并的思想是小区域合并到与其相邻的、颜色最相似的大区域中,即把小区域的颜色置为大区域的颜色,这样合并后的图像颜色更加均匀。

4.2.2 大区域合并

如果经过小区域的合并之后,还存在颜色相近的区域没有合并,势必影响视觉效果。大区域的合并在于如何判断两个区域的相似性,这里我们设定两个阈值:一个是根据图像内容来决定的阈值;另一个是基于视觉一致性的阈值。

1) 阈值的确定。

假设在前两个阶段的分割中,产生了 m 个区域,代表了 m

个不同的颜色。从 m 个颜色中任意抽出两种,一共有 $N = m \times (m - 1) / 2$ 个颜色对,则其标准方差及均值计算如下:

$$d_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum ((d_i - d_u)^2 \times n_i)}{\sum n_i}}; i \in [0, N] \quad (7)$$

$$d_u = \frac{\sum_{i=1}^N (d_i \times n_i)}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (8)$$

其中: $d_i = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta U^2 + \Delta V^2}$ 表示颜色差值(ΔL 、 ΔU 、 ΔV 分别表示 LUV 空间的色度差值); n_i 表示对应颜色差值的两个区域的面积和; d_u 、 d_{σ} 表示颜色差值的均值和方差,而 $T_m = d_u - d_{\sigma}$, $T_n = 16$, (根据视觉一致性原理设置^[8]), 最终阈值为 $T = \max(T_m - T_n)$ 。

2) 大区域合并。

任何两个区域的 LUV 颜色距离小于阈值 T 的就合并,并且更新合并后区域的面积以及颜色值,直到图像中没有两个区域的 LUV 颜色距离小于阈值 T 时,停止合并。

5 实验结果与分析

本文提出的算法在 Window XP 操作系统平台上实现,测试图像 100 幅,所有图像均为 24 位真彩色图像,利用本算法对彩色图像进行分割。大量实验证明,本文涉及到的常量 A 、 B 、 T_1 、 T_2 以及 T_3 分别取 0.26、0.25、0.1%、15 以及 0.75 时,效果最好。为了客观评价本方法,用模糊 C 均值算法即 FCM 算法及人工分割方法和本文方法作了对比实验。在图 2 中,对比了这三种分割结果的边缘图。

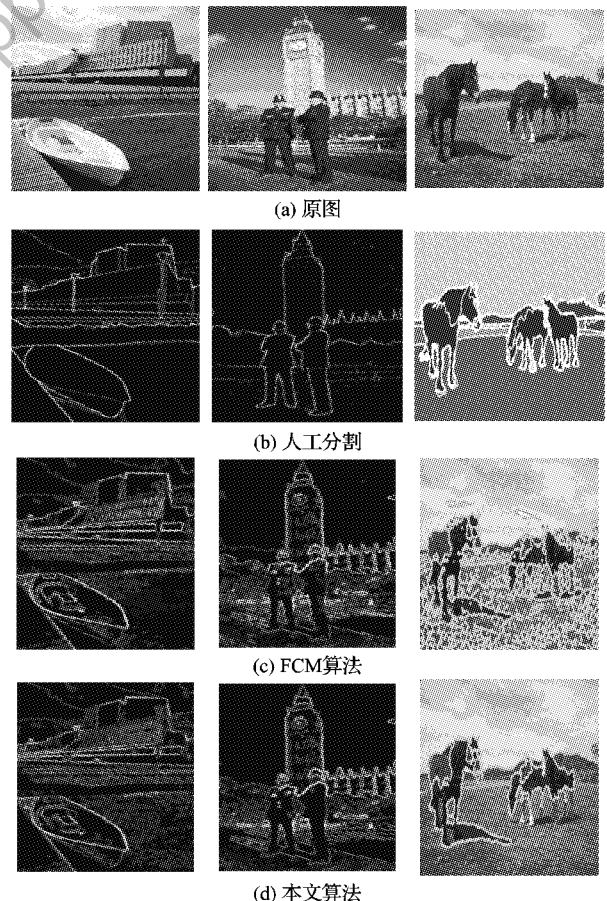


图2 分割结果对比

因为本文的算法综合了颜色空间的色度特征和区域邻接关系特征,分割结果令人满意,更符合人们的视觉特性。对如

图2(c)所示的分割结果,FCM算法造成了许多的不合理划分,其中的主要原因是没有进行区域合并,导致了过分割,而本文算法采用了区域合并技术,大大避免了过分割现象,取得了较理想的分割结果。

图2(b)中是人工分割图,图片数据来源于 Berkeley 图像实验室的图像分割库,可以看出本文算法跟人工分割的结果更为接近。在后续的研究中,我们将给出量化的评判标准,用来评价分割结果的好坏。

表1表示在分割区域数相同的情况下,FCM和本文算法分割时间的比较。

表1 FCM和本文算法的分割时间比较

图片大小/像素	算法	分割区域数	时间/s
120×80	FCM	16	16.284
	本文算法	16	0.450
240×160	FCM	12	80.322
	本文算法	12	0.382
360×240	FCM	6	196.482
	本文算法	6	1.983

表1中可以看出,本文算法不仅在分割效果上优于FCM算法,而且分割更为快速。

6 结语

通过大量图像的分割实验和实验分析对比可以得出:本文提出的分割算法对彩色图像的分割具有良好的分割效果。其中,基于色调和灰度直方图相结合的分割方法充分利用了颜色信息,并考虑了颜色的统计特性,在快速定位初始聚类中

心的同时,也克服了传统算法中聚类数目固定等缺点,算法最后采用了区域合并技术,使得分割结果与人的视觉具有良好的一致性。最后,本文算法已成功应用于图像检索系统和基于内容的视频检索中,取得了良好效果。

参考文献:

- [1] 叶齐祥,高文,王伟强,等.一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法[J].软件学报,2004,15(4):522-529.
- [2] 张晓芸,朱庆生.基于KL变换的模糊C-均值聚类彩色图像分割[J].计算机科学,2006,33(5):218-220.
- [3] FOLEY J D, van DAM A, FEINER S K, *et al.* Computer graphics: Principles and practice in C [M]. 2nd ed. Boston: Addison-Wesley, 2004.
- [4] LI WEI-WEI, HUANG HUI-XIAN, ZHANG DONG-BO, *et al.* A color image segmentation method based on automatic seeded region growing [C]// 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 1925-1929.
- [5] 和俊辉,郭太良.FED显示器色彩校正方法研究[J].光电子技术,2007,27(4):281-284.
- [6] LI YONG-GANG, YIN HAI-MING, SHI MEI-HONG, *et al.* A method of color image segmentation based on DPCNN [C]// Proceedings of the 2008 International Conference on Cyberworlds. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 725-729.
- [7] 高红波,王卫星.一种二值图像连通区域标记的新算法[J].计算机应用,2007,27(11):2776-2778.
- [8] CHENG HENG-DA, SUN YING. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(12): 2071-2082.

(上接第645页)

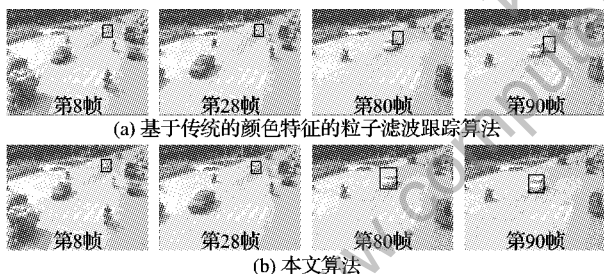


图5 光照变化和相似颜色的背景情况下的跟踪实验



图6 遮挡情况下的跟踪实验

5 结语

本文提出了一种基于多特征融合和粒子滤波的运动目标跟踪算法,采用基于HSV的多块颜色模型和方向梯度信息相结合,自适应地更新参数。实验结果表明,本文算法明显优于基于传统颜色直方图的跟踪算法,并能在光照变化和复杂环境下正确跟踪目标,具有很强的鲁棒性。

由于粒子滤波自身算法的复杂度以及该算法各种参数的更新,导致在实施目标跟踪时算法时间较长。因此,如何有效地利用计算机的并行技术,能够将其粒子滤波跟踪算法运用到实际中是未来研究的重点。

参考文献:

- [1] MENSER B, BRUNING M. Face detection and tracking for video coding applications [C]// Asilomar Conference on Signals, Sys-

tems, and Computers. Pacific Grove: IEEE Computer Society, 2000: 49-53.

- [2] 王路,阳琳赓,卓晴,等.光照鲁棒的Mean Shift跟踪方法[J].计算机应用,2008,28(7):1672-1674.
- [3] WENG S K, KUO C M, TU S K. Video object tracking using adaptive Kalman filter [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17(6): 1190-1208.
- [4] 张波.基于粒子滤波的图像跟踪算法研究[D].上海:上海交通大学,2007.
- [5] KWOK C, FOX D, MEILA M. Real-time particle filters [J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(3): 469-484.
- [6] SATOH Y, OKATANI T, DEGUCHI K. A color-based tracking by Kalman particle filter [C]// Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, UK: IEEE Computer Society, 2004: 502-505.
- [7] JIA J P, WANG Q, CHAI Y M. Object tracking by multi-degrees of freedom mean shift procedure combined with the Kalman particle filter algorithm [C]// Proceedings of the 2006 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Dalian, China: [s. n.], 2006: 3793-3797.
- [8] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]// Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego: IEEE Computer Society, 2005: 886-893.
- [9] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [10] 陶杰,毕彦彦.一种基于粒子滤波的特征融合跟踪算法[J].光电工程,2008,35(11):13-17.