

# 사물스크린 디지털 사이니지 서비스를 위한 콘텐츠 매핑 및 보정 시스템 개발

\*박종빈

전자부품연구원

\*jpark@keti.re.kr

## Development of Content Mapping and Compensation System For Non-single plane Digital Signage Service

\*Jongbin Park

Korea Electronics Technology Institute

### 요약

본 논문에서는 프로젝터와 카메라를 이용하여 다수의 평면이 결합된 형태의 사물스크린 공간에 디지털 사이니지 서비스를 제공하기 위한 기술을 개발하였다. 연구개발한 기술은 OpenGL 기반의 렌더링 소프트웨어 기반 위에 콘텐츠와 사물스크린 상호간의 기하학적 매핑, 스크린 색상과 주변 조명을 고려한 색상 보정 기능들이 적용되었다. 단순한 객체의 매핑 기능은 사각형과 같은 폴리곤 객체, 복잡한 사물공간 구조는 격자형 매쉬를 이용하여 보정하도록 지원한다. 색상 보정은 스크린으로 활용할 영역이 균일한 색상 특성을 가진 경우에 대응하여 관심 스크린 영역의 영상을 취득하여 컬러 혼합 행렬을 계산하고 이를 보정 S/W와 연동하여 처리되도록 개발했다. 본 연구개발 내용을 통해 향후 임의의 평면을 디지털 사이니지용 디스플레이 공간으로 쉽고 빠르게 활용하기 위한 요소 기술로 활용되기를 기대한다.

### 1. 서론

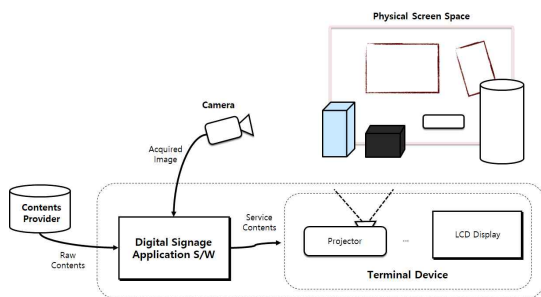


그림 1. 사물스크린 디지털 사이니지 시스템 구성도

비평면 사물스크린 시스템은 다양한 물리공간을 디지털 사이니지(digital signage) 서비스 플랫폼으로 활용토록 만드는 데 목적을 둔다 [1]. 광고, 방송, 공연 등 다양한 분야에 활용[2]이 기대되며, 국내외 표준화도 활발히 진행 중이다[3][4][5]. 그러나 실제 서비스를 위해서는 프로젝터로 표출되는 콘텐츠와 실제 스크린과 주변 환경에 맞춰 기하학적 보정과 색상 보정이 필수적이다. 스크린 표면의 특성이나 조명과 같은 물리적 환경의 변화에 능동적으로 대처할 수 있어야만 콘텐츠의 만족도를 향상시킬 수 있음은 물론이다.

그림 1은 이러한 서비스를 위한 사물스크린 시스템의 주요구성요소들을 나타낸다. 콘텐츠 제공부(Contents Provider, CP), 디지털 사이니지 응용계층 소프트웨어 (Digital Signage Application Layer S/W,

DSW), 터미널 단말장치(Terminal Device, TD), 카메라(Camera, CAM)를 포함하고 있다. 콘텐츠 제공부는 로컬 혹은 원격지의 파일, 네트워크 스트리밍, PC 및 네트워크상에서의 프레임 공유와 같은 다양한 방법으로 원시 콘텐츠(Raw Contents)를 제공한다. 디지털 사이니지 응용계층 소프트웨어는 서비스에 맞게 제공된 콘텐츠들을 보정 및 처리하여 터미널 디바이스에 전송한다. 이때 보정처리 및 사용자 인터랙션 등의 기능을 제공하기 위해 카메라 정보를 활용할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 서비스를 위한 기하학적 보정, 색상 보정 기술과 관련한 S/W를 연구·개발하였고, 테스트 실험을 통해 가능성을 확인하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 기하학적 매핑 이론

프로젝터를 이용해서 입력된 콘텐츠를 물리적 공간에 투사 시 발생하는 주된 문제는 프로젝터 좌표계와 물리적 공간 좌표계가 다르기 때문에 기하학적 왜곡이 발생한다는 것이다. 이를 보정하려면 기본적으로 사영변환(Perspective Transform)을 수행하여 원시 콘텐츠를 물리적 공간에 맞게 미리 변형하여 투사하는 것이 일반적이다. 기하학적 보정은 한쪽 좌표계에 존재하는 점들을 다른 쪽 좌표계의 점들로 변환시키는 문제라서 모든 점들을 하나의 벡터로 표현하고 여기에 변환 행렬을 곱함으로써 보정이 수행된다. 이러한 변환을 호모그래피(homography) 변환이라 하며, 호모그래피 변환 행렬은 서로 다른 2개의 평면 사이에 존재하는 4개의 대응점을 찾음으로써 구할 수 있다[6][7].

## 2.2 색상 보정 이론

프로젝터-스크린-카메라로 이뤄진 시스템에서 색상 보정과 관련된 통상의 문제는, 임의의 스크린에 표시되었으면 하는 색  $\mathbf{M}$ 이 주어졌을 때, 이를 프로젝터로 표시하려면 어떤 영상 값  $\mathbf{I}$ 를 초기에 제공해야 하는지를 결정하는 것과 관련된다. 여기서  $\mathbf{I} = (I_R, I_G, I_B)^T$ 는 입력될 영상벡터를 의미하고,  $\mathbf{M} = (M_R, M_G, M_B)^T$ 은 프로젝터로 투사 시에 카메라의  $R, G, B$  각각의 컬러 센서에 획득되는 벡터 정보를 나타낸다. 물론, 이 경우는 디지털 카메라로 촬영된 정보가 사람의 시각 시스템(HVS, Human visual system)을 반영할 수 있다는 가정이 존재한다.

상기 문제를 포함하는 다양한 보정용응들을 지원하려면 우선  $\mathbf{I}$ 와  $\mathbf{M}$ 사이의 관계를 모델링해야 하는데 [8],[9]에서는 식 (1)과 같은 관계식을 제시하였다. 식 (1a)는 식(1b)와 같이 상세히 풀어써 쓸 수 있는데, 벡터  $\mathbf{P}$ 는 프로젝터에서 표출되는 값, 벡터  $\mathbf{E}$ 는 주변 조명이 스크린에 미치는 영향을 나타낸다. 식 (1)에서  $\mathbf{I}$ 와  $\mathbf{M}$ 사이의 관계식을 도출함에 있어서  $\mathbf{P}$ 와  $\mathbf{C}$ 라는 요소가 등장하는 이유는 모델 내부에 존재하는 비선형성 때문이다. 일반적으로 프로젝터와 카메라는 감마보정 등의 비선형 매핑 과정이 존재하는데 이를  $\{\mathbf{I}, \mathbf{P}\}, \{\mathbf{C}, \mathbf{M}\}$  상호간에 함수로써 매핑 처리함으로써  $\mathbf{P}$ 와  $\mathbf{C}$  사이에서는 식 (1)과 같은 선형 관계식으로 처리할 수 있게 된다.

$$\mathbf{C} = \mathbf{V}\mathbf{P} + \mathbf{E} \quad (1a)$$

$$\begin{bmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{RR} & V_{RG} & V_{RB} \\ V_{GR} & V_{GG} & V_{GB} \\ V_{BR} & V_{BG} & V_{BB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_R \\ P_G \\ P_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix} \quad (1b)$$

식 (1)에서 벡터  $\mathbf{P}$ 는 식 (2)와 같이 입력된 영상값  $\mathbf{I}$ 를 화면표시장치의 특성함수  $d()$ , 프로젝터의 특성함수  $p()$ 를 연속적으로 반영하여 얻은 결과 값이다.

$$P_i = p_i(d_i(I_i)), i \in \{R, G, B\} \quad (2)$$

식 (3)에서는 카메라를 통해 획득될 최종 영상정보  $\mathbf{M}$ 이 캡춰 장치의 특성함수  $m()$ 과 카메라 응답 특성함수  $b()$ 를 반영하여  $\mathbf{C}$ 를 얻는다. 확보 가능한 값  $\mathbf{M}$ 이 정의역이 되기 위해 역함수로 표현된다.

$$C_j = b_j^{-1}(m_j^{-1}(M_j)), j \in \{R, G, B\} \quad (3)$$

식 (1)에서  $\mathbf{V}$ 는 컬러 혼합 행렬(color mixing matrix)을 나타내는데, 식 (4)와 같이 프로젝터, 스크린, 카메라 상호간 빛의 전달 특성을 포괄적으로 반영한 결과이다. 구체적으로는 주어진 가시광선 파장 영역( $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ )에서의 프로젝터 분광특성  $w(\lambda)$ , 스크린 반사특성  $s(\lambda)$ , 카메라 양자효율(광자의 전자변환 능력)  $q(\lambda)$ 을 각각 곱하고 적분하여 계산한다. 여기서 프로젝터와 카메라는  $R, G, B$  각각 채널에 대해 프로젝터 분광특성이  $w_R(\lambda), w_G(\lambda), w_B(\lambda)$ 이고, 카메라 양자효율은  $q_R(\lambda), q_G(\lambda), q_B(\lambda)$ 이다.

$$V_{ij} = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} w_i(\lambda)s(\lambda)q_j(\lambda), i, j \in \{R, G, B\} \quad (4)$$

식 (1)에서 주변 조명을 나타내는 벡터  $\mathbf{E} = (E_R, E_G, E_B)^T$ 는 식 (5)와 같이 계산되는데,  $a(\lambda)$ 는 주변 조명을 일으키는 원래 광원(light source)의 분광특성을 나타내고,  $s(\lambda)$ 는 스크린표면 반사특성,  $q_R(\lambda), q_G(\lambda), q_B(\lambda)$ 는 카메라 컬러 센서 별 양자효율을 나타낸다.

$$E_j = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} a(\lambda)s(\lambda)q_j(\lambda), j \in \{R, G, B\} \quad (5)$$

보정을 위해서는 식 (1)에서  $\mathbf{V}$ 와  $\mathbf{E}$ 를 사전에 알아야 하는데 [8],[9]에서 제시한 바와 같이 (검은색, 적색, 녹색, 청색)을 순차적으로 표출하고 이를 카메라로 촬영하여 알려지지 않은 매개변수들을 추정할 수 있다. 예를 들어, 식 (1b)에서  $\mathbf{P} = (0, 0, 0)$ 이면  $\mathbf{E} = (C_R, C_G, C_B)^T$ ,  $\mathbf{P} = (1, 0, 0)$ 이면  $V_{RR} = C_R - E_R$ ,  $V_{GR} = C_G - E_G$ ,  $V_{BR} = C_B - E_B$ 를 구할 수 있다. 나머지 요소들도  $\mathbf{P} = (0, 1, 0)$ ,  $\mathbf{P} = (0, 0, 1)$ 를 같은 방법으로 적용하면 획득할 수 있다. 하지만 식 (2)에서와 같이 보정 소프트웨어가 직접적으로 제어할 수 있는 요소는  $\mathbf{P}$ 가 아닌  $\mathbf{I}$ 이다. 즉,  $I_i$ 값이 0으로 주어지더라도  $P_i$ 는 0이 아닐 수도 있는 것이다.  $I_i$ 값이 255인 경우도 마찬가지이다. 이런 문제를 극복하기 위해서 식 (6)과 같이  $\mathbf{I}$ 값들을 프로젝터를 통해 투사하고, 이를 카메라로 촬영하면 (7)과 같이 컬러 혼합 행렬  $\mathbf{V}$ 를 얻을 수 있다. 이때 행렬의 대각성분이 모두 1.0이 되도록 하여 정규화된 컬러 혼합 행렬 형태가 되도록 했다[8][9].

$$\mathbf{I} = \{(0, 0, 0)^T, (255, 0, 0)^T, (0, 255, 0)^T, (0, 0, 255)^T\} \quad (6)$$

$$V_{ij} = \frac{\Delta C_i}{\Delta C_j}, \Delta P_i = \Delta C_i, i, j \in \{R, G, B\} \quad (7)$$

## 2.3 구현내용

그림 2는 구현한 소프트웨어로써 입력된 콘텐츠를 프로젝터로 표출하기 위해 기하보정 및 색상보정을 수행하는 예시이다. 콘텐츠와 사물스크린 상호 간의 기하학적 매핑, 스크린 색상과 주변 조명을 고려한 색상 보정 등의 기술들을 OpenGL로 구현하였다. 매핑 기능은 삼각형, 사각형, 육각형, 원형, 격자형 매쉬(Grid Mesh) 등의 스크린 객체들을 통해 지원된다. 특히 격자형 매쉬는 원통 및 곡면형태의 스크린 구성에도 적합하다. 또한 프로젝터-스크린-카메라를 연결시켜주는 호모그래피 행렬이 확보된 경우 자동으로 연동될 수 있도록 외부 프로그램과의 인터페이스를 제공한다.

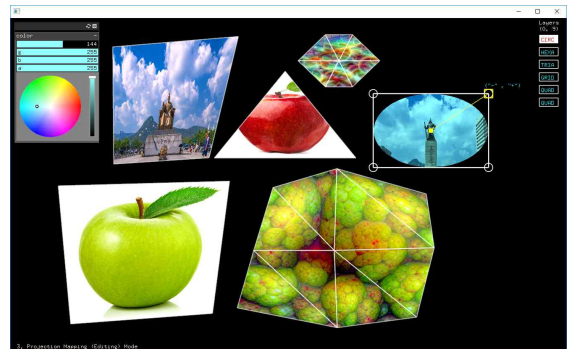


그림 2. 콘텐츠 매핑 및 색상 보정 S/W 예시

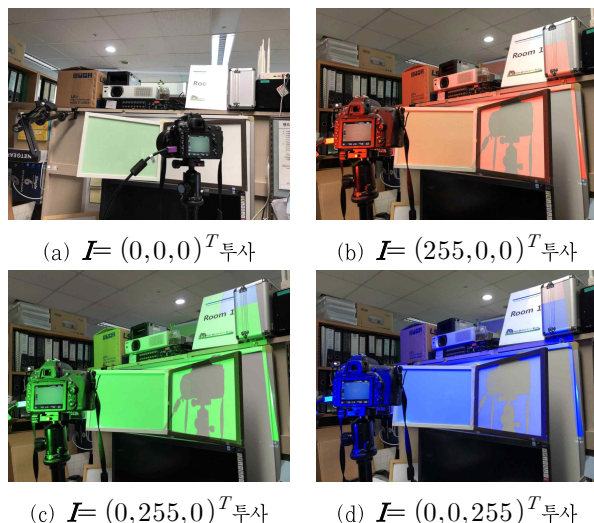
색상 보정은 스크린으로 활용할 영역이 균일한 색상 특성을 가진 경우에 대응하여 투사할 스크린 영역의 표면 특성을 파악하기 위한 영상을 취득하여 컬러 혼합 행렬을 계산하고 이를 보정 S/W와 연동되도록 했다. 또한 지원되는 콘텐츠는 디지털 사이니지 서비스를 고려하여 이미지와 동영상을 스크린 객체별로 투사할 수 있도록 하였다.

### 2.4 실험결과

구현한 S/W를 이용하여 보정이 합리적으로 수행되는지를 확인하기 위해 그림 3과 같이 이질적인 표면 색상을 갖는 2개의 평면에 영상을 투사하여 양쪽의 평면에 투사된 콘텐츠의 색상이 가급적 동일하도록 만드는 보정을 수행하였다. 표면 특성 값에 대한 컬러 측정 장치 (sRGB, D65광원, 2도) 확인 결과는 왼쪽은 R(68%, 173/255), G(83%, 211/255), B(65%, 166/255)이고, 오른쪽은 R(88%, 225/255), G(88%, 225/255), B(85%, 219/255)였다. 그림 4는 사전에 정의된 {검은색, 적색, 녹색, 청색}을 순차적으로 스크린에 비추고, 이를 카메라로 촬영하여 주변의 조명 요소와 컬러 혼합 행렬을 계산하는 과정을 보여준다. 그림 5는 수집된 보정 정보를 이용해서 콘텐츠 매핑 및 색상 보정을 수행한 결과를 나타낸다. 그림 5(a)는 보정 수행 전 화면으로써 왼쪽 영상에 녹색 성분이 강하게 표현되고 있음을 확인할 수 있다. 반면 그림 5(b)는 보정된 화면으로써 2개의 스크린 영역 중에서 왼쪽의 경우 원래 영상보다는 녹색 성분이 약화되고, 청색 성분이 강화되었으며, 오른쪽 부분은 녹색 성분이 상대적으로 강화되는 쪽으로 보정되어 양쪽 영상의 색상 값이 결과적으로 일치되는 쪽으로 보정되었음을 확인할 수 있다.



그림 3. 시험에 사용한 표면 색상이 서로 다른 2개의 스크린



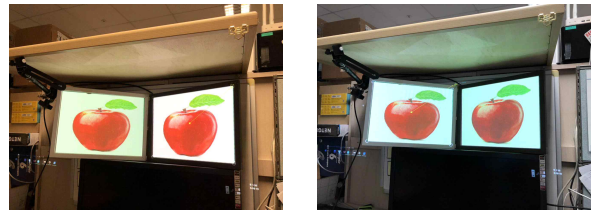
(a)  $I = (0, 0, 0)^T$  투사

(b)  $I = (255, 0, 0)^T$  투사

(c)  $I = (0, 255, 0)^T$  투사

(d)  $I = (0, 0, 255)^T$  투사

그림 4. 프로젝터-스크린-카메라 상호간 컬러 혼합 행렬 취득 과정



(a) 보정 전

(b) 보정 후

그림 5. 매핑 및 색상 보정 결과 예시

### 3. 결론

본 논문에서는 프로젝터와 카메라를 이용하여 다수의 평면이 결합된 형태의 사물스크린 공간에 디지털 사이니지 서비스를 제공하기 위한 기술을 개발하였다. 콘텐츠와 사물스크린 상호간의 기하학적 매핑, 스크린 색상과 주변 조명을 고려한 색상 보정, 외부 프로그램과의 연동 인터페이스 등을 제공하도록 했다. 본 연구개발 내용을 통해 향후 임의의 평면을 디지털 사이니지용 디스플레이 공간으로 쉽고 빠르게 활용하는데 필요한 요소 기술로 활용되기를 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2016-0-00127, 사물 스크린 환경 기반의 공간일체형 디지로그 사이니지 기술 개발)

### 참고문헌

- [1] 정종진, 박종빈, “맞춤형 디지털 사이니지 콘텐츠 동적 구성 기술”, TTA Journal, vol.170, pp. 43-47, Mar. 2017.
- [2] F. Dupin, “Digital signage: the right information in all the right places”, ITU-T Technology Watch Report, Nov. 2011.
- [3] W. Wu, J. Porter, and S. Saxe, Digital Signage Network Playlog Standards Version 1.1, POPAI Digital Signage Standards Committee, Aug. 2006.
- [4] ITU-T H.780, Digital signage: Service requirements and IPTV-based architecture, June 2012.
- [5] ITU-T H.781, Digital signage: Functional architecture, Apr. 2015.
- [6] Szeliski, Richard. Computer vision: algorithms and applications. Springer Science & Business Media, 2010.
- [7] U. Ramer, “An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves,” Computer graphics and image processing, vol. 1, no. 3, pp. 244 - 256, 1972.
- [8] S. K. Nayar, H. Peri, M. D. Grossberg, and P. N. Belhumeur, “A Projection System with Radiometric Compensation for Screen Imperfections”, ICCV Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS), pp.1-8. 2003.
- [9] M.D. Grossberg, H. Peri, S.K. Nayar, and P.N. Belhumeur, “Making One Object Look Like Another: Controlling Appearance using a Projector-Camera System”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. I, pp. 452-459, Jun. 2004.