

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
G06T 7/00 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910022359.8

[43] 公开日 2009年9月30日

[11] 公开号 CN 101546429A

[22] 申请日 2009.5.5

[21] 申请号 200910022359.8

[71] 申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号

[72] 发明人 张艳宁 孙瑾秋 姜磊 段锋  
林增刚

[74] 专利代理机构 西北工业大学专利中心  
代理人 黄毅新

权利要求书 1 页 说明书 6 页

### [54] 发明名称

特征空间的弱小目标检测方法

### [57] 摘要

本发明公开了一种特征空间的弱小目标检测方法，通过星点定位、参考恒星选取、恒星与潜在目标划分、轨迹关联剔除噪声等步骤，实现对特征空间的弱小目标检测。由于采用基于距离特征空间的运动星空背景弱小目标检测算法，选取 2 颗恒星作为参考恒星，并充分利用恒星、目标及噪声点之间不同运动特性，将恒星、潜在目标和噪声可在二维特征空间域直接进行划分，与背景技术选取 3 颗参考恒星，在三维空间中进行相似度量函数、误差平方和及曲线拐点的计算相比较，由于少选一颗恒星，减小了计算量。而且由于直接利用目标的轨迹连续性进行轨迹的检测，避免了将潜在目标点集从三维空间映射回二维空间在进行检测的过程，使检测更加简单实用。

1、一种特征空间的弱小目标检测方法，其特征在于包括以下步骤：

(a) 对恒星、潜在目标和噪声序列星空图像进行顶帽滤波和高斯滤波，去除背景的光照不均和全局噪声，对全局图像中的所有灰度值大于阈值 1500 的全部星点，采用式 (1) 的平方加权的质心提取法进行星点定位坐标的计算

$$x_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)x}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)} \quad y_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)y}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)} \quad (1)$$

式中， $x, y$  是像素的横纵坐标， $F(x, y)$  是  $(x, y)$  处的灰度值， $m, n$  是窗口的大小， $x_0, y_0$  是星点的中心坐标；

(b) 根据下述式 (2) ~ (4)

$$a \leq I_R(x, y) \leq b \quad (2)$$

$$m \leq \text{size}(R) \leq n \quad (3)$$

$$\alpha \leq \text{dis}(R_1, R_2) \leq \beta \quad (4)$$

在全局图像中，选出 2 颗恒星作为参考恒星；

式中， $I_R(x, y)$  是恒星的灰度值， $a, b$  表示灰度的选择阈值， $a=8000 \sim 10000$ ， $b=30000 \sim 50000$ ； $\text{size}(R)$  是参考恒星占有的象素数， $m, n$  表示占有象素个数的阈值， $m=1 \sim 3$ ， $n=3 \sim 5$ ； $\text{dis}(R_1, R_2)$  是参考恒星  $R_1$  和参考恒星  $R_2$  之间的相互位置， $\alpha$  和  $\beta$  表示位置的范围阈值， $\alpha=100 \sim 300$ ， $\beta=300 \sim 500$ ；

(c) 根据相似性度量函数

$$d(P_i, R_k^m) = \begin{cases} d_m(X, Y), & d_m(X, Y) \leq 10 \\ d_m(X, Y), & 10 < d_m(X, Y) \leq 40 \\ \infty, & 40 < d_m(X, Y) \end{cases} \quad (5)$$

恒星、潜在目标和噪声进行划分；

式中，相似性度量函数表示为  $d(P_i, R_k^m)$ ， $d_m(X, Y)$  是 Manhattan 距离；

(d) 对得到的潜在目标的位置坐标，建立潜在目标列表，根据目标运动轨迹的连续相关性，对序列图像中的下一帧  $\text{Frame\_id}+1$  帧进行检测，对  $\text{Frame\_id}$  帧中得到的潜在目标列表中的目标进行比较，若当前帧  $\text{Frame\_id}+1$  帧中检测到的潜在目标的坐标位置出现在  $\text{Frame\_id}$  帧的列表中所示的潜在目标位置的邻域范围内，则将  $\text{flag}$  标记为 1，说明该点为目标点，若当前帧  $\text{Frame\_id}+1$  帧中检测到的潜在目标的坐标位置没有出现在  $\text{Frame\_id}$  帧的列表中所示的潜在目标位置的邻域范围内，则将  $\text{flag}$  标记为 0，说明该点为噪声点。

## 特征空间的弱小目标检测方法

### 技术领域

本发明涉及一种星空图像的弱小目标检测方法，特别是特征空间的弱小目标检测方法。

### 背景技术

文献“基于层次聚类的弱小目标检测算法，计算机工程与应用，2008.44(19):24-27”提出了一种利用层次聚类的思想进行弱小目标检测的算法。此方法首先选取3颗恒星作为参考恒星，以星点到参考恒星之间的距离变化为依据，通过距离差构建一个三维特征空间，在此三维空间内，根据恒星和目标的运动特性构造相似性度量函数，通过寻找误差平方和和曲线拐点的方法寻找最优分类曲面和分类个数，将恒星、潜在目标点和噪声点进行划分；最后将潜在目标点集通过映射函数从三维空间映射到二维空间内，根据目标轨迹的连续性将潜在目标点集中的目标和噪声进行划分。文献所述方法需要在三维特征空间中进行相似性度量函数、误差平方和及曲线拐点的计算，进行恒星、噪声和目标的划分，再将划分后的潜在目标点集从三维空间映射回二维空间，因此，在实际应用中计算量大，且复杂。

### 发明内容

为了克服现有技术的检测方法计算量大而且复杂的不足，本发明提供一种特征空间的弱小目标检测方法，充分考虑恒星、目标和噪声的灰度和运动特性，选取2颗恒星为参考，将恒星、潜在目标和噪声在二维特征空间域进行划分，可以降低计算量，实现运动星空背景下的弱小目标检测。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案：一种特征空间的弱小目标检测方法，其特点是包括以下步骤：

(a) 对恒星、潜在目标和噪声序列星空图像进行顶帽滤波和高斯滤波，去除背景的光照不均和全局噪声，对全局图像中的所有灰度值大于阈值1500的全部星点，采用式(1)的平方加权的质心提取法进行星点定位坐标的计算

$$x_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)x}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)} \quad y_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)y}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)} \quad (1)$$

式中， $x, y$ 是像素的横纵坐标， $F(x, y)$ 是 $(x, y)$ 处的灰度值， $m, n$ 是窗口的大小， $x_0, y_0$ 是星点的中心坐标；

(b) 根据下述式(2)~(4)

$$a \leq I_r(x, y) \leq b \quad (2)$$

$$m \leq \text{size}(R) \leq n \quad (3)$$

$$\alpha \leq \text{dis}(R_1, R_2) \leq \beta \quad (4)$$

在全局图像中，选出2颗恒星作为参考恒星；

式中， $I_r(x, y)$ 是恒星的灰度值， $a, b$ 表示灰度的选择阈值， $a=8000 \sim 10000$ ， $b=30000 \sim 50000$ ； $\text{size}(R)$ 是参考恒星占有的像素数， $m, n$ 表示占有像素个数的阈值， $m=1 \sim 3$ ， $n=3 \sim 5$ ； $\text{dis}(R_1, R_2)$ 是参考恒星 $R_1$ 和参考恒星 $R_2$ 之间的相互位置， $\alpha$ 和 $\beta$ 表示位置的范围阈值， $\alpha=100 \sim 300$ ， $\beta=300 \sim 500$ ；

(c) 根据相似性度量函数

$$d(P_i, R_k^m) = \begin{cases} d_m(X, Y), & d_m(X, Y) \leq 10 \\ d_m(X, Y), & 10 < d_m(X, Y) \leq 40 \\ \infty, & 40 < d_m(X, Y) \end{cases} \quad (5)$$

恒星、潜在目标和噪声进行划分；

式中，相似性度量函数表示为 $d(P_i, R_k^m)$ ， $d_m(X, Y)$ 是Manhattan距离；

(d) 对得到的潜在目标的位置坐标，建立潜在目标列表，根据目标运动轨迹的连续相关性，对序列图像中的下一帧 $\text{Frame\_id}+1$ 帧进行检测，对 $\text{Frame\_id}$ 帧中得到的潜在目标列表中的目标进行比较，若当前帧 $\text{Frame\_id}+1$ 帧中检测到的潜在目标的坐标位置出现在 $\text{Frame\_id}$ 帧的列表中所示的潜在目标位置的邻域范围内，则将 $\text{flag}$ 标记为1，说明该点为目标点，若当前帧 $\text{Frame\_id}+1$ 帧中检测到的潜在目标的坐标位置没有出现在 $\text{Frame\_id}$ 帧的列表中所示的潜在目标位置的邻域范围内，则将 $\text{flag}$ 标记为0，说明该点为噪声点。

本发明的有益效果是：由于采用基于距离特征空间的运动星空背景弱小动目标检测算法，选取2颗恒星作为参考恒星，并充分利用恒星、目标及噪声点之间不同运动特性，将恒星、潜在目标和噪声可在二维特征空间域直接进行划分，与背景技术选取3颗参考恒星，在三维空间中进行相似度量函数、误差平方和及曲线拐点的计算相比较，由于少选一颗恒星，减小了计算量。而且由于直接利用目标的轨迹连续性进行轨迹的检测，避免了将潜在目标点集从三维空间映射回二维空间在进行检测的过程，使检测更加简单实用。

下面结合实施例对本发明作详细说明。

### 具体实施方式

本发明具体步骤如下：

1、星点定位。

星点定位的主要目的是将恒星、潜在目标和噪声在成像图像中的光斑点（一般占据 1 个或多个像素点）用精确的位置坐标进行表示，便于后期的空间映射。从前面的灰度特性分析可知，恒星、目标和噪声均可视为具有对称性的高斯曲面分布，因此，可以采用高斯拟合的方法进行精确的质心提取，但是由于高斯拟合法在提高计算精度的同时，确牺牲了计算的效率，因此，本发明最终选择平方加权质心提取法进行星点定位。首先，对序列星空图像进行顶帽滤波和高斯滤波，去除背景的光照不均和全局噪声，其次，对全局图像中的所有灰度值大于阈值 1500 的全部星点，采用平方加权的质心提取法进行星点定位坐标的计算，具体的计算方法如公式（1）所示。

$$x_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)x}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)} \quad y_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)y}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n F^2(x, y)} \quad (1)$$

其中， $x, y$  为像素的横纵坐标， $F(x, y)$  为  $(x, y)$  处的灰度值， $m, n$  为窗口的大小， $x_0, y_0$  为求得的中心坐标。

## 2、参考恒星选取。

星点定位后，需要在单帧图像中进行参考恒星的选取，通过参考恒星的位置进行比较，最终得到星点到参考恒星之间的距离变化特征。

参考恒星的选取原则为：

- 1) 参考恒星的星等在一定的可是范围内，即  $a \leq I_R(x, y) \leq b$ ；
- 2) 参考恒星的大小限制在一定的像素内，即  $m \leq size(R) \leq n$ ；
- 3) 参考恒星的位置在星空图像中分布均匀，即  $\alpha \leq dis(R_1, R_2) \leq \beta$ 。

其中， $I_R(x, y)$  表示恒星的灰度值， $a, b$  表示灰度的选择范围； $size(R)$  表示参考恒星占有的像素数， $m, n$  表示占有像素个数的范围； $dis(R_1, R_2)$  表示参考恒星  $R_1$  和  $R_2$  之间的相互位置， $\alpha$  和  $\beta$  表示位置在一定的范围内。本实施例中采用参考恒星选取的具体原则为：

- 1) 参考恒星的星等及灰度值： $10000 \leq I_R(x, y) \leq 40000$ ；
- 2) 参考恒星的大小： $3 \leq size(R) \leq 5$ ；
- 3) 参考恒星的位置在星空图像中的分布： $200 \leq dis(R_1, R_2) \leq 300$ 。

由于参考恒星的星等在一定的可是范围内，可有效的保证参考恒星在 CCD 成像系统中的灰度分布符合高斯分布，没有溢出现象；恒星的大小限制在一定的像素内，可保证恒星占有的像素数在一定的范围内，不至于过小，这样，在序列图像中进行星点匹配时，不会引入不

必要的误差。恒星位置在星空图像中分布均匀，这样可保证全部星点在计算距离变化特征更精确。

对灰度的选择阈值  $a=8000\sim 10000$ ， $b=30000\sim 50000$ 、占有象素个数的阈值  $m=1\sim 3$ ， $n=3\sim 5$  以及位置的范围阈值  $\alpha=100\sim 300$ ， $\beta=300\sim 500$ ，都进行了检测，均达到了预期效果。

最终根据参考恒星的选取原则，在全局图像中，选出 2 颗符合参考恒星选取原则的恒星作为参考恒星。

### 3、恒星与潜在目标划分。

用  $f_k$  表示序列图像中的相邻帧，其中  $k=1,2$ ，第  $k$  帧中的第  $m$  个参考恒星点表示为  $R_k^m$ ，其中， $m=1,2,\dots,n$ ，同一星点在第  $k$  帧中与第  $m$  个参考恒星点之间的距离表示为  $dis_k^m$ ，相邻帧之间的星点与参考恒星的距离差表示为  $disdiff^h$ ，其中， $h=1,2,\dots,t$ ， $I=\{p_1,p_2,\dots,p_t\}$  表示全部的星点集合。则三维空间  $I$  到二维变换域特征空间  $F$  的映射  $T$  可表示为：

$$T:I \rightarrow F; \quad T(p) = (disdiff^1, disdiff^2, \dots, disdiff^t) \quad (2)$$

其中，特征变换域空间的维数由选取的参考恒星的数目  $t$  决定，分发明中  $t=2$ 。

根据全部星点到参考恒星之间的距离变换为特征信息，将三维星图空间映射为二维的变换域空间，变换域特征空间的具体构建方式如下所述。

同类星点在具有某一相同特性的变换域下，具有相似的特征。变换域的构建依赖于选取何种方式进行空间映射，即空间变换。而特征的选取决定了映射的具体方式。此处，选择距离函数作为构建新映射空间的特征。前人定义的距离函数很多，其中包括 Minkowsky 距离、Manhattan 距离、“City block” 距离、Euclidean 距离、Mahalanobis 距离、Camberra 距离、Kendall 秩相关距离、Russel 和 Rao 距离、Dice 距离、Kulzinsky 距离和、Yule 距离等，我们可以根据问题的性质和计算量的大小，选取相应的距离函数进行计算。此处，选取 Manhattan 距离，其具体计算过程如公式 (3) 所示。

$$d_m(X, Y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3)$$

其中， $d_m(X, Y)$  为 Manhattan 距离， $(x_i, y_i)$  表示星点的坐标。

相似性度量函数是用来衡量星点之间的相似程度，通过此函数判断星点之间的相似性，有效地划分恒星、潜在目标和噪声。

如前面所分析的那样，第  $k$  帧与第  $k+1$  帧间，星点到同一参考恒星  $m$  的距离差表示为  $disdiff_{k,k+1}^m$ ，在理想情况下， $disdiff_{k,k+1}^m$  应该满足公式 (4) 所示。

$$disdiff_{k,k+1}^m = |dis_k^m - dis_{k+1}^m| = 0 \quad (4)$$

而在实际条件下，由于受到噪声和星点定位精度的影响，通常恒星的  $disdiff$  为一个较小的值；噪声点由于是随机出现，因此，噪声的  $disdiff$  的值较大；潜在目标点由于自身的轨道运行，因此，潜在目标的  $disdiff$  在一定的范围内。因此，在变换域特征空间中，如何有效的区别恒星、潜在目标和噪声，就需要构建相似性度量函数  $d(P_i, R_k^m)$ ，具体计算过程如公式(5)所示。考虑到计算的效率，将自适应阈值选取的方式转化为固定阈值，这些固定阈值的获取是通过对实际数据进行反复实验获得。

$$d(P_i, R_k^m) = \begin{cases} d_m(X, Y), & d_m(X, Y) \leq 10 \\ d_m(X, Y), & 10 < d_m(X, Y) \leq 40 \\ \infty, & 40 < d_m(X, Y) \end{cases} \quad (5)$$

由于星空背景的目标图像中，绝大部分数量的星点是恒星，恒星和参考恒星之间的位置是相对固定的，由于噪声和定位精度的影响，使得恒星和和参考恒星之间的距离特征变化量主要集中于坐标原点附近；噪声在星空目标图像中是随机出现，因此，噪声和参考恒星之间的距离特征变化量远远超出了恒星和目标的距离特征化量，给定一个最大值；目标和参考恒星之间的距离特征变化在一定的范围内，但此时也可能由噪声产生假目标。

因此，通过上节所述的相似性度量函数  $d(P_i, R_k^m)$  可将恒星、部分噪声及潜在目标进行有效的划分。其中，潜在的目标点中不仅包含了真实的目标点，还有可能包含随机噪声。因此，需要通过轨迹关联进行精确的目标检测。

#### 4、轨迹关联剔除噪声。

通过恒星与潜在目标点的划分，在星空图像中得到潜在目标点的具体坐标位置。根据目标的特性分析，目标的轨迹具有连续相关性，而噪声点则是随机出现，因此，根据轨迹关联，则可实现目标点的精确检测。轨迹划分的具体步骤如下所示。

构建潜在目标的列表，数据结构定义为：

$(current\_x, current\_y)$ ：潜在目标点当前坐标位置

$Frame\_id$ ：当前帧的帧号

$flag$ ：标记

轨迹关联的具体实施步骤：

- 1) 对  $Frame\_id$  帧和  $Frame\_id + 1$  帧进行恒星与潜在目标的划分；
- 2) 建立目标列表；

- 3) 在  $Frame\_id+1$  帧的邻域范围  $[current\_x-\Delta x, current\_x+\Delta x]$ ,  
 $[current\_y-\Delta y, current\_y+\Delta y]$  内进行搜索, 若发现目标, 则  $flag=1$ ; 若没有发现  
目标, 则  $flag=0$ ;

返回第一步。

对得到的潜在目标的位置坐标, 建立潜在目标列表, 根据目标运动轨迹的连续相关特性, 对序列图像中的下一帧  $Frame\_id+1$  帧进行检测, 对  $Frame\_id$  帧中得到的潜在目标列表中的目标进行比较, 若当前帧  $Frame\_id+1$  帧中检测到的潜在目标的坐标位置出现在  $Frame\_id$  帧的列表中所示的潜在目标位置的邻域范围内, 则将  $flag$  标记为 1, 说明该点为目标点, 若当前帧  $Frame\_id+1$  帧中检测到的潜在目标的坐标位置没有出现在  $Frame\_id$  帧的列表中所示的潜在目标位置的邻域范围内, 则将  $flag$  标记为 0, 说明该点为噪声点。