

基于 LSM 分段拟合技术的喷墨输出反馈控制研究

于惠, 刘真

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 各单色通道保持线性输出是喷墨打印机线性化校正的前提, 以 LSM(最小二乘法)的不足为启示, 分析了 LSM 分段拟合技术的原理及特点, 进而提出了针对图像的不同色调采用 LSM 分段拟合技术。实验分别采用 LSM 分段拟合技术和普通 LSM 拟合技术, 拟合了喷墨打印机的反补偿曲线, 再打印出反馈的应输入控制信息, 最终评价比较了 2 种曲线模型下的输出样稿效果。结果表明: 最小二乘法分段曲线拟合技术比普通最小二乘拟合技术更适用于喷墨输出反馈控制过程中。

关键词: 喷墨输出; 最小二乘法; 分段曲线拟合技术

中图分类号: TS801.1; TS853⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)17-0098-04

Study of the Inkjet Output's Feedback Control Based on the LSM Piece Wise Curve-fitting Technology

YU Hui, LIU Zhen

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Precise inking of every channel is the presupposition of inkjet printers' linearization. The principle and feature of LSM piece wise curve-fitting technology was analyzed. Pictures' different tones were treated with LSM piece wise Printing feedback controlling curve was fitted with LSM piece wise curve-fitting technology and common LSM curve-fitting technology. Sample sheets printed by the two control technologies were evaluated and compared. The results showed that LSM Piece Wise method is more suitable for the inkjet printers' feedback control.

Key words: inkjet output, least-square method, piece wise curve-fitting method

喷墨打印机作为目前国内研究的重点, 其色彩基准的设置直接决定了最终的输出质量水平。高质量的色彩基准设置效果, 不仅要依靠高性能的硬件设施, 还要保证配套软件能够控制打印机的高质量输出^[1], 这个控制过程也就是线性化校正过程, 包括单通道墨量限值、最大总墨量限值以及线性化^[2], 而各墨通道能够按照输入网点面积率线性输出是进行线性化校正的前提。笔者分别使用最小二乘法分段拟合技术和普通最小二乘法技术, 建立了输入网点面积率与输出网点面积率之间的关系模型^[3], 并通过反馈实验比较 2 种关系模型的实际应用效果, 以此更好地控制各色墨通道达到最佳的输出状态。

1 基于最小二乘法分段拟合技术的喷墨输出控制

1.1 普通最小二乘法技术

在控制各色墨通道达到线性输出时, 关键是准确地模拟各色墨通道输入与输出的关系^[4], 其实质就是寻找最匹配的拟合算法, 最小二乘法在最优化求解中已被证明是一种非常有效的方法, 因此在拟合输入/输出网点面积率关系时, 首先采用最小二乘法建立关系模型。

但是最小二乘法也存在一定的缺陷^[5]: 当数据点较多时, 如果拟合阶数低, 拟合精度和效果会降低; 如果阶数高又会导致计算上很复杂, 拟合曲线变得不够

收稿日期: 2011-06-08

作者简介: 于惠(1988—), 女, 江苏人, 上海理工大学硕士生, 主攻打印机线性化校正。

光滑,因此提出采用分段低阶最小二乘法来解决上述问题。

1.2 最小二乘法分段拟合技术^[6]

由一般数学知识可知,4 个数据点可确定一条 3 次曲线,但是为了保证分段后的曲线在曲线边界点仍然连续,所以每个分段的数据点要大于 5 个,而且第 1 段的终点与第 2 段的起点取同一点,第 2 段的终点与第 3 段的起点也取同一点;2 段曲线在曲线连接点处的切线也要相同,也就是在连接点处的导数相等,最后通过最小二乘法求解出三次曲线的系数。

例如,一组数据 $(X_i, Y_i) i=1, 2, \dots, 9$, 根据以上说明,每段选择 5 个数据点,则 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4), (X_5, Y_5)$ 为一段, $(X_5, Y_5), (X_6, Y_6), (X_7, Y_7), (X_8, Y_8), (X_9, Y_9)$ 为另一分段;其中 X 为输出网点面积率, Y 为输入网点面积率,其三次拟合曲线分别为:

$$Y_1 = a_1 X^3 + b_1 X^2 + c_1 X + d_1 \quad (1)$$

$$Y_2 = a_2 X^3 + b_2 X^2 + c_2 X + d_2 \quad (2)$$

为了保证边界点 (X_5, Y_5) 处连续光滑,存在 2 个约束条件:保证 2 条曲线都通过点 (X_5, Y_5) ;且该处的切线斜率相同,即:

$$a_1 X_5^3 + b_1 X_5^2 + c_1 X_5 + d_1 = a_2 X_5^3 + b_2 X_5^2 + c_2 X_5 + d_2 \quad (3)$$

$$3a_1 X_5^2 + 2b_1 X_5 + c_1 = 3a_2 X_5^2 + 2b_2 X_5 + c_2 \quad (4)$$

令 S 为最小二乘估计量:

$$S = \sum_{i=1}^5 [a_1 X_i^3 + b_1 X_i^2 + c_1 X_i + d_1 - Y_i]^2 + \sum_{i=5}^9 [a_2 X_i^3 + b_2 X_i^2 + c_2 X_i + d_2 - Y_i]^2 \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_i} = 0, \frac{\partial S}{\partial b_i} = 0 \quad (6)$$

可求得最小方差 S 的 $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2$ 值,从而确定出式(1)和(2)中的回归系数。

针对印刷品的特点,提出将所有网点面积率数据分为 3 段:浅色调、中间调、暗色调,然后采用上述分段最小二乘法曲线拟合技术处理数据。

2 喷墨打印机各通道的输出控制流程

实验采用的喷墨输出设备是 Epson Pro7800 喷墨打印机,整个实验的前提是能够控制打印机进行单通道输出。Epson 公司的打印控制语言是 Esc 指令

集,通过编程完成了对 Epson 打印机的驱动控制,实现了单通道输墨的功能,能够控制打印机输出已加网的单色 tiff 格式文件。

整个实验的流程见图 1。首先,控制打印机单通

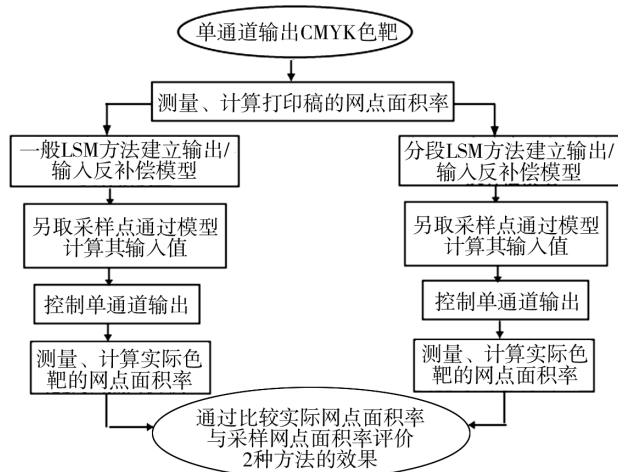


图 1 反馈控制的实验流程

Fig. 1 Experimental flow of feedback control

道输出 CMYK 原色稿,测量计算得到实际的网点面积率;分别用最小二乘法分段曲线拟合技术和普通最小二乘法技术拟合输出网点面积率与输入网点面积率之间的关系模型;然后插入另取采样点的输出网点面积率,通过模型计算出输入网点面积率,以此来控制打印机再次单通道输出;再次测量计算实际网点面积率,最后通过比较实际网点面积率与输入网点面积率之间的关系来评价 2 种关系模型的好坏^[7-8]。

3 喷墨输出的反馈控制实验

3.1 基于 LSM 分段拟合技术的单通道输出控制

单通道输出 CMYK 色靶后,使用分光光度计对样张进行测量,得到每个色块的密度值;然后将密度值带入 Murry-Davis 公式求出各色块的网点面积率。在此以黑色墨通道为例,分别使用 LSM 分段拟合技术和普通 LSM 技术拟合该通道的输出模型,用 Matlab 软件编写 2 种方法的曲线拟合程序^[9],其他通道原理类似。

得到黑色单通道的输入/输出值后,见表 1,根据印刷品独有的明暗色调将整个数据分为 3 段:输出网点面积率 0%~36%为第 1 分段 (X_1) ,即浅色调区域(对应输入网点面积率为 Y_1);输出网点面积率 36%

~71%为第2分段(X_2),即中间调区域(对应输入网

表1 黑色通道的输入/输出值

Tab.1 Input/output value of black channel		%									
网 点 面 积 率	输入	0	2	4	5	6	8	10	12	14	15
	输出	0	21	26	29	31	36	42	46	52	55
	输入	16	18	20	25	30	35	40	45	50	55
	输出	56	59	64	71	79	83	86	90	91	94
	输入	60	65	70	75	80	82	84	85	86	88
	输出	96	97	97	98	98	98	99	99	99	99
	输入	90	92	94	95	96	98	100			
	输出	99	99	100	100	100	100	100			

点面积为 Y_2);输出网点面积率71%~100%为第3分段(X_3),即暗色调区域(对应输入网点面积为 Y_3)。设3分段之间的2个连接点为: $X_m=36\%$, $Y_m=8\%$; $X_n=71\%$, $Y_n=25\%$,3分段对应的拟合函数分别为:

$$Y_1=a_0X_1^3+a_1X_1^2+a_2X_1+a_3 \tag{7}$$

$$Y_2=b_0X_2^3+b_1X_2^2+b_2X_2+b_3 \tag{8}$$

$$Y_3=c_0X_3^3+c_1X_3^2+c_2X_3+c_3 \tag{9}$$

Y_1,Y_2,Y_3 分别由3段数据(X_1,Y_1),(X_2,Y_2),(X_3,Y_3)确定,满足以下2个条件:① Y_1 与 Y_2 在(X_m,Y_m)处的切线斜率相等, Y_2 与 Y_3 在(X_n,Y_n)处的切线斜率相等;②最小二乘估计量达到最小,然后求得各分段曲线的系数,进而建立了关系模型。

3.2 评价实验结果

Matlab 程序实现的曲线拟合见图2,其中较粗曲

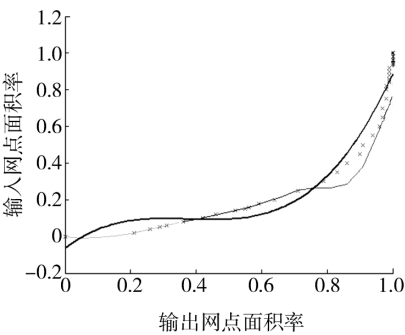


图2 评价实验结果

Fig.2 Results of the experiments

线是用一般最小二乘法拟合得到的曲线,而较细曲线是采用最小二乘法分段曲线拟合技术得到的曲线。很明显能够看出,在暗色调部分,2种曲线则都存在一定程度的误差;但是最小二乘法分段曲线拟合技术

在浅色调和中间调部分的误差小很多,总体效果比较好。从其他青、品、黄通道情况来看,采用最小二乘法分段曲线拟合技术得到的结果也更加精确,更好地说明了各色通道的出墨情况。

将期望输出网点面积率分别插值到2种曲线拟合方法得到的函数中,计算得到理论的输入值,打印输出后,分别测量打印稿,最终效果见图3。结果表

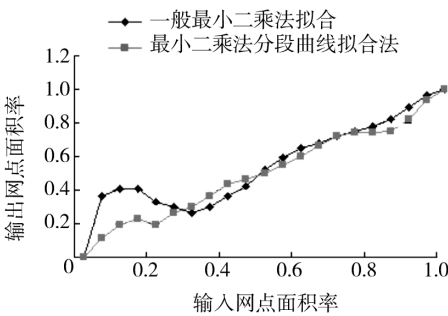


图3 2种拟合方法的结果评价

Fig.3 Evaluation of the results by two fitting methods

明:在浅色调部分,2种方法的表现都不是很好,说明浅色调这部分的颜色层次最难控制,但是从总体来说,最小二乘法分段曲线拟合技术的效果更佳。

通过以上各实验过程以及实验结果的分析,可以说明线性化流程基本可以完成各通道的控制,能够获得不错的输出效果。

4 结语

主要工作及创新点:将最小二乘法分段曲线拟合技术引入对打印机各通道的线性化控制研究中;通过与一般最小二乘法进行对比,确定了最小二乘法分段曲线拟合技术的准确性,并通过评价实验验证了最小二乘法在线性化控制研究中的可应用性;提出了针对喷墨打印机各通道线性化的总体控制流程,并通过反馈实验对控制流程的可行性进行了验证。

存在问题:数据拟合一般都需要大量的实验数据,文中的实验数据数量还不能够充分说明各通道的出墨情况,只能从技术角度为线性化提供实验方案和建议。从上面的结论可以看出,基于最小二乘法分段曲线拟合技术可以更为准确地实现对打印机各通道的线性化控制。

参考文献:

- [1] 刘锦芳. 数字打样质量控制要点[J]. 印刷杂志, 2005(9): 46—49.
- [2] 李文育, 顾恒, 李和伟. 基于 Best 专业打样系统的数码打样仿真技术[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 105—107.
- [3] 许天亮. 六色打印机彩色特性检测与校正技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [4] 梁静. 基于 Printopen 的数码打样色彩管理实施方案[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 118—120.
- [5] 张东林. 分段最小二乘曲线拟合[J]. 沈阳大学学报, 1994(2): 80—83.

- [6] 蔡山, 张洁, 陈洪辉, 等. 基于最小二乘法分段三次曲线拟合方法研究[J]. 科学技术与工程, 2007(3): 352—355.
- [7] 李小东, 陈路, 龚修端. 数字喷墨打印机质量控制分析[J]. 包装工程, 2010, 31(4): 86—88.
- [8] 胡维友. 喷墨数码印刷品网点扩大值和标定网点面积率间关系的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 74—75.
- [9] MARTINEZ W L, MARTINEZ A R. Computational Statistics Handbook with Matlab[K]. Chapman & Hall/CRC, 2002.

(上接第 69 页)

参考文献:

- [1] 李跃进, 樊宁, 李炳贤. 一种新颖连杆机构在包装机械中的应用[J]. 包装工程, 1998, 19(4): 41—43.
- [2] 易启伟. 椭圆齿轮机构及其在包装机械中的应用分析[J]. 包装与食品机械, 1999, 17(4): 23—25.
- [3] 毛中彦. 包装机械中常用间歇转动机构[J]. 机电信息, 2003, 22(58): 25—26.
- [4] 吴若梅, 刘玉生, 谭理刚, 等. 基于反求工程的包装机械机构创新设计[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 35—37.
- [5] 耿武帅, 齐元胜, 王晓华, 等. 平压平模切机驱动机构创

新设计及理论分析[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 61—64.

- [6] 杨廷力, 刘安心, 罗玉峰, 等. 机器人机构结构综合方法的基本思想、特点及其发展趋势[J]. 机械工程学报, 2010, 46(9): 1—11.
- [7] 杨廷力. 机械系统基本理论: 结构学—运动学—动力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [8] 卢开澄, 卢华明. 清华大学出版社图论及其应用[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1996.

(上接第 75 页)

论分析与设计方法中, 繁琐容易出错的问题; 同时, 首次对凸轮机构从建模到仿真单独利用 ADAMS 软件设计, 省去了从其他三维建模软件(如 Pro/E)导入 ADAMS 软件进行仿真的一些接口问题^[9-10]。此外, ADAMS 带有的强大的函数功能, 可以对不同轮廓曲线的凸轮机构进行设计, 只需要根据从动件的运动规律, 输入已知条件和运动方程, 自动生成凸轮轮廓, 从而得到三维实体模型。在 ADAMS 环境下进行运动仿真, 分析其仿真结果, 如发现问题可以直接对凸轮模型进行改进, 与传统方法相比, 提高了设计效率和质量, 缩短了开发周期。

参考文献:

- [1] 王莹. 纸杯机典型机构的运动分析与仿真[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 136—138.
- [2] 孙娜娜. 全自动纸杯成型机机构设计与运动仿真研究

[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.

- [3] 崔彦彬. 基于 Pro/E 的凸轮参数化设计及 ADAMS 运动仿真[J]. 机械传动, 2007, 31(5): 56—58.
- [4] 安子军. 机械原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [5] 申永胜. 机械原理教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [6] 石永刚. 凸轮机构设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995.
- [7] 郑建荣. ADAMS——虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [8] 陈文华. ADAMS2007 机构设计与分析范例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [9] 崔彦彬. 基于 Pro/E 的凸轮参数化设计及 ADAMS 运动仿真[J]. 机械传动, 2007, 31(5): 56—58.
- [10] 刘飞. 基于 Pro/E 和 Adams 的共轭凸轮设计与仿真[J]. 机械研究与应用, 2011(1): 60—62.