

Hybrid 코딩과 영상압축방법을 이용한 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템의 구현

최안식 · 백운식

경희대학교 전자공학과

(1999년 7월 28일 받음, 2000년 5월 16일 수정본 받음)

본 논문에서 높은 에러 정정 성능을 갖는 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템을 구현하였다. 에러 정정 성능을 높이기 위해서, 비트에러 정정 능력을 갖고 있는 Hamming(12, 8, 1) 코드와 산발 및 연집에러 정정 능력이 뛰어난 Reed-Solomon 코드로 구성된 hybrid 코딩기법을 채용하였다. 입력 데이터로는 Lena 영상(256×256 bytes)을 채택하였으며, 영상압축기법(JPEG)을 도입하였다. Hybrid 코딩과 영상압축기법을 조합한 광메모리 시스템의 실험결과가 제시되었다.

OCIS codes : 070.0070, 210.0210.

I. 서 론

컴퓨터의 급속한 보급과 멀티미디어 매체사용의 보편화로 테라바이트급 이상의 정보를 저장할 수 있는 저장매체의 필요성이 절실히 요구되고 있다.^[1] 현재는 자기 또는 광디스크 그리고 반도체 메모리 등이 사용되고 있으나, 그 기술적 한계성이 드러남에 따라 차세대 대용량 메모리의 유력한 후보로서 병렬로 데이터를 처리할 수 있는 3차원 홀로그래픽 광메모리가 대두되고 있다.^[1-5] 홀로그래픽 광메모리는 2차원의 페이지 형태로 데이터 입·출력이 가능하므로 높은 전송속도를 이룰 수 있으며, 저장매체가 3차원 결정이므로 각/공간/위상/파장 다중화 방법, 혹은 혼합다중화 방법으로 저장 용량의 극대화를 이룰 수 있다.^[5]

차세대 대용량 데이터 저장장치로 부각되고 있는 디지털 홀로그래픽 데이터 저장장치의 실용화를 위해서는 고밀도의 저장용량과 고속의 데이터 전송율은 물론이고 저장/판독되는 데이터의 높은 신뢰성이 요구되어진다. 현재 대부분의 홀로그래픽 광메모리는 10^{-4} 정도의 raw BER(bit-error-rate)을 목표로 하고 있으며, 상업적 메모리 시스템은 10^{-15} 의 BER이 요구되어지고 있다.^[2,4,7] 순수한 광학시스템의 고성능화만으로는 상용메모리의 BER 성능을 충족시킬 수 없기 때문에,^[2] 본 논문에서는 홀로그래픽 광메모리의 성능지표중 하나인 BER 개선의 목적으로 전처리와 후처리 과정에 hybrid 코딩기술을 도입한 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템을 구현하였다. 또한 홀로그래픽 광메모리 시스템의 저장 용량을 극대화하기 위해 전처리과정은 영상정보(256×256 bytes)를 압축알고리즘^[10,11](본 논문 JPEG 사용)을 이용하여 압축을 20.5765로 압축한 데이터를 Reed-Solomon(RS) 인코딩^[6-9]연집에러와 산발에러 정정 능력을 갖고 있는 하였고, 그리고 비트에러 정정 능력을 갖고 있는 Hamming(12, 8, 1) 코딩기법^[8]을 사용하여 에러 정정 능력을 극대화시켰다. 후처리과정에서는 역의 과정을 수행함으로써 광메모리 시스템에서 발생한 에러를 정정하고, 복원과정을 통하여 원영상(256×256 bytes) 정보를 재현하는 디지털

홀로그래픽 광메모리 시스템을 실험을 통하여 입증해 보았다.

II. 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템

홀로그래픽 광메모리 시스템은 다음과 같이 동작한다. 그림 1에서 레이저로부터 방출된 빔은 빔 분할기(beam splitter)에 의해 물체빔(object beam)과 기준빔(reference beam)으로 나누어진다. 물체빔은 입력영상이 실린 SLM을 통과한 후, 광굴절 결정 Fe:LiNbO₃에 초점이 맞추어지고, 기준빔과 교차하므로써 간섭패턴을 생성하게 된다. 이러한 영상정보가 실린 물체빔과 기준빔의 교차에 의해 생성된 간섭패턴이 광굴절 결정내에 기록되어진다.^[1-3]

디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템의 구성은 입력영상을 그대로 저장하는 대신, 디지털 코딩기법을 적용하여 입력영상 각 화소의 그레이레벨(0~255레벨) 값을 이진수로 코딩하여 '0'은 투과계수가 최저(0)인 정방향 윈도우로, '1'은 투과계수가 최대(1)인 정방향 윈도우를 생성하여, 바둑판 무늬와 같은 영상을 저장하고, 판독된 바둑판 무늬를 컴퓨터에 의해 디코딩하므로써 원래 영상을 재현하는 시스템이다.^[2,4] 그림 1은 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템의 구성도를 보이고 있다.

그림 2는 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템에서 입력영상으로 적용하기 위해 실행한 RS 인코딩과 Hamming 인코딩된 이진영상의 예를 나타낸 것이다.

입력영상을 그대로 저장·판독하는 대신, 위의 그림 2에서 처럼 컴퓨터에 의해 부호화된 이진영상을 저장·판독하는 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템은 이진영상의 각 픽셀의 그레이레벨 값이 0이거나 255이므로, 판독시 에러가 발생할 확률이 대단히 적다. 또한 디지털 코딩기법을 이용하므로 에러가 발생할 경우 복원하는 과정에서 에러 정정이 가능하므로 복원영상의 획기적인 화질개선을 도모할 수 있다.^[3]

본 디지털 홀로그래픽 데이터 저장시스템에서는 에러 정정 코드가 데이터 페이지에 첨가되어 전체 데이터 저장용량을 감소시키는 요인이 되나, 낮은 BER를 얻기 위해서는 필수불가

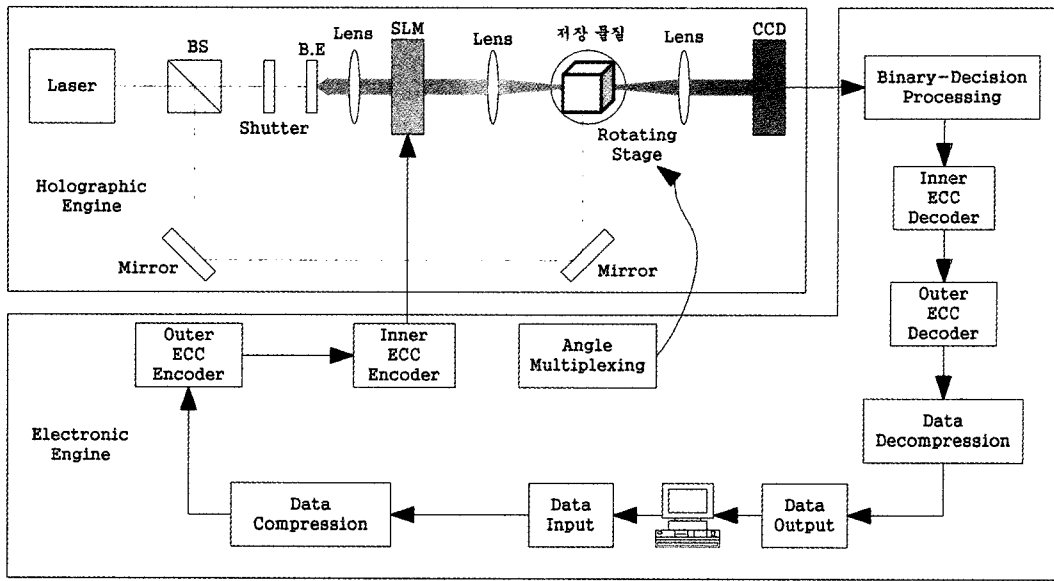


그림 1. 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템의 구성도.

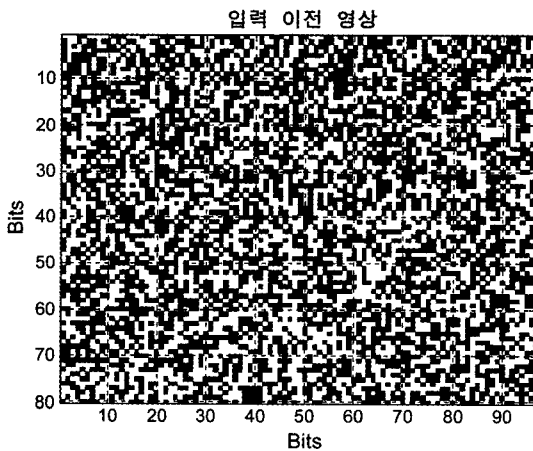


그림 2. 광메모리 시스템의 입력영상의 예.

결한 것이다. 코딩기법을 사용하면, 저장되는 n -심볼(symbol) 코드워드안에 k 개의 정보 심볼이 첨가되고 나머지는 에러를 검출하고 교정하기 위한 패리티 체크 디지털이 된다. 그러므로, 코드율을 R 로 표시하면,^[7-9]

$$R = \frac{k}{n} \quad (1)$$

로 표현된다.

홀로그래피 기술을 이용한 광메모리는 페이지(page)의 형태로 데이터가 저장·복원된다. 또한 이 시스템은 특히 기록매체로서 광굴절 결정(photorefractive crystal)과 같은 3차원 매질을 채택함으로써 고밀도의 데이터 저장용량의 실현이 가능하다. 이러한 3차원 기록매질의 특성을 충분히 활용하기 위해서, 각각의 입력영상의 기록시 3차원 기록매질을 일정한 각도로 회전시키면서 영상정보를 기록하는 각 다중화(angular multiplexing)기법을 사용하면 고밀도의 영상저장을 실현할 수

있게 된다.^[4,5] 한편, 저장된 영상들의 복원시에는 기록시 사용된 각도를 되찾음으로써 본래의 영상을 복원할 수 있게 된다.

III. Hybrid 코딩기법에 적용된 코딩 알고리즘

본 실험에서, 이진영상의 저장과 판독과정에서 필연적으로 수반되는 에러를 정정하기 위해 광메모리 시스템에 입력되는 입력영상을 코딩하는 과정에서 채택한 Hamming(12, 8, 1) 비트에러 정정 코딩기법과 RS 바이트에러 정정 코딩기법의 인코딩과 디코딩 알고리즘에 대해서 소개한다.

3.1. Hamming(12, 8, 1) 코딩기법^[8]

비트에러 정정 코딩기법에는 Hamming 코드, 이진(binary) BCH 코드 등이 있다. 본 논문에서는 광메모리 시스템에 적용할 목적으로, 12비트 중 1비트의 에러를 정정할 수 있는 Hamming(12, 8, 1) 알고리즘을 실험에 적용하였다.

3.1.1 Hamming(12, 8, 1) 인코딩 알고리즘

Hamming[12(데이터+체크 비트), 8(데이터 비트)]에 대한 생성다항식 $g(x) = 1+x+x^4$ 를 선택하여, 생성다항식 $G = k \times n$ 의 행렬로 표시한다. 여기에서, $k=8$, $n=12$ 가 된다. 이 형태를 systematic 형태 G' 로 나타낼 수 있으며, $u = (u_0, u_1, \dots, u_7)$ 가 데이터 비트일때, 인코딩된 데이터 $v = u \cdot G'$ 가 된다.

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 1100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 01100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 001100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 0001100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 00001100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 000001100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 0000001100 & 1000 & 0000 \end{bmatrix}, G' = \begin{bmatrix} 1 & 100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 1100 & 1000 & 0000 \\ 0 & 01100 & 1000 & 0000 \\ 1 & 10 & 1000 & 1000 \\ 1 & 0100 & 0000 & 1000 \\ 0 & 10100 & 0000 & 1000 \\ 1 & 11100 & 0000 & 0010 \\ 0 & 11100 & 0000 & 001 \end{bmatrix} \quad (2)$$

데이터 비트(8 bit) 체크 비트(4 bit)

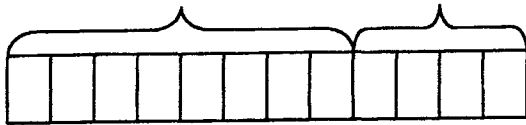


그림 3. Hamming(12, 8, 1) 인코딩 개념도

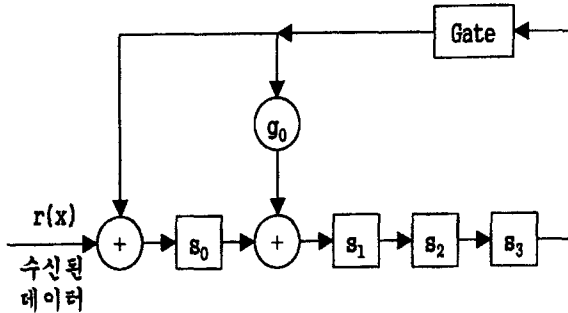


그림 4. Hamming(12, 8, 1) 코딩의 오증 구성도

인코딩된 데이터를 나타내면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

3.1.2 Hamming(12, 8, 1) 디코딩 알고리즘

디코딩과정에서는 시스템에 발생하는 잡음의 영향으로 에러가 첨가된 신호를 $r = v + e$ 라 하면, e 는 에러신호가 된다. 디코딩과정에서는 에러분포에 따른 오증(syndrome)을 구성하고, 오증의 형태에 따라 1비트 에러 정정을 행하게 된다. 단, 2비트 이상의 에러시에는 정정이 불가능하다. 그림 4는 Hamming(12, 8, 1) 코딩의 오증 구성도를 나타낸 그림이다.

3.2. RS 코딩 알고리즘^[8]

RS부호는 비2진(nonbinary) BCH부호의 한 범주에 속하며 Galois체 $GF(q)$ 의 원소로 부호어가 구성되고 $GF(q)$ 상의 심볼 단위로 부호화가 복호되기 때문에 통신선로상에서 발생하는 산발에러(random error)와 연집에러(burst error)를 모두 정정할 수 있어서 각종 디지털 통신 시스템 및 데이터 저장 시스템의 신뢰성 향상 대책으로 광범위하게 사용되고 있다. RS 부호는 q 개의 원소를 갖는 $GF(q)$ 로 표현되는 블럭이다. 여기에서는 $q = 2^m$ 인 경우만을 고려한다. $GF(2^m)$ 의 각 원소는 m 개의 비트로 이루어져 있으며 (n, k) RS 부호의 에러 정정 능력이 t 라 하면

$$\begin{aligned}
 &\text{부호장} : n = 2^m - 1 \text{ (symbols)} = m(2^m - 1) \text{ (bits)} \\
 &\text{정보장} : k = n - 2t \text{ (symbols)} = m(n - 2t) \text{ (bits)} \\
 &\text{검사장} : 2t = n - k \text{ (symbols)} = 2tm \text{ (bits)} \\
 &\text{최소거리} : d_{\min} = 2t + 1
 \end{aligned} \tag{3}$$

의 변수를 갖는 RS 부호가 된다.

3.2.1 생성다항식 및 RS 인코딩 알고리즘

$GF(2^m)$ 에서 α 가 primitive element라고 하자. 그러면 $2^m - 1$ 길이에 대한 t 에러 정정 RS 코드의 생성다항식은

$$g(X) = \prod_{i=1}^{2 \times t} (X + \alpha^i)$$

$$g(X) = (X + \alpha^1)(X + \alpha^2) \times (X + \alpha^3) \dots (X + \alpha^{2 \times t})$$

$$g(X) = g_0 + g_1X + g_2X^2 + \dots + g_{2t-1}X^{2t} \tag{4}$$

으로 표현되고, 여기서 $g(X)$ 는 모든 근으로 $\alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{2t}$ 를 가지며 $GF(2^m)$ 중에서 계수를 가진다.

정보다항식은

$$a(X) = a_0 + a_1X + \dots + a_{k-1}X^{k-1} \tag{5}$$

가 된다.

Systematic form에서 $2t$ 패리티체크 디지털들은 $X^{2t}a(X)$ 를 생성다항식 $g(X)$ 으로 나눈 나머지의 계수들이 된다. 즉, 패리티체크 다항식은

$$b(X) = b_0 + b_1X + \dots + b_{2t-1}X^{2t-1} \tag{6}$$

가 되고, RS 부호의 인코딩 다항식 $v(X)$ 는 아래 수식과 같다.

$$v(X) = a(X)X^{2t} + b(X) \tag{7}$$

3.2.2 RS 디코딩 알고리즘

① 오증 계산

전달된 코드 벡터를

$$v(X) = v_0 + v_1X + \dots + v_{n-1}X^{n-1} \tag{8}$$

이라 하고, 수신된 벡터를 $r(X)$ 이라고 하면

$$r(X) = r_0 + r_1X + r_2X^2 + \dots + r_{n-1}X^{n-1} \tag{9}$$

이 되고, 채널에서 더해진 에러 패턴은

$$e(X) = r(X) - v(X) = e_0 + e_1X + \dots + e_{n-1}X^{n-1} \tag{10}$$

가 된다.

여기서, $e_i = r_i - v_i$ 는 $GF(2^m)$ 에 의한 심볼이고 $0 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_v \leq n-1$ 인 $X^{j_1}, X^{j_2}, \dots, X^{j_v}$ 의 위치에서 에러 패턴 $e(X)$ 가 v 에러를 포함한다고 가정하면

$$e(X) = e_{j_1}X^{j_1} + e_{j_2}X^{j_2} + \dots + e_{j_v}X^{j_v} \tag{11}$$

이다. 그러므로, $e(X)$ 를 결정하기 위해 에러 값 e_i 들과 에러 위치 X^{j_l} 를 알 필요가 있다. $\beta_l = \alpha^{j_l}$ ($l = 1, 2, \dots, v$)를 에러 위치 수들(error-location numbers)로 정의하면, $2t$ 에 대한 오증 요소들이 아래 수식으로 표현되며, 에러가 없다면 S_i 는 모두 0이 된다.

$$\begin{aligned}
 S_1 = r(\alpha) &= e_{j_1}\beta_1 + e_{j_2}\beta_2 + \dots + e_{j_v}\beta_v \\
 S_2 = r(\alpha^2) &= e_{j_1}\beta_1^2 + e_{j_2}\beta_2^2 + \dots + e_{j_v}\beta_v^2 \\
 &\vdots \\
 S_{2t} = r(\alpha^{2t}) &= e_{j_1}\beta_1^{2t} + e_{j_2}\beta_2^{2t} + \dots + e_{j_v}\beta_v^{2t}
 \end{aligned} \tag{12}$$

($i = 1, 2, 3, \dots, 2t$)

② 에러 위치 다항식(Berlekamp algorithm)

- i) 만일 $d_\mu = 0$ 이면, $\sigma^{(\mu+1)}(x) = \sigma^{(\mu)}(x)$ 이고, $l_{\mu+1} = l_\mu$ 이다.
- ii) 만일 $d_\mu \neq 0$ 이면, 지금까지 진행된 줄에서 $\mu - l_\mu$ 가 가장 큰 줄을 찾는다. 그 줄의 μ 를 ρ 라고 하면,

표 1. 에러 위치 다항식 $s(X)$ 를 구하기 위한 Iterative Algorithm

μ	$\sigma^{(\mu)}(X)$	d_μ	l_μ	$\mu - l_\mu$
-1	1	1	0	-1
0	1	S_1	0	0
1				
⋮				
2t				

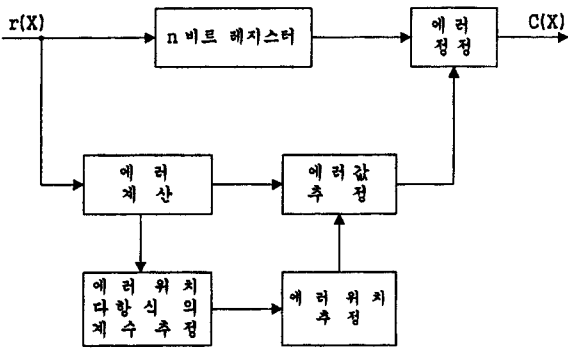


그림 5. RS 복호기의 블럭도.

$$\sigma^{(\mu+1)}(X) = \sigma^{(\mu)}(X) - d_\mu d_\rho X^{\mu-\rho} \sigma^{(\rho)}(X)$$

$$l_{\mu+1} = \max[l_\mu, l_\rho + \mu - \rho]$$

$$d_{\mu+1} = S_{\mu+2} + \sigma_1^{(\mu+1)} S_{\mu+1} + \dots + \sigma_{l_{\mu+1}}^{(\mu+1)} S_{\mu+2-l_{\mu+1}}$$

$$d^{(\mu+1)}(X) = 1 + \sigma_1^{(\mu+1)} X + \sigma_2^{(\mu+1)} X^2 + \dots + \sigma_{l_{\mu+1}}^{(\mu+1)} X^{l_{\mu+1}} \quad (13)$$

$\mu = 2t$ 인 줄의 $\sigma(X)$ 가 에러 위치 다항식이 된다.

③ 에러 위치 판별

$\sigma(X) = 0$ 가 되는 X 의 값을 구한다. X 는 1에서부터 255의 범위를 가지며, $\sigma(X) = 0$ 가 되는 X 값의 역수가 에러의 위치가 된다.

④ 에러 값 계산

에러의 위치에서 에러의 값을 계산하기 위해서

$$Z(X) = 1 + (S_1 + \sigma_1)X + (S_2 + \sigma_1 S_1 + \sigma_2)X^2 + \dots + (S_v + \sigma_1 S_{v-1} + \sigma_2 S_{v-2} + \dots + \sigma_v)X^v \quad (14)$$

여기서, $\beta_i = \alpha^i$ 라 하면

$$e_j = \frac{Z(\beta_j^{-1})}{\prod_{i=1, i \neq j}^v (1 + \beta_i \beta_j^{-1})} \quad (15)$$

이 된다.

⑤ 에러 정정

에러 정정은 수신된 정보에 에러 값을 빼면 된다. 즉,

$$C(X) = r(X) - e(X) \quad (16)$$

이 되며, RS 부호의 일반적인 복호기를 블럭도로 나타내면 그림 5와 같다.

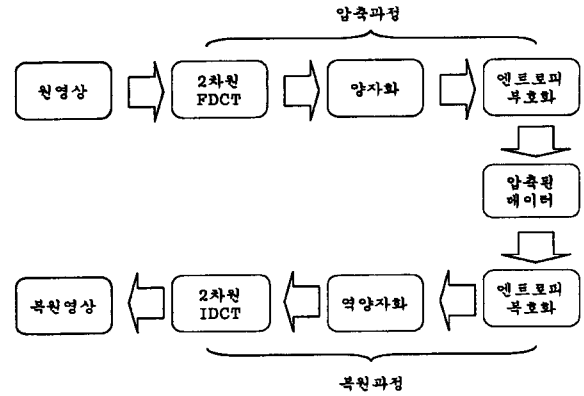


그림 6. JPEG 베이스라인 시스템의 압축 및 복원과정의 블럭도.

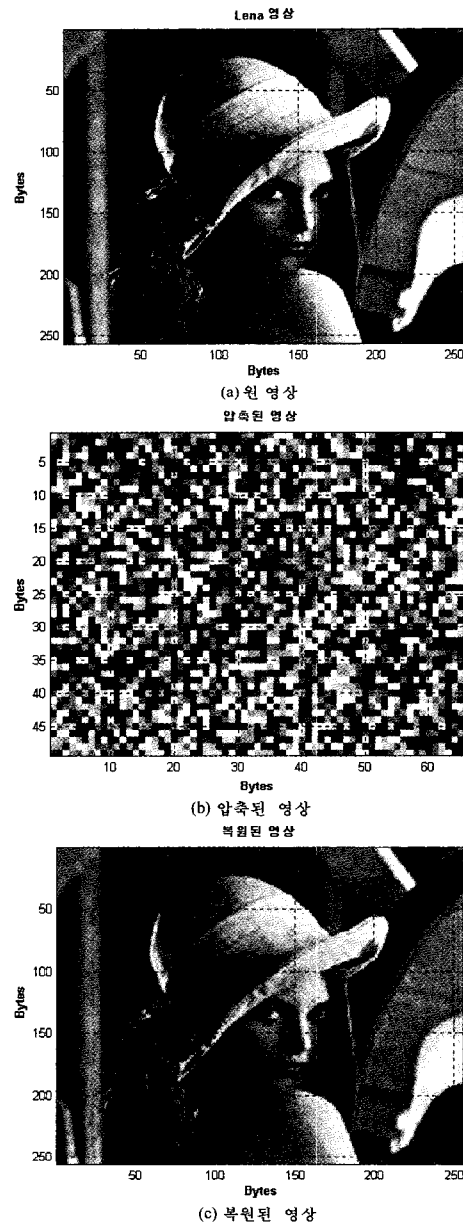


그림 7. 영상 압축과 복원과정의 시뮬레이션 결과.

IV. 정지영상의 압축 알고리즘(JPEG)

본 실험에서, 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템에서 적용한 정지영상의 압축알고리즘 JPEG를 소개한다.

4.1. JPEG 베이스라인 시스템^[10,11]

JPEG 베이스라인 모드는 크게 압축(compression)과정과 복원(decompression)과정의 두 부분으로 구성된다. 압축과정은 원영상을 입력 받아서 압축을 행하는 기능을 수행하고, 복원 과정은 압축된 파일을 읽어서 원영상을 만들어 주는 기능을 한다. 이들은 서로 대칭적인 구조를 가지고 있는데, 압축과정은 입력영상을 8×8크기의 블록으로 나누어 주는 세그멘테이션 과정을 거친후 DCT변환, 양자화, 허프만 부호화의 단계를 수행하고, 복원과정에서는 압축된 파일을 읽어들이 허프만 디코딩, 역양자화, IDCT변환을 거치게 되면 복원된 영상이 만들어진다. 그림 6은 JPEG 베이스라인 시스템의 블록도를 보여준다.

4.2. 압축알고리즘을 이용한 시뮬레이션 결과

JPEG 베이스라인 시스템의 압축과정과 복원과정을 통하여 얻어낸 시뮬레이션 결과가 그림 7에 나타나 있다. 7(a)는 원영상이고, 7(b)는 원영상을 압축과정을 통하여 압축율 20.5765로 압축한 결과를 보여주며, 그림 7(c)는 압축된 7(b)를 복원과정을 통하여 얻어진 그림이다. 여기에서 압축율의 정도는 양자화과정에서 양자화 스텝 사이즈(Q)에 의해서 결정된다. 본 논문에서는 Q=4로 설정하였으며, 이때 압축된 데이터 7(b)는 3185 bytes를 가지는 영상이다. 즉 7(b) 데이터를 에러정정 코딩기법을 이용하여 광메모리에 저장·복원하므로써 여러 정정 능력이 뛰어난 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템을 구현할 수 있다.

최종적으로 hybrid 코딩기법과 압축기술의 접목으로 정지영상을 저장·복원하는 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템의

데이터 흐름도를 나타내면 그림 8과 같다.

V. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 광원은 Coherent사의 출력이 100 mW 인 Diode-pumped Nd:YAG 레이저($\lambda = 532 \text{ nm}$)이고, PC를 통하여 소프트웨어적으로 인코딩된 데이터 입력은 Epson사의 SLM(800×600 pixels)을 사용하였으며, SLM의 contrast ratio는 100:1이고, 영상 출력은 Costar사의 CCD(640×480 pixels) 카메라로 측정하였다. 레이저로부터 나오는 두 빔 즉, 신호빔과 기준빔은 광굴절 저장매체내에 직각으로 입사되는 90° 기록구조를 사용하였다. 신호빔 단은 저장물질인 광굴절 결정의 양단 사이에 2매의 퓨리에 변환 렌즈를 사용하여 퓨리에 홀로그램이 기록되도록 하는 4-f 광학계를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 저장물질은 Deltronics사의 Fe가 0.03% 도핑된 체적 1 cm³ 크기의 LiNbO₃ 광굴절 결정을 사용하였으며, 본 실험에서는 다중화 페이지 수에 따른 시간계획은 도입하지 않았고, 평균기록시간은 8.5초가 소요되었다. 홀로그램 데이터 기록 실험시 다중화는 0.005°의 각 분해능을 갖는 스텝핑(steping)모터로 0.04° 간격으로 각 다중화 하였다. 또한 기록시 기준빔과 신호빔의 세기는 LiNbO₃ 광굴절 결정에 입사하기 직전에 측정된 값을 기준으로 신호빔은 0.18 mW였으며, 기준빔은 측정에 사용한 광파워미터의 최대허용 범위(10 mW)를 넘어서므로 측정 불가능했다. 재생시에는 신호빔 단을 전자 셔터를 이용하여 차폐하고 기준빔을 기록시에 각다중화한 각도로 스텝핑 모터를 회전시켜 광굴절 결정에 입사시키므로써 기록된 데이터를 순차적으로 재생하여 CCD 카메라를 통하여 재생 이미지를 출력하고 CCD 카메라에 연결된 Frame Grabber를 통하여 PC에 재생 신호를 입력한 후 재생 이미지의 후처리 및 디코딩 등의 과정을 수행하였다.

본 실험은 두가지 경우에 대해서 수행하였다. 첫 번째는 RS 코딩기법이 적용된 경우와 두 번째는 hybrid 코딩기법이 적용

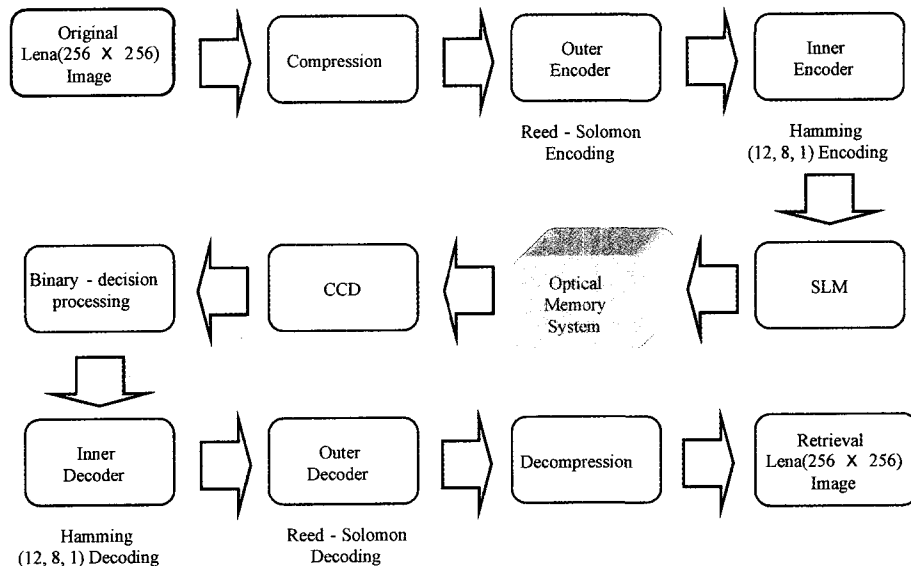


그림 8. Hybrid 코딩기법과 압축방법을 이용한 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템의 데이터 흐름도.

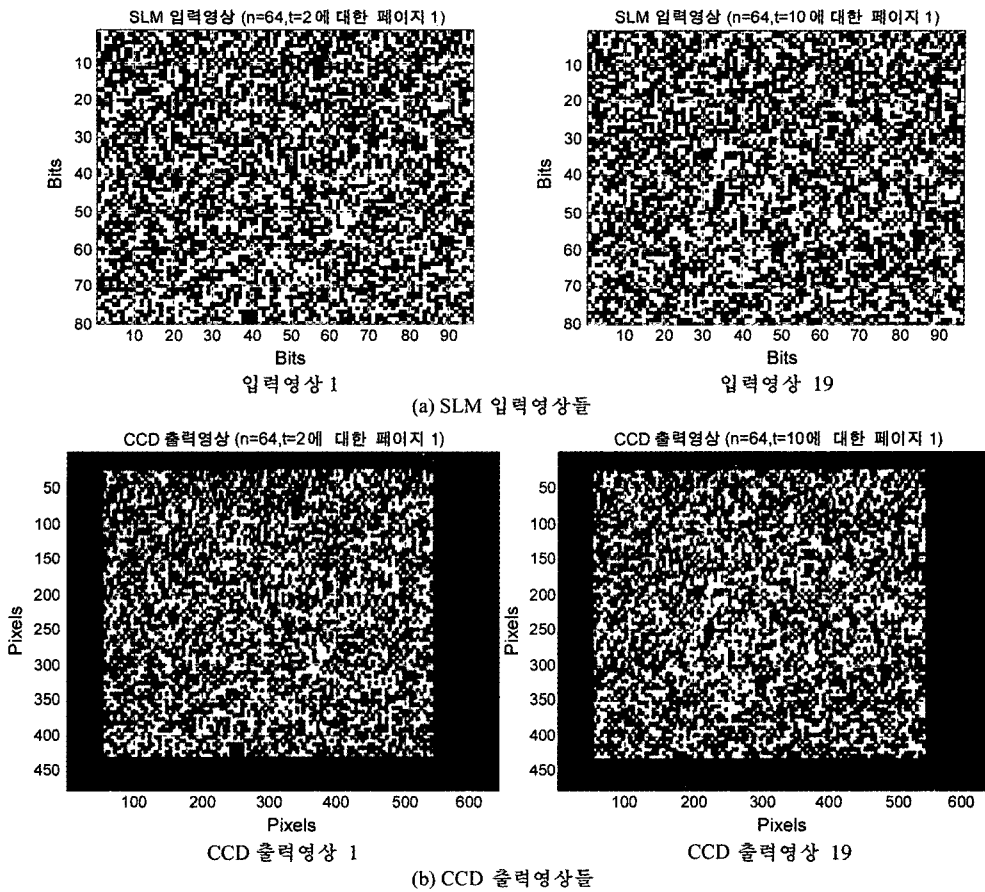


그림 9. 입력 이진영상과 CCD 출력영상.

된 경우에 대해서 실험을 수행하였다. 두가지 실험에서 광굴절 결정에 저장되는 총 다중화수는 29페이지이다. 첫 번째 실험에서, 입력데이터는 그림 7(b)의 압축된 영상이며, $n=64$ 와 $t=2$ (페이지수=4), 4(페이지수=4), 6(페이지수=5), 8(페이지수=5), 10(페이지수=5)의 각 경우에 대해서 인코딩을 하였으며, 모든 인코딩 과정에서는 데이터 포맷 문제로 인하여 여분의 데이터를 첨가하였다. 대부분의 페이지에 포함되는 데이터는 7680(96×80 bits) 비트들로 구성되었으나, 5가지 경우에

대해서 인코딩된 마지막 페이지는 4608, 6144, 1024 3584, 6656의 비트들을 포함한다. 그림 9는 입력 이진영상과 CCD 출력영상들의 예를 보이고 있다.

본 실험에서는 SLM과 CCD 사이의 1:1 픽셀매칭이 이루어지지 않았기 때문에 그림 9(b)로부터 디지털 정보, 즉 0과 1의 배열정보를 추출하기 위해서는, 데이터가 아닌 부분을 잘라낸 다음 우선 0이나 1을 나타내는 정방형 윈도우를 구성하는 화소의 갯수를 산정해야 한다. 본 실험의 디지털 홀로그래

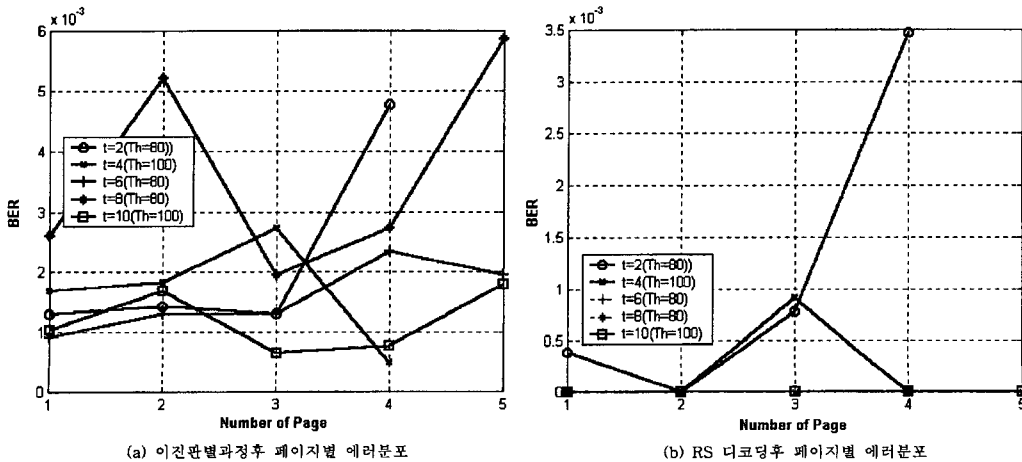


그림 10. RS 디코딩전 · 후 페이지별 에러분포.

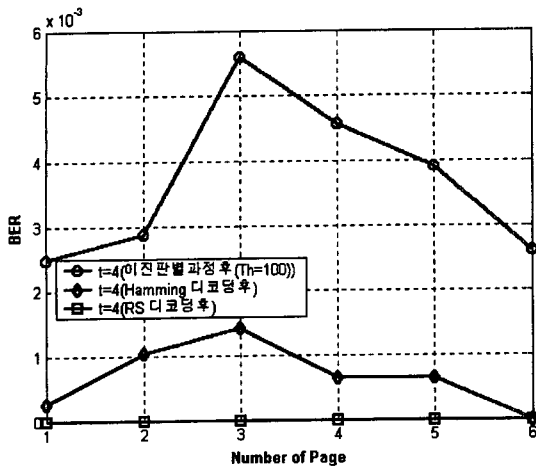


그림 11. 이진판별과정과 hybrid 디코딩후 페이지별 에러분포.



그림 12. 디코딩과정과 복원과정에 의한 영상.

픽 광메모리 시스템으로부터 판독된 이진영상의 각 정방형 윈도우는 가로 5 화소×세로 5 화소, 즉 25개의 화소로 구성되어 있다. 이들 화소를 다중샘플링하여 한 화소의 그레이레벨 값을 판정하여 0혹은 1로 인식하는 이진판별과정(binary-decision processing)을 수행하였다. 이진판별과정에서는 RS 인코딩된 각 경우에 대해서 global thresholding을 적용했으며, 이때 에

러분포와 RS 디코딩후의 에러분포를 그림 10에 나타내었다.

두 번째 실험에서는, 그림 10에서 알 수 있듯이 RS 디코딩만 수행하였을 경우 에러 정정이 되지 않은 t=4인 경우에 대해서 hybrid 인코딩과정을 수행하였으며, 같은 조건하에서 첫 번째 실험과정을 반복하여 6페이지 데이터를 저장·복원하였다. 1~5페이지는 7680, 마지막 페이지는 5376 비트들을 포함한다. 실험결과 그림 11에서보면, Hamming 디코딩후 에러가 현저히 감소함을 알 수 있었고, RS 디코딩후 모든 에러가 정정됨을 알 수 있었다. 그림 12에서는 두가지 실험조건(n=64, t=4인 경우)하에서 디코딩과 복원과정을 통하여 얻어진 영상을 보이고 있다.

그림 11의 실험결과로부터, RS 디코딩만 가지고 에러 정정이 되지 않은 t=4인 경우에 대해 본 논문에서 도입한 hybrid 코딩기법을 사용하면 모든 비트에러 정정이 Hamming 디코딩과정에서 이루어지게 되므로, RS 디코딩과정에서는 보다 효율적인 연집에러 정정 능력을 가질 수 있는 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템을 구현할 수 있다. 본 실험결과로부터 홀로그래픽 광메모리 시스템의 에러형태가 그림 11의 비트에러가 주된 에러형태라면 본 연구에서 도입한 hybrid 코딩기법은 여분 비트들의 증가측면에서는 비효율적으로 판단되지만, 에러 정정 측면에서는 탁월한 성능을 가짐을 알 수 있었으며, 그림 12에서 에러가 발생한 경우 복원과정에서 심각한 화질열화가 발생함으로 에러 정정은 반드시 이루어져야 함을 알 수 있었다. 앞으로의 해야할 점은 전체 페이지에 일괄적인 임계값을 적용하기 어려웠는데 이는 빔의 불균일 분포로 인한 요인도 있겠지만, 페이지에 표시되는 “1”과 “0”의 수가 다르기 때문에 발생한다는 점을 감안하여 modulation 코딩기법을 도입할 예정이며, 통계학적인 확률론에 근거한 BER 계산과 최적 RS 코드를 산출하여, 광메모리 시스템에 적용함으로써 보다 최적화된 광메모리 시스템 구현이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 10^{-15} 정도의 상용화 메모리의 CBER 성능을 가질 수 있는 홀로그래픽 광메모리 시스템을 위해서, hybrid 에러 정정 코딩기법을 적용한 디지털 홀로그래픽 광메모리 시스템을 구현해 보았다. 실험결과 hybrid 코딩기법이 에러 정정 측면에서는 탁월한 성능을 가짐을 알 수 있었으며, 영상압축 기법과 hybrid 코딩기법을 적용하여 에러없이 Lena 영상(256 × 256 bytes)을 복원하였다.

감사의 글

본 논문은 '96 교육부 기자재 첨단화 지원사업과 산업자원부 주관 '99 산업기반기술개발사업중 차세대 대용량 정보저장 장치 개발사업의 부분적인 연구결과입니다.

참고문헌

[1] G. A. Betzos, K. G. Richling, and P. A. Mitkas, Proceeding

- of the 1998 International Workshop on Multimedia Database Management Systems, 190 (1998).
- [2] D. Psaltis and G. W. Burr, *Computer*, **31**, 52 (1998).
- [3] L. Hesselink, J. F. Heanue, and M. C. Bashaw, *Proc. SPIE* **2778**, 410 (1996).
- [4] J. H. Hong and D. Psaltis, *Laser Focus World*, **32**, 119 (1996).
- [5] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. G. Paek, *Opt. Eng.* **34**, 2193 (1995).
- [6] J. L. Fan and A. R. Calderbank, *IEEE Transactions on Information Theory*, **44**, 1565 (1998).
- [7] W. Chou and M. A. Neifeld, *Appl. Opt.* **37**, 6951 (1998).
- [8] S. Lin and D. J. Costello, Jr., *Error Control Coding: Fundamentals and Applications* (Prentice Hall, 1983) Chapter 3, 6.
- [9] M. A. Neifeld and M. McDonald, *Opt. Lett.* **19**, 1483 (1994).
- [10] R. G. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing* (Addison-Wesley, 1992).
- [11] M. A. Sid-Ahmed, *Image Processing Theory, Algorithms, and Architectures* (McGraw-Hill, 1995) Chapter 13.

Implementation of digital holographic optical memory system using hybrid coding and image compression method

An Sik Choi and Woon Sik Baek

Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University, Kyunggi-do, 449-701, Korea

(Received July 28, 1999, Revised manuscript received May 16, 2000)

In this paper, we realized a digital holographic optical memory system which has efficient error correcting capability. To enhance the error correcting performance, we adopted a hybrid coding scheme which comprised of the Hamming (12, 8, 1) code for bit error corrections and the Reed-Solomon code for burst and multiple error corrections. A Lena image which comprises 256×256 bytes was adopted for input data. And they were compressed by JPEG algorithm. Experimental results of the optical memory system that combined the hybrid coding and the image compression techniques are presented.

OCIS codes : 070.0070, 210.0210.