

홀로그래픽 데이터 저장 장치에서 왜곡된 이미지로부터의 데이터 추출 Data extraction from distorted image in holographic data storage

전승준*, 양병춘, 이병호

서울대학교 전기공학부, 국가지정 홀로그래피 기술 연구실

byoungcho@plaza.snu.ac.kr

홀로그래픽 데이터 저장 장치(holographic data storage)는 1960년대에 이미 아이디어가 출현하였고, 1990년대에 들어서 SLM(spatial light modulator)과 CCD(charge coupled device) 등 관련 기술의 발달과 함께 향후 늘어날 대용량 저장 장치 시장에 대한 전망 등에 힘입어 주목받기 시작하였다. 홀로그래픽 데이터 저장 장치의 중요한 장점은 대용량의 정보를 고속으로 처리할 수 있고, 특히 페이지 단위로는 병렬 접근이 가능하다는 것인데, 이를 위해서 반드시 해결되어야 할 것이 픽셀 매치(pixel-match)이다.

픽셀 매치란 홀로그램으로 기록될 데이터가 입력되는 SLM의 화소(pixel) 하나 하나를 통과한 빛이 홀로그램을 읽어들이는 CCD의 화소 하나 하나에 대응되도록 광학 시스템을 구현하는 것을 말한다. 픽셀 매치가 이루어지지 않았을 때는 일반적으로 SLM으로 입력되는 데이터를 CCD에서 oversampling하여 받아들이는데, 이 때 SLM의 화소 하나에 대하여 CCD 화소의 작은 블록을 할당하는 방법을 사용한다. 이러한 방법을 사용하면 부가적인 후처리 과정이 필요하므로 시스템의 구현이 복잡해지며, 저장 장치의 용량도 oversampling한 만큼 작아지므로 홀로그래픽 데이터 저장 장치 본래의 중요한 장점들을 충분히 살리지 못하는 것으로서 궁극적으로는 픽셀 매치를 구현하여 이러한 방법을 사용하지 않는 것이 바람직하다.

그러나 약 10^6 개 정도의 픽셀들을 정확하게 대응시켜야 하는 픽셀 매치는 실제로 구현하기 쉽지 않은데, 그 이유는 SLM과 CCD의 화소 간격이 일치하지 않고, 특히 해상도가 매우 높은 이미지를 왜곡 없이 처리하기 위해서는 imaging optics에 정확하면서도 공간적으로 균일하지 않은 배율이 필요한데, 이것은 설계와 제작에 비용이 많이 들지 않는 일반적인 광학기기로는 구현할 수 없는 것으로 알려져 있다. 또한 저장 매질의 우수한 특성도 필수적으로 요구되는 조건이며, SLM과 CCD의 위치를 바르게 설정하기 위한 정밀한 stage를 사용하기도 한다. 한편, AOD(acousto-optic deflector)를 사용한 홀로그래픽 데이터 저장 장치에서는 특히 픽셀 매치를 구현하기가 어려워 아직까지 구현된 바가 없는 것으로 알려져 있다.^{(1) (3)}

이러한 사정으로 oversampling 방법을 사용하여야 할 경우가 존재하며, 이 경우도 왜곡을 줄이는 것이 쉽지 않을 때가 많다. 또한 왜곡이 최소화되도록 시스템을 구성하였을 때에서, 시스템에 약간의 변동이 생겨 왜곡이 발생하는 경우도 생각할 수 있다. 본 논문에서는 픽셀 매치가 이루어지지 않고 이미지에 왜곡이 있는 홀로그래픽 데이터 저장 장치 시스템에서 데이터를 읽어낼 때 사용할 수 있는 테크닉 하나를 소개하고자 한다.

먼저 oversampling을 하여 블록들로 구성된 왜곡이 있는 이미지를 그림 1과 같이 모델링한다. 실제로는 왜곡이 있을 때의 경계가 엄밀히 말해 직선이라고 할 수는 없지만 통상적으로 왜곡이 존재할 때에는 전체 이미지의 중심 부분인 경계가 거의 직선인 부분을 사용하므로 이것을 가정하였다.

이러한 이미지 전체를 일차 변환으로 다시 반듯한 직사각형 영역에 매핑하는 것은 어려운 일은 아니지만 시간이 소요되며, 정보의 양은 변함 없이 단지 블록을 추출하는 것이 쉽도록 하는 것이므로 이렇게 하면 overhead가 크다. 다른 방법으로서 이미지는 그대로 두고 왜곡된 경계를 따라 블록을 비스듬히 읽어가는 것을 생각할 수 있는데, 이것이 본 논문에서 소개하려는 방법이다.

그림 1에서 SLM에서 사용한 화소가 $M \times N$ 이라고 할 때, SLM의 (m, n) 화소에 해당하는 블록의 맨 왼쪽 위 점의 좌표는 다음과 같다.

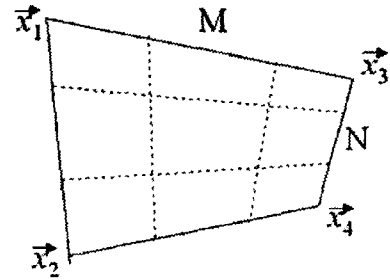


그림 1. 왜곡이 있는 모델링된 이미지

$$\begin{aligned} & \left[\vec{x}_1 \left(1 - \frac{n}{N} \right) + \vec{x}_2 \left(\frac{n}{N} \right) \right] \left(1 - \frac{m}{M} \right) \\ & + \left[\vec{x}_3 \left(1 - \frac{n}{N} \right) + \vec{x}_4 \left(\frac{n}{N} \right) \right] \left(\frac{m}{M} \right) \end{aligned}$$

여기에서 모든 좌표계는 맨 왼쪽 위 점의 좌표가 $(0, 0)$ 이고 가로축은 오른쪽이 양의 방향, 세로축은 아래쪽이 양의 방향이다. (단, $m = 0, 1, \dots, M-1$, $n = 0, 1, \dots, N-1$)

이제 모든 블록들의 경계에 대한 정보를 얻었으므로 각 블록에 속하는 점들의 값을 이용하여 그 블록이 나타내는 비트가 0인지 1인지 알아내서 전체 페이지의 이진 정보를 추출해 낼 수 있다.

발표에서는 이렇게 처리하여 얻은 결과에 대한 분석을 상세히 다룬다.

참고문헌

1. G. W. Burr, J. Ashley, H. Coufal, R. K. Grygier, J. A. Hoffnagle, C. M. Jefferson, and B. Marcus, "Modulation coding for pixel-matched holographic data storage," *Optics Letter*, vol. 22, 639 (1997)
2. R. M. Shelby, J. A. Hoffnagle, G. W. Burr, C. M. Jefferson, M.-P. Bernal, H. Coufal, R. K. Grygier, H. Günther, R. M. Macfarlane, and G. T. Sincerbox, "Pixel-matched holographic data storage with megabit pages," *Optics Letters*, vol. 22, 1509 (1997)
3. J. Ma, T. Chang, S. Choi, and J. Hong, "Digital holographic data storage with fast access," *CLEO/Pacific Rim '99*, FQ1 (1999)