

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01C 21/24 (2006.01)

B64G 1/10 (2006.01)

B64G 1/24 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510077187.6

[45] 授权公告日 2007 年 10 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 100344937C

[22] 申请日 2005.6.17

[21] 申请号 200510077187.6

[73] 专利权人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

[72] 发明人 江 洁 张广军 李 霄 杨 建

[56] 参考文献

CMOS 星敏感器图像驱动及实时星点定位算法 郝雪涛, 江洁, 张广军, 北京航空航天大学学报, 第 31 卷第 4 期 2005

基于 CMOS APS 的星敏感器技术发展研究 许苏晓, 肖靖, 长江大学学报 (自科版), 第 1 卷第 4 期 2004

星敏感器模型参数分析与校准方法研究 郝雪涛, 张广军, 江洁, 光电工程, 第 32 卷第 3 期 2005

审查员 张亚玲

[74] 专利代理机构 中国航空专利中心

代理人 梁瑞林

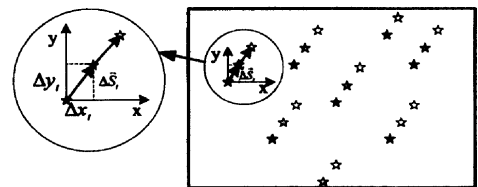
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

一种星跟踪器快速匹配识别方法

[57] 摘要

本发明属于天文导航技术领域, 涉及对星跟踪器匹配方法的改进。本发明的步骤是: 将当前时刻视场的星体根据 x 坐标位置进行排序, 得到序列 A; 估计前一时刻视场上跟踪到的星体在当前视场中的位置; 将估计后的跟踪星体位置进行排序, 得到序列 B; 将序列 A 和序列 B 进行匹配识别。本发明匹配速度快, 准确性高, 计算量小, 提高了整个跟踪过程的速度与准确性。



- ☆ 是 t_{i-1} 时刻跟踪星体的估计位置
- ☆ 是 t_i 时刻跟踪星体的精确位置
- ☆ 是 t_{i+1} 时刻跟踪星体的精确位置

1、一种星跟踪器快速匹配识别方法，其特征在于，匹配步骤如下：

1. 1、将当前时刻视场中所有的星体根据它们的 x 坐标位置进行从小到大的排序，得到序列 A，当前时刻为时刻 $t + \delta t$ ；坐标系是以视场图像的左上角为坐标原点， x ， y 轴分别平行于图像的两边， δt 是指图像传感器传输两帧图像之间的时间间隔；

1. 2、根据前两帧图像跟踪到的星体的运动信息，估计前一时刻视场上跟踪到的星体在当前视场中的位置，前一时刻为时刻 t ，该时刻的视场图像为前一帧图像，时刻 $t - \delta t$ 的视场图像为前二帧图像，按照下列步骤进行位置估计：

1. 2. 1、根据前两帧图像跟踪到的星体位置得到该星体的运动矢量 $\Delta \vec{S}_i$ ；

1. 2. 2、将运动矢量沿视场的 x ， y 方向分解成两个分量 $\Delta x_i, \Delta y_i$ ，根据下面的式 (2) 求出 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 的值，

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-\delta} \quad \Delta y_i = y_i - y_{i-\delta} \quad (2)$$

1. 2. 3、根据下面的式 (3) 求出该星体在当前时刻视场中的坐标，

$$x_{i+\delta} = x_i + \Delta x_i \quad y_{i+\delta} = y_i + \Delta y_i \quad (3)$$

从而得到该星体在当前视场中的位置；

1. 2. 4、按照步骤 1. 2. 1 ~ 1. 2. 3 所述的方法，估计出前一时刻视场上跟踪到的所有星体在当前视场中的位置；

1. 3、将经过步骤 1. 2 位置估计后的前一时刻跟踪到的星体位置按照 x 坐标从小到大进行排序，得到序列 B；

1. 4、将序列 A 和序列 B 进行匹配识别，过程如下：

1. 4. 1、根据位置估计的结果设定一个较小的阈值 δ ，根据仿真中星敏感器运动的角速度和位置估计的精度设定阈值 δ ，为 2~6 个像素；

1. 4. 2、将序列 A 和序列 B 从左至右依次进行比较，计算其 x 坐标的差和 y 坐标的差 匹配的计算公式为：

$$|x_i - x_j| < \delta, \quad |y_i - y_j| < \delta$$

1. 4. 3、对于序列 A 中的第 i 颗星体，如果在序列 B 中有且只有第 j 颗星体与其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，则两颗星体即 A 中的第 i 颗星

体和 B 中的第 j 颗星体匹配识别成功;

1. 4. 4、对于序列 A 中的第 i 颗星体, 如果在序列 B 中有两颗以上的星体与其位置差小于 δ , 说明出现了误匹配, 匹配失败, 由于视场中的星体个数较多, 因此匹配失败的星体舍弃, 不作为进行姿态计算的星体;

1. 4. 5、对于序列 A 中的第 i 颗星体, 如果在序列 B 中没有星体与其位置差小于 δ , 第 i 颗星体是新进来的星体, 没有匹配星体, 由于视场中的星体个数较多, 因此没有得到匹配的星体舍弃, 不作为进行姿态计算的星体;

1. 4. 6、对于序列 A 中的第 i 颗星体, 如果在序列 B 中第 j 颗星体与其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ , 而第 $j+1$ 颗星体与其 x 的坐标差值大于 δ , 则对于第 i 颗星体, 匹配识别结束;

1. 4. 7、如果序列 A 中的第 i 颗星体与序列 B 中第 j 颗星体其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ , 而与序列 B 中第 $j-1$ 颗星体 x 坐标差值大于 δ , 则对于序列 A 中的第 $i+1$ 颗星体, 只需从序列 B 中的第 j 颗星体开始比较, 之前的星体不需要比较。

一种星跟踪器快速匹配识别方法

技术领域

本发明属于天文导航技术领域，涉及对星跟踪器匹配方法的改进。

背景技术

星跟踪器是天文导航系统的主要设备，它是集光学、机械、电子、实时图像处理技术于一体的仪器。它通过 CCD 或 CMOS 图像传感器获取星体的图像信息，然后对图像信息进行实时处理，包括星体中心精确定位、星图识别、快速跟踪和精确姿态求解，输出姿态信息控制飞行器的姿态。实时跟踪是星跟踪器的主要工作模式，其跟踪的速度是星跟踪器主要的指标之一。星跟踪过程一个很重要的问题就是：如何快速地根据前一时刻已经跟踪到的星体信息识别当前视场中的星体。这个问题有两种解决方法：

(1) 跟踪窗方法。

跟踪窗方法如图 2 所示，这种方法根据前一时刻跟踪到的星体的位置信息，估计当前时刻星体可能的位置，用跟踪窗捕获星体。如果捕获到就说明跟踪上了，当前星体的信息（包括赤经、赤纬、星等、星号）与前一时刻跟踪到的星体信息一致。

(2) 匹配识别方法。

匹配识别方法是基于星体中心坐标位置的匹配，如图 3 所示，这种方法对当前时刻的星体根据其位置信息，寻找前一时刻与其在位置上匹配的已经跟踪到的星体，如果找到一颗，而且只有一颗星体与其匹配，则匹配识别成功，当前星体的信息（包括赤经、赤纬、星等、星号）与匹配到的前一时刻的星体信息一致。如图 3，黑色表示的星体是前一时刻（ t 时刻）已经被跟踪上的星体，其星体的信息已知。前一时刻的 5 号星体（图中黑色表示的星体）与当前时刻的 7' 号星体（图中白色表示的星体）在一定的误差范围内唯一匹配，7' 号星体得到识别，其星体信息（包括赤经、赤纬、星等、星号）从前一时刻的 5 号星体获取。在星跟踪过程中由于匹配识别方法简单、有效、快速而被采用。

为了识别当前视场中的某颗星体 i ，目前这种匹配识别的过程如下，

首先计算当前时刻视场上这颗星体 i 与前一时刻被跟踪上的所有星体的距离，其公式如下，

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

其次一一比较这些距离与预先设定的阈值 δ ，如果前一时刻被跟踪上的星体中有且只有星体 j 与当前时刻视场上的星体 i 之间的距离小于设定的阈值，则星体 j 与 i 构成匹配对，匹配识别完成。这种匹配识别的方法虽然简单、有效，但是采用这种方法的跟踪过程，存在以下几个问题：

(1) 其跟踪速度随着跟踪星体数目的增加呈线性下降；

(2) 其距离的计算是基于平方和开根号运算，这种运算在星跟踪器所采用的 RISC 处理器中的计算量较大；

(3) 从图 3 中我们可以看出对于当前时刻视场中的 7' 号星，其与前一时刻的 3、4、6、9、10 号星之间的距离比较大，它们之间的比较是没有意义的，是无谓的耗时的的工作。

一般的匹配识别方法都是直接将当前时刻和前一时刻的星体位置进行距离的计算，阈值 δ 的选取与星跟踪器运动的角速度有关，当运动的角速度较大时会出现误匹配问题，参见图 4，对于当前时刻星体 6' 有前一时刻跟踪到的两颗星体 5 和 9 与它的距离小于阈值，产生错误匹配。实际上应该是当前时刻星体 6' 和前一时刻的星体 5 匹配，当前时刻的星体 10' 和前一时刻的星体 9 匹配。

发明内容

本发明的目的是：提供一种匹配速度快、匹配准确性高、而且处理其计算量小的星跟踪器匹配方法。

本发明的技术方案是：一种星跟踪器快速匹配识别方法，其特征在于，匹配步骤如下：

1、将当前时刻视场中所有的星体根据它们的 x 坐标位置进行从小到大的排序，得到序列 A，当前时刻为时刻 $t + \delta t$ ；坐标系是以视场图像的左上角为坐标原点， x 、 y 轴分别平行于图像的两边， δt 是指图像传感器传输两帧图像之间的时间间隔；

2、根据前两帧图像跟踪到的星体的运动信息，估计前一时刻视场上跟踪到的星体在当前视场中的位置，前一时刻为时刻 t ，该时刻的视场图

像为前一帧图像，时刻 $t - \delta t$ 的视场图像为前一帧图像，按照下列步骤进行位置估计：

2. 1、根据前两帧图像跟踪到的星体位置得到该星体的运动矢量 $\Delta \vec{s}_i$ ；

2. 2、将运动矢量沿视场的 x, y 方向分解成两个分量 $\Delta x_i, \Delta y_i$ ，根据下面的式 (2) 求出 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 的值，

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-\delta} \quad \Delta y_i = y_i - y_{i-\delta} \quad (2)$$

2. 3、根据下面的式 (3) 求出该星体在当前时刻视场中的坐标，

$$x_{i+\delta} = x_i + \Delta x_i \quad y_{i+\delta} = y_i + \Delta y_i \quad (3)$$

从而得到该星体在当前视场中的位置；

2. 4、按照步骤 2.1 ~ 2.3 所述的方法，估计出前一时刻视场上跟踪到的所有星体在当前视场中的位置；

3、将经过步骤 2 位置估计后的前一时刻跟踪到的星体位置按照 x 坐标从小到大进行排序，得到序列 B；

4、将序列 A 和序列 B 进行匹配识别，过程如下：

4. 1、根据位置估计的结果设定一个较小的阈值 δ ，根据仿真中星敏传感器运动的角速度和位置估计的精度设定阈值 δ ，为 2~6 个像素；

4. 2、将序列 A 和序列 B 从左至右依次进行比较，计算其 x 坐标的差和 y 坐标的差 匹配的计算公式为：

$$|x_i - x_j| < \delta, \quad |y_i - y_j| < \delta$$

4. 3、对于序列 A 中的第 i 颗星体，如果在序列 B 中有且只有第 j 颗星体与其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，则两颗星体即 A 中的第 i 颗星体和 B 中的第 j 颗星体匹配识别成功；

4. 4、对于序列 A 中的第 i 颗星体，如果在序列 B 中有两颗以上的星体与其位置差小于 δ ，说明出现了误匹配，匹配失败，由于视场中的星体个数较多，因此匹配失败的星体舍弃，不作为进行姿态计算的星体；

4. 5、对于序列 A 中的第 i 颗星体，如果在序列 B 中没有星体与其位置差小于 δ ，第 i 颗星体是新进来的星体，没有匹配星体，由于视场中的星体个数较多，因此没有得到匹配的星体舍弃，不作为进行姿态计算的星体；

4. 6、对于序列 A 中的第 i 颗星体，如果在序列 B 中第 j 颗星体与其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，而第 $j+1$ 颗星体与其 x 的坐标差值大于

δ ，则对于第 i 颗星体，匹配识别结束；

4. 7、如果序列 A 中的第 i 颗星体与序列 B 中第 j 颗星体其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，而与序列 B 中第 $j-1$ 颗星体 x 坐标差值大于 δ ，则对于序列 A 中的第 $i+1$ 颗星体，只需从序列 B 中的第 j 颗星体开始比较，之前的星体不需要比较。

本发明的优点是：加快了匹配的速度，提高了匹配的准确性，更适合 RISC 处理器计算体系的特点，减小了 RISC 处理器的计算量，提高了整个跟踪过程的速度与准确性。

附图说明

图 1 是星图图像坐标系建立的示意图。

图 2 是现有的星跟踪方法中窗口形式的示意图。图中的黑点表示背景像素。

图 3 为现有的匹配识别方法的示意图。图中的黑色五星表示 t 时刻跟踪到的星体的位置。白色五星表示 $t+\delta t$ 时刻实时定位得到的星体的精确位置。

图 4 是现有的匹配识别方法产生错误匹配示意图，图中的黑色五星表示 t 时刻跟踪到的星体的位置。白色五星表示 $t+\delta t$ 时刻得到的星体的精确位置。

图 5 是将当前时刻视场中所有的星体根据它们的 x 坐标位置进行从小到大的排序的示意图。

图 6 是本发明方法进行运动矢量估计示意图。图中白色五星表示 $t+\delta t$ 时刻跟踪星体的估计位置，灰色五星表示 t 时刻跟踪星体的精确位置，黑色五星表示 $t-\delta t$ 时刻跟踪星体的精确位置。

图 7 是本发明方法中经过运动矢量估计以后的匹配示意图。图中黑色五星表示 t 时刻跟踪到的星体的位置，灰色五星表示 t 时刻跟踪到的星体在 $t+\delta t$ 时刻的估计位置，白色五星表示 $t+\delta t$ 时刻得到的跟踪星体的精确位置。

图 8 是本发明将经过运动矢量估计后的前一时刻跟踪到的星体位置按照 x 坐标从小到大进行排序的示意图。

图 9 是图 6 所示的星图匹配结果的示意图。图中虚线表示进行比较，实线表示匹配成功。

具体实施方式

下面对本发明做进一步详细说明。本发明在星跟踪过程中采用匹配识别的方法，并且跟踪视场中所有的星体，针对匹配识别中存在的问题进行了改进，其具体步骤如下：

1、将当前时刻视场中所有的星体根据它们的 x 坐标位置进行从小到大的排序，如图 4 所示的 10 颗星体，其排序前后的情况见图 5。

2、为了减少误匹配，对前一时刻视场上跟踪到的星体不直接进行排序，而是根据前两帧图像跟踪到的星体的运动信息，估计前一时刻视场上跟踪到的星体在当前视场中的可能位置，如图 6 所示。前一时刻为时刻 t ，该时刻的视场图像为前一帧图像，时刻 $t - \delta t$ 的视场图像为前一帧图像，图 6 中的 $\Delta \vec{s}_i$ 就是运动矢量，由于星跟踪器本身运动速度不快，这个运动矢量的变化不会很大，因此我们用前两帧跟踪得到的运动矢量来估计前一时刻跟踪到的星体在当前时刻视场上的位置。在实际的计算中，将运动矢量沿视场的 x ， y 方向分成两个分量 $\Delta x_i, \Delta y_i$

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-\delta} \quad \Delta y_i = y_i - y_{i-\delta} \quad (2)$$

$$x_{i+\delta} = x_i + \Delta x_i \quad y_{i+\delta} = y_i + \Delta y_i \quad (3)$$

进行位置估计的具体步骤是：

2. 1、根据前两帧图像跟踪到的星体位置得到该星体的运动矢量 $\Delta \vec{s}_i$ ；
2. 2、将运动矢量沿视场的 x ， y 方向分解成两个分量 $\Delta x_i, \Delta y_i$ ，根据下面的式 (2) 求出 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 的值，

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-\delta} \quad \Delta y_i = y_i - y_{i-\delta} \quad (2)$$

2. 3、根据下面的式 (3) 求出该星体在当前时刻视场中的坐标，

$$x_{i+\delta} = x_i + \Delta x_i \quad y_{i+\delta} = y_i + \Delta y_i \quad (3)$$

从而得到该星体在当前视场中的位置。

2. 4、按照步骤 2.1 ~ 2.3 所述的方法，估计出前一时刻视场上跟踪到的所有星体在当前视场中的位置。

由于 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 随着星跟踪器运动在变化，它包含了星跟踪器运动中的速度波动信息，计算简单，速度快。基于本发明方法的运动矢量估计的匹配方法由图 7 所示。从图 7 中可看出，经过运动矢量估计后，阈值 δ 可以选择较小的值，因此减小了误匹配的可能性，提高了匹配的准确性。

3、对图 7 中经过步骤 2 位置估计后的前一时刻跟踪到的星体位置按

照 x 坐标从小到大进行排序，得到序列 B，如图 8 所示。因为第 10 颗星经过估计已经出了视场，所以只有 9 颗星进行排序。

4、将序列 A 和序列 B 进行匹配识别，过程如下：根据估计的结果设定一个较小的阈值 δ ，依据排序后的结果，从左至右依次比较。在比较的过程中不计算距离，而是计算 x 、 y 坐标的差。排除了进行平方和开根号的计算，这样大大减小了 RISC 处理器的计算量，匹配的具体步骤是：

4. 1、根据位置估计的结果设定一个较小的阈值 δ ；这里我们根据仿真中星敏感器运动的角速度和位置估计的精度设定阈值 δ 为 2 个像素；如果考虑噪声影响阈值还需要大一些。

4. 2、将序列 A 和序列 B 从左至右依次进行比较，如图 9 所示，计算其 x 坐标的差和 y 坐标的差，匹配的计算公式为：

$$|x_i - x_j| < \delta, |y_i - y_j| < \delta$$

4. 3、对于序列 A 中的某颗星体，如第 2 颗星体 6'，在序列 B 中有且只有第 1 颗星体 5'' 与其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，则两颗星体（A 中的星体 6' 和 B 中的星体 5''）匹配识别成功；

4. 4、对于序列 A 中的第 1 颗星体 1'，在序列 B 中没有星体与其位置差小于 δ ，则可判断星体 1' 是新进来的星体，没有匹配星体。

4. 6、对于序列 A 中的第 3 颗星体 10'，与序列 B 中第 2 颗星体 9'' 其 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，而与第 3 颗星体 1'' 的 x 的坐标差值大于 δ ，则对于星体 10'，匹配识别结束，而不需要再与其它星体 7''、2''、3''、8''、6''、4'' 进行比较，这样大大减少了匹配的次数，提高了匹配的速度。

4. 7、序列 A 中的第 8 颗星体 9' 与序列 B 中第 7 颗星体 8'' 的 x 和 y 的坐标差值都小于 δ ，而与序列 B 中第 6 颗星体 3'' 的 x 坐标差值大于 δ ，则对于序列 A 中的第 9 颗星体 7'，只需从序列 B 中的第 7 颗星体 8'' 开始比较，之前的星体 5''、9''、1''、7''、2''、3'' 都不需要比较，大大减少匹配的次数，提高了匹配的速度。

图 7 所示的星图匹配的结果见图 9。

实施例

具体的实施过程的范例见以上“具体实施方式”这一节，这个范例针对图 4，详细地叙述了整个匹配识别的过程，包括当前时刻视场中所有的星体的排序情况，前一时刻视场中所有星体的位置估计及估计结果的

排序情况，及这两个排序结果的匹配过程。

另外在实际的测试中我们对比了采用快速匹配方法和不采用快速匹配方法在的循环匹配次数、匹配所需的时间上的差别。取初始的跟踪姿态（俯仰角、偏航角、滚转角）为（ 70° ， 20° ， 0° ）的一个天区为例，在跟踪过程中比较现有的方法和本发明的方法在匹配的循环次数、循环所需的时间上的不同，比较结果如下：

跟踪的步数		第 1 步	第 33 步	第 65 步	第 120 步
星体数量(当前,上一次)		49, 49	24, 31	17, 18	26, 27
匹配循环次数(次)	原方法	2401	744	306	702
	改进方法	292	126	71	104
匹配循环时间(ms)	原方法	2.100	0.661	0.282	0.879
	改进方法	0.176	0.067	0.041	0.058

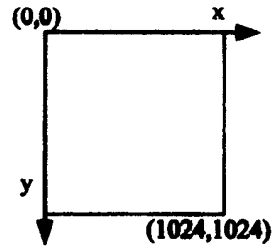
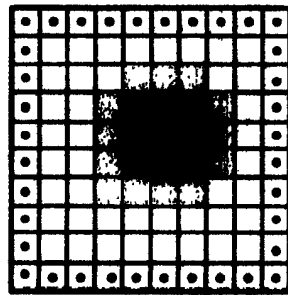
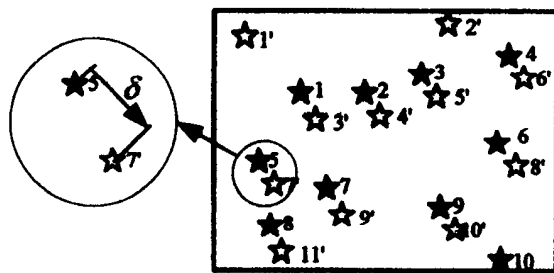


图 1



• 表示背景像素

图 2



★ t时刻跟踪到的星体的位置
☆ t时刻实时定位得到的星体的精确位置

图 3

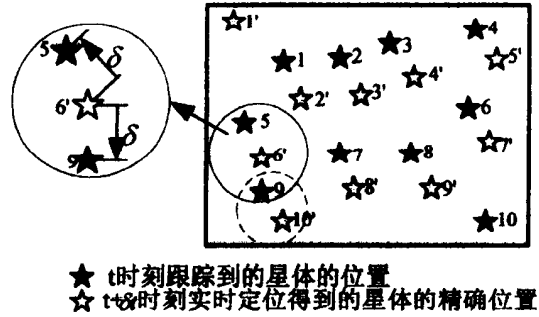


图 4

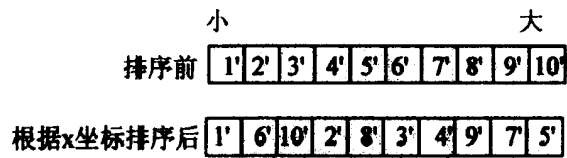


图 5

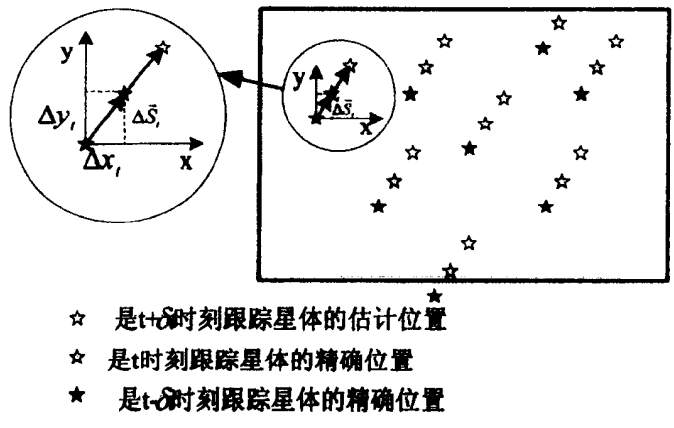


图 6

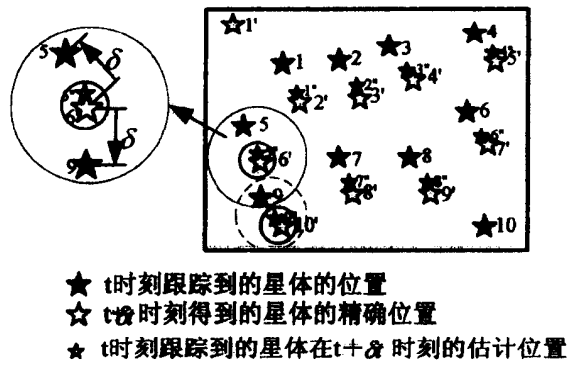


图 7

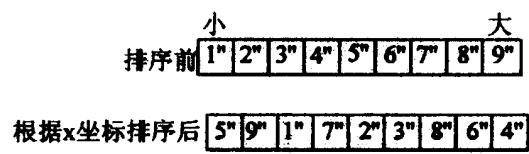


图 8

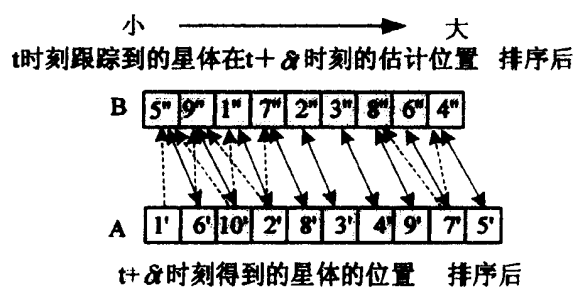


图 9