第38卷 第17期 计 算 机 工 程 2012年9月
Vol.38 No.17 Computer Engineering September 2012

·人工智能及识别技术· 文章编号：1000—3428(2012)17—0205—04 文献标识码：A 中图分类号：TP301.6

# 残冰检测中飞机图像特征点精确提取算法

高建树[1]，杨 涛[2]

(1. 天津大学精密仪器与光电子工程学院，天津 300072；2. 中国民航大学地面特种设备研究基地，天津 300300)

**摘 要：**传统角点检测算法无法精确提取感兴趣的特征点。为此，提出一种新的特征点提取算法。通过曲率角点检测算法提取飞机图像的特征点，并作为待匹配图像，采用像素相关性匹配算法进行特征点提取，利用飞机机身固定结构约束匹配算法去除误匹配对。实验结果表明，该算法具有较好的适应性，能够精确提取特征点。

**关键词：**特征点提取；无目的性；模板匹配；像素相关性；误匹配对；固定结构约束

# Feature Point Accurate Extraction Algorithm of Airplane Image in Residual Ice Detection

GAO Jian-shu[1], YANG Tao[2]

(1. College of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Airport Ground Special Equipments Research Base, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**【Abstract】**Traditional corner detection algorithm can not extract the interested feature point. In order to solve this problem, this paper proposes a new template matching algorithm. In this paper, the special points of airplane image are gotten by curvature corner detection algorithm as the matching image. Template matching algorithm is used to extract the best match points. The features of the image with different illumination conditions and shooting angles are extracted and matched. Experimental results show that the algorithm has better adaptability, and improve the accuracy of matching.

**【Key words】**feature point extraction; purposelessness; template matching; pixel-coherence; mismatching pair; fixed structure restraint

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.17.056

## 1 概述

随着国民经济的快速发展，中国民航系统也正进入一个快速的发展时期。残冰检测成为民航研究领域的重要任务。为了实现自动检测并避免区域漏检，需要连续顺序检测飞机的每一个待检区域，因此，需要多扫描区域。实现该控制的前提条件是确定检测系统相对于被测飞机的相对位姿。为了达到精确的姿态估计，飞机图像特征点的精确提取成为了关键性前提。当前图像特征点提取算法主要有：文献[1]提出的曲率角点提取算法，文献[2]提出的尺度不变 Sift 算法，及文献[3]提出的 Harris 算法等。

传统特征点提取算法只是依据曲率或像素灰度值的变化而定义为特征点，均不具有目的性，即无法精确提取出感兴趣的特征点。这样为后续的姿态估计算法带来了较大的困难。本文针对上述问题，提出一种基于模板匹配算法的特征点提取算法。在模板匹配算法中采用 2 种约束条件：像素相关性约束和机身固定结构约束。首先待匹配图像(即角点检测图像)经过像素相关性匹配算法去除无用点，并记录了其匹配对。由于现有的像素相关性匹配算法是根据像素值运算而得到的，因此受光照影响较大，特征点匹配提取后仍存在误匹配对。根据飞机机身固定结构(飞机的舱门、翼展等)的特性提出机身固定结构约束匹配算法进一步剔除误匹配对，从而提取出精确的匹配点。

## 2 飞机图像轮廓角点的提取

本文基于飞机机体的结构特征(翼尖/舷窗等边角点、空速管等特定构件)，采用曲率角点检测算法[4-5]提取特征点。该检测算法的优点在于抗噪声强、不受光照的影响。曲线的曲率可由曲线上的离散点近似求得，通常算法采用三点法。三点法采用当前点 $P_i$、前一点 $P_{i-1}$ 和后一点 $P_{i+1}$ 来计算曲率，但这种方法的计算区域较小，其结果对噪声较为敏感。本文为了克服其缺点，采用十一点算法计算曲率，此方法扩大了计算区域，并且可以有效减小噪声的影响。

设 $R_{i1}=P_i-P_{i-5}$，$R_{i2}=P_{i+5}-P_i$，则十一点曲率计算公式[6]定义为：

**基金项目：**国家自然科学基金资助项目(60939001)

**作者简介：**高建树(1966－)，男，教授、博士研究生，主研方向：残冰检测，图像匹配；杨 涛，硕士研究生

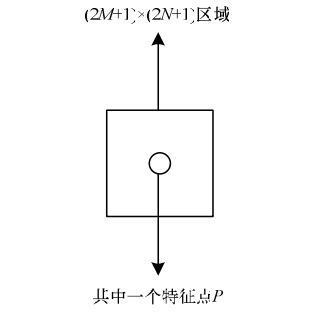
**收稿日期：**2011-11-15 **修回日期：**2011-12-17 **E-mail：**yt_email@yahoo.cn

$$k=sign\left(\left(x_i-x_{i-5}\right)\left(y_{i+5}-y_i\right)-\left(y_i-y_{i-5}\right)\left(x_{i+5}-x_i\right)\right)\frac{R_{i1}R_{i2}}{\left\|R_{i1}\right\|\left\|R_{i2}\right\|} \tag{1}$$

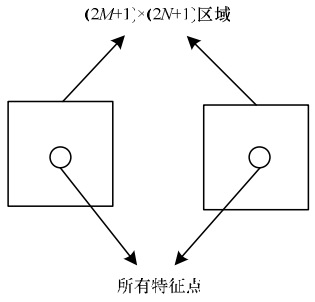
实际上，十一点法计算得到的并不是真正意义上的曲率，但在表达轮廓的几何特性方面与曲率有相同的性质。更重要的是，此算法由于扩大了曲率计算的支撑区间，因此提高了抗噪声的能力。通过多次试验选取出较容易检测的特征点，定义为模板图像。

## 3 像素相关性匹配算法

对于数字图像，一定的邻域内像素之间有一定相关性，并且相关性随着像素间距离的增大而减小。大多数算法使用当地的相关系数[7-8](Local Area Correlation Coefficient, LACC)作为 2 个特征点是否匹配的依据。在模板图像中，选取一特征点 $P$，以其点为中心的$(2M+1)\times(2N+1)$区域作为比对范围。待匹配图像中的点也同样选取$(2M+1)\times(2N+1)$大小的区域作为比对范围。将待匹配图像中的所有特征点均与模板图像中点 $P$ 作比对运算，计算其相关系数。区域匹配示意图如图 1 所示。




(a)模板图像




(b)待匹配图像

**图 1 区域匹配示意图**

LACC 定义为：

$$c_{12}=\frac{\sum_{i=-M}^{M}\sum_{j=-N}^{N}\left\{\left[I_1\left(u_1+i,v_1+j\right)-\overline{I_1\left(u_1,v_1\right)}\right]\times\left[I_2\left(u_2+i,v_2+j\right)-\overline{I_2\left(u_2,v_2\right)}\right]\right\}}{(2M+1)(2N+1)\sqrt{\sigma^2\left(I_1\right)\sigma^2\left(I_2\right)}} \tag{2}$$

$$\overline{I\left(u,v\right)}=\frac{\sum_{i=-M}^{M}\sum_{j=-N}^{N}I\left(u+i,v+j\right)}{(2M+1)(2N+1)} \tag{3}$$

$$\sigma(I)=\sqrt{\frac{\sum_{i=-M}^{M}\sum_{j=-N}^{N}I^2\left(u,v\right)}{(2M+1)(2N+1)}-\left[\overline{I\left(u,v\right)}\right]^2} \tag{4}$$

其中，$I_1$ 和 $I_2$ 是 2 幅图像的灰度值；点$(u_2,v_2)$是待匹配图像特征点中的一个点；$\overline{I(u,v)}$ 为 $(2M+1)\times(2N+1)$ 区域的灰度平均值；$\sigma(I)$ 为点$(u_k,v_k)$在 $(2M+1)\times(2N+1)$ 区域内的标准差。相关系数在[−1,1]绝对尺度范围之间，对 2 个点之间的近似程度进行了线性描述。

一般来说，相关系数越接近 1，两者越近似的有线性关系。相反，相关系数越偏离 1，两者的线性关系越差。为了达到最佳匹配效果，该文将相关系数阈值定为 0.8，即当求得的相关系数大于 0.8 时，初始认为此点是模板特征点的匹配点将其保留并记录。如果模板特征点在待匹配图像上仅有一点与其匹配，那么把待匹配图像上的点定义为完全匹配点，作为固定结构约束匹配算法的参考点。如果有多个点与模板特征点匹配则作为候选匹配点。当求得的相关系数小于 0.8 时，则认为此点不是模板特征点的匹配点并将其剔除。

## 4 新的特征点匹配算法

现有的像素相关性匹配算法只是依据图像像素值进行计算，光照对其算法的准确性影响较大。即使在像素相关性匹配中能够提取出一部分特征点，但误匹配点仍然存在，即模板中的一个特征点在待匹配图像中与其匹配的点有多个点。它们的相关系数均大于 0.8。这样仍然无法得到精确的特征点。本文基于飞机固定结构的特殊性质，即一种机型的飞机其结构是精密固定的。如机翼的翼展、机舱门的宽高均为固定值。对于不同光照、焦距、平移的图像，图像中的飞机结构不会发生变化，即待匹配图像与模板图像中的飞机只是大小、角度发生变换，但其本身的结构并没有发生变化。依据此特性，本文在像素相关性匹配算法的基础上，提出一种新的特征点匹配算法——飞机机身固定结构约束匹配算法。

为了进一步说明本文算法，飞机固定结构约束匹配示意图如图 2 所示，其中，实线箭头表示匹配点所对应的基准点；虚线箭头表示一一对应的完全匹配点。

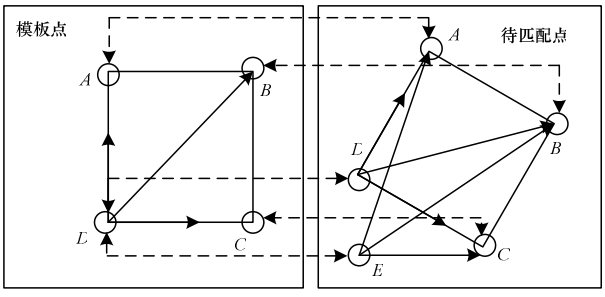



**图 2 飞机固定结构约束匹配示意图**

图 2 连接各个点的正方形为飞机舱门，待匹配点中相机的角度发生了变化。在第 3 节中本文已进行过一次匹配，将匹配阈值大于 0.8 的点作为候选点，且将一对一完全匹配对作为了基准点。本文以一对误匹配对作为解释。如图 2 中完全匹配对为：$A$ 和 $A'$、$B$ 和 $B'$、$C$ 和 $C'$，误匹配为 $D$ 和 $D'$、$E'$。如果 $D'$点为最佳匹配点，$D$ 相对于 $A$、

$B$、$C$ 的相对位置与 $D'$对于 $A'$、$B'$、$C'$点的相对位置是相似。而相对于 $E'$，则 $E'$相对于 $A'$、$B'$、$C'$的相对位置与 $D$ 相对于 $A$、$B$、$C$ 的相对位置相比会偏差较大。如式(7)当选取 $E'$点时，其 $E'$到 $A'$、$B'$、$C'$ 3 点的距离与 $D$ 到 $A$、$B$、$C$ 3 点的距离的比例是不一样的。这样即可剔除此误匹配点。$L_{DA}$、$L_{DB}$、$L_{DC}$分别点 $D$ 到点 $A$、$B$、$C$ 的距离。$L_{D'A'}$、$L_{D'B'}$、$L_{D'C'}$分别为点 $D'$到 $A'$、$B'$、$C'$的距离。同理，$L_{E'A'}$、$L_{E'B'}$、$L_{E'C'}$分别为点 $E'$到点 $A'$、$B'$、$C'$的距离。依据下式即可分别得出 2 个点之间的距离 $L$：

$$L=\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2} \tag{5}$$

不同机型的飞机结构是固定的，当在不同光照、平移、旋转的图像中，模板完全匹配的特征点间的距离与模板图像中特征点间距离成比例关系。

$$K_1=\frac{L_{DA}}{L_{D'A'}},K_2=\frac{L_{DB}}{L_{D'B'}},K_3=\frac{L_{DC}}{L_{D'C'}} \tag{6}$$

$$ABS_1=|K_1-K_2|,ABS_2=|K_2-K_3|,ABS_3=|K_1-K_3| \tag{7}$$

$$Dif_n=MAX\left(ABS_1,ABS_2,\cdots\right) \tag{8}$$

$$P_n=MIN\begin{pmatrix}Dif_{1n}\\Dif_{2n}\\Dif_{3n}\\\vdots\end{pmatrix} \tag{9}$$

本文以简化为前提，以上公式针对的是 $D$ 点和 $D'$点的比较，选取了 3 个基准点。如果有需要还可增加基准点和公式的数量，这样结果会更精确。依据上述可知，误匹配点 $E'$到 $A'$、$B'$、$C'$ 3 点的距离与匹配点 $D$ 到 $A$、$B$、$C$ 3 点的距离的比例是不相同的。在式(7)中点 $E'$所对应的值为绝对值，可以求算出各个距离比的差异强弱。在式(8)中求算出差异度 $Dif$ 最强的值。所以误匹配点 $E'$所对应差异强度 $Dif$ 将会很大，而匹配点 $D'$的差异强度 $Dif$ 会接近于零。依据式(9)选取出差异强度最小的值，其所对应的点即为最佳匹配的点。

## 5　实验结果与数据分析

为验证本文算法的有效性，分别选用了模板图像和匹配图像作为比对，且选用了不同角度、不同焦距、角度和焦距均不同的飞机图像，并分析实验数据。

### 5.1　检测算法对不同角度图像的适应能力

分别采集了同一场景不同角度的图像，检验本文算法对不同角度图像的适应能力。模板图像与不同角度图像的匹配结果如图 3、图 4 所示。




**图 3　模板图像**




(a)角点提取




(b)像素相关性匹配




(c)固定结构约束匹配

**图 4　不同角度图像的匹配结果**

### 5.2　检测算法对缩放变化的适应性能力

分别采集了同一场景不同焦距条件下的图像，检测本文算法对于缩放的适应能力。不同焦距图像匹配结果如图 5 所示。




(a)模板图像



(b)角点提取



(c)像素相关性匹配



(d)固定结构约束匹配

**图 5　不同焦距图像匹配结果**

### 5.3　检测算法对角度、缩放发生变化的适应性能力

分别采集了同一场景不同角度、不同焦距条件下的图像，进行自动匹配，来测试算法效果，不同角度和焦距图

像的匹配结果如图 6 所示。



(a)模板图像 (b)角点提取

(c)像素相关性匹配 (d)固定结构约束匹配

**图 6 不同角度和焦距图像的匹配结果**

### 5.4 实验数据分析

本文运用软件 VC2008 对飞机图像进行特征提取，为进一步验证本文提出算法的精确性，分别针对像素匹配算法及固定结构约束匹配算法的数据加以分析。由于特征点较多，在此仅选取一部分匹配点和模板点加以说明。像素相关性匹配算法数据如表 1 所示，其中，本文仅选取了模板图像的一个特征点 $x$=384，$y$=193 进行实验。

**表 1 像素相关性匹配算法数据**

| $x$ | $y$ | 相关系数 | 匹配结果 |
|---|---|---|---|
| 383 | 205 | 0.600 76 | 此点不为匹配点 |
| 106 | 172 | 0.857 18 | 此点为匹配点 |
| 10 | 195 | −0.207 50 | 此点不为匹配点 |
| 64 | 173 | 0.518 48 | 此点不为匹配点 |
| 296 | 164 | 0.808 90 | 此点为匹配点 |
| 292 | 147 | −0.305 39 | 此点不为匹配点 |
| 418 | 204 | 0.938 42 | 此点为匹配点 |
| 436 | 187 | 0.216 31 | 此点不为匹配点 |
| 382 | 199 | 0.158 21 | 此点不为匹配点 |
| 146 | 170 | 0.821 01 | 此点为匹配点 |
| 427 | 226 | 0.336 59 | 此点不为匹配点 |
| 80 | 193 | −0.327 67 | 此点不为匹配点 |
| 85 | 173 | 0.667 15 | 此点不为匹配点 |
| 383 | 226 | −0.093 39 | 此点不为匹配点 |
| 167 | 169 | 0.809 26 | 此点为匹配点 |
| 207 | 167 | 0.812 91 | 此点为匹配点 |

像素相关性匹配算法虽可以提取出一部分特征点，但其受光照影响较大存在误匹配点。从表 1 可以看出，模板点(384,193)存在 6 个匹配点，其中，有 5 个点为误匹配点，其像素相关系数值均大于 0.8。本文依据飞机固有的结构特性，提出飞机固定结构匹配算法去消除误匹配点，飞机固定结构匹配算法选取的基准点如表 2 所示。飞机固定结构匹配算法计算的差异度如表 3 所示。

**表 2 飞机固定结构匹配算法选取的基准点**

| 模板图像 | | 待匹配图像 | |
|---|---|---|---|
| $x$ | $y$ | $x$ | $y$ |
| 347 | 192 | 387 | 205 |
| 350 | 216 | 390 | 225 |
| 387 | 217 | 421 | 225 |
| 385 | 173 | 418 | 188 |

**表 3 飞机固定结构匹配算法计算的差异度**

| 多匹配点序号 | $x$ | $y$ | *Dif* |
|---|---|---|---|
| 1 | 106 | 172 | 7.957 015 |
| 2 | 167 | 169 | 6.547 374 |
| 3 | 418 | 204 | 0.078 056 |
| 4 | 146 | 170 | 7.033 300 |
| 5 | 207 | 167 | 5.618 618 |
| 6 | 296 | 164 | 5.750 660 |

由表 2、表 3 可知，利用此算法得出点(418,204)的差异强度 *Dif* 最小接近于 0，其余 5 个点的差异强度很大，说明其余 5 个点与模板点的差异度较大不为匹配点。表 4 为模板点所对应的标准匹配点。

**表 4 模板点所对应的标准匹配点**

| 特征点序号 | 模板点 | | 标准匹配点 | |
|---|---|---|---|---|
| | $x$ | $y$ | $x$ | $y$ |
| 1 | 394 | 114 | 423 | 138 |
| 2 | 360 | 115 | 395 | 141 |
| 3 | 343 | 173 | 383 | 189 |
| 4 | 385 | 173 | 418 | 188 |
| 5 | 347 | 192 | 387 | 205 |
| 6 | 384 | 193 | 418 | 204 |
| 7 | 350 | 216 | 390 | 225 |
| 8 | 387 | 217 | 421 | 225 |
| 9 | 337 | 227 | 379 | 234 |
| 10 | 402 | 228 | 434 | 233 |
| 11 | 432 | 326 | 461 | 315 |
| 12 | 454 | 328 | 481 | 317 |

由表 4 可知，模板点(384,193)所对应的匹配点为点(418,204)，与本文算法所计算的结果相同，证明本文算法的可靠性。本文算法的优点在于对图像的光照、平移、旋转的情况具有很好的适应性和准确性。

## 6 结束语

本文提出一种残冰检测中飞机图像特征点提取算法。在像素相关性匹配算法的基础上保留正确的匹配点，并有效地剔除误匹配点，显著改善匹配结果，实现图像间特征点的准确匹配。实验结果表明，该算法提取特征点的效果不受图像伸缩、旋转、光照的影响。今后将研究如何精确计算相机的外部姿态。

(下转第 213 页)