

Algoritmos Genéticos Difusos: Una Aproximación Práctica para la Creatividad Computacional

Castañeda, Emerson: emecas@hotmail.com
Garmendia, Luis: lgarmend@fdi.ucm.es, DISIA
Santos, Matilde: msantos@dacya.ucm.es, DACYA
Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

En este trabajo se establecen las bases para un desarrollo en el campo de la creatividad computacional, dentro del escenario de la composición musical. Para ello, se revisan las principales aportaciones dentro de este ámbito que han utilizado técnicas de la Inteligencia Artificial, en concreto, los Algoritmos Genéticos y la Lógica Difusa. Se enuncian también las posibilidades de utilización de sistemas híbridos que combinen estas técnicas bajo diversas perspectivas. De esta forma se abre camino, a través de una aproximación plausible, a la identificación de los principales elementos involucrados en la composición musical desde el punto de vista computacional.

Palabras claves:

Lógica borrosa, algoritmo genético, sistemas híbridos, creatividad computacional, composición musical.

1. ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos comprenden métodos de computación inspirados por procesos biológicos, más exactamente aquellos procesos que son considerados como las fuerzas conductoras del origen y evolución de las especies, ya propuestas por Charles Darwin en torno a 1850 [DARWIN58] y más recientemente renombradas por Richard Dawkins [DAWKIN86]. Como en el caso de los autómatas celulares y las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos también representan ciertas metáforas y analogías de la biología.

Una definición bastante completa de algoritmo genético fue propuesta por John Koza1:

"Es un algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo usando operaciones modeladas de acuerdo al principio Darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas de entre las que destaca la recombinación sexual. Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud".

Los algoritmos genéticos son normalmente empleados para encontrar soluciones óptimas en ingeniería y problemas de diseño donde puede existir una solución alternativa, pero su evaluación no puede ser determinada hasta que ésta ha sido implementada y probada. En tales casos, la solución óptima (fenotipo) se puede buscar mediante generación manual, implementando y probando las alternativas o por aproximaciones hechas de manera gradual, mejorando las soluciones no óptimas encontradas (genotipos). Pero de esta manera la complejidad del problema en cuestión aumenta; los procedimientos llegan a ser cada vez más insatisfactorios y laboriosos. Por lo tanto, era necesario el establecimiento de un método automático que explotara la capacidad computacional de los ordenadores para realizar voluminosas exploraciones combinatorias. No obstante los algoritmos genéticos van más allá de un proceso combinatorial estándar siendo éstos un poderoso mecanismo que apunta sólo a combinaciones potencialmente fructíferas. Estos mecanismos se asemejan a aquellos de

la evolución biológica tales como la selección natural basada en la aptitud (*fitness*), cruce de genes o reproducción, mutación y demás; tanto ahí el título de algoritmos genéticos en consideración a su analogía biológica.

En la secuencia típica de un algoritmo genético, se crea una población inicial de entidades abstractas de forma aleatoria. Dependiendo de la aplicación estas entidades pueden representar prácticamente cualquier cosa, desde los componentes fundamentales de un organismo hasta los comandos de un robot o las notas musicales de una secuencia. Luego se aplica una función de evaluación tanto para probar como para encontrar los objetivos que mejor solucionan la tarea o problema en cuestión. Como esta población inicial puede resultar poco apta en la evaluación, el sistema se embarca en la creación de una nueva generación de entidades. Primeramente, el número de individuos se fija según los criterios preestablecidos. Estos criterios a menudo se refieren a su adaptabilidad para la reproducción puesto que este subconjunto experimentará un proceso de cruce con el objetivo de producir descendencia. Los criterios de aptitud obviamente varían su forma entre aplicación y aplicación pero en general indican qué individuos de la actual generación trabajan mejor. Las entidades seleccionadas son entonces combinadas (usualmente en pares) y dan lugar a la generación de descendencia. Durante este proceso de reproducción, la formación de la descendencia puede involucrar un proceso de mutación. A continuación, la nueva descendencia es incluida en la población. El destino de las entidades restantes de la población no seleccionadas para la reproducción puede diversificar, aunque generalmente son eliminadas. Este es el punto donde se dice que una nueva generación de la población ha evolucionado. El proceso de evaluación se aplica ahora a la siguiente generación. Si la población aún no logra los objetivos, entonces el sistema continúa con la creación de una nueva generación. Este ciclo se repite hasta que la población pase la prueba de evaluación.

En la práctica, los algoritmos genéticos normalmente operan sobre un conjunto de códigos binarios que representan las entidades o individuos de la población. Estos involucran operaciones básicas de tres clases: recombinación, mutación y selección. Mientras el proceso de recombinación causa el intercambio de información entre un par de códigos, el proceso de mutación altera el valor de un simple bit en un código. La recombinación produce códigos descendientes por combinación de la información

contenida en los códigos de sus padres. Dependiendo de la forma de representación de los códigos, pueden aplicarse dos tipos de recombinación: recombinación de valores reales o cruce de valores binarios [GOLDBERG89]

2. LOGICA DIFUSA (O BORROSA)

Inicialmente introducida por Lotfi Zadeh [ZAD65], [ZAD68], [ZAD73], la lógica difusa es una lógica de multivaluada que permite valores intermedios para definirlos entre las evaluaciones convencionales como verdadero/falso, si/no, alto/bajo, etc [HEL01]. Nociones como “medianamente alto” o “muy rápido” pueden ser formuladas matemáticamente y procesadas por computadores, buscando aplicar una forma de procesamiento parecida a la humana por parte de los programas de computadores [ZAD84]. La utilización usual del término “lógica difusa” está ligado a una semántica de muy amplio espectro que es extendida básicamente como sinónimo de todo aquello que arranca del trabajo de Zadeh sobre conjuntos difusos.

La lógica se ocupa de hacer inferencias verdaderas a partir de otras verdades. Como ciencia que estudia el razonamiento aproximado, la lógica difusa ha proporcionado un cálculo para las consecuencias imprecisas, resultado de gestionar convenientemente la vaguedad de las premisas y, en ocasiones, la fuerza de la implicación. Tanto la vaguedad de las premisas como la credibilidad de la conclusión se representan frecuentemente en términos de grados de verdad. La noción de grado de verdad puede interpretarse como una verdad parcial o como utilidad, esto es, una creencia subjetiva que tiene el agente en la verdad de esa proposición. Pero ahora nuestro grado de verdad no es sólo falso (0) ó cierto (1) sino que puede ser gradual.

3. ALGORITMOS GENÉTICOS DIFUSOS

Aquí se plantean dos posibilidades de integración desde la óptica de fuzzificar el componente de algoritmos genéticos, de forma directa o parcial, con el fin de verificar los resultados obtenidos y así compararlos para determinar un mejor desempeño o no de la fusión de las técnicas. La primera posibilidad se denota como Algoritmos Genéticos Difusos (GAF) y la segunda Empleo de lógica difusa sobre las entradas y/o salidas del GA, y son descritas a continuación.

3.1 Algoritmos Genéticos Difusos (GAF)

En este primer caso el algoritmo genético es modificado para que tanto su función de evaluación como sus operadores genéticos se basen en lógica difusa. De esta manera el proceso de optimización estaría concebido en un entorno difuso, lo que induciría a ciertos cambios en la programación del mismo y además tendría un efecto en la forma de reproducción junto a la supervivencia de los individuos con un determinado rango de aceptación, y por lo tanto en los resultados de su evaluación de acuerdo a un umbral establecido.

3.2 Empleo de lógica difusa sobre las entradas y/o salidas del GA

La segunda posibilidad se centra en el manejo de los conceptos difusos directamente en los procesos composicionales, conceptos que serán aplicados en forma previa y/o posterior a la optimización, es decir, se debe mantener el componente de Algoritmos Genéticos intacto y manipular las entradas a optimizar, o bien los resultados obtenidos después de la optimización, mediante el empleo del componente de Lógica Difusa.

Antecedentes

En el escenario general de la integración de los Algoritmos Genéticos y la Lógica Difusa se encuentra una amplia gama de trabajos catalogada hasta finales de 1995 en [CORDON96], con una posterior síntesis de las diferentes categorías de aplicaciones publicadas hasta ocho años más tarde en [CORDON04].

Ya en la escena propia de la música y la composición a continuación se mencionan algunos de los trabajos relacionados, bien por usar una de las dos técnicas de forma independiente o por llevar a cabo una integración de las mismas. Uno de los artículos es el de Richard E. Overill [OVERIL93] que hace interesantes contribuciones dentro del campo del análisis de música sobre la búsqueda de motivos musicales particulares y sus variantes dentro de partituras. Overil afirma que esta tarea que podría resultar tediosa y laboriosa puede ser efectuada por un ordenador usando varios modelos, para los que habrá que especificar qué variantes deben ser incluidas en la

búsqueda. Además, 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 él propone considerar las relaciones de recurrencia y las expresiones analíticas de forma cerrada, a partir de dos modelos de reconocimiento de patrones borrosos (fuzzy pattern matching) donde cada uno asume la existencia de una operación exacta atómica de comprobación de configuraciones. Esto lo hace permitiendo que las fórmulas obtenidas sean evaluadas y tabuladas en función de sus parámetros independientes, lo que posibilita una estimación a priori de los tiempos de ejecución relativos de las diferentes búsquedas musicales a realizar cuando se emplee otro modelo. Según los resultados citados, la propuesta puede ser considerada como un mecanismo de pre-búsqueda para estimar a partir de los resultados de su aplicación el mejor o más conveniente modelo a emplear para las búsquedas exhaustivas y los tiempos computacionales requeridos.

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 un modelo borroso. El trabajo propuesto por Florence Rossant e Isabelle Bloch [ROSSAN04] propone una herramienta alternativa al software comercial SmarScore que según sus pruebas obtuvo mejores resultados. Las principales aportaciones del trabajo se resumen en tres aspectos. Primero, el modelado borroso 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 nota), o se aplican de una forma aproximada (la posición relativa de los símbolos). Como segundo aspecto, los modelos borrosos 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, y no sólo interacción local entre símbolos sucesivos.

En [VIDYAM92] se presenta un acercamiento de la entropía para la armonía musical con técnicas borrosas. Los autores emplean una función de entropía para caracterizar la complejidad del objeto sonoro resultante cuando una combinación de notas se toca conjuntamente. Se establecen 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 proporcionan un marco para caracterizar la orientación musical de un grupo cultural particular.

Lo más significativo de este trabajo es que la medida de entropía se basa en los atributos físicos del objeto sonoro. Además, el no realizarlo de manera absoluta ayuda a la obtención de un orden relativo de armonía para varias combinaciones de notas. Los autores anotan que, sin embargo, ésta 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 borrosa equivale al concepto de orden generalmente aceptado.

Por último un trabajo que también emplea las técnicas difusas es el de [LOPEZ01], donde se destaca el empleo de técnicas borrosas en el paso Reuse del método CBR de solución de problemas usado en el sistema SaxEx. El haber modelado los valores lingüísticos de los parámetros expresivos por medio de conjuntos borrosos permitió aplicar un operador borroso 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, en esta ocasión particular de la técnica CBR y de las técnicas borrosas.

Respecto a los acercamientos basados en computación evolutiva y algoritmos genéticos se presenta en [MCCORMA05] una visión pragmática con miras a encontrar procedimientos singulares que puedan producir subjetivamente resultados interesantes en el empleo de métodos evolucionistas para la generación de música y arte. En este trabajo se definen cinco problemas abiertos y clarificados como amplias áreas de investigación para el arte y la música evolucionista. Cada problema es explicado (su importancia y los antecedentes) y es descrito en el contexto de sistemas evolucionistas creativos. Antes de introducirse en los problemas planteados el autor establece una distinción entre dos enfoques de investigación: investigación donde la música resultante y el trabajo artístico pretende ser reconocido por los humanos como algo creativo (es decir, arte) e investigación que explora el concepto de creatividad en general.

En el primer caso los resultados generados por el sistema y/o la metodología están dirigidos al ser apreciados por el humano como arte. Por lo tanto exhiben propiedades que la humanidad reconoce como despliegue de alguna forma de intención

creativa o juicio estético por parte del creador (ya sea por persona o máquina). El autor dice que las personas que usan tales técnicas pueden considerarse, además de investigadores, artistas. El segundo caso es diferente. Aquí la creatividad se considera en un contexto más manifiesto, y no se encuentra limitada a ser reconocida por las personas como algo original o estético. Es decir, la creatividad no se encuentra exclusivamente en el comportamiento humano. Luego de clarificar lo anterior, McCormack hace una exhaustiva revisión de los problemas abiertos los cuales se mencionan a continuación:

Problema abierto #1: Idear un sistema donde el genotipo, el fenotipo y el mecanismo que produce fenotipo desde el genotipo sea capaz de modificarse de forma automática y robusta, hacer selección, y por lo tanto evolucionar.

Problema abierto #2: Idear funciones formalizadas de aptitud que son capaces de medir propiedades estéticas humanas de fenotipos. Estas funciones deben ser representables por una máquina y prácticamente computables.

Problema abierto #3: Crear sistemas EMA que produzcan arte reconocido por los humanos como contribución artística (a distinción de cualquier fetiche puramente especializado o fascinación).

Problema abierto #4: Crear ecosistemas artificiales donde los agentes creen y reconozcan su propia creatividad. La meta de este problema es ayudar a entender la creatividad y el surgimiento, e investigar las posibilidades del arte tal como puede ser.

Problema abierto #5: Desarrollar teorías de arte evolucionista y generativo.

Dentro del escenario de la programación evolutiva se traen a colación algunos trabajos sobre composición musical que emplean los algoritmos genéticos con diferentes enfoques. Entre éstos se pueden mencionar [MCINTY94], [HORAYE95] y [WIGGEN97], donde se han usado en la armonización de melodías; en [HORGOL91] son empleados para la composición autónoma. El desarrollo de un sistema interactivo para la interpretación de improvisaciones de jazz se presenta en [BILES94]; para la extracción de patrones en piezas musicales monofónicas se utilizan en [GRILO03], y en [GARAY04] son usados para la composición de fugas mediante la generación automática de contrapunto.

En [MIRAND01] se ejemplifica el trabajo del compositor Gary Lee Nelson [LEE95] en el que se usan los algoritmos genéticos para hacer evolucionar patrones rítmicos. En este caso, se emplea una cadena binaria para representar una serie especial de pulsos iguales que es articulada si el bit correspondiente está activo. La prueba de aptitud o función de evaluación está basada en una prueba de adición: si el número de bits activos es mayor que un cierto umbral, entonces la cadena astiface la prueba de aptitud. Para valores altos de umbral se obtienen ritmos con mucha densidad. Inversamente, un valor bajo del umbral tiende a producir texturas delgadas dirigidas a un completo silencio. Miranda también describe Vox Populli, un programa para la composición con algoritmos genéticos desarrollado por Jonatas Manzolli y Artemis Moroni que fue ganador en The Dream Centenary Computer Graphics Prix 99 en Japon; aquí los algoritmos genéticos son empleados para hacer evolucionar conjuntos de acordes de acuerdo con un criterio específico de evaluación especificado por el usuario en términos de melodía, armonía y características del rango de voz.

Otro de los trabajos a destacar corresponde a [BILOTT00], en donde se aplica la técnica de autómatas celulares. Uno de las principales aportaciones de este trabajo es la forma de representar el material musical: 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:

- Se inicia la población con material del autómata celular representado en forma de serie,
- Se generan varios individuos (secuencias de sonidos) asociados con estos cromosomas,
- Se seleccionan las secuencias del cromosoma más adecuadas para evaluar las capacidades de los individuos (para este caso la secuencia de sonidos más consonante),
- Se hacen evolucionar estos cromosomas pasando de una generación a otra, casualmente modificando sus características y usando combinación de reglas basadas en la germinación sexual,
- Se continúa el proceso durante las generaciones que se consideren necesarias.

4. CONCLUSIONES

Se ha mostrado como, dentro del ámbito de la creatividad computacional, la aplicación de técnicas de la Inteligencia Artificial ha aportado contribuciones significativas. En concreto, se muestra la aplicabilidad tanto de los Algoritmos Genéticos como de la Lógica Difusa, y se plantea la posibilidad de utilizar sistemas híbridos que combinen ambas metodologías para aprovechar las ventajas de cada aproximación.

De esta forma se abre camino, a través de una aproximación plausible, a la identificación de los principales elementos involucrados en la composición musical desde el punto de vista computacional.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. BILES. GENJAM: A genetic algorithm for generating jazz solos. ICMC'94 Proceeding, The International Computer Music Association. 1994.
- [2] ELEONORA BILOTTA, PIETRO PANTANO, VALERIO TALARICO. Evolutionary Music and Fitness Functions. Progress in Industrial Mathematics at ECMI 000 Series: Mathematics in Industry Subseries: The European Consortium for Mathematics in Industry, Vol. 1 Anile, Angelo M.; Capasso, Vincenzo; Greco, Antonio (Eds.), pp 16-139, 2002.
- [3] O. CORDON, F. HERRERA, M. LOZANO. A classified review on the combination fuzzy logic-genetic algorithms bibliography: 1989-1995. In E. Sanchez, T. Shibata, and L. Zadeh, editors, Genetic Algorithms and Fuzzy Logic Systems. Soft Computing Perspectives. World Scientific, 1996.
- [4] O. CORDON, F. GOMIDE, F. HERRERA, F. HOFFMANN, L. MAGDALENA, "Ten years of genetic fuzzy systems: current framework and new trends", Fuzzy Sets and Systems, Elsevier, 141, 2004, pp. 5-31.
- [5] CHARLES DARWIN. On the origins of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life. London Murray. 1858.

- [6] RICHARD DAWKINS. *The Blind Watchmaker*. London, Penguin Books, 1986.
- [7] ANDRÉS GARAY. *Fugue Composition with Counterpoint Melody Generation Using Genetic Algorithms*. Presentado en: *Second International Symposium Computer Music Modeling and Retrieval*, Esbjerg, Dinamarca mayo 2004 en LNCS 3310, Uffe Kock (Ed) pp. 96-106, 2004.
- [8] CARLOS GRILO, AMILCAR CARDOSO. *Musical Pattern Extraction Using Genetic Algorithms*. . Presentado en: *International Symposium Computer Music Modeling and Retrieval*, Montpellier, France mayo 2003, en LNCS 2771, Uffe Kock (Ed) pp 114-13, 2003.
- [9] HELLMANN, MARTIN. *Fuzzy Logic Introduction*. 2001. Disponible en: www.fpk.tu-berlin.de/~anderl/epsilon/fuzzyintro4.pdf
- [10] A. HORNER, L. AYERS. *Harmonisation of musical progression with genetic algorithms*. *ICMC'95 Proceedings*, San Francisco: International Computer Music Association, pp 483-484. 1995.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] RAMON LOPEZ DE MANTARAS, JOSEP LLUIS ARCOS. *The Synthesis of Expressive Music: A Challenging CBR Application*. *ICCBR 2001*, LNAI 2080, pp. 16-6.
- [14] JON MCCORMACK. *Open Problems in Evolutionary Music and Art*. *EvoWorkshops 005*, LNCS 3449, pp. 48-436, 2005.
- [15] R. A. MCINTYRE. *Composition with genetic algorithms*. Technical report, University of Michigan. 1995.
- [16] EDUARDO RECK MIRANDA. *Composing Music with Computers*. Focal Press, 2001.

- [17] RICHARD 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.
- [18] FLORENCE ROSSANTA, Isabelle Bloch. A fuzzy model for optical recognition of musical scores. *Fuzzy Sets and Systems* Volume 141, Issue , pp 165-01, 2004
- [19] G. VIDYAMURTHY, M. N. MURTY. Musical harmony - A fuzzy entropic characterization. *Fuzzy Sets and Systems* Volume 48, Issue 2, pp 195-200, 1992.
- [20] G. WIGGINS, G. PAPADOPOULOS, S. PHON-AMNUAISUK, A. Tuson. Evolutionary methods for musical composition, 1998. disponible en: <http://www.dai.ed.ac.uk/daidb/papers/documents/rp882.html>.
- [21] LOTFI A. ZADEH. Fuzzy Sets, Information and Control. *Info. Ctl.*, Vol. 8, Pags. 338-353. 1965.
- [22] LOTFI A. ZADEH. Fuzzy Algorithms. *Info. Ctl.*, Vol. 12, Pags. 94-102. 1968.
- [23] LOTFI A. ZADEH. Outline of A New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3*, Vol. 1, Pags. 28-44. Enero 1973.
- [24] LOTFI A. ZADEH. Making Computers Think Like People.. *IEEE. Spectrum*, Vol. 8, Pags. 6-3. 1984
- [25] D. E. GOLDBERG. Genetic algorithms in search, optimizacion and machine learning. *Adisson-Wesley, MA*, 1989.