

基于 MATLAB 的新色域对比度量及其适用性评价

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.06.012

陈海生¹ 袁江平²

付文婷¹ 陈广学²

1. 中山火炬职业技术学院

包装印刷系

广东 中山 528436

2. 华南理工大学

制浆造纸工程国家

重点实验室

广东 广州 510640

摘要:为提升包装印刷供应商预测其来样稿件色彩再现能力的方便性与精准性,在 CIE TC 8-05 推荐指南及对应的色域对比指数(GCI)基础上,提出了色域差异指数(GDI)与色域相似指数(GSI)2种新的色域匹配程度表征度量。选用 ICC 推荐的 Fogra 数据集与 CRPC 数据集,根据目标色域所用的标准印刷参考条件与色域匹配条件,设计4组色域表征的对比实验,运用 MATLAB 中 Convhulln 函数和 Venn.m 函数求出两色域匹配时重叠部分体积所占各自色域总体积的比值及三维可视化所用的比例参数,对比分析所提出的2种新度量(GDI, GSI)与 GCI 对两色域匹配程度表征的适应性与可视化。结果表明,在两色域及多色域匹配评价中,单独从 GCI 值、GDI 值或 GSI 值均很无法得到较全面的评价,只有将任意2个表征度量结合才能增强预测与评价的适应性与准确性。同时,将 Venn 函数应用于色域匹配程度表征的可视化图解,方便普通用户对其产品色彩再现能力的预测与理解。

关键词:色域边界描述;色域对比指数;色域匹配表征;标准印刷数据集;色彩管理

中图分类号: TS801.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2018)06-0081-08

0 引言

随着印刷技术的提升及承印材料的不断开发,包装印刷产品出色域的多样性不断增加。包装印刷供应商需要客观的工具或算法来降低色域匹配误差,以帮助印刷工艺员形象化地理解原始图像色域与现有耗材出色域之间的匹配程度^[1]。常规的色域匹配方法是计算两色域体积大小,并分析二者重叠部分所占各自色域总体积比值的差别^[2-3];但在色域三维形状差别表征方面,常规匹配方法并不适用,而自带色域匹配功能及色域三维化再现技术的商业软件,

通常需要昂贵的费用。

目前,国际色彩照明委员会(Commission International de L'Eclairage, CIE) TC 8-05 对色域映射算法和边界描述算法的评价给出了标准推荐,同时也提出了色域对比指数(gamut compare index, GCI)及其适用条件^[4-5],但未对色域对比指数的适应性进行深入探讨^[6-7]。

色域边界描述算法既可以独立应用,也可以与色域映射算法相结合,因此描述色域边界特征的算法较多,如区域分割算法、凸包算法、Alpha Shapes 算法与 Delaunay 算法^[8-11]。其中凸包算法根据形成

收稿日期: 2018-07-02

基金项目:《印刷色彩管理应用技术》2015—2019年广东省“质量工程”精品资源共享课建设基金资助项目

作者简介:陈海生(1980-),男,广东澄海人,中山火炬职业技术学院副教授,主要研究方向为印刷工艺及材料适性、颜色复制技术, E-mail: hnchs@126.com

通信作者:陈广学(1963-),男,河南杞县人,华南理工大学教授,博士,博士生导师,主要从事绿色印刷、智能包装与纸基 3D 打印方面的研究, E-mail: chengx@scut.edu.cn

凸包的效率与特征的不同,又可以分为步进法、中心法、水平法与快包法^[12]。J. Y. Hardeberg等^[13]对彩色图像进行高质量输出应用时,将高效率的色域映射算法与快包算法进行结合,以实现良好的印刷效果。王建华^[14]在半色调制品色彩检测中,选用最小二乘法与快包算法结合,对印刷效率与印刷质量进行及时反馈,从而提高产品的印刷效果。宋超等^[15]对新型显示屏进行色域边界拟合实验及色差分析时发现,快包算法也能够计算精度和速度上,满足新型显示屏对色域分析和色域映像的要求。

然而,国内包装印刷供应商并不能根据CIE推荐的这两种算法及原理较好地理解并应用色域对比指数。因此,包装印刷供应商需要更加高效的两色域匹配程度表征度量及计算方法,方便其印刷工艺员对产品印刷前的色彩再现能力进行预测,以降低印刷产品在印制前后的色域匹配误差。

本研究基于CIE TC 8-05推荐的两色域对比指数计算原理,结合色域边界描述所获得色域可视化特征与定量数据,并鉴于标准颜色数据集的测试时间与精度要求,选择快包算法进行色域边界描述;进而提出了色域相似指数(gamut similarity index, GSI)与色域差异指数(gamut difference index, GDI)两种新的色域匹配程度表征度量;同时基于国际色彩联盟(International Color Consortium, ICC)推荐的标准印刷参考数据集,设计了4组色域匹配表征实验来检测其适应性;最后,为了形象描述两色域重叠关系与细节特征,引入了Venn.m函数进行量化表征,并通过由自行编译的MATLAB程序获取了Venn可视化图解。通过结合GCI、GSI和GDI度量,并运用三维色域图及Venn图,以期提高普通用户对其产品色彩再现的预测与理解。

1 实验

1.1 ICC推荐的标准印刷参考数据集

为了便于色域映射算法评价以及色彩管理,ICC联合VIGC(vlaams innovation center for graphic communication)与Idealliance推荐了Fogra系列与CGATS21-2-CRPC系列在标准印刷条件下测量的数据集和匹配的ICC特性文件。其中Fogra系列主要推荐了Fogra39(纸张定量分为260和300 g/m²)、Fogra40与Fogra47(纸张定量分为260和300 g/m²),而CGATS21-2-CRPC系列主要推荐了CRPC1~CRPC7。

为了比较不同印刷条件下的色域匹配程度,并根据色样类别与色域体积大小,本课题组针对Fogra系列选择Fogra29、Fogra39(300 g/m²纸张)、Fogra48(300 g/m²纸张)与Fogra51等标准色样的L*a*b*数据集,而针对CGATS21-2-CRPC系列选择CRPC1、CRPC2、CRPC6与CRPC7等标准色样的L*a*b*数据集。其中基于描点法的CRPC系列色域三维呈现如图1所示。

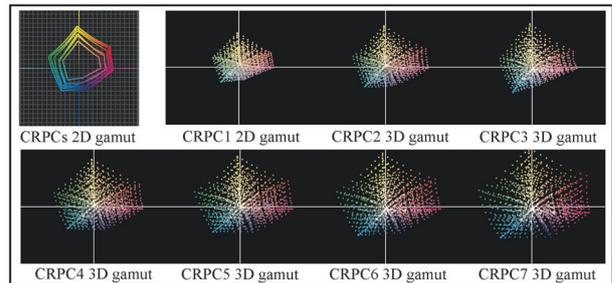


图1 CRPC(1~7)系列的2D与3D色域图

Fig. 1 CRPCs(s=1~7) gamut in 2D and 3D display

由图1可以看出,CRPC1~CRPC7的三维色域体积随着系列标号增大而增大,但其三维色域空间分布趋势相似,同时在a*b*二维描述内保持相似比例,但在可呈现的最大饱和色表征能力上有所不同。

1.2 新色域匹配表征度量

色域匹配表征度量,即基于L*a*b*颜色空间对两色域大小及重叠关系的量化描述,然后据此量化值给出两色域之间差异及相似的程度。包装印刷供应商可以据此色域匹配表征度量对自己现有耗材的色彩再现能力作出客观评价。CIE TC8-05推荐的GCI度量是基于凸包算法编写trigamut.m函数,计算两色域重叠部分体积与两参照色域体积的比值后再进一步做乘积量化表征。然而,GCI度量在色域匹配表征方面并没有表现出较优性能,由此本研究分别从两色域匹配的相似程度与差异程度两个角度提出相应的度量模型,即GDI度量、GSI度量。结合色域边界描述算法与MATLAB图形函数,将GCI、GDI和GSI这3种色域匹配表征度量进行量化及可视化对比。

1.2.1 GCI度量

假设有2个颜色设备x和y,且色域x和色域y体积分别是 V_x 和 V_y ,根据CIE TC8-05推荐,该两色域的GCI值可通过式(1)进行计算。

$$GCI = \left(\frac{V_i}{V_x} \right) \left(\frac{V_i}{V_y} \right) = \frac{V_i^2}{V_x V_y}, \quad (1)$$

式中: V_i 表示两色域的重叠部分体积。

由此可知,若色域 x 与色域 y 中重叠部分所占比例越大,则 GCI 值越大,进而说明该两色域越匹配。当 GCI 值为 0 时,说明这两个色域完全不匹配;当 GCI 值为 1 时,说明两个色域完全匹配。这里需要说明的是 GCI 值始终为正值,且其值在 $[0, 1]$ 内,但仅 GCI 值不能区分两色域之间是否存在包含关系。在常规印刷业务中, GCI 值小于 1, 应尽可能改善色域映射算法效率使 GCI 值接近 1, 因而 GCI 可以用来评价目标色域与原色域的匹配程度,提升色彩管理调节的灵活性。

1.2.2 GDI 度量

GDI 度量主要通过对比两色域之间差异程度进行表征的,即两色域间未重叠部分体积占各自色域总体积比值乘积的量化模型。针对颜色设备 x 与 y , 该两色域的 GDI 值可通过式 (2) 进行计算:

$$GDI = \left(\frac{V_x - V_i}{V_x} \right) \left(\frac{V_y - V_i}{V_y} \right) = \frac{(V_x - V_i) \cdot (V_y - V_i)}{V_x V_y} \quad (2)$$

由此可知,若色域 x 与色域 y 未重叠部分所占比例越大,则 GDI 值越大,进而说明该两色域越不匹配。GDI 值在 $[0, 1]$ 内,若 GDI 值为 1 时,则说明该两色域完全不匹配;若 GDI 值为 0 时,则说明该两色域完全相交,但不能确定该两色域是否完全匹配,因为还可能存在包含关系。因此, GDI 度量可以较好地判定两色域重叠程度,与 GCI 值共同使用时就能准确判定二者关系特征。

1.2.3 GSI 度量

GSI 度量主要是通过对比两色域之间相似程度进行表征的,即两色域间重叠部分占各自色域总体积比值之和的量化模型。针对颜色设备 x 与 y , 该两色域的 GSI 值可通过式 (3) 进行计算:

$$GSI = \left(\frac{V_i}{V_x} \right) + \left(\frac{V_i}{V_y} \right) = \frac{V_i (V_x + V_y)}{V_x V_y} \quad (3)$$

由此可知,若色域 x 与色域 y 中重叠部分所占比例越大,则 GSI 值越大,进而说明该两色域也越匹配。GSI 值在 $[0, 2]$ 内,若 GSI 值为 2 时,则说明该两色域完全匹配,即 $V_x = V_y = V_i$; 若 GSI 值为 0 时,则说明该两色域完全不相交,即 $V_i = 0$ 。若 GSI 值在 $(0, 1)$ 内,说明该两色域匹配程度相对较低;而 GSI 值在 $(1, 2)$ 内,说明该两色域匹配程度相对较高;此外,若两色域之间存在完全包含类型的,则其 GSI 值必在 $(1, 2]$ 内;但反过来不一定满足,这是因为 GSI 值在 $(1, 2]$

内可能存在不同交叉程度的包含关系,而在完全包含关系中还需进一步判断两色域间重叠部分占各自色域总体积比值的相对大小。

1.3 新度量适应性验证实验的代码实现

为了检验新度量在色域匹配程度表征方面的适应性,基于 MATLAB 软件进行编写代码。首先,对 ICC 下载的标准参考数据的 txt 文档进行数据预处理,筛选 $L^*a^*b^*$ 数据并分别保存为 txt 文档;其次,基于快包函数及色域边界描述特性编译色域边界描述函数 `trigamut_L*a*b*.m` 以供调用;然后调用自行编译的 `gamutindex_L*a*b*.m` 函数求出各色域的 V_x 值、 V_y 值、 V_i 值等间接量,以及 GCI 值、GDI 值、GSI 值等目标量;最后,根据目标量设置 `Venn.m` 函数进行两色域对比结果形象化呈现,其关键代码如下。

```
% step 1: input data
gamut1=load('CRPC1.txt');
gamut2=load('CRPC2.txt');
% step 2: display the gamut in L*a*b* space and
GCI
Figure(1), axis equal;
[out,vol1]=trigamut_L*a*b*(gamut1);
title('Gamut1 shape in L*a*b* space');
xlabel('a*'); ylabel('b*'); zlabel('L*');
Figure(2), axis equal;
[out,vol2]=trigamut_L*a*b*(gamut2);
title('Gamut2 shape in L*a*b* space');
xlabel('a*'); ylabel('b*'); zlabel('L*');
% step 3: gamut compare index output
[Gv_L*a*b*,Gs_L*a*b*,Gm_L*a*b*]=gamutindex_
L*a*b*(gamut1, gamut2);
% step 4: display Veen diagram
Figure(3), axis equal;
VOL=max(vol1,vol2);
VOL1=vol1/VOL;VOL2=vol2/VOL;
i=Gv_L*a*b*(1)/VOL;
A=[VOL1 VOL2];I=i;
venn(A,I,'FaceColor',{'r','y'},'FaceAlpha',{1,0.6},
'EdgeColor','black')
```

2 结果与分析

针对 3 个色域匹配表征度量的特点,在适应性验证方面主要设计了两大类共 4 个小组的色域匹配程度

表征实验, 分别为同类同量级、同类异量级、异类同量级与异类异量级印刷数据集色域匹配表征对比, 其中两色域间的体积差值不超过 100 000 个时为同量级, 反之则为异量级。在每个分组实验中, 根据两色域之间的叠合关系大小, 从包含型与非包含型两种情况进行讨论。基于前面提到筛选的测试数据集与编译的评价实验代码, 运行程序后的结果及分析如下。

2.1 同类同量级对比

同类同量级两色域间包含型适应性验证, 选择了 CRPC1 与 CRPC2 作为色域对 1 进行测试; 而同类同量级两色域间非包含型适应性验证, 选择了 Fogra 29 与 Fogra 48 作为色域对 2 进行测试。根据所选择的测试色域, 先利用快包算法进行色域边界描述及体积计算, 再根据度量模型计算出同类同量级的 2 组色域对的 GCI 值、GDI 值及 GSI 值, 对比结果如表 1 所示。

表 1 同类同量级印刷数据集色域匹配程度量值对比

Table 1 Contrast of gamut matching metrics for print databases within same category and same magnitude

项目	色域对 1		色域对 2	
	色域 x	色域 y	色域 x	色域 y
测试色域	CRPC1	CRPC2	Fogra 29	Fogra 48
V / 个	89 185	165 152	197 269	167 697
V_i / 个	89 185		148 543	
GCI	0.540 0		0.666 9	
GDI	0		0.028 2	
GSI	1.540 0		1.638 7	

从表 1 可以发现, 同类同量级两色域包含型 (色域对 1) 的适用性验证中, 由 MATLAB 编码算出其 GCI 值为 0.540 0, 这说明色域对 1 的匹配程度一般, 且无法确定二者是完全包含型还是局部相交型。若单独从其 GDI 值为 0 分析, 可以说明色域对 1 存在完全相交关系, 再结合 GCI 值可以确定其属于不完全匹配的包含型关系。若单独从其 GSI 值来看, 属于 (1, 2) 范围, 可以说明色域对 1 的匹配程度较高, 但不能确定是重叠比例较大还是包含关系, 再结合 GCI 值可以发现, 二者数值上相差刚好为 1, 则可以判定色域对 1 的交叉类型为其较小色域的被包含关系。此外, 仅从色域对 1 的 GDI 值和 GSI 值分析, 亦可得到两色域不完全匹配的包含型关系。

同类同量级两色域非包含型 (色域对 2) 的适用性验证中, 由 MATLAB 编码算出其 GCI 值为 0.666 9, 这说明色域对 2 的匹配程度较高, 但无法确定二者是完全包含型还是局部相交型。若单独从其 GDI 值

为 0.028 2 分析, 可以说明色域对 2 没有完全相交, 只是重叠比例较大; 再结合 GCI 值可以确定其属于匹配较高的非包含型关系。若单独从其 GSI 值来看, 也属于 (1, 2) 范围, 可以说明色域对 2 的匹配程度较高, 但不能确定是重叠比例较大还是包含关系, 再结合 GCI 值可以发现, 二者数值之差接近但小于 1, 则可以判定色域对 2 的交叉类型为匹配较高的非包含关系。此外, 仅从色域对 2 的 GDI 值和 GSI 值分析, 亦可得到其准确的交叉类型。

综上所述, 对同类同量级两色域的适应性验证中, 无论是包含型还是非包含型, 单独从两色域的 GCI 值、GDI 值或 GSI 值都无法确定其准确关系, 只有将三者中的任意二者结合, 才能得出准确结论。

2 组色域对的可视化三维色域图与 Venn 图分别如图 2~3 所示。

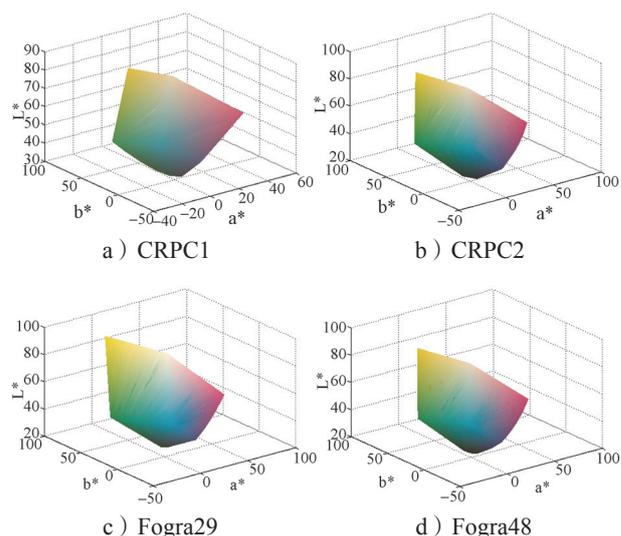


图 2 同类同量级测试色域的三维色域图

Fig. 2 Displaying 3D gamuts for tested gamuts within same category and same magnitude

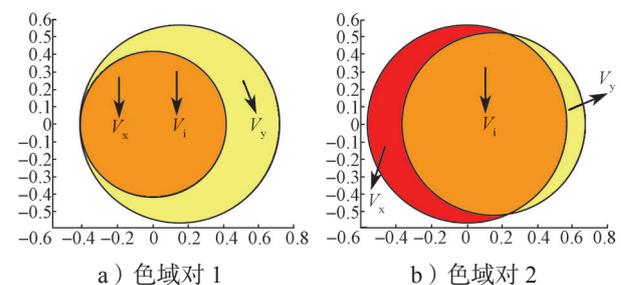


图 3 同类同量级测试色域的 Venn 图

Fig. 3 Displaying Venn diagrams for tested gamuts within same category and same magnitude

从图 2 中 CRPC1 与 CRPC2 的三维色域图可以

发现, 在 $L^*a^*b^*$ 空间上, CRPC1 色域边界较小, CRPC2 色域边界较大, 二者不可能完全重合; 再结合图 3 中色域对 1 的 Venn 图可知, CRPC1 包含在 CRPC2 中。同理, 结合图 2~3 中色域对 2 的三维色域图和 Venn 图可知, Fogra 29 与 Fogra 48 是非包含关系, 且二者重叠比例较大。这进一步验证了表 1 所得结论的准确性。

2.2 同类异量级对比

同类异量级两色域间包含型适用性验证, 选择了 CRPC1 与 CRPC7 进行测试; 而同类异量级两色域间未包含型的适用性验证, 选择了 Fogra 29 与 Fogra 51 进行测试。根据度量模型计算同类异量级的 2 组色域对的 GCI 值、GDI 值及 GSI 值, 对比结果如表 2 所示。

表 2 同类异量级印刷数据集色域匹配度量值对比

Table 2 Contrast of gamut matching metrics for print databases within same category and dissimilar magnitude

项目	色域对 3		色域对 4	
	色域 x	色域 y	色域 x	色域 y
测试色域	CRPC1	CRPC7	Fogra 29	Fogra 51
V_l 个	89 185	565 929	197 269	435 720
V_l 个	89 185		195 770	
GCI	0.157 6		0.445 9	
GDI	0		0.004 2	
GSI	1.157 6		1.441 7	

从表 2 可以发现, 同类异量级两色域包含型 (色域对 3) 适用性验证中, 具体分析出色域对 1 相似, 区别在于色域对 3 的 GCI 值更小, 由此确定其重叠部分占据色域体积的比例更小, 其交叉类型为匹配较低的包含关系; 同类异量级两色域非包含型 (色域对 4) 适用性验证中, 具体分析出色域对 2 相似, Fogra 29 和 Fogra 51 的交叉类型为匹配一般的非包含关系。

通过对比表 1~2 可以发现, 无论是同类同量级还是同类异量级, 单独从两色域的 GCI 值、GDI 值或 GSI 值都无法确定其准确关系, 只有将三者中的任意二者结合, 才能得出准确结论。

2 组色域对 (色域对 3 和色域对 4) 的可视化三维色域图与 Venn 图分别如图 4~5 所示。

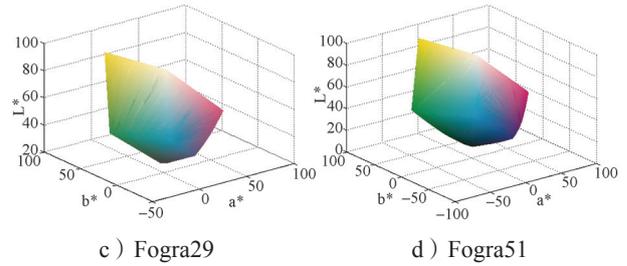
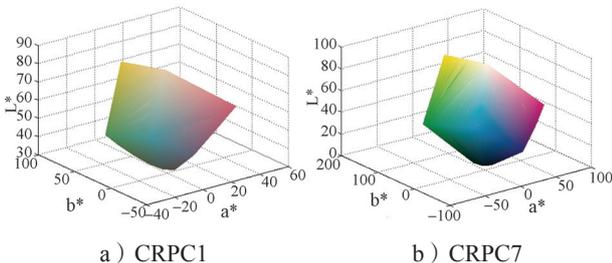


图 4 同类异量级测试色域的三维色域图

Fig. 4 Displaying 3D gamuts for tested gamuts within same category and dissimilar magnitude

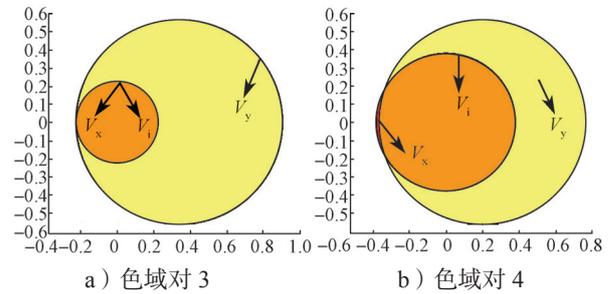


图 5 同类异量级测试色域的 Venn 图

Fig. 5 Displaying Venn diagrams for tested gamuts within same category and dissimilar magnitude

结合图 4~5 可以发现, CRPC1 色域边界较小, CRPC7 色域边界较大, CRPC1 被包含在 CRPC7 中, 且二者重叠部分比例较小; Fogra 29 与 Fogra 51 色域边界相差较大, 二者是非包含关系且重叠比例一般。这进一步验证了表 2 所得结论的准确性。

2.3 异类同量级对比

异类同量级两色域间包含型适用性验证, 选择了 CRPC1 与 Fogra 48 进行测试; 而异类同量级两色域间未包含型适用性验证, 选择了 CRPC6 与 Fogra 51 进行测试。根据度量模型计算异类同量级的 2 组色域对的 GCI 值、GDI 值及 GSI 值, 对比结果如表 3 所示。

表 3 异类同量级印刷数据集色域匹配度量值对比

Table 3 Contrast of gamut matching metrics for print databases within dissimilar category and same magnitude

项目	色域对 5		色域对 6	
	色域 x	色域 y	色域 x	色域 y
测试色域	CRPC1	Fogra 48	CRPC6	Fogra 51
V_l 个	89 185	167 697	428 245	435 720
V_l 个	89 185		410 130	
GCI	0.531 8		0.901 5	
GDI	0		0.002 5	
GSI	1.531 8		1.899 0	

从表 3 中可以发现, 异类同量级两色域包含型 (色

域对5)适用性验证中,具体分析出色域对1相似,CRPC1和Fogra 48的交叉类型为匹配一般的包含关系;异类同量级两色域非包含型(色域对6)适用性验证中,具体分析出色域对2相似,CRPC6和Fogra 51的交叉类型为匹配较高的非包含关系。

2组色域对(色域对5和色域对6)的可视化三维色域图与Venn图分别如图6~7所示。

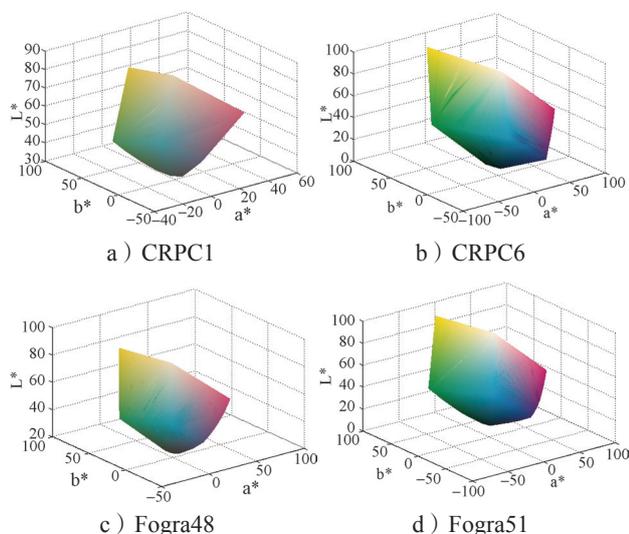


图6 异类同量级测试色域的三维色域图

Fig. 6 Displaying 3D gamuts for tested gamuts within dissimilar category and same magnitude

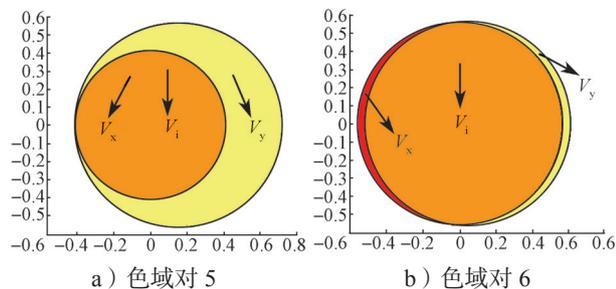


图7 异类同量级测试色域的Venn图

Fig. 7 Displaying Venn diagrams for tested gamuts within dissimilar category and same magnitude

结合图6~7可以发现,CRPC1色域边界较小,Fogra 48色域边界较大,CRPC1被包含在Fogra 48中,且二者重叠部分比例一般;CRPC6与Fogra 51色域边界均较大,二者是非包含关系且重叠比例较大。这进一步验证了表3所得结论的准确性。

2.4 异类异量级对比

异类异量级两色域间包含型适用性验证中,选择了CRPC2与Fogra 39色域进行测试;而异类

异量级两色域间未包含型适用性验证中,选择了CRPC7与Fogra 51进行测试。根据度量模型计算出异类异量级的2组色域对的GCI值、GDI值及GSI值,对比结果如表4所示。

表4 异类异量级印刷数据集色域匹配度量值对比

Table 4 Contrast of gamut matching metrics for print databases within dissimilar category and magnitude

项目	色域对5		色域对6	
	色域x	色域y	色域x	色域y
测试色域	CRPC2	Fogra 39	CRPC7	Fogra 51
V_i 个	165 152	436 846	565 929	435 720
V_j 个	165 152		434 010	
GCI	0.378 1		0.763 8	
GDI	0		0.000 9	
GSI	1.378 1		1.762 9	

从表4中可以发现,异类异量级两色域包含型(色域对7)适用性验证中,具体分析出色域对1相似,区别在于色域对7的GCI值较小,由此可以确定其重叠部分占据色域体积的比例更小,其交叉类型为匹配较低的包含关系;异类异量级两色域非包含型(色域对8)适用性验证,具体分析出色域对2相似,CRPC7与Fogra 51的交叉类型为匹配较高的非包含关系。

对比表1~4可以发现,两色域间无论是同类与否,同量级与否,或是包含型与否,单独从两色域的GCI值、GDI值或GSI值都无法确定其准确关系,只有将三者中的任意二者结合,才能得出准确结论。

2组色域对(色域对7和色域对8)的可视化三维色域图与Venn图分别如图8~9所示。

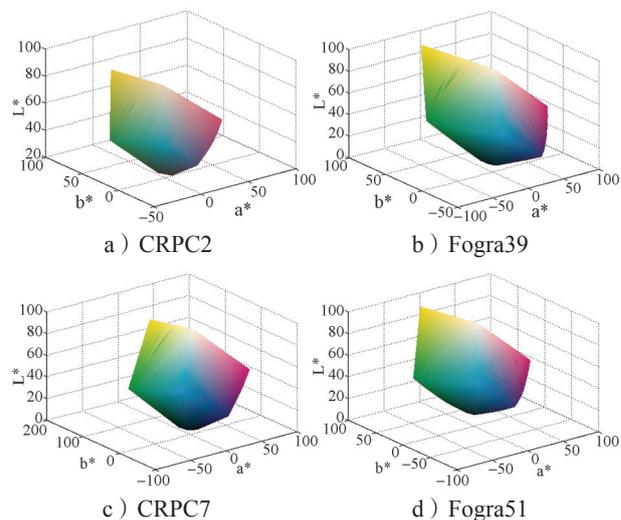


图8 异类异量级测试色域的三维色域图

Fig. 8 Displaying 3D gamuts for tested gamuts within dissimilar category and magnitude

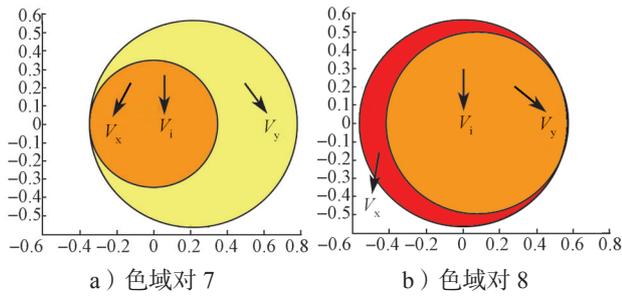


图9 异类异量级测试色域的 Venn 图

Fig. 9 Displaying Venn diagrams for tested gamuts within dissimilar category and magnitude

结合图 8~9 可以发现, CRPC2 色域边界较小, Fogra 39 色域边界较大, CRPC2 被包含在 Fogra 39 中, 且二者重叠部分比例较小; CRPC7 与 Fogra 51 色域边界均较大, 二者是非包含关系且重叠比例较大。这进一步验证了表 4 所得结论的准确性。

3 结语

色域匹配程度表征的度量与可视化工具的开发, 有助于包装印刷供应商在生产实践中有效控制印刷质量, 特别是对印制后的色彩再现能力进行预测。现有的 CIE TC 8-05 推荐的 GCI 度量在设计中的适应性验证中表现出明显的不足, 本课题组提出的 GDI 度量与 GSI 度量能应用在大部分色域匹配表征中, 并有效提升了评价的精准性。

从同类数据集与异类数据集的测试表现来看, 单一的表征度量很难有较全面的评价, 因此, 在两色域及多色域匹配评价中, 需要结合上述 3 个度量中的任意 2 个, 以提升匹配评价结果。在色域匹配程度表征时, 除了传统的三维色域边界描述图, 还提出了 Venn.m 函数及图解来展示色域匹配的量化特征, 方便了包装印刷供应商及其客户对色域匹配本质的理解。

所采用的快包算法在色域边界描述方面还不算较优, 从其三维色域图中可以看出一些瑕疵, 因而计算色域体积时会有些偏差, 这可以通过改进色域边界描述算法来优化。

参考文献:

[1] GREEN P. Gamut Mapping for the Perceptual Reference Medium Gamut[C]//Colour and Visual Computing Symposium. [S.l.]: IEEE, 2013: 1-6. doi: 10.1109/

CVCS.2013.6626285.

- [2] MOROVIC J, LUO M R. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping[J]. Color Research & Application, 2000, 25(6): 394-401.
- [3] 柴啸龙, 张宗国, 邢卫杰, 等. 一种基于 LUT 表的色域匹配方法[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(增刊 2): 124-126.
- CHAI Xiaolong, ZHANG Zongguo, XING Weijie, et al. A Gamu-Mapping Method Based on LUT[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42(s2): 124-126.
- [4] Commission Internationale de L'Eclairage 156. Guidelines for the Evaluation of Gamut Mapping Algorithms[R]. Vienna: CIE Central Bureau, 2004: 2-13.
- [5] DESHPANDE K, GREEN P, POINTER M R. Metrics for Comparing and Analyzing Two Colour Gamuts[J]. Color Research & Application, 2015, 40(5): 465-471.
- [6] 杜桂华. 保持色相恒定的色域匹配算法的比较研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- DU Guihua. Comparative Research of Gamut Mapping Algorithms Keeping Hue Constant[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005.
- [7] 汪祖辉, 孙刘杰, 邵雪, 等. 一种 $L^*a^*b^*$ 空间的色域边界描述算法[J]. 包装学报, 2016, 8(2): 53-56.
- WANG Zuhui, SUN Liujie, SHAO Xue, et al. A Color Gamut Boundary Description Algorithm for $L^*a^*b^*$ Space[J]. Packaging Journal, 2016, 8(2): 53-56.
- [8] BRAUN K M, BALASUBRAMANIAN R, ESCHBACH R. Development and Evaluation of Six Gamut-Mapping Algorithms for Pictorial Images[C]//Color and Imaging Conference. Scottsdale: Society for Imaging Science and Technology, 1999(5): 144-148.
- [9] 黄庆梅, 赵达尊. 基于 Zernike 多项式表示色域边界的色域映射[J]. 光学技术, 2003, 29(2): 168-171.
- HUANG Qingmei, ZHAO Dazun. Gamut Mapping Based on Gamut Boundaries Expressed with Zernike Polynomials[J]. Optical Technique, 2003, 29(2): 168-171.
- [10] 孙婧, 徐岩, 李桂苓. 基于阿尔法形态的三维色域体积快速算法[J]. 电视技术, 2014, 38(21): 29-35.
- SUN Jing, XU Yan, LI Guiling. 3D Color Gamut Volume Calculation Algorithm Based on Alpha Shapes[J]. Video Engineering, 2014, 38(21): 29-35.
- [11] 杜焱霖, 李彦, 甄丹. 一种基于色空间转换的色域体积快速估算法[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2016, 36(4): 28-32.
- DU Yanlin, LI Yan, ZENG Dan. A Rapid Color Gamut Volume Estimation Method Based on the Color Space

- Conversion[J]. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), 2016, 36(4): 28–32.
- [12] MOROVIC J. Color Gamut Mapping[M]. Chichester: John Wiley, 2008: 102–107.
- [13] HARDEBERG J Y, BANDO E, PEDERSEN M. Evaluating Colour Image Difference Metrics for Gamut-Mapped Images[J]. Coloration Technology, 2008, 124(4): 243–253.
- [14] 王建华. 基于最小二乘法半色调模型程序实验印刷图像色彩检测[J]. 包装学报, 2010, 2(1): 42–45.
- WANG Jianhua. Least-Squares Model-Based Halftoning Experimental Procedures of Detecting Printing Image Color[J]. Packaging Journal, 2010, 2(1): 42–45.
- [15] 宋超, 王瑞光, 陈宇, 等. LED显示屏色域边界的快速计算[J]. 发光学报, 2013, 34(7): 924–929.
- SONG Chao, WANG Ruiguang, CHEN Yu, et al. Fast Calculation of Color Gamut Boundary for LED Display Panel[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2013, 34(7): 924–929.

Applicability Evaluation of Proposed New Gamut Comparison Metrics Based on MATLAB Functions

CHEN Haisheng¹, YUAN Jiangping², FU Wenting¹, CHEN Guangxue²

(1. Department of Packaging and Printing, Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan Guangdong 528436, China;
2. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: To enhance the convenience and accuracy of products' color reproduction predicted by packaging and printing service providers, on the basis of CIE TC8–05 recommended guidelines and offered gamut comparison index, two new gamut matching characterization metrics including gamut difference index (GDI) and gamut similarity index (GSI) were proposed and tested with developed MATLAB codes. According to target gamuts implemented by standard referred printing conditions and gamut matching preferences, four sets of verified tests exploring the applicability and visualization of above three mentioned metrics in practical gamut matching cases, were conducted by using Convhulln function, Venn function and ICC standard printing data sets including CRPC sets and Fogra sets. According to test results, the applicability and precision of GCI metric combined one of GDI metric and GSI metric, as well as the combination of GDI metric and GSI metric, were better than that of only single GCI metric. Furthermore, the approach and diagram offered by Venn function applied into gamut matching characterization could easily enable general customers to predict and vividly understand the relationship between color reproduction and gamut comparison metric.

Keywords: gamut boundary description; gamut comparison index; gamut matching characterization; standard printing data set; color management