

COMPath: 인터랙티브 맵 인터페이스 기반의 음악 작곡 환경

박시화, 김승훈, 이사무엘, 여운승

〈요약〉

본 논문에서는 온라인 지도상의 데이터를 음악적 요소를 지닌 소리들로 변환시켜줌으로써, 독특하고 새로운 형태의 작곡 환경을 제공하는 COMPath를 제안한다. 이 사용자 환경에서는 지도상에 사용자가 원하는 경로를 그리게 되면 경로주변의 날씨, 교통량, 뉴스 발생 등의 다양한 데이터를 수집하고 분석하여 이를 음악적인 이벤트로 변환하여 들려준다. 지도상의 실제 정보들을 청각을 통해 들려주는 정보 제공의 기능뿐만 아니라, 다양한 정보들을 음악의 요소로 활용하여 쉽게 음악을 만들어 낼 수 있는 작곡 도구로서의 잠재력도 가지고 있다. COMPath의 사용자 인터페이스와 데이터 수집, 그리고 수집된 데이터를 분석하고 음악적으로 구성될 수 있도록 한 맵핑 과정에 대한 디자인과 구현방법 등을 기술하였다.

검색어: 맵 인터페이스, 맵 API, Sonification, Mash-up, 인터랙티브 작곡 환경

1. 서론

Sonification 혹은 auditory display 는 정보를 동반하여 오디오 신호를 사용하는 것을 의미한다. 좀 더 구체적으로 말하자면, sonification은 합성된 비 언어적인 소리들이 데이터를 나타내거나 다양한 정보의 처리를 지원할 수 있다는 생각에 기반을 둔, 데이터들의 관계를 어쿠스틱 신호들의 관계로 전환하는 것이다 [9]. 과학적 시각화와 비슷하게, sonification은 사람들이 자신들의 인지 능력을 데이터 해석을 위해 쓸 수 있도록 하는 것이 목적이며 다양한 예술적 어플리케이션과 연구 영역에 적용되어 왔다. 특히 이런 auditory display는 데이터에서 소리로의 매핑 방법론이 다양하기 때문에 개별적인 목적에 맞도록 설계를 할 수 있다는 큰 장점을 지닌다.

본 논문에서 우리는 인터넷 맵 인터페이스와 함께 지리학적인 데이터의 sonification을 위한 인터랙티브 환경인 COMPath (Composition with Path)를 제시하려고 한다. 사용자들은 지도상에서 임의의 경로를 그리므로써 해당 경로 상의 교통량, 기온, 풍속, 문화 행사 등의 다양한 지역 정보들을 일련의 소리들 혹은 음악으로 바꿀 수 있다. COMPath는 경로에 따라 다른 소리들의 조합이 가능하다는 특징으로 인해 경로를 디자인하는 것 자체가 음악을 작곡하는 것과 동일하다는 점에서 음악 창작을 위한 비 전통적이고 독특한 인터페이스로서의 의미를 가진다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 첫째, 관련 있는 연구에 대한 리뷰를 통해서 이 연구가 어떤 의미를 지니는 지 논의한다. 그리고 나서 COMPath의 디자인 컨셉과 구현에 대해 기술 할 것이다. 끝으로 결과에 대한 논의와 함께 앞으로의 연구방향에 대한 제안을 할 것이다.

이미지, 그래프 등과 같은 평면 데이터 공간에서의 시각적 정보들을 auditory 영역에서 나타내기 위한 많은 시도들이 있었다. 웨이브 테레인 합성법 뿐만 아니라 UPIC 시스템 [17], Metasynth [14], vOICe method [8], 그리고 Rasterpiece [18]과 같은 그래픽 합성법 [11] 에 더해 Alty 과 Rigas 는 사용자들이 단순한 이차원 그래프의 윤곽을 따르는 음악적 피치를 들음으로써 그 그래프를 인지할 수 있다고 보여주었다 [1]. Brown 과 Brewster 선 그래프의 auditory 표현을 듣고 나서 그 그래프를 그릴 수 있는지에 대한 가능성을 실험하기도 하였다 [4].

하지만 본 논문에서는 지리학적 데이터들을 해석하여 네비게이션 목적으로 소리를 사용하는 것에 보다 더 관심을 두었다. Zhao는 통계적 데이터의 지리학적 분포 패턴을 나타내기 위한 인터랙티브 sonification 방법론을 제시하여 시각 장애인들도 인터랙티브한 소리의 사용 덕분에 친숙한 장소는 물론 처음 접하는 지도 상의 지리학적인 데이터 패턴을 인지할 수 있었다 [19][20]. 또한 Ramloll의 경우, 엄밀히 말하자면 지리학적인 데이터는 아니지만, 2차원 테이블 데이터를 auditory 영역에서 검색하는데 있어서의 문제들에 대해서 조사 하였다. 그 조사 결과, 시각 장애인들이 음성으로 테스트한 결과에 비해 비 음성으로 테스트한 결과가 전체적인 작업 부하와 평균 시간이 크게 감소하였고 성공률은 증가한다는 점을 발견 하였다.

Sonification 엔진이 모바일 네비게이션을 위한 포터블 디바이스에 심어지기도 했다. Ontrack [15] 은 청취자에게 자신의 목적지로 가도록 하기 위해 모바일 음악 재생기의 볼륨과 공간적 균형감을 조절하여 네비게이션 신호들을 제공한다. 이와 유사하게 Strachan은 ‘위치 인식’이 가능한 소형 음악 재생기를 제시하였다. 이 PocketPC 기반의 시스템은 연속적으로 적절한 음악 피드백을 주어 사용자를 안내해 주기 위해 모바일 위치 확인 시스템 (Global Positioning System, GPS)과 MP3 재생기의 기능을 합쳤다. City Map [6] 의 경우 시각 장애인들이 도시 지도를 탐색할 수 있게 해주는 인터랙티브한 3차원 sonification 인터페이스이다. 네비게이션을 위한 Auditory 피드백 사용에 관한 더 많은 예들은 [7]에서 논의 되고 있다.

이러한 예들과 비교하였을 때 COMPath의 차이점은 다음과 같다.

- Sonification 된 결과들은 네비게이션 신호들로 제공되지 않는다. 대신 우리는 맵 자체를 소리들로 구조화 하고 음악을 작곡하기 위한 인터페이스로 고려한다. Sonic City [5] 와 Davos Soundscape [12] 등과 같은 모바일 음악 창작에 관한 예들에서 나타난 목적이 COMPath의 목적과 비교될 수 있다. 하지만 이러한 예들에서는 모바일 디바이스 자체를 사용자 인터페이스로 사용했지만 COMPath에서는 인터넷 맵 자체를 인터페이스로 사용하였다는 측면과 음악적인 이벤트들로 매핑될 정보의 선택 측면에서 다르다고 할 수 있다.
- COMPath의 인터넷 맵 인터페이스는 음악 작곡을 위해 독특하며 사용하기 쉬운 환경을 제공한다. 사용자들은 노드를 표시하고 경로를 그리므로써 신중하게 디자인된 sonification 매핑 계획에 따라 음악의 부분으로 변환될 다양한 이벤트들을 수집하고 구

성할 수 있다. 이렇게 그려진 경로를 추적하는 속도가 각 지점에서의 음악 재생 시간을 결정하며 결과적으로 서로 다른 경로는 서로 다른 음악을 만들게 된다. 게다가 맵이 미국 내의 모든 곳을 포함하고 있으므로 작곡을 위한 가상의 무한한 자원을 제공한다.

2. COMPath 시스템 구성

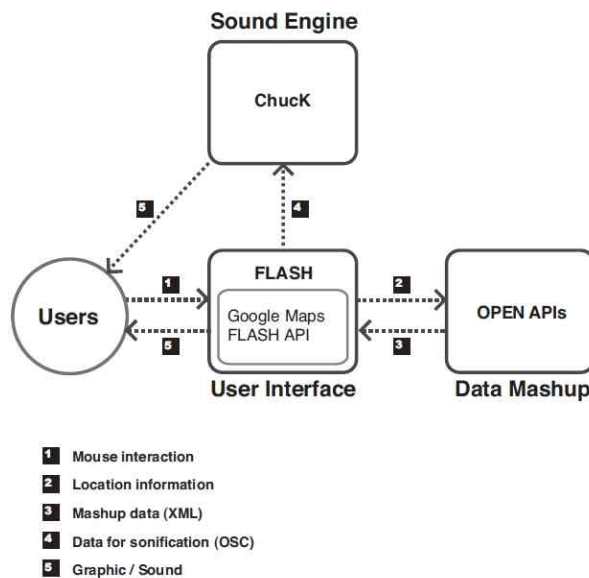


그림1. COMPath 구성도

그림 1에서 보듯이 COMPath의 시스템은 사용자 인터페이스, 데이터 매쉬업, 그리고 사운드 엔진으로 나눌 수 있다.

사용자 인터페이스

COMPath의 인터페이스는 온라인 지도를 사용하고 있으며, 간단하고 쓰기 쉽도록 고안되었다. 구글맵의 API를 이용하여 사용자가 지도상에서 쉽게 경로를 설정하고 수정할 수 있도록 하였으며 전 세계 곳곳의 지리정보를 street, satellite, hybrid등의 다양한 옵션을 선택하여 볼 수 있다. 뿐만 아니라 써드 파티들이 제공하는 다양한 정보들을 받아와 보여 줄 수 있도록 디자인 되었다.

Mashup

웹 기술 용어로서의 매쉬업은 기존의 웹 사이트들에서 기능들을 가져와 합치거나 섞어서

새로운 웹 사이트, 어플리케이션을 만드는 과정을 의미한다. 웹 2.0 시대에 나타난 이 기술 덕분에 기존의 정적인 웹사이트들이 동적으로 데이터를 처리하는 사이트로 합쳐질 수 있게 되었다. 현재 아마존, 구글, 이베이와 같은 상용 웹 서비스들에서 Application Programming Interface, 즉 OpenAPI를 제공하고 있어서 사람들이 이와 같은 사이트들의 정보들을 엮거나 매칭 시킬 수 있도록 하고 있다.

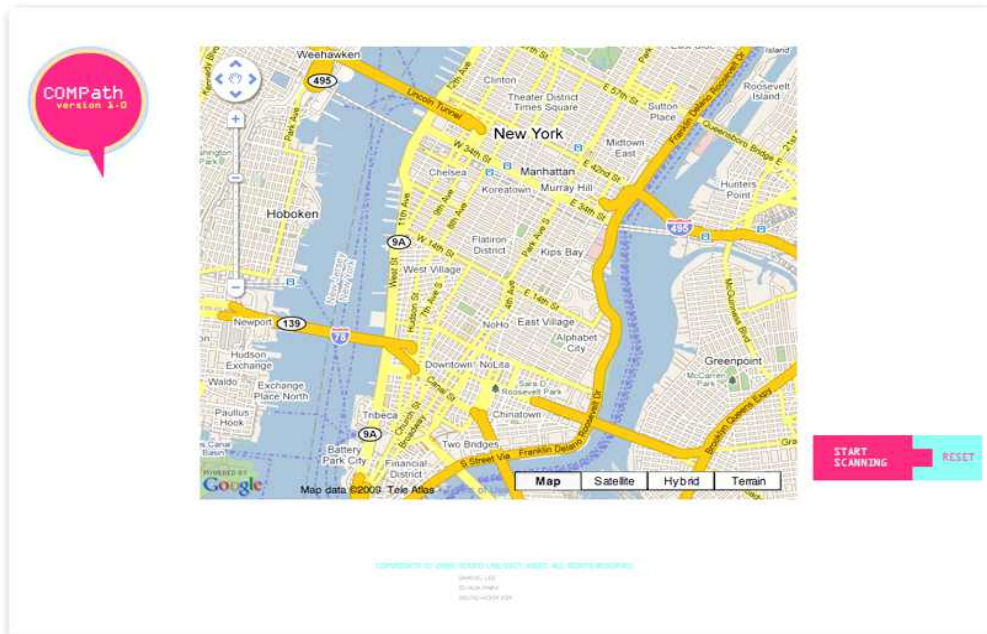


그림2. COMPath 사용자 인터페이스

Sound Engine

매쉬업된 지역 정보는 sonification을 위해서 사운드 엔진으로 전달된다. COMPath에서는 OSC(Open Sound Control)를 데이터의 통신 규약으로 이용하고 있다. OpenAPI를 통해 만들어진 매쉬업 정보는 OSC 메시지로 변환되며, OSC 메시지는 OSC를 지원하는 사운드 생성 툴인 Max/MSP, Pure data(PD)나 Chuck과 같은 프로그램으로 전달된다.

MAPPING PROCEDURE

구글맵 API를 사용하여 사용자가 COMPath를 쉽게 사용할 수 있도록 하였는데, 이는 사용법 대부분이 간단한 마우스 제스처(클릭, 드래그, 스크롤)만으로 이루어져 있기 때문이다. 사용자가 마우스 클릭을 통해 지도 상의 어떤 지점을 지정하면 그곳에는 핑크색 마커가 생

성된다. 동일한 방식으로 사용자가 원하는 경로의 주요 지점마다 클릭을 하면 COMPath에서는 자동적으로 핑크색 마커와 녹색 폴리라인을 통해 사용자가 그린 경로를 표시해 준다. 경로는 마커를 드래그 함으로써 간단히 수정할 수 있다. 원하는 경로를 설정한 사용자가 'Start Scanning'버튼을 누르면 COMPath는 경로 주변의 교통, 날씨, 기온, 지역 뉴스 등의 다양한 정보를 인터넷 상에서 얻기 위해 여러 곳에 쿼리를 보낸다. 이 쿼리를 통해 얻게 된 실시간 정보들은 다양한 색상과 크기의 마커들을 통해 지도상에 표시되며, 이 과정이 끝나면 COMPath는 얻어진 데이터를 sonification 한다. 현재 sonification이 진행되고 있는 지점은 아이콘을 통해 표시되기 때문에 사용자가 쉽게 그 위치를 알 수 있다.

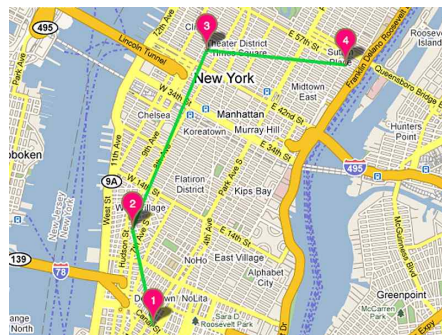


그림3. 간단한 마우스 제스처로 그린 경로, 분홍 마커와 녹색 폴리라인으로 구성됨.



그림4. 매쉬업 데이터 시각화: 데이터들의 다른 속성을 보여주기 위해 각각 다른 크기와 색상으로 표현됨.

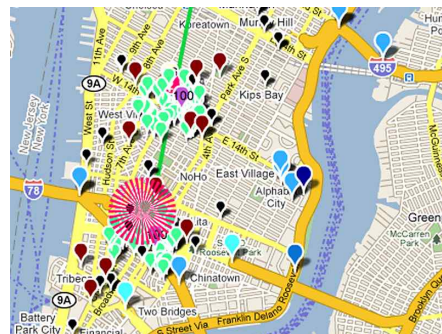


그림5. 현재 진행되고 있는 Sonification 지점을 아이콘으로 표시해줌.

Mashup

COMPath는 사용자가 지도상에 선택한 각 지점에 대한 지리학적 위치 정보를 구글 맵스 API 로 부터 얻어 온다. 그 뒤, 이 위치 정보를 바탕으로 다른 OpenAPI들과 함께 원하는 정보를 얻기 위하여 매쉬업 작업을 실행한다. 여기에 쓰여지는 OpenAPI들의 예는 아래와 같다.

Yahoo traffic: 이 야후 API 는 사용자가 실시간 교통 경고 정보를 주소나 위도와 경도로 나타내는 지리학적 위치 정보를 얻을 수 있게 해준다. 또한 특정 위치로부터 정보를 얻을 수 있는 환경을 설정 할 수 있다.

Flickr : 이 API는 위치태그(geotag) 정보를 바탕으로 특정 위치에서 찍은 사진을 얻을 수 있게 해준다.

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 날씨 서비스 : 이 API는 특정 위치에서의 최대 기온, 최저 기온, 풍향, 풍속 등과 같은 다양한 날씨 정보를 제공한다.

Eventful : 이 API는 다양한 문화 행사 정보를 얻을 수 있게 해준다.

Outside.in : 이 API는 특정 위치에서 발생한 지역 뉴스를 얻을 수 있게 해준다.

Socialight : 이 API는 특정 위치에서 사람들이 남긴 리뷰나 코멘트를 얻을 수 있게 해준다.

위와 같은 사이트들에서 제공하는 OpenAPI의 쿼리 결과 정보는 그림 6에서 나타난 예와 같이 모두 XML(extensible markup language) 형태로 제공된다.

```
<ResultSet xsi:schemaLocation="urn:yahoo:maps http://
api.local.yahoo.com/MapsService/V1/TrafficDataResponse.xsd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns="urn:yahoo:maps">
  <LastUpdateDate>1253179328</LastUpdateDate>
  <Result type="incident">
    <Title>Lane closed, on HOLLAND TUNL WB at HOLLAND TUNL</Title>
    <Description>This tunnel is open westbound to New Jersey for
passenger cars, buses and two and three axle single unit trucks.
Commercial traffic restricted eastbound to New York. ...
</Description>
    <Latitude>40.728340</Latitude>
    <Longitude>-74.026470</Longitude>
    <Direction>WB</Direction>
    <Severity>2</Severity>
    <ReportDate>1138389020</ReportDate>
    <UpdateDate>1253095042</UpdateDate>
    <EndDate>1253181443</EndDate>
  </Result>
</ResultSet>
```

그림6. 야후 트래픽 API를 통해 얻은 XML 결과

정보의 종류에 따라 쿼리 옵션이 달라질 수 있다. 예를 들어 Flickr, Yahoo traffic, Eventful, Outside.in API의 경우 검색 환경이 구체적으로 설정할 수 있으며 NOAA의 경우 현재 날짜 정보만 가지고도 검색을 할 수 있다.

Sonification Mapping

Sonification은 정보를 전달하는데 있어 음성이 아닌 형태의 소리가 활용되는 것을 의미하며, 이 소리는 하나의 음악으로서 간주될 수 있다. 본 연구에서는 지도상의 정보를 음악 작곡의 수단으로 이용하여, 소리의 파라미터를 조절하거나 악기를 연주해 보았다. 이러한 것과 관련해서, 지도상의 정보를 소리와 연관시키는 것에는 여러 방법이 존재한다.

이런 방법들을 언급하기 전에, 우리는 먼저 두 가지 이슈를 제기하였다. 하나는 정보의 특성에 따라 소리가 어떻게 만들어질 것인가 이며, 다른 하나는 인식되는 정보의 패턴을 얼마나 활용할 것인가이다. 정보의 특성은 음악의 성질을 결정하는데 있어 중요한 역할을 한다. 만약 하나의 정보에 있어 값들이 발생하는 간격이 길고, 발생된 값들의 차이가 그리 크지 않다면 그 정보에 따라 제작되는 음악은 단순하고 평탄할 수 밖에 없다. 그러므로, 발생하는 값들이 차이가 있는 정보가 선택되는 것이 바람직하다. 또한, sonification을 통해 정보를 전달하는 목적에 있어서, 사용자는 그 정보의 패턴을 인식할 수 있게 하는 것이 중요하다. 그러나 패턴 인식의 목적을 위해서는 음악 제작에 있어 무작위적인 요소가 최소화되어야 하고, 이는 음악을 너무 평이하게 만들 우려가 있다.

본 연구에서는, 사용자가 선택된 지역의 특성을 인식하기 위하여, 각각의 다른 지역은 다른 소리를 발생시키게 하는 것이 요구된다. 각 지역은 위도, 경도와 같이 숫자로 나타낼 수 있는 고유의 정보를 가지고 있으므로, 이러한 정보는 한 지역에서 만들어지는 음악에서 고정되는 파라미터를 조절하는데 사용될 수 있다.

정해진 경로에 따라 만들어진 음악을 들을 때, 사용자는 어느 지역의 정보가 음악으로 표현되고 있는지 인식해야 한다. 이러한 것은 시각적 피드백 이외에도 청각적 피드백이 이용될 수 있다. 본 연구에서는 짧은 길이의 소리나 순간적인 무음을 청각적 피드백으로

활용하였다.

본 연구에서는 위도와 경도 외에도 두 지점 사이의 길이, 교통량, 지역에서 발생한 이벤트, Flickr을 통해 올려진 사진의 메타데이터, 지역 주변의 유명한 장소들의 메타데이터, 온도 등이 작곡의 재료로 활용되었다. 각 정보들의 차원이나 특성에 따라 몇 가지로 구분된다.

거리나 위치, 온도 등은 지정된 지역에서 정해진 숫자로 표현되는 요소이다. 이러한 것들은 신호의 간격 시간, 혹은 재생 시간 등으로 고려될 수 있다. 이외에도, 한 지역에서 고정적으로 발생하는 소리의 음조 등으로 활용될 수 있다.

교통량, 이벤트, 장소에 관련된 정보들은 사용자가 지정한 위치의 주변에서 발생된다. 그러므로 이러한 정보들은 소리의 파라미터를 조절하는데 사용하는 것이 적합하다. 각각의 정보들은 고유의 위치를 가지고 있으므로, 정보가 발생한 위치와 사용자가 지정한 지역의 거리를 측정할 수 있다. 그 거리를 바탕으로 우리는 주변 지역을 여러 개의 부분으로 나눌 수 있고, 그 구분된 지역이 하나의 음의 역할을 하도록 할 수 있다.

음악적으로 효과적인 소리를 만들기 위하여, 본 연구에서는 위에서 언급한 모델을 바탕으로 세 가지 방법을 시도해 보았다.

- 1) 정보의 종류를 소리의 파라미터와 연관시키는 것을 시도하였다. 사용자가 지정한 지역에서 거리에 따라 방사형 모양으로 지역을 구분한 다음, 소리의 음조를 조절하는 것을 시도하였다. 각각의 정보는 악기의 각 음조와 관련이 있다. 그리고 정보의 값은 소리의 크기에 해당되게 하여서, 소리의 크기는 그 지역에 존재하는 정보의 양과 비례하게 된다.
- 2) 다른 종류의 정보는 다른 악기나 샘플로 연결하였다. 앞에서 언급한 것과 같이 지역을 거리에 따라서 구분한 다음, 각 지역에 존재하는 정보의 양이 화음을 결

정한다. 또한, 온도나 위도, 경도와 같이 고정적인 값들은 재생 속도를 결정한다.

- 3) 지도상의 정보가 음을 결정하게 하였다. 정보의 종류에 따라 악기를 담당하게 되고, 사용자가 지정한 곳에서부터 발생된 정보의 위치까지의 거리가 음조를 결정한다. 그리고 이 정보로부터 생성된 음이 연속적으로 재생되게 하였다. 재생 속도는 2)에서 언급한 것과 동일하게 온도나 위도, 경도와 같은 고정적인 값들에 의해 조절되게 하였다. 한 지역에서 생성된 음이 모두 재생되면, 다음 지역으로 넘어가게 된다.

3. 사용자 테스트

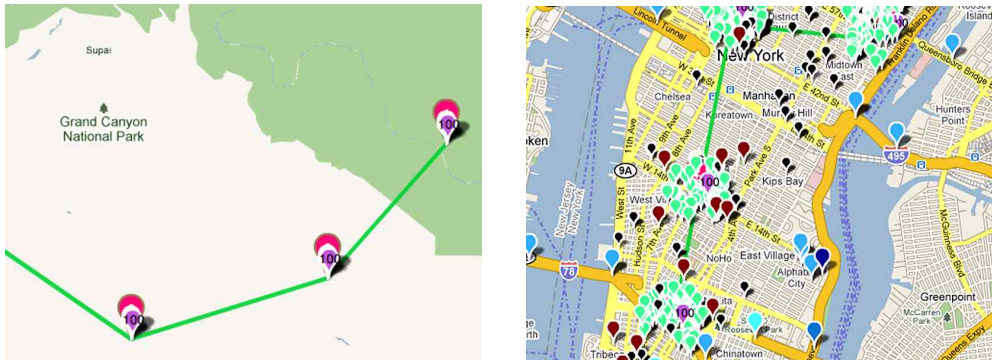


그림7. 뉴욕 맨하탄과 애리조나 그랜드 캐년

COMPath를 테스트하기 위해 대조적인 두 지역을 선택하여 경로를 지정하였다. 한 곳은 뉴욕 맨하탄이고 다른 한 곳은 애리조나의 그랜드 캐년을 설정하였는데,(현재 써드 파티에서 제공되는 데이터들은 국내보다는 미국이 훨씬 다양하고 풍부하다는 점 때문에 실험은 미국 내의 장소로 한정했다.) 이 두 지역을 선택한 것은 교통, 기온, 지역뉴스 등의 데이터에서 확연히 차이를 보일 것이라 판단되었기 때문이다. 그림 7에 보이는 것처럼 맨하탄 지역은 엄청난 데이터의 양 때문에 다수의 마커가 지도 위에 표시되고 다양한 음이

연주되지만, 그랜드 캐년은 특별한 소리를 들을 수 없을 정도로 데이터의 양도 적다. 이 간단한 실험에서도 명확히 알 수 있는 것은 COMPath가 들려주는 사운드를 통해 두 지역을 확실히 구분할 수 있을 뿐만 아니라, 경로 주변의 지역적 특성들을 잘 표현주고 있다는 점이다. 또한 지도 위에 경로를 그리는 간단한 행위만으로도 음악을 충분히 만들어 낼 수 있다. 그렇지만, 사용자가 음악의 작곡을 위해 COMPath를 사용하기 위해서는 인터페이스, sonification, 맵핑 등의 부분에서 사용자 스스로가 원하는 형태로 구성할 수 있도록 개선해야 할 부분들이 많이 남아있다.

4. 결론

COMPath는 온라인 지도를 기반으로 하여 실제 지리상의 다양한 정보를 음악으로 변환하는 인터랙티브 sonification 도구이다. 인터넷 지도를 이용하여 음악을 만든다는 것 자체가 독특할 뿐만 아니라, 같은 경로라 할지라도 매 시간별 데이터가 변함에 따라, 음악 또한 변화할 수 있다는 것이 COMPath의 가장 큰 매력이다. 현재 COMPath가 가지고 있는 여러 가지 한계점에도 불구하고 많은 이들이 COMPath가 만들어내는 음악과 그 과정에 긍정적인 반응을 보였고, 앞으로 작곡 도구로서의 발전 가능성에 동의했다. 향후 과제는 사용자가 음악적 표현을 보다 자유롭게 할 수 있도록 제어할 수 있는 다양한 옵션을 추가해 나가는 것이며, 실제적인 ‘작곡 도구’로서의 가능성을 평가하기 위해 계속해서 보다 객관적인 사용자 테스트를 계속 해 나가는 것이다.

참고문헌

1. J. L. Alty and D. Rigas. Communicating graphical information to blind users using music: the role of context. In CHI '05: Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction.
2. R. Bibson and S. Erle. Google Maps Hacks : Tips & Tools for Geographpic Searching and Remixing. O'Reilly, 2006.
3. J. Bischoff, R. Gold, and J. Horton. Music for an interactive network of microcomputers. 2(3):24–29, 1978.
4. L. M. Brown and S. A. Brewster. Drawing by ear: Interpreting sonified line graphs. In ICAD '03: Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display, pages –, Glasgow, UK, 2003. ICAD.
5. L. Gaye, R. Maz', and L. E. Holmquist. Sonic city: the e urban environment as a musical interface. In NIME '03: Proceedings of the 2003 conference on New interfaces for musical expression, pages 109–115. NIME, 2003.
6. W. Heuten, D. Wichmann, and S. Boll. Interactive 3d sonification for the exploration of city maps. In NordiCHI '06: Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction, pages 155–164, New York, NY, USA, 2006. ACM.
7. M. Jones and S. Jones. The music is the message. interactions, 13(4):24–27, 2006.
8. W. Jones. Sight for sore eyes. IEEE Spectrum, February 2004.
9. G. Kramer, B. Walker, T. Bonebright, P. Cook, J. Flowers, N. Miner, J. Neuhoff, R. Bargar, S. Barrass, J. Berger, G. Evreinov, W. T. Fitch, M. Grohn, S. Handel, H. Kaper, H. Levkowitz, S. Lodha, B. Shinn-Cunningham, M. Simoni, and S. Tipei. Sonification report: Status of the field and research agenda. In ICAD '97: Prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display, pages –. ICAD, 1997.
10. R. Ramloll, S. Brewster, W. Yu, and B. Riedel. Using non-speech sounds to improve access to 2d tabular numerical information for visually impaired users. In BCS-HCI '01: 15th Annual Conference of the British HCI Group,

pages 515–529, Glasgow, UK, 2001. BCS-HCI.

11. C. Roads. *The Computer Music Tutorial*. MIT Press, Cambridge, MA, 1997.
12. J. C. Schacher. Davos soundscape, a location based interactive composition. In *NIME '08: Proceedings of the 2008 conference on New interfaces for musical expression*. NIME, 2008.
13. S. Strachan, P. Eslambolchilar, R. Murray-Smith, S. Hughes, and S. O'Modhrain. Gpstunes: controlling navigation via audio feedback. In *MobileHCI '05: Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction with mobile devices & services*, pages 275–278, New York, NY, USA, 2005. ACM.
14. U&I Software. *Metasynth 4*. <http://uisoftware.com/MetaSynth/>.
15. N. Warren, M. Jones, S. Jones, and D. Bainbridge. Navigation via continuously adapted music. In *CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1849–1852, New York, NY, USA, 2005. ACM.
16. M. Wright, A. Freed, and A. Momeni. In *NIME '03: Proceedings of the 2003 conference on New interfaces for musical expression*.
17. I. Xenakis. *Formalized Music (Revised Edition)*. Pendragon Press, New York, 1992.
18. W. S. Yeo and J. Berger. Rasterpiece: A cross-modal framework for real-time image sonification, sound synthesis, and multimedia art. August 2007.
19. H. Zhao, C. Plaisant, and B. Shneiderman. “i hear the pattern” - interactive sonification of geographical data patterns. In *CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1905–1908, New York, NY, USA, 2005. ACM.
20. H. Zhao, B. Smith, K. Norman, C. Plaisant, and B. Shneiderman. Interactive sonification of choropleth maps: Design and evaluation. *IEEE multimedia*, Special issue on Interactive Sonification, 12(2):26–35, May 2005.