

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 6 月 29 日 (29.06.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/107343 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 5/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/079129
- (22) 国际申请日: 2016 年 4 月 13 日 (13.04.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510988503.9 2015 年 12 月 24 日 (24.12.2015) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 张天序 (ZHANG, Tianxu); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。章川 (ZHANG, Chuan); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。侯旋 (HOU, Xuan); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。刘立 (LIU, Li); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。陈泉 (CHEN,

Quan); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。钟奥 (ZHONG, Ao); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。许明星 (XU, Mingxing); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。周雨田 (ZHOU, Yutian); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 武汉东喻专利代理事务所 (普通合伙) (WUHAN DONGYU PATENT AGENCY); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) Title: CONTRAST CONSTRAINED AEROTHERMAL RADIATION CORRECTION METHOD

(54) 发明名称: 一种反差约束的气动热辐射校正方法

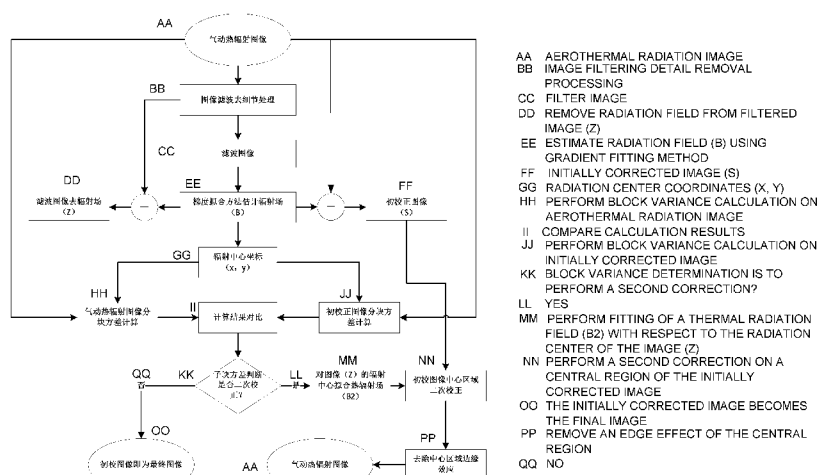


图 4

(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a contrast constrained aerothermal radiation correction method. By analyzing features of images at different intensities of aerothermal radiation, it has been discovered that the stronger the aerothermal radiation effect is, the smaller the image contrast becomes, and when thermal radiation correction is performed using a gradient fitting algorithm, it has been discovered that time consumption thereof grows exponentially with an increase in a degree of a fitting surface and with an increase in an image size. The present invention can rapidly and effectively restore an aerothermal radiation image, remarkably improving a signal to noise ratio and quality of the image.

(57) 摘要: 本发明公开了一种反差约束的气动热辐射校正方法。通过统计不同强度下的气动热辐射图像的特点, 发现气动热辐射效应越强的图像, 其反差越小的特点; 在使用梯度拟合算法进行热辐射校正时, 发现其时间消耗随着拟合曲面阶数的增长和图像大小的增长均呈指数增长趋势, 本发明能快速有效地对气动热辐射图像进行恢复, 显著提高图像的信噪比和图像质量。



WO 2017/107343 A1



(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种反差约束的气动热辐射校正方法

【技术领域】

本发明属于气动光学、信息处理和航天科技相结合的交叉科学技术领域，具体涉及一种反差约束的气动热辐射校正方法，该方法可应用于高速飞行器遥感、探测、导航和制导时的图像预处理过程中。

【背景技术】

气动光学是空气动力学与光学相结合的交叉学科，高速飞行器在大气层中飞行时会产生严重的气动光学效应，严重影响光学成像探测系统的成像质量。因此，气动光学效应及其校正是该学科研究的重要方向，同时也是制约高速飞行器发展应用的主要技术难题之一。

带有光学成像探测系统的高速飞行器在大气层内飞行时，光学窗口与气流之间的相互作用形成复杂的流场。由于空气粘性的作用，与光学窗口表面相接触的气流将受到阻滞，使得气流速度降低，在光学窗口表面附近形成边界层。边界层内具有很大速度梯度的各层会产生强烈的摩擦，气流的动能不可逆转地变为热能，造成窗口壁面温度的升高。高温气流将不断向低温壁面传热，引起很强的气动加热。光学窗口被气动加热而处于严重的气动热环境中，产生热辐射噪声，降低光电探测系统的信噪比和图像质量。

飞行速度越大，气流在飞行器表面加热的程度就越严重。窗外气流的辐照度和窗口的辐照度与背景的辐照度迭加，成像传感器将进入非线性区或饱和，造成景物有效信息的丢失，以及信噪比、信杂比的降低，使其探测性能下降。因此，需要对成像传感器获取的图像进行气动热辐射校正，以提高图像质量。由于气动热辐射的退化模型是未知且随机变化的，退化图像还含有其他噪声，增加了图像恢复或校正的难度。另外，针对高速飞

行器，尤其是高超音速飞行器的特定应用环境，其成像系统的高帧频特性，要求校正算法必须具有极高的实时性。

【发明内容】

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明提供了一种反差约束的气动热辐射校正方法，解决现有气动热辐射校正方法在处理强热辐射效应时效果差，并且在处理大型图像时校正效率低的问题，可用于对高速飞行器遥感、探测、导航和制导时获取的图像进行气动热辐射校正。

为实现上述目的，本发明提供了一种气动热辐射校正方法，其特征在于，包括如下步骤：

(1) 滤除原始气动热辐射图像 Z 中的噪声和细节，得到滤波图像 $\hat{Z}$ ，以克服噪声在热辐射场估计过程中产生的不利影响；

(2) 从滤波图像 $\hat{Z}$ 中估计得到原始气动热辐射图像 Z 的气动热辐射场 B_1 ，进而得到初校正图像 $S_1 = Z - B_1$ ；

(3) 求解气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域，根据气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域，将原始气动热辐射图像 Z 和初校正图像 S_1 划分为对等的图像块；

(4) 分别计算原始气动热辐射图像 Z 的图像块的反差值以及初校正图像 S_1 的图像块的反差值，得到原始气动热辐射图像 Z 的图像块相对于初校正图像 S_1 的对应图像块的反差值变化；

(5) 对比辐射中心区域对应的图像块的反差值变化与非辐射中心区域对应的图像块的反差值变化，在二者的差异均小于或等于预定的阈值时，将初校正图像 S_1 作为最终的校正结果，否则顺序执行步骤 (6)；

(6) 由滤波图像 $\hat{Z}$ 和气动热辐射场 B_1 得到图像 $\bar{Z}_1 = \hat{Z} - B_1$ ，将图像 $\bar{Z}_1$ 对应于气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域的部分作为新的滤波图像 $\hat{Z}$ ，从滤波图像 $\hat{Z}$ 中估计得到初校正图像 S_1 的辐射中心区域残余的气动热辐射场 B_2 ，进而

得到二次校正图像 $S_2 = S_1 - B_2$ 。

优选地，上述方法还包括如下步骤（7）：将二次校正图像 S_2 的辐射中心区域的边缘与初校正图像 S_1 的辐射中心区域的边缘进行加权处理，以消除分块带来的边缘效应，使图像达到更高的质量。

优选地，所述步骤（3）中，以气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域为中心，将原始气动热辐射图像 Z 和初校正图像 S_1 划分为对等的图像块，使原始气动热辐射图像 Z 的与气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域对应的图像块在原始气动热辐射图像 Z 的所有图像块的中心，使初校正图像 S_1 的与气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域对应的图像块在初校正图像 S_1 的所有图像块的中心。

总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，具有以下有益效果：通过统计不同强度下的气动热辐射图像的特点，发现气动热辐射效应越强的图像，其反差越小的特点；在使用梯度拟合算法进行热辐射校正时，发现其时间消耗随着拟合曲面阶数的增长和图像大小的增长均呈指数增长趋势，本发明能快速有效地对气动热辐射图像进行恢复，显著提高图像的信噪比和图像质量。

【附图说明】

图 1 是对输入图像加入逐渐增强的辐射照度曲面，并计算其反差值变化情况得到的图像反差值随气动热辐射强度变化的曲线；

图 2 是梯度最小二乘拟合校正方法耗时随拟合阶数 K 变化曲线图；

图 3 是梯度最小二乘拟合校正方法耗时随图像大小变化曲线图；

图 4 是本发明实施例的反差约束的气动热辐射校正方法流程图；

图 5 是加权平方最小化（WLS）滤波效果图，其中，（a）为原始图像，（b）为滤波图像；

图 6 是反差约束的气动热辐射校正方法示例，其中，（a）为基准图像，（b）为气动热辐射退化图像，（c）为（b）加权平方最小化滤波结果，（d）为（b）经过 $K=2$ 的情况下，梯度拟合气动热辐射曲面的初校正结果，（e）

为(d)根据 $K=2$ 拟合的气动热辐射场和初校正结果进行分块的示意图,(f)为对(e)中心区域进行二次校正的结果图,(g)为(e)进行边缘融合的结果图,(h)为(g)中取一列像素显示,以验证气动热辐射校正结果的效果图;

图7是反差约束下的气动热辐射校正与无约束的气动热辐射校正方法对比图,其中,(a)为 $K=9$ 的校正结果图,(b)为反差约束的校正图,(c)为分别取基准图像,无约束校正图像,反差约束校正图像的一列像素显示效果图;

图8是电弧风洞实验效果图,其中,(a)为电弧风洞气动热辐射图像,(b)为无约束校正结果,(c)为反差约束校正结果,(d)为取一列像素显示效果图。

【具体实施方式】

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明基于热辐射校正的如下三个特点:(1)图像反差值随气动热辐射强度的增大逐渐减小,如图1所示;(2)在进行梯度拟合校正热辐射时,时间随拟合阶数 K 呈指数增长,如图2所示;(3)在进行梯度拟合校正热辐射时,校正时间随图像大小呈近似指数增长,如图3所示,提出反差约束的气动热辐射校正方法。

如图4所示,本发明实施例的反差约束的气动热辐射校正方法包括如下步骤:

(1)由于气动热辐射场的低频特性,利用基于加权平方最小的图像平滑算法滤除原始气动热辐射图像 Z 中的噪声和细节,得到滤波图像 $\hat{Z}$,以克

服噪声在热辐射场估计过程中产生的不利影响；

具体地，滤波图像 $\hat{Z}$ 表示为：

$$\hat{Z} = (I + \lambda L)^{-1} Z,$$

其中， I 为单位矩阵， λ 为光滑参数， λ 越大滤波后的图像越光滑，此例设为 0.002， $L = \mathbf{D}_x^T \mathbf{W}_x \mathbf{D}_x + \mathbf{D}_y^T \mathbf{W}_y \mathbf{D}_y$ ， $\mathbf{D}_x$ 和 $\mathbf{D}_y$ 分别为图像坐标系 x 方向和 y 方向的前向差分算子， $\mathbf{W}_x$ 和 $\mathbf{W}_y$ 分别为图像坐标系 x 方向和 y 方向的加权系数对角矩阵。

具体地， $\mathbf{W}_x$ 的第 i 行对角元素的值为 $(\left| \frac{\partial \bullet}{\partial x}(i) \right|^\alpha + \varepsilon)^{-1}$ ， $\mathbf{W}_y$ 的第 i 行对角元素的值为 $(\left| \frac{\partial \bullet}{\partial y}(i) \right|^\alpha + \varepsilon)^{-1}$ ，其中， $\bullet$ 为输入图像 Z 的对数变换， $\frac{\partial \bullet}{\partial x}$ 和 $\frac{\partial \bullet}{\partial y}$ 分别代表 x 方向和 y 方向的梯度， α 是用于控制滤波对原始图像梯度敏感度的常量， α 越大，其对原始图像的梯度越敏感，滤波后的图像边缘保留越强，此例设为 1.1， ε 为防止分母为 0 的较小的常量，此例设为 0.00001。

图 5 为加权平方最小化滤波的处理效果图，其中，图 5 (a) 为原始图像，图 5 (b) 为滤波处理后图像，从图中可以明显看出，经过加权平方最小化滤波处理后，图像的大部分细节被滤除。根据加权平方最小化的这一特性，对气动热辐射退化图像进行该滤波处理，图 6 (a) 为原始的红外图像，图 6 (b) 为气动热辐射退化图像，图 6 (c) 为加权平方最小化滤波处理后图像，滤除图像中的高频成分（噪声和细节），使后续步骤中对低频气动辐射场的估计更精确。

(2) 根据气动热辐射场 B 能用 K 阶二维多项式拟合的特点，使用最小二乘法，从滤波图像 $\hat{Z}$ 中估计得到原始气动热辐射图像 Z 的气动热辐射场 B ，本步骤中我们设 $K=2$ 估计得出的气动热辐射场，称之为 B_1 ，后续步骤 (6) 中估计的初校正残余气动热辐射场，称之为 B_2 。由得到的气动热辐射场 B_1 进而得到初校正图像 $S_1 = Z - B_1$ ；

$$B(x, y) = \sum_{t=0}^K \sum_{s=0}^{K-t} a_{t,s} x^t y^s = C \mathbf{a}$$

其中, (x, y) 为像素坐标; $\mathbf{a}$ 为多项式系数, C 为把 x 和 y 代入上式的常数矩阵, K 为二维多项式的阶数。

$$\arg \min \left\| \nabla \hat{Z} - \nabla B \right\|_2^2$$

利用最小二乘法估计, 滤波图像 $\hat{Z}$ 的梯度 $\nabla \hat{Z}$ 与待估计的气动热辐射场 B 的梯度 ∇B 之差的 L2 范数达到最小时的解, 即为求出的气动热辐射场 B , 如上式。

此方法在求解的过程中, 消耗时间随着 K 的增长呈指数增长趋势, 如图 2 所示, 因此, 在首次使用上述方法的过程中, 设定 $K=2$ 解出气动热辐射场 B_1 , 从而得出初校正图像 S_1 , 如图 6 (d) 所示, 并得出滤波图像减去辐射场 B_1 的图像 Z_1 , Z_1 作为滤波图像用于后续步骤中第二次估计辐射场的输入图像。从初校正图像中, 能看出图像的大部分辐射场已经被滤除, 只有辐射中心区域部分残留着较强的辐射场, 因此, 后续步骤重点对辐射中心区域进行热辐射场的估计和去除。

(3) 求解气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域, 该区域对应热辐射场图像中灰度值较大的区域, 根据气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域, 将原始气动热辐射图像 Z 和初校正图像 S_1 划分为对等的图像块;

例如, 使用求得的辐射中心区域对输入的气动热辐射图像如图 6 (b) 和初校正图像 S_1 如图 6 (d), 进行分块处理, 以辐射中心区域为中心分为 9 块, 分块结果如图 6 (e) 所示。

(4) 分别计算原始气动热辐射图像 Z 的图像块的反差值以及初校正图像 S_1 的图像块的反差值, 得到原始气动热辐射图像 Z 的图像块相对于初校正图像 S_1 的对应图像块的反差值变化;

例如, 图像块反差值的计算方法为: 图像块每个像素灰度值与周围 4 个近邻像素灰度值之差的平方之和, 除以图像块的总像素。

$$Ctr = \sum_{\delta} \delta (i, j)^2 P_{\delta} (i, j)$$

$\delta(i, j)$ 相邻像素近灰度差, $P_{\delta}(i, j)$ 为相邻像素间的灰度差为 δ 的像素分布概率, Ctr 为图像反差值。

使用反差计算公式分别计算原始气动热辐射图像 Z 的图像块和初校正图像 S_1 的图像块的反差值, 如下表 1 和 2 所示, 其中, 表 1 为原始气动热辐射图像 Z 的各图像块反差值, 表 2 为初校正图像 S_1 的各图像块的反差值, 原始气动热辐射图像 Z 与初校正图像 S_1 的对应图像块的反差值之差如表 3 所示。

表 1

41.5	26.7	83.2
43.7	18.0	70.3
100.3	37.1	22.8

表 2

126.0	169.8	337.4
220.9	44.6	271.5
237.3	126.2	103.8

表 3

84.4	143.1	254.2
177.1	26.5	201.1
137.0	89.1	80.9

(5) 根据气动热辐射图像辐射越强其图像反差值越小的特点, 对比分析步骤 (4) 得到的原始气动热辐射图像 Z 的图像块相对于初校正图像 S_1 的对应图像块的反差值变化, 若辐射中心区域的反差值变化明显小于非辐射中心区域的反差值变化, 二者的差异大于预定的阈值 T , 则说明原始气动热辐射图像 Z 的辐射强度较高, 非辐射中心区域校正效果达到较高水平, 辐射中心区域仍残留较强的气动热辐射噪声, 需要对辐射中心区域进行二次校正, 顺序执行步骤 (6); 反之, 若辐射中心区域的反差值变化与非辐射中

心区域的反差值变化相差较小，二者的差异均小于或等于预定的阈值 T ，则说明原始气动热辐射图像 Z 的辐射强度较低，图像已经得到较好的校正，将初校正图像 S_1 作为最终的校正结果；

从上表 (c) 中可以明显的看出辐射中心区域的反差值恢复情况明显低于周边区域，这表示辐射中心区域仍残留这较强的气动热辐射噪声，需对辐射中心区域进行二次校正。

(6) 由步骤 (1) 中得出的滤波图像 $\hat{Z}$ 和步骤 (2) 中得出的气动热辐射场 B_1 得到图像 $Z_1 = \hat{Z} - B_1$ ，将图像 Z_1 对应于气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域的部分作为新的滤波图像 $\hat{Z}$ ，从滤波图像 $\hat{Z}$ 中估计得到初校正图像 S_1 的辐射中心区域残余的气动热辐射场 B_2 ，进而得到二次校正图像 $S_2 = S_1 - B_2$ ；

在此处的拟合过程中，因为只对图像的中心较小的区域进行拟合处理，可以使用相对于第二步中较高的 K 进行拟合，而不会带来很高的时间代价，本实验中 $K=5$ 。初校正图像中心区域减去估计的中心区域气动热辐射场得到二次校正图像 S_2 ，如图 6 (f) 所示。

(7) 由于对图像的分块处理会不可避免地带来边缘效应，在该步骤中，将二次校正图像 S_2 的辐射中心区域的边缘与初校正图像 S_1 的辐射中心区域的边缘进行加权处理，以消除分块带来的边缘效应，使图像达到更高的质量。

从图 6 (f) 中可以看出气动热辐射噪声已经完全去除，但残留着分块带来的边缘效应，经过加权处理后的图像如图 6 (g) 所示。图 6 (h) 为分别选取原始图像、气动热辐射图像和反差约束校正图像的一列像素值，从曲线图可以看出，经过本发明提供的发明处理之后，图像中的气动热辐射效应已得到较好的校正。

如图 7 所示为直接使用 $K=9$ 梯度拟合气动辐射场的结果，图 7 (a)，和反差约束二次校正的校正结果，图 7 (b)，从图中可以明显看出，高阶

直接拟合的结果会在气动辐射中心区域产生较强的光晕圈，影响图像质量，反差约束的二次校正方法则克服了这一问题，图 7 (c) 为分别选取原始图像，气动热辐射图像， $K=9$ 的高阶二维多项式拟合校正图像，反差约束校正图像的一列像素值，从中可以看出在保证效果的同时减小校正时间。下表 4 是分别使用直接校正和反差约束校正方法对同一气动热辐射图像进行校正的时间，PSNR（峰值信噪比）的参数对比，从表中我们可以明显看出，校正时间大幅缩短，峰值信噪比有少许增加。

表 4

图像	T (s)	PSNR (dB)
气动热辐射图像	——	12.34
直接校正图像	0.7393	19.23
反差约束校正	0.4322	22.85

图 (8) 为电弧风洞图像的校正示例，图 8 (a) 为风洞图像的气动热辐射图像，图 8 (b) 为 $K=9$ 的高阶二维多项式拟合校正图像，图 8 (c) 反差约束校正图像，图 8 (d) 为分别取电弧风洞图像的气动热辐射图像，高阶 ($K=9$) 二维多项式拟合校正图像，反差约束校正图像的一列像素值。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种气动热辐射校正方法，其特征在于，包括如下步骤：

(1) 滤除原始气动热辐射图像 Z 中的噪声和细节，得到滤波图像 $\hat{Z}$ ，以克服噪声在热辐射场估计过程中产生的不利影响；

(2) 从滤波图像 $\hat{Z}$ 中估计得到原始气动热辐射图像 Z 的气动热辐射场 B_1 ，进而得到初校正图像 $S_1 = Z - B_1$ ；

(3) 求解气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域，根据气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域，将原始气动热辐射图像 Z 和初校正图像 S_1 划分为对等的图像块；

(4) 分别计算原始气动热辐射图像 Z 的图像块的反差值以及初校正图像 S_1 的图像块的反差值，得到原始气动热辐射图像 Z 的图像块相对于初校正图像 S_1 的对应图像块的反差值变化；

(5) 对比辐射中心区域对应的图像块的反差值变化与非辐射中心区域对应的图像块的反差值变化，在二者的差异均小于或等于预定的阈值时，将初校正图像 S_1 作为最终的校正结果，否则顺序执行步骤 (6)；

(6) 由滤波图像 $\hat{Z}$ 和气动热辐射场 B_1 得到图像 $\hat{Z}_1 = \hat{Z} - B_1$ ，将图像 $\hat{Z}_1$ 对应于气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域的部分作为新的滤波图像 $\hat{Z}$ ，从滤波图像 $\hat{Z}$ 中估计得到初校正图像 S_1 的辐射中心区域残余的气动热辐射场 B_2 ，进而得到二次校正图像 $S_2 = S_1 - B_2$ 。

2、如权利要求 1 所述的气动热辐射校正方法，其特征在于，还包括如下步骤 (7)：将二次校正图像 S_2 的辐射中心区域的边缘与初校正图像 S_1 的辐射中心区域的边缘进行加权处理，以消除分块带来的边缘效应，使图像达到更高的质量。

3、如权利要求 1 或 2 所述的气动热辐射校正方法，其特征在于，所述步骤 (3) 中，以气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域为中心，将原始气动热辐

射图像 Z 和初校正图像 S_1 划分为对等的图像块, 使原始气动热辐射图像 Z 的与气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域对应的图像块在原始气动热辐射图像 Z 的所有图像块的中心, 使初校正图像 S_1 的与气动热辐射场 B_1 的辐射中心区域对应的图像块在初校正图像 S_1 的所有图像块的中心。

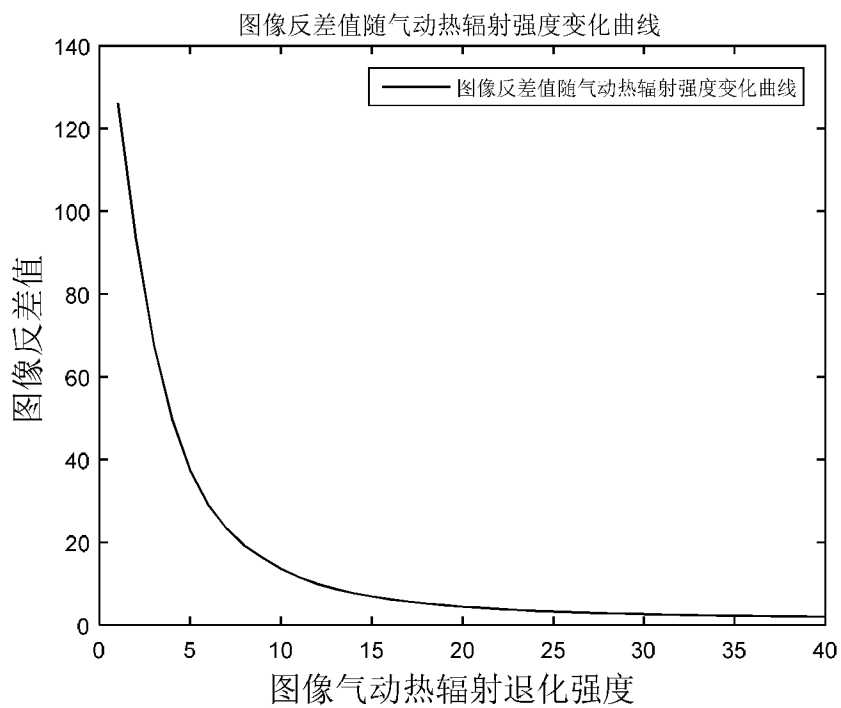


图 1

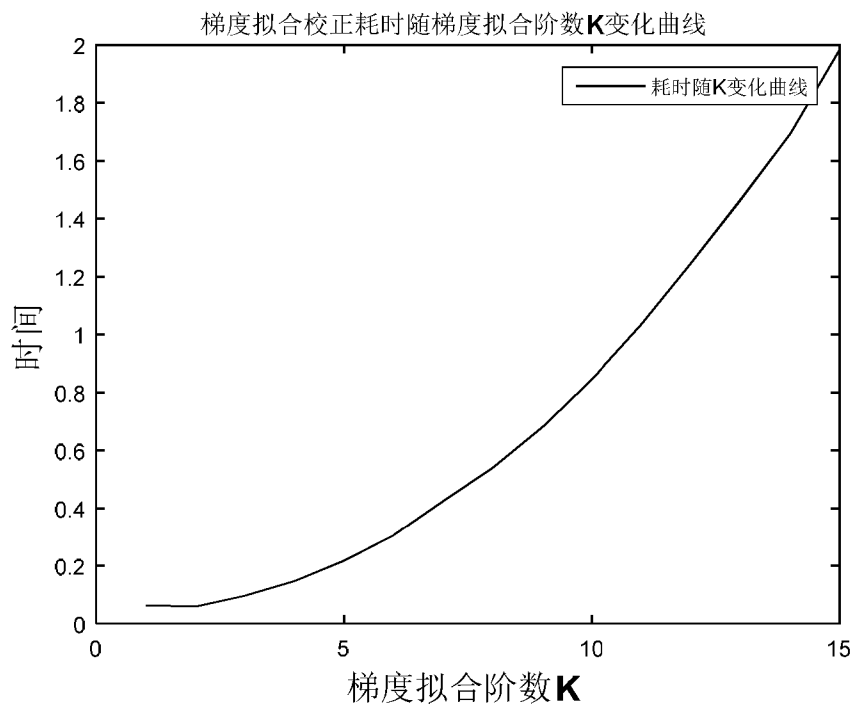


图 2

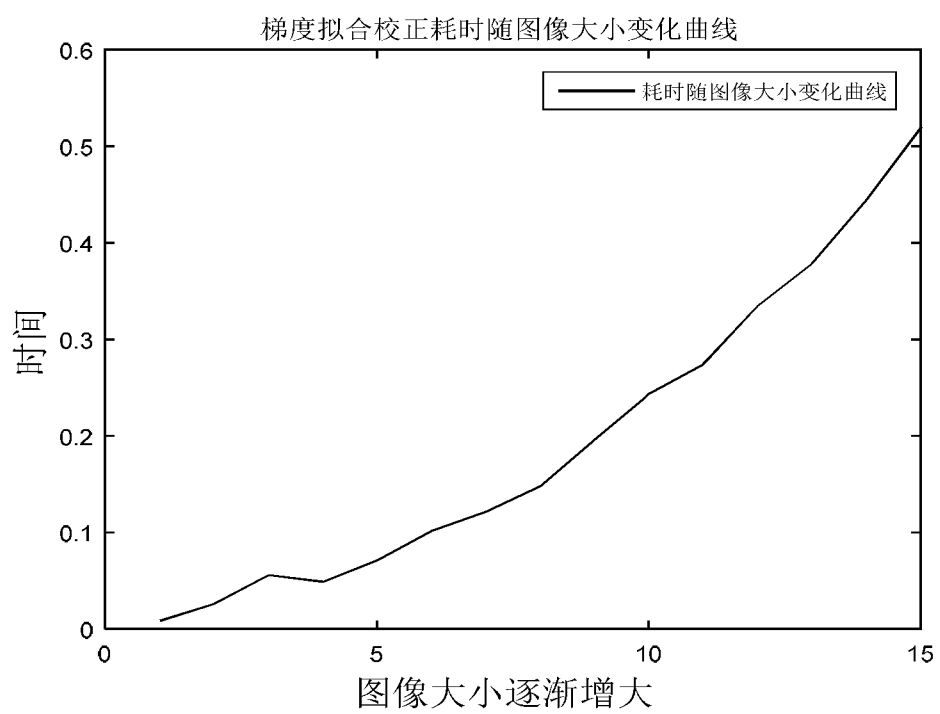


图 3

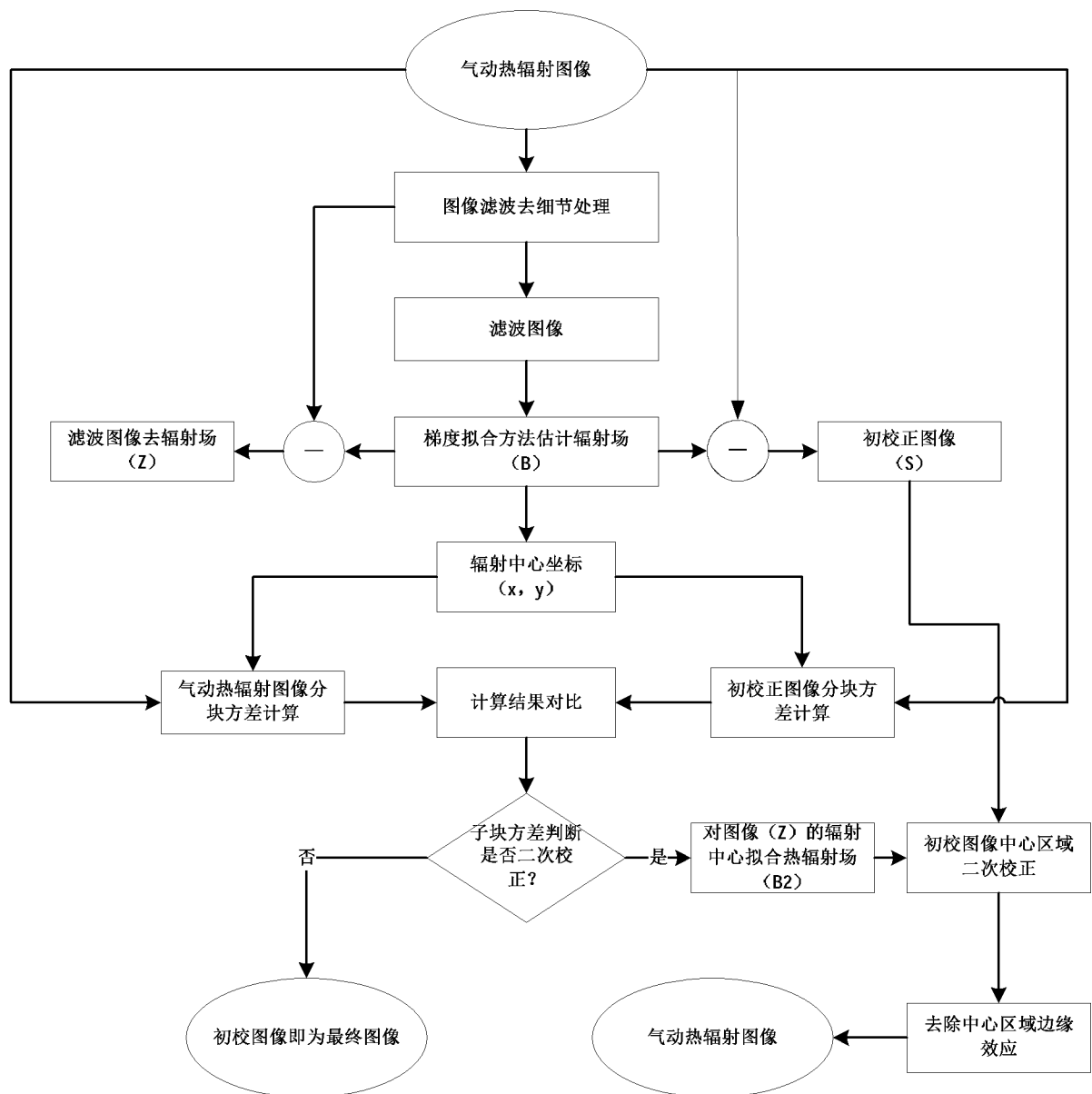


图 4

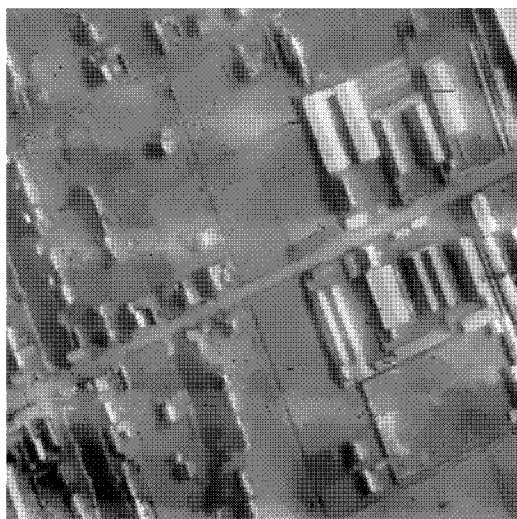


(a)

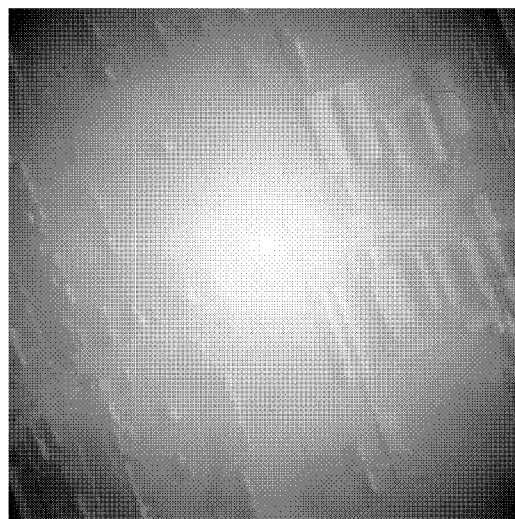


(b)

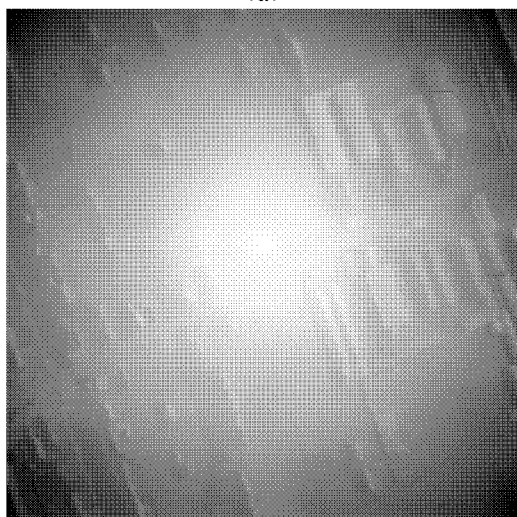
图 5



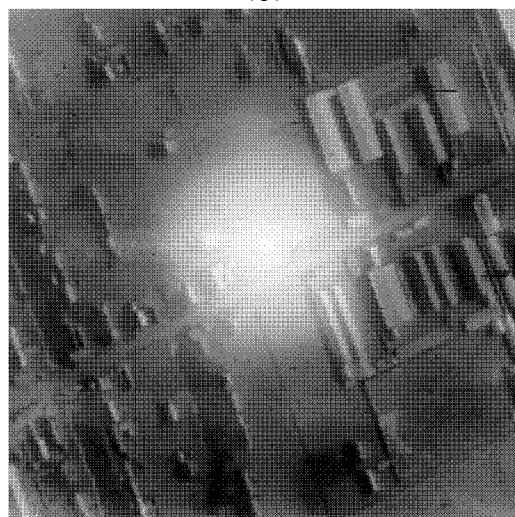
(a)



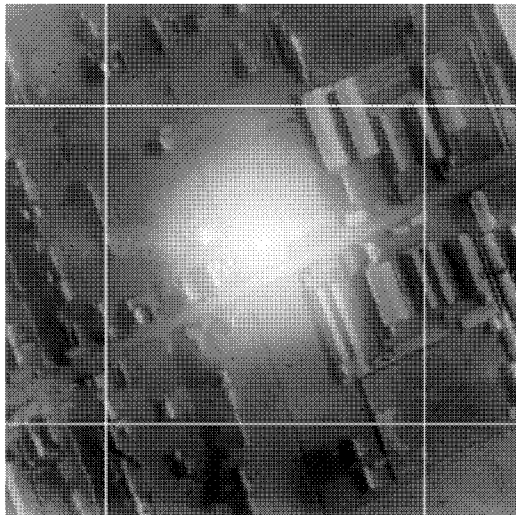
(b)



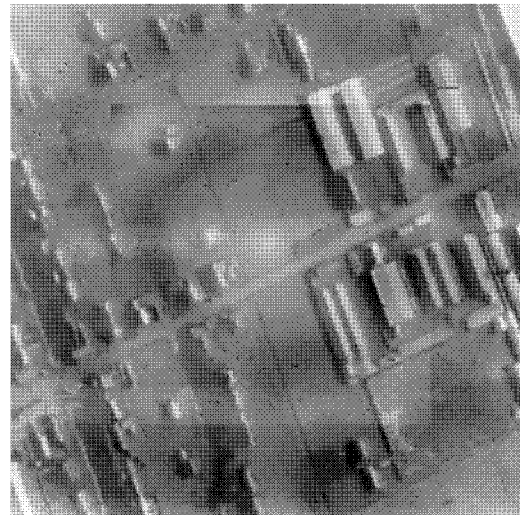
(c)



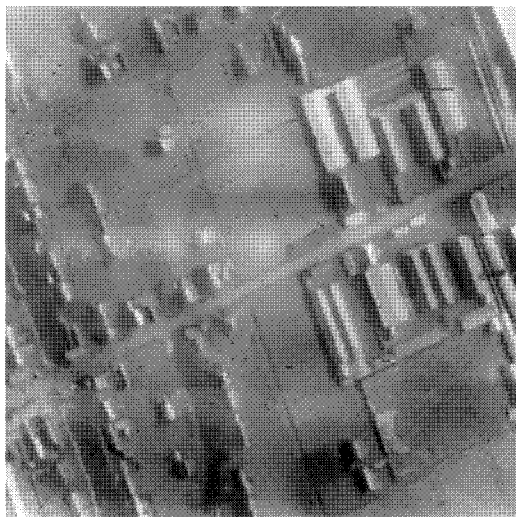
(d)



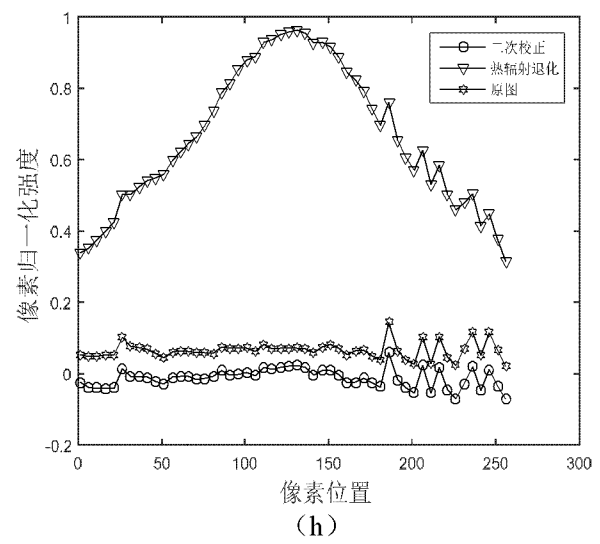
(e)



(f)

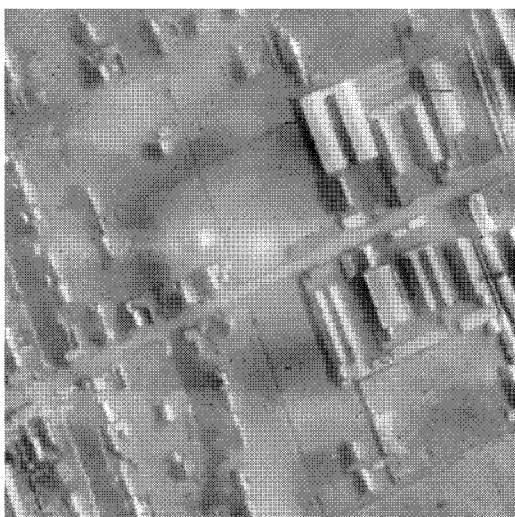


(g)

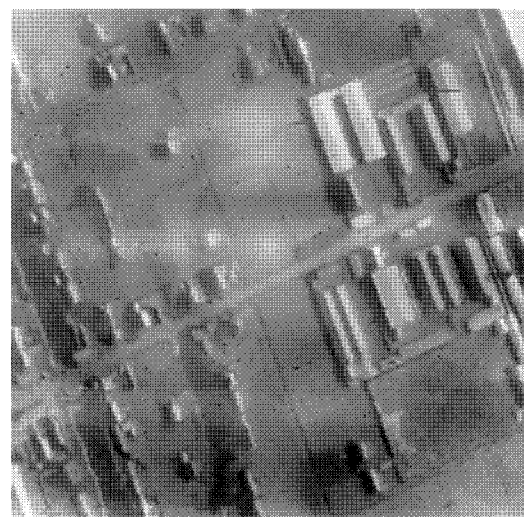


(h)

图 6



(a)



(b)

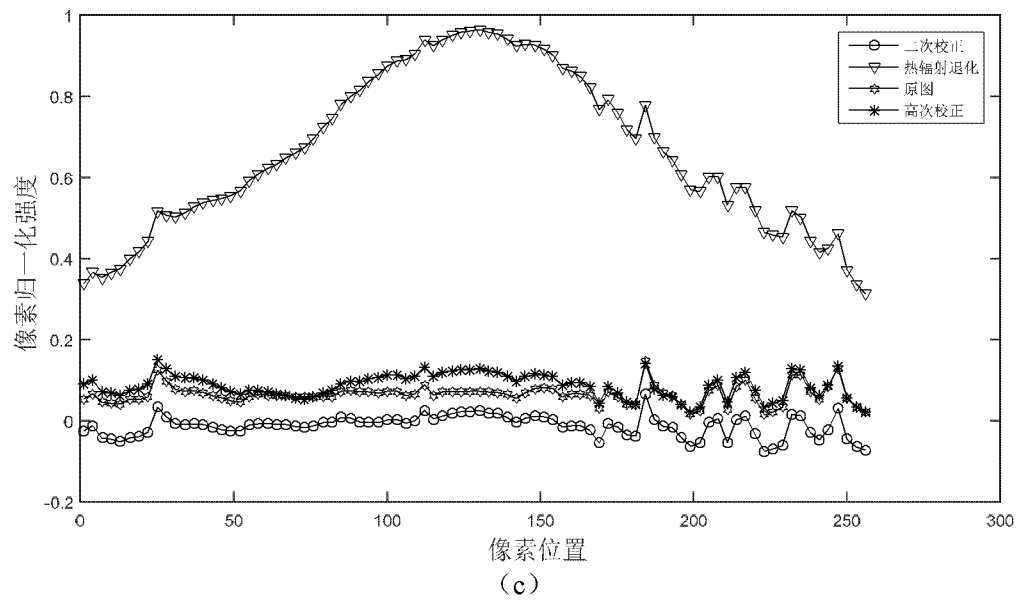
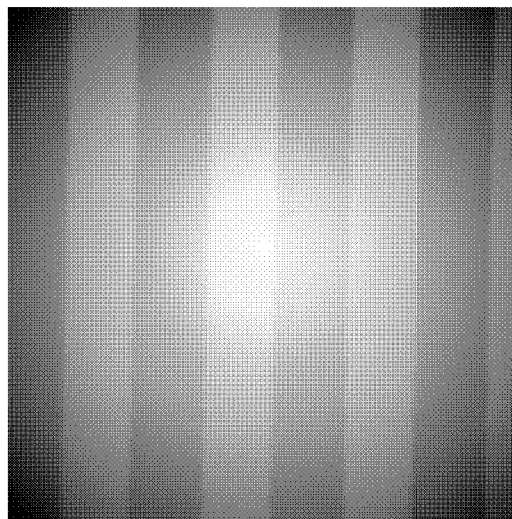
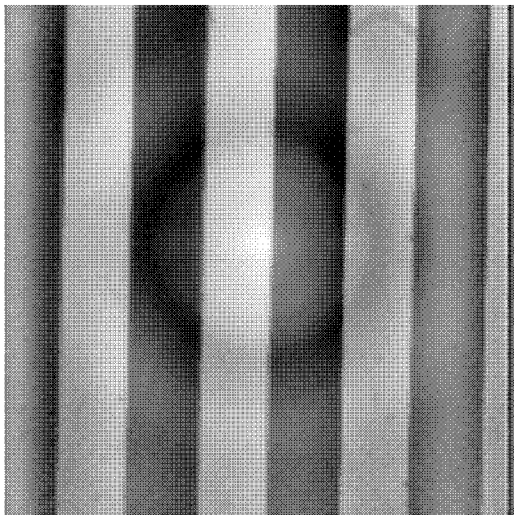


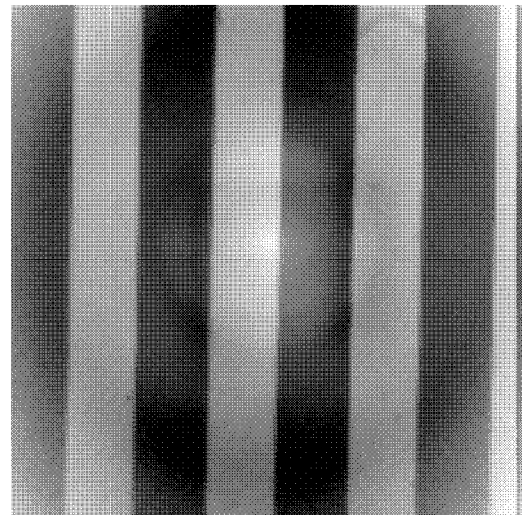
图 7



(a)



(b)



(c)

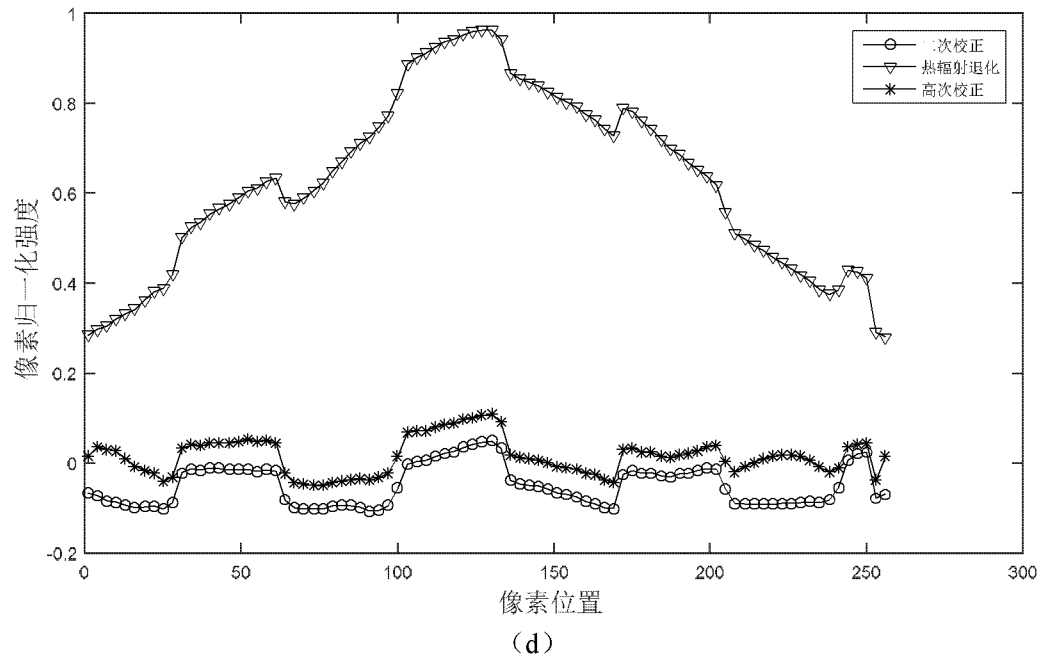


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/079129

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 5/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: aerodynamic, heat, radiate, image, picture, adjust, correction, noise, denoising

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105118037 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 02 December 2015 (02.12.2015) description, paragraphs [0005]-[0024]	1-3
A	CN 105160687 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 December 2015 (16.12.2015) the whole document	1-3
A	CN 103093425 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 08 May 2013 (08.05.2013) the whole document	1-3
A	CN 101261176 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 10 September 2008 (10.09.2008) the whole document	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 August 2016	Date of mailing of the international search report 19 September 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LIU, Chang Telephone No. (86-10) 62414452

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/079129

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105118037 A	02 December 2015	None	
CN 105160687 A	16 December 2015	None	
CN 103093425 A	08 May 2013	CN 103093425 B	20 January 2016
CN 101261176 A	10 September 2008	CN 101261176 B	24 November 2010

A. 主题的分类 G06T 5/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06T 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, CNKI: 气动, 热, 辐射, 图像, 图象, 校正, 噪声, 去噪; WPI, EPODOC, IEEE: aerodynamic, heat, radiate, image, picture, adjust, correction, noise, denoising		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 105118037 A (华中科技大学) 2015年 12月 2日 (2015 - 12 - 02) 说明书第[0005]-[0024]段	1-3
A	CN 105160687 A (华中科技大学) 2015年 12月 16日 (2015 - 12 - 16) 全文	1-3
A	CN 103093425 A (华中科技大学) 2013年 5月 8日 (2013 - 05 - 08) 全文	1-3
A	CN 101261176 A (华中科技大学) 2008年 9月 10日 (2008 - 09 - 10) 全文	1-3
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2016年 8月 26日		国际检索报告邮寄日期 2016年 9月 19日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		授权官员 刘昶 电话号码 (86-10) 62414452

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/079129

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105118037	A	2015年 12月 2日	无	
CN	105160687	A	2015年 12月 16日	无	
CN	103093425	A	2013年 5月 8日	CN	103093425 B 2016年 1月 20日
CN	101261176	A	2008年 9月 10日	CN	101261176 B 2010年 11月 24日