

*Estylf 2006*

**XIII Congreso Español sobre  
Tecnologías y Lógica Fuzzy**

**Organización**  
Grupo de Investigación ORETO  
Escuela Superior de Informática  
Universidad de Castilla-La Mancha



DEFUZZIFICATION:

crisp value =  $n$



**ESTYLF 2006**  
**Ciudad Real**  
20/22 Septiembre

**Editado por:**

Grupo de Investigación Oreto.

**Impreso en España por:**

Artes Gráficas Lince

**ISBN:** 84-689-9547-9

**N. REG:** 06/50473

# PROTOTIPO DE ARQUITECTURA PARA LA COMPOSICIÓN MUSICAL CON ALGORITMOS GENÉTICOS Y LÓGICA DIFUSA.

**Emerson Castañeda Sanabria**  
Doctorado Departamento SIP  
Facultad de Informática, UCM  
emecas@ieec.org

**Luis Garmendia Salvador**  
DISIA  
Facultad de Informática, UCM  
lgarmend@fdi.ucm.es

## Resumen

Se propone un modelo de arquitectura genérica para la composición musical apoyada en técnicas de inteligencia artificial. La arquitectura propuesta da origen a un framework incremental para la construcción de aplicaciones donde la implementación concreta se centra en un prototipo que emplea lógica difusa, algoritmos genéticos y un componente de generación de datos.

**Palabras Clave:** Fuzzy, Algoritmos Genéticos, GA, LF, Generación de datos, IA, Framework.

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 COMPOSICIÓN MUSICAL ASISTIDA POR ORDENADOR (CAO)

La variedad de trabajos que relacionan la inteligencia artificial con la música es bastante extensa. Dentro de estos podemos encontrar un subconjunto en los que se aborda de una forma parcial o total la composición musical asistida por ordenador.

En una primera instancia se plantean las categorías para la clasificación de los sistemas de música por ordenador de la siguiente manera según [8][LOPEZ02] [12][ROADS85]: (i) sistemas para la composición, (ii) sistemas para la interpretación y (iii) sistemas para la improvisación, (iv) la teoría de la música, y (v) el proceso de sonido digital. Tales categorías son necesarias para realizar una clasificación más exhaustiva de los trabajos relacionados con la CAO, detallando los conceptos implicados en cada una de las categorías.

### 1.2. ACERCAMIENTOS BASADOS EN LÓGICA DIFUSA Y ALGORITMOS GENÉTICOS

Uno de los trabajos relacionados es el de Richard E. Overill [11][OVERIL93] que hace aportaciones dentro del campo del análisis de música para la búsqueda de

motivos musicales particulares y sus variantes dentro de partituras. Overill afirma que esta tarea tediosa y consumidora de tiempo puede ser efectuada por ordenador usando varios modelos, para los que habrá que especificar que variantes deben ser incluidas en la búsqueda, y donde los tipos y la cantidad de las variantes a considerar tendrán un efecto crítico en el tiempo empleado por el ordenador. A partir de aquí propone tener en cuenta las relaciones de recurrencia y las expresiones analíticas de forma cerrada a partir de dos modelos de reconocimiento de patrones difusos (fuzzy pattern matching) donde cada modelo asume la existencia de una operación exacta atómica de comprobación de configuraciones. Permitiendo que las fórmulas obtenidas sean evaluadas y tabuladas en función de sus parámetros independientes.

Otro trabajo que también emplea las técnicas difusas para la realización de una tarea de apoyo al tratamiento de la música incluida la composición musical, es el reconocimiento de partituras musicales, empleando para ello un modelo difuso. El trabajo propuesto por Florence Rossant e Isabelle Bloch [13][ROSSAN04] propone una herramienta alternativa al software comercial *SmarScore* que según sus pruebas ofreció unos mejores resultados. Las principales aportaciones del trabajo se resumen en tres aspectos. Primero, el modelado difuso permite expresar restricciones que son más o menos estrictas, algo que es esencial en este campo de aplicación, dado que la mayor parte de las reglas musicales son comunes pero no de uso obligatorio (por ejemplo los agrupamientos comunes de las notas), o se aplican de una forma aproximada (la posición relativa de los símbolos). Como segundo aspecto, los modelos difusos permiten asociar diferentes tipos de restricciones, en este caso particular las reglas gráficas y sintácticas. Y en tercer lugar, el método propuesto procesa interacciones entre símbolos distantes, no sólo interacción local entre símbolos sucesivos.

En [15][VIDYAM92] se presenta un acercamiento de la entropía para la armonía musical con técnicas difusas. Ellos emplean una función de entropía para caracterizar la complejidad del objeto sonoro resultante cuando una combinación de notas se toca conjuntamente. Establece así las bases subjetivas para que a partir de esta medida de complejidad sea posible realizar una percepción

individualista de trivialidad, armonía y disonancia. Junto con este acercamiento proveen a un framework para caracterizar la orientación musical de un grupo cultural particular.

Lo más significativo del trabajo es que la medida de entropía se basa en los atributos físicos del objeto sonoro, al no realizarlo de manera absoluta ayuda en la obtención de un orden relativo de armoniosidad para varias combinaciones de notas. Los autores anotan que sin embargo está puede constituir una diferencia de opinión de la estimación hacia lo que es armonioso, pero que el orden relativo obtenido al usar la medida de entropía difusa equivalente al concepto de orden generalmente aceptado.

Un último trabajo a reiterar entre los ya mencionados que también emplean las técnicas difusa es [7][LOPEZ01] y se destaca aquí por el empleo de técnicas difusas en el paso *Reuse* del método CBR de solución de problemas usado en el sistema *SaxEx*. Donde el haber modelado los valores lingüísticos de los parámetros expresivos por medio de conjuntos difusos, permitió aplicar un operador difuso de combinación para estos valores a las notas recuperadas en el paso *Reuse*. Este es un caso más de los trabajos en donde se hace uso híbrido de diferentes técnicas, para esta ocasión particular la técnica CBR y las técnicas difusas.

Dentro del escenario de la computación evolutiva existe una herramienta ampliamente difundida, se trata de los algoritmos genéticos. Aquí se traen a colación algunos trabajos sobre composición musical en los han sido empleados los algoritmos genéticos con diferentes enfoques. Entre estos se pueden mencionar [9][MCINTY94] [5][HORAYE95] donde se han usado en la armonización de melodías, en [6][HORGOL91] son empleados para la composición autónoma, en el desarrollo de un sistema interactivo para la interpretación de improvisaciones de jazz en [1][BILES94], para la extracción de patrones en piezas musicales monofónicas en [4][GRIL03], y en [3][GARAY04] son usados para la composición de fugas mediante la generación automática de contrapunto.

En [10][MIRAND01] se ejemplifica el trabajo del compositor Gary Lee Nelson<sup>1</sup> en el que se usan los algoritmos genéticos para evolucionar patrones rítmicos. En este caso, se emplea una cadena binaria para representar una serie espacial de pulsos iguales que se articulan si el bit está encendido. La prueba de aptitud está basada sobre una prueba de adición; si el número de bits que están encendidos es mayor a cierto umbral,

entonces la cadena cumple la prueba de aptitud. Para valores altos de umbral se obtienen ritmos con mucha densidad. Inversamente, un valor bajo umbral tiende a producir texturas delgadas dirigidas aun completo silencio. Miranda también describe *Vox Populi*<sup>2</sup>, un programa para la composición con algoritmos genéticos, donde los algoritmos genéticos son empleados para evolucionar conjuntos de acordes de acuerdo a un criterio específico de *fitness* especificado por el usuario en términos de melodía, armonía y características del rango de voz.

Otro de los trabajos a destacar, que también se detalla en la sección de referencias correspondiente a la técnica de autómatas celulares, es [2][BILOTT02]. Una de las principales aportaciones de este trabajo, es la forma de representar el material musical que se produce a partir de la interpretación de la configuración del autómata celular como una serie (cromosoma como lo llaman los autores) para realizar una búsqueda mediante un algoritmo genético que encuentran las mejores composiciones musicales. El procedimiento seguido es el siguiente:

- A. Se inicia a partir de material del autómata celular representado en forma de serie.
- B. Se generan varios individuos (secuencias de sonidos) asociados con estos cromosomas
- C. Se seleccionan las secuencias del cromosoma más adecuadas para evaluar las capacidades de los individuos (para este caso la secuencia de sonidos más consonante)
- D. Se hacen evolucionar estos cromosomas pasando de una generación a otra, casualmente modificando sus características y usando combinación de reglas basadas en la geminación sexual.
- E. Se continua el proceso por muchas generaciones.

## 2. ARQUITECTURA BASADA EN TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA CAO

### 2.1. Clasificación de las técnicas

Aquí se identifican las diferentes técnicas de IA que hacen parte del estudio (Tabla 1) y a su vez cada una de las categorías de aplicaciones dentro de la CAO (Tabla 2) asociables a las diferentes técnicas de IA analizadas y que son derivadas del análisis de los diferentes trabajos en la materia.

<sup>1</sup> cit. Gary Lee Nelson. *Sonomorphs: An application of genetic algorithms to the growth and development of musical organisms*. In *Proceedings of the Fourth Biennial Art and Technology Symposium*, pp 155-169, 1995.

<sup>2</sup> Programa desarrollado por Jonatas Manzollí y Artemis Moroni. Ganador en *The Dream Centenary Computer Graphics Prix 99* en Auzi, Japon.

Tabla 1. Lista de las técnicas de IA involucradas

ID	Nombre
1	Aprendizaje Automático (Machine Learning)
2	Ingeniería del conocimiento (Knowledge Engineering)
3	Lógica difusa (Fuzzy Logic)
4	Redes neuronales artificiales (Artificial Neural Networks)
5	Sistemas reactivos (Reactive Systems)
6	Sistemas Multiagente (Multi-Agent Systems)
7	Razonamiento basado en casos (Case-Based Reasoning)
8	Sistemas expertos (Expert Systems)
9	Redes Bayesianas (Bayesian Networks)
10	Vida artificial (Artificial Life)
11	Computación evolutiva (Evolutionary Computation)
12	Autómatas Celulares (Cellular automaton)

Tabla 2. Categorías de aplicación de las técnicas

ID	Categoría
A	Generación de secuencias monofónicas
B	Generación de secuencias polifónicas
C	Armonización de secuencias
D	Descubrimiento de reglas o patrones
E	Búsqueda de motivos musicales y sus variantes
F	Reconocimiento de partituras musicales
G	Medida de entropía
H	Codificar conocimiento, intuiciones, y gusto estético del usuario
I	Simular la conducta de un grupo musical
J	Realizar transformaciones de expresividad musical
K	Generación de contrapunto
L	Generación de datos genéricos
M	Identificar el estilo musical
N	Extracción de conocimiento musical
O	Análisis musical

Cruzando la información de la Tabla 1 que identifica las técnicas empleadas, la Tabla 2 que lista las diferentes categorías de aplicaciones para las técnicas de IA y teniendo en cuenta los datos necesarios para las distintas aplicaciones de cada uno de los procesos, llegamos a establecer la relación de las técnicas de IA con la principal o principales categorías de aplicación dentro de la CAO (Tabla 3). Cabe anotar, que aunque potencialmente algunas de las técnicas analizadas pueda tener algún tipo de aplicación adicional a las que inicialmente se identifican aquí, la clasificación presentada obedece a la orientación arquitectónica que se pretende dar y esta basada en los trabajos analizados anteriormente donde se demostró cierto nivel de viabilidad para la aplicación.

Tabla 3. Aplicaciones de las técnicas de IA para la CAO

ID Téc.	ID Categorías				ID Téc.	ID Categorías			
1	D	E	M		7	J			
2	H				8	M	B	C	
3	D	E	F	G	9	O			
4	H				10	L	A		
5	A				11	C	D	L	
6	A	B	C	I	12	L			

## 2.2. Visión General de la Arquitectura

En primera instancia se construye un modelo genérico y modular de cada una de las técnicas identificando claramente sus entradas, salidas y componentes involucrados para cada aplicación específica, esto marco la pauta para la propuesta de la arquitectura y le dio la propiedad de ser completamente modular para asegurar así que las implementaciones llevadas a cabo a partir de la misma se comporten de la esta manera, modulares e integradas solo por los componentes según la aplicación específica. A continuación se muestran los modelos genéricos de las técnicas Computación evolutiva y Logica difusa (Figuras 1 y 2).

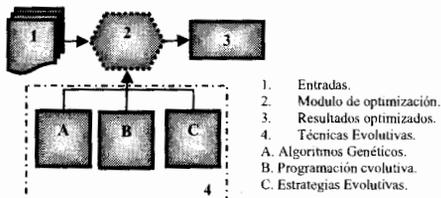


Figura 1. Modelo genérico de la Computación Evolutiva

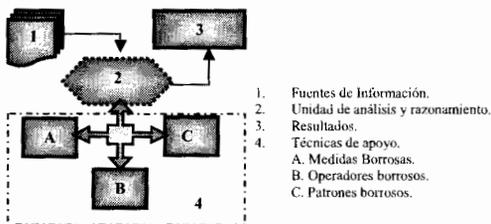


Figura 2. Modelo genérico de la Lógica Difusa.

De la integración de los modelos genéricos para cada técnica se origina el modelo de arquitectura para la CAO presentado en la Figura 3, siendo este el objetivo general del presente trabajo y punto de partida para la construcción del framework y la implementación de un prototipo genético difuso para la CAO.

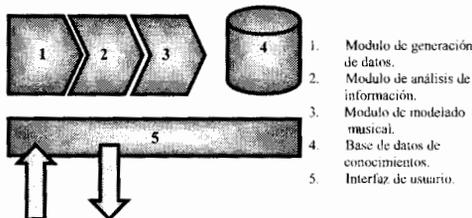


Figura 3. Vista modular de la arquitectura propuesta

### 2.3. Detalle de los módulos de la arquitectura

Tras identificar con un nivel más minucioso los datos involucrados en el empleo de cada una de las técnicas para las diferentes categorías de aplicación propuestas, es posible proponer una clasificación adicional que permite tipificar sus potenciales de aplicación de tal manera que se pueda hacer referencia a las técnicas desde el punto de vista del proceso o los procesos para los que puede contribuir de una forma más eficiente, es decir los objetivos para los que una técnica puede resultar más productiva. Dicha clasificación se detalla a continuación.

Tabla 4. Tipo principal de las técnicas para la CAO.

ID técnica	Tipo			
	Principal	I	II	III
1	IV		*	*
2	II		*	
3	IV		*	*
4	II		*	
5	III			*
6	V	*	*	*
7	III			*
8	III			*
9	II		*	
10	IV	*	*	
11	V	*	*	*
12	I	*		

**TIPO I - Para la generación de datos:** Técnicas a partir de las cuales se pueden obtener los datos genéricos que serán empleados dentro de los procesos de la CAO, se pueden referenciar como técnicas productoras de datos. Donde tales datos interpretados de una manera adecuada se pueden procesar para elevarlos a la categoría de información musical.

Vale aclarar también que las técnicas productoras de datos, no solo pueden ser técnicas correspondientes a las técnicas aquí estudiadas sino que se pueden emplear gran variedad de fuentes de datos tanto de origen natural como artificial, y tales datos pueden ser los insumos para las categorías siguientes.

Entre las otras fuentes de datos comúnmente empleadas para aplicaciones musicales podemos encontrar: los fractales, los sistemas dinámicos, los movimientos corporales, y el comportamiento en general de prácticamente cualquier tipo de sistema. La calidad de los datos originales condicionará los resultados obtenidos en los pasos posteriores dentro de la CAO.

**TIPO II - Para el análisis de información:** También se puede hacer referencia a estas, como técnicas de apoyo dado que están involucradas principalmente de en los procesos internos o tareas de apoyo que se llevan a cabo en la CAO.

Para esclarecer mejor al tipo de tareas a las que se hace referencia, entre las tareas de apoyo se pueden catalogar: la búsqueda de patrones, reglas, y motivos musicales, el reconocimiento del estivo musical, las mediciones realizadas sobre los datos musicales y la extracción de algún tipo de conocimiento musical.

Estas técnicas trabajan sobre la información musical, como su nombre lo dice, para apoyar los procesos de análisis que se lleva a cabo sobre tal información.

**TIPO III - Para el modelado musical:** Se pueden considerar como las principales técnicas para la CAO, sin restar importancia a las técnicas tipo I y tipo II que también desempeñan un papel importante. Las técnicas de este tipo son las encargadas de intervenir en los procesos para la consecución de unos resultados musicales en un estado optimización superior o terminado.

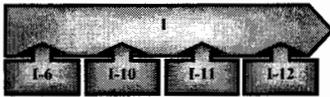
Ejemplos de las tareas más representativas de este tipo son: la generación de secuencias monofónicas y polifónicas, la armonización de secuencias, la generación de contrapunto y la realización de transformaciones de la expresividad musical.

**TIPO IV - Mixtas:** Son las técnicas que pueden englobarse dentro de más de una de las categorías anteriores y su aplicación es posible desde distintos enfoques. Es decir, aquí se enmarcan las técnicas que puede tener propiedades tanto tipo I (para la generación de datos), como tipo II (de apoyo), y/ o tipo III (para el modelado musical). Un ejemplo sería la técnica Vida Artificial que según la clasificación tiene connotaciones tanto tipo I como tipo III.

**TIPO V - Para la composición autónoma:** Son las de tipo integral para las cuales es suficiente el empleo de una única técnica para conseguir resultados musicales terminados. Estas técnicas permiten la generación de datos, la realización de tareas de apoyo y la realización de modelado conjuntamente.

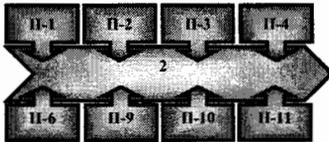
La clasificación anterior contribuye a la concepción y representación de la arquitectura propuesta basándose en las prestaciones ofrecidas por cada técnica, para de esta manera definir los bloques lógicos que conforman la arquitectura, por lo tanto el siguiente paso consiste en la asignación de una categoría principal de aplicación a cada una de las técnicas en cuestión tal como se muestra en la Tabla 4.

A continuación se presentan los principales componentes dentro de los módulos identificados en el paso anterior. Los componentes se identifican con el tipo de aplicación y la técnica empleada en las Figuras 4, 5 y 6.



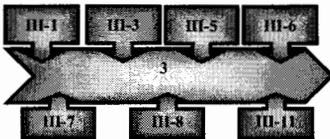
- I. Módulo de generación de datos.
- I-6. Componente Sistema Multiagente
- I-10. Componente Vida Artificial
- I-11. Componente Computación Evolutiva
- I-12. Componente Automata Celular

Figura 4. Detalle del módulo de generación de datos



- II. Módulo de análisis de información.
- II-1. Componente Aprendizaje automático
- II-2. Componente Ingeniería del conocimiento
- II-3. Componente Lógica difusa
- II-4. Componente Red neuronal
- II-6. Componente Sistema multiagente
- II-9. Componente Red bayesiana
- II-10. Componente Vida artificial
- II-11. Componente Computación evolutiva

Figura 5. Detalle del módulo de análisis de información



- III. Módulo de modelado musical.
- III-1. Componente Aprendizaje automático
- III-3. Componente Lógica difusa
- III-5. Componente Sistema reactivo
- III-6. Componente Sistema multiagente
- III-7. Componente CBR
- III-8. Componente Sistema experto
- III-11. Componente computación evolutiva

Figura 6. Detalle del módulo de modelado musical

### 3. EL FRAMEWORK

El objetivo relacionado con la construcción del framework como un derivado de la arquitectura para el desarrollo de aplicaciones de CAO con técnicas de IA se esta llevado a cabo de forma incremental, implementando, según las necesidades cada uno de los componentes requeridos para los distintos prototipos, la construcción de los componentes específicos, dada que la gran cantidad de técnicas incorporadas en la arquitectura, ocasiona que la implementación del framework completo represente el llevar a cabo varios sub-proyectos con objetivos claramente condicionados de acuerdo a los componentes de las distintas técnicas a emplear, sub-proyectos en segunda instancia orientados a establecer la "sinergia" entre las combinaciones de unas técnicas u otras.

Para el caso concreto en cuestión, consistente en la propuesta de un prototipo que emplee las técnicas

algoritmos genéticos y lógica difusa, junto a un componente de generación de datos genérico, los aspectos involucrados se detallan en la siguiente sección.

## 4. PROPUESTA DEL PROTOTIPO GENETICO DIFUSO

### 4.1. El componente de Algoritmos genéticos

Como se pudo apreciar según las secciones anteriores la técnica de computación evolutiva, de la que hacen parte los algoritmos genéticos, esta clasificada como una técnica de tipo V, es decir una técnica para la composición autónoma, dado que sirve tanto para la generación de datos, como para el análisis y el modelado música.

Ya en lo referente a los algoritmos genéticos en concreto, se pueden considerar también como una técnica para la composición autónoma, que puede ser empleados tanto con fines de generación de datos, análisis musical, o modelado musical.

### 4.2. El componente de Lógica Difusa

Debido a que aquí la lógica difusa puede jugar varios papeles según la arquitectura propuesta, y los papeles están concentrados en las tareas asociadas con el análisis y el modelado musical (componentes identificados como II-3 y III-3 en las figuras 5 y 6 respectivamente), su empleo puede llevarse a cabo desde mas de una perspectiva dentro de los procesos de la CAO, por lo cual en el contexto de este trabajo, la actuación del componente se vera ligada a dos escenarios, el primero corresponde a su inclusión dentro del componente de algoritmos genéticos afectando directamente su programación, y el segundo a su actuación previa (sobre las entradas) o posterior (sobre los resultados de salida) alrededor de la información del algoritmos genético.

### 4.3. Algoritmos Genéticos Difusos para la CAO

Existen dos posibilidades para *fuzzificar* el componente de algoritmos genéticos de la arquitectura CAO con el fin de verificar los resultados obtenidos y compararlos para determinar su el mejor desempeño o no de la fusión de las técnicas fusionadas.

La primera es donde los AG pueden ser modificados para que sus funciones fitness, así como sus operadores genéticos se basen en lógica Fuzzy. De esta manera el proceso de optimización estaria concebido en un entorno difuso, lo que induciria a cierto beneficio en la forma de programación del mismo y además tendria un efecto en la supervivencia de los individuos con un determinado rango de aceptación en los resultados de su evaluación que

cumplan el umbral, afirmación que en este caso se pretende comprobar tras finalizar todos los experimentos.

La segunda posibilidad se centra en el manejo de unas reglas difusas directamente en los procesos composicionales, reglas que serán aplicadas en forma previa o posterior a la optimización, es decir, mantener el componente genético intacto y afectar, las entradas iniciales a optimizar, o bien los resultados obtenidos luego de la optimización, mediante la aplicación de las reglas difusas.

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este trabajo ofrece una arquitectura para la Composición musical Asistida por Ordenador (CAO), compuesta por módulos de generación de datos, de análisis de la información, modelado musical y armonización. Se ofrece una propuesta para un framework de desarrollo de aplicaciones derivado de la arquitectura descrita. Finalmente se propone un prototipo usando Algoritmos Genéticos y lógica Fuzzy para la generación de datos, análisis y modelado musical.

El prototipo propuesto se encuentra actualmente en fase de desarrollo, hasta ahora se han desarrollado los componentes individuales de lógica difusa y algoritmos genéticos abordando tareas concretas de manera individual con cada componente, para el componente de algoritmos genéticos entre estas tareas se encuentran la generación de datos genéricos para la composición y la búsqueda de patrones y reglas, para el componente de lógica difusa se ha experimentado con la búsqueda de motivos musicales y sus variantes junto a la búsqueda de patrones y reglas.

Tras llevar a cabo la depuración completa de los dos componentes en forma individual se procederá a la integración de los mismos por medio del Prototipo Genético Difuso, para de esta manera probar la sinergia entre los componentes según el modelo de arquitectura propuesta para la CAO y empleando el framework incremental.

### Agradecimientos

Agradecemos el soporte del proyecto de Innovación educativa PIE 2003/7 de la UCM, el proyecto MCyT MTM2005-08982-C04-01 y el proyecto CAM Ref. 910149.

### Referencias

[1] [BILES94] J. A. Biles. GenJam: A genetic algorithm for generating jazz solos. ICMC'94 Proceeding, The International Computer Music Association. 1994.  
[2] [BILOTT02] E. Bilotta, P. Pantano. Synthetic harmonies: an approach to musical semiosis by means

of cellular automata. Leonardo Vol. 35, Nro. 2, pp 153-159, 2002.

- [3] [GARAY04] A. Garay. Fugue Composition with Counterpoint Melody Generation Using Genetic Algorithms. Presentado en: Second Internacional Symposium Computer Music Modeling and Retrieval, Esbjerg, Dinamarca mayo 2004 en LNCS 3310, Uffe Kock (Ed) pp. 96-106, 2004.
- [4] [GRIL003] C. Grilo, A. Cardoso. Musical Pattern Extraction Using Genetic Algorithms. Presentado en: Internacional Symposium Computer Music Modeling and Retrieval, Montpellier, France mayo 2003, en LNCS 2771, Uffe Kock (Ed) pp 114-123, 2003.
- [5] [HORAYE95] A. Horner, L. Ayers. Harmonisation of musical progression with genetic algorithms. ICMC'95 Proceedings, San Francisco: International Computer Music Association, pp 483-484. 1995
- [6] [HORGOL91] A. Horner, D. E. Goldberg. Genetic algorithms and Computer Assisted Music Composition. ICMC'91 Proceedings, San Francisco: International Computer Music Association, pp 479-482, 1991.
- [7] [LOPEZ01] R. Lopez de Mantaras, J. L. Arcos. The Synthesis of Expressive Music: A Challenging CBR Application. ICCBR 2001, LNAI 2080, pp. 16-26.
- [8] [LOPEZ02] R. Lopez de Mantaras, J. L. Arcos. AI and Music From Composition to Expressive Performance. AI Magazine. Volume 23 , Issue 3, 2002. pp: 43 - 57.
- [9] [MCINTY94] R. A. McIntyre. Composition with genetic algorithms. Technical report, University of Michigan. 1995.
- [10] [MIRAND01] E. Miranda. Composing Music with Computers. Focal Press – Music Technology Series. 2001.
- [11] [OVERIL93] R. E. Overill. On the combinatorial complexity of fuzzy pattern matching in music analysis. Computers and the Humanities Volume 27, Number 2, pp 105-110, 1993.
- [12] [ROADS85] C. Roads. Research in music and artificial intelligence. ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 17, Issue 2 (June 1985). pp 163-190.
- [13] [ROSSAN04] Florence Rossanta, Isabelle Bloch. A fuzzy model for optical recognition of musical scores. Fuzzy Sets and Systems Volume 141, Issue 2, pp 165–201, 2004.
- [14] [SHTOV05] S. D. Shtovba. Ant Algorithms: Theory and Applications. Programming and Computer Software, Vol. 31, No. 4, 2005, pp. 167–178. Translated from Programirovanie, Vol. 31, No. 4, 2005.
- [15] [VIDYAM92] G. Vidyamurthy, M. N. Murty. Musical harmony — A fuzzy entropic characterization. Fuzzy Sets and Systems Volume 48, Issue 2, pp 195-200, 1992.