

基于非理想打印机模型的半色调化图像质量评价方法研究

徐国梁^{1,2} 谭庆平¹

(国防科技大学计算机学院 长沙 410073)¹ (湖南大学计算机与通信学院 长沙 410082)²

摘 要 胶印工艺中印刷的内容需要半色调化成二值图像。为了评价半色调化算法和图像的质量,就要对输出图像的设备建模。现有的建模方法都基于理想打印机,假定输出图像的像素和输出设备的一个矩形区域的状态对应。然而理想打印机反映不了实际胶印工艺中的像素点重叠、极小网点丢失、网点扩大等基本现象。本研究的目标是建立一个面向胶印工艺的打印机模型,用于半色调化图像质量评价算法的研究。

关键词 图像质量评价, HVS, 打印机模型, 图像膨胀, 信噪比 SNR

中图法分类号 TP391.7 文献标识码 A

Quality Assessment for Halftone Image Based on Non-ideal Printer Model

XU Guo-liang^{1,2} TAN Qing-ping¹

(College of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)¹

(College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China)²

Abstract The pages to print need to be converted into halftone image in offset printing procedure. To model the offset printing procedure is the basis of evaluating the quality of halftone image for offset printing. The ideal printer model is assumed in previous researches, i. e. every pixel in halftone image is corresponding to print or blank a small rectangle in the printing media. The ideal printer model ignores phenomena of dot gain, missing isolated pixels and clustered dots under a certain limit. This research is to establish a non-ideal printer model for offset printing procedure and incorporate it in halftone images quality assessment algorithm.

Keywords Image quality assessment, HVS, Printer model, Image dilate, SNR

1 引言

数字图像是由像素点组成的矩阵。输出数字图像时,首先要将图像转换成与输出设备像素深度一致的半色调化图像。为了评价半色调化图像的质量,需要对输出图像的设备建模。现有的建模方法都基于对打印机的理想假定:输出图像的像素值和输出设备的一个矩形区域的状态一一对应,我们称之为理想打印机模型。但是理想打印机模型反映不了实际胶印工艺中的像素点重叠、网点丢失及网点扩大等基本现象。因此以该模型为基础为评价面向胶印的半色调化图像的质量就不够准确。现在评价半色调化图像质量的方法一般先限定应用领域,然后根据其特点分而治之,为不同的应用设定不同的优化或评价目标。本研究的目标是建立一个面向胶印工艺的打印机模型,用于模拟输出的半色调化图像过程,并由此用统一的图像质量评价方法来评价用于胶印的半色调化图像的质量。

本研究的创新之处在于:(1)通过建立面向胶印工艺的非理想打印机模型,首次将胶印工艺的重要特性包括在半色调化图像质量评价方法中;(2)为了利用现有的 HVS(人类视觉系统)研究结果,本研究根据 HVS 的频率特性曲线设计出图

像的空间滤波器,解决 HVS 研究中一维的视觉频率特性和二维半色调化图像的质量评价研究之间的衔接;(3)采用集束网点级别的分区计算 SNR,用于评价半色调化图像质量时,与整图计算的 SNR 相比结果一致,但其具有更好的区分度。

本文第 2 节介绍相关研究背景和本论文研究的思路;第 3 节介绍文献[4]采用的半色调化图像的评价模型,并从 HVS 模型的视角坐标到图像的光栅坐标的衔接上,补正了文献[4]忽略的推导过程;第 4 节介绍面向胶印工艺的非理想打印机模型;第 5 节介绍实现非理想打印机模型的小网点过滤的算法;第 6 节介绍用数学形态学的膨胀操作在半色调化图像上模拟胶印工艺过程的网点扩大;第 7 节介绍基于非理想打印机和 HVS 模型的半色调化图像质量评价实验;最后给出本研究的结论和对将来进一步研究的展望。

2 研究背景

大多数印刷设备都是二值,即只能将油墨印刷在承印物的一个区域,或在该区域不印任何油墨。为了印刷连续调的图像,必须首先将连续调的图像转换成二值图像。将连续调图像转换成二值图像的过程称为半色调化或加网。

用于胶印的半色调化图像的集束网点一般小于 200 μ m。

到稿日期:2009-11-03 返修日期:2010-01-20 本文受湖南省科技厅科技攻关项目(05GK3023)资助。

徐国梁(1964—),男,博士生,副教授,主要研究方向为图形图像处理及其在印刷制版领域的应用, E-mail: jt_xgl@hnu.cn; 谭庆平(1965—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为软件工程理论和高可信软件技术。

人观察印刷品的正常视距一般为 30cm,在此距离人眼分辨不出单个集束网点,因为人类视觉系统(HVS)有低通滤波的特性和空间分辨率的限制,所以人感知的半色调化图像和原图像才有可能接近一致。半色调化图像的质量评价就是在给定人眼视觉限制的条件度量这种一致性。半色调化图像的质量评价方法分两类:主观方法和客观方法。主观方法是由经过训练的观察者在相同的距离、光照和对比环境等受控条件下对一组半色调化图像的质量排序或打分。因为进行受控条件下的心理视觉测试非常费时间,且迭代式的半色调化优化算法不能用主观的质量评价方法,所以需要研究用数值计算来表达感知的连续图像和二值图像的差别的客观评估方法。客观方法首先要为半色调化图像的质量评价建立一个数学模型,并将评价指标量化为一个或一组数值。

文献[1]对连续调图像质量的评价给出了很详尽的综述。评价图像质量时如果有原图参照比较,我们就称之为有参照(Full Reference)的评价方法。对于某些应用,如果没有原图参照比较,我们称之为盲(Blind)评价方法。早期的图像质量评价方法是基于对图像逐像素点的比较,如 MSE (Mean Square Error)。现在新的图像质量评价方法都更多地考虑了人的因素。人是使用中级的技术来理解图像的内容,即针对一个划分区域的像素点检查图像的结构并对变化予以度量。图像划分是一种中级视觉的技术,它可以通过将图像按形状、颜色、大小和纹理划分区域来抓住图像的结构并减少维度。文献[2]提出的 SPIQA 通过使用基于图像分割技术对区域像素点的分析来度量图像结构的畸变,在对同样的 LIVE 图像库抽取的图像评价后,得到了比文献[1]所列举的算法与大量主观评价更一致的结果。

半色调化图像质量评价与文献[1]综述的连续调图像的质量评价有很大的不同。首先被评价的图像在前一种情形由连续调变成了二值图像,因此半色调化图像和参考图像的像素点深度都不同,图像的分辨率和大小也可能不同;而后一种情形被评价的图像和参考图像其分辨率、大小和像素点深度都是相同的。另外连续调图像的质量评价是全频带的比较,一般没有对图像内容在频域和空域上进行过滤。而图像半色调化的原理就是基于对人类视觉系统的认识,在评价时会过滤掉图像中人眼一般不能感知到的高频成分,只有在这样的条件下,半色调化图像才有可能和原图“相似”。

半色调化图像质量评价^[3,4]最直观的就是计算半色调化图像和原图之间的均方差(MSE, Mean Square Error),如式(1)所示。

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x(i,j) - y(i,j))^2} \quad (1)$$

与此类似的还有信噪比(SNR, Signal Noise Ratio),如式(2)所示。

$$SNR = \left(\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x(i,j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x(i,j) - y(i,j))^2} \right) \quad (2)$$

另外很多图像质量评价方法都应用了人类视觉系统(HVS)的特性。在计算半色调化图像和原图的差别时,用HVS的点传播函数(Spot Spread Function)和图像的卷积来模拟图像在人眼的视觉效果。

3 半色调化图像质量评价模型

首先介绍基于 HVS 模型的半色调化图像评价方法^[4]

(见图 1)。我们用 $[m,n]$ 和 (x,y) 分别表示离散的和连续的二维空间坐标。 $[m,n]$ 是离散的坐标,单位是像素点; (x,y) 是连续的坐标,单位是英寸。设 $f[m,n]$ 表示连续调的图像, $f(x,y)$ 表示该图像输出到一个理想的打印机上的结果。理想打印机可以产生像素点且其吸光率等于连续调的像素点(或者说呈现连续调的像素点的颜色)。同样,我们用 $g[m,n] = 0$ 或 1 表示半色调图像的一个像素点。然后式(3)和式(4)分别用实数域的二元函数表示连续调图像和半色调化图像。

$$f(x,y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f[m,n] p(x-mX, y-nY) \quad (3)$$

$$g(x,y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g[m,n] p(x-mX, y-nY) \quad (4)$$

式中, $p(x,y) = \text{rect}(x/X, y/Y)$ 是理想打印机模型,也称为转换函数。 X 和 Y 是打印机可寻址的格点。它表示打印机在 $(\lfloor x/X \rfloor, \lfloor y/Y \rfloor)$ 打一个点。 $\lfloor x \rfloor$ 对实数 x 取其整数部分。

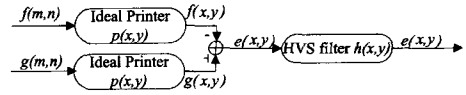


图 1 文献[4]的半色调化图像质量评价流程

HVS 被建模为线性移不变的滤波器。HVS 系统的点传播函数 PSF 记为 $h(x,y)$ 。视觉感知到图像可以表示为:

$$\begin{aligned} \bar{f}(x,y) &= f(x,y) * h(x,y) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f[m,n] \bar{p}(x-mX, y-nY) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{p}(x,y) = p(x,y) * h(x,y)$$

式中, $*$ 表示 2 维卷积。

视觉感知的半色调化图像可以表示为:

$$\bar{g}(x,y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g[m,n] \bar{p}(x-mX, y-nY) \quad (6)$$

对于分辨率为 600DPI 以上的打印机,打印机的点描述函数 $p(x,y)$ 的定义域(一个像素点)相对于 $h(x,y)$ 的定义域(几十个像素点)来说就足够小,因此有 $\bar{p}(x,y) = h(x,y)$ 。在本文中我们都假定这个关系成立,并将 $\bar{p}(x,y)$ 当作 HVS 的点传播函数 PSF。

HVS 的点传播函数 $\bar{p}(x,y)$ 是基于 HVS 的对比度敏感性函数 CSF (Contrast Sensitivity Function)。 $H(u,v)$ 是 $h(x,y)$ 的傅立叶变换。这里 (u,v) 是人眼可感知的正弦图像频率。对 $H(u,v)$ 做逆傅立叶变换就可得到点传播函数 $h(x,y)$ 。

在现有的关于 HVS 模型的文献中,HVS 的 CSF 表达为频率的一元函数,如文献[4]中介绍的 Näsänen 模型:

$$H(\rho) = \exp\left(\frac{-\rho}{c \log L + d}\right) \quad (7)$$

频率 ρ 是单位视觉角中的周期数,单位是周期/度。它是人眼在对一维按正弦变化的图案的反应的频率特性。函数 $h(x,y)$ 的傅立叶变换 $H(u,v)$ 是人眼的二维频率特性。我们可以将 $H(u,v)$ 定义成 $\sqrt{u^2 + v^2}$, 其中 u,v 是常规的频率函数,本质上与 $H(\rho)$ 相同,但它们的单位不同。 u,v 是频率参数,即长度单位(inch)内的周期数,单位是周期数/inch,另外假设人眼的观察距离为 $D(\text{inch})$ 。

为了利用现有的 HVS 模型的研究结果,我们将 HVS 视觉角的变量 x,y (单位度)转换成常规的英寸为单位的坐标 x,y ,同时将基于视觉角的频率 u,v 转换成常规的频率 u,v 。

$$x = \pi D x / 180, y = \pi D y / 180$$

$$u=\pi Du/180, v=\pi Dv/180$$

设 N 为给定范围内的明暗亮度按正弦波变化的图案的周期数,该长度范围用英寸度量是 x ,在视距 D 的位置,其视觉角是 x 。

$$u=N/x=N/(\pi Dx/180)=(180/\pi D)*(N/x)=(180/\pi D)\rho$$

$$H(u,v)=\sqrt{u^2+v^2}=\sqrt{2}(180/\pi D)H(\rho) \quad (8)$$

由 Näsänen 模型的式(7)可以得到 $H(u,v)$,对 $H(u,v)$ 做逆傅立叶变换可得到 $h(x,y)$ 。再用 Matlab 的图像处理工具箱的 fsamp2 函数由 $H(u,v)$ 得到一个空间滤波器,用于模拟 HVS 特性,并通过它计算人眼感知的连续调图像。图 2 是由 Näsänen 模型计算的 HVS 频率特性,图 3 是用 Matlab 计算出的图像空间滤波器。

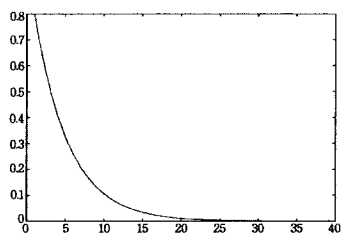


图 2 Näsänen 模型的 HVS 频率特性

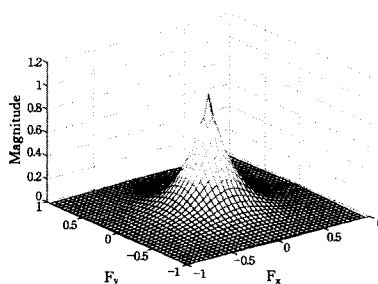


图 3 Näsänen 模型的 HVS 图像空间滤波器

4 面向胶印工艺的非理想打印机模型

胶印的工艺过程是,计算机输出图像转移到印刷版上,其中凹处为空白区域,凸出的部分为要印刷图文区域。印版图像空白区域沾上水后,利用油水的不相容的原理,印版的凸出部分将沾上油墨,在一定的压力下,印版上油墨就会转移到印刷的介质,如纸张上去。在这个过程中,图像转移到印版的过程在大多数工艺条件下有一个感光成像、显影和定影顺序的过程。在这个过程中极小的网点会因为其在印版上固着力不够而丢失,同时其中的化学和机械过程会使其它网点扩大,油墨从印版转移到介质的过程中压力和油墨的流动性也是产生网点扩大的因素。特别是占空比为 50% 的网点,在典型的胶印工艺条件下可以使 20% 以上的网点扩大。因此面向胶印工艺过程的数字图像建模面临的几个基本问题是:

1) 像素点叠加方式

像素点从半色调化图像上转移到印版上,像素点一般是圆形,相邻的像素点有一定程度的叠加,如图 4 所示。圆形的像素点通常中心坚实,边缘有一定程度的虚晕。如果有水平或垂直相邻像素点的支持就会更坚固一些,否则很容易损失。

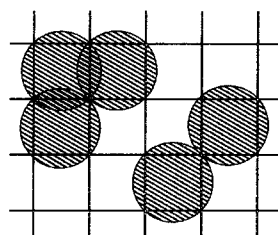


图 4 像素点叠加方式

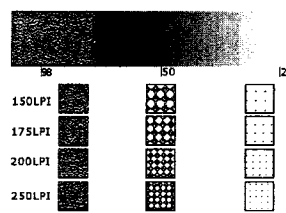


图 5 网点大小与加网频率的关系

2) 小网点丢失

当对像加网率较高时,半色调化图中会出现一些小的阴或阳集束网点,这些小网点在胶印工艺过程中的光学成像和化学腐蚀的环节大部分会丢失。对一个灰度的渐变条用不同的频率加网。图 5 表示在不同的加网频率下 98%, 50% 和 2% 位置上半色调化图像中集束网点的形状,其中 250LPI 频率加网的 98% 和 2% 的小网点在现有的胶印工艺下一般都是印不上的。

3) 网点扩大

印刷过程中,集束网点从半色调化图像转移到印刷的介质上,网点会扩大。扩大的比例一般与集束网点的周长成正比。图 6 是文献[6]典型的胶印网点扩大的曲线,大多数印刷工艺的网点扩大曲线与此类似。我们可以用数学形态学的方法,选择适当的结构图像元素,通过膨胀(Dilate)操作对半色调化图像做变换,来模拟印刷工艺过程中的网点扩大现象。

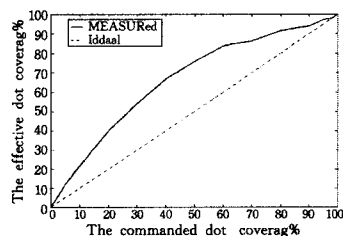


图 6 典型的胶印网点扩大的曲线

4) 油墨和网点的相互覆盖和叠加的关系对颜色的影响

本研究中的非理想打印机模型包含了特性 1), 2) 和 3)。彩色印刷中颜色预测模型非常复杂,本研究针对单色的胶印,暂时不考虑油墨色相因素和不同色版之间网点的叠加对颜色的影响。

理想的打印机模型假定每一个半色调化图像上的像素点都会精确地转移到承印物上,相邻点之间没有间隙,也不重叠。用 $p(x,y)=\text{rect}(x,y)$ 表示理想打印机将半色调化图像的一个像素点转换成印刷品的一个矩形区域的色块。

非理想的打印机模型 $p'(x,y)$ 对要输出的半色调化图像做变换。首先对要印刷的半色调化图像的像素点做相邻叠加方式的处理,把如前面所述的孤立突出的单个像素点当作损失的像素点处理。即当一个像素点与上下左右相邻的像素点的值都不相同时,该像素点将被完全腐蚀或被周围像素的网点扩大覆盖。然后按小网点的阈值参数 Max_number 和第 5 节所描述的算法过滤小网点。最后用数学形态学的膨胀运算模拟胶印工艺中的网点扩大现象。

5 过滤小网点的算法

输入参数: 图像 image, 过滤小网点的阈值 Max_number

输出:过滤小网点后的图像

算法用到的数据结构:参考图像 ref_image,集束网点像素点的列表 List,集束网点逐行扩张的左标记 Left 和右标记 Right。

(1)建立一个初始化为全“0”的参考二值图,处理过一个像素点后在其对应的位置上置“1”;

(2)逐点处理像素点 p ;

(3)首先判断该像素点是否可以合并到已处理过的大集束网点中,如果是,则在相应的参考图上做标记,并转(1);

(4)如果不是则从像素点 p 开始逐行扩张该集束网点:

a)先向左扩张左相邻的像素点 q ,如果扩张点的像素值与 p 的像素值相同,且做了标记,则停止扩张,搜索到集束网点的像素点属于合格的集束网点,则根据集束网点像素点的列表在参考图像中做标记;

b)如果像素点 q 没有标记过,将 q 插入集束网点像素点的列表,如果列表 List 的元素个数等于 Max_number,转(6),否则更新左标记 Left,重复 b)继续向左扩张,直至找到没有标记过且像素值不同的网点为止;

c)从 p 开始向右扩张,如果扩张的右相邻的像素点 q 的像素值与 p 的像素值相同,且做了标记,则停止扩张,搜索到集束网点的像素点属于合格的集束网点,则根据集束网点像素点的列表在参考图像中做标记;

d)如果像素点 q 没有标记过,将 q 插入列表 List,如果列表 List 的元素个数等于 Max_number,转(6),否则更新右标记 Right,重复 d)继续向右扩张,直至找到没有标记过且像素值不同的网点为止;

(5)根据记下的集束网点在一行的左标记 Left 和右标记 Right,在下一行的对应位置像素点 r 向左右扩张,如果 r 的像素值全部与 p 的像素值不同,则本集束网点到了下边界,转(6),否则重复(5)Max_number 次;

(6)根据集束网点像素点的列表对每个元素在参考图像上做标记;

(7)如果集束网点像素点的列表的元素个数小于 Max_number,则过滤掉该集束网点。

6 胶印工艺过程网点扩大的模拟

我们用数学形态学的膨胀运算来模拟胶印工艺过程的网点。数学形态学膨胀运算涉及两个操作对象 A 和 B ,记为 $A \oplus B$ 。其中 A 是要膨胀的对象, B 是结构元素, $A \oplus B$ 表示用结构元素 B 膨胀对象 A 。用集合定义膨胀运算如下:

$$A \oplus B = \{x | [(B')_x] (A \neq \emptyset)\}$$

B 是结构元素 B 关于原点的映像, $(B')_x$ 表示将 B 结构元素平移且其原点移到位置 x ,如果 $(B')_x$ 与 A 至少有一个像素相交,则 x 属于膨胀图像 $A \oplus B$ 。

下面分别以结构元素 B (见图 7 和图 8)对阴阳网点的做膨胀运算,很显然膨胀运算的结果使阳网点沿其周长向外扩张,而阴网点的结果是向空白中心收缩。

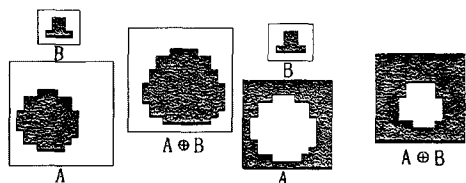


图7 阳网点膨胀运算

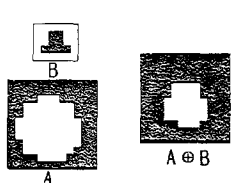


图8 阴网点膨胀运算

我们对一个大小为 $4\text{cm} \times 0.22\text{cm}$ 灰度渐变条,按胶印常用的参数生成半色调化图像(2400DPI 输出分辨率,以 175LPI 的 Euclidean 网点在 PhotoShop 中加网)。我们用结构元素对渐变条的半色调化图像做膨胀运算,模拟胶印工艺中的网点扩大。Matlab 的图像处理工具箱提供了图像的数学形态学处理的函数。其中 imdilate(Im, SE)是实现图像的膨胀运算的函数,SE 是结构元素,Im 是需要膨胀的图像,膨胀后的图像由函数 imdilate 返回。

图 9 是由该实验得到的一条网点扩大曲线,该曲线与胶印工艺过程典型的网点扩大曲线(见图 6)非常类似。50% 的网点处的网点扩大值是网点扩大的最大值。一般将该网点扩大值作为网点扩大曲线最重要的特征值。本实验得到了网点扩大的最大值 20%,改变结构元素可以得到不同的网点扩大曲线。

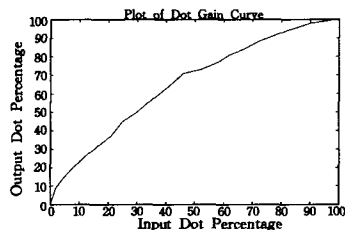


图9 膨胀运算模拟的网点扩大曲线

7 半色调化图像质量评价实验

图 1 表示的是文献[4]使用的半色调化图像质量评价算法。该模型的基本思想是用理想打印机模型和 HVS 滤波器对半色调化图像滤波从而计算出人眼感知半色调化图像,并用同样的方法计算人眼感知的原图,再对逐个像素点用人眼感知的原图减去人眼感知半色调化图像计算均方差作为半色调化图像质量的度量。本研究在文献[4]使用的半色调化图像质量评价算法的基础做如下改进(算法流程见图 11):

(1)引入非理想的打印机模型;

(2)将基于 HVS 模型计算感知的图像的均方差改变为信噪比 SNR;

(3)分区计算 SNR。

将半色调化图像按集束网点单元大小划分成相同大小的若干矩形区域。在矩形区域内计算信噪比,将所有矩形区域中计算得出的信噪比取算术平均值作为半色调化图像的质量指标。从后面给出的实验数据可以看出局部采样计算的 SNR 和整图计算的 SNR 趋势一致,但前者的区分度更好。



图10 测试图像

我们选用 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的测试图像(见图 10)做实验。在 PhotoShop 中用 Euclidean 网点,2400DPI 的输出设备分辨率,以 125LPI 到 300LPI 的 8 个不同的频率加网。首先我们用基于理想的打印机模型质量评价方法计算这一组半色调化

图像的 FWSNR, 实验流程见图 12, 实验数据见表 1。我们发现该指标表明加网的频率越高, 其生成的半色调化图像的质量越好。这与胶印生产的实际情况是不相符的。按现有的工艺条件, 一般以 175LPI 的频率加网质量较好, 超过这个频率, 生产工艺的缺陷会使产品的质量下降。因为在这个质量评价实验中没有考虑胶印工艺的特点和缺陷, 所以表 1 给出的数据得出这样的结论就可以理解了。

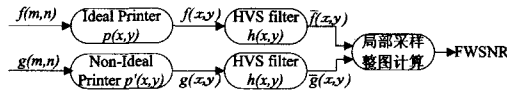


图 11 基于理想的打印机模型质量评价流程

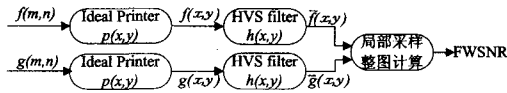


图 12 基于理想的打印机模型质量评价流程

表 1 理想打印机模型

FWSNR	125LPI	150LPI	175LPI	200LPI
局部计算	4.146	5.557	6.084	7.806
整图计算	4.157	5.544	6.067	7.794
FWSNR	225LPI	250LPI	275LPI	300LPI
局部计算	10.287	13.005	16.680	16.680
整图计算	10.320	13.016	16.707	16.707

为了更真实地反映胶印的生产工艺, 我们在第二阶段的质量评价实验中引入非理想打印机模型。按图 11 流程计算得出的数据见表 2。

表 2 非理想打印机模型

FWSNR	125LPI	150LPI	175LPI	200LPI
局部计算	4.360	5.030	5.120	5.048
整图计算	3.445	3.666	3.671	3.537
FWSNR	225LPI	250LPI	275LPI	300LPI
局部计算	4.584	4.047	3.635	3.635
整图计算	3.098	2.691	2.385	2.385

因为实验中在计算 SNR 前做了 HVS 滤波处理, 相当于对人眼的频率特性做加权处理, 这样的质量指标我们也称为频率加权的信噪比 (FWSNR, Frequency Weighted Signal Noise Ratio)。为了验证 FWSNR 对于评价半色调化图像质量的有效性, 对一个渐变连续调图像按胶印要求加网做半色调化, 假定输出设备的分辨率为 2400DPI, 在 PhotoShop 中用 Euclidean 网点做从 125LPI 到 300LPI 共 8 个不同频率的加网。

非理想打印机模型参数的选择。现有的 175LPI 加网的印刷工艺, 一般能保证 2% 的网点不丢失, 98% 的网点不实地化。2400DPI 的输出分辨率的设备以 175LPI 加网, 其网点单元为 14×14 的像素点阵。2% 的网点为 3.92 个像素点, 因此过滤小网点的阈值 Max_number 设定为 4。

人眼对黑白图像最小分辨率空间角为 1 角分; 转换成弧

度值为: $3.14 \times 1 / (60 \times 180)$, 如果观察距离为 12 英寸 (30cm), 则对应 2400DPI 的输出设备的 8.837 个像素点的长度。对彩色图像的分辨率约为黑白图像的 1/5。因此选择 9×9 到 45×45 的像素点阵采样计算信噪比都是合理的。表 1 和表 2 都是采用的 20×20 像素点阵来计算 SNR。

结束语 从实验结果可以看出, 用理想打印机模型计算 FWSNR 评价半色调化图像的质量, 加网频率越高, FWSNR 值越大, 也就是质量越好。这与胶印工艺实际情况不一致。而非理想打印机模型计算 FWSNR 则在 200LPI 内, 加网频率越高质量越好, 超出这个范围, 随着频率升高, 质量反而下降, 这与胶印工艺实际情况一致。当然质量变化的频率拐点与打印机模型选择的参数有关。实验中我们选择了与胶印工艺匹配的参数, 并得出了与胶印工艺一致的相关结论。如果要用在凹印或柔印工艺中, 模型的参数要做相应的调整。

进一步的研究工作可以尝试在非理想的打印机模型加入油墨颜色预测方程, 将本研究拓展到彩色印刷中。在半色调化图像中用集束网点的叠加方式预测 Moiré 的产生和用颜色方程^[7]预测印刷品的颜色也是对生产实践非常有价值的工作。本项目前期所做的均衡集束网点密度的研究^[8]也可以用上一节的质量评价方法为工具去探索性能更好的优化算法。

参考文献

- [1] Sheikh H R, Sabir M F, Bovik A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2006, 15(1): 3440-51
- [2] Ghanem B, Resendiz E, Ahuja N. Segmentation-based perceptual image quality assessment (SPIQA) [C]// 15th IEEE International Conference on Image Processing. San Diego, CA, USA, 2008: 393-396
- [3] Axelsson P E. Quality measures of halftoned images(a review) [D]. Norrköping Sweden, Institute of Technology, Linköping University, 2003
- [4] Kim S H, Allebach J P. Impact of HVS models on model-based halftoning[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(3): 258-269
- [5] Damara-Venkata N, Kite T D, Geisler W S, et al. Image quality assessment based on a degradation model[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(4): 636-649
- [6] Gooran S, Li Yang. Frequency Modulated Halftoning and Dot Gain[R]. Department of Science and Technology, Linköping University, Sweden
- [7] Amidror I, Hersch R D. Neugebauer and Demichel: Dependence and Independence in n-Screen Superpositions for Colour Printing [J]. Color research and application, 2000, 25(4): 267-277
- [8] 徐国梁, 谭庆平. 均衡集束网点密度的伪随机混合抖动半色调化算法的研究[J]. 计算机学报, 2009, 32(8): 1550-1559

(上接第 196 页)

- [3] Fass D. Met *: A Method for Discriminating Metonymy and Metaphor by Computer[J]. Association for Computational Linguistics, 1991, 17(1): 46-49
- [4] Martin J H. A Computational Model of Metaphor Interpretation [M]. NY: Academic Press, 1990
- [5] Kintsch W. Metaphor comprehension: A computational theory [J]. Psychonomic Bulltin and Review, 2000, 7(2): 257-266
- [6] Kintsch W, Bowles A R. Metaphor comprehension: What makes

a metaphor difficult to understand? [J]. Metaphor and Symbol, 2002, 17(4): 249-262

- [7] Mason Z J. CorMet: A Computational, Corpus-based Conventional Metaphor Extraction System [J]. Computational Linguistics, 2004, 30(1): 23-44
- [8] 王治敏. 汉语名词短语隐喻识别研究[D]. 北京: 北京大学, 2006
- [9] 张威, 周昌乐. 汉语隐喻理解的逻辑描述初探[J]. 中文信息学报, 2004, 18(5): 23-28