

实时光点检测与跟踪方法研究*

杨 焜 裴继红 杨万海

(西安电子科技大学工程学院, 陕西, 西安, 710071)

摘要 提出一种光点实时检测与跟踪的方法, 在检测方法中, 根据图像的分割信息和不同方向的角度变化信息, 以区分反光点和实际光点, 在实时跟踪方法中, 自适应调整波门位置及大小, 并采用 Cardinal 样条进行插值以提高光点坐标计算精度, 实验表明, 本文提出的方法可以有效地去除反光点, 计算的精度可达 1% 像素。

关键词 分割, 方向滤波, 跟踪, 插值。

REAL-TIME DETECTION AND TRACKING OF LIGHT POINT*

YANG Xuan PEI Ji-Hong YANG Wan-Hai

(School of Electronics and Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract A method of detecting and tracking light points in realtime images was proposed. Detection of light points was based on analyzing of the segmentation results and graylevel change in different directions, which can distinguish light points from reflector points. Tracking of light points is based on adaptive adjustment of gate size and gate position. In order to improve computing precision, the Cardinal spline functions are used as the interpolating functions. This method is feasible and the results agree with the relative experiment.

Key words segmentation, direction filtering, tracking, intrapolation.

引言

在光点成像跟踪系统中, 光源是嵌入在头盔中的发光二极管, 我们需要精确、可靠地检测光点并进行实时跟踪。在光点检测时, 由于在实际使用环境中, 在光点的周围存在太阳反光或其它金属的反光点, 这些反光点的亮度较大, 与实际光点容易混淆, 简单的分割算法很难将反光点去掉, 本文采用了自适应阈值的图像分割技术, 综合了不同方向上的灰度变换信息, 可以比较准确地分辨出实际光点和反光点, 在光点跟踪算法中, 需要同时考虑实时性和精度两方面的要求, 在及时跟踪光点的同时, 尽可能地提高检测的精度, 本文采用了自适应调整跟踪波门位置及大小的方法进行光点跟踪, 同时, 对检测的光点采用了 Cardinal 样条进行插值, 计算精度可达到 1% 像素。

1 光点检测

在光点检测中, 我们首先确定自适应阈值, 进行

图像分割, 分割的结果中包含了实际光点和反光点, 然后我们提取光点在不同方向上的灰度变化信息, 进一步判断实际光点和反光点。

1.1 确定自适应分割阈值

自适应分割阈值 T 可以取图像直方图的分割阈值^[1]。一般说, 光点成像的灰度统计直方图中只有一个类似高斯峰的峰值, 这是由于灰度值较大的光点在图像中所占的比例比较小, 而背景的灰度值大多较小, 要将亮点分割出来, 只要将这个高斯峰分割出来就可以了, 我们利用高斯峰拟和的思想, 确定直方图中高斯峰的位置, 则阈值 T 可以判定是在高斯峰结束的地方, 当然这样确定的阈值 T 不一定是最佳的, 但是可以保证是比较理想的, 实验表明, 阈值 T 小的变化, 对分割结果影响不大。

分割完成后, 我们对分割出来的亮点区域进行标注, 根据标注的结果, 可以确定每一个亮点区域的几何中心位置, 我们以该几何中心位置为参考点, 提取光点在不同方向上的灰度变化信息, 这一步处理的主要目的是区分反光点和实际光点, 由于反光点

在不同方向的灰度变化与实际光点不同,在我们研究的问题中,反光点一般是不规则的,在不同方向上的光强分布差异较大,而实际光点在不同方向上的光强分布基本相似.通过分析光点在不同方向上的灰度变化,可以将反光点与实际光点区分开来.

1.2 提取光点在不同方向上的灰度变化信息

我们在小波变换的基础上构造任意方向的方向可调滤波器.文献[2]中指出,可使用有限个固定方向的基函数来表示某个方向的基函数,从而实现方向可调滤波器.假设方向滤波器在频域极坐标下可分,即表示为径向函数和角函数的乘积:

$$V(\omega_r, \omega_\theta) = G(r)H(\theta), \quad (1)$$

式(1)中 r, θ 分别为频域的径向和角度极坐标,若 $H(\theta)$ 可由有限个平移函数 $H_n(\theta) = H(\theta - n\Delta\theta)$ 表示,则 $V(\omega_r, \omega_\theta)$ 可由 $H_n(\theta)$ 进行内插表示,内插时必须满足条件为:

$$H(\theta - \theta_0) = \sum_{n=1}^N h_n(\theta_0) H(\theta - n\Delta\theta), \quad (2)$$

式(2)中 $h_n(\theta_0)$ 是插值基函数,式(2)在频域为:

$$\hat{H}(k)e^{j\theta_0} = \hat{H}(k) \sum_{n=1}^N h_n(\theta_0) e^{-jn\Delta\theta}, \quad \forall \theta_0, k_m \quad (3)$$

若 $\hat{H}(k)$ 存在 M 个非零频率 k_1, k_2, \dots, k_{M-1} ,则应使下列 M 个方程(4)满足,以确定插值基函数 $h_n(\theta_0)$:

$$e^{jk_m\theta_0} = \sum_{n=1}^{M-1} h_n(\theta_0) e^{-jn\Delta\theta}, \quad \forall \theta_0, k_m \quad (4)$$

方向可调滤波器其频率响应 $H(\theta) = j\cos^3\theta$,径向滤波器 $G(r) = -16\sin \frac{r}{2}$,则有:

$$H_n(\theta) = -\frac{2}{\sqrt{5}} j\cos^3\left(\theta - n\frac{\pi}{4}\right), \quad (5)$$

$$n = 0, 1, 2, 3$$

$$G_n(r, \theta) = G(r)H_n(\theta)$$

$$= -\frac{32}{\sqrt{5}} j\cos^3\left(\theta - n\frac{\pi}{4}\right) \sin^2 \frac{r}{2},$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \quad (6)$$

从而可以得到沿 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向的方向滤波器,以每一个亮点区域的参考点为当前像素点,在图像上进行4个方向 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 的方向滤波,得到4个分量.这4个分量表示每个参考点(亮点)在4个不同方向上的灰度变化情况.我们将图像的分割信息和每个亮点在不同方向上的灰度变化值进行综合,以确定实际光点和反光点.

判定实际光点的原则为:

(1) 是分割的亮区域;

(2) 4个方向都存在较大的灰度变化;

(3) 灰度变化情况基本相似.

上述判定原则的数学表达方法为:假设四个方向滤波分量为 $\{f_{01}, f_{02}, f_{03}, f_{04}\}$,经归一之后为 $\{f_1, f_2, f_3, f_4\}$.归一方法是

$$f_k = \frac{f_{0k}}{\max(f_{0k})}, \quad k, i = 1, 2, 3, 4$$

图像中坐标为 (i, j) 的像素处在光点区域的模糊隶属函数可以表达为:

$$\hat{A} = S_1(i, j) \wedge S_2(i, j) \wedge S_3(i, j), \quad (7)$$

$$S_1(i, j) = \begin{cases} 1 & g_{ij} \geq T \\ 0 & g_{ij} < T \end{cases} \quad (8)$$

$$S_2(i, j) = \prod_{k=1}^4 B(f_k),$$

$$B(f_k) = \begin{cases} 1 & f_k > T_2 \\ \frac{(f_k - T_1)^2}{(T_2 - T_1)^2} & T_1 \leq f_k \leq T_2 \\ 0 & f_k < T_1 \end{cases} \quad (9)$$

$$S_3(i, j) = 1 - (\max_k f_k - \min_k f_k), \quad k = 1, 2, 3, 4$$

(10)

其中 g_{ij} 是像素 (i, j) 的灰度值, T 是分割阈值, T_1, T_2 是方向滤波分量的两个阈值.通过这种判定方法,可以将绝大多数反光点与实际光点区分开来.

2 光点跟踪

光点检测完成之后,进入光点跟踪过程.跟踪时,首先进行光点区域的区域生长.由于分割的影响,不可避免地使光点四周强度较弱的像素分割出去,从而使光点的附近产生细块,区域生长可以将细块和光点合并.然后自适应调整滤波门的位置和大小,在波门内利用阈值检测光点,最后利用插值的方法确定光点的质心坐标.

2.1 区域生长

由于阈值分割,在光点的四周可能会产生一些细小的碎块,而这些碎块往往属于光点的范围之内.我们需要将这些碎块和光点合并在一起.使用膨胀与腐蚀两个算子,可以达到合并的目的.

定义(膨胀):

X, B 是空间 E^N 中的子集, B 对 X 的膨胀表示为 $X \oplus B$, 其定义是

$$X \oplus B = \{z \in E^N \mid z = x \oplus b,$$

for some $x \in X$ and $b \in B\}$.

定义(腐蚀):

X, B 是空间 E^N 中的子集, B 对 X 的腐蚀表示为 $X \ominus B$, 其定义是

$$X \ominus B = \{z \in E^N | z = x - b \in X, \text{ for every } b \in B\}.$$

区域生长的过程是先进进行膨胀, 然后进行腐蚀. 膨胀与腐蚀的大小为 3 × 3. 这样进行之后, 光点周围的碎块基本都与光点区域合并在一起了.

2.2 计算光点质心

为了提高计算精度, 我们需要对检测出来的光点区域进行插值. 在这里, 拟合的函数应过所有的控制点, 并且具有 C_2 连续性. 我们选用 Cardinal 三次样条函数进行拟合^[7], 可以满足以上条件.

假设 P_0, P_1, \dots, P_N 是 $N+1$ 个待拟合控制点, P_k 与 P_{k+1} 之间的拟合曲线函数为

$$P(u) = [u^3 \ u^2 \ u^1 \ u^0] \begin{bmatrix} -s & 2-s & s-2 & s \\ 2s & s-3 & 3-2s & -s \\ -s & 0 & s & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{k+1} \\ P_k \\ P_{k-1} \\ P_{k+2} \end{bmatrix} \quad u \in [0, 1] \quad (11)$$

其中, $s = (1-t)/2$, t 是控制 Cardinal 样条与输入控制点间的松紧程度, 一般可取 $t=0$. 拟合曲线的变量为 $u \in [0, 1]$, 若 u 的取值非常密集, 则利用拟合曲线得到的光点质心越稳定. 为了提高光点质心的计算精度, 取 $u=10$, 就可以得到稳定在小数点后第 2 位的质心坐标. 通过实验分析, 质心的计算精度可达到 1/4 像素.

对于检测到的光点区域分别进行 x 方向和 y 方向的拟合, 再选取适当的 u 值, 就可以计算光点的质心 (x_c, y_c) , 具体方法见文献[4].

2.3 自适应调整波门位置及大小

光点检测出来后, 需要进一步进行实时跟踪, 跟踪目标所需要的信息中首要的是目标位置信息, 可以利用波门跟踪法得到目标位置信息. 该方法不但可以缩短计算时间, 同时还可以避免背景的干扰. 需要在一个小的矩形区内检测光点, 这个矩形区称为波门^[1]. 波门的位置是由前一帧检测的光点位置决定的, 波门的大小与光点的大小有关^[1,4,6]. 根据这一原则, 我们可以自适应确定波门的位置和大小.

第 $k+l$ 帧波门的中心位置由预测的第 $k+l$ 帧光点位置决定. 我们采用线性预测的方法来估计光点在下一帧中的位置. 令 $f(k), f(k-1), f(k-2)$ 分别为第 k 帧、第 $k-1$ 帧、第 $k-2$ 帧中光点的位置, 则光点在下一帧的位置 $f(k+1/k)$ 估计为^[4]

$$\hat{f}(k+1/k) = \frac{1}{3} [4f(k) + f(k-1) - 2f(k-2)]. \quad (12)$$

波门的大小取决于光点的大小, 由于检测出来的光点本身已经进行了区域生长, 光点的范围扩大了, 使用相应的光点大小作为波门大小就可以了.

在实际使用过程中, 估计的光点运动可能会与实际运动方向差异较大, 这时便会发生阻塞和目标丢失的情况, 对于这类情况, 我们可以适当扩大波门大小或调整光点的估计方向, 重新进行跟踪, 如果跟踪仍然失败, 可以将系统复位, 重新开始.

3 实验结果

将上述的方法应用到光点成像系统中, 成像系统中飞行员所戴的头盔固定在一个支架上, 同时成像的背景有其它景物干扰. 头盔上固定有四个发光二极管, 在阳光强烈照射下, 头盔及金属支架上出现

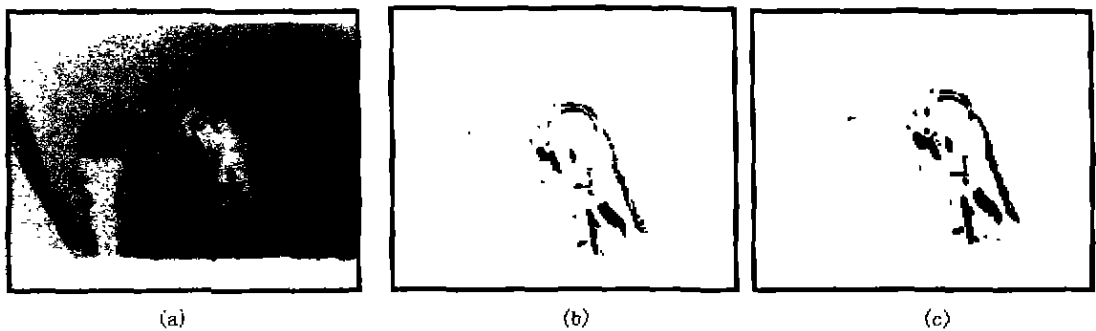


图 1 原图及分割结果

(a) 原图 (b) 分割的结果 (c) 区域生长后的结果

Fig. 1 Original image and segmented results

(a) original image (b) segmented result (c) the result of region growing

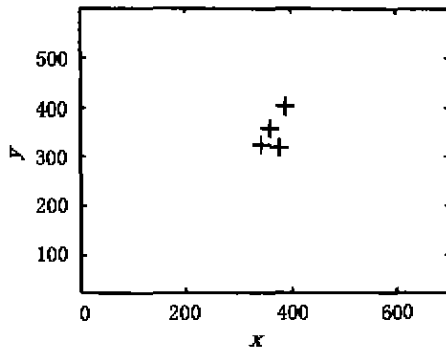


图2 检测到的四个实际光点
Fig. 2 Four detected light points

多处反光,利用本文上述的方法,不仅可以准确检测到四个实际光点,并且可以完成实时光点跟踪,光点的检测精度可达1%像素。

本文给出光点检测的一个实例。图1(a)是成像系统得到的一帧图像,(b)(c)是分割的结果和区域生长后的结果。在原图中,头盔上存在很多反光点,特别是护目镜上的太阳反光点,因此分割结果中亮区域很多(见图1(b))。经过区域生长后,分割的区域个数明显下降了(见图1(c))。图2是检测到的实际光点,光点的位置坐标是在图像中的像素坐标。从图2可以看出,由于综合了不同方向上的灰度变化信息,从而有效地去除了反光点,检测结果非常理想。

4 结语

本文针对光点成像跟踪系统中的光点检测和跟

踪问题,提出了一种光点检测方法和跟踪方法。在光点检测时,首先利用自适应阈值进行图像分割,考虑到实际使用环境在光点的周围产生的各种反光,使用四个不同方向的方向滤波器,得到亮点在不同方向上的灰度变化情况,最后综合分析了分割结果和灰度变化信息,有效地去掉了反光点。在光点跟踪算法中,采用了自适应调整跟踪波门位置及大小的方法进行光点跟踪,以缩短计算时间,同时,对检测的光点采用了Cardinal三次样条进行插值,将计算精度提高到了1%个像素。实验结果表明,该方法可以有效地检测到实际光点,同时可以保证实时地进行跟踪。

REFERENCES

- [1] YANG Xuan, LIANG De-Qun. Multiscale edge detection based on region homogeneity measure. *Acta Automatica Sinica*(杨 焜,梁德群. 基于区域一致性测度的多尺度边缘检测方法. *自动化学报*), 1999, 25(6): 757—762
- [2] Freeman W T, Adelson E H. The design and use of steerable filters. *IEEE Trans. PAMI.*, 1991, 13(9): 891—906
- [3] Hearn D, Baker M. *Computer Graphics*. Beijing: Tsinghua University Press, 1998: 323—325
- [4] YANG Yi-He, ZHOU Wei-Zhen. *Introduction of Imaging and Tracking Technique*. Xi'an: Xidian University Press (杨宜禾,周维真. *成像跟踪技术导论*. 西安:西安电子科技大学出版社), 1991: 149—154
- [5] JIANG Peng-Yue. Analysis of target tracking algorithms. *Fire Control & Command Control* (江捧岳. *图像跟踪算法分析. 火力与指挥控制*), 1998, 23(2): 47—52