

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA AUSTRAL

Presentación del Proyecto de Investigación

y solicitud de financiamiento

Aplicación de Algoritmos Genéticos y Técnicas Evolutivas en la
Compresión Fractal de Imágenes Digitales mediante Sistemas de Funciones
Iteradas Locales y Globales

Directores

Doctor José Manuel Gutiérrez Llorente
(Universidad de Cantabria, España)

Doctor Miguel Angel Rodríguez Díaz
(Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España)

1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1 DIRECTOR

APELLIDO Y NOMBRE: Gutiérrez Llorente, José Manuel
DOCUMENTO: TIPO: Pasaporte NÚMERO: 10881098
TÍTULO PROFESIONAL: Licenciado y Doctor en Ciencias Matemáticas
DOMICILIO: Dpto. de Matemática Aplicada, E.T.S.I. Caminos.
CALLE Y NÚMERO: Avda. de los Castros, s/n.
LOCALIDAD: Santander
PROVINCIA: Cantabria C.POST: 39005
TELÉFONO: 34 942 201723
TOTAL DE HORAS SEMANALES AL PROYECTO: 8 horas
CATEGORÍA INVESTIGADOR: Doctor, con plena capacidad investigadora según la Normativa Universitaria Española vigente.
CATEGORÍA DOCENTE: Profesor Titular de la Universidad de Cantabria.
DEDICACIÓN: Completa

CODIRECTOR

APELLIDO Y NOMBRE: Rodríguez Díaz, Miguel Angel.
DOCUMENTO: TIPO: pasaporte NÚMERO: 13058781
TÍTULO PROFESIONAL : Licenciado y Doctor en Ciencias Físicas
DOMICILIO: Instituto de Física de Cantabria, Facultad de Ciencias
CALLE Y NÚMERO: Avda. de los Castros, s/n
LOCALIDAD: Santander
PROVINCIA: Cantabria C.POST: 39005
TOTAL DE HORAS SEMANALES AL PROYECTO: 4 horas.
CATEGORÍA INVESTIGADOR: Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (máximo organismo de investigación Español).
DEDICACIÓN: Completa

1.2 UNIDAD

ORGANISMO: U.N.P.A. DEPENDENCIA: U.A.R.G.
UNIDAD EJECUTORA: División
DOMICILIO: Lisandro de la Torre 1070
LOCALIDAD: Río Gallegos
PROVINCIA: Santa Cruz C.POST: 9400
TELEFAX: 2966 442620 Teléfonos: 2966 442313/17/19/21

1.3 DENOMINACIÓN DEL PROYECTO :

Aplicación de Algoritmos Genéticos y Técnicas Evolutivas en la Compresión Fractal de Imágenes Digitales mediante Sistemas de Funciones Iteradas Locales y Globales

1.4 RESUMEN TÉCNICO:

En este proyecto se pretende investigar las aplicaciones de las nuevas técnicas de optimización conocidas como "algoritmos evolutivos" y "algoritmos genéticos" en el tratamiento y la compresión de imágenes digitales definidas por medio de sistemas de funciones iteradas (locales y globales). Los sistemas de funciones iteradas son sencillos modelos matemáticos formados por un número finito de transformaciones en el plano que determinan imágenes de gran complejidad utilizando un pequeño número de parámetros (los coeficientes de las transformaciones). Los sistemas de funciones iteradas son modelos de aproximación genéricos que, eligiendo el número de transformaciones y los parámetros óptimos de cada una de ellas, permiten obtener una imagen fractal aproximada para una imagen dada. Por tanto, los parámetros del sistema de funciones iteradas nos dan una versión comprimida de la imagen de interés. Una vez dados los parámetros, existen algoritmos eficientes para poder recuperar de nuevo la imagen [Bar90], [GIR95], [GIRR95], [GIRR97].

Para que el esquema anterior se constituya en una realidad viable, es necesario resolver antes un problema importante, conocido como "*problema inverso de los sistemas de funciones iteradas*". El problema consiste en hallar los coeficientes del sistema de funciones iteradas que aproxima una imagen real dada con un cierto grado de aproximación. Este problema se ha intentado abordar desde distintos puntos de vista [Ber97], [Bar93], [Vrs91], pero todavía no ha sido resuelto de forma satisfactoria, dada la complejidad del mismo. La complejidad del problema viene dada por la función a optimizar, que es la distancia entre imágenes en el plano, y el espacio de parámetros, que puede contener un número ingente de ellos (cada transformación lineal en el plano viene dada por seis parámetros independientes).

En los últimos años, los algoritmos conocidos como "algoritmos evolutivos" y "algoritmos genéticos" han demostrado ser herramientas de optimización eficaces en diversos problemas donde intervienen un gran número de variables, o donde la función a optimizar no tiene propiedades analíticas razonables [Gol89]. En este proyecto se pretende analizar la utilidad de estos modelos en el problema inverso de los sistemas de funciones iteradas, abordándolo de un punto de vista global y local (los sistemas de funciones iteradas locales se desarrollaron para simplificar el problema global general, ver [Jac89]).

1.5 PALABRAS CLAVE:

Algoritmos evolutivos y genéticos, fractales, sistemas dinámicos iterados, compresión de imágenes digitales.

1.6 DURACIÓN DEL PROYECTO

FECHA DE INICIACIÓN: Marzo 2000 FECHA FINALIZACIÓN: Marzo 2002

1.7 CARACTERÍSTICAS:

TIPO DE ACTIVIDAD: Investigación Aplicada

DISCIPLINA CIENTÍFICA: 0799 Matemáticas.
Otras (Algoritmos Evolutivos e Inteligencia Artificial)

CAMPO DE APLICACIÓN: Compresión de imágenes digitales.

1.8 PERSONAL AFECTADO AL PROYECTO:

APELLIDO Y NOMBRE: Ivanissevich, María Laura
DOCUMENTO: TIPO: D.N.I. NÚMERO: 13036079
TITULO PROFESIONAL: Profesora en Matemática y Física. Magíster en Ciencias de la Computación por la Universidad de Cantabria (España).
DOMICILIO. CALLE Y NÚMERO: Avda. Batalla Puerto Argentino, 39
LOCALIDAD: Río Gallegos.
PROVINCIA: Santa Cruz C.POST: 9400
TELÉFONO: 2966 428371
TOTAL DE HORAS SEMANALES AL PROYECTO: 15 horas
CATEGORÍA DOCENTE: Adjunto
DEDICACIÓN: Completa

APELLIDO Y NOMBRE: Rojas, Hugo
DOCUMENTO: TIPO: D.N.I. NÚMERO: 11915197
TITULO PROFESIONAL: Ingeniero Electricista (Orientación Electrónica)
DOMICILIO. CALLE Y NÚMERO: Fitz Roy 45
LOCALIDAD: Río Gallegos.
PROVINCIA: Santa Cruz C.POST: 9400
TELÉFONO: 2966 428371
TOTAL DE HORAS SEMANALES AL PROYECTO: 3 horas
CATEGORÍA DOCENTE: Asistente
DEDICACIÓN: Completa

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 DENOMINACIÓN

Aplicación de Algoritmos Genéticos y Técnicas Evolutivas en la Compresión Fractal de Imágenes Digitales mediante Sistemas de Funciones Iteradas Locales y Globales

2.2 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

Los objetos fractales son objetos irregulares autosemejantes caracterizados por poseer dimensión no entera y por estar definidos mediante sencillos procesos recursivos o iterativos. En los últimos años se ha mostrado la eficacia de estos objetos y de la teoría que los sustenta en diversos campos, entre los cuales se incluyen los relacionados con la manipulación eficiente de imágenes (ver [TB98] para una actualizada exposición de las aplicaciones de los fractales en el tratamiento de imágenes digitales). Uno de los problemas donde los fractales han sido aplicados con mayor éxito en este campo es la compresión de imágenes digitales [Ans93], [RJ91], [Fis95]. Las aplicaciones desarrolladas en este ámbito se sustentan en la teoría de los "sistemas de funciones iteradas". Estos sistemas están compuestos por un conjunto de transformaciones afines en el plano (rotaciones, reflexiones, cambios de escala, y traslaciones). Este conjunto define una única imagen en el plano que posee estructura fractal y que está caracterizada por los parámetros de las transformaciones del sistema de funciones iteradas, permitiendo reducir la información necesaria para almacenar la imagen [Bar93].

El principal problema con que se encuentra la teoría de compresión fractal es el de hallar los parámetros de las transformaciones adecuados para que el fractal del sistema de funciones iteradas resultante se aproxime con un grado deseado a una imagen dada. Este problema se conoce como el "problema inverso de los sistemas de funciones iteradas" y, aunque se han desarrollado técnicas basadas en la igualdad de momentos [Vrs91], el uso de wavelets [Ber97], etc., todavía no se ha desarrollado una solución general satisfactoria para este problema.

Para superar esta dificultad, se han presentado diversos métodos locales [Jac89], [Fis95], [Ans93], que resuelven el problema de forma local, hallando autosemejanzas entre distintas regiones de la imagen con una resolución prefijada. Aunque estos algoritmos han mostrado ser eficientes en muchos casos, una solución eficiente del problema inverso de los sistemas de funciones iteradas supondría un gran avance en este campo, permitiendo mejorar las tasas de compresión de los algoritmos actuales. Tal solución también tendría numerosas aplicaciones en otros campos donde se aplican los sistemas de funciones iteradas: lenguajes simbólicos, sistemas dinámicos, etc.

Los algoritmos evolutivos y genéticos son herramientas que se han mostrado eficientes para resolver problemas de optimización de funciones complicadas con un número elevado de variables. Por tanto, parece natural tratar de aplicar esta metodología al problema inverso de los sistemas de funciones iteradas. Sin embargo, este problema se ha comenzado a investigar recientemente y sólo se han publicado resultados preliminares en este campo [Lut95], [GR99], [ET99]. Por tanto, se trata de un tema actual de gran interés donde se pueden conseguir logros importantes desde un punto de vista teórico y práctico.

2.3 OBJETIVOS

En este proyecto se pretende desarrollar técnicas de compresión fractal aplicando los algoritmos genéticos y evolutivos para resolver una etapa crítica del problema asociado con la obtención de los parámetros que caractericen una imagen dada, en base a un sistema de funciones iteradas asociado. Para ello, un primer objetivo será analizar la eficiencia de las distintas funciones fitness que se proponen para caracterizar fitness de un sistema de funciones iteradas dado a la imagen objetivo [Lut95], [ET99]. En nuestro caso, aplicaremos los resultados obtenidos de un proyecto anterior que permiten caracterizar el fractal y multifractal asociados con el sistema de funciones iteradas mediante un conjunto de direcciones en el espacio de códigos [GR99]. Una vez obtenida una buena función de fitness, el objetivo será analizar la eficiencia de los distintos algoritmos evolutivos que se han desarrollado en la última década. En este caso, será necesario adaptar las estructuras de los algoritmos al problema concreto de los sistemas de funciones iteradas y de las imágenes digitales. Finalmente, se procederá a implementar las técnicas desarrolladas y comprobar su eficiencia, comparadas con otras técnicas de compresión estándar.

No obstante, las técnicas que se pretenden desarrollar también tendrán aplicación en otros campos distintos, que pueden constituir una futura línea de investigación, como la aplicación a las técnicas de interpolación fractal, o la reconstrucción del modelo determinista a partir de una serie temporal (o de una órbita) de un sistema dinámico. Para ello, el trabajo se realizará de forma gradual, abordando los problemas, primero, desde un punto de vista genérico y, después, desde el punto de vista del problema que nos ocupa.

2.4 METODOLOGÍA

La metodología a emplear en el proyecto se caracteriza por los siguientes apartados:

- *Proceso lógico-deductivo*: En esta etapa será necesario realizar un rastreo bibliográfico para adquirir un conocimiento actualizado de las distintas técnicas que se emplean en la compresión de imágenes y los algoritmos genéticos. También será importante contrastar, de forma continua, la impresión de expertos en los distintos temas que nos transmitan su experiencia y nos proporcionen un conocimiento actualizado de las herramientas más eficientes de aquellas encontradas en la literatura. Este conocimiento nos permitirá desarrollar un primer prototipo de modelo con el que poder comenzar el trabajo teórico y computacional.
- *Implementación instrumental y simulación*: En esta etapa se implementarán los algoritmos desarrollados en la etapa anterior, partiendo de un esquema genérico que permita modificar los algoritmos a medida que se van desarrollando mejoras de los métodos. Para ello, se utilizará un esquema de programación modular basada en objetos que permita revisar e incluir de forma sencilla funciones miembro con los algoritmos apropiados. En esta etapa se realizarán distintas pruebas de simulación con problemas clásicos que constituyan un conjunto de tests estándar en el campo de la compresión de imágenes.
- *Prueba y ajuste del modelo*: Una vez comprobada la validez de los algoritmos se pasará a una fase de prueba con ejemplos reales que permitan cuantificar las tasas reales de compresión de las distintas heurísticas empleadas en los procesos de optimización

involucrados en los algoritmos genéticos. En esta fase es donde se realizarán los últimos ajustes del modelo.

- *Utilización y proyección:* Si todas las etapas anteriores se han concluido con éxito, al final del proyecto se procederá a la elaboración de un software documentado que pueda ser aplicado al problema planteado.

2.5 GRADO DE AVANCE

El director y codirector de este proyecto participaron anteriormente, durante los años 1996-98, en el proyecto de investigación "Aplicación del Análisis Multifractal a la Compresión de Imágenes Digitales", financiado conjuntamente por la Caja de Ahorros de Cantabria y por la Universidad de Cantabria. En ese proyecto se analizaron las medidas multifractales que resultan del proceso de rendering de las imágenes fractales asociadas a sistemas de funciones iteradas utilizando el "algoritmo de rendering probabilístico". Entre los resultados obtenidos, se caracterizó paramétricamente la estructura del multifractal resultante [GIR96], [GR99] y se aplicó este resultado para caracterizar el conjunto óptimo de probabilidades para representar gráficamente el atractor de un sistema de funciones iteradas utilizando el algoritmo probabilístico [GIRR95], [GIRR97]. Estos resultados nos permiten abordar el problema que nos ocupa en este proyecto desde una posición privilegiada, al disponer de herramientas computacionales y analíticas eficientes con los que analizar los sistemas de funciones iteradas.

Por otra parte, fruto de la colaboración durante el último año con la Magíster María Laura Ivanissevic, hemos comenzado a estudiar las posibilidades de las distintas técnicas evolutivas y genéticas en este campo, llegando a varios resultados preliminares prometedores [GI99]. Vistas las posibilidades de estas herramientas, es necesario recapitular y abordar el problema de forma rigurosa, tal y como se plantea en el plan de actividades siguiente.

2.6 PLAN DE ACTIVIDADES

Actividades	Investigador/es	Primer año	Segundo año
Estudio bibliográfico del problema inverso de los sistemas de funciones iteradas y de los algoritmos genéticos y evolutivos.	Ivanissevich Gutiérrez Rodríguez	X X X X X X	
Implementación en C++ de las rutinas para el tratamiento de fractales basados en sistemas de funciones iteradas.	Rojas Ivanissevich	X X X X X X	
Estudio de la eficiencia de los distintos algoritmos evolutivos en el problema de optimización del problema inverso.	Gutiérrez Rodríguez	X X X X X X	
Implementación de módulos genéricos de optimización mediante algoritmos evolutivos y genéticos.	Rojas Ivanissevich	X X X X X X	
Estudio de modelos eficientes de compresión fractal mediante los mejores algoritmos analizados en los apartados anteriores.	Rodríguez Gutiérrez	X X X X X X X X X	
Implementación y prueba de los módulos desarrollados en base a las técnicas obtenidas en los apartados anteriores.	Rojas Ivanissevich Gutiérrez	X X X X X X	

2.7 FACILIDADES DISPONIBLES

En la actualidad se cuenta con la infraestructura edilicia estándar, incluyendo un laboratorio de computación, resultando ésta apropiada para la realización del proyecto. El laboratorio de computación está equipado con varias PC Pentium 100 Mherz conectadas a Internet con las que puede comenzarse la labor del proyecto; sin embargo, para el avance del mismo, será necesaria la adquisición de un equipo más potente (ver presupuesto). También se dispone de versiones básicas de compiladores C++ con las que comenzar a diseñar los algoritmos. También se necesitará la compra de otro tipo de software científico y software de programación visual en la última parte del proyecto (ver presupuesto).

La bibliografía necesaria para el proyecto es bastante específica y, aunque la biblioteca de la UNPA, UARG, posee bibliografía básica, será necesaria la adquisición de material bibliográfico que también será de interés para la comunidad científica interesada en el tema del tratamiento de imágenes digitales.

2.8 PROBABLES APORTES DE LOS RESULTADOS

Los objetivos marcados en este proyecto persiguen, como resultado, una aplicación inmediata en el desarrollo de software específico para la compresión de imágenes digitales. No obstante, la metodología que se pretende desarrollar también tendrá aplicación en otros campos distintos, que pueden constituir una futura línea de investigación, como la aplicación a las técnicas de interpolación fractal, o la reconstrucción del modelo determinista a partir de una serie temporal (o de una órbita) de un sistema dinámico.

2.9 REFERENCIAS

[Ans93] L.F Anson, "Fractal Image Compression", **BYTE**, October, 195-202, 1993.

[Bar90] M.F. Barnsley, *Fractals Everywhere, second edition*. Academic Press, New York, 1990.

[Bar93] M.F. Barnsley, L. Hurd, *Fractal Image Compresion*, A. K. Peters, 1993.

[Ber97] K. Berkner "A Wavelet-based Solution to the Inverse Problem for Fractal Interpolation Functions", in L. Véhel and L. Tricot eds. *Fractals in Engineering'97*, Springer Verlag, New York, 1997.

[ET99] A.K. Evans, and M.J. Turner "Specialisation of evolutionary algorithms and data structures for the IFS inverse problem", in *Proceedings of the Second IMA Conference on Image Processing: Mathematical Methods, Algorithms and Applications*. To appear, 1999.

[Fis95] Y. Fisher, *Fractal Image Compression: Theory and Application*. Springer Verlag, 1995.

[GI99] J.M. Gutiérrez, and M.L. Ivanissevich, "Evolutive and Genetic Algorithms for the Inverse Fractal Problem of Iterated Function Systems", *VII Spanish Conference on Artificial Intelligence*, to appear, 1999.

- [GIR95] J.M. Gutiérrez, A. Iglesias, V.J. Rodríguez y M.A. Rodríguez. "Fractal Image Generation Using Iterated Function Systems". *First International Mathematica Symposium, IMS'95*. Editors: Veikko Keranen, Peter Mitic. Ed. Computational Mechanics Publications, Pags. 175-182, 1995.
- [GIRR95] J.M. Gutiérrez, A. Iglesias, M.A. Rodríguez, y V.J. Rodríguez, "The Role of Probability in Fractal Image Generation Random Algorithms". *VI Simposium Nacional de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imágenes, VIAERFAI*. 735-736., 1995.
- [GIR96] J.M. Gutiérrez, A. Iglesias y M.A. Rodríguez "A Multifractal Analysis in the Probabilistic Methods for Fractal Image Generation", **Fractals**, Vol. 6, Num. 6, 1996.
- [GIRR97] J.M. Gutiérrez, A. Iglesias, V.J. Rodríguez y M.A. Rodríguez "Generating and Rendering Fractal Images", **The Mathematica Journal**. Vol. 7(1), 6-14, 1997.
- [GR99] J.M. Gutiérrez and M.A. Rodríguez, "A New Exact Method for Obtaining the Multifractal Spectrum of Multinomial Measures and IFSP Invariant Measures". **Chaos, Solitons and Fractals**, 1999. In press.
- [Gol89] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Massachusetts. 1989.
- [Jac89] A. E. Jacquin, "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations", **IEEE Transactions on Signal Processing**. Vol. 1(1), 18-27, 1989.
- [Lut95] E. Lutton, et al. "Mixed IFS - resolution of the inverse problem using genetic programming." **INRIA Rapport 2631**, 1995.
- [RJ91] M. Rabbani and P.W. Jones. *Digital Image Compression Techniques* SPIE, Optical Engineering Press, 1991.
- [TB98] M.J. Turner, and J.M. Blackledge, *Fractal Geometry in Digital Imaging*. Academic Press, 1998.
- [VH94] G. Vines and M.H. "Orthonormal Basis Approach to IFS Image Coding". **IEEE Trans. on Signal Processing**., 1994
- [Vrs91] Vyrscay, E.R. "Moment and Collage Methods for the Inverse Problem of Fractal Construction with Iterated Function Systems", In H.-O. Peitgen, J.M. Henriques, and L.F. Penedo, editors, *Fractals in the Fundamental and Applied Sciences*. Elsevier B.P. North Holland, 1991.