

Emille, the Journal of the Korean Electro-Acoustic Music Society Volume 20

한국전자음악협회 학술지 에밀레 제20권

본 학술지는 한국문화예술위원회의 지원으로 제작되었습니다.

The publication of this journal is sponsored by the Arts Council Korea.



Imprint 출판 정보

Editor 편집인

Cho, Youngmi 조영미

Lecturer at Kookmin University, Cheonnam University etc. 국민대학교 및 전남대학교 강사

Editorial Board 편집 위원

Chang, Jaeho 장재호

Composer & Media Artist 작곡가 겸 미디어 아티스트

Cho, Jinok 조진옥

Composer & Lecturer 작곡가 겸 강사

Dudas, Richard 리처드 두다스

Professor of Composition and *EAM* at Hanyang University 한양대학교 음악대학 작곡과 교수 (작곡, 컴퓨터음악)

Ikeshiro, Ryo 료 이케시로

Professor of Sound Art at Citi University of Hong Kong 홍콩성시대학교 사운드아트 교수

Jang, Daehoon 장대훈

Lecturer of Computer Music and Composition at Kookmin University 국민대학교 컴퓨터음악 및 작곡 강사

Jun, Hyunsuk 전현석

Lecturer of Music at Korea National University of Arts 한국예술종합학교 음악원 강사

Kang, Jiyoung 강지영

Lecturer of Pusan National University 부산대학교

Kim, Jun 김준

Professor of Musical Arts and Technology, Dongguk University 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 교수 (컴퓨터음악)

Lee, Byung-moo 이병무

Professor of Music at Korea National University of Arts 한국예술종합학교 음악원 교수

Lee, Minhee 이민희

Lecturer of Chugye University for the Arts 추계예술대학교

Lindborg, PerMagnus 퍼마그너스 린드보르그

Professor of Creative Media at Citi University of Hong Kong 홍콩성시대학교 크리에이티브미디어 교수

Nam, Sangbong 남상봉

Professor of Music Education at Seoul National University of Education 서울교육대학교 음악교육과 교수

Oh, Yemin 오예민

Professor of Music Technology at Sangmyung University 상명대학교 문화기술대학원 뮤직테크놀로지 교수

Park, Joo Won 박주원

Professor at Wayne State University, Detroit 디트로이트 웨인주립대학교 교수

Park, Tae Hong 박태홍

Professor of Music Composition and Technology at New York University 뉴욕대학교 교수 (컴퓨터음악)

Parks, Kevin 케빈 파크스 (박케빈)

Curator of Music and Recorded Sound Division at the New York Public Library 뉴욕공립도서관 음악 및 녹음사운드 부서 큐레이터

Yi, HyeJin 이혜진

Professor of Composition at Sungshin Women's University 성신여자대학교 작곡과 교수

Advisory Board 자문 위원

Ahn, Doo-jin 안두진

Professor of Composition at Hanseo University 한서대학교 작곡과 교수

Hwang, Sung Ho 황성호

Professor of Composition at Korea National University of Arts 한국예술종합학교 음악원 작곡과 교수

Lee, Donoung 이돈웅

Professor of Composition at Seoul National University 서울대학교 작곡과 교수

Moon, Seong-Joon 문성준

Professor of Composition at Chugye University for the arts 추계예술대학교 작곡과 교수

Lymn, Young-Mee 임영미

Lecturer of Electro-acoustic Music at Hanyang University etc. 한양대학교 강사

© 2022 Korean Electro-Acoustic Music Society

Cover design by Kim, Mi-Kyung

Issued on 28 December, 2022

Published by Lee, Donoung

Printed by Yesol Publishing <http://www.yesolpress.com>

Dongwoo 4F, 9-24 Yanghwaro6gil, Mapo-gu, Seoul 04044

© 2022 한국전자음악협회 <http://www.keams.org/emille/>

표지 도안: 김미경

발행일: 2022년 12월 28일

발행인: 이병무

발행처: 예술출판사 [등록: 제2002-000080호(2002.3.21)]

서울시 마포구 양화로6길 9-24 동우빌딩4층 (04044)

ISSN no.: 2233-9302

Price: 28,000 KRW

국제표준정기간행물번호: 2233-9302

가격: 28,000원

PART I: Selected Papers from KEAMSAC2022

제1부: 2022 한국전자음악협회 연례학술대회 선정논문

Avantaggiato, Massimo Vito Some Considerations around time in Electro-acoustic music	7
Dodero, Pablo Translanguaging in Mexican Electronic Music Instrument Designers	17
Eckl, Garrett EZDSP: From Production to Programming	25
Edwards, Peter Situating Computing More Centrally in Composition Pedagogy: An Argument	31
Hildebrand, Nolan Computer Aided Composition, Timbral Synthesis, & Electro-Acoustic Super-Instruments: An Exploration of Heaviness in Electro-Acoustic Chamber Music	39
Owen, Caroline Badie Khaleghian's Electric Sky Blue (2022): A Multidisciplinary Work for Piano, Dance, and Interactive Intermedia	47
Rhie, Sangbin Interpreting the output signal of non-linear transfer function system based on power function	57

마시모 비토 아반타지아토 전자음향음악의 시간에 대한 몇 가지 고찰	7
파블로 도데로 멕시코 전자음악 악기 디자이너들의 다언어 사용	17
가렛 에클 이지디에스피: 생산부터 프로그래밍까지	25
피터 이반 에드워즈 컴퓨팅을 작곡 교육의 보다 중심에 놓기: 논거	31
놀란 힐데브란트 컴퓨터지원 작곡, 음색적 합성, 전자음향 수퍼악기: 전자음향 실내음악에서 무게감 탐구	39
캐롤라인 오웬 베디 카레기안의 "일렉트릭 스카이 블루": 피아노, 무용, 상호작용매체를 위한 다원적 작품	47
이상빈 N-제곱 함수를 기반으로 하는 비선형 전달함수 시스템의 출력 신호 해석	57

PART II: Reviews

제2부: 참관기

Park, Soon-young Sound of Korea, Electroacoustic Music 2021.10 - 2022.05: EMILLE review in 2022	79
Chung, Dawoon The Status of Electronics in Contemporary Music as a mighty tool: Review on Seoul International Computer Music Festival 2022	87

박순영 REVIEW 한국의 사운드, 전자음악 2021.10 - 2022.05: 에밀레 2022 리뷰	79
정다운 확장된 도구로서의 일렉트로닉스: 서울국제컴퓨터음악제 2022 참관기	87

PART I: Selected Papers from KEAMSAC2022

제1부: 한국전자음악협회 2022년 연례학술대회 선정 논문

Some considerations around time in electro-acoustic music

Massimo Vito Avantaggiato

Conservatorio Giuseppe Verdi, Department of Composition, Italy

mavantag [at] yahoo.it

<http://massimoavantaggiato.academia.edu/>

In this article we've analysed some time concepts, applying them to a selection of electroacoustic pieces of different aesthetics. Some differences are pointed out: between hors-temps and en-temps with specific application to the repertoire; the relationship between χρόνος (Chrónos) and καιρός (Kairós) and their influence on the compositional experience and on the approaches used to analyse electroacoustic pieces. The fact that acousmatic music is characterized by a palpable degree of abstraction with reference to the more traditional musical parameters, does not lead us to the conclusion that the management of time cannot be also considered at an analytical level. We've cited Obst's Crystal World cycle as an emblematic case. In this cycle, time and its management are important on a multidimensional scale: this leads us to make further considerations on analytical techniques, their limits and possible improvements. Other references concern the musical repertoire by J. Adams; J. Alvarez; F. Bayle; F. Donatoni; J. Harrison; R. Minsburg; F. Otondo; M. Rodrigue.

Keywords: Rhythm, Time, Acousmatic, Composition, J. Adams, J. Alvarez, M.V. Avantaggiato, F. Bayle, F. Donatoni, J. Harrison, R. Minsburg, F. Otondo, M. Rodrigue, M. Obst.

«Hors-Temps» and «En-temps»: the management of time

From the point of view of a composer, the time of a composition is never just the timing of a compositional work, but also the time that logically precedes its achievement.

With the term «Hors-temps», we define the time that precedes and regulates the development of a musical piece, influenced by the composer's vision.

Opposed to this we have the work «En-temps», that is its sound incarnation, or rather its translation into performance or fixing on tape.

While talking about «hors-temps», E. Napolitano distinguishes: the «hyletic universe», which is the «material universe» and the «universe of forms», which are:

The rules of composition, construction, musical architectures at all levels starting from micro to macrostructures (...). These systems can be considered as formal islands. The entities that deal with this universe are emancipated from their historical conditions of birth and time - since time itself can be treated in its temporal immobility (Napolitano 2018: 294-297).

Eg.1 With Quartetto III (Avantaggiato 2014: 2-11), the Veronese composer Franco Donatoni wrote a piece that was largely influenced by Serialism.

The composer started from the definition of a «frequency scale» - «scala delle frequenze» in Italian – subdividing the octave in constant intervals of 14 frequencies. The initial «material universe», described by Donatoni as a qualified and well-characterized sound material, offers many other

transformation possibilities, allowing the composer the «leavening» of the material substrate.

Eg. 2 In the anthology Night Studies by F. Otondo the «hyletic universe» is represented by a wide palette of percussive sounds of the Javanese gamelan orchestra.

The composer here built some nocturnal soundscapes characterized by many darker, atmospheric ambient moments and the presence of a powerful rhythmic percussive elements.

Eg. 3 In Crystal World, German composer M. Obst investigates into the complexity and dynamism of the sound spectra of the Asian instruments and the human voice. These sounds encourage the artist to open and relax them, to create a formal development in 4 panels.

Obst describes a journey that goes from sound to noise: he plans not only the set of frequencies he is going to use, but also the differences among them. With the fourth ratio ($40\sqrt{2}$), Obst obtains sequences of sounds close to noise (Fig.1).

5v 2	10v 2	20 v2	40v 2
100 (hz)	100 (hz)	100 (hz)	100 (hz)
114	107	103,5	101,7
132	114	107	103,5
152	122	110,7	105,3
174	132	114	107
.....
<i>Divide the octave in 5 intervals.</i>	<i>Intervals are slightly larger than a second</i>	<i>Intervals are almost a quarter of a tone</i>	<i>It leads to sounds close to noise</i>

Figure 1. Frequencies Ratios and Intervals - Harmonic system in Crystal World.

Instrument	Attack	Release	Colour
Rotating Sound Plate (Java)	Smooth	Very Long Stable overtones	Very warm
Keysu (Japan)	Medium	Medium: the spectra soften during release	Warm
Rin (Japan)	Medium	Long release. Stable overtones	Bright, rather cold
Glissando Gong China	Medium	Short release	Cold, Aggressive
Mokusho (Japan)	Hard	Very short release	Extremely aggressive

Figure 2. «Material universe» in Crystal World.

Subsections	Instrument	Gesture/ texture	Reverb
0'00"-0'31"	Rin, Keysu, Gong	Gesture + Texture	Room I (Brighter)
0'32"-0'48"	Mokusho	Gesture + Texture	Room II (Intermediate Brilliance)
0'49"-1'32"	Rin, Keysu, Gong	Gesture + Texture	Room I
1'33"-2'17"	Rin, Gong elect. trasf.	Texture	Room III (less bright)
2'18"-2'34"	Soundplate (2'18" - 2'33"); Glissando Gong (2'31-2'34")	Texture + Gesture (ending crescendo)	Room I

Figure 3. Crystal World I - Structure of the introduction: Instruments; gesture/texture; reverb.

«Chrónos» and «Kairós»

The time of a work enjoyed by the audience is based on a dichotomy: absolute vs perceived time or, alternatively, chronological vs cariological time.

In various ways these distinctions have been endorsed by composers and professionals of electronic music because the correlation between the perspectives of absolute time and psychological time, even if not always recognized, are crucial to their craft. Schaeffer talks about duration as a psychological and perceptual experience of time; similarly, Olivier Messiaen distinguishes between chronometric or “measured time” and duration or “perceived time”. By contrast, the concept of cariological time views time as an

opportune moment, an instant of occasions, the mature time to perform an action or to make something happen, the inspirational moment in which you can dare and grab the divinity Kairós by the tuft, which is in front of his forehead. Thaut refers to «Kairós», as:

A temporal dimension of meaning, which informs about the correct understanding and interpretation of events, perceptions, actions and cognitions (Thaut 2007: 20).

Attempts to systematize the various time scales that refers to chronological time were presented by various authors (Roads 2015; Pasoulas 2020; Andean 2015). Unlike Curtis Roads, A. Pasoulas (Pasoulas 2020: 223) distinguishes between absolute time and psychological time to start a discourse around perception.

Instead of talking about a number of time-scales, he talks about a psychological time continuum: at the exact center of the continuum there is balance, where actual and measured duration is supposed to be equal to psychological – perceived - duration.

Pasoulas distinguishes some factors that influence time perception which can be related to music or that originate outside music, such as the surrounding environment at the time of listening and the psychological state of the audience listener.

These factors were considered in Par. 4/6 to make some consideration around time modulation and rhetoric in electroacoustic music.

Through a coordination of different approaches Andean (ANDEAN 2015) instead, coordinates theorists’ and researchers’ positions in a wide range of fields - from acousmatic to broader areas of musicology and further cognitive research - limiting the number of thresholds proposed by Roads from nine to four (infinitesimal/subsample; sound object/mesostructure; macro; supra/infinite).

Time modulation through techniques

Regardless of the number of time thresholds identified or identifiable, what is important for a composer is the possibility to modulate the perception of audience, the sense of time that passes and the overall qualitative listener's experience through some strategies that work at different levels: Micro-structural; Meso-structural; Macro-structural and so on:

Change of state: leaving the initial state and subsequent return to an initial state can be an indicator of time passing.

Eg.1 - In Klang by composer J. Harrison (2000), the listener can trace the development of the material from casserole sounds in the introduction (0'00"-3'04"), through more

complex and highly transformed events in the four sections, back to the opening sound-world in the Coda (7'42''->end).

Eg.2 - Klang is similar to Crystal World for its programmatic and essayistic approach; however, Klang and Crystal World are also similar for the common strategy to introduce the original material substrate at the beginning of the work. In Crystal World I, Obst introduces the Asian instruments which are, later in the passage, the object of electroacoustic transformations (Fig. 2-3).

Eg.3 - In Cristaux Liquide, Mario Rodrigue describes a sonic continuum inspired by two different physical states of water — the solid one, with its fixed, crystalline movements (5'58''-6'15'') and the liquid state (2'39''-3'26''; 5'35''-5'40''; 8'19''-8'53''), with its rich undulations, created in a counterpointistic way, and the evocation of the avalanches of color characteristics of crystals (2'25''-2'55''; 3'45'-4'13'').

Alienation of chronological music structures: in acousmatic music the trend to alienate chronological time structures is quite common when the objective of the composer is to recall traditional popular music and try to reinterpret it: by doing so, the composer tries to avoid straight pulsation.

In Mambo à la Braque (1991), J. Alvarez creates an electroacoustic collage of musical segments drawn from Cuban mambo Caballo Negro by D. Perez Prado.

Original phrases are re-allocated to create new epileptic musical sequences: the original rhythmic structure of the mambo is variously deviated and the dynamic contrast is increased.

De-phasing of rhythmical structures: the process of dephasing is generally exploited in a more organic way within the sphere of minimalist aesthetics. Very common in Steve Reich's production, it is also used by J. Adams in Hoodoo Zephyr and by M. McNabb in some episodes of Invisible Cities. Outside the boundaries of minimalism, this technique is used, for instance, in the Entrée of the Messe de Terre:

We hear a very elaborate musical composition, which is gradually polarized on two static elements: a monotonous psalmody of the act of confession and a rhythmic cell which is like the lung of this sequence. This is the sound obtained by the friction of the metal grid of a microphone on the rotating plates of a tape recorder. This squeaky sound, with its characteristic pedal, enters a close relationship with the pendulum movement of the windscreens wiper: the distinct rhythmicity of these two mechanical and repetitive phenomena can meet, out of phase (Chion 2016: 50).

This example shows that some specific compositional strategies can help to modulate the perception of time, in a way that is specific to, but not exclusive to, a particular genre.

Perceived Timbre, Pitch, Duration, Amplitude, Space work as articulators of rhythms [Christensen 1996: 100] and **perceived time. Perceived timbre, for example, can help in horizontal organization**, influencing the perception of time passing (Hirst 2003: 2): changes in timbre can affect the integration of a horizontal sequence: repeated and/or rapid changes in timbre can fragment a sequence; less rapid shifts in timbre can be used to delineate larger horizontal units or phrases.

Variations in Intensity: if we concentrate on the perception side, Christensen gives some important advices with regards

to working on — what he calls — the micro-temporal dimensions — Space, Intensity, and Timber — and macro-temporal dimensions — Movement, Intensity, Pulse. In particular:

Variations in intensity can be used to provoke arousal of the listener's attention; the timbre allows to identify a sound; by altering some of its characteristics, and with some technical retractions, it allows to hide the original sound, making it more difficult to recognize (Christensen 1996: 12-16). In general, movement allows to increase the awareness of time passing and therefore to make it emerge; the pulsation allows to increase the awareness of regularity (Christensen 1996: 49-50).

Motivic Contrast: in *Fábrica* (1997), M. Obst uses the motivic contrast as a tool to build the piece together with the following: increase of density or frequency of sound elements over time; general change in sound, through sound selection and extraction; its arrangement in clusters or to create polyrhythms (Obst 1997: 155-159).

Duration and Sustained Sound: in cases where long sustained sounds are involved and there is little or no indication of long-term evolution, the listener becomes less aware of time passing. However, if there are no cues or clues in the sound itself to make us aware of its approximate physical duration, the sound in question appears seemingly endless, or even static (Pasoulas 2020: 222).

Use of Dynamic Contrast among panels: as a tool to determine a formal development of a piece.

Eg.: *Studien II* by K.H. Stockhausen; *Fábrica* by Obst; *Mambo à la Braque* by J. Alvarez.

Change of density or of frequency of sound elements over time; increasing of the complexity of the structures: a) Working on the relationships among order and disorder, an aspect which is very similar to traditional harmony; b) Working on horizontal relationships among objects: layering, like traditional counterpoint (Emmerson/ Landy 2012: 4).

The use of different psychoacoustic effects (Reverb; Delay; Filters...): reverbs allow the composer to simulate different ambiances/scenes that give an idea of contrasting temporal and spacing orientation.

These techniques were used in pieces from the past, such as in Ligeti's *Glissandi*, to present times.

The generation of time: In *Tilt* by composer Mario Rodrigue, a Francis Dhomont pupil:

The possibilities of envelope control and the creation of liquid or cloud-like musical morphologies suggest a view of rhythm as a continuously flowing, undulating, and malleable temporal substrate upon which events can be scattered, sprinkled, sprayed, or stirred at will.

In this composition it is not a matter of filling or dividing time, but rather of generating it (Roads 2015: 59-60).

Other important strategies can influence the qualitative perception responses of a listener:

Emergence of a symbolic and rhetoric substrate (Par. 4), not limiting this to the categories clearly labelled as rhetoric by some analytical theories: Roy's Relation and Rupture Categories (Roy 2003); Temporal Semiotic Units and Spatio-Temporal Semiotic Units (M.I.M. 1996).

Activating synesthetic relationships, acting on some characteristics of the sound, such as rugosity (eg.: our work Atlas of Uncertainty, 1'31"-1'47"; 1'53"-2'02").

Working on predictability of events: in the work «Sweet Anticipation: Music and the Psychology of waitation» the author highlights the predictability of events in time (Huron 2006: 35).

He provides the foundation of our perception of rhythm and meter and suggests several sources for this predictability: periodic metric structure; rhythmic motifs; the regularity of musical phrases or the regularity of non-periodic sequences. He demonstrates – through experimental methods – that events occurring at predictable points in time are more quickly and easily processed by listeners.

Creating a sense of time abolition: in «Techniques d'écriture sur support», in the paragraph «Transformations» the author describes how composers can create a sense of time abolition: suspended time («le temps sustendu») or the frozen time (« temps gelè ») can be obtained by creating a hypnotic phenomenon as in Asian Music (Vande Gorne 2018).

The idea of suspended time seems to recall what Christensen expresses talking about the «time of being»:

The «time of being» is the time experienced in nature when we are not expecting something to happen, and we are not impatient for a change to occur (Christensen 1996: 49-50).

Another way to create a sense of time abolition consists of playing on contrasts, alternating sequences where time is compressed, accelerated, rich in events and sequences where there is a sound - a very small loop – that creates the cinematic effect of «shutdown on image» (Vande Gorne 2018).

Other strategies can help composers to manage the intermediate structure of a piece:

Sculpting sonic material into gestures or phrases, which are the middle layers of musical structures:

We remember discrete entities more easily than continuous or unclearly demarcated ones, at least for the memory of structures. This does not mean that continuous variation is not important in the appreciation of musical form. It is certainly vital for expressive variation of musical gesture (Bregman/ McAdams 1979).

Sectioning of a lengthy piece: composers have found a solution to presenting excessive macro durations to audiences by dividing their lengthy pieces. This is the case of Messe de Terre by M. Chion (duration 152:30) divided into 16 conceptual blocks.

The use of pause/silence as a formal signal: in Fábrika and Quartetto III a pause divides the work into two equal halves. This is a clear formal message, that allows to give breath to composition.

In Quartetto III, after the central pause, the original series is exposed. In this way, original material does not appear at the beginning of the piece like in Klang by J. Harrison and Crystal World by Obst; but it starts exactly in the middle of the piece.

Acousmatic music and its multidimensional rhetoric

In this paragraph We point out the importance of understanding musical rhetoric as an act based on sound and time that guides meanings at different levels, from sound objects to spatialization; the influence of rhetoric becomes more complex in the wider context of multimedia (Par. 5).

The question of the presence of a precise musical rhetoric within the acousmatic genre *stricto sensu* is a bit set aside or even avoided, even for the complexity that a discussion on this topic would entail.

Even if many good reasons exist to discuss sound and music from the angle of a rhetoric and composition, we don't do this very often.

That is probably because analysing acousmatic music from a rhetorical perspective means embracing many uncertainties:

It means diving into the weird ways that music is and it is not like language, with its syntactic articulation, the ways it does and does not guide our emotions, and the subsequent conclusion that much of musical meaning is wrapped up in the associations we bring to it as listeners (Stedman 2012: 46).

Therefore, the existence of a rhetoric cannot be denied, being highlighted by various theorists.

It operates at different levels and it has the power to lead the audience's listening; it allows the composer to give a directionality to music, from sound objects to space organization (Fig.4):

Temporal Associations	Authors
Temporal associations of sounds, carried through their semantic meanings	Functional Grid (ROY 2004: 358-365); T.S.U. (MIM 1996: 1-96)
Temporal associations of sounds, carried through their spectro-morphological characteristics	(Smalley's Spectro-Morphology - SMALLEY 1986: 61-93)
Temporal and metaphoric relationship between audio and other media (such as Video; Poetry/Text), or more synthetically; multimedia or intermedial relationships.	(REES 2018); (COOK 1998); (CHION 2013); (CARTERETTE/KENDALL 1990: 129-164); (LAKOFF/JOHNSON 1980: 26)
Temporal associations of sounds during space segmentation and during spatialization processes; treatment of space and spatial movements	Spatio-Temporal Semiotic Units (MIM 1996: 1-96) Spatiomorphology (EMMERSON/LANDY 2012,4); Figure d'espace (VANDE GORNE 2002: 9-11).
Relationship between reality and imagination	LAKOFF/JOHNSON, 1980: 26
Emotional responses of the listener to music stimuli	Network of relations in the interpretation of acousmatic music (HIRST 2003: 4); Social, Emotional and Meaning-related aspects (EMMERSON/LANDY 2012:5)

Figure 4. Rhetoric in acousmatic music.

With regards to listener's emotional responses we should observe that:

- music rhetoric embraces the confluence of emotion and meaning;
- beyond being kairotic and culturally rooted and situated, musical meaning is "associative", latched necessarily onto the imagination and interpretation of listeners;
- the comprehension and enjoyment of a given audience has often much to do with audience members' familiarity with the genre;
- every change in a sound will change the meaning and the perception of a sound; of a phrase or of a sequence, etc;
- to a large extent, the meaning of a work cannot be controlled, regardless of the intention of composer.

With regards to temporal association the M.I.M. researchers, led by François Delalande, have suggested introducing meaning in the description of sound objects. They defined some Temporal Semiotic Units, that allow us to indicate phenomena of repetition; stagnation, chaotic effects (Invariant T.S.U.s) or otherwise variant T.S.U.s with uniform development, with thwarted development or disrupted balance etc..

The balancing between Variant and Invariant T.S.U.s is a good index of how the composer can work on the continuity or on the variation of music. The term rhetoric is explicitly used by S. Roy (Roy 2003: 358), in his Functional Grid (Fig. 4), a model in which the author talks about two archetypes of rhetoric:

- Rèthorique relationelle:** Appel->Réponse; Annonce ->Rappel->Thème et variation; Anticipation/Affirmation; Reiteration/Imitation etc;
- Rèthorique de rupture:** Dèviation; Parèntese; Indice: Articulation; Rétention; Rupture; Spatialization etc

Fig.1 - In Minsburg A tu memoria, the first section of the piece from 0'00'' to 2'22'' is built around a system of rhetorical replies: Appel->Réponse, the first of which is situated at (0'01''->0'07'').

The answers in the continuation are gradually enriched through undulations that create a halo around the principal replying sound (0'19''; 0'29''; 0'37''; 0'44''; 0'52'').

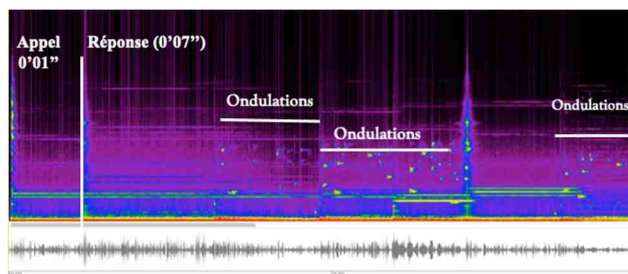


Figure 5. In A tu memoria by Minsburg the first section of the piece (0'00''-2'22'') is built around a system of replies.

Audiovisual works: time passing and trans-sensorial processes

In audiovisual works, chronological time and senses of time passing can be apprehended also by eyes and by ears, through a trans-sensorial process (Chion 2013: 137). Sounds can influence temporality in different ways, that is to say through:

- «temporal animation»: sound can change the spectator's perception, transforming it from static to moving and viceversa. «Temporal animation» plays an important role in increasing or decreasing the perception of time by listeners;
- «temporal linearization»: music gives a comprehensible logic to - apparently disordered images and disrupted actions, provoking a stabilization/normalization of time awareness;
- «directional properties»: the audio section has the property of leading towards a predefined objective, a plausible or comprehensible end. «Directional properties», in particular, can be used to mark the starting point and the end of sections within the piece.

In considering all these three aspects, it is clear that chronological organization and time management of events are only two sides of the same coin (Avantaggiato 2018: 4-5).

One piece, different temporalities

In our research, between the extremes of «electronic music» and «electronica» (Ramsay 2014: 11), we have experienced a great variety of situations, ranging from pieces with their simple "grid-like" structure to pieces in which the composer experiences time in multiform ways.

In M. Obst's Crystal World I-IV, for example, musical time moves at different rates and the succession of episodes and shows diverse profiles: circular, flat, accelerating or decelerating in stages, each one opens up to different temporalities and perceptual dimensions.

The special attention to different temporal domains creates a kaleidoscopic variety of perceptive plans, that become a strong point of the cycle:

- the temporal profile of attack, sustain and release of oriental percussive instruments;
- the use of scales of frequencies. The harmonic system on which Crystal World I (Fig. 1) and Quartetto III are based, demonstrates that some authors do not merely compose the sounds, but also use the "temporal" differences that separate them and act on them;
- the organization of musical discourse in textures and gestures at an intermediate level;
- the use of different psychoacoustic effects such as reverb, which allows the composer to simulate different

ambiences and scenes, giving an idea of contrasting temporal and spacing orientation;

- the presence of formal sections of roughly equal duration that are accompanied by accelerating and decelerating gestures in stages (Fig.6);
- the coexistence of different arrangements of sounds over time: from motivic movement to drifting and fractional polyrhythm (Fig. 7) to regular or stochastic intermittencies (0'54" to 2'13"; 8'21 to 8'51": second movement Chorale); from constant slowing down to constant speeding up (0'00" to 0'11": 2'21" to 2'34"; 3'08" to 3'21": third movement) to simple or complicated repeating patterns (1'49" to 2'21"; 2'34" to 5'06": first movement).

The appreciation of different temporal dimensions in this musical cycle, allows us to make some considerations:

- multi-temporality allows one to increase the sense of variation and musical interest for such a long work;

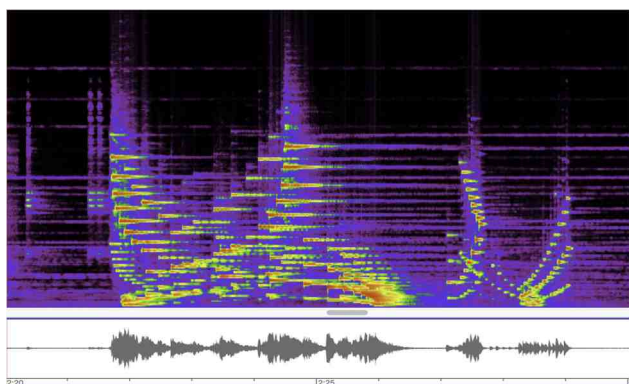


Figure 6. Intermède by M. Obst: Sonogram of the central section of the episode.

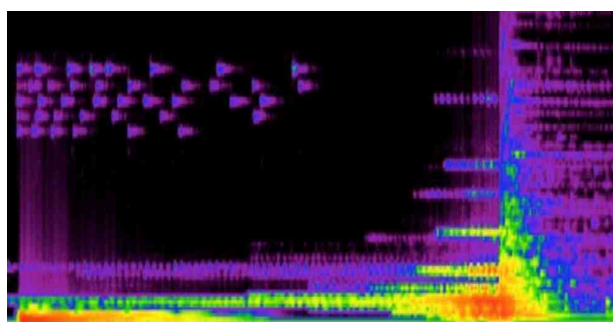


Figure 7. Crystal World I : polyrhythm with a log distribution (3'42").

- the analytical techniques developed in the field of acousmatic music are not sufficient to accurately describe the complexity of pieces like Crystal World, which is a concentrate of different rhythmic opposites (Curtis Roads 2015: 184).

The piece, being rich of accelerations and decelerations with different shapes – concave, convex, logarithmic (Fig.7), seems to recall those profiles described by G. Grisey in his «continuum of rhythm» (Grisey 1987: 239–275);

- temporalities and rhythmic dimension are the most neglected by analytic theories: in this context, we consider «rhythmic oppositions» by Roads and Grisey's

«continuum of rhythm», as an important starting point for further analytical development.

Multiplicity of forms: some hints

Durations that make sense in music start from the threshold of timbre perception and go up to the macro timescale, which is commonly connected with musical form. Composers sometimes employ timescales that exceed those limits:

Durations less than the micro timescale are musically usable only as mass events; durations that last more than the threshold of human body fatigue can be experienced only in part and not as a whole (Pasoulas 2020: 221).

At macro timescale level, the shape of an experimental electronic music piece varies from «emerging» to a rigorous controlled one.

The rigorous control of the form of a piece is typical of Structuralist period, even if not exclusive of that season.

In F. Donatoni's Quartetto III, a piece largely influenced by Structuralism, the sonographic shape is imagined «a-priori» by the composer (Fig. 8).

The shape of an inverted hourglass accidentally recalls the concept of irreversibility by Ilya Prigogine (Prigogine 1988: 9-13), a Nobel laureate famous for his work on dissipative structures, complex systems, and precisely, irreversibility. In Quartetto III, the arrangement of the elements is specular with respect to time and sound matter. After the central pause – that divides the piece into two halves, the original series of frequencies is exposed, activating an idea of circularity of the piece and of irreversibility of time passing. At an intermediate formal level, Donatoni, instead, creates temporal shapes starting from single phrases by expansion, contraction, and selection, strategies widely described in the volume «The Musical Timespace» (Christensen 1996: 92).

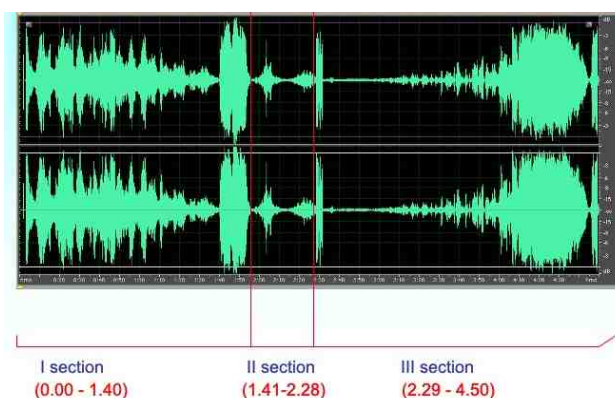


Figure 8. Quartetto III - Overall form (Avantaggiato 2014: 10).

In J. Alvarez's cycle *Cactus Géométries* a natural perspective influences the shape of the piece: the composer chooses some of his favorite «cacti» as musical metaphors for some possible new sonic topologies.

In Spectralism, composers describe, instead, the sound object as a complex formation that can be dilated to create a formal process. Spectralists often start from the natural space - a natural, delimited «microphonic space» - to come to an «imaginary» screen, where the composition is artificially projected. Artifice and nature interact: the form reflects the depth of sound onto the imaginative plane, and the image acts, implicitly, by means of the connections through which something transforms into something else.

The presuppositions of this musical problematic are the practices of optical-acoustic conversion of sound by Emile Leipp, derived from sonographic analysis, and the philosophical conceptions of Deleuze's and Bergson's (Manfrin 2003: 1-32).

In Landscape music, the composer sticks to an immediate description of the surrounding world: the aesthetic shadow of the world seems to prevail over the composer's subjective interpretations.

The landscape composition is also a particular genre in which, the already cited experience of the «time of being» (par. 3) becomes a central factor of time awareness.

Mathematical models have been highly influential on F. Bayle's works (Thom 1985), as reported in the volume «Techniques d'écriture sur support» in the paragraph «G. Montage par variations catastrophe» (Vande Gorne 2018).

Amongst the shapes described by Thom, we can mention: le pli (the fold), la fronce (the frown), la queue d'aronde (the dove tail), le papillon (the butterfly).

Conclusion

In this article we have described how management of time is something even more complex than the sheer chronological organization of events and their dislocation by recurrence, quality and quantity.

Time affects different domains with various degrees, and compositional strategies may help to modulate the perception of time (Par. 3).

In Par. (4-6) we have described how compositional activity is influenced by a multidimensional rhetoric: metaphoric relationships are operative at different levels.

We have reported the case of *Crystal World*, a cycle composed of 4 different movements, in which the

coexistence of different temporalities allow us to point out how temporal and rhythmic aspects are covered by consolidated analytical techniques in a quite incomplete way.

We have cited Roads's «rhythmic oppositions and Grisey's «continuum of rhythm», as an important starting point for further analytical development.

Different and personal conceptions of time also reflect on the form of a work (Par. 7).

References here concern the musical repertoire by J. Alvarez; F. Bayle; F. Donatoni; M. Obst; F. Ottondo; M. Rodrigue.

The several musical examples in this article show that authors should demonstrate an important ability: to work with sound and time, then, is to be present and to draw audience's attention to the present.

Acknowledgments. We would like to thank German Composer M. Obst for the interviews released in June 2020 and American Composer Tim McDunn for the revision of this paper.

References

- ANDEAN, J. (2008). Rhythm in Acousmatic Music. In *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network Conference*, Paris: EMS.
- AVANTAGGIATO, M. V. (2014). Donatoni: a critical re-appraisal of Quartetto III. In *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network*, Berlin: EMS.
- AVANTAGGIATO, M. V. (2018). The visible and the invisible. In *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network*, Florence: EMS.
- BREGMAN A./ McADAMS S. (1979). Hearing Musical Streams in *Computer Music Journal* 3/4: 26-60. Massachusetts: MIT Press.
- CARTERETTE, Edward/ KENDALL, Robert. (1990). The communication of musical expression. In *Music Perception* 8/2. Oakland CA: University of California Press.
- CHION, M. (2013). *L'audio-vision: Son et image au cinéma*. Paris: Armand Colin Ed.
- CHION, M. (2016). Chion: de la liturgie à l'autoportrait Pierre-Yves Macé. In *Musiques aux limites de l'image, Circuit* 26/3: 43-56. Montréal: Université de Montréal.
- CHRISTENSEN, E. (1996). *The Musical Timespace: a Theory of Music Listening*. Aalborg: Aalborg University Press.
- COOK, N. (1998). *Analysing Musical Multimedia*. Oxford: Oxford University Press.
- EMMERSON, S./ LANDY, L. (2012). The analysis of electroacoustic music, the differing needs of its genres and categories. In *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network Conference*. Stockholm: EMS.

- GRISEY, G. (1987). *Tempus ex machina: a composer's reflections on musical time* in *Contemporary Music Review* 2/1. London: CMR.
- HIRST, D. (2003). Developing a cognitive framework for the interpretation of acousmatic music. *Converging Technologies in Proceedings of the Australasian Computer Music Conference 2003*. Australasian Computer Music Association, Melbourne: ACMA.
- HURON, D. (2006). *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- LAKOFF, G./ JOHNSON M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- MANFRIN, L. (2003). L'immagine spettrale del suono e l'incarnazione del tempo allo stato puro: la teoria della forma musicale negli scritti di G. Grisey In *De Musica*. Anno VIII: 1-32. Milan: Università di Milano.
- M.I.M. (1996). *Les Unités Sémiotiques Temporelles – Éléments nouveaux d'analyse musicale*. Marseille: Édition M.I.M. - Laboratoire musique et informatique de Marseille.
- NAPOLETANO, E. (2018). *Musica est exercitium arithmeticae*. In *Xenakis by E. Restagno*. Turin: EDT.
- OBST, M. (1997). *Fábrica: analyse structurelle* in *Analyse en Musique Electroacoustique*. Bourges: 155–159.
- PASOULAS, A. (2020). *Timescales and the Factors Influencing Time Perception*. In *Organised Sound* 25/2: 221-231. Oxford: Oxford University Press.
- PRIGOGINE, I. (1998). *La nascita del tempo*. Milan: Bompiani.
- RAMSAY, B. (2014). *Exploring compositional relationships between acousmatic music and electronica*. PhD thesis. Bath: De Monfort University.
- REES, A. L. (2018). *A history of experimental film and video from the canonical avant-garde to contemporary*. Chicago: Chicago University Press.
- ROADS, C. (2015). *Composing electronic music: a new aesthetic*. Oxford: Oxford University Press.
- ROY, S. (2003). *L'analyse des musiques électroacoustiques: modèles et propositions*. Paris: Editions L'Harmattan.
- SCHAEFFER, P. (1977). *Traité des objets musicaux*. Paris: Éditions du Seuil.
- SMALLEY, D. (1986). *Spectro-morphology and Structuring Processes*. In: Emmerson, S. [eds] *The Language of Electroacoustic Music*. London: Palgrave Macmillan.
- STEDMAN, D. K. (2012). *Musical Rhetoric and sonic composing processes*. Florida: University of Florida.
- THAUT, M. (2007). *Rhythm, music, and the brain: scientific foundations and clinical applications*. New York: Routledge.
- THOM, R. (1985). *Modelli matematici della morfogenesi*. Turin: Einaudi Editore.
- VANDE GORNE, A. (2002). *L'interprétation Spatiale. Essai de formalisation Méthodologique* in *DEMèter*. Lille: Université Lille 3.
- VANDE GORNE, A. (2018). *Treatise on Writing Acousmatic Music on Fixed Media*. In *Musical Aesthetic Review* 9. Ohain: Musiques & Recherches.

[Abstract in Korean | 국문 요약]

전자음향음악의 시간에 대한 몇 가지 고찰

마시모 비토 아반타지아토

이 논문은 몇 가지 시간 개념을 분석하여, 여러 다른 미학을 가진 전자음향음악 작품을 선별하고 이에 적용한 것이다. 이 글은 작품 리스트에 적용한 특정 방식에 따른 오프타임과 온타임의 차이, 그리고 크로노스[자연스럽게 흐르는 물리적 시간]와 카이로스[특별한 의미가 부여된 시간] 간의 관계성과 이것이 전자음향작품을 분석할 때 활용되는 작곡 경험이나 접근 방식에 끼치는 영향에 관한 몇몇 차이점들에 주목한다. 음향acousmatic 음악은 보다 전통적인 음악 요소를 기준으로 보면 뚜렷이 구별될 정도로 추상적인 특징이 있으나, 이 사실이 시간적 구성을 분석하기조차 어려운 정도라 여겨도 된다는 의미는 아니다. 저자는 오브스트의 크리스탈 월드 사이클을 대표적인 예시로 든다. 이 사이클에서, 시간과 시간의 구성은 다차원적 관점에서 긴요하며, 이는 분석 방법이나 이의 한계, 개선 가능한 점에 대하여 보다 심오한 논의로 이끈다. 다른 참고 예시로는 아담스, 알바레스, 베일리, 도나토니, 해리슨, 민스버그, 오톤도, 로드리게의 작품이 있다.

주제어: 리듬, 시간, 어쿠스마틱, 작곡, 아담스, 알바레스, 아반타지아토, 베일리, 도나토니, 해리슨, 민스버그, 오톤도, 로드리게, 오브스트.

논문투고일: 2022년 09월30일

논문심사일: 2022년 11월15일, 11월30일

게재확정일: 2022년 12월15일

Translanguaging in Mexican Electronic Music Instrument Designers

Pablo Dodero

University of California, San Diego, USA

pdoder [at] ucsd.edu

The technical language surrounding electronic music instruments is continually expanding with their increased popularity and use. The field's prioritization of English, the most commonly used language among manufacturers, presents a language barrier for non-native English speakers. New generations of independent electronic music instrument developers in countries like Mexico utilize a mix of English and Spanish to label and describe the features and functions of their products. This is due to a lack of terminology in Spanish coupled with a desire to compete in the global market. My paper highlights current examples in which Mexican builders like Paradox Effects engage with English and are actively searching for creative ways to enrich audio jargon in Spanish. Using objects or artifacts as hermeneutic, I delineate a methodology that considers perspectives from fields like critical linguistics and science and technology studies (STS) to highlight the role English plays in creativity and sonic imaginaries for the non-fluent.

Keywords: electronic music instruments, translanguaging, sonic imaginaries.

I FELT... That the book I shall write will be neither in English nor in Latin; and this for the one reason...namely, that the language in which it may be given me not only to write, but also to think, will not be Latin, or English, or Italian, or Spanish, but a language in which dumb things speak to me, and in which, it may be, I shall at last have to respond in my grave to an Unknown Judge. (Hugo Von Hofmannsthal. *The Letter of Lord Chandos* 1902)

I first became interested in the way electronic music instruments (EMIs) are designed and marketed working at a small music store in the town of San Ysidro which is the southernmost city in California bordering Mexico. Our clientele consisted mainly of musicians and students from Mexico and the U.S., and our interactions were predominantly in Spanish. However, when it came down to discussing electronic music equipment, the use of English was unavoidable. Although it is fairly common to switch between English and Spanish in a border region like San Ysidro and Tijuana, one thing that remains consistent is when it comes to EMI's, Spanish speakers must adapt to English due to a lack of terminology in labels, manuals, and marketing material in their native tongue. In recent years companies in Mexico like Paradox Effects are engaging with English in ways that illustrate what linguistics scholars refer to as *translanguaging*. While early scholarship regarding the term is rooted in pedagogy, more recent work in critical and applied linguistics has shown how it can be adapted into a practical theory. My aim is to enlist these practical approaches to reading labels—the actual text printed on the surface of the EMI—and marketing materials of two EMIs designed and manufactured in Mexico to illustrate the tensions between English and Spanish that happen at the *interface* level. Because language does not affect the functionality of an EMI, I bring into conversation scholarly work from the field of science and technology studies (STS) to parse out

the role English plays in both mediation and commercialization, as well as its potential stifling effects on what James Mooney and Trevor Pinch refer to as *sonic imaginaries*.

Electronic Music Instruments

There exists a lack of consistency with regards to what is considered an EMI. The list may cover anything from a transistor-based guitar pedal to a complex sequencer that uses MIDI and a microprocessor. Controllers do not make a sound, but mediate between a user and music software. Recording devices record and reproduce sound, and are sometimes treated as instruments. From a legal standpoint, U.S. agencies like the FCC regulate equipment under Title 47 of the Code of Federal Regulations and categorize based on specific concerns regarding their components. The task of taxonomizing EMIs is beyond the scope of this paper, and for the purposes of this discussion, I consider an EMI any electronic device designed for the musician or performer. However, it is helpful to consider the aforementioned perspectives alongside some of the ways in which scholarly work has discussed EMI's from a technological standpoint.

Bert Bongers provides a useful birds-eye view of the evolution in technology surrounding musical instruments from *objects* (drums, cymbals) to *passive mechanical systems* (saxophones, violins) to *electric* (electric guitars) to the present-day instruments that “are combinations of (successive) technologies” (Bongers 2007: 10). EMIs offer new possibilities for music making and expression, improve workflow and accessibility, and by consequence increase the potential for new users to adopt them. A chronological trace of innovation provides scholars ways

to study, unearth, or critically engage with the effects of technology on music-making and sound-recording technology, as is the case of tape music, musique concrete, or sampling. The breadth of academic inquiry has grown exponentially with regards to EMIs. Recent scholarly work surrounding emerging music technology is concerned with the impact they have had on performance and improvisation (Butler 2014), the motivations and desired outcomes when designing new instruments (Emerson/ Eggerman 2018), or the influence on the piano keyboard on interface design (Dolan 2012). The focus of this paper is to bring into light an aspect of design that has evolved into fixity: English is the lingua franca of design and marketing of EMIs. It is the aim of this paper to illustrate how language becomes a shaping force in EMI's and by casting a critical lens on language practices interesting questions surrounding agency, mediation, and imagination emerge.

Interface and Labels

EMI labels, marketing materials, and manuals are meant to show what an instrument was intended to be used for. Many users spend time with images or copies of manuals before they are able to physically own an instrument. The words on the interface will usually point to a function, range, or signal flow of the instrument and describe its "affordances" (Gibson 1977, as cited in Butler 2017). The labels and instruction manuals are then an extension of what is often referred to as the "interface." In *Playing Something that Runs*, Mark J. Butler discusses the term interface as a *type* of EMI largely concerned with mediation between a performer and a technology, but extends the definition stating it "denotes something more than simply the mediating technology; in particular, it refers to the actual site of mediation: the surface of the mixing board and sliders, or the graphical representation on the screen of the computer" (2017). Butler's definition of interface is useful because it illustrates mediation in a way that includes the visual layout of an EMI not just in terms of functionality or at the "macroperception" level (Verbeek 2017). Butler is concerned with the physical design of the instruments and affordances they provide to performers and improvisers. This, however, implies a familiarity with the instrument after spending time working with it. By looking at the practices of two Mexican EMI companies, I problematize the idea of mediation and performance to include language as part of the schema.

Translanguaging Practice Theory

The term "translanguaging" has its origins in linguistics work concerned with bilingual education. Li Wei states it

was "not originally intended as a theoretical concept, but a descriptive label for a specific language practice" (Wei 2017: 15). A definition of "translanguaging" that is helpful to frame this paper is as "the language practices of bilinguals not as two autonomous language systems as has been traditionally the case, but as one linguistic repertoire with features that have been societally constructed as belonging to two separate languages" (García Wei 2108: 2). In *Translanguaging as a Practical Theory*, Li presents a way in which the term can be extended into a practical approach to language practices beyond the classroom. Another important feature of Wei's approach is that it is meant "not to offer predictions or solutions but interpretations that can be used to observe, interpret, and understand other practices and phenomena" (11). I agree with this method because my intention with interpreting the language practices in my case studies is not to speculate on the future practices of Mexican designers or present the pervasiveness of English as a problem, but rather activate a new line of inquiry that pertains to agency and technological innovation.

Materiality of Language

The spread of English across the world has often been studied as a result of globalization, cultural hegemony, and a homogenization of culture. My aim is not to delve deep into the causes and effects of this phenomenon, but to enlist the word of critical linguistics to illustrate the localized ways in which English is employed by two EMIs designed by Mexican companies who design, build, and market their products in Mexico to the rest of the world. To clarify, my first case study, Paradox Effects and their guitar pedal Fuzz E Cat, is located in Tijuana, Mexico, within the border region; and my second case study is Bocuma Synths, located in Guadalajara, Mexico, 2,200km south of the border. Although it would be a monumental task to describe the different relationships both companies have to English from a geographical and cultural standpoint, it could provide insight into the differences and similarities in their translanguaging practices.

Another important reason why I chose a translanguaging practice theory as a method is because it allows me to cast my peers and interlocutors within a more robust framework of agency. I argue that having a single language to learn, discuss, create, and ontologize sonic phenomena stifles creativity. In *Decolonising the Mind*, Ngũgĩ Wa Thiong'o argues that "language, any language, has a dual character: it is a means of communication and a carrier of culture" (Thiong'o 1986: 13). This does not mean, however, that companies are unable to reappropriate the English language to make new instruments representative of their vision. The scope of this paper

does not explore the relationship language has to sonic phenomena, as it is part of a future dissertation work. By bringing translanguaging into the study of EMIs I illustrate how language plays a central role in interface design and mediation. It is worth mentioning that I employ my own position-as-method as a member of the community that I am researching. Therefore my interpretation is both from within the locality and from a theorized perspective.

Case Study 1: Paradox Effects

To compete in global markets, many products are labeled in English, not just musical instruments. This ebb and flow of global vs. local practices requires more complexity in our thinking of language practices. Linguistic scholar Alastair Pennycook, an important figure in the study of global Englishes, states that

The multidimensional nature of both dominating modes of globalization - corporatization, capitalization, conceptualization - and of resistant and localizing modes - transculturation, translocalization, transformation - lead to very different linguistic and cultural practices than international domination or national localization. It is a far more dynamic space of flows.

According to Pennycook, an effective theorization of linguistic practices along the axes of global vs. local must encompass a definition that allows for more than one form of globalization. One such case is the manner in which Mexico has become a site of outsourcing manufacturing processes for transnational companies.

Efrén Castro, one of the co-founders of Paradox Effects, studied Electronic Engineering at Universidad Autónoma de Baja California. His growing interests in effect pedals began to clash with the school's focus on the job market. The effects of globalization extend to universities' curricula due to the growing demand for engineers in maquiladoras. In theory, a career in electronic engineering offers a range of possibilities for the graduate, but in practice most roads lead to working for a transnational company in one of their factories. During his time at UABC, Castro, who is also a musician, learned about electronic circuits. He began to tinker with a circuit that is commonly adopted in DIY circles, the fuzz pedal.

In a box sitting in my studio I keep guitar pedals that I obtained when my main instrument was the electric guitar and bass. It doesn't get much use lately because I shifted my musical practice to synthesizers, but I keep it as part of my collection because it is one the first effect pedals designed, manufactured, and marketed in Tijuana, Mexico by Paradox Effects. The Fuzz-e Cat, as it is called, is "a roaring oscillatory feline, a highly sensitive Fuzz that creates many textures with few controls" (Paradox Ef-

fects 2017: para. 1). Although the marketing materials are all in English, the faceplate looks like an electrified cartoon cat with two knobs for eyes which is labeled in Spanish and English. As shown in Figure 1, the left knob is labeled "Volúmen" and the right one "Fuzz" (figure 1).



Figure 1. Fuzz-E Cat effect pedal. Fuzz-E Cat front panel From <https://paradoxeffects.com/products/fuzz-e-cat> [digital image]

Sound 1. Paradox Effects Fuzz E Cat 100% Oscillation. Available to listen at www.keams.org/emille

In the same manner that the pedal's zoomorphic design layout only contributes to the aesthetic quality of the pedal, I argue that the use of the word "Volúmen" is a symbolic gesture signaling the nationality and identity of the company. However, at the time of release, Paradox marketed their pedals in English. Having a somewhat strong social media presence, the company posts videos on YouTube, Instagram, and Tik-Tok in Spanish, some of them with English subtitles.

Paradox markets the Fuzz-e Cat as "a silicon based effect, our amorphous take on the Fuzz Face topology" (Paradox Effects 2017: para. 1). The Fuzz Face mentioned in their blurb is a highly regarded effect pedal designed in 1966 by Arbiter Electronics Ltd. and made famous by artists like Jimmy Hendrix. Its circuitry has been reimagined by many effect pedal designers from across the globe due to the ease with which it can be built and modified. But by engaging with the Fuzz Face circuit in their product line, Paradox is performing a translocal practice. In other words, by signaling the topology of the famous Fuzz Face as the inspiration for the Fuzz-e Cat, Paradox is staking its claim in a global exchange of ideas surrounding pedal design that extends beyond their locality. The term amorphous may then extend not only to the arrangement of components in the circuit, but also the combination of languages on the label. By looking at Paradox's own take on the Fuzz Face circuit we engage in "cross-cultural studies of the use of electronic music technology and instruments" (Bakan et al. 1990).

Here, language and material are imbricated. Symbolic language becomes concrete the moment circuit boards are printed and enclosures are painted. While critical linguistics accounts for the usage of English in localities, many times spoken, codified, and appropriated, the practice I am interested in is materialized in metal, paint, printed, and online text. During this process of materialization is when I consider English to become part of the interface of the instrument. Peter Paul Verbeek, a science and technology studies scholar, employs the term material hermeneutics as a framework for studying relationships between humans and technological objects. Verbeek derives this term from the ideas of Don Ihde, specifically hermeneutic relations. Hermeneutic relations describe how humans and technological artifacts engage with each other. Material Hermeneutics allows for a more robust schema or network in the Latourian sense, to differentiate more inclusive elements of technological mediation as *actants*. I consider this study to be in line with Actor-Network Theory as I unpack and reconfigure ideas commonly taken as given in the study of EMIs. The concept of interface or the concept of accessibility require reassessment the moment the pervasiveness of English comes into play.

Returning to the use of the term amorphous, a word used to describe something shapeless or with no clearly defined boundaries, I interpret this as a necessary descriptive act that allows ambivalence for an act that has little precedent in the global market of effect pedals: marketing from a country whose national identity does not read as technologically proficient.

Translanguaging and Translation

In 2021, five years after the Fuzz-e Cat, Paradox released a pedal called Carmesí. The pedal is an *all-pass phase modulator*, a more complex circuit than a fuzz pedal, usually requiring more functions and knobs. The Carmesí's interface consists of six variable knobs and two switches all labeled in Spanish. One of the buttons, "sendero," enables an envelope follower processed by a sample and hold function. This feature of the pedal essentially traces the path of the signal that comes in and creates a new one based on conditional functions afforded by the circuit. The word "sendero" means path and it is most commonly used to describe a hiking trail or a route rather than a single path in electronics. In the context of the Carmesí, it is a pedal that has been highly conceptualized both in function and design.

On the Paradox Effects website, they include the following tagline: "IN THE HYPNOTIC DESERT, A CRIMSON EYE AWAITS, They say that in the hypnotic desert, between

the hot sand and delirium, you can find a crimson eye that hides a mystery" (Paradox Effects 2021).



Figure 2. Carmesí front panel. Paradox Effects from <https://paradoxeffects.com/products/carmesi>

Sound 2. Paradox Effects Carmesí - Ascending Square Phasing.

As an EMI, Carmesí is an effect pedal that allows the user to sculpt sound by running an audio signal through its circuit, but by using creative and imaginary narratives, they enlist what James Mooney and Trevor Pinch described as a "sonic imaginary" in the article "Sonic Imaginaries: How Hugh Davies and David Van Koevring Performed Electronic Music's Future" (Mooney/ Pinch 2021). Their definition of sonic imaginaries presents it as "a way of imagining and bringing forth a shared sonic world or experience grounded in technology, institutions, and networks" (2021). I argue that the term "sendero," which is both unconventional for labeling an electronic device and foreign to the effect pedal market, prioritized the sonic imaginary of Carmesí, rather than its technological affordances.

From the time that Paradox began to market their guitar pedals locally in Tijuana to now having distribution in various international markets and counting professional musicians as users, the company's slogan has shifted to "Un Lenguaje Sónico," or a sonic language. In one of our conversations Castro commented, "Yes we make overdrives, fuzzes, and whatnot, but we are working with technological tools to be creative" (E. Castro personal communication. January 2021). This is an important distinction that shows how creativity has become an important marker for Paradox Effects in the global marketplace. Paradox now labels their devices in Spanish, but continues to market on their website in English. I argue that this deliberate combination of both languages for very specific purposes sheds light on the fluidity of globalization. Language printed on the label's interface does not affect its functionality, but shapes its interface. On the other hand, in marketing materials English continues to take precedent in the global marketplace.

Case Study 2: Bocuma

Bocuma is a synthesizer company from Guadalajara, Mexico founded by Emmanuel Galvan. I was made aware of their existence through an exhibition of Mexican musical technology organized by Paradox Effects in Tijuana in 2021. Galván's background is also in electronic engineering, and like Castro, it was easy for him to work with EMI circuits. Bocuma's website currently offers a build-your-own kit for a pocket-sized synthesizer and its flagship product, the Esquivel, a state variable filter built in Eurorack format for modular synthesizer systems.

The Esquivel is a well-constructed state variable filter module with a very minimal and clean design. Eurorack format is substantially smaller and does not lend itself for larger fonts or illustrations like a guitar pedal. Bocuma has released two different versions of the Esquivel filter and looking specifically at the labels of both versions, V1 and V2, we find that there was a change in the language of one of the functions. In V1 the *cutoff* frequency knob was originally labeled with the word "cutoff" and in V2 it now shows a pictogram of a small graph illustrating the cutoff frequency.



Figure 3. Bocuma "Esquivel" State-Variable Filter Module Esquivel Front Panels. Esquivel faceplates V1 and V2. Bocuma. www.bocuma.mx/product/esquivel

Sound 3. Bocuma Filter Sweep Example.

During an interview I conducted with Galvan I asked him about Bocuma's decision to change the label. He responded: "I never considered language as part of the design process, but coincidentally I have been shifting to symbols or abbreviations of words to avoid using strictly English in my designs" (E. Galvan personal communication. February 4th, 2021). While Galvan does not take issue with using English when necessary, English on the label creates some tension. In this sense, the translanguaging act becomes a gradual process and the pictogram provides a neutral language that avoids the

task of translating into Spanish, creating a new term, and educating their potential customers on its meaning. The manner in which the pictogram reads as neutral to Galvan, in the same manner that English did due to its pervasiveness in the global market, brings up questions of whether English has any other functional use beyond a common language to communicate in.

The filter takes its name from Mexican space-age pop composer and innovator Juan García Esquivel. His musical legacy in the genres of *exotica*, *lounge*, and *space-age pop* have made him into a national hero in Mexico and the rest of the world. While he may not be as well-known with younger generations, for Galvan, he is a role model. Galvan stated that he draws inspiration from the composer not just because of his body of work, but also because he studied engineering. He then imagined how Esquivel's own engineering background may have contributed to his innovative approach to composing and recording using synthesizers. In our conversation Galvan mentioned that he was inspired to design a functional state-variable filter for performers and studio musicians, but inspired by the legacy of Esquivel. Eurorack modules are usually purchased separately and part of the reason to adopt this format is because they are modular, meaning that they can be used with other modules of the same format. On the reverse side of Esquivel's printed circuit board, Bocuma decided to print an illustration of Esquivel's face.

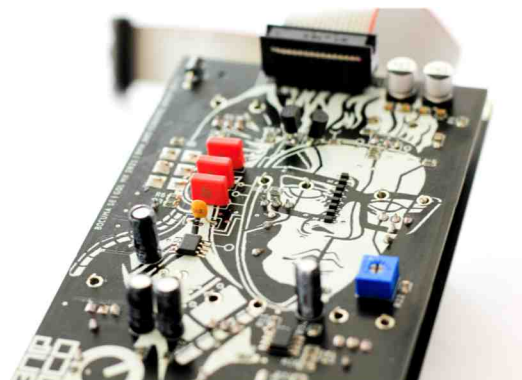


Figure 4. Esquivel illustration printed on circuit board. Esquivel module back panel. Bocuma. www.bocuma.mx/product/esquivel

Sound 4. Juan García Esquivel - Latin-Esque.

Because the filter is not tied to any particular method or technique used by Esquivel, I argue that the filter pays homage to an imagined or speculative narrative surrounding the composer. In similar fashion to how Ytasha Womack defines *Afrofuturism* as "an intersection of imagination, technology, the future, and liberation" (2013: 9), Bocuma's filter reimagines Esquivel's legacy through technology, visual art, and fiction. Printing his image in the back of the module becomes a symbolic gesture re-

garding the influence and presence of Esquivel in the design process. Because Bocuma is part of a new generation of EMI companies, by signaling Esquivel's exceptional career, the filter activates the epistemology of Mexican musical and technological innovation.

Conclusions

For the last few years, the maker community in Mexico has begun to build stronger platforms for collaboration. Inspired by the DIY ethos of the global English-speaking communities centered on EMIs, Mexican designers, educators, and musicians have shifted the conversation to Spanish or a blend of English and Spanish, and in some cases pictograms. Social media accounts like Eurorack en Español have emerged, offering tutorials in Spanish and working with synthesizer companies in the U.S. to translate manuals and technical sheets. Paradox has currently labeled all of their products in Spanish or abbreviated English and has changed their slogan to “Un Lenguaje Sónico,” a sonic language, shifting from a functional forward design practice to one that allows sonic imaginaries to contribute to the ideation process. Paradox also organized the Exhibición de Tecnología Musical Mexicana (Mexican Musical Technology Exhibition) to encourage collaboration and dialogue among other national makers.

I argue that by performing close reads on EMIs, treating them as complex and robust networks of mediation and agency, we are able to parse out the ways in which language carries cultural hegemony that becomes consolidated into the material. Translanguaging offers us a unique perspective into the subjectivities of bilingual musicians and EMI designers, as well as the fluidity of global flows of information. By casting EMIs in a network that affords language agency within the interface and as a force that shapes imagination and marketability, it allows translanguaging acts the ability to become a site of knowledge rather than a consequence of globalization. Finally I'd like to cite Nick Millevoi's review of the Carmesí in the guitar magazine *Premier Guitar*, which I argue illustrates the othering effects of language to the non-fluent, when engaging with a piece of technology:

Paradox Effects are a Tijuana-based company whose pedals usually offer a tweaked take on traditional effects. Before I could dig into this pedal, I headed over to the Paradox site to translate the control names, which are in Spanish, before I could wrap my head around the controls. (Millevoi 2021)

References

- Bakan, M. B. et al. (1990). Demystifying and classifying electronic music instruments. Selected reports in ethnomusicology volume viii: issues in organology 8: 37–64. University of California Los Angeles.
- Bongers, B. (2007). Electronic musical instruments: Experiences of a new luthier. *Leonardo Music Journal* 17: 9–16. <https://doi.org/10.1162/lmj.2007.17.9>
- Butler, M. J. (2018) Experimentalisms in practice: Music perspectives from Latin America. Oxford University Press.
- Code of Federal Regulations. Title 47. §15.3.
- Dolan, E. I. (2012). Toward a musicology of interfaces. *Keyboard Perspectives V: Yearbook of the Westfield Center for Historical Keyboard Studies*. Westfield Center. 1-12.
- Emerson, G./ Egermann, H. (2018). Exploring the motivations for building new digital musical instruments. *Musicae Scientiae* 24/3: 313–329. <https://doi.org/10.1177/1029864918802983>
- García, O./ Wei, L. (2018). Translanguaging: Language, bilingualism and education. Palgrave Macmillan.
- Millevoi, N. (2021, July 15). Paradox Effects Carmesí Review. *Premier Guitar*. <https://www.premierguitar.com/gear/reviews/paradox-effects-carmesi>
- Mooney, J./ Pinch, T. (2021). How Hugh Davies and David Van Koeveering performed electronic music's future. In *Rethinking Music Through Science and Technology Studies*: 113-149. Routledge.
- Pennycook, A. (2008). Global englishes and transcultural flows. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203088807>
- Thiong'O, W. N. (1986). Decolonising the mind: The politics of language in African literature. James Currey.
- Verbeek, P. (2005). What things do: Philosophical reflections on technology, agency, and design. Penn State UP.
- Wei, L. (2017). Translanguaging as a practical theory of language. *Applied Linguistics* 39/2: 261–261. <https://doi.org/10.1093/applin/amx044>
- Womack, Y. (2013). Afrofuturism: The world of black sci-fi and fantasy culture. Lawrence Hill Books.

[Abstract in Korean | 국문 요약]

멕시코 전자음악 악기 디자이너들의 다언어 사용

파블로 도데로

전자 악기를 둘러싼 기술적 용어는 그 인기와 사용도 증가에 따라 지속적으로 확장되고 있다. 제조업체들이 가장 흔히 사용하는 언어로서, 영어에 대한 현장 선호도로 인해 비영어권 사람들에게 언어 장벽이 존재한다. 멕시코 같은 나라들의 독립적인 신세대 전자악기 개발자들은 영어와 스페인어를 혼용하여 제품의 특징과 기능을 이끔짓고 설명한다. 이는 스페인어의 용어 부족과 글로벌 시장에서 경쟁력을 높이려는 바람이 혼재한 데 기인한다. 이 논문은 패러독스 이펙츠 Paradox Effects 같은 멕시코 제작자들이 영어를 활용하되 적극적으로 스페인식 오디오 용어를 만들고 늘리기 위한 연구를 하는 현재의 사례들을 집중조명한다. 저자는 해석학적으로 사물이나 가공물을 사용하며, 영어가 유창하지 않은 사람들에게 창의성이나 음향적 상상력을 줄 수 있도록 비판적 언어학이나 과학기술연구 같은 분야의 시각을 고려한 방법론에 대하여 묘사한다.

주제어: 전자 악기, 다언어 사용, 소리 이미지.

논문투고일: 2022년 10월01일

논문심사일: 2022년 11월15일, 11월22일

게재확정일: 2022년 12월15일

EZDSP: From Production to Programming

Garrett Eckl

Department of Computer Music, Peabody Conservatory of The Johns Hopkins University, United States
garrettecklmusic [at] gmail.com
<https://www.garretteckl.com>

EZDSP is an audio plug-in developed for creating custom digital audio effects from directly within a digital audio workstation. Through a combination of dynamically generated code, the SOUL language's JIT compiler, and a custom C++ interface, this software allows users to create and modify digital signal processes on the fly. By removing common barriers to plug-in development, such as the need for an integrated development environment or an extensive background knowledge of C++, EZDSP seeks to make audio programming more accessible to artists and engineers of all backgrounds. This paper will address both the implementation and potential uses of this software.

Keywords: Audio Programming, SOUL, Plugin Development, Digital Signal Processing

Background

Audio plug-in development is a multi-disciplinary field that requires a solid understanding of computer programming, digital signal processing, and music. A deep knowledge of C++ is often needed to make optimized plug-ins that can do complex signal processing in real time. Experience in the field of digital signal processing is likely required to design appropriate algorithms. Finally, musical training is often needed to successfully evaluate the sonic output of an audio effect. Therefore, the barriers to entry for aspiring plug-in developers can be quite high.

As such, there is demand for a simplified method of creating digital audio effects, one that reduces many of these challenges. This is the role that EZDSP (Easy Digital Signal Processing) seeks to fill.

EZDSP is a fully customizable audio plug-in that allows users to create their own digital audio effects. EZDSP simplifies the plug-in creation process by breaking it into two parts: The *Component Creator* and the *DSP Editor*. The *Component Creator* handles the graphical user interface (GUI), while the *DSP Editor* handles the digital signal processing (DSP).

Creating even the simplest of delay effects as a standard VST plug-in requires hundreds of lines of code, with EZDSP it can be done with four lines and a single component. The following sections of this paper will cover the technological platforms that EZDSP is built upon, how EZDSP works, and several potential creative uses of this technology. The source code, prebuilt binaries, and user documentation can be found at <https://geckl.github.io/EZDSP/>.

There are a variety of high-level programming languages suited to developing audio effects. Visual programming languages such as Max/MSP and Pure Data make it easy to conceptualize digital signal flow. However, this style of programming can be limiting, and the acquired skills don't always translate well to traditional plug-in development. Conversely, many music programming languages such as SuperCollider and Csound are text-based, yet they often lack full support for per-sample audio processing, a core concept of many time-based effects.

SOUL is the programming language upon which EZDSP's audio processing is built. It is an embedded programming language for writing real-time digital signal processing code that is both fast and memory-safe (Ferrari, 2018). Its efficiency is comparable to C/C++, two languages that are commonly used in audio applications. Yet from a safety and syntax perspective, it has more in common with popular scripting languages such as JavaScript or Python. This combination of speed and safety makes it ideal for DSP, as less focus is needed on code efficiency and memory management.

How SOUL differentiates itself from other languages commonly used in audio programming is that it consists of both a language and a runtime environment. When an application utilizing SOUL is executed, the SOUL code is sent to the SOUL runtime environment, which compiles it and then directs it to the most optimized processor (Storer, 2018). This means that a single piece of DSP code could be processed on a central processing unit (CPU), a digital signal processor (DSP), or a custom hardware device, all based upon what the end user has available at the time.

There are currently two version of the SOUL application programming interface: a high-level abstraction API called *SOUL Patch* and a low-level API (Ferrari, 2021). *SOUL Patch* is a JIT-compiled plug-in format that functions similarly to a standard VST/AU plug-in, consisting of audio input/output, MIDI input/output, and parameters. The low-level API allows for more custom interactions with the SOUL language. It consists of both a *performer* that JIT-compiled SOUL code, and a *venue* that asynchronously runs SOUL code. Neither of these APIs provide any graphics, instead leaving GUI rendering to the application hosting the SOUL code.

The SOUL Library is comprised of ten core modules:

1. Intrinsic functions
2. Miscellaneous audio utilities
3. Musical note utilities
4. Mix and gain control utilities
5. RNGs and noise-generators
6. Timeline event utilities
7. Oscillators
8. Filters
9. MIDI utilities
10. Frequency-domain utilities

In addition to the core language, SOUL comes with a series of tools and helper classes which allow developers to easily integrate the language into their application. This includes header-only classes for host applications interfacing with the *SOUL Patch* format, command line scripts for conducting unit tests, and a Visual Studio Code extension. Finally, it includes code for a JUCE plug-in that can dynamically load and run different SOUL Patches. This SOUL Patch Loader Plug-in is the basis upon which EZDSP is built.

EZDSP Technical Overview

At its most basic level, EZDSP functions as an abstraction layer, facilitating communication between a SOUL patch and a digital audio workstation (DAW). EZDSP is a standard C++ audio plugin created with the JUCE framework, consisting of a graphical user interface and an audio processor. This audio processor inherits a SOUL Patch Audio Processor (provided as part of the SOUL Patch API) that wraps a SOUL Patch within a standard JUCE audio plug-in instance (Figure 1). This abstraction layer allows the EZDSP Source Code to communicate with the SOUL Patch regardless of the input/output layout of the track it is placed upon.

SOUL Patch

A SOUL patch consists of a .soul file, which contains the SOUL plug-in's source code, and a .soulpatch file that contains the patch metadata. EZDSP autogenerates both of these files at runtime, and updates the .soul file automatically whenever the user makes changes within the EZDSP plugin.

A .soul file contains at least one SOUL Processor that processes audio on a per-sample basis. During playback, EZDSP relays audio to and from the SOUL Processor, along with other relevant values provided by the DAW such as project information variables (time signature, tempo, etc.) and automation data. EZDSP constantly updates these values based on the current playhead information.

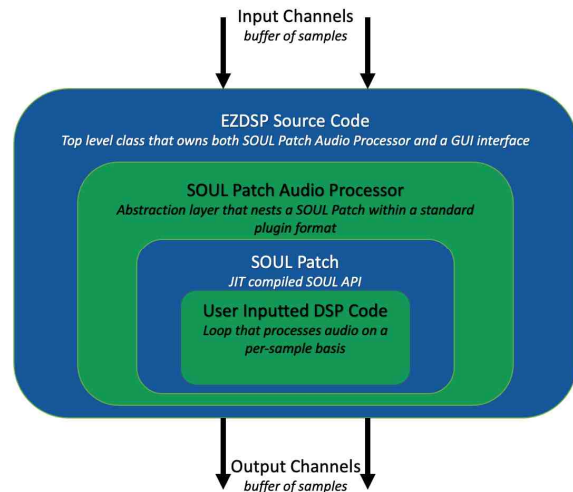


Figure 1. EZDSP Code Flowchart.

The .soul file that EZDSP generates contains a single SOUL Processor called Main. At the top of the processor is the declaration section, where all global variables are declared, including both built-in project information variables and user-defined component variables.

Below this is the implementation section, where audio samples are processed inside a *run()* function that is called upon playback (Ferrari, 2021). This function contains an infinite loop, which is executed on a per-sample basis. Within this loop is the DSP code section, where user-written DSP code is executed.

Making Audio Effects With EZDSP

EZDSP is comprised of two main features: the *Component Creator* and the *DSP Editor*. The *Component Creator* provides a graphical interface for generating common objects such as sliders, audio buffers, and buttons. The *DSP Editor* is where users write code to process incoming audio samples. Components created via the *Component Creator* can

be accessed in the *DSP Editor* through a variable that shares the component's name.

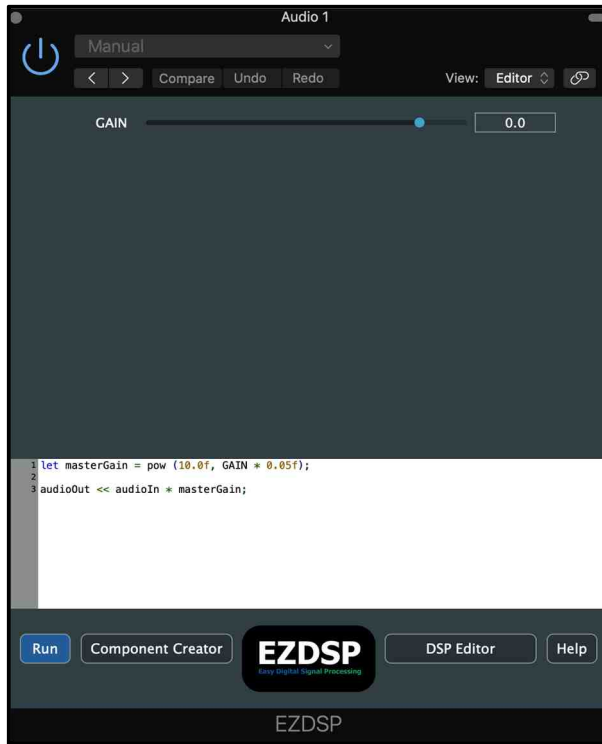


Figure 2. EZDSP Main Window. The DSP Editor is embedded on the main screen as shown, while the Component Creator opens in a separate pop-up window.

The Component Creator Window

The *Component Creator* window allows users to create sliders, buttons, audio buffers, and numbers. These are global components, and as such their value is only reset upon recompilation of the EZDSP plugin. These variables are created visually through forms, and the accompanying source code is dynamically generated at compilation based on the inputted parameters. Component names may only contain alphanumeric characters and underscores.

Component	Name	Type	Min	Max	Init	Step	Size
Slider	Feedback	Float	0	100	0	1	
Buffer	DelayBuffer						44100
Button	FeedbackOn						
Number	LowPassFreq	Int			500		

Table 1. Component Table.

Components are presented in a table within the *Component Creator* window (Table 1). This window allows the user to keep track of what components have been created, as well as delete any that are not needed. The four component types function as such:

SLIDER: A visual component that creates an input stream of floating-point numbers, which is constantly updated to reflect the current position of the slider. This component takes five parameters from the user:

- Min: the lower limit of the slider's range
- Max: the upper limit of the slider's range
- Init: the initial value of the slider
- Step: the increment between slider values
- Name: the slider's variable name

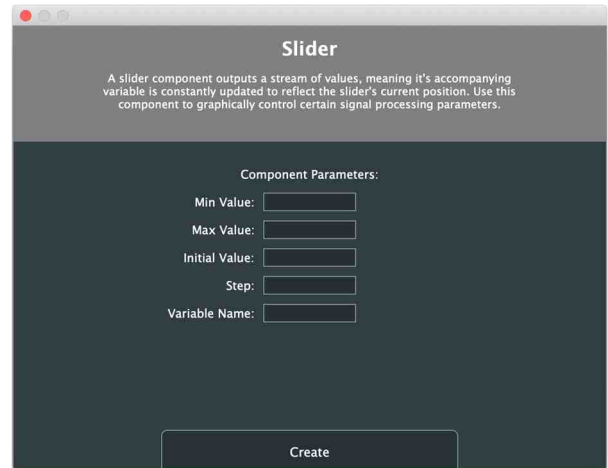


Figure 3. Slider Creator Window.

BUTTON: A visual component that creates a simple binary switch (0=Off, 1=On). This component takes only a single parameter from the user:

- Name: the button's variable name

BUFFER: A component that stores an array of either integer or floating-point numbers, which are all initialized to zero values. Additionally, a buffer component comes with a memory safe indexer that wraps all values outside the buffer's size. So, for example, a buffer created with the name *DelayBuffer* would be initialized as an array, along with an accompanying wrapped integer variable of the name *DelayBufferIndex*. This component takes three parameters from the user:

- Type: the type of values stored in the buffer (int or float)
- Size: the number of values stored in the buffer
- Name: the buffer's variable name

NUMBER: A component that stores a single integer or floating-point number. This component takes three parameters from the user:

- Type: the type of value stored in the number (int or float)
- Init: the initial value of the number
- Name: the number's variable name

The DSP Editor

The *DSP Editor* allows users to write custom digital signal processing code using the SOUL language. It features custom syntax highlighting, which color codes SOUL types, operators, keywords and comments, as well as user-defined components.

Code written in the *DSP Editor* exists within a loop that processes one audio sample at a time. The reserved variables *audioIn* and *audioOut* store the plug-in's input and output streams respectively. The << operator is used to write a value to an output stream:

```
audioOut << audioIn * masterGain;
```

Users have full access to both SOUL's intrinsic functions (operators, indexers, etc.) and its various namespace libraries (::filters, ::mixing, etc.). Additionally, EZDSP provides a variety of additional built-in variables to utilize, such as SAMPLESPERBEAT and CURRENTSAMPLE:

```
let masterGain = soul::dBtoGain(GAIN);
let quarterCount = CURRENTSAMPLE/SAMPLESPERBEAT;
audioOut << audioIn *
  (masterGain+(quarterCount%4));
```

It's important to note that because this code exists within a loop, any variables that are declared in the code editor will be reset for each sample by default. This is extremely inefficient for certain variables that don't need to be updated every iteration. To create variables that update periodically, use an inner loop to process chunks of audio, calling *advance()* to move forward each sample and *continue* to jump back to the top of the loop:

```
Let distortionFactor = w * (1 - pow(2.781, v) % sampSize;

loop(1000)
{
  audioOut << audioIn * distortionFactor;
  advance();
}
continue;
```

Saving and Loading Presets

Users can save their custom plug-ins as presets in the same way that any other plug-in would allow users to save their settings. However, while standard plug-in presets contain a simple set of parameter states, EZDSP presets represent a completely unique audio effect. So, while users can save and load EZDSP effects, they will always be loaded with the same initial values as defined in the *Component Creator*.

Automation

Due to the way in which DAWs handle automation, it is not possible to add or remove automatable parameters after a plugin is placed on a track. For this reason, EZDSP creates five generic automation parameters upon initialization, and then attempts to customize them to fit the currently loaded audio effect. As such, EZDSP only supports automation for up to five sliders. Additionally, the ability to rename automation parameters is DAW dependent, so while some DAWs will display a parameter label that matches the slider's name, others will display a generic label.

Potential Uses

DSP Prototyping

EZDSP seeks to improve the process of rapid DSP prototyping by providing an environment that is both compatible with popular music software, and designed specifically for audio. SOUL's JIT compiler and EZDSP's built-in text editor allow engineers to tweak DSP algorithms and immediately hear the result of the change, without even having to pause playback. This enables rapid design, review, and refinement, by removing the need for constant recompilation of the entire codebase. Additionally, by programming within a DAW, engineers will have access to a wide range of metering and analysis plug-ins that can assist in the design process.

Learning Tool

There is a demand for educational tools that bridge the gap between the more creative side of music technology curriculum (music producing/mixing) and the more technical side (digital signal processing/audio programming). EZDSP seeks to bridge this gap, providing students with an avenue for learning highly technical concepts within a creatively stimulating environment. By stripping audio processing down to its most basic components and minimizing the amount of necessary code, students can focus solely on signal processing algorithms. This simplification makes it easier for users to comprehend the underlying DSP technique. As such, EZDSP can function as an effective learning tool for beginner audio programmers, especially those without previous programming experience.

Sound Design

EZDSP's creative value primarily stems from its flexibility, allowing users to control internal variables with external project information. For example, it can be programmed as an echo effect with feedback levels determined by the time signature, or a band-pass filter that passes only the frequency of the DAW project's key signature. This flexibility enables artists to create one-of-a-kind audio

experiences that would not be possible within the bounds of a standard audio plug-in.

Future Work

There are several updates to be added in the near future that will expand and improve EZDSP. First, an updated *DSP Editor* will be introduced. This text editor will include a code completion feature for providing users with function headers. This update will also include improved error reporting, giving users the exact location at which their error occurred.

Second, a future update will include an export feature that will allow users to export their effects as standard C++ plug-ins with the click of a button. It is already possible to translate SOUL code into C++ code using the SOUL command-line tool. EZDSP will further simplify this process by automating the build of this plug-in into standard formats such as VST3 and AU. The SOUL command-line tool provides other useful features, such as the ability to generate WebAssembly implementations of patches. This can be used in the future to develop a version of EZDSP for online DAWs.

Lastly, there are plans to integrate an `ezdsp::` namespace into the codebase for users to access. This namespace will include a variety of mathematical functions that will bring EZDSP closer in functionality to popular digital signal processing tools such as MATLAB. Many of these techniques are built into the fabric of the SOUL graph structure, and as such can be optimized by the SOUL runtime environment (Ferrari, 2018). These functions will expand the research capabilities of EZDSP, allowing users to utilize a variety of transforms, interpolation techniques, and matrix manipulations that are not included with the standard SOUL language.

References

- Ferrari, Cesare/ Storer, Jules. (2018). Soul Lang. *JUCE Forums: PACE*. Retrieved on January 21st, 2022 from <https://forum.juce.com/t/soul-lang/30480>
- Ferrari, Cesare/ Storer, Jules. (2021). *SOUL Language Guide*. Github Documentation. Retrieved on December 9th, 2021 from https://github.com/soul-lang/SOUL/blob/master/docs/SOUL_Language.md
- Storer, Jules. (2018). *Soul Announcement*. Audio Developer Conference: Raw Material Software Limited. Retrieved on October 1st, 2021 from <https://youtu.be/-GhleKNaPdk>

[Abstract in Korean | 국문 요약]

이지디에스피: 생산부터 프로그래밍까지

가렛 에클

이지디에스피EZDSP는 디지털 오디오 작업현장에서 직접 맞춤형 디지털 오디오 효과를 만들어내기 위하여 개발된 오디오 플러그인이다. 이 소프트웨어는 동적으로 생성되는 코드, 소울SOUL 언어의 지트JIT 컴파일러[명령어 번역 프로그램], 사용자지정 시플러스플러스C++ 인터페이스를 혼용함으로써, 사용자가 즉석으로 디지털 신호 처리를 만들어내거나 수정할 수 있게 한다. 이지디에스피는 통합적인 환경의 발전수준이나 시플러스플러스에 대한 광범위한 배경지식의 필요성과 같이 플러그인 개발에 흔히 장벽이 되는 것들을 제거함으로써, 다양한 환경의 예술가와 기술자들이 오디오 프로그래밍에 보다 쉽게 접근할 방법을 모색한다. 이 글은 이 프로그램의 실행법과 활용 가능성, 양 측면에 대하여 설명한다.

주제어: 오디오 프로그래밍, 소울, 플러그인 개발, 디지털 시그널 프로세싱.

논문투고일: 2022년 09월30일

논문심사일: 2022년 11월15일, 11월16일

게재확정일: 2022년 12월15일

Situating Computing More Centrally in Composition Pedagogy: An Argument

Peter Ivan Edwards

National University of Singapore
peterivanedwards [at] gmail.com
<https://www.peterivanedwards.info/>

The article outlines developments in compositional technique starting from Schoenberg's music to show the increased incorporation of statistical, procedural, and algorithmic strategies as well as electronic music's influence on compositional technique for instrumental music. A cursory look at the role of technology in composition curricula at leading American conservatories is offered, exposing a misalignment with the developments outlined here. From this, the author argues that current curricula for composition study trail developments in compositional technique substantially and that it is imperative to shift compositional computing more centrally within composition pedagogy to address this. The article closes by addressing counterarguments and potential challenges for the implementation of such a change in composition pedagogy.

Keywords: Computing composition, composition pedagogy, algorithmic composition, computer music tool.

The transformation in compositional technique over the last century has been extraordinary. While in the beginning of the 20th century Western music still clearly had roots in its tradition – tonality was largely the only pitch organizational approach and musical material was still defined by melody and motive – by the end of the century, the massive reconsideration applied to every aspect of composition had left in its wake entirely new possibilities. There were many drivers of these changes; a significant one was technology. New devices, like tape recorders and oscillators, allowed composers to imagine sound and musical organization in new ways, and the thinking of many composers evolved along with a society in which science and technology played ever increasing roles. This article outlines these developments to pose a crucial question about their relationship to current composition pedagogy and argue that current curricula for composition study are trailing developments in composition substantially and that it is imperative to shift compositional computing more centrally within composition pedagogy to address this. Through a series of examples, the computational nature of modern compositional practice will be demonstrated. Tracing the causes that brought about serialism, this pitch organizational method's transformation from a structural tool, as used by Schoenberg and Webern, to a statistical one as well as a component of more complex algorithms will be exposed. Following this, examples of procedural and algorithmic works, specifically from composers who are not associated with computer music, will be explored. Additionally, the ways that electronic music have seeped into compositional techniques for acoustic music will be addressed. A cursory look at the role of technology in composition curricula at leading American conservatories will be offered to expose a misalignment with the developments outlined here. Finally, some counterarguments and potential chal-

lenges for the implementation of such a change in composition pedagogy will be examined.

The twilight of tonality and the complementary rise of hyper-chromatic and atonal music that occurred at the beginning of the last century brought about a crisis in European art music. This tradition had lost its skeletal system, so to speak, because tonal harmony, beyond being a pitch organizational system, infuses music with teleology and structure. This comes about through the departure from and return to a tonic, which reoccurs throughout a tonal work and defines phrases locally as well as form globally. Schoenberg seems to have been the composer who felt this loss most profoundly. Schoenberg's twelve-tone approach superseded his early atonal works, in part, because he could find no way to make atonal works that lasted more than a few minutes, aside from vocal works, which used text to create form and narrative. (Schoenberg 1984) In the absence of tonality, a replacement for this formal scaffolding was necessary. In Schoenberg's case, it was not simply the twelve-tone system but, more importantly, his isomorphic permutation strategies used within that system that offered that replacement. With these, pitch returned to a structurally relevant compositional component beyond the phrase level. (Haimo 1984) But Schoenberg was a very traditional composer; he did not deploy a twelve-tone matrix algorithmically, but instead, used it to create harmonic coherence and motivic material, allowing him to work like a 19th-century composer. It was only later composers who ceased to look to the row for this purpose.

Webern was a much greater influence on post-war composers due to the hermetic quality of his musical system. Put simply, everything fits together. In his serial works, rows map onto each other through the common trans-

formations of transposition, inversion, retrograde, and retrograde inversion. Aggregates break down nicely into 3 groups of tetrachords or 4 groups of trichords, and the form of a work articulates the design of the row.¹ (Stockhausen 1988) The hand found its glove, so to speak, a new skeletal system was born, and this was the future of music, as per the young composers at the Darmstadt Summer Courses in the late 1940s. With typical youthful verve, these young composers set off to serialize all musical elements. Boulez serialized rhythm and dynamic; Stockhausen attempted to serialize the overtone series and, hence, timbre. (Griffiths 2010)

While this story of serialism plays a substantial role in music history, it was short lived. Within a decade, the serialists were moving beyond serialism. It is arguable that the ramifications of this fervent pursuit to transcend and rethink serialism rather than the serial works themselves has had a vastly greater influence on composition over the last 70 years. What resulted was a shift in compositional thinking that stayed with post-war composers and stays with us today, namely, an increased role for statistical, procedural, and algorithmic approaches to composition.

Luigi Nono's lectures from the early Darmstadt courses outline the path to his break from familiar serial procedures. In his lecture from 1956 on the development of serial technique he begins by looking at the earlier serial works of Schoenberg, demonstrating the use of all permutations, for instance, in *Variations for Orchestra*, as a method for thematic development. Through Schoenberg's subsequent implementation of hexachordal combinatoriality, multiple rows could sound at the same time yet complete an aggregate of all 12 tones. This was a first step toward row consolidation. Webern's use of trichordal and tetrachordal permutation within the row was another step toward consolidating the permutations from the typical 48 to only 24. Finally, Nono argues that his use of the all-interval row makes retrogrades, inversions, and retrograde inversions unnecessary. (Nono 1975) In his lecture published under the title *The Development of Row Technique* from 1958, he states:

By developing the function of the twelve-tone row, which is no longer thematic, but only "row-like," the use of the four basic forms and their transpositions - which were important for thematic conceptualization - no longer seems necessary. It is sufficient to use two rows (typical for Webern) and finally a single row to derive from it the order of the intervals and further the whole compositional structure: the original row remains or is permuted. (Nono 1975)

The all-interval row is found in Nono's music by 1955 in works like *Il Canto Sospeso* and *Incontri*. He commonly composes with this row only partially, presenting segments, rather than complete cycles, of it. (Motz 1996) In

an interview with Enzo Restagno, Nono discusses his use of the all-interval series in his 1955 work *Incontri*:

It was not about a series, but instead a catalog of intervals that were constantly mixed up in *Incontri* by means of a procedure that I already called positive and negative at that time. The positive was the duration and the negative the pause that corresponded to this duration. The result was a game with the shifting of sound values, whereby the beginning and end of the sounds threw any serial mechanistic elements out the window. It was really fun for me to try out how elements that could be systematic were completely jumbled up. (Nono/Restagno 2004)

The description above applies equally to movements of *Il Canto Sospeso*. Both works are already no longer serial; the function of the row has changed in Nono's mind. It is no longer thought of as inherently structural or thematic. Instead, it guarantees something else, namely, a statistical distribution of interval content, with each interval having, in Nono's case, equal probability of appearing.

Stockhausen articulates the importance of statistical thinking for his compositional approach in articles written around the same time as Nono's *Il Canto Sospeso*. In "From Webern to Debussy: Comments on Statistical Form" from 1954, Stockhausen outlines the development of his compositional methods that grew out of serialism. Starting with his point music (*punktueller Musik*) in which "the largest formal unit was basically the individual note", he moved on to group composition (*Gruppenkomposition*) in which "group series correlate tones through higher-level, shared characteristics". But when composing with groups of sounds, Stockhausen argued, what often manifested was a phenomenon beyond the group's individual pitches and sounds. Through adjustments to the individual elements of the phenomenon, one can transform it. Stockhausen called this motion form (*Bewegungsform*) and realized that he could compose with it from a statistical perspective. The composer wrote:

Imagining statistical forms requires approximate definitions. It has to do with *degrees* of thickness or pitch groups; degrees of registers, of direction of motion, of speed, of speed change, average dynamics, dynamic change, timbre, and timbral mutation. When talking about statistical form, one uses character definitions like *average, primarily, considerably, generally, approximately*, and other similar descriptions. (Stockhausen 1988)

In a computer-assisted composition environment, statistical strategies are common. Such strategies utilize randomness. Built-in functions for randomization through various distribution functions, random walks, weighted probability along with those for interpolation and perturbation are standard. With such functions, one creates lines, transformational trajectories, and musical characters that *generally* behave a certain way. While Stockhausen never used these tools for his music, his article demonstrates a need for them. Hence, one can see that

already by 1954 a confluence between developments within composition and computing arises.

Other developments in serial technique move toward algorithmic composition. One composer who demonstrates this is Helmut Lachenmann who, like Nono, implements serialism in a loose fashion - so loose that it seems to not be present in his works. Nonetheless, as Luis Pena demonstrates in his analysis of *Mouvement (vor der Erstarrung)*, Lachenmann's serial procedures are complex and rigorous. They serve as a means of inspiration, creating pre-compositional scenarios that he responds to artistically. Rather than using the 4 common types of permutation, Lachenmann uses a permutational row to reorder successive rows. This is even used to generate a row that then undergoes the same permutational process, relying on index manipulation for row permutation. He applies the results to duration and pitch, employing an unorthodox, individual strategy to create what he calls a *Zeitnetz*, a scaffold-like structure that, through successive revisions, is partial wiped away. These serial procedures are employed to give the composer something to start with and react against while composing. Interestingly, Lachenmann seems to have little interest in the aural projection of the series. The rows and their processes are not meant to be heard; instead, they are a means to an end that is far beyond the series that started it all. Finally, it is worth noting that while completely algorithmic, Lachenmann did not compute his *Zeitnetz*; everything was done by hand. However, Pena demonstrates in his thesis on *Mouvement* the computability of Lachenmann's process by coding the entire procedure in OpenMusic. (Pena 2004)

The application of algorithm for musical design, however, is not unique to Lachenmann's work. It is, in fact, present in the creation of many modern works, even those not associated with computer music. Several examples are offered here.

Steve Reich's *Clapping Music* uses a single rhythm that is 12 beats long. One player simply repeats this, while the other rotates the rhythm by one beat after 12 repetitions. The work is complete when the two rhythms realign. This work is an example of Reich's phasing technique - it does not incorporate the phasing moments that one hears in works like *Piano Phase*, but the concept and design are the same.

Philip Glass's early work *1+1* provides another good example of simple algorithmic music. As is the case with *Clapping Music* for Reich, this piece is prototypical of Glass's other works from the same period. It is an indeterminate work for amplified table involving 2 rhythms. The performer chooses the number of repetitions for

each rhythm. Once each rhythm has been repeated the pre-determined number of times, the whole process is repeated but the number of repetitions either: 1) stays the same, 2) increases by 1, or 3) decreases by 1. The changes to the number of repetitions for one rhythm are independent of the other. A function that generates versions of this piece on the fly would be straightforward to code. It would take as arguments the initial number of repetitions for each rhythm and a value for the number of times the process is repeated. Changes to the number of repetitions could be determined by a random walk with a lower boundary set to 1 - each rhythm must happen at least once - and an upper boundary, perhaps determined by the user of the function or set to an arbitrary value like 10.²

John Cage appears in textbooks on the history of electronic music due to works like *Williams Mix*, *Imaginary Landscape No. 1*, and *HPSCHD*, created in collaboration with Lejaren Hiller, but in the field of algorithmic composition, he is not a substantial figure. Yet, few composers relied on algorithms for the creation of their work as much as Cage. Some of his algorithms are not easily coded. For instance, coloring imperfections on a sheet of music paper to determine notes is algorithmic but computationally complex. Yet, Cage is arguably most famous for tossing coins and rolling dice to determine parameters of his music. Cage was, therefore, a devoted user of Bernoulli trials, which are fundamental to probability theory and eminently codable. Furthermore, the composer Andrew Culver, working as Cage's assistant in the last decade of the composer's life, developed software that Cage used to create his *Europas 1 & 2*, the *Music for ...* series, and the time bracket pieces as well as his famous mesostics texts.³

First employed in 1976 in his work *Für Alina*, Arvo Pärt created a compositional system called tintinnabuli, derived from the Latin word for bell. Using a two-voice texture, one voice uses only the notes of a triad, and the other voice utilizes the diatonic scale of the triad's root. This second voice generally moves stepwise. In his book on Arvo Pärt, Paul Hillier outlines consistent compositional strategies for note selection in Pärt's tintinnabuli works. For instance, Pärt commonly writes passages so that the two voices alternate being the higher pitch. (Hillier 1997) An algorithm simulating Pärt's tintinnabuli technique is very feasible.

Finally, the work of György Ligeti is also often procedural and algorithmic. These are well known, so they will not be outlined here. The micropolyphony and transformational processes found in his works starting around 1960 offer good examples and have been frequently written about. Articles by Ligeti himself, Clendinning, and Roig-

Francolí are good starting points for more details on this. (Ligeti 1993, Clendinning 1993, Roig-Francolí 1995)

Each of the aforementioned composers is found in the history books dedicated to music of the 20th century. While they each represent a unique stylistic approach, algorithms can be utilized to computationally generate components of their music. In the hope of strengthening the argument of this essay, works by composers associated with algorithmic music, like Xenakis, have not been included in order to illustrate how pervasive computational thinking is in modern compositional practice.

In addition to increased influence of computational thinking in composition, discoveries in the field of electronic music also played a crucial role in shaping modern compositional approaches. By the 1950s, ideas from electronic music were already seeping into the world of acoustic music. Stockhausen's *Gruppen* from 1955 is a good example. The guiding metaphor for this work is the overtone series. Musical structures are imagined as magnified spectra. This is detailed in the composer's article *...wie die Zeit vergeht*. (Stockhausen 1988) Additive synthesis is at the heart of this work, which, in this regard, shares important traits with the composer's earlier electronic works, such as *Studie I* and *II*, which precede *Gruppen* by about 3 years. Related to this is spectralism, in which spectral analysis takes a central role in determining the harmonic nature of a composition. Two good examples are Tristan Murail's *Gondwana*, which determines its pitch constructions using spectral analysis of an FM synthesis routine that simulates a bell, and Gérard Grisey's *Partiels*, which uses the spectral analysis of an E pedal tone on trombone for its pitch material. (Fineberg 2000)

A seismic shift in compositional material also occurred in 1940s France with the introduction of *musique concrète*, which proposed that any recorded sound could be musical material, causing a profound shift in compositional possibilities. Perhaps a simple question can expose the size of this shift: how does one develop the sound of traffic motivically? This is, of course, impossible because motivic development presumes that an analysis of the motive will yield composable elements, i.e., the composer will learn something about the motive's interval content - pitch content, contour, note values, and ordering - and with that information, she can build a passage of music. A motive has an interior that is meaningful for traditional compositional technique; recorded sound often lacks this. Hence, an essential part of traditional compositional technique is no longer useful for works that utilize recorded sound as material. This was as much a conundrum for composers as the fall of tonality 40 years earlier. Here composers lost not just a formal means, they lost the means to move beyond the first sound of the piece.⁴ So-

lutions were various in the 20th century and include the Cageian approach of simply allowing any sound to exist next to any other - this had substantial ramifications on musical form in the 20th century - as well as a Schaefferian approach, in which timbre and envelope are considered. This latter approach even found its way into acoustic composition via Lachenmann's sound types of new music. (Lachenmann 1996)

In fact, Lachenmann's sound types - first articulated in 1969 as a provisional theory for thinking about the relationship between form, time, and sound - provide a link between Schaeffer's thinking about sound and Stockhausen's thinking about statistical form. While the sound types themselves resonate with Schaeffer's categorization of sounds, Lachenmann argues that, when composing with sound types, the sum should be more than the whole, that is, individual sound types should be combined into what he calls a structure sound (*Strukturklang*), and the excerpt given in his article to demonstrate structure sound is from Stockhausen's *Gruppen*, a work rich in statistical forms. (Lachenmann 1996)

We are far removed from the technology of the 1940s. The history of electronic instrument and music software development over the last 70 years is rich. What started with Schaeffer's recordings of locomotives has evolved into the ubiquity of the sample in both musical and virtual instrument design. Software tools for sound generation and music composition are readily available and affordable, if not free. Most people in developed countries have a computer with them at all times. This is the world that current music composition students know.

As a discipline evolves so, too, does its pedagogy. Curricula are revised; textbooks are edited. Given the history just outlined and the current state of technological development, the training of modern composers would sensibly incorporate teaching computational approaches to composition along with electronic sound creation and spectral analysis. For such a training, the computer seems an essential tool because it can serve as an assistant for these compositional tasks. It is reasonable, then, to look at the situation this way: as a tool, the computer is to modern composition what the piano is to traditional composition.

Yet, current composition pedagogy is far behind its subject's evolution. In a survey of 10 leading American conservatories, it was observed that curricular requirements for most bachelor's degrees in composition require only 1-2 introductory courses in electronic and computer music. Some have no requirement for this area. Instead, elective courses, possibly leading to a specialization, serve to permit interested students to explore the fields

of electronic and computer music. Moreover, no institution surveyed integrates teaching CAC into its composition degree requirements to train students to utilize computing for the development of their compositions. Yet almost all still require keyboard skills and piano proficiency exams, ostensibly because the piano is a tool for composition.⁵

Hence, a proposal for placing computing more centrally in a composition degree is a paradigm shift, and with that will come consternation and protests. One might counterargue, for instance, that the examples chosen in this article are mostly from composers who did not use computers to create their works. Clearly, the computer is unnecessary for composing such music. In reply, one could point out that the examples offered were written before personal computers were commonplace. It is worthwhile speculating whether the composers would have used computers and CAC software, if they had been available. What if they had learned coding while studying composition? It is arguable that in some cases they would have utilized these tools.

Another counterargument: outside of using music notation software, most current composition faculty members do not use computers to compose. The response to the first counterargument is a good place to start a reply to this one. Additionally, different composers have different preferred working methods; some take great pleasure in composing by hand. The familiarity of the working method can trump any advantages of speed and accuracy offered by coding. There are many composers today who could be described as modern traditional composers; they use modern harmonic practices, but nonetheless still write melodic-harmonic music. Some composers have greater interest in political aspects of music, post-modern reference, or popular styles. For these composers, computer-aided composition might hold little interest. But neither the technical limitations of the past, which shaped the education of current composition faculty, nor the aesthetic direction of major study instructors should be inhibitors to curricular reform designed to train the next generation of composers. Instead, instructors should enter and build off of their students' world – one that has always been highly technical, where the internet has always existed, and in which computational thinking increasingly plays a role in their pre-university education. This world should influence not only how one composes but also how composition is taught.

One last counterargument: algorithmizing music where it is possible to do so is not just an issue of practicality and efficiency, it is an aesthetic issue. For instance, generating Glass's *1+1* using code may produce a valid realiza-

tion of the work, but it is not the same as improvising the work. This is an important point that exposes a crucial decision that each young composer should be encouraged to make today – an issue that was irrelevant for most composers just a generation ago – namely: where does a composer situate computing into his or her compositional method? Many composers from a generation ago lacked machines and software for computer-assisted composition. They never arrived at the point where they needed to decide how extensive the role of computing would play in their compositional process. The next generation of composers – almost all of whom arrive at university with a laptop that is faster than the supercomputers from their teachers' generation – should be given the chance to decide this for themselves because computing environments, beyond being compositional assistants, are experimental spaces for composition. For example, one could evaluate the code for a passage of music for string quartet in which there is a 9:1 ratio in the probability of high notes and low notes. If, after evaluating her program, the composer decides there are too many low notes, then she can experiment with a different ratio. Every variable in a function becomes a place to tweak outcomes until the musical result is what the composer desires. This can have enormous value when realizing musical ideas. Hence, environments like Max, OpenMusic, OpusModus, SuperCollider, and others are more than just computer music environments: they are creative, interactive spaces for exploration in sound and composition. As such, they hold potential value for the creative process of all composers, not solely those interested in computer music.

If computing moves toward the center of compositional pedagogy, then a few changes will be needed in a composition curriculum. First, the dividing line between a degree in composition and one in computer music will need to be redrawn. To study composition will inherently mean, in part, studying computer music. So, how will these fields distinguish themselves? Second, 1-2 mandatory introductory courses on electro-acoustic music will not suffice for adequate training in the necessary tools for electronic and computer music. A richer set of courses will be needed, yet this will likely mean that other subjects will need to be removed from the mandatory course list. The loss of mandatory courses in a major always stirs up heated debate. What should go? What is less worthy than courses in computer music, a subject that many major study instructors may already feel is not worthy of being mandatory in the first place? Finally, major study instructors will need support in supporting their students. When composing with Max, for instance, designing a patch is part of the compositional process. If instructors are unfamiliar with the environment, then

they will have difficulty assisting students with both the technical and the artistic problems encountered. Perhaps a full-time assistant for Max and Lisp troubleshooting will be required, perhaps team-teaching is a solution.

What do the necessary curricular revisions look like? This article will not attempt a full answer because, just as composition curricula at different institutions are all different from each other to various degrees, there is no single solution. One possibility though could be a computing equivalent of keyboard skills for composers, which teaches the skill of “compositional computing”, including basic programming for the permutation of lists or arrays of values, working statistically with randomness, designing algorithms for musical generation as well as hands-on experience with processing recorded sound and carrying out spectral analysis – in effect, teaching the things shown in here to be part of the history of compositional technique. Yet, ultimately, the aim of this article is simply to provoke reconsideration of what is broadly presumed to be the necessary core curriculum of a bachelor’s in music composition. Hence, may the article lead at first to confusion, consternation, protest, and feuds, yet in the end to a modern composition pedagogy that truly embraces the present state of music composition and technology.

References

- Clendinning, J. P. (1993). The Pattern-Meccanico Compositions of György Ligeti. In *Perspectives of New Music* 31/1: 192-234.
- Fineberg, J. (2000). Guide to the basic concepts and techniques of spectral music. In *Contemporary Music Review* 19/2: 81-113.
- Griffiths, P. (2010). *Modern Music and Beyond*. New York: Oxford University Press.
- Haimo, E. (1984). Isomorphic Partitioning and Schoenberg’s “Fourth String Quartet”. In *Journal of Music Theory* 28/1: 47-72.
- Hillier, Paul. (1997). *Arvo Pärt*. Oxford: Oxford University Press.
- Lachenmann, Helmut. (1996). *Musik als existentielle Erfahrung: Schriften 1966-1995*. Wiesbaden: Breitkopf & Härel.
- Ligeti, G./ Bernard, J. W. (1993). States, Events, Transformations. In *Perspectives of New Music* 30/1: 164-171.
- Motz, Wolfgang. (1996). *Konstruktion und Ausdruck: Analytische Betrachtungen zu „Il Canto sospeso“ (1955/56) von Luigi Nono*. Saarbrücken: Pfau Verlag.
- Nono, L./ Stenzl, J. (1975). *Texte, Studien zu seiner Musik*. Zürich: Atlantis.
- Nono, L./ Restagno, E. (2004). *Incontri – Luigi Nono: im Gespräch mit Enzo Restagno*. Hofheim am Taunus, Germany: Wolke Verlag.
- Pena, Luís Antunes. (2004). *Helmut Lachenmanns Musik: im Spannungsfeld zwischen Automatismus und Subjektivismus am Beispiele von Mouvement (- vor der Erstarrung)*. <https://icem-www.folkwang-uni.de/icem-web/luis-antunes-pena-helmut-lachenmanns-musik-im-spannungsfeld-zwischen-automatismus-und-subjektivismus-am-beispiel-von-mouvement-vor-der-erstarrung/>
- Roig-Francolí, M. A. (1995). Harmonic and Formal Processes in Ligeti’s Net-Structure Compositions. In *Music Theory Spectrum* 17/2: 242-267.
- Schoenberg, Arnold. (1984). *Style and Idea*. Berkley: University of California Press.
- Stockhausen, Karlheinz. (1988). *Texte zur elektronischen und instrumentalen Musik 1*. Cologne: DuMont Buchverlag.

¹ To demonstrate this point, read Stockhausen’s analysis of Webern’s Concerto for 9 Instruments, op. 24, in which he analyzes the first movement. This can be found in the cited text. One not only sees one way that Webern works with row segmentation but also how important this is to the author and, hence, how influential it was on his musical thinking.

² Glass’s work could be simulated with other algorithms, provided they follow the rules of the piece. Random walk is, however, an obvious strategy.

³ The software can be downloaded for free at the following website: <https://www.anarchicharmony.org/People/Culver/CagePrograms.html>

⁴ A similar conundrum arose with other 20th-century inventions like multi-percussion music and extended technique, both firmly part of compositional practice today.

⁵ The data for the survey was collected by reviewing course catalogues and degree requirements at the following institutions: The Juilliard School, Northwestern University, Curtis Institute of Music, Boston Conservatory, Oberlin Conservatory, Manhattan School of Music, San Francisco Conservatory, Shepherd School of Music, Cleveland Institute of Music, and Jacobs School of Music. These schools were chosen randomly but with an awareness of their very strong reputations. The aim here is not to shame them. Instead, such reputable schools serve as models for benchmarking exercises at other institutions, and hence their curriculum has greater potential to influence curricular developments at other institutions than that of a small, perhaps more radical institution that might offer the kind of curriculum the author is proposing.

[Abstract in Korean | 국문 요약]

컴퓨팅을 작곡 교육의 보다 중심에 놓기: 논거

피터 이반 에드워즈

이 글은 쇠베르크의 음악을 시작으로 통계적이거나 절차상의, 알고리즘적 기술을 통합하는 전략이 증가한 것과 전자음악이 기악음악을 작곡하는 기술에 끼친 영향력까지 작곡 테크닉의 발전상을 간략히 보여준다. 미국의 대표적인 음악원에서 사용되는 작곡 전공 과정에서 테크놀로지의 역할을 대략 살펴보고, 이 글에 기술된 발전상과 불일치하는 지점도 살펴본다. 이를 통해, 저자는 작곡과의 학과 과정이 실질적인 작곡 기술의 발전상에 뒤처져 있으며, 이를 해결하기 위해서는 작곡 교육에서 작곡 컴퓨팅을 보다 중심으로 전환하는 것이 필수적임을 주장한다. 이러한 작곡 교육에서의 변화를 실현하기 위한 반론과 잠재적 도전 과제를 역설하며 이 논문은 끝맺는다.

주제어: 컴퓨팅 작곡, 작곡 페다고지, 알고리드믹 작곡, 컴퓨터음악도구.

논문투고일: 2022년 09월30일

논문심사일: 2022년 11월23일, 11월30일

게재확정일: 2022년 12월15일

Computer Aided Composition, Timbral Synthesis, & Electro-Acoustic Super-Instruments: An Exploration of Heaviness in Electro-Acoustic Chamber Music

Nolan Hildebrand

Department of Music Composition, Doctoral
Programme, University of Toronto, Canada
Nolanahildebrand [at] gmail.com
<https://nolanahildebrand.wixsite.com/mysite>

In his article 'Reigen seliger Geister' (On My Second String Quartet) (2004), Helmut Lachenmann used the term super-instrument to describe moments in his work where the string quartet is treated homophonically as a single "16-stringed sonic mechanism" (p. 62). In my Masters Thesis composition "Tripping In The Horror Vacui" for amplified violin, amplified cello, and amplified piano with electronics, Lachenmann's idea of the super-instrument is extended with digital music technology and electro-acoustic tools such as computer aided composition, timbral synthesis, live processing, and multichannel spatialization. By utilizing computer aided composition, the composer/author derived pitch information from noisy samples of raw data sonifications used in the work's fixed media/"tape track". This pitch material derived from the raw data sonifications in the fixed media is then mapped to the performer's instrumental writing to create homophonic textures. The material between the performers and the fixed media is then synthesized in the performance space with either a stereo or 7.1 multichannel speaker setup to create a huge and distorted electro-acoustic super-instrument. In *Tripping In The Horror Vacui*, these larger-than-life electro-acoustic super-instruments embody a maximalist aesthetic to create a heavy and sublime experience that overwhelms the audience through metal music tropes, density, intensity, and amplitude.

Keywords: Electro-Acoustic, Super-Instruments, Computer Aided Composition, Timbral Synthesis, Multichannel Spatialization, Noise Music, Metal Music

In his article '*Reigen seliger Geister*' (On My Second String Quartet), Helmut Lachenmann uses the term super-instrument to describe the orchestral technique of combining multiple instrumental voices into a single sonic entity. This orchestral technique has been explored by composers throughout the 20-21st Century. In Louis Andriessen's *Worker's Union* (1975) "everybody (the performer's/ensemble) plays in unison throughout: one voice united in delivering the same emphatic message unified in their intent" (Philip, 2020). When analyzing Unsuk Chin's *Double Concerto*, Jong Eun Lee states that Chin "is more concerned with melding the timbres of the percussion and piano soloists, along with that of the ensemble into a composite 'super instrument'— or, as she designated it recently, a 'hyper-instrument'—than she is with creating a vehicle for virtuosity of the soloists" (2014, pp. 3). Greenberg (2017) describes a similar effect in Chaya Czerowin's work *Sahaf* (2017) which features a climax where the ensemble becomes an enlarged ratchet via this same orchestration technique.

The possibilities for creating electro-acoustic super-instruments are endless as can be seen by the instruments showcased at conferences like New Interfaces for Music Expression (NIME) and National Association of Music Merchants (NAMM). For example, Tod Machover creates what he refers to as hyper-instruments through the augmentation of acoustic instruments with digital extensions to "give extra power and finesse to virtuosic performers" via live electronic processing (Machover n.d.). Other examples can be seen in more commercialized instruments like Re.Corder and the Akai Electronic Wind Instrument (EWI). Although Kallionpää and Gasselstedt initially state that live electronic processing dis-

tinguishes "a true super instrument from other situations where a fixed media background is being used" (2015: 2) they settle on a broader definition: "a super instrument, or a super instrument composition, should be defined as an entity in which all the instrumental lines or computer-generated features complete each other in a manner which does not allow them to form separate identities, but to form an organic unity with its own congruent identity" (2015: 7). This definition together with Lachenmann's conception of the super-instrument as an orchestral technique forms the basis of how I conceived of the electro-acoustic super-instruments in my Masters Thesis work *Tripping In The Horror Vacui* (2022).

Tripping In The Horror Vacui (2022) is a piece for amplified violin, amplified cello, and amplified piano with electronics (stereo or 7.1 multichannel speaker set up) that explores the concepts and aesthetics of heaviness. Here, heaviness relates to the composer's interest in contemporary metal music, noise music, and both acoustic and electroacoustic experimental/avant-garde concert music. In this work, heaviness is manifested musically through electro-acoustic super-instruments, noise masses, crushing drones, and complex metal inspired riffs and rhythms.

Heaviness

Heaviness in music means many things to different people. It can be used to refer to the literal material of the music as well as the metaphorical expressive elements of the music. *Tripping In The Horror Vacui* seeks to explore "the material references of 'heavy' timbres" and the idea that "heaviness is the music's perceived size, weight and

density” (Hannan 2018: 9). Calder Hannan connects rhythmic complexity to heaviness as well as the idea that “compositional choices (not just timbral or textural choices, and beyond surface-level, melodic and harmonic ones) can contribute to heaviness by enacting metaphors for both the material and the expressive dimensions of ‘heaviness’” (2018: 10). Finally, heaviness is maximized through a metal music and noise music aesthetic.

The idea of heaviness as a music’s perceived size, weight, and density lends itself well to theories on excess, maximalism, and Kant’s aesthetic philosophy on the sublime (Demers 2010). When discussing maximalist noise and drone music, Joanna Demers states that “sublime objects are impossible to encase within a frame because of their sheer scale. They inspire within the viewer a sober respect of awe that Kant describes as a ‘negative pleasure,’ whereas beautiful objects elicit unambiguous pleasure thanks to their adherence to perfect, universally recognizable forms” (2010: 12). The work achieves this metaphorical heaviness through the creation of huge and sublime electro-acoustic super-instruments.

Working Methods

When beginning *Tripping In The Horror Vacui*, I took a “sound up” compositional approach that began by layering sounds and improvising in the studio. This writing process brought forth the form, gestures, melodic material, spectromorphological changes, and heavy timbres

that were injected into the written parts for the performers and their amplified instruments. Because much of the groundwork for the piece was created through improvisation in the studio, and because I would add to the music sequentially, the generated form was intuitive and through-composed.

The starting point for the instrumental writing began with superimposing a harmonic scheme to ground the fixed media. The fixed media does not adhere to any harmonic scheme and is more freely composed in terms of melodic and harmonic material (see Figure 1.). I chose to start the harmonic scheme on C because the first electronic gesture I created consisted of a low C drone and I wanted to pair this sound with the sound of bowing the string wrapping of the cello. New pitches are gradually introduced until the final section when all pitches are available to the performers. The black line around the MIDI roll is a tracing of the performer’s written pitches which illustrates the tessitura of the harmonic scheme and how harmonic width is being utilized throughout the work. Inspired by maximalist composers like Varese and Penderecki, I composed the music in large chunks which can be seen in figure 1 below.

Electronics

The electronic components of *Tripping In The Horror Vacui* consist of a fixed media track that the performer

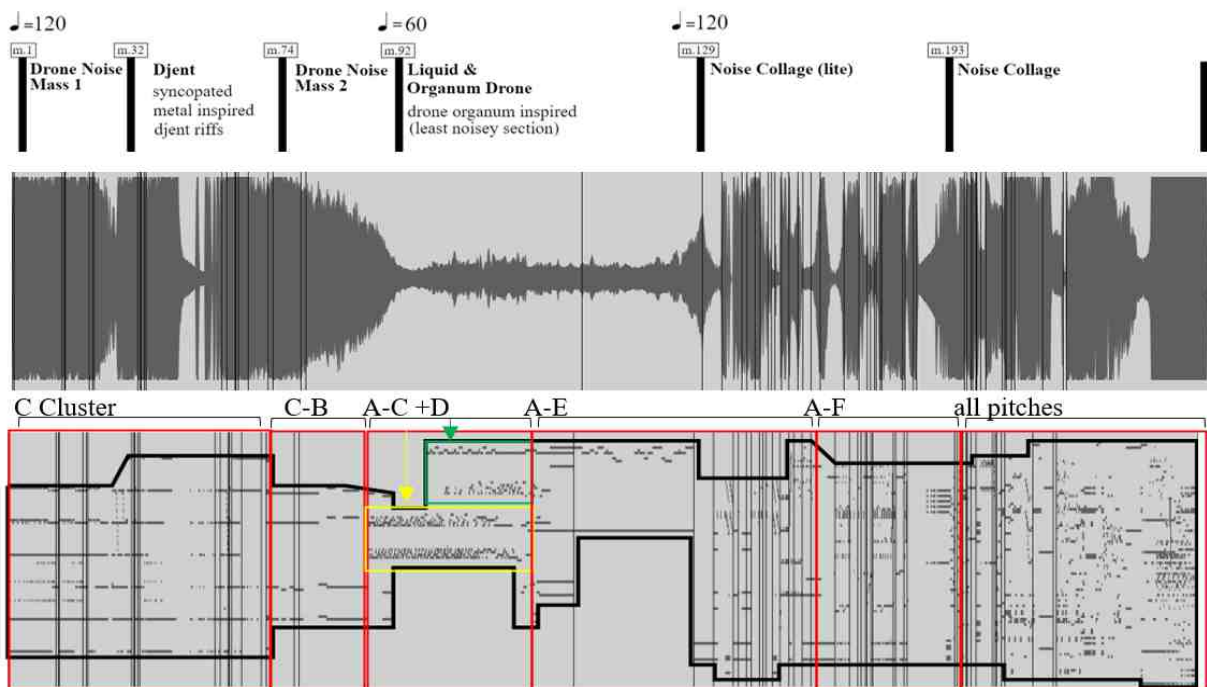


Figure 1. Formal Diagram of *Tripping In The Horror Vacui* (from top: section titles, waveform of performance recording, the progression from two pitches to all pitches, and MIDI roll of the performers written pitches.

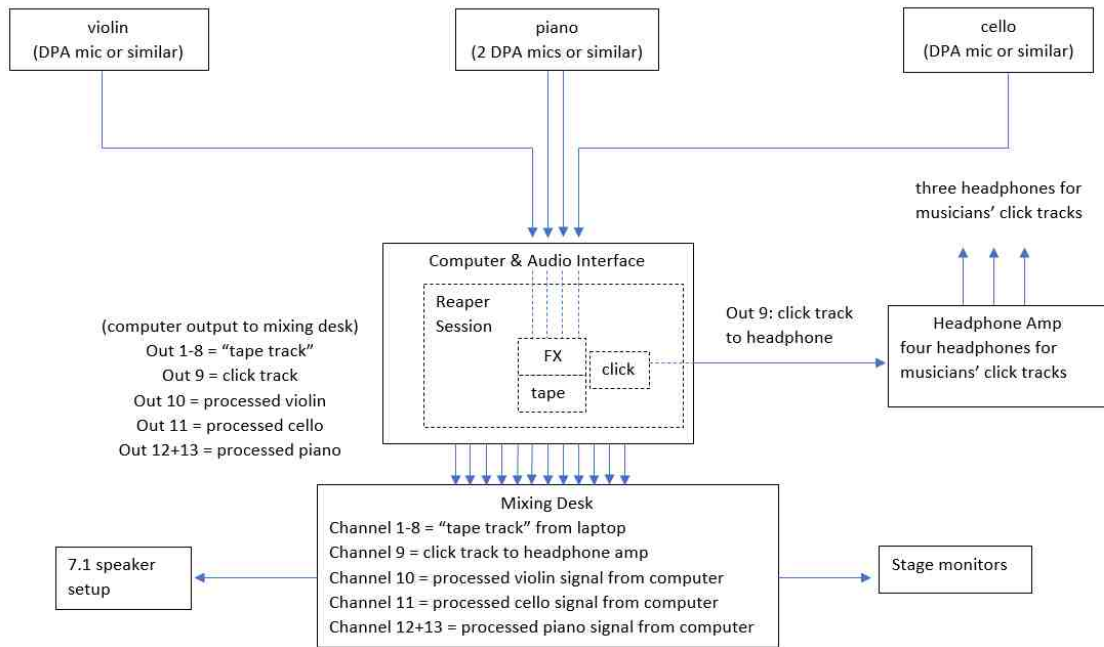


Figure 2. Electronics signal flow patch for *Tripping In The Horror Vacui*

synchronize with via a click track as well as amplified violin, cello, and piano that are processed with distortion, delay, and reverb using stock plug-ins in the Digital Audio Workstation (DAW), Reaper (see Figure 2). Using stock plug-ins will ideally create a work with accessible electronics. This processing is automated so that it starts, stops, and evolves in conjunction with the fixed media without the need for triggering by the performer. The fixed media and click track are also handled in the same Reaper session as the live automated processing. The textures in the fixed media combined with the amplified and processed instruments and the spatialized gestures creates convincing electro-acoustic ensemble that is powerful and musically expressive.

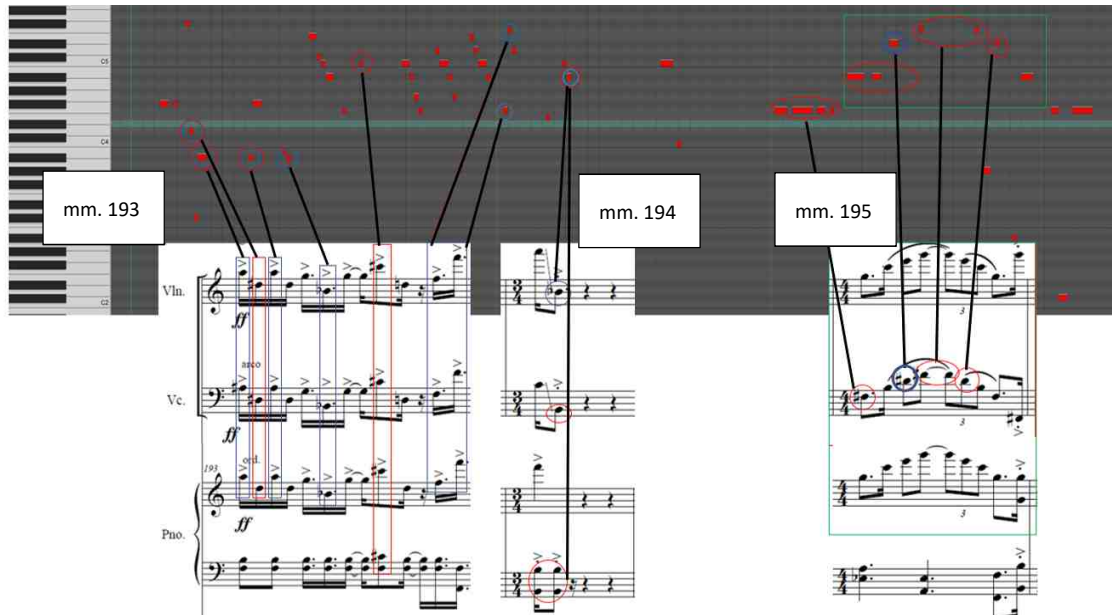
Computer Aided Composition

For the climax of *Tripping In The Horror Vacui*, I used various samples of noisy raw data sonifications that are arranged together to create a *Noise Collage* (the final sections title). Raw data sonification (also sometimes referred to as data bending) "is the use of representations of data through sound, involving a mapping process into the aural realm" (EARS 2020). To create the performer's written music for the *Noise Collage* section, I used simple computer aided composition in Reaper. With Reaper's "record MIDI output mode", I was able to extract pitch information from the raw data sonifications and record it in the form of MIDI information. This pitch material extracted from the raw data sonifications in the fixed me-

dia is then doubled in the performer's instrumental writing to create massive electro-acoustic super-instruments.

When extracting the MIDI information, the pitched material in the raw data sonification moves very quickly, is extremely complex, and often is unplayable by humans. To create a convincing electro-acoustic super-instrument, I manually quantized some of the melodic gestures from the raw data sonification samples to the click track grid to make the instrumental writing rhythmically feasible for the performers. Samples that were not fixed to the grid created a more compositionally free scenario where I would pick and choose the notes and rhythmic structures that were most important and could most easily be transferred to the instrumental writing. This allows space to create melodic material that while taken from the raw data sonification is not a direct transcription.

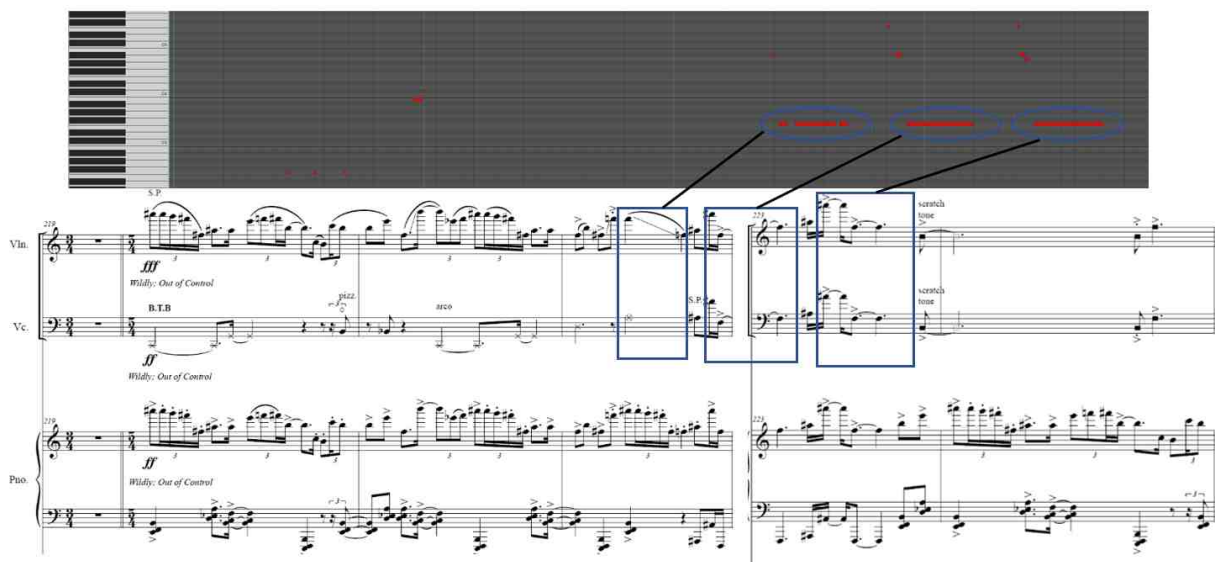
Figure 3 shows the MIDI information that was extracted from three different raw data sonification samples, each lasting roughly one measure (mm. 193-195). The blue circles denote pitches that are direct transpositions from the raw data sonifications while the red circles denote pitches that are harmonized (usually in 2nds) against the MIDI information derived from the raw data sonification (notes with both blue and red circles indicate a direct transposition as well as a harmonized note). The green rectangle around the MIDI information used in mm. 195 is an example of a pitched gesture in the raw data sonification that has a clearer and simpler melodic motif with less notes making it easily playable by the performers.



Figure/Sound 3. MIDI roll of pitches extracted from raw data sonification and mapped to the instrumental writing (mm.193-195).

Figure 4 (mm. 219-224) shows a raw data sonification where the only real distinguishable MIDI information comes at the end of the gesture (F5 in blue circles and squares) despite the audio from the raw data sonifications being full of pitched material. Because the pitched information is moving too fast and sporadically, the computer assisted composition tools used to extract the MIDI information only gathers approximately 5% of the actual pitched content in the raw data sonification samples. In this situation I took a more traditional transcription approach and listened to the sample and analysed the audio file waveforms to compose gestures that matched the raw data sonification sample in a convincing way.

Although there are far more advanced computer assisted composition tools available like OpenMusic (<https://openmusic-project.github.io/>) and Orchidea (<http://www.orch-idea.org/>) that can automatically orchestrate sound files, because the pitched material in the raw data sonification samples is so fast and complex, these programs would have still likely produced unplayable results. Therefore, the simple and flexible workflow of the “record MIDI out function” was preferable because of the orchestral freedom it allowed. Using the MIDI information derived from the raw data sonification melodic gestures illustrates a new and exciting way to create electro-acoustic super-instruments. Taking this



Figure/Sound 4. MIDI roll of pitches extracted from raw data sonification and mapped to the instrumental writing (mm.219-224)

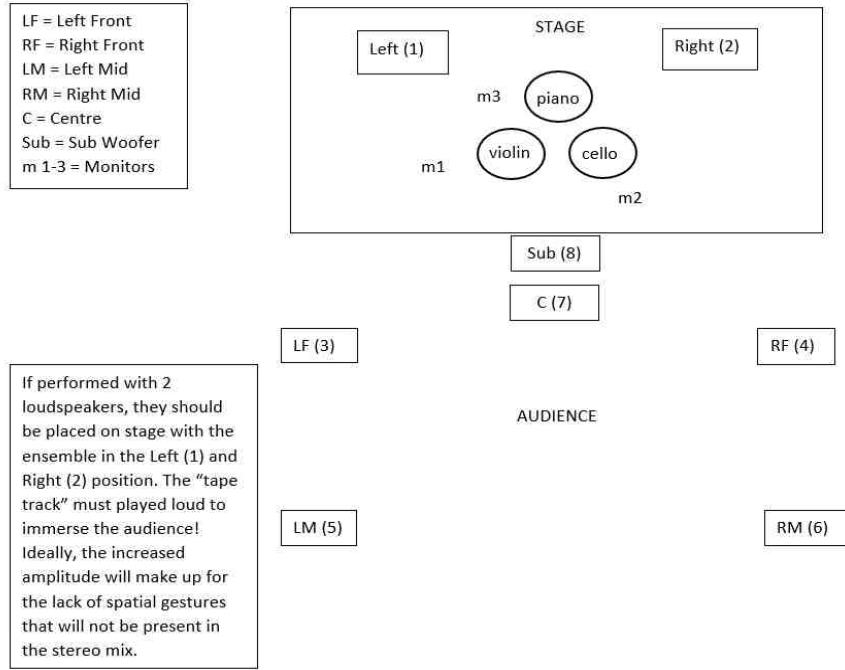


Figure 5. 7.1 speaker set up diagram

“sound-up” approach to composing for electro-acoustic ensemble where the synthesis of electronic and acoustic sounds becomes one giant composite gestalt is an almost constant presence throughout the work and contributes greatly to the perceived heavy aesthetic.

Source Bonding and Timbral Synthesis

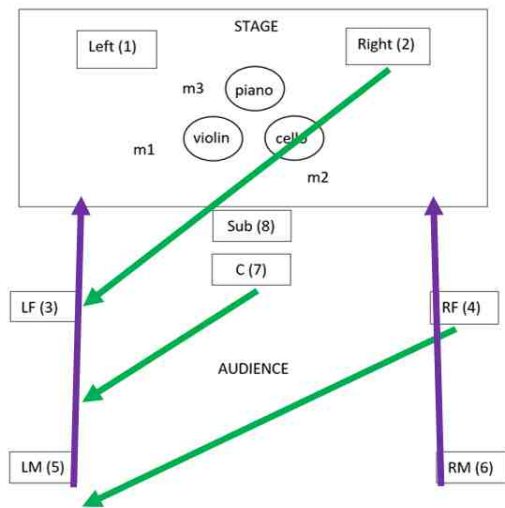
In *Tripping In The Horror Vacui*, the violin, cello and piano are all amplified and processed with distortion, delay, and reverb throughout the piece to bring the instrument’s timbres to the same plane as the fixed media. In the 7.1 speaker setup (see Figure 5), using the three front speakers (Left, Centre, and Right) onstage and behind the

performers as localized sources for their amplification and processing creates a more convincing electro-acoustic super-instrument. The fixed media is therefore the main vehicle for the spatialized gestures in the multi-channel set up. When played through the loudspeakers in a performance space, the live processing of the acoustic instruments and the fixed media fuse together via “source bonding” (Smalley 1994) where listeners group the fixed and live sounds because they are emitting from the same sound source. This source bonding is amplified through the use of the homophonic textures between the electronic and acoustic voices.

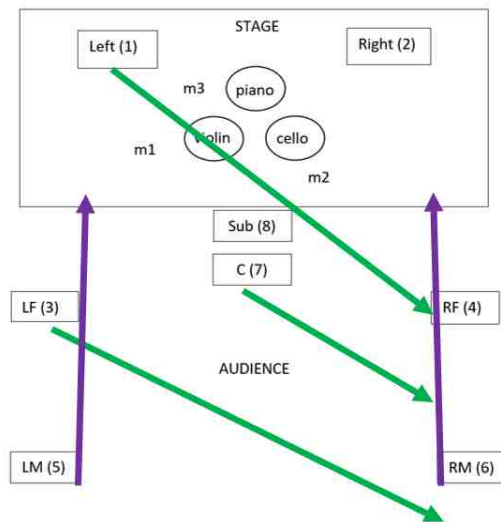
C
Djent
heavy, mechanistic, and intense

Djent
 (synchronized)

Figure/Sound 6. Beginning of Djent section



Figure/Sound 7. Spatialization pattern for the first drone gesture in the opening section *Drone Noise Mass*



Figure/Sound 8. Spatialization pattern for the second drone gesture in the opening section *Drone Noise Mass*

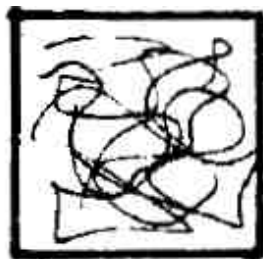
For example, the second section of the work is based on the metal style known as Djent which is characterized by rhythmic complexity, and distorted low tuned guitars (Bowcott 2011). This section was created using similar rhythmic complexity and samples of distorted electric guitar which operates as the most recognizable signifier of heaviness in Djent and metal music. During this section all the live instruments are distorted with the Reaper plugin WaveForm Distortion and the ReaXComp compressor plugin synthesizing their timbres with the guitar samples in the fixed media. Both the live and fixed elements play a C microtonal cluster to create a massive electro-acoustic super-instrument playing heavy unison gestures that showcases rhythmically difficult playing as can be seen in Figure 6. As Hannan states “rhythmic difficulty enhances ‘heaviness’ through various enactments of sonic metaphors for size, weight, density, power” (2018: 4).

Spatialization

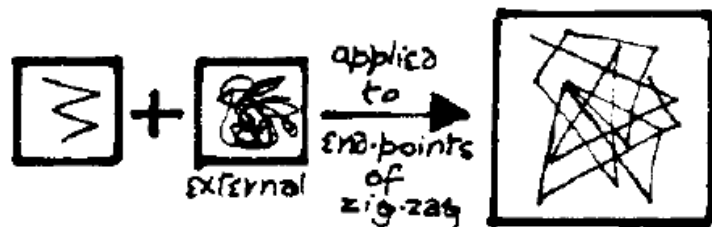
The piece is written for either a stereo speaker set up or 7.1 speaker setup. The intention of this speaker setup is

to ideally subsume and overwhelm the audience with sound. Because much of *Tripping In The Horror Vacui* is an exploration in heaviness and density through difficult unison rhythms I had to find ways to create interesting, spatialized gestures without losing the clarity and precision of the music.

In the opening section, *Drone Noise Mass*, the spatialization can be heard in tension and release of noise with a sweeping raw data sonification and inharmonicity with high sine tones with slow wide vibrato. In this opening section there are three large drone noise gestures. In the first gesture a raw data sonification sample moves from the Centre (7), Right (2) and Right Front (4) speakers diagonally and back into the Left Front (3) and Left Mid (5) speaker (see Figure 7.) This spatialized movement makes it feel as though something is flying over the listener from front to back, receding, and fading away. As the raw data sonification gesture ends it dovetails with the high sine tones which crescendo from the Right Mid (5) and Left Mid (6) speakers straight across the speaker array to the Centre (7), Left (1), and Right (2) speakers.



Figure/Sound 9. Unlocalized spatialization pattern from *On Sonic Art*



Figure/Sound 10. Unlocalized zig-zag pattern from *On Sonic Art*

The second drone noise mass gesture (see Figure 8.) uses the same spatialization but begins and ends on opposite sides beginning in the Centre (7), Left (1), and Left Front (3) speakers before moving back diagonally to the Right Front (4) and Right Mid (6) speakers. On the third drone noise mass gesture of the opening section, the raw data sonification sample disappears and listeners are left with transient clicks and snaps that swirl and bounce around the listener in an irregular unlocalized motion inspired by Trevor Wishart's diagram from *On Sonic Art* (1996) (see Figure 9).

The Djent section is an example of a section that requires precise rhythmic unison and homophonic textures to create an electro-acoustic super-instrument. More overt spatialization can be heard in the 8-bit "sound effects" in the fixed media which jump randomly from speaker to speaker.

At the climax and subsequent ending of the Djent section, arpeggiated 8-bit samples, processed oboe and recorder play quick 16th note rhythms (which are being imitated by the pianist's right hand) that are spatialized in rapid circular and back and forth motions to create an overwhelming flurry of jittering high frequency pitches. Both these spatialization gestures were inspired by Wishart's diagram for "irregular zigzag motion" (see Figure 10).

During the final *Noise Collage* section there is even jumpier and faster irregular zigzag spatialized gestures in the fixed media. The different short melodic fragments present a situation that lends itself well to this type of unpredictable ping ponging around the space.

Conclusion

Electro-acoustic super-instruments can be achieved in a variety of ways. In this paper, I have illustrated how I use the more traditional acoustic orchestral techniques of creating a super-instrument combined with electro-acoustic tools and digital media to create a convincing electro-acoustic super-instrument in my work *Tripping In The Horror Vacui*. Electro-acoustic super-instruments offer the potential for further research and research creation projects focused on electro-acoustic techniques like timbral synthesis.

Further directions include a commission from the University of Toronto's TaPIR Lab to compose a new work for percussion sextet and multichannel electronics. This work will be a more concise exploration of an electro-acoustic super-instrument that exclusively uses the computer aided composition technique of extracting melodic and rhythmic gestures from samples of raw data sonifications.

References

- Bowcott, Nick. (2011). "Meshuggah Share the Secrets of Their Sound". *Guitar World*. Future, U.S.A.
- Demers, Joanna. (2010). *Listening through the Noise*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195387650.001.0001>.
- Greenberg, J. (2017, September 11). "an enlarged Ratchet". International Contemporary Ensemble. <https://iceorg.org/blog/2017/5/15/an-enlarged-ratchet>
- Hannan, Calder. (2018). "Difficulty as Heaviness: Links between Rhythmic Difficulty and Perceived Heaviness in the Music of Meshuggah and The Dillinger Escape Plan." *Metal Music Studies* 4/ 3: 433-58. https://doi.org/10.1386/mms.4.3.433_1.
- Kallionpää, Maria and Hans-Pete Gasselseder. (2015). *Creating a Super Instrument: Composers and Pianists Reaching Beyond Their Technical and Expressive Capabilities*. In Proceedings of the Audio Mostly. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 20, 1-7.
- Lachenmann, Helmut. (2004). On My Second String Quartet ('Reigenseliger Geister')1, *Contemporary Music Review*, 23:3-4, 59-79, DOI: 10.1080/0749445042000285681.
- Lee, Eun Jong. 2014. *Inside the Hyper-Instrument: Unsik Chin's Double Concerto*. DMA diss. University of Washington.
- Machover, Todd. (n.d.). Hyperinstruments. Retrieved September 25, 2022, from <https://opera.media.mit.edu/projects/hyperinstruments.html>
- NAMM. NAMM.org. (n.d.). Retrieved September 26, 2022, from <https://www.namm.org/>
- NIME conference. (n.d.). *The International Conference on new interfaces for musical expression*. NIME. Retrieved September 26, 2022, from <https://www.nime.org/>
- OpenMusic. (n.d.). Retrieved September 26, 2022, from <https://openmusic-project.github.io/>
- [orchidea]. Orchidea. (n.d.). Retrieved September 26, 2022, from <http://www.orch-idea.org/>
- Philip, C. (2020). *Listening guide: Louis Andriessen's Workers Union*. London Sinfonietta. Retrieved September 25, 2022, from <https://londonsinfonietta.org.uk/channel/articles/listening-guide-louis-andriessens-workers-union>
- Sonification. EARS ElectroAcoustic Resource Site. (n.d.). Retrieved September 29, 2022, from <http://ears.humanum.fr/b0a23692-753f-48bf-94d4-d1f378c51e3c.html>
- Smalley, Denis (1994). *Defining Timbre, Refining Timbre*. *Contemporary Music Review* 10, Part 2. London: Harwood Academic Publishers.)
- Wishart, Trevor. (1996). *On Sonic Art*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.

[Abstract in Korean | 국문 요약]

작곡, 음색적 합성, 전자음향 수퍼악기: 전자음향 실내음악에서 무게감 탐구

놀란 힐데브란트

그의 글 '축복받은 영혼의 꿈(나의 두번째 현악사중주에 대하여)'에서, 헬무트 라헨만Helmuth Lachenmann은 수퍼악기 super-instrument라는 용어로 현악사중주 작업을 하나의 "16현의 소리 시스템"으로서 화성적으로 다루는 순간을 묘사하였다 (p.62). 저자는 자신의 석사논문 작품, 증폭 바이올린과 증폭 첼로, 증폭된 피아노와 전자음향을 위한 "공간공포에 걸려 넘어짐"에서, 수퍼악기라는 라헨만의 아이디어를 컴퓨터지원 작곡, 음색 합성, 라이브 처리, 다채널 공간화와 같은 디지털 음악 기술과 전자 음향 도구를 통해 확장하였다. 컴퓨터지원 작곡 방법을 활용함으로써, 작곡가/저자는 작품의 고정매체/"테잎 트랙"에 쓰인 기본 자료를 소리데이터화하고 이 노이즈 샘플로부터 음고 정보를 도출하였다. 이렇게 고정매체에서 원본 그대로를 음향 데이터화하여 추출한 음고는, 연주자의 악기를 위한 기록으로 연결되고 화성적 짜임새를 구성하게 된다. 연주자와 고정매체 사이의 자료는 스테레오나 7.1다채널 스피커가 설치된 연주 공간에서 합성되어 하나의 거대하고 뒤들린 전자음향 수퍼악기를 탄생시킨다. "공간공포에 걸려 넘어짐"에서 이렇게 실제보다 큰 전자음향 수퍼악기가 메탈음악적 형상, 밀도와 강도, 진폭을 통하여 청중을 압도하는 무겁고 장엄한 경험을 선사하며 극대적인 미학을 구현한다.

주제어: 전자음향, 수퍼악기, 컴퓨터지원 작곡, 음색 합성, 다채널 공간화, 노이즈 음악, 메탈 음악.

논문투고일: 2022년 09월30일

논문심사일: 2022년 11월16일, 12월02일

게재확정일: 2022년 12월15일

Badie Khaleghian's *Electric Sky Blue* (2022): A Multidisciplinary Work for Piano, Dance, and Interactive Intermedia

Caroline Owen

College of Music, Florida State University, United States

carolineowenpiano [at] gmail.com

<http://www.carolineowenpiano.com>

<https://electricskyblue.art>

The central focus of this article, which I have adapted from my doctoral treatise, is my collaboration with composer Badie Khaleghian on a new work, entitled *Electric Sky Blue*, for piano, dance, and interactive intermedia. Furthermore, this document serves as an account of the collaborative and compositional processes of producing a new multidisciplinary work that bridges the art forms of dance and piano. I also provide an analysis of the dialogue between these media and interactive visuals and audio throughout the piece and, further, the structural and expressive significance of this dialogue. Lastly, I discuss reasons for the importance of producing multidisciplinary, intermedia works for twenty-first-century audiences.

Keywords: intermedia, multidisciplinary, piano, dance, interactive, Khaleghian

While I am a classically trained pianist, I grew up dancing ballet and various other styles for several years. By engaging in both art forms, I discovered the mutual impact that dance and piano had on one another in my life. Playing piano developed skills in rhythm, timing, and musical phrasing that I could equally apply while moving on a dance floor; dancing intertwined physical movements with musical gestures and rhythms, allowing me to internalize the music I was hearing in a very external way. This relationship between music and dance continues to impact the way I perceive and perform music, often manifesting itself through the way I physically move while playing the piano. I have always been fascinated by multidisciplinary projects that combine dance and music and had dreamed of somehow merging the two art forms together in performance. My collaboration with composer Badie Khaleghian has transformed this dream into a reality.

Background

This collaboration began while Khaleghian and I were both earning graduate degrees at the University of Georgia. Khaleghian, an Iranian-American composer, has produced a wide range of works, including solo, chamber music, orchestral, and electro-acoustic compositions. His music, which has been performed in Iran, the United States, Austria, Italy, and Canada, is heavily influenced by his Middle Eastern background and his social justice activism. Khaleghian has also cultivated a passion for collaboration, not only with other musicians, but also with artists and scientists, thus fostering an intersection of disciplines in his work. He particularly enjoys composing music for specific individuals and groups, and further, inviting them into the creative process.

After attending one of my performances in 2017 and learning about my dance background, Khaleghian

approached me about collaborating, and we brainstormed a way to intersect piano and dance within a solo piece. The result was *Life Suite*, which we premiered in 2019. A multidisciplinary work for solo piano, dance, and fixed media, the piece combines both live and recorded solo piano and dance, all of which I performed. A deeply personal work, it features film footage from one of my old dance recital performances and explores not only my own identity as both pianist and dancer, but also the general concept of finding one's identity. A year later amid the COVID-19 pandemic, Khaleghian and I began discussing plans for a new multidisciplinary piece that would stretch beyond the scope of *Life Suite* in both its layering of various media and its incorporation of technology. The resulting composition, which I will further discuss in detail, is *Electric Sky Blue* (2022) for piano, dance, and interactive intermedia.

Terminology

While the terms *multimedia* and *intermedia* have been used interchangeably, there are nuances that differentiate them from one another. *Multimedia* quite literally refers the combination of "multi-", or "many," and "media," or methods of communication. These media can include audio, written text, video, and images, among other communication methods. *Intermedia*, on the other hand, includes "inter," meaning "among" or "between." Intermedia extends beyond merely the use of multiple media, more specifically referring to a fusing of media to form a culminating artistic product. Intermedia art has also been defined by its employment of new technologies.

Whereas *Life Suite* is considered a multimedia work, Khaleghian wanted this new project to be interactive, thus designating it as an intermedia work. In this case, the term *interactive* refers to the digital reaction of one medium from another in real time (e.g., visuals reacting to certain amplitudes played by an instrument or sounds reacting to

physical motion). Khaleghian chose to compose a work in which several media—live piano, dance movements, visuals, and both fixed and live processed audio—are constantly in dialogue with one another. Lastly, he envisioned the work to be immersive for the audience, with multi-dimensional visual projections and multi-channel audio coming from sound speakers in multiple locations around the space. The process of bringing these technological and multidisciplinary ideas to fruition, which took over a year, required a multistep process that is outlined below.

showing Khaleghian’s use of these programs can be seen in Figure 1.

Development

Following this phase, Khaleghian developed a body instrument using the Microsoft Kinect device. By moving my hands and feet along the axes mentioned above, I could manipulate the elements of pitch material, timbre, dynamics, pulse, and texture to create electronic music. In other words, Khaleghian developed a way for music and my movements to be as intimately connected as possible, with technology sensitively reacting to something so innately human. We then held workshops, in which we tested out different versions of Khaleghian’s instrument with varied musical elements. We simultaneously engaged in continual conversations, brainstorming conceptual ideas along with what we wanted our project to convey to audiences. Inspired by a poem I had written about the color electric sky blue, one for which I have always had a particular affinity, Khaleghian decided to use this text as the basis for the work’s structure:

Collaboration Process

Research

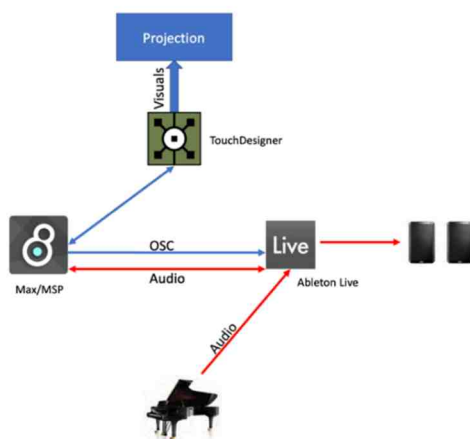


Figure 1. Diagram of software used in *Electric Sky Blue*, courtesy of Badie Khaleghian.

After our initial discussion in establishing a desire to create a multidisciplinary, intermedia work, Khaleghian conducted extensive research in the software and technology needed to bring piano, dance movement, visuals, and electronic audio into active dialogue with one another. Based on this research, he now uses a program called *TouchDesigner* to design all visuals, which are live processed throughout the piece. In order to capture my physical movements in real time, he uses *Microsoft Kinect*, a motion sensing input device that collects data from x, y, and z axes of eighteen different skeletal joints of my body. This data is then sent, via Open Sound Control (OSC) communication between applications on different computers, to a software called *Max/MSP*, a visual programming language specifically for music and multimedia. All the processed sound from *Max/MSP* is directed to *Ableton Live*, a digital audio workstation (DAW) used in composition and performance, via *Max for Live*, which, according to Ableton’s website, allows users to construct their own instruments and effects along with tools for live performance and visuals. A diagram

Born in Autumn, in the crisp air of mid-October,
 It takes you to places far away, with cypress trees and gravel
 paths along hillsides,
 With medieval towns across the valley.
 Places that have stood still for centuries,
 With grasses blowing in the quiet all around.
 It sits with the morning, still in its freshness and
 Full of possibility for what a day could hold.
 It longs for life, for adventure, for full breaths deep inside
 your lungs.
 For running and jumping into a pile of crunchy leaves, with a
 child-like delight.
 It hides the gray, the stormy, the deep rumbling that is still
 there.
 It is not like the dark midnight, with all its shadows and
 anxiousness.
 It nods along to a song of exuberant joy,
 With an intoxicating beat you can’t help but dance to.
 Constantly shifting and morphing, round, plump, malleable.
 It moves with leaps—bold yet graceful.
 It befriends the rustling leaves in the trees, with the
 branches that frame it and
 Bring out its electricity, its truest form, its most vibrant hue.
 (Owen 2021: unpublished)

Set in ten scenes, each of which is based on a line of poetry, the piece abstractly follows the poem’s surface narrative while simultaneously outlining a broader journey—one that evolves from themes of birth and innocence to anxiety and struggle, finally leading to a sense of newfound resilience and authenticity. This narrative structure aided Khaleghian and me in constructing ideas about the dialogue between music and other media throughout the work.

Khaleghian then began to write music for certain scenes, which I would learn one by one. I also prepared to step into the additional role of dancer by retraining, brainstorming the types of movement I wanted to communicate depending on the scene, and consulting a choreographer for additional ideas. After holding multiple workshops over the course of several months, Khaleghian and I saw *Electric Sky Blue* through to its completion and first performance in March 2022.

To prepare the work for performances in a variety of potential venues and settings, Khaleghian created multiple versions of *Electric Sky Blue*. While it lasts approximately forty minutes in its entirety, a shorter version of the work could be performed from Scenes 7 through 10. He also designed the configuration for performance setup to be flexible, depending on the capabilities of the venue. The most ideal conditions consist of a dark space with immersive projection and sound, but the audio can be sounded through as few as two channels, if necessary. Realizing the logistical constraints of his initial conception of implementing panoramic visuals to surround the performer and audience, Khaleghian also adapted this idea, creating a two-dimensional plane to project visuals on both the floor and back using screens. If this option cannot be a possibility in a venue, however, visual projections on just one back screen are still effective. A complete technological diagram for *Electric Sky Blue* is shown in Figure 2.

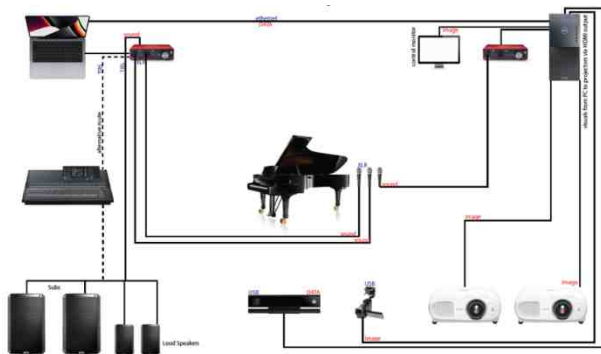


Figure 2. Complete technological diagram for *Electric Sky Blue*, courtesy of Badie Khaleghian.

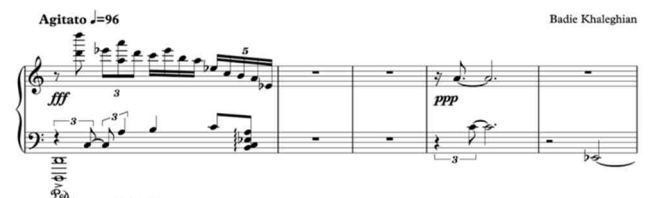
Result: *Electric Sky Blue* (2022)

Formed out of this multidisciplinary, intermedia approach to composition, *Electric Sky Blue* showcases the extension of possibilities used to shape the structure of a piece of music; Khaleghian not only accessed standard musical elements such as pitch, harmony, rhythm, etc. but also to multiple artistic media and technologies. The formal structure of *Electric Sky Blue* is primarily shaped by the

addition and resulting combinations of media; this dialogue between them shapes the piece's narrative, as well. This approach to form and narrative is captured below in the following brief survey of scenes.

Prelude

As Khaleghian and I wanted the piano to serve as the cornerstone of the work, we chose to begin and end the piece with solo piano alone. *Electric Sky Blue* opens with an unsuspecting Prelude, as though the listeners are about to experience a more traditional solo piano recital. The scenes which follow, however, progressively step beyond these expectations. The Prelude follows an ABAB formal structure and stays within a tonal/modal harmonic language; the A material, for example, has a tonal center of D and hints at Phrygian and Dorian modes with the presence of E-flat and B-natural, respectively (Figure 3). The Prelude also introduces pitch collections that are recalled later in the piece, such as the strong presence of O1 dyads. As shown in his score indications for continuous pedal, also seen in Figure 3, Khaleghian develops the idea of building resonance of sound throughout the Prelude. Serving as a musical motif, this resonance foreshadows the presence of ambient electronic sounds in the scenes to follow. The repetitive nature of its motivic gestures also foreshadows the delay effects present in the final Scene 10, as discussed below on p. 7, but also contributes to the sense of beauty and purity at this point in the work's narrative.



Figure/Sound 3. Tonal/modal harmonies and continuous pedal notation at the opening of the prelude, mm. 1-5. Scene 1

Scene 1

The end of the Prelude converges with Scene 1 when, at the moment the final chord is struck, I introduce spoken text from the first couple of lines of poetry: "Born in Autumn, in the crisp air of mid-October, / It takes you to places far away..." As I speak into the amplified piano, I simultaneously play a singular melodic line reminiscent of the rhythm and inflection of each phrase. The melody acts in counterpoint with the poetry, first as a more complete response to each phrase, but then entering sooner to overlap with the spoken text in a delay effect (Figure 4). This introduction of the human voice is a first step in thwarting listeners' expectations and thus introduces a multidisciplinary element of surprise.

for Caroline Owen
Born in Autumn
Scene 1

Figure/Sound 4. Counterpoint between spoken text and piano melody in Scene 1.

Scene 2

Figure/Sound 5. Opening of Scene 2, with suspended chords and soft dynamics, mm. 1-10.

Based on the lines, “It takes you to places far away, with cypress trees and gravel paths along hillsides, / With medieval towns across the valley. / Places that have stood still for centuries, / With grasses blowing in the quiet all around,” Scene 2 features suspended chords void of any functional harmonic resolutions, along with soft dynamics that transport the listener musically (Figure 5). Khaleghian primarily uses stacked tertian and quartal harmonies, along with sevenths and minor seconds, to construct these chords. While not functional, the harmonic language is still quite modal; the opening lines, as shown in Figure 5, are largely comprised of pitches in the C# Dorian scale, for example. The end of Scene 2 features tone clusters interspersed with the opening chords, perhaps signalling an eventual departure from tonality later on in the work. The visuals in this scene transition from a blue sky to darker shades of blue, and the visuals subtly move and morph as they react to amplitudes produced at the piano. This scene therefore introduces the interactive nature of *Electric Sky Blue* for the first time, adding a new surprise.

Scene 3

Scene 3 begins similarly, with flowing visuals swirling in fire-like patterns reminiscent of the sun projected while I play chords broken up in shimmering textures (Figure 6a) in the upper registers of the piano. These elements evoke the following line in the poem, “It sits with the morning, still in its freshness and / Full of possibility for what a day could hold.” Khaleghian indicates that, within these chordal trills, certain pitches should pop out of the texture to form a melodic line between chords. Similar to Scene 2 in its harmonic language, Scene 3 features chords constructed from quartal and, in this case, quintal harmonies, in addition to some chromatic motion between chords (Figure 6b). The textures and slow-changing harmonies allow me to lift my hand in the air between chords during the repeat of the materials, as indicated in the score (Figure 6b); this vertical hand motion not only cues electronic sounds based on the played harmonies but also cues motion-affected visuals that change color depending on the height of my hand. At this point, instead of reacting to the piano’s sound, the visuals are reacting to my motion, thus introducing the concept of interactive motion-capture technology in the piece.

Figure 6a. Opening of Scene 3, with indication of shimmering chordal trills, mm. 1-4.

Figure 6b. Chords built from quartal and quintal harmonies, some chromatic motion between chords, and indication to lift hand to activate Microsoft Kinect, mm. 18-22.

Scene 4

Scene 4 marks yet a further important point in the piece’s structure as I transition away from the piano bench and move around the space for the first time. After establishing the new interaction between movement, sound, and visuals, I more directly explore Khaleghian’s Kinect instrument, in which my motion cues various electronic pitches and arpeggio gestures; these pitch frequencies form a pitch collection (G2, D3, F#3, A4, C#4, C4, D#4, E4, F4, G#4, Bb5, B5, C#5, D5), which Khaleghian also utilizes in the upcoming Scene 5. By featuring a twelve-tone collection, the piece has shifted from tonality into a fully chromatic language at this point. Each of the pitches and arpeggio gestures is assigned to a box on a 4 x

5 grid, designed by Khaleghian in Max/MSP. He replicates this grid with the Kinect device, which gathers live data from my movements across x and y axes on the ground and thus cues certain electronic pitches to be sounded. As this scene corresponds with the poem's lines, "It longs for life, for adventure, for full breaths deep inside your lungs. / For running and jumping into a pile of crunchy leaves, with a child-like delight," I become a character awestruck by the magical nature of this interplay of media and move with child-like hops and leaps around the space, exploring the Kinect instrument. The visuals, made up of bright and colorful shapes, also trace my movements.

Scene 5

As in the poem with the line, "It hides the gray, the stormy, the deep rumbling that is still there," Scene 5 marks a shift from light to dark, from carefree to rigid. I am pulled back to the piano bench, which I show in my movements, and begin to play virtuosic passages consisting of nearly constant strings of sixteenth notes (as seen in Figure 7), juxtaposed with sections containing more rests. To match this shift in the narrative, Khaleghian used a much more intellectual approach in his composition of this scene's piano part, writing algorithms to generate both musical and visual materials. As in Scene 4, he used a similar idea of a grid, this time creating a conceptual 20 x 20 grid. Each of the 400 modules on this grid cues a musical event in an algorithm—either a certain pitch, a rest, or a transposition.



Figure/Sound 7. Textures of rapid, widely-spaced sixteenth notes interspersed with rests in Scene 5, mm. 52-55.

As mentioned above, Khaleghian drew from the same pitch collection of fourteen pitch frequencies from Scene 4, this time spacing the pitches out across the different registers of the piano. In the lower registers, he created wider gaps between pitches, utilizing intervals such as major and minor sevenths, minor ninths, and tritones; he narrowed these gaps in the higher registers, frequently using intervals such as minor seconds. These pitches and their repetitions formed a large number of the modules in the grid used for the algorithm; the remaining modules indicated a rest or one of fourteen different kinds of transpositions, also repeated. The order in which these modules were cued was determined by Khaleghian's algorithm.

Khaleghian also created an algorithm for the visuals in this scene using an amplitude follower. After he took these fourteen pitches and played each of them on a keyboard for one second, the amplitude follower translated the sounds to cue various visual lines to be projected. After fourteen seconds, the pixel modules used for these visual lines cued the music algorithm to generate new pitch materials, rests, and transpositions, which would then be translated again to visuals, in an infinite loop of events. Using the control of a metronome, Khaleghian ran this interaction of algorithms for five minutes, while simultaneously using a slider control mechanism to control range, to create the musical materials for Scene 5.



Figure 8. A moment of intervallic and rhythmic consistency before erupting into a glissando, mm. 67-73.

By using a musical algorithm to generate pitch and rhythm materials more randomly, Khaleghian moves away from any kind of identifiable pitch collection or clear overarching formal structure at this point in the narrative of *Electric Sky Blue*. He did have to significantly modify the generated materials, however, in order to make the piano part mostly playable. He added rests in various places to account for large jumps, and he created intervallic and rhythmic consistency in certain sections to provide a sense of momentary stability (Figure 8). The visual zigzagged lines projected as I am playing the piano serve as visual proof of how Khaleghian composed this scene, although in real time they are just reacting to the piano's amplitudes (Figure 9).

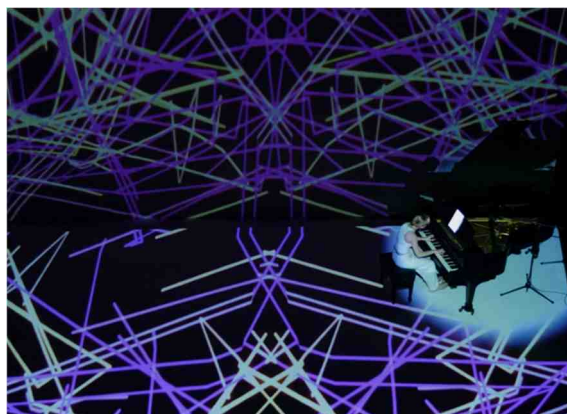


Figure 9. Visuals of rigid lines and shapes reacting in real time to the amplitudes from the piano. Photo taken from performance at Rice University in April 2022.

Scene 6

Not only does Scene 6 reach the darkest point in the narrative with the line, “It is not like the dark midnight, with all its shadows and anxiousness,” but it is also the climactic point technologically, as I once again leave the piano bench to explore with the Kinect instrument. In this scenario, my body movements along x, y, and z axes control various pitch materials, dynamics, and textures, along with visual shapes, sizes, and colors; this relationship between different body movements and specific musical and visual elements is shown in Table 1. While exploring the instrument to manipulate the sounds and visuals, I use more disjunct, rigid movements to match this point in the narrative. I finally return to the piano and play identical material heard earlier from the opening of Scene 3; this time, the piano sound is manipulated electronically using granular effects and detuner patches, which give the original material a darker, out-of-tune quality.

Right and Left Hands, X Axis	Cues 9 pitches
Left Foot, Y Axis	Cues sound effects
Right and Left Hand, Y Axis	Controls audio dynamic and visual texture intensity
Body Z axis	Controls visual shapes and size

Table 1. Musical and visual cues from body movements in Scene 6.

Scenes 7-8

Narratively, Scene 7 marks the beginning of a shift away from darkness. Evoking the line, “It nods along to a song of exuberant joy, / With an intoxicating beat you can’t help but dance to,” live piano engages in conversation with fixed electronics, emitting an effect that the two media are affecting one another in real time. The nearly constant metric changes create rhythmic intrigue throughout the scene, contributing to the idea of “an intoxicating beat,” and the repeated low bass Es (Figure 10) suggest a return to modal/tonal harmonies, which were absent in Scenes 5 and 6. The visual projections, consisting of two layers, shift and change color via an amplitude follower, which captures the piano and electronic amplitudes. The first layer contains blurred out circles, which pop out of the background in sync with the sound of both piano and electronics. The second visual layer features a dancing silhouette, taken from film footage of myself dancing, and appears only when I play piano. In terms of colors, however, Khaleghian programmed them to change depending on which range of the piano I played in any given moment; they were not impacted by electronic sound.



Figure 10. Repeated low bass Es and metric changes in Scene 7.

Musically, Scene 8 serves as an afterthought to Scene 7, capturing nearly all the musical materials present before. Instead of engaging the piano again, I dance most extensively at this point in the piece. I collaborated with choreographer Anna Owen to create movements inspired by the line “It is constantly shifting and morphing, round, plump, malleable.” The resulting choreography features movements that fluidly transition into one another and maintain clarity in shape. Many of the movements are circular, as in the turns I make in a large circle around the stage or in the poses I hold with my arms. Some movements are slow, creating a moment of suspension, while others are sharp and quick, following the occasional moments of rhythmic drive in the electronics. The projected visuals, reacting to the electronic sounds, are also fluid and constantly morphing to match the line in the poem. Unlike those of Scene 7, the color changes in Scene 8 are all randomly generated, although Khaleghian still chose specific colors to be used.

Scene 9

Set to the line “It moves with leaps—bold yet graceful,” Scene 9 marks the arrival of relief in the narrative and is a culminating point as an electronically manipulated recording of my own recitation of the poem is heard through speakers. This is the first time that spoken text is heard once again since Scene 1, thus reinfusing a more human quality into the piece. As listeners hear the lines of the poem, I walk around the room and use the Kinect instrument one last time, to clear with my hand a blacked-out painting, made by Khaleghian’s grandfather, Shoja’addin Khaleghian, of autumn leaves and a blue sky (Figure 11). Narratively, this action of clearing away darkness to reveal shades of blue and orange represents the moment of once again finding hope and clarity after journeying through instability and confusion. Rather than using a simple sky blue background, we chose this painting as it not only ties back to earlier lines of the poem but also captures the idea that the blue sky is now even more vibrant when framed by the leaves than on its own. This

image foreshadows the final line in the poem, which inspires the upcoming final scene.



Figure 11. Painting by Shoja'addin Khaleghian, the upper portion of which was used as a visual backdrop in Scene 9.

Scene 10



Figure/Sound 12. Opening of Scene 10, with limited pitch materials in upper piano registers.

Set to the poem's final line, "It befriends the rustling leaves in the trees, with the branches that frame it and / Bring out its electricity, its truest form, its most vibrant hue," Scene 10 represents a calming down of technology and media, refocusing the end of the piece back to the piano. The music for this scene is very intimate and quiet, with limited pitch materials in the upper registers of the piano (Figure 12). The tonal center is C#, thus confirming a return to a tonal harmonic language and recalling the opening of Scene 2 with its harmonies surrounding the C# Dorian scale. The presence of B# in this scene, however, suggests a C# harmonic minor scale.

Khaleghian still employed technology in the projected visuals. Initially, he used a motion capturing device to display not only my silhouette at the piano, but also two copies of my silhouette behind it, each following a line of delay to create a delay effect of the silhouette. Each delayed copy of the silhouette corresponded with an electronically manipulated, one- or two-second audio delay of the piano sound, fusing a synthesis of visual and aural delay at certain points in the scene. Musically, this delay ties back to the Prelude's echo effects of repeated gestures, like the three final iterations of diminished octaves and minor sevenths at the end of the Prelude (Figure 13). The projected silhouettes were set against a black and white background sketch of the surrounding space; this visual data was collected by the Kinect device as I walked around the space in Scene 9, thus further connecting the two scenes.



Figure 13. Motive of vertical diminished octave and minor seventh, repeated three times at the end of the Prelude, mm. 76-86.

After we premiered the work, however, Khaleghian and I decided to alter the original visuals to tie into the work's narrative arc more clearly. Khaleghian changed the black and white background to the same sky blue that was present at the beginning of the piece. He did still choose to use the Kinect to collect visual data from my walking path in Scene 9; these motions are now captured in black sketches and lines over the blue, as shown in Figure 14.

Khaleghian also retained the initial audio delays of the piano sounds. This concept of delay in Scene 10 refers less directly to the poem's final line than to a broader reflection on personal transformation. Khaleghian views Scene 10 similarly to a coda, a retrospective commentary on dualities—of my own role as both pianist and dancer, and of the opposing emotions one can simultaneously hold after undergoing struggle and growth. Khaleghian drew on this feeling of bittersweetness as he chose to end *Electric Sky Blue* in melancholic beauty and simplicity rather than triumphant positivity. This sense of quiet at the end completes the narrative arc of the piece, settling

back to the calmness present in Scenes 1-3 before the intensity of Scenes 5-8.



Figure 14. Updated visuals of Scene 10, with the outlines of my Scene 9 walking path projected over a sky-blue background.

Motives for a Multidisciplinary Intermedia Approach

After conveying an account of our collaboration process and discussing the resulting *Electric Sky Blue* itself, it is important to highlight reasons why Khaleghian and I chose to pursue this project with specifically a multidisciplinary, intermedia approach in mind. Firstly, we believe that this genre effectively displays connections among art forms and, therefore, holds an artistically meaningful purpose. Utilizing multiple artistic disciplines in combination with technology provides both composer and performer with more tools to create a multi-layered work. This approach engages multiple human senses, allowing both the performer and audience members to experience the artistic work in a multi-dimensional way. Rather than remain in separate spheres, the media can interact with one another to contribute to a complete work of art.

Secondly, this project was a unique opportunity for both Khaleghian and me. By capitalizing on my dance background and his passion for multidisciplinary work, we saw the project as an innovative creative outlet for both performer and composer. We further believe that this multidisciplinary, intermedia approach can be an exciting artistic path forward for other composers and performers who would like to be able to combine multiple skillsets in their artistic work. We also believe that, with both its multidisciplinary nature and extensive use of technology, this genre has the potential to connect with a twenty-first-century audience and break down barriers between classical music and other genres. This approach, for example, further challenges the notion that acoustic and

electronic compositions should stay in separate realms. It also suggests the idea that a music performance does not have to be a solely aural experience, but also a visual one, in which the performer can move naturally without being accused of contriving expression.

Electric Sky Blue was produced with the intent of providing a unique musical experience to listeners—one that invites people to connect with live music, dance, and interactive visuals and audio simultaneously. Khaleghian and I continue to discuss ways to make this project more accessible by shedding some of the barriers present in traditional classical music concerts. There is often an invisible wall separating performer from audience in these settings, thus creating an atmosphere of formality and rigidity. While *Electric Sky Blue* can be performed in traditional concert halls so long as they have the necessary technology, we plan to perform it in less traditional venues, such as art galleries and black box theaters. We have also implemented flexible seating options on the ground and stage in hopes of bringing the audience into the performer’s space and drawing them into an intimate artistic experience.

For future performances of *Electric Sky Blue*, we are considering various ways to incorporate audience involvement in the performance process itself. For example, in settings that allow audience seating in the stage area, Khaleghian plans to develop a way to project visuals onto audience members that can react to their movements, as well. We also have plans to eventually release a digital immersive version of the work on YouTube, hoping that *Electric Sky Blue* will appeal to audiences who are not traditional arts supporters. With its use of multiple art forms and technology, we hope that at least one of these media will appeal to nearly everyone.

References

- Elwell, J. Sage. (2022). “Intermedia: Forty Years On and Beyond.” Web: MutualArt. <https://www.mutualart.com/Article/INTERMEDIA--FORTY-YEARS-ON-AND-BEYOND/C2D22534A855B458>.
- Khaleghian, Badie. (2022). badie khaleghian. www.badiekhaleghian.com Retrieved March 5, 2022.
- Khaleghian, Badie. (2022). *Electric Sky Blue*. Unpublished musical score. Location: in the author’s possession.
- Khaleghian, Badie. (2021). Interview by Caroline Owen. Personal interview. Conducted virtually on September 8, 2021.
- Khaleghian, Shoja’addin. (Date unknown). No title. Oil on canvas.
- “Max for Live.” Web: Ableton. <https://www.ableton.com/en/live/max-for-live/>. Retrieved February 25, 2022.

캐롤라인 오웬 - 베디 카레기안의 "일렉트릭 스카이 블루": 피아노, 무용, 상호작용매체를 위한 다원적 작품

Owen, Caroline. (2021). "Electric Sky Blue." Unpublished poem.

"What is Live." Web: Ableton.
<https://www.ableton.com/en/live/what-is-live/>.
Retrieved February 25, 2022.

[Abstract in Korean | 국문 요약]

베디 카레기안의 "일렉트릭 스카이 블루" (2022): 피아노, 무용, 상호작용매체를 위한 다원적 작품

캐롤라인 오웬

이 논문의 중심적 초점은, 저자가 자신의 박사 논문에서 가져온 것이며 작곡가 베디 카레기안과 함께 공동작업한, 피아노와 댄스, 인터랙티브 미디어를 위한 "일렉트릭 스카이 블루"라는 제목의 신작이다. 또한, 이 글은 댄스와 피아노라는 두 예술형태를 교차시켜 새로운 다학제간 작품으로 생산하는 협업 및 작곡 과정을 보여준다. 그리고 저자는 이 작품을 통해 이러한 매체와 인터랙티브한 영상과 오디오 간 대화를 분석하고, 이 대화의 구조적, 표현적 의의를 제공한다. 마지막으로, 저자는 21세기 청중을 위한 여러 매체를 종합하는 다원예술 작품을 생산하는 중요성과 의미에 대해 논의한다.

주제어: 다원예술, 다학제적, 피아노, 댄스, 인터랙티브, 카레기안.

논문투고일: 2022년 09월30일

논문심사일: 2022년 11월30일

게재확정일: 2022년 12월15일

N-제공 함수를 기반으로 하는 비선형 전달함수 시스템의 출력 신호 해석

이상빈

Korea National University of Arts, Dept of MusicTechnology, Computer Music Theory major
eclipseeye [at] naver.com
patrickrhie.weebly.com

본 연구에서는 비선형 함수를 전달함수로 가지는 시스템에 입력한 임의의 오디오 신호의 출력 결과를 해석하는 방법에 대해 알아볼 것이다. 대부분의 비선형 함수들은 테일러 전개, 그 중에서도 매클로린 급수를 이용하면 N-제공 함수들의 선형적 결합의 형태로 풀어 설명될 수 있다. 이 경우, N-제공 함수를 전달함수로 가지는 시스템의 입출력 관계를 설명할 수 있다면 꽤 복잡한 비선형 함수라 해도 이를 전달함수로 가지는 임의의 시스템의 출력 신호를 설명할 수 있을 것이다. 먼저 N-제공 함수를 전달함수로 가지는 시스템의 특성에 대해 논한 후, 출력 신호 예측의 사례를 제시하고 나아가 비선형 전달함수를 가지는 시스템을 해석하는 방법을 매클로린 급수의 도움을 받아 알아본 뒤, 이 역시 사례를 제시하고 제시된 전달함수를 바탕으로 파형성형법으로 새로운 소리를 만들어 볼 것이다.

주제어: 비선형 변환, 매클로린 급수, 파형성형, 전달함수, 신호처리, 시스템, 합성함수

수많은 소리 합성(Sound Synthesis)법 중에서도 흔히 "Waveshaping"이라 불리는 "파형성형"이란, 어떤 입력 신호를 임의의 시스템에 입력한 후 전달함수(Transfer Function)를 통해 입력 신호를 변환하여 출력 신호에서 입력과는 다른 결과를 얻어내는 방법이다. 입력 신호의 세로축의 값은(표본값이라는 개념으로 이해할 수도 있을 것이다) 통상적으로 x, y 양 축 상에서 ±1의 범위에 걸쳐 형성된 전달함수 테이블에서의 일종의 "x 축 상의 인덱스"가 되어 전달함수의 함수값을 읽어낸 뒤 보간(interpolation) 작업을 적절히 진행하면, 그것이 시스템의 출력 신호가 된다. 이 과정은 합성함수(composite function)에서의 연산과정과 같은 맥락에서 이해될 수 있다.

파형성형의 장점은 효율적으로 많은 부분음을 생성해 낼 수 있다는 점도 있겠지만(따라서, 파형성형을 "왜곡 합성(Distortion Synth)법"이라는 범주 안에 넣는 경우도 적지 않다), 그 결과로 얻은 변형된 신호의 배음 구조를 정확히 예측하는 것이 가능하다는 것이다. 특히 N-제공 함수가 전달함수일 때에는 부분음(Partial)들 중 최고음이 어느 지점에 존재하는지 미리 알 수 있으며, 이로 인해 주파수 변조(FM)와는 달리 대역 제한적(Band-Limited)인 소리합성법이라고 생각할 수 있다.

이처럼 많은 추가적 부분음을 효율적으로 얻어내기 위해서는 파형성형을 위한 시스템의 전달함수는 당연하게도 비선형(Non-Linear) 함수가 되어야 유리하다. 그렇지만 비선형 함수가 전달함수일 때, 출력 신호는 직관적으로 예측하기 쉽지 않다. 그러나 이 말이 곧 출력 신호의 주파수 성분들을 예측하는 작업이 불가능하다는 말은 절대 아니다. 본 연구에서는 간단한 형태의 비선형

전달함수를 가지는 시스템에 다양한 형태의 입력 신호를 부여한 후 나오는 출력 신호를 시간 영역과 주파수 영역에서 관찰해보고, 이 과정에서 얻은 단서를 바탕으로 점점 더 복잡한 비선형 시스템을 통해 얻을 수 있는 파형성형된 신호의 특성을 비교적 효율적으로 알아내는 법을 알아본다.

"N-제공" 형태의 전달함수를 가지는 시스템

1) 입력신호가 단순 정현파일 경우

흔히 알려져 있듯이 N-제공 형태의 전달함수에 진폭이 1인 단위 정현파를 입력하는 경우, 최고차 배음성분의 위치를 비롯한 출력신호의 성분을 예측하는 방법은 그리 어렵지 않다. Charles Dodge는 그의 책¹에서 이항정리와 파스칼의 삼각형을 이용한 N-제공 전달함수 시스템의 출력 신호를 구성하는 부분음 성분들의 강도값을 계산하기 위한 도표를 제시하였다. 해당 도표와 같은 맥락의 내용이긴 하나, 조금 더 수학적인 표현을 통하여 N-제공 전달함수 시스템의 출력 신호 계산법을 아래에 나타내 보고자 한다. 잘 알려져 있듯, 자연수 N이 홀수일 때와 짝수일 때의 결과는 다른 양상을 보인다. 아래에 나타낸 식 1 속의 두 수식을 보자.

$$(1) \cos^{2n}x = \left(\frac{1}{2}\right)^{2n} \cdot {}_{2n}C_n + \left(\frac{1}{2}\right)^{2n-1} \sum_{k=0}^{n-1} {}_{2n}C_k \cdot \cos 2(n-k)x$$

$$(2) \cos^{2n+1}x = \left(\frac{1}{4}\right)^n \cdot \sum_{k=0}^n {}_{2n+1}C_k \cdot \cos(2n+1-2k)x$$

식 1. cos함수 N-제공 계산의 일반식.

식 1 속 (1)의 경우 N 이 짝수, 즉 진폭이 1 인 단위 정현파를 짝수 번 제공한 경우의 결과를 말해주고 있는 식이다. 이산 합(Sigma)의 항 앞에 DC 성분을 나타내는 항이 있음을 알 수 있고, 결과적으로 cos x 성분을 짝수 번 제공하면 DC 성분과 (cos 2x부터 cos 2nx까지의) n 개의 부분음들이 생겨난다. 마찬가지로 식 1 속 (2)를 참고하여 단위 정현파를 홀수 번 제공하면 DC 성분 없이(cos x부터 cos (2n + 1)x 까지) 총 n+1 개의 부분음들이 생겨난다. 만약 시스템에 입력되는 정현파의 진폭이 1 이 아니라 임의의 값인 a 라면, a²ⁿ 혹은 a²ⁿ⁻¹을 식 1 속의 각 항에다 곱해주면 된다.

만약, N-제공 함수의 선형적 조합으로 표현될 수 있는 전달 함수를 쓴다면, 이 역시 상기한 수식으로 각 N-제공 전달 함수에서의 결과를 계산한 이후 결과들을 합하면 된다. 예를 들어, 입력신호가 단위 정현파이고 어떤 시스템의 전달함수가 f(x) = x + x² + x³ + x⁴ + x⁵인 경우, 각 부분음 성분들은 다음과 같이 계산된다. 우선 x², x⁴는 (1)을, 그리고 x³, x⁵는 (2)를 이용해야 한다.

$$\begin{aligned}
 &(1) \\
 &(n=1) \\
 &\cos^2 x = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot {}_2C_1 + \left(\frac{1}{2}\right)^1 \cdot \sum_{k=0}^0 {}_2C_k \cdot \cos 2(1-k)x \\
 &= \frac{1}{2}(\cos 2x + 1) \\
 &(n=2) \\
 &\cos^4 x = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot {}_4C_2 + \left(\frac{1}{2}\right)^3 \cdot \sum_{k=0}^1 {}_4C_k \cdot \cos 2(2-k)x \\
 &= \frac{1}{8}(4\cos 2x + \cos 4x + 3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(n=0) \\
 &\cos x = \left(\frac{1}{4}\right)^0 \cdot \sum_{k=0}^0 {}_1C_k \cdot \cos(1-2k)x \\
 &= \cos x \\
 &(n=1) \\
 &\cos^3 x = \left(\frac{1}{4}\right)^1 \cdot \sum_{k=0}^1 {}_3C_k \cdot \cos(3-2k)x \\
 &= \frac{1}{4}(3\cos x + \cos 3x) \\
 &(n=2) \\
 &\cos^5 x = \left(\frac{1}{4}\right)^2 \cdot \sum_{k=0}^2 {}_5C_k \cdot \cos(5-2k)x \\
 &= \frac{1}{16}(10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x)
 \end{aligned}$$

식 2. 식 1을 이용하여 계산한 코사인함수 거듭제곱의 결과들.

이 결과들을 모두 합하면 f(x) = x + x² + x³ + x⁴ + x⁵를 전달 함수로 갖는 시스템을 통과한 정현파가 아래와 같이 어떤 주파수 성분들(부분음)을 어떤 강도로 가지는지 모두 알 수 있다. 아래에 그 결과가 나타나 있다. 그리고 이를 각 부분음마다 정리하여 그 강도값을 산출한 결과도 아래에 함께 보인다.

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{2}(\cos 2x + 1) + \frac{1}{8}(4\cos 2x + \cos 4x + 3) + \cos x \\
 &+ \frac{1}{4}(3\cos x + \cos 3x) \\
 &+ \frac{1}{16}(10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x)
 \end{aligned}$$

$$\text{DC: } \frac{1}{2} + \frac{3}{8} = \frac{7}{8}$$

$$\cos x: \cos x + \frac{3}{4}\cos x + \frac{10}{16}\cos x = \frac{38}{16}\cos x$$

$$\cos 2x: \frac{1}{2}\cos 2x + \frac{4}{8}\cos 2x = \cos 2x$$

$$\cos 3x: \frac{1}{4}\cos 3x + \frac{5}{16}\cos 3x = \frac{9}{16}\cos 3x$$

$$\cos 4x: \frac{1}{8}\cos 4x$$

$$\cos 5x: \frac{1}{16}\cos 5x$$

식 3. 전달함수가 f(x) = x + x² + x³ + x⁴ + x⁵인 시스템을 정현파가 통과하여 얻게 되는 출력 신호의 주파수 성분 계산 결과.

만약 입력 신호인 정현파의 진폭이 1이 아니라면, 전술한 대로 진폭을 나타내는 계수 a의 거듭제곱수를 식 2의 각 항에 곱해서 계산을 진행해야 한다. 이 a라는 값은 "왜곡 지수(distortion index)"라는 용어로 잘 알려져 있다. 위 계산 결과를 다시 이용하여 왜곡 지수에 따른 각 부분음 성분들의 강도 변화 양상을 수식의 형태로 관찰하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{2}(\cos 2x + 1) \cdot a^2 \\
 &+ \frac{1}{8}(4\cos 2x + \cos 4x + 3) \cdot a^4 \\
 &+ \cos x \cdot a \\
 &+ \frac{1}{4}(3\cos x + \cos 3x) \cdot a^3 \\
 &+ \frac{1}{16}(10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x) \cdot a^5
 \end{aligned}$$

이를 계산하면,

$$\frac{1}{2}(\cos 2x + 1)a^2 + \frac{1}{8}(4\cos 2x + \cos 4x + 3) \cdot a^4 + \cos x \cdot a$$

$$+ \frac{1}{4}(3\cos x + \cos 3x) \cdot a^3 + \frac{1}{16}(10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x) \cdot a^5$$

$$\text{DC: } \frac{a^2}{2} + \frac{3}{8}a^4$$

$$\cos x: a + \frac{3}{4}a^3 + \frac{10}{16}a^5$$

$$\cos 2x: \frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2}$$

$$\cos 3x: \frac{a^3}{4} + \frac{5}{16}a^5$$

$$\cos 4x: \frac{1}{8}a^4$$

$$\cos 5x: \frac{1}{16}a^5$$

식 4. 전달함수가 $f(x) = x + x^2 + x^3 + x^4 + x^5$ 인 시스템을 진폭이 a 인 정현파가 통과하여 얻게 되는 출력 신호에서의 각 부분음 성분들의 강도값 계산 결과.

이를 그래프로 나타내면 아래의 그림 1과 같다.

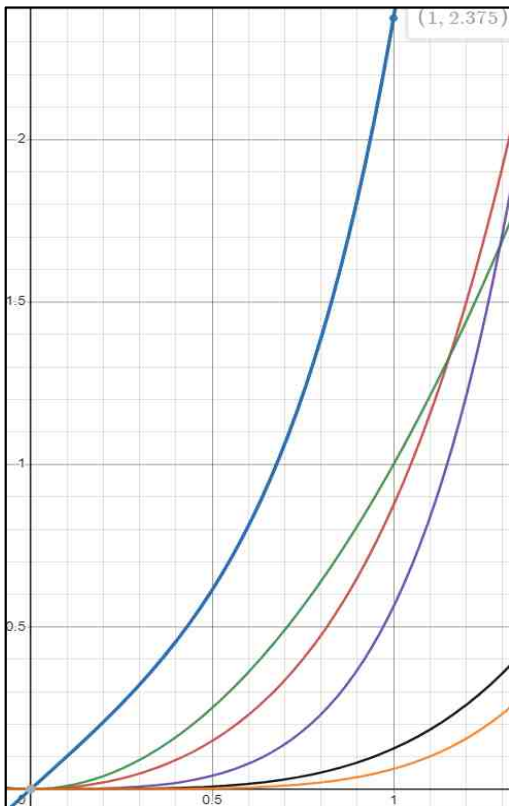


그림 1. 입력 신호인 정현파의 진폭(즉, 왜곡 지수)에 따른 출력 신호에서의 각 부분음 성분의 강도 변화 양상 그래프. 빨간색 곡선이 DC, 파란색 곡선이 $\cos x$ 성분, 초록색 곡선이 $\cos 2x$ 성분, 보라색 곡선이 $\cos 3x$ 성분, 검은색 곡선이 $\cos 4x$ 성분, 노란색 곡선이 $\cos 5x$ 성분.

다음 주제로 넘어가기 전에 정현파의 거듭제곱꼴이 주파수 영역이 아닌, 시간 영역에서의 모습은 어떤 형태를 띠는지 관찰해 보자. 시간 영역에서의 정현파의 거듭제곱은 매우 직관적이고 간단하게 예측이 가능하며, 규칙성이 명확하다.

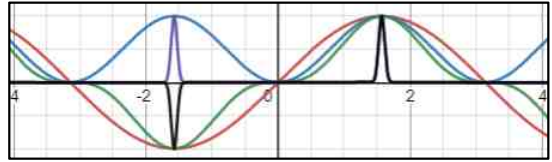


그림 2. 정현파의 거듭제곱을 시간 영역에서 나타낸 그래프.

그림 2에서 빨간색 선이 정현파(사인함수), 파란색 선이 정현파의 제곱, 초록색 선이 세제곱, 보라색 선이 정현파의 501제곱, 검은색 선이 501제곱이다. 정현파를 홀수 번 거듭제곱하면 양극성 신호(bipolar signal)이 되고, 짝수 번 거듭제곱하면 단극성 신호(unipolar signal)이 된다. 거듭제곱수의 홀, 짝 여부에 상관없이 거듭제곱수가 올라갈수록 신호의 순간 진폭의 변화율이 증가한다. 거듭제곱의 횟수가 무한대로 커지면 단극성 혹은 양극성 임펄스(impulse)와 같은 신호가 되어버린다. 정리하면, 정현파를 제곱하게 되면 시간 영역 상에서는 정현파 속 굴곡의 폭이 점점 좁아지는 양상을 띠다고 할 수 있다(입력 신호가 복합음 신호라 해도 신호 속 굴곡의 폭이 점점 좁아지는 모양을 띠다고 생각할 수 있다).

2) 입력신호가 복합음일 경우 찾을 수 있는 일반적 규칙들

이번에는 입력 신호가 정현파 둘 이상의 가산합성으로 이뤄진 복합음의 경우를 생각해 보자. 입력 신호를 구성하는 두 개의 정현파 성분을 각각 $A \cos a, B \cos b$ 라고 할 때, 입력 신호를 제곱하면,

$$\frac{1}{2}A^2(1 + \cos 2a) + \frac{1}{2}B^2(1 + \cos 2b) + AB(\cos(a + b) + \cos(a - b))$$

와 같은 결과가 나온다(만약 a 와 b 가 배수 관계에 놓여 있다면 출력 신호의 배음 구조는 매우 협화적으로(Harmonic) 형성된다). 단순 정현파의 거듭제곱보다는 매우 복잡한 결과가 나오게 되는데, 이는 입력 신호의 주파수 성분끼리 시간 영역 상에서 곱해지는 현상(위 식에서의 AB 가 계수인 항에서 관찰된다) 때문에 발생하는 것이며, Miller Puckette은 자신의 저서에서 이를 "intermodulation(상호 변조)"이라는 용어로 설명하고 있다. 아래에는 Supercollider코드로 작성한 복합음을 대상으로 하는 파형성형의 간단한 사례들을 보인다.

```
(
{
var n = 17;
a = Signal.newClear((2**n) + 1);
b = Buffer.alloc(s, (2**(n+1)), 1, bufnum: 1);
a.waveFill({|x| x**2}, -1, 1);
b.loadCollection(a.asWavetableNoWrap);
b.plot;
Shaper.ar(
b, SinOsc.ar(1000, mul: 0.5)
+SinOsc.ar(2000, mul: 0.5), 1)
}.play;
)
```

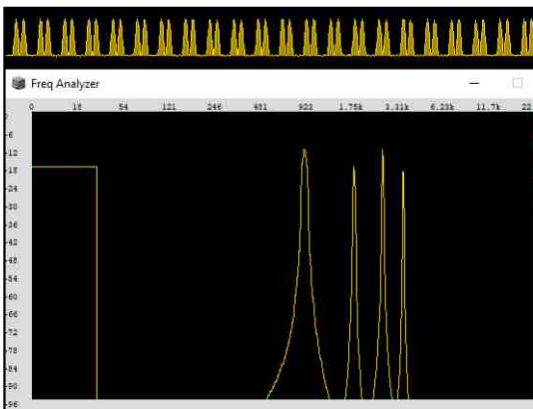


그림 3. x^2 이 전달함수인 시스템의 입력 신호가 진폭이 0.5이고 각각의 주파수가 1000, 2000Hz인 두 정현파의 합인 경우의 출력 신호의 파형과 스펙트럼.

```
(
{
var n = 17;
a = Signal.newClear((2**n) + 1);
b = Buffer.alloc(s, (2**(n+1)), 1, bufnum: 1);
a.waveFill({|x| x**2}, -1, 1);
b.loadCollection(a.asWavetableNoWrap);
b.plot;
Shaper.ar(
b, SinOsc.ar(1000, mul: 0.333)
+SinOsc.ar(2000, mul:0.333)
+SinOsc.ar(3000, mul: 0.333), 1)
}.play;
)
```

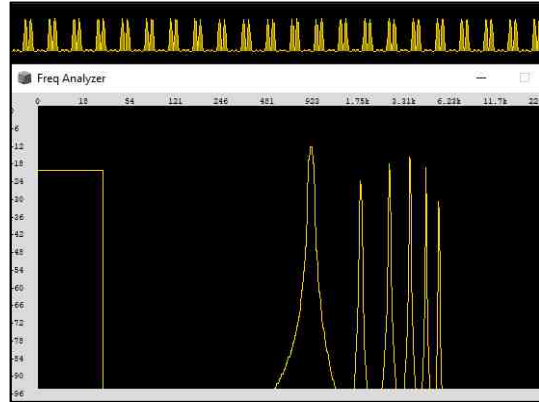


그림 4. x^2 이 전달함수인 시스템의 입력 신호가 진폭이 0.333이고 각각의 주파수가 1000, 2000, 3000Hz인 세 정현파의 합인 경우의 출력 신호의 파형과 스펙트럼.

```
(
{
var n = 17;
a = Signal.newClear((2**n) + 1);
b = Buffer.alloc(s, (2**(n+1)), 1, bufnum: 1);
a.waveFill({|x| x**3}, -1, 1);
b.loadCollection(a.asWavetableNoWrap);
b.plot;
Shaper.ar(b, SinOsc.ar(1000, mul: 0.5)
+SinOsc.ar(2000, mul:0.5), 1)
}.play;
)
```

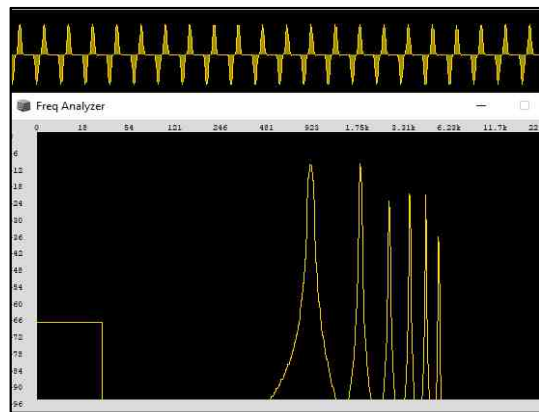


그림 5. x^3 이 전달함수인 시스템의 입력 신호가 진폭이 0.5이고 각각의 주파수가 1000, 2000Hz인 두 정현파의 합인 경우의 출력 신호의 파형과 스펙트럼.

위와 같이 복합음을 대상으로 하는 파형성형을 전달함수가 N-제곱 형태인 시스템을 통해 수행할 때, 출력 신호를 예측하는 것은 그렇게 어렵지 않다. 문제는 코사인 함수들의 선형 합의 형태인 복합음을 통째로 거듭제곱 연산을 통해 항을 하나하나씩 곱셈해서 출력 신호의 성분을 계산하는 것은 매우 복잡한 계산 과정을 수반하게 된다. Dodge가 제시한 도표

상의 숫자들은 **이항계수**(Binomial coefficient)들이며, "**이항 정리**(Binomial theorem)"를 통해 이들을 쉽게 찾아낼 수 있다. 이를 조금 더 많은 항을 가진 다항식들에 대해 일반화하면 "**다항정리**(polynomial theorem)"를 유도할 수 있는데, 이 다항 정리를 통해 아래와 같이 삼각 다항식의 완전 N-제곱 연산결과 속 각 항들의 계수를 비교적 쉽게 알아낼 수 있을 것이다. 아래의 예시는 항이 3개인 경우를 나타내고 있다.

삼각 다항식

$$(A \cos a + B \cos b + C \cos c)^n$$

를 전개한 계산 결과 속의

$$(A \cos a)^p \cdot (B \cos b)^q \cdot (C \cos c)^r$$

항의 계수는 $\frac{n!}{p!q!r!}$ 이다(단, $p+q+r=n$).

앞서 살펴본 정현파 N-제곱의 일반화 식과 위에 서술한 다항 정리를 이용하여 "복합음의 완전 N-제곱"의 1차적인 계산 과정을 예상해 본다면, "단순한 정현파들의 선형적 조합으로 이뤄진 다항식 몇 개의 곱"이 된다. 그 다항식들 속의 각 정현파 성분(즉, 코사인 함수의 항)들끼리 서로 곱해지며 발생하는 링 변조의 결과들을 계산하면 된다.

이 방법으로 복합음의 완전 거듭제곱의 결과를 하나 계산해 보자. 예를 들어, 부분음이 3개인 복합음 입력 신호를 전달함수가 $f(x) = x^3$ 인 시스템에 부여한 결과를 계산해 보자. 입력 신호의 세 주파수 성분을 각각 1200, 2000, 4500Hz라고 정해 두고, 각각의 진폭들은 0.1, 0.5, 0.3이라 정해 보자. 이 상황을 수식으로 나타낸다면

$$(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.5\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$$

와 같은 형태가 된다. 여기서 나올 수 있는 항의 종류들을 모아 보면 총 10가지가 되며, 그 종류들은 아래와 같다.

- 1) $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^1 \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^1 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^1$
- 2) $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^2 \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^1$
- 3) $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^2 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^1$
- 4) $(0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^2 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^1$
- 5) $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^1 \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^2$
- 6) $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^1 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^2$
- 7) $(0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^1 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^2$
- 8) $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^3$

$$9) (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^3$$

$$10) (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$$

식 5. 삼각다항식 $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.5\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$ 을 전개했을 때 나올 수 있는 항의 종류들 10가지.

식 5의 1)에서 10)의 앞에 붙는 계수들을 각각 계산하여 식에 반영하면 아래와 같다.

$$(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.5\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$$

$$= \frac{3!}{1!1!1!} \cdot (0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^1 \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^1 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^1 + \frac{3!}{2!1!} \cdot (0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^2 \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^1 + \frac{3!}{2!1!} \cdot (0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^2 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^1 + \frac{3!}{2!1!} \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^2 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^1 + \frac{3!}{2!1!} \cdot (0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^1 \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^2 + \frac{3!}{2!1!} \cdot (0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^1 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^2 + \frac{3!}{2!1!} \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^1 \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^2 + \frac{3!}{3!} \cdot (0.1\cos(2\pi \cdot 1200t))^3 + \frac{3!}{3!} \cdot (0.5\cos(2\pi \cdot 2000t))^3 + \frac{3!}{3!} \cdot (0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$$

식 6. 식 5에서 얻은 항들 앞에 알맞은 계수를 계산하여 각 항들의 합의 형태로 구성된 삼각 다항식의 전개.

$\frac{3!}{1!1!1!} = 6$ 이고, $\frac{3!}{2!1!} = 3$ 이고, $\frac{3!}{3!} = 1$ 이다. 이를 반영하여 남은 항들의 곱셈 연산(단순 정현파끼리의 링 변조와도 같다고 할

수 있는)을 마저 수행하여 단순 정현파 성분들의 조합으로 설명할 수 있을 만큼 전개하는 과정을 통해 출력 신호의 주파수 성분들과 그 강도값들을 계산하는 과정을 아래에 보인다. 먼저 식 6의 전개식 부분의 10개의 항들 중 첫 번째 항을 단순 정현파 성분의 조합으로 설명될 때까지 완전히 계산하면,

$$0.0225(\cos(2\pi \cdot 7700t) + \cos(2\pi \cdot 1300t) + \cos(2\pi \cdot 5300t) + \cos(2\pi \cdot 3700t))$$

이 되며, 0.225의 진폭을 가지는 7700, 5300, 3700, 1300Hz의 정현파 성분을 얻게 된다.

나머지 9개의 항들도 마저 계산하여, 삼각 다항식

$$(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.5\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$$

의 형태로 표현되는 파형성형의 최종 결과를 아래와 같이 보인다.

$$\begin{aligned} &0.0225(\cos(2\pi \cdot 7700t) + \cos(2\pi \cdot 1300t) \\ &+ \cos(2\pi \cdot 5300t) + \cos(2\pi \cdot 3700t)) \\ &+ \\ &0.00375\cos(2\pi \cdot 400t) + 0.0075\cos(2\pi \cdot 2000t) \\ &+ 0.00375\cos(2\pi \cdot 4400t) \\ &+ \\ &0.00225\cos(2\pi \cdot 2100t) + 0.0045\cos(2\pi \cdot 4500t) \\ &+ 0.00225\cos(2\pi \cdot 6900t) \\ &+ \\ &0.05625\cos(2\pi \cdot 500t) + 0.1125\cos(2\pi \cdot 4500t) \\ &+ 0.05625\cos(2\pi \cdot 8500t) \\ &+ \\ &0.0375\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.01875\cos(2\pi \cdot 2800t) \\ &+ 0.0375\cos(2\pi \cdot 5200t) \\ &+ \\ &0.0135\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.00675\cos(2\pi \cdot 7800t) \\ &+ 0.00675\cos(2\pi \cdot 10200t) \\ &+ \\ &0.0675\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.03375\cos(2\pi \cdot 7000t) \\ &+ 0.03375\cos(2\pi \cdot 11000t) \\ &+ \\ &0.00075\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.00025\cos(2\pi \cdot 3600t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \\ &0.09375\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.03125\cos(2\pi \cdot 6000t) \\ &+ \\ &0.02025\cos(2\pi \cdot 4500t) + 0.00675\cos(2\pi \cdot 13500t) \\ &= \\ &0.00375\cos(2\pi \cdot 400t) + \\ &0.05625\cos(2\pi \cdot 500t) + \\ &0.05175\cos(2\pi \cdot 1200t) + \\ &0.0225\cos(2\pi \cdot 1300t) + \\ &0.16875\cos(2\pi \cdot 2000t) + \\ &0.00225\cos(2\pi \cdot 2100t) + \\ &0.01875\cos(2\pi \cdot 2800t) + \\ &0.00025\cos(2\pi \cdot 3600t) + \\ &0.0225\cos(2\pi \cdot 3700t) + \\ &0.00375\cos(2\pi \cdot 4400t) + \\ &0.13725\cos(2\pi \cdot 4500t) + \\ &0.0375\cos(2\pi \cdot 5200t) + \\ &0.03125\cos(2\pi \cdot 6000t) + \\ &0.00225\cos(2\pi \cdot 6900t) + \\ &0.03375\cos(2\pi \cdot 7000t) + \\ &0.0225\cos(2\pi \cdot 7700t) + \\ &0.00675\cos(2\pi \cdot 7800t) + \\ &0.05625\cos(2\pi \cdot 8500t) + \\ &0.00675\cos(2\pi \cdot 10200t) + \\ &0.03375\cos(2\pi \cdot 11000t) + \\ &0.00675\cos(2\pi \cdot 13500t) \end{aligned}$$

식 7. 파형성형을 나타내는 삼각 다항식 $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.5\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$ 을 완전히 전개한 후 단순 정현파 성분의 합으로 나타낸 결과.

합성 결과로 총 21개에 달하는 많은 부분음들이 발생하는데, 이 부분음들의 주파수의 최대공약수(GCD)는 100Hz이다. 따라서 파형성형 후 출력된 신호를 청취할 때 우리는 기음(fundamental) 성분의 주파수를 100Hz로 삼게 될 것이다. 상기한 파형성형의 결과를 Supercollider 상에서 실제로 구현해 보면 아래와 같다.

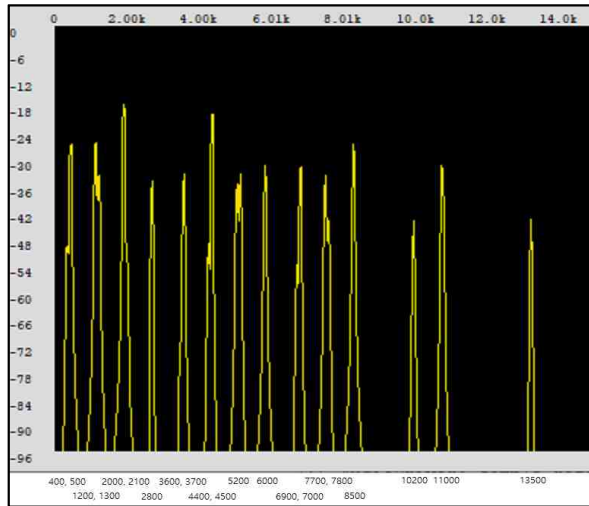


그림 6. Supercollider 상에서 구현된 $(0.1\cos(2\pi \cdot 1200t) + 0.5\cos(2\pi \cdot 2000t) + 0.3\cos(2\pi \cdot 4500t))^3$ 형태의 파형성형의 결과(Linear Frequency Scale).

3) 입력 신호가 "동일한 강도의 부분음 성분으로 구성된 협화적 복합음"일 때의 특징적 규칙들

N-제곱 함수를 전달함수로 가지는 시스템에 소재목에 기술한 조건에 맞는 "동일한 강도의 부분음 성분으로 구성된 협화적인 복합음"의 신호가 입력 신호로 부여된다면, 흥미로운 패턴이 발견된다. 아래와 같은 규칙으로 완전제곱을 통해 협화적 복합음을 파형성형 한다고 가정해 보자.

$$\begin{aligned}
 &(\cos\theta + \cos2\theta)^2 \\
 &(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta)^2 \\
 &(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta + \cos4\theta)^2 \\
 &(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta + \cos4\theta + \cos5\theta)^2 \\
 &(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta + \cos4\theta + \cos5\theta + \cos6\theta)^2 \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

식 8. 협화적 복합음을 완전제곱하는 파형성형의 예시들.

이 중 첫 번째 줄의 전개 결과는 아래와 같은데,

$$0.5(2\cos\theta + \cos2\theta + 2\cos3\theta + \cos4\theta + 2)$$

이 표기를 다시 아래와 같이 축약해 계수 위주의 표현을 하기로 한다(가장 우측은 DC 성분이다).

$$0.5(2, 1, 2, 1, 2)$$

이런 형태로 상기한 식들의 계산 결과를 표현한다면 아래와 같다.

$$0.5(2, 1, 2, 1, 2)$$

$$0.5(4, 3, 2, 3, 2, 1, 3)$$

$$0.5(6, 5, 4, 3, 4, 3, 2, 1, 4)$$

$$0.5(8, 7, 6, 5, 4, 5, 4, 3, 2, 1, 5)$$

$$0.5(10, 9, 8, 7, 6, 5, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 6)$$

항상 항의 개수는 홀수 개이므로 정중앙의 항 하나를 특정할 수 있다(밑줄 참고). 아래에 작은 숫자들은 정중앙의 항을 기준으로 한 증감의 정도를 나타내고 있다.

$$0.5(2, 1, \underline{2}, 1, 2)$$

+1 -1 -1 +1

$$0.5(4, 3, 2, \underline{3}, 2, 1, 3)$$

+1 +1 -1 -1 -1 +2

$$0.5(6, 5, 4, 3, \underline{4}, 3, 2, 1, 4)$$

+1 +1 +1 -1 -1 -1 -1 +3

$$0.5(8, 7, 6, 5, 4, \underline{5}, 4, 3, 2, 1, 5)$$

+1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 -1 +4

$$0.5(10, 9, 8, 7, 6, 5, \underline{6}, 5, 4, 3, 2, 1, 6)$$

+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 -1 -1 +5

...

증감의 정도를 나타내는 작은 숫자들 속에서 규칙이 발견된다. 정중앙 항의 계수를 기준으로 좌측으로의 규칙은 처음 1회만 -1이 되고, 그 이후는 모두 +1이 된다는 것이다. 우측으로의 규칙은 계속 -1이 되다가 가장 마지막에는 +n(단, n은 식 8에서 몇 번째 줄에 있는 식인지 나타내는 숫자이다)이 된다는 것이다(가장 우측의 숫자는 DC 성분의 강도를 나타내는 숫자임을 밝힌다). 이 정보를 그래프로 나타내 보면 아래와 같다.

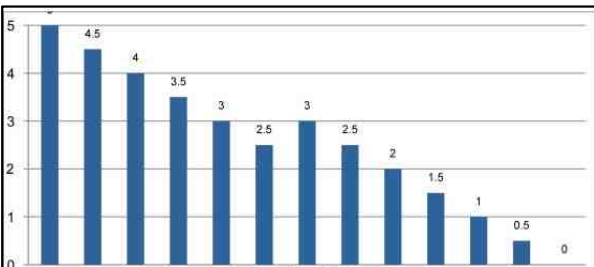
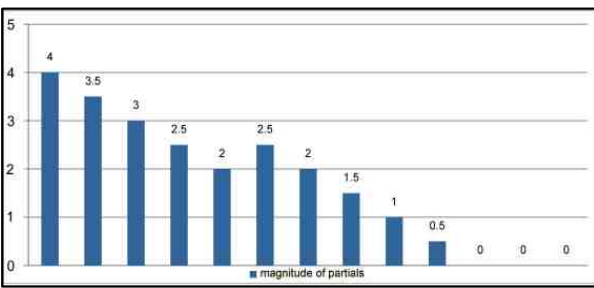
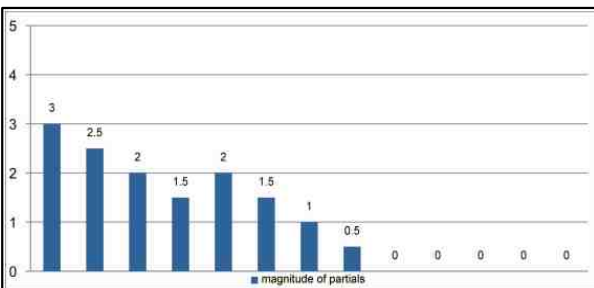
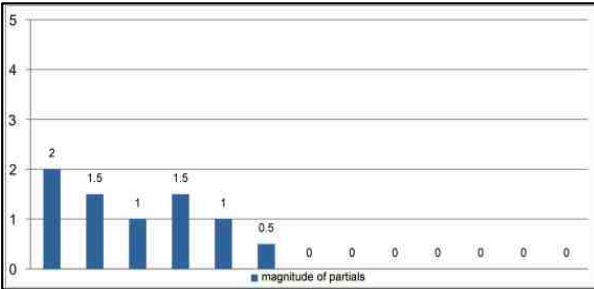
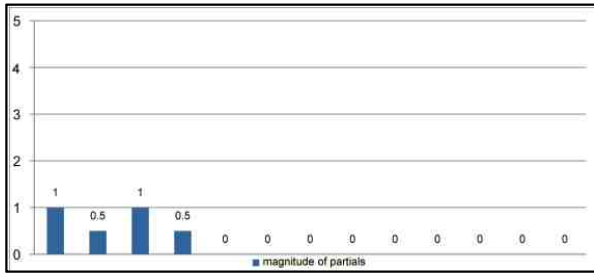


그림 7. 식 8 속의 파형성형 결과를 주파수 영역에서 표현한 그래프.

그림 7을 관찰해 보면 계수들만 놓고 보았을 때보다 더 규칙성이 명확히 드러난다. 발생하는 주파수 성분 중 DC 성분을 제외하고 모든 부분음을 기음부터 차례로 나열했을 때, 앞의 절반과 뒤의 절반의 모양이 비율만 다를 뿐, 똑같은 형태를 띠고 있음을 알 수 있다.

이번에는 완전 세제곱을 통해 협화적 복합음 입력 신호를 파형성형하는 경우에 출력되는 신호에서의 규칙을 알아보자.

$$(\cos\theta + \cos2\theta)^3$$

$$(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta)^3$$

$$(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta + \cos4\theta)^3$$

$$(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta + \cos4\theta + \cos5\theta)^3$$

$$(\cos\theta + \cos2\theta + \cos3\theta + \cos4\theta + \cos5\theta + \cos6\theta)^3$$

...

식 9. 협화적 복합음을 완전 세제곱하는 파형성형의 예시들.

식 9에서의 삼각 다항식들을 전개한 결과를 이번에도 계수 위주로 동일 규칙 하에 축약 표현해 보자.

$$0.25(9, 9, 4, 3, 3, 1, 3)$$

$$0.25(21, 21, 19, 12, 9, 7, 6, 3, 1, 9)$$

$$0.25(39, 39, 37, 33, 24, 19, 15, 12, 10, 6, 3, 1, 18)$$

$$0.25(63, 63, 61, 57, 51, 40, 33, 27,$$

$$22, 18, 15, 10, 6, 3, 1, 30)$$

$$0.25(93, 93, 91, 87, 81, 73, 60, 51, 43,$$

$$36, 30, 25, 21, 15, 10, 6, 3, 1, 45)$$

이번에는 가장 우측의 숫자부터 시작하여 올라가며 차례로 증감 정도를 계산한다. 구성 항의 계수들끼리의 단순 증감으로는 경향성을 정확히 파악할 수 없어 계수들의 단순 증감 경향에서 한 번 더 증감 정도를 파악한 2차적 계산 결과를 통해 규칙을 알아본다.

$$0.25(9, 9, 4, 3, 3, 1, 3)$$

$$+0 +5 +1 -0 +2 -2$$

$$-5 +4 \pm 1 -2 +4$$

$$0.25(21, 21, 19, 12, 9, 7, 6, 3, 1, 9)$$

$$+0 +2 +7 +3 +2 +1 +3 +2 -8$$

$$-2 -5 +4 \dots \pm 1 \pm 1 -2 +1 +10$$

$$0.25(39, 39, 37, 33, 24, 19, 15, 12, 10, 6, 3, 1, 18)$$

$$+0 +2 +4 +9 +5 +4 +3 +2 +4 +3 +2 -17$$

$$-2 -2 -5 \dots +4 \pm 1 \pm 1 \pm 1 -2 +1 +1 +19$$

$$0.25(63, 63, 61, 57, 51, 40, 33, 27, 22, 18, 15, 10, 6, 3, 1, 30)$$

$$+0 +2 +4 +6 +11 +7 +6 +5 +4 +3 +5 +4 +3 +2 -29$$

$$-2 -2 -2 -5 \dots +4 \pm 1 \pm 1 \pm 1 \pm 1 -2 +1 +1 +1 +31$$

$$0.25(93, 93, 91, 87, 81, 73, 60, 51, 43, 36, 30, 25, 21, 15, 10, 6, 3, 1, 45)$$

$$+0 +2 +4 +6 +8 +13 +9 +8 +7 +6 +5 +4 +6 +5 +4 +3 +2 -44$$

$$-2 -2 -2 -2 -5 \dots +4 \pm 1 \pm 1 \pm 1 \pm 1 \pm 1 -2 +1 +1 +1 +1 +46$$

...

2차적인 증감 수치를 관찰했을 때, 중앙의 n(식 9에서 몇 번째 줄에 위치한 식인지 나타내는 수)개를 +1로 채우게 되며 (밑줄 참고) 좌측에는 -5, -4가 한 번씩 나타난 후(점선 밑줄 참고) 나머지 자리들을 -2로 모두 채우게 된다(이탤릭체로 표기됨). 우측으로는 -2가 한 번 나타난 후(점선 밑줄 참고) 가장 우측 자리 하나를 제외한 나머지 자리를 +1로 채우면 된다(이탤릭체로 표기됨). DC 성분의 강도값은 모두 3의 배수로 이루어져 있는데, 입력신호의 부분을 성분이 하나씩 늘수록 "3에 곱해지는 수"가 규칙을 가진 채 늘어난다(1, 3, 6, 10, 15... 와 같은데 계차수열 형태이다). 이 정보 역시 그래프로 나타내 보면 아래와 같다.

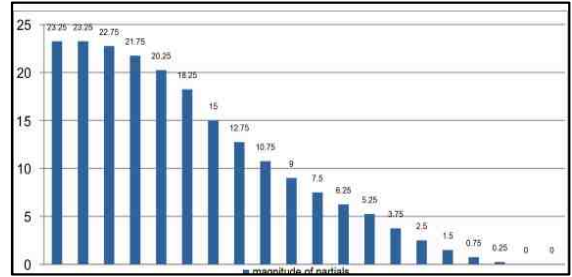
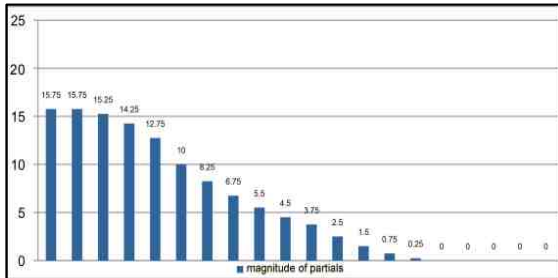
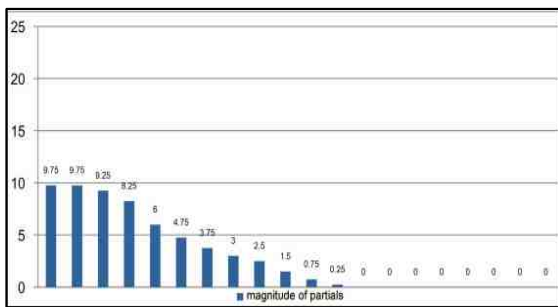
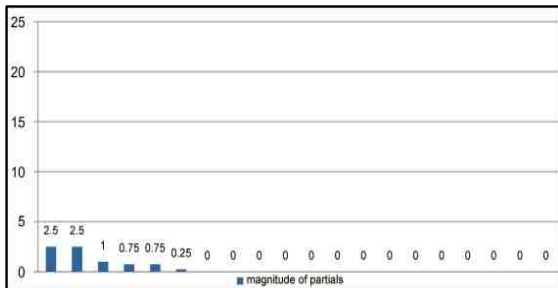
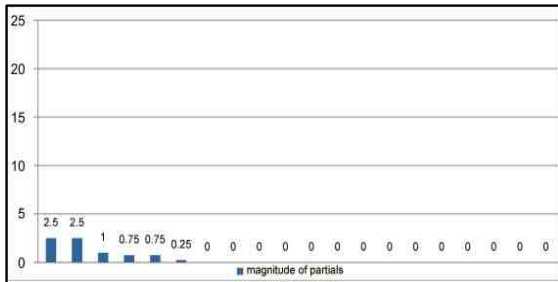


그림 8. 식 9 속의 파형성형 결과를 주파수 영역에서 표현한 그래프.

그림 7에서의 그래프와는 다르게 고배음 방향으로 가면서 중간에 일시적인 증가함 없이 계속 단조 감소함을 알 수 있다.



매클로린 급수로 해석 가능한 전달함수를 가지는 시스템

1) 테일러 급수와 매클로린 급수

이제 다양한 입력 신호에 대해 N-제곱 함수를 전달함수로 가지는 시스템의 출력 신호를 해석하는 방법을 바탕으로 몇 가지의 비선형 전달함수를 가지는 시스템을 해석하는 방법을 알아볼 것이다. 이를 위해서는 먼저 "테일러 급수(Taylor Series)"와 "매클로린 급수(Maclaurin Series)"를 알아야 한다. 아래는 테일러 급수의 정의를 나타내고 있다.

"함수 $f(a)$ 가 $a \in \mathbb{R}$ 에서 여러번 미분 가능할 때, 다항함수들의 선형 합의 형태로 $f(a)$ 를 근사한 식을 "테일러 급수"라고 부른다."

$$T_f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x - a)^n$$

$$= f(a) + f'(a)(x - a) + \frac{1}{2}f''(a)(x - a)^2 + \frac{1}{6}f'''(a)(x - a)^3 + \dots$$

식 10. 테일러 급수의 정의.

식 10에서 특별히 $a=0$ 일 때의 테일러 급수를 매클로린 급수라고 부른다.

$$M_f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} (x)^n$$

$$= f(0) + f'(0)x + \frac{1}{2}f''(0)x^2 + \frac{1}{6}f'''(0)x^3 + \dots$$

식 11. 매클로린 급수의 정의.

매클로린 급수를 이용하여 대표적인 비선형 함수인 사인함수를 다항함수의 선형적 합의 형태로 표현하면 아래와 같다.

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} + \dots$$

식 12. 사인함수를 매클로린 급수 형태로 표현한 식.

만약 사인함수가 전달함수인 경우, 식 12에서의 미지수 x의 자리에 정현파를 나타내는 코사인함수를 대입하여 각 항을 "정현파의 N-제곱" 형태로 만들어 전술한 방법을 이용하여 파형성형의 최종 결과를 해석할 수 있다. 본 연구에서는 특별히 삼각함수들 중에서 특기할 만한 결과를 낳는 함수(y = sinx, y = tanx, y = arctanx, y = tanhx) 몇 가지를 전달함수로 가지는 시스템을 해석해 보고, 마지막으로 몇 종류의 비선형 전달함수들이 직, 병렬로 조합된 임의의 시스템을 해석하는 한 예시를 보이기로 한다. 각각의 함수에 입력 신호로 정현파를 부여한 후 출력된 신호를 시간 영역과 주파수 영역에서 각각 관찰하고, 직접 이를 구현할 수 있는 Supercollider 코드를 제시한 다음 전달함수의 개형을 필요한 범위 안에서 구현하기 위해 필요한 매클로린 급수의 항이 비교적 적은 함수의 경우에는 파형성형 결과 발생하는 각 부분음 성분들의 강도값을 직접 구해볼 것이다.

2) 기본적 비선형 함수들의 전달함수화

[1] y = sinx의 경우

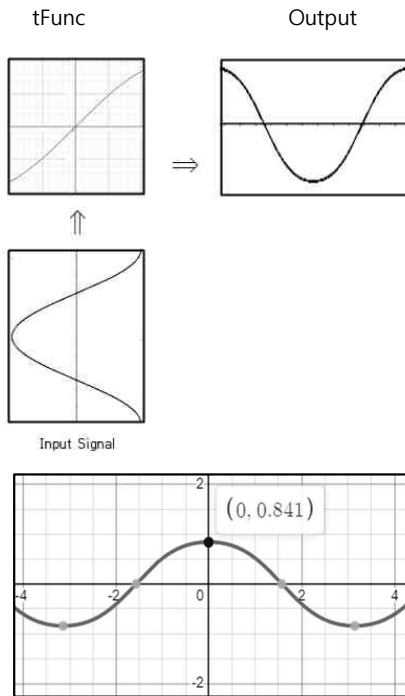


그림 9. y = sin(cos x)의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻는 과정.

상기한 사인함수(y = sinx)가 전달함수인 경우를 해석해 보자. 앞서 언급된 식 12를 이용하여 사인함수 형태의 전달함수를 통한 파형성형 시스템의 단위 정현파 입력 신호에 대한 출력 신호를 계산하는 식을 만들면 아래와 같다. 아래의 식을 통해 전달함수가 사인함수일 경우, 더 이상 대역 제한적인 출력 신호가 나오지 않음을 알 수 있다(정확히 말하면 대역 제한적 신호가 무수히 모여서 대역 제한적이지 않게 된다고 설명할 수 있다).

$$\begin{aligned} \sin(\cos x) &= \cos x - \frac{(\cos x)^3}{3!} + \frac{(\cos x)^5}{5!} - \frac{(\cos x)^7}{7!} \\ &+ \dots + (-1)^n \frac{(\cos x)^{2n+1}}{(2n+1)!} + \dots \\ &= \cos x - \frac{1}{3! \cdot 4} (3\cos x + \cos 3x) \\ &+ \frac{1}{5! \cdot 16} (10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x) \\ &- \frac{1}{7! \cdot 64} (35\cos x + 21\cos 3x + 7\cos 5x + \cos 7x) \\ &+ \dots \end{aligned}$$

$$0.8802083\cos x - 0.0390625\cos 3x + 0.00052083\cos 5x + \dots$$

식 13. 사인함수가 전달함수인 시스템을 이용한 파형성형 결과를 계산하는 수식(결과는 세 번째 항까지만을 합한 근사값이다).

식 13 속의 계산 결과를 보면 홀수 번째 배음들만이 출력 신호에서 관찰되고 있음을 알 수 있다. 이를 주파수 영역에서 관찰하면 아래와 같은 결과를 얻게 된다(음수 크기의 강도값이 나오지만, 스펙트럼 상에서는 양수값으로 표현되어 나온다).

```
(
{
SinOsc.ar(100, mul:1).sin;
}.play;
)
```

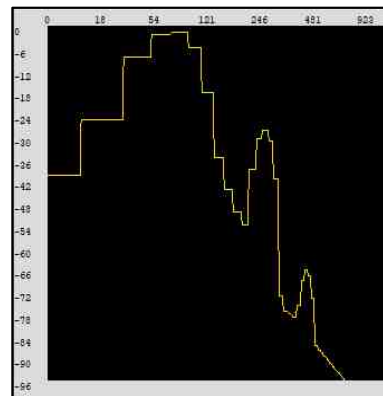
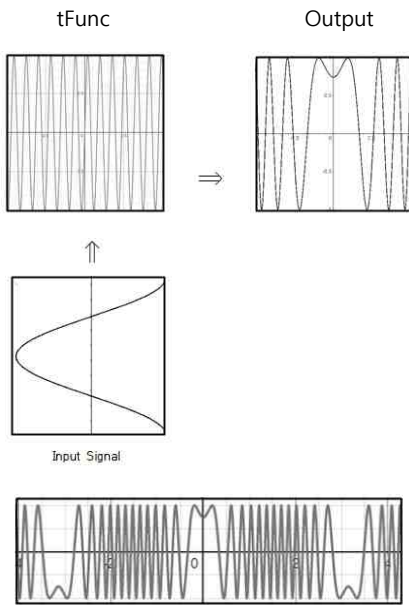


그림 10. 그림 9에서의 파형을 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

만약 전달함수가 단순한 사인함수의 형태가 아니라 조금 더 주기가 짧은 $y = \sin 40x$ 과 같은 형태라면, 아래와 같이 더 다채로운 주파수 성분들을 포함하는 파형을 만들어 낼 수 있으며, 이 역시 식 13의 방법과 유사한 계산 과정을 통해 출력 신호의 특성을 분석할 수 있다. 다만 $y = \sin 40x$ 이라는 전달함수를 필요한 범위 속에서 제대로 구현하기 위해서는 매크로린 급수 속의 항이 적어도 수십 개 정도 필요하며, 항의 개수가 부족한 상태에서 계산을 하면 실제 출력 신호에서의 결과와 상당히 괴리된 결과를 얻게 된다(거시적인 경향성 자체도 얻을 수 없을 정도이다). 아래에 파형성형의 과정과 그 결과의 일부를 보인다.



```
(
{
  SinOsc.ar(100, mul:40).sin;
}.play;
)
```

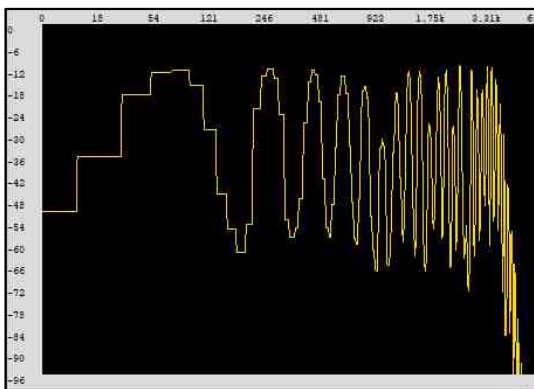


그림 11. 전달함수가 $y = \sin 40x$ 의 형태인 시스템을 통과한 주파수가 100Hz인 정현파의 시간 영역에서의 모습을 얻는 과정과 주파수 영역에서의 모습(Logarithmic Frequency Scale).

[2] $y = \tan x$ 의 경우

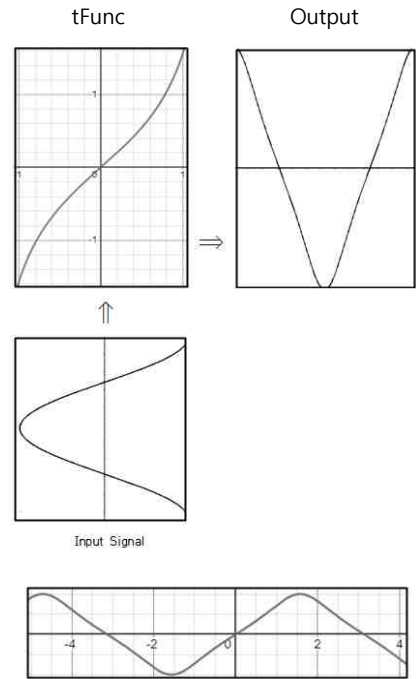


그림 12. $y = \tan(\cos x)/1.557$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻는 과정(단, /1.557은 진폭의 정규화를 위한 과정이다).

탄젠트 함수($y = \tan x$)는 위와 같이 거시적으로는 삼각파를 닮았지만 변곡점들이 있고, 모서리가 둥근 형태의 흥미로운 파형을 단위 정현파 입력 신호에 대한 출력 신호로 만들어 준다. 탄젠트 함수를 매크로린 급수의 형태로 나타내면 아래와 같다. 그리고 아래의 매크로린 급수 속 변수의 자리에 코사인함수를 대입하여 단위 정현파 입력에 대한 파형성형을 계산한 결과까지 보인다.

$$\begin{aligned} \tan x &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{((-4)^n - (-16)^n) \cdot B_{2n}}{(2n)!} x^{2n-1} \\ &= x + \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 + \frac{17}{315}x^7 + \dots \\ \tan(\cos x) &= \cos x + \frac{1}{3}\cos^3 x + \frac{2}{15}\cos^5 x + \frac{17}{315}\cos^7 x + \dots \\ &= \cos x \\ &+ \frac{1}{3 \cdot 4}(3\cos x + \cos 3x) \\ &+ \frac{2}{15 \cdot 16}(10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x) \\ &+ \frac{17}{315 \cdot 64}(35\cos x + 21\cos 3x + 7\cos 5x + \cos 7x) \\ &+ \dots \\ &1.3\cos x + 0.125\cos 3x + 0.0083\cos 5x + \dots \end{aligned}$$

식 14. 탄젠트 함수를 매크로린 급수 형태로 표현한 것(8는 베르누이 수열³이다)과 이를 이용해 계산한 파형성형의 결과(결과는 세 번째 항까지만을 합한 근삿값이다).

식 14 속의 결과를 통해 탄젠트 함수를 전달함수로 갖는 시스템도 출력 신호에서 홀수 번째 배음들만을 관찰할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다. 단, $y = \tan(\cos x)$ 의 계산 결과상 출력 신호의 진폭이 1.557이므로 청취 전에 진폭을 정규화(normalize)해주는 작업이 필요하다.

```
(
{
  SinOsc.ar(100, mul:1).tan/1.557;
}.play;
)
```

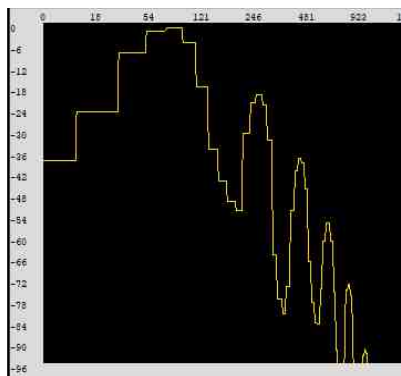
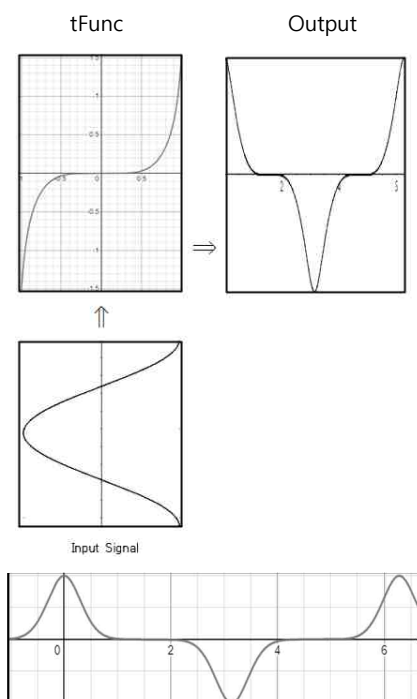


그림 13. 그림 12에서의 파형을 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

만약 탄젠트 함수로 많은 양의 배음을 만들고 싶다면 탄젠트 함수의 변수 x 를 $y = \tan(x^5)$ 와 같이 거듭제곱꼴로 만들어 전달함수로 이용하면 된다. 아래에 예시를 보인다.



```
(
{
  var n = 17;
  a = Signal.newClear((2**n) + 1);
  b = Buffer.alloc(s, (2**(n+1)), 1, bufnum: 1);
  a.waveFill({|x| x**5}, -1, 1);
  b.loadCollection(a.asWavetableNoWrap);
  b.plot;
  Shaper.ar(
  b, SinOsc.ar(1000, 0, mul: 1), 1).tan/1.557;
}.play;
)
```

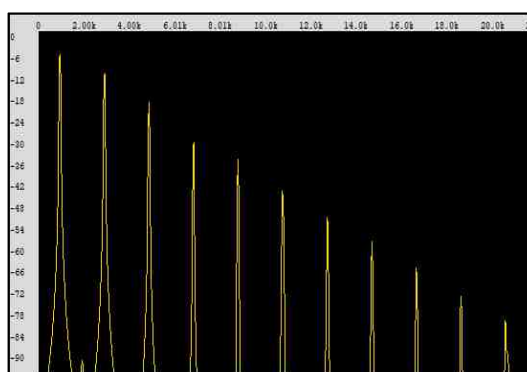


그림 14. $y = \frac{\tan(\cos x)^5}{1.557}$ 의 시간 영역에서의 그래프를 얻는 과정과 이를 주파수 영역에서 관찰한 결과(Linear Frequency Scale). 입력한 정현파의 주파수는 1000Hz이다.

$y = \tan((\cos x)^5)$ 의 매클로린 급수에서의 두 번째 항까지를 포함하여 근사한 형태로 파형성형의 결과를 계산하면 아래의 식 15와 같은 결과를 얻게 되고, 결과 속 계수들을 정규화하여 스펙트럼 상에 표현한 것이 그림 14이다.

$$\begin{aligned} \tan((\cos x)^5) &= 0.75592\cos x + 0.414326\cos 3x + 0.123596\cos 5x \\ &+ 0.02777\cos 7x + 0.009256\cos 9x + 0.002136\cos 11x \\ &+ 0.000305\cos 13x + 0.00002\cos 15x \end{aligned}$$

식 15. $y = \tan((\cos x)^5)$ 를 계산하여 얻을 수 있는 파형성형의 결과(단, 결과는 $y = \tan((\cos x)^5)$ 의 매클로린 전개식의 두 번째 항까지만을 포함하여 근사한 값이다).

[3] $y = \arctan x$ 의 경우

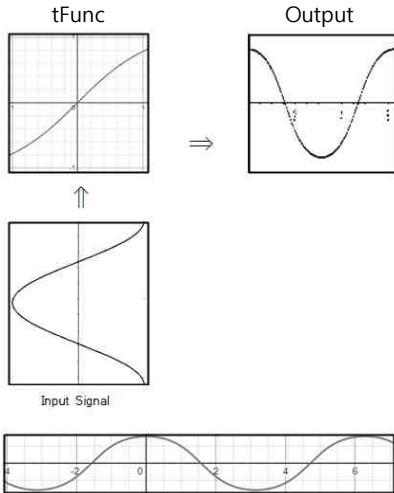


그림 15. $y = \arctan(\cos x) \cdot 4/\pi$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻는 과정(뒤에 붙은 $4/\pi$ 는 진폭을 1로 맞추기 위해 진행된 진폭의 정규화를 위한 숫자다).

앞서 언급된 탄젠트 함수의 역함수인 **아크탄젠트 함수**($y = \arctan x$)를 매클로린 급수로 표현하면 아래와 같다. 그리고 파형성형의 결과 역시 간단히 계산하는 과정을 보인다.

$$\begin{aligned} \arctan x &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n+1}}{2n+1} \\ &= x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \dots \quad (|x| \leq 1) \\ \arctan(\cos x) &= \cos x - \frac{1}{3 \cdot 4} (3\cos x + \cos 3x) \\ &+ \frac{1}{5 \cdot 16} (10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x) \\ &- \frac{1}{7 \cdot 64} (35\cos x + 21\cos 3x + 7\cos 5x + \cos 7x) \\ &+ \dots \\ &= 0.796875\cos x - 0.0677083\cos 3x \\ &- 0.003125\cos 5x - 0.002232\cos 7x + \dots \end{aligned}$$

식 16. 아크탄젠트 함수를 매클로린 급수 형태로 표현한 것과 단위 정현파 입력 신호에 대한 파형성형의 결과(계산 결과는 네 번째 항까지 포함하여 계산한 근삿값이며, 여기서도 음수 크기의 강도값이 나오지만, 스펙트럼 상에서는 양수값으로 표현되어 나온다).

아크탄젠트 함수의 매클로린 전개식은 사인함수의 매클로린 전개식과 비슷한 형태를 띤다. 다른 점은 각 항의 분모가 계승(Factorial)의 형태를 띠지 않는다는 점 정도와 전개식에서의 정의역이 추가되었다는 점 정도이다. 따라서 사인함수를 전달함수로 쓰는 시스템의 단순 정현파에 대한 출력 신호와 각 주파수 성분들의 강도만 다를 뿐 같은 성분을 공유하고 있다고 볼 수 있다.

```
(
{
SinOsc.ar(100, mul:1).atan*4/pi;
}.play;
)
```

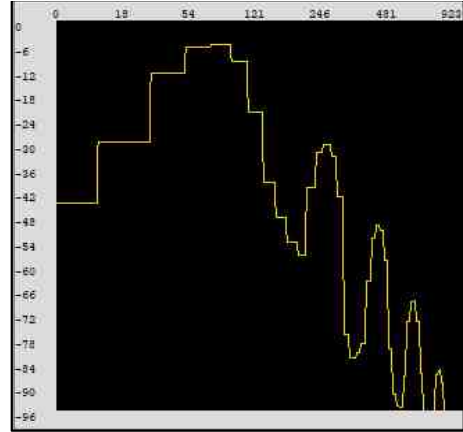
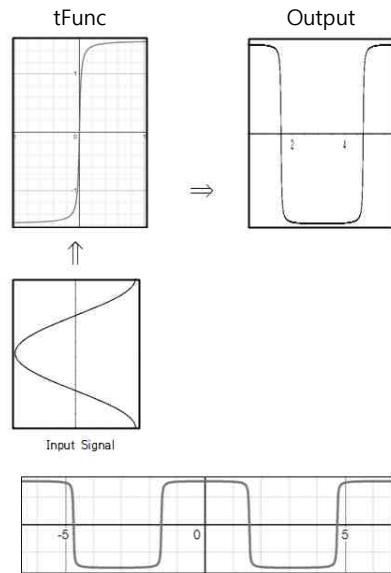


그림 16. 그림 15에서의 파형을 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

이처럼 아크탄젠트 함수의 기본형을 전달함수로 이용했을 때에는 다소 단조로운 듯한 결과를 만들어내지만, 변형된 아크탄젠트 함수를 이용하면 흥미로운 출력 신호를 만들어 낼 수 있다. 먼저 $y = \arctan 50x$ 와 같이 전달함수로 이용될 아크탄젠트 함수의 변수 x 앞에 임의의 자연수 계수가 붙는 경우를 아래에 소개한다.



```
(
{
SinOsc.ar(100, mul:50).atan/1.551;
}.play;
)
```

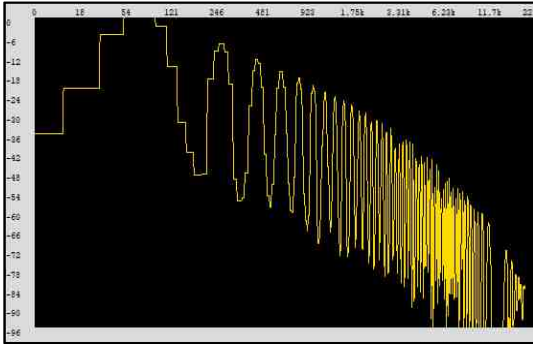


그림 17. $y = \arctan(50\cos x)/1.551$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻어내는 과정(뒤에 붙은 /1.551은 진폭을 1로 맞추기 위한 정규화를 위한 숫자이다)과 이를 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). 아주 많은 양의 부분음을 볼 수 있다. 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

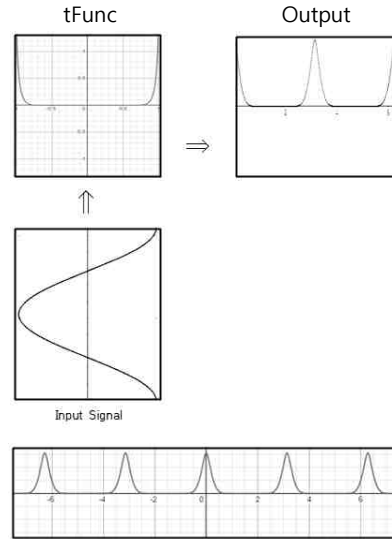
아크탄젠트 전달함수 속의 변수 x 앞에 임의의 계수가 붙는 경우, 단순 정현파 입력 신호가 파형성형되어 출력될 때에 모서리가 다소 둥근 사각파와 비슷한 모양으로 찌그러지게 된다. 이 계수가 커질수록 왜곡의 정도(모서리 각짐의 정도)는 더욱 심해지며, 자연스럽게 많은 양의 부분음을 추가적으로 발생하게 한다.

그리고 $y = \arctan(50\cos x)$ 를 이용한 파형성형 결과를 매클로린 급수를 통해 계산한 결과는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \arctan(50\cos x) \\ &= -60996096825\cos x - 36601572916.6\dot{\cos} 3x \\ & \quad -12203125000\cos 5x - 1743861607.142857\cos 7x \\ & \quad + \dots \end{aligned}$$

식 17. $y = \arctan(50\cos x)$ 로 표현되는 파형성형의 결과를 매클로린 급수를 이용해 계산한 결과(단, 매클로린 전개식의 4번째 항까지를 포함하여 계산한 근사값이다. 그럼에도 불구하고 $y = \arctan(50\cos x)$ 는 ± 1 범위 안에서의 그래프의 형태를 제대로 표현하기 위해 비교적 많은 개수의 매클로린 급수의 항들을 필요로 하는데 이 때문에 계산 결과 상에서 주파수 성분 강도값들의 거시적 경향성의 관찰 정도는 가능하나, 다른 함수들에서의 계산 결과보다 강도값들의 오차가 다소 크다는 사실과, 여기서도 음수 강도값들이 나올 역시 일러둔다).

다음으로는 아크탄젠트 함수 속 변수 x 가 N -제곱꼴이 될 때를 알아본다. 이 경우, 홀수 거듭제곱인지, 짝수 거듭제곱인지의 여부가 매우 중요해지는데, 우선 짝수 거듭제곱인 $y = \arctan(x^{20})$ 의 경우를 알아보자.



```
(
{
var n = 17;
a = Signal.newClear((2**n) + 1);
b = Buffer.alloc(s, (2**(n+1)), 1, bufnum: 1);
a.waveFill({|x| x**20}, -1, 1);
b.loadCollection(a.asWavetableNoWrap);
b.plot;

Shaper.ar(
b, SinOsc.ar(100, 0, mul: 1), 1).atan*4/pi;
}.play;
)
```

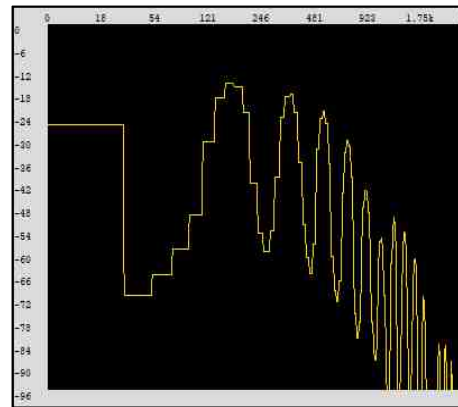
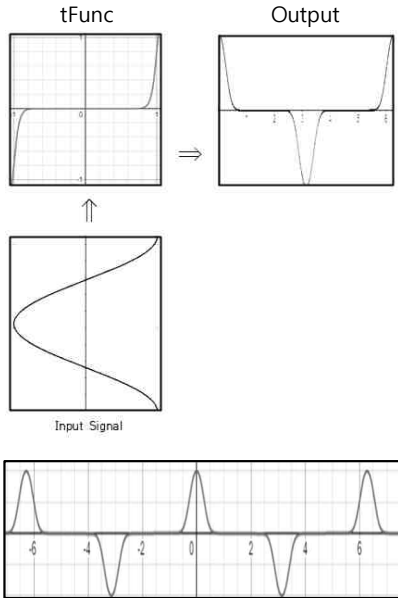


그림 18. $y = \arctan((\cos x)^{20}) \cdot \frac{4}{\pi}$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻어내는 과정(뒤에 붙은 $4/\pi$ 는 진폭을 1로 맞추기 위한 정규화를 위한 숫자이다)과 이를 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). DC성분이 관찰된다. 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

$y = \arctan(x^{20})$ 와 같이 전달함수 속 변수 x 를 짝수 거듭제곱을 했을 때는 그림 18에서처럼 전달함수 그래프의 개형이 일종의 납작한 "U"자 모양과 같이 형성되는데, 함숫값의 범위에 음수들이 포함되지 않는다(따라서 출력 신호에 DC성분이 포함되며 이는 단극성 신호가 되어버린다). 반면, $y = \arctan(x^{21})$ 와 같이 전달함수 속 변수 x 를 홀수 거듭제곱을 했을 때는 그래프의 개형이 짝수 거듭제곱일 때와는 다른 양상을 띤다.



```
(
{
var n = 17;
a = Signal.newClear((2**n) + 1);
b = Buffer.alloc(s, (2**(n+1)), 1, bufnum: 1);
a.waveFill({|x| x**21}, -1, 1);
b.loadCollection(a.asWavetableNoWrap);
b.plot;

Shaper.ar(
b, SinOsc.ar(100, 0, mul: 1), 1).atan*4/pi;
}.play;
)
```

그림 19에서와 같이 아크탄젠트 전달함수 속의 변수 x 를 홀수 거듭제곱하면, 전달함수 그래프의 개형이 양수와 음수 범위에 모두 걸쳐서 나타난다. 따라서 출력 신호는 양극성 신호가 되고 DC성분은 관찰되지 않으며, 그림 18에서의 경우에 비해 한 옥타브 낮은 소리가 만들어진다.

그림 18이나 19에서와 같은 전달함수 역시 유효한 결과를 얻기 위해 매우 많은 매클로린 급수의 항들이 필요하여 출력 신호에서의 주파수 성분들의 강도를 하나하나 알아내는 과정이 간단하지 않다.

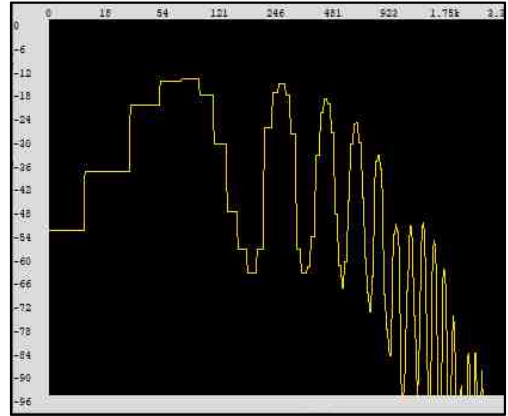


그림 19. $y = \arctan(\cos(x^{21})) \cdot \frac{4}{\pi}$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻어내는 과정(뒤에 붙은 $4/\pi$ 는 진폭을 1로 맞추기 위한 정규화를 위한 숫자이다)과 이를 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). 앞선 경우와 다르게 DC성분이 관찰되지 않는다. 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

[4] $y = \tanh x$ 의 경우

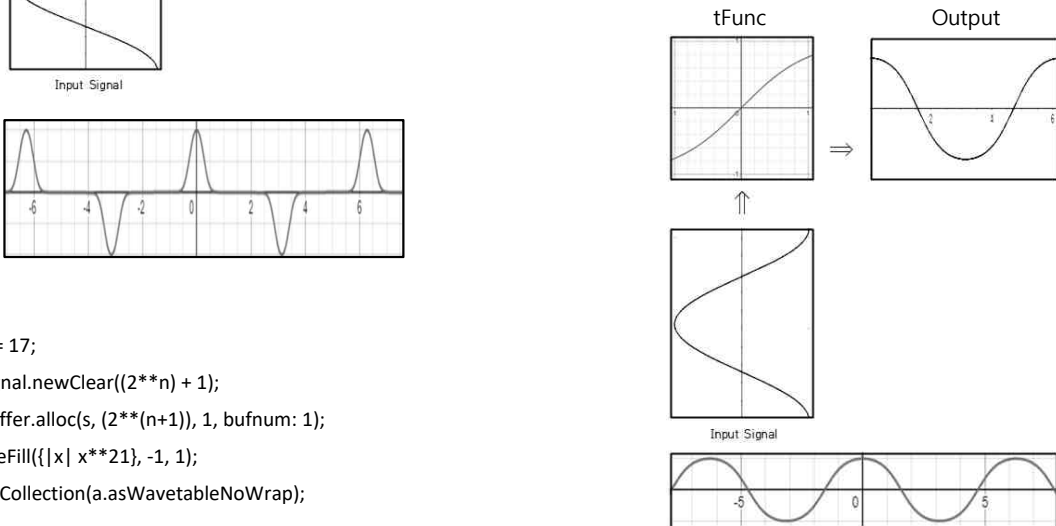


그림 20. $y = \tanh(\cos x) \cdot \frac{1000}{762}$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻는 과정(뒤에 붙은 $*1000/762$ 는 출력 신호의 진폭을 1로 맞추기 위해 진행된 진폭의 정규화를 위한 숫자다).

쌍곡탄젠트 함수($y = \tanh x$)를 매클로린 급수로 나타내고, 이를 통해 단위 정현파 입력의 파형성형의 결과를 계산하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \tanh x &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(16^n - 4^n)B_{2n}x^{2n-1}}{(2n)!} \\ &= x - \frac{x^3}{3} + \frac{2}{15}x^5 - \frac{17}{315}x^7 + \dots \\ \tanh(\cos x) &= \\ \cos x - \frac{1}{3 \cdot 4} (3\cos x + \cos 3x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{2}{15 \cdot 16} (10\cos x + 5\cos 3x + \cos 5x) \\
 & - \frac{17}{315 \cdot 64} (35\cos x + 21\cos 3x + 7\cos 5x + \cos 7x) \\
 & + \dots \\
 & = 0.8038194\cos x - 0.0475694\cos 3x \\
 & + 0.0024305\cos 5x - 0.0000843\cos 7x \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

식 18. 쌍곡탄젠트 함수를 매클로린 급수 형태로 표현한 것(8는 베르누이 수열이다)과 이를 이용한 단위 정현파 입력의 파형성형 계산 과정과 그 결과(단, 결과는 $y = \tanh x$ 의 매클로린 급수의 네 번째 항까지만을 포함하여 계산한 근사값이다).

그림 20에서 나타난 쌍곡탄젠트 전달함수의 개형은 아크탄젠트 함수와 매우 유사하다. 따라서 전술한 아크탄젠트 전달함수처럼 입력 신호인 정현파의 마루 부분을 골 방향으로 조금씩 찌그러트리는 작용을 하게 된다. 출력 신호 속에서는 사인함수일 때, 그리고 아크탄젠트 함수일 때와 마찬가지로 홀수 번째 배음들만이 관찰된다.

```

(
{
  SinOsc.ar(100, mul:1).tanh*(1000/762);
},play;
)

```

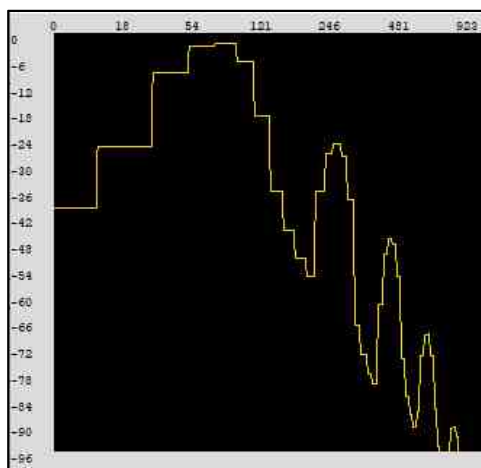
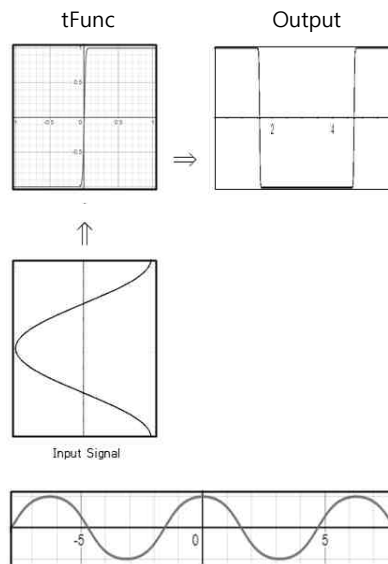


그림 21. 그림 20에서의 파형을 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale). 입력한 정현파의 주파수는 100Hz이다.

그리고 쌍곡탄젠트 전달함수의 변수 앞에 계수를 붙여 이용해도 아크탄젠트 함수에서의 경우처럼 더욱 많은 왜곡이 일어나게 유도할 수 있다. 아래에서는 식 $y = \tanh(50 \cdot \cos x)$ 로 만들어 낼 수 있는 파형성형의 예시를 보이고 있다. 이전

달함수 역시 유효한 결과를 얻기 위한 계산 과정이 매우 복잡한 편이다.



```

(
{
  SinOsc.ar(100, mul:50).tanh;
},play;
)

```

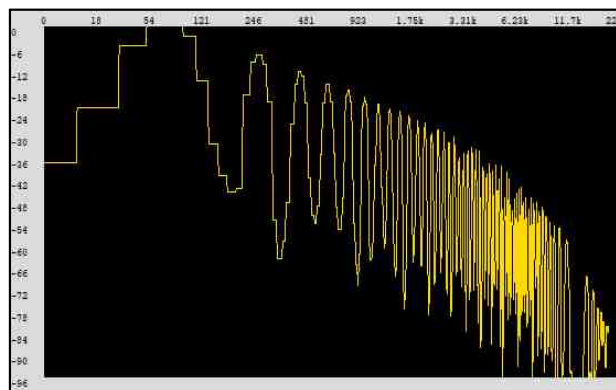


그림 22. $y = \tanh(50 \cdot \cos x)$ 의 시간 영역에서의 그래프와 이를 얻는 과정과 이를 주파수 영역에서 관찰한 것(Logarithmic Frequency Scale).

[5] 비선형 전달함수들의 혼합

앞서 [1]~[4]까지는 삼각함수의 영역 안에서의 전달함수를 가지는 시스템을 통한 왜곡 합성의 결과에 대해 알아보았으나, 이외의 비선형 함수를 통해서도 얼마든지 흥미로운 왜곡의 결과를 만들 수 있다. 유리함수, 지수함수나 로그함수 등의 함수들도 얼마든지 x 축 상의 ±1 범위 속에서 함수값을 만들어 낼 수 있도록 만든다면 전달함수로 쓰일 수 있다. 간단한 예를 들어 본다면 $y = x/(a + b|x|)$ 와 같은 형태로 절댓값 기호를 포함한 유리함수는 앞서 언급한 $y = \tanh x$ 와 비

슷한 모양을 띠게 되어 입력 신호에 많은 고주파 성분을 추가적으로 발생시킬 수 있으며, 자연상수 e 를 밑(base)으로 가지는 지수함수를 토대로 구성된 유리함수 $y = \frac{be^{ax}}{e^{ax} + 1}$ 의 꼴과 같은 전달함수 역시 $y = \tanh x$ 와 유사한 그래프 개형으로 표현될 수 있으며, 따라서 많은 배음들을 만들어낼 수 있다. 아래에 언급한 두 가지 전달함수의 예시를 그래프 형태로 보인다.

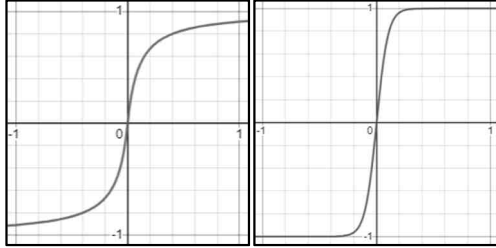


그림 23. 좌측 그래프는 $y = x/(a + b|x|)$ 형태의 그래프($a=0.1, b=1$)이고, 우측 그래프는 $y = \frac{be^{ax}}{e^{ax} + 1}$ 형태의 그래프($a=20, b=2$)이다.

전술된 여러 가지 비선형 전달함수들 중 몇 가지를 혼합해 쓴다면 더 효과적으로 많은 부분음들을 만들어낼 수 있을 것이다. 임의로 만든 한 전달함수의 예를 들어 단순 정현파 입력 신호를 이용한 파형성형을 한 후, 출력 신호의 성분들까지 해석하는 사례 한 가지를 구성해 보았다. 임의로 구성해 본 전달함수는 아래와 같다. 이는 지수함수와 삼각함수와 다항함수가 모두 이용된 형태이다.

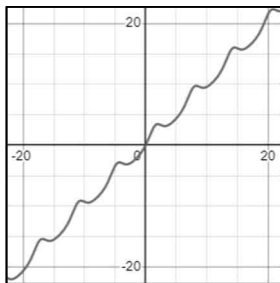


그림 24. 전달함수로 이용될 함수 $y = e^{\sin x} + x - 1$ 그래프의 개형.

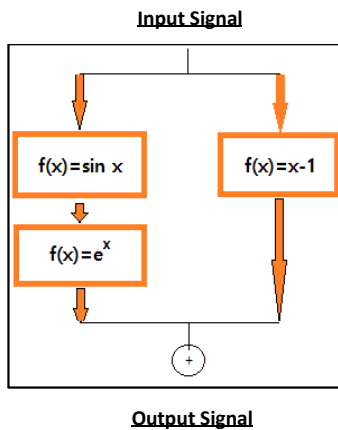


그림 25. 전달함수 $f(x) = e^{\sin x} + x - 1$ 가 적용되는 전반적 과정을 그린 블록선도.

그림 24에 나타난 함수 $y = e^{\sin x} + x - 1$ 을 매클로린 급수의 형태로 표현해야 이 함수를 전달함수로 가지는 시스템을 해석할 수 있는데 이 함수 속의 비선형 함수인 항은 첫 항인 $e^{\sin x}$ 뿐이므로, 이 항만을 매클로린 급수의 형태로 풀어내면 된다. $e^{\sin x}$ 항을 매클로린 급수의 형태로 전개하여 나타내면 아래와 같다.

$$e^{\sin x} = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{8} - \frac{x^5}{15} - \frac{x^6}{240} + \frac{x^7}{90} + \frac{31x^8}{5760} + \frac{x^9}{5670} + \dots$$

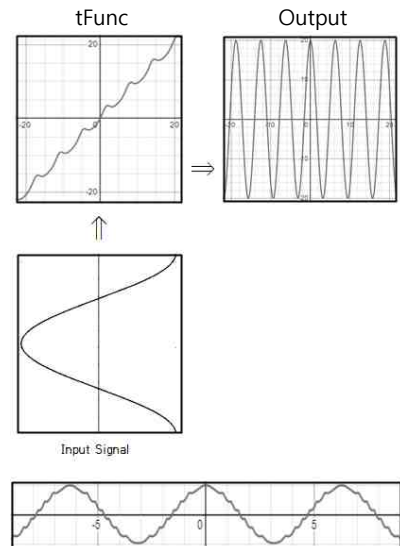
식 19. $y = e^{\sin x}$ 를 매클로린 급수의 형태로 표현한 식. x의 세제곱 항이 제외되어 있는 것이 특기할 만한 점이다.

식 19에 나머지 항인 $x - 1$ 이 더해지면 아래와 같다.

$$e^{\sin x} + x - 1 = 2x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{8} - \frac{x^5}{15} - \frac{x^6}{240} + \frac{x^7}{90} + \frac{31x^8}{5760} + \frac{x^9}{5670} + \dots$$

식 20. $y = e^{\sin x} + x - 1$ 를 매클로린 급수의 형태로 표현한 식.

그림 24 에서 보이듯, 이 전달함수는 x, y 축 상 ±1 의 범위 안에서는 상대적으로 굴곡이 크지 않아서, 입력 신호인 단순 정현파의 진폭을 20 배(임의의 수치이다)와 같이 크게 증폭하여 시스템에 부여하면 더 많은 왜곡을 만들어 낼 수 있다. 이 파형성형의 결과는 식 20 속의 변수 x 의 자리에 $20\cos x$ 를 대입하여 표현할 수 있다. 그렇게 되면 식 20 의 매클로린 급수를 구성하는 각각의 항들은 계수가 제각각인 정현파의 N-제곱의 합으로 표현될 수 있으며, 이는 앞서 언급한 식 1 을 통해 단순 정현파들의 합의 형태로까지 풀어서 파형성형 결과의 주파수 성분들을 낱알이 알 수 있다. 참고로 파형성형의 식인 $y = e^{\sin(20\cos x)} + 20\cos x - 1$ 의 계산 결과 얻을 수 있는 함수의 진폭은 21.492 가 되어버린다. 따라서, 계산 결과를 21.492 라는 숫자로 나누어 정규화해야 한다.



```
(
{
  var e, sig;

  e=exp(1);
  sig=
(e**SinOsc.ar(100, mul:20).sin)
+ SinOsc.ar(100, mul: 20)-1;
  sig/21.492;
},play;
)
```

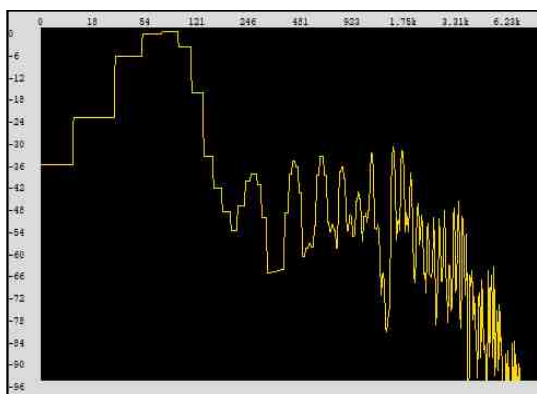


그림 26. " $y = (e^{sin(20cos x)} + 20cos x - 1)/21.492$ "의 형태로 파형성형하여 얻은 출력 신호를 시간 영역과 주파수 영역에서 각각 나타낸 것(Logarithmic Frequency Scale).

그림 26의 스펙트럼을 보면 명확한 경향성이 직관적으로 보이지 않는다. 그 이유들은 계수들의 값의 편차가 항마다 심하다는 것과, 식 20에서 알 수 있듯이 매클로린 급수 표현에서 세제곱의 항이 제외되어 있어서일 것으로 추론해 볼 수 있다. 그리고 $y = e^{sin x} + x - 1$ 이라는 전달함수 그래프 상에서의 여러 굴곡의 무리를 조금이라도 비슷하게 표현하기 위해서는 적어도 수십 개 정도의 상당히 많은 테일러 급수의 항이 필요하므로, 파형성형 결과에서 생기는 각각의 주파수 성분들의 강도값들을 하나하나 알아내는 과정이 복잡하다.

결론과 추가 연구의 방향

비선형 전달함수를 가지는 많은 시스템에서의 출력 신호 특성을 예측하기란 전달함수가 선형인 경우에 비해 비교적 어렵다. 하지만 비교적 연구 결과가 많이 축적된 "N-제곱 형태의 전달함수를 가지는 시스템에 입력 신호로 진폭이 1인 단위 정현파를 부여하는 경우"의 사례를 바탕으로 입력 정현파 신호의 진폭이 1이 아닌 경우와 입력 신호가 복합음일 경우의 출력 신호를 분석하는 방법을 소개했으며,

특히 입력 신호가 협화적 복합음일 경우에 출력 신호 속 주파수 성분들의 강도값 사이의 규칙들을 일부 찾아냈다.

그 후, 비선형 전달함수를 다항함수의 N-제곱 항의 선형 합으로 나타내는 테일러 급수, 그 중에서도 해석이 비교적 용이한 매클로린 급수와 더불어 많은 비선형 함수들 가운데 다양한 삼각함수들을 매클로린 급수의 형태로 전개하여 표현하는 방법을 알아보고, 그들을 전달함수로 이용하여 만들어낸 파형성형의 결과를 확인해보았다. 그리고 여러 비선형 함수를 혼합한 형태의 전달함수를 이용하는 파형성형의 결과를 해석하는 방법에 대해서도 간략한 사례를 통해 소개하였다.

추가 연구의 방향으로서는 많은 비선형 함수들의 혼합을 통해 만들어낼 수 있는 다양한 왜곡 합성법의 사례들을 찾아내는 것이 있을 것이다. 특히, 전달함수의 ± 1 범위 속에서 영역을 나누어 각 영역마다 다른 함수들을 배치하여 전달함수로 이용하는 경우도 있을 것이다. 이런 방법 하에서는 출력 신호의 시간 영역에서의 파형이 비대칭 형태가 될 수도 있으며 주파수 영역에서의 다양한 지점들에서 더 많은 부분음을 만들기 용이해지지만, 그 경향성의 예측은 더욱 어려워진다. 왜곡 합성(Distortion Synth)이라는 범주 안에서 합성된 소리의 다양한 질감 창출을 위하여 다양한 형태의 비선형 전달함수와 그들의 혼합태(직렬 혹은 병렬 조합)는 아직 더 많은 연구가 필요한 것으로 보인다.

참고문헌

Dodge, Charles/ Jerse, Thomas A.. (1997). *Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance*. Schirmer Books.

Lazzarini, Victor/ Timoney, Joseph. (2010). New Perspectives on Distortion Synthesis for Virtual Analog Oscillators. *Computer Music Journal* 34/ 1: 28-40.

Puckette, Miller. (2007). *The Theory and Technique of Electronic Music*. World Scientific Press.

Stewart, James. (1987). *Calculus*. CENGAGE Learning.

박두순. (2019). 이산수학: tool 중심으로 이해하는 새로운 시각. 한빛아카데미.

이상빈. (2021). 고주파 신호의 발생을 목적으로 하는 오디오 신호 디스토션에 관하여. *에밀레* 19: 79-90.

¹ Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance(1997)

² The theory and technique of Electronic Music(2007)

³ 탄젠트, 코탄젠트, 쌍곡탄젠트 등의 함수의 테일러 전개식의 각 항의 계수들 속에 포함된 수열이다. 이 수열은 주로 B_{2n} 이라는 형태로 표기되는데, 이 이유는 제 3항 이상의 홀수 항이 모두 0이라는 성질이 있기 때문이다. 베르누이 수열의 일반항은 수학자 야코프 베르누이(Jacob Bernoulli)에 의해 다음과 같다고 알려져 있다.

$$B_n = \sum_{k=0}^n \frac{1}{k+1} \sum_{r=0}^k C_r (-1)^r r^n$$

[Abstract in English | 영문 요약]

Interpreting the output signal of non-linear transfer function system based on power function

Sangbin Rhie

This study investigates on the method to interpret the output results when arbitrary audio signals are input to the system with a nonlinear function as a transfer function. Most of nonlinear functions can be explained by interpreting them in some linear combination forms of power functions by means of Taylor expansions, particularly Maclaurin series. For this case, as it finds out the input-output process of the system having a nonlinear function as a transfer function, the output signals from any system with that, however quite a complicated nonlinear function, could be explained. The features of a system having a nonlinear function as a transfer function is discussed to begin with, then a case study for predictive output signals is illustrated, furthermore the ways how to interpret the system having a nonlinear function as a transfer function are searched and exemplified with the help of the Maclaurin series, and finally tried to create a new sounds by using the waveshaping based on the transfer functions presented in this article.

Keywords: Nonlinear transformation, Maclaurin series, Waveshaping, Transfer function, Signal processing, System, Composite Function.

논문투고일: 2022년 09월29일

논문심사일: 2022년 11월16일, 12월2일

게재확정일: 2022년 12월15일

PART II: Reviews

제2부: 참관기

Sound of Korea, Electroacoustic Music 2021.10 - 2022.05: EMILLE review in 2022

Park, Soon-young
Composer, Music critic, Computer music reporter

This review was conducted from the end of October 2021 to the beginning of May 2022 written based on Arts Council Korea Art & Tech, Creative Experiment Activities at the Center for Performing Arts Creation, Seoul Foundation for Arts and Culture-Mullae Art Factory Sounds On, Hyundai Motor Company ZERO1NE DAY, Space I watched performances and exhibitions related to sound and electronic music, such as Sori, Howling Live, and Anchoring, review articles published in my webzine Play News, and emails, SNS, and phone calls with artists who performed and exhibited during the period

REVIEW 한국의 사운드, 전자음악 2021.10 - 2022.05: 에밀레 2022 리뷰

박순영
작곡가, 음악평론가, 컴퓨터음악전문기자

컴퓨터와 전자장비를 사용한 전자음악과 사운드의 매력은 소리 자체의 다양성과 미세한 스펙트럼에 있다. 그리고 무엇보다도 악기 음악, 클래식 음악과는 다른 접근성과 편리성일 것이다. 손쉬운 접근과 빠른 수정, 그리고 전시, 로봇, AI 등 적재적소에의 배치와 응용성은 우리가 이 전자음향, 사운드로 우리 삶과 문화의 미래를 논할 수 있게 한다.

더불어 전세계를 강타한 팬데믹 코로나Covid19의 중요한 변화로는 온택트, 언택트가 존재한다. 컴퓨터 온라인을 통한 온택트on-tact 언택트un-tact이 비대면 접촉에서 정보를 구분하고 확정짓는 주요소는 무엇일까. 정보에의 1차적 접근은 시각정보에 의하더라도 결국 내용을 서술해 진행시키고 완결시키는 것은 청각정보이다. 이러한 점 때문에 2021년부터 3년째 계속되는 코로나 비대면의 기간 동안에는 공연예술계에도 온라인미디어 지원과 더불어 사운드, 전자음악에의 관심이 높아졌으며 그에 따라 국내 실험사운드, 전자음악의 지형도도 변화였다.

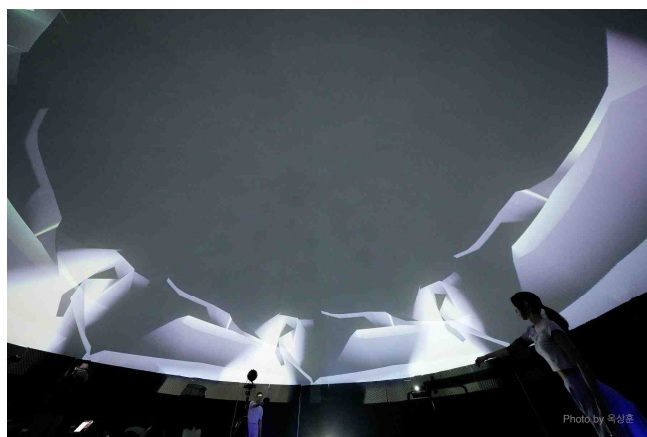
본 리뷰는 2021년 10월 말부터 2022년 5월 초까지 한국문화예술위원회 아트앤테크ART&Tech, 공연예술창작산실 창작실험활동, 서울문화재단-문래예술공장 사운즈 온, 현대자동차 ZERO1NE DAY, 공간소리, 하울링라이브, 닷올림 등 사운드, 전자음악 관련 공연과 전시를 관람하고 필자의 웹진 플레이뉴스에 게재된 리뷰기사, 그리고 해당기간의 공연과 전시를 펼친 예술가들과의 이메일과 SNS, 전화통화를 토대로 작성하였다.

김범기의 <파크뮤직>(2021)은 가로세로 높이 약 15m정도의 공간에 열 두개의 쇠파이프가 수직으로 서 있고 각 파이프 옆에 모터가 위치해 있다. 열 두 개의 크기가 다른 쇠파이프 옆면을 모터가 칠 때 프로그래밍 된 소리가 발생한다. 마치 옛 조선시대 자격루에 물이 차면 종을 울리는 것 같은 모습이다. 그는 우리나라 수많은 공원에 조각 등의 전시품은 있지만 음악은 없다는 문제의식으로 이 작업을 시작했다. 경남 이순신 공원과 근처의 매미소리, 뱃고동 소리 등 자연의 소리를 녹음 채집하면서 다양한 소리가 많다는 것에 놀라게 되어 이를 음악으로

바꾸는 계기가 되었다. 아두이노Arduino와 파이썬Python을 활용하여 공원의 날씨, 바람, 온도, 습도 등의 변화에 따라 파이프에서 음악이 변조되어 나온다. 무작위로 음악이 발생하는 것이 아니라 빅데이터를 통한 사계절 날씨 정보를 실시간 분석하여 공원을 찾는 사람들에게 매일 음악이 변하여 들리게 했다. 따라서 시민들은 자신을 지역의 자연적인 소리를 이 공원에서 휴식을 취하며 들을 수 있는 것이다. 눈이 오면 5개의 소리, 비가 오면 3개, 아주 맑은 날은 천천히 하나씩 소리게 움직인다. 20만개가 넘는 소리조합이 가능하다고 하니 날마다 변하는 날씨에 날마다 다른 소리가 기대가 된다. 김범기는 아트앤티크 인터뷰에서 “<파크뮤직>작업으로 소리라는 것이 우리에게 얼마나 소중한 자원인지 알게 되었다. 이것이 공연장 안에서만 공연되는 것이 아니라 공원에서 수많은 사람들과 함께 살아있는 듯이 움직이는 음악이 되고, 앞으로 전국의 수많은 공원에서 소리자원들을 발굴하고 소리자원을 끌어내면 좋겠다”고 말했다.

고병량은 한국문화예술위원회 아트앤티크 후원으로 융복합전시 <내가 잊혀지지 않도록 나를 올려주세요: 전통 악기의 소리짓>을 2021년 11월 30일 서울 시민청 지하2층 바스락홀에서 선보였다. 바스락홀에 징, 장구, 팽과리 등 15개 국악기가 놓인 모습은 흡사 국악기 전시나 판매장 같지만, 악기에 가까이 가면 악기를 치지도 않았는데 소리가 난다. 거리센서가 관객의 움직임을 감지하고, 악기마다 부착된 진동자를 스피커삼아 컴퓨터에 프로그래밍 된 소리가 발생하는 것이다. 관객의 스마트폰에 어플을 설치해 버튼을 누르는 원격제어 방식으로 각 국악기를 연주하고 관객간 합주로 흥미도 주었다. 이 작품으로 고병량은 사라져가는 절체절명의 위기 속 우리 국악의 소중함을 전자음악적 방식으로 표현했다. 11대의 마이크로컴퓨터, 사물인터넷IoT, OSC(open sound control), PoE+(Power over Ethernet +) 등의 핵심 기술이 사용되었다.

그는 또한 2021년 10월 26일부터 11월 7일까지 서울 스페이스필룩스 전시장에 고병량 & ATOD(김민직, 김민호, 이승정 작가)의 작품 <희생 없는 공존을 그리워하다. 파괴적 공생에 대한 가벼운 반성>에 참여했다. 흰 색 그랜드피아노에서 열 개의 로봇 손가락이 에릭사티 <짐노페디>의 나른한 화음을 연주한다. 이 모습이 앞쪽 스크린에 큰 영상으로 보인다. 영상 가운데 겹쳐있는 큰 숫자는 한국환경공단이 실시간 제공하는 대기환경 상태 '나쁨'의 측정소수이고, 그 숫자 안을 자세히 보면 지구온난화로 녹아 없어지는 빙하 사진, 산불 사진, 해수면 온도분포 사진이 보이는데 이는 문명의 파괴를 의미한다. 11월 7일에는 전시장에서 실내악연주도 열렸다. 짐노페디를 패러디한 고병량 작곡의 <짐노패러디>는 피아노로 연주하는 로봇, 이를 따라 연주하는 앞쪽의 자동 연주 피아노와 보조하는 실제연주자, 스마트폰으로 자동 연주 피아노(최소영)를 원격으로 연주하는 관람객, 비올라 연주팀(비올리시모) 이렇게 네 그룹이 연주를 구성한다. 관람객이 앉는 의자형태의 저역확성기에서는 '문명의 파괴성'을 암시하는 전자 음향이 때때로 발생하며 의자라는 문명의 '안락함'이 동시에 '파괴성'을 분출할 수 있는 아이러니의 관계를 작품에서 표현했다.



오예민 <Clouded Sphere>, 사진 옥상훈

오예민은 <멀티미디어 다원예술을 위한 실감형 온라인스트리밍 콘텐츠 개발 및 시연>(2022)이라는 사업명으로 2월 8일 일산 원마운트 360돔에서 쇼케이스를 선보였다. 제목처럼 음향의 서라운드와 영상, 무용과의 협업, 또 현장공연의 실시간 전송을 통한 언제어디서나 감상 가능한 부분까지를 폭넓게 다루었다. 한 시간 남짓의 공연은 두 작품의 시연과 작품설명으로 진행되었다. 먼저 조진옥의 <Earth Voice>(2022)가 공연되었는데 천장에 360돔 천장의 아메바 같은 작은 이미지가 나온다. 느린 무용수의 움직임이 시작되고 광 하는 번개소리가 임팩트를 준다. 연인처럼 느껴지는 무용수의 움직임, 영상에 색깔별 작은 원형태가 점점 작아지더니 물줄기가 흐르는 모습이다. 2015년 <수궁가>공연에서도 서라운드 음향을 진행한 조진옥은 이날 공연도 물소리가 실감나게 좌우 패닝으로 이동하고 있었다. 오예민의 <Clouded Sphere>(2022)는 무용수의 움직임에 자이로스코프 센서를 통한 사운드의 회전이 신비로웠다. 첫 부분 강렬한 사운드가

이미심장하다. 무용수가 우주 속 외계생명체처럼 서로를 탐색하고 우주선과 교신하는 느낌을 준다. 흰색 바탕의 영상에 갈매기 같은 소리와 번쩍이는 이미지가 스쳐간다. 남자무용수(심재호)는 엎드려 있고 여자무용수(정예림)는 밟고 올라가 먼 곳을 본다.

2월 13일과 14일에는 피칭데이가 있어 공연 외에 실험내용을 설명하는 단계가 진행되었다. 오예민은 자이로스코프 센서의 무용에의 적용, 360도 녹음마이크와 360도 촬영 카메라 종류, chrome, explorer 등 웹브라우저마다의 360도 사운드와 영상의 전송 가능유무, 그리고 페이스북 라이브로 쇼케이스를 스트리밍하게 된 경위 등을 자세하게 설명했다. 질의응답에서 이 팀의 작곡가 조진욱은 "최근 AR, VR로 가상공간과 몰입환경에 '사운드'의 역할이 크게 주목되는 현상이 반갑다. 이번 연구로 멀티채널과 다원작품의 여러 가능성을 보여준 것 같다"고 연구의의를 말했다. 오예민은 "공간음향을 만드는 Ambisonics 라는 기술을 이용해서, 더 실감나는 음향으로 360도 환경과 같이 만들어 보려는 계획이었다. 그리고, 이런 공간음향을 360VR 카메라와 접목해서 비대면 시대에 공연예술을 스트리밍으로 전환하는 방향에 대한 가능성과 문제점을 시연해 보는 의도였다"고 밝혔다. 이 작업은 한국문화예술위원회(ARKO) 창작산실실험활동 일환으로 진행되었다.

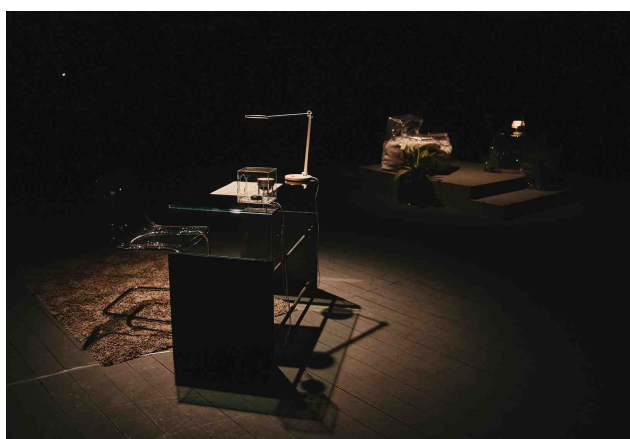
태싯그룹의 <수제천>(2021) 역시 창작실험활동 과정과 공유 일환으로 작품을 선보이며 13일 피칭데이에서, 지난 12월 13일 이태원 P12갤러리에서 선보인 쇼케이스 영상을 상영했다. 아날로그 오실레이터에 발생된 사운드에 노이즈가 가미되고, 컴퓨터로 만든 우주온하 같은 그래픽이 움직이며, 옛 왕의 행차음악 수제천의 웅장함이 최첨단 우주복을 입은 것 같은 멋진 작품이었다. 코로나이기에 대면공연을 진행하기에 부담되는 상황을 '쇼윈도 음악형태로 갤러리의 창문을 이용한 점이 신선했으며, 길거리 행인들이 오가는 모습까지 뮤직비디오에서 하나의 작품이 되고 있었다. 수제천의 음형을 분석하여 그 음계는 그대로 하되 필터와 변조로 전자음향다운 색채를 강화했다. 왼쪽에는 장재호, 가재발 두 연주자가 창문에서 컴퓨터와 아날로그 오실레이터를 매만지며 실시간 제어하는 모습, 그리고 오른쪽 창문에는 태싯그룹하면 빼놓을 수 없는 비주얼라이제이션, 즉 실시간영상이 새로운 수제천 음악의 문양을 점, 모인 점의 구름형태, 소용돌이치는 원 등 점차로 강화되는 형태로 클라이막스를 향해 움직이며 음악을 보여주었다. 피칭의 질의응답에서 장재호는 "국악이란 무엇일까? 고정되어 있고 예전부터 내려온 것에 갇혀 있는 것보다는 그것을 해체해서 그 안의 정신을 찾아보는 것이었다"라고 작품의 의의를 밝혔다. 또한 오예민, 태싯그룹과 더불어 한국문화예술위원회 창작실험활동 과정과 공유 27개 예술팀 중 8개 팀이 사운드, 음악팀이었다는 것은 주목할만한 현상으로 보인다.

김자현은 그의 작품 <E>에서 을지로의 생태에 접근했다. 을지예술센터는 2021년 11월 27일부터 2022년 1월 23일까지 권지현, 김자현, 민찬욱, 박소선, 이준영, 김슬기, 김준수, 정희민 8명 작가의 시선으로 본 을지로의 근미래를 담은 전시 <접는 도시>展을 진행했다. 철공소와 조명샵 등 영세 상점과 새로 생긴 고층빌딩이 공존하는 을지로의 한 켠 옛 철공소를 개조한 을지예술센터에서 전시된 미디어작품들은 공간의 존재와 발전의 문제의식을 충분히 드러내고 있었다. 을지예술센터 2층 가파른 계단을 올라가는 입구부터 김자현의 <E>가 멀리서 들려오기 시작했다. 2층 전시장 문을 여니 소리는 선명해졌는데, 피아노 근음 E를 로부터 배음렬로 상행하는 움직임이 마치 자연의 음을 닮아 있었다. 저음 E음이 지속되고 있는 가운데, 상성부는 상행해 꼭대기까지 도달 후 하행하고 고음에서 배회하기도 한다. 전시장에는 <E>의 악보를 하나의 작품으로 탁자 위에 배치해 두었다. 스피커와 음악, 탁 트인 창 밖 신구가 섞인 을지로의 건물들, 김자현의 옆 작품인 김슬기 작가의 <청기 토템 시리즈>까지 함께 김자현의 <E>를 흡수하고 더불어 <E>를 만들고 있었다. 또 작곡가는 아직 오지 않은, 보이지 않는 미래를 상상하면서 인간의 귀에 들리지 않는 '배음'을 소재로 음악을 만들었다고 한다. "소리는 진동"이라는 점에서 봤을 때 가장 자연적인 조화를 이루는 진동수의 비율인 '배음'은 내가 작품에서 보여주고 싶었던 조화로움과도 연결된다. 배음을 만들기 위해서는 기저음 fundamental frequency, 즉 배음의 기초가 될 수 있는 음이 필요한데, 을지로 Eulji-ro의 첫 영문자 E(미)음을 배음의 기저음으로 선택했다. 또한 E는 전자악기나 전자음악을 의미하는 일렉트릭 Electric, 일렉트로닉 Electronic의 약자이기도 해서 내 음악 스타일과 현재의 을지로와도 잘 어울린다고 생각했다"고 작품에 대해 설명했다.

지난 2월 22일에는 문래예술공장 박스씨어터에서 앙상블 오엔(리더 피아니스트 윤혜성)의 '케이블의 반란'이 공연되었다. 전자음악 공연으로, 다섯 명 작곡가 김희라, 이용범, 신혁진, 남상봉, 박명훈의 음악과 비주얼아티스트 윤제호의 감각적인 그래픽 영상을 조화시키며 '케이블의 반란'을 주제로 커다란 하나의 작품을 만들어주었다. 이 중 **남상봉**의 <AWA 2>(2022)는 인공지능 신경망이 작곡에 활용되었다. 단순한 음재료 '도레도레~도레미파' 등을 윤혜성이 차분차분 또박또박 연주하면 컴퓨터에서 음이 점차 여러겹으로 중첩되었다. 이렇게 반복만 되는가 궁금할 즈음 피아노 C저음과 고음의 16분음표도 연주되며 새로운 국면을 표현한다. 이후 다시 회귀하며 시컴퓨터는 지금까지 품었던 음형들을 높게 낮게, 빠르게, 딜레이도 더해 다양한 층위로 쏟아내며 클라이막스에서 스피커사이클을 돌아다니는 소리의 환상 속으로 관객을 인도한다. 남상봉은 "저는 인공지능이 저의 음악세계를 더 확장시켜 줄 수 있다고 믿습니다. 현재는 '작곡을 시킨다기 보다는 작곡에 필요한

도구로 활용한다라는 표현이 더 적절할 것 같습니다. 작업에 사용한 프로그램은 OpenAI의 Jukebox입니다"라고 작품을 설명했다. 남상봉의 작품에서 전자음악은 피아노를 확장했으며, 인공지능 신경망은 사람대신 작곡을 했다기보다는 전자음악의 한 방법으로 사용된 것이다. 그런데 궁금하다. 앞 고병량의 <짐노페르디>와 남상봉의 <WAI 2>가 만나면 어떻게 될까? 로봇이 인공지능에 의한 작곡과 연주모습을 모두 갖춘 형태 말이다.

그 다음 작품인 박명훈의 <GEO>(2022)에 앞서 간막 영상음악 또한 <GEO>에서의 음향과 윤제호 작가의 영상이 함께한 것이었다. 바닷물 소리와 고래울음소리 같은 특이한 음향에 로봇트 얼굴같은 파란색과 흰선이 보이더니 점차 선이 많아지고 복잡해진다. 사운드도 싸이키해지고 여기에 반응해 영상도 날카로운 선이 사방으로 쉴 새 없이 변형되며 빛아티스트 윤제호만의 비주얼아트 감각이 보여졌다. 대미를 장식한 박명훈의 <GEO>(2022)는 지구내부의 소리를 미세한 현대음악 기법과 전자음향의 증폭으로 강한 인상을 준 수작이었다. 바이올린과 비올라의 느린 솔 폰티첼로나 바이올린 Tail Piece(줄걸이틀)를 두드리거나 뜯는 소리, 하모닉스의 트레몰로나 활 튀기는 쥬테 소리 등이 전자음향으로 증폭된다. 페이즈 보코더와 하울링, 맥놀이 등 전자음향의 다양한 기법들이 대거 사용되고 스피커 음량도 최고로 하여 극대화된 소리효과를 노린다. 이로써 드론을 통해 본 마을 풍경과 협곡의 탐험을 표현한 작곡가의 의도는 깊은 소리의 상념이 추적하고 닿는 기암절벽까지를 관객에게 맞닿게 했다. 이 공연은 문래예술공장의 BENX사업(구 유망예술지원사업) 일환으로 진행되었다.



아트인큐베이터 <가구음악>, 사진 아트인큐베이터 제공

아트인큐베이터(대표 윤소진)는 음악분야에서 활동하는 아티스트 콜렉티브이다. 2021년 11월 문래예술공장 박스씨어터에서 열린 <가구음악Furnishing Music> 전시는 사티의 '가구음악' 개념을 변주했다. 에릭사티의 <짐노페디>와 전자음향의 앰비언트가 공진하는 가운데, 첫 번째 공간인 '작업의 공간' 놓인 책상에 앉아보았다. 조명이 비춰주는 음악비평가 신예슬의 글에는 에릭사티의 '가구음악' 개념과 그의 <Tapisserie en for forge>와 <Carrelage Phonique>악보도 보인다. 플루트, 바이올린, 첼로 등 6-7개 악기가 넘실되는 물처럼 선율을 반복한다. 기승전결이 있는 대항해로서의 완결이 아닌 미니멀음악과 같은 간단한 반복. 가구처럼 사람의 일상에 배치되고 삶에 스며들고 위배되지 않은 소리로서의 존재. 가구음악은 이후 공간음악, 앰비언트뮤직, 환경음악, 수면음악, 명상음악, 최면음악 등으로 연결된다. 실제로 시몬스 침대 광고에도 에릭사티의 짐노페디 1번이 쓰이지 않는가. 두 번째 '휴식의 공간'에는 화초와 물, 거울이 명상의 느낌이다. 거울 속 내 얼굴을 보니 백남준의 <TV부처>의 한 장면 같다. 세 번째 '수납의 공간'은 투명하고 높은 서랍장 형태이며, 신예슬, 소설가 위지영, 에릭사티, 존 케이지의 글이 명함처럼 빼곡이 놓여져 있어 꺼내 읽을 수 있다.

"What a terrible idea!," "피아노를 팔아버리면 그만인 걸요." 이런 문구가 눈에 띈다. 세 번째 공간의 음악은 더욱 전자적이고 필터링 되었고, 익사이터 스피커가 서랍장에 부착되어 서랍을 여는 방식으로 인해 소리의 패닝이 자동으로 일어난다.

아트인큐베이터는 음악을 전달하는 다양한 방식을 탐구해왔다. 2022년 2월 5일 서초구 플랫폼엘라이브에서 진행한 아트인큐베이터의 <흐르는 시간. 흐르지않는 시간>은 소리의 이해를 돕기 위해 정소영 작가의 조각이 함께 하며 공연과 전시의 경계를 허문다. 직사각형 공연장에 대각선 일렬로 관객이 앉아 그 양쪽으로 두 개씩 총 네 개의 작품을 관객이 몸을 회전하며 관람한다. 검은색 굵은 띠 형태의 단단한 철 구조물이 세워져 있고, 그 옆에 갯벌의 멍게, 해삼 등이 띠에 매달린 정소영의 <멀리 다녀온 아이들>(2022) 작품이 있다. 여기에 사운드 작가 진유영은 가리비, 조개, 타버린 숯을 드럼에 넣고 자신의 목소리를 울리며 <멀리 다녀온 아이들과의 대화>(2022)를 했다. 정소영의

<이미륵의 거울>(2021)은 70여년전 압록강을 건넌 이미륵을 생각하며 큰 유리거울 안에 화학물질로 물의 흔적을 남긴 작품이다. 이 유리거울형태의 다섯 작품이 서 있고, 여기에 작곡가 손세민은 <Sound Maze 25>(2022)으로 첼로연주자가 활 두 대를 문지르고 통기는 소리를 컴퓨터로 증폭시키는 새로운 음향을 입히며 또다른 흔적을 남긴다. 이렇게 소리는 보여지고 공간에 흐르게 되었다. 이 공연은 한국문화예술위원회 창작실험활동 '과정과 공유' 일환으로 진행되었다.

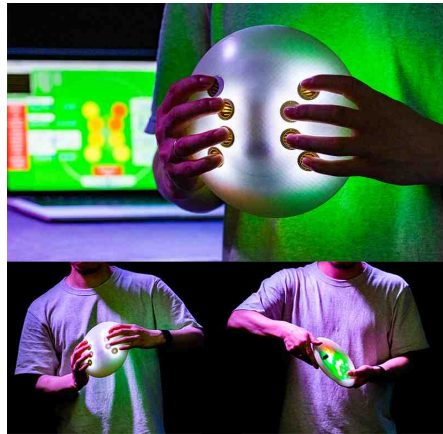
정주희, 강중훈, 서영완은 2월 10일 서울 종로구 공간소리에서 COMPUTER MUSIC CONCERT <TRIPPLE RIPPLE>을 펼쳤다. 오피스텔 형태의 20명 관객이 앉을 수 있는 소규모 공연장인 공간소리에서 듣는 테이프 음악은 집중감이 있었다. 정주희의 <Cracks>(2019)는 비브라폰과 전자음향의 작품이었다. 작곡가가 백자 표면의 균열을 보고, 그 균열이 비정상적 상태가 아니라 백자의 또 하나의 부분으로 감상하게 되면서 생긴 여러 질문을 작품으로 표현했다. 백자의 투명한 빛남과 그것이 깨지는 순간이 비브라폰의 맑은 음색과 강렬한 타격음, 트레몰로 등으로 표현되며 이에 반해 '균열'이라는 강한 거부감과 그 이면까지를 포용하려는 고된 노력을 전자음향의 음향덩어리(sound mass)로 표현한 멋진 사운드의 작품이었다. 작업에는 Max/Msp, AudioSculpt, Csound, Digital Performer가 사용되었다. 정주희의 <White elephant>(2021)도 연주되었다. 강렬한 시작이 여운을 주는 방식은 <Cracks>와 동일하였다. 옛 태국 왕은 흰색 코끼리를 신성하게 여기고 보존했으나 돈이 많이 든다는 이유로 신하에게 하사했다는 설화가 있다고 한다. 때문에 하얀코끼리는 '돈은 많이 들고 더 이상 쓸모없는 시설물'이란 의미로 사용되었고, 이 작품은 그 화려한 이벤트 뒤 폐허가 된 공간에 대한 곡이다. 곡 초반 1분 정도에 걸친 긴 글리산도 상행 타임스트레치 음의 공허함이 긴 여운을 준다. 적막한 소리, 소음, 깨지는 소리 등으로 공허한 공간을 표현했고, 곡 후반부에 기억 속의 옛 음악회장처럼 피아노 음악소리가 들린다. 이 작품의 소리의 분석과 변형, 합성을 위해 Spear, Praat, AudioSculpt, Csound, Digital Performer, Logic을 사용했으며, 다양한 소리의 본질적 의미를 구현하는데 중점을 두고자 소리의 변형에 있어서 보수적 방법으로 접근했다고 작곡가는 밝혔다.

강중훈의 <Hidden Voices No2>(rev2019/2018)는 로봇 목소리 같은 얽은 음향으로 시작했다. 사람의 내면에 있는 여러 가지 소리에 대한 감각을 표현하는 강중훈의 작품 시리즈 중 하나이다. 기다란 글리산도음이 아주 길게 하행하는 동안 다양한 층으로 짧은 소리들이 겹쳐 등장과 퇴장을 반복하며 인간의 무의식과 예기치 않은 상황에 대한 공포를 표현했다. 이를 위해 길거리 자동차 소리, 큰 건물 안에서의 ambient sound, 종소리, 새소리, 심장박동, 사이렌, 악기소리, 피아노 소리 등 아주 다양한 소리들이 사용되며 겹쳐졌다. pd와 c로 만든 프로그램으로 소리선택 알고리즘과 캡스투르 분석 등이 사용되었다. 강중훈의 <I want my ears feel sweet>(2021)는 한반도와 중국 동북부, 일본 혼슈 남부지역에 사는 맹공이가 세차게 우는 소리를 표현했다. 개구리목에 속하는 양서류과인 맹공이를 소재로 한데다가 곡제목에 'my ears feel sweet'이라 하니 뭔가 반대적인 희망을 소리에서 갈구하겠구나 하는 느낌이 딱 왔다. 로봇소리 같기도 한데, 맹공이가 저렇게 우나 싶고, 곡 설명에 여러마리가 한꺼번에 울면 귀가 몹시 아플 정도이고 꽤 무섭다고 프로그램지에 적혀 있었는데, 여러층으로 겹쳐진 길고 짧은 회오리같은 울음소리의 변조된 형태는 계속해서 듣게 만드는 쾌감이 있었다. 시원한 울음소리 덕분에 목마른 갈증이 가시는 느낌도 났다. 자연물에 집중해 그것을 확대했다는 측면에서 굉장히 신선했고 맹공이의 세찬 울음소리가 각인되었다. 작품에는 pd와 audition을 사용되었고, phase vocoder, delay에 의한 pitch shift, phaser, varying fft filter, spectral delay 기법이 사용되었다.

베를린과 서울을 오가며 활동중인 한이삭은 2021 ZERO1NE DAY에서 <자명하지 않은 음악기계 AI: nUFO 와 AA: nUFOlogy>를 선보였다. 자명하지 않은 음악기계 <에어본인스트루먼트: 뉴포(AirbomeInstruments: nUFO)>는 인간의 제스처를 기반으로 전자사운드를 생성 합성 가능 연주가 가능한 UFO모양의 디지털 인터랙션 악기이다.

nUFO(뉴포)는 가속도, 자이로, 나침반 등 총 9개의 모션센서가 있어 연주자 움직임의 위치, 속도, 방향 등을 측정하고 그 데이터를 wifi신호를 통해 실시간으로 컴퓨터에 전송해 사운드를 생성한다. 악기 꺾쪽 8개의 터치패드를 손가락으로 눌러서도 사운드를 변형시켜 연주가 가능한데 글리산도, 노이즈 등 다양한 소리가 난다. LED가 포함되어 연주빛을 내어 외관에 신비로움을 더했다. 전시장에 전시된 사운드 인스톨레이션 <nUFOlogy(뉴폴로지)>는 nUFO와 컴퓨터 네트워크 연결방식인 topology의 합성어로, 각각의 의사를 결정할 수 있는 시스템이 구축되어 서로 투표를 통해 사운드를 생성할 수 있다. 슈퍼콜라이더와 아두이노ESP32, 라즈베리파이3를 사용했다. 인스톨레이션 외형은 기하학적인 형태를 제너러티브하게 변환시켜서 3D형태로 구현했는데, 우연히도 이는 나비나 지네처럼 생물적인 모양이 되었다. nUFOlogy연주는 보통의 연주자는 생물이고 악기는 무생물인 것처럼 주-종이나 수동의 컨트롤 관계가 아니라, 인스톨레이션과 악기, 한이삭 연주자 본인이 협연하는 관계가 이루어진다. 그의 ZERO1NE DAY 퍼포먼스 <Where to Now?>40분 공연에서는 코로나 팬데믹의 베를린의 텅빈거리, 독일의 시위 영상, 상승과 하강을 반복하는 낙하산의 모습이 피드백 기법으로 보여진다. 68혁명 때 사람들이 외치던 음성이 컴퓨터 변조되어 들린다. 영상과 음향은 노트북 2대, 믹서, 컨트롤러, 뉴포로 실시간 합성 제어된다. 코로나로 인한 통제, 자유의 억압으로부터

한이삭은 한국의 518항쟁과 유럽의 68혁명을 생각하며, 복잡한 문제를 너무 빠르게 해결하며 생기는 문제들을 추상적인 방식으로 표현했다. 문래예술공장의 2021 Sounds on-Anthropophony에서도 뉴포를 사용해 세 가지 공연을 펼쳤다. 재즈 드러머 김책, 테너색소폰니스트 김오키와 함께 <악흥의 순간>에서는 어쿠스틱 연주자와 전자악기가 서로의 예기치 못한 상황과 소리를 모방하고, 패턴을 구성하는 자유즉흥의 즐거운 순간을 연출했다. 두번째 공연 <하이퍼스페이스>는 한이삭의 라이브코딩 사운드와 작곡가이자 음향예술가인 조예본의 앰비소닉 음향 프로그래밍을 통해 10대의 스피커로 소리가 공간이동하고 변형되는 시공간을 초월한 공연이었다.



한이삭 <nUFO(뉴포)>, 사진 한이삭 제공

조은희는 2021년 11월에는 서울거리예술축제에서 봉앤줄팀의 <잇스굿>, 스페인팀과의 국제교류프로그램이었던 <우리는 두려워한다 [에피소드4]>, 12월에는 동해시 축제에 참여하며 사운드스케이프 작업으로 영화관에서 상영을 하기도 했다. 2022년 초에도 유지영 안무가의 <다시 어떤 것의 몸이 되기도 한다> (서강대 메리홀 대극장) 음악작업 등을 해왔다. 그러던 중 3월 5일 하울링라이브Howlinglive의 유튜브 온라인 공연에 선발되어 공연을 하게 되었다. 배인숙 작가의 기획을 중심으로 8년째 계속해오고 있는 하울링라이브는 코로나여파로 2021년부터 유튜브 온라인공연을 해오고 있다. 이날 공연에는 3월 5일 조은희를 비롯해 한이삭, 우나리, 한재석 등 네 명 음악가가 온라인으로 공연했다. 조은희는 자신의 작업실에서 목소리를 실시간 변조한 라이브 공연을 진행했다. 그의 이전 작업에는 전문 보이스 연주자가 목소리 연주를 하고 자신은 전자음향만 맡았는데, 하울링에서는 비대면이라는 여건 덕분에 조은희의 노래를 온라인 관객은 들을 수 있었다. 느리고 길게 허밍으로 마치 그레고리안 찬트의 멜리스마처럼 오르내리는 그의 맑고 부드러운 음성은 빠른 10, 20초 단위로 Max/MSP로 딜레이, 피치 쉬프트되어 점점 3층 4개층으로 겹쳐 하모니를 이루고 몽환적이고 풍성한 느낌을 낸다. 중간부분에 비트가 들어가며 미디 컨트롤러를 이용한 본격 믹스가 전환구를 만들며 사인파의 거대한 상행 글리산도가 분위기를 전환시키다가 조용히 끝을 맺는다. 이번 공연 관객들의 응원으로 앞으로도 자신의 목소리작업을 할 계획이라는 조은희는 “제가 처음 전자음악, 사운드 시도하던 때보다 이제는 훨씬 많은 분들이 이런 작업을 하고 있고, 또 사운드나 사운드스케이프 등에 대한 관심이 높아지는 걸 체감하고 있어요. 앞으로도 사운드 아티스트나 사운드를 기반한 작가, 작곡가들이 다양한 곳에서 많이 활동하면 좋겠어요”라고 말했다.

3월 25일에는 닷울림 158회차 공연으로 지나가던 조씨와 아체크의 공연이 있었다. 닷울림은 홍대 상수지역에서 2008년 시작된 사운드와 전자음향 기반의 실험음악 페스티벌이다. 활동명인 **지나가던 조씨**Passing Josh에서도 느껴지듯 슬쩍 무언가 던져놓고 갈 것 같은 그의 음악은 두 번째 곡에서는 하모니카 선율이 여러 층의 전자음으로 분절되어 겹치고 세 번째 곡에서는 한 옥타브 아래로 변형된 저음 하모니카의 위용으로 탈바꿈한다. 모듈러는 선율을 자르고 겹치며 새로운 향해를 준비하고 하모니카는 어디서 배를 탈까 노를 저을까, 방향을 바꿀까 도사리다 끝을 맺는다. 마스크를 끼고 하모니카 부는 흥내로 관객의 코로나 긴장도 풀어주던 조씨는 마지막 곡에서 베트남 민속악기의 요들송 같은 배음렬과 빠른 반복리듬을 모듈러로 더욱 빠르고 여러층으로 확장시키며 오케스트라 같은 웅장함을 선사했다. 전자음향다운 반복의 용이성, 스피커를 통해 증폭된 음의 스펙트럼에 상수동의 지하 한복판에 비오는 날 모인 마니아 관객들은 흠뻑 빠져들었다. 전자장비로만 음을 발전할 수 있었을 텐데 조씨는 하모니카라는 이동이 용이한 작은 관악기에서 시작해 베트남 민속악기까지 섭렵하며 우리에게 새로운 음향을 던져준 것이다.

아체크 음악의 노이즈 음향의 반복성에 처음에는 적응이 필요했다. 뱃고동 소리 같은 극한의 노이즈가 무수히 반복되는데 2분 정도 시간이 지나니 은근히 중독되어 온 몸이 나른해지고 시원한 느낌마저 들었다. 가득이나 센 노이즈성의 음향들인데, 그 위에서 때로 기타선율도

사이키하게 피어오르고, 책상 위아래로 가득 수개의 모듈러와 컨트롤러는 자신의 때를 기다리고 또 묵묵히 그 기계음을 만들며 이 순간을 함께 합창하고 있었다. 관객은 이 노이즈를 노이즈로 듣기 위해 여기 온 것이 아니라 이 순간이 추구하는 바, 그 순간 판단되어 변조된 소리의 굽음과 소리 서로간의 협조, 그 +, -의 전기에너지가 시간을 타고 요동치는 에너지와 힘, 그리고 아티스트 저마다의 '추구하는 바'를 함께 읽고 느끼려 이 곳에 오는구나, 이 음악을 듣는구나 알 수 있었다. 해킹된 키보드 소리, 기타와 모듈러의 주파수와 음량이 MaxMSP에서 반응시켜 증폭된 반복성이 탐미적이었다.

마지막으로 지나가던 조씨와 아체크의 즉흥연주는 미리 연습한 것이 아닌데도, 짜놓았던 것처럼 반복성이나 서로 치고 빠지는 부분에서 음이 가야할 방향을 알며 하모니카와 기타, 모듈러와 컴퓨터 모두 코로나 2년을 기다려 온 '닷올림'의 닷을 새롭게 조이는 순간이었다. 이를 공연에서 작곡이든 즉흥이든, 그리고 특히 마지막 조씨와 아체크의 즉흥연주를 보면서 '연주는 반복을 통한 개인의 확립, 작곡은 변화를 통한 사회와의 관계'가 아닐까 이런 생각을 해보았다. 나의 작은 습관이 나를 형성하고 대변하는 한편, 이 사회는 다양성이 의미를 가지고 연결고리를 짓는다는 사실을 말이다.



윤제호 <ART OF THE FUTURE - 빛으로 그리는 예술의 미래>, 사진 이현민

윤제호는 전자음악 전공자로서 미디어아티스트 분야에서 더욱 다채롭게 활동하고 있다. 2월 23일부터 3월 6일까지 더현대 서울 1주년 기념 퍼포먼스 <ART OF THE FUTURE - 빛으로 그리는 예술의 미래>를 펼쳤는데, 작년 개관한 국내최대 백화점의 나무와 인공자연이 마련된 5, 6층의 '사운드 포레스트'에서 천장으로부터 큰 돔 형태의 정중앙에서 빛이 분사되며 이벤트의 여정을 시작한다. 웅장하고도 미래적인 음악과 사방의 빛 중앙스크린의 그래픽이 분위기를 만든다. 현장 관객들은 롯데월드 퍼레이드나 그 어느 레이저 쇼보다도 더 스펙터클한 공연에 놀라운 듯 스마트폰 촬영 등으로 반응이 대단했으며 일상과 예술이 공존하는 순간이었다. 윤제호는 최근 이슈가 된 NFT 가상화폐 개념도 작품에 적용했다. 활발히 활동중인 큐레이터들과 예술가의 협업으로 국내 최초 파인아트 NFT 프로젝트 'Let there be ART aka. LTBA'를 4월 18일부터 19일까지 진행하며 윤제호의 첫 NFT 작품 <Another Space on the Wall>은 6초컷으로 마감, 경매로 발표한 <LINE ㄱ 線>도 잘 마감되어 미디어아트의 NFT로의 가능성을 보여주었다. 최근에는 4월 22일부터 5월 8일까지 갤러리 오뉴월 개관전에서 개인전 <Another Space in the Wall>을 선보였다. 푸른색 조명과 빛이 공간을 채우는 윤제호의 작품방식은 그대로지만 '가상의 벽'이라는 점이 다르다. 가상의 벽에서 프로그래밍으로부터 발생된 소리가 들려오고 3D 오브제에 빛이 투영된 환영적 공간이 생김으로써 빛과 소리로 채워진 현실과 가상이 혼재된다.

이렇게 코로나는 오히려 새로운 기술을 발전시키고 새로운 가능성을 열어주고 있었다. 다양한 예술가들이만큼 사운드는 기술을 타고 다양한 방식과 다양한 소리로 표현되고 있었다. 작곡가, 작가들이 한 시대를 살면서 겪은 경험과 아이디어와 속마음, 속내를 작품을 통해 특하고 내놓은 것에 대해 필자는 이번 리뷰를 통해 깊은 경외감을 가지게 되었다. 시대의 변화와 기술의 진보, 그에 따른 요구와 해결점이 각 작품들이 골고루 다루고 있었다. 기술의 진보와 그에 따른 일종의 조급증, 그렇지만 결국은 작품의 이미지에 걸맞게 정교하게 녹여지고 설명되는 방식들에 큰 박수를 보낸다. 필자 또한 작곡가이기에 그 예술가들과 동시대에 살고 있음에 큰 행복을 느끼며, 작가의 현상을 여러 작품들을 망라하며 이 에밀레 원고를 통해 두루 살펴볼 수 있는 기회가 된 것에 감사를 드리며, 각 예술가와 작품의 지속적인 연구도 응원한다.

The Status of Electronics in Contemporary Music as a mighty tool

Review on Seoul International Computer Music Festival 2022

Chung, Dawoon
Musicologist

For three days from October 14 to 16, 2022, the Seoul International Computer Music Festival was held at the Platform-L Contemporary Art Center and Platform Live. This article is a review of this festival especially for second day. It consists of brief explanation on each work and short reflection of the writer. After reviewing on ten works that performed on that day, the reviewer concludes that if the audience understand the status of electronics as an extended, mighty tool for thought and expression, not an end itself, they could feel much more comfortable on the computer music. It is the best tool and partner for a composer to realize the composer's various interesting, creative musical ideas with less barriers.

확장된 도구로서의 일렉트로닉스: 서울국제컴퓨터음악제 2022 참관기

정다운
음악학자

2022년 10월 14일에서 16일까지 3일동안 플랫폼엘 컨템포러리 아트센터, 플랫폼 라이브에서 서울국제컴퓨터음악제가 열렸다. 연주된 작품들은 크게 테이프 음악, 어쿠스틱 악기와 라이브 일렉트로닉스, 오디오 비주얼의 세 부류로 나눌 수 있다. 첫날 연주된 테이프 음악은 버크 야글리의 <Ideological Distortion>, 김효주의 <In the late night>, 알레시오 로사토의 <Caged Structures#4>, 조예본의 <Terminal>, 김드보라의 <Rhythms of Rain>이었다. 유영주의 <재귀 Recursion>는 피아노와 라이브 일렉트로닉스, 우지권의 <Evocation>은 타블렛과 라이브 일렉트로닉스, 조아 페드로 올리베이라의 <Absence-mémoire>는 피아노, 첼로와 라이브 일렉트로닉스, 이병무의 <무미건조한 과잉>은 피아노와 일렉트로닉스의 구성이었다.

마지막 날의 공연에서는 테이프 음악에 속하는 피터 아이반 에드워즈의 <n Memoriam UMIk>, 아담 스타노비치의 <Baltabalta's Adventure through the Great Machine>, 조린의 <The Spirit of the Giant Tree>이 연주되었다. 일렉트로닉스와 어쿠스틱 악기의 구성으로는 조영미의 <정과정>(대금, 가야금과 일렉트로닉스), 양민석의 <Surge>(플루트와 라이브 일렉트로닉스), 피터 아이반 에드워즈의 <Ssoonro>(바순과 일렉트로닉스)가 있었다. 오디오 비주얼 작품으로는 신성아의 <restless>, 존 김슨의 <edgewater>가 연주되었다.

필자의 참관기는 둘째날의 공연에 초점을 맞춘 것이다.

“저는 조성 내에서도 여전히 많은 것을 할 수 있다고 생각합니다. 그럼에도 불구하고 전자음악을 시도하는 이유는, 새로운 것을 하고 싶은 욕구를 보다 잘 만족시켜주기 때문입니다. 예를 들어, 독창과 피아노를 가지고 가곡을 쓸 때, 가사 속 여러 단어들, 목소리와 반주의 아름다운 조화를 떠올리며 상상을 하죠. 그런데 여기에 컴퓨터를 포함하면 훨씬 흥분됩니다. 여기서 컴퓨터는 드럼이나 첼로 선율이 될 수도 있고, 소프라노의 대선율이 되거나, 성악과 피아노 소리를 섞어 전혀 다른 음색으로 변할 수도 있으니까요. 컴퓨터는 음악을 만드는 데 있어 최고의 도구입니다.”

컴퓨터음악에 대해서 잘 모르는 필자가 지난 여름 전자음악 작품을 쓴 작곡가들을 연구하는 프로젝트에 참여했다가 인터뷰했던 어느 작곡가의 말이다. 이 말은 컴퓨터음악에 대해 새롭게 생각해 보는 계기가 되었다. 물론 이 내용이 컴퓨터음악의 전체 범주를 아우른다고 할 수 없으나 어쿠스틱 음악과의 연결성은 기계와 별로 친하지 않은 채 살아온 필자가 컴퓨터음악에 대해 본능적으로 느끼는 거리감을 얼마간 완화시켜주었다.

필자는 대학원에서 음악학을 전공하였지만 컴퓨터음악을 현장에서 감상해 본 것은 처음이다. 유튜브에서 감상할 때 실시간 일렉트로닉스의 소리가 레코딩에 잡히지 않아 소리를 듣지 못했을 때의 답답함이 생각나서 현장에서의 생생한 연주가 기대되었다.

래리 매튜 갭(Larry Matthew Gaab) <System Flummox>

연주가 시작될 때 필자의 눈을 사로잡은 것은 바로 어둠속에서 핀조명을 받는 두 개의 스피커였다. 테이프음악의 연주자인 스피커는 컴퓨터음악제란 무엇인가를 압축적으로 보여주는 듯했다.

이 곡은 높은 피치의 날카로운 여성의 목소리를 빠른 속도로 변조한 재료와 휘파람, 수돗물 흐르는 것 같은 소리, 부딪히고 깨지는 등의 소음, 낮은 느린 톤의 인성 등 다양한 소리재료들로 구성된 작은 덩어리들이 파편적으로 구성되어 있다. 곡의 첫 부분은 어느 가정집의 일상에서 나오는 소리를 모아 변형시킨 것 같은 느낌도 들었다.

한 단위의 소리 모음이 반짝했다가 사라지면 또다른 소리 모음이 등장했다. 전체적인 분위기는 불안과 놀람이라고 할 수 있다. 프로그램 노트에서는 "지속가능한 클러스터들이 각자 찰나의 영광을 누린다 Sustainable clusters assert their brief glory." 고 표현했는데 이것들은 불규칙하고 무질서 하게 등장했으나 후반부로 갈수록 이질적인 재료들로 모인 단위를 하나의 덩어리로 제어하는 무언가의 작동이 감지되었다. 이것은 앞부분의 불안과 카오스를 얼마간 해소하는 듯했다. 전체적으로 이 곡은 테이프음악의 스테레오타입을 보여주는 것 같은 인상을 주었다. 2022 년의 테이프음악은 20 세기 중반의 테이프음악과 어떻게 다른 것일까 생각해 보게 되었다.

송향숙, <Inner Voice>

이 곡은 3 악장으로 된 현악사중주와 일렉트로닉스를 위한 곡이다. 전체적으로 호모포니적인 구성이 두드러졌다.

연주를 들으면서 필자에게 다가온 'inner voice'는 우선 현악기들이 동일한 박자의 동일한 테크닉을 반복적으로 연주하는 부분에서 각 악기들이 발현하는 음색차이에서 오는 소리의 질감이었다. 하나의 소리이지만 여기에 있는 개별악기들의 고유한 소리의 숨김, 혹은 드러냄이 와 닿았다. 또 하나의 'inner voice'는 소리의 원인이 명확하게 보이는 어쿠스틱 악기들의 연주 속에 숨어있는, 출처가 보이지 않는 일렉트로닉스의 소리였다. 이 소리는 1 악장에서는 뽀뽀하게 하모닉스를 주로 연주하는 현악기들에 가려 자신을 드러내고 있지 않다가 시간이 흐름에 곡에 설치된 혈관을 타고 들어와 현악기들이 활을 긋는 사이에서 섬세하게 자기의 목소리를 냈다. 거의 동일한 제스처로 밀도 있게 연주했던 1 악장과 달리 2 악장에서는 악기들마다 활을 긋는 시점이 약간씩 다른 부분도 있고 음 사이의 공간도 넓어져서 일렉트로닉스에서 들려오는 사람의 목소리와 여러 세밀한 효과음들을 들을 수 있었다. 또한 지금 들려오는 소리의 출처가 어디인지를 본능적으로 찾게 되었는데 마치 숨바꼭질을 하듯 눈이 소리를 쫓게 되었다. 다이내믹과 연주법의 극단적인 변화에서 오는 분위기의 온도 차이에서도 'inner voice'가 감지되었다. 3 악장의 마지막 부분에서 트레몰로, 빠른 스케일, 하행 글리산도 등이 숨가쁘게 연주될 때는 일렉트로닉스가 마치 이들 소리를 모방하고 변형하는 것처럼 들려서 드러난 소리와 숨겨진 소리사이의 경계가 더욱 모호해지는 것 같았다.

전체적으로 볼 때 연주자들 각자의 기량은 훌륭했으나 연주자들간, 그리고 연주자들과 일렉트로닉스간 호흡을 맞추는 시간이 부족하지 않았나 하는 아쉬움이 남았다.

신예훈 <비구상적 구상>

이 작품은 7 개의 곡으로 구성된 오디오 비주얼 작품이다. 오디오 비주얼 작품들의 경우 시각 이미지가 워낙 강하게 어필하기 때문에 청각은 효과음 같은 느낌이 들어서 작곡가들은 이 둘 사이의 균형을 어떻게 잡는지 궁금하기도 하였다.

프로그램 노트에 의하면 "비구상은 구체적인 것과 추상적인 것의 사이를 뜻하며 대상의 본질적인 특징에 작가의 직관이나 상상을 더해 대상을 보다 자유롭게 표현하는 방식을 말한다."고 설명한다. 곡의 전개에 따라 소리와 이미지는 추상에서 "비구상적 구상"으로 향한다. 첫

곡에서 흰 스크린 위에 가느다란 붉은 선이 높은 주파수의 기계음과 나타난다. 위에서 계속 붉은 선이 내려오며 수가 늘어나고 각각의 선은 점차 굵어지며 화면을 채운다. 단순한 기계음과 평면의 붉은 선은 최대치의 추상이다. 다음 곡으로 넘어가면서 선은 두 층위의 세로 선으로 변화하고 이후에는 경계가 흐릿한 직선 위에 물감이 번진 것 같은 솜털 구름 모양이 빠르게 겹다 흐렀다를 반복하며 지나간다. 시간이 흐를수록 이 솜털 구름의 색과 움직임이 다양해졌다. 이후 처음에 나타난 선과 면들은 입체적으로 변하기도 하고 무언가가 지나가면서 씨실과 날실처럼 직조하기도 하고 압력을 가하기도 하며 "정제"의 과정을 거친다.

이렇게 시각 이미지의 움직임, 색깔, 층위가 확장할 때 소리는 단순한 기계음의 노이즈에서 북소리, 펄럭거리는 소리, 두드리는 소리 등 여러 겹의 소리가 섞이며 보다 입체적인 구조가 된다. 그러나 시각 정보의 흡인력이 강하고, 시각의 움직임에 따라 소리가 발생하는 것처럼 인식되었기 때문에 청각 정보가 독립성을 갖기는 힘들어 보였다. 그래서 그 변화가 상대적으로 덜 민감하게 느껴졌다.

곡의 끝부분에서 칸딘스키와 몬드리안의 추상화를 연상시키는 이미지가 파편적으로 제시되었다. 이것은 인상적이었지만 곡의 지향점이라고 보이는 "비구상적 구상"에서 추상화의 스테레오타입인 작품을 변형시킨 이미지를 제시한 것은 호기로운 시작점에 비해 다소 단순한 도착점이 아닌가 하는 생각이 들었다.

조나단 윌슨(Jonathan Wilson) <Epoxylips>

이 곡은 헝가리의 민속 관악기인 타로가토와 라이브 일렉트로닉스로 이루어졌다. '에폭시아립스'는 재앙, 종말이란 의미의 아포칼립스 apocalypse 에 대한 언어유희이다. 에폭시 epoxy 는 매우 강한 종류의 접착제이다. 그렇다면 이폭시아립스 E-pox-ah-lips 는 입술에 붙인 강한 접착제라는 뜻일까 생각해보았다.

곡을 감상해보니 타로가토가 입술의 연장선이 된 것처럼 보이고 들렸다. 필자는 타로가토라는 악기는 알고 있었지만 라이브 연주는 처음 접했다. 원뿔형 악기 특유의 비음과 큰 음량이 일렉트로닉스와 잘 어울렸다. 타로가토는 오케스트라의 목관악기와는 다르게 길들여지지 않은 야생성을 보였다. 음색의 표현 폭이 넓으며 뽀뽀거리는 거친 소리는 허스키한 재즈 보컬의 분위기를 연상시키기도 하였다.

첫 부분에서 타로가토의 인상적인 키 클릭킹 key clicking 은 '소리의 탄생'인 것처럼 여겨졌다. 여기에서 잉태된 소리는 갓난 아기가 웅얼이를 하며 엄마와 상호작용하듯 일렉트로닉스와 상호작용한다. 이 악기는 정말로 연주자 입술의 연장인듯 여러 빛깔의 소리를 뿜어냈다. 속삭이듯 읊조리기도 하고 연성을 높이기도 하고 감탄하기도 하고 또렷이 말하기도 하였다. 일렉트로닉스는 타로가토와 비슷한 소리로 이를 모방하기도 하고 타악기 음향이 섞인 듯한 다른 소리로 타로가토를 돋보이게 만들어 주기도 하고 아예 곁이 다른 소리를 내며 서로 호흡을 맞췄다.

박재록 <Covid-19 Anthem>

이 곡은 코로나 데이터 중 국가별 백만명당 확진자 수 데이터를 음향화한 것이다. 전 세계의 국가(anthem)가 코로나의 확산에 맞추어 연주된다. 지난 3년여간 우리 삶의 양식을 근본적으로 바꿔 놓은 코로나만큼 이를 소재로 한 예술 작품들도 많이 나타나는 추세이며, 이 작품 역시 그러한 범주에 속한 것이라고 보인다. 국가 anthem 란 본디 그 나라에게 가장 영광스럽고 의미 있는 상황에 연주되는 것인데 코로나의 확산이라는 중대한 상황에서 그 나라의 국가가 연주되는 설정이 신선하면서도 매우 아이러니컬하다고 느껴졌다.

이 작품은 시간의 추이에 따른 코로나 19의 확산을 표시한 세계지도를 시각 이미지로 놓고 그 시점에서 환자가 백만명 이상 발생한 국가의 국가 anthem 를 청각 재료로 삼는다는 아이디어가 좋았다. 또한 많은 나라의 국가들이 중첩된 음향의 복잡하고 스산한 분위기가 질병의 어두움과 공포감을 자연스럽게 표현한 것은 좋지만 전개가 좀 단순하다는 아쉬움이 들었다. 코로나가 발생한 시점부터 현재까지의 날짜가 일단위로 표시되었는데 숫자가 변하는 시간은 비록 짧지만 3년여의 긴 시간이 일별로 넘어가는 것을 보자니 관객에게 주어지는 정보의 단순성에 비해 시간이 매우 오래 걸린다는 단점이 있었다. 날짜를 3일 혹은 일주일 단위로 넘겨도 충분히 확산 양상을 볼 수 있지 않았을까 싶다. 2022년 봄 하루 확진자 수가 몇 십만 명에 달했던 시점에서 우리나라 국가가 유독 크게 들려서 한편으로 반갑기도 하면서 한편으로는 그 때의 불안과 혼란이 떠올라 씁쓸하기도 했다.

고휘(Kohui) <소리 오브젝트를 위한 구성>

이 작품은 오선지 악보의 일방향적 진행을 벗어나 동시 진행을 가능하게 하는 새로운 규칙 아래에서 소리를 읽어 다방향적 진행을 시도한다. 화면에는 올챙이 모양으로 된 수백개의 소리 오브젝트들이 무작위로 펼쳐져 있다. 초반부에서는 오브젝트들이 정지되어 있고 연주자의 제어에 의해 만들어진 직사각형들이 오브젝트들 위에 올려지며 이것들을 읽어 소리낸다. 멈춰 있던 오브젝트들은 곡의 진행에 따라 스크린 위를 헤엄쳐 다니기 시작하고 무작위의 범위는 더 확장된다. 소리 오브젝트들의 모양은 다양화되고 직선이나 포물선 모양으로 선을 그리기도 한다. 흰색 스크린 위를 이리저리 유영하는 오브젝트들이 만들어내는 모양과 소리는 우주의 신비로움을 그리는 것 같기도 하다.

처음 부분에서 화면에 있는 고정된 음높이를 가진 소리 오브젝트들이 화면에 있고 이것을 읽어 소리를 내는 방식은 자동 피아노에서 뮤직롤에 뚫린 구멍을 트래커가 읽어 소리 내는 것을 연상시켰다. 따라서 뮤직롤의 원리에 무작위의 요소를 포함시킨 업그레이드된 디지털 버전의 뮤직롤인 것처럼 여겨지기도 했다. 어느 것에서 아이디어를 얻었든 “오선지 악보의 다방향적 진행”을 우주공간에서 펼치는 것 같아 흥미를 더했다.

마시모 비토 아반타지아토(Massimo Vito Avantaggiato) <A Nazaire>

최근에 세상을 떠난 친구에게 헌정된 작품으로 실생활의 구체적인 소리와 약간의 합성된 소리를 사용한 작품이다.

필자에게는 이 작품이 유독 힘들게 느껴졌는데 곡에 대한 친절한 정보를 얻기 힘들었기 때문이다. 친구가 소중하게 여겼던 소리를 모았다는 것 외에 어떤 정보도 얻을 수 없어 작품에 대해 이해하기가 쉽지 않았다. 소리의 나열을 아우르는 의미나 원리의 부재, 혹은 그것들의 의도적 숨김이 곡의 접근을 어렵게 하는 것 같아 아쉬웠다.

오예민 <Ironic Sounds>

어디에선가 “현대음악에서 새로움을 추구해야 한다는 강박이 또다른 정형화된 음악을 만들고 있다”라는 말을 들은 적이 있는데 그 말을 다시 떠올리게 한 작품이다.

이 작품은 스네어 드럼의 연주와 라이브 비디오와 일렉트로닉스의 구성으로 연주된다. 프로그램노트에 의하면 “현대음악에서 보이는 모호성과 정형성에 대해 풍자하려는 아이디어에서 출발하였다. 모호성에 대한 풍자는 실제의 스네어 드럼과 센서로 작동하는 가상악기의 상호작용으로 하였고, 다양한 연주 방법으로 정형성에 갇히지 않는 음악을 표현하였다.”고 설명한다.

스네어 드럼 연주자의 스틱에는 센서가 달려있어서 연주자가 스틱으로 복면을 치면 화면에 실시간 연주자의 모습을 담은 영상이 번쩍이듯 불안하게 투사된다. 일렉트로닉스의 사운드는 연주를 실시간으로 받아 그것을 변형시켜 연주되었다. 스네어 드럼의 타격 강도에 따라 화면의 밝기가 달라지게 하여 의도적으로 화면의 밝기를 불안정하게 만든 것으로 추측해보았다. 불안정한 영상의 중간 중간에 도해가 있는 고문서들, 혹은 과거 작곡가의 그림 같은 것들의 페이지가 흔들리며 매우 짧게 연주 영상과 겹쳐 나타난다. 전통을 벗어나야 한다는 강박이 있는 뇌 속을 투사한 듯한 인상을 받았다. 혹은 새로움을 추구해야 한다는 명제가 전통과 흡사한 또다른 정형성을 만드는 아이러니를 표현하는 것일 수도 있다. 화면에 연주자의 모습이 두세 개로 투사되어 이러한 상황에 대한 혼란과 모호성이 표현되는 듯했다. 연주자가 실제로 복면을 타격하는 대신 스네어 드럼 측면의 빈 공간을 타격하는 제스처로 가상악기의 소리가 나오도록 하였다. 또한 복면을 빠르게 타격하는 것 외에 가장자리인 림(rim)이나 옆면을 타격하는 비전통적인 연주방식을 취하기도 하였다. 이는 정형성을 탈피하려는 창작자의 시도를 상징한다고 보인다.

종합적으로 볼 때 이 작품은 음악을 창작해야 하는 작곡가의 표상으로 연주자가 등장하였고, 이 사람은 새로운 것을 창조해야 한다는 강박과 전통 사이에서 끊임없이 갈등하면서도 그것의 공존과 상호작용사이에서 불안하게 자기 위치를 찾는 것으로 해석할 수 있다. 그리고 이 모든 것을 스네어 드럼의 강력하고 빠르면서도 섬세한 연주와 이를 반영한 일렉트로닉스의 사운드를 통해 창작자의 강박, 고뇌, 갈등을 에너지틱하게 표현한 점이 인상적이었다.

티모시 모이어(Timothy Moyers) <Golden Cuttlefish>

프로그램 노트에서 작곡가는 자연적인(organic) 것과 추상적인 것의 관계를 탐구한다고 밝힌다. 작품은 소리와 시각으로 구성된 디지털 에코 시스템을 표현한다.

수많은 작은 알 같은 것으로 구성된 붉은색, 흰색, 검은색의 무정형의 덩어리들이 물 속에서 유영하듯 떠다닌다. 이것들은 계속적으로 형태를 바꾸며 폭발하듯 해체되고 재구성된다. 이 움직임은 입체 영상에서 매우 환상적으로 구현된다. 형태가 있는 유기물이지만 계속 조직을 바꾸며 움직이기 때문에 이 움직임들이 관객의 기억속에 또다른 추상의 형태를 만든다. 폭발의 중간 중간마다 암전된 듯 검은 스크린이 등장하여 이미지들간의 경계를 나누기도 한다. 다차원적으로 폭발과 변형을 지속하는 이미지들 사이에 여기에 공, 실로폰, 트라이앵글 등의 타악기 소리가 등장하고 여러 종류의 효과를 입힌 일렉트로닉스 사운드가 얹힌다.

곡의 중간쯤에 이 폭발하는 이미지들을 잠시 정지시키고 관객을 위해 그 단면을 잘라 보여주는 것 같은 부분이 있다. 관객들은 마치 해부도를 들여다보듯 이것을 관찰할 수 있다. 그 이후의 움직임은 더욱 큰 스케일로 다양하게 이루어진다. 이 때의 소리는 어쿠스틱한 타악기 소리가 많이 들렸던 앞부분과 달리 인성을 변형한 소리를 주재료로 한 일렉트로닉스가 주를 이룬다. 후반부로 갈수록 이 이미지들을 삼킬 것 같은 모호한 형태의 것들이 그림자처럼 나타나기도 한다.

시각적 측면에서는 구체적인 것, 즉 유기체로 이루어진 자연과 그것의 연쇄적 변형에서 발생하는 추상적인 것을 표현하였고 여기에 구체에 해당하는 타악기 소리와 추상에 해당하는 변형된 여러 소리 재료들이 자연스럽게 어우러진 작품이었다.

마라 헬무스(Mara Helmuth) <Sound Dunes>

타로가토와 라이브 일렉트로닉스로 이루어진 이 작품을 들으니 실제로 타로가토의 끝부분에서 모래바람이 나와서 무대 위에 여러 개의 뿤이 만들어졌다가 날려가고 다시 만들어지고를 반복하는 것 같았다. 타로가토 연주자 에스더 람넥은 섬세하고 정교한 호흡의 조절과 빠른 운지, 날카로운 표현력으로 가상의 공간에 있는 모래 한 알 한 알을 숨가쁘게 제어하고 있는 듯 보였다. 어떤 부분에서 들릴 듯 말 듯한 숨소리로, 어떤 부분에서는 사자의 포효로 관객을 압도하였다. 일렉트로닉스와 그녀의 합주는 소리의 제스처가 무엇인지를 확실하게 보여주었다. 동시에 일렉트로닉스와 꽤 잘 어울리는 타로가토의 음색적 가능성을 충분히 탐색하게 해주었다.

에필로그

두 시간여 동안 컴퓨터음악을 감상하는 일은 결코 만만치 않았다. 작품들을 감상하고 난 후, 필자의 생각은 자연스럽게 현대음악에서 일렉트로닉스의 위상은 무엇일까 하는 고민으로 이어졌다. 이것은 바로 "일렉트로닉스는 음악에서 도구인가, 목적인가 아니면 둘 다인가"였는데 필자가 막연한 거리감을 느꼈던 이유는 일렉트로닉스 자체가 목적일 것이라는 선입견을 가졌기 때문이 아닐까 하는 생각이 들었다.

앞서 언급한 어느 작곡가의 말처럼 이것이 음악을 만드는 최고의 수단이 될 때 청중은(혹은 작곡가는) 부담감에서 얼마간 자유로워질 수 있을 것 같다. 일렉트로닉스는 어쿠스틱 악기의 협연자로 어쿠스틱 악기에서 구현할 수 없는 것들을 기술, 시간, 공간의 제약을 덜 받으며 비교적 자유롭게 펼칠 수 있다. 둘의 협연은 가상과 실재를 넘나들며 한 차원이 더해진 음악을 선사한다. 시각 이미지와 함께 구현되는 오디오 비주얼 작품에서 작곡가는 시각의 도움을 받아 자신의 아이디어를 보다 입체적으로 어필하여 청중으로 하여금 음악을 시각 이미지로 머리 속에 각인되게 만든다. 테이프음악은 작곡과 연주의 모든 요소가 작곡가의 앞선 통제 하에 있어 시공간의 제한없이 자신의 아이디어를 완벽하게 구현할 수 있다고 보인다. 당연한 말이지만 이 중 어떤 형태의 것이든 일렉트로닉스를 효과적인 도구로 이용할 때 전통 음악보다 훨씬 자유롭게 음악적 아이디어를 표현할 수 있다.

창작을 해야 하는 예술가로서의 고통과 고민 속에서 다양하고 반짝이는 아이디어들이 나오고, 이것들이 일렉트로닉스를 파트너이자 도구로 삼아 오늘의 작품들을 탄생시켰다. 즉 작곡가들은 "사고의 연장"으로 컴퓨터를 효과적으로 이용한 것이다.

과거에서 현재로 이어진 무수한 시간들, 실제와 가상, 일상 생활에서 우주 공간까지 너무나 큰 다차원의 스케일을 넘나드는 이 작품들이 바로 작곡가들의 본질적인 창작정신과 고민의 궤적이라고 생각하니 처음처럼 그 존재가 마냥 멀게 느껴지지만은 않았다. 이것이 필자가 이번 음악제에서 얻은 의미 있는 소득이다.

