

論文2001-38SD-10-7

# 홀로그래픽 디지털 정보 저장장치에서의 이차원 인터리빙 구조 (Two-Dimensional Interleaving Structure of Holographic Digital Data Storage)

金民承\*, 韓承勳\*, 楊秉春\*, 李竝浩\*\*

(Minseung Kim, Seunghoon Han, Byungchoon Yang, and Byoungho Lee)

### 요약

본 논문에서 우리는 홀로그래픽 디지털 정보 저장 장치를 위한 2차원 인터리빙 구조를 제안한다. 이 저장장치에서는 다량의 디지털 이진 정보를 2차원 정보 영상(1000×1000 bits) 안에 실어서 기록 및 재생, 처리하게 된다. 따라서, 저장 장치에서 발생하는 연집 오류(burst error) 또한 2차원의 형태를 띄게 되며, 이를 극복하기 위해 정보 영상 안에서 효율적인 2차원 인터리빙을 해야 할 필요가 있다. 연집 오류의 형태와 위치가 불규칙적임을 감안하여 각 부호어의 bit들을 2차원 상으로 흩뜨리면, 각 부호어의 bit들은 정삼각 격자 구조를 이루며 분포해야 한다. 이러한 정삼각 격자 형태의 인터리빙을 구현하기 위한 요소와 알고리즘을 제안한다

### Abstract

In this paper, we propose a two-dimensional interleaving structure of holographic digital data storage. In this storage, many of the digital binary data are recorded, retrieved and processed in a two-dimensional data image (1000×1000 bits). Therefore, burst errors in this digital device also have two-dimensional characteristics and it is required to use effective two-dimensional interleaving to overcome them. Bits of every code word should be distributed in an equilateral triangular lattice structure when they are scattered considering the random shape and occurrence of burst errors. We deal with factors and algorithm to construct this interleaving structure of equilateral triangular lattice.

### I. 서론

홀로그래픽 메모리는 대용량(high density), 고속 데

이터 전달률(high data transfer rate)등의 특성을 만족시킬 수 있는 차세대 메모리 방식의 하나로서 여러 연구 그룹들에 의해 활발히 연구되고 있다. 저장되는 정보의 신뢰성을 높이기 위해서 디지털 정보 저장장치의 개념(1 또는 0의 bit정보 저장)이 도입되었으며,<sup>[1]</sup> 대용량 및 고속 데이터 전달률의 특성을 만족시키기 위해 많은 정보를 실은 2차원 영상을 고밀도로 저장할 것이 요구되고 있다.<sup>[2]</sup>

그런데 저장되는 2차원 정보 영상의 크기가 커지면 한 영상 안에서의 불균일성도 상대적으로 증가하게 된

\* 學生會員 \*\* 正會員 서울대학교 電氣工學部  
(National Research Laboratory of Holography Technologies, School of Electrical Engineering, Seoul National University)

※ 본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실 사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

接受日字:2001年4月3日, 수정완료일:2001年10月4日

다. 특히나 광학 시스템 안에서의 결함(defect)에 의한 산란과 charge-coupled device(CCD)나 공간 광 변조기(spatial light modulator ; SLM)에서의 고정 패턴 잡음(fixed-pattern noise ; FPN), 인접 정보간의 상호간섭(intersymbol interference ; ISI) 등은 재생되는 영상에 인접 오류를 발생시킬 수 있다.<sup>[3,4]</sup> 인접 오류는 오류가 특정 영역에 뭉쳐서 나타나는 것으로 2차원 영상으로 정보를 처리하는 홀로그래픽 디지털 정보 저장장치에서는 일반적으로 2차원 형태를 갖게 된다. 본 논문에서는 이러한 형태의 오류를 극복하기 위한 인터리빙(interleaving)의 구조를 제안하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 정보 부호화(data coding)와 인접 오류

실제로 디지털 저장장치를 구현할 경우, 여러 잡음들이 존재하기 때문에 정보의 왜곡이 발생한다. 이를 막기 위해 원래의 정보(message)에 추가 정보(redundancy)를 덧붙여서 부호화(encoding)를 하게 되며, 이렇게 부호화된 정보 단위 각각을 부호어(codeword)라고 한다.<sup>[5]</sup> 부호어는 원래의 정보에 고유한 수학적 상관관계를 갖는 정보를 덧붙여 주는 것으로, 전체 부호어 중 일부가 훼손되어도 상관관계를 역추적함으로써 원래의 정보를 얻어낼 수 있다. 다음은 부호화와 관련된 수식들이다.

$$X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_{k-1}) \quad x_i = 1 \text{ or } 0 \quad (1)$$

$$C = (c_0, c_1, c_2, \dots, c_{n-1}) \quad c_i = 1 \text{ or } 0 \quad (2)$$

$$r = k / n \quad (3)$$

전하고자 하는  $k$  bit의 정보  $X$ 는 부호화 방식의 고유한 원칙에 따라  $n$  bit의 부호어  $C$ 로 전환된다. 저장장치에는 바로 이 부호어들이 기록된다. 그러면 결과적으로 각 부호어 별로  $n-k$ 개의 bit를 추가시킨 것이 되는데, 이 추가되는 정보들은 저장장치의 비트오율을 낮춰주는 대신, 한정된 저장 용량 안에서 원래의 정보(message)의 양을 감소시킨다. 따라서 부호율  $r$ 은 전체 저장 정보 중 원래의 정보의 비율을 의미하게 되며, 부호율과 비트오율 간의 적절한 타협이 중요하게 된다. 아래는 원래의 정보를 구해내는 역부호화(decoding) 과정의 식들이다.

$$E = (e_1, e_2, e_3, \dots, e_n) \quad e_i = 1 \text{ or } 0 \quad (4)$$

$$R = C + E = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_n) \text{ mod } 2 \quad r_i = 1 \text{ or } 0 \quad (5)$$

$$Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_k) \quad y_i = 1 \text{ or } 0 \quad (6)$$

여기서  $E$ 는 정보의 저장과 재생 과정에서 발생한 오류를 뜻한다.  $E$ 에서 값이 1인 성분들이 오류가 발생한 위치이며, 이는 식 (5)에서 모듈로-2 연산에 의해 기록된 정보  $C$ 가  $R$ 과 같이 손상됨을 나타낸다.(임의의 정수를 모듈로-2 연산하는 것은 그 정수를 2로 나누었을 때의 나머지, 즉 1 또는 0를 구하는 것이다.) 정보 재생과정에서  $R$ 은 가장 상관관계가 높은  $Y$ 라는 정보로 역부호화된다. 이때 오류  $E$ 가 오류정정능력 이내로 발생했다면  $Y$ 는 원래의 정보  $X$ 로 회복되고 그렇지 않으면 왜곡된 정보가 발생한다. 이러한 부호화 방법으로는 기존의 통신기술에서 쓰이는 오류정정부호(error-correcting code)를 적용하거나, 모듈레이션 부호(modulation code), 패리티 부호(parity code) 또는 이 세가지를 적절히 혼합하는 방법 등이 있다.<sup>[3, 4, 6, 7]</sup>

다음으로 그림 1은 2차원 정보 영상 안에서 인접 오류가 발생하였을 때, 그것이 부호어에 미치는 영향을 보여주고 있다. 이러한 인접 오류는 저장장치 안에서의 흠집이나 먼지 등에 의해 잘못 산란된 빛(stray light)이나, CCD나 SLM의 상한 픽셀들의 뭉치(cluster defect) 등에 의해서 나타날 수 있다. 예를 들어 7 bit으로 이루어진 1 bit 오류정정능력을 가지는 부호어를 사용하고 있다면, 그림 1(a)에서는 오류정정능력을 벗어난 오류가 발생하게 된다. 따라서 역부호화된 정보는 일반적으로 원래의 정보와 다른 정보로 바뀌게 된다. 이에 반해 그림 1(b)와 같이 부호어의 각 성분들을 적절한 위치관계를 유지하면서 배열할 경우 오류정정능력 이내의 오류만 생기게 되므로 원래의 정보를 올바르게 구할 수 있게 된다.

이차원 정보 영상 안에서의 인접 오류는 오류 원인의 특성상, 그 형태와 위치가 일정하지 않은 양상을 띄기 쉽다. 따라서 2차원 정보 영상을 구성할 때 이와 같은 인접 오류의 불규칙성을 감안하여 인터리빙을 적용시켜야 한다.

### 2. 인터리빙 - 정삼각 격자 구조

다음부터는 정보 영상의 크기  $N$  bits  $\times$   $N$  bits, 부호어의 길이  $n$  bits가 주어졌을 경우, 각 부호어가 인접 오류로부터 최대한 영향을 받지 않는 인터리빙 기법을

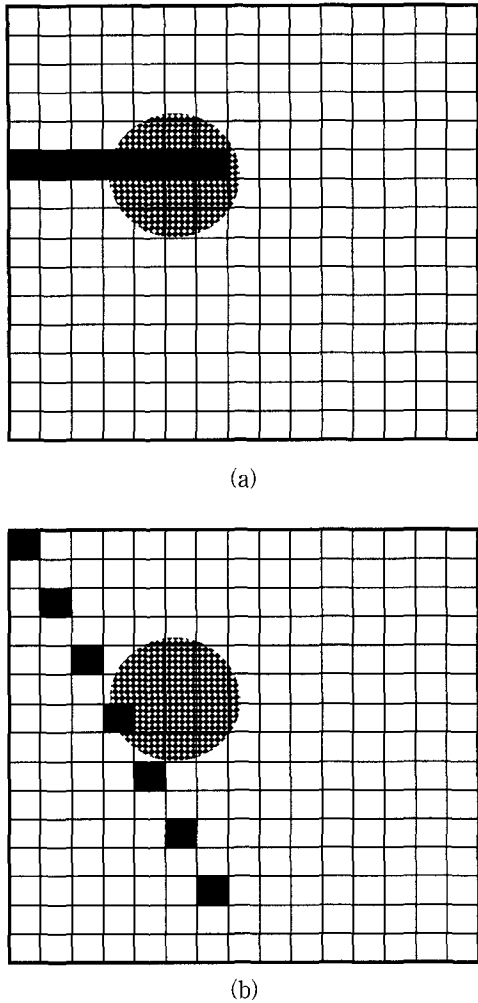


그림 1. 2차원 정보 영상에서의 연접 오류의 영향. 부호어의 길이가 7bit이고 원형의 연접오류가 발생했을 때 (a) 인터리빙하지 않은 경우(오류정정능력을 넘는 오류가 발생) (b) 인터리빙을 가했을 때(오류정정능력 이내의 오류 발생)

Fig. 1. Burst error effect in a two-dimensional data page. Codeword length is 7 bits and a circular burst error occurred (a) Not interleaved.(Errors are over error correction capability.) (b) Interleaved.(Errors are within error correction capability.)

구해나간다. 임의의 위치에서 연접 오류가 발생하더라도 각 부호어가 성공적으로 역부호화될 수 있고, 그 활용할 수 있는 연접 오류의 크기를 최대화하는 것이 목적이다.

우선 세 가지 제한 조건을 둔다. 이 조건들은 문제 상황을 간단하게 해 주며, 실제로 저장장치를 구현할

때 적용될 수 있다. 그것들은 다음과 같다.(그림 2)

- ㉠ 정보 영상의 가로변의 bit개수와 세로변의 bit개수는 똑같다.( $N \times N$  bits)
- ㉡ 한쪽 변의 길이는 부호어 길이의 정수배이다.
- ㉢ 부호어의 오류정정 단위는 1 bit이다.

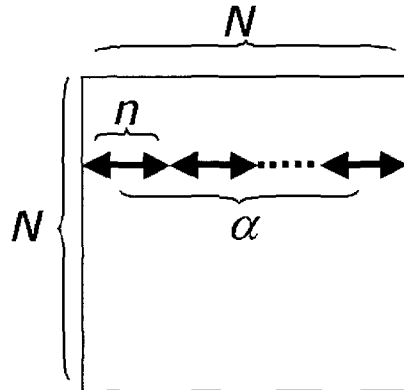


그림 2. 이차원 인터리빙 구현을 위한 제한 조건들. 오류정정 단위(1 bit)를 기준으로 함  
Fig. 2. Constraints for the construction of two-dimensional interleaving. An error correction unit(1 bit) is used.

첫번째 조건 ㉠은 기하학적으로 대칭인 구조를 만들어 주므로 문제를 단순하게 하여 주고, 실제로 저장장치를 만들 때도 공간주파수나 광학부품 등을 효율적으로 사용하게 해 준다.

두번째 조건 ㉡은 다음과 같이 표현된다.

$$N = \alpha n \tag{7}$$

여기서  $n$ 은 부호어의 길이이며,  $\alpha$ 는 정수가 된다. 이러한 관계는 영상의 크기  $N$ 이 일반적으로 1000정도가 요구되고, 부호어의 길이가 대체로 10에서 100정도가 되기 때문에, 실제 저장장치를 구현할 때 쉽게 만족시킬 수 있고, 역시 문제를 간단하게 한다.

마지막 조건 ㉢의 예외가 되는 부호어는 리드-솔로몬(Reed-Solomon ; RS)부호와 같은 것들이 있다. 이런 특정한 부호들은  $m$  개의 bit들을 하나의 오류정정 단위(symbol)로 한다. 예를 들어 오류정정능력이 4라면 4 개의 symbol( $4 \times m$  bits)이 잘못되었어도 이를 극복할 수 있다. 이 경우 symbol을 구성하는  $m$ 개의 bit들을 정사각형 형태로 모아서 이들을 다음부터 제안되는 인

터리빙 기법의 bit 단위로 배열하면 된다. 이렇게 하면 오류정정 단위의 크기가 커지기 때문에 허용할 수 있는 연접 오류의 크기도 가장 커지게 된다.

그렇다면 한 영상 안에 들어 가는 부호어의 개수  $l$ 은

$$l = \alpha N = \alpha^2 n \quad (8)$$

이 되고, 각 부호어와 그 성분들은 다음과 같이 고유하게 지적될 수 있다.

$$C_i = (c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{in}) \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (9)$$

연접 오류가 발생했을 때, 각 부호어의 입장에서는 오류정정 단위 하나(1 bit) 이하만이 이 오류 안에 포함되는 경우가 인터리빙의 효과를 보는 경우가 된다. 이를 만족시키면서 허용할 수 있는 연접 오류가 최대크기를 갖는 경우는 그 오류가 정보 영상 안의 모든 부호어로부터 1 bit씩을 포함하는 때이며, 그 크기는 한 정보 영상이 가지는 부호어의 개수  $l$  bits가 된다.

다음으로는 이러한 최대의 연접 오류가 임의의 위치에서 발생하더라도 이를 극복할 수 있는 부호어들의 배열 방법을 구한다. 우선 앞에서 구한 연접 오류의 크기가 최대가 되는 조건에 따라 각 부호어로부터 bit들을 모을 수 있다. 그러면 정보 영상 안의 모든 bit들은  $l$  개의 원소를 가지는  $n$  개의 집합들의 원소로 구분된다. 이렇게 구분된 각각의 집합을 연접 집합(burst set)이라고 한다면 그것은 다음과 같다.

$$B_h = \{b_{hi} = c_{ij} \mid i = 1, 2, 3, \dots, l \wedge \exists j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}\} \\ h = 1, 2, \dots, n$$

For any two elements  $b_{hi}, b_{h'i'}$ ,

if  $h \neq h'$  and  $i = i'$  then  $j \neq j'$ .

(10)

위 식은 연접 집합은 모든 부호어로부터 한 bit씩을 그 원소로 취하며, 임의의 두 집합에서 각각 하나의 원소를 뽑았을 때, 이 둘이 같은 부호어에 속한다면 그들이 서로 달라야 함을 의미한다.(set-partition 관계, 그림 3) 이들 집합들이 각각 정보 영상 안에서 고유의 위치에 위치한다면, 연접 오류에 의해 그 중 하나의 집합이 훼손된다는 것은 부호어들이 하나의 bit씩 훼손됨을 뜻한다. 이는 앞의 그림 1(b)의 경우와 같이 각각의 부호어는 원래의 정보로 무사히 역부호화될 수 있는 경우에

해당하며, 목표했던 연접 오류의 허용 가능한 크기를 최대로 만든 것이다. 문제는 이러한 최대 크기 1의 연접 오류가 정보 영상의 임의의 위치에서 발생하더라도, 그 오류 안에 있는 bit들의 집합이 연접 집합을 이루게 배열 규칙을 정해주는 것이다.

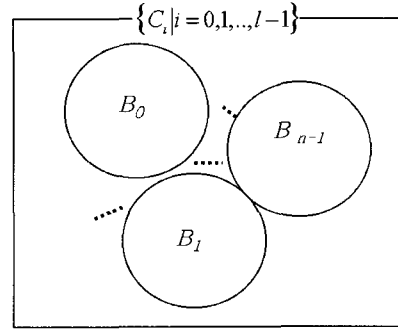


그림 3. 최대크기의 연접 오류를 극복할 수 있는 부호어 bit들의 집합 구조

Fig. 3. Codeword bits set-partitioning for maximizing tolerable burst error size.

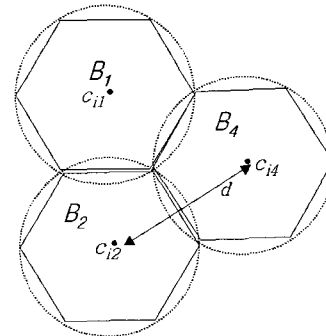


그림 4. 부호어  $C_i$ 의 bit들의 분포양상. 정삼각 격자 구조를 이룬다.

Fig. 4. Distribution of bits of codeword  $C_i$ . They form an equilateral triangular lattice structure.

한 부호어의 bit들을 규칙성을 갖게 배열하는 것은 인접한 bit간의 거리를 일정하게 하는 것을 뜻한다. 또한 그 거리가 모두 같을 때, 가장 균등한 배열이 이루어짐을 알 수 있다. 일반적으로 연접 오류의 형태가 특정하게 정해져 있지 않으므로, 인접 bit간 거리를 균일하게 하여 균등한 배열을 이루는 것이 효율적이다. 그림 4는 임의의 부호어  $C_i$ 의 구성 bit들이 2차원 공간상에 분포하는 것을 보여준다. 인접한 bit간의 거리가 모두 같기 위해서는 각 bit들이 정삼각 격자 구조를 이루

며 위치하고 있어야 하며, 여기서는 그 중  $c_{i1}, c_{i2}, c_{i4}$ 가  $d$ 의 거리로 이웃하고 있다. 이러한 거리  $d$ 를 연접 거리(burst distance)라고 하자. 최대의 연접 오류를 허용할 수 있게 하려면 이  $c_{i1}, c_{i2}, c_{i4}$ 들을 중심으로 연접 집합  $B_1, B_2, B_4$ 가 구성되어야 한다. 이 때 각 집합의 원소들은 벌집구조를 이루며 배치되는 것을 알 수 있다. 그러면 거리  $d$ 는 벌집구조의 면적, 즉 연접 집합의 크기  $l$ 과의 관계에서 기하학적으로

$$d = 2\sqrt{\frac{l}{2\sqrt{3}}} = 2\sqrt{\frac{\alpha^2 n}{2\sqrt{3}}} \quad (11)$$

이 된다.

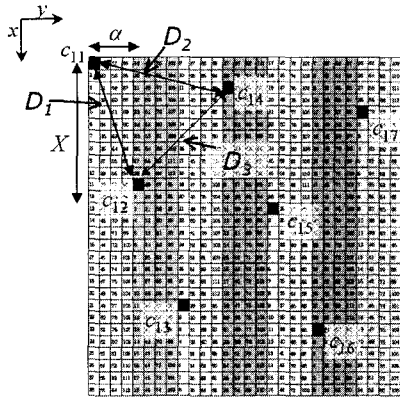


그림 5. 정삼각 격자 인터리빙을 만드는 과정  
Fig. 5. Equilateral triangular lattice interleaving procedure.

그림 5는 모든 부호어의 인접한 세 개의 bit가 위의 관계를 만족할 수 있게 배열하는 방법을 보여준다. 이것은 인터리빙이 이루어지는 영상의 크기  $N$ 이 28이고 부호어의 길이가 7 bits인 경우이다. 일반적인 정삼각 격자 인터리빙 구성 방법은 다음의 식들로 표현이 된다.

$$x_{ij} = \{(j-1)X + i\} \pmod{N} \quad (12)$$

$$y_{ij} = \left\{ (j-1)\alpha + \left\lceil \frac{i}{N} \right\rceil \right\} \quad (13)$$

$(x_{ij}, y_{ij})$ 는  $c_{ij}$ 가 영상 안에서 위치하는 좌표를 나타낸다. 여기서  $\lceil i \rceil$ 는  $i$ 보다 작지 않은 최소의 정수이다. 우선 부호어  $C_i$ 의 각 bit들을  $\alpha$ 간격으로  $y$ 축을 따라 배치시킨다. 이때, 인접 bit간의 간격을 연접 거리  $d$ 에 맞추기 위해서 각 bit들을  $x$ 축을 따라서도  $X$ 만큼씩 이

동시켜야 한다. 이 이동 간격  $X$ 를 이동상수라고 부르게 한다.  $x$ 축을 따라서 이동하는 거리가 영상의 크기  $N$ 보다 커지게 되는 경우에는 모듈로- $N$  연산에 의해서 영상의 위쪽 부분으로 위치가 옮겨진다. 그림 5의 부호어  $C_i$ (검게 표시된 bit들)을 배열하는 경우에는 이런 상황이 네 번째 bit, 일곱 번째 bit에서 일어나고 있다. 또한 각 부호어들은 그 상대적인 위치가  $N \times \alpha$ 의 단위 영역 안에서 모듈로 연산에 따라 일정하게 유지된다.

인접한 bit간의 거리는  $D_1, D_2, D_3$ 의 세 가지 경우가 있을 수 있다. 이러한  $D_1, D_2, D_3$  값들은 식 (12), (13)에서 다음과 같이 유도된다.

$$D_1 = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2} = \sqrt{X^2 + \alpha^2} \quad (14)$$

$$D_2 = \sqrt{\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2} = \sqrt{\{[(N/X)X] \bmod N\}^2 + \{[(N/X)\alpha]\}^2} \quad (15)$$

$$D_3 = \sqrt{\Delta x_3^2 + \Delta y_3^2} = \sqrt{\{[(N/X)X] \bmod N - X\}^2 + \{[(N/X)-1]\alpha\}^2} \quad (16)$$

여기서  $D_1, D_2, D_3$ 는  $N$ 과  $\alpha$ 가 주어졌을 때, 오로지  $X$ 에만 의존함을 알 수 있다. 따라서  $D_1, D_2, D_3$ 을 연접 거리  $d$ 에 가장 가깝게, 또한 가장 균일하게 맞추는 이동상수  $X$ 를 구함으로써 최적의 정삼각 격자구조가 이루어진다. 그림 5에서는 이동상수  $X$ 가 10일 때, 가장 좋은 배열이 이루어진다.(표 1)

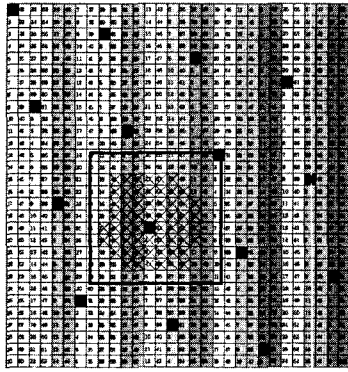
표 1. 이동상수  $X$ 에 따른 인접 bit간 간격 ( $N=28, n=7, d=11.37$ 인 경우)

Table 1. Distances between neighboring bits with respect to the translation constant  $X$  ( $N=28, n=7, d=11.37$ ).

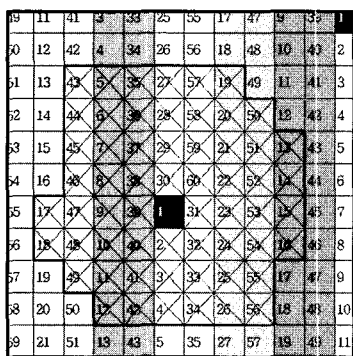
$X$	$D1$	$D2$	$D3$
9	9.8	17.9	12.0
10	10.8	12.2	11.3
11	11.7	13.0	10.0

그림 6은 한 예로  $N$ 이 30,  $n$ 이 15일 때, 최적화된 배열을 보여준다. 연접 거리  $d$ 는 8.32가 되는데, 이동상수가 8일 때,  $D_1$ 은 8.25,  $D_2$ 는 8.24,  $D_3$ 는 8.49로 연접 거리에 가장 균등하게 정해진다. 그림 6(b)는 일정

영역의 bit들이 연접 집합을 이루고 있음을 보여준다. 이러한 연접 집합은 어느 위치에서나 이루어진다. 이는 임의의 위치에서 생기는 최대 크기  $l$ 까지의 연접 오류를 극복할 수 있는 인터리빙이 이루어졌음을 뜻한다.



(a)



(b)

그림 6. 최적화된 정삼각 격자 인터리빙의 예 (a) 한 부호어의 15개 bit들이 연접 거리를 맞추며 정삼각 격자 구조를 이룸 (b) 어느 위치에서든 크기  $l$ 인 연접 집합이 이루어짐

Fig. 6. An example of the optimized equilateral triangular lattice interleaving. (a) 15 bits of a codeword form an equilateral triangular lattice structure with burst distance. (b) Burst set of size  $l$  is made at every position.

### III. 결 론

홀로그래픽 디지털 정보저장 장치에서의 연접 오류를 극복하기 위한 이차원 인터리빙 기법을 제안하였다. 이 기법은 이차원 연접 오류의 형태가 일정하지 않음을 감안하여 정보 영상 안에서 각 부호어의 인접한 bit

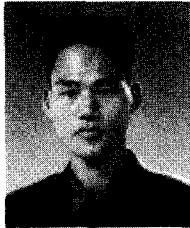
사이의 거리가 항상 연접 거리를 유지하게 함으로써 만들어진다. 이는 최적의 이동상수를 구함으로써 각 부호어의 bit들이 정삼각 격자 구조를 이루게 할 때 가능해진다. 이 방법을 사용함으로써 허용할 수 있는 연접 오류의 크기가 최대로 커지게 되며, 그 크기는 정보 영상당 들어가는 부호어의 개수가 기준이 된다. 또한 이 인터리빙 기법은 연접 오류가 임의의 위치에서 발생해도 이를 극복할 수 있게 해 준다. 주어져 있는 부호율을 바꾸지 않고 bit의 배열만 조정된 것이기 때문에, 연접 오류에 의한 비트오율을 감소시키면서도 인터리빙 전후의 실제 정보량은 감소되지 않는다. 일반적으로 연접 오류를 일으킬 수 있는 다양한 요소들을 제거하기 위해서는 저장장치의 제약조건을 엄격하게 해야만 하는데, 본 방식을 적용함으로써 저장장치의 하드웨어적 허용도(tolerance)를 개선시킬 수 있게 된다. 정보 영상 안에서 일어나는 연접 오류의 분포와 그 크기를 파악했다면, 그에 맞는 부호어 길이, 이동상수를 찾아서 인터리빙을 해야 할 것이다. 또한 영상을 몇 개의 영역으로 구분한 후 각각의 영역에 맞는 인터리빙을 적용할 수도 있다. 2차원 바둑판 형태로 디지털 정보를 처리하는 모든 경우에 대해서 이 기법은 응용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. F. Heanue, M. C. Bashaw, and L. Hesselink, "Volume holographic storage and retrieval of digital data," *Science*, vol. 265, pp. 749~752, August 1994.
- [2] H.-Y. S. Li and D. Psaltis, "Three-dimensional holographic disks," *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 17, pp. 3764~3774, June 1994.
- [3] W. Chou and M. A. Neifeld, "Interleaving and error correction in volume holographic memory systems," *Appl. Opt.*, vol. 37, no. 29, pp. 6951~6968, October 1998.
- [4] V. Vadde and B. V. K. V. Kumar, "Parity coding for page-oriented optical memories with intrapage intensity variations," *Opt. Lett.*, vol. 24, no. 8, pp. 546~548, April 1999.
- [5] G. C. Clark and J. B. Cain, *J. B., Error-Correction Coding for Digital Communications* (Plenum Press, New York, 1981).

- [6] 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," *Opt. Lett.*, vol. 22, no. 9, pp. 639~641, May 1997.
- [7] S. Lin and D. J. Costello, *Error Control Coding* (Prentice-Hall, 1983) pp. 51~68.

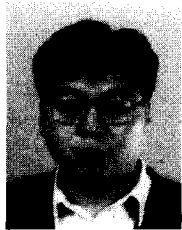
저 자 소 개



金 民 承(學生會員)  
 2001년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업(공학사). 2000년 3월~현재 : 해병1사단 근무 중. <주관심분야> 홀로그래픽 메모리, 데이터 코딩 및 압축



韓 承 勳(學生會員)  
 2000년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업(공학사). 2000년 2월~현재 : 서울대학교 전기공학부 석사과정. <주관심분야> 홀로그래피의 메모리 및 광소자, 광네트워크 응용, 비선형 현상 연구



楊 秉 春(學生會員)  
 1995년 : 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1997년 : 서울대학교 전기공학부 석사. 1997년~현재 : 서울대학교 전기공학부 박사과정. <주관심분야> 홀로그래픽 메모리, 광 연결 및 광 도파로 소자, 디스

플레이 응용 소자

李 竝 浩(正會員) 第37卷 SD編 第 5號 參照  
 현재 : 서울대학교 전기공학부 부교수