

색상의 촉각화: 진동 촉각을 이용한 색상의 표현

Turning Color into Vibration: Representing Color Information through Vibrotactile Feedback

김민지(Minji Kim), 김황일(Hwangil Kim), 정현희(Hyeonhee Jeong), 전석희(Seokhee Jeon)

Haptics Lab in Department of Computer Engineering

Kyung Hee University

{ mj,kim1102, ghkddlf95 }@gmail.com, earlgrey94@naver.com, jeon@khu.ac.kr

요약

대부분의 정보들은 시청각적 요소를 띠는 경우가 많아, 시청각 장애인에게 불편함을 줄 뿐 아니라 더 다양한 표현을 원하는 사용자의 욕구 또한 충족시키지 못한다. 이를 개선하기 위하여 진동 촉각을 사용하여 색상 정보를 표현하고자 한다. 또한 나아가, 진동 촉각과 포스 피드백을 결합하여 이미지를 표현하고자 한다.

본 논문에서는 진동 촉각을 이용하여 색상을 표현한 방법을 설명하고, 해당 시스템에 대한 유저 스터디를 진행하였다. 또한 진동 촉각과 포스 피드백을 결합하여 이미지를 표현하는 방법에 대해 소개한다.

키워드: 햅틱스, 진동 촉각, 색상의 촉각화, 이미지의 촉각화

Abstract

Most information is delivered by visual and auditory. This makes uncomfortable situation to deaf and blind people and also cannot satisfy the user who want to represents various expressions. For that reason, we suggest a framework to represent the color information via vibrotactile feedback, and eventually to represent images using vibrotactile and force feedback. This research shows the method that makes vibration from color. To this end, transformation from a color to an expression is made, and the expression is turned into a vibrotactile effect. To see the social acceptance of our idea, we did the user study with actual participants.

Key words: Haptics, Vibrotactile, Image representation by haptics, Color representation by haptics

I. 서론

일반적으로 사용자에게 어떤 효과를 보여주기 위한 가장 큰 경로는 시각적인 양상을 띠고 있으며, 청각적 요소와 함께 표현된다. 즉 대부분의 정보는 시각을 통해 전달되며, 청각은 해당 정보를 좀 더 부가적으로 표현하기 위한 수단으로서 활용되는 경우가 많다.

하지만 이러한 정보 전달 방식은 다양하고 복잡한 감성을 표현하고자 하는 사용자의 욕구를 충족시키기에는 부족하다. 또한 시청각을 이용한 정보 전달의 한계로 인하여 쏟아지는 미디어 홍수 속에서 시청각 장애인들은 점점 소외되고 있다. 최근에는 이러한 정보 전달의 한계를 극복하기 위해 촉각 자극을 이용하여 정보를 전달하기 위한 시도가 다양한 분야에서 이루어지고 있다[1][2].

촉각은 이미 사용되고 있는 다른 감각을 방해하지 않고 추가적인 정보를 전달할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 촉각은 시각과 청각이 모두 사용되는 상황에서 정보 전달의 폭을 넓히기 위한 수단으로 활용 가능하며, 소통을 위해 촉각을 기본으로 사용하는 시청각 장애인들을 위한 정보 전달 수단으로서도 중요한 부분을 담당하고 있다. 다양한 촉각 자극 중에서도 진동 촉각은 기존 시스템의 복잡도나 비용을 크게 증가시키지 않고 촉각적 요소를 추가할 수 있음이 여러 연구에서 확인되면서[3], 진동 촉각을 이용한 유의미한 정보 전달을 위해 인지 패턴을 다양화하는 연구가 활발히 진행되고 있다[4][5][6].

첫 진동 촉각에 대한 연구는 1920년대에 Gault가 사람의 음성 정보speech를 진동 촉각으로 전달하는 데 대한 효율성을 연구하면서부터 시작되었다. 이후 진동 촉각을 이용한 정보 전달에 대한 초기 연구는 대부분이 음성 정보 전달에 대해 초점을 맞추었으나, 2000년대에 들어서고 휴대 단말이 널리 보급되면서 더 다양한 정보 전달의 필요성에 의해 시각 정보 전달에 대한 연구까지 확대되었다. 진동 촉각 연구 중 대표적인 Brewster의 Tacton[7]과 MacLean의 Haptic Icon[8]은 특정한 촉각 신호 패턴과 특정

의미를 연결하여, 해당 촉각 패턴을 상호 작용 시에 재생함으로써 사용자에게 특정 정보를 전달하도록 하였다.[9]

기존 진동 촉각에 대한 논문들을 바탕으로, 본 논문은 색상을 진동 촉각으로 변환하여 전달하는 방법에 대해 연구하였다. 이를 위해 입력된 색상을 가시광선 스펙트럼[표1]에서 식별 가능한 색상으로 분류하고 다시 이를 감정으로 표현한 후, 해당 감정에 대응하는 주파수와 진동 가속도를 소형 기계 장치인 햅추에이터(Haptuator)로 표현하여 색상 정보를 전달했다. 또한 진동으로 표현된 색상의 정보를 사람이 얼마나 유의미하게 받아들이는지에 대한 유저 스터디를 진행함으로써 진동을 통한 색상 정보 전달 효과에 대해 확인하는 연구를 진행하였다.

나아가 진동을 통한 색상 정보가 표현 가능하다면 이미지를 촉각만으로 식별 가능하게 표현할 수 있을 것이라는 가정 하에, 포스 피드백Force Feedback을 전달하는 기기인 팔콘Falcon 위에 진동 촉각 햅추에이터(Tactile labs, Haptuator)를 부착하여 이미지의 색상 정보를 진동으로, 밝기 정보를 마찰력으로 표현해 보았다. 이러한 일련의 과정을 통해 이미지를 촉각화하는 데 대한 가능성을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 본 논문에서 제안하는 색상을 진동 촉각으로 변화하여 표현한 방법에 대해 설명하고, 이를 이미지에 적용한 내용을 소개한다. 3장에서는 구성된 시스템에 대한 유저 스터디와 그 결과에 대해 토의하며 마지막으로 4장에서 결론을 도출한다.

II. 색상의 진동 촉각화

2.1. 가시광선

가시광선(Visible spectrum)은 사람의 눈에 보이는 전자기파의 영역이다. 일반적인 사람의 눈은 390-700nm사이의 파장을 인식하며, 이는 주파수 범위 430-770THz로 나타낼 수 있다.[10] 그 중에서도 특

정 범위의 파장 내에서 표현되는 하나의 색상을 Pure color라고 부른다.



그림 1. 가시광선 스펙트럼[11]

표 1. 컬러에 따른 파장과 주파수 영역

색상	파장	주파수
빨강	620~750 nm	400~484 THz
주황	590~620 nm	484~508 THz
노랑	570~590 nm	508~526 THz
초록	495~570 nm	526~606 THz
파랑	450~495 nm	606~668 THz
보라	380~450 nm	668~789 THz

[그림 1]은 가시광선의 스펙트럼이다. 실제 가시광선은 파장과 진동수만 가진 파동으로, [표 1]에서의 범위와 같이 특정 파장과 주파수에서 특정한 컬러로 느껴지지만 경계가 뚜렷하지는 않다. 또한 각 색상의 주파수는 연속적인 값을 지니기 때문에 사용자에게 유의미한 진동을 전달하기 어렵다는 결론을 도출하였다.

2.2. HSI Model

일반적으로 컴퓨터 그래픽 내에서의 이미지 색상 정보는 RGB로 표현되지만, 우리는 색상 정보를 추출할 필요에 의해 HSI 모델을 사용하였다. HSI 모델은 색상, 채도, 명도를 사용하여 표현하기 때문에 바로 색상의 정보를 알 수 있어 유용하다. RGB에서 HSI로의 변환은 기존 연구를 참고하여 다음 공식을 적용하였다.[12]

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

$$S = 1 - \left(\frac{3}{(R + G + B)} \right) * a$$

where a is the minimum of R, G and B, then

$$H = \cos^{-1} \frac{(0.5 * (R - G) + (R - B))}{(((R - G)^2 + (R - B)(G - B))^{0.5})}$$

모든 경우의 색상에 대하여 처리하는 것은 사실상 매우 어려운 일이기 때문에, 0°에서 360°까지 존재하는 Hue 값 내에서 30°을 기점으로 60°마다 색상의 변화가 일어난다고 가정하고 처리하였다. 따라서 입력 받은 색상을 시스템이 처리 가능한 컬러 기준은 [표 2]와 같으며, [그림 2]를 통해 Hue값 내에서 색상의 변화를 확인할 수 있다.

표 2. 컬러에 따른 파장과 주파수 영역

색상	Hue
빨강	331~360, 0~30
주황	31~90
노랑	31~150
초록	151~210
파랑	211~270
보라	271~330



그림 2. HSV 컬러 모델의 색상 스펙트럼

2.3. 색상과 진동의 관계

사람이 손으로 느낄 수 있는 인지 가능한 진동을 주파수 대역에 대하여 분석했을 때, 31.5~100Hz범위 내에서는 주파수가 상승할수록 점점 진동의 변화를 느끼는 인식률이 좋아지는 것이 확인되었다. 100~160Hz범위에서 가장 예민하게 진동의 변화를 인지했으며, 160~315Hz 범위에서는 점점 변화에 대한 인지가 둔해지는 것을 볼 수 있었다[13]. 하지만 2.1에서 언급한 바와 같이 단순히 진동의 세기를 다르게 하여 색상을 구분하는 것은 사용자가 색상과 진동과의 연관성을 찾지 못할 가능성이 크고, 빨강-노랑과 같이 인접한 색상 주파수 범위에서는 서로 다른 색상 정보를 구분하기 어렵게 될 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 색상에서 감정을 추출하고 해당 감정을 진동으로 변환하여 색상을 간접적으로 표현하고자 하였다.

K. A. Y. A.의 연구 결과[14]에 따르면, 특정 색상

에 대하여 모든 사람이 똑같은 감정을 느끼지는 않으나 문화적 이미지로 인하여 대부분이 공통적으로 느끼는 감정이 있는 것으로 나타났다. 색상에서 느끼는 감정을 물어보는 실험에서, 피실험자들은 노랑에 대해 과반수 이상이 '행복'을 대답했으며, 초록색이 가진 자연과 나무에 대한 이미지로 인하여 편안함과 부드러운 감정을 표현했다. 파랑은 대부분 긍정적인 감정으로 표현되었지만, '슬픔', '외로움' 등의 부정적인 답변도 있었다. 빨강은 부정적인 감정인 '분노'와 긍정적인 답변인 '행복'의 수가 비슷했고 사람들이 연상하는 이미지도 다양했다. 우리는 해당 연구 결과를 참고하여 재해석하고 각 색상과 감정을 연결 지어 진동을 표현하기 위한 기반을 구축하였다. 또한 감정을 진동 촉각으로 표현하는 가능성에 대해 확인하였고[15], 이를 본 연구에 적용하여 진동을 생성하였다. 색상에서 감정으로, 다시 감정을 진동으로 표현하는 일련의 과정을 통하여 진동 가속도 정보가 추가되어 더 명확히 진동 촉각을 구분하였으며 이렇게 정리된 내용은 다음과 같다.

표 3. 컬러에 따른 감정과 감정에 따른 주파수와 진폭

색상	감정	주파수(Hz)	진동 가속도(g)
빨강	분노	60	0.25
주황	신남	300	1.40
노랑	행복	200	0.33
초록	편안함	150	0.53
파랑	우울	60	0.53
보라	지침	60	0.12

2.4. 이미지의 촉각화: 밝기를 이용한 마찰력의 표현

2.2에서 RGB에서 HSI로의 변환을 통해 밝기(Intensity) 값을 구한 바 있다. 진동을 표현하는 데에는 쓰이지 않은 해당 값을 마찰력으로 표현하여 빛의 깊이를 나타내어 색상과 결합하면 이미지를 더 입체감 있는 촉각으로 표현 가능하며, 색상을 나타내는 진동이 적합하지 않더라도 이미지를 촉각으로 체험하는 데 더 긍정적인 효과를 보여줄 것이라는 가정하에 저항력을 추가하였다. Intensity값이 0에 가까

울수록 색이 열리는 것과 마찬가지로 저항력이 0N이 되도록 설정하고, 255에 가까울수록 강한 색이 되는 것과 마찬가지로 저항력이 강해져 최대 3N까지 표현하도록 설정하였다.

III. 실험

3.1. 실험 방법과 결과

실험에서는 설정한 각 색상의 구분이 가능한지, 그리고 색과 진동을 연결하여 표현하는 방식이 사회적으로 타당한 지 알아보기 위하여 설문 조사와 인터뷰를 진행하였다. 총 6명의 피실험자가 실험에 참여하였고(M=3, F=3, mean of age=24.4), 전원이 시청각 장애가 없는 일반 대학생으로 구성되었다.

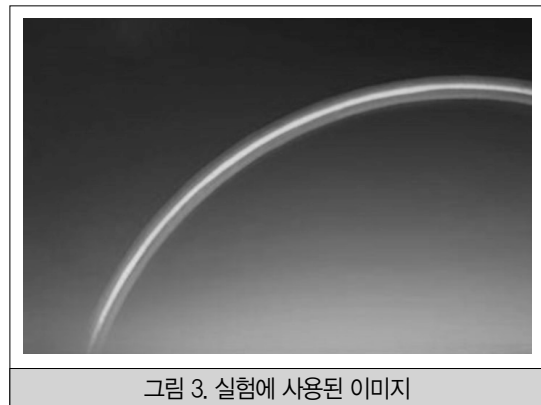


그림 3. 실험에 사용된 이미지

실험을 위해 사용한 진동 촉각 생성 소자는 Haptuator Mark II(Tactile Labs)를 사용했으며, Haptuator를 Falcon의 손잡이 위에 부착하여 피실험자가 Falcon의 포인터를 이미지 위로 움직이면 해당 색상을 읽어 진동을 생성하도록 구성하였다. 진동 촉각이 생성 가능한 모든 색상을 피실험자에게 보여주고, 피실험자가 이미지 위를 Falcon의 손잡이를 쥐고 자유롭게 움직이며 진동 촉각을 느낀 후 질문에 답변하도록 하였다. 질문은 총 3개로 구성되었으며 최저 1점, 최고 7점으로 구성되었다. 질문

내용과 응답은 다음과 같다.

[표 4. 설문 조사 질의응답 결과
(1: 전혀 아니다, 7: 매우 그렇다)]

질문	P1	P2	P3	P4	P5	P6
서로 다른 진동이 구분됩니까?	5	4	7	3	5	5
진동이 이미지 내 윤곽을 느끼게 해줍니까?	4	3	6	4	6	4
진동과 색을 연관 지을 수 있겠습니까?	1	1	1	2	1	1

설문 내용을 분석한 결과 5명이 서로 다른 진동을 구분하는 데 대해 긍정적인 대답을 하였다(평균 4.83). 진동을 통해 이미지의 윤곽을 느끼는 데 대해서도 긍정적으로 답변하였지만 서로 다른 진동을 구분할 수 있는 것만큼 명확하게 느끼진 않는 듯, 첫 번째 질문보다 낮은 결과(평균 4.5)가 나왔다. 진동과 색상을 연관 지을 수 있는지에 대한 질문은 최하점(평균 1.16)을 기록하여 피실험자 모두가 색상과 진동을 의미적으로 연결하기 어렵다고 응답하였다.

본 시스템에 대하여 피실험자의 자유로운 의견을 묻자, 2명이 색상마다 진동이 다른 것은 느낄 수 있으나 차이가 분명하지 않으면 알아차리기 어렵다고 대답하였다. 1명은 간단한 도형이나 그래픽의 윤곽은 이해할 수 있다고 대답하였으며, 3명이 진동만으로 어떤 색상인지 알기 어렵다고 대답하였다.

실험을 통해 진동으로 색상을 구분하는 데 대한 긍정적인 평가를 얻었으나, 해당 진동이 해당 색상을 표현하는 것에 대해서는 부정적인 평가를 얻었다. 이를 서로 다른 진동 촉각이 감정의 긍정적 측면을 표현하기에 부적절하다는 연구 결과[15]와 연결하여 생각했을 때, 긍정적인 감정을 나타내었던 색상인 주황, 노랑, 초록 등이 진동으로 적절히 표현되지 않았다고 생각해 볼 수 있다. 또한 감정을 통해 색상을 표현하는 간접적인 방식이 색상을 표현하는 데 있어 적절하지 못하다고 볼 수 있다.

IV. 결론

실험 결과를 통해 사용자가 각 진동을 구분하는 것이 가능하다는 것이 확인되었다. 하지만 진동을 통한 색상의 촉각화를 위해 어떤 진동 촉각을 선택해야 할 지가 명확하지 못한 것으로 보인다. 만약 색상을 감정으로 변환하는 대신 다른 방식으로 변환하여 진동 촉각을 생성할 수 있다면 좀 더 명확한 색상의 촉각화를 구현할 수 있지 않을까 생각된다.

색상을 진동 촉각으로 나타내려는 시도는 시청각 콘텐츠를 시청각 장애인이 경험할 수 있도록 할 뿐 아니라, 시청각 콘텐츠의 정보 전달에 집중하여 미처 다른 정보를 받아들이기 어려운 사용자에게 새로운 경험을 줄 수 있는 가능성을 제안하고 있다. 본 연구에서 제안한 색상의 촉각화는 완벽하지 않지만 식별 가능한 색상의 촉각화가 가능하다면, Ultrasound에 해당 내용을 적용하여 홀로그램을 만드는 감각을 구성하는 데 도움이 될 것으로 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENY

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2017년도 문화기술 연구개발 지원사업으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Van Erp, Jan BF, and H. A. H. C. Van Veen. "Vibro-tactile information presentation in automobiles." Proceedings of Eurohaptics, Vol. 2001, Paris, France: Eurohaptics Society, 2001.
- [2] Kontarinis, Dimitrios A., and Robert D. Howe. "Tactile display of vibratory information in teleoperation and virtual environments." Presence: Teleoperators & Virtual Environments 4.4 (1995): 387-402.
- [3] Okamura, Allison M., Jack T. Dennerlein,

- and Robert D. Howe. "Vibration feedback models for virtual environments." *Robotics and Automation*, 1998. Proceedings, 1998 IEEE International Conference on, Vol. 1, IEEE, 1998.
- [4] Dobrzynski, Michal Karol, et al. "Quantifying information transfer through a head-attached vibrotactile display: principles for design and control." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 59.7 (2012): 2011-2018.
- [5] 서종만, and 최승문. "모바일 기기에서 흐르는 듯한 진동 감각을 이용한 2 차원 방향정보 전달." *한국차세대컴퓨팅학회 논문지* 7.5 (2011): 35-44.
- [6] Sherrick, Carl E., Roger W. Cholewiak, and Amy A. Collins. "The localization of low- and high-frequency vibrotactile stimuli." *The Journal of the Acoustical Society of America* 88.1 (1990): 169-179.
- [7] Brewster, Stephen, and Lorna M. Brown. "Tactons: structured tactile messages for non-visual information display." Proceedings of the fifth conference on Australasian user interface-Volume 28. Australian Computer Society, Inc., 2004.
- [8] MacLean, Karon, and Mario Enriquez. "Perceptual design of haptic icons." *Proc. of EuroHaptics*, 2003.
- [9] Choi, Seungmoon, and Katherine J. Kuchenbecker. "Vibrotactile display: Perception, technology, and applications." *Proceedings of the IEEE* 101.9 (2013): 2093-2104.
- [10] Starr, Cecie, Christine Evers, and Lisa Starr. *Biology: concepts and applications without physiology*. Cengage Learning, 2010.
- [11] Bruno, Thomas J., and Paris DN Svoronos. *CRC handbook of fundamental spectroscopic correlation charts*. CRC Press, 2005.
- [12] *Colour Space Conversions - Adrian Ford et al.*
- [13] Morioka, Miyuki, and Michael J. Griffin. "Perception thresholds for vertical vibration at the hand, seat and foot." *Proceedings of the European Acoustic Association forum Acusticum*, 2005.
- [14] NAz, K. A. Y. A., and Helena Epps. "Relationship between color and emotion: A study of college students." *College Student J* 38.3 (2004): 396.
- [15] Yongjae Yoo, Taekbeom Yoo, Jihyun Kong, and Seungmoon Choi, "Emotional Responses of Tactile Icons: Effects of Amplitude, Frequency, Duration, and Envelope," In *Proceedings of the IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 235-240, 2015.