

각도 다중화를 이용한 디지털 홀로그래프의 저장 및 재생에 관한 연구

김영훈^{1*}, 양병춘¹, 이병호¹, 박주연²
¹서울대학교 전기공학부, ²대우전자

Digital holographic memory system using angular multiplexing

Young-Hoon Kim^{1*}, Byungchoon Yang¹, Byoungho Lee¹, and Joo-Youn Park²,
¹School of Electrical Engineering in Seoul Nat'l Univ., ²Daewoo Electronics

Abstract - The volume holographic memory system suffers from the crosstalk noise. We study use of error correction coding(ECC) and angular multiplexing for digital holographic memory(DHM) system. The analog image is encoded to binary images by ECC. Binary images are stored using angular multiplexing in DHM. The retrieved binary images are decoded by ECC. The bit error-rate is measured for perspective of the DHM system.

1. 서 론

차세대 메모리의 유력한 후보로서 홀로그래픽 기술을 이용한 광메모리 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존 메모리에 비해 고밀도의 데이터 저장 용량과 빠른 데이터 접근, 전송 속도 등의 장점으로 인해 비교적 용량이 큰 영상정보의 저장 및 관독에 유리하다. 그러나 오늘날의 멀티미디어 응용 분야에서는 문자, 데이터, 음성 그리고 영상 등의 다양한 정보들이 혼합되어 사용되므로 홀로그래픽 메모리 시스템의 디지털화가 이루어져야 한다. 또한, 데이터 저장 밀도가 높아질수록 여러 가지 원인으로 인한 에러 발생률이 커지게 되고 이로 인해 메모리 시스템으로의 응용이 많은 제약을 받고 있다. 발생하는 노이즈의 종류로는 shot 노이즈나 speckle 과 같은 광원에서 일어나는 노이즈와 저장된 데이터 사이의 interpage interference(IPI)로 인한 노이즈, intersymbol interference(ISI)로 인한 노이즈, 그리고 저장매체의 photovoltaic damage와 비선형성 등으로 인한 노이즈가 있다.[1] 이러한 노이즈들은 random하게 발생하기 때문에 기존의 아날로그 메모리 시스템은 이러한 노이즈로 인한 재생 정보의 손실을 막기가 매우 어렵다는 단점이 있다. 그러므로 저장된 정보의 신뢰성을 높이기 위해 발생하는 에러의 정정이 필수적이다. 이에 에러 정정 코딩을 이용하여 부호화된 이진 영상을 저장, 복원하여 에러 발생률을 줄이고 노이즈로 인한 에러를 정정하는 디지털 홀로그래픽 메모리 시스템을 구성하였다.

2. 본 론

2.1 홀로그래픽 메모리 시스템

각도 다중화를 이용한 홀로그래픽 시스템이 그림 1에 나타나 있다. 광원으로는 532nm의 제 2고조파 NdYag laser를 사용하였으며 beam splitter로 기준 빔(reference beam)과 물체 빔(object beam)으로 나뉘어진다. 이진화된 데이터는 공간 광 변조기(spatial light modulator)에 띄워져 beam expander를 통과한 물체 빔에 실려 광굴절 물질에서 기준 빔과 교차한다. 공간 광 변조기로는 640×480의 LCD panel이 사용되었으며 광굴절 물질로는 0.03% Fe 도핑된 1cm³ LiNbO₃를 사용하였다. 각도 다

중화는 microstepping motor를 이용하여 광굴절 물체를 회전 시켜 물체 빔과 기준 빔의 입사각을 조절함으로써 구현하였으며 control 가능 한 최소 각도는 0.00288° 이다. 재생 시에는 물체 빔을 막고 기준 빔만을 사용하였을 때 CCD 카메라로 영상을 capture하였다. 이때 CCD 카메라의 픽셀 수는 640×480 이다.

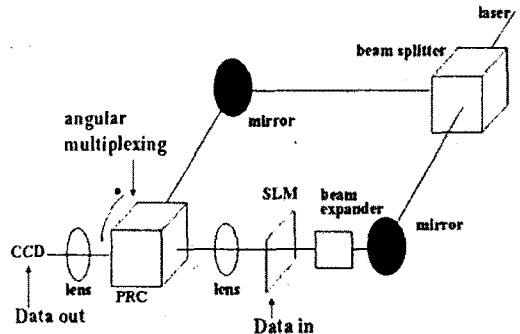


그림 1. 각도 다중화를 이용한 홀로그래픽 메모리 시스템.

2.2 에러 정정 코딩

홀로그래픽 메모리 시스템에서 발생하는 에러는 매우 다양하다. 국소적으로 발생하는 에러와 random 하게 발생하는 에러를 모두 검출하고 정정하기 위하여 많이 사용되고 있는 에러 정정 부호가 Reed-Solomon(RS) 부호이다. RS 부호는 복수개의 에러를 최소 개수의 redundant 심볼을 이용하여 정정할 수 있는 대단히 우수한 에러 정정 방식이나 복호가 어렵기 때문에 최근에는 실용적인 응용이 시작되고 있다. RS 부호는 데이터 통신이나 CD(Compact Disc) 등과 같은 데이터 저장시의 에러 정정도 많이 사용되고 있으며 최근에는 디지털 방식의 HDTV 신호의 전송은 물론 DVD(Digital Versatile Disc)에도 채택되고 있다.

2.2.1 RS 부호

일반적으로 RS부호는 RS(N,I)로 표시되는데 이러한 표현이 의미하는 바는 다음과 같다. 한 프레임은 모두 N개의 심볼들로 구성되며 이 중에서 I개는 메시지, 나머지 (N-I) 개는 패리티를 나타내는 심볼이다. 각각의 심볼은 m비트로 구성되어 있는데 영상정보의 경우 한 픽셀의 정보가 8비트 단위로 나타내어지므로 m=8이 된다. 이때 에러 정정 능력은 t = (N-I)/2 가 된다.

복호시에는 신드롬 다항식을 구하고 이를 이용해 Key equation을 풀게 되는데 현재 알려져 있는 가장 효과적인

방법은 유클리드 알고리즘이다. 유클리드 알고리즘이란 주어진 두 정수의 최대 공약수를 쉽게 찾는 방법이다. 그런데 이 과정에서 반드시 나눗셈 연산이 필요하게 되므로 매우 복잡하다. 이런 문제점을 해결하기 위해 실제로 나눗셈 연산을 하지 않고 곱셈과 덧셈만으로 나눗셈을 구현할 수 있다. 이를 수정 유클리드 알고리즘이라 하며 이 알고리즘을 복호에 이용하였다.[2]

2.3 실험 및 결과

2.3.1 RS 부호화

그림 2는 아날로그 입력 영상으로 쓰인 Lena 영상이다. 이 영상의 한 픽셀의 정보가 RS 부호에서의 한 심볼이 된다. RS(84,64) 부호로 인코딩 한 결과를 이진화하여 그림 3에 나타내었다.



그림 2. 입력 영상 (64×64 Lena image : 2배 확대).



그림 3. RS 부호를 이용해 인코딩 된 이진 영상 (84×64 : 4배 확대).

2.3.2 각도 다중화 실험

RS 부호화 된 이미지를 이진화하게 되면 8배로 데이터가 늘어나게 되므로 위와 같은 이진 영상이 8 page가 생기게 된다. 이 page를 각각 각도 다중화를 이용해 저장, 복원하는 실험을 수행하였다. 이때 픽셀 당 1bit의 데이터가 들어가 있으므로 직접 저장을 할 경우 SLM과 CCD의 정확한 pixel match가 요구된다.[3] 이를 보완하기 위해 6배로 확대한 후 저장하였으며 이를 다시 복원한 이미지는 그림 4와 같다.

2.3.1 이미지 processing

재생된 영상은 그림 4와 같이 국소적으로 흐려지거나 밝은 부분이 번진 노이즈가 포함된 영상을 얻게 된다. 또한 광학계의 영향으로 180° 회전되어 나타나며 정밀한 광학계의 조정이 어렵기 때문에 약간 rotation된 이미지를 얻는다. 이를 원래의 이진 영상으로 복원하기 위해서 이미지 processing이 필요하다. 이미지 프로세싱을

통해 영상의 회전과 크기 조정이 필요하며 다시 이진 영상으로 만드는 작업도 수행되어야 한다. 디지털 홀로그래프 메모리 시스템을 구성하기 위해 이러한 영상을 다른 image processing program을 거치지 않고 순차적으로 이미지 처리와 디코딩이 이루어질 수 있도록 프로그램을 구현하였으며 이 시스템을 이용해 재생된 영상을 그림 5에 나타내었다.



그림 4. 각도 다중화를 통해 저장 복원한 이진 영상 (640×480 : 0.7배).



그림 5. 이미지 처리를 통해 복원된 이진 영상 (84×64 : 4배 확대).

2.3.4 RS 복호화

재생된 영상은 원래의 인코딩된 이진 영상과 비교해 볼 때 약 0.5%의 에러를 나타내었으며 이 에러는 RS 복호시 충분히 정정이 가능하다. 이론적으로 RS(84,64) 부호는 모든 에러가 random하게 퍼지는 경우 1.488% 정도의 에러를 복구할 수 있으며 에러가 집중되거나 parity 심볼을 조정한다면 더 나은 정정 능력을 가질 수 있다. 이론적인 page 당 에러 정정 능력은 다음과 같다.

$$\text{에러 정정 능력} = \text{page당 bit} / m * (t / N)$$

$$\text{에러 정정 rate} = \text{에러 정정 능력} / \text{page당 bit}$$

2.3.5 데이터 처리 시간

RS 부호화는 매우 빠른 시간에 구현이 가능하며 64×64 아날로그 이미지를 RS 부호화 하는 경우 1초 미만의 시간이 필요하다. 재생된 이진 데이터를 복호하는 경우 8 page 의 이진 영상을 실험을 통해 재생하였으며 이를 이미지 처리를 거쳐 복호하여 원래의 이미지를 재생하는데 까지 경과한 시간은 약 20초였으며 하드웨어로의 구현이 이루어진다면 부호화와 복호화에 더욱 빠른 데이터 처리 시간이 걸릴 것으로 생각된다. 이러한 점이 보완된다면 예러 정정 능력이 뛰어난 디지털 홀로그래프 메모리 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 각도 다중화와 예러 정정 부호를 이용한 디지털 홀로그래프 시스템을 구성하였다. 예러정정 부호로는 8bit 단위의 RS 부호를 사용하였으며 이를 이진화한 데이터를 각도 다중화로 저장, 복원하였다. 재생된 이진 데이터는 1% 미만의 에러를 나타내었으며 이는 RS 복호시 예러 정정이 가능하다. 그러므로 이러한 디지털 홀로그래프 메모리 시스템을 이용하면 데이터 저장, 복원시 일어나는 에러를 정정할 수 있게됨은 물론 영상 정보 뿐만 아니라 음성, 데이터 등의 여러 가지 정보를 홀로그래프 메모리 시스템에 적용할 수 있다. 다만 원래의 정보에 예러 정정을 위한 패리티 정보가 덧붙게 되므로 그로인한 데이터 량의 증가와 이미지 프로세싱으로 인한 데이터 처리 시간의 문제는 SLM과 CCD 간의 pixel match가 이루어진다면 충분히 해소될 것이다.

- [1] W.-C. Chou and M. A. Neifeld, "Interleaving and error correction in volume holographic memory systems," *Appl. Opt.*, 37, 6951-6968, 1997.
- [2] H. M. Shao and I. S. Reed, "On the VLSI design of a pipeline Reed-Solomon Decoder using systolic arrays," *IEEE Trans. Comput.*, 37, 1273-1280, 1988.
- [3] R. M. Shelby, J. A. Hoffangle, G. W. Burr, C. M. Jefferson, M.-P. Bernal, H. Coufal, R. K. Grygier, H. Gunther, R. M. Macfarlane, and G. T. Sincerbox, "Pixel-matched holographic data storage with megabit pages," *Opt. Lett.*, 22, 1509-1511, 1997.