

## 一种新的具有均匀一维灰度直方图的三维颜色直方图均衡方法

韩继喜、杨世荣和李秉国, IEEE 成员

摘要—大多数颜色直方图均衡化方法不能产生灰度均匀直方图。在将颜色直方图均衡化的图像转换成灰度后, 转换后的图像的对比度比一维灰度直方图均衡化的图像差。我们提出了一种新的三维颜色直方图均衡化方法, 通过在三维颜色空间中定义一个新的累积概率密度函数来产生灰度直方图的均匀分布。给出了自然和合成图像的测试结果, 比较和分析了基于三维颜色直方图的各种颜色直方图均衡算法。我们还对现有方法的非理想性能进行了理论分析。

索引术语—彩色图像增强、灰度直方图均衡化、三维彩色直方图均衡化。

## I. 引言

随着公众对娱乐和通信消费的增长, 数字图像的使用迅速增加

通信设备, 如数字电视、数码相机、扫描仪、移动电话相机和个人媒体播放器。对更高图像质量的期望促使研究人员开发用于图像增强的尖端技术。直方图均衡化由于其在对比度增强中的有效性和简单性而成为最广泛使用的技术之一。因此, 直方图均衡化已经嵌入到大多数消费数码相机中。直方图等化以这样一种方式修改像素值, 即所得图像的强度直方图变得均匀。然后, 输出图像利用所有可能的亮度值, 从而增强对比度[ 1 ]。

首先, 我们将回顾以往基于三维直方图的颜色直方图均衡化方法的研究。由于彩色信号的多维特性, 彩色图像的灰度均衡比一维均衡更复杂。典型的彩色图像有三种颜色成分: 红色、绿色

手稿于 2009 年 8 月 21 日收到; 2010 年 1 月 18 日和 2010 年 6 月 2 日修订; 2010 年 8 月 3 日接受。出版日期 2010 年 8 月 26 日; 当前版本的日期为 2011 年 1 月 14 日。这项工作得到了知识经济部、韩国工业技术基金会( KOTEF )通过战略技术人力资源培训项目、韩国教育、科学技术部和韩国科学与工程基金会的加速研究计划以及 2008 - 1806 - 1 年拨款的 Ewha W . 大学的部分支持。负责协调手稿审查并批准出版的副主编是耶稣·马洛教授。

作者是韩国首尔 120 - 750 大学电子工程系(电子邮件: jiheehan87227@gmail.com; sejungyang@gmail.com; bulee @ Ewha . AC . kr )。

本文中一个或多个数字的彩色版本可在 <http://ieeexplore.ieee.org> 在线获得。

数字对象标识符 10.1109

和蓝色。Trahanias 和 Vanetsanopoulos [2] 提出使用三维颜色直方图, 而不是独立地将一维直方图均衡化应用于每个 R、G 和 B 通道。他们定义理想输出概率密度函数( pdf )在颜色空间中是一致的, 累积分布函数( cdf )是 pdf 在一个大小的盒子中的累积

在三维色彩空间中。虽然统一的 pdf 是灰色的

缩放显著增强了图像的对对比度，三维颜色空间中的均匀 pdf 不会导致亮度域中具有盒形 cdf 的均匀 pdf。使用这种方法均衡的大多数自然图像显示更高浓度的亮像素。我们在第二节中分析了对比度增强性能不理想背后的理论。Menotti 等人[ 3 ]通过定义一个新的 cdf 部分克服了对比度增强的不足，该 CDF 是每个颜色通道的边缘 CDF 的乘积。然而，当颜色相关性较低时，这种启发式方法不能正常工作。多维直方图均衡化的其他方法包括加权一维边缘直方图均衡化[ 4 ]，以及一维边缘 pdf 的迭代匹配[ 5 ]。

本文阐述了三维颜色直方图均衡算法非理想性能背后的原因，并提出了一种新的 RGB 颜色空间 cdf 定义，均衡后亮度分布均匀。由于灰度直方图均衡化是增强对比度的有效工具，实现均匀亮度 pdf 是图像增强的重要特征。

还有许多其他颜色直方图均衡化方法与三维直方图没有直接关系。Mlsna 和 Rodriguez [6]引入了三维颜色空间中的直方图爆炸方法。这种方法通过沿从颜色空间的中心点到红、绿、蓝边界点的直线均衡一维直方图来扩展图像的颜色空间。同一作者还将这种方法应用于 CIELUV 色彩空间[ 7 ]。皮塔斯提出了一种多通道直方图均衡化方法，[ 8 ]在 HSI 颜色空间中使用条件概率密度函数，鲁奇塞建议在 x-y 颜色空间中进行均衡化[ 9 ]。

几种新的方法是基于优化的。金和杨用高斯函数插值离散 pdf，并应用非线性优化[ 10 ]。莫罗维奇和孙利用线性规划[发现了三维颜色直方图变换。Arici 等人定义了由图像变化、直方图偏离目标和直方图平滑度[ 12 ]组成的成本函数。Chen 等人提出的灰度级分组( GLG )，该分组将直方图箱的相邻低值分组，然后迭代地重新分配这些组[ 13 ]。大多数直方图均衡算法使用整个图像的直方图。然而，自适应或局部图像的使用增强了具有不同映射的每个区域，这取决于

1057 - 7149 / \$ 26.00 2011 IEEE

HAN 等人:一种新的具有均匀一维灰度直方图的三维彩色直方图均衡化方法 507

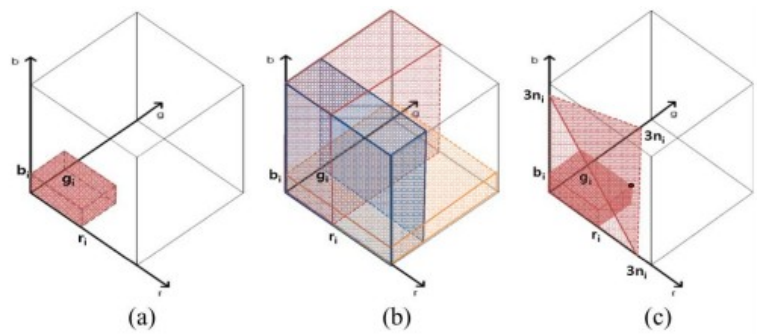


图 1。输入 cdf 的支持区域-

每种方法。Trahanias 方法

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

。三个边际 CDF 在

梅诺蒂方法

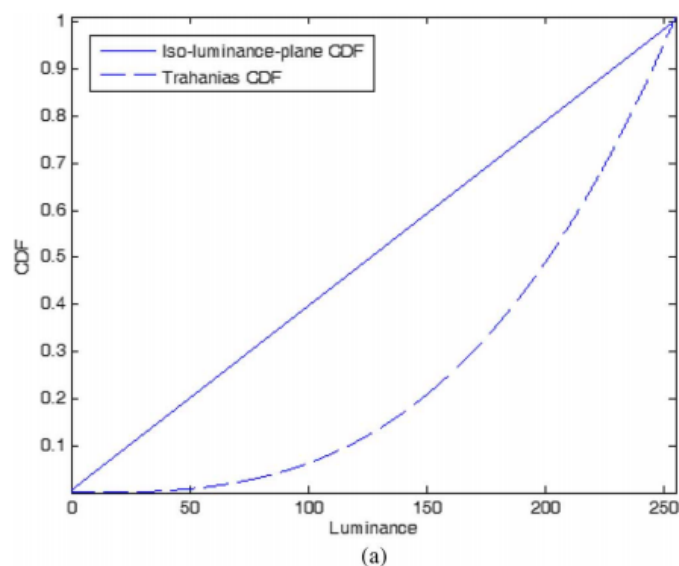
-

-

。提议的等亮度平面方法。

-

-  
-  
-  
  
-  
  
o



基于局部图像直方图。因此，它可以在背景中以额外的复杂性显示细节[ 14 ]，[ 15 ]，。

直方图可能在特定像元具有大量像素的情况下具有“尖峰”，或者在对应像元为空的情况下具有“间隙”。传统的直方图均衡算法修改像素值，同时保持峰值或间隙不变。然而，最近采用直方图平滑的方法重新分布尖峰并填充间隙以实现均匀的 pdf [12]，

[ 13 票、[ 16 票、[ 17 票]。因此，最近使用直方图平滑的方法可以增加熵，而传统算法不能。Bassiou 和 Kotropoulos [16]在 HSI 颜色坐标中应用了概率平滑。他们证明熵增加，库尔巴克-莱布勒散度减小。其他工作也采用了增加熵的 bin 再分配。由于当前的方法不采用容器再分配，熵不会增加。许多作品也是基于主观人类颜色模型发表的——[ 18 ]，[ 19 ]。最近，李等人。提出了一种基于照相机曝光颜色特性的方法，[ 20 ]。该方法利用曝光和相机颜色之间的非线性关系，在强度修改后校正颜色。因此，该算法可以应用于特定相机模型的嵌入式直方图均衡算法。

奈克和穆尔蒂·[ 21 ]提出了一个新的框架，使人们能够将一类灰度图像增强方法应用于彩色图像。该通用框架也适用于颜色直方图均衡化:一维直方图均衡化应用于亮度分量，并且色调保持变换应用于寻找新的颜色值。因此，除了数值舍入误差之外，该算法的结果与我们提出的方法相同。然而，我们的方法有不

同的理论基础，这是从三维颜色直方图。我们可以通过在颜色空间中定义一个新的 cdf 来实现灰度的均匀分布。

本文提出了一种新的三维颜色空间 cdf，它能产生亮度分量的均匀直方图。比较了基于自然图像和合成图像的三维直方图均衡化方法，并分析了不同性能的原因。本文的组织结构如下。第二节总结了灰度图像的典型直方图均衡化算法

图 2。Trahantias 和等亮度平面方法的灰度 pdf 和 cdf。Trahantias 和等亮度平面方法的理论灰度 CDF。Trahantias 和等亮度平面方法的理论灰度 pdf。

见第三节。第四节给出了实验结果，最后第五节给出了我们的结论

二.基于三维颜色直方图的前期工作综述

首先，我们将简要描述一维灰度直方图均衡化方法，这是三维直方图均衡化的基础。其次，我们将比较基于三维直方图的直方图均衡算法。最后，我们将分析导致不同性能的原因。

灰度直方图均衡化

灰度图像中直方图的每个格代表图像中具有相同灰度值的像素数量。直方图均衡化方法通过以这样的方式映射像素值来增强图像的对比度，使得所得图像的直方图变得均匀[ 1 ]。因为该算法要求统一使用所有灰度级，所以它

508

IEEE 图像处理交易，第 20 卷，第 2 期，2011 年 2 月

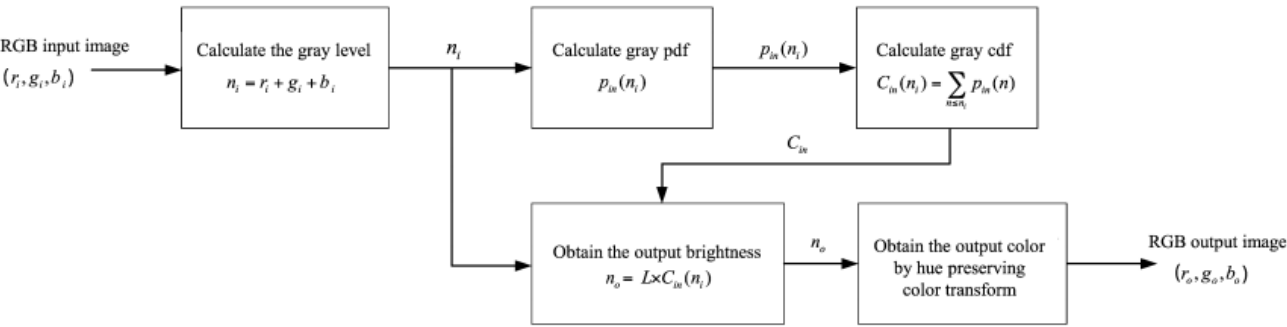


图 3。提出的直方图均衡化方法框图。计算灰度的 Cdf，并从 cdf 获得输出灰度。通过对增强的亮度应用色调保持颜色变换来获得均衡的颜色分量。

在增强过度曝光或未曝光图像的对比度方面非常有效。这种方法由于其简单有效而被广泛应用于许多消费数码相机和手机相机中。

我们首先描述灰度图像的直方图均衡化。然后，我们将在下面的小节中将其扩展到三维。让原始输入图像和直方图均衡化图像。它们的 pdf 表示为，和

相应的 CDF 分别为和。我们将原始输入图像的强度表示为，将结果输出图像的修改强度表示为。因为输出 pdf 应该是一致的，即，强度级别的数量在哪里。理想的输出 cdf 为

为

(1)

因为在直方图均衡化之后，

我们可以使用(1)获得输出强度。我们在下面的小节中介绍三维直方图均衡化。

基于三维颜色直方图均衡化的先前方法

请注意，输出 pdf 在颜色空间中被定义为一致的，这意味着

。输出颜色是满足以下条件的最近值

以及每种颜色的变化

组件是相同的，即。

这种变换方法是保留[色调的一种方式。由于我们必须将结果颜色的范围限制为，结果颜色可能与色域超出可实现范围的某些像素的指定亮度不匹配。如果我们将直方图均衡化应用于颜色分量之间具有高度相关性的自然图像，亮像素的分布会增加。为了研究明亮强度水平上这种较高分布的原因，我们分析了一个简化的情况，其中 R、G 和 B 分量相同，即，

。请注意，该测试图像的颜色之间的相关性等于 1。该图像的最终 cdf 与图 2(a)所示的(3)成比例。为了简化分析，我们假设强度是连续的。这是因为输出图像的 pdf，

是 cdf w.r.t 的区别

(4)

应用于彩色图像的直方图均衡化方法比灰度图像更复杂，因为三维直方图需要颜色空间的三个分量，例如红、绿、蓝。Trahanias 和 Venetsanopoulos [2]将 RGB 颜色空间中的 cdf 定义为

在哪里

(2)

均衡后得到的 pdf 与

。如图 2(b)所示，均衡后得到的 pdf 在亮度级具有更高的分布。因此，直方图均衡化后图像变得更亮。该 pdf 的理论平均亮度为 194.0，而均匀分布的理论平均亮度为 127.5。在我们的实验中，在图 4(b)、6(b)、8(b)和 10(b)中可以观察到亮像素的这种更高密度的趋势。[的实验结果 3]和

[16]也证实了这一趋势。为了减少过度增强，Menotti 提出采用输入 cdf，将三个通道的每个标记 cdf 相乘，即，

The summation volume is a rectangular box as shown in Fig. 1(a). The desired output cdf is given as

$$\begin{aligned} C_{\text{out}}(r_o, g_o, b_o) &= \sum_{r=0}^{r_o} \sum_{g=0}^{g_o} \sum_{b=0}^{b_o} p_{\text{out}}(r, g, b) \\ &= \sum_{r=0}^{r_o} \sum_{g=0}^{g_o} \sum_{b=0}^{b_o} \frac{1}{L^3} \\ &= \frac{(r_o + 1)(g_o + 1)(b_o + 1)}{L^3}. \end{aligned} \quad (3)$$

(5)

图 1(b) 示出了三个三层 CDF 的支撑区域。我们使用前一种情况下使用的相同灰度图像来分析输出 pdf。如果 1 - D 3 - ginal cdf 为，则 3-D 输出 CDF 变为

。因为输出 pdf 在三维中是均匀的

色彩空间，我们有:

因此、或

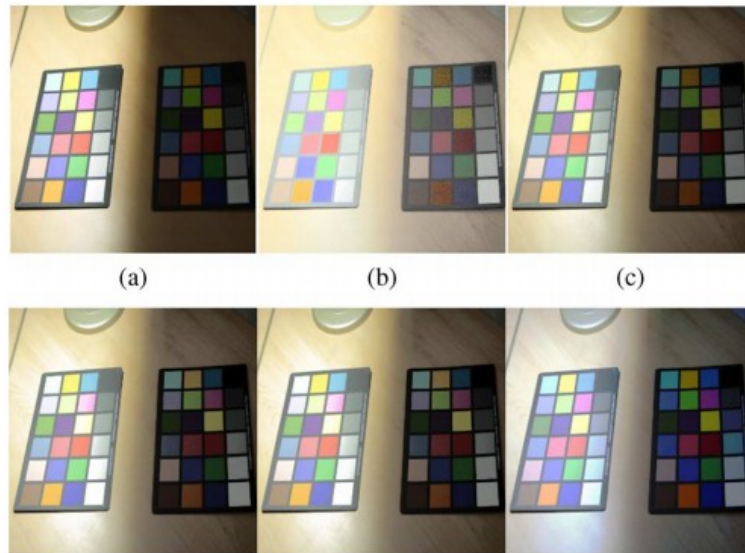
。因此，pdf 是均匀的，即，

HAN 等人:一种新的具有均匀一维灰度直方图的三维彩色直方图均衡化方法 509

表一

直方图均衡化后测试图像的平均亮度

	Original	Trahanias	Menotti	Naik	Iso Luminance Plane	Separate RGB Equalization
Two color chart image	112.1	176.7	127.2	128.0	127.8	128.0
Synthetic Image	63.7	190.4	153.4	128.6	128.5	170.3
Lena	127.8	166.4	130.5	128.0	127.8	128.0
Pepper	110.5	158.1	129.0	128.0	127.8	128.0



对于颜色直方图均衡化:我们在强度域中应用一维灰度直方图均衡化,并通过应用缩放和移位从修改后的强度值中获得新的颜色。该方法的一维灰度直方图是单一形式的。因此,该算法的结果相当于我们提出的方法。

### 三.提出的方法:等亮度平面边界的彩色多普勒频移

在第二节-第二节中,我们观察到 R、G 和 B 盒求和 cdf 在强度域中不产生均匀的 pdf。我们现在将提出一种新的三维直方图均衡化方法来获得强度域中的均匀分布。图 3 描绘了所提出的方法的框图。我们将新的三维 cdf 定义为

图 4。两幅麦克白图图像直方图均衡化的结果。输入图像。特拉哈尼亚斯方法的结果。梅诺蒂方法的结果。奈克方法的结果。拟议的等米露平面法的结果。每个 RGB 颜色通道的均衡图像。图像( c )至( e )相似,而( b )比其他图像更亮。

。这个方法显示 sat-

对于大多数颜色成分之间具有高度相关性的自然图像来说,这是一个实验结果。

然而,如图 10(c)和 11(c)所示,当颜色之间的相关性不高时,梅诺蒂的方法也导致图像增强。为了克服这一限制,我们提出了一种新的彩色多普勒频移,这种频移可以在强度域产生均匀的彩色多普勒频移,而与图像中的 R、G 和 B 分量的相关性无关。

### 将灰度图像增强推广到彩色图像

奈克和穆尔蒂[ 21 ]提出了一种将任何灰度图像处理推广到彩色图像的方案。首先,该方案产生一个强度图像。然后应用灰度图像增强算法获得新的强度图像,这是原始图像的增强版本。强度被定义为,而增强的水平被类似地表示为。该算法使用缩放和移位来更新颜色分量,以匹配强度的变化,即。

众所周知,颜色的缩放和移动可以保持色调。如果强度比小于 1,则输出小于 1,如果输出小于 1,则输出将对补色分量应用类似的规则,以避免色域问题,即所得颜色落在可实现的 RGB 空间范围之外。可以应用这个通用框架



( 6 )

输入强度在哪里？总数-

信息体积由强度如图 1(c )所示的平面限定。请注意，输入 cdf 是强度的函数。因为我们可以将亮度定义为，所以平面可以被视为恒定亮度平面。术语 “等亮度平面” 来自这个属性。由于理想输出 pdf 在所有值上都是一致的，因此输出 cdf 为

( 7 )

cdf 的这种等亮度定义导致了与灰度直方图均衡化相同的直方图均衡化。因为，我们获得

。

因为我们有均衡图像的亮度分量，所以每个颜色分量都可以通过缩放或移位获得，而没有色域问题，如前一节所示。[采用换档，[采用换档，[采用缩放和换档。由于这两种方法没有太大的差异，我们选择在[采用这种方法。

现在我们将估计该方法的计算复杂度和内存需求。输入图像 cdf 是强度的函数，即，因此，它需要具有长度的一维阵列。首先，我们通过计算对应于相同强度的像素来获得强度 pdf。pdf 的计算需要对每个像素进行增量运算。其次，输入 cdf 通过将 0 至

，即，用

。第三，一旦我们计算出均衡

亮度来自( 7 )，我们可以从缩放和移动中获得颜色分量，如在[ 21 ]。这两个操作需要每像素几次乘法和加法。我们观察到

510

IEEE 图像处理交易，第 20 卷，第 2 期，2011 年 2 月

表二

线性 CDF 的平均绝对误差

	Trahanias	Menotti	Naik	Iso LuminancePlane	Separate RGB Equalization
Two color chart image	0.20	0.016	0.0019	0.0015	0.016
Synthetic Image	0.25	0.11	0.0047	0.0038	0.17
Lena	0.18	0.050	0.0019	0.0015	0.017
Peppers	0.14	0.068	0.0017	0.0014	0.061

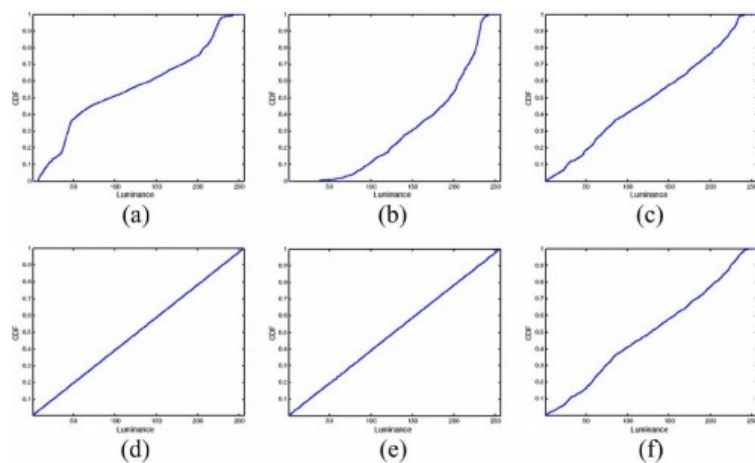


图 5。图 4 的合成图像的灰度 cdfs。( a )原始图像的 Cdf。Trahanias 方法的 Cdf。Menotti 方法的 Cdf。Naik 方法的 Cdf。( e )提议的等亮度平面方法的 Cdf。( f )每个 RGB 颜色通道的均衡图像的 Cdf。cdfs ( c )到( e )几乎是线性的，因此，相应的 pdf 是一致的，而 pdf ( b )是不一致的，因为 cdf 不是线性的。



计算复杂度与像素数成正比。

图 6。莉娜直方图均衡化的结果。输入图像。特拉哈尼亚斯方法的结果。梅诺蒂方法的结果。奈克方法的结果。提议的等亮度平面方法的结果。每个 RGB 颜色通道的均衡图像。

#### 四.实验结果与分析

我们现在将使用彩色图表图像、莉娜、佩珀和合成图像来比较第二节和第三节中解释的四种方法的性能。图 4(a )示出了由不同照明条件下的两个麦克白图组成的测试图像。使用 Trahanias 直方图均衡化图像

[图 4(b)]图 4(c )、( d )和( e )显示了类似的结果。然而，图 4(b )比第二-B 节中预测的其他图像更亮。表 1 示出了所有方法的均衡图像的平均亮度。请注意，Naik 方法和等亮度平面方法的平均亮度约为

127.5, 这是 pdf 具有均匀分布时的平均值。Trahanias 方法的平均亮度高于其他方法。然而, 它与理论值 194.0 不一致, 因为颜色相关性不是我们简化的假设。

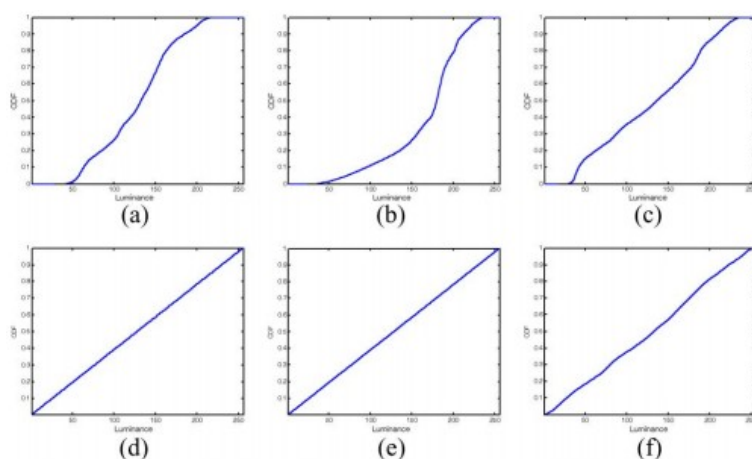
图 5 示出了每个合成图像的 cdfs。Naik 算法和我们提出的算法得到相似的线性 cdf。线性 cdf 意味着相应的 pdf 是一致的, 因为 pdf 是 cdf 的斜率。然而, Trahanias 方法产生的 cdf 类似于( 3 )中预测的三次曲线。线性 cdf 的平均绝对误差如表二所示。奈克方法和提出的方法表明

与 Trahanias 或 Menotti 方法相比误差较小。一般来说, Menotti 方法的结果不同于单独的 RGB 信道均衡。然而, 两种方法(图 5(c)和( f ) )的灰色 CDF 是相似的。这是因为 R、G 和 B 通道的标记 cdf 对于两个彩色图表图像是相似的。我们注意到, 如果通过观察( 5 )每个颜色分量的标记 cdf 是相同的, Menotti 算法等同于独立的一维颜色通道均衡。尽管灰色 cdf 相似, 但由于颜色不匹配, 两种方法的结果图像(图 4(c)和( f ) )看起来不同。

图 6 和图 8 示出了对莉娜和佩珀图像的颜色直方图均衡算法的结果, 图 7 和图 9 表示相应的灰度 cdfs。不管测试图像如何, 每种均衡方法的特性都是一致的。

我们设计了一幅合成图像来说明如图 10 所示的梅诺蒂方法的不同特征。图 10(a)是测试图像, 其中, G 和 B 相同, 并且从 0 到 127 从左向右线性增加。图 10(b)-(e) 示出了四种方法的合成图像。图 10(b) 所示的透射法的结果是最亮的。注意, 图 10(c) 的 Menotti 算法的结果与我们的不同, 因为该测试图像在 R 和 G 或 B 之间没有高相关性。图 11 示出了每个结果图像的 CDF。注意 Naik 方法和我们的等亮度平面方法的 CDF 线性增加, 而 Trahanias 和 Menotti 方法的 CDF 是非线性的。的理论 cdf

HAN 等人一种新的具有均匀一维灰度直方图的三维彩色直方图均衡化方法 511



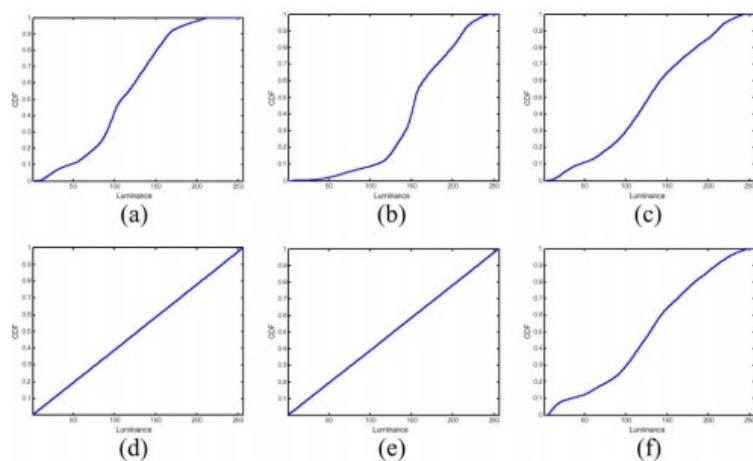


图 7。图 6 的合成图像的灰度 cdfs。 ( a )原始图像的 Cdf。 Trahanias 方法的 Cdf。 Menotti 方法的 Cdf。 Naik 方法的 Cdf。 ( e )提议的等亮度平面方法的 Cdf。 ( f )每个 RGB 颜色通道的均衡图像的 Cdf。

图 9。图 8 的合成图像的灰度 cdfs。 ( a )原始图像的 Cdf。 Trahanias 方法的 Cdf。 Menotti 方法的 Cdf。 Naik 方法的 Cdf。 ( e )提议的等亮度平面方法的 Cdf。 ( f )每个 RGB 颜色通道的均衡图像的 Cdf。

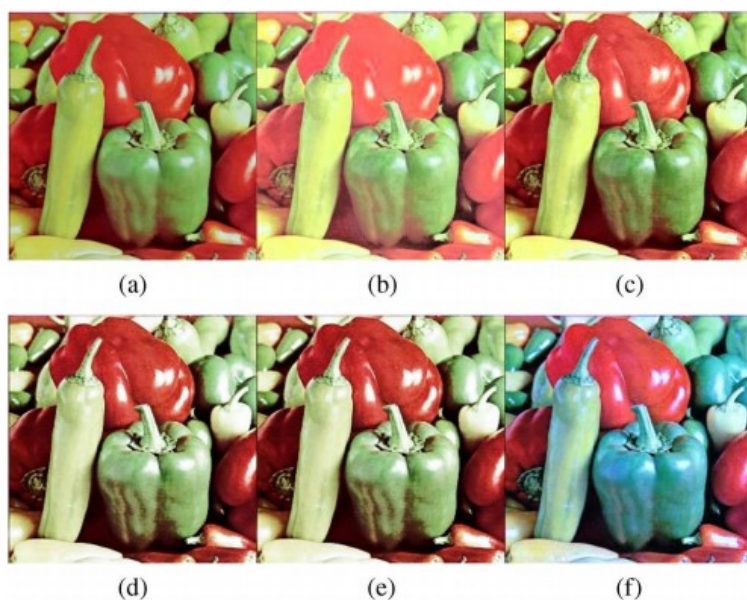


图 8。胡椒直方图均衡化的结果。输入图像。特拉哈尼亚斯方法的结果。梅诺蒂方法的结果。奈克方法的结果。提议的等亮度平面方法的结果。每个 RGB 颜色通道的均衡图像。

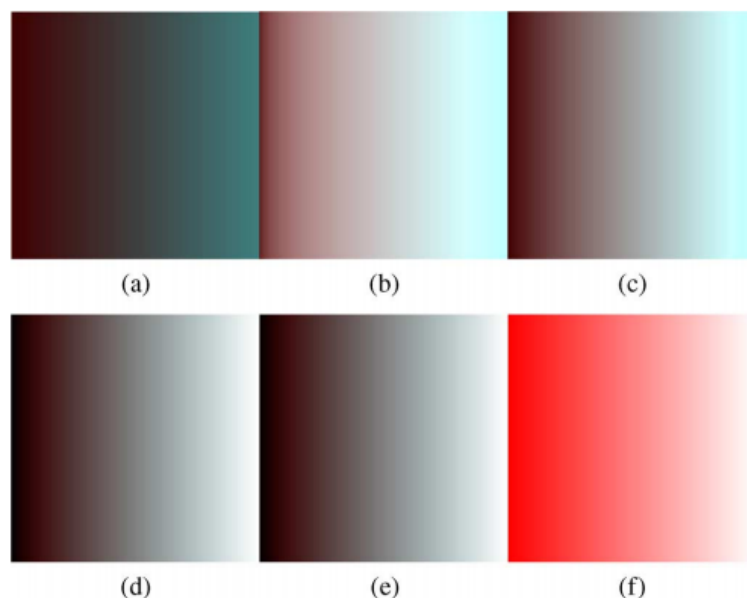


图 10。合成测试图像直方图均衡化的结果。输入图像，其中-，G 和 B 相同，从 0 到 127 从左向右线性增加。Trahanias 方法的合成图像。梅诺蒂方法的结果。奈克方法的结果。等亮度平面法的结果。每个 RGB 颜色通道的均衡图像。

Trahanias 方法是，而 Menotti 方法是针对这个特定的测试图像。

## 五.结论

比较了基于三维直方图的颜色直方图均衡化方法在 RGB 颜色空间中的性能。通过提出密集的 cdf 和 pdf，分析了 Trahanias 算法增亮或过均衡效应的理论基础。梅诺蒂方法对大多数自然图像显示出令人满意的结果。然而，我们发现 Menotti 算法的性能取决于颜色分量的相关性。自然图像和合成图像的评价结果证实了我们的理论分析。我们引入了等亮度平面 cdf，并证明了所提出的方法可以得到灰度均匀的 pdf。因此，我们认为所提出的方法有效地提高了亮度对比度。

图 11。图 10 的合成图像的灰度 cdfs。( a )原始图像的 Cdf。Trahanias 方法的 Cdf。Menotti 方法的 Cdf。Naik 方法的 Cdf。( e )提议的等亮度平面方法的 Cdf。( f )每个 RGB 颜色通道的均衡图像的 Cdf。

512

IEEE 图像处理交易，第 20 卷，第 2 期，2011 年 2 月

承认

作者感谢匿名评论者的宝贵意见和建议，这些意见和建议极大地改进了本文。

参考

[ 1 ]冈萨雷斯和伍兹，数字图像处理，第 3 版。新泽西州上马鞍河:普伦蒂斯霍尔，2009 年。

- [2] P. E .特拉哈尼亚斯和 A. N .威尼斯诺普洛斯, 《通过三维直方图均衡化增强彩色图像》, 载于《过程》。第 15 届国际采购协会。糖膏剂模式识别。 , 1992 年 8 月至 9 月, 第 1 卷, 第 545 - 548 页。
- [ 3 ]梅诺蒂, 纳伊曼, 阿·德·阿劳霍和法康, “一种使用贝叶斯框架的彩色图像增强的快速色调预服务直方图均衡化方法”, 发表于《过程》。第 14 国际。车间系统。 , 信号图像处理。(国际劳工统计学会), 2007 年 6 月, 第 414 - 417 页。
- [ 4 ]阿肯·福里斯特, 《多通道图像的颜色直方图均衡化》, 载于《过程》。IEEE 维斯。图像信号处理。 , 2005 年 12 月, 第 152 卷, 第 6 期, 第 677 - 686 页。
- [ 5 ]皮蒂埃, 柯卡兰和达约, “多维概率密度函数传递及其在颜色传递中的应用”, 载于《工艺学》。IEEE 国际。糖膏剂计算机。维斯。 , 2005 年 10 月, 第 2 卷, 第 1434 - 1439 页。
- [ 6 ]马丁纳和罗德里格兹, “多光谱图像的多变量对比度增强技术”, 电气和电子工程师协会。geosci。《遥感》, 第 33 卷, 第 1 期, 第 212 - 216 页, 1995 年 1 月。
- [ 7 ]张清泉, 罗德里格兹, 《彩色图像的三维直方图修正》, 载于《过程》。IEEE 国际。糖膏剂图像处理。 , 1996 年 9 月, 第 3 卷, 第 1015 - 1018 页。
- [ 8 ]皮塔斯和金尼基利斯, “彩色图像增强和建模中的多通道技术”, 电气和电子工程师协会。图像处理。 , 第 5 卷, 第 1 期, 第 168 - 171 页, 1996 年 1 月。
- [ 9 ]吕克塞, 米特拉和慕克吉, “一种基于 xy 色度图中饱和度和去饱和度的新算法, 用于彩色图像的增强和重调”, 载于《工艺学》。IEEE 国际。糖膏剂图像处理。 , 2001 年 10 月, 第 1077 - 1080 页。
- [ 10 ]金和杨海胜, “通过将各向同性高斯混合拟合为均匀分布的多维直方图均衡化”, 载于《过程》。int。糖膏剂图像处理。 , 2006 年 10 月, 第 2865 - 2868 页。
- [11] J .莫罗维奇和孙宝升, “精确的三维图像颜色直方图转换”, 模式识别。莱特。 , 第 24 卷, 第 11 期, 第 1725 - 1735 页, 2003 年 7 月。
- [ 12 ]阿里奇和迪巴斯, “直方图修正框架及其在图像对比度增强中的应用”, IEEE Trans .图像处理。 , 第 18 卷, 第 9 期, 第 1921 - 1935 页, 2009 年 9 月。
- [ 13 ]陈振英, 阿比迪, 佩奇和阿比迪, “灰度分组:优化图像对比度增强的自动方法——第一部分:基本方法”, IEEE Trans .图像处理。 , 第 15 卷, 第 8 期, 第 2290 - 2302 页, 2006 年 8 月。
- [ 14 ]史塔克, “使用直方图均衡化的一般化的自适应图像对比度增强”, 电气电子工程师协会。图像处理。 , 第 9 卷, 第 5 期, 第 889 - 896 页, 2000 年 5 月。
- [ 15 ]金俊英, 金立世, 黄世海, “使用部分重叠子块直方图均衡的高级对比度增强”, IEEE Trans .电路系统。视频技术。 , 第 11 卷, 第 4 期, 第 475 - 484 页, 2001 年 4 月。
- [ 16 ]巴西乌和科特普罗斯, “通过绝对折扣补偿实现彩色图像直方图均衡化”, 计算机。维斯。图像理解。 , 第 107 卷, 第 1 - 2 期, 第 108 - 122 页, 2007 年 7 - 8 月。
- [ 17 ]科尔图克, 博龙和查塞里, “精确直方图规范”, 电气和电子工程师协会转。图像处理。 , 第 15 卷, 第 5 期, 第 1143 - 1152 页, 2006 年 5 月。

[ 18 ]黄玉英, 许立辉, 吴金海, 《基于色调的色彩饱和度补偿》, 载于《工艺学》。IEEE 国际。糖膏剂消费者。电子。 , 2004 年 9 月, 第 160 - 164 页。

[ 19 ]黄克勤, 王克勤, 吴振英, “基于人类视觉系统的自然彩色图像增强与评价算法” 计算机。维斯。图像理解。 , 第 103 卷, 第 52 - 63 页, 2006 年 2 月。

[ 20 ]李惠华, 杨树和李百佑, “直方图均衡化图像的颜色补偿” , 信息技术与工程电子。imag。 , 第 7241 卷, 第 724111 - 1 - 724111 - 9 页, 2009 年 1 月。

[ 21 ]奈克和穆尔蒂, “没有色域问题的色调保持彩色图像增强” , 电气和电子工程师协会。图像处理。 , 第 12 卷, 第 12 期, 第 1591 - 1598 页, 2003 年 12 月。

韩继熙于 2009 年获得韩国首尔梨花大学电子工程学士学位, 目前正在同一所大学攻读电子工程硕士学位。

她目前的研究兴趣包括图像处理。

杨世荣 2001 年获得韩国首尔梨花大学电子工程学士学位, 2005 年获得洛杉矶南加州大学电子工程硕士学位, 目前正在梨花大学攻读电子工程博士学位。

她的研究兴趣包括图像处理和医学成像。

李秉国( 79 - m96 )于 1979 年获得韩国首尔国立大学电子工程学士学位, 1981 年获得韩国首尔高级科学技术学院电子科学硕士学位, 1991 年获得加州斯坦福斯坦福大学电子工程博士学位。

1981 年至 1985 年和 1991 年至 1995 年, 他在大宇电子公司工作。他于 1995 年加入韩国首尔大学电子工程系

教授。他的研究兴趣包括图像处理和计算机视觉。