

# Síntesis procedimental de materiales: resultados en el modelado de pan y materiales cocidos

Rodrigo Baravalle, Claudio Delrieux y Juan Carlos Gómez

Marzo 2012

Laboratorio de Sistemas Dinámicos y Procesamiento de Información. FCEIA, Universidad Nacional de Rosario - CIFASIS - CONICET

DIEC, Universidad Nacional del Sur - IIIE-CONICET - Universidad Nacional de Tres de Febrero

Riobamba 245 bis. (2000) Rosario - Rep. Argentina

Tel: +54 - 341 - 4808543

Fax: +54 - 341 - 4802654

baravalle@cifasis-conicet.gov.ar, cad@uns.edu.ar, gomez@cifasis-conicet.gov.ar

## Resumen

Si bien el avance en el rendering de materiales ha sido notable en los últimos años, también es cierto que existen aún problemas significativos que no están resueltos, por ejemplo el renderizado de objetos cocidos (cerámicas, e inclusive alimentos como por ejemplo el pan). Este es solo un ejemplo de los múltiples casos en los cuales aún no se ha podido encontrar un modelado satisfactorio de la BRDF<sup>1</sup> [1] en materiales complejos.

Por otro lado, el poder siempre creciente de procesamiento de las GPUs (Graphics Processing Unit), y su capacidad superior a CPUs de costo parecido, hacen que las mismas se presenten como una herramienta flexible para cálculos de cualquier propósito, rivalizando y superando a las CPUs [2]. La implementación de modelos como los mencionados anteriormente requiere gran capacidad de procesamiento, especialmente si pretende ser simulado en tiempo real. Por este motivo, las GPUs se presentan como candidatas a utilizarse para tal propósito.

Este trabajo propone el estudio, modelización e implementación en hardware paralelo de sistemas físicos que produzcan todas las características que definen un material, introduciendo la variable tiempo, logrando imágenes foto-realísticas que puedan ser animadas.

Las imágenes resultantes son contrastadas

<sup>1</sup>Bidirectional Reflectance Distribution Function

con objetos reales por medio de extracción de características, entre las cuales se encuentran distintas dimensiones fractales [3, 4].

**Palabras Clave:** **dimensión fractal, multifractal, síntesis de texturas, GPU, foto-realismo**

## Contexto

El presente trabajo se encuadra en el marco de la tesis de Doctorado en Informática del autor, en curso en la Universidad Nacional de Rosario. El mismo se inserta dentro de la línea de investigación en foto-realismo y rendering avanzado utilizando GPUs del Laboratorio de Ciencias de las Imágenes (Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras (DIEC), Universidad Nacional del Sur, e Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica - CONICET), donde pertenece el director del doctorado, y el Laboratorio de Sistemas Dinámicos y Procesamiento de Información (LSD), FCEIA, UNR, donde pertenece el co-director del mismo.

El doctorado cuenta con el financiamiento de una beca de postgrado tipo I del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Dichas actividades se desarrollan en el Centro Internacional Franco Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS).

## Introducción

En [5] se presentó un trabajo sobre generación procedimental de texturas utilizando sistemas de partículas [6]. La idea consiste en utilizar estas últimas para generar imágenes de distintos materiales como madera, mármol, granito, césped y pan.

Existen diversos criterios para evaluar la fidelidad de las imágenes resultantes. Uno de ellos consiste en realizar pruebas con personas, entregándoles imágenes verdaderas y sintéticas, sin que ellas sepan a cuál categoría pertenece cada una, pidiéndoles que clasifiquen las imágenes en verdaderas y sintéticas. Si las imágenes sintéticas resultan ser clasificadas en un porcentaje adecuado como reales, se puede considerar al experimento como satisfactorio.

Otro método consiste en comparar las imágenes por medio de extracción de características. En el presente trabajo se comparan dimensiones fractales (DF) de determinadas características de muestras reales y sintéticas. Para ello se utilizan las DFs de Korcak [3] y la dimensión Box [4].

En [7] se presentó un trabajo similar de cálculo de distintas DFs sobre muestras de pan. Las mismas son obtenidas a través de algoritmos diferentes a los utilizados en este trabajo. Los resultados obtenidos no tienen en cuenta la posibilidad de estimar más de una DF para las muestras.

## Dimensión Box

La misma intenta simplificar el cálculo de la DF de Hausdorff, debido a que ésta resulta muy difícil de obtener [4] (o imposible si el objeto no es estrictamente autosimilar).

Dada una imagen, se la subdivide en una grilla  $M \times M$  donde el largo del lado de cada cuadrado formado es  $\delta$ . Si  $N(\delta)$  representa el número de cuadrados que contienen al menos un píxel resultado de una binarización de la imagen (píxel blanco) para ese  $\delta$ , la dimensión Box  $D_b$  queda definida como:

$$D_b = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log(N(\delta))}{\log(1/\delta)}$$

En el algoritmo resultante se utiliza una imagen binarizada de la original. A partir de ella se seleccionan distintos  $\delta$ , realizando un conteo de cuadrados que contienen píxeles blancos en cada caso (para evitar inestabilidad

numérica, se utiliza un promedio de casos, estableciendo distintas posiciones de la grilla sobre la imagen). Finalmente se realiza un ajuste por regresión lineal de los datos obtenidos en el espacio  $\log - \log$ , cuya pendiente es por definición la DF Box de la imagen.

## Dimensión Fractal de Korcak

Esta DF fue introducida en [3], basada en un trabajo previo del científico checo Korčák. La misma funciona como un descriptor de fragmentación de objetos en dos dimensiones. Su definición formal es la siguiente [8]:

$$N(A > a) = ka^{-K},$$

donde  $K$  es el exponente Korcak de fragmentación (patchiness),  $N$  es el número de fragmentos cuyo área  $A$  es mayor que el valor  $a$ , y  $k$  es una constante. La DF de Korcak,  $D_k$ , queda definida de la siguiente manera:

$$K = D_k/2.$$

El procedimiento para calcular  $D_k$  consiste en ajustar una recta a partir de pares  $(\log(a), \log(N))$ . En este trabajo se considera apropiado este valor dado que las muestras de pan están compuestas por burbujas de distinto tamaño, resultantes del proceso de cocción del mismo, por lo tanto, se busca que las muestras sintéticas posean características similares de fragmentación.

## Segmentación de las Imágenes

La imagen original es binarizada utilizando el algoritmo de Otsu [9] para definir un valor de umbral, a partir del cual se decide si el píxel será negro o blanco en la binarización.

Un error muy común utilizando este método es que muchas regiones de la imagen donde el ojo detecta masa, son consideradas burbujas (color blanco). En estos casos se obtuvo un mejor resultado al definir un umbral  $t$  para una imagen determinada (observando el resultado para cada imagen). La misma es transformada a escala de grises y se establece como burbuja a cualquier valor menor a  $t$ . En casos donde este procedimiento no resulta satisfactorio, se elige una subregión de la imagen donde el algoritmo de segmentación presenta buenos resultados.

A modo de ejemplo, en la Figura 1 puede observarse una imagen y su binarización.

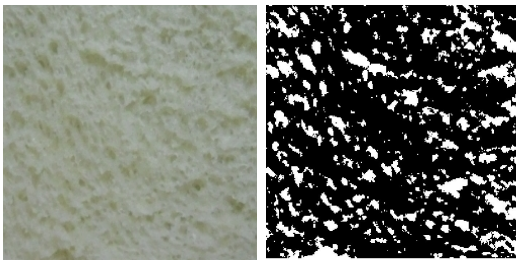


Figura 1: Imagen y su binarización

En la Figura 2 se observan los valores obtenidos en el cálculo de la dimensión Box para esta imagen y la recta que ajusta estos valores.

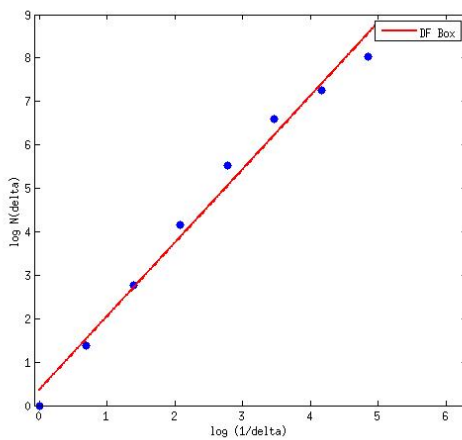


Figura 2: Dimensión Box de la imagen de la Figura 1

En la Figura 3 se observan los valores obtenidos por el algoritmo de Korcak para esta imagen y las rectas aproximantes (en la siguiente sección se explica el por qué de dos rectas aproximantes).

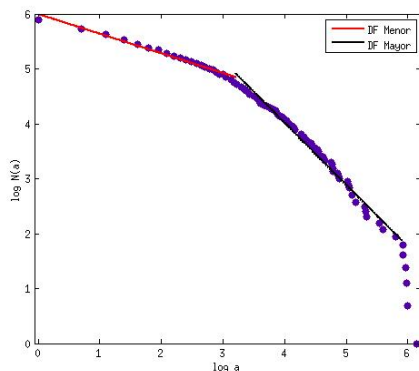


Figura 3: DFs de Korcak de la imagen de la Figura 1

### Dimensiones Estimadas

En los diagramas log – log obtenidos por el algoritmo (Korcak), puede observarse que una única recta no ajusta correctamente los valores. Esto sugiere que las muestras presentan características *multifractales* [10]. Es decir que es posible calcular más de una DF para la misma imagen. Se realizaron pruebas con pan lactal y mignon. Las DFs encontradas se incluyen en la Tabla 1.

	DF (menor)	DF (mayor)
Lactal 1	0.7152	2.214
Lactal 2	0.8638	2.182
Lactal 3	0.7598	2.046
Lactal 4	0.8656	2.598
Mignon 1	0.5068	1.1452
Mignon 2	0.4214	1.1608

Tabla 1: DFs de Korcak estimadas en muestras reales de pan

Puede observarse que para distintos tipos de panes las DFs resultantes varían de manera considerable, por lo cual es posible pensar a estas DF como clasificadores de muestras.

Para la regresión por DF Box, los valores que se obtuvieron se muestran en la Tabla 2.

	DF
Lactal 1	1.692
Lactal 2	1.761
Lactal 3	1.743
Lactal 4	1.73
Mignon 1	1.686
Mignon 2	1.726

Tabla 2: DFs Box estimadas en muestras reales de pan

Se observa cierta similitud entre los valores obtenidos, por lo cual resulta un parámetro útil el cual deben cumplir las imágenes sintéticas. Sin embargo no resulta un parámetro adecuado para realizar clasificación de muestras.

### Modelado Procedimental de Pan y cálculo de Parámetros

Las texturas procedimentales son imágenes sintéticas generadas a través de un algoritmo, en oposición a imágenes tomadas a través de una cámara fotográfica. En este caso el algoritmo que genera las texturas [5] está basado en una *sistema de partículas*.

El mismo se basa en una grilla de  $N \times N$

píxeles. En él las partículas compiten por posiciones (*texels*) mientras viven, dejando la información de color que poseen al morir, permitiendo que otras partículas puedan utilizarla posteriormente. Las partículas nacen de un texel determinado, y a través de la dirección de crecimiento (aleatoria o modelada por medio de una función paramétrica), ocupan texels (no ocupados por otras partículas). Durante el proceso, las partículas nacen y mueren de acuerdo a su tiempo de vida. El sistema permite definir parámetros como: tiempo de vida, dirección, cantidad de generadores (zona de nacimiento de partículas), color, cantidad de partículas, etc. Una de las ventajas de estos sistemas es su flexibilidad, la cual se deduce a partir de la cantidad de parámetros que es posible definir.

Se estudiaron distintos parámetros para la síntesis de imágenes a partir de los valores obtenidos en muestras reales. El parámetro *tiempo de vida*, el cual establece la cantidad de iteraciones que una partícula está viva, resultó útil para controlar (de forma limitada) las DFs de Korcak, dado que la dimensión de las burbujas más pequeñas crece a medida que el parámetro aumenta (sin embargo, la DF de las partículas mayores tiende a decrecer).

Por otro lado, el parámetro *saturación mínima*, el cual define un mínimo en la saturación del color de las burbujas de aire (evitando burbujas de aire muy oscuras), provoca el descenso de la dimensión Box en las imágenes sintéticas a medida que el parámetro se incrementa (esto es así debido a que muchas regiones se consideran masa en lugar de aire, resultando en un menor espacio ocupado por las burbujas).

De esta manera es posible modificar alguno de estos parámetros buscando DFs que ajusten determinada muestra. Por ejemplo se puede intentar disminuir la dimensión Box de una imagen sintética aumentando la saturación mínima en la síntesis (y viceversa).

Una imagen sintetizada con su binarización correspondiente puede observarse en la Figura 4. La misma presenta DFs de Korcak 0,6606 y 2,164, y dimensión Box igual a 1,688, es decir, valores similares a los obtenidos en muestras reales. Esta imagen es un ejemplo de lo siguiente: se obtienen mejores resultados al combinar partículas con distintos tiempos de vida, lo cual fue deducido al realizar los diagramas log – log de las DFs de Korcak.

En particular, el nacimiento de diversas partículas con un tiempo de vida de 9000 iteraciones junto con el nacimiento (posterior) de

partículas cuyo tiempo de vida es de 500 iteraciones (buscando producir burbujas pequeñas), produce DFs más cercanas a las obtenidas en muestras reales que si se utiliza solamente el nacimiento de burbujas pequeñas..

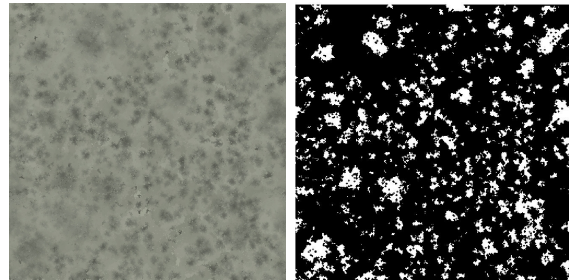


Figura 4: Imagen sintética y su binarización

## Líneas de investigación y desarrollo

La presente línea de I/D se inserta dentro de la línea de investigación en foto-realismo y rendering avanzado utilizando GPUs del Laboratorio de Ciencias de las Imágenes (DIEC, UNS). La misma cuenta con los siguientes temas principales de investigación:

- Implementación de sistemas complejos, en este caso el proceso de cocción del pan [11].
- Síntesis foto-realística de materiales (Diseño de BRDFs adecuadas de los materiales mencionados).
- Verificación de la síntesis por medio de extracción de características sobre los resultados.

## Resultados y Objetivos

En la presente línea de I/D se ha desarrollado un algoritmo de síntesis de texturas [5], como fue expuesto anteriormente. En este trabajo se ha comenzado el proceso de extracción de características sobre las imágenes resultantes como un método de verificación de la calidad de las imágenes sintetizadas.

La naturaleza multifractal descubierta en las muestras reales durante este proceso implica un estudio más profundo de este fenómeno, si bien durante el presente trabajo se han utilizado dos DF como aproximación al mismo. Se desprende de este trabajo que si dos imágenes

presentan DF similares no necesariamente presentarán el mismo nivel de realismo. Gracias al análisis realizado en este trabajo, se obtuvieron dos parámetros importantes en la síntesis: el tiempo de vida de las partículas, y la saturación mínima del color de las burbujas.

Se presenta como trabajo a futuro la implementación del proceso de cocción de pan mencionado, buscando generar imágenes con un mayor grado de realismo. Debe luego introducirse un modelo de iluminación acorde a este proceso, buscando tal vez modelar una BRDF.

También resulta necesaria la extracción de otras características en las imágenes, con el fin de poder evaluar más precisamente su grado de foto-realismo.

## Formación de Recursos Humanos

El en Laboratorio de Ciencias de las Imágenes se encuentran en curso varios proyectos de investigación y de transferencia en foto-realismo y rendering avanzado. El mismo cuenta con el Dr. Claudio Delrieux como director.

En el Laboratorio de Sistemas Dinámicos y Procesamiento de Información (LSD), FCEIA, UNR, donde pertenece el Dr. Juan Carlos Gómez, se encuentran en curso además tres tesis doctorales y una postdoctoral relacionadas con el Procesamiento de Señales Multimedia.

## Referencias

- [1] Murat Kurt and Dave Edwards. A survey of brdf models for computer graphics. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 43(2):4:1–4:7, May 2009.
- [2] Kenny Yeo. Voodoo Beginnings - 10 Years of GPU Development. *PcStats*, 2009.
- [3] Benoit B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freedman and Co., New York, 1983.
- [4] H. O. Peitgen, H. Jürgens, and D. Saupe. *Chaos and fractals: new frontiers of science*. 2004.
- [5] Baravalle R., Delrieux C., and J. C. Gómez. Síntesis de texturas utilizando sistemas de partículas. ECIImag 2011. Actas de la Tercera Escuela y Workshop Argentino en Ciencias de las Imágenes, 2011.
- [6] W. T. Reeves. Particle systems – a technique for modeling a class of fuzzy objects. *ACM Trans. Graph.*, 2:91–108, April 1983.
- [7] Ursula Gonzales-Barron and Francis Butler. Fractal texture analysis of bread crumb digital images. *European Food Research and Technology*, 226:721–729, 2008. 10.1007/s00217-007-0582-3.
- [8] Attila R. Imre, Dániel Cseh, Markus Neteler, and Duccio Rocchini. Korcak dimension as a novel indicator of landscape fragmentation and re-forestation. *Ecological Indicators*, 11(5):1134–1138, January 2011.
- [9] Nobuyuki Otsu. A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 9(1):62–66, 1979.
- [10] B. B. Mandelbrot. Multifractal measures, especially for the geophysicist. *Pure and Applied Geophysics*, 131:5–42, March 1989.
- [11] Emmanuel Purlis, Viviana O. Salvadori. Bread baking as a moving boundary problem. Part 2: Model validation and numerical simulation. *Journal of Food Engineering*, 91:434–442, 2009.