
프랙탈 트리를 이용한 자동 작곡 방법

Automatic Composition Algorithm based on Fractal Tree

곽성호, Sung ho Kwak*, 유민준, Min Joon Yoo**, 이인권, In-Kwon Lee***

요약 본 논문에서는 프랙탈 이론을 이용한 새로운 자동 작곡 알고리즘을 제안한다. 사용자는 L-System에서 시작 상태 및 생성 규칙들을 설정함으로써 다양한 프랙탈 형태를 정의 및 조정할 수 있다. 본 연구에서는 먼저 L-System 과 확률을 이용하여 비대칭인 프랙탈 트리를 생성한다. 그리고 생성된 프랙탈 트리의 이미지를 기반으로 음악화 기법을 이용하여 음악을 생성한다. 본 논문에서는 다음 두 가지 방법을 소개한다. 첫째로, 이미지의 x축과 y축을 음의 크기와 음정으로 매핑하여 단선율 음악을 생성한다. 둘째로, 이미지의 x축과 y축을 시간과 음정으로 매핑하여 다성 음악을 생성한다. 본 논문에서 제시하는 방법을 이용하여 사용자는 프랙탈의 재귀적인 특징이 반복성으로 나타나는 음악을 생성할 수 있으며, 프랙탈 트리의 모습을 음악적 구조로 갖는 음악을 생성할 수 있다.

Abstract In this paper, we suggest new music composition algorithm based on fractal theory. User can define and control fractal shape by setting an initial state and production rules in L-System. We generate an asymmetric fractal tree based on L-System and probability. Then a music is generated by the fractal tree image using sonification techniques. We introduce two composition algorithm using the fractal tree. First, monophonic music can be generated by mapping x and y axis to velocity and pitch, respectively. Second, harmonic music also can be generated by mapping x and y axis to time and pitch, respectively. Using our composition algorithm, user can easily generate a music which has repeated pattern created by recursive feature of fractal, and a music which has structure similar to fractal tree image.

핵심어: 프랙탈 트리, L-시스템, 음악 생성, 알고리즘 작곡

Keywords: Fractal Tree, L-System, music generation, algorithmic composition

본 논문은 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소(CT) 육성사업의 연구결과로 수행되었음.

*주저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정 e-mail: shwak@cs.yonsei.ac.kr

**공동저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 e-mail: debussy@cs.yonsei.ac.kr

***교신저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 부교수 e-mail: iklee@yonsei.ac.kr

1. 서론

작곡을 하기 위해서는 많은 사전 지식과 훈련이 필요하다. 하지만 많은 사람들은 그런 훈련을 받을 수 없었기 때문에 작곡은 일부 사람들만 할 수 있는 특권이었다. 그러나 컴퓨터 기술이 발달함에 따라 컴퓨터의 도움을 받아 훈련 받지 않은 사람들도 작곡을 할 수 있는 기회가 조금씩 늘어났다.

컴퓨터를 이용하여 음악을 합성하는 방법 중 하나는 기존에 존재하는 다른 소스를 이용하여 새 음악을 합성해내는 방법이다. 이 방법은 기존의 음악 소스를 가지고 새로운 음악을 만들거나 다른 특징점에 어울리는 음악을 생성, 혹은 합성해 준다.

그리고 머신러닝(machine learning)같은 방법을 이용하여 완전히 새로운 음악을 생성해주는 방법이 있다. 이런 다른 분야의 방법들을 이용하여 새로운 음악을 작곡해 내는 시스템은 전자 음악(electronic music 혹은 computer music)등과 결합하여 현대 음악의 새로운 분야로 주목 받고 있다.

본 논문에서는 L-System을 이용한 프랙탈 트리를 생성한다[1][2]. 그리고 생성된 프랙탈 트리 이미지를 소리화(sonification) 기법을 이용하여 음악으로 변환하여 새로운 음악을 만들어 낸다.

2. 관련 연구

2.1. 자동 작곡

컴퓨터를 이용하여 작곡하는 것은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 기존의 음악을 이용하여 새로운 음악을 합성하는 방법이다. 먼저 Vane 등은 비디오의 장면을 분석하여 자동으로 비디오의 배경 음악을 만들어주는 시스템을 개발하였다[3]. 이 때의 음악은 기존의 샘플을 조합하는 형식으로 이루어진다. Yoo 등은 텍스쳐 합성(texture synthesis) 기반으로 임의의 음악을 합성하여 새로운 배경음악을 간편하게 만드는 방법을 제안하였다[4]. Dahan 등은 사용자가 원하는 음악의 분위기를 이미지로 입력하면 그것에 어울리는 음악을 자동으로 생성하는 시스템을 제안하였다[5]. 또한 중국 전통음악의 형식을 마르코프 체인(markov chain)으로 학습시키고 이를 이용하여 새로운 음악을 생성하는 방법이 제안 되었다[6].

기존의 음악을 이용하여 새로운 음악을 합성하는 방법 외에 완전히 새로운 음악을 만드는 연구 또한 진행되고 있다. 이는 일반적으로 알고리즘 작곡(algorithmic composition)이라고 불리운다[7]. 예를 들어 Zad는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 자동작곡을 하는 방법을 제

안하였다[8].

음악을 L-System에 적용하여 생성된 연구도 진행되었다 [9]. 하지만 과거의 연구는 프랙탈 트리의 생성과 진행을 완벽한 대칭형으로 보기 때문에 음악 내부에 적절한 면주가 일어나지 않는 단점이 있다. 또한 자세한 작곡 방법은 공개가 되어있지 않지만, 프랙탈의 기하학적인 성질을 이용하여 음악을 작곡하는 작곡가[10][11]들도 존재한다.

2.2. Computer Aided Composition

작곡가가 작곡을 하는 과정에서 컴퓨터에게 제한된 형태의 도움을 받는 형태의 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 이는 컴퓨터에게 완전하게 자동화된 작곡을 수행하도록 하는 것이 아니라는 점에서 자동 작곡과 구별된다. 이에 대해서 자세한 논의는 Ariza의 논문[12]을 참고할 수 있다.

이러한 연구의 예로서 Gogins는 사용자가 가사와 코드를 제시하면 악보를 자동으로 생성해주는 방법을 제안하였으며 [13], Junod 등은 기존의 결과가 대부분 클래식 음악에 제한된 점을 해결하기 위해 컴퓨터의 도움을 이용하여 제 3 세계의 음악을 작곡하는 방법을 제시하였다[14].

2.3. 소리화

소리화(sonification)는 소리가 아닌 어떤 대상(예를 들어, 이미지 및 비디오 등)을 소리로 표현하는 것을 말한다. Yeo 등은 일반적인 이미지를 raster scanning 기법으로 연속된 소리로 표현하는 방법에 대해서 제시하였다[15]. 각 이미지 픽셀의 그레이 스케일(gray scale)값 혹은 컬러 값은 웨이브 파일의 샘플레이터와 1:1 매칭된다. 또한 원본 이미지에 일반적인 2D 이미지용 필터를 적용하여 그 변화를 직접 소리에 적용하였다. 본 논문에서는 이와 같은 직접적인 매칭이 아닌, 이미지의 공간적 개념과 음악의 추상적 개념과의 매칭을 시도한다.

2.4. 프랙탈 아트

프랙탈은 다양한 그래픽분야에서 많은 사용되고 있다. Oppenheimer은 프랙탈을 이용하여 실시간으로 식물과 나무들을 생성하고 움직임을 조정하였다[16]. 그 외에 프랙탈은 유체의 확장을 표현하는데 사용되며[17], 도시의 암울한 모습을 표현하는 비디오 아트 [18]에서도 사용되고 있다.

3. 프랙탈 트리 생성

프랙탈은 하나의 물체가 전체의 모양과 유사하지만 크기

가 작은 부분들의 합으로 나타낼 수 있는 특징을 가진다[1]. 이런 프랙탈의 특징은 음악의 구조적 특성과 유사한 측면이 있다. 일반적으로 음악에는 몇 가지의 주제가 있고, 그 주제들이 다양하게 변화하면서 곡을 구성하게 된다. 이러한 프랙탈과 음악적 특징과의 관계는 J. Cage의 음악에서도 찾아볼 수 있다. Cage는 자신의 곡[19]에서 macro 구조와 micro 구조가 동일한 곡을 작곡하였다. 이는 정확히 프랙탈의 특징과 일치하는 것이다.

본 논문은 L-System을 이용하여 프랙탈 트리를 생성한다. L-System은 시작 상태(initial state)와 생성 규칙(production rules)을 사용자가 직접 다양한 형태로 지정할 수 있는 장점이 있다. 또한 시작 상태와 생성 규칙을 쉽게 변경 할 수 있고 약간의 규칙 변경으로도 완전히 다른 프랙탈 트리를 얻어 낼 수 있는 것이 L-System의 또 다른 장점이다.

하지만 일반적인 L-System을 그대로 사용 할 경우 반복되는 규칙이 완전히 동일하기 때문에 프랙탈 트리 내부가 동일한 모양으로 반복되는 문제점이 있다. 프랙탈 트리를 일반적인 용도로 생성하는 것에는 큰 문제가 없지만 해당 트리로 음악을 생성할 경우 변수가 생성되지 않는 문제로 연결된다. 이 문제를 해결하기 위해서 각 규칙이 실행되는 것에 확률을 부여하여 완전히 동일한 반복은 일어나지 않도록 하였다. 그림 1에서 확률을 사용함으로써 유사하지만 완전히 같지 않은 패턴을 얻을 수 있음을 확인 할 수 있다.

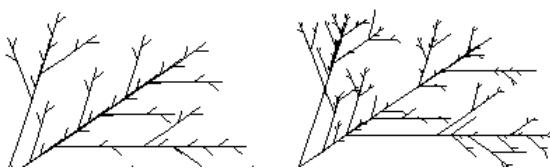


그림 1. (좌) 생성 규칙에 확률을 사용하지 않은 프랙탈 트리, (우) 생성 규칙에 확률을 사용한 프랙탈 트리

그림 2는 표 1을 이용하여 생성된 프랙탈 트리이다. 각 생성 규칙은 70%의 확률로 실행되고 반복(iteration)은 최대 5번 실행되었다. 세부적인 가지들의 모양은 큰 차이가 없으나 전체적으로 대칭이 아닌 불규칙성을 확인 할 수 있다.

Alphabet : F
Constraint : +, -
Initial State : F
Production Rules : F → F[F]F[-F]

표 1. 프랙탈 트리를 생성하는 L-System의 예

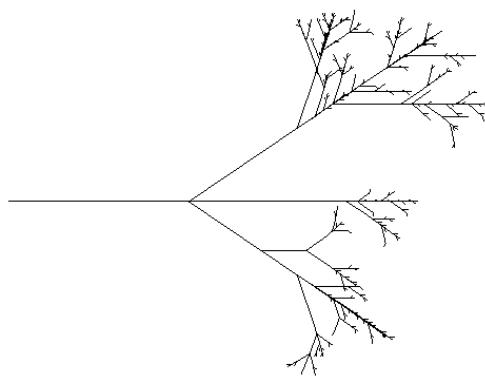


그림 2, 표 1에 표기된 L-System을 이용하여 생성된 프랙탈 트리

4. 음악화

본 논문에서는 다음 두 가지 방법을 이용하여 프랙탈 트리를 음악화하였다.

4.1 단음정 음악 생성

첫 번째 방법으로는 프랙탈 트리 이미지의 X축을 음의 크기(velocity)로, Y축을 음정(pitch)으로 매핑한 후 프랙탈 트리를 탐색(traverse)하면서 만나는 각 포인트에 해당하는 음을 이용하여 음악을 생성하게 된다(그림 3). 하나의 음악은 프랙탈 트리를 탐색하다가 더 이상 진행 할 수 없는 곳에 도달하였을 때 종료하게 된다.

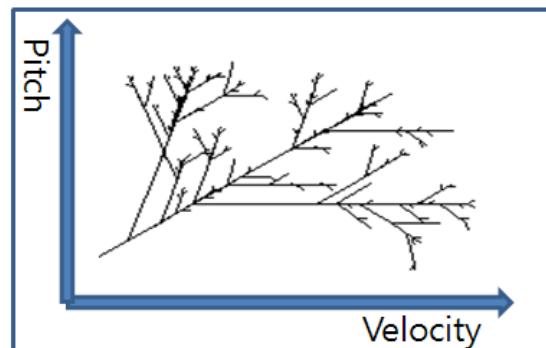


그림 3. 프랙탈 트리를 이용한 단음정 음악 생성. 프랙탈 이미지의 X축과 Y축은 각각 음의 크기(velocity)와 음정(pitch)으로 매핑된다.

프랙탈 트리 탐색 중 분기점이 없는 곳이라면 계속해서 진행한다. 한 픽셀은 하나의 단위 시간으로 매치된다. 프랙탈 트리가 갈라진 분기점이 생성된 음악에서의 분기점이 된다. 분기점에서 어떤 길을 따라서 탐색을 계속 할지는 확률을 따라 선택하게 함으로써 하나의 트리에서도 다양한 음악이 생성될 수 있다. 확률을 사용하기 때문에 생성된 전체 음

악의 길이는 프랙탈 트리 전체 길이와 같거나 그보다 작을 수 있다.

이 방법에서는 비슷한 가지의 모양을 반복하여 탐색하면서 음악이 생성된다. 그렇기 때문에 가지의 위치와 길이에 따라서 음정이나 음의 세기, 길이는 차이가 있지만, 가지의 모양이 유사하기 때문에 생성된 음악은 유사한 멜로디가 반복되는 음악적 특성을 유지할 수 있다는 장점이 있다.

4.2 다성 음악 생성

두 번째 방법으로는 이미지의 X축을 시간으로 매칭하고, Y축을 음정으로 계산하여 화음을 생성하게 된다(그림 4). X축으로 한 픽셀이 한 단위의 시간을 가지게 되며, 해당 X 좌표를 지나는 가지들을 검색한다. 그리고 만약 지나는 가지가 있다면 해당 가지의 Y좌표를 찾아내어 그 가지의 위치에 해당하는 음정의 음을 이용하여 음악을 생성한다.

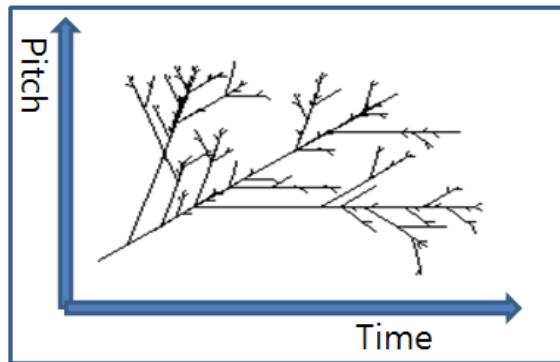


그림 4. 프랙탈 트리를 이용한 다성 음악 생성. 프랙탈 이미지의 X축과 Y축은 각각 시간(time)과 음정(pitch)으로 매핑된다.

이 방법을 사용 할 경우 임의의 X좌표에 해당하는 Y값이 많을 수록 여러 음이 동시에 생성되고, 간단한 부분에서는 부드러운 멜로디가 흐르게 된다. 따라서 보다 동적인 음악이 생성되는 특징이 있다. 또한 두 번째 방법은 음악의 전체적인 구조를 예상 및 정의할 수 있다는 장점이 있다. 음악의 총 길이는 프렉탈 트리의 가로축 길이와 일치하게 된다.

5. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서는 프랙탈 트리를 이용한 자동 작곡 방법을 소개하였다. 현재는 L-System을 이용하여 생성한 프랙탈 트리에 국한되었지만, 다른 L-System의 생성법칙을 사용하여 얻어진 다양한 프렉탈(예를 들어 koch curve 등)을 사용하여 음악을 만들 수도 있을 것이다.

또한 음악화 부분에 대한 개선 작업이 필요하다. 현재 제안한 두 가지의 방법은 각각 문제점을 가지고 있다. 먼저 단

음정을 생성하는 방법의 경우는 곡 전체적인 구조를 확인할 수 없다. 내부의 길만 탐색해 곡을 만들기 때문에 음악 전체적인 구조를 보장 할 수 없다. 또한 다성 음악을 생성하는 경우 곡 전체의 모양은 알아 낼 수 있지만 무엇보다 내부적인 변주를 제대로 표현할 수 없다는 문제점을 내포하고 있다. 향후 연구에서는 이 두 문제를 다루어야 할 것이다.

또한 만일 기존의 음악을 분석하여 L-System에 사용할 수 있는 생성법칙들로 만들 수 있다면 특정 음악을 기반으로 전혀 다른 새로운 음악을 만들어 낼 수도 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Falconer, Kenneth. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd. 2003.
- [2] Jürgens, Hartmut, Heinz-Otto Peitgen, and Dietmar Saupe. "Chaos and Fractals: New Frontiers of Science". New York: Springer-Verlag, 1992.
- [3] Edwin Vane et al, "A Computer Aided Sound Track Composition System Designed for Humans" In Proceeding of ICMC 2007, p. 192–199. Copenhagen, Denmark.
- [4] Min-Joon Yoo et al, "Background Music Generation Using Music Texture Synthesis", In Proceeding of ICEC 2004, p. 565–570. Eindhoven, Netherland.
- [5] Kevin Dahan, "Computer Music Enaction", In Proceeding of ICMC 2006, p. 531–535, New Orleans, USA.
- [6] Jenny Ren et al, "Developing Chinese Style Algorithmic Composition Using Markov Chains –From the Classical Chinese Poetry Perspective", In Proceeding of ICMC 2007, p. 214–219. Copenhagen, Denmark.
- [7] Karlheinz Essl: Algorithmic Composition. in: Cambridge Companion to Electronic Music, ed. by N. Collins and J. d'Escrivan, Cambridge University Press, 2007.
- [8] Damon Daylamani Zad et al, "A Factored Language Model of Quantized Pitch and Duration", In Proceeding of ICMC 2006 p. 556–563, New Orleans, USA.
- [9] Peter Worth, "Growing Music: Musical Interpretations of L-Systems", LNCS Volume 3449, p. 545–550
- [10] Brothers Technology (<http://www.brotherstechnology.com>)
- [11] Jose Oscar Marques (<http://mideworld.com/c/jmarques.htm>)
- [12] Christopher Ariza, "Navigating the Landscape of Computer-Aided Algorithmic Composition Systems:

- A Definition, Seven Descriptors, and a Lexicon of Systems and Research", In Proceeding of ICMC 2005. p765–772. Barcelona, Spain.
- [13] Micahel Gogins, "Score Generation In Voice-Leading and Chord Spaces" , In Proceeding of ICMC 2006, p. 593–600, New Orleans, USA.
- [14] Jullien Junod et al, "From Fux To Ragas – Morphing Contrapuntal Worlds", In Proceeding of ICMC2007, p. 206–213. Copenhagen, Denmark.
- [15] Woon Seung Yeo et al, "Raster Piece : A Cross-Modal Framework For Real-Time Image Sonification, Sound Synthesis, and Multimedia Art", In Proceeding of ICMC 2007, p. 363–366.
- Copenhagen, Denmark.
- [16] Peter E. Oppenheimer, "Real time design and animation of fractal plants and trees", In Proceeding of Computer Graphics and Interactive Techniques 1986, p. 55–64, Dallas, USA
- [17] Jeff Brice, "Urban Growth", SIGGRAPH 2002 Art Gallery.
- [18] Sangwon Lee et al, "Interactive 3D Fluid-Jet Painting", SIGGRAPH 2006 Emerging Technology.
- [19] John Cage. Third Construction (1939) 중 첫 번째 곡 First Construction (In metal).