



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110207603 A

(43)申请公布日 2019.09.06

(21)申请号 201910327418.6

(22)申请日 2019.04.23

(71)申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 陈振宁 孙伟

(74)专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237

代理人 贺翔

(51)Int.Cl.

G01B 11/16(2006.01)

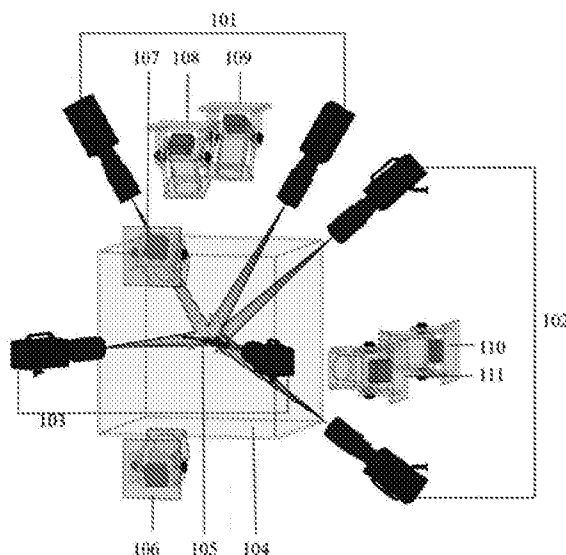
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

极薄翅翼多方位动态变形测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种极薄翅翼多方位动态变形测量方法,采用无附加散斑的多相机数字图像相关方法,测量极薄翅翼的动态构形,对系留飞行蜻蜓翅膀的动力学规律进行实验研究。本发明通过利用极薄翅翼本身纵横交错的翅脉及丰富的皱褶结构作为数字图像相关匹配的特征,解决了在极薄翅翼上附加制作散斑、特征点等造成翅翼质量和飞行行为改变的问题;通过搭建三组高分辨率工业相机及红光光源构成的非接触、多方位动态三维变形全场测量系统,解决了由于翅膀拍动幅度较大导致单组数字图像相关系统无法实现全局观测的问题,从而保证了蜻蜓极薄翅翼多方位动态变形测量结果的可靠性。



1. 一种极薄翅翼多方位动态变形测量方法,其特征在于,包括步骤如下:

1) 搭建非接触、多方位的红光照明多相机测量装置;

所述非接触、多方位的红光照明多相机测量装置包括:三组亚高速相机及镜头,所述镜头前装有红光滤光膜,每组亚高速相机均设有为其照明的红光光源;其中,三组亚高速相机分别从飞行试验箱的三个相邻面照射其内的系留飞行的蜻蜓,保证蜻蜓翅膀的任意拍动幅度均能被至少一组相机完整捕捉;

2) 采用无附加散斑数字图像相关方法追踪蜻蜓翅翼的翅脉及皱褶结构,实现翅翼的三维动态变形测量。

2. 根据权利要求1所述的极薄翅翼多方位动态变形测量方法,其特征在于,所述步骤2) 具体包括:

21) 对翅膀图像上各翅脉进行边缘检测,采用多边形估计获得参考图像和目标图像的各特征点集合M和N;

22) 利用概率密度估计的方法对非刚性变换的各特征点集合M和N进行配准,给出各特征点的位移向量;

23) 将形状上下文方法提取的点集局部空间结构信息作为点集配准的先验条件,从而提高算法的配准性能。

极薄翅翼多方位动态变形测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于光测力学和仿生微型飞行器技术领域,具体涉及一种适用于蜻蜓活体极薄翅翼变形测量的无附加散斑多相机数字图像相关方法。

背景技术

[0002] 数字图像相关方法(Digital Image Correlation,DIC)是一种新型的非接触式光学测量方法,现被应用于多个学科领域。其以附着在被测物体表面随机分布的散斑为载体,通过追踪散斑、分析其变形前后的概率相关性,来确定物体的运动和变形信息。通常情况下,需要在被测物体表面制作人工散斑,使其具有丰富的散斑特征。但是,蜻蜓翅膀极薄,厚度大约在 $1.58-4.08\mu\text{m}$ 。在类似蜻蜓翅膀这种极薄的生物薄膜测量上,传统的制作人工散斑作为变形信息载体这一方法是很难被接受的,因为附加的散斑质量可能极大的影响结构本身的力学性能。另外,蜻蜓飞行时前后四只翅翼的拍动幅度较大,任意一组三维数字图像相关测量系统都难以实时监测其完整的飞行周期。

[0003] 因此,有必要提供一种测量方法,其能够从多个不同方位同时观测翅翼的运动和变形。

发明内容

[0004] 针对于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种极薄翅翼多方位动态变形测量方法,以解决现有技术中极薄翅翼多方位、大幅度动态变形监测的问题。本发明的方法实现了对系留飞行蜻蜓前后翅翼真实运动和变形的实时跟踪。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0006] 本发明的一种极薄翅翼多方位动态变形测量方法,包括步骤如下:

[0007] 1) 搭建非接触、多方位的红光照明多相机测量装置;

[0008] 蜻蜓飞行中的翅膀拍动幅度较大,单一方位观测难以实现其整个拍动周期的全表面测量,必须在蜻蜓的多个方位架设多组三维数字图像相关测量装置。

[0009] 其中,本发明中的非接触、多方位的红光照明多相机测量装置包括:三组亚高速相机及镜头,所述镜头前装有红光滤光膜,每组亚高速相机均设有为其照明的红光光源;其中,三组亚高速相机分别从飞行试验箱的三个相邻面照射其内的系留飞行的蜻蜓,保证蜻蜓翅膀的任意拍动幅度皆能被至少一组相机完整捕捉。

[0010] 2) 采用无附加散斑数字图像相关方法追踪蜻蜓翅翼的翅脉及皱褶结构,实现翅翼的三维动态变形测量。

[0011] 进一步地,所述步骤2) 具体包括:

[0012] 21) 对翅膀图像上各翅脉进行边缘检测,采用多边形估计获得参考图像和目标图像的各特征点集合M和N;

[0013] 22) 利用概率密度估计的方法对非刚性变换的各特征点集合M和N进行配准,给出各特征点的位移向量;

[0014] 23)将形状上下文方法提取的点集局部空间结构信息作为点集配准的先验条件,从而提高算法的配准性能。

[0015] 本发明利用翅脉的自身特征,研究形状上下文点集配准技术,实现蜻蜓翅膀无附加散斑的高精度数字图像相关测量。需要说明的是,蜻蜓翅膜本身是透明的、无特征,因此本发明中的点集配准并未包含翅膜本身,而是利用皱褶翅脉上密集的特征点来近似表征翅膀的全表面;基于形状上下文点集配准技术的无附加散斑数字图像相关方法。

[0016] 本发明的有益效果:

[0017] 1、本发明采用三组三维数字图像相关测量装置,分别从三个相邻面实时监测翅翼的变形。蜻蜓飞行时各只翅膀会出现平展、翻转、上扑、下扑等姿势,任一组三维数字图像相关测量装置都不能很好的监测一个完整的拍动周期,本发明布置的三组三维数字图像相关测量装置很好的解决了监测不完整的问题,使得任意飞行时刻任意翅翼都能被至少一组三维数字图像相关测量装置观测到。

[0018] 2、本发明采用蜻蜓翅翼纵横交错的翅脉作为相关匹配的基础,未在翅翼表面制作任何的散斑或标记点,因此没有任何影响蜻蜓真实飞行行为的附加质量,从而能够观测到翅翼结构本身真实的变形信息和飞行规律。

[0019] 3、本发明采用的无附加散斑数字图像相关测量方法,不仅对蜻蜓极薄翅翼的非接触、全表面运动和变形测量有益,对其它昆虫极薄翅翼的类似测量也有帮助。另外,针对一些柔性电子等极薄材料的变形监测也有借鉴意义。

附图说明

[0020] 图1为本发明中多相机测量装置的示意图。

[0021] 图2为无附加散斑数字图像相关测量方法流程图。

具体实施方式

[0022] 为了便于本领域技术人员的理解,下面结合实施例与附图对本发明作进一步的说明,实施方式提及的内容并非对本发明的限定。

[0023] (1)图1为本发明的多相机测量装置图,主要由相机、镜头和红光光源组成:

[0024] 蜻蜓飞行时各只翅膀会出现平展、翻转、上扑、下扑等姿势,任一组三维数字图像相关测量装置都不能很好的监测一个完整的拍动周期,必须在蜻蜓的多个方位架设多组三维数字图像相关测量装置。因此,本发明搭建非接触、多方位的红光照明多相机测量装置,由三组三维数字图像相关测量系统分别从飞行试验箱的三个相邻面观测蜻蜓的四只翅翼,保证系留飞行中翅膀的任一种飞行姿势至少能在一组相机中被观测到。普通的可见光照明会刺激和影响蜻蜓的正常飞行,红光波长则超过了蜻蜓的可见光波长,从而能够避免照明对飞行和测量的负面影响。因此,多相机测量装置的照明采用红光照明。本发明拟在亚高速相机镜头前加上红色带通滤光片(633nm),结合红光照明,以实现高质量的图像采集。

[0025] 进一步的,图1中的101、102、103分别为本发明中的三组独立的三维数字图像相关测量系统,分别从飞行试验箱104的三个相邻面观测被测蜻蜓105,且三维数字图像相关测量系统不限制为图示的双相机系统;图1中的106-111为红光光源,其中106、107照明位置与系统103观测位置相同、且系统103与对应光源106、107放置在104的同一侧箱面,108、109照

明位置与系统101观测位置相同、且系统101与对应光源108、109放置在104的同一侧箱面，110、111照明位置与系统102观测位置相同、且系统102与对应光源110、111放置在104的同一侧箱面。

[0026] (2) 图2为本发明的无附加散斑数字图像相关测量方法流程图，主要包括边缘检测、特征点提取、基于形状上下文的参考图与目标图点集配准、全表面位移计算等步骤：

[0027] 蜻蜓等昆虫的翅膀上具有显著的特征，皱褶起伏的翅脉纵横交错，将翅膜划分成类似三角形、四边形、五边形等多边形结构，呈网络状分布。本发明利用图像处理中的形状上下文点集配准技术对变形前后的参考图与目标图点集进行配准。首先对翅膀图像上各个翅脉进行边缘检测，利用多边形估计获得参考图像和目标图像的各个特征点集合M和N，接着利用概率密度估计的方法对非刚性变换的各个特征点集合M和N进行配准。配准时为了更好的利用点集中各点的空间结构信息，将形状上下文 (Shape Context, SC) 方法提取的点集局部空间结构信息作为点集配准的先验条件，从而提高算法的配准性能。具体的，将点集配准视为概率密度估计问题并采用混合模型求解已经成为点集配准问题的标准算法，在翅膀形变程度很极端时亦能给出较好的匹配结果。定义参考点集M和目标点集N的矩阵表达式为 $X = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$ 和 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ ，其中 x_i 和 y_j 为2维列向量；X到Y的空间变换为一般函数 $f: R^2 \rightarrow R^2$ 。X经过f映射后的变换点集U和目标点集Y之间的形状上下文相似性矩阵T， $t_{i,j} \in [0, 1]$ 且 $\sum_{i=1}^m t_{i,j} = 1$ 。将Y各点是否能从混合模型中观测到记作二值变量Z。后验概率密度的似然函数记作 $l_p = -\ln(p(Z, Y))$ ，目标点集Y的负对数似然条件期望为：

[0028]

$$\begin{aligned} E_z[l_p] &= -\sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^n \ln(p(z_{i,j}, y_j)) p(z_{i,j} | y_j) \\ &= \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p(z_{i,j} | y_j) \|y_j - f(x_i)\|^2 + M_p \ln \sigma^2 - M_p \ln(1-\omega) - (n - M_p) \ln \omega \end{aligned}$$

[0029] 式中： $M_p = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p(z_{i,j} | y_j)$ ； $p(\mathbf{Z}, \mathbf{Y}) = \prod_{i=1}^{m+1} \prod_{j=1}^n [P(i) p(y_j | i)]^{z_{i,j}}$ ；

[0030]

$$P(i) = \begin{cases} (1-\omega)t_{i,j}, & i=1, 2, \dots, m; \\ \omega, & i=m+1 \end{cases}; \quad p(y_j | i) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{\|y_j - f(x_i)\|^2}{2\sigma^2}\right\}, & i=1, 2, \dots, m \\ \frac{1}{m}, & i=m+1 \end{cases}$$

[0031] 上式， $p(y_j | i)$ 为观测点 y_j 的条件概率， $P(i)$ 是关于形状上下文相似性 $t_{i,j}$ 和离群点权重 ω 的函数。由于 $p(z_{i,j} | y_j)$ 未知，拟采用高效而标准的参数估计期望最大化算法 (Expectation maximization, EM) 求解目标函数 $E_z[l_p]$ ，得到参考点集M到目标点集N的最佳空间变换函数和最佳对应关系。比较配准的参考点集M到目标点集N，给出各个配准点的变形前后的位移向量。

[0032] 本发明提出的一种极薄翅翼多方位动态变形测量方法，可以解决因蜻蜓翅翼极薄、拍动幅度大等因素导致的测量附加质量影响飞行行为、测量周期不完全等问题。传统的蜻蜓翅翼变形测量方法相比，本发明给出的多方位动态变形测量方法采用的无附加散斑数

字图像相关方法具有更加真实、完整的飞行测量数据,能够使数字图像相关方法更好的获得学术界和工业界认可,同时也能够为蜻蜓等昆虫的极薄翅翼测量提供有效地解决方法。

[0033] 本发明具体应用途径很多,以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以作出若干改进,这些改进也应视为本发明的保护范围。

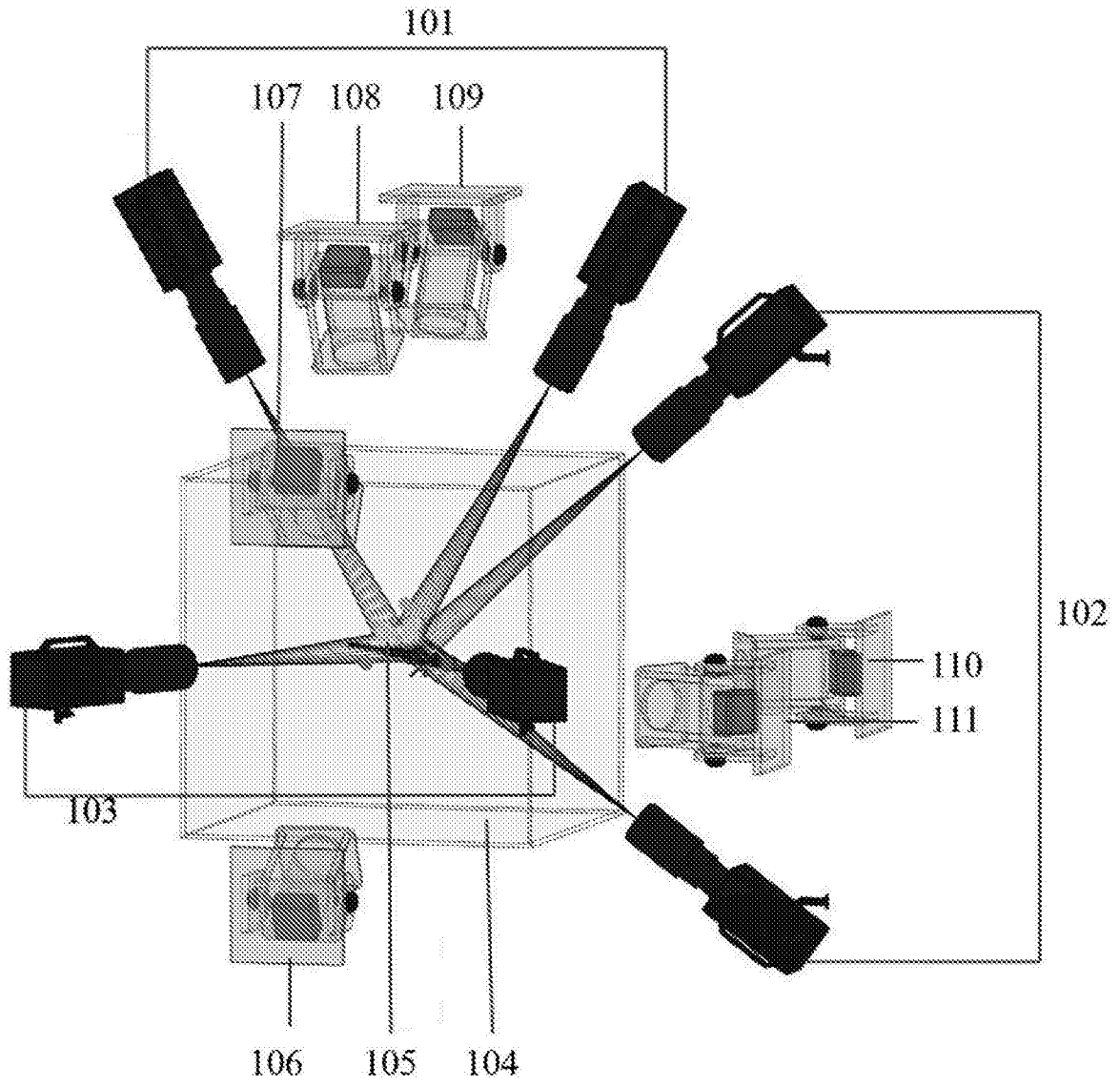


图1

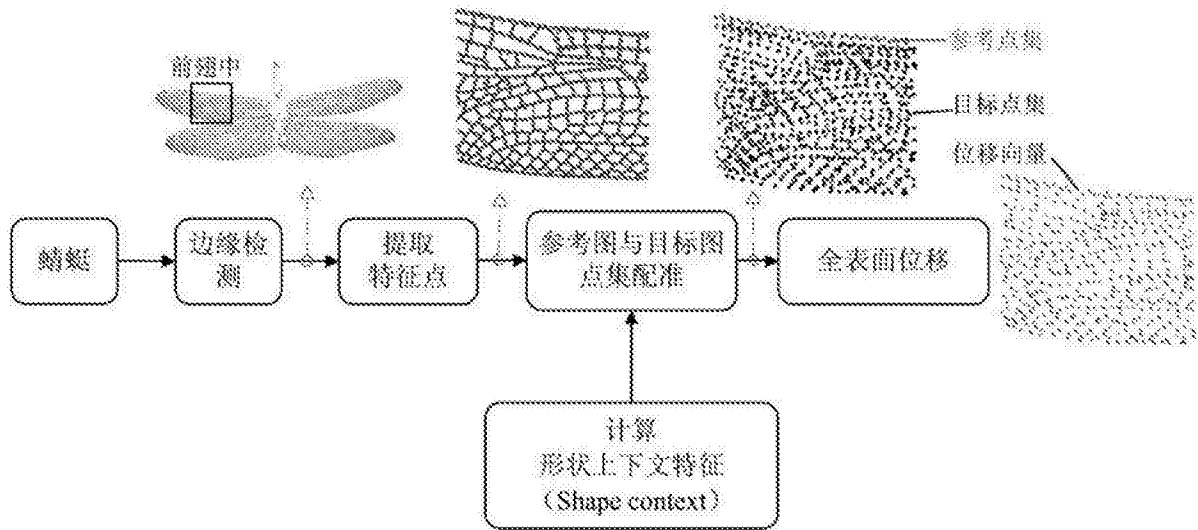


图2