

Проект SWorld



Львович М.Я., Преображенский А.П., Чопоров О.Н., Романюк А.Н. и др.

*Львович І.Я., Преображенський А.П., Чопоров О.Н., Романюк О.М. та ін.
Lvovich I.Ya., Preobrazhensky A.P., Choporov O.N., Romanuk A.N. and etc.*

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИЗНИ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЖИТТІ СУЧАСНОЇ ЛЮДИНИ
INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE LIFE OF MODERN PERSON**

ВХОДИТ В

*Международные наукометрические базы
входить до Міжнародні наукометричних баз
enters into International scientometric databases*

МОНОГРАФІЯ

*МОНОГРАФІЯ
MONOGRAPH*

Одесса

Одеса / Odessa

Куприенко СВ

Купрієнко СВ / Kuprienko SV

2019

УДК 33
ББК 65
И 57

Авторский коллектив

Колектив авторів / Author team:

Коптяев В.В. (1), Купчак Д.В. (2), Любимова О.И. (2),
Романюк А.Н. (3), Кирилашук С.А. (3), Вяткин С.И. (3),
Львович И.Я. (4), Львович И.Я. (5), Преображенский А.П. (4),
Преображенский А.П. (5), Чопоров О.Н. (4), Чопоров О.Н. (5),
Иванюта А.А. (6), Нестеренко Н.А. (6), Гармаш С.М. (7)

Рецензенты

Рецензенти / Reviewers:

Карельский А.В., кандидат технических наук, доцент, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (1)
Майанюк В. П., кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет (3)
Кострова В.Н. доктор технических наук, профессор, проректор по мониторингу качества Воронежского института высоких технологий (4,5)

И 57 **Иновационные** технологии в жизни современного человека. Часть 2: Серия монографий / [авт.кол. : И.Я. Львович, А.П. Преображенский, О.Н. Чопоров, А.Н. Романюк и др. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2019 – 98 с. : ил., табл. – (Серия «Иновационные технологии в жизни современного человека», Часть 2)

Інноваційні технології в житті сучасної людини. Частина 2: Серія монографій / [авт.кол. : І Я. Львович, А.П. Преображенський, О.Н. Чопоров, А.Н. Романюк та ін.]. - Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019 - 98 с. : іл., табл. - (Серія «Інноваційні технології в житті сучасної людини», Частина 2)

ISBN 978-617-7414-70-3

Монография содержит научные исследования авторов в области техники и технологий. Может быть полезна для инженеров, руководителей и других работников предприятий и организаций, а также преподавателей, соискателей, аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Монографія містить наукові дослідження авторів в області техніки і технологій. Може бути корисна для інженерів, керівників та інших працівників підприємств і організацій, а також викладачів, здобувачів, аспірантів, магістрантів і студентів вищих навчальних закладів.

The monograph contains the scientific research of authors in the field of engineering and technology. It may be useful for engineers, managers and other employees of enterprises and organizations, as well as teachers, applicants, graduate students, undergraduates and students of higher educational institutions.

УДК 33
ББК 65

© Коллектив авторов, 2019
© Куприенко С.В., оформление, 2019

ISBN 978-617-7414-70-3



Монография подготовлена авторским коллективом:

Монографія підготовлена авторським колективом / The monograph was prepared by the authors:

1. *Коптяев Виктор Викторович*, Северный (Арктический) федеральный университет, кандидат технических наук, доцент - Глава 1
2. *Купчак Дарья Владимировна*, Хабаровская государственная академия экономики и права, кандидат технических наук - Глава 2 (в соавторстве)
3. *Любимова Ольга Ивановна*, Хабаровская государственная академия экономики и права, соискатель - Глава 2 (в соавторстве)
4. *Романюк Александр Никифорович*, Винницкий национальный технический университет, кафедра ПЗ, доктор технических наук, профессор - Глава 3 (в соавторстве)
5. *Кирилащук Светлана Анатольевна*, Винницкий национальный технический университет, кафедра высшей математики, кандидат педагогических наук, доцент - Глава 3 (в соавторстве)
6. *Вяткин Сергей Иванович*, кандидат технических наук - Глава 3 (в соавторстве)
7. *Львович Игорь Яковлевич*, Воронежский институт высоких технологий, доктор технических наук, профессор - Глава 4, Глава 5 (в соавторстве)
8. *Преображенский Андрей Петрович*, Воронежский институт высоких технологий, доктор технических наук, доцент - Глава 4, Глава 5 (в соавторстве)
9. *Чопоров Олег Николаевич*, Воронежский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор - Глава 4, Глава 5 (в соавторстве)
10. *Иванюта Анастасия Александровна*, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, кандидат технических наук - Глава 6 (в соавторстве)
11. *Нестеренко Наталия Анатольевна*, Київський національний торговельно-економічний університет, соискатель - Глава 6 (в соавторстве)
12. *Гармаш Світлана Миколаївна*, ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, кандидат сільськогосподарських наук, доцент - Глава 7



Содержание

Зміст / Content

ГЛАВА 1. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГИДРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАЛОЗАГЛУБЛЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Введение	6
1.1. Методика и результаты исследований свойств гидролизного лигнина	6
1.2. Теплотехнические расчеты грунтовой теплоизоляции	10
1.3. Рекомендации по утилизации гидролизного лигнина	14
Выводы	15

ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ ПИТАНИЯ С НИЗКИМ ГЛИКЕМИЧЕСКИМ ИНДЕКСОМ

17

ГЛАВА 3. МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ОБЪЕМНЫХ ДАННЫХ

26

ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Введение	39
4.1. Анализ проблем повышения надежности	39
4.1.1. Существующая сетевая архитектура и ее недостатки	39
4.1.2. Основные положения программно-конфигурируемых сетей	41
4.2. Анализ механизмов повышения надежности	45
Выводы	60

ГЛАВА 5. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМАРТ-ОБРАЗОВАНИЯ

Введение	62
5.1. Принципы Smart образования	63
5.2. Роль компьютерных технологий в Smart образовании	64
5.3. Организационная структура и методы дистанционного обучения	65
5.4. Компьютерная деловая игра как средство обучения	68
Выводы	70

ГЛАВА 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Введение	71
6.1. Анализ научных разработок и исследований распространенных структурообразователей	71
6.2. Характеристика методов регулирования структуры пищевых продуктов	75



Выводы 78

ГЛАВА 7. СУЧАСНИЙ ПІДХІД КРАЇН ЄВРОПИ ДО РЕГУЛЮВАННЯ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Введение 79

 7.1.Безопасность новых АЭС 80

 7.2.Концепция глубокоэшелонированной защиты 80

 7.3. Анализ причин аварии на АЭС «Фукусима-1» 81

 7.4.Подход HERCA-WENRA к защитным мерам ядерной аварии 83

 7.5.Компьютерная система поддержки принятия решений
 (СППР RODOS) 85

Выводы 86

Литература 88



ГЛАВА 3.

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ОБЪЕМНЫХ ДАННЫХ

DOI: 10.30888/2663-9882.2019-01-009

Введение

Представление геометрических объектов на основе объемных данных имеют преимущества для многих применений. Например, для теоретико-множественных операций таких как пересечение и объединение. Однако алгоритмы на основе поверхностей такие как оптимизация формы или моделирование свободных форм часто нуждается в топологическом представлении многообразия, где информация о окрестности внутри поверхности задается в явном виде. Следовательно, необходимо найти эффективные алгоритмы преобразования для генерации явного описания поверхности для геометрии, которая неявно определяется объемным набором данных. Поскольку данные объема выбираются на регулярной сетке с заданной шириной шага, наблюдаются артефакты, особенно, на ребрах извлеченных поверхностей. В данной работе предложен метод извлечения поверхностей, в котором выполняется выборка с учетом особенностей и, таким образом, уменьшаются артефакты.

Существует два основных класса представления поверхностей в компьютерной графике это: параметрические поверхности и неявные поверхности. Параметрическая поверхность обычно задается функцией f , отображающую некоторый двухмерный (может быть неплоским) параметр домена в трехмерном пространстве. Неявная поверхность является нулевым уровнем изоповерхности трехмерного скалярного поля $f(x, y, z)$ (объемное представление). С абстрактной точки зрения, параметрические поверхности определяются как диапазон функции, а неявные поверхности задаются как ядро функции. Для параметрических поверхностей, например, очень легко перечислить точки на поверхности путем вычисления функции f при различных значениях параметров в домене. Соседние ближние выборки



$p_1 = f(u_1, v_1)$ и $p_2 = f(u_2, v_2)$ могут быть определены путем измерения различия соответствующих значений параметров (u_1, v_1) и (u_2, v_2) . Однако, учитывая точку P в трехмерном пространстве, не так просто проверить, лежит ли эта точка на параметрической поверхности. С другой стороны, проверка, лежит ли данная точка p на неявной поверхности, определяется тривиально, так как необходимо просто вычислить $f(p)$. Выбор наиболее подходящего представления поверхности зависит от вида операции и для конкретного приложения. Тем не менее, чтобы получить максимальную гибкость, необходимы алгоритмы преобразования между обоими представлениями. Преобразование из параметрического в неявное требует вычисления поверхностного поля расстояния [1]. Преобразование из неявного в параметрическое обычно реализуется путем нахождения выборок поверхности и их соединения в полигональные сетки [2, 3]. Параметрические представления более высокого порядка, такие как NURBS, обычно строятся на втором шаге с помощью метода подгонки поверхности [4].

Основная концепция объемных представлений для геометрических моделей - это то, что они характеризуют все пространство, охватывающее объект. При этом они не зависят от фактической топологии поверхности и именно поэтому объемные представления предпочтительны в приложениях, где топология объекта может быть сложной или даже изменяться во время операции. Существуют различные концептуальные подходы для объемных (неявных) поверхностных представлений, среди которых алгебраические поверхности [4], функции возмущения [5] и вокселизации [6]. В любом случае поверхность S представлена как ISO-поверхность нулевого уровня скалярной функции f . Эффективно обрабатывать объемное представление можно дискретным приближением непрерывного скалярного поля f путем выборки функции на достаточно мелкой пространственной сетке $g_{i,j,k}$. В области объемной графики [7] были исследованы возможности использования объемных представлений в качестве универсальных примитивов графики.



Далее можно визуализировать такие представления непосредственно без промежуточного преобразования. Однако, во многих приложениях геометрического моделирования и обработки явных представлений поверхностей необходимы требования для удовлетворения приемлемого качества геометрии. А также необходимо обеспечить прямой доступ к внутренним свойствам поверхности таких, как отношение геодезической окрестности и дифференциал геометрических характеристик (например, кривизны). Для этого было потрачено много усилий для того, чтобы разработать эффективные и гибкие алгоритмы для извлечения явной информации о поверхности из наборов данных объема. В этом контексте необходимо решить две подзадачи: во-первых, найти плотный набор поверхностных образцов и после этого соединить их в топологические согласованные наборы достаточно близкого приближения исходной поверхности S . В общем случае различают методы на основе сетки и безсеточные методы. Методы без сетки начинаются с некоторого начального приближения полигональной сетки поверхности S , которая итерационно улучшается путем добавления вершин сетки поверхности S . Скалярное поле f служит в качестве потенциального поля для направления движения вершин. С этого момента притягивающая сила, действующая на вершины сетки, может быть объединена с регулировкой, которая улучшает коэффициент сжатия треугольников. Методы без сетки обычно приводят к высококачественным сеткам, если подстилающая поверхность S гладкая [8]. Однако, при наличии резких ребер на поверхности, становятся видимыми артефакты, которые частично обусловлены конечной дискретизацией скалярного поля f . А также из-за того, что вершины сетки не являются явно добавленными к этим объектам.

Методы на основе сетки извлекают часть поверхности S для каждой кубической ячейки в сетке $g_{i,j,k}$. Выборки поверхности вычисляются с помощью пересечений краев ячейки с поверхностью, после чего создается треугольная сетка, соединяющая эти выборки. Методы на основе сетки



базируются на алгоритма марширующих кубов [9], где хранится предварительно обработанная триангуляция в таблице для всех возможных конфигураций пересечений ребер. Были опубликованы варианты этого базового алгоритма, которые разрешают неоднозначности [10, 11]. Также были предложены альтернативные способы аппроксимации выборок поверхности [12]. Поскольку сложность равномерной сетки $g_{i,j,k}$ увеличивается кубически с уменьшением ширины шага h , то часто адаптируют плотность сетки к локальному геометрическому значению скалярного поля f . Иерархический схемы выборки, такие как техника восьмеричного дерева, начинаются с очень грубой корневой клетки. Эта клетка адаптивно уточняется для того, чтобы захватить все больше и больше деталей функции f и, следовательно, поверхности S . Адаптивное уточнение структуры данных восьмеричного дерева позволяет алгоритму марширующих кубов проверять довольно грубый уровень дискретизации, если соответствующие части геометрии содержатся в текущей ячейке или ее потомках [13]. Если рассматриваемая ячейка лежит полностью внутри или полностью снаружи объекта, то дальнейшее уточнение не улучшает приближение поверхности. Этот критерий дает равномерно распределенный слой клеток тончайшего уровня вокруг поверхности S . В методах [14] сложность адаптивного восьмеричного дерева уменьшается за счет деления ячеек только на криволинейных участках поверхности. Однако, хотя это и оптимизирует разреженность представления восьмеричного дерева, возникают некоторые трудности. Так как кусочно- трилинейный интерполянт данных сетки в окрестности поверхности больше не является непрерывным и, следовательно, нужно учитывать несколько специальных случаев.

В данной работе предлагается метод преобразования объемного представления в полигональное представление сетки поверхности. Алгоритм извлечения поверхности является расширением известного алгоритма марширующих кубов [9] с улучшенным качеством выходной сетки. Основная мотивация разработки новой методики являются артефакты, которые можно наблюдать на ребрах преобразованных поверхностей. Эти артефакты



обусловлены тем, что алгоритмы маршевых кубов обрабатывают дискретные объемные данные и выборка неявной поверхности $f(x, y, z) = 0$ выполняется на основе единой пространственной сетки. Размер этих артефактов можно уменьшить путем уточнения базовой 3D сетки.

Описание метода

Предлагаемый алгоритм извлечения поверхности является продолжением стандарта техники маршевых кубов и, следовательно, сетки на основе такого метода. Применяется адаптивная стратегия уточнения, которая разбивает только те ячейки, которые содержат кусок поверхности S . Благодаря этому получаем слой уровня ячейки вокруг поверхности и создаем один или несколько участков поверхности. В виду того, что обрабатывается каждая клетка отдельно, можно предположить, что достигается равномерная сетка и адаптивный обход восьмеричного дерева с перечислением его ячеек.

Вместо скалярного значения расстояния для каждой точки однородной пространственной сетки, хранятся расстояния в направлении x , y и Z . Это позволяет найти более точные поверхностные выборки по сравнению с приблизительными выборками, полученными с помощью линейной интерполяции значений сетки. Генерация и обработка поля направленного расстояния не более трудоемко, чем обработка расстояний скалярных полей. В данной работе представлен расширенный алгоритм марширующих кубов. Этот алгоритм обнаруживает те клетки решетки, через которые проходит ребро, край или угол рассматриваемой поверхности. На основе информации поля локального расстояния и его градиента, дополнительные точки выборки, лежащие на объекте, вычисляются и вставляются в сетку. Следовательно, можно получить заметно улучшенную аппроксимацию базовой поверхности (см. рис. 1) и гарантией того, что нормали поверхности приближения быстро сходятся к нормальям исходной поверхности. Необходимая информация о градиенте может быть выборкой из исходного поля расстояния или вычислено трилинейным интерполятором. Алгоритмическая структура метода извлечения идентична исходному алгоритму марширующих кубов. То есть, каждая ячейка



дискретного поля расстояния обрабатывается отдельно и патч поверхности создается только на основе локальных критериев. Объединение этих мелких кусочков в итоге дает полигональную аппроксимацию всей поверхности. Оба компонента можно использовать независимо для того, чтобы улучшить извлечение поверхности. Стандартный метод марширующих кубов, увеличенное представление поля расстояния, а также расширенный метод марширующих кубов можно применить к стандартным полям расстояний. Наилучшие результаты получаются, если оба компонента объединены.

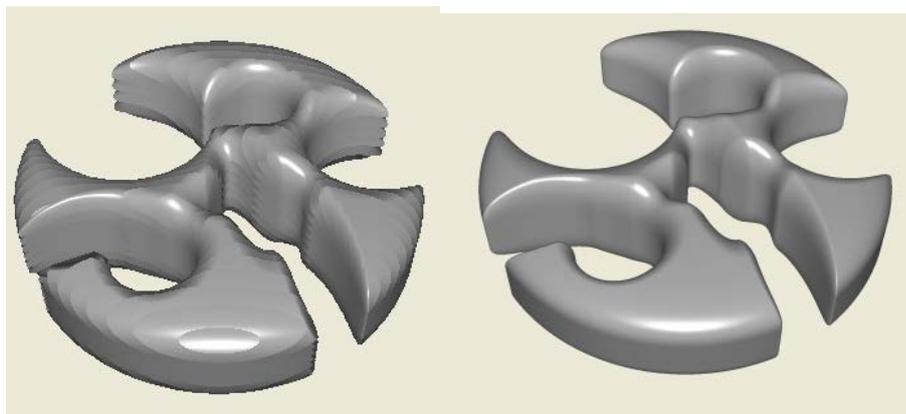


Рис. 1. Улучшенная аппроксимация базовой поверхности (справа), нормали поверхности приближения сходятся к нормальям исходной поверхности

Поле расстояния

Для заданной поверхности S объемное представление состоит из скалярной функции f :

$$[x, y, z] \in S \leftrightarrow f(x, y, z) = 0$$

Если f - непрерывная функция, то S – поверхность без границы и может рассматриваться как внешняя поверхность твердого объекта.

Очевидно, что функция f не является однозначно определенной для данной поверхности S . Однако естественным выбором является функция поля расстояния, которая присваивает каждой точке $[x, y, z]$ ее расстояние

$$f(x, y, z) := \text{dist}([x, y, z], S)$$

с положительным знаком для точек - за пределами области.



На основе этого представления многие операции, такие как расположение точек или логические операции, могут быть реализованы достаточно эффективно, например,

$$[x, y, z] \in S_1 \cap S_2 \Leftrightarrow \max\{f_1(x, y, z), f_2(x, y, z)\} = 0$$

$$[x, y, z] \in S_1 \cup S_2 \Leftrightarrow \max\{f_1(x, y, z), f_2(x, y, z)\} = 0$$

$$[x, y, z] \in S_1 \setminus S_2 \Leftrightarrow \max\{f_1(x, y, z), -f_2(x, y, z)\} = 0$$

Поэтому представление поля расстояния очень популярно в приложениях твердотельного моделирования. Стандартный способ хранения поля на поверхности s в структуре данных - выборка f на однородной пространственной сетке. С помощью трилинейной функции, получаем кусочно-трилинейную аппроксимацию f к исходному полю расстояния f и соответствующей поверхности S , определяется $f(x, y, z) = 0$, которая приближается к S . Алгоритм марширующих кубов генерирует приближение сетки треугольника, используя тот факт, что кусочно-трилинейная функция фактически линейна вдоль каждого ребра ячейки. Следовательно, точки выборки на поверхности S могут быть найдены легко с помощью линейной интерполяции значений расстояния $d_{i,j,k}$ для двух соседних точек сетки $g_{i,j,k}$.

Ограничение этого простого метода заключается в том, что выборки на поверхности S не обязательно близки к S вблизи острых частей (ребер).

На рисунке 2 этот эффект показан в трехмерном примере.

Для улучшения приближения можно уточнить дискретизацию сетки или переключиться на многочлен более высокого порядка в каждую ячейку. Однако, в первом случае улучшенная точность образцов приходит с уточненным триангулированием и, следовательно, с большим количеством треугольников в выходной сетке. Во втором, случае локальные вычисления усложняются, что влияет на общую простоту алгоритма. Поэтому предлагается третья альтернатива, чтобы избежать этих трудностей, используя другую дискретизацию поля расстояния, - направленное поле. Для этой структуры данных используем факт, что алгоритм марширующих кубов вычисляет

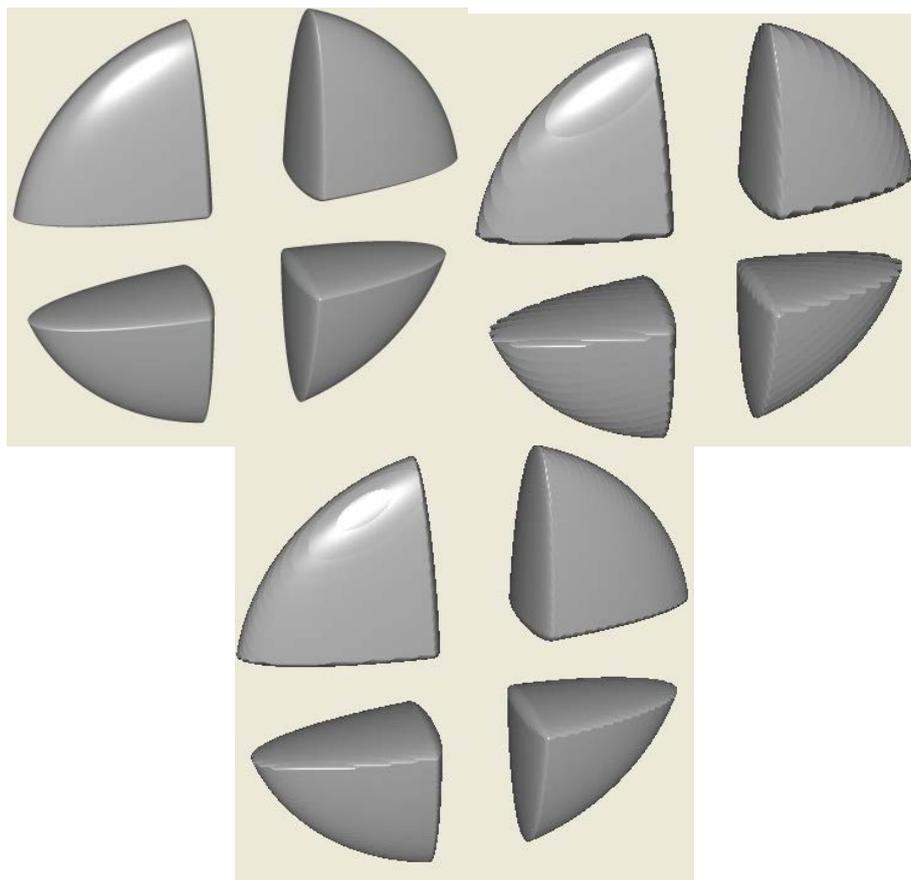


Рис. 2. Вверху справа и внизу: поверхности генерируются алгоритмом марширующих кубов, применяемым к полю с равномерно дискретизированным расстоянием объекта слева. Вверху справа для каждой точки сетки хранятся скалярные значения расстояний, а внизу - три направленных расстояния с включением точной выборки поверхности. Это уменьшает ошибки в области вокруг объекта.

образцы поверхности только по краям ячеек. Следовательно, нет необходимости генерировать непрерывную функцию f , которая аппроксимирует f внутри клетки. Для поля направленного расстояния необходимо хранить в каждой точке сетки $g_{i,j,k}$ три направленных расстояния в (положительном) направлении x , y и z вместо скалярного расстояния $d_{i,j,k}$.

Поле направленного расстояния

Чтобы вычислить направленные расстояния, по сравнению со скалярными расстояниями, требуется больше операций. Однако, для большинства типов



входных данных получается, что направленные расстояния относительно просто вычислять. Возможны два различных подхода. Один для расчета пересечения для каждого ребра ячейки отдельно. Здесь можно использовать локальную проверку, так как каждый край имеет только небольшую длину h . Для всех дискретных объемных представлений расстояния при абсолютном значении, большим h , величины не используются для вычисления выборочных точек во время работы алгоритма марширующих кубов. Второй подход заключается в объединении коллинеарных ребер ячеек, например, для объединения точек сетки. На одной оси можно выровнять луч, а затем вычислить все пересечения вдоль этого луча.

Для геометрического объекта, определенного неявной функцией f , найдем направленные расстояния для точки сетки одномерной схемой поиска корня [15], которая становится особенно простой, поскольку вычисления производим только по оси x , y или z , например, для ребра между точками сетки $g_{i,j,k}$. Для относительно небольшого размера сетки h можно найти достаточно хорошее начальное значение для итераций t . Следует отметить, что поиск ближайшей точки для неявной поверхности намного сложнее пересечения лучей [16].

Если геометрический объект задан полигональной сеткой, при вычислении расстояния можно использовать ускорение методы, разработанные для быстрой трассировки лучей [17]. В данной реализации используется двоичное деление дерева [18], чтобы быстро найти треугольники, которые являются кандидатами на пересечение. Для каждой точки сетки $g_{i,j,k}$ идентифицируем треугольники в сфере, а затем вычисляем пересечения с выровненной осью лучей в положительных направлениях x , y и z . Поскольку известно, что точки запроса $g_{i,j,k}$ лежат на равномерной пространственной сетке, возможно использовать эту регулярную структуру для оптимизации BSP-дерева. Использование восьмеричного дерева деления с помощью ячеек сетки будет оптимальным.

Облака точек являются эффективным инструментом, который



используется во многих алгоритмах восстановления поверхности. Чтобы определить расстояние до облака точек, каждая точка должна быть оснащена правильно ориентированным нормальным вектором. Вместе с нормалью каждая точка определяет элемент касательной плоскости. Расстояние от точки в облаке определяется как расстояние до касательной плоскости. Вычисление направленных расстояний требует пересечения лучей с облаком точек. При этом использовали методику, предложенную в [19].

Расширенный метод марширующих кубов

Даже если возможно вычислить точные выборки поверхности с структуры данных поля расстояния, основная проблема с любой дискретизацией поля расстояния f остается. Это возникновение артефактов при резких особенностях подстилающей поверхности S . В принципе, можно уменьшить погрешность аппроксимации поверхности S , извлеченной из дискретизированного поля F с избыточным уточнением ячейки сетки, в непосредственной близости от объекта. Однако, нормали извлеченной поверхности S никогда не будут стремиться к нормальям S' (рис.3).

Стандартный алгоритм марширующих кубов вычисляет образцы поверхности на глобально однородной сетке, которая не может быть выровнена по особенностям объекта. Локальная адаптация сетки выборки к особенностям объекта имеет решающее значение в виду того, что необходимо сохранить выгодные свойства базового алгоритма, такие как простота и эффективность. Использование аппроксимации высокого порядка для локального патча на поверхности вместо кусочно-линейных сеток не улучшает ситуацию, поскольку существуют острые края поверхности, где поверхность не является дифференцируемой. Однако можно использовать дополнительную локальную информацию поля расстояния f и экстраполировать поведение поверхности рядом функций. Например, вместо непосредственного соединения точек пересечения контура с краями ячеек, дополнительно используем нормаль контура. Вычисляем линейную локальную аппроксимацию (касательного элемента) для каждой точки пересечения. Затем пересечение двух касательных

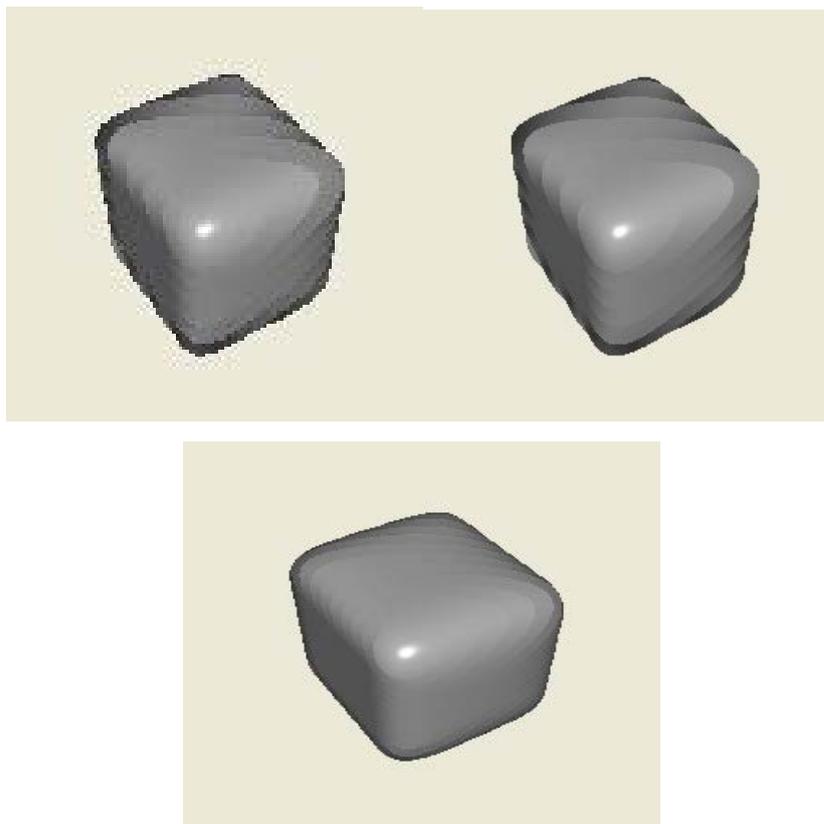


Рис. 3. Артефакты на поверхностях, создаваемые алгоритмом марширующих кубов (вверху). Это обусловлено фиксированной сеткой выборки. Путем уменьшения размера сетки качество изображения можно улучшить (внизу).

дает дополнительную точку выборки, близкой к элементу ребра. Если включить этот дополнительный образец в кусочно-линейное приближение контура, то получаем гораздо лучшую реконструкцию. Как уже отмечалось ранее, поверхность/контур вблизи резкой границы объекта не является дифференцируемым. Однако для многих геометрических моделей можно, по крайней мере, предположить, что поверхность кусочно-дифференцируема. Следовательно, использование точки и информации о нормали для генерации касательных элементов дает хорошие приближения с обеих сторон объекта. Из теории приближений известно, что кусочно-линейный интерполятор гладкой поверхности сходится с порядком $O(h^2)$, где h измеряет плотность выборки. В нашем случае h - размер клетки сетки. Если равномерно уточним сетку, то ошибка может быть уменьшена в четыре раза. Однако, в этих ячейках с



острыми характеристиками поверхности порядок аппроксимации падает до $O(h)$. Это означает, что ошибка уменьшается гораздо медленнее (фактически пропорционально размеру сетки). Однако использование приближения касательного элемента увеличивает скорость локальной сходимости в этих ячейках пространственных объектов. Квадратичная аппроксимация выполняется с обеих сторон объекта отдельно. Конечно, чтобы этот аргумент был действительным, можно предположить, что будет одна острая особенность внутри каждой клетки. В расширенном алгоритме марширующих кубов мы обобщаем этот метод экстраполяции одномерных точек объектов на поверхности. Однако, ситуация сложнее, так как встречаются различные типы функций. Эти типы ребра элемента, где две гладкие области поверхности встречаются вдоль резкой характерной линии. А также, где пересекаются более двух ребер пространственных объектов.

Как и в стандартном алгоритме марширующих кубов, расширенный алгоритм обрабатывает каждую ячейку отдельно. Для каждой клетки сначала проверяется наличие объекта. Эта классификация ячеек аналогична классификации ячеек в расширенной структуре данных восьмеричного дерева, где листья восьмеричного дерева набора для модели отмечены как анфас клетки, края ячейки и ячейки вершин, соответственно. Если ячейка не содержит резкого элемента (ребра), создаем локальный патч сетки треугольника путем использования стандартной процедуры таблицы марширующих кубов. Однако, если объект присутствует, то используем информацию о градиенте в точке пересечения ребер для определения локальных касательных элементов. Затем вычисляем новую точку выборки, близкую к ожидаемой особенности. Вместо использования стандартной триангуляции генерируем веер треугольников с новой вершиной в центре. Включаем дополнительные точки выборки в те ячейки, где ожидаем резких особенностей. Следовательно, совмещаем преимущества регулярной структуры данных с гибкостью адаптивной выборки. Следует заметить, что для типичных моделей САПР выборка функций будет происходить только в очень немногих ячейках вдоль характерных линий.



Заключение

Представлен метод генерации сетки, которая преобразует представление поля расстояния геометрической модели в многоугольное представление сетки. На основе парадигмы марширующих кубов, предложен расширенный алгоритм, который способен надежно обнаруживать и классифицировать острые регионы (ребра) на поверхности, а также делать точную выборку функции для уменьшения артефактов. Для стандартных марширующих кубов существуют обобщения, которые могут быть применены к адаптивно-сбалансированным восьмеричным деревьям.

Классической областью применения объемных представлений является дизайн твердых объектов с логическими операциями. Каждая операция может быть выполнена простым сравнением значений расстояний в сетке точек. Это также справедливо для представления поля направленного расстояния. В предложенной реализации используют расширенные марширующие кубы для создания сетки из модели CSG. Функция чувствительной выборки очень важна в этом контексте, так как острые края и углы обозначают пересечения основных объектов и несут значительную информацию о конструкции. Очень важным практическим применением данной методики является моделирование процессов фрезерования.

Полигональные сетки, которые генерируются на некоторой промежуточной стадии в промышленном процессе CAD, часто имеют низкое качество. Вырожденные треугольники, топологические несоответствия затрудняют использование таких моделей в любом последующем приложении. Чтобы сделать эти данные доступными к другим применениям, чем простая визуализация, необходимо преобразовать модели в увеличенные тесселяционные области. Предложено преобразовывать модель в объемное представление с выборкой его поля расстояния на равномерной сетке. Применение расширенного алгоритма марширующих кубов в таком объеме позволяет повторно создать сетку оригинала с равномерным распределением вершин.