

# 홀로그래픽 데이터 저장 장치의 이미지 보정 알고리즘

## Image Compensation Algorithm for Holographic Data Storage System

정규일<sup>†</sup>, 문진배\*, 박주연\*

Kyu-il Jung, Jin-bae Moon and Joo-youn Park

### Abstract

본 논문에서는 확대, 축소, 회전 등과 같은 선형, 비선형 왜곡이 포함된 이미지에 대해, 이미지의 외곽선을 찾아서 이미지를 보정하고 싱크 마크(Sync. Mark)를 사용하여 데이터를 샘플링하는 알고리즘을 제안한다. 외곽선을 찾기 위한 방법으로 허프 변환(Hough Transform)을 사용하였으며, 찾아낸 외곽선을 이용하여 이미지의 영역을 인식하고, 이미지의 왜곡을 줄이기 위하여 이미지 와핑(warping) 기법을 적용하였다. 이미지의 비선형 왜곡을 보상하기 위하여 이미지의 싱크 마크(Sync. Mark)를 공분산(covariance)을 사용하여 인식하고 샘플링 위치를 보정하였다. 또한, 제안된 알고리즘은 Over Sampling 자체를 하나의 이미지 확대로 인식하여 처리하기 때문에 어떠한 Over Sampling 에도 적용 가능하다.

**Key Words :** 홀로그래픽, 이미지 보정 알고리즘, 허프 변환, 이미지 와핑.

## 1. 서론

홀로그래픽 WORM (write once read many) 시스템은 DVD (digital versatile disk) 와 같은 기존의 광 정보 저장장치가 2 차원 평면에 순차적으로 정보를 기록하는 것과는 달리 2 차원의 정보 영상을 volume 에 중첩 기록하여 높은 저장 밀도와 빠른 정보 전달 능력을 가진다[1-3]. 이 경우 기록과 재생시 간섭이나 기록 물질의 불균일성 등의 영향으로 검출 정보에 잡음이 포함되게 되어 신뢰성 있는 정보 복원을 위한 신호처리 기술들이 필요하다[4][5]. 그러나 CCD 나 CMOS 와 같은 이미지 센서를 사용하여 데이터를 복원 할 때, 측정 이미지의 보정 없이 데이터를 샘플링할 경우 광학적인 이미지 왜곡으로 인해 데이터 정정 알고리즘만으로는 처리할 수 없는 많은 오류가 발생할 수 있다. 이

러한 이미지의 왜곡을 광학적인 방법만을 사용하여 보정하기에는 큰 어려움이 따르므로 이미지 보정을 위한 알고리즘이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 이미지의 Over Sampling 수에 관계없이 이미지의 확대, 축소, 회전등과 같은 광학적 선형, 비선형 왜곡을 보정하여 데이터를 추출(sampling)할 수 있는 알고리즘을 제안한다. Canny의 에지 검출(edge detection) 방법과 허프 변환(Hough transform)을 사용하여 이미지의 외곽선을 찾은뒤 와핑(warping) 기법을 사용하여 이미지의 선형 왜곡을 보상하며, 이미지 와핑 후 남아있는 오류 보정 및 이미지의 비선형 왜곡에 대한 보상을 위해 싱크 마크(Sync. Mark)를 사용하여 샘플링 위치를 보정한다.

## 2. 이미지 보정 알고리즘

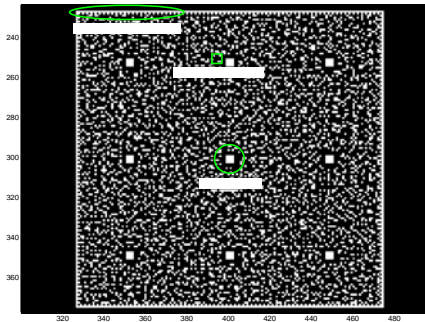
### 2.1 이미지 형식

제안된 이미지 보정 알고리즘에 사용된 이미지 형식은 Figure 1 과 같다.

이미지의 전체적인 왜곡 상태를 확인하기 위해 이미지의 바깥 부분에 띠를 두르고, 이미지의 미세 보정을 위해 띠 바로 안쪽에 ON/OFF 화소(pixel)

<sup>†</sup> 대우일렉트로닉스  
멀티미디어 연구소 DM 연구 2 팀  
E-mail : gijeong@dwe.co.kr  
TEL : (031)428-5332

\* 대우일렉트로닉스  
멀티미디어 연구소 DM 연구 2 팀



Checked Pattern

Fig. 1 Image format

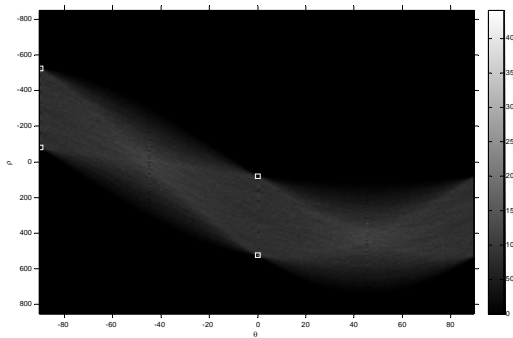


Fig. 2 Hough transform of Fig.1

를 번갈아가며 격자 무늬를 배치한다. 또한, 이미지의 안쪽은 데이터와 함께 싱크 마크 (Sync. Mark)를 배치한다. 데이터는 4 x 4 의 서브블럭 (Subblock)으로 구성되어 있으며 서브블럭 (Subblock)의 ON/OFF 화소(pixel) 개수는 시스템의 상황에 맞게 수정될 수 있다. 이미지의 전체 크기나 싱크 마크 (Sync. Mark)의 개수 또한 시스템의 채널 상황에 따라 변경이 가능하다.

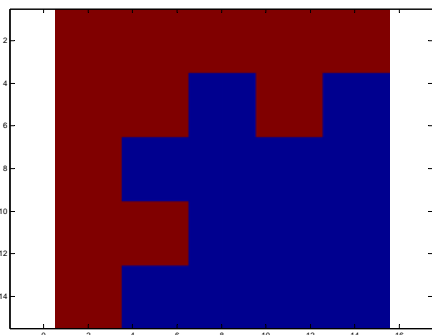


Fig. 3 Reference pattern to find the apex of the image

## 2.2 이미지 보정

CCD 나 CMOS 와 같은 이미지 센서를 통해 측정된 이미지에는 확대, 축소, 회전 등과 같은 광학적 왜곡이 포함되어 있으므로 추출(sampling) 전에 이러한 왜곡을 보정한다. 센서에서 측정된 이미지를 에지 검출(edge detection)과 허프 변환(Hough transform)을 사용하여 이미지의 4 개 꼭지점을 찾아내고 이미지 와핑 기법을 사용하여 이미지를 보정한다.

### 2.2.1 에지 검출(edge detection)

에지(edge)란 이미지의 세기가 크게 바뀌는 화소(pixel)들을 말한다. 에지에 해당하는 픽셀을 구하는 방법을 에지 검출이라고 하며, 현재까지 여러가지 방법이 제안되어 있다. 본 논문에서는 Canny 의 에지 검출방법을 사용한다[6][7].

### 2.2.2 허프 변환(Hough transform)

허프 변환은 영상의 윤곽이나 곡선 또는 직선이 매개변수로 표현되는 경우 그것을 검출해 내는데 사용할 수 있는 방법이다[8][9]. 측정된 이미지의 에지 검출 후, 허프 변환을 사용하여 직선 성분을 검출한 뒤 이미지의 외곽선을 찾아낸다.

### 2.2.3 이미지의 외곽선 및 꼭지점 검출

허프 변환을 이용하여 직선 성분을 찾게 되면 외곽선 외에 다른 직선도 많이 나타난다. 이 직선들중에서 사이각이 90 도에 가장 가까우며 가장 멀리 떨어져 있는 직선들 4 개만을 남겨서 외곽선을 찾는다. Figure 2 에 허프 변환 후 찾아낸 4 개의 직선을 흰색 사각형으로 표시하였으며, 4 개의 외곽선 교점의 위치를 계산하여 사각형의 4 개의 꼭지점 위치를 찾아낸다. 그러나 이렇게 찾아낸 꼭지점 위치는 1 혹은 2 화소(pixel)의 오차를 포함하는 경우가 종종 발생한다. 따라서, 허프 변환으로 찾아낸 4 개의 꼭지점 근방(neighborhood)을 검색하여, Figure 3 과 같이 띠 바로 안쪽의 ON/OFF 화소(pixel)가 번갈아가며 나타나는 격자 무늬와 가장 잘 맞는 꼭지점 위치를 찾아낸다. 이때 격자 무늬의 위치는 공분산(covariance)을 사용하여 계산한다.

### 2.2.4 이미지 와핑(image warping)

이미지 와핑이란 영상을 늘리거나 크기를 조절하는 기하학적인 처리로서 특정 규칙에 따라 입력

이미지를 재추출하는 기법이다[10]. 2.2.3 에서 찾은 4 개의 꼭지점 위치로 이미지의 왜곡을 판단하고 와핑기법을 사용하여 이미지의 확대, 축소, 회전 등과 같은 왜곡을 보정한다. 본 논문에서는 이미지 와핑시 양선형 보간법(bilinear interpolation)을 사용하였다. 영상의 좌표를 나타내는 행렬을 다음과 같이 정의한다.

$$S = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 \\ x'_2 & y'_2 \\ x'_3 & y'_3 \\ x'_4 & y'_4 \end{bmatrix}$$

여기서

- S 왜곡이 없는 이미지의 꼭지점 좌표
- P 현재 이미지의 꼭지점 좌표
- $x_i, x'_i$  꼭지점의 x 좌표
- $y_i, y'_i$  꼭지점의 y 좌표

현재 이미지의 왜곡 상태를 나타내는 와핑 위치 오차 WPE(warping position error)를 다음과 같이 정의하고, 그 크기를 Err(error)로 정의한다.

$$WPE = S - P \quad (1)$$

$$Err = \|WPE\|_2 \quad (2)$$

이미지 와핑시 Err 가 감소하는 방향으로 와핑을 시도하며, 이미지 와핑의 보정 정도는 WPE 와 Err 에 비례하도록 한다. 와핑 이미지를 2.2.1 에서 2.2.3 의 과정을 거쳐서 와핑 이미지의 꼭지점을 검사하고 그때의 Err 값을 다시 계산한 후 Err 값이 0 이 될 때까지 반복해서 이미지를 와핑한다. 본 논문에서는 실제 데이터의 1 화소를 가로 3 화소, 세로 3 화소, 총 9 화소로 사상(mapping)되도록 S 값을 정하였다.

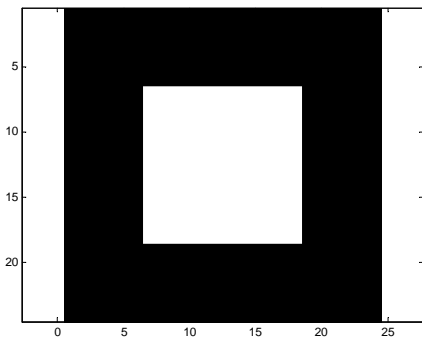
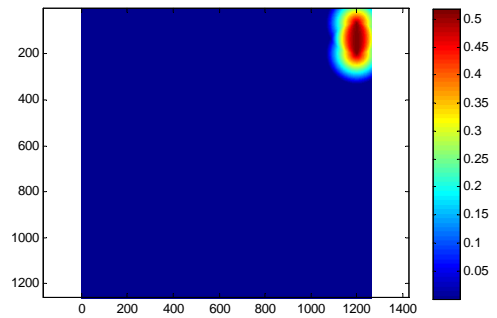
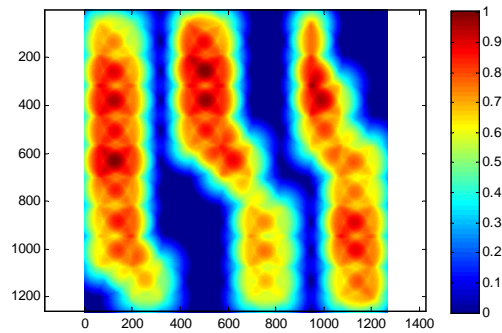


Fig. 4 Sync. Mark of image



(a)



(b)

Fig. 5 Example of SPEM. (a)V-SPEM. (b)H-SPEM

### 2.3 샘플링(sampling)

이미지의 확대, 축소, 회전 등의 왜곡이 제거된 와핑 이미지를 샘플링 한다. 이때 와핑 과정 중 조금의 틀어짐이 발생하거나 광학적인 비선형 왜곡으로 인해 와핑 과정에서 보정이 되지 않은 화소가 존재할 수 있으므로, Figure 4 와 같은 이미지의 싱크 마크(Sync. Mark) 위치를 공분산(covariance)을 사용하여 찾아내고, 샘플링 위치 오차 행렬 SPEM(sampling position error matrix)을 생성한다. SPEM 은 가로 방향의 샘플링 위치 오차 행렬 H-SPEM(Horizontal-SPEM)와 세로 방향의 샘플링 위치 오차 행렬 V-SPEM(Vertical-SPEM)으로 나뉜다. SPEM 을 계산할 때는 원소(element)에서 가까운 4 개의 싱크 마크(Sync. Mark)의 거리에 반비례하고 위치 오차에 비례하도록 원소(element)값을 결정한다. 이렇게 생성된 SPEM 을 사용하여 와핑 이미지를 추출(sampling)해 나간다. 와핑 이미지는 실제 데이터의 1 화소를 가로 3 화소, 세로 3 화소, 총 9 화소로 사상(mapping)되어 있으므로 기본적으로 가운데 화소를 추출(sampling)하고, SPEM 에서 에러가 존재한다면 SPEM 의 값만큼을 이동한 화소를 추출한다.

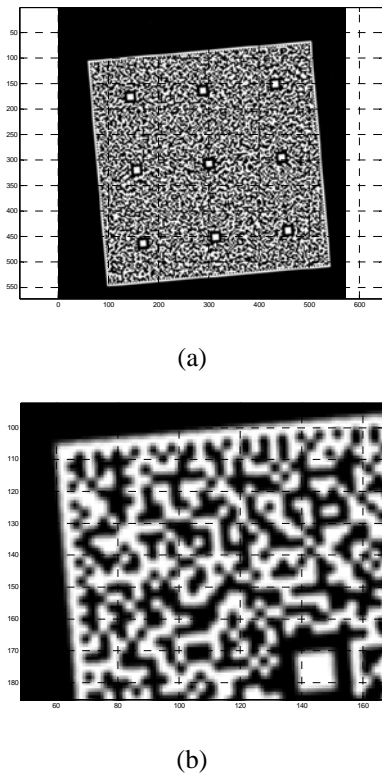


Fig. 6 (a)Simulation image. (b)A part of the image (a)

### 3. 모의 실험

제안된 알고리즘은 Over Sampling 수에 관계없이 사용 가능하다. 예를들어 3 x 3 Over Sampling, 2 x 2 Over Sampling, 2.5 x 2.5 Over Sampling 등 어떠한 Over Sampling 에서도 모두 동작한다. 그것은 제안된 알고리즘이 Over Sampling 자체를 하나의 이미지 확대로 인식하여 처리하기 때문이다

#### 3.1 CCD 이미지(3 x 3 Over Sampling)

모의 실험에서는 Figure 6 과 같이 3 x 3 Over Sampling 이미지를 생성한 뒤, 광학적 이미지의 회전 왜곡을 가정하여 이미지를 회전시켜 제안된 알고리즘에 입력하였다.

#### 3.2 모의 실험 결과

Figure 7 의 (a)와 (b)는 이미지 와핑 기법으로 이미지를 보정한 그림이다. 보정된 이미지는 싱크마크를 사용하여 샘플링 위치를 보정하며 Figure 7 의 (c)와 (d)와 같이 샘플링 된다.

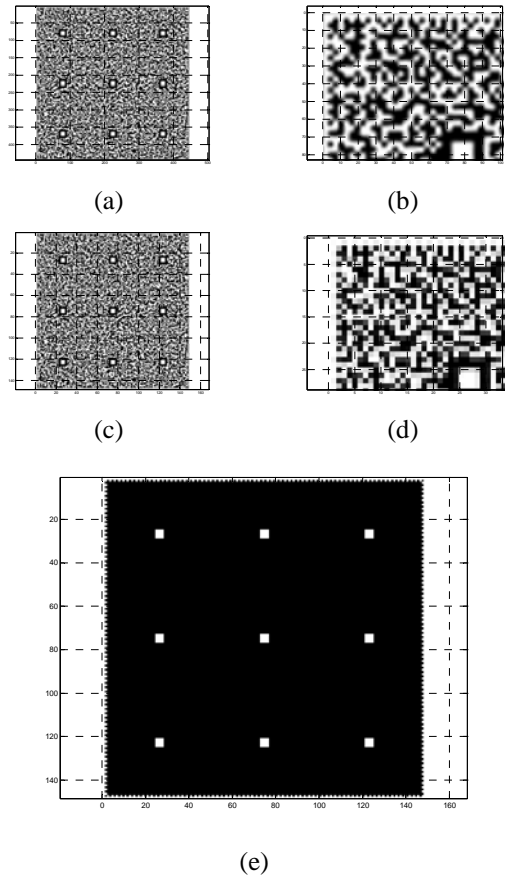


Fig. 7 Simulation result. (a)Compensated image. (b)A part of the image (a). (c)Sampling image. (d) A part of the image (c). (e)Error distribution

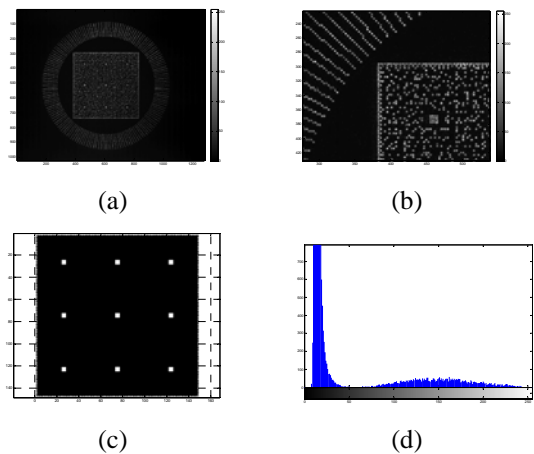
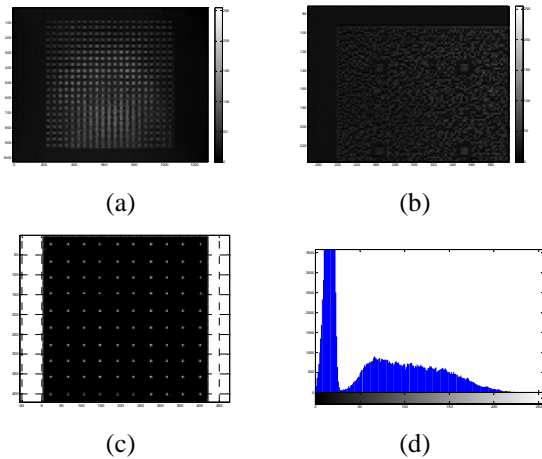


Fig. 8 Experiment result of the Collinear System(3 x 3 Over Sampling) image. (a)Compensated image. (b)A part of the image (a). (c)Error distribution. (d)Histogram of the sampling image



**Fig. 9** Experiment result of the DeProto-II(2 x 2 Over Sampling) image. (a)Compensated image. (b)A part of the image (a). (c)Error distribution. (d)Histogram of the sampling image

Figure 7 의 (e)는 샘플링 이미지를 2 진(binary) 이미지로 변환한 뒤, 원본 이미지와 비교하여 오류 분포를 나타낸 그림이다. 이미지의 외곽선과 격자 무늬, 싱크 마크는 기본적으로 흰색으로 표시하였으며, 데이터 부분에서 오류가 발생한 부분을 흰색으로 표시하였다. 모의 실험 결과 복원된 이미지에 오류가 없음을 확인할 수 있다.

#### 4. 실험

실험은 현재 구성되어 있는 2 가지 서로 다른 시스템에 대해서 진행하였다. 첫번째는 Collinear System 으로 이미지 센서에서 3 x 3 Over Sampling 으로 이미지를 받는다. 두번째는 DeProto-II System 으로 각도 중첩(Angle Multiplexing) 기반이며 이미지 센서에서 2 x 2 Over Sampling 으로 이미지를 받아들인다.

##### 4.1 Collinear System(3 x 3 Over Sampling)

첫번째 실험에 사용된 이미지와 그 결과를 Figure 8 에 표시하였다. 실험결과 전체 약 2 만화소에 대해서 오류가 없음을 확인할 수 있었고, 이때의 SNR 은 약 3.58 정도로 나타났다.

##### 4.2 DeProto-II(2 x 2 Over Sampling)

두번째 실험에 사용된 이미지와 그 결과를 Figure 9 에 표시하였다.

실험결과 전체 약 17 만화소에 대해서 10 화소의 오류(약 0.005%)가 발생하였고, 이때의 SNR 은 약 2.35 정도로 나타났다. 오류 화소의 개수가 전체 화소수에 비해 매우 작으며, 간단한 데이터 정정 알고리즘만으로도 복원이 가능한 수준이다.

### 5. 결론

본 논문에서는 확대, 축소, 회전등과 같은 선형, 비선형 왜곡이 포함된 이미지에서 왜곡을 없애고 원본 데이터를 재현 할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 허프 변환(Hough Transform)을 사용하여 이미지의 외곽선을 찾고, 이미지의 선형 왜곡을 줄이기 위하여 이미지 와핑 기법을 적용하였으며, 이미지의 비선형 왜곡을 보상하기 위하여 이미지의 싱크 마크(Sync. Mark)를 사용하여 샘플링 위치를 보정하였다. 또한 제안된 알고리즘이 이미지의 회전을 보상하며, 2 x 2 Over Sampling, 3 x 3 Over Sampling 에서 좋은 성능을 보이는 것을 모의 실험과 실험을 통해 증명하였다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부가 주관하는 차세대 신기술 개발사업 중 전자부품 연구원이 총괄 관리하는 “차세대 대용량 정보저장장치의 개발” 사업의 지원으로 대우 일렉트로닉스에서 수행되었다. (00008145)

### 참고문헌

- [1] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. G. Paek, 1995, “Volume holographic memory system: techniques and architectures”, Opt. Eng., Vol.34, No.8, pp.2193-2203
- [2] D. Psaltis and F. Mok., “Holographic memories”, Sci .Am., 1995, Vol.273, No.5, pp. 70-76
- [3] D. Psaltis and A. Pu, 1995, “Holographic 3-D Disk”, Optoelectronics, Vol. 10, No. 3, pp. 333-342
- [4] E. Hwang, K. Kim, J. Kim, J. Park, and H. Jung, 2002, “A new efficient error correctible modulation code for holographic data storage”, Jpn. J. Appl. Phy. Vol. 41, pp. 1763-1766
- [5] E. Hwang, J. Roh, , J. Kim, J. Cho, J. Park et al., 2003, “A new two-dimensional pseudo-random

- modulation code for holographic data storage,” Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, pp.1010-1013.
- [6] Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle, 1998, “Image Processing Analysis, and Machine Vision”, ITP
- [7] Emanuele Trucco, Alessandro Verri, 1998, “Introductory Techniques for 3-D Computer Vision”, Prentice Hall
- [8] E. R. Davis, 1987, “A New framework for analyzing the properties of the generalized Hough transform,” Pattern Recognition Letters, vol.6, pp.1-7
- [9] R. D. Duda and P. E. Hart, 1972, “Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures”, Comm. ACM, Vol.15, pp.11-15
- [10] Randy Crane, 1997, “A simplified approach to Image Processing”, Prentice Hall