

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G03B 13/36 (2006.01)
G06K 9/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610040577.0

[43] 公开日 2007年1月10日

[11] 公开号 CN 1892401A

[22] 申请日 2006.5.25

[21] 申请号 200610040577.0

[71] 申请人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市汉口路22号

[72] 发明人 都思丹 李 杨 李 华 王荣昌
罗 浩 薛 卫 叶迎宪 赵康健
朱欢欢 严惠琼 刘红星

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

[54] 发明名称

针对虹膜图像捕捉的时频域多阶段自动对焦方法

[57] 摘要

本发明公开了一种结合频域和时域的多阶段虹膜图像自动对焦方法。方法的核心在于图像的清晰度评价。通过图像清晰度评价函数判断焦点位置，驱动执行结构调整光学系统的焦点，形成一个自动对焦的闭环控制系统。自动对焦过程分为两个阶段：在粗对焦阶段，采用下采样 FFT 低频系数评价方法确定搜索方向和焦点邻域；在细对焦阶段，采用全局梯度和的评价方法准确定位焦点。优化的控制策略使用改进的盲人爬山法将图像评价方法分阶段实施，采用不同的搜索速度，进一步提高了本发明的实时性。本发明克服了传统单一评价方法的不足，可实现快速而准确的对焦。



1、一种针对虹膜图像捕捉的时频域多阶段自动对焦方法，其特征在于它包含以下步骤：

(1)采用下采样 FFT 低频系数评价方法对采集到的虹膜图像进行全程清晰度评价，此方法为确定焦点邻域的粗对焦提供了评价标准；

(2)在焦点邻域内使用全局梯度方法精确定位焦点，实现细对焦；

(3)下采样 FFT 低频系数方法和全局梯度方法分阶段实施：粗对焦阶段采用改进的盲人爬山方法判断搜索方向和确定焦点邻域边界，细对焦阶段搜索焦点邻域后取评价值最大的位置为焦点。

2、根据权利 1 所述的结合频域和时域的多阶段虹膜图像自动对焦方法，其特征在于：步骤(1)中，下采样 FFT 低频系数方法对原始图像进行下采样后，作快速傅立叶变换，取其低频系数 $F(0,1)$ 和 $F(1,0)$ 的绝对值和作为评价值。

3、根据权利 1 所述的结合频域和时域的多阶段虹膜图像自动对焦方法，其特征在于：步骤(3)中，改进的盲人爬山方法在连续两帧的评价值都为单调变化时，才给出前进、后退或停下的判断，否则认为是波动不予考虑。

针对虹膜图像捕捉的时频域多阶段自动对焦方法

技术领域

本发明涉及生物特征识别领域的虹膜识别和图像采集，是一种用于无侵害虹膜自动对焦识别系统的虹膜图像自动对焦方法。

背景技术

随着信息化社会的高度发展，生物特征识别技术的应用领域越来越广泛。利用人的生物特征识别个人身份将成为今后几年信息产业的重要革新。其中，虹膜识别是目前生物识别技术中易操作、精度高、有广泛市场前景的技术。在虹膜图像采集系统中，自动对焦方法用于调整光学系统元件，使得人眼部的反射光线同过该光学系统在图像传感器（如 CCD 图像传感器）上形成清晰的聚焦图像，完成虹膜图像的采集。自动对焦方法的优劣直接影响虹膜图像采集的耗时及采集到的图像的清晰度，进而影响虹膜身份识别系统的识别率。

已知的虹膜图像摄取系统是采用小光圈，短焦距的相对大景深光学镜头的图像采集装置，其光学焦点无法调整。好处是机构简单，成本低。但是这类系统的一个缺点是对被拍摄者的要求高。需要被拍摄者与图像采集装置保持严格的距离，也就是说，被拍摄者需要自主调整物距一边使自己的眼球处于光学装置的景深范围内，这使得该类图像采集装置的工作距离和工作范围都很小。此外由于采用小光圈镜头，这类系统对光照要求苛刻，拍摄到的虹膜图像质量也不高。因此这类系统难以应用于高速、自动的高质量虹膜图像采集场合。

为解决这个问题，另一类已知虹膜图像采集装置采用了具有基于图像处理的自动对焦功能的虹膜相机。基于图像处理的自动对焦核心在于图像清晰度评价，通过图像清晰度评价函数判断焦点位置，驱动执行结构调整光学系统的焦点，形成一个自动对焦的闭环控制系统。已知自动对焦方法采用的图像清晰度评价函数主要是单纯的基于空域算子（如梯度算子），基于频域算子和基于图像熵算子等。空域算子方法计算简单，但作用于虹膜图像时单调性差、波动大，不能在远离准焦点时提供可靠的搜索方向参考；频域算子方法精度较高，但计算量大，实时性差，造成被摄人等待时间过长；而基于熵的方法在峰值两边单调性较差并有第二峰值点。没有方法尝试多种方法的联合。

虹膜图像不同于普通的物体图像，其对纹理清晰度要求很高；采用长焦镜头，往往在很小的景深范围内才能有较清晰的可供评价的图像。因此，采用常用的图像清晰度评价方法，不利于在较大的范围内进行准焦点搜索和搜索方向判断。

发明内容

本发明的目的是针对现有技术的不足，根据虹膜图像的特点和虹膜自动对焦识别系统的要求，提供一种结合频域和时域的多阶段虹膜图像清晰度评价方法，并给出优化的焦点搜索方案和控制策略。实现针对虹膜图像捕捉的时频域多阶段的自动对焦。

本发明将虹膜自动对焦流程分为两个阶段：不指定镜头初始位置的准焦点邻域搜索为粗搜索阶段，包括搜索方向和准焦点邻域的确定；在准焦点邻域搜索和确定准焦点为细搜索阶段。结合时频域的多阶段虹膜图像自动对焦方法，其特征在于它包含以下步骤：

(1) 下采样 FFT 低频系数图像清晰度评价方法

粗搜索阶段采用新颖的下采样 FFT 低频系数方法。将拍摄到的分辨率较高的虹膜图像进行下采样，缩小至原图的 1/10 左右，再对小图作快速傅立叶变换 (FFT)，取其变换系数的低频分量的模相加，作为评价图像清晰度的指标。此指标值越大，低频交流分量越丰富，摄得图像越接近焦点。本方法的可行性在于长焦镜头摄取的图像景深很小，在距离准焦点较远处拍摄的图像高度散焦，几乎都为大块色斑，没有细节信息，此时高频信息不能作为评价依据，而应使用低频系数判断当前位置和焦点的关系。靠近焦点，光斑的散焦半径将减小，低频交流系数值也相应增大，这种稳定的单调递增关系为搜索方向的确定提供可靠的保证。并且，本方法在准焦点两侧评价价值下降缓慢，峰的横向范围很大，可供在较大的范围内进行有效搜索。

(2) 梯度评价方法

使用下采样 FFT 低频系数法确定了准焦点邻域后，本发明采用梯度方法进行细对焦，进一步确定准焦点位置。梯度算子常用于图像边缘检测中，从一幅图像中提取出灰度值突变的边缘。虹膜图像清晰度越高，其纹理细节越丰富，象素点间灰度值变化也就越明显，整幅图像梯度值的绝对值和越大。

为计算简单，加快搜索速度，采用一阶梯度算子对拍摄图像进行边缘提取，包括水平和垂直两个方向，即每个象素点的梯度值由它的水平梯度和垂直梯度的绝对值相加得到。整幅图像所有象素点的梯度值（右、下边缘计为零）相加，得到梯度评价方法的指标。梯度方法对于准焦点敏感度高，能很好的反映细节信息的多少。

(3) 优化的搜索策略

本发明将下采样 FFT 低频系数法和梯度评价方法分阶段实施于对焦过程的不同阶段，对应每个阶段采用不同的搜索策略，即二级搜索策略。镜头从任意位置开始搜索，进入全程搜索粗对焦状态，使用计算量小的下采样 FFT 低频系数作为评价方法，只采样少量图像帧，进行快速搜索。由于下采样 FFT 低频系

数法在准焦点两侧单调性好，镜头很快就可以伸缩至准焦点邻域内，大大减小了下一步骤的搜索范围。细搜索阶段采用计算量相对较大而敏感度高的梯度方法进行慢速搜索，在准焦邻域之内取梯度方法值最大的一帧作为准焦点图像帧。

全程快速搜索阶段采用盲人爬山方法，即为了靠近评价值最大的峰点，首先试探的向一个方向驱动镜头对焦，若焦点改变后所在位置的评价值大于之前，则继续向此方向搜索，若焦点改变后的评价值小于之前，则反向搜索焦点邻域，一直到评价值开始下降的位置停止粗搜索。盲人爬山方法对于评价值曲线的波动很敏感，一个局部最大点会导致粗搜索流程的中止，因此须采用抗扰动的方法提高评价方法的鲁棒性：当连续两帧的评价值都为单调变化时，才给出判断（同向、反向或停下），否则认为是扰动不予考虑。粗对焦阶段结束时，将当前位置与反向到达峰顶前的位置作为准焦点邻域的边界。

本发明具有显著的有益效果。本发明根据虹膜自动对焦识别系统的设计要求，提出一种快速而准确的图像清晰度评价方法及其分阶段应用时的优化搜索策略，将准焦的判断交由 CPU 进行处理，减轻被摄人的疲劳和拍摄人的工作量。步骤（1）利用下采样后小图的频域低频系数作为粗对焦的评价标准，其单调性好且变化缓慢，是一种理想的全程评价方法。步骤（2）在步骤（1）确定的准焦邻域内小步长搜索准焦点，采用的梯度方法对纹理细节敏感度高，能准确定位准焦点。步骤（3）针对两个阶段的特点，在粗对焦阶段使用改进的盲人爬山法快速确定搜索方向，在细对焦阶段慢速定位准焦点。与现有技术相比，本发明结合了传统图像清晰度评价方法的优点，同时根据虹膜图像的特点加以创新，具有简单、快速、鲁棒性高的特点。

附图说明

图 1 是本发明中图像清晰度评价方法分阶段实施的搜索流程框图；

图 2 是本发明中下采样 FFT 低频系数方法和梯度方法的全程曲线比较图；

图 3 是本发明中下采样 FFT 低频系数方法的实施流程框图；

具体实施方式

下面结合附图对本发明作详细说明。

一种本发明所述的结合频域和时域的多阶段虹膜自动对焦方法流程，见图 1。具体实施过程中，长焦镜头与 CCD 传感器相连，将拍摄的图像通过图像采集卡输入 PC 进行清晰度评价；PC 根据评价结果向步进电机发出行动指令，驱动变焦机构运动。图像采集卡帧率为 30，图像分辨率 320×240。它包含以下步骤：

(1) 全程粗对焦

对理想全程评价方法的要求是：峰的横向范围要大，以便在更大范围内进行实时搜索；峰两侧的曲线波动尽可能小，以省略滤波的步骤。下采样 FFT 低

频系数评价方法可以很好的满足这个条件, 见图 2(a), 横向范围宽的曲线为镜头全程慢速对焦, 应用下采样 FFT 低频系数方法得到的评价曲线, 横向范围窄的为使用全局梯度方法得到的全程评价曲线。为达到实时要求, 粗对焦阶段电机须高速转动, 这样进一步减小了峰顶两侧的曲线波动, 见图 2(b)。

下采样 FFT 低频系数方法的计算流程框图见图 3。设采集到的原始图像为 $I_{M_1 \times N_1}$, 下采样后图像为 $S_{M_2 \times N_2}$, 经过二维 FFT 变换后得到的频域图为 $F_{M_2 \times N_2}$, 评价值为 C 。计算公式如下:

$$S = I(\text{floor}(\frac{M_2}{2M_1} : \frac{M_2}{M_1} : M_1) + 1, \text{floor}(\frac{N_2}{2N_1} : \frac{N_2}{N_1} : N_1) + 1) \quad (1)$$

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} S(n, m) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} e^{-j\frac{2\pi}{M}lm} \quad (2)$$

$$C = |F(1,0)| + |F(0,1)| \quad (3)$$

(2) 准焦邻域内的细对焦

在精确定位准焦点阶段, 各帧图像已较为清晰, 其区别已经不是光斑的大小了, 这时低频分量不能够指示清晰度。由图 2 可以看到, 全局梯度方法在准焦邻域敏感度很高, 且计算简单, 其公式为:

$$C = \sum_i \sum_j (|I(i+1, j) - I(i, j)| + |I(i, j+1) - I(i, j)|) \quad (4)$$

(3) 清晰度评价方法的分阶段实施

由于图像采集卡的帧率有限, 而使用长焦镜头摄取虹膜图像的景深很小, 要精确找到准焦点, 在不能提高帧率的情况下, 须以降低步进电机速度为代价。全程使用慢速搜索, 是实时搜索所不能容忍的。本发明将各具特点的清晰度评价方法分阶段实施, 采用二级焦点搜索策略, 见图 1。全程搜索阶段采用计算量小的下采样 FFT 低频系数评价方法和抗扰动的盲人爬山方法, 进行快速搜索, 找到准焦邻域后在很小的邻域内实行精确定位; 细搜索阶段采用对细节敏感度高的全局梯度评价方法, 进行慢速搜索, 搜索完邻域后取评价价值最大的一帧作为准焦帧, 即对焦过程结束, 返回待对焦状态, 同时准焦帧可作为后续处理(如虹膜识别)的输入。

本发明经过实测, 不同被摄者在位于距镜头 0.5 米至 2.5 米的区域内都可以得到清晰的虹膜图像。由于镜头初始位置及被摄人与镜头距离的不同, 整个对焦过程耗费的时间也相异。经多次实测, 一般只需 1.5 秒左右即可准确对焦, 满足实时对焦的要求, 减轻被摄人的疲劳, 证明本发明评价方法和搜索策略的有效性和实时性。

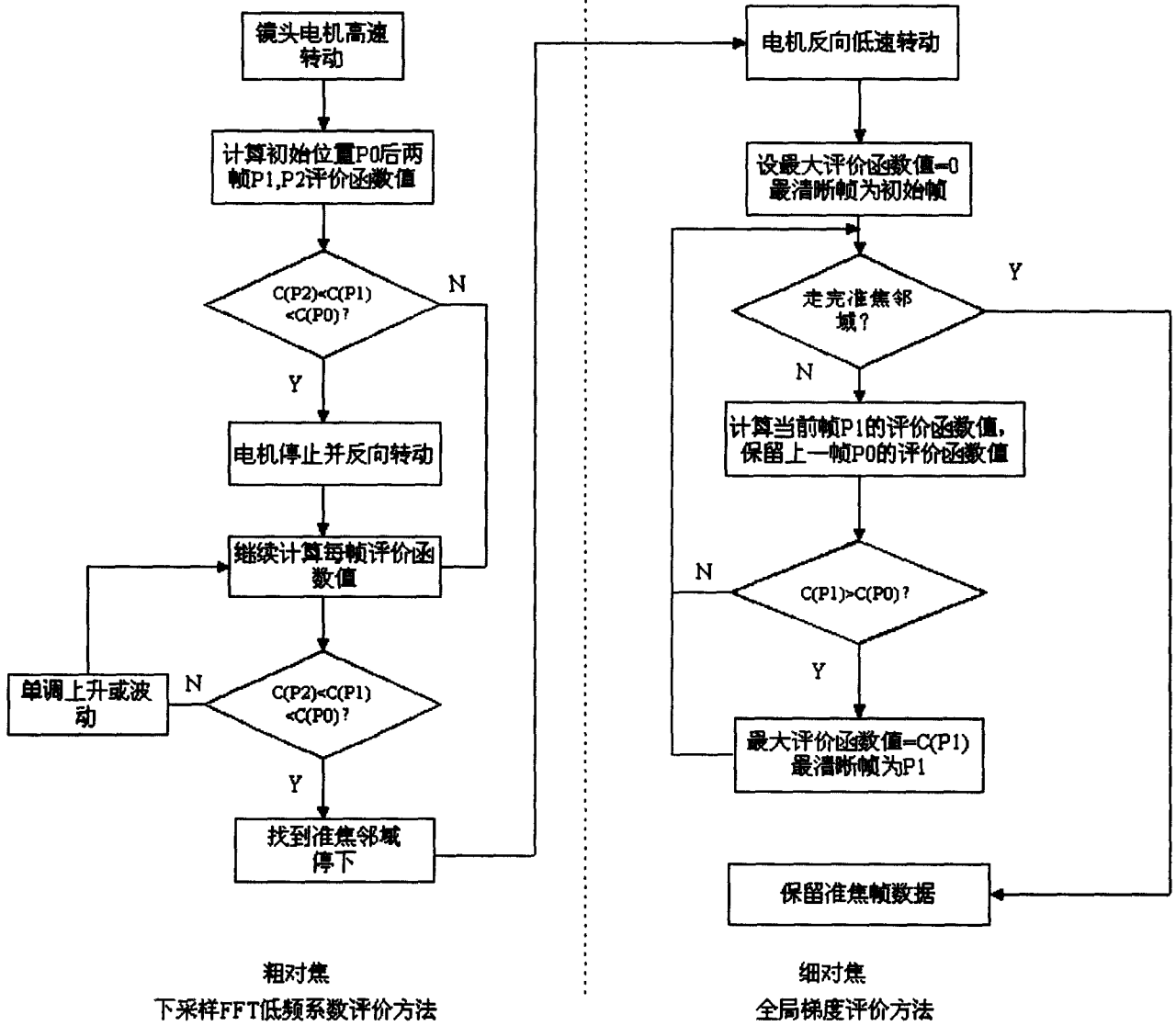


图 1

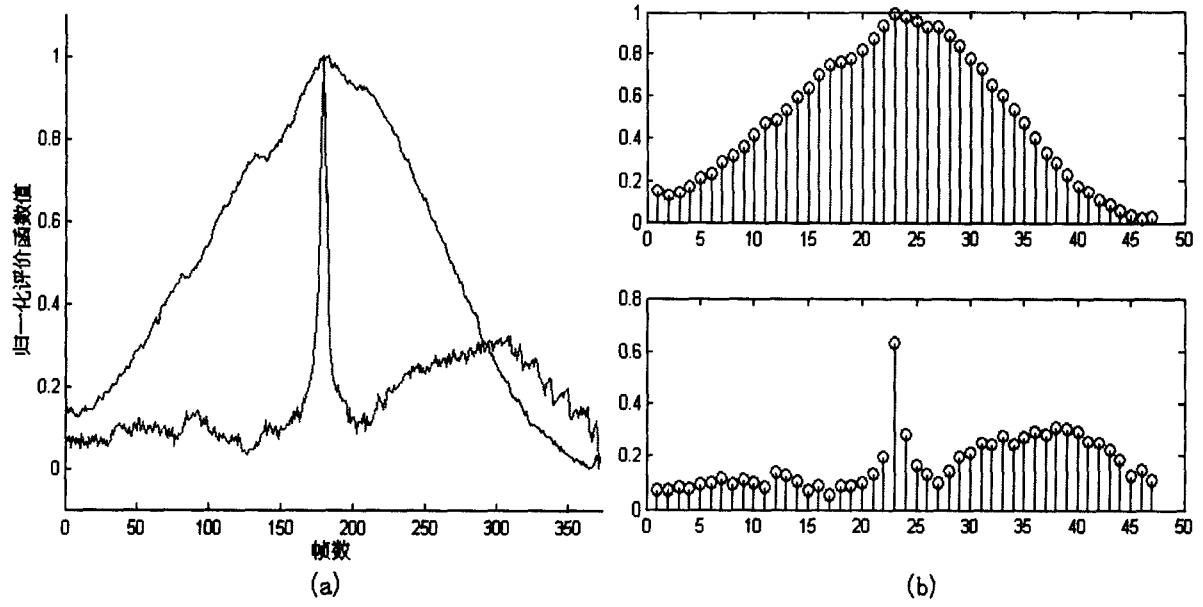


图 2

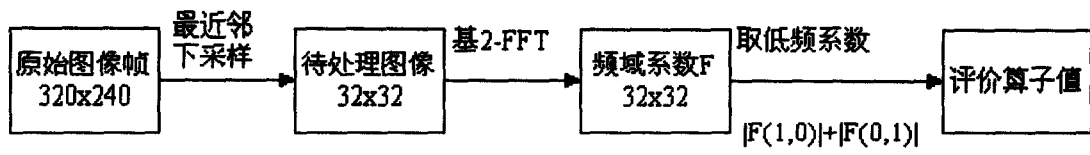


图 3