

디스플레이 기반 화면 통신 기술

김 선 아*, 정 성 윤°

Screen Communication Scheme Based on Display

Sun-Ah Kim*, Sung-Yoon Jung°

요 약

디스플레이와 카메라를 각각 송수신기로 이용하여 푸리에 변환을 통해 데이터를 영상의 주파수 영역에 임베딩하는 새로운 가시광 통신기법을 제안한다. 새로운 통신 기법의 통신 품질을 확인하기 위해 컬러 영상의 RGB를 각각 독립적인 데이터 채널로 확인하여 각 채널 별 SER를 확인하였다.

Key Words : Communication, Image processing, Signal processing, Visual light communication, Display and Camera

ABSTRACT

We propose a novel visible light communication technique that uses a display and a camera as transceivers to embed data in the frequency domain of the image through Fourier transform. In order to confirm the communication quality of the new communication method, we checked the RGB of each color image as independent data channels and confirmed the SER for each channel.

I. 서 론

본 논문에서는 데이터 통신을 위해 컬러 디스플레이와 카메라를 기반으로 새로운 가시광 통신하는 방법에 대해 제안한다. 가시광 스펙트럼에서 동작하는

가시광 통신 시스템 중 광학 카메라 통신이 요즘 각광 받는 분야이다. 본 논문 방식은 발광 다이오드 (LED) 계열의 송신기와 카메라 수신기로 구성되며, 송신기의 밝기 변화에 포함된 데이터를 카메라로 촬영하여 얻어낼 수 있다.

카메라를 수신단으로 이용하는 기술은 현재 많이 이용되고 있는데, 대표적인 예로 QR코드는 가로·세로 2차원 구조를 가지는 정사각형의 모양이며, 이는 기존의 디스플레이 콘텐츠를 방해해서는 안되기 때문에 위치와 크기가 제한적이다. 또한, 하나의 QR 코드에 1개의 데이터 밖에 넣지 못하므로 정보량 또한 한정되어 있다^{1,2}.

하지만 카메라와 디스플레이 픽셀을 사용하여 통신하면 이러한 단점을 보완할 수 있다. 데이터를 영상의 주파수 영역에 임베딩하는 방법으로 접근하여, 기존의 디스플레이 역할을 수행하면서도 추가적으로 데이터를 송신할 수 있다^{3,4}. 본 방식을 DFC (Disp

lay-Field-Communication)로 명명하며, 본문에서는 컬러 영상에 데이터를 넣고 송신하는 방법과 수신기에서 어떠한 방법으로 데이터를 추출하는지에 대하여 제안한다. 마지막으로 모의실험 수행 결과를 분석하는 부분을 결론에서 설명한다.

II. 화면 통신 기법

2.1 데이터 임베딩

영상에 데이터를 넣으려면 원본 영상을 2차원 화면 영역에서 주파수 영역으로 변환하여야 한다. 이는 영상의 주파수 영역에 데이터를 넣어야 기존의 원본 영상 보존이 가능하기 때문이다. 만약 영상이 컬러라면 R,G,B로 분리해내어 각각을 주파수 영역으로 나타낸다. R 채널의 주파수 영역은 다음과 같이 수식으로 표현할 수 있다. 여기서 $i_{t,r}$ 은 원본 이미지를 세로로 한 줄 읽었을 때 나타나는 픽셀 값이다.

$$\begin{aligned} I_{F,R} &= [F \cdot i_{t,r}(1), F \cdot i_{t,r}(2), \dots, F \cdot i_{t,r}(Q)] \\ &= [i_{F,R}(1), i_{F,R}(2), i_{F,R}(3), \dots, i_{F,R}(Q)] \\ &= F \cdot I_{t,r} \end{aligned} \quad (1)$$

원본 이미지가 $P \times Q$ 라면, 심을 데이터 행렬 X 도 $P \times Q$ 크기가 된다. $1 \times P$ 크기를 가지는 x_q 가 Q 개가

* 본 연구는 한국연구재단 중견연구자지원사업 (NRF-2018R1A2B6002204) 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Dept. of EE, Yeungnam University, dbm03095@ynu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1775-7144) Dept. of EE, Yeungnam University, syjung@ynu.ac.kr, 중신회원
 논문번호 : 201812-388-A-LU, Received December 14, 2018; Revised January 31, 2019; Accepted February 24, 2019

모이면 X 가 만들어진다. 그림 1이 임의의 한 채널에 대한 데이터 행렬을 나타낸 것이다. 여기서 흰 부분이 저주파와 고주파 사이 영역이며, 데이터가 들어갈 부분이다. 검은 부분은 데이터가 들어가는 부분을 제외하고 원본 이미지의 주파수 값을 보존하기 위해 1로 채워준다. 이러한 방식으로 x_q 를 만들고 이를 집합으로 묶어 X 를 만들어내는데, 이때 각 채널에 다른 데이터를 심을 수 있으므로 X_R, X_G, X_B 에 대한 데이터 행렬이 필요하다. 이를 R 채널에 대한 데이터 행렬 X_R 를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$d_{q,r} = [d_{q,r}(0), d_{q,r}(1), \dots, d_{q,r}(L-1)] \quad (2)$$

$$x_{q,r} = [1, \dots, 1, (d_{q,r})^T, 1, \dots, 1, \text{flip}(d_{q,r}^*)^T, 1, \dots, 1]^T \quad (3)$$

$$X_R = [x_{0,R}, x_{1,R}, x_{2,R}, \dots, x_{Q-1,R}] \quad (4)$$

다음으로 이미지를 주파수 영역으로 변환한 값에 원하는 데이터를 넣어주는 과정을 데이터 임베딩이라 한다. 컬러 이미지는 R, G, B 각 채널에 각기 다른 데이터를 넣을 수 있어 송신 데이터양을 흑백 이미지보다 늘릴 수 있다. 이렇게 주파수 영역에서는 영상이 손상되지 않게 데이터를 심을 수 있다. 아래 수식이 3개 채널의 데이터 임베딩을 의미한다.

$$\begin{aligned} D_{F,R} &= I_{F,R} \circ X_R \\ D_{F,G} &= I_{F,G} \circ X_G \\ D_{F,B} &= I_{F,B} \circ X_B \end{aligned} \quad (5)$$

이때 데이터를 넣는 주파수 대역이 저주파수인지 고주파수인지에 따라 화질의 차이가 발생한다. 그림 2에서 보듯이 저주파수에 영상에 대한 정보가 많이 뿌려져 있고, 고주파수 대역은 주파수 값이 너무 작아 데이터 추출이 어려우므로 이 부분을 피해 중간 주파수 대역에 데이터를 심어준다.

데이터가 포함된 영상을 화면에 띄우기 위해선 각각의 채널을 역 푸리에 변환하여 화면 영역으로 전환



그림 1. 임의의 채널에 대한 데이터 행렬
Fig. 1. Data matrix for any channel

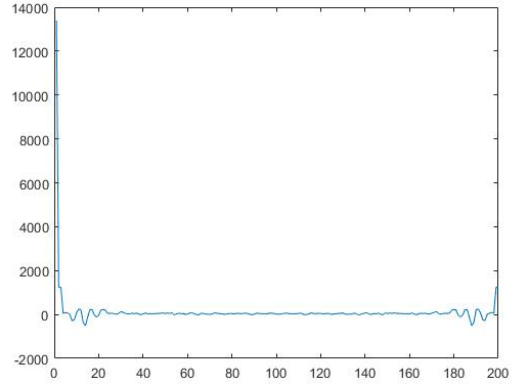


그림 2. 이미지를 세로로 한 줄 읽었을 때 나오는 주파수 그래프
Fig. 2. Frequency graph resulting from a single vertical line of images

한다. R, G, B 이미지를 합침으로써 송신단에서 디스플레이할 컬러 이미지로 만들 수 있다. 아래는 이러한 과정을 수식으로 표현한 것이다.

$$\begin{aligned} D_{i,R} &= F^H \cdot D_{F,R} \\ D_{i,G} &= F^H \cdot D_{F,G} \\ D_{i,B} &= F^H \cdot D_{F,B} \end{aligned} \quad (6)$$

$$D_i = D_{i,R} + D_{i,G} + D_{i,B} \quad (7)$$

이러한 과정을 통해 영상은 시각적인 부분에 방해 없이 디스플레이되어 기존의 기능을 수행할 뿐만 아니라 임베딩 데이터를 전송도 가능하게 된다.

2.2 데이터 수신

송신단에서 데이터 임베딩한 수식 (1)~(4)을 정의하였다. 여기서 데이터 임베딩 이미지로부터 데이터를 추출하기 위해서는 Reference Signal 역할을 할 수 있는 원본 이미지가 필요하다. 그래서 송신단이 영상을 보낼 때 그림 3과 같이 원본 영상을 먼저 보내고 그

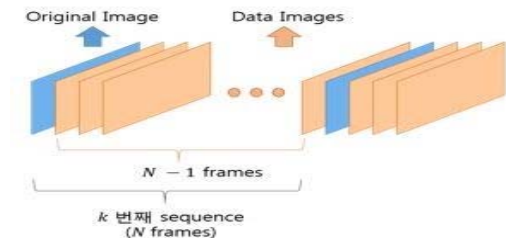


그림 3. 영상 프레임 시퀀스
Fig. 3. Image Frame Sequence

후에 데이터가 담긴 영상을 보내는 과정을 반복한다. 이는 영상 재생 중 어떠한 타이밍이든 수신된 영상으로부터 데이터를 추출할 수 있게 하기 위함이다.

수신기는 디스플레이로부터 데이터가 담긴 컬러 영상을 받아와 송신기와 마찬가지로 R,G,B로 분리한다. 이는 아래의 수식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_{t,R} &= I_{t,R} + N_t \\ Z_{t,G} &= I_{t,G} + N_t \\ Z_{t,B} &= I_{t,B} + N_t \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Y_{t,R} &= D_{t,R} + N_t = F^H \cdot D_{F,R} + N_t \\ Y_{t,G} &= D_{t,G} + N_t = F^H \cdot D_{F,G} + N_t \\ Y_{t,B} &= D_{t,B} + N_t = F^H \cdot D_{F,B} + N_t \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $Z_{t,R}$ 은 송신단에서 보내는 R채널의 원본 이미지 $I_{t,R}$ 에 노이즈가 더해진 것이고, $Y_{t,R}$ 은 데이터가 섞여진 R채널의 이미지에 노이즈가 더해진 것이다. 이러한 과정을 각 채널에 동일하게 적용하고, 임베딩 데이터를 알아내기 위하여 수신기에서 획득한 이미지를 푸리에 변환한다. 대표적으로 R채널을 푸리에 변환한 수식은 다음과 같다.

$$Z_{F,R} = F \cdot I_{t,R} + F \cdot N_t = I_{F,R} + N_F \quad (10)$$

$$Y_{F,R} = F \cdot D_{t,R} + F \cdot N_t = D_{F,R} + N_F \quad (11)$$

이렇게 되면 수신기는 각 채널에 해당하는 주파수 영역의 원본 이미지와 데이터가 담긴 이미지 모두 획득할 수 있어서 임베딩 데이터를 추출해낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_R &= Y_{F,R} / Z_{F,R} \\ \hat{X}_G &= Y_{F,G} / Z_{F,G} \\ \hat{X}_B &= Y_{F,B} / Z_{F,B} \end{aligned} \quad (12)$$

III. 모의실험

그림 4는 원본 영상과 중간 주파수 대역에 데이터를 임베딩한 영상을 나타낸 것이다. 데이터 임베딩 과정에서 발생하는 화질 손상 정도를 PSNR(Peak-Signal-to-Noise-Ratio)을 통해 알아본 결과, 아래 표 1과 같이 나왔다. PSNR이 높을수록 압축 또는 재구성된 이미지의 품질이 좋으며, 30dB가 넘어 가면 육안으로 화질 차이를 구분할 수 없다. 그림 4의 모든 사진의 PSNR 값이 30dB 이상으로 나오므로 영



(a)



(b)



Original

Data Embedding Image



©

그림 4. (a) 레나 영상 (b) ‘진주 귀걸이를 한 소녀’ 영상 (c) 자연 풍경 영상
Fig. 4. (a) Lena image (b) ‘Girl with pearl earrings’ image (c) Nature scenery image

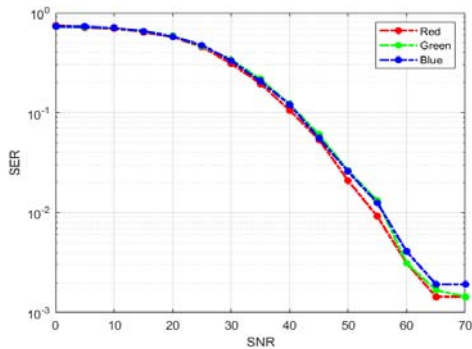
상의 종류별 차이와 시각적인 화질에 있어서 문제가 없음을 확인하였다. 따라서 그림 3과 같이 원본 이미지와 데이터 임베딩 이미지를 반복하여 재생시키더라도 보는 데에는 아무런 문제가 없다.

그림 5는 그림 4 (a),(b),(c)의 데이터 임베딩 영상의 채널 별 신호 품질을 SER 그래프로 나타낸 것이

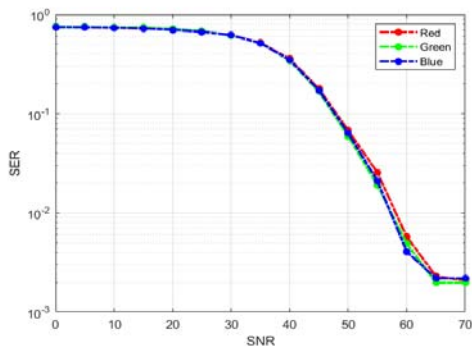
표 1. 영상 종류별 PSNR 측정값
Tab 1. PSNR measurement value by image type

| | PSNR 값 |
|-----|------------|
| (a) | 40.6410 dB |
| (b) | 45.8131 dB |
| (c) | 38.2153 dB |

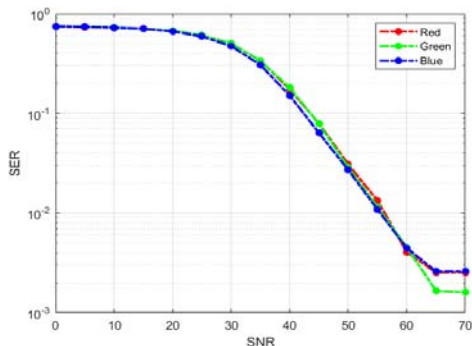
다. R,G,B 각 채널의 SER은 비슷한 기울기를 띄므로 성능 측면에서 큰 차이가 없다. 따라서 컬러 영상이



(a)



(b)



(c)

그림 5. R,G,B 영상 별 SER 결과
Fig. 5. SER Result by R, G and B image

송신기로 사용 가능함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 컬러 영상의 주파수 영역에 데이터를 실어 영상처리 및 푸리에 변환을 통해 데이터를 추출하는 가시광 통신 기법을 제안하였다.

영상의 R, G, B 각각을 하나의 통신 채널로 하여 송수신 한 결과를 SER 그래프를 통해 확인하였다. 이를 통해 각 채널에 다른 데이터를 보냄으로써 하나의 이미지에 3개의 통신 채널이 가능함을 확인하여 실제로 제안된 가시광 통신이 가능하다는 것을 증명하였다.

References

- [1] Q. R. Code, "Automatic identification and data capture techniques," *Bar code symbology*, BS ISO/IEC 18004, p. 200, 2006.
- [2] A. Mohan, et al., "Bokode: imperceptible visual tags for camera based interaction from a distance," *ACM Trans. Graphics*, vol. 28, no. 3, pp. 98:1-98:8, 2009.
- [3] B. W. Kim, H.-C. Kim, and S.-Y. Jung, "Display field communication: Fundamental design and performance analysis," *J. Lightwave Technol.*, vol. 33, no. 24, pp. 5269-5277, 2015.
- [4] B. W. Kim and S.-Y. Jung, "Novel flicker-free optical camera communications based on compressed sensing," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 6, pp. 1104-1107, 2016.