

Identificación y creación de imágenes digitales texturadas mediante campos aleatorios de Markov

David Fernández Mc Cann, Jorge Orrego Gaviria***

Resumen

En el presente artículo se muestra una de las varias maneras encontradas en la lectura especializada de cómo un campo aleatorio de Markov se utiliza para la creación de imágenes texturadas y la extracción de parámetros de imágenes igualmente texturadas.

----- *Palabras clave:* texturas digitales, campos aleatorios markovianos, procesamiento de imágenes.

Abstract

This paper shows one way how Markov random fields (MRF) are used for the creation of textured images. Various ways were found in specialized literature and are not explained here. However, also de use of MRF for textured image parameters extraction is explained.

----- *Key words:* digital textures, radom Markovian fields, image processing.

* Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, dfernan@udea.edu.co.

** Departamento de Ingeniería industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, jorregog@udea.edu.co.

1. El procesamiento digital de la imagen

Actualmente, el procesamiento digital de la imagen enfoca sus esfuerzos en dos actividades básicas: el mejoramiento de la imagen y su análisis (véase la figura 1). En el primero se pueden incluir todos los procesos que propenden al mejoramiento de la imagen y el realce de aspectos específicos. En el segundo se consideran todos los que permiten aislar características de aquella que hagan posible identificar patrones y elementos particulares en ella.

En términos generales puede considerarse el problema del procesamiento de la imagen como inscrito en los siguientes temas: [1] representación y modelado de la imagen, mejoramiento de la imagen, restauración de la imagen, análisis de la imagen, reconstrucción de la imagen y compresión de la información que contiene imágenes.

La representación y el modelado de la imagen toma en cuenta las estrategias para llevarla a elementos cuantificables y accesibles para su manipulación. La mínima cantidad de información atribuible a una imagen con las características antes mencionadas recibe el nombre de *pixel* o

pel (picture element). En su forma básica este elemento identifica la luminosidad de un punto de la imagen en cuestión. En su aspecto más complejo puede corresponder a la valoración cromática del mismo punto.

Para la representación de la imagen en pixeles y su modelado es necesario desarrollar etapas que van desde el muestreo y cuantización hasta su representación en modelos matemáticos, como series de Fourier, funciones estadísticas, etc. Este modelado hace posible realizar acciones como el filtrado de la imagen, para utilizarlo en transformaciones que permitirán de manera premeditada acciones como su mejoramiento o el realce de las características deseadas.

El principal objetivo del mejoramiento de la imagen es destacar características específicas para su posterior análisis o exposición. Tal es el caso de procesos simples que van desde el mejoramiento del contraste de la imagen hasta el filtrado para la visualización nocturna.

La acción de remover o minimizar los efectos de degradación de una imagen, debido a agentes externos que se incorporan con la información básica de ésta, hace parte de la restauración.

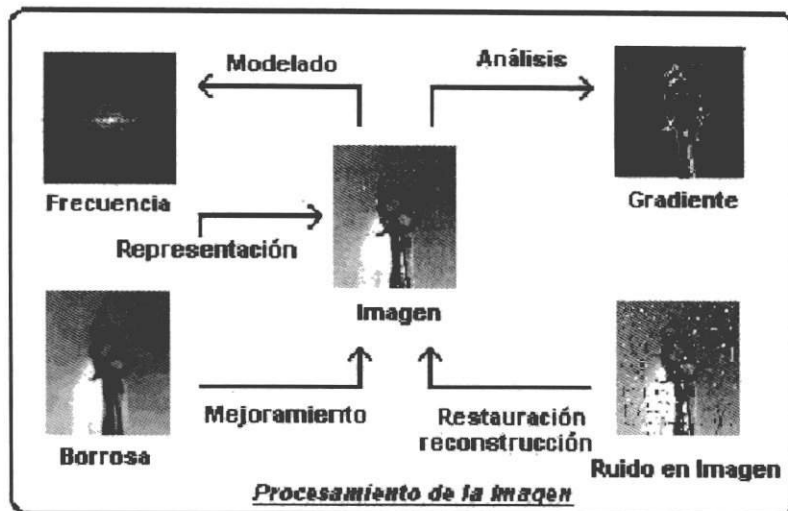


Figura 1

Esto se logra mediante procesos basados fundamentalmente en el filtrado, de acuerdo con las características del agente y de la imagen misma.

En cuanto al análisis de la imagen, está basado fundamentalmente en la identificación de patrones, para hacer mediciones y evaluaciones cuantitativas y cualitativas de ella. Para esto es necesario llevar a cabo tareas como la segmentación en elementos diferenciados, la caracterización de éstos y la clasificación en patrones. Ello es especialmente importante en actividades como las aplicadas a los procesos industriales, la robótica la salud y otros.

La reconstrucción de la imagen se enfoca especialmente a las proyecciones en dos dimensiones de los objetos que desean visualizarse. Es una actividad de especial importancia en tareas de construcción de imágenes suministradas por sondas, como las entregadas por equipos médicos radiográficos o equipos satelitales de exploración.

Otro aspecto muy interesante en el procesamiento de imágenes es la compresión de la información que la contiene. Esto es especialmente importante en el proceso de transmisión y almacenamiento eficiente, utilizando el mínimo espacio y ancho de canal para tal efecto.

2. Modelación probabilística de imágenes texturadas

Una imagen texturada es aquella que sugiere una textura. La textura implica protuberancia y volumen; sin embargo, es posible representarla en una imagen plana. De la misma manera que se sugiere la profundidad de un paisaje por medio de la perspectiva, haciendo pequeño lo que está lejos y grande lo que está cerca, se puede dar la impresión de una textura homogénea combinando gamas de grises, si se habla sólo de las imágenes en blanco y negro, de conformidad con ciertos patrones recursivos (véase la figura 2).



Figura 2

El estudio de las imágenes texturadas cumple un papel muy importante en las aplicaciones computarizadas de las imágenes digitales. Cuando un satélite, por ejemplo, toma secuencias fotográficas o de rayos X, etc., de un bosque, o del mar, el resultado serán imágenes texturadas.

Cuando en la práctica médica, por medio de rayos X, PET, TAC u otro sistema se toma una imagen digital, por ejemplo del cerebro humano, el resultado será de nuevo una imagen texturada. La mamografía digital es un campo también muy importante en medicina, y en general las imágenes digitales de órganos constituidos por masas. En una imagen texturada y homogénea es posible detectar alteraciones localizadas que perturban el factor general de la textura. Aunque el ojo humano no pueda detectar esta alteración, los métodos probabilísticos sí pueden hacerlo, y aún más, pueden distinguir entre cuáles alteraciones son inocuas y cuáles corresponden a incipientes tumores. En el caso del cáncer de mama el diagnóstico precoz es de vital importancia. En todos estos casos se han venido desarrollando programas que sirven a los médicos para hacer diagnóstico precoz de enfermedades graves, como los tumores malignos.

Las técnicas de modelación probabilística de imágenes texturadas permiten hacer desarrollos en varias direcciones, como la restauración, la segmentación, el reconocimiento de patrones, la reproducción sintética de texturas, etc.

A continuación se ve de qué manera puede realizarse esta modelación probabilística. En primer lugar téngase presente que cada pixel es una

unidad luminica y la imagen completa es un conjunto $N \times M$ de pixeles.

Supóngase que se tienen disponibles G tonos de grises, desde el blanco, al cual se le puede asociar el cero, hasta el negro, al cual a su vez se le asocia el número G (véase la figura 3).

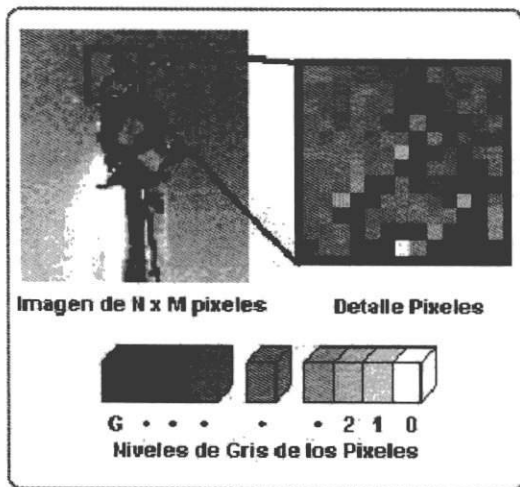


Figura 3

Se puede, pues, pensar que una imagen digital es una matriz de $N \times M$ celdas en cada una de las cuales existe un número.

Ahora bien, una imagen texturada, como la de la piel, tendrá seguramente un cierto patrón de preferencia. Los valores de la celda no son independientes entre sí, sino que ciertos valores tienden a aparecer juntos, en forma de cluster o agrupamiento. En otras palabras, si en una celda existe cierto valor, muy probablemente se tendrán valores similares en las celdas vecinas.

Así el concepto de vecindario es la base de la modelación. Un campo aleatorio markoviano es precisamente una asignación de probabilidades que permite dar mayor valoración a ciertas configuraciones típicas, que son las que caracterizan las texturas.

En teoría de probabilidad es muy conocida la llamada "pérdida de memoria", o propiedad

markoviana, que intuitivamente puede explicarse diciendo que la probabilidad de ocurrencia de un evento futuro depende sólo del presente, sin importar los eventos que ocurrieron en el pasado. Con relación a la imagen significa que la probabilidad de que en cierta celda haya cierto valor, depende solamente de los valores del vecindario, sin importar los valores que haya en celdas más lejanas. Así, una imagen texturada, por ejemplo del papel, podría identificarse por cierta configuración preferencial de valores agrupados de acuerdo con clusters o agrupamientos. El campo aleatorio markoviano determina, pues, propiedades locales, que pueden extenderse a toda la imagen gracias a los modelos autoprobalísticos. Existe, por ejemplo, el modelo autobinomial que, como su nombre lo expresa, se basa en la distribución binomial.

De tal suerte que una cierta textura, como la piel, está unívocamente determinada por los valores que tomen las constantes a y $b(i, j)$ en las ecuaciones (1), (2), (3) y (4).

El procedimiento podría ser el siguiente: tomar una imagen de una textura homogénea, digitalizarla y averiguar los valores de las constantes. A partir de esos valores se pueden producir réplicas o imágenes sintéticas que imitarán la imagen original [2].

La primera parte implica estimar parámetros a partir de una muestra, mientras que la segunda parte, esto es la producción de la imagen sintética, supone un largo proceso de simulación hasta encontrar la imagen más probable, la que mejor expresa la textura buscada.

Como se dijo, G es el total de tonos, y si se quiere calcular la probabilidad q de que en cierta celda exista un tono K de gris, q se obtiene en función de los valores que tenga el vecindario [3] de la celda considerada, de acuerdo con la ecuación (1):

$$T = a + b(1,1)(t+t') + b(1,2)(u+u') + b(2,1)(u + u') \quad (1)$$

En la figura 4 se puede observar un tipo de vecindario, en este caso en cruz.



Figura 4

$$T = a + b(1,1)(t+t') + b(1,2)(u+u') + b(2,1)(v+v') + b(2,2)(z+z') \quad (2)$$

$$T = a + b(1,1)(t+t') + b(1,2)(u+u') + b(2,1)(v+v') + b(2,2)(z+z') + b(3,1)(m+m') + b(3,2)(l+l') \quad (3)$$

$b(1,1)$ es una constante horizontal de vecindario, $b(1,2)$ es una constante vertical de vecindario, a también es constante. Las posibilidades investigativas se amplían si se tiene en cuenta que existen diferentes patrones de vecindario, (véase figura 5)



Figura 5

$$T = a + b(1,1)(t+t') + b(1,2)(u+u') + b(2,1)(v+v') + b(2,2)(z+z') + b(3,1)(m+m') + b(3,2)(l+l') + b(4,1)(o1+o1' + o2 + o2') + b(4,2)(q1+q1'+q2+q2') \quad (4)$$

Cuando se utilizan esquemas de vecindario de orden superior, se mejora la eficiencia del modelo, pero también se hace más pesado computacionalmente. En un esquema de vecindario podría ocurrir que se consideraran celdas que no fueran vecinas.

3. El algoritmo y las imágenes

Podría decirse que el campo aleatorio de Markov, aplicado a un campo numérico, imprime una tendencia de cómo puede ser mostrada una imagen digital. El comportamiento de esta tendencia es la que se puede llamar textura, ya que ciertos aspectos y comportamientos de la imagen se observan mejor. A continuación se mostrarán los resultados de crear una imagen digital, con valores para cada uno de sus píxeles basados en la realización de un campo aleatorio de Markov. De igual forma, se muestran los valores tomados de imágenes texturadas, correspondientes al modelo markoviano expresado con la fórmula binomial.

3.1 Para la generación de la textura mediante el MRF

El algoritmo para la creación de una imagen texturada, basada en los campos aleatorios de Markov es el siguiente:

1. Crear imagen aleatoria con distribución de probabilidad uniforme.
2. Iterar hasta lograr la imagen de más alta probabilidad.
3. Tomar dos píxeles de la imagen aleatoriamente e intercambiarlos.
4. Calcular la probabilidad de la imagen nueva como el producto de la probabilidad de cada píxel.

La probabilidad de cada píxel es evaluada con criterio markoviano según la ecuación (1).

Si esta probabilidad es mayor que la anterior, se toma la imagen nueva.

Si, al contrario la probabilidad es menor, se efectúa el cambio cuando un número generado aleatoriamente es superior a la probabilidad de la imagen. En caso de que este número no sea superior, se deja la imagen inicial.

5. Fin de la iteración.

A continuación se aplica el algoritmo, iniciando con una imagen binaria aleatoria (véase la figura 6).

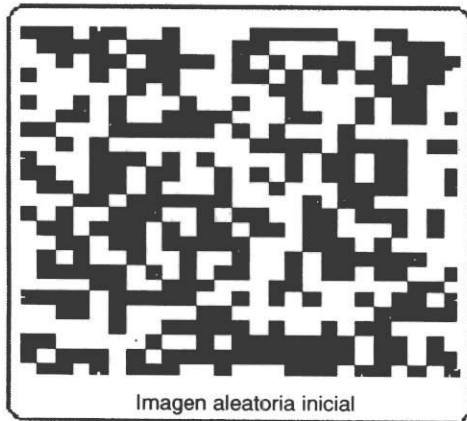


Figura 6

Puede verse el resultado del anterior algoritmo asignando los valores así: $a = -6$, $b(1,1) = 3$, $b(1,2) = 3$, $b(2,1) = 0$, $b(2,2) = 0$, $b(3,1) = 0$, $b(3,2) = 0$, $b(4,1) = 0$, $b(4,2) = 0$, utilizados por Cross y Jain [2]. (Véase la figura 7).

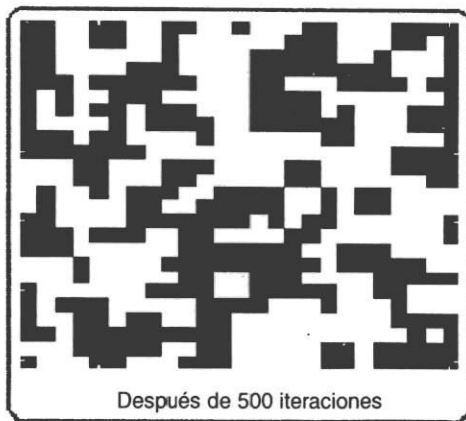


Figura 7

Se observa que la tendencia es a “aglutinar” los píxeles vecinos. También se puede notar que el algoritmo es convergente, ya que tiene una tendencia a no cambiar sustancialmente después de un cierto número de iteraciones. (Véase la figura 8)

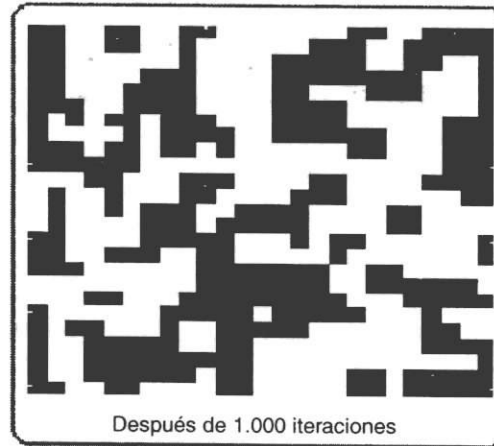


Figura 8 Para extraer los parámetros de las texturas

3.2 Para extraer los parámetros de las texturas

Teniendo una imagen texturada se pueden extraer los valores de $b(i, j)$ de la siguiente forma:

1. Se toman valores independientes de los píxeles para toda la imagen.
2. Se tabulan las características markovianas y se asocian a la probabilidad de cada valor posible.
3. Se toman de la tabla los valores más probables y se establece el tipo de vecindad y los valores estimados de los coeficientes.

Así queda parametrizada la imagen.

Como ejemplo de este procedimiento se toma la siguiente imagen texturada, que tiene sólo valores posibles de 1 o 0 (1 para píxel negro y 0 para píxel blanco): (véase la figura 9).



Figura 9

Se examinan las frecuencias que tiene para los diferentes vecindarios de una muestra (véase tabla No. 1

$u + u'$	$t + t'$	$F(x=0)$	$F(x=1)$
0	0	124	24
0	1	210	34
0	2	150	49
1	0	87	83
1	1	130	108
1	2	92	96
2	0	38	159
2	1	47	217
2	2	24	122

Puede verse una tendencia marcada, para valores de $u + u' = 0$ y $t + t' = 2$, con $x = 0$, y $u + u' = 2$ y $t + t' = 0$, con $x = 1$, para esta muestra. Si

las frecuencias anteriores se normalizan, se obtiene la estimación de las probabilidades de cada valor, las cuales permiten lograr un estimativo para los valores $b(1,1)$ y $b(1,2)$, lo que hace posible parametrizar esta imagen texturada mediante la distribución binomial.

4. Conclusiones

El ojo del computador puede ver lo que el ojo humano no alcanza. La modelación probabilística de imágenes texturadas homogéneas permite detectar anomalías o reconocer patrones que pueden servir en muchos campos de la actividad humana, como medicina, geología, biología, geografía, etc. El tema de la modelación está abierto para la investigación y la innovación; pueden ensayarse diversas distribuciones estadísticas y diversos tipos de vecindarios de píxeles. La producción de imágenes sintéticas por procedimientos de simulación es también un campo abierto.

5. Referencias

1. Jain, A.K. "Advances in Mathematical Models for Image Processing", *Proceedings of the IEEE*, Volume 69, Number 3, May, 1981, pp. 502-528.
2. Cross, G.R. and A.K. Jain, "Markov Random Field Texture Models", *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, January, 1983, pp. 25-39.
3. Larson, H.J., *Introducción a la teoría de probabilidades e inferencia estadística*, México, Editorial Limusa, 1995.