



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112528697 B

(45) 授权公告日 2023.05.23

(21) 申请号 202011412896.6

G06F 17/14 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.04

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112528697 A

CN 108572348 A, 2018.09.25

CN 111537795 A, 2020.08.14

CN 107395279 A, 2017.11.24

(43) 申请公布日 2021.03.19

CN 110532860 A, 2019.12.03

CN 107104730 A, 2017.08.29

US 2020328808 A1, 2020.10.15

(73) 专利权人 深圳市南科信息科技有限公司  
地址 518000 广东省深圳市福田区沙头街  
道天安社区泰然五路8号天安数码城  
天济大厦五层F4.85B-521

审查员 胡嫵

(72) 发明人 关伟鹏 肖煜琛 伍文飞

(74) 专利代理机构 深圳叁众知识产权代理事务  
所(普通合伙) 44434  
专利代理师 张娜

(51) Int. Cl.

G06K 7/14 (2006.01)

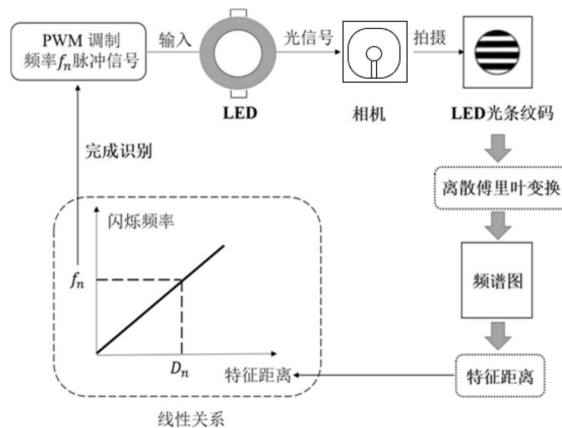
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测  
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,包括如下步骤:在发射端,利用PWM调制方法使单片机输出不同频率、相同占空比的脉冲信号,调制LED发出闪烁频率不同的光;在接收端,利用摄像头拍摄LED,经图像处理对LED图像进行离散傅里叶变换,得到对应的频谱图;对步频谱图进行阈值操作,分离出频谱图最亮的三个点;使用距离函数确定中心点和特征点的横坐标,得到特征距离;建立特征距离与对应LED闪烁频率之间的线性关系;根据得到的线性关系,推算出LED的闪烁频率,实现对该LED识别。本发明把LED图像从图像空间域转换到图像频域,在图像频域上识别LED,抗干扰能力强,实现方法简单,可靠性高。



1. 一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

A. 在发射端,利用PWM调制方法使单片机输出不同频率、相同占空比的脉冲信号,调制LED发出闪烁频率不同的光,形成一系列具有不同频率特征的LED;

B. 在接收端,利用摄像头拍摄LED,经图像处理对LED图像进行离散傅里叶变换,得到其对应的频谱图;

C. 对步骤B得到的频谱图进行阈值操作,分离出频谱图上最亮的三个点,它们处于同一水平线上;

其中,位于中心的点称为中心点,中心点两边的点称为特征点;

D. 使用距离函数确定步骤C得到的中心点和特征点的横坐标,分别计算左右两边的特征点到中心点的距离,最后计算这两个距离的平均值,得到特征距离;

E. 建立步骤D中得到的特征距离与对应LED闪烁频率之间的线性关系,获取“闪烁频率-特征距离”数据点;

F. 对闪烁频率未知的LED进行上述步骤B、步骤C和步骤D,得到其对应的特征距离,根据步骤E得到的线性关系,推算出LED的闪烁频率,实现对该LED的识别。

2. 根据权利要求1所述的一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,所述步骤B的图像处理和离散傅里叶变换包括如下步骤:

b1. 对摄像头拍摄LED图像进行灰度化处理,得到灰度图;

b2. 将灰度图用像素值为0的像素扩充图像尺寸;

b3. 将扩充后的图像进行离散傅里叶变换,得到的结果是复数;

其中,复数包含实数部分Re和虚数部分Im,复数的幅度M可以表示为:

$$M = \sqrt{Re^2 + Im^2}$$

b4. 将步骤b3得到的幅度M进行对数尺度缩放,得到新的幅度M' ;

其中,对数尺度缩放表示为:

$$M' = \log(1+M)$$

b5. 将步骤b4得到的幅度图进行频谱中心化,重新分布幅度图的象限位置;

b6. 将步骤b5得到的幅度图进行归一化处理,得到LED图像的频谱图。

3. 根据权利要求2所述的一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,所述步骤b5中的频谱中心化是以幅度图长和宽的中线划分,得到四张1/4子图像,把每张子图像看作幅度图的一个象限,互为对角的两个象限交换位置。

4. 根据权利要求2所述的一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,所述步骤b2中将灰度图用像素值为0的像素扩充图像尺寸为2、3、5的整数倍。

5. 根据权利要求1或2所述的一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,所述发射端由STM32单片机和LED相连接组成。

6. 根据权利要求1或2所述的一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,所述摄像头为CMOS摄像头。

7. 根据权利要求1或2所述的一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,其特征在于,利用步骤E获取多组“闪烁频率-特征距离”数据点,并用最小二乘法拟合,拟合结果在“闪烁频率-特征距离”的直角坐标系上呈现为一条倾斜直线。

## 一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种LED光条纹码检测方法,尤其涉及一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,属于LED视觉检测与识别技术领域。

### 背景技术

[0002] 近年来,可见光通信(VLC)技术因为其高传输速度、高带宽、高信息安全度、低成本等优点越来越受到广泛的关注。在VLC系统中,以LED作为发射端,通过调制LED使其发出高频闪烁的光信号来传输数据,而人眼无法感知到光的闪烁。在接收端,若使用CMOS摄像头接收光信号,这种VLC系统也被称作可见光成像通信(OCC)系统,它是VLC系统的关联子系统。

[0003] 目前OCC系统是基于图像空间域实现的,即对在图像平面空间上分布的光条纹进行处理,这包括两种方法:一是调制与解调方法,二是调制与特征识别方法。调制与解调方法是通过调制LED发出明暗闪烁的光信号,LED亮代表比特“1”,暗代表比特“0”。接收端使用CMOS摄像头拍摄LED,因为其卷帘效应,拍摄的图像呈现出亮条纹和暗条纹,亮条纹代表比特“1”,暗条纹代表比特“0”。最后通过图像处理技术提取单独的条纹进行解码,获得LED传输的数据。这是OCC的传统实现方法,虽然有一定数据传输速度,但仍存在很多问题。例如该方法受传输距离的影响很大。如果LED与摄像头的距离超过了一定的范围,会导致LED图像上的条纹部分丢失,使数据传输失败。并且最大传输距离也比较短,通常只有10cm-50cm,无法满足实际应用的需求。而调制与特征识别方法可以解决调制解调的诸多问题。调制与特征识别方法使用图像处理算法提取LED条纹图像的特征,并基于这些图像特征用机器学习算法训练分类器。最后根据未判定的LED条纹图像所提取的特征,利用已经训练好的分类器判断图像所属类别,实现LED的检测与识别。一旦LED识别成功,其存储在云端的数据就会直接传输给用户,就如同现在广泛使用的二维码。调制与特征识别方法简单易行,传输距离较长,可以达到3m-6m,能在很多实际场景中应用,如室内可见光定位和室外交通灯识别等。但是,该方法仍然需要复杂的图像处理算法来提取图像特征,在实际应用中无法保证提取效果。并且周围环境的影响也会干扰特征提取,例如LED周围墙面或桌面在拍摄图像上形成的倒影会严重影响特征提取的效果,导致识别出现偏差。以上是基于图像空间域实现OCC的主要问题,解决这些问题是OCC的研究方向。

### 发明内容

[0004] 针对上述现存的技术问题,本发明提供一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,把LED图像从图像空间域转换到图像频域,在图像频域上识别LED,抗干扰能力强,实现方法简单,可靠性高。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,包括如下步骤:

[0006] A. 在发射端,利用PWM调制方法使单片机输出不同频率、相同占空比的脉冲信号,调制LED发出闪烁频率不同的光,形成一系列具有不同频率特征的LED;

[0007] B. 在接收端,利用摄像头拍摄LED,经图像处理对LED图像进行离散傅里叶变换,得到其对应的频谱图;

[0008] C. 对步骤B得到的频谱图进行阈值操作,分离出频谱图上最亮的三个点,它们处于同一水平线上;

[0009] 其中,位于中心的点称为中心点,中心点两边的点称为特征点;

[0010] D. 使用距离函数确定步骤C得到的中心点和特征点的横坐标,分别计算左右两边的特征点到中心点的距离,最后计算这两个距离的平均值,得到特征距离;

[0011] E. 建立步骤D中得到的特征距离与对应LED闪烁频率之间的线性关系,获取“闪烁频率-特征距离”数据点;

[0012] F. 对闪烁频率未知的LED进行上述步骤B、步骤C和步骤D,得到其对应的特征距离,根据步骤E得到的线性关系,推算出LED的闪烁频率,实现对该LED的识别。

[0013] 本发明进一步的,所述步骤B的图像处理和离散傅里叶变换包括如下步骤:

[0014] b1. 对摄像头拍摄LED图像进行灰度化处理,得到灰度图;

[0015] b2. 将灰度图用像素值为0的像素扩充图像尺寸;

[0016] b3. 将扩充后的图像进行离散傅里叶变换,得到的结果是复数;

[0017] 其中,复数包含实数部分(Re)和虚数部分(Im),复数的幅度M可以表示为:

$$[0018] \quad M = \sqrt{Re^2 + Im^2}$$

[0019] b4. 将步骤b3得到的幅度M进行对数尺度缩放,得到新的幅度M' ;

[0020] 其中,对数尺度缩放表示为:

$$[0021] \quad M' = \log(1+M)$$

[0022] b5. 将步骤b4得到的幅度图进行频谱中心化,重新分布幅度图的象限位置;

[0023] b6. 将步骤b5得到的幅度图进行归一化处理,得到LED图像的频谱图。

[0024] 本发明进一步的,所述步骤b5中的频谱中心化是以幅度图长和宽的中线划分,得到四张1/4子图像,把每张子图像看作幅度图的一个象限,互为对角的两个象限交换位置。

[0025] 本发明进一步的,所述步骤b2中将灰度图用像素值为0的像素扩充图像尺寸为2、3、5的整数倍。

[0026] 本发明进一步的,所述发射端由STM32单片机和LED相连接组成。

[0027] 本发明进一步的,所述摄像头为CMOS摄像头。

[0028] 本发明进一步的,利用步骤E获取多组“闪烁频率-特征距离”数据点,并用最小二乘法拟合,拟合结果在“闪烁频率-特征距离”的直角坐标系上呈现为一条倾斜直线。

[0029] 采用上述技术方案的有益效果是:(1)不同于基于图像空间域的方法,该基于图像频域的LED光条形码检测方法没有复杂的图像处理算法,而是简单易行的离散傅里叶变换,简化了对LED图像的研究,提高了对LED识别的可靠性。

[0030] (2)本方法识别LED具有很强的抗干扰能力,LED周围物体在LED图像上的倒影对频谱图的影响很小,因此对特征距离的计算没有干扰。

[0031] (3)本方法在有多组精确的“闪烁频率-特征距离”数据点的情况下能拟合出准确的“闪烁频率-特征距离”倾斜直线,实现高效准确地检测与识别不同闪烁频率的LED。

## 附图说明

- [0032] 图1是本发明的步骤流程示意图；  
 [0033] 图2是本发明一实施例的LED输入信号调制示意图；  
 [0034] 图3是本发明一实施例的LED图像离散傅里叶变换示意图；  
 [0035] 图4是本发明一实施例的频谱图阈值操作和特征距离计算示意图。

## 具体实施方式

[0036] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0037] 本发明实施例在室内搭建一个LED光条纹码检测系统,该系统包括单片机控制端、LED、移动终端和计算机,且移动终端带有CMOS摄像头,计算机带有图像处理软件。

[0038] 本发明的一种实施例:如图1所示,本发明一种基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,包括如下步骤:

[0039] A. 在发射端,利用PWM调制方法使STM32单片机输出占空比为50%、频率不同的脉冲信号,调制LED发出闪烁频率不同的光,形成一系列具有不同频率特征的LED。实验中LED的最低闪烁频率是1kHz,最高闪烁频率是65kHz。由于灯光的闪烁频率很高,人眼无法察觉到LED的闪烁现象。

[0040] B. 在接收端,利用CMOS摄像头拍摄LED,经图像处理对LED图像进行离散傅里叶变换,得到其对应的频谱图。

[0041] C. 如图4所示,对频谱图进行阈值操作,分离出频谱图上最亮的三个点,它们处于同一水平线上,位于中心的点称为“中心点”,中心点两边的点称为“特征点”。

[0042] D. 使用距离函数确定中心点和特征点的横坐标,分别计算左右两边的特征点到中心点的距离( $D_1, D_2$ ),最后求出这两个距离的平均值 $\frac{D_1+D_2}{2}$ ,得到“特征距离”,特征距离的

计算如图4所示。

[0043] E. 建立步骤D中得到的特征距离与对应LED闪烁频率之间的线性关系,获取“闪烁频率-特征距离”数据点。

[0044] F. 对闪烁频率未知的LED进行上述步骤B、步骤C和步骤D,得到其对应的特征距离,根据步骤E得到的线性关系,推算出LED的闪烁频率,实现对该LED的识别。经检测,实验中两相邻LED闪烁频率的最小间隔是150Hz。大于该最小频率间隔的两个LED可以分辨出来,因此

本实施例可以识别的LED数量为 $\frac{65000-1000}{150} \approx 426$ 。

[0045] 该实施例进一步的,步骤B的图像处理和离散傅里叶变换包括如下步骤:

[0046] b1. 对摄像头拍摄LED图像进行灰度化处理,得到灰度图;

[0047] b2. 将灰度图用像素值为0的像素扩充图像尺寸;

[0048] b3. 将扩充后的图像进行离散傅里叶变换,得到的结果是复数;

[0049] 其中,复数包含实数部分(Re)和虚数部分(Im),复数的幅度M可以表示为:

[0050]  $M = \sqrt{Re^2 + Im^2}$ .

[0051] b4.将步骤b3得到的幅度M进行对数尺度缩放,得到新的幅度M' ;

[0052] 其中,对数尺度缩放表示为:

[0053]  $M' = \log(1+M)$

[0054] b5.将步骤b4得到的幅度图进行频谱中心化,重新分布幅度图的象限位置;

[0055] b6.将步骤b5得到的幅度图进行归一化处理,如图3所示,得到LED图像的频谱图。

[0056] 得到LED图像的频谱图。

[0057] 该实施例进一步的,步骤b5中的频谱中心化是以幅度图长和宽的中线划分,得到四张1/4子图像,把每张子图像看作幅度图的一个象限,互为对角的两个象限交换位置;

[0058] 该实施例进一步的,步骤b2中将灰度图用像素值为0的像素扩充图像尺寸为2、3、5的整数倍。

[0059] 该实施例进一步的,利用步骤E获取多组“闪烁频率-特征距离”数据点进行最小二乘法拟合,拟合结果在“闪烁频率-特征距离”的直角坐标系上是一条倾斜直线。该线性关系不受LED图像上亮条纹数目的影响,而LED与CMOS摄像头之间的工作距离会影响LED图像上亮条纹的数目,工作距离越长,条纹数量越少。因此在本实施例的LED光条纹码检测系统中,该线性关系不受工作距离的影响。

[0060] 上述实施例所依托的LED光条纹码检测系统的发射端由STM32单片机和LED相连接组成。LED为直径是10.5厘米的商用灯具。由STM32单片机进行PWM调制,产生不同频率但占空比相等(50%)的脉冲信号,LED输入信号调制如图2所示,产生的脉冲信号驱动LED发出闪烁频率不同的光。本系统的接收端可以才用手机、电脑等电子终端,该实施例采用三星Galaxy S8手机,使用后置CMOS摄像头拍摄LED。由于CMOS摄像头的卷帘效应,拍摄的高频闪烁的LED图像显示出明暗间隔的条纹。

[0061] 综上所述,本实施例中运用的基于离散傅里叶变换的LED光条纹码检测方法,本质上是OCC系统中在图像频域上的LED光条纹码检测方法。在发射端,通过PWM调制方法使单片机驱动LED发出高频闪烁的光信号;在接收端,利用人们日常使用的智能手机、笔记本电脑、平板电脑等移动终端的CMOS摄像头拍摄LED,获得LED光条纹码。再通过移动终端内置软件对光条纹码进行图像处理和离散傅里叶变换,得到频谱图上的特征距离。根据事先确定的线性关系,推算出LED的闪烁频率,正确识别LED。一旦识别成功,移动终端就可以通过该内置软件下载此LED对应的数据,实现信息的获取和利用。相比于在图像空间域上的LED光条纹码检测方法,本实施例的操作流程更加简单,可行性更高、抗干扰能力更强,也可以提供一定数量的可识别LED。

[0062] 基于本实施例的OCC系统有诸多应用。在室内可见光定位领域,通过手机软件识别LED下载对应的地理位置信息,实现实时定位;在物联网领域,LED光条纹码可以作为传统二维码的补充,光条纹码能够在黑暗等极端环境中发挥优势,弥补传统二维码受环境影响无法识别的缺点;在自动驾驶领域,运用车载摄像头识别交通信号灯,使车辆自动获取交通信息,实现自动驾驶。本实施例的应用并不限于以上三个例子,因为其简单易行、抗干扰能力强的突出优点,在未来可以拓宽更多商业价值。

[0063] 当然上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点,其目的在于让熟悉此项技术的人能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明主要技术方案的精神实质所做的等效变换或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

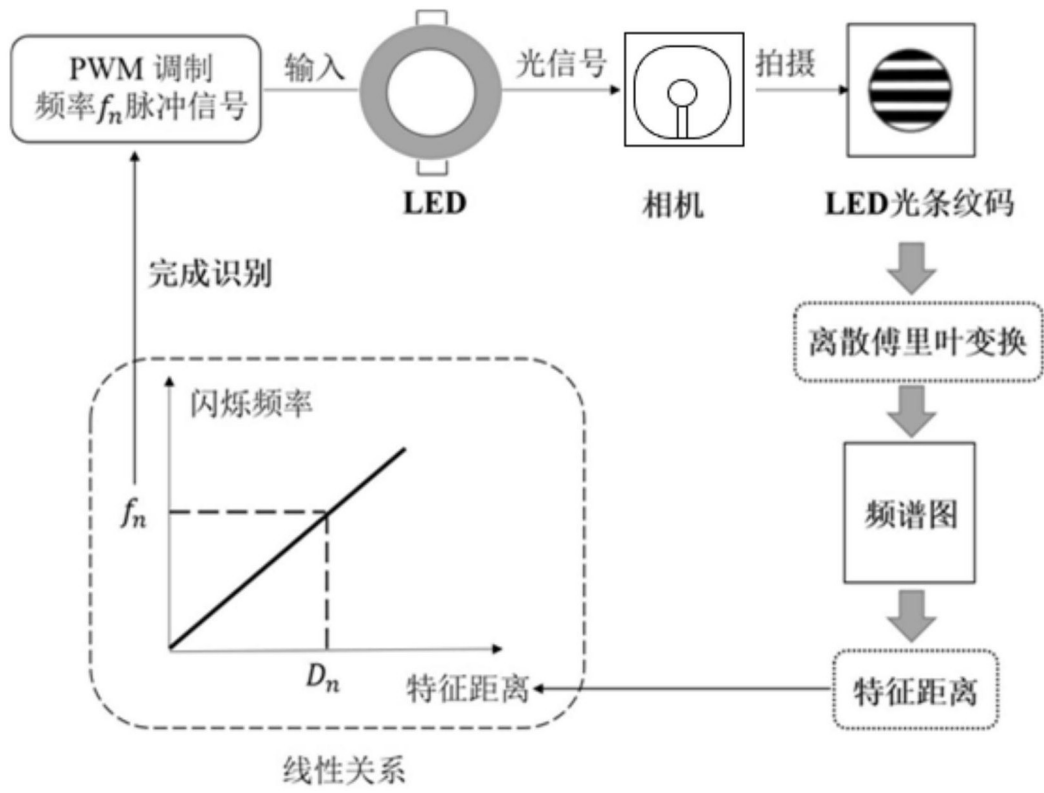


图1

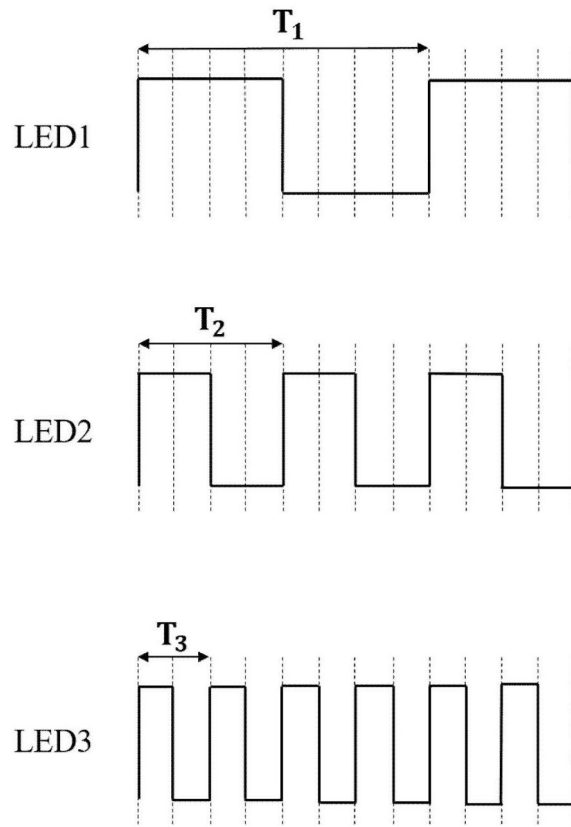


图2

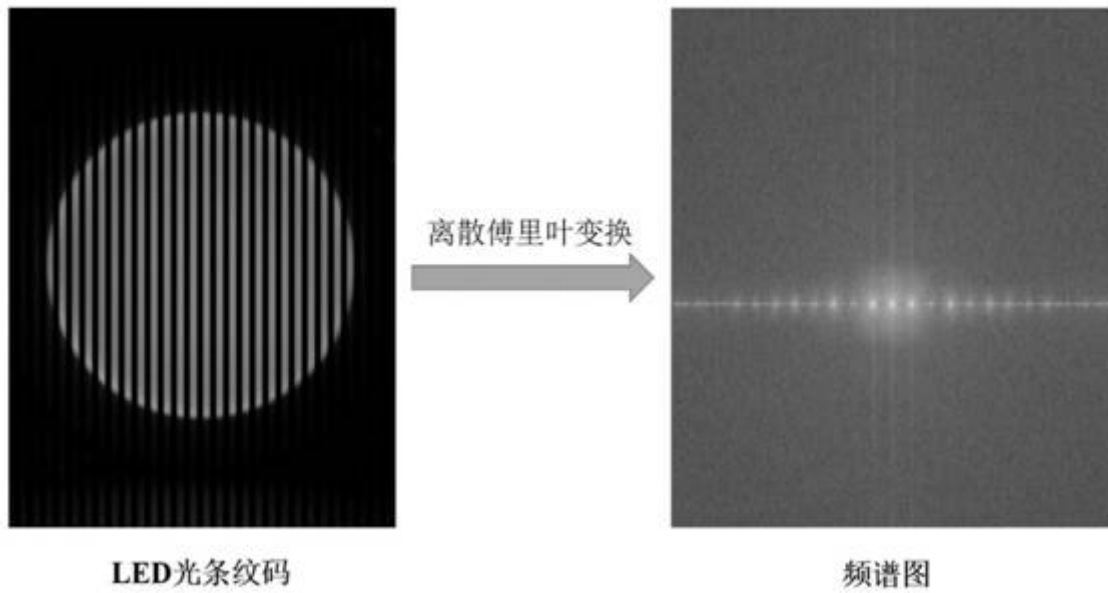


图3



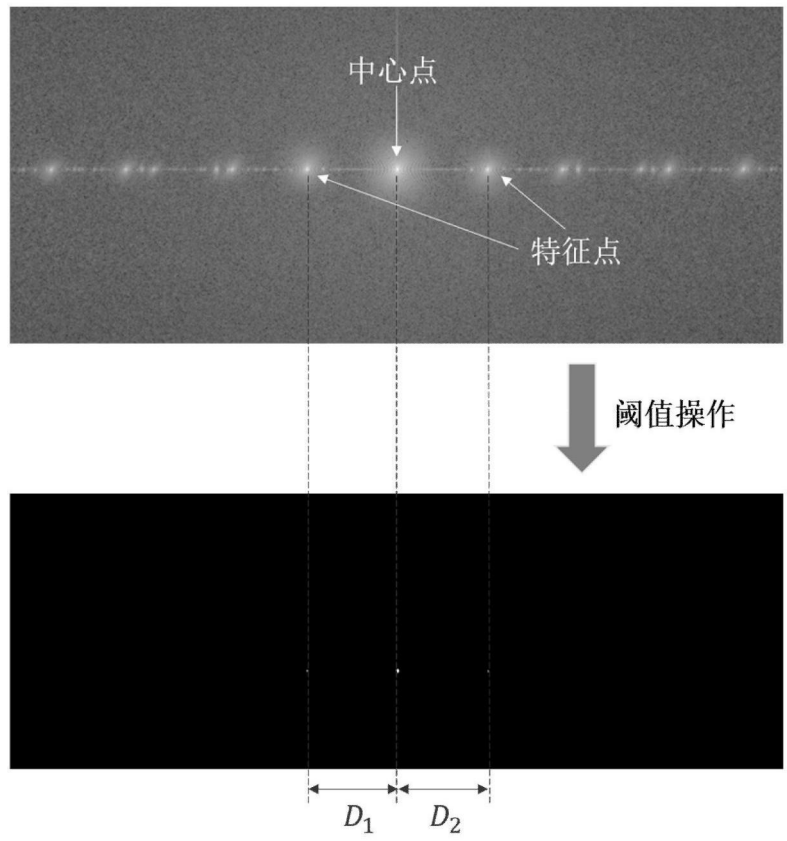


图4