

УДК 655.1

Линеаризация струйных плоттеров с использованием градационных траекторий

Костылева Д. О.* , Мильдер О.Б.

*Уральский федеральный университет, каф. полиграфии и веб-дизайна,
ул. Мира, 32, Р041, Екатеринбург, Россия, 620002*

Аннотация. Демонстрируются возможности градационных траекторий применительно к задачам линеаризации струйных цифровых печатных систем с использованием математического аппарата дифференциальной геометрии пространственных кривых. В настоящей работе вводится понятие градационной траектории, предлагается два критерия для их получения и алгоритм, основанный на этих критериях, рассматривается практическое применение градационных траекторий как таковых.

Ключевые слова: линеаризация, градационные траектории, струйная печать.

Linearization of inkjet plotters using tonal trajectory

Kostyleva D. O.* , Milder O. B.

*Ural Federal University, Department of printing arts and web-design,
Mira, 32, R041, Ekaterinburg, Russia, 620002*

Abstract. The possibilities of gradation trajectories are applied to the problems of inkjet digital printing systems linearization using the mathematical methods. In this article the concept of gradation trajectory is introduced. Two criteria for the preparation of gradation trajectories and algorithm based on those criteria are proposed. The practical application of gradation trajectories as a method of linearization is considered.

Keywords: gradation trajectories, inkjet, linearization.

Введение

В современной полиграфической отрасли качество отпечатанного изображения является мерой развития отрасли в целом. Одной из важнейших характеристик, влияющих на качество изображения, является размер чернильного пятна. Для получения качественного финального оттиска размер красочного пятна должен выдерживаться очень точно.

Необходимость ограничения подачи чернил при настройке струйных печатных систем вызвана рядом факторов, и, прежде всего, связана с физико-химическими процессами в системе «бумага — краска».

В настоящий момент с излишними впитываемостью бумаги и растеканием чернил можно бороться по-разному, однако в настоящее время эта проблема решается двумя путями: совершенствованием состава чернил и уменьшением размера капли. Вследствие чего при подготовке печатного оборудования возникает необходимость предварительной тщательной линейаризации.

Различные авторы расходятся в точном определении понятия линейаризации. В нашей работе мы используем следующее определение: линейаризация принтера (плоттера) — специальная настройка, которая отвечает за подачу чернил в необходимом количестве, равномерно в интервале плотности заполнения от 0 % до 100 %.

В предыдущих работах кафедры было введено понятие градационной траектории, которую можно назвать трехмерной трактовкой градационных кривых в Lab-пространстве [3]. Исходной информацией для построения градационных траекторий является не оптическая плотность растрового поля, а непосредственно Lab-координаты тестового патча. Использование градационных траекторий позволяет произвести линейаризацию сразу по трём разным величинам: светлоте L , цветовому отличию ΔE и цветовой координате. Согласно исследованиям автора [2, с. 223–229], равномерное цветовое пространство CIE-Lab можно назвать пространством восприятия, что говорит о возможности использования этой модели для наших исследований.

Целью данной работы является демонстрация возможностей градационных траекторий применительно к задачам линейаризации струйных цифровых печатных систем.

1. Подход

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить критерий ограничения подачи чернил в струйной печати исходя из особенностей взаимодействия чернил и субстрата.
2. Экспериментально определить численное значение максимальной подачи.
3. Представить алгоритм линейаризации, использующий градационные траектории.

Критерий ограничения подачи чернил определяется исходя из анализа данных с полученного тестового оттиска. Одним из вариантов критерия ограничения подачи чернил было достижение определённого значения насыщенности в сепарации. Однако в большинстве случаев этот критерий применим условно, так как насыщенность в них не достигает максимума.

При использовании градационных траекторий в качестве критерия ограничения подачи чернил эмпирически был выбран первый максимум кривизны траектории, то есть такой процент заливки, при котором траектория резко отклоняется от общего первоначального направления. Визуально это соответствует резкому изменению цветового тона. Максимальный процент подачи чернил по каждой сепарации можно определить двумя способами: при помощи вычисления коэффициента корреляции или с использованием разрабатываемого программного обеспечения для вычисления цветового отличия ΔE_{76} .

При вычислениях используется формула цветового отличия ΔE_{76} :

$$\Delta E_{76} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2},$$

В первом случае подача чернил ограничивается интуитивно при первой печати тестовой шкалы, считанные денситометрические данные анализируются, и после линейных преобразований строится график зависимости цветовой насыщенности канала от процента заполнения поля чернилами, в котором на пересечении величины коэффициента с графиком устанавливается необходимый максимум. После установления ограничения подачи чернил процедура линеаризации требует вычисления корректирующих значений RIP, т. н. калибровочная кривая.

Линеаризующим параметром могут выступать: светлота (L), величина цветового отличия (ΔE) или избранная координата цветности. Как правило, это b для жёлтого канала. Линеаризация по L означает, что изменение визуальной яркости при переходе к соседнему растровому полю градационной шкалы линейно зависит от процента подачи краски. В терминах градационных траекторий это означает, что проекции точек на ось ΔE эквидистантны во всём диапазоне от 0 до 100 %. Линеаризация по ΔE означает, что точно эквидистантно распределены по траектории, что в двумерном графике представлено быть не может.

2. Эксперимент

Эксперименты проводились на струйном плоттере MimakiCJV30-160BS. Режим печати 720×720 variable dot, бумага MediaPrintGloss 150 г/м².

Градационные шкалы, содержащие по 50 растровых полей, были синтезированы с помощью ChartGenerator в пакете MeasureTool ProfileMaker в дизайне для автоматического измерителя i1 iSis. Математическая обработка производилась в MS Excel и среде MatLab.

После печати тестовой шкалы без ограничения подачи чернил было замечено ожидаемое сильное растекание по всем элементам шкалы, особенно выраженное в области теней. Общая первичная подача чернил была интуитивно ограничена

до значения 50 %. Далее требовалось установление ограничения подачи чернил в частности для каждого цветового канала.

Результаты измерения при помощи i1 iSis сохранялись в виде текстового файла.

Общий алгоритм ограничения подачи чернил для наглядности можно изобразить схематически (рис. 1).

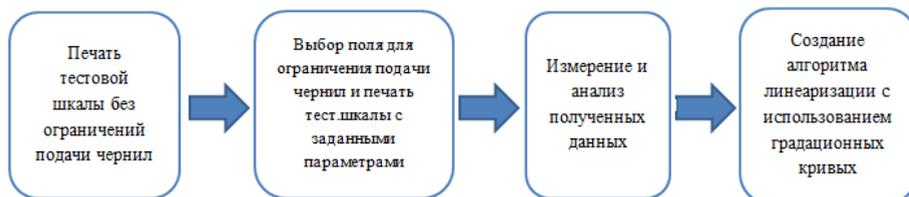


Рис. 1. Порядок операций при ограничении подачи чернил

3. Алгоритм 1

Текстовый файл результатов загружался в MS Excel, для дальнейшей работы по значениям из файла были построены графики зависимости L-координаты (b-координаты для жёлтого) от процента заполнения растровой ячейки в макете. Для того чтобы выявить значения процента подачи чернил так, чтобы величина L или b изменялась линейно была рассмотрена линейная функция вида $y = kx + b$, где x — процент заполнения поля чернилами. Ниже приведён график насыщенности цветового канала C (Cyan) от процента заполнения поля в макете. Критерием ограничения подачи чернил интуитивно выбрано значение $0,95C_{max}$ от максимально достигнутой насыщенности.

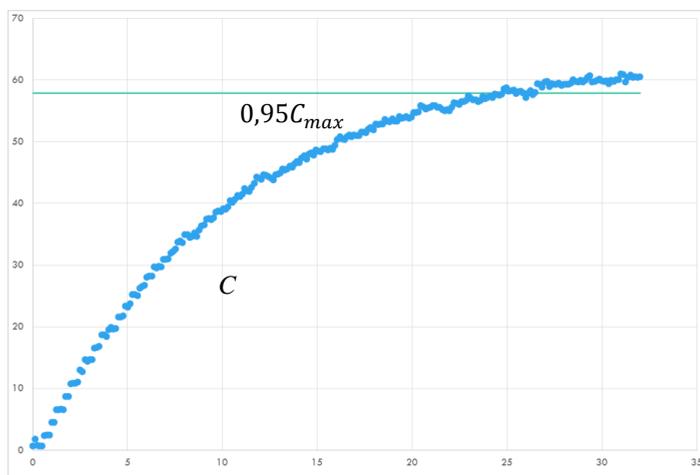


Рис. 2. График зависимости цветовой насыщенности канала C от процента заполнения поля чернилами

По графику была определена точка пересечения — 26,1024 %. Поэтому для ограничения подачи чернил по цветовому каналу Cyan было решено установить ограничение, равное 26 %.

По полученным зависимостям были выявлены значения процента подачи чернил для 20 %, 40 %, 60 %, и 80 % по различным сепарациям так, чтобы величины L или b (для Yellow) изменялись линейно. Полученные значения были вновь занесены в RIP, и шкала была отпечатана повторно.

4. Алгоритм 2

Текстовый файл результатов загружался в MSExcel, где из него выделялись в виде матричных переменных размерности 51 (50 растровых полей плюс незапечатанный материал)×4 (доля заполнения растровой ячейки плюс значения Lab-координат) — данные по отдельным цветовым каналам.

Матричные переменные импортировались в MathLab, где и осуществлялась дальнейшая математическая обработка при помощи разработанной программы.

Аппроксимация зависимостей (1) полиномами осуществлялась в пакете MathLab с помощью функции fit. Степень полинома определялась исходя из конкурирующих условий, в нашем случае это была 4 степень. От полинома находились производные, из которых при помощи написанных функций собирались матрицы, необходимые для дальнейших расчётов и построений. После построения графиков кривизны и кручения, на графике кривизны выбирался интервал, на котором при помощи функции вычислялся первый максимум графика. На выходе программа выдаёт три графика линейаризации: по светлоте L, цветовому отличию ΔE и координате b. По значениям цветового отличия провели линейаризацию по всем сепарациям, выставляя в RIP'е значения через равные интервалы в 10 % (таблица 1). Новую отпечатанную шкалу вновь измерили и построили графики для наглядности и контроля правильности линейаризации.

Таблица 1. Значения макс. подачи чернил при проведении линейаризации

Значения	C	M	Y	K
0	0	0	0	0
10	2,8	3,3	3,9	5,0
20	5,8	7,0	8,1	9,9
30	9,2	11,1	12,7	14,9
40	13,0	15,8	17,8	20,1
50	17,5	21,2	23,6	25,5
60	22,9	27,7	30,2	31,4
70	29,7	35,9	38,2	38,0
80	39,1	47,0	48,3	45,7
90	53,5	64,1	63,1	55,5
100	75,5	95,0	91,3	70,0

5. Результаты

К настоящему моменту было разработано два алгоритма линеаризации: с ограничением по насыщенности в сепарации и с использованием свойств градационных траекторий в качестве ограничительного параметра. Экспериментально выявлено, что наибольшей эффективностью обладает второй алгоритм, который был разработан в виде двух функций в среде Matlab. Первая функция алгоритма вычисляет собственно градационную траекторию и выводит графики зависимости кривизны и кручения траектории. По графику визуально определяется область локализации первого максимума кривизны. Отрезок локализации является входным параметром для второй функции, которая одновременно высчитывает калибровочные кривые для трёх способов линеаризации: по L , ΔE и b . Результаты двух алгоритмов представлены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

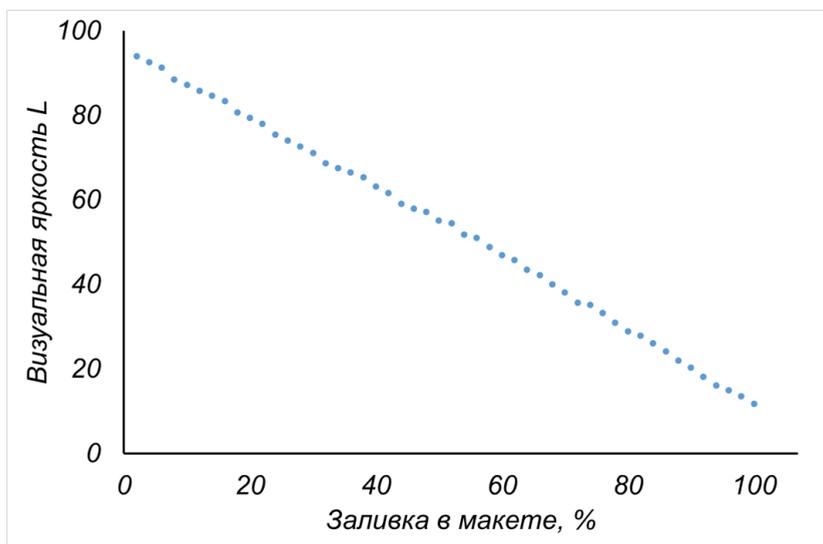


Рис. 3. Линеаризация по первому алгоритму

На рис. 4 показан вид градационной траектории для цветового канала Суап после проведения линеаризации. Точки соответствуют измерениям полей градационной шкалы, сплошная кривая — градационная траектория.

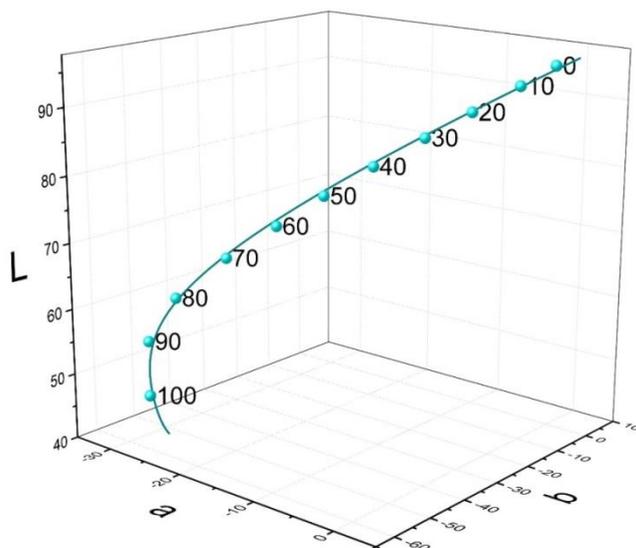


Рис. 4. Градационная траектория для канала Суан

В проведённом эксперименте полученные ограничения по хроматическим каналам представлены в таблице 2. Несмотря на ощутимое различие в установленном проценте подачи краски, фактическое значение в терминах цветового отличия несущественно на визуальном уровне для насыщенных цветов.

Таблица 2. Сравнение экспериментальных данных

Показатели	С	М	У
$0,95C_{max}$, %	60 %	74 %	78 %
Максимум кривизны, %	75,5 %	95 %	91 %
Цветовое отличие $\Delta E76$	7,3	4,8	3,9

Выводы

Подтверждена значительная роль градационных траекторий — трёхмерной трактовки градационных кривых в Lab-пространстве. Вычислены такие параметры траекторий как кривизна и кручение. Выработано несколько критериев ограничения подачи чернил в струйной печати: насыщенность в сепарации и первый максимум кривизны градационной траектории. На данный момент эксперименты проводились с использованием формулы цветового отличия $\Delta E76$, потому мы вправе ожидать на оттиске после линеаризации некоторые погрешности, вызванные неоднородностью восприятия цветового различия. Поиск решения этой проблемы составляет направление дальнейших исследований.

Список литературы

1. Hunt R.W.G. The Reproduction of Colour. 6th revised edition. NJ: John Wiley & Sons, 2004. 724 p.
2. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации / Пер. с нем. М. : МГУП, 2003. 1280 с.
3. Титова М., Мильдер О. Б. Градационные траектории: получение и анализ // Медиа-технологии. Екатеринбург: УрФУ. 2016. №2. С.120–125.