

# БЫСТРЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЛОКАЛЬНО-ЭКВИДИСТАНТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Д.Д. Жданов<sup>1,2,3</sup>, А.Д. Жданов<sup>2</sup>, И.С.Потемин<sup>2</sup>  
НИУ ИТМО<sup>1</sup>, ИПМ им. М.В. Келдыша<sup>2</sup>, ГОИ им. С.И. Вавилова<sup>3</sup>

В работе предлагается высокоэффективный метод построения локально-эквидистантных распределений микрогеометрических объектов с заданной плотностью. Разработанная методика позволяет удалить эффект муара в осветительных системах со светодиодной подсветкой. Описан программный алгоритм метода. Работа иллюстрируется примерами расчета осветительных систем жидкокристаллического дисплея.

## 1. Введение

Растущие требования, предъявляемые к эргономичности современной техники, заставляют производителей искать новые решения при проектировании жидкокристаллических мониторов [1], приборных панелей и других аналогичных устройств. Для того, чтобы добиться наиболее равномерного и комфортного освещения экрана монитора или приборной панели, создаются сложные системы подсветки, в производстве которых используются светопроводящие элементы со сложными оптическими свойствами. Основной принцип действия осветительной системы с торцевой подсветкой показан на рис. 1.

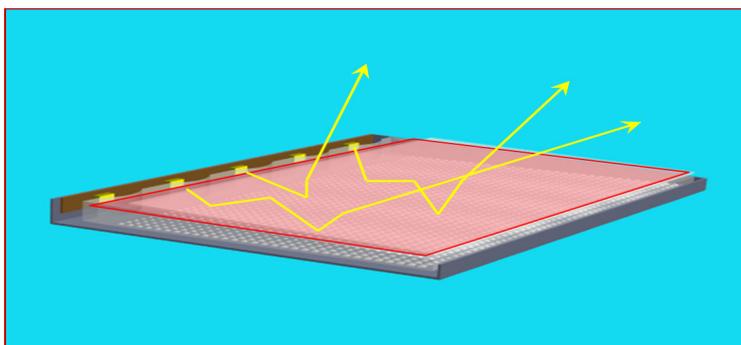


Рис. 1. Принцип работы осветительной системы с торцевой подсветкой

Свет от источников света (либо люминесцентные лампы, либо светодиоды) попадает в светопроводящую пластину и распространяется внутри этой пластины, испытывая полное внутреннее отражение на ее гранях. В обычных условиях свет никогда не покинет светопроводящей пластины и не достигнет экрана. Для того, чтобы заставить свет покинуть пластину, на ее грани наносится светорассеивающая микроструктура [2]. Свет рассеивается на этой микроструктуре, выходит из области углов полного внутреннего отражения и покидает светопроводящую пластину. При равномерном распределении рассеивающих элементов одинаковой формы и размера зоны вблизи источников света имеют, как правило, повышенную яркость, поэтому задача проектирования таких систем заключается в выборе оптимальных параметров формы и распределения элементов микрогеометрии.

Резкий прогресс в развитии технологий позволяет уменьшать размеры рассеивающих микроэлементов и усложнять их форму. Все это, с одной стороны, приводит к повышению эффективности и равномерности яркости систем подсветок, а с другой стороны – к значительному увеличению числа рассеивающих микроэлементов (до десятков миллионов независимых элементов).

Практика показала, что использование регулярных рассеивающих микроструктур может привести к появлению эффекта муара на экране дисплея. Рис. 2 демонстрирует эффект муара, который возникает на экране жидкокристаллического дисплея при использовании регулярного распределения микроэлементов.

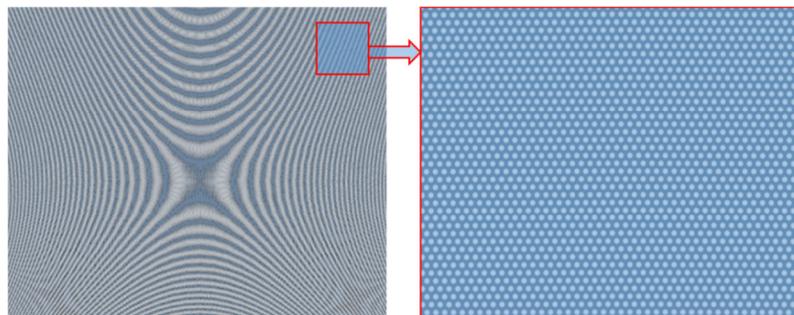


Рис. 2. Эффект муара, вызванный регулярным распределением элементов микрогеометрии

Левая часть рис. 2 иллюстрирует эффект муара на светопроводящей пластине, когда отдельные микроэлементы не различимы, а правая часть рис. 2 – это увеличенное изображение выделенной области микроструктуры, в котором видны отдельные микроэлементы, расположенные регулярным образом.

Поэтому задача построения специальных рассеивающих микроструктур, свободных от данного эффекта, приобретает особую актуальность. Одним из возможных способов устранения эффекта муара является формирование локально-эквидистантных распределений, в которых локальные свойства рассеивания достигаются за счет вариации локальной плотности повторяющихся рассеивающих микроэлементов, а периодичность распределения подавляется локальной микро вариацией координат рассеивающих микроэлементов.

## 2. Способы создания нерегулярных распределений

Для построения нерегулярного распределения микроэлементов необходимо создать структуру, в которой локальная плотность распределения соответствовала бы заданной.

Простейшим из рассматриваемых способов построения распределения с заданной плотностью геометрических микрообъектов является метод *прореживания максимально плотного распределения*, построенного на гексагональной сетке. Алгоритм создания заданного распределения состоит из 2 этапов: (1) построение распределения с максимальной заданной плотностью, (2) удаление каждого микроэлемента с вероятностью, равной плотности распределения.

Достоинством данного метода является высокая скорость построения распределения. Но при этом качество полученного распределения является достаточно низким и при высоких заданных плотностях распределения оно не является локально эквидистантным. Пример распределения микроэлементов, полученных данным методом, представлен на рис. 3а.

Другим, более сложным методом построения нерегулярных структур является так называемый алгоритм *Bubble Mesh* [3]. Суть метода заключается в том, что изначально пространство равномерно заполняется объектами со средней плотностью распределения. На следующем этапе, для достижения заданной плотности распределения, между объектами искусственно вводятся силы взаимного притяжения и отталкивания, зависящие от требуемой плотности распределения объектов в данной области. Когда расстояние между объектами становится меньше равновесного состояния, они отталкиваются (расходятся), а когда больше, то притягиваются (приближаются). Данный процесс повторяется итерационно, пока плотность распределения объектов не достигнет требуемого значения.

К достоинствам данного метода можно отнести высокое качество результирующего распределения микроэлементов, однако скорость работы данного алгоритма очень низкая, что затрудняет использование данного решения для проектирования осветительных систем. Пример распределения микроэлементов, полученных данным методом, представлен на рис. 3б.

Еще одним возможным методом построения нерегулярных структур является *метод искажения гексагональной сетки*. В данном методе для построения распределения с заданной функцией распределения плотности предлагается исказить координатную систему максимально плотной гексагональной упаковки в координатную систему заданной плотности.

Хотя скорость работы алгоритма достаточно высока, данный метод формирует распределения с сильно выраженным эффектом Муара, основанном на регулярности исходного распределения. При этом метод не исключает возможность пересечения объектов и требует дополнительной обработки распределения. Пример распределения микроэлементов, полученных данным методом, представлен на рис. 3в.

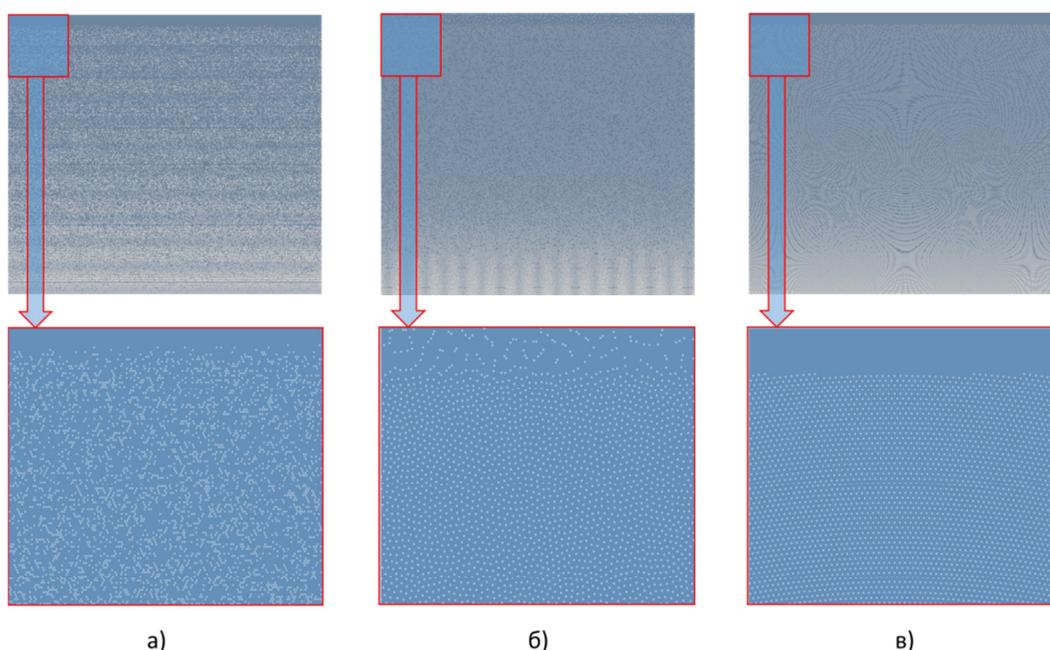


Рис. 3. Примеры распределений (исходные и увеличенные области), полученные методами: а) прореживания, б) Bubble Mesh, в) искажением гексагональной сетки

### 3. “Гравитационный” метод построения распределения

Для построения локально-эквидистантного распределения в данной работе предлагается использовать так называемый «гравитационный» подход. Суть метода состоит в следующем. В прямоугольную область один за другим «бросаются» объекты, которые, двигаясь вниз под действием силы тяжести, опускаются к точке равновесия. Рис. 4 демонстрирует процесс работы данного алгоритма.

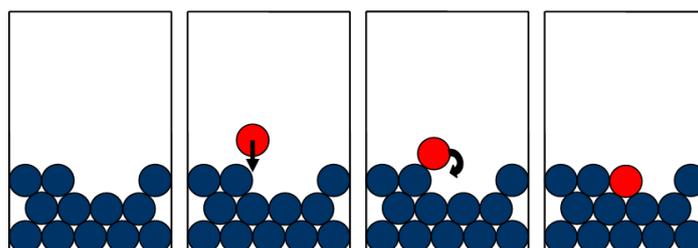


Рис. 4. Алгоритм формирования распределения гравитационным методом

В случае одинаковых размеров объектов описанный подход формирует максимальную плотность распределения в виде гексагональной решетки. Однако, целью работы данного алгоритма является не построение равномерного распределения объектов. Для построения распределения заданной плотности вводится понятие эффективного объекта. Эффективный объект – это объект, форма которого повторяет форму исходного объекта, а его площадь пропорциональна локальной плотности распределения. Рис. 5а–5в иллюстрируют понятие эффективного объекта и построение распределения требуемой плотности, используя эффективные объекты.

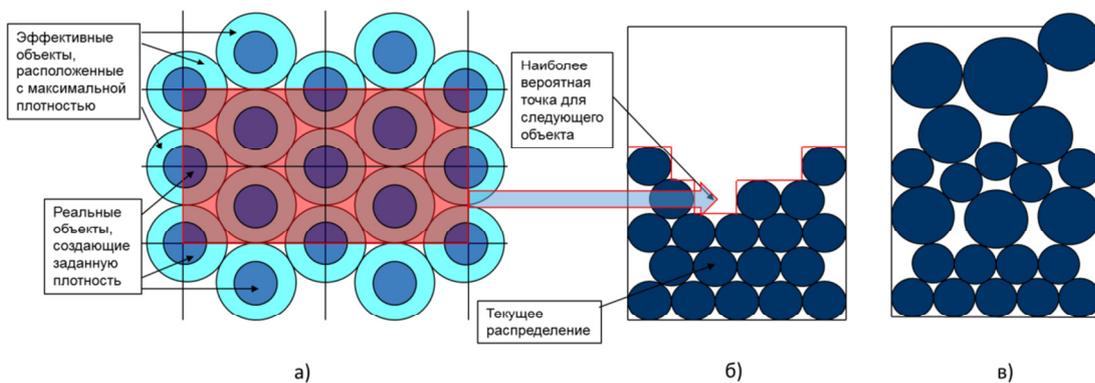


Рис. 5. Алгоритм формирования распределения гравитационным методом

В процессе построения распределения формируется граничный контур, показанный на рис. 5б, и нижняя точка этого контура соответствует точке вероятного попадания следующего объекта. Зная координаты вероятного нахождения объекта, можно определить локальную плотность распределения в этой области и, соответственно, эффективный размер объектов в этой области, как показано на рис. 5а. Используя эту информацию, разработанный алгоритм «бросает» объекты, эффективный размер которых соответствует плотности, в области их наиболее вероятного нахождения. Рис. 5в иллюстрирует финальное распределение эффективных объектов.

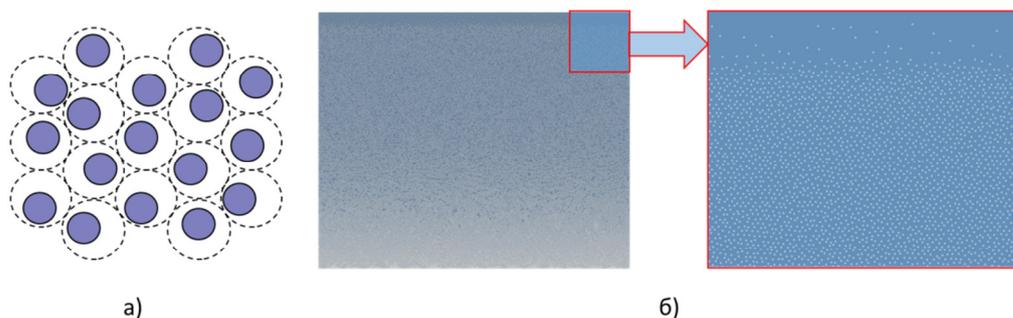


Рис. 6. Вид финального распределения со случайной вариацией положения объектов

Для придания более «стохастического» характера распределения объектов их положение случайным образом варьируется внутри объемлющей эффективной оболочки. Рис. 6а иллюстрирует этот процесс, а рис. 6б – качество полученного распределения (аналогично серии рисунков 3а–3в).

Основным достоинством данного решения является высокое качество (эффект муара отсутствует) и эффективность формирования распределения. Все эти преимущества позволили применить данный алгоритм в программе автоматического проектирования систем подсветки жидкокристаллических дисплеев.

## 4. Оптимизация распределения яркости

Поскольку разработанный «гравитационный» метод обладает высокой эффективностью построения микроструктуры требуемой плотности распределения, он был интегрирован в систему автоматического проектирования осветительных систем [4]. На рис. 7 представлен пример проектирования системы жидкокристаллического дисплея, в котором равномерность яркости определялась оптимальным выбором плотности распределения рассеивающих микроэлементов.

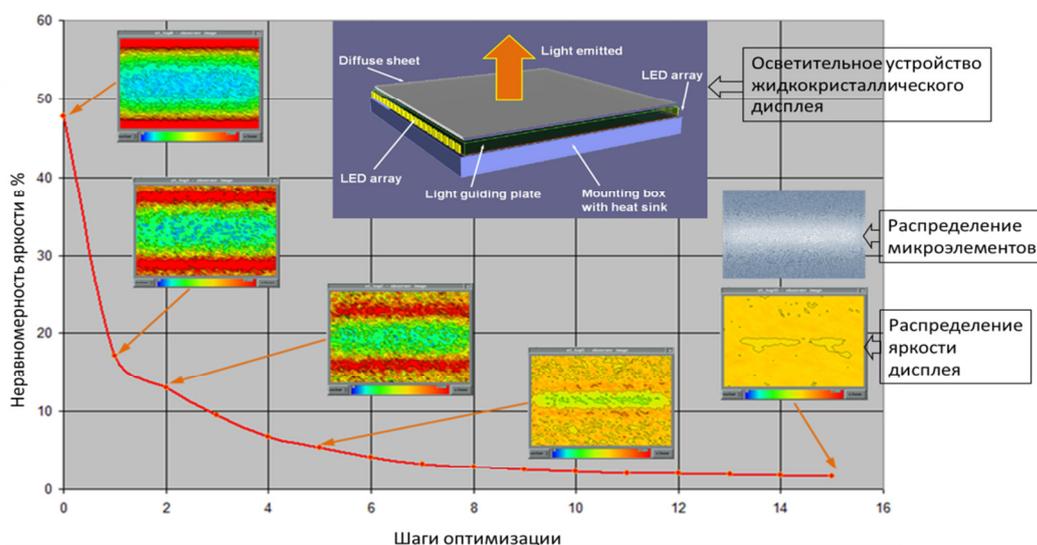


Рис. 7. Результат оптимизации равномерности распределения яркости дисплея с использованием «гравитационного» метода формирования микроструктуры

## 5. Литература

- [1] Jee-Gong Chang, Chung-Yi Lin, Chi-Chuan Hwang, Ruey-Jen Yang. Optical Design and Analysis of LCD Backlight Units Using ASAP // Optical Engineering Magazine, Jun 01, 2003.
- [2] А.Г.Волобой, В.А.Галактионов, Д.Д.Жданов Технология оптических элементов в компьютерном моделировании оптико-электронных приборов // "Информационные технологии в проектировании и производстве", № 3, 2006, с. 46-56.
- [3] Kenji Shimada, David C. Gossard. Bubble Mesh: Automated Triangular Meshing of Non-Manifold Geometry by Sphere Packing. // SMA '95: Proceedings of the Third Symposium on Solid Modeling and Applications, 1995, p. 409-419.
- [4] D.Zhdanov, A. Garbul, V. Mayorov, V. Sokolov, I.Potemin, T.Hyodo, A.Voloboy, V.Galaktionov. Automatic Design of Illumination Systems // Optical Review, vol. 20, no.2, 2013, p.155-159.