

음악에서의 디지털 미학 A Digital Aesthetic in Music

°윤중선°

부산대학교 정밀기계공학과 Intelligence Information Control Lab.

*(Tel: (051)510-2456; Fax: (051)514-0685; E-mail: jsoon@hyowon.pusan.ac.kr)

Abstracts An exploration for an emotional intelligence paradigm has been delineated. Emotional intelligence is investigated in terms of composing machine as a modern abstract art. The system consists of interface, plan and performance modules. Design concepts of the system are modular, open, and user friendly to ensure the overall performance. The exploration of art in the view of intelligence, information and structure will restore the balanced sense of the art and the science seek the happiness of life. The investigations of emotional intelligence will establish the foundations of intelligence, information and control technologies.

Keywords Emotional Intelligence, Digital Aesthetic, Algorithmic Composition, Nuance Signal

1. 서론

소리(sound)라는 성질(quality)은 음의 높이와 길이로 나타낼 수 있지만 악보에 그려진 음(music)은 개인의 느낌과 감정에 따라 다르게 해석, 연주 및 전달되는 기호(taste)에 따라 다양하고 주관적인 감성지능이 작동하는 것이다. 사실 소리와 음의 상관관계의 유추(analogy)는 기계적인 단순 동작과 무용과 운동경기에서의 정리된 아름다운 동작과의 상관관계를 생각하게 된다. 삶을 행복하고 풍요하게 해주는 방편으로 하나였던 과학기술과 예술은 레오나르도 다빈치 시대 이후 분화되어 삶에 대한 균형감각을 잃게 된다. 아이러니컬하게도 21세기를 앞두고 multimedia로서의 컴퓨터, 센서, user interface와 같은 과학기술의 발전으로 과학과 예술의 경계가 허물어지며 본연의 자세로 자연스러운 통합(unity)이 이루어지고 있다. Fluxus Group의 비디오 아트, 전위음악, 무보(舞步)[1]와 Brain Opera Team의 Minskian agents에 의한 음악[2] 등의 실험들이 그 예일 것이다.

인간의 또다른 경험인 소리라는 성질(quality)을 비(proportions/intervals)라는 수(quantity)의 체계로 보는 서양의 Pythagoras의 음악 철학은 음악을 형식 및 창작 과정상 수학적, 추상적, 체계적, 구조적 특성을 가지는 가장 잘 정리된 예술의 장르로 인식하고 계승 발전시켰다[3, 4, 5]. 서양 고전 조성(tonality) 음악의 체계인 circle of fifths[4, 5], 20세기 초의 무조(atonality) 음악의 체계인 serialism[4, 5], 20세기 중반의 음향합성(sound synthesis)에 따른 electronic music[5, 6]과 확률론(chance operation)에 따른 stochastic music[5, 6, 7], 20세기 후반의 0과 1(bit)에 의한 음향 구조의 자동 생성(automatic generation of sound structure)이라는 digital music[5, 6]등이 그 대표적 흐름이다.

동양음악에서도 음과 수를 연관시켜 생각해왔다. 고대의 동양인은 음악과 수의 관계를 형이상학적 역(易)의 철학으로 결부시켜 수학과 음악, 철학을 일체화시켰다. 세종대왕의 음을 정미의

사상또한 역(易)에 바탕을 둔 음악, 수학, 천문학의 일체화였다. 이는 춘추(春秋)와 한서(漢書)의 율력지(律曆志)에 집약되어 있다[8]. 중국과 세종대왕은 현(絃)과 관(官)을 써서 악기의 길이와 음세간의 비례이론인 삼분손익법(三分損益法)으로 불리는 오성 12율(五聲12律)에 입각하여 음율의 기본으로 정하고 그에 따라 도량형의 척도로 써서 음악을 정치의 기본으로 삼았다[8]. 우리의 음악은 서양의 맥박이나 보행과 달리 호흡에 근거하고 장구 장단과 같이 음양(陰陽)과 합(合)의 사상을 보여준다[9].

음악의 수학적, 추상적, 체계적, 구조적 특성에 정보소통적 특성을 더하여 1996년 미국 뉴욕의 링컨센터에서는 brain opera는 cyber opera 공연이 열렸다[2]. 사람의 개성은 뇌에 있는 한 명의 중심적 지휘자(conductor) 보다는 비지능적이고 연결되지 못한 듯이 보이는 심리 과정(agents)에 의해 제어된다는 Minsky의 "agents" 개념[10]을 좇아 brain opera team과 전세계 Internet 가입자들의 입력 정보가 컴퓨터 음악가 Machover의 전자 지휘봉에 따라 음악으로 변환되어 연주되었다[2]. MIT의 Hyperinstrument Group은 1991년부터 "seed"라는 음악의 일부를 컴퓨터에 넣고 일종의 "musical driving" 게임에서 두 개의 비디오 게임 형의 joystick을 움직여 rhythm, texture, harmony, melody와 같은 음악의 특징을 바꾸거나 고쳐가며 완성된 음악을 작곡해가는 도음장치(Hyperinstrument) 개발 연구를 하고 있다[2]. 또한 1994년에는 magnetic sensor를 몸에 붙여 인체의 움직임 음악으로 바꾸는 sensor chair가 mini-opera를 위해 설계되었다[2]. 손이나 몸의 자세(gesture)를 data glove, dextrous hand master, gesture wall plates 등의 센서로 인식하고 소리나 image로 바꾸어주는 연구가 수행되고 있다[6, 2, 11].

음악 과정을 심볼형태(symbolic representation)로 나타내고 널리 쓰이는 지능 알고리즘에 의해 작곡 및 연주하는 연구가 이루어지고 있다[3, 5, 6, 12]. 또한 컴퓨터를 써서 자동으로 음을 채보하고 악보를 인쇄하는 연구도 활발하다[13].

1995년 대구에서는 철에 관한 사색이라는 프로젝트 아트

2. 디지털 미학(Digital Aesthetic)

인공지능 분야는 인간의 지능 중 논리(logic)에 입각한 high-level 지능에 치중하여 복잡하지만 논리와 rule로서 잘 정의되는 toy world에서만 성공을 거두었다. 이를 극복하기 위해 진화론의 생존적 행동양태에 입각한 low-level 지능을 보강하여 변화하는 주변 환경을 인식하며 대처하는 real world에서도 많은 성공을 거두고 있다. 이러한 결과의 성공과 실패에 따른 지적지능은 최적화 모델에도 불구하고 만족과 기호에 따른 감성 지능인 인간의 복잡하고 미묘한 많은 부분을 보여주지 못하고 있다. 지적지능은 감성지능에 비해 한계를 보여줄 수 밖에 없다.

예술을 하나의 정보 소통 체계로 볼 때, 아름다움(aesthetics)은 의미 정보(contents)와 미적 정보(forms)의 적절한 조화로 볼 수 있을 것이다[20, 21]. 즉 아름다움은 적합도(fitness)로 평가되는 객관적인 지적지능(objective intellectual intelligence)과 만족도(happiness)로 나타나는 주관적 감성지능(subjective emotional intelligence)의 균형감으로 보여진다.

컴퓨터를 예술 창작의 도구로 쓰기보다는 소통, 창작 및 표현(communicate, create and express)의 과정에서 0과 1의 bit로 이루어진 정보를 지장, 이동, 연산하여 매체 스스로 의미 정보와 미적 정보를 균형 시키는(balance) 미학 체계를 모색할 것이다. 컴퓨터를 쓴 전통적 표현 양식의 재현이라는 단순 매체의 변화에서 벗어나, 매체의 속성에 따른 새로운 체계 즉 bit와 bit 연산에 따른 새로운 형태에 대한 개념의 전환을 말하는 것이다.

물질(atom)에 근거한 아트 form을 움직임의 예술적 기록, 해석 및 안무, 영상의 자동생성, 음향 구조의 자동 생성 및 연주 등 디지털(digital)에 근거한 아트 form으로의 변환 체계(mapping paradigm)를 살펴보고자 한다. 이러한 디지털 아트는 외견상 서로 다른듯 보이나 0과 1이라는 무게도 없고 무한 고속의 정보 형태로 바탕에 깔려 있어 하나의 알고리즘으로 동시에 여러 아트로 표현되거나 아트간의 변형을 통해 표현될 수 있다. 디지털 아트는 메타 아트인 것이다. 우리 음악의 장구 장단의 음양(陰陽)과 합(合)의 사상은 0과 1로 나타내어지는 디지털 계의 특성을 가장 잘 나타내어 주는 듯 하다.

디지털 매체에 맞는 linked/cellular automata, stochastic processes, grammars, pattern matching and search techniques, neural networks, fuzzy inference, genetic algorithms, fractals, chaos, artificial life과 같은 기법들이 매핑[5, 6]의 예가 될 것이고 이 들을 구성하는 rule들이 새로운 예술의 문법, 언어, 구조를 밝히는 대안으로 연구될 것이다.

생명체란 자기복제, 정보전달의 조건을 갖춘 것이라 한다[22]. 쇠가 녹슬어 질량이 줄어들고 최종적으로 녹음테이프에 입혀져 정보로 이어진다는 쇠를 정보를 가지는 지능 생명체라는 개념으로 프로젝트 아트에 참여했다. 생명체가 자화되거나(magnetized) DNA와 같은 정보로 이어져 내려간다. 디지털 매체는 이러한 특성을 잘 보여주는 더욱 실체에 가까운 인공생명체(real artificial life)로서 연구될 수 있을 것이다.

주파수의 증가에 따라 object(atom)에서 sound(music)와 image(art)를 거쳐 information(digital)에 이르는 예술 정보의 변화 구조도 조사될 것이다. 주도권을 가지는 중심체가 없이 열린 다수로 이루어진 Minskian agents 개념에 의한 brain opera와 같은 감성지능의 실험을 시도할 수 있겠다.

(Project Art) 전시회가 있었다[14]. 설계자로서의 한 명의 전업 작가의 개념에 네 명의 공학박사들의 전문 지식을 더하여 재료로부터 정신에 이르기까지 철에 대한 다양한 모색을 시도한 전시회였다. 예술과 과학의 접목을 시도한 프로젝트 아트였다.

사람의 움직임을 센서로 제어 로봇과 같은 기계에 패턴화된 움직임으로 재현하는 지능 로봇을 위한 운동포착 및 재현 시스템 연구과제를 시행 중이다[15]. 인체에 부착된 magnetic 센서[16]로 감지한 움직임을 그대로 또는 매핑으로 변형시켜 재현하여 진화적으로 최적화된 인체의 mechanism을 이용하자는 연구이다. MIT Hyperinstrument Group의 Sensor Chair와 magnetic 센서를 썼다는 점에서 비슷하나 전혀 독립적으로 1994년 홍신자의 무용단 옷는돌의 창원 공연에 조명 통역자로 참여하였다가 무용단과의 자유로운 토론 과정에서 나온 개념으로, 무용인과 로봇과학자의 자연스러운 교감에서 온 예술과 과학과의 접목의 한 시도로 볼 수 있겠다[1, 17].

동시에 물질(atom)에 따른 음악과 미술의 단순 컴퓨터로의 구현이 아닌 0과 1(bit)에 의한 디지털 매체에 특성[18]에 따른 움직임의 예술적 기록, 해석 및 안무, 음향 구조의 자동 생성, 영상의 자동생성이라는 무용, 음악, 미술 등 디지털 아트의 미학 체계를 찾는 음악 예술과 과학과의 접목을 피하고 있다[19].

기계에 지능을 더하여 인간과 비슷하게 만들려는 인공지능 분야는 인간의 지능 중 논리(logic)에 입각한 높은 레벨(high-level)의 지능에 치중하여 복잡하지만 논리와 rule로서 잘 정의되는 toy world에서만 성공을 거두었다. 이를 극복하기 위해 진화론의 생존적 행동양태에 입각한 낮은 레벨(low-level)의 지능을 보강하여 변화하는 주변 환경을 인식하며 대처하는 real world에서도 많은 성공을 거두고 있다.

이러한 high-level과 low-level의 지적지능은 결과의 성공과 실패에 따른 것으로(intellectual intelligence based on success and failure) 최적화된 모델임에도 불구하고 만족과 기호에 따른 감성 지능(emotional intelligence based on satisfaction and taste)과 같은 인간의 복잡하고 미묘한 많은 부분을 보여주지 못하고 있다. 산업시대의 미덕이었던 적자생존형 지적지능은 post 산업시대의 무질서 속에서도 본질을 내포하는 감성지능에 비해 한계를 보여줄 수 밖에 없다.

이 연구는 감성지능의 paradigm을 세우고 검증하는 것이다. 지적지능과 감성지능을 움직임(gesture), 소리(sound), 그림(image) 등 감성의 정보와 메타 예술적 관점에서 살펴보고자 한다. 자연의 적자생존의 최적 선택(optimized selection)인 지능(intellectual intelligence)과 만족과 기호(taste)의 다가치적 선택(multi-valued selection)인 감성(emotional intelligence)의 유사성과 차이점을 현대 추상 예술을 구현하는 자동 작곡기(composing machine)의 개념적 구조와 기법의 조사(survey)와 재현을 통해 따져보려고 한다.

음악을 들을 때 느끼는 마음의 위안과 떠오르는 연관된 기억들은 항상 삶을 따뜻하게 돌아보게 해준다. 감성지능 구현 시스템은 예술에 대한 전문적 감각을 가지고 있으나 창작의 어려움으로 감상에 머무르는 애호가들의 창작 욕구를 실현하도록 자극을 주고 도와주어 이들의 삶이 윤택해지도록 할 것이다.

이러한 연장선상에서 예술과 과학의 접목을 통한 감성지능을 찾고 이를 음악의 자동 생성 및 연주(automatic generation and performance)에 검증하자는 것이다.

3. 감성접속 및 재현계

감성접속 및 재현계(emotion interface and performance system)는 사람의 개입과 센서에 의한 감성접속(emotion interface)부, 접속된 감성 정보의 자료화, 패턴 분류화, 분석 및 자동 생성등의 감성계획(emotion plan)부, 접속되고 가공된 정보에 따라 감성을 재현하는 감성재현(emotion performance)부로 이루어진다. 감성접속 및 재현계의 구성은 Fig. 1과 같다.

구성 개념은 modular system, open system, user freindly system이다. 하드웨어와 소프트웨어의 각 module은 독립적으로 개발되며 시스템이 커짐에 따라 쉽게 확장될 수 있는 구조로 되어있다. 개발된 각 module은 기존의 library module과 함께 통합(system integration)되어 뛰어난 성능을 발휘할 것이다.

각 module 및 system integration에 대한 연구내용 및 방법은 다음과 같다.

3.1 접속(Interface)

디지털 매체로 구현되는 아트가 진정한 감성지능을 지니기 위해서는 컨셉메이커로서 사람이 개입할 수 있는 접속 장치와 창작의 결과를 보여주는 재현기가 필요하다. 컴퓨터와의 직접적인 물리적 접속(physical interface)과 집중력, 고도의 skill, 상상력이 스며들 수 있는 정신적 접속(mental interface)이 이루어질 수 있도록 하드웨어와 소프트웨어를 설계하고 시스템에 통합(system integration) 시키도록 한다. 재현기 또한 사람과 비슷한 재현능력(performance level)을 보여주도록 설계 및 구현하도록 한다. 컴퓨터를 쓴 음의 자동 채보 및 악보 인쇄, 일부 음악(seed)에서 시작하여 joystick으로 음악의 특징을 바꾸거나 고쳐가며 완성된 음악으로의 작곡, 센서로 인식된 손이나 몸의 자세(gesture)를 소리(music)나 그림(image)으로의 변환등이 연구대상의 예가 될 것이다.

음향포착기(sound recorder)는 Microphone으로 소리를 sampling하거나 MIDI Keyboard 같은 장비로 입력된다. 접속된 감성 정보의 정확성을 위한 센서 신호의 calibration 프로그램, 감성 정보의 emotion tracker에서 PC 나 workstation급의 주처리기로 흐름을 원활하게 할 communication program을 구성한다. 복잡한 감성을 여러개의 센서로 잡을 때 감성 정보는 접속기의 병렬처리부를 거쳐 하나의 접속의 경우와 같이 처리된다.

접속된 움직임, 그림, 소리(gesture, image, sound 정보는 정지된 일련의 순간 자세, 영상, 소리(digitized emotion) 형태로 주 처리기에 보내져서 저장된다. 자료화(database)된 감성 정보는 패턴분류(pattern classification) 및 직간접 매핑(direct/nuance mapping)등 감성의 분석 및 재현에 쓰인다. 빠른 자료의 활용을 위해서 자료 탐색(data search)과 자료 압축(data compression)에 대한 연구가 필요하다.

주 처리기에서 감성지능계를 제어하려면 감성의 접속(interface), 설계(plan), 재현(performance) module이 database를 공유하며 쓰기 쉽게(user friendly) 통합(integration)되어야 한다. 각 module은 객체지향(object-oriented) 프로그래밍 개념을 써서 만들어지고 통합된다. 감성지능계의 각각의 특징은 SCRIPTS 이론[23]을 써서 GUI의 화면 및 menu로 추릴 수 있고 쉽게 쓸 수 있게 모든 명령은 icon과 같은 그림 위주로 이루어진다.

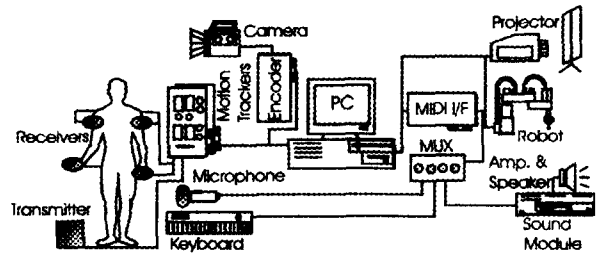


그림 1. 감성접속 및 재현계

Fig. 1 Emotion Interface and Performance System

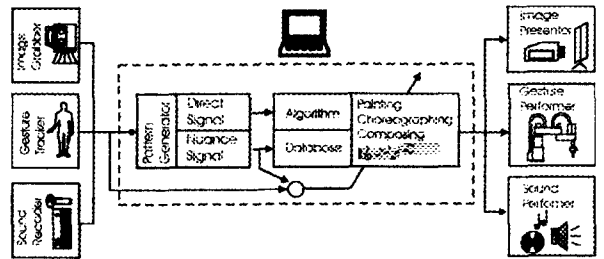


그림 2. 물리적 접속 및 정신적 접속

Fig. 2 Physical and Mental Interface

3.2 계획(Plan)

접속된 사람의 감성을 재현기(performing agent)의 감성으로 바꾸려면 사람과 재현기 사이의 감성 관계(mapping)를 잘 따져야 한다.

gesture tracker, image grabber, sound recorder로 접속된 디지털 정보는 패턴분류기(pattern classifier)에서 직간접적 신호(direct/nuance signal) 패턴으로 변형된다. 직접신호(direct signal)는 입력 감성 정보의 패턴을 정리하여 재현기의 특성에 맞는 패턴에 해당하는 재현과의 미리 정의된 mapping의 입력으로 사용된다. 간접신호(nuance signal)는 이미 정의된 입력과 재현 패턴과의 관계에 감정이 스며들도록 사람의 개입이나 스스로 바뀌는(evolution and learning) mapping의 입력으로 사용된다.

패턴은 포인트 데이터에 의한 방법 대신 센서로 받은 정보의 객체지향(object-oriented) modeling 기법으로 쉽게 얻는다. 표준화된 허용 패턴의 분류(pattern classification) 및 인식(pattern recognition)을 위해서 신경망[15] 기법이 이용될 수 있다. 직접신호(direct signal)는 미리 입력되어 있는 허용 패턴과 비교되어 음악이나 영상으로 표현되도록 한다. 독주의 경우 1 대 1, 합주의 경우는 1 대 다(多) mapping이 사용된다. 간접신호(nuance signal)는 움직임의 개인차나 습관, 감정등이 표현되도록 한다. 직접신호는 자동 작곡기(composing machine)의 기존 알고리즘에 영향을 주고 간접신호는 지능 알고리즘에 영향을 준다.

자동 작곡기는 기존 알고리즘에 의한 작곡부와 지능 알고리즘에 의한 작곡부로 나뉜다. 기존 알고리즘에 의한 작곡부는 서양 고전 조성(tonality) 음악의 체계인 circle of fifths, 20세기 초의 무조(atonality) 음악의 체계인 serialism과 확률론(chance operation)에 따른 stochastic music등의 알고리즘을 사용하여 작곡을 하며 직접신호의 지시를 받아 작곡의 방향을 결정한다. 지

능 알고리즘 부분은 많이 알려진 유전자 알고리즘(genetic algorithms), 신경망(neural networks) 이론등을 사용하여 기존 알고리즘에 의한 작곡부의 작곡 결과를 재구성한다. 간접신호는 지능 알고리즘의 목적 함수나 파라미터를 결정하여 간접신호의 흐름에 좇아 음악이 재구성되도록 한다.

음악 database는 MIDI keyboard등으로 입력하거나 자동 작곡기에서 생성된 음을 저장하여 자료화하여 자동 작곡기가 작곡을 할 때 필요한 정보로 제공된다.

3.3 연주(Performance)

디지털 아트의 창작의 결과를 보여주는 재현기(performing agent)는 사람과 비슷한 재현능력(performance level)을 보여주도록 설계 및 구현하도록 한다. 재현기에 맞도록 감성 정보, 주 처리기와 재현기 사이의 interface부 및 communication부, 재현된 감성을 감시하는 monitoring부로 이루어진다. 감성계획(emotion plan)에서 쓴 지능 알고리즘들이 performance mapping의 구현에 쓰일 것이다.

감성(gesture, sound, image)은 각각 또는 섞여지거나 바뀌어서 재현기로 표현된다. 악기를 다루거나 지휘하는 자세 또한 움직임(gesture)은 음악, 무용, 영상의 각 형태로 재현되거나 음악과 무용과 영상의 조화로운 종합 예술로 재현될 수 있다. joystick 같은 접속기로 부분만 주어진 아트의 특징을 바꾸거나 고쳐가며 완성시킨 컴퓨터 음악, 로봇 무용, 프랙탈 영상(fractal image)등을 가상이나 실제의 시공간적인 재현을 실험할 수 있겠다.

자동 작곡기로 만들어진 음악은 직접신호(direct signal)로 만든 음악 구조에 감성신호(nuance signal)로 바꾼 rhythm, texture, harmony, melody와 같은 음악의 특징을 더하여 MIDI 장비(digital instrument)로 연주된다. MIDI 장비는 음의 합성(synthesis), acoustic instrument가 가지지 못하는 음색의 표현, 여러 악기의 소리를 동시에 내는 orchestration이 가능하며 컴퓨터로 쉽게 제어할 수 있다. MIDI에 의한 연주를 여러 사람에게 돌려 주어 연주 음악에 대한 만족도(happiness)를 수렴하고 그 결과는 자동 작곡기로 feedback되어 느낌 까지도 나타내도록 자동 작곡기를 진화(evolution)시킬 수 있다. 음악이 연주되는 동안 음악의 특징의 변화에 따른 fractal image[5, 6, 24]와 같은 영상을 그려낼 수 있다. 포착된 물체의 운동은 자동 작곡기를 거쳐 3차원의 그래픽 기법을 쓴 가상 물체(virtual object)나 가상 악기(cyber instrument)의 애니메이션으로 재현될 수 있다.

4. 결론

감성지능(emotional intelligence) paradigm의 규명은 복잡한 사람의 지능에 좀더 가깝게 가게하여 사람과 더욱 비슷한 인공생명체(artificial life)를 구현할 수 있다는 기대감을 가지게 한다.

이러한 감성지능의 규명 및 구현은 예술 창작의 욕구를 실현하는 도우미(assistants)로서 기여하여 삶을 풍요롭게 해주는 길을 열어 줄 것이다.

사회가 정보화되고 커뮤니케이션(통신 및 교통)이 발달하여도 자세가 단허있으면 사람들은 오히려 자기 세계의 좁은 공간으로 더욱 빠져들어간다. 열린 다수로 이루어진 Minskian agents 개념의, 의사소통 회복을 위한 감성지능 실험을 가질 수 있다.

아트의 지능, 정보, 구조의 관점에서의 탐색을 통하여 사람의 감성지능에 더 가까이 가서 예술과 과학의 균형감을 회복하고 삶의 풍요로움을 꾀한다. 결과적으로 감성지능의 연구를 통해 intelligence, information, control의 기초기술이 마련될 것이다.

5. 참고문헌

1. 박성희, “머스커닝햄: 컴퓨터안무의 새지평”, 조선일보, 93년 7월 12일.
2. Machover, T., *Brain Opera*, <http://brainop.media.mit.edu>, August 1996.p
3. Levarie, S., and Levy, E., *음이란 무엇인가: 음향악에의 음악적 접근*, 삼호출판사, 전지호 역, 1991.
4. Grout, D. J., *A History of Western Music*, Revised edition, W. W. Norton & Company, New York, 1960.
5. Holtzman, S., *Digital Mantras: The Languages of Abstract and Virtual Worlds*, MIT Press, Cambridge, 1995.
6. Roads, C., *The Computer Music Tutorial*, MIT Press, Cambridge, 1996.
7. Xenakis, I., *Formalized Music: Thought and Mathematics in Music*, Revised edition, Pendragon Press, New York, 1992.
8. 김용운, “수학과 예술”, *인간학으로서의 수학: 수학은 왜 배우는가*, pp. 161-185, 우성문화사, 1993.
9. 황병기, *깊은밤 그 가야금 소리*, 도서출판 풀빛, 1994.
10. Minsky, M., *The Society of Mind*, Simon & Schuster, New York, 1988.
11. Morita, H., Hashimoto, S., and Ohteru, S., “A Computer Music System that Follows a Human Conductor”, *IEEE Computer*, Vol. 24, No. 7, July 1991, pp. 44-53.
12. Baggi, D. L., *Reachings in: Computer-Generated Music*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, 1992.
13. Rader, G. M., “Creating Printed Music Automatically”, *IEEE Computer*, Vol. 29, No. 6, June 1996, pp. 61-68.
14. 황인, 윤중선, 심현보, 정현기, 안병량, *Exploration of Steel: Below and Beyond Earth*, 프로젝트 아트 전시회, 갤러리 신라, 대구, 1995년 4월.
15. 윤중선, 최원수, “운동포착 및 재현 시스템”, *96한국자동제어학술회의 논문집*, 1996년 10월.
16. *INSIDETRAK™ User's Manual*, Polhemus, Inc., 1993.
17. 홍신자, *명왕성 PLUTO*, KBS창원홀, 1994년 5월 11일.
18. Negroponce, N., *디지털이 세상을 바꾼다*, EBS, 1996년 1월.
19. 윤중선, *디지털 미학: 감성접속 및 재현계*, 과학재단 핵심 연구 과제 제안서, 1996.
20. 진중권, *미학 오디세이 1,2*, 셋길, 1994.
21. 박이문, *예술철학*, 문학과 지성사, 1992.
22. Levy, S., *Artificial Life: The Quest for a New Creation*, Sterling Lord Literistic, 1992.
23. Schank, R., and Abelson, R., *Scripts Plans Goals and Understanding*, Lawrence Erlbaum Associates, 1977.
24. Greenhouse, R., *The Well-Tempered Fractal v3.0*, <http://www-ks.rus.uni-stuttgart.de/fmusic/wtf/>, October 1995.