

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕКСТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**В. Н. КРУТИКОВ\***, **С. Ю. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ\*\***, **В. Г. ЛЫСЕНКО\*\***,  
**В. Л. ЛЯСКОВСКИЙ\***

*\*\*Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва, Россия*

*\*\*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы, Москва, Россия, e-mail: s.zolotarevskiy@vniims.ru*

*Рассмотрен процесс характеризации топологических признаков, включающий в себя пять стадий (шагов). Показано дерево изменений, отображающее соотношения между контурными линиями на поверхности. Приведена статистическая обработка признаков существенных топологических параметров, сводящаяся к построению гистограммы количественных значений (или числа) признаков.*

**Ключевые слова:** *характеризация текстуры, топологические параметры, статистическая обработка.*

*The process of topology features characterization involving five stages (steps) is considered. The tree of changes representing the relationships between the contour lines on the surface is shown. The statistical processing of signs of significant topological parameters reduced to plotting of histogram of quantitative values (or number) of signs is given.*

**Key words:** *characterization of texture, parameters of surface topology, statistical manipulation.*

Традиционные параметры текстуры поверхности (профильные и ареальные) основаны на статистических данных, характеризующих множество измеряемых точек. Они разработаны с целью контроля производственного процесса. Большинство ранних работ по определению таких параметров зародились в областях машинного (технического) зрения и картографии [1].

Характеризация топологии не обладает специфическими параметрами с соответствующими им определениями, но зато существует ряд методик распознавания специфики рельефа, использующихся для характеризации специфицированных топологических признаков на

поверхности ограниченного размера. Этот процесс регламентирован стандартом [2] и включает в себя пять этапов.

*Этап 1. Селекция топологических признаков текстуры.* Тремя основными типами топологических признаков текстуры поверхности являются ареальные, линейные и точечные (табл. 1). Важно подобрать подходящий признак для описания функционального назначения поверхности, подлежащей характеристике.

*Этап 2. Сегментация.* Она используется для определения участков поверхности ограниченных размеров. Процесс сегментации представляет собой нахождение «холмов» и «долин». Это обычно приводит к завышенной оценке параметров поверхности и, таким образом, наименьшие или малозначимые сегменты оказываются «отсеченными», чтобы можно было продолжать процесс. Некоторые критерии, например размер, могут служить для определения порога с целью «отсечки» малых сегментов (табл. 2).

Поверхность может быть разделена на зоны, состоящие как из холмов, так и из ям. Под холмом подразумевается зона, от которой максимальное количество путей поднимаются вверх и ведут к одному из обычных пиков, а яма определяется как зона, от которой максимальное количество путей спускаются вниз и ведут к одной из обычных ям. Границами между холмами служат курсовые, а между ямами – складчатые линии (борозды). Они формируют максимальные пути вверх и вниз с началом в седловых точках и завершают соответственно в пиках и ямах.

Т а б л и ц а 1

**Типы топологических параметров при ограничении размеров поверхности**

Класс топологических признаков	Тип топологического параметра	Символ (обозначение)
Ареальный	Холм Долина	H D
Линейный	Линия курса Выступ, гребень	C R
Точечный	Пик (вершина) Яма (выемка, впадина) Седловая точка (точка перевала)	P V S

Размерные критерии для сегментации

Размерный критерий	Символ (обозначение)	Порог
Локальный пик (впадина, высота)	Wolfprune (отсечка Вольфа)	Процент $S_z$
Объем холм/яма (на высоте соединяющего седла на дереве изменений)	Vol S	Специфицированный объем
Зона (площадь) холм/яма	Ared	Процент определяемой зоны (площади)
Длина окружности холм/яма	Circ	Специфицированная длина

Согласно стандарту [2] долина состоит из одиночных доминирующих ям, окруженных кольцом из складчатых линий, соединяющих пики и седловые точки, а холм – из доминирующих пиков, окруженных кольцом курсовых линий, соединяющих ямы с седловыми точками. В пределах долины или холма могут находиться другие ямы и пики, но они будут незначительными по сравнению с доминирующими.

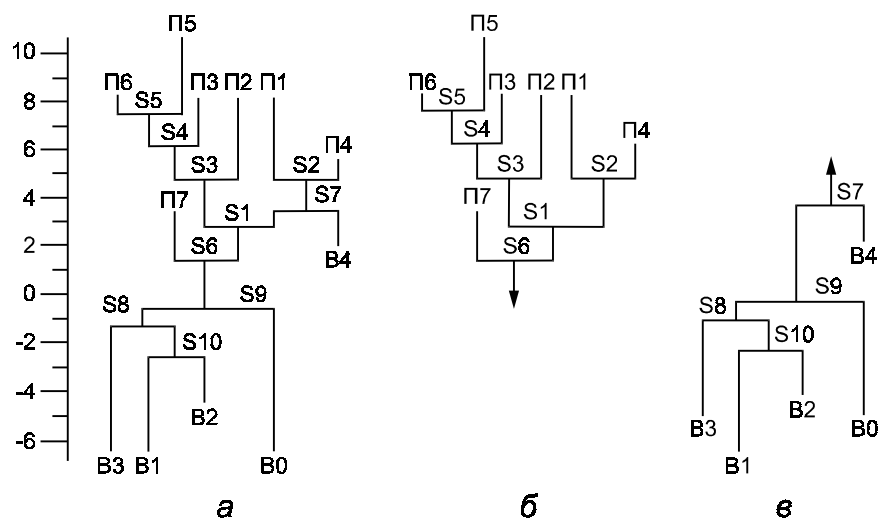
**Дерево изменений.** Полезным инструментом при установлении соотношений между критическими точками в холмах и долинах и сохранении необходимой информации служит дерево изменений [3]. Оно показывает соотношения между контурными линиями на поверхности, полученными при изучении топологических параметров. Вертикальное направление на дереве отображает высоту. При заданной высоте все индивидуальные контурные линии представляют точкой, являющейся частью линии и показывающей, что контурная линия непрерывно меняется вместе с высотой. Седловые точки представлены в виде слияния двух или более этих линий в одну, а пики и ямы – окончаниями линий.

Рассмотрим постепенное «заполнение долины водой». Точка, где вода впервые начинает вытекать из долины, служит седловой точкой. Яма в долине соединена с ней в дереве изменений. Рассматривая аналогичный процесс в другом месте, также получим седловую точку. Снова линия на дереве, отображающая контур «береговой линии водоема», соединяется с седловой точкой. В результате этого формируются

соединения ям, седловых точек и дерева. При повороте поверхности пики становятся ямами и процесс протекает аналогично.

Существует три типа дерева: полное, отображающее соотношения между критическими точками на холмах и в долинах (рисунок, *а*), а также деревья изменений долины и холма (рисунок, *б*, *в*), показывающие соотношения между ямами и седловыми точками и между пиками и седловыми точками, соответственно. Второй и третий типы деревьев могут быть вычислены по дереву первого типа. На практике они в основном характеризуются короткими контурными линиями из-за ряда несущественных топологических особенностей на поверхности и влияния шума. Требуется механизм «отсечения» дерева, сокращающий влияние шума, но сохраняющий все значительные топологические параметры. Существует много способов его реализации [4], но поскольку они связаны с достаточно сложными и трудоемкими математическими операциями, здесь они не рассматриваются. Более детально различные способы рассмотрены в [5].

*Этап 3. Существенные топологические параметры.* Чрезвычайно важным аспектом считается принадлежность топологических параметров к функционально важным. Для каждой конкретной функции



Деревья изменений: полное (*а*), долины (*б*) и холма (*в*)

(назначения) поверхности требуется найти функцию сегментации, идентифицирующую существенные и несущественные топологические параметры, подлежащие сегментации. Только совокупность существенных топологических параметров будет использована для характеристики. Методы (функции сегментации), применяемые для определения существенных топологических параметров, приведены в табл. 3. В настоящее время проводятся интенсивные поиски путей их определения.

*Этап 4. Селекция признаков топологических параметров.* Когда совокупность существенных топологических параметров определена, необходимо подобрать наиболее подходящие признаки (атрибуты) для их характеристики. Многие из них являются мерой параметра (длина или объем). Ряд признаков (атрибутов) приведен в табл. 4, однако продолжают интенсивные исследования научно обоснованных признаков существенных топологических параметров.

*Этап 5. Квантификация статистики признаков (атрибутов) топологических параметров.* Заключительная часть характеристики – статис-

Т а б л и ц а 3

**Методы определения существенных топологических параметров**

Класс топологического параметра	Функции сегментации	Символ (обозначение)	Единицы измерения параметра
Ареальный	Параметр существен, если не контактирует с краем данной вершины То же	Контакт замкнут  Контакт открыт	Материальное отношение (для вершины) То же
Точечный	Вершина существенна, если имеет одну из максимальных $N$ пиковых вершин Вольфа Яма существенна, если она имеет одну из максимальных глубин впадин Вольфа	Пик (максимум)  Дно (минимум)	Целое число $N$  То же
Ареальный, линейный, точечный	–	Все	–

Признаки топологических параметров

Класс топологического параметра	Признак топологического параметра	Символ (обозначение)
Ареальный	Локальная высота (пик/яма) Объем Площадь Окружность (длина окружности)	Lpvh Vols VolE Area
Линейный	Длина линии	Lend
Точечный	Локальная высота (пик/яма) Локальная кривизна в критической точке	Lpvh Curvative
Ареальный, линейный, точечный	Признак имеет числовое значение единица	Счетная единица

тическая обработка признаков существенных топологических параметров, сводящаяся к построению гистограммы количественных значений (числа) признаков. Некоторые из них представлены в табл. 5. Интенсивные исследования в области квантификации статистических данных по признакам, характеризующим топологические параметры, проводятся разными группами ученых.

**Топологические параметры и их отличительные признаки.** Для регистрации результатов характеристики топологических параметров необходимо указать специфические особенности обозначения алгоритмов, которые использовались в каждом из пяти рассмотренных шагов. В качестве примера приведем соглашение

FC; D; Wolfprune<sup>1</sup>: 5%; Edge: 60%; VolE; Hist,

где FC – характеристика топологического параметра, а остальные пять символов (обозначений) взяты из табл. 1 – 5, соответствующих пяти этапам. В приведенных ниже формулах согласованное значение для  $X$  составляет 5 %.

Плотность пиков  $Spd$ , т. е. число пиков, приходящееся на единицу площади записывается как

<sup>1</sup> Wolfprune – отсечка Вольфа.

## Статистика признаков (атрибутов)

Статистика признака (атрибута)	Символ (обозначение)	Пороговое значение
Среднее арифметическое значение	Mean	–
Максимальное значение	Max	–
Минимальное значение	Min	–
Среднее квадратическое значение	RMS	–
Процентное отношение свыше специфицированного значения	Perc	Значение порогового уровня в единицах признака (атрибута)
Мистограмма	Hist	–
Сумма значений	Sum	–
Сумма всех значений, разделенная (являющаяся частным) на площадь определяемой зоны	Density	–

$S_{pd} = FC; H; Wolfprune: X\%; All; Count; Density.$

Среднее арифметическое кривизны пика  $S_{pc}$  представляет собой среднее значение основных кривизны пиков на определяемой площади (зоне)

$S_{pc} = FC; P; Wolfprune: X\%; All; Curvature; Mean.$

Высота поверхности по десяти точкам  $S_{10z}$  определяется как усредненное значение суммы высот пяти максимальных пиков с добавлением усредненного значения суммы глубин пяти наиболее глубоких ям в пределах определяемой площади (зоны)

$$S_{10z} = S_{5p} + S_{5v}.$$

Высота поверхности по пяти точкам  $S_{5p}$  – это усредненное значение суммы высот пяти пиков наивысшей высоты в пределах определяемой площади (зоны)

$S_{5p} = FC; H; Wolfprune: X\%; Top: 5; l_{pvh}; Mean.$

Глубина поверхности по пяти точкам  $S_{5v}$  – усредненное значение суммы глубин пяти ям наивысшей глубины в пределах определяемой площади (зоны)

$S5v = FC; D; \text{Wolfprune: } X\%; \text{Bot: } 5; \text{Irvh; Mean.}$

Площадь замкнутой долины  $Sda(c)$  – усредненная площадь долин, примыкающих к вершине  $c$

$Sda(c) = FC; D; \text{Wolfprune: } X\%; \text{Open: } c; \text{Area; Mean.}$

Замкнутая площадь холмов  $Sha(c)$ , представляет собой усредненную площадь холмов, примыкающих к вершине  $c$ :

$Sha(c) = FC; D; \text{Wolfprune: } X\%; \text{Open: } c; \text{Area; Mean.}$

Замкнутый объем долины  $Sdc(c)$  выглядит как усредненный объем суммы долин, примыкающих к вершине  $c$ :

$Sdc(c) = FC; D; \text{Wolfprune: } X\%; \text{Open: } c; \text{VolE; Mean.}$

Замкнутый объем холмов  $Shv(c)$   $Shv(c)$  – это усредненный объем суммы холмов, примыкающих к вершине  $c$ :

$Shv(c) = FC; H; \text{Wolfprune: } X\%; \text{Open: } c; \text{VolE; Mean.}$

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 16.552.11.7056) с применением оборудования Центра коллективного пользования ВНИИОФИ.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **De Chiffre L. e. a.** Quantitative characterization of surface texture //Ann. CIRP. 2000. V. 49. P. 635 – 652.
2. **ISO/DIS 25178:2008.** Geometrical product specification (GPS) – Surface texture: Areal – Pt. 6: Classification of methods for measuring surface texture (International Organization for Standardization).
3. **Juodzbaly G. e. a.** Titanium dental implant surface micromorphology optimization //Oral Implant. 2007. V. 33. P. 177 – 185.
4. **Mandelbrot B. B.** Fractals: form, chance and dimension. San Francisco (USA): WH Freeman, 1977.
5. **Shepard M. K., Brackett R. A., Arvidson R.E.** 195 Self-affine (fractal) topography: surface parameterization and radar scattering //Geophys. Res. 1995. V. 100. P. 11709 – 11718.

*Дата принятия 10.01.2013 г.*