

컴퓨터 기반의 알고리즘 작곡

-일리아 조곡과 후대에 미친 영향을 중심으로-

20160603 신소재공학과 민석영

1. 서론

19세기, 사람들이 전기를 사용하기 시작하면서 사회는 급속도로 변화하기 시작했다. 전기를 이용해 우리 생활에 없어서는 안될 물건들이 출현했으며 이는 제2차 산업혁명을 이끄는 원동력으로 작용하였다. 전기를 이용해 우리는 밤에도 낮처럼 환하게 거리를 밝힐 수 있게 되었고 먼 거리에 있는 사람과 간편하게 연락을 주고 받을 수 있는 것 또한 전기의 사용으로 가능해졌다. 이처럼 전기는 현대 문명의 시작을 주도했으며 이제는 전기 없는 세상을 상상하기 힘들 정도로 이는 우리 사회의 필수적인 요소로 자리잡았다. 음악 또한 이러한 분위기 속에서 변화를 추구하였는데, 전기를 이용하여 새로운 소리를 내고 이를 이용하여 플러그드(plugged) 음악이라는 새로운 장르의 음악을 탄생시켰다(이석원, 2010, pp. 165-170). 현재에는 주변에서 전기 기타와 같은 전자 악기를 흔히 볼 수 있을 정도로 전기를 이용한 음악은 많이 보편화되었다.

전기를 활용한 음악은 세계 2차대전이 끝난 후 본격적으로 그 존재를 알렸다. 파리 방송국의 기자 쉐퍼의 테이프를 이용한 구체 음악(musique concrète)으로부터 발전하여 신디사이저를 이용해 전자적인 방법으로 인공적인 소리를 가공하여 작곡한 전자 음악(electronic music)에 이르기까지 바레즈, 슈톡하우젠과 같은 걸출한 작곡가들은 새로운 방식의 음악을 만들어냈다(서은정, 2006, pp. 111-115). 컴퓨터 기반의 알고리즘을 활용하여 작곡하는 방식을 알고리즘 작곡(algorithm composition)이라고 하는데, 흔히 알려진 곡으로는 제나키스의 <피토프락타(pithoprakta)>, 데이비드 코프의 EMI(Experiments in Musical Intelligence), 존 케이지의 <HPSCHD> 등이 있다(Eun-Young Yang, 2018, p. 728), (Micheal

Edwards, 2011, pp. 61-63).

레자넨 힐러(Lejaren Hiller, 1924~1994)는 인공지능을 활용하여 작곡을 한 최초의 인물로써 레오나르드 아이작슨(Leonard Isaacson)과 함께 일리악 컴퓨터를 활용하여 <현악4중주를 위한 일리악 조곡(the Illiac Suite for the String Quartet)¹>을 작곡하였다(Eun-Young Yang, 2018, p. 727). 본 연구에서는 최초의 컴퓨터 기반 음악인 일리악 조곡에 사용된 기법이나 음악적 특징을 파악해보고 이 음악이 후대에 다른 작곡가들에게 어떤 영향을 주었는지 살펴보고자 한다. 더 나아가 일리악 조곡이 알고리즘 작곡에서 갖는 의의를 생각해보고 이러한 장르의 음악이 나아가야할 방향을 제시해보는데 목적이 있다.

2. 최초의 컴퓨터 음악, 일리악 조곡

본래 화학자이던 힐러가 아무도 도전하지 않았던 분야인 컴퓨터 음악에 관심을 가졌던 이유는 그의 아버지의 영향이 크게 작용하였다. 유명한 사진 기사였던 힐러의 아버지는 피아노를 포함하여 색소폰, 클라리넷, 오보에 등과 같은 다양한 악기를 다룰 수 있도록 그를 가르쳤는데, 이러한 폭넓은 음악적 공부를 통해 그는 프린스턴에서 화학 공부를 하던 학생일때에도 작곡에 대한 공부를 꾸준히 할 수 있었다(Tiffany Funk, 2016, pp. 48-49). 이와 같은 배경 덕분에 힐러는 일리노이 대학의 화학연구실에서 일하면서도 그의 동료인 아이작슨과 일리악 컴퓨터를 이용하여 작곡을 할 수 있었던 것이다.

2.1. 일리악 컴퓨터

일리악 컴퓨터 (ILLIAC I supercomputer)는 본래 미군부대에서 탄도 미사일의 궤적을 계산하는 용도로 사용되던 ORDVAC라는 슈퍼컴퓨터의 복제품으로써 당시 일리노이 대학원의 학장이었던 루이스 리디너에 의해 일리노이 공대에 설치되었다. 일리악 컴퓨터는 대학에 설치된 최초의 슈퍼컴퓨터였고 무게가 약 5톤에 달할 정도로 그 당시의 컴퓨터는 흔하지 않았다. 특히, 학생들과 교수들이 다양한 목적으로 이용가능하여 많은 주목을 받

¹ 편의상 이하 일리악 조곡으로 칭하였다.

았는데 힐러는 공학자인 아이작슨과 함께 일리악 컴퓨터를 이용하여 1955년부터 일리악 조곡을 작곡하기 시작한다(Hoxie, F. E., 2017, pp. 197-198).

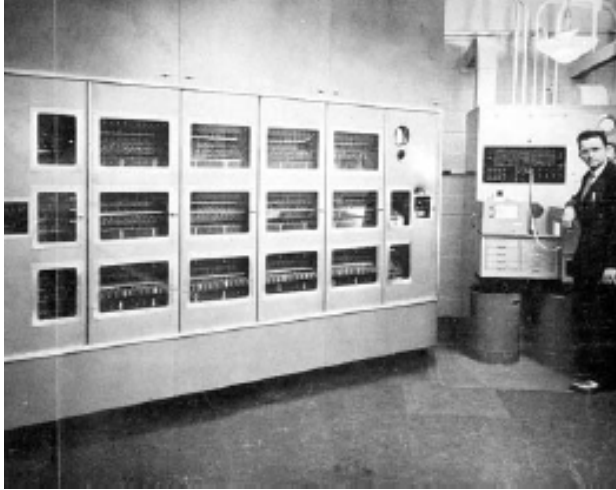


Figure 1. 일리악 컴퓨터와 레자넨 힐러(1956)

2.2. 일리악 조곡의 특징

일리악 조곡은 크게 4악장으로 구성되어 있으며 각 악장은 각기 다른 힐러만의 독특한 방법으로 작곡되었다. 실제로 곡에 쓰이는 작곡법들은 그 방법이 매우 복잡하고 다양하여 일일이 분석하는데 어려움이 있다.² 게다가 힐러는 곡을 작곡하면서 곡의 수정을 위해 기존의 규칙보다 더 많은 규칙들을 추가적으로 설정했기 때문에 이 곡의 음악적 분석은 매우 까다로운 작업이다. 따라서 이번 연구에서는 일리악 조곡에서 두드러지는 대표적인 몇가지 특징만을 살펴보고자 한다.

2.2.1. 무작위 수

컴퓨터 기반의 음악과 기존에 존재하던 음악 간의 가장 큰 차이는 바로 무작위적인 성질(Randomness)을 이용하는 것에 있다고 생각한다. 인간이 작곡하면 아무리 객관적으로 곡을 쓰고 싶어도 작곡가의 주관이나 해석, 느낌을 완벽히 배제할 수 없지만,

² 전자음악을 분석하는 것이 어려운 이유는 이전의 전통 음악에서 쓰이던 악보가 존재하지 않기 때문이다. 따라서 청각적인 분석이 주로 이용되었으나 전자음악이 발전하면서 곡을 시각화하여 표현하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다(Swilley, D, 2014, pp. 4~12).

컴퓨터를 이용하면 곡에 절대적인 객관성을 줄 수 있기 때문이다. 이처럼 일리악 조 곡의 모든 악장은 공통적으로 몬테-카를로(Monte Carlo) 방법을 기반으로 작곡된다. 몬테 카를로 방법이란 무작위로 뽑은 수를 이용하여 함수의 값을 확률적으로 계산하는 알고리즘을 말한다. 즉, 컴퓨터가 무작위로 숫자를 뽑은 뒤 이 숫자들로 하여금 곡에 다양한 음악적 기능을 부여하게 하는 것이다(W.R. Gilks, 1995, pp. 3-4). 쉽게 말해, 적용되는 숫자에 따라 다른 음높이, 리듬, 음색, 연주 스타일이 결정되는 것이다. 제1악장을 살펴보면, 힐러는 안단테(Andante) 부분을 작곡할 때 시작 부분에서 그 전 부분인 프레스토(Presto)와 대조적인 느낌의 리듬을 주고 싶어 곡에 4가지의 강약(ff, f, p, pp)을 부여한다. 이때 바로 무작위 수가 사용되면서 리듬의 변화에 역동성을 부여하고 4가지의 강약을 무작위로 발생시킴으로써 다양한 리듬 변화를 주고자 했다. 또한 제3악장에서 힐러는 곡의 뚜렷하지 못한 음색을 강화시키고자 16진법을 사용하게 되는데 0부터 15까지의 정수에서 무작위로 수를 뽑아 그에 해당하는 연주 스타일을 갖게끔 곡을 편곡하였다. Figure 2는 각각의 연주 방식을 나타내는 것이며 알파벳 K, S, N, J, F, L은 각각 11부터 15까지의 숫자에 해당한다(Born, J. M, 1997, 134-136, 151).

playing style

- 0 Bowed legato, held through rests.
- 1 Bowed détaché, rests observed.
- 2 Bowed tremolo, hold through rests.
- 3 Bowed sul ponticello, rests observed.
- 4 Bowed artificial harmonics, hold through rests.
- 5 Bowed col legno, rests observed.
- 6 Bowed sul tasto, hold through rests.
- 7 Bowed martellato, rest observed.
- 8 Bowed legato with mutes, hold through rests.
- 9 Bowed whole tone shake, rests observed.
- K Bowed octave glissando, hold through rests.
- S Bowed downbow, rests observed.
- N Bowed upbow, rests observed.
- J Bartók pizzicato.
- F Pizzicato ordinario.
- L Rap on body of instrument with knuckles.

Figure 2. 무작위 수에 따른 연주 스타일

2.2.2. 이진법

일리아 조곡의 제1악장을 들어보면 별다른 특징들이 잘 느껴지지 않고 매우 단조로운 느낌을 받는다. 힐러 또한 자신 나름대로 곡에 다양한 변화를 추구하고자 노력했으나 곡의 리듬적인 요소나 음색의 떨림이 자신이 생각했던 것보다 부족하다고 느껴 제3악장을 작곡할 때 새로운 실험을 하게 되는데 이것이 바로 이진법을 이용한 작곡이다. 단조로운 리듬의 문제를 해결하기 위해, 힐러는 현악4중주의 각각의 악기마다 다른 리듬을 부여하고자 이진법을 활용하게 된다. 각 악기는 0 또는 1의 숫자에 해당하게 되며 이를 통해 4자리의 이진수를 구성할 수 있게 된다. 예를 들어 이진수의 자리 순서대로 첼로, 비올라, 바이올린1, 바이올린2이라고 할 때, 이진수 '0011₍₂₎'는 첼로와 비올라에 리듬 '0'을, 바이올린에 리듬 '1'을 부여한다는 의미가 된다. 이진수 또한 각각의 의미가 존재하는데 숫자 '0'에 해당하는 악기는 자신만의 독자적인 리듬을 갖도록 허용되지만(open), 숫자 '1'에 해당되는 악기는 반드시 또다른 숫자 '1'을 받게 된 악기와 같은 리듬을 갖도록 하여(closed) 리듬의 다양성과 활력을 불어넣고자 했

binary	closed	open
0000		
0001		
0010		
0011		
0100		
0101		
0110		
0111		
1000		
1001		
1010		
1011		
1100		
1101		
1110		
1111		

Figure 3. 이진수에 따른 리듬

다. Figure 3은 4분의 8박자 조건에서 제3악장에 표현된 리듬을 정리한 것이다(Born, J. M, 1997, pp. 148-150).

2.2.3. 마르코프 연쇄

힐러는 제4악장에서 기존의 음악과는 아예 별개로 여겨지던 요소를 도입해 작곡하고자 완전히 새로운 개념을 곡에 적용시키게 되는데, 이것이 바로 마르코프 연쇄(Markov Chain)이다. 마르코프 연쇄란 수학적 개념으로써 간단히 말하자면 어떤 변수가 특정한 상태에 도달하기 위한 확률은 오직 바로 전 시점의 상태에 의해서만 영향을 받는다는 것을 의미한다. 이때 만약 모델이 직전 사건에만 영향을 받으면 1차 마르코프 연쇄라고 하며, 직전 두 사건에 영향을 받는 경우는 2차 마르코프 연쇄라고 한다(W.R. Gilks, 1995, p. 5). 예를 들어 동전 던지기는 바로 직전 던지기에서 앞이나왔는지 혹은 뒤가 나왔는지에 대해 영향을 받지 않고 오직 현재 동전을 어떻게 던지느냐에 따른 독립적인 변수이므로 마르코프 연쇄라고 할 수 없다. 하지만, 내일 날씨가 오늘 날씨가 어땠는지에 따라 결정된다면 날씨는 마르코프 연쇄를 따르는 모델이라고 말할 수 있는 것이다. 힐러는 일리악 조곡 제4악장에 자신만의 방식으로 1차 마르코프 연쇄를 적용시킴으로써 연속적인 음들의 간격이 반복되는 것을 줄이고 오히려 간격 간의 대조를 꾀했다. 이러한 대조는 불협화음과 협화음이 번갈아 가며 출현하게함으로써 곡에 조성 음악과 유사한 음악적인 체계를 불어넣었다. 또한, 주어진 간격에 어떤 음이 들어가야 하는지도 마르코프 연쇄를 통해 결정하였는데, 예를 들어 약한 박자에 존재하는 음은 직전에 선행하는 음에 의해 생겨나도록 하고 강한 박자에 존재하는 음은 직전에 선행하는 강한 박자에 의해 생겨나도록 하는 규칙을 설정함으로써 곡의 구조를 좀 더 심화하여 발전시켰다(Born, J. M, 1997, pp. 156-159). 결론적으로 말해, 마르코프 연쇄로 인해 각각의 음이 독립적으로 구성되지 않고 서로 상호작용하여 만들어져 곡이 보다 조화롭고 아름다운 선율을 갖도록 작곡된 것이다.

3. 일리악 조곡이 미친 영향

3.1. 초연 당시 반응

일리악 조곡은 제4악장이 미완성된 상태로 제1~3악장만 먼저 1956년 일리노이 대학의 Wedgwood Lounge에서 초연되었다. 이 음악은 음악계를 넘어서 사회 전반적으로 엄청난 영향을 미쳤다. 몇몇 사람들은 힐러가 굉장히 독특한 시도로 음악계에 들어오는 것에 대해 컴퓨터가 창조한 음악은 인정할 수 없다며 반발하기까지 했다. 이러한 부정적인 반응은 대부분 힐러가 음악계에 종사하는 사람이 아니라는 이유가 대부분을 차지했다. 당시의 상황을 짐작할 수 있는 힐러의 말을 인용해보았다.

"Well, the thing hit the headlines. It was really a very strange summer, because I went from total obscurity as a composer to really being on the front page of newspapers all over the country. One week I was nobody, and the next week I was notorious(Born, J. M, 1997, p. 161)."

하지만 부정적인 반응과 동시에 많은 관심도 받았는데, LA의 the Association for Computing Machinery convention에 초대받는 등 새로운 음악과 관련된 다양한 토크쇼와 강연에 초청받았다(Born, J. M, 1997, pp. 160-162). 이러한 관심은 바로 일리악 조곡이 컴퓨터의 도움으로 만들어졌기 때문인데, 그 당시에는 앞서 언급한 것처럼 복잡한 계산을 주로 담당하던 컴퓨터가 음악에 사용된다는 것이 사람들에게 적잖은 충격을 주었기 때문이다. 이처럼 일리악 조곡은 음악계에 컴퓨터가 만든 음악도 음악으로 인정할 수 있는가에 대한 질문을 던져주었으며 컴퓨터에 익숙하지 않았던 사람들의 이목을 끌기에 충분했다.

3.2. HPSCHD

일리악 조곡이 작곡된 이후 많은 작곡가들은 알고리즘을 이용하여 다양한 작곡을 시도하였다. 그중 대표적인 곡으로 힐러와 존 케이지(John Milton Cage Jr. 1912~1992)의 합작품인 <HPSCHD>를 들 수 있다. 일리악 조곡은 참신함과 높은 악명, 그리고 곡 특

유의 개념(논리)으로 인해 존 케이지의 이목을 끌게 되었고 마침 다름슈타트의 국제 Summer course에서 만난 힐러와 케이지는 작곡에서의 기술 사용을 공통 관심사로 긴밀한 관계를 유지하였다. 그리고 마침내 1967년부터 1969년까지 그들은 7대의 하프시코드, 208개의 테이프, 52개의 테이프 플레이어, 59개의 증폭기, 6400개의 이미지 슬라이드, 40개의 필름 등을 이용한 초대형 멀티미디어 작품인 HPSCHD를 작곡하게 된다(Bewley, J., 2004, p. 14). HPSCHD는 일리악 조곡과 마찬가지로 일리악 컴퓨터를 이용해 작곡되었으며³ 이 과정에서 케이지는 힐러가 일리악 조곡에 사용했던 무작위성과 그의 음악적 분석에 많은 도움을 받는다. 케이지는 HPSCHD를 통해 작곡가의 의도가 들어가지 않은 음악을 만들기 바랬으며 하프시코드에 그의 음악을 인용하고자 했다. 힐러 또한 HPSCHD를 통해 그의 작곡과 이론, 그리고 아이작슨과 연구했던 음악적 미학을 확장하고자 했다(Tiffany Funk, 2016, pp. 58-64). HPSCHD는 이러한 힐러의 알고리즘 음악과 케이지의 작곡 의도를 잘 융합하여 드러내주고 있으며, 일리악 조곡의 영향이 가장 직접적으로 잘 나타나는 작품이라고 할 수 있다.

3.3. Other cases

HPSCHD 이외에도 많은 곡들이 일리악 조곡의 영향을 받아 탄생하였다. Stochastic 음악의 선구자로 알려진 이안니스 제나키스(Iannis Xenakis, 1921~2001) 또한 힐러의 영향을 많이 받았는데 이는 힐러가 일리악 조곡에 대해 적은 책인 "Experimental Music(Hiller, L. A., Isaacson, L.M., 1959)"의 복사본을 요청하는 그의 편지(Figure 4)에 잘 드러나있다(Bewley, J., 2004, p. 13).

힐러와 제나키스의 선구적인 작품들은 후대 작곡가들에게 많은 영향을 미쳤다. J. Tenney는 컴퓨터 기반 작곡을 통해 <Stochastic 현악4중주(1963)>를 작곡했으며, T. DeLio는 그의 작품인 <Senerade(1976)>에 마르코프 연쇄를 적용하여 곡을 만들었다

³ HPSCHD 작곡에 사용된 컴퓨터 역시 일리악 컴퓨터이기는 하나 일리악 조곡에서 사용된 컴퓨터와 완전히 똑같은 것은 아니다. HPSCHD는 일리악 II 컴퓨터를 사용했으며 이는 전 모델인 일리악 I 컴퓨터보다 약 100배정도 빠른 계산 속도를 지닌다(Rafal Ciolcosz, 2017, p. 198).

(Sandred, O., Laurson, M., Kuuskankare, M., 2009, p. 1). 이외에도 많은 작곡가들이 힐러가 일리악 조곡에 사용하였던 컴퓨터 알고리즘이나 마르코프 연쇄, 이진법과 같은 수학적 도구를 사용하여 작곡을 하고자 노력하였다. 또한 여기서 그치지 않고 현재까지도 컴퓨터의 인공지능을 이용한 음악이 개발되고 있으며 더 나아가 작곡가가 아닌 일반인들도 작곡을 할 수 있도록 도와주는 컴퓨터 프로그램이 나타나기 시작했다(Google, 2019).

10-4-62

My dear friends,
 Thanks a lot for your letter and the two tapes.
 Could you send me articles on electronic music and computers? I would like very much also to read your book on the Iliac suite I think which has belongs to Holo. But he is very secret, and in any way I would like to have it myself.
 IBM will present ^{an} "artwork" a piece of "free stochastic composition" for 10 players entitled ST 10-1, 080262.
 I have not yet written a paper on this but only a small explanation which will be published in the IBM review. I'll send it to you when it comes out.
 Do you receive the G. Blatter? If not, just a note and I'll send you the letter No. 23/24 containing the last summer's encounter at Gravelano.
 Best wishes to you and your wife
 Yours
 Xenakis

Figure 4. 제나키스가 힐러에게 보낸 편지(1962)

4. 결론

본 연구에서는 레자넨 힐러가 컴퓨터를 기반으로 작곡한 일리악 조곡에 사용된 기법을 파악함으로써 그 특징들을 살펴보고 이 곡이 후대에 다른 작곡가들에게 미친 영향을 분석해보았다. 일리악 조곡은 20세기 초 쇤베르크의 무조성 음악이 당시 유럽을 지배했던 조성 음악에 대한 새로운 시도로 큰 변화를 일으켰던 것처럼 자연의 소리나 악기 소리를

이용하여 음악을 만들었던 기존의 방식에 대한 도전으로 작용하였다. 인간이 할 수 없는 복잡한 확률 계산이나 무한히 반복적인 작업들을 컴퓨터에게 맡김으로써 자신이 원하는 틀 안에서 힐러는 그만의 음악을 구현하고자 노력했으며 그 시도는 점차 여러 사람을 거치면서 발전되어 현재까지도 많은 연구가 진행되고 있다. 컴퓨터 기반 알고리즘이라는 새로운 방식을 통한 작곡의 시작을 알린 일리악 조곡은 이처럼 기존에 존재하지 않았던 작곡의 새로운 접근 방식을 제공했다는 데에 의의가 있다. 일리악 조곡에서 사용되었던 무작위적인 수의 추출이나 이진법의 사용, 마르코프 연쇄와 같은 수학적 모델을 음악에 적용시켜 컴퓨터의 연산을 통해 곡을 만들어낸다는 아이디어는 다른 작곡가들에게 하여금 음악과 관련되지 않은 어떠한 개념일지라도 작곡에 대입할 수 있다는 훌륭한 선례를 제시하였으며 자신만의 음악적 세계를 구축할 수 있다는 가능성을 열어주었다.

알고리즘을 활용한 작곡은 힐러처럼 작곡에 전문적인 지식이나 실력이 뒷받침되지 않아도 누구나 컴퓨터를 다룰 수 있는 기술만 있다면 자신만의 음악을 작곡할 수 있다는 점에서 기존의 음악과는 큰 차별성을 가진다. 다양한 색깔의 음악적 개성을 지닌 수많은 사람들이 자신만의 음악을 만들고 공유하면서 우리 사회의 음악은 다채롭고 풍요하게 발전할 수 있을 것이다. 이처럼 미래의 음악은 생산자와 소비자가 따로 구분되는 것이 아닌 모두가 함께 음악을 쌍방향적으로 소통하여 즐길 수 있는 방향으로 나아가길 소망해본다.

Reference

1. 이석원. (2010). 현대사회 현대문화 현대음악, 심설당.
2. 서은정. (2006). 쉽게 익히는 현대 음악 용어(10); 구체음악(Music concrete), 전자음악(Electronic music). 음악저널.
3. Edwards, M. (2011). Algorithmic composition: computational thinking in music. Communications of the ACM, 54(7), 58-67.
4. Eun-Young Yang. (2018). Coding Mozart's Code or Creating Mozart's Code? Codification

and Decodification in AI Music.

5. Funk, T. (2016). Zen and the Art of Software Performance: John Cage and Lejaren A. Hiller Jr.'s HPSCHD (1967-1969) (Doctoral dissertation).
6. Hoxie, F. E. (Ed.). (2017). The University of Illinois: Engine of Innovation. University of Illinois Press.
7. Swilley, D. (2014). Problems, current methodologies, and an analytical case study in electro-acoustic music analysis: Lejaren Hiller's Vocalise from seven electronic studies for two-channel tape recorder (1963) (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).
8. Bohn, J. M. (1997). An overview of the music of Lejaren Hiller and an examination of his early works involving technology (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).
9. Gilks, W. R., Richardson, S., & Spiegelhalter, D. (1995). Markov chain Monte Carlo in practice. Chapman and Hall/CRC.
10. Bewley, J. (2004). Lejaren A. Hiller: Computer Music Pioneer. University at Buffalo.
11. Hiller, L. A., & Isaacson, L. M. (1959). Experimental music: composition with an electronic computer.
12. Sandred, O., Laurson, M., & Kuuskankare, M. (2009). Revisiting the Illiac Suite—a rule-based approach to stochastic processes. *Sonic Ideas/Ideas Sonicas*, 2, 42-46.
13. Google. 2019. "Magenta – Google AI" Accessed June 4, 2019.

<https://ai.google/research/teams/brain/magenta/>