

근감각-색·음 변환을 위한 ARM 기반 임베디드시스템의 구현

Implementation of ARM based Embedded System for Muscular Sense into both Color and Sound Conversion

김성일
경남대학교 전자공학과

Sung-Il Kim(kimstar@kyungnam.ac.kr)

요약

본 논문은 인간이 인지할 수 있는 감각들 중 인체의 회전, 방향 변화 및 움직임의 정도를 알 수 있는 근감각에서 시각 및 청각 요소로의 변환 알고리즘을 이용하여 ARM Cortex-M4에 기반한 실시간 임베디드시스템으로 구현한 방법에 초점을 맞추었다. 근감각의 입력 방식으로는 자세추정장치(AHRS : Attitude Heading Reference System)를 이용해 롤(Roll), 피치(Pitch) 및 요(Yaw) 값을 실시간 획득하고, 이들 각각의 색을 표현하는 HSI 컬러 모델의 명도(Intensity), 색상(Hue) 및 채도(Saturation)에 대응하여 변환하였다. 최종 컬러신호는 HSI 에서 RGB 컬러모델로 변환하여 획득하였다. 또한, 근감각의 세 가지 입력 값들을 음을 표현하는 요소인 옥타브(Octave), 음계(Scale) 및 음의 세기(Velocity)에 대응하여 변환한 값을 MIDI(Musical Instrument Digital Interface)를 이용해 사운드를 합성하여 출력하였다. 출력 컬러신호 및 사운드를 분석한 결과, 근감각 입력 신호가 제안한 변환 방식에 따라 실시간으로 정확하게 색과 음으로 변환, 출력됨을 확인하였다.

■ 중심어 : | 공감각 | 근감각 | 임베디드시스템 | 컬러모델 | 미디 |

Abstract

This paper focuses on a real-time hardware processing by implementing the ARM Cortex-M4 based embedded system, using a conversion algorithm from a muscular sense to both visual and auditory elements, which recognizes rotations of a human body, directional changes and motion amounts out of human senses. As an input method of muscular sense, AHRS(Attitude Heading Reference System) was used to acquire roll, pitch and yaw values in real time. These three input values were converted into three elements of HSI color model such as intensity, hue and saturation, respectively. Final color signals were acquired by converting HSI into RGB color model. In addition, Three input values of muscular sense were converted into three elements of sound such as octave, scale and velocity, which were synthesized to give an output sound using MIDI(Musical Instrument Digital Interface). The analysis results of both output color and sound signals revealed that input signals of muscular sense were correctly converted into both color and sound in real time by the proposed conversion method.

■ keyword : | Synesthesia | Muscular Sense | Embedded System | Color Model | MIDI |

* 이 논문은 2014년도 경남대학교 연구년 연구비 지원에 의한 것임.

접수일자 : 2016년 04월 05일

심사완료일 : 2016년 05월 12일

수정일자 : 2016년 05월 10일

교신저자 : 김성일, e-mail : kimstar@kyungnam.ac.kr

1. 서론

인간의 오감(시각, 청각, 미각, 후각 및 촉각) 중 하나의 감각에 자극이 주어지면 관련된 감각뿐만 아니라 다른 영역의 감각을 불러일으키는 감각간의 전이 현상을 공감각(synesthesia)[1-3]이라고 한다. 공감각에 관한 기존 연구들의 대부분은 인지과학, 신경학 또는 심리학 등의 관점에서 연구되어 왔으나 공학적인 응용 측면에서 논의 및 제기된 연구들은 거의 찾아 볼 수 없는 것이 현실이다. 또한 지금까지의 공감각의 연구 결과들은 공학적인 관점에서 응용 시스템을 구축하기에는 다양성이 너무 커 일반화하기 힘든 점도 있다.

근감각은 눈을 감고 있어도 신체의 위치(각도)나 운동 상태(속도) 등을 알 수 있는 감각[4]을 말한다. 또 다른 공감각 지각 현상으로서, 빈번하게 경험되는 색청(coloured hearing)[5-7] 공감각을 들 수 있다. 이는 소리에 따라서 색채까지 감지되는 공감각 현상을 말한다. 색과 음은 주파수에 기반한 물리적인 파동의 속성을 지니고 있으며, 그 연관성에 대한 연구는 오래전부터 지속적으로 연구되어 왔다.

근감각 관련 기존 연구로서, 롤(Roll) 성분에서 명도와 옥타브 성분을 추출하고, 피치(Pitch) 성분에서 색상과 음계를 추출하여 색과 음으로 변환, 출력하는 시스템[8]이 있다. 기존 연구와의 차별성으로서 요(Yaw) 신호를 추가로 획득하여 사용하였고 이를 색의 채도 성분과 음의 세기 성분으로 변환하여 상호 변환관계를 확장하였다. 또한, 기존 소프트웨어 시스템에서 하드웨어 실시간 처리 시스템으로 구현하였다.

공학적인 응용 연구 측면에서 색과 음 상호 변환 관련 기존 연구[9-15]들이 있으나 활발하게 진행되어 오고 있지는 않다. 영상의 픽셀매트릭스(8*8)에서 픽셀의 그레이 신호를 추출하고 각 픽셀 당 주파수가 상이한 기본주파수를 생성한 후 합성을 통하여 출력 사운드를 생성하는 시스템[9], 시각장애인을 위한 비디오 신호에서 청각신호로 실시간 변환하는 시스템[10] 및 주파수 변환공식에 의해 가지주파수에서 가칭주파수로의 변환 및 역변환을 통하여 상호 변환하는 연구[11-13] 등이 있다. 또한, 입력 HSI 컬러모델의 히스토그램에 기초하

여 음계와 옥타브를 추출하고 Csound를 이용하여 출력 사운드를 합성하는 시스템[14] 및 입력 음의 기본주파수를 추출하고 이에 해당하는 음계와 옥타브를 계산한 후 각각 색상과 명도로 대응, 에너지 성분에 채도를 대응하는 방법[15]등을 사용하였다.

최근, 성능과 품질뿐만 아니라 감성을 만족시키는 제품과 서비스의 요구와 더불어 본 논문과 같이 공감각 관련 공학적인 기초 및 응용 연구들은 감성공학에 기반한 서비스 산업 차원에서 의미 있는 시도가 될 것이다. 비록 본 논문이 공감각의 상호 변환에 있어 과학적 논리에 접근하여 연구된 결과는 아닐지라도 공학적 응용의 새로운 시도로서 그 가치를 둘 수 있을 것이다. 본 논문 관련 연구의 응용분야로서, 시·청각 장애인을 위한 보조 장비의 개발뿐만 아니라, 특히 가속도, 자이로 및 지자기 센서 등과 함께 시·청각 센서 모듈이 기본 탑재된 모바일 및 웨어러블 기기에서의 다양한 응용 어플리케이션 개발 분야 등으로 광범위하게 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문은 근감각과 시·청각의 감각 사이에서 공감각적 감각 전이 현상으로 감각이 변환될 수 있다고 가정하고, 오감 중에 정보량의 대부분을 차지하고 사용 빈도가 높은 시각 및 청각으로 실시간 변환하는 방법을 제안하였다. 즉, 근감각에서 색과 음으로의 변환을 통한 새로운 의미 정보의 창출 및 연상 작용 등과 같은 복잡한 인간의 공감각적 기능을 단순화함으로써 의도적인 공감각 현상을 구현하였다.

근감각의 입력 신호로서 자세측정장치(AHRS : Attitude Heading Reference System)[16]를 이용하여 롤, 피치 및 요를 측정하고 변환시스템의 입력 신호로 사용하였다. 자세측정장치는 가속도, 자이로, 지자기 센서를 이용하여 롤, 피치 및 요를 측정하는 시스템으로 비행기, 헬기 등 방위각이 중요한 곳에 사용되는 시스템이다. 신체의 움직임으로부터 롤, 피치 및 요 값을 실시간 획득하고 변환관계를 임베디드시스템으로 구축하여 실시간 처리하였다. 즉, 입력신호 각각을 시각 정보로서 명도(Intensity), 색상(Hue) 및 채도(Saturation)에 대응하여 변환하고, 청각 정보로서 옥타브(Octave), 음계(Scale) 및 음의 세기(Velocity)에 대응하여 변환한

후, 그 변환관계의 정확성을 분석하였다.

II. 근감각-색·음 변환 시스템의 설계

[그림 1]에서 보여 지는 바와 같이 AHRS는 3차원 공간상의 방위각과 자세 정보를 UART/I2C/USB 인터페이스로 출력하는 센서 모듈로서, 3축 가속도 센서와 3축 자이로 센서, 3축 지자기 센서를 사용하여 $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 범위의 롤과 요, $-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 범위의 피치를 출력한다. 본 논문에서는 신체의 회전각도와 방향변화를 감지하는 근감각의 표현 신호로서, 센서로부터 획득되는 신호들 중 롤, 피치 및 요 신호를 제안된 임베디드시스템의 입력부로 사용하였다.

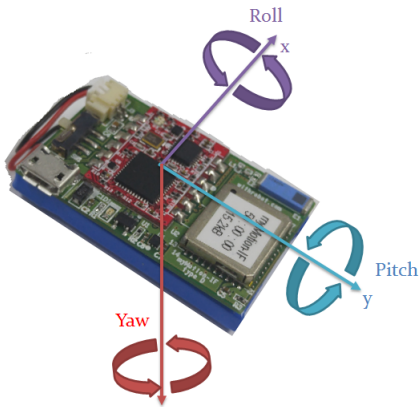


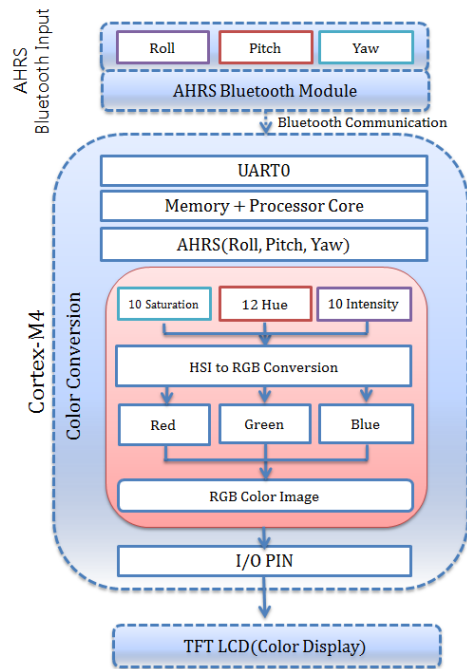
그림 1. 롤, 피치 및 요 값 획득을 위한 자세측정장치

[표 1]은 자세측정장치의 출력데이터 형식을 보여주고 있다. 출력데이터 중 롤, 피치 및 요 값은 차례로 3,4,5번째 값들이다. 또한 입력 세 축(x,y,z) 방향으로 가속도계(Accelerometer: 6-8번), 각속도계(Gyroscope: 9-11번) 및 지자기계(Magnetometer: 12-14번) 출력을 가진다.

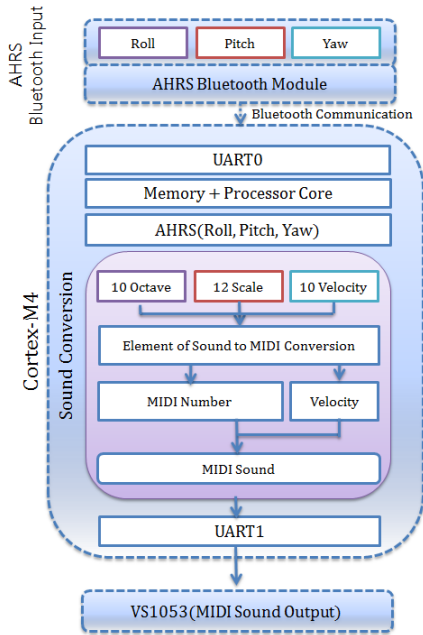
표 1. 자세측정장치의 출력데이터 형식

Turn	Example	Meaning
0	\$	Data Message Header
1	0	Sensor Serial Number
2	20	Turn, 0~63
3	-2.72	Eulerian angles $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$
4	1.15	Eulerian angles $-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$
5	44.09	Eulerian angles $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$
6	0.02	X axis acceleration
7	0.05	Y axis acceleration
8	-0.97	Z axis acceleration
9	-1.37	X axis angular velocity
10	-0.61	Y axis angular velocity
11	-0.00	Z axis angular velocity
12	0.38	X axis Magnet
13	-0.35	Y axis Magnet
14	-0.25	Z axis Magnet
15	29.40	Temperature

롤과 피치 및 요 값에 대응하는 시·청각 정보는 색과 음 사이의 유사성에 기초한 대응관계로서 정의된다. [그림 2(a)]는 근감각 입력신호로부터 색으로의 변환 순서도를 보여주고 있고, [그림 2(b)]는 근감각 입력신호로부터 음으로 변환되는 과정을 나타내었다.



(a) 근감각-색 변환 순서도



(b) 근감각-음 변환 순서도

그림 2. 근감각-색·음 변환 순서도

우선, 자세측정장치를 신체에 부착하여 움직였을 때의 센서 입력값들을 블루투스를 통하여 Cortex-M4 기반 임베디드시스템[17]에 포팅된 변환시스템의 입력으로 실시간 받아들인다. 롤 변화를 10단계로 나누어 시각 정보인 명도와 청각 정보인 옥타브의 변화로 대응시켰다. 옥타브와 명도의 연관성으로서, 음의 고저를 변화시키는 옥타브는 색상이 무겁거나 혹은 가볍게 느껴지게 하는 요소인 명도와 유사한 성질을 지니고 있다. 그러므로 약 10옥타브에 해당하는 가청주파수 대역을 고려하여 입·출력을 10단계로 나누어 정의하고 상호 대응시켰다.

또한, 피치의 변화를 12단계로 나누어 시각 정보인 색상과 청각 정보인 음계의 변화로 대응시켰다. 음계와 색상과의 연관성[13]으로서, 음계는 음을 구별하는 가장 중요한 요소이며 음의 세기 또는 음색이 변하더라도 음계는 고유한 속성을 유지한다. 색상 또한 색을 구별하는 가장 중요한 요소로서 채도와 명도가 변하더라도 유지되는 고유한 속성을 가진다는 점에서 음계와 공통점이 있다. 그러므로 12음계에 대응시키기 위해 색상을

포함한 입·출력의 범위를 12등분하여 정의하였다.

요의 변화를 10단계로 나누어 시각 정보인 채도와 청각 정보인 음의 세기에 대응하였다. 음의 세기와 채도의 연관성으로서, 음의 세기는 음 연주 시 강약을 의미하는 요소로 음의 강조나 리듬 등 음의 본질적인 순수한 특성을 나타낸다. 채도 또한 색의 순수한 정도를 나타내며 순색에 가까울수록 채도가 높고, 순색에서 멀어질수록 채도가 낮아진다. 음의 세기가 강할 때 느껴지는 색감은 가깝고 짙고 큰 반면, 음의 세기가 약할 때는 색이 옅고 흐리고 작은 느낌으로 다가온다.

[그림 3]에서 두 가지 컬러모델[18]의 각각의 요소들을 각각 명시하고, HSI 컬러모델에서 RGB 컬러모델로의 변환을 보여준다.

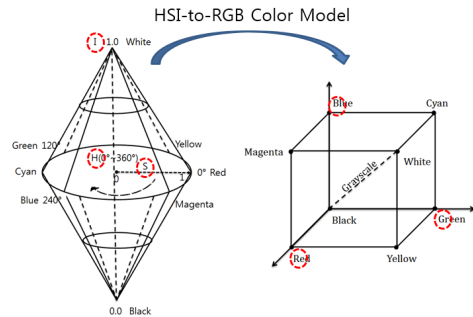


그림 3. HSI-to-RGB 컬러모델 변환

HSI 컬러모델에서 색상(H)값은 $[0 \sim 360]$ 범위의 값을 가지며 채도(S) 및 명도(I) 값은 $[0 \sim 1]$ 범위의 값을 가진다. 반면, RGB 컬러모델은 크기가 1인 정육면체 공간 안에서 모든 색이 표현되며, Red, Green, Blue로 표시된 세 개의 축에서 (1,0,0)은 빨강, (0,1,0)은 초록, (0,0,1)은 파랑을 의미한다. 본 논문에서는 HSI 컬러모델에서 RGB 컬러모델로의 변환 공식[8]을 이용하여 변환된 최종 RGB 컬러신호의 출력을 변환시스템의 TFT LCD를 통하여 실시간 확인하였다.

제안하는 시스템은 음의 3속성을 기본으로 다양한 음색을 표현할 수 있는 MIDI[19][20]를 사용한다. MIDI는 신서사이저, 리듬머신, 시퀀서, 컴퓨터 등의 연주 정보를 상호 전달하기 위해 정해진 데이터 전송 규격을 의미한다. MIDI의 전송속도는 31.25Kbps이며 미디 정보

는 상태바이트(Status Byte)를 시작으로 노트번호(Note Number)와 음세기(Velocity) 등으로 구성된 데이터 바이트로 이루어진다. MIDI 음의 발생은 노트온(Note On) 메시지로 표시하며 노트오프(Note Off)로 음의 소멸을 표시한다.

III. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 근감각에서 색과 음으로의 변환 알고리즘을 실시간 처리하는 임베디드시스템을 [그림 4]에서 보여주고 있다. 데이터의 처리는 STMicroelectronics사의 32bit ARM 마이크로프로세서인 Cortex-M4(STM32F407VG T6)를 기반으로 한 Discovery 보드[17]에 블루투스 모듈을 연결하여 자세 측정장치와 무선통신으로 연결하였다. 그리고 색으로 변환된 값을 출력하여 관찰하기 위해 3.2인치 TFT LCD를 연결, 색의 변화를 관찰하였다. 또한, 음으로의 변환을 위하여 최종 MIDI 신호로 출력할 수 있도록 미디 오디오 코덱(MIDI Audio CODEC)기반 VS1053 IC 칩을 이용한 Musical Instrument Shield[21]를 사용하였다. MIDI 모듈을 Cortex - M4 보드와 UART 통신으로 연결함으로써 실시간 사운드 처리를 구현하였다. 제안한 변환시스템을 통하여 자세측정장치의 롤, 피치 및 요 값의 변화에 따른 색과 음의 실시간 변화를 확인하였다.

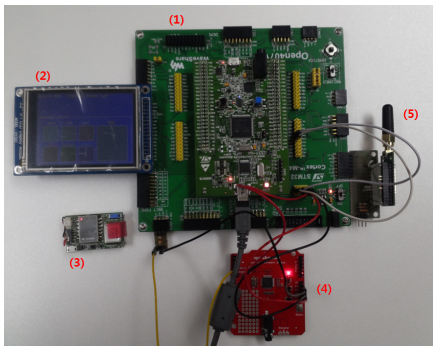


그림 4. 근감각·색·음 변환을 위한 전체 시스템 (1: STMicroelectronics Cortex-M4 Discovery, 2: 3.2인치 TFT LCD, 3: AHRS, 4: VS1053 기반 Musical Instrument Shield, 5: 블루투스 모듈)

[표 2]는 자세측정장치로부터 획득한 롤, 피치, 요 등의 입력과 컬러값(H,S,I,R,G,B) 출력 및 MIDI 사운드 출력 등 입·출력 데이터 12개의 샘플을 보여주고 있다.

표 2. 자세측정장치로부터 획득한 입·출력 데이터

AHRS	1	2	3	4	5	6
Gx	-1.49	-2.07	-1.31	-2.13	-4.02	0.73
Gy	-13.26	-10.21	-5.06	-1.83	29.66	16.16
Gz	-0.37	-0.21	-0.7	-2.56	1.71	-0.34
Ax	-0.25	-0.75	-1	-0.97	-0.01	-0.84
Ay	0.05	0.03	0.06	0.13	0.37	0.44
Az	-0.93	-0.63	-0.03	-0.18	-0.9	-0.3
Roll	-3.26	-2.94	-60.55	-37.22	-22.48	-55.71
Pitch	-14.94	-49.57	-83.14	-76.97	-1.12	-57.21
Yaw	34.71	27.29	82.41	61.08	45.44	80.65
H	150	60	0	0	150	60
S	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
I	0.44	0.44	0.22	0.33	0.33	0.22
R	50	143	117	176	37	71
G	173	143	25	37	130	71
B	112	50	25	37	84	25
MIDI Num.	65	62	36	47	53	38
Velocity	71	71	71	71	71	71

AHRS	7	8	9	10	11	12
Gx	6.65	1.55	-2.74	-17.23	16.68	20.34
Gy	2.04	5.88	-3.08	-27.5	33.81	9.15
Gz	11.13	3.05	10.82	3.08	-25.85	-2.2
Ax	0.52	0.48	0.21	0.19	0.76	0.11
Ay	-0.72	-0.75	-0.96	-0.9	-0.63	-0.04
Az	-0.44	-0.4	0	-0.33	0.19	1.02
Roll	57.37	61.84	89.98	69.76	105.15	178.45
Pitch	31.55	29.46	11.82	11.15	47.71	6.15
Yaw	-165.73	-139.18	-78.08	-90.85	-52	-19.3
H	210	210	180	180	270	180
S	1	0	0.22	0.11	0.33	0.33
I	0.55	0.55	0.55	0.55	0.66	0.88
R	0	127	109	124	168	150
G	140	127	155	147	112	255
B	255	127	186	147	223	255
MIDI Num.	79	79	90	78	93	114
Velocity	127	0	28	14	43	43

[그림 5]는 상기 [표 2]의 데이터 중 입력 데이터인 롤, 피치, 요 각각의 움직인 각도 성분의 시간적 추이를 보여주고 있다.

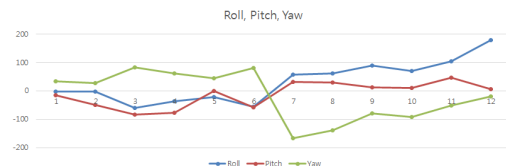


그림 5. 롤, 피치 및 요의 입력 데이터 샘플 예

[그림 6]에서 보여 지는 바와 같이 상기 12개의 롤, 피치 및 요의 입력 데이터로부터 생성된 H,S,I 각각의 출력 데이터를 HSI 컬러모델 좌표상에 위치를 명기하였으며, [그림 7]은 HSI 컬러모델로부터 변환된 R,G,B 각각의 출력 데이터를 RGB 컬러모델 좌표상에 명기한 것을 보여준다.

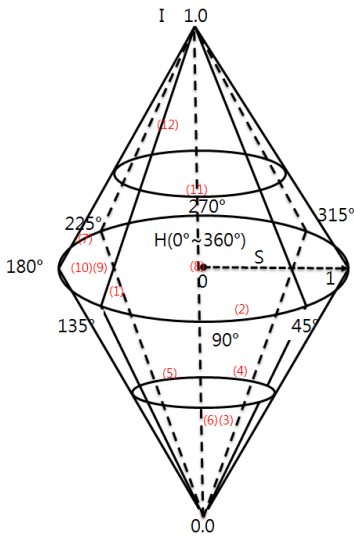


그림 6. 근감각-색변환 HSI 출력 데이터

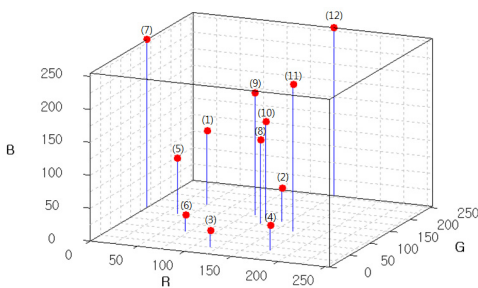


그림 7. 근감각-색변환 RGB 출력 데이터

[그림 8]은 상기 [표 2]의 샘플 중 6개의 컬러 출력 데이터의 예시를 보여주고 있다. TFT LCD를 통한 HSI 및 RGB 요소들의 출력 컬러뿐만 아니라, HSI 모델에서 RGB 모델로의 변환을 통한 최종 RGB 출력 컬러 값을 실시간 확인할 수 있다.

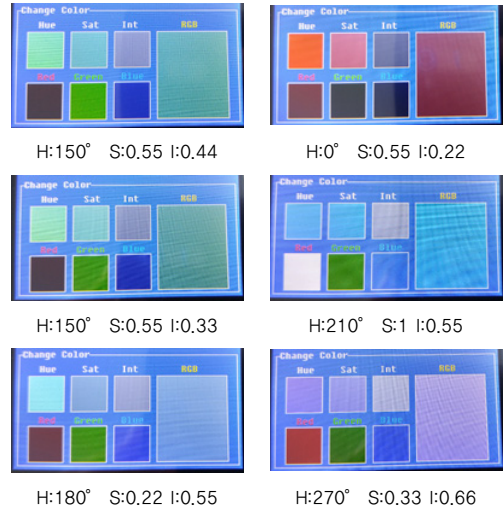


그림 8. TFT LCD를 통한 HSI 및 RGB 출력 컬러신호의 예

[그림 9]는 상기 [표 2]의 롤, 피치, 요 12개 각각의 입력 데이터로부터 노트번호와 음세기로 변환, 생성된 MIDI 출력 음원을 보여주고 있다.

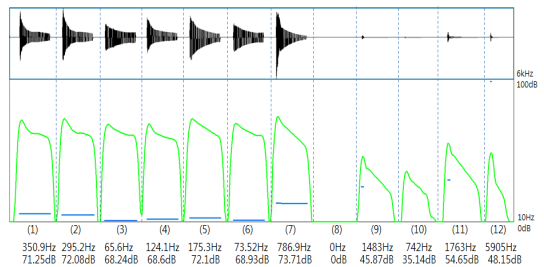


그림 9. 근감각-음변환 MIDI 출력

사운드 및 음성 분석틀인 Praat[22]을 이용하여 출력 주파수 및 음압을 분석한 결과, 입력부의 센서 신호 값들로부터 변환된 사운드 요소들의 기대치가 실제 출력 미디번호(주파수) 및 음의 세기와 동일한 값으로 출력됨을 재차 확인하였다.

IV. 결론

신체의 회전, 방향 변화 및 움직임의 정도를 알 수 있

는 근감각에서 시각 및 청각 요소로의 변환 알고리즘을 ARM Cortex-M4 기반 임베디드시스템으로 구현하였다. 자세측정장치를 이용해 신체의 회전각도와 방향변화의 값을 롤, 피치 및 요 값으로 실시간 획득하고 이들 값을 색 표현법의 하나인 HSI 컬러모델의 명도, 색상 및 채도에 각각 대응시키고 RGB 컬러모델로 변환하여 최종 컬러신호를 획득하였다. 또한, 자세측정장치의 세 가지 입력 값들을 음 표현법의 기본 요소인 옥타브, 음계 및 음의 세기에 각각 대응하여 변환한 값들을 MIDI 기반으로 사운드를 합성하여 출력하였다. 입력신호, 출력 컬러 및 사운드를 분석한 결과, 제안한 방식에 따라 정확한 값으로 출력됨을 확인하였다.

본 논문에서는 입력으로서 롤, 피치 및 요 값만을 대상으로 하였으나 차후 가속도센서 및 자이로 센서 값을 추가 적용한다면 좀 더 풍부한 움직임 정보를 획득할 수 있을 것이다. 출력 사운드로서 화음, 멜로디 및 하모니 등의 음악적인 요소도 차후 고려하여야 할 것이다. 또한 현 단계에서 출력 이미지로 HSI 컬러모델의 기본적인 색의 세 요소만을 대상으로 하였으나 차후 영상의 세 요소인 색상, 질감 및 형태 정보추출로의 확장도 고려하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김용철, *공감각의 형성요인에 관한 연구*, 홍익대학교 대학원, 석사학위논문, 2005.
 [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Synesthesia>
 [3] K. S. Suslick, "Synesthesia in science and technology: more than making the unseen visible," *Current opinion in chemical biology* Vol.16. No.5, pp.557-563, 2012.
 [4] 김조한, *운동 종류에 따른 상지 위치감각*, 한국교원대학교 교육대학원, 석사학위논문, 2004.
 [5] 전가영, *음과 색의 공감각적 표현*, 이화여자대학교 대학원, 석사학위논문, 2003.
 [6] 임윤정, *소리와 색채의 연관성에 관한 연구*, 건국대학교 대학원, 석사학위논문, 2013.

[7] J. Harrison and S. Baron-Cohen, "Synaesthesia: An Account of Coloured Hearing," *Leonardo*, Vol.27, No.4, pp.343-346, 1994.
 [8] 배명진, 김성일, "공감각인지 기반 근감각신호에서 색·음으로의 변환 시스템," *한국지능시스템학회*, 제24권, 제5호, pp.462-469, 2014.
 [9] P. B. L. Meijer, "An experimental system for auditory image representations," *IEEE trans. on bio-medical engineering*, Vol.39, No.2, pp.112-121, 1992.
 [10] <http://www.seeingwithsound.com/>
 [11] 김길호, "영상을 음향으로 변환하는 방법과 장치," *출원번호 10-2007-0023986*, 2007.
 [12] 김길호, "화성법을 이용한 음색변환표," *출원번호 10-2001-0087651*, 2001.
 [13] 김길호, 백정기, *사운드컬러하모니즘: 음악이 흐르는 컬러 배색 사전*, 임프레스, 2003.
 [14] 김성일, "HSI 히스토그램에 기초한 이미지-사운드 변환," *한국음향학회지*, 제30권, 제3호, pp.142-148, 2011.
 [15] S. I. Kim, "A Basic Study on the Conversion of Sound into Color Image using both Pitch and Energy," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol.12, No.2, pp.101-107, 2012.
 [16] <http://www.withrobot.com>
 [17] <http://www.st.com/>
 [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Color_model
 [19] 타카하시 노부유키, *컴플리트 MIDI* 북, SRMUSIC, 2008.
 [20] 타카하시 노부유키, *컴플리트 MIDI 프로그래밍* 북, SRMUSIC, 2008.
 [21] <https://www.sparkfun.com/tutorials/302>
 [22] <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>

저 자 소 개

김 성 일(Sung-Ill Kim)

정회원



- 1994년 : 영남대학교 전자공학과(공학사)
 - 1997년 : 영남대학교 전자공학과(공학석사)
 - 2000년 : 일본 Miyazaki Univ (공학박사)
 - 2000년 ~ 2001년 : 일본 NILS(National Institute for Longevity Sciences), 연구원
 - 2001년 ~ 2003년 : 중국 CST(Center of Speech Technology), Tsinghua University, 연구원
 - 2014년 ~ 2015년 : 미국 CSUS(California State University, Sacramento), 방문교수
 - 2003년 ~ 현재 : 경남대학교 전자공학과, 교수
- <관심분야> : 시각화, 청각화, 임베디드시스템