

소니피케이션(sonification) 구현을 위한 뇌파 데이터 기반 객관적 사운드 모델 연구

진성환*, 조인재*, 서정근***

*서울미디어대학원대학교 뉴미디어콘텐츠학과

**서울미디어대학원대학교 실감미디어색채연구소

e-mail : alexchun78@gmail.com, injae1028@gmail.com, jksuh@smit.ac.kr

A Study on the generation of objective sound model for sonification using brain wave data set

Sung-Hwan Chun*, In-Jae Joh*, Jung-Keun Suh***

*Dept. of New media Contents, SMIT

**Immersive Media Lab, SMIT

요 약

소니피케이션은 다양한 데이터를 사운드로 변환시키는 과정으로 본 연구에서는 뇌파 신호를 사운드로 생성하는 객관적인 워크플로우를 제시하고자 하였다. 현재까지의 뇌파 소니피케이션은 사운드로의 변환이 인위적이고 임의적으로 진행되어 객관적인 논리를 제시하지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 뇌파데이터의 정량적 분석을 통해 파라미터 추출, 사운드 맵핑, 사운드 모델 구축에 대한 논리적 근거를 제시하였으며 이를 통해 뇌파데이터의 객관적인 소니피케이션 과정을 구현하였다. 파라미터 추출을 위해 15Hz High pass filtering 이 가장 적절한 방법으로 확인되었으며 뇌파 데이터의 최대값 빈도 분석과 음악코드의 비율 분석을 실제로 맵핑시켜 사운드 모델을 구축하여 사운드 생성을 구현하였다. 결론적으로, 본 연구에서는 뇌파데이터의 소니피케이션 과정에 대한 객관적이고 논리적인 워크플로우를 제시하였으며 이러한 워크플로우가 다양한 분야에서 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

1. 서론

소니피케이션은 음악적 요소들을 데이터에 접목시켜 데이터를 음악적인 소리로 변환시키는 방법이다. 뇌파 데이터를 활용한 음악적 소니피케이션은 1934년에 최초로 시도되었고 [1] 1965년 엘빈루시어에 의해 뇌파 데이터를 소리로 변환시킨 “Music for solo performer”가 발표되었다 [2]. 1999년 이후 예술분야에서 소니피케이션 기술을 접목시켜 뇌파데이터를 청각화시킨 미디어 아트 작품들이 다양하게 소개되고 있으며 [3] 학술분야에서도 뇌파데이터의 청각화를 위한 다양한 방법들이 제시되고 있다.

뇌파의 소니피케이션은 오디오케이션 (audification), 파라미터 맵핑 기술, 모델 기반 소니피케이션 기술, 그리고 생성 음악 기술 등 4종류로 분류된다 [4]. 파라미터 맵핑 기술은 가장 널리 활용되고 있는 기술로 뇌파의 특정 파라미터를 추출하여 음악적 요소에 맵핑시키는 방법으로 뇌파를 음악적인 소리로 변환시키는 기술이다 [5-6].

많은 뇌파 관련 소니피케이션 연구들이 수행되고 있지만 대부분의 경우 뇌파 데이터의 사운드로의 변환이 인위적이고 임의적으로 진행되어 객관적인 논리를 제시하지 못하고 있는 실정이다 [4].

이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 뇌파데이터의 분석을 통해 파라미터 추출, 사운드 맵핑, 사운드 모델 구축에 대한 논리적 근거를 제시하고자 하였

으며 이를 통해 뇌파데이터의 객관적인 소니피케이션 과정을 구현하였다.

2. 관련연구

2.1 뇌파의 이해와 특징

뇌파 또는 뇌전도(EEG)는 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름으로 뇌의 활동 상황을 측정하는 가장 중요한 지표이다. 뇌파를 구성하는 요소는 주파수 (frequency), 진폭 (amplitude), 위상 (phase), 분포 (distribution), 출현 양식 (pattern) 및 파형 (wave form) 등이 있다. 이러한 뇌파의 특징은 다양한 순수 파동의 합으로 표현될 수 있으며 사운드도 유사한 형태의 파동 특성을 가지고 있다. 뇌파는 심주파수의 대역에 따라 델타파 (delta: 0~3.99Hz), 쉐타파 (theta: 4~7.99Hz), 알파파 (alpha: 8~12.99Hz), 베타파(beta: 13~29.99Hz), 감마파 (gamma: 30~50Hz)로 분류된다 (표 1).

[표 1] 뇌파의 분류

Type	Frequency(Hz)	Mental Condition
Delta	0~3.99 Hz	비렘(REM)수면
Theta	4~7.99 Hz	렘(REM)수면
Alpha	8~12.99 Hz	안정파
Beta	13~29.99 Hz	활동파
Gamma	30~50 Hz	각성과 흥분시

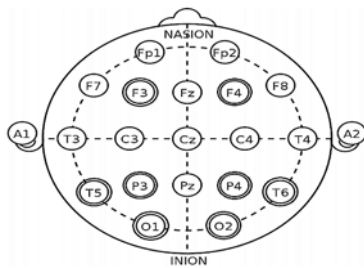
2.2 뇌파의 소니피케이션 : 미디어 분야 활용

1999년 Mariko Mori는 공간 설치 예술로서 Wave UFO라는 작품을 전시하여 UFO처럼 생긴 공간속에 관객들이 누우면 관객의 뇌파를 사운드로 변환시켜 우주와 교감하는 소리를 만들었다. 소리와 함께 영상도 제시하여 가상 공간에서 청각과 시각을 동시에 자극하여 교감하는 작품을 전시하였다 [3]. Eunoia는 2013년에 제작된 뉴욕의 아티스트 Lisa Park의 작품으로 명상중에 발생하는 뇌파 데이터를 뉴로 스키 헤드셋으로 감지하여 이를 스피커로 전송시켜 진동시킴으로써 스피커 위에 놓여 있는 접시의 물이 튀게 하는 예술 작품을 선보였다.

3. 뇌파 데이터의 객관적 소니피케이션

3.1 뇌파의 측정과 변환

PolyG-1를 사용하여 International 10-20 System[7]에 따라 8개의 채널(F3, F4, T5, T6, P3, P4, O1, O2)로부터 뇌파 신호는 256Hz의 샘플링 주파수로 획득하였으며 12-bit AD 변환에 의해 raw data를 수집하여 저장하였다 (그림 1). 측정된 뇌파 데이터 중에서 필요에 따라 High pass filtering을 수행하였으며 시간 변화에 따른 뇌파 크기의 변화를 주파수 대역에 대한 값으로 변환하기 위해 FFT(Fast Fourier Transform) 과정을 거쳐 주파수별 분석(파워스펙트럼 분석)을 수행하였다.



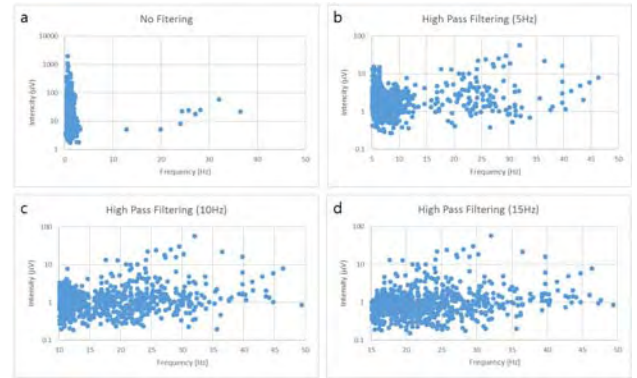
[그림 1] 10-20 System에 의한 측정전극 위치

3.2 뇌파 데이터의 filtering 및 추출

다양한 High pass filtering을 통해 주파수 대역에 따른 변환을 거쳐 확보한 뇌파 데이터에 대해 파라미터로서 강도에 대한 최대값을 추출하였으며 주파수별 분포를 분석하여 최적의 filtering 파라미터 추출법을 확보하였다.

High pass filtering을 하지 않았을 경우 0~5Hz 사이에서 최대값을 보이는 분포 비율이 98.6%로 확인되었으며 (그림 2-a) 5Hz High pass filtering을 하였을 경우 5~10Hz 사이에서 최대값을 보이는 분포 비율이 74.2%로 확인되었다 (그림 2-b). 이 두 경우에는 최대값을 보이는 특정 주파수 대역이 50%를 초과하여 사운드 맵핑 및 모델 구축에 적당하지 않음을 확인하였다.

10Hz 및 15Hz High pass filtering의 경우 50%를 초과하여 최대값을 보이는 특정 주파수 대역이 확인되지 않아 이 두 경우의 filtering을 적용하여 사운드 맵핑 및 모델 구축을 수행하였다 (그림 2-c,d).

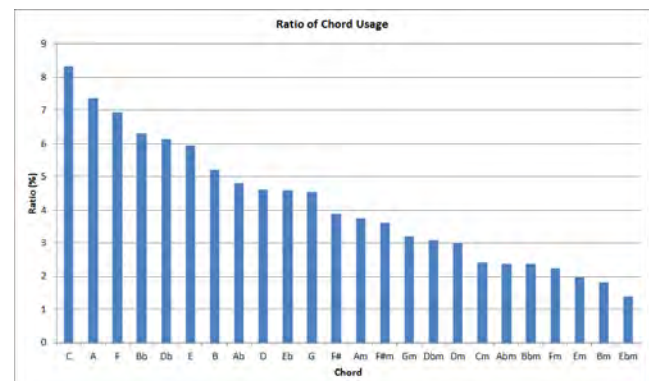


[그림 2] 추출된 최대값이 가지는 주파수 분포 분석

3.3 사운드 맵핑 및 모델 구축

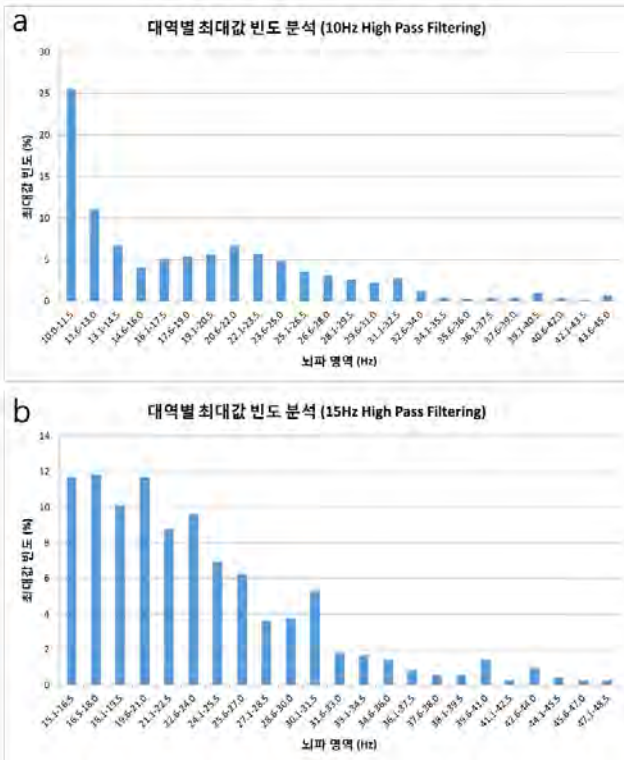
사운드 맵핑 및 모델 구축을 위해 10Hz 및 15Hz High pass filtering을 활용하여 수행하였으며 최종적으로 10Hz 및 15Hz 사운드 모델을 확보하였다.

사운드 맵핑을 위해 한국의 대중음악 중 사람들에게 의해 많이 재생되고 화제가 되고 있는 발라드 장르 50곡에 대한 음악코드를 분석하였다. Chotify 사이트에서 기계적 분석을 통해 추출한 음악코드를 분석하여 각 코드의 사용 비율을 계산하였다. 음악코드 분석 결과 총 5,543개의 음악코드가 추출되었으며 24개의 코드가 사용되었고 가장 높은 사용 비율을 보이는 코드는 'C' 코드임을 확인하였다 (그림 3). 음악코드 비율 분석을 통해 확인된 24개의 음악코드를 사운드 맵핑을 위해 적용하였다.



[그림 3] 발라드 장르에서의 음악코드 비율 분석

사운드 맵핑에 사용된 뇌파데이터는 10Hz 및 15Hz High pass filtering을 통해 확보한 데이터로 24개의 음악 코드에 맵핑시키기 위해 10Hz High pass filtering 데이터의 경우 10~45Hz 주파수 영역을, 15Hz High pass filtering 데이터의 경우 15~50Hz 주파수 영역을 24개로 추출하여 최대값을 보이는 대역의 빈도를 분석하였다. 분석결과 10Hz High pass filtering 데이터의 경우 10-11.5Hz 사이의 뇌파 영역이, 15Hz High pass filtering 데이터에서는 16.5-18Hz 사이의 뇌파 영역이 가장 높은 빈도를 보이는 것으로 확인되었다 (그림 4).



[그림 4] 최대값이 가지는 주파수 대역 빈도 분석

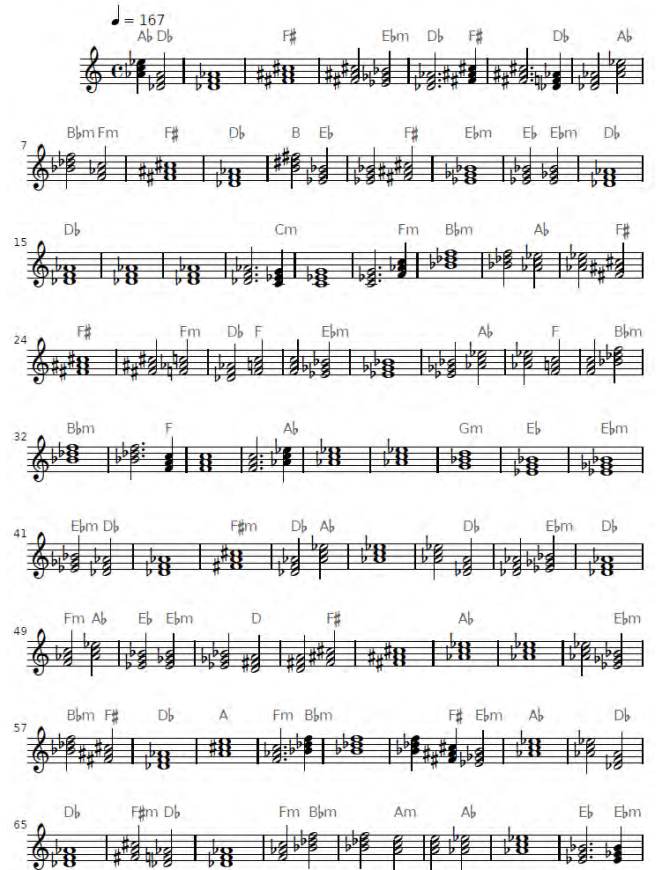
사운드 모델 확보를 위해 뇌파 대역별 최대값 빈도 분석에서 확인된 순위에 따라 음악코드 비율 분석을 통해 확인된 24개의 음악코드 순위를 1:1로 할당하여 10Hz 및 15Hz 사운드 모델을 확보하였다 (표 2).

[표 2] 10Hz 및 15Hz 사운드 모델

Chord	10Hz 모델	15Hz 모델
C	10.0-11.5	16.5-18.0
A	11.6-13.0	15.1-16.5
F	13.1-14.5	19.6-21.0
Bb	20.6-22.0	18.1-19.5
Db	22.1-23.5	22.6-24.0
E	19.1-20.5	21.1-22.5
B	17.6-19.0	24.1-25.5
Ab	16.1-17.5	25.6-27.0
D	23.6-25.0	30.1-31.5
Eb	14.6-16.0	28.6-30.0
G	25.1-26.5	27.1-28.5
F#	26.6-28.0	31.6-33.0
Am	31.1-32.5	33.1-34.5
F#m	28.1-29.5	34.6-36.0
Gm	29.6-31.0	39.6-41.0
Dbm	32.6-34.0	42.6-44.0
Dm	39.1-40.5	36.1-37.5
Cm	43.6-45.0	37.6-38.0
Abm	34.1-35.5	38.1-39.5
Bbm	36.1-37.5	44.1-45.5
Fm	37.6-39.0	41.1-42.5
Em	40.6-42.0	45.6-47.0
Bm	35.6-36.0	47.1-48.5
Ebm	42.1-43.5	48.6-50.0

3.4 사운드 생성

사운드 생성을 위해 뇌파를 측정하여 10Hz 및 15Hz High pass filtering 과정과 FFT(Fast Fourier Transform) 과정을 거쳐 주파수별 분석(파워스펙트럼 분석)을 수행하였으며 최대값을 보이는 뇌파의 주파수 및 강도를 추출하여 확보된 10Hz 및 15Hz 사운드 모델을 적용하여 사운드를 생성하였으며 생성된 사운드를 MIDI 파일과 코드표로 저장하였다 (그림 5).



[그림 5] 생성된 사운드의 코드표

4. 결론

본 연구는 뇌파데이터의 소니피케이션 과정에서 객관적이고 논리적인 워크플로우를 제시하기 위해 뇌파데이터를 통계적으로 분석하였으며 이를 통해 뇌파데이터와 사운드의 맵핑 규칙을 도출하여 뇌파기반 사운드 모델을 제시하였다. 이러한 모델 구축을 통한 사운드 생성은 과거의 인위적이고 임의적이었던 뇌파 데이터의 사운드로의 변환 방식과 차별되는 시도로 정량적 사운드 모델을 제시하는 연구로 의미가 있다.

스마트폰과 웨어러블 디바이스의 확대와 더불어 생체신호 기반 소니피케이션 연구는 다양한 분야에서 더욱 활발하게 진행될 것으로 예상된다. 소니피케이션은 증강현실이나 가상현실 기술과 접목되어 새로운 가시화 기술로 활용될 수도 있으며 이를 통해 뉴로 피드백과 뉴로 모니터

링 분야에서도 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

소니피케이션이 뇌파데이터의 청각화 기술로 최근에 와서 많은 각광을 받고 있지만 다른 감각정보로의 가시화 연구는 제한적으로 이루어지고 있다 [4]. 인간의 인지과정이 다중감각적 경험에 기반을 두고 있기에 뇌파 신호의 청각화 및 시각화 과정의 통합 연구가 필요할 것으로 판단된다.

여러 연구들이 뇌파 신호의 소니피케이션을 통해 다양한 사운드를 생성해 내고 있지만 아직 ‘개념정립’ 단계에 있는 것이 사실이며 소니피케이션 방법과 생성된 사운드에 대한 객관적 평가는 많이 이루어지지 않고 있다. 본 연구를 통해 확보된 정량적 사운드 모델을 기반으로 생성된 사운드는 이러한 평가를 위한 양질의 데이터로 제공될 수 있을 것이다.

결론적으로, 본 연구에서는 정량적 사운드 모델 확보를 통해 뇌파데이터의 소니피케이션 과정에 대한 객관적이고 논리적인 워크플로우를 제시하였으며 이러한 워크플로우가 다양한 분야에서 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] E. Adrian and B. Matthews, "The Berger rhythms: potential changes from the occipital lobes in man," *Brain*, vol. 57, no. 4, pp. 355-385, 1934.
- [2] Volker Straebel and Wilm Thoben (2014). Alvin Lucier's Music for Solo Performer: Experimental music beyond sonification . *Organised Sound*, 19, pp 17-29. doi:10.1017/S135577181300037X.
- [3] Mariko Mori Wave UFO. <http://www.sagmeisterwalsh.com/work/project/mariko-mori-wave-ufo/>
- [4] AVäljamäe, A ; Steffert, T ; Holland, S ; Marimon, X ; Benitez, R ; Mealla, S ; Oliveira, A ; Jorda, S. (2013) A review of real-time eeg sonification research. *International Conference on Auditory Display (ICAD2013)*. pp 85-93.
- [5] A. De Campo, "A data sonification design space map," in *Proc. ISon'07*, York, UK, 2007.
- [6] T. Hermann, P. Meinicke., H. Bekel., H. H. Müller., S. Weiss., and R. Helge, "Sonifications for EEG data analysis," in *Proc. ICAD'02*, Kyoto, Japan, 2002.
- [7] Jasper, H.H. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* No. 10, pp. 371-375. 1958.