

공감각인지 기반 근감각신호에서 색·음으로의 변환 시스템

The System of Converting Muscular Sense into both Color and Sound based on the Synesthetic Perception

배명진 · 김성일[†]

Myung-Jin Bae and Sung-Ill Kim[†]

경남대학교 전자공학과

Department of Electronic Engineering, Kyungnam University

요 약

본 논문은 공감각의 공학적인 응용 및 표현방법에 관한 기초연구로서, 인간이 인지할 수 있는 감각들 중 근감각을 시각 및 청각 요소로 변환하는 기본 시스템의 구축을 목표로 한다. 구축방법으로서, 근감각 신호를 3축 가속도 센서 및 2축 자이로 센서로부터 계산된 롤(roll), 피치(pitch) 신호를 통하여 근감각 신호 데이터를 획득하고 그 데이터에서 시각적 컬러 정보와 청각적 정보로 변환하는 방법을 제안한다. 롤 신호는 HSI 컬러 모델의 명도(Intensity)와 청각의 요소인 옥타브(Octave)로 변환하고, 피치 신호는 HSI 컬러 모델의 색상(Hue)과 청각의 음계(Scale)에 대응하여 변환한다. 추출된 HSI 컬러모델의 요소성분들을 기반으로 RGB 컬러모델로 변환한 후 실시간 컬러 출력신호를 얻는다. 또한, 청각의 요소인 옥타브 및 음계 성분을 기반으로 MIDI 신호로 변환, 합성한 후 실시간 사운드 출력신호를 얻는다. 실험에서, 신체의 움직임 즉 근감각을 표현하는 롤과 피치 값에서 색과 음 사이의 유사성에 기초한 변환관계에 따라 정상적인 색과 음이 출력되는 것을 확인하였다.

키워드 : 근감각, 가속도센서, 자이로센서, 공감각인지, RGB 컬러모델, HSI 컬러모델

Abstract

As a basic study on both engineering applications and representation methods of synesthesia, this paper aims at building basic system which converts a muscular sense into both visual and auditory elements. As for the building method, data of the muscular sense can be acquired through roll and pitch signals which are calculated from both three-axis acceleration sensor and the two-axis gyro sensor. The roll and pitch signals are then converted into both visual and auditory information as outputs. The roll signals are converted into both intensity elements of the HSI color model and octaves as one of auditory elements. In addition, the pitch signals are converted into both hue elements of the HSI color model and scales as another one of auditory elements. Each of the extracted elements of the HSI color model is converted into each of the three elements of the RGB color model respectively, so that the real-time output color signals can be obtained. Octaves and scales are also converted and synthesized into MIDI signals, so that the real-time sound signals can be obtained as another one of output signals. In experiments, the results revealed that normal color and sound output signals were successfully obtained from roll and pitch values that represent muscular senses or physical movements, depending on the conversion relationship based on the similarity between color and sound.

Key Words : Muscular Sense, Acceleration Sensor, Gyro Sensor, Synesthetic Perception, RGB Color model, HSI Color model

1. 서 론

접수일자: 2014년 3월 17일

심사(수정)일자: 2014년 9월 5일

게재확정일자 : 2014년 9월 6일

[†] Corresponding author

감사의 글 : 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF-2011-0022511)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

공감각(Synesthesia)은 어떤 감각에 자극이 주어졌을 때 자극이 주어진 감각 외에 다른 감각을 자극하여 반응을 유발하는 현상을 말한다. 이러한 현상은 모든 사람이 공통으로 느끼지는 않지만 일치하는 경우가 많고 일반인보다 시각, 청각 장애인인 경우가 더욱 발달되어 있다. 공감각의 예로서 시각을 통하여 레몬을 보았을 때 미각으로 신맛이 느껴진다거나, 청각으로 소리를 들었을 때 특정 색이 시각적으로 보이는 경우, 후각으로 어떠한 냄새를 맡았을 때 청각적인 기억을 불러일으키는 경우, 또는 촉각으로 물체의 느낌을 느꼈을 때 느낌에 대한 시각적 기억을 불러일으키는 경우 등을 들 수 있다. 대부분의 경우 시각을 통해 공감각을 느끼거나 다른 감각을 통해 시각적인 공감각을 느끼는 경우가 많다. 이는 외부로부터 들어오는 정보의 대부분이 시각에 집중되

어 있기 때문이다. 이러한 현상을 이용하여 미술이나 디자인 및 광고 분야에 응용하여 사용되고 있다[1~7].

감각은 체내와 체외에서 생긴 변화나 상태 등을 지각하는 것으로 정의할 수 있고, 일반적인 사용빈도순으로 시각, 청각, 촉각, 미각, 후각이 있다. 이와 같이 통상적으로 알고 있는 다섯 가지 종류의 감각에 덧붙여 체내의 감각을 또한 정의할 수 있다. 체내의 감각은 심부감각(deep sensation) 또는 심부지각이라 하며 근감각, 중량감각, 저항감각 등을 포함하는 감각이다. 그 중에 근감각 또는 위치감각이라 불리는 감각은 근육, 힘줄, 골막, 관절 등을 통하여 근육의 이완 및 긴장 상태를 느낄 수 있는 감각을 의미한다. 즉, 근감각을 통하여 팔, 다리의 위치, 운동의 방향 및 속도를 알거나 관절의 굽은 정도를 느낄 수 있다. 이러한 신체의 움직임 중 손의 움직임을 예로 들면 손등을 위로 향한 상태로 손을 펴고 있을 때, 눈을 감고 손목만을 사용해 손을 위, 아래 또는 좌, 우로 자유롭게 움직이다 멈췄을 경우 손이 정지한 위치가 처음 상태에서 변화된 각도나 방향 변화를 느낄 수 있는 감각이다[8].

공감각을 이용한 감각 상호간의 변환에 대한 공학적인 기초 연구가 부족하고, 특히 본 연구 주제처럼 신체의 움직임과 관련된 근감각에서 다른 감각으로의 전이에 관한 연구는 거의 찾아볼 수 없다. 즉, 근감각을 포함한 여섯 가지 감각들 상호간의 전이에 관한 공감각 지각현상을 기반으로 한 공학적인 측면에서의 기초 연구뿐만 아니라 응용 연구 또한 활발하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이는 공감각을 이루는 체내와 체외를 포함한 여섯 가지 감각들이 상호 복잡한 구조적 문제를 지니고 있어 접근하기 쉽지 않기 때문이다.

본 연구에서는 공감각의 요소 중 중요한 부분을 점유하고, 특히 신체의 움직임을 표현하는 근감각에서 감각의 사용빈도가 높은 시각 및 청각으로의 변환관계를 공학적으로 설계하고 시스템으로 구현하고자 시도하였다. 즉, 그림 1과 같이 시각, 청각, 촉각, 미각, 후각 및 근감각에서 일어날 수 있는 공감각 지각현상 중, 신체의 움직임 변화에 관련한 근감각에서 감각전이(sense transference)현상을 통해 다른 감각 요소로 변환될 수 있다고 가정하고 인간의 오감 중에 사용빈도가 높은 시각과 청각으로의 변환을 시도하였다.

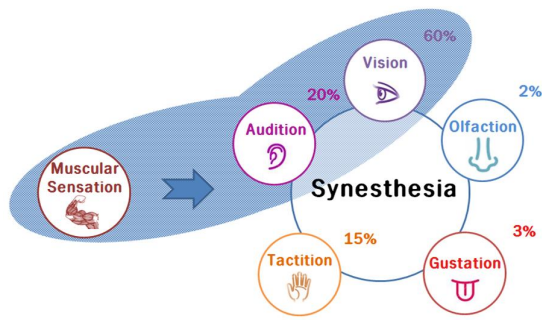


그림 1. 근감각에서 시각 및 청각 요소로의 변환
Fig. 1. Conversion from Muscular Sense into both Visual and Auditory Senses

근감각에서 색과 음으로의 변환방식에 대한 기초연구로서, 본 실험에서는 근감각으로 측정할 수 있는 데이터 중, 위치 값인 롤(Roll)과 피치(Pitch)를 사용하여 색과 음으로의 변환을 시도한다. 즉, 롤 신호는 HSI 컬러 모델의 명도

(Intensity)와 청각의 요소인 옥타브(Octave)로 변환하고, 피치 신호는 HSI 컬러 모델의 색상(Hue)과 청각의 요소인 음계(Scale)에 대응하여 변환한다. 롤과 피치로부터 HSI 컬러 모델의 요소성분인 명도와 색상을 추출하고, 채도(Saturation)는 본 연구에서는 중간 값으로 고정된 뒤 RGB 컬러 모델로 변환하여 최종 컬러색상을 실시간 시각 출력신호로서 얻는다. 또한 롤과 피치로부터 청각의 요소성분인 옥타브와 음계 정보를 추출하고, 이를 기반으로 컴퓨터나 외부 장비로 연주 정보를 상호 전달하기 위해 정해진 데이터 전송 규격인 MIDI(Musical Instrument Digital Interface) 신호로 변환하여 최종 합성된 사운드를 실시간 청각 출력신호로서 얻는다. 이처럼 롤과 피치 신호를 입력으로 한 근감각의 변화를 색과 음으로 동시에 실시간 출력할 수 있는 시스템을 구축하여 변화를 관찰하였다.

본 연구를 포함한 공감각 상호인지기반 시스템의 응용으로서, 시각장애인 또는 청각장애인을 위한 편의장비의 개발이나, 인간의 공감각적 기능을 지닌 지능형 로봇 개발, 스마트폰 및 모바일기기 등에서의 다양한 응용 어플리케이션 개발 등이 가능함과 동시에, 온라인 또는 오프라인의 광고 산업, 게임 산업 및 디자인산업 등에서도 광범위하게 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 자세 측정 장치(ARS)를 이용한 근감각의 표현

근감각으로 느낄 수 있는 정보로는 움직이는 속도, 운동의 방향, 관절의 굽어진 정도이다. 이러한 감각을 디지털 정보로 측정하는 방법의 일환으로 가속도 센서 및 자이로 센서 등의 관성 센서(inertial sensor)로부터 계산된 롤(roll), 피치(pitch) 및 요(yaw) 신호에 기반한 자세 측정 장치(ARS: Attitude Reference System)를 사용한다. ARS의 가속도 센서는 동체의 가속도를 측정하고 자이로 센서는 동체의 각속도를 측정함으로써 로봇이나 차량, 항공기 등의 자세를 측정하기 위해 개발된 장비이다. 자세계산은 자이로의 각속도를 적분하는 방법으로 계산되고, 누적되는 오차를 보정하기 위해 가속도계의 출력을 이용한다.

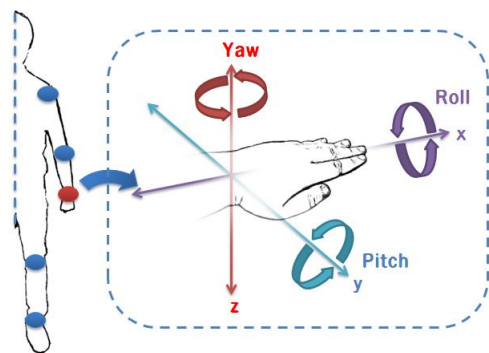


그림 2. 손의 움직임에 따른 롤, 피치, 요의 변화
Fig. 2. Change of Roll, Pitch and Yaw depending on the Movement of Hands

이러한 ARS를 이용하면 가속도센서의 가속도 값과 자이로센서의 각속도, 그리고 계산된 자세 값으로 롤, 피치 및

요 값을 얻을 수 있다. 가속도 센서 값을 적분하면 움직이는 속도를 측정할 수 있고, 가속도 값이 x, y, z축으로 나타내기 때문에 운동의 방향도 측정이 가능하다. 롤, 피치, 요 값은 x, y, z축을 중심으로 회전하는 방향에 따라 값이 달라지는데, 그림 2에서 보여 지는 바와 같이 신체의 움직임 중 손의 움직임을 예로 들어 롤, 피치, 요의 각도 변화를 측정한다. 롤의 경우 x축을 중심으로 움직이고, 피치의 경우 y축을 중심으로 움직이며, 요의 경우는 z축을 중심으로 움직인다[9~11].

3. 색과 음의 표현

3.1 색의 표현

디지털 환경 또는 컴퓨터 공간에서 색을 나타내는 방법은 여러 가지 종류가 있다. 상황에 따라 최적화된 방법을 사용하기 위해 색 공간을 규정하여, 재현할 수 있게 만들어 놓은 것이 컬러 모델이다. RGB 컬러 모델은 Red, Green, Blue 세 가지 광원을 가법 혼합하여 표현하는 방식으로 모니터나 컴퓨터 그래픽에 대표적으로 사용되는 컬러 모델이다. 한편, HSI 컬러 모델은 색상, 채도, 명도를 구분하여 나타내는 컬러 모델로 각각의 값을 사람이 인지하게 되면 결과적으로 어떤 값이 나올 것인지 예측이 가능한 컬러 모델이다. 이 외에도 사용되는 용도에 따라 YIQ 컬러모델, CMY 컬러모델 등 다양한 컬러모델들이 존재한다.[12]

본 연구에서는 색을 인간의 색인지에 기반을 둔 사용자 지향성의 HSI 컬러모델로 표현한 다음 RGB 컬러 모델로 변환하여 사용한다. RGB 컬러모델을 바로 사용하지 않고 HSI 컬러모델을 사용하는 이유는 RGB 컬러모델이 가법 혼합방식을 사용하기 때문에 Red, Green, Blue 값을 보았을 때 최종적으로 어떤 색이 나올지 쉽게 알 수가 없고 빛의 밝기에 대한 정보가 없으므로 밝기에 따른 색에 영향을 줄 가능성이 크기 때문이다. 그림 3은 RGB 컬러모델을 나타내고 있고 Red, Green, Blue 값의 범위는 0~255이다.

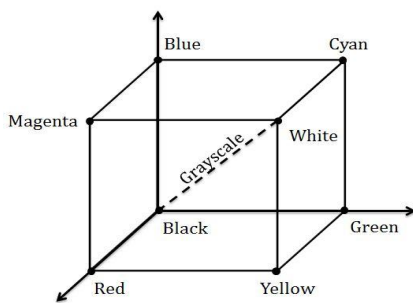


그림 3. RGB 컬러모델
Fig. 3. RGB Color Model

HSI 컬러 모델은 인간의 색인지 방식에 따라 만들어진 컬러 모델로 원하는 색을 만들기 위해 색을 혼합할 필요가 없다. 인간의 눈은 색을 판단할 때 색의 기미가 있는지 없는지를 판단하고 색의 기미에 따라 종류를 구분하며 이를 색상이라고 한다. 또한, 구분한 색의 밝고 어두운 정도에 따라 색을 구분하고 이를 명도라고 하며, 색의 짙고 옅은 정도를 나타내는 채도로 색을 구분한다. 이와 같이 색을 구분

할 수 있는 세 가지 속성을 색의 삼속성이라고 한다.

그림 4의 HSI 컬러 모델을 사용하여 원하는 색을 만들 때 인간의 눈과 같이 색상(Hue)을 나타내는 H값과 명도(Intensity)를 나타내는 I값, 채도(Saturation)를 나타내는 S 값을 조절하면 원하는 색을 표현할 수 있다. 색상을 나타내는 H값은 0°~360°의 범위를 가지고 0°에서 Red, 120°에서 Green, 240°에서 Blue를 나타낸다. 채도를 나타내는 S값은 0~1 사이의 값을 가지고 1에 가까울수록 원색을 나타내며 0에 가까울수록 무채색에 가까워진다. 명도를 나타내는 I값은 0~1의 값을 가지는데 0은 검은색, 1은 흰색으로 밝기를 나타낸다.[13]

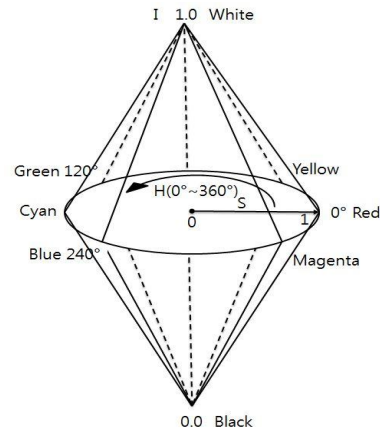


그림 4. HSI 컬러 모델
Fig. 4. HSI Color Model

HSI 컬러 모델을 이용하여 얻은 값을 RGB 컬러 모델로 변환하는 방법은 HSI 컬러 모델의 H값의 범위에 따라 달라지는데 0~120 사이일 경우 식(1)을 사용하여 변환하고, 120~240일 경우는 식(2), 240~360일 경우는 식(3)을 사용하여 변환한다. 변환된 RGB값은 0~1 사이 값을 가지기 때문에 255를 곱해주어야 0~255 사이의 값을 가진다 [12,14,15].

- $RG(0^\circ \leq H \leq 120^\circ)$

$$b = \frac{1}{3}(1 - S)$$

$$r = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60 - H)} \right] \quad (1)$$

$$g = 1 - (r + b)$$

$$B = b \times 3I, R = r \times 3I, G = g \times 3I$$

- $GB(120^\circ < H \leq 240^\circ)$

$$H = H - 120$$

$$g = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60 - H)} \right] \quad (2)$$

$$r = \frac{1}{3}(1 - S)$$

$$b = 1 - (r + g)$$

$$G = g \times 3I, R = r \times 3I, B = b \times 3I$$

- $BR(240^\circ < H \leq 360^\circ)$

$$H = H - 240$$

$$b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60 - H)} \right] \quad (3)$$

$$r = 1 - (g + b)$$

$$g = \frac{1}{3}(1 - S)$$

$$B = b \times 3I, R = r \times 3I, G = g \times 3I$$

3.2 음의 표현

음도 색의 경우와 마찬가지로 특성을 구분할 수 있는 삼속성이 있다. 음의 삼속성은 음의 세기와 높이, 음색이다. 첫 번째로 음의 세기는 음이 크고 작다는 것을 인지하는 속성으로 음을 전달하는 주파수의 진폭이 크거나 작은 것을 의미하며, 데시벨(dB)을 사용하여 측정한다. 그리고 음의 높이는 음의 높고 낮은 정도를 나타내는데 주파수의 크기에 따라 달라진다.

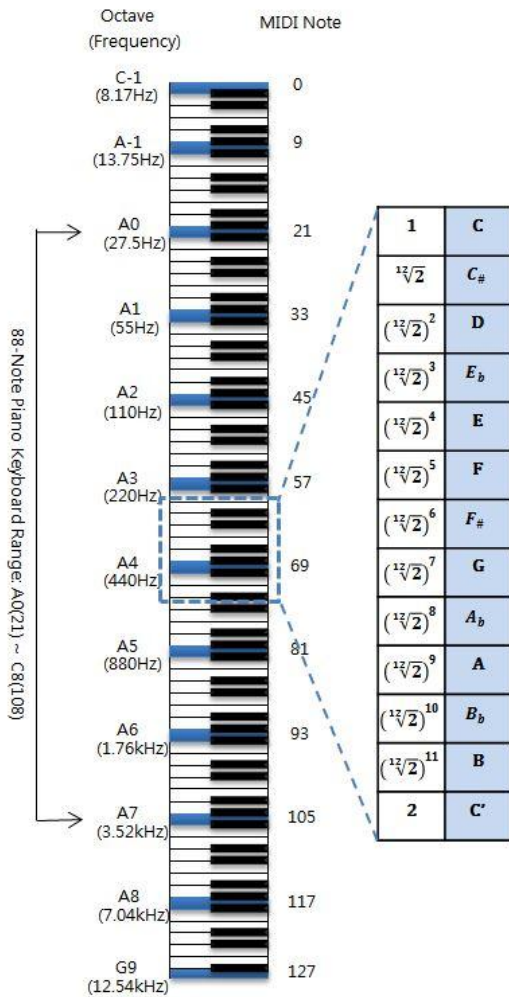


그림 5. 미디 노트, 옥타브 및 주파수
Fig. 5. MIDI note, Octave and Frequency

그림 5에서 3옥타브 A는 220Hz, 4옥타브 A는 440Hz를 나타내는데 두 가지 모두 A 음이지만 4옥타브 A는 3옥타브 A보다 주파수가 2배 높은 음이다. 이렇게 같은 음이지만 배수의 주파수를 가지는 경우로 옥타브를 구분하며 옥타브의 증감은 주파수 배수의 차이로 변화한다. 그리고 옥타브를 12 등분 하여 나타낸 것을 음계라고 하며, 옥타브를 12 등분하여 한음이 $2^{1/12}$ 의 비율로 증감하게 된다. 또한, 음색은 음의 순수한 정도를 나타내며, 예를 들어 다른 악기를 사용해 같은 음을 연주했을 때 음의 주파수와 진폭은 같지만 다른 음으로 느끼는 것은 기본주파수(Fundamental Frequency)의 배수에 해당하는 하모닉(Harmonics) 성분의 차이 때문이다.

본 논문에서는 음의 삼속성을 기본으로 다양한 음색을 표현할 수 있는 MIDI를 사용한다. MIDI 음의 발생과 소멸은 노트 온(Note On) 메시지로 음의 발생을 표시하고, 노트 오프(Note Off)로 음의 소멸을 표시한다. 노트 온에서 노트 오프까지의 시간으로 음길이(Duration)를 조절할 수 있고, 노트 오프 신호를 주지 않더라도 일정 시간이 지나면 자동적으로 노트 오프상태로 바뀐다. MIDI에서 채널은 16개가 있고 한번에 16개의 악기와 통신을 할 수 있다. 그리고 MIDI로 표현할 수 있는 노트(Note)는 0~127가지이며, 그림 5에서와 같이 -1옥타브 C를 시작으로 9옥타브 G까지 표현할 수 있다. 그러나 -1옥타브 C의 경우 주파수가 8.17Hz이므로 가청 주파수 대역인 20Hz~20kHz에 포함되지 않아 소리를 들을 수 없고 7옥타브 A 이상의 음은 출력으로 사용하지 않는다. 그러므로 88 피아노의 범위인 0옥타브 A를 시작으로 7옥타브 A까지를 사용한다[16].

4. 근감각-색·음 변환원리

본 연구에서는 근감각 신호에서 색과 음으로의 변환에 있어 근감각으로 측정할 수 있는 데이터 중 롤과 피치 정보를 이용하여 색과 음으로의 변환을 시도한다. 실험에서, ARS의 가속도 센서 및 자이로 센서를 통하여 획득된 가속도와 각속도 데이터를 기반으로 계산된 롤과 피치 값을 사용한다. 롤과 피치 값에 대응하는 시각과 청각 정보는 색과 음 사이의 유사성에 기초한 대응관계로서 정의된다.

그림 6과 같이 롤의 변화를 10 단계로 나누어 시각 정보인 HSI 컬러 모델의 명도와 청각 정보인 옥타브의 변화로 대응시킨다.

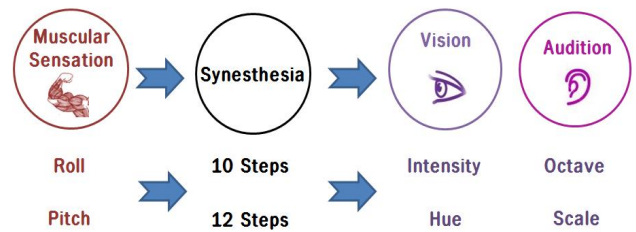


그림 6. 근감각과 시각·청각의 대응관계
Fig. 6. The Mapping Relation between Muscular Sense and Visual-Auditory Sense

즉, 옥타브의 변화는 동일음계를 기준으로 가볍고 무거운 느낌으로 들리므로 밝고 어두운 명도와 대응시키기 위해 약

10 옥타브에 해당하는 가청주파수 대역을 고려하여 10 단계로 나누어 정의하였다. 또한, 피치의 변화를 12 단계로 나누어 시각 정보인 HSI 컬러 모델의 색상과 청각 정보인 음계의 변화로 대응시킨다. 즉, HSI 컬러모델의 색상은 12 음계와 대응시키기 위해 색상의 범위($0^{\circ} \sim 360^{\circ}$)를 12 등분하여 정의하였다.

시각과 청각의 요소 중 명도와 옥타브, 색상과 음계를 서로 대응시킨 것은 각 요소의 연관성이 있기 때문이다. 시각 신호에서 색의 구분은 가시광선의 파장대역인 380~780nm에서 빛이 어떤 파장을 나타내는가에 따라 다른 색을 볼 수 있는데, 650nm, 520nm, 433nm는 빨간색, 초록색, 파란색 각각의 파장을 나타내고, 각 파장의 비율은 1 : 4/5 : 2/3이다. 이는 음계의 도, 미, 솔의 파장 사이의 비율과 동일하다. 명도의 경우 색의 밝고 어두운 정도를 나타내는데 색의 밝고 어두운 정도에 따라 가볍고 무거운 느낌이 든다. 동일한 개념으로 음악에서는 같은 음계를 연주할 때 옥타브의 높고 낮음에 따라 가볍고 무거운 느낌으로 구분되어 들린다[13]. 이러한 공통점을 기준으로 색상과 음계를 롤 신호와 대응시키고, 명도와 옥타브를 피치로 대응시켰다.

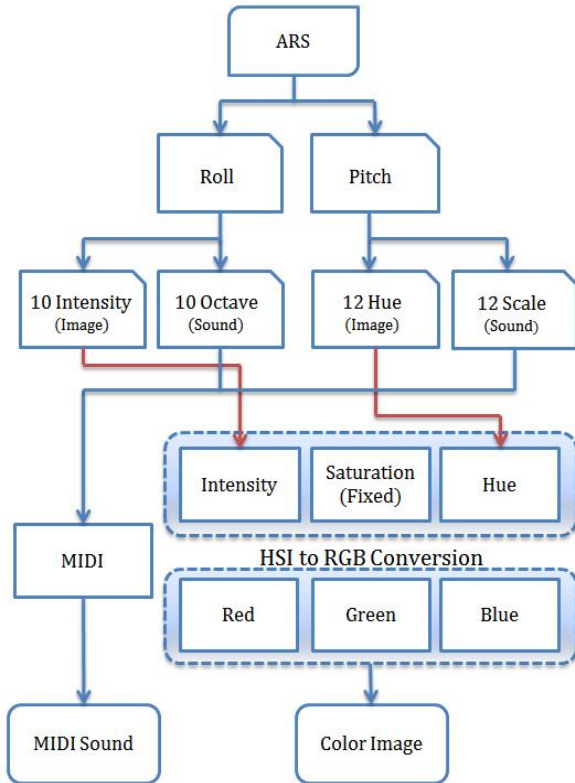


그림 7. 근감각에서 색과 음으로의 변환 과정
Fig. 7. Process of Converting Muscular Sense into both Color and Sound

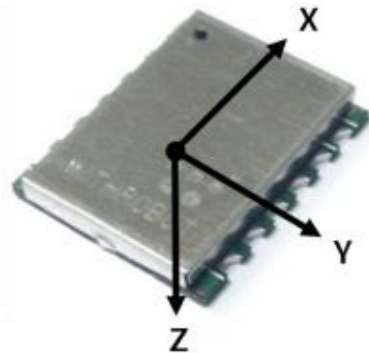
이처럼 색과 음 사이의 유사성을 고려하여, 음에서 한 옥타브를 12음계로 나눈 것과 동일한 개념으로 색상과 음계를 구분하고, 가청주파수대(20Hz~20kHz)는 약 10 옥타브에 해당하므로 명도와 옥타브를 10 단계로 구분하였다.

그림 7은 근감각에서 색과 음으로 변환되는 전체 과정을 나타내었다. ARS를 신체에 부착하여 움직였을 때, ARS의

롤 값의 변화는 명도와 옥타브의 변화에 실시간 대응시키고, 피치 값의 변화는 색상과 음계의 변화에 실시간 대응시킨다. 여기서 얻어진 색상과 명도를 HSI 컬러모델의 색상과 명도에 적용하고, 채도의 경우 0.5 값으로 고정한다. 이렇게 얻어진 HSI 컬러모델을 RGB 변환 공식을 이용하여 변환한 최종 RGB 컬러의 출력을 확인한다. 옥타브와 음계는 MIDI 신호에 적용하여 최종 사운드를 합성하여 출력하고, ARS의 롤과 피치 값의 변화에 따른 사운드의 변화를 확인한다.

5. 실험 및 결과

본 연구에서는 신체의 움직임, 즉 근감각 측정을 위하여 상용화되어 판매되는 my-ARS(그림 8(a))를 기반으로 롤과 피치값을 실시간 추정하였다. my-ARS는 3축 가속도 센서와 2축 자이로 센서를 사용하여 롤과 피치($-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$) 각도를 출력한다. 100Hz의 속도로 데이터를 출력하고 블루투스 통신을 사용하여 연결할 수 있기 때문에 신체 움직임의 측정이 자유롭다는 장점이 있다. my-ARS[17]는 그림 8(b)과 같이 x, y, z축 가속도와 x, y축 각속도, 온도, Roll각, Pitch각의 순으로 데이터를 전송한다.



(a) my-ARS(Withrobot Lab)

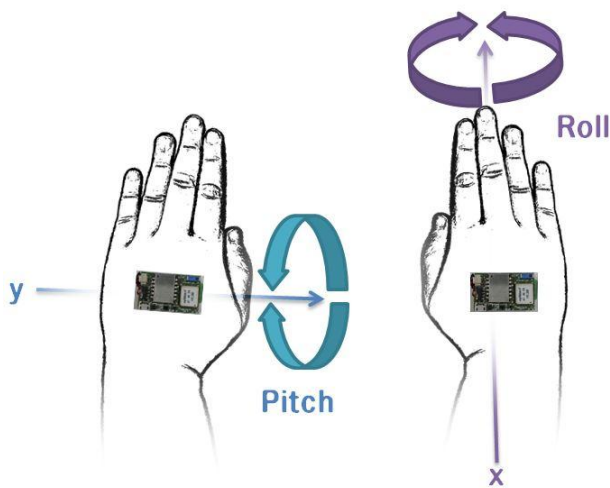
\$374,-4,-2025,-1,-245,26,1061\n

Turn	Example	Meaning	Conversion Value
0	\$	Data Message Header	
1	374	X axis acceleration	1.790 m/s^2
2	-4	Y axis acceleration	-0.019 m/s^2
3	-2025	z axis acceleration	-9.689 m/s^2
4	-1	X axis acceleration	-0.242 deg/s
5	0	Y axis acceleration	0 deg/s
6	245	Temperature	24.5°C
7	26	Roll Angle	0.26 deg
8	1061	Pitch Angle	10.61 deg
9	\n	Delimiter of Message Ending	

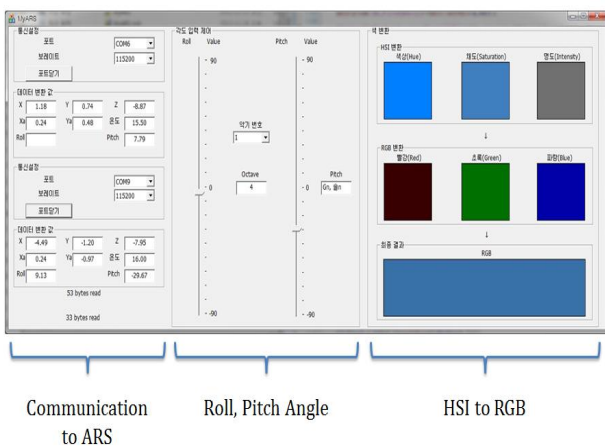
(b) Example of my-ARS's Data Message

그림 8. my-ARS와 데이터 메시지의 예
Fig. 8. my-ARS and its Data Message

근감각의 측정, 즉 원활한 신체의 움직임을 시뮬레이션하기 위해 본 실험에서는 그림 9(a)와 같이 my-ARS를 양손 등 위에 붙이고 왼손은 피치, 오른손은 롤을 조절할 수 있게 하여 롤과 피치 값의 변화에 따른 색과 음의 차이를 관찰하였다. 그림과 같은 상태에서 왼손을 위로 움직이면 0°~90°, 아래로 움직이면 0°~-90°이고, 오른손의 경우는 왼쪽으로 움직이면 0°~-90°, 오른쪽으로 움직이면 0°~90°의 변화를 관찰할 수 있다. 피치의 경우 -90°~90°를 12등분 하여 음계와 HSI 컬러모델의 색상을 출력할 수 있게 하였고, 롤의 경우는 -90°~90°를 10등분 하여 명도와 옥타브를 출력할 수 있게 하였다. my-ARS를 하나만 사용하여 표현할 수도 있지만, 측정의 정확도와 원활한 제어를 시험하기 위해 두 손으로 나누어 실험하였다.



(a) Measurement of muscular sense using my-ARS



(b) System for the Measurement of Muscular Sense

그림 9. my-ARS와 근감각 측정 시스템

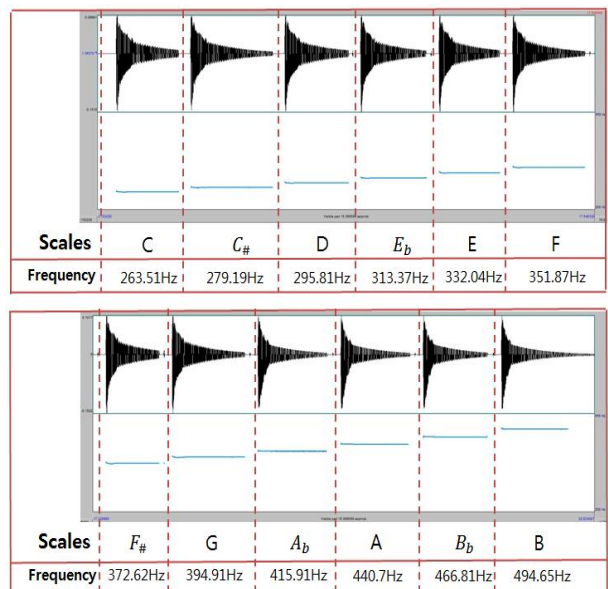
Fig. 9. my-ARS and the System for the Measurement of Muscular Sense

결과를 확인할 수 있는 출력용으로 그림 9(b)와 같은 VC++기반 시스템을 구축하였다. 실험은 두 번으로 나누어

측정하였다. 첫 번째 실험은 오른손을 고정한 상태(옥타브: 4, 명도: 0.44, 채도: 0.5)에서 왼손만을 위에서 아래로 움직여 피치 값을 조절하고 음계와 색상의 변화를 관찰하였다. 두 번째 실험은 왼손을 고정한 상태(음계: A, 색상: 270°)에서 오른손을 좌우로 움직여 롤 값을 조절해 옥타브와 명도 값의 변화를 관찰하였다. 음의 측정은 출력되는 음을 녹음하여 사운드 분석 도구인 Praat[18]로 음의 피치 값과 주파수를 측정하였고, 출력된 컬러는 변환관계에 따른 정확한 컬러값인지 검증하였다.

그림 10의 (a)와 (b)는 첫 번째 실험 결과이고 (c)와 (d)는 두 번째 실험 결과이다. 첫 번째 실험에서는 음계와 색상의 변화를 관찰하였다. 그림 10(a)는 4옥타브 12음계의 주파수 출력결과로서, 4옥타브 C의 주파수 263Hz를 시작으로 순차적으로 증가하여 4옥타브 A의 주파수는 정상적으로 440Hz가 되는 것을 확인하였다. 그림 10(b)는 출력되는 색의 변화를 보여주고 있다. 색상이 0° 일 때 빨간색에서 30°씩 증가하여, 120°에서 녹색, 240°에서는 파란색을 확인하였고 총 12가지 색을 관찰 할 수 있었다. 명도와 채도가 각각 0.44, 0.5로 고정되어 있기 때문에 원색보다 조금 탁한 색상을 확인할 수 있었다.

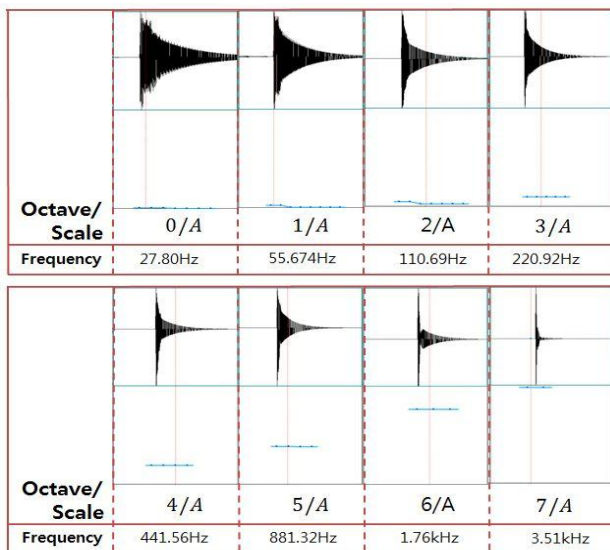
두 번째 실험에서는 옥타브와 명도의 변화를 관찰하였다. 총 10단계로 나누어져 있으나 옥타브의 경우 88 키보드 피아노를 기준으로 하였으므로 8옥타브와 9옥타브 음이 빠져 있다. 그림 10(c)는 0옥타브 A에서 7옥타브 A까지의 출력을 표시한다. 0옥타브 A에서 7옥타브 A까지 주파수가 2배씩 증가하였음을 확인할 수 있었다. 그리고 그림 10(d)를 보면 명도의 변화에 따른 색의 변화를 관찰할 수 있는데 명도가 0에서는 어두운색을 나타내고 값이 증가함에 따라 색이 점점 밝아지는 것을 볼 수 있었다. 명도가 1일 때 완전한 흰색이 아닌 것은 채도 값이 0.5 이므로 계산식을 사용해 계산을 해보면 R 값이 254, G 값은 128, B값은 255로 그림과 같은 색으로 표시된다.



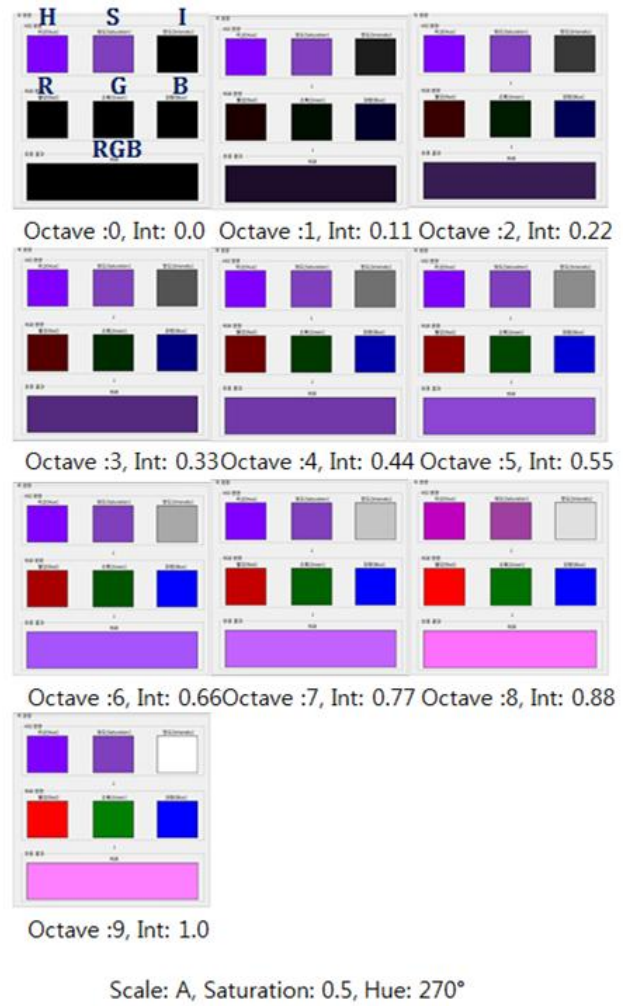
(a) Results of Conversion of Muscular Sense into Musical Scales



(b) Results of Conversion of Muscular Sense into Hue Elements of HSI Color Model



(c) Results of Conversion of Muscular Sense into Octaves



(d) Results of Conversion of Muscular Sense into Intensity Elements of HSI Color Model

그림 10. 근감각에서 색과 음으로의 변환 실험결과
Fig. 10. Test Results of converting muscular sense into both color and sound

6. 결 론

본 논문은 신체의 움직임을 인지하는 근감각에서 시각과 청각으로의 변환을 시도하고 색과 음 사이의 유사성에 기초한 변환관계를 정의한다. 근감각을 포함한 여섯 가지 감각들 상호간의 전이에 관한 공감각 지각현상을 기반으로 근감각에서 시각과 청각으로 변환되는 시스템을 제안하고 구축하였다. 실험에서, 신체의 움직임 즉 근감각을 표현하는 물과 피치 값에서 색과 음 사이의 유사성에 기초한 변환관계에 따라 의도한 바대로 정상적인 색과 음이 출력되는 것을 확인하였다.

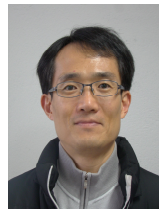
구현된 시스템에서는 근감각의 인지 요소 중 요(Yaw)를 제외한 롤(Roll)과 피치(Pitch)로 제한하여 변환하였기 때문에 색과 음의 다양한 요소를 충분히 활용하지 못하였다. 향후 연구 과제로는 ARS에서 얻을 수 있는 정보 중 요 신호

뿐만 아니라, 가속도 센서 및 자이로 센서 등의 관성 센서로부터 획득되는 가속도 성분과 각속도 성분을 이용하여 신체 움직임의 속도 변화량을 추정한다면 좀 더 유연한 시스템이 되리라 기대한다.

References

- [1] Suslick K.S., "Synesthesia in science and technology: more than making the unseen visible", *Current opinion in chemical biology*, vol. 16 no. 5/6, pp. 557-563, 2012.
- [2] Hubbard E.M, Ramachandran V.S "Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia", *Neuron*, vol. 48, no. 3, pp. 509-520, 2005.
- [3] Nikolinakos D., Georgiadou A., "A case of color-taste synesthesia", *Neurocase*, vol. 19, no. 3, pp. 282-294, 2013.
- [4] Goller Aviva I, Otten Leun J, "Seeing sounds and hearing colors: an event-related potential study of auditory-visual synesthesia.", *Journal of cognitive neuroscience*, vol. 21, no. 10, pp. 1869-1881, 2009.
- [5] Fernay L., Reby D., Ward J., "Visualized voices: A case study of audio-visual synesthesia", *Neurocase*, vol. 18, no. 1, pp. 50-56, 2012.
- [6] G-Y Jun, *Synesthetic expression of sounds and colors*, Ewha Womans University, Master's thesis, 2004.
- [7] J-H Han, *Color harmony scheme using the synesthetical characteristic of music*, Yonsei University, Master's thesis, 2004.
- [8] J-H Kim, *Upper limb position sense of the athletes in different sport events*, Korea National University of Education, Master's thesis, 2004.
- [9] Milosevic B., Naldi R., Farella E, "Design and validation of an attitude and heading reference system for an aerial robot prototype", *American Control Conference(ACC)*, pp. 1720-1725, 2012.
- [10] Martin P., Salaun E., "Design and implementation of a low-cost observer-based attitude and heading reference system", *Control engineering practice*, vol. 18, no. 7, pp. 712-722, 2010.
- [11] O-C Hur, *Attitude estimation of the moving bodies using the MEMS sensor*, Sungkyunkwan University, Master's thesis, 2010.
- [12] S-G Huang, *Image Processing Programming by Visual C++(Korean)*, Hanbit Media, 2009.
- [13] G-H Kim, J-G Beak, *Sound-color harmonization*, Imress, 2003.
- [14] S-I Kim, J-S Jung, "A Basic Study on the System of Converting Color Image into Sound", *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 2, pp. 251-256, 2010.
- [15] G-W Kang, *A Basic Study on the Conversion of Sound into Color Image Using the Pitch Signal*, Kyungnam University, Master's thesis, 2012.
- [16] H-G Lee, *Study on Effective Orchestration in Computer Music by Application of MIDI*, Jeju National University, Master's thesis, 1999.
- [17] MyARS, Available: <http://www.withrobot.com>, [Accessed: July 02, 2014]
- [18] Information and Download on Praat, Available: <http://www.praat.org>, [Accessed: July 02, 2014]

저 자 소 개



김성일(Sung-Il Kim)

1994년 : 영남대학교 전자공학과 공학사
 1997년 : 영남대학교 전자공학과 공학석사
 2000년 : Miyazaki Univ. 공학박사
 2000년~2001년 : National Institute for Longevity Sciences, 연구원
 2001년~2003년 : CST, Tsinghua Univ., 연구원

2003년~2006년 : 경남대학교 전기전자공학부 전임강사
 2006년~2010년 : 경남대학교 전자공학과 조교수
 2010년~현재 : 경남대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 음성신호처리, 영상신호처리, 임베디드시스템, 공감각인지

Phone : +82-55-249-2632

E-mail : kimstar@kyungnam.ac.kr



배명진(Myung-Jin Bae)

2005년-2013년 : 경남대학교 전자공학과 공학사
 2013년-현재 : 경남대학교 첨단공학과 대학원 석사과정

관심분야 : 음성신호처리, 영상신호처리, 임베디드시스템, 공감각인지

Phone : +82-10-8904-5260

E-mail : bmj815@naver.com