



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103945126 B

(45) 授权公告日 2015.03.04

(21) 申请号 201410160324.1

[0106] 至第 11 页 [0124], 图 6.

(22) 申请日 2014.04.21

伏德贵, 汪法根, 孙朝明. 面向对象的光学系统自动对焦方法. 《光电工程》. 2005, 第 32 卷 (第 7 期), 摘要.

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科学技术大学

王剑华, 邓华秋, 陈参宁. 数字自动对焦中的搜索算法研究. 《传感器与微系统》. 2012, 第 31 卷 (第 5 期), 第 2 页.

地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路  
109 号

审查员 孙佳琛

(72) 发明人 张政 张茂军 王炜 徐玮  
熊志辉 刘煜(74) 专利代理机构 长沙正奇专利事务所有限责  
任公司 43113

代理人 卢宏

(51) Int. Cl.

H04N 5/232(2006.01)

G03B 13/36(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102696219 A, 2012.09.26, 全文.

CN 103535021 A, 2014.01.22, 全文.

CN 103348667 A, 2013.10.09, 说明书第 9 页

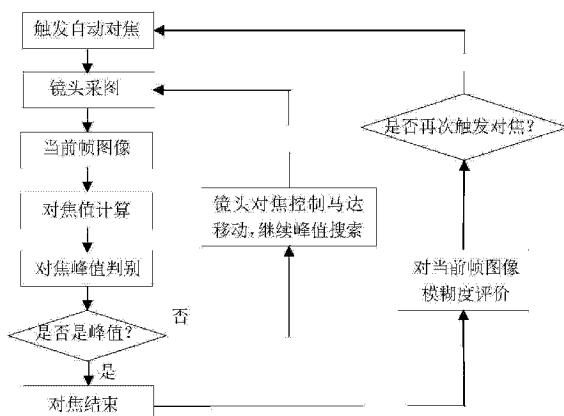
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种自动对焦定位方法

(57) 摘要

本发明公开了一种自动对焦定位方法,采用绝对模糊度值来判定搜索方向,其中包括由绝对模糊度值和当前对焦位置值对某一特定情况下仅靠一帧图像的搜索方向快速判定准则,及由绝对模糊度的连续几帧变化来对普通情况下的搜索方向判定准则;采用双锐度变化阈值来确定精细搜索区域,以剔除局部峰值且保证对低对比度场景准确对焦的能力;采用统计波动次数来区分局部峰值和全局峰值,排除局部峰值的干扰;采用多窗口对焦模式,由锐度和模糊度综合判定对焦目标区域,达到一定程度的主动选择对焦目标区域的能力。本发明对焦效率高,对焦准确。



1. 一种自动对焦定位方法,其特征在于,该方法主要实现过程如下:采用摄像画面的绝对模糊度值判定搜索方向;采用摄像画面的双锐度变化阈值来确定精细搜索区域;采用统计波动次数区分局部峰值和全局峰值;采用多窗口对焦模式,由摄像画面的锐度和绝对模糊度综合判定对焦目标区域;具体包括以下步骤:

1) 在摄像画面中部划分一个大长方形聚焦框,在所述大长方形聚焦框四周均匀划分8个小长方形聚焦框,同时在所述摄像画面四个顶角位置划分4个小长方形聚焦框;所述大长方形聚焦框和12个小长方形聚焦框即为聚焦预选窗口;

2) 从当前调焦马达的任意位置出发,以调焦范围内当前位置向远极端方向为初始移动方向,根据以下方法确定初始对焦移动方向:

如果所述摄像画面模糊度超过设定的阈值,并且当前对焦位置与近极端位置之间的距离小于整个对焦范围的0.15倍,则初始对焦移动方向确定为朝向远极端方向;否则,按照下列方法确定N个对焦位置的初始对焦移动方向:如果当前对焦位置对应的摄像画面模糊度与前一对焦位置对应的摄像画面模糊度相对增大值超过0.2,则初始对焦移动方向与初始移动方向相反;如果当前对焦位置对应的摄像画面模糊度与前一对焦位置对应的摄像画面模糊度相对减小值超过0.2,则初始对焦移动方向与初始移动方向相同;如果至少3个连续的对焦位置对应的摄像画面模糊度递增,则初始对焦移动方向与初始移动方向相反;如果至少3个连续的对焦位置的摄像画面模糊度递减,则初始对焦移动方向与初始移动方向相同;

如果在N个对焦位置按以上方法依然无法确定初始对焦移动方向,则对此N个对焦位置计算各连续两对焦位置的摄像画面模糊度差值,如果差值大于0的次数大于差值小于0的次数,则初始对焦移动方向与初始移动方向相反;否则,初始对焦移动方向与初始移动方向相同;

3) 根据下列公式设定初始搜索移动步长S<sub>0</sub>:

$$S_0 = \begin{cases} S_c & \text{if } B \geq B_c \\ S_f & \text{if } B \leq B_f \\ S_s & \text{if } B_s \geq B > B_f \\ S_m & \text{其他} \end{cases};$$

其中B<sub>c</sub>、B<sub>f</sub>、B<sub>s</sub>取值分别为0.95、0.25、0.5;S<sub>c</sub>、S<sub>f</sub>、S<sub>s</sub>、S<sub>m</sub>分别为预设定的大步长、精细步长、小步长、中步长,S<sub>c</sub>>S<sub>m</sub>>S<sub>s</sub>>S<sub>f</sub>,S<sub>c</sub>、S<sub>f</sub>、S<sub>s</sub>、S<sub>m</sub>均为常数;S<sub>s</sub>=3S<sub>f</sub>~5S<sub>f</sub>,S<sub>m</sub>=7S<sub>f</sub>~10S<sub>f</sub>,S<sub>c</sub>=15S<sub>f</sub>~30S<sub>f</sub>;

4) 根据下述方法确定对焦窗口:

a) 如果在确定初始对焦移动方向时刻t<sub>0</sub>时摄像画面模糊度大于所述设定的阈值,则采用t<sub>0</sub>~t<sub>1</sub>间的摄像画面对焦度数据确定对焦窗口:如果大长方形聚焦框所在位置的聚焦预选窗口在t<sub>0</sub>~t<sub>1</sub>间的对焦值的平均值小于所述大长方形聚焦框四周8个小长方形聚焦框对应的平均对焦值,则选择周边8个小长方形聚焦框中对焦平均值最大的聚焦预选窗口为对焦窗口;否则,选择大长方形聚焦框对应的聚焦预选窗口为对焦窗口;其中t<sub>1</sub>时刻指对应于摄像画面对焦度显著变大的对焦位置,所述对焦度显著变大的对焦位置指该对焦位置与该对焦位置的前一个对焦位置对应的摄像画面的聚焦值的相对差值超过0.05;

b) 如果在确定初始对焦移动方向时刻  $t_0$  时摄像画面模糊度小于所述设定的阈值，并且初始移动步长为小步长或精细步长，则计算大长方形聚焦框和所述大长方形聚焦框四周 8 个小长方形聚焦框的边缘点个数，如果大长方形聚焦框的边缘点个数大于其四周 8 个小长方形聚焦框的边缘点平均数量，则选择大长方形聚焦作为对焦窗口；否则，选择四周 8 个窗口中边缘点最多的小长方形聚焦框为对焦窗口；

5) 根据初始对焦移动方向、初始搜索移动步长和对角窗口确定搜索区域，进行对焦搜索。

2. 根据权利要求 1 所述的自动对焦定位方法，其特征在于，所述步骤 5) 中，搜索区域确定方法包括以下步骤：

a) 如果当前时刻  $t$  摄像画面的对焦值  $F_t < 0.20F_{\max}$ ，则当前搜索区域标记为粗搜索区域，搜索步伐调整为  $S_c$ ；其中  $F_{\max}$  为到  $t-1$  时刻为止检测到的摄像画面的最大对焦值；

b) 如果步骤 a) 的条件不成立，则进行以下判断和处理：如果  $F_t$  相对于前一对焦位置的对焦值  $F_{t-1}$  的差值  $\Delta F_t$  满足： $\Delta F_t > \eta F_{t-1}$ ，其中阈值  $\eta$  取值范围为  $0.4 \sim 0.6$ ，则标记当前区域为精细搜索区域，搜索步伐调整为  $S_f$ ；

c) 如果 a) 和 b) 的条件都不满足，则：如果当前搜索区域为精细搜索区域，且  $\Delta F_t > 0$ ，则标记  $downNum = 0$ ，并按以下两种情况处理：如果  $F_t > F_{\max}$ ，则标记  $isClimbed = true$ ，并使  $climbStepNum$  增加 1，当  $climbStepNum$  未超过 15 时，继续按精细搜索步伐搜索；否则，标记当前区域为小步伐搜索区域，并调整搜索步伐为  $S_s$ ， $climbStepNum$  归零；如果  $F_t \leq F_{\max}$ ，则使  $unclearStepNum$  增加 1，当  $unclearStepNum$  未超过 5-10 时，继续按精细搜索步伐搜索；否则，标记当前区域为小步伐搜索区域，调整搜索步伐为  $S_s$ ， $unclearStepNum$  归零；

d) 如果上述 a)、b) 和 c) 的条件都不满足，则：如果当前搜索区域为小步伐搜索区域，并且如果  $F_t \geq F_{\max}$  及  $\Delta F_t \geq 0.01F_{t-1}$ ，则使  $downNum = 0$ ；

e) 如果上述 a)、b)、c)、d) 的条件都不满足，则：如果  $\Delta F_t < 0$  并且当前搜索区域为精细搜索区域或为小步伐搜索区域：如果  $|\Delta F_t| > 0.001F_{t-1}$ ，则  $downNum$  增加 1；如果  $downNum$  超过 3-5，则根据  $isClimbed$  状态值按以下两种情况处理：如果  $isClimbed = true$ ，则直接控制对焦马达回到当前时刻最大对焦值对应的对焦位置，对焦结束；如果  $isClimbed = false$ ，则控制对焦马达返回到当前时刻最大对焦值对应的对焦位置，并继续以此方向按精细步伐搜索，直到  $|\Delta F_t| > 0.05F_{\max}$  时返回到最大对焦值对应的对焦位置，对焦结束；

f) 如果上述 a)、b)、c)、d)、e) 条件都不满足，则直接设定当前搜索区域为中步伐搜索区域，调整搜索步伐为  $S_m$ ，并标记  $downNum = 0$ ；

g) 如果存在某对焦位置的  $\Delta F_t > 0.20F_{t-1}$ ，则标记当前搜索区域为亚精细区域，在对焦值进入粗搜索区域或遇到远极端位置时，返回到对焦最大值位置，并以精细步伐按照返回方向继续搜索，直到  $|\Delta F_t| > 0.05F_{\max}$  时以最大对焦值位置为准确对焦位置，对焦结束；如果整个搜索没有遇到亚精细区域，则判定当前对焦场景为弱纹理场景，将对焦窗口选定为摄像画面四个顶角中，再以选定的对焦窗口，按照上述步骤 a)—f) 的方法进行搜索；

上述步骤中，粗搜索区域、中步伐搜索区域、小步伐搜索区域、以及精细搜索区域分别对应大步长  $S_c$ 、中步长  $S_m$ ，小步长  $S_s$ ，以及精细步长  $S_f$ 。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的自动对焦定位方法，其特征在于，所述设定的阈值为  $0.80 \sim 0.85$ 。

## 一种自动对焦定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理和自动对焦技术领域，特别是一种自动对焦定位方法。

### 背景技术

[0002] 自动对焦是能使目标场景在成像系统中准确清晰成像的某种自动调节的过程，是各种光电成像系统一项重要的基本功能。自动对焦方式主要可分为主动对焦和被动对焦两类。主动对焦依靠某种距离探测方式比如超声或红外测距等，以测量出目标场景与镜头之间的距离，然后据此对焦而获得对焦准确的位置。主动对焦能适应各种光照情形，尤其是在低照度情况下也能正常工作。这类方法的缺点除了需要更多的成本及电源(或电池)等消耗外，还在于对焦目标区域被局限于距离准确探测到的目标点，以及由于红外或超声的高反射性而无法透过玻璃准确对焦。与主动对焦不同的是，被动对焦则不需要向对焦目标物发射任何能量或信息，仅仅通过利用透入的光线和形成的图像信息进行分析来调节对焦。被动对焦主要包括相位检测对焦和对比度检测对焦两类方法。相位检测对焦是单反相机里用的最普遍的自动对焦方法，这种对焦系统一般由反光镜、微透镜，以及多个成像敏感器等硬件构成。简单地说，通过镜头的光束被分为两个部分，分别在不同的两组成像敏感器上成像。如果对焦准确，则两幅图像相同；如果对焦不准，则两幅图像会出现偏移。通过比较两幅图像而检测这个偏移量，就能检测出对焦的偏离状态。相位检测自动对焦的优点在于对焦迅速且比较精确，缺点在于需要独特的硬件构造，耗价高，且其复杂的构造不适合需要结构紧凑的情况，比如不适合在一般的数码相机及移动手机等平台上应用。

[0003] 在基于图像的被动对焦过程中，摄像头对准需要对焦的场景并驱动对焦电机控制对焦位置，通过对图像传感器采集图像进行清晰度计算，由图像的清晰度来反馈控制对焦电机移动的方向和步长，直至找到清晰度最大的位置即为对焦准确的位置。清晰度往往是通过图像锐度来体现的，锐度越大，边缘等细节信息就越丰富，图像自然就越显得清晰。因此，锐度计算的准确性决定了自动对焦的精度。除清晰度计算这一关键因素外，同样重要的是对焦搜索方法，即如何对对焦过程进行控制，使得能够用最少的步长移动达到最精确的对焦效果。对焦搜索决定了对焦的速度。

[0004] 常采用的对焦搜索方法为爬山搜索，它的基本原理是在对焦过程通过前后的对焦值信息来判定坡峰的位置。简单地说，爬山法首先以合适的固定步长出发，当遇到对焦值显著变化的位置时，判定并记下处于爬坡状态；当对焦值开始连续下降时，判定已过坡峰位置，则调头再以较小步长从反方向进行爬坡一次，通过对坡峰如此反复的来回确定，直到最大对焦值变化足够小为止。爬山搜索的优点在于不需要对整个对焦范围进行搜索，能以较少的对焦步骤迅速的确定准确对焦的位置。缺点在于需要确定合适的阈值参数和每次爬坡的步长大小，来回反复对焦容易造成图像“振荡”现象，于视觉感官上效果较差，并且容易陷入局部的坡峰位置而对焦错误。

[0005] 由于对焦场景多种多样，光照条件也是变化不一的，使得对焦值曲线很多情况下不会是单调平滑的单峰曲线(如图1为典型的单峰对焦函数曲线)，而是呈现出多个坡峰和

局部振荡,使得对焦搜索容易陷入局部峰值(如图2所示)。尤其是在长焦高变倍情况下,搜索可能长时间陷入模糊状态或者反复来回振荡变化。迅速而准确地确定初始对焦搜索方向对实现快速、准确、平稳自动对焦至关重要。对焦场景和光照条件的多样性使得在很多情况下依靠图像锐度评价函数值难以准确确定搜索方向,对长焦情况下更是一个难以解决的问题。

## 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是,针对现有技术不足,提供一种自动对焦定位方法,快速准确地判定对焦搜索移动方向,避免陷入局部峰值。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明所采用的技术方案是:一种自动对焦定位方法,采用摄像画面的绝对模糊度值判定搜索方向;采用摄像画面的双锐度变化阈值来确定精细搜索区域;采用统计波动次数区分局部峰值和全局峰值;采用多窗口对焦模式,由摄像画面的锐度和绝对模糊度综合判定对焦目标区域。

[0008] 本发明的方法具体包括以下步骤:

[0009] 1)在摄像画面中部划分一个大长方形聚焦框,在所述大长方形聚焦框四周均匀划分8个小长方形聚焦框,同时在所述摄像画面四个顶角位置划分4个小长方形聚焦框;所述大长方形聚焦框和12个小长方形聚焦框即为聚焦预选窗口;

[0010] 2)从当前调焦马达的任意位置出发,以调焦范围内当前位置向远极端方向为初始移动方向,根据以下方法确定初始对焦移动方向:当前变焦(或变倍)位置对应的对焦电机马达可移动范围称为对焦范围,对应包含两个端点位置,即两极端。离当前马达控制位置较远的极端称为远极端,距离较近的称为近极端;

[0011] 如果所述摄像画面模糊度超过设定的阈值( $0.80 \sim 0.85$ ),并且当前对焦位置与近极端位置之间的距离小于整个对焦范围的0.15倍,则初始对焦移动方向确定为朝向远极端方向;否则,按照下列方法确定N个对焦位置( $N > 1$ ,一般取值介于5-10)的初始对焦移动方向:如果当前对焦位置对应的摄像画面模糊度与前一对焦位置对应的摄像画面模糊度相对增大值超过0.2,则初始对焦移动方向与初始移动方向相反;如果当前对焦位置对应的摄像画面模糊度与前一对焦位置对应的摄像画面模糊度相对减小值超过如0.2,则初始对焦移动方向与初始移动方向相同;如果至少3个连续的对焦位置对应的摄像画面模糊度递增,则初始对焦移动方向与初始移动方向相反;如果至少3个连续的对焦位置的摄像画面模糊度递减,则初始对焦移动方向与初始移动方向相同;

[0012] 如果在N个对焦位置按以上方法依然无法确定初始对焦移动方向,则对此N个对焦位置计算各连续两对焦位置的摄像画面模糊度差值,如果差值大于0的次数大于差值小于0的次数,则初始对焦移动方向与初始移动方向相反;否则,初始对焦移动方向与初始移动方向相同;

[0013] 3)根据下列公式设定初始搜索移动步长 $S_0$ :

[0014]

$$S_0 = \begin{cases} S_c & \text{if } B \geq B_c \\ S_f & \text{if } B \leq B_f \\ S_s & \text{if } B_s \geq B > B_f \\ S_m & \text{其他} \end{cases};$$

[0015] 其中  $B_c$ 、 $B_f$ 、 $B_s$  取值分别为 0.95、0.25、0.5； $S_c$ 、 $S_f$ 、 $S_s$ 、 $S_m$  分别为预设定的大步长、精细步长、小步长、中步长， $S_c > S_m > S_s > S_f$ ， $S_c$ 、 $S_f$ 、 $S_s$ 、 $S_m$  均为常数； $S_s = 3S_f \sim 5S_f$ ， $S_m = 7S_f \sim 10S_f$ ， $S_c = 15S_f \sim 30S_f$ ；

[0016] 4) 根据下述方法确定对焦窗口：

[0017] a) 如果在确定初始对焦移动方向时刻  $t_0$  时摄像画面模糊度大于所述设定的阈值，则采用  $t_0 \sim t_1$  间的摄像画面对焦度数据确定对焦窗口：如果大长方形聚焦框所在位置的聚焦预选窗口在  $t_0 \sim t_1$  间的对焦值的平均值小于所述大长方形聚焦框四周 8 个小长方形聚焦框对应的平均对焦值，则选择周边 8 个小长方形聚焦框中对焦平均值最大的聚焦预选窗口为对焦窗口；否则，选择大长方形聚焦框对应的聚焦预选窗口为对焦窗口；其中  $t_1$  时刻指对应于摄像画面对焦度显著变大的对焦位置，所述对焦度显著变大的对焦位置指该对焦位置与该对焦位置的前一个对焦位置对应的摄像画面的聚焦值的相对差值超过 0.05；

[0018] b) 如果在确定初始对焦移动方向时刻  $t_0$  时摄像画面模糊度小于所述设定的阈值，并且初始移动步长为小步长或精细步长，则计算大长方形聚焦框和所述大长方形聚焦框四周 8 个小长方形聚焦框的边缘点个数，如果大长方形聚焦框的边缘点个数大于其四周 8 个小长方形聚焦框的边缘点平均数量，则选择大长方形聚焦作为对焦窗口；否则，选择四周 8 个窗口中边缘点最多的小长方形聚焦框为对焦窗口；

[0019] 5) 根据初始对焦移动方向、初始搜索移动步长和对角窗口确定搜索区域，进行对焦搜索。

[0020] 所述步骤 5) 中，搜索区域确定方法包括以下步骤：

[0021] a) 如果当前时刻  $t$  摄像画面的对焦值  $F_t < 0.20F_{\max}$ ，则当前搜索区域标记为粗搜索区域，搜索补步伐调整为  $S_c$ ；其中  $F_{\max}$  为到  $t-1$  时刻为止检测到的摄像画面的最大对焦值；

[0022] b) 如果步骤 1) 的条件不成立，则进行以下判断和处理：如果  $F_t$  相对于前一对焦位置的对焦值  $F_{t-1}$  的差值  $\Delta F_t$  满足： $\Delta F_t > \eta F_{t-1}$ ，其中阈值  $\eta$  取值介于 0.4–0.6，则标记当前区域为精细搜索区域，搜索步伐调整为  $S_f$ ；

[0023] c) 如果 a) 和 b) 的条件都不满足，则：如果当前搜索区域为精细搜索区域，且  $\Delta F_t > 0$ ，则标记  $downNum = 0$ ，并按以下两种情况处理：如果  $F_t > F_{\max}$ ，则标记  $isClimbed = true$ ，并使  $climbStepNum$  增加 1，当  $climbStepNum$  未超过 15 时，继续按精细搜索步伐搜索；否则，标记当前区域为小步伐搜索区域，并调整搜索步伐为  $S_s$ ， $climbStepNum$  归零；如果  $F_t \leq F_{\max}$ ，则使  $unclearStepNum$  增加 1，当  $unclearStepNum$  未超过 5–10 时，继续按精细搜索步伐搜索；否则，标记当前区域为小步伐搜索区域，调整搜索步伐为  $S_s$ ， $unclearStepNum$  归零；

[0024] d) 如果上述 a)、b) 和 c) 的条件都不满足，则：如果当前搜索区域为小步伐搜索区域，并且如果  $F_t \geq F_{\max}$  及  $\Delta F_t \geq 0.01F_{t-1}$ ，则使  $downNum = 0$ ；

[0025] e) 如果上述 a)、b)、c)、d) 的条件都不满足，则：如果  $\Delta F_t < 0$  并且当前搜索

区域为精细搜索区域或为小步伐搜索区域：如果  $|\Delta F_t| > 0.001F_{t-1}$ ，则 downNum 增加 1；如果 downNum 超过 3-5，则根据 isClimbed 状态值按以下两种情况处理：如果 isClimbed = true，则直接控制对焦马达回到当前时刻最大对焦值对应的对焦位置，对焦结束；如果 isClimbed = false，则控制对焦马达返回到当前时刻最大对焦值对应的对焦位置，并继续以此方向按精细步伐搜索，直到  $|\Delta F_t| > 0.05F_{max}$  时返回到最大对焦值对应的对焦位置，对焦结束；

[0026] f) 如果上述 a)、b)、c)、d)、e) 条件都不满足，则直接设定当前搜索区域为中步伐搜索区域，调整搜索步伐为  $S_m$ ，并标记 downNum = 0；

[0027] g) 如果存在某对焦位置的  $\Delta F_t > 0.20F_{t-1}$ ，则标记当前搜索区域为亚精细区域，在对焦值进入粗搜索区域或遇到远极端位置时，返回到对焦最大值位置，并以精细步伐按照返回方向继续搜索，直到  $|\Delta F_t| > 0.05F_{max}$  时以最大对焦值位置为准确对焦位置，对焦结束；如果整个搜索没有遇到亚精细区域，则判定当前对焦场景为弱纹理场景，将对焦窗口选定为摄像画面四个顶角中，再以选定的对焦窗口，按照上述步骤 a)—f) 的方法进行搜索。

[0028] 与现有技术相比，本发明所具有的有益效果为：本发明的方法能摆脱局部峰值的干扰，充分考虑了对焦效率和准确度之间的平衡关系，对焦效率高，对焦准确。

## 附图说明

[0029] 图 1 为典型的单峰对焦函数曲线；

[0030] 图 2 为包含局部峰值的对焦曲线；

[0031] 图 3 为基于图像的自动对焦基本框架；

[0032] 图 4 为对焦窗口；

[0033] 图 5 为两种遭遇坡峰情况。

## 具体实施方式

[0034] 本发明采用绝对模糊度值来判定搜索方向，其中包括由绝对模糊度值和当前对焦位置值对某一特定情况下仅靠一帧图像的搜索方向快速判定准则，及由绝对模糊度的连续几帧变化来对普通情况下的搜索方向判定准则；针对低对比度下锐度值变化缓慢的特点，采用双锐度变化阈值来确定精细搜索区域，以剔除局部峰值且保证对低对比度场景准确对焦的能力；针对局部峰值周边邻域范围经常出现锐度值小幅度波动特点，而全局峰值陡峭且锐度值在峰值两边均会体现显著连续变化特征，采用统计波动次数来区分局部峰值和全局峰值，以进一步排除局部峰值的干扰；采用多窗口对焦模式，由锐度和模糊度综合判定对焦目标区域，达到一定程度的主动选择对焦目标区域的能力。

[0035] 本发明的对焦搜索方法如图 3 所示，其主要步骤如下：

[0036] 1) 确定初始移动步长大小：本发明所提出的自动对焦方法允许从任何对焦位置出发，而不需要在搜索过程开始前将对焦马达移动到一端以初始化。为了避免图像突变或缓慢对焦，在当前图像比较清晰时宜用较小的对焦步长，而在当前图像比较模糊时则宜采用较大的对焦步长。采用图像锐度来作为图像清晰度的评价依据不能适应图像内容不同或发生变化的情况。假设对当前图像的模糊度估计值为 B，则初始搜索移动步长  $S_0$  大小按以下规则设定：

[0037]

$$S_0 = \begin{cases} S_c & \text{if } B \geq B_c \\ S_f & \text{if } B \leq B_f \\ S_s & \text{if } B_s \geq B > B_f \\ S_m & \text{其他} \end{cases}$$

[0038] 其中  $B_c$ ,  $B_f$ , 及  $B_s$  是设定的阈值。  $S_c$ ,  $S_f$ ,  $S_s$  及  $S_m$  ( $S_c > S_m > S_s > S_f$ ) 是预设定的常数步长, 可根据摄像机对焦范围等参数具体设定。一般的, 设  $S_f$  为最小步长,  $S_s = 3S_f \sim 5S_f$ ,  $S_m = 7S_f \sim 10S_f$ ,  $S_c = 15S_f \sim 30S_f$ 。

[0039] 2) 确定搜索移动方向:本发明提出了能够迅速确定对焦移动方向的方法, 尤其针对长焦状态即高变倍倍率情况更能有效而迅速确定对焦移动方向。具体的, 分三种情况处理:

[0040] a) 设  $d_0$  为开始位置到对焦近极端距离,  $B_0$  为当前初始位置对应图像的模糊度估计。如果满足  $d_0 \leq \beta^1$  并且  $B_0 > B_{thr}$ , 则初始方向就确定为朝向对焦远极端。 $\beta$  为整个可对焦范围长度,  $\beta$  为比例常数, 取值介于 0.1-0.2 之间, 常取 0.15,  $B_{thr}$  常设定为 0.85。在这种情况下, 通过一帧图像就能确定搜索移动方向;这对高变倍情况下确定搜索方向尤其有效。因为在高变倍情况下, 景深范围很小, 对焦曲线往往包含一个十分狭窄的对应于准确对焦位置的单峰, 在其他大范围对焦位置都处于模糊的状态, 这使得很难准确确定对焦搜索移动方向。

[0041] b) 设不是 a) 情况, 则以朝向对焦远极端为初始移动方向, 通过在此方向移动不超过  $N_{ini}$  步的图像数据来判断此方向是否正确, 一般取  $N_{ini}$  为 5-10。判定是基于是否出现模糊度突变或模糊度连续增加或降低的情况。分为以下四种情况:

[0042] aa) 如果  $|B_t - B_{t-1}| \geq \alpha B_{t-1}$  (常设定  $\alpha = 0.2$ ) 且  $B(t) > B(t-1)$ , 则反向;

[0043] bb) 如果  $|B_t - B_{t-1}| \geq \alpha B_{t-1}$  (常设定  $\alpha = 0.2$ ) 且  $B(t) < B(t-1)$ , 则继续以当前方向搜索;

[0044] cc) 如果存在连续三帧满足  $B_t - B_{t-1} > \delta$ ,  $\delta$  一般取值为 0.005, 则搜索方向得反向;

[0045] dd) 如果存在连续三帧满足  $B_{t-1} - B_t > \delta$ , 则继续以当前方向搜索。

[0046] c) 如果上述两种情况都没有确定搜索方向, 则根据出现  $B_t > B_{t-1}$  的次数来决定。如果在  $N_{ini}$  中出现  $B_t > B_{t-1}$  次数大于  $B_t < B_{t-1}$  次数, 则反向;反之, 确定当前搜索方向即为对焦移动方向。

[0047] 3) 确定对焦窗口:本发明具有一定程度的自主选择对焦目标物的能力, 避免了当画面中存在弱纹理物体或低对比度物体而难以准确对焦的问题, 使得能够在一定程度上对焦到更有视觉吸引力的目标上去。具体地, 将摄像机场景画面划分 13 个预选窗口, 如图 4 所示, 其中  $W_0$  为主对焦窗口, 大小为  $w_2 \times h_2$ , 其他  $W_i$  ( $i = 1, \dots, 12$ ) 为次对焦窗口, 大小为  $w_1 \times h_1$ 。假定  $W \times H$  为对焦图像尺寸, 则设定  $w_1 = 0.125W$ ,  $h_1 = 0.125H$ ,  $w_2 = 1.75w_1$ ,  $h_2 = 1.75h_1$ 。根据以下两种情况确定对焦窗口:

[0048] a) 第一种情况假定初始搜索方向确定时刻  $t_0$  图像依然比较模糊, 则采用在  $t_0 \sim t_1$  间的图像对焦度数据, 其中  $t_1$  时刻指对应于图像对焦度或清晰度有显著变大的对焦位置点。如果

$$[0049] \quad \frac{1}{8} \sum_{t=t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^8 F_{t,W_i} \geq \lambda \sum_{t=t_0}^{t_1} F_{t,W_0}$$

[0050] 则从  $W_1 \sim W_8$  里选择窗口，并选择对焦值和最大的窗口为对焦窗口，否则选择  $W_0$  为对焦窗口。其中  $F_{t,W_i}$  表示窗口  $W_i$  在  $t$  时刻的正则化的对焦度值。 $\lambda$  是权重参数，鼓励选择倾向于中间的  $W_0$  窗口，其值常取介于 0.8-1.5 之间数值。

[0051] b) 第二种情况是在初始搜索方向确定时刻  $t_0$  图像已经比较清晰，则选定对焦值最大的图像为参与计算的图像，并通过比较各窗口的边缘数目来确定对焦窗口。具体的，如果中间大窗口的边缘点个数大于周边 8 个小预选窗口的边缘点平均数量，则选择中间大预选窗口作为对焦窗口；否则，选择周边 8 个窗口中边缘点最多的小预选窗口为对焦窗口。

[0052] 4) 自适应调整对焦步伐大小和方向：在确定初始移动方向和大小之后，开始进行对焦搜索。搜索区域分为粗搜索区域、中步伐搜索区域、小步伐搜索区域、以及精细区域，分别对应于大步伐  $S_c$ 、中步伐  $S_m$ 、小步伐  $S_s$ ，以及精细步伐  $S_f$ 。其中各步伐取值与 1) 所说明的一样。根据当前帧和前面连续多帧图像的对焦值，来确定搜索进入的区域并根据区域类型确定搜索步伐类型。具体的，根据以下程序步骤确定进入的搜索区域及调整搜索步伐：

[0053] a) 定义参数并初始化 : $downNum = 0$ ,  $isClimbed = false$ ,  $climbStepNum = 0$ ,  $unclearStepNum = 0$ ; 当前对焦值为  $F_t$ 。

[0054] b) 如果  $F_t < 0.20F_{max}$ , 则当前搜索区域标记为粗搜索区域，步伐调整为  $S_c$ ；

[0055] c) 如果 b) 条件不成立，则进行以下判断和处理：如果  $F_t$  相对于前一对焦位置的对焦值  $F_{t-1}$  的差值  $\Delta F_t$  相对增加超过设定阈值  $\eta$  (阈值  $\eta$  设定介于 0.4-0.6 之间)，即  $\Delta F_t > \eta F_{t-1}$ , 则标记当前区域为精细搜索区域，步伐相应变为  $S_f$ 。

[0056] d) 如果 b) 和 c) 的条件都不满足，则进行以下判断和处理：如果当前搜索处于精细搜索区域时并且  $\eta F_t > 0$  则标记  $downNum = 0$ , 并按以下两种情况处理：

[0057] aa) 如果  $F_t > F_{max}$  ( $F_{max}$  为到  $t-1$  时刻为止检测到的最大对焦值)，则标记  $isClimbed = true$ , 并使  $climbStepNum$  增加 1。当  $climbStepNum$  没有超过设定阈值(一般设定为 15)，则继续按精细搜索步伐搜索；否则，标记当前区域为小步伐搜索区域，步伐相应变为  $S_s$ ,  $climbStepNum$  归零；

[0058] bb) 如果  $F_t \leq F_{max}$ , 则使  $unclearStepNum$  增加 1。当  $unclearStepNum$  没有超过设定阈值(一般设定为 5-10)，则继续按精细搜索步伐搜索；否则，标记当前区域为小步伐搜索区域，步伐相应变为  $S_s$ ,  $unclearStepNum$  归零；

[0059] e) 如果上述 b)、c) 和 d) 的条件都不满足，则进行以下判断和处理：如果当前搜索区域为小步伐搜索区域，并且如果  $F_t \geq F_{max}$  及  $\Delta F_t \geq 0.01F_{t-1}$ , 则使  $downNum = 0$ ；

[0060] f) 如果上述 b)、c)、d) 及 e) 的条件都不满足，则进行以下判断和处理：如果  $\Delta F_t < 0$  并且当前搜索区域为精细搜索区域或为小步伐搜索区域：如果  $|\Delta F_t| > 0.001F_{t-1}$ , 则  $downNum$  增加 1；如果  $downNum$  超过设定阈值(一般设定为 3-5)，则根据  $isClimbed$  状态值按两种情况处理：

[0061] aa) 如果  $isClimbed = true$ , 则直接控制对焦马达回到当前时刻最大对焦值对应的对焦位置，对焦结束；

[0062] bb) 如果  $isClimbed = false$ , 则控制对焦马达返回到当前时刻最大对焦值对

应的对焦位置，并继续以此方向按精细步伐搜索，直到遇到对焦值明显下降（即  $|\Delta F_t| > 0.05F_{max}$ ），则返回到最大对焦值对应的对焦位置，对焦结束。

[0063] g) 如果上述 b)、c)、d)、e) 及 f) 条件都不满足，则直接设定当前搜索区域为中步伐搜索区域，调整搜索步伐为  $S_m$ ，并标记  $downNum = 0$ 。

[0064] 5) 摆脱局部峰值的干扰：由于对焦场景各种各样，光照情况也是多样的，这使得对焦曲线很难满足单峰的特性，往往存在局部坡峰。对焦搜索容易受到局部峰值的干扰，有时候会使得对焦陷入局部峰值而使对焦错误。本发明提出了具有对局部峰值有一定程度检测和逃逸能力的对焦搜索方法。具体的，本发明提出以下两种摆脱局部峰值影响的策略：

[0065] a) 上述 4) 步骤 c) 中采用较高的阈值  $\eta$ ，这使得能够避免针对较低矮的局部坡峰作精细搜索，不仅提高了搜索效率，而且能够一定程度上避免陷入局部峰值。但是，在对低对比度或缺乏纹理的场景对焦时，对应的准确对焦位置的全局坡峰其峰值变化也不大，此时高阈值会使得无法确定全局坡峰的位置，而造成来回往返对焦。因此，本发明引入阈值  $\eta'$ ，其取值为 0.2–0.3，在进入由 4) 所述的对焦区域判定和步伐调整程序之前，对任意对焦位置都进行判定是否  $|\Delta F_t| > \eta' F_{t-1}$ ，但凡存在某对焦位置满足此条件，则标记场景为非弱纹理场景，并标记当前区域为亚精细区域。如果在此之后的搜索没有遇到精细区域，也就是说最大对焦位置一定处于所标记的某一亚精细区域，则返回到此亚精细区域，以精细步长进行重新搜索。这种策略即能够满足在大多数情况下对焦准确及效率要求，也能够使得对弱纹理场景或低对比度物体准确对焦。一旦在对整个对焦范围搜索一次之后，发现没有出现亚精细区域，则判定为弱纹理场景，进而从靠近四周四个预选窗口即  $W_9-W_{12}$  选择对焦窗口，选择是基于四个窗口在一定时间窗口内的对焦平均值大小。之后，再以新的对焦窗口进行搜索。

[0066] b) 通过观察发现，在局部峰值周边总会存在对焦值的小范围波动，与全局坡峰两侧均显著上升和下降的特点不同，如图 2 所示。因此，通过对精细区域搜索时存在的波动进行统计，如果波动过多则判定为局部坡峰。因此，在上述 4) 步骤 d) 中设计了 `unclearStepNum` 参数，当位于精细搜索区域时，当前对焦值相对前一位置对焦值是增加的但是却小于最大对焦值，则判定为一次波动。当波动数超过设定阈值时则改为小步长搜索，以迅速逃离局部峰值。

[0067] 6) 对焦效率、准确度的考虑：本发明所设计的对焦搜索方法充分考虑了对焦效率和准确度之间的平衡关系，具有快速、准确对焦的特点。除上述步骤外，还有以下几个设计要点：

[0068] a) 当遇到精细区域，判断是否会出现爬坡状态，即对焦值连续显著变大，当到达某一值时又开始连续较快降低。如果出现爬坡（如图 5 所示），则确定坡峰位置即是对焦准确位置；当遇到精细区域，而没有遇到爬坡状态，即判断出遇到精细区域后却对焦值直接开始下降，则在对焦值降到一定程度后直接返回到对焦值最大处位置，并继续按返回方向以精细步伐搜索，若出现反向的爬坡状态，则直接确定坡峰位置为对焦准确位置；否则，搜索一定次数直到对焦值显著降低，选择最大对焦值位置为对焦准确位置。此两种遭遇坡峰情况如图 4 所示。针对此，在上述 4) 步骤 d) 中设计了 `isClimbed` 参数，通过判定是否出现爬坡；同时，也设计了 `climbStepNum` 参数，以统计以精细步长进行爬坡的步数，如果步数过多，则采用小步长搜索，以保证能够更迅速找到坡峰位置。

[0069] b) 由于实际对焦场景存在各种干扰,比如夜间光源形成的光晕,使得仅仅依靠前后两帧图像对焦值之差有时候无法准确判定搜索区域类型。本发明增加了对图像对焦值和模糊度的要求,比如只有当对焦值变化较大且同时当图像对焦值超过规定的先验阈值以及模糊度低于规定的阈值时,才能判定当前已进入精细搜索区域。

[0070] c) 提高对下坡状态的判断要求,即只有当某一下坡步骤下使得对焦值相对于前帧对焦值超过一定比例的下降时,才确定是下坡状态;在下坡结束时只有当当前对焦值相对于最大对焦值有超过一定比例的下降才可以进行结束对焦或返回搜索等动作。添加下降度量值要求可以避免坡峰区域内的局部干扰,增加对全局坡峰的搜索准确度。

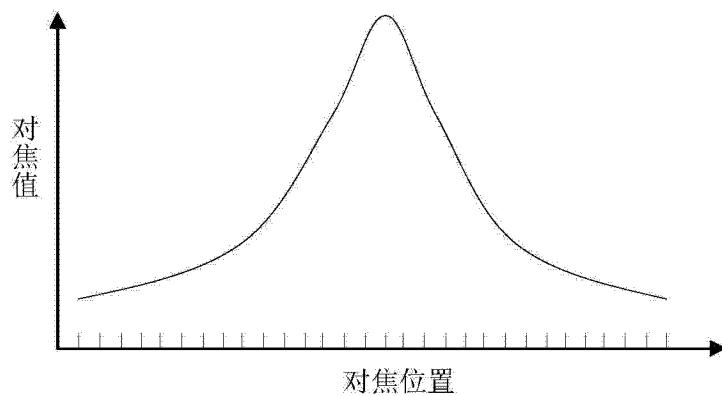


图 1

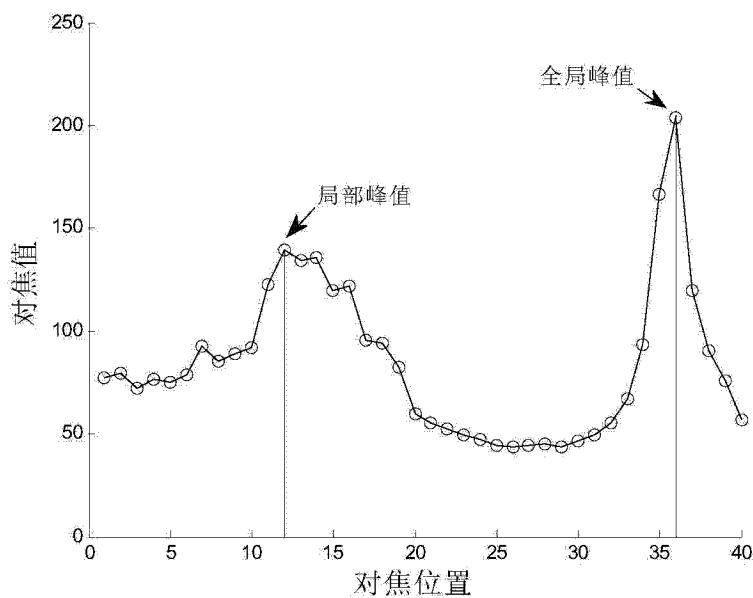


图 2

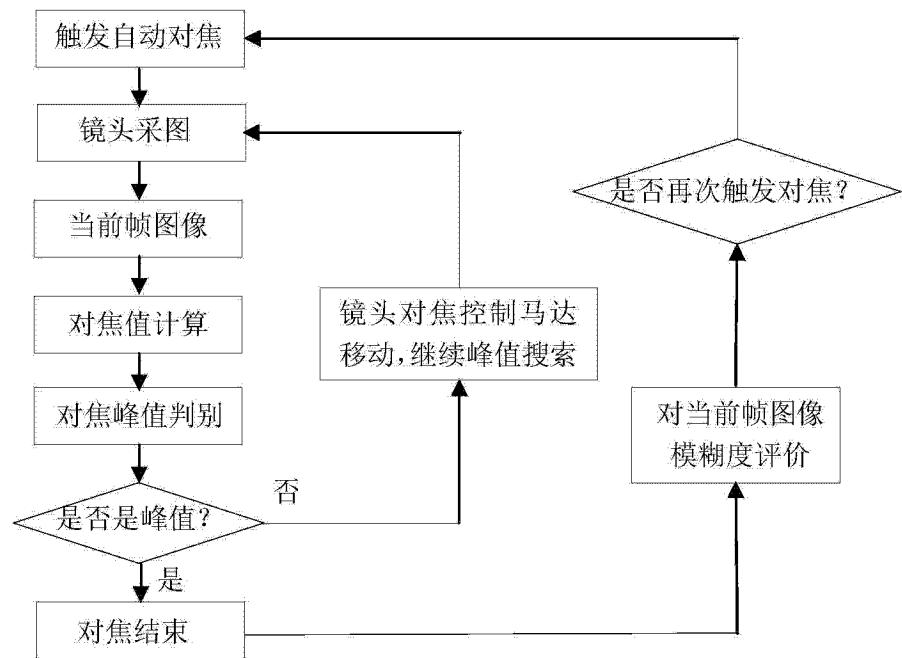


图 3

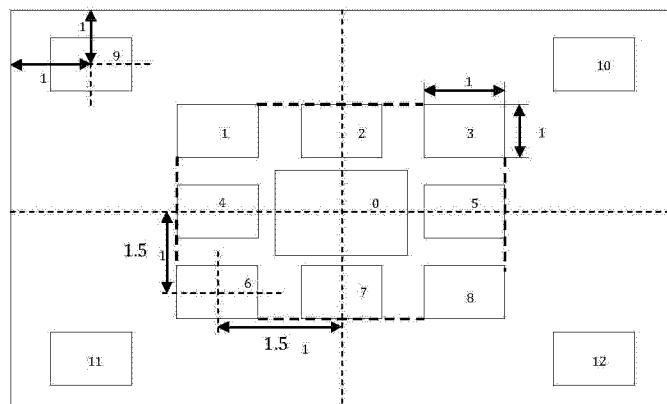


图 4

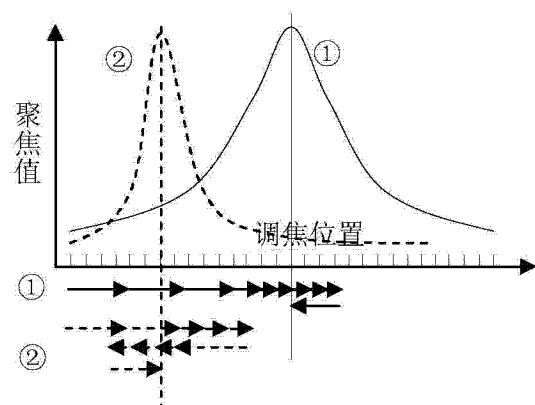


图 5