

白皮书

采用像素分割计算方法改进高分辨率显示器的 像素级测量和校正（Demura）



A Konica Minolta Company

采用像素分割计算方法改进高分辨率显示器的像素级测量和校正 (Demura)

Gary R. Pedeville、Joshua H. Rouse、Douglas F. Kreysar; Radiant Vision Systems, LLC

摘要

随着显示器分辨率和像素密度的增加，测量显示器单个像素的特性（亮度、色度）对当前的成像技术来说变得越来越困难。单个图像分析对于优化生产流程的效率非常重要。成像系统必须在应用越来越有限的相对成像分辨率的同时，继续准确地测量显示器中数量越来越多的像素。本白皮书描述了一种利用部分图像传感器像素进行显示器像素配准和测量的方法，该方法可以提高在单幅图像测量中所获取的像素级亮度值的准确性，确保对自发光显示器（包括OLED、mini/microLED）进行有效的质量评估和Mura缺陷消除。

前言

由于OLED（有机发光二极管）、miniLED和microLED显示器中的每个像素都是单独发光，因此不同的像素在亮度和色度输出方面可能呈现出广泛的变化性。这种变化性表现为整个显示器上的不均匀性（亦称为“Mura”），导致显示器良率低、成本昂贵的组件被报废或代价高昂的返工。事实已经证明，显示器自动化视觉检测解决方案能够可靠地识别各种缺陷，包括不均匀性等，提供定量pass-fail结果和快速循环时间，并降低量产和商业化所需的运营成本。对于自发光显示器，像素级和亚像素级测量方法通过识别、测量和校正每个像素的亮度输出来实现显示器均匀性的校准，从而生产出外观完全均匀的显示器。此过程称为像素均匀性校正（亦称为“Demura”），依赖于像素级亮度测量的准确性，以便计算出每个像素的准确校正系数。

随着自发光显示器分辨率的提高，并且像素变得尺寸越来越小、数量越来越多且密度越来越高，确保测量精度以实现像素级评估和校正变得越来越具有挑战性。以最新智能手机为例，每个显示屏包含200万到400万以上像素（亚像素数量为像素数量的三倍或四倍），每英寸屏幕包含400到超过500个像素（PPI）。为了提高所测得的像素级亮度值的准确性和可重复性，基于图像的显示器测量系统必须在每个显示器像素上应用多个图像传感器像素。然而，使用多个图像传感器像素覆盖和隔离每个显示器像素非常具有挑战性，特别是在测量系统的传感器分辨率相对于显示器中的大量像素而言十分有限的情况下。虽然使用多个图像来测量显示器可以提高每个像素的有效成像分辨率，但单个图像测量对于在低节拍时间下校正显示器，支持高效量产流程和新型显示器的商业化来说非常重要。

对于自发光显示器（如OLED、miniLED和microLED），像素级和亚像素级测量方法通过识别、测量和校正每个像素的亮度输出来实现显示器均匀性的校准，从而生产出外观完全均匀的显示器。

单个图像测量对于在高速生产线下校正显示器非常重要。成像系统必须在应用越来越有限的相对成像分辨率的同时，继续针对显示器中数量越来越多的像素提供准确的像素级测量值。

像素级测量首先依赖于像素配准，这是一种动态定位和设置测量图像中每个像素周围关注区域（ROI）的方法。该技术最初获得了美国专利（专利号：US7907154B21），目的是测量大型户外显示屏中的单个LED像素，其中，测量需要进行很长一段时间，并且对单个显示器进行多图像测量很常见。在这些应用中，ROI被设置为与图像传感器阵列对位的均匀网格。这足以进行多图像测量，从而提高了每个显示器像素的传感器分辨率。然而，为保证生产速度，较小的显示屏（例如：智能手机、手表或微型显示器）需要采用单张图像测量方法，这就导致降低了每个显示器像素的传感器分辨率。在这些情况下，我们不太可能使显示器像素的中心与传感器像素的中心对位，这导致增加了每个显示器像素位置的摩尔纹效应，并降低了ROI精确覆盖和隔离每个显示器像素的能力。

一种新的像素配准和测量方法使用分割图像传感器像素来提高如今高分辨率显示器的像素级测量精度。此方法基于浮点限制来设置显示器像素ROI（而不是将ROI设置在图像传感器像素的中心）。然后，该方法隔离了ROI中包含的部分传感器像素区域，以计算测量值，从而相对于传统测量方法（测量整个像素区域）提高了所测得亮度值的精度，确保对显示器进行有效的质量评估和Mura缺陷消除。像素分割计算测量方法的优点在于能够使用较低的成像分辨率对显示器进行精确的像素级或亚像素级测量，从而优化了测量系统，并提高了测试速度和成本效益。

分数像素测量方法的优点在于能够使用降低的成像分辨率对显示器进行精确的像素级或亚像素级测量，从而优化了测量系统，并提高了测试速度和成本效益。

像素分割计算测量方法

由于每个显示器像素需要多个图像传感器像素才能进行精确的像素级亮度测量，因此图像中每个显示器像素的中心并不一定与单个图像传感器像素的中心对位（请参见图1和图2，其中，显示器像素的中心实际上是四个图像传感器像素的交叉点）。位于图像传感器像素中心的ROI可能不包含显示器像素的部分重要区域（请参见图1，左），尤其是在所应用的图像传感器像素较少的情况下。

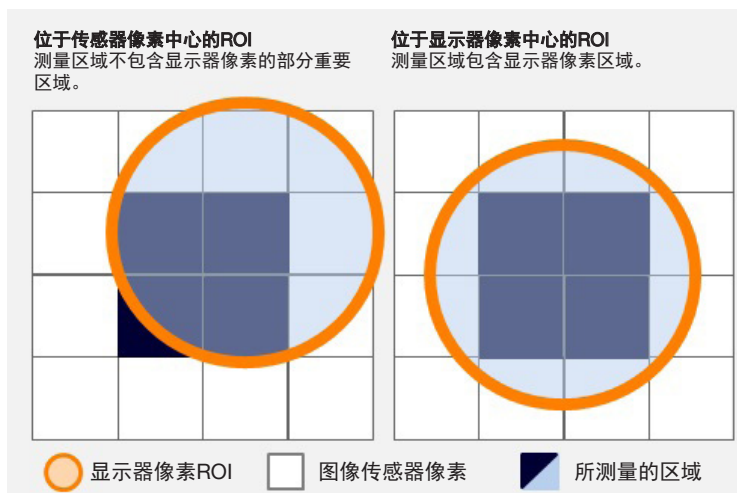
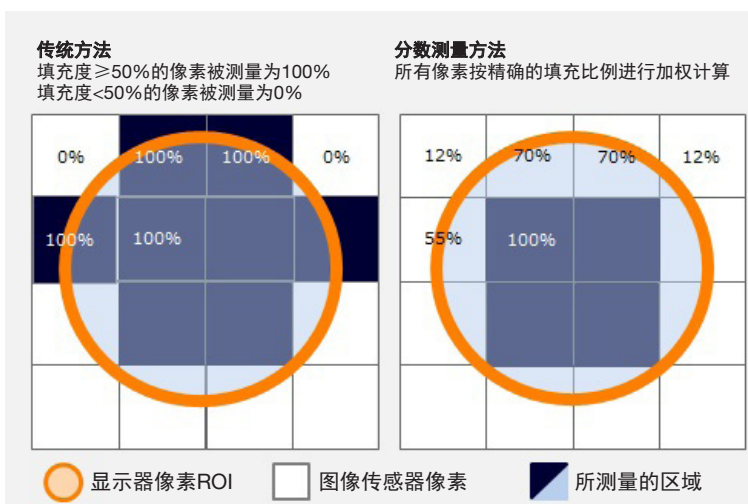


图 1 - 将显示器像素ROI设置在图像传感器单个像素的中心（左）的效果图示，其中，测量区域可能不包含显示器像素的部分重要区域，而像素分割计算测量方法则是通过加权计算部分像素的亮度值来确定显示器像素的真正中心，以确保ROI精确对位（右）。

与传统的整像素方法相比，像素分割方法通过加权计算所有图像传感器像素的平均亮度值来确定每个显示器像素的重心，确保所确定的ROI能够更近似于显示器像素的限值（请参见图1，右）。换句话说，使用的是多个传感器像素的浮点表示（即：部分像素）。我们可以非常精确地定义这种ROI。因此，在成像系统分辨率有限的情况下，通过使用单个图像测量，像素分割计算方法可以针对间距更小的像素和亚像素提供更准确的配准。

为了确定显示器像素ROI的质心位置，像素分割计算方法使用单个显示器像素位置的初始输入来扫描显示器，并根据设备的像素间距为所有显示器像素设置初步ROI。我们可以使用像素分割计算方法来加权计算每个显示器像素的几何中心，以获取所有图像传感器像素的最高平均亮度，从而精确ROI的范围。然后，我们将ROI设置为显示器像素中心周围带边界的区域，并确定图像传感器像素是全部位于ROI之内、部分位于ROI之内还是位于ROI之外。我们对ROI内的每个图像传感器像素中的部分亮度值进行求和，以确定ROI的总体值（例如：每个显示器像素的亮度）。请参见图2。



为了确保测量精度，必须将ROI精确地定位在每个显示器像素的中心，并且必须对部分位于显示器像素ROI内的图像传感器像素进行加权计算，以确保相邻像素值不计入目标像素的测量中。

图 2 - 传统整像素测量方法与像素分割计算方法之比较图示。在传统方法中（左），当传感器像素区域在ROI范围内大于50%，通过使用传感器像素100%的数据测量显示器像素；当传感器像素区域在ROI范围内小于50%，则通过使用传感器像素0%的数据测量显示器像素。在像素分割计算方法中（右），显示器像素是通过采用数据百分比测量的，这个数据百分比是基于ROI内传感器像素区域面积的百分比。

对于像素级亮度测量，当应用于高分辨率、像素密集型显示器时，像素分割计算方法对测量精度产生重大影响。由于显示器分辨率的提高和单个图像测量分辨率的有限性，测量图像可能包含部分落在单个显示器像素ROI内部或外部的图像传感器像素，这增加了测量错误的可能性，取决于亮度值是否计入目标像素的整体测量值。此外，部分落在ROI内部的单个图像传感器像素可能会采集目标显示器像素以及相邻像素的值。因此，非常重要的一点是，必须将ROI精确地定位在每个显示器像素的中心，并且必须对部分位于显示器像素ROI内的图像传感器像素进行加权计算，以确保相邻像素值不计入目标像素的测量中。

图3和图4描述了像素分割计算测量方法，美国专利10971044号专利对此进行了详细描述²。

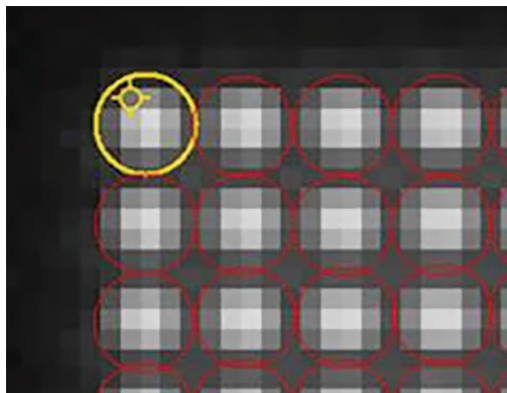


图3 - 显示器测量图像及ROI（其中心与显示器像素中心对位）的一部分。

美国专利10971044号描述了使用像素分割计算来测量电子视觉显示器的方法和系统，并且涵盖适用于非圆形形状亚像素的配准和测量功能。

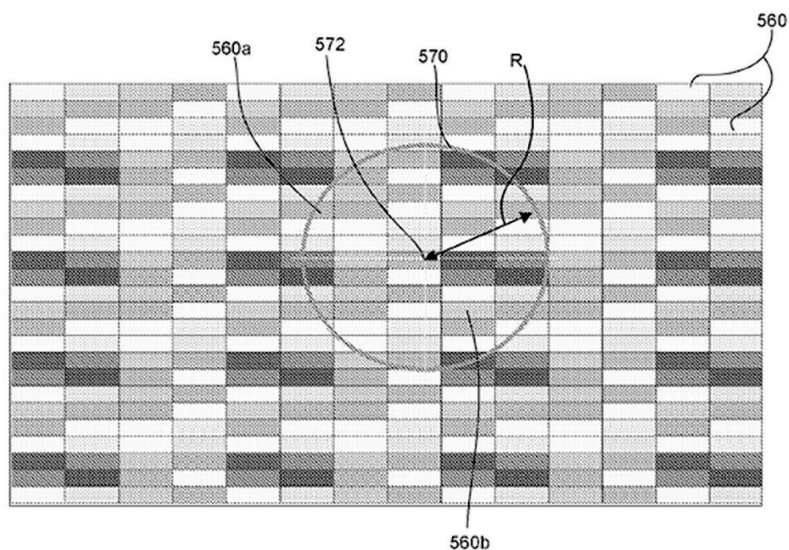


图4 - 显示器像素 (560) 和具有中心 (572) 和半径 (R) 的单个圆形ROI (570) 的示意图。部分传感器像素 (560b) 完全包含在ROI中，而其他传感器像素 (560a) 则部分位于ROI之内，部分位于ROI之外。

评估像素分割计算测量方法的有效性

为了评估像素分割计算测量方法的有效性，瑞淀光学系统利用OLED设备的测量结果进行了实验评估。此评估分别将来自整像素测量方法与像素分割计算测量方法的像素级亮度测量值的准确性与参考测量值进行了比较。

为了建立像素级亮度值参考，我们将瑞淀光学系统的ProMetric®成像光度计与显微镜镜头搭配使用，采集每英寸577个像（将子帧限定在显示器的中心区域，显示器像素为150H×200W）的OLED显示器的超高分辨率测量图像。在参考测量图像中（图5），显示器像素ROI的直径为30个图像传感器像素（30×30传感器像素/显示器像素）。为了模拟典型的测量分辨率，通过对高分辨率参考测量图像进行下采样来生成同一OLED显示器的测量图像。在此下采样图像中（图6），显示器像素ROI的直径为3.2个图像传感器像素（3.2×3.2传感器像素/显示器像素）。

我们对参考测量图像中每个水平像素行的亮度值进行了测量（图5），以提供显示器像素的真实亮度值。然后，我们使用整像素方法和像素分割计算方法对下采样测量图像中每行像素的亮度值进行了测量（图6），以提供典型测量场景的亮度值。

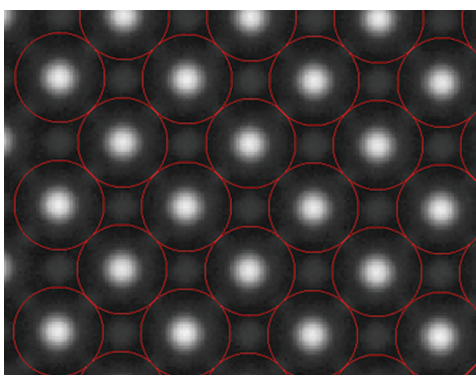


图 5 - OLED显示器的参考测量图像，ROI大小为30×30图像传感器像素/显示器像素。

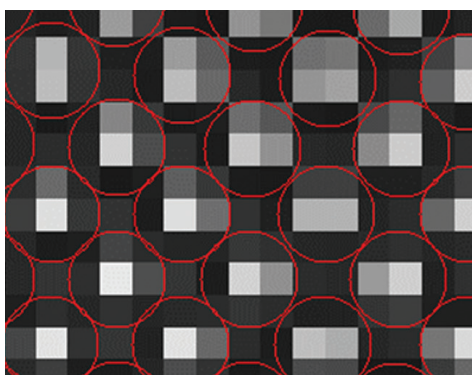


图 6 - 代表典型测量分辨率的下采样测量图像，ROI大小为3.2×3.2图像传感器像素/显示器像素。

此外，我们还使用参考测量值以及整像素方法和像素分割计算方法所测得的值生成了合成测量图像（图7至9）。在合成图像中，每个图像传感器像素报告单个显示器像素的亮度值（即：图像分辨率与显示器分辨率是一对一的）。我们从这些图像中可以明显看出，相比参考测量值（图7）和像素分割计算法测得值（图9）（这些值从视觉上来看非常相似），使用整像素方法测得的亮度值（图8）在不同像素之间呈现出了更大的变化。整像素方法产生的测得值变化是由于未能精确地计算多个图像传感器像素上每个显示器像素ROI的亮度值，可能包含了相邻的显示器像素值（像素的测得亮度高于真实亮度），或者未包含目标显示器像素值（像素的测得亮度低于真实亮度）。

传统的整像素测量方法可能会在测量值中引入虚假的亮度变化。这是由于未能精确地计算图像传感器多个分数像素上每个显示器像素ROI的值，这可能包含了相邻的显示器像素值，或者未包含目标显示器像素值。

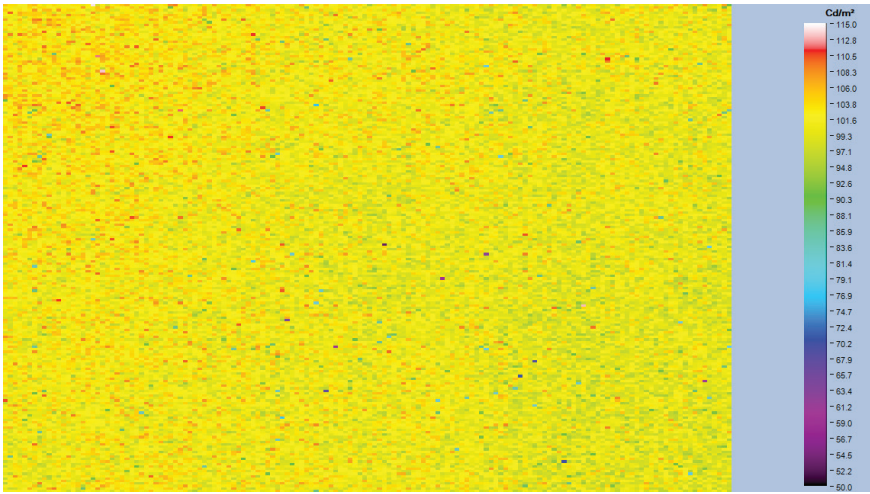


图 7 - 合成测量图像，显示参考测量图像的像素级亮度。测量图像以“伪彩色”标尺显示，代表亮度值。

在合成图像中，每个图像传感器像素报告单个显示器像素的亮度值（即：图像分辨率与显示器分辨率是一一对应的）。这些图像描绘了显示器中不同像素的测得亮度值。

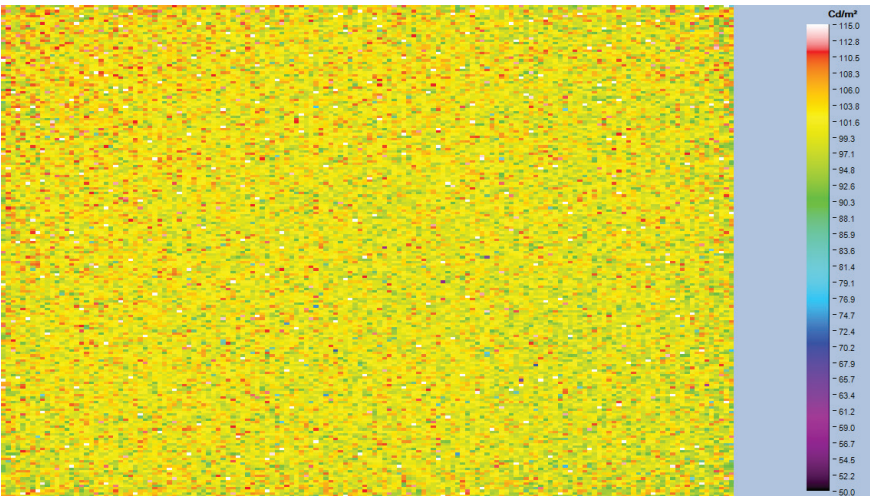


图 8 - 合成测量图像，显示整像素方法测得的像素级亮度。

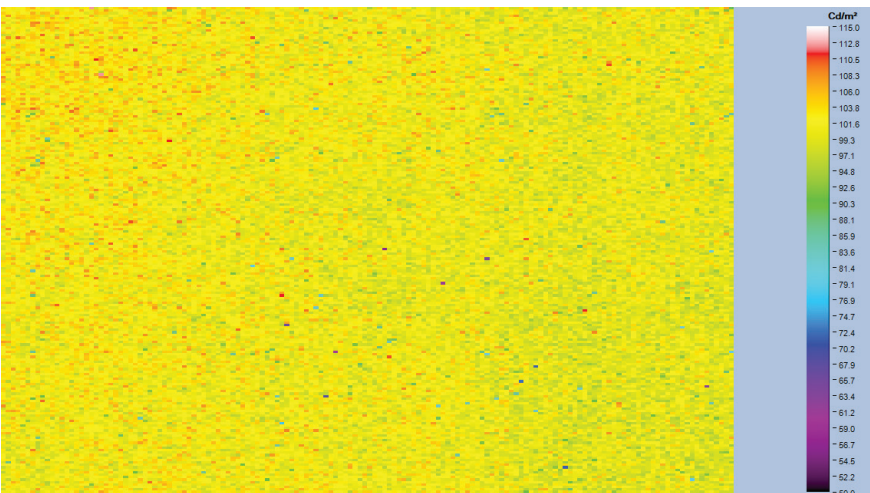


图 9 - 合成测量图像，显示像素分割计算方法测得的像素级亮度。

结果

图10和图11绘制了与每个像素的参考（真实）亮度值相比，采用整像素方法和像素分割计算方法测得的单行像素的像素级亮度值。图10显示，像素分割计算方法的测得值（橙色实线）与参考测量值（灰色实线）高度匹配，而整像素方法的测得值（蓝色虚线）则与参考测量值存在明显的偏差。此外，图11绘制了与每个像素的参考亮度值相比，采用整像素方法和像素分割计算方法测得的每个像素的亮度值误差百分比（ ΔLv , %）。通过像素分割计算方法测得的像素级亮度值与参考测量值相比仅呈现出最小程度的偏差，即不到2%，这充分证明了该测量方法的准确性。这表明，当采用像素分割计算方法时，具有标准分辨率的测量系统能够在单个图像采集期间达到与超分辨率测量系统相当的像素级亮度精度。整像素测量方法与参考测量值之间的偏差高达10%。此偏差表明测量ROI与显示器像素未精确对齐，并且错误地排除或包含了每个像素的重要亮度数据。当对显示器进行校正（demura）时，则可能基于这些数据计算出不准确的校正因子。不准确校正因子的应用在“经过校正的”显示器中将表现为残留或额外的Mura缺陷。

当对显示器进行校正（demura）时，基于整像素方法测得的数据可能计算出不准确的校正因子。应用不准确校正因子会导致残留或额外的Mura缺陷出现在“经过校正的”显示器中——抵消了校正的效果。

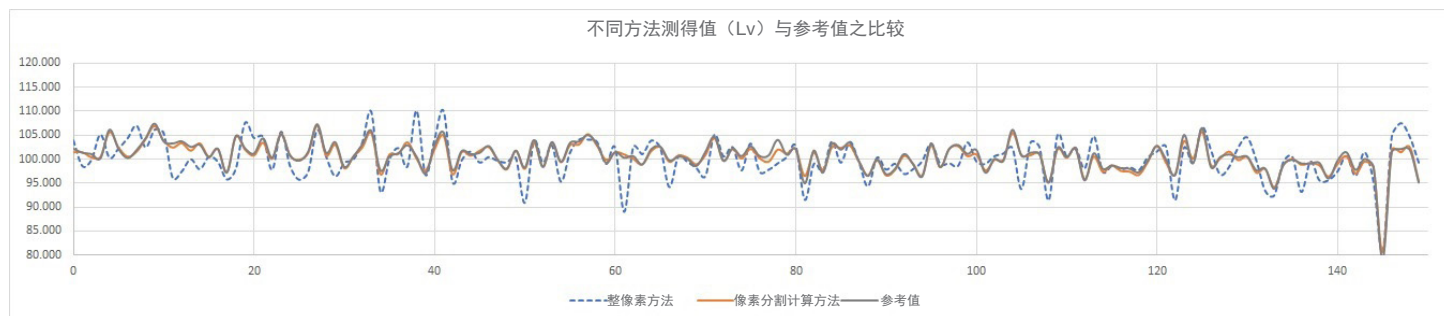


图 10 - 针对同一行像素（200行中的第100行），采用整像素方法和像素分割计算方法（使用下采样图像）测得的标准化亮度（Lv）与参考亮度值（使用参考图像）之比较。

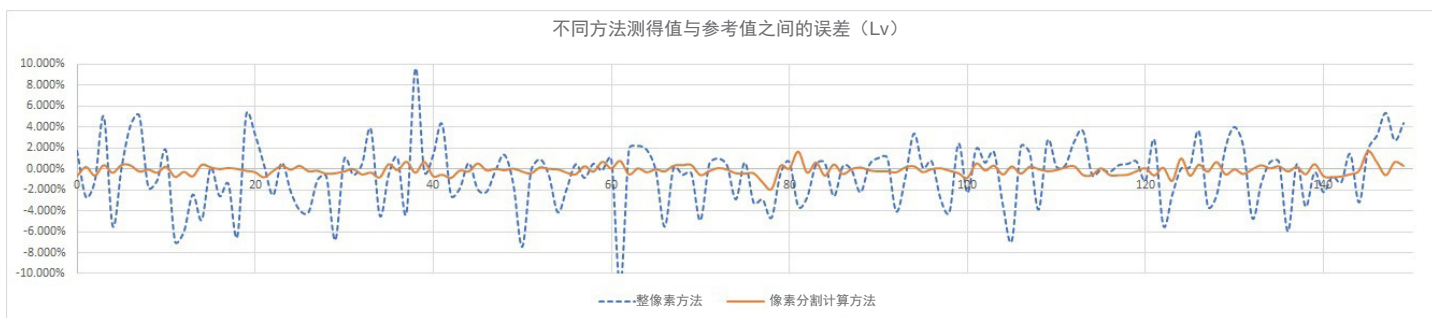


图 11 - 针对同一行像素（200行中的第100行），采用整像素方法和像素分割计算方法（使用下采样图像）测得的亮度值（Lv）与参考亮度值（使用参考图像）之间的误差百分比（ ΔLv , %）。

结论和影响

OLED、microLED和其他自发光显示器带来了越来越具有挑战性的测量场景：相比现有基于图像的测量系统，这些显示器具有更高的分辨率和像素密度，并且存在固有的像素间亮度变化性，这使显示器校正成为了一项必要的质量控制措施。整像素测量方法是专为大型显示器和多图像测量场景而开发的，并不适用于高速生产线上新型显示器的测量和校正过程。整像素方法会在最终测量中引入明显的误差，这在最终的demura过程中表现为像素间的显著差异，并且抵消了校正的效果。在人眼中，这种效应很容易被感知为校准不佳且不均匀的显示亮度，这对于显示器制造商来说通常是无法接受的。作为替代解决方案，全新的像素分割计算方法能够使具有相对较低的传感器-显示器分辨率的测量系统实现比整像素方法更高的测量精度，可匹配用于单个图像测量的高分辨率系统的精度。这可以确保Mura缺陷校正的有效性，以实现极高质量的显示器外观，从而保护制造资源，并简化生产操作。

像素分割计算方法最初被整合到了瑞淀光学系统OLED显示器客户所使用的demura流程中，这些客户显著提高了生产良率，促进了全球智能设备市场中OLED显示器的商业化。这些改进表明了瑞淀开发的多种测量方法的优点，对于分辨率越来越高的新型显示器，这些测量方法可优化每个显示器像素所测得数据的准确性，包括像素分割计算方法、利用焦点内测量方法消除摩尔纹和专有的摩尔纹过滤流程以及间隔像素模式测量方法³。

分数像素方法能够使具有相对较低的传感器-显示器分辨率的测量系统实现比整像素方法更高的测量精度，可匹配用于单个图像测量的高分辨率系统的精度。

参考文献

1. Rykowski, R, Albrecht, RE, inventors; Radiant Vision Systems LLC, assignee. Method and apparatus for on-site calibration of visual displays. United States patent US7907154B2. 2011 March 15.
2. Pedeville GR, Rouse JH, inventors; Radiant Vision Systems LLC, assignee. Methods and systems for measuring electronic visual displays using fractional pixels. United States patent US10971044. 2021 April 6.
3. Rykowski R, inventor; Radiant Vision Systems LLC, assignee. Methods and systems for measuring and correcting electronic visual displays. United States patent US9135851B2. 2015 Sept 15.
4. DSCC Releases Latest OLED Forecast [Internet]. Display Supply Chain Consultants. 2018 [cite 22 November 2019]. Available from: <https://www.displaysupplychain.com/blog/dsc-releases-latest-oled-forecast>
5. Micro-LED Market by Application [Internet]. MarketsandMarkets. 2019 [cited 22 November 2019]. Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/micro-led-market-119830236.html>
6. Lindsay JW, Rhoads GB, inventors; Tektronix Inc, assignee. Focusing and screen calibration method for display screen coupled to video camera. United States patent US4754329A. 1988 June 28.
7. Yuan JY, et al. A High - Accuracy DeMura Algorithm Based on Sub - Pixel Registration. SID Intl Symp Digest of Tech Papers. 2019;50(S1):459-461.
8. Yang Q, Hoffman D, Smith P, Pfeiffer M, inventors; Brillian Corp, assignee. Testing liquid crystal microdisplays. United States patent US20030215129A1. 2003 Nov 20.



随着显示器分辨率的提高，成像系统面临的挑战在于，在单个图像分析过程中应用越来越有限的相对成像分辨率的同时（保证生产效率所必需），继续提供准确的像素级测量。像素分割计算配准和测量方法可以提高通过标准分辨率系统测得的像素级值的准确性，从而确保对高分辨率OLED、miniLED和microLED显示器进行有效的质量评估和Mura缺陷消除。

立即联系我们

Radiant在北美，中国和韩国设有直接销售，工程和支持办事处以及人员。在世界其他地区，Radiant则由柯尼卡美能达公司（Konica Minolta）传感事业部当地办事处提供销售和支持。

美洲

全球总部

Radiant Vision Systems
18640 NE 67th Ct.
Redmond, WA 98052 USA
+1 425 844-0152
Info@RadiantVS.com

区域办事处

加利福尼亚库比蒂诺
密歇根州诺维

亚洲

中国总部

中国上海

区域办事处

中国深圳
中国苏州

日本

日本东京

韩国

韩国城南

台湾

台湾竹北

越南

越南海防市

亚太

新加坡

欧洲

欧洲总部

荷兰Nieuwegein

区域办事处

比利时迪海姆
法国巴黎
德国慕尼黑
意大利米兰
波兰弗罗茨瓦夫
瑞典Vastra Frolunda
瑞士Dietikon
土耳其伊斯坦布尔
英国沃灵顿



A Konica Minolta Company

请通过www.RadiantVisionSystems.com联系您所在地的瑞淀办事处。

© 2021年瑞淀光学系统公司版权所有。保留所有权利。规格若有更改，恕不另行通知。
瑞淀、瑞淀光学系统、ProMetric、ProSource、VisionCAL和Source Imaging Goniometer为瑞淀光学系统公司的注册商标。
2021/09/12