

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР МЕТОДАМИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

*П. В. Васильев*

### ВВЕДЕНИЕ

Построение компьютерных моделей пространственных объектов и их структурных образований является необходимым условием решения широкого класса задач в самых разных областях науки и техники. В отличие от методики создания виртуальных сцен путём интерактивного ввода графических объектов в соответствии с замыслом дизайнера, как это выполняется, например, в программах Corel Draw или 3D Studio Max, при построении цифровых моделей реальности используются опорные точки данных, полученные путём фактических замеров, отбора и анализа проб, многозонального зондирования или трехмерного сканирования объектов действительности [1.8]. Кроме того, во многих случаях представляют интерес не единичные объекты, а их совокупности, множества и взаимодействующие в пространстве сети объектов [1.9]. Подобное воссоздание информационной структуры реальности нацелено, главным образом, на решение следующих задач:

- построение виртуальных моделей физических объектов и представление геометрической структуры множества объектов, адекватных их реальным образам;
- получение достоверных оценок количественных и качественных характеристик модельных структур с использованием процедур интерполяции, экстраполяции и иммиграционного моделирования;
- сравнение вновь поступающих трехмерных изображений объектов с хранимыми прототипами или эталонами моделей объектов для обновления баз данных, отбора аналогов, выявления расхождений, распознавания образов и принятия решения.

Общая технология компьютерного моделирования пространственных объектов (Modeling of Spatial Objects) базируется на универсальных методах и алгоритмах интегральной геометрии, применимых для всего доступного исследованию диапазона масштабов реального мира [4, 8]. На макроуровне, в астрофизике и космологии, формализация проблем классификации скоплений звезд способствовала доказательству ряда важнейших положений теории геометрических мер и стохастических процессов [2]. Практические потребности разведки и геометризации месторождений полезных ископаемых в значительной степени стимулировали создание теории случайных множеств и математической морфологии [5, 7]. При проведении микроскопических исследований получили практическое развитие стереологические методы реконструкции геометрического строения вещества по случайным сечениям и срезам [11]. Сегодня задача геометрического моделирования микрообъектов особенно актуальна в связи с быстрым ростом сферы приложения биотехнологий и нанотехнологий, для контроля и управления которыми требуется распознавание образов объёмных изображений молекулярного уровня детализации.

В данной статье описывается комплексный подход к компьютерному моделированию различных типов пространственных объектов на основе методов стохастической геометрии, реализуемый в программном обеспечении с открытым исходным кодом Geoblock [3]. Приведены основные алгоритмы построения сеточных (mesh) моделей пространственных объектов, процедуры их анализа и трёхмерного распознавания. Описаны необходимые инструментальные средства и технология программирования системы с открытым исходным кодом для поддержки групповой разработки в Интернет.

## 1. ПРИЛОЖЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

Стохастическая геометрия, основанная на теории геометрических вероятностей и мер [4, 8], решает вопросы моделирования случайных множеств пространственных объектов на основе анализа изображений структур различных материалов, ландшафтов, почв, горных пород, руд, биологических тканей и т.д. Она используется как для описания пространственной упорядоченности объектов [7], так и для оценки их качественных и количественных характеристик в задачах распознавания и понимания образов [10].

Основной областью изучения стохастической геометрии является случайное замкнутое множество (СЗМ), т.е. некоторое семейство объектов с заданным распределением вероятностей, причем на это семейство накладываются дополнительные ограничения, определяемые существом рассматриваемых задач и моделей. Наибольший практический интерес представляют СЗМ в евклидовых пространствах  $R$  размерности не выше трех  $d=1,2,3$ , т.е. СЗМ на прямой, на плоскости и в пространстве. При этом основными классами СЗМ являются:

- случайные точечные поля (СТП);
- случайные линейные множества (СЛМ)
- случайные множества поверхности (СМП);

Распределение  $P$  СЗМ  $\Xi$  задается как

$$P(A) = P(\Xi \in A) = P(\{\omega \in \Omega: \Xi(\omega) \in A\}), A \in \Psi, \quad (1)$$

где значения СЗМ равны вероятностям того, что случайный элемент  $\Xi$  имеет определенные свойства, а именно лежит в определенных подмножествах  $\Psi$  в пространстве  $R^d$ . Примерами СЗМ являются случайные точки Булевой модели, шары со случайными центрами и радиусами, квадраты со случайными положениями и случайными длинами сторон.

### Стереология реальных геометрических структур

Стереология является разделом стохастической геометрии и развивает методы реконструкции пространственных структур на основе наблюдений в пространствах более низкой размерности. Как правило, осуществляется переход от измерений хорд  $1D$  на секущих структуре линиях или периметрах  $2D$  в плоскостях к объемным телам объектов в  $3D$ .

В недавно вышедшей монографии Дж. Хиллиарда и Л. Лоусона «Стереология и стохастическая геометрия: Машинное зрение и обработка изображений» [12] даётся подробный вывод основных формул стереологии. Показано, как теоретические положения стереологии применяются для характеристики самых различных пространственных структур в анатомии, гистологии, физике твёрдого тела и геостатистике. Стереологические методы в качестве входных данных используют замеры на случайных сечениях, срезах или проекциях на плоскость в том виде, как они получаются, например, в просвечивающей электронной микроскопии или фотограмметрии. Оценка точности должна тестироваться с привлечением метода Монте-Карло. Кроме того, в работе рассмотрены практические аспекты фрактальной геометрии. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к статистическому анализу геометрических структур природных и техногенных объектов, таких как биологические пробы, металлические сплавы, горные породы и структуры сельскохозяйственных угодий. Здесь методы традиционной стереологии распространяются на пространства более высоких размерностей и технику обработки проб большого объёма, разработанную, в частности, в геостатистике на основе обработки вариограмм и кригинга. Таким образом, главные стереологические принципы выводятся из теории случайных мер и множеств через функционалы Минковского и кинематические меры [5].

Как показано в работе [11], в стереологии могут быть выбраны такие характеристики геометрических структур, которые адекватно характеризуют сложные множества реальных объектов по измерениям на линиях и сечениях в соответствии с основным соотношением стереологии

$$L_L = A_A = V_V \quad (2)$$

показывающим, что плотность  $p$  или доля множества объектов трёхмерного стационарного СЗМ на секущей линии, плоской измерительной площадке и в объёме равны между собой. Тогда, если  $\Xi^1$  есть множество, полученное из  $\Xi$  сечением, то для его площади имеем

$$A_A = EV(\Xi^1 \cap [0,1]^2) = \int P(x \in \Xi^1) dx = P(o \in \Xi) = p = V_V \quad (3)$$

Согласно одному из предложенных в данной работе принципов геометрическая структура может быть описана с помощью интегральных мер – собственных характеристик  $S_V$ ,  $V_V$  и  $L_V$  (удельной поверхности; объемной доли; удельной протяженности линейных элементов) и признаков – первичных измерений и стохастической функции раскрытия  $f(d, g)$  полезной фазы.

### Представление данных в виде диаграммы Вороного

Диаграмма Вороного является универсальной структурой представления пространственных данных и предварительного описания СЗМ. Область применения мозаики или диаграммы Вороного охватывает практически все разделы естествознания, включая следующие науки:

- Астрономия – идентификация скоплений звёзд и классификация галактик.
- Антропология и археология – идентификация участков регионов по характерным признакам культуры, традициям, обычаям и архитектурным памятникам.
- Картография – объединение спутниковых фотографий в большие «мозаичные» карты
- Кристаллография и химия – изучение поведения химических соединений в зависимости от свойств их молекулярных структур; моделирование структур сплавов упаковками сфер, доменами атомов.
- География – анализ структур урбанизированных территорий
- Геология – моделирование месторождений по информации, полученной из скважин; моделирование разломов и трещин в затвердевающих базальтах при охлаждении; оценка рудных запасов по методу ближайшего района.
- Технологическая минералогия и обогащение полезных ископаемых – моделирование структурно-текстурных особенностей горных пород, имитация процесса разрушения и расчёт ожидаемого фракционного состава дисперсного материала, оценка обогатимости руды.
- Маркетинг – моделирование рыночных областей внутри страны и в мировом масштабе для индивидуальных предпринимателей или крупных компаний с разветвленной сетью услуг.
- Металлургия – моделирование роста зерен в металлических заготовках.
- Метеорология – построение полигонов Тиссена для оценки средних региональных значений выпадения осадков по данным дискретных замеров.
- Распознавание образов – отыскание функции однозначной идентификации объектов или простых дескрипторов описания формы, выполняющих **ID** параметризацию **2D** и **3D** форм.
- Робототехника – прокладка траектории движения при осложняющих обстоятельствах в сложных условиях.
- Статистика и анализ данных – статистическая кластеризация, интерполяция по методу «натуральных» соседей.

- Биология, экология, лесоводство, сельское хозяйство – моделирование и анализ зон загрязнения, распространённости различных видов растений.
- Физиология – анализ распределения капилляров в сечении мышечной ткани для расчёта потребности в кислороде
- Зоология – моделирование и анализ ареалов обитания животных.

В дополнение к этим «реальным» областям применения диаграмма Вороного имеет многочисленные приложения в области компьютерных наук, в частности, в вычислительной геометрии:

- Анализ конечных элементов – генерация сеток конечных элементов с внутренними углами меньше заданной величины.
- Проблема почтового отделения – задано множество местоположений почтовых отделений и требуется определить ближайшее почтовое отделение к данному дому (оптимизация размещения почтовых индексов)
  - Ближайшая пара – дано множество точек, требуется найти две точки, расположенные друг к другу ближе всех.
  - Все ближайшие соседи – дано множество точек, надо найти ближайшего соседа для каждой точки.
  - Минимальное евклидово связанное дерево.
  - Наибольший пустой круг – для решения проблемы складирования токсичных отходов.
  - Фиксированный радиус ближайших соседей – найти все пары точек, когда расстояние между ними меньше заданного.
  - Все k ближайших соседей – найти k ближайших соседей для каждой точки.
  - Перечисление расстояний между точками в порядке их возрастания – отыскание ближайшей пары, затем следующей пары и т.д.

Перечисленные вопросы являются лишь частью большого круга задач, решаемых с помощью плоских или объёмных мозаик Вороного. Постоянно пополняющийся список ссылок на практически важные приложения и направления теоретических исследований, посвящённых диаграмме Вороного, можно найти на специализированном сайте [I.4].

### **Телекоммуникации и сети**

По мере развития технологий связи растёт практическая потребность построения моделей телекоммуникационных сетей, архитектура которых включает пространственное распределение элементов и имеет некоторое ограниченное число параметров.

Такая цифровая сеть может быть построена с помощью вероятностных моделей, основанных на точечных процессах и стохастической геометрии. Вероятностные установки должны отражать изменение характеристик сети в пространстве и времени, что, в частности, важно для мобильных телекоммуникаций. Данный подход состоит в представлении компонентов сети (узлов, коммуникационных связей, зон обслуживания) в виде семейства случайных объектов (точечных структур, графов, подразбиений пространства), реализованных программными средствами на базе стохастических процессов. В этом случае основные характеристики сети могут быть выражены через функционалы подобных процессов и, таким образом, зависят главным образом от параметров распределения.

Этот подход позволяет использовать явные оценки характеристик сети, такие как пропускная способность, производительность, расходы на поддержку работоспособности и т.д., для прямой параметрической оптимизации функционирования сети. Подробнее о моделировании телекоммуникационных сетей на основе методов стохастической геометрии см., например, ссылку <http://www.di.ens.fr/~mistral/sg/>. На данном сайте представлена информация об использовании стохастической геометрии для моделирования телекоммуникационных сетей в сотрудничестве компаний ENST Paris и France Telecom R&D.

Распространение технологии радиочастотной идентификации RFID пространственных объектов (товаров, зданий, автомобилей, людей и т.д.) требует внедрения в устройства регистрации или сканеры соответствующего программного обеспечения обработки сигналов и выработки ответной реакции в соответствии с хранящейся в базе данных информации о локализованном объекте.

### **Отображение виртуальной и аугментальной реальности**

Виртуальная реальность (VR) и её расширение в виде аугментальной реальности (AR) используются для компьютерного представления и отображения физической среды так, чтобы пользователь мог визуализировать, исследовать и взаимодействовать с моделями объектов этой среды. Поскольку физические среды естественным образом связаны с той или иной геометрией, то большинство вычислительных задач по проектированию и построению VR и AR систем по своей природе также являются геометрическими. В развиваемые в настоящее время телекоммуникационные сети аугментальной реальности планируется включение как искусственных (физических датчиков), так и естественных (сигналов от органов чувств биологических организмов) сенсорных устройств.

В частности, одной из важнейших областей применения VR является решение задачи интерактивного определения столкновений в реальном времени, то есть определение пересечения двух виртуальных объектов (collision detection). Один из наиболее эффективных алгоритмов расчёта столкновений основан на построении тетраэдрической сетки в пространстве и прослеживании движения движущегося объекта внутри данной сетки тетраэдров. Применение заполняющей сеточной модели тетраэдров позволяет существенно сократить число проверяемых пар пересечений путём использования информации, предварительно закодированной в узлах сетки.

### **Анализ и синтез структур и текстур**

Задачи распознавания образов и развитие машинного зрения роботов требуют разработки надежных процедур анализа и синтеза текстур, классификации многомерных наблюдений. В этом направлении исследований также разработан ряд эффективных процедур, основанных на использовании принципов стохастической геометрии. Программные приложения находят применение при управлении ростом кристаллов и исследовании биологических объектов, для автоматизации дешифрирования многозональных спутниковых и аэрофотоснимков, в фотограмметрии стереопар, при обработке сигналов радаров в условиях повышенного уровня помех, при выявлении топологии и связанности минеральных сростаний в горных породах, для расчленения разрезов по комплексу геофизических данным и оценки запасов полезных ископаемых.

### **Нанотехнология и задачи распознавания микрообъектов**

Поддержка быстропротекающих нанотехнологических процессов требует дальнейшего развития автоматизированных контрольно-измерительных приборов с использованием интеллектуальных систем машинного зрения. Проектируемые системы автоматического анализа изображений и распознавания образов должны полностью вытеснить высококвалифицированных специалистов по расшифровке микроскопических снимков. Это связано в первую очередь с тем, что для оперативного контроля нанотехнологических процессов требуются чрезвычайно высокие скорости обработки информации по множеству объектов, что выше возможностей человека как оператора.

Для управления группами специализированных нанороботов требуется их точная локализация и идентификация. Это позволяет обеспечить селекцию необходимых групп внутри общей популяции нанороботов с помощью воздействия на них различными силовыми физическими полями или прямым целеуказанием действий в индивидуальном порядке. В общем случае требуется уникальный маркер как самого наноробота, так и обрабатываемого им микрообъекта. Идентификация нанороботов может осуществляться следующими путями:

- 1) на основе оптического, лазерного или микрозондового распознавания формы наноробота и его вещественного состава;
- 2) по физико-химическим реакциям взаимодействия наноробота с окружающей материальной средой;
- 3) регистрацией излучения сигналов радиомаяка – миниатюрного радиочастотного RFID устройства, размещенного в корпусе наноробота;
- 4) считыванием нанесённого на поверхность наноробота штрих-кода.

Наиболее просто реализуется последний способ идентификации. Однако для его реализации требуется автоматизированный поиск и считывание штрих-кода устройством обработки изображений.

## **2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР**

В качестве программного обеспечения развития стохастических методов моделирования и распознавания пространственных структур данных выбрана программа Geoblock, разрабатываемая как интегрированная система 2D/3D моделирования, управления базами пространственных данных и визуализации виртуальной реальности на платформах Windows и Linux.

Web-страница проекта находится на сайте <http://geoblock.sourceforge.net>, а репозиторий со всеми исходными кодами программы можно найти на сервере SourceForge по адресу: <http://sourceforge.net/projects/geoblock/>. Программа распространяется на основе лицензии MPL для открытых проектов. Интерфейс программы разрабатывается с помощью среды разработки Borland Developer Studio на языке Delphi. Дополнительные подпрограммы, динамические библиотеки и плагины для сборника задач разрабатываются на языках C, C++ или C#.

Программа Geoblock предназначена для решения широкого круга задач компьютерной геометрии пространственных объектов и моделирования динамических процессов. В последней версии программы реализован ряд методов стохастической геометрии и стереологии.

### **Построение триангуляционных и сеточных моделей**

Для построения сеток триангуляции и диаграмм Вороного в программе Geoblock используются процедуры, вызываемые в диалоге, представленном на рис. 1.

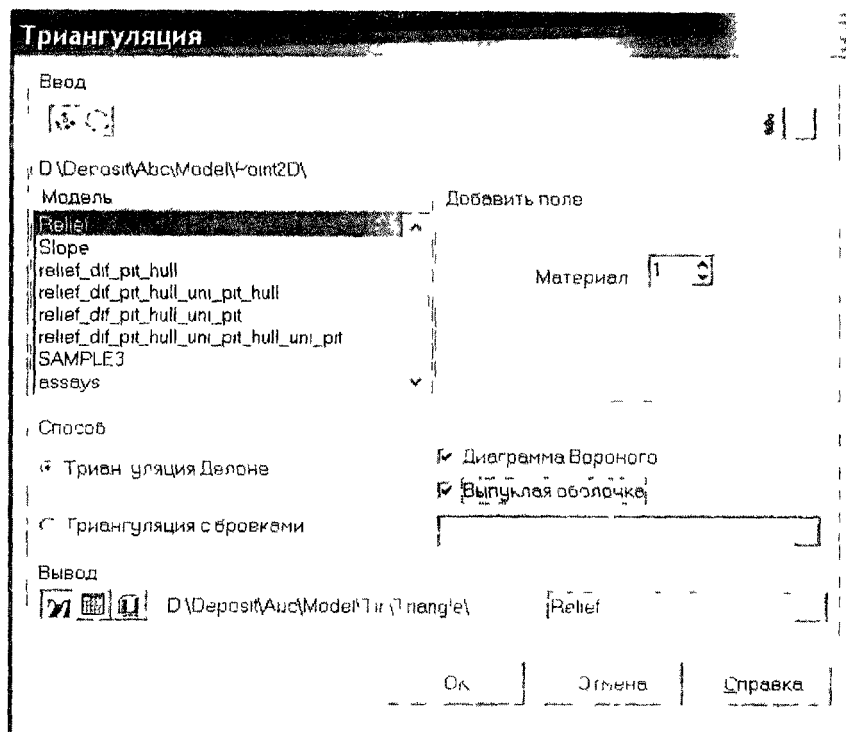


Рис 1 Диалог построения сетки триангуляции Делоне и диаграммы Вороного

В результате расчёта по таблице базы данных исходных точек выводится несколько таблиц данных – триангуляция Делоне, диаграмма Вороного и выпуклая оболочка, охватывающая исходное множество точек. На рис. 2. представлен пример полученной сетки модели поверхности и результат её преобразования в сплошное тело, поверхность которого является замкнутой и описывается полигонами в виде треугольников.

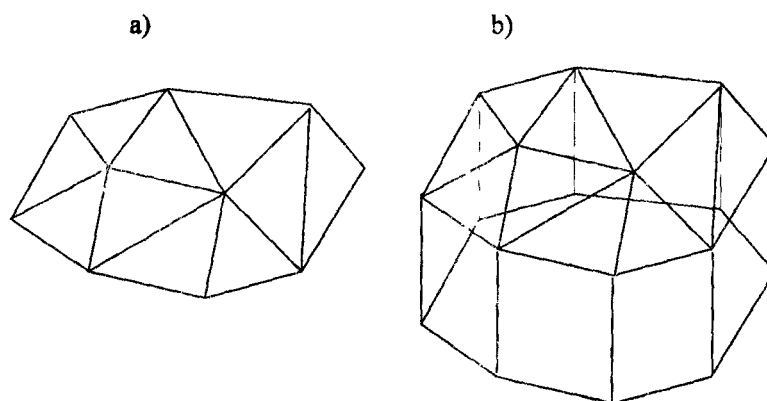


Рис 2 (а) Поверхность объекта в виде сетки триангуляции.  
(б) Экструзия сетки триангуляции TIN в тело SOLID

### Создание интерполяционных моделей на регулярных решетках

В процессе интерполяции точек данных, рассеянных в пространстве и времени, присущие точкам значения или атрибуты преобразуются в непрерывный массив или матрицу численных значений узлов решетки-грид. Исходные данные могут представлять

собой любые измеренные величины, начиная от топографических высот и уровня загрязнения на промышленных предприятиях в регионе до содержания полезного компонента в обнажениях горных пород. Точки данных при этом имеют местоположение с некоторыми координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и измеренными значениями атрибута  $C$ .

Двумерный грид можно изобразить в виде решетки воображаемых линий, перекрывающих исходные точки данных, как это показано на рис. 3.

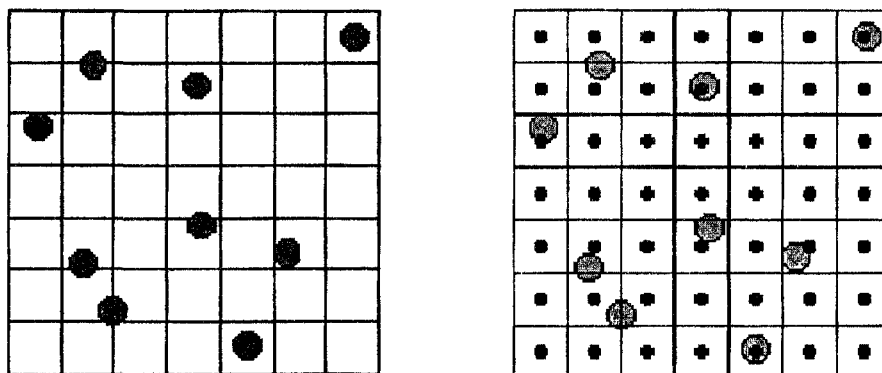


Рис. 3. Интерполяция рассеянных точек данных в узлы регулярной сетки грид

При интерполяции данных в узлы регулярных решеток моделей используются следующие методы:

- метод обратных расстояний,
- линейная интерполяция по сети треугольников (2D) или тетраэдров (3D),
- метод ближней точки,
- геостатистический метод минимизации дисперсии – кригинг,
- метод ближайших соседей по полигонам (2D) и полиэдрам (3D) Вороного,
- полиномиальная регрессия.

Реализованные методы дают возможность строить модели пространственных объектов любой детальности и сложности с многослойными или многоуровневыми связями, что позволяет решать большой комплекс аналитических задач как по определению объемных характеристик пространственных объектов, так и по картографической визуализации территорий с динамической оценкой их функционального состояния в целом.

#### **Логические операции с множествами пространственных моделей**

Одним из наиболее ответственных блоков программы является модуль выполнения логических операций с пространственными моделями. Основные операции представлены на рис. 4.



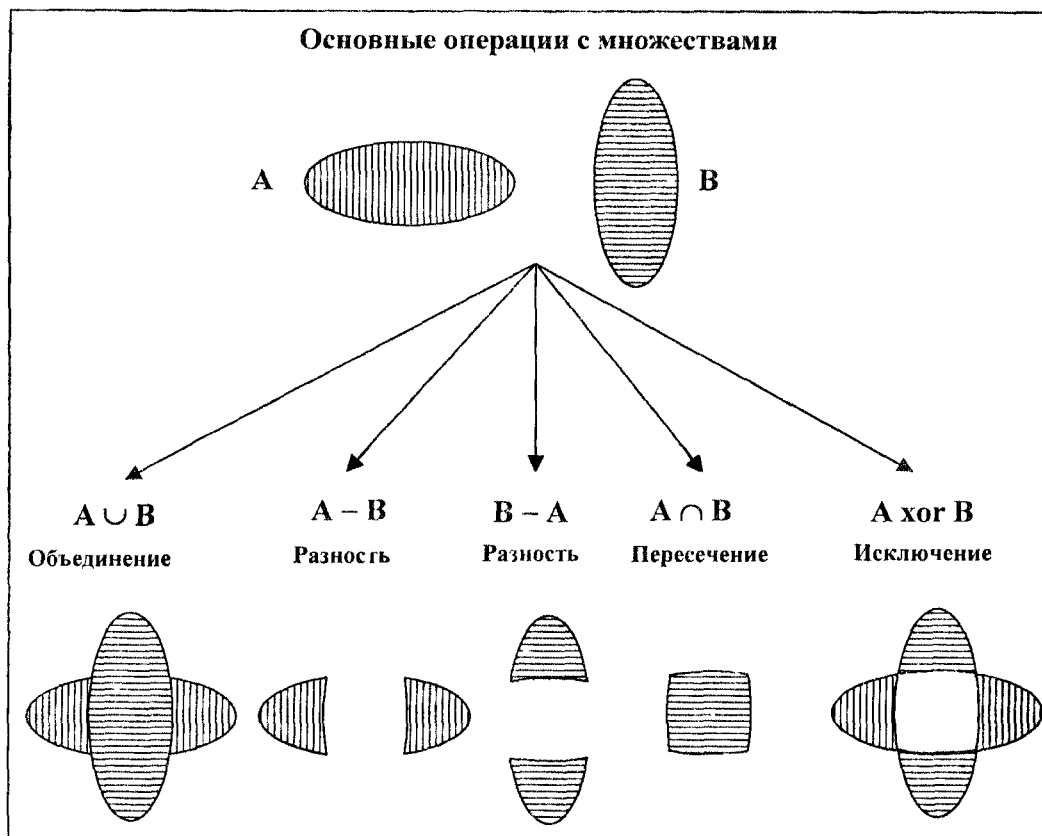


Рис. 4. Основные операции с множествами при работе с пространственными моделями

### Процедура распознавания многофазных пространственных структур

В качестве прототипа применения методов стохастической геометрии для распознавания выбран подход, используемый в работе [10]. Однако отличие заключается в том, что метод распространён на трёхмерный случай и в качестве пробного элемента, помещаемого случайным образом в область модели, используются линейные отрезки, площадки или блоки случайной величины. При этом определяется доля полезного компонента или фазы в каждом элементе. Для двумерного случая изображение разбивается последовательно на случайные квадратные фрагменты уменьшающейся крупности, покрывая весь диапазон размеров, а затем совокупность фрагментов классифицируется по качеству по планиметрической доле полезной фазы. По серии изображений, асимптотически воспроизводящих стереологические характеристики объемной структуры, определяется функция условной плотности вероятности образования фрагментов различного качества – стохастическая функция раскрытия распознаваемого объекта. Результат работы данной процедуры представлен на рис. 5.

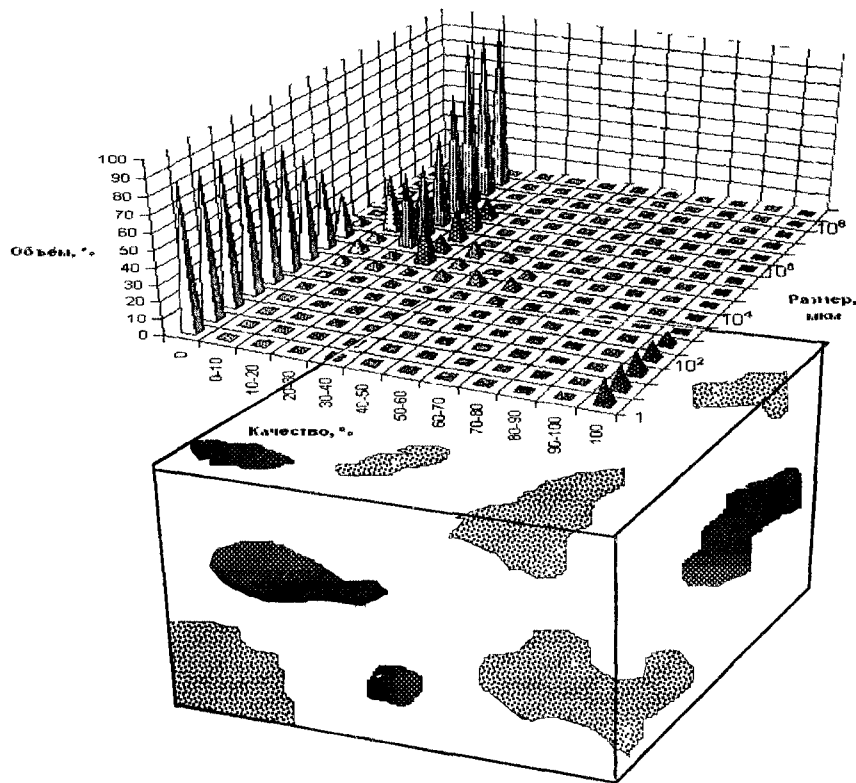


Рис. 5. Матрица раскрытия полезной составляющей объёмной трёхфазной структуры

В случае объемного 3D моделирования стохастическая функция раскрытия полезной фазы  $f(d,g)$  или идентификации ценного компонента структуры определяется следующим образом:

- В исследуемом объёме по исходным точкам данных моделируется пространственная структура в виде тетраэдров, описывающих отдельные объекты, а также их агрегаты и кластеры.
- В модель помещается пробный фрагмент в виде объемного тела (куба, параллелепипеда или сферы) заданного размера  $d$ . Положение и ориентация фрагмента задаются датчиком случайных чисел.
- Определяется стохастическая функция раскрытия  $f(d,g)$ , характеризующая извлечение полезной фазы при уменьшающихся размерах пробных фрагментов.
- Для каждого из фрагментов дополнительно сохраняются координаты и таким образом формируется пирамидально рекурсивная структура с конечными узлами, соответствующими полностью раскрытым фрагментам геометрической структуры.

#### Вопросы ведения проекта

Для работы программы требуется операционная система Windows 2000/XP. Администрирование проекта ведется на сайте SourceForge: <http://www.sourceforge.net/projects/geoblock>.

В качестве средства коллективной работы с файлами на удаленных серверах в Интернет с использованием безопасного протокола передачи данных SSH используется клиент CVS TortoiseCVS (<http://www.tortoisecvs.org/>)

Визуализация моделей выполняется с использованием компонентов GLScene ([www.glscene.org](http://www.glscene.org)), основанной на C функциях графической библиотеки OpenGL ([www.opengl.org](http://www.opengl.org)). Для ускорения ряда двумерных графических операций используется

последняя версия библиотеки А.Денисова Graphics 32 Library, которую можно загрузить с сайта [www.g32.com](http://www.g32.com).

### **Организация базы данных и моделей**

В программе выполнена нормализация структуры БД, осуществляется переход от использования BDE с локальной клиентской СУБД Paradox на применение компонентов dbExpress, ADO, IB для работы с такими форматами баз данных как Interbase, Oracle и SyBase. База данных поддерживает работу с десятью основными наборами пространственных типов данных: points 2d/3d, strings, polygons, tin, grid2d/3d, solids, mesh2d/3d.

Дополнительные источники информации для разработчиков. Для поддержки ведения данного проекта на уровне последних разработок библиотек необходимо постоянное участие программистов в следующих форумах:

- [forums.talkto.net](http://forums.talkto.net)
- [glscene.general](http://glscene.general)
- [jedi.math](http://jedi.math)
- [jedi.jvcj](http://jedi.jvcj)
- [jedi.vcl](http://jedi.vcl)
- [newsgroup.borland.com](http://newsgroup.borland.com)
- [borland.public.delphi.deployment](http://borland.public.delphi.deployment)
- [borland.public.delphi.documentation](http://borland.public.delphi.documentation)
- [borland.public.delphi.ide.general](http://borland.public.delphi.ide.general)
- [borland.public.delphi.internationalization.win32](http://borland.public.delphi.internationalization.win32)
- [borland.public.delphi.migration](http://borland.public.delphi.migration)

### **3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложена общая методология описания геометрических структур гетерогенных объектов дифференциальной функцией стохастического раскрытия компонентов (ФСР), составляющих каркас материала данных объектов. Вещественные объекты в пространстве  $R^3$  моделируются сетями тетраэдров Делоне и полиэдров Вороного, когда подразбиением  $R^3$  или покрытием служит масштабируемое случайное замкнутое множество ( $M_{СЗМ}$ ) пробных фигур различных конфигураций или решеток, покрывающих исследуемую область с объектами. Значения ФСР вычисляются путём полного перебора всех трансляций для СЗМ при масштабировании фигур или решеток покрытия в заданном диапазоне размеров. Матрица ФСР может служить надежным геометрическим идентификатором как отдельных гетерогенных многофазных объектов, так и множеств объектов и использоваться при их сравнении и трёхмерном распознавании.

Развитие компьютерной технологии стохастического моделирования различных типов пространственных объектов по исходным данным, хранимым в реляционных таблицах, обеспечивает основу решения большого комплекса задач анализа и распознавания образов пространственных объектов, включая геоинформационные и телекоммуникационные задачи.

#### **Ссылки в Интернет**

1.1. Моделирование телекоммуникационных сетей методами стохастической геометрии.

Исследовательская группа TREC (INRIA-ENS) проводит исследования в сотрудничестве с France Telecom R&D, (бывшей CNET): <http://www.di.ens.fr/~mistral/sg/>

1.2. Стохастический анализ и его приложения. Сеть EU TMR: <http://sag.maths.ox.ac.uk/>

1.3. Исследование стохастических процессов, проводимые в университете Мельбурна: Рассмотрение теории ветвящихся процессов и практическая реализация стохастических моделей фондовой биржи <http://www.spa.ms.unimelb.edu.au/>

1.4. Приложения диаграммы Вороного в различных областях науки и техники, от физики твёрдого тела до телекоммуникаций и геоинформатики: [http://www.voronoi.com/cgi-bin/voronoi\\_applications.php](http://www.voronoi.com/cgi-bin/voronoi_applications.php)

- 1.5. Обновление продуктов компании Borland:  
["http://www.borland.com/products/downloads/registered/download\\_delphi.html"](http://www.borland.com/products/downloads/registered/download_delphi.html)
- 1.6. Набор средств интернационализации, включая GnuGetText и poEdit, распространяемых по лицензии GNU для Delphi, C++ Builder, Kylix, FreePascal и Lazarus,:"<http://dybdahl.dk/dxgettext/download/>"
- 1.7. Домашняя страница разработки графической библиотеки GLScene для Delphi и C++ Builder:  
["http://glscene.sourceforge.net"](http://glscene.sourceforge.net)
- 1.8. Репозиторий с 3D моделями различных форматов: "<http://www-rocq1.mpa.fr/gamma>"
- 1.9. Сканерные модели 3- мерных объектов Станфордского университета:  
["http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep"](http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep)

#### Библиографический список

1. Александров, В. В. Представление и обработка изображений: рекурсивный подход [Текст] / В. В. Александров, Н. Д. Горский. – Л. : Наука, 1985. – 188 с.
2. Амбарцумян, Р. В. Введение в стохастическую геометрию [Текст] / Р. В. Амбарцумян, Й. Мекке, Д. Штойян. – М. : Наука, 1989. – 400 с.
3. Васильев, П. В. Развитие функциональных характеристик геоинформационной системы Geoblock с открытым исходным кодом [Текст] / П. В. Васильев // Научные ведомости БелГУ. – 2004. – С. 87-97. (Серия «Информатика. Прикладная математика Управление»).
4. Кендалл, М. Геометрические вероятности [Текст] : пер. с англ. / М. Кендалл, П. Моран М. : Наука, 1972. – 192 с.
5. Матерон, Ж. Случайные множества и интегральная геометрия [Текст] / Ж. Матерон. – М. : Мир, 1978. – 318 с.
6. Препарага, Ф. Вычислительная геометрия [Текст] : пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос. – М. : Мир, 1989 – 478 с.
7. Рыков, В. В. Модели и методы стохастической геометрии в геологии [Текст] / В. В. Рыков, Д. Шгойян. – М. : ВИЭМС, 1987. – 74 с.
8. Сангало, Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности [Текст] : пер. с англ. / Л. Сангало. – М. : Наука, 1983. – 360 с.
9. Талдыкин, С. И. Атлас структур и текстур руд [Текст] / С. И. Талдыкин, Н. Ф. Гончарик, Г. Н. Еникеева, Б. Б. Розина – М. : Госгеолтехиздат, 1954. – 268 с.
10. Федотов, Н. Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов [Текст] / Н. Г. Федотов. – М. : Радио и связь, 1990. – 144 с.
11. Чернявский, К. С. Принципы анализа геометрической структуры материалов (стереология реальных структур) [Текст] // К. С. Чернявский // Заводская лаборатория. – 1985. № 9. – С. 38-44.
12. Hilliard, J. E. Stereology and Stochastic Geometry : computational Imaging and Vision [Text] / J.E. Hilliard, L. R. Lawson. – Место издания? Springer, 2003. – 512 p.

УДК 669.218.013: 628.8

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АППАРАТА МОКРОЙ ОЧИСТКИ

*М. В. Анфилов*

Производство цветных металлов почти на всех стадиях технологического процесса сопровождается образованием пыли, которая уносится технологическими и вентиляционными газами. В эти газы в виде примесей переходят окислы серы, хлористый водород, хлор, фтор. Производство никеля характеризуется значительным кашлеуносом, причем каплями уносится пыль, состоящая на 80% из никеля [1-2].

Для улавливания капельного аэрозоля и пыли в настоящее время применяются двухступенчатые или трехступенчатые системы очистки [3]. На ОАО «Норильская Горная Компания» для очистки газов электродуговых печей восстановления никеля применяется трехступенчатая система очистки, состоящая из пылеосадительной камеры, средненапорного скруббера Вентури и жалюзийного каплеуловителя. Эффективность пылеулавливания достигает 99,4%. Но при этом определились и отрицательные стороны,