

Subclustering을 이용한 홀로그래픽 디지털 정보저장 시스템의 이진 데이터 에러 보정기 구현

Design Error Corrector of Binary Data in Holographic Digital Data Storage System Using Subclustering

김상훈* 김장현** 양현석*** 박영필***

Kim SangHoon* Kim JangHyun** Yang HyunSeok*** Park YoungPil***

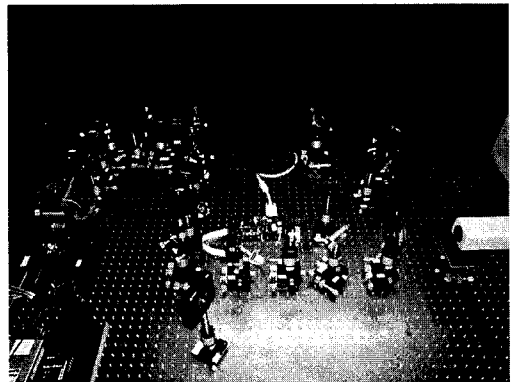
Abstract - Data storage related with writing and retrieving requires high storage capacity, fast transfer rate and less access time in. Today any data storage system can not satisfy these conditions, but holographic data storage system can perform faster data transfer rate because it is a page oriented memory system using volume hologram in writing and retrieving data. System architecture without mechanical actuating part is possible, so fast data transfer rate and high storage capacity about 1Tb/cm³ can be realized. In this paper, to correct errors of binary data stored in holographic digital data storage system, find cluster centers using subtractive clustering and reduce intensities of pixels around centers, so the intensity profile of data page will be uniform and the better data storage system can be realized.

Key Words : holographic, hologram, data storage, subtractive clustering, neural network

1. 서론

차세대 정보 저장 방식인 홀로그래픽 정보 저장 장치[1]는 데이터의 기록/재생에 체적 홀로그램을 이용하는 2차원의 페이지 지향적인 메모리로서 병렬적인 데이터 처리가 가능하므로 입출력 속도를 높일 수 있는 장점이 있다. 또한 정보를 0과 1의 이진 데이터화 하여 저장하므로 디지털 정보를 곧바로 처리할 수 있다. 데이터를 기록하기 위하여 특정 파장의 레이저를 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator, SLM)에 통과시켜 페이지 단위로 정보가 기록/재생되게 되는데 0의 데이터는 SLM에서 레이저 빔을 차단하여 CCD카메라에 검은색 픽셀로 촬영되며 1의 데이터는 흰색 픽셀로 촬영되게 된다. 정보를 전달하기 위해서 빛을 사용하기 때문에 빛의 회절 현상에 의해 레이저 빔이 SLM을 통과하면서 평면파의 2차원 푸리에 변환에 따라 인접한 빛에 영향을 주게 되고 재생시에 인접 픽셀에 가해진 영향이 CCD카메라에 촬영되어 결과적으로 이진 데이터에 손실을 가져오게 된다.

본 논문에서는 빛의 회절 현상에 의해 1의 값을 가지는 on픽셀이 주변의 0의 값을 가지는 off픽셀에 주는 영향을 분석하고 데이터의 손실을 줄이기 위해 subtractive clustering을 사용하여 빛이 많이 모이는 부분을 찾아 SLM에서 광량을 감소시킴으로써 on픽셀이 주위 픽셀들에 주는 영향을 감소시켜 이진 데이터의 손실을 최대한 줄이는 방법을 제안하였다.



<그림.1> HDDS 시스템 실험 부스

2. IPI noise와 Subtractive Clustering Algorithm

2.1 IPI noise

Holographic Digital Data Storage(HDDS) system은 레이저빔을 분배기를 이용해 신호빔과 기준빔의 2가지로 나누어 신호빔을 SLM에 투과시켜 정보를 갖도록 한 후 저장매체에 기준빔과 간섭을 일으켜 정보를 저장한다. 신호빔이 SLM을 통과할 때 빛의 회절현상에 의해 푸리에 변환된 형태로 전파되기 때문에 인접 픽셀에 영향을 주게 된다. 이 현상에 의한 노이즈를 Inter Pixel Interference (IPI) 노이즈라 한다.

시뮬레이션을 수행하기 위해 하나의 on픽셀이 주위 픽셀들에 어느정도 영향을 미치는지 알아야한다. 그 값은 2차원 푸리에 변환을 수행함으로써 알 수 있다.

신호빔이 SLM을 통과할 때 on픽셀들이 많이 모여있는 곳에 off픽셀이 포함되어있는 경우 IPI 노이즈에 의해 off픽셀이

* 準 會 員 : 延世大學 機械工學科 碩士課程

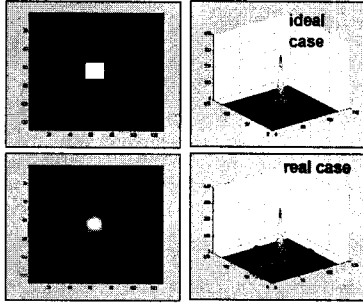
E-mail : kilsh@hanmail.net

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

** 正 會 員 : 延世大學 電氣工學科 博士課程

***正 會 員 : 延世大學 機械工學科 正教授·工博

on픽셀로 기록될 가능성이 크다. 따라서 on픽셀이 많이 모여 있는 곳을 찾아 일정 범위 픽셀들의 광량을 적절하게 차단하면 IPI 노이즈의 영향을 줄이고 off픽셀의 값을 정확하게 기록/재생할 수 있을 것이다. 또한 전체 데이터 페이지에서 상대적으로 밝은 곳의 광량을 줄여 어두운 곳과 밝은 곳의 밝기의 차이를 줄일 수 있기 때문에 전체적으로 고른 광량 분포를 얻을 수 있다.



<그림.2> Inter Pixel Interference

<그림.2>는 사각형 형태의 on픽셀에 의한 빛의 회절 현상을 보여주고 있다

2.2 Subtractive Clustering Algorithm

on픽셀들이 모여있는 곳을 찾기 위해 Subtractive Clustering 알고리즘을 사용하였다. Subtractive Clustering 알고리즘[3]은 각 데이터에서 다른 데이터들과의 거리에 반비례하는 함수로 정의되는 포텐셜 값을 계산하고 가장 큰 포텐셜 값을 가지는 데이터를 클러스터 중심으로 결정한다. 포텐셜 값은 데이터들간의 거리에 반비례하므로 인접한 데이터들이 많은 데이터에서는 포텐셜 값이 커지게 된다. 따라서 포텐셜 값이 최대인 데이터를 클러스터 중심으로 선정하고 그 이후에는 이미 구한 클러스터 중심의 영향을 제거하고 클러스터 중심을 찾는다. 이러한 과정은 포텐셜 값이 미리 지정한 값 이하가 될 때까지 반복된다.[2][3][4]

포텐셜 값은 다음 식으로 표현된다.

$$P_i = \sum_{k=1}^N \exp(-\alpha \|x_k - x_i\|^2) \quad (1)$$

$$P_1^* = \max_i P_i \quad (2)$$

두 번째 이후의 클러스터 중심은 앞선 클러스터의 영향을 제거하여 찾는다. 다음 식으로 표현된다.

$$P_i' = P_i - P_1^* \exp(-\beta \|x_i - x_1^*\|^2) \quad (3)$$

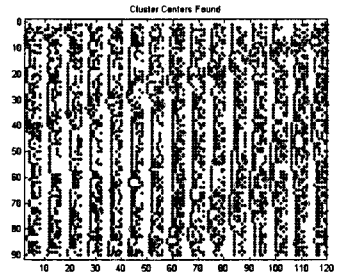
$$P_2^* = \max_i P_i' \quad (4)$$

Subtractive Clustering을 수행하기 위해서는 클러스터의 반지름, 중심 사이의 거리, 클러스터 중심으로 인식하기 위한 포텐셜의 하한값 등을 지정해주어야 한다. 이번 연구에서는 클러스터 반지름을 0.1, 중심사이의 거리를 1, 포텐셜 하한값을 0.7로 지정하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 52개의 포텐셜

중심을 찾았으며 그 위치는 다음과 같다.



<그림.3> 원본 데이터 페이지

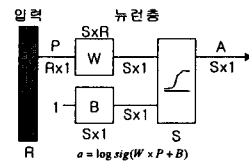


<그림.4> 찾아낸 클러스터 중심들

<그림.3>과 <그림.4>는 SLM에 투영시킬 0과 1의 원본 데이터 페이지에서 빛의 회절 효과로 인한 데이터의 밝기를 Subtractive Clustering 알고리즘을 이용하여 빛이 모여있는 센터의 위치를 찾은 것이다.

2.3 최적화

클러스터 반지름과 광량 차단값에 대해 신경망 이론의 역전파 알고리즘[5]을 사용하여 최적화를 하였다. 역전파 알고리즘은 네트워크의 출력층에 대하여 오차의 델타벡터를 계산하고 각 은닉층에 델타 벡터가 유용할 때까지 네트워크를 통하여 역전파 한다. R개의 입력을 갖는 S개 로그-시그모이드 뉴런의 단층 네트워크를 구성하면 <그림.5>와 같다.



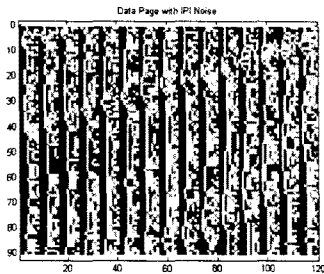
<그림.5> 로그-시그모이드 전이함수를 갖는 단층 네트워크

최적화를 수행한 결과 최적의 클러스터 반지름은 0.1121, 광량 차단값은 0.2068로 산출되었다. 이 값들로써 제안된 알고리즘을 적용한 결과 클러스터의 개수가 40개로 감소하였다.

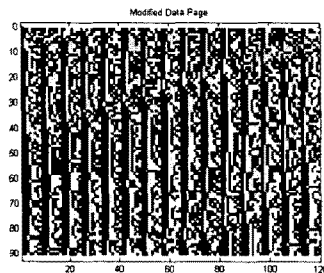
3. 시뮬레이션 및 실험결과

<그림.6>은 <그림.3>의 원본 데이터 페이지에 2차원 FFT를 수행한 결과로부터 생성한 IPI 노이즈를 적용하여 만든 데이터 페이지이다. 노이즈를 적용한 데이터 페이지로부

터 thresholding에 의해 이진 데이터를 복원한 결과 61개 픽셀이 원본 데이터와 틀리게 복원되었다.

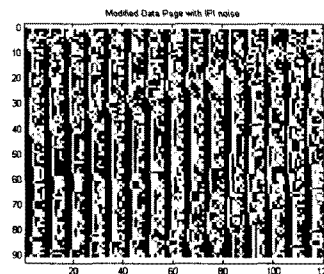


<그림.6> IPI 노이즈를 적용한 원본 데이터 페이지



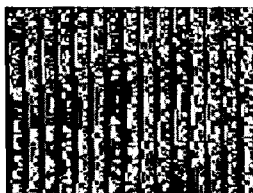
<그림.7> 에러보정 알고리즘을 적용한 데이터 페이지

클러스터 중심들을 기준으로 주위 9x9 픽셀들에 대해 on픽셀에 대해 앞에서 구한 광량 차단값을 적용하여 <그림.7>의 새로운 데이터 페이지를 생성하였다. 제한한 방법으로부터 만든 데이터 페이지에 노이즈를 적용한 결과 <그림.8>의 결과를 얻을 수 있었다.

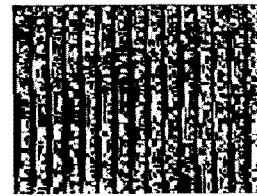


<그림.8> 새로운 페이지에 노이즈를 적용한 모습

새로운 데이터 페이지로부터 thresholding에 의해 이진 데이터를 복원한 결과 15개 픽셀만이 원본 데이터와 틀린 값으로 복원되었다.



<그림.9> CCD에 촬영된 원본 데이터 페이지



<그림.10> CCD에 촬영된 새로운 데이터 페이지

<그림.9>는 원본 데이터 페이지를 촬영한 결과이고 <그림.10>은 새로운 데이터 페이지를 촬영한 결과이다. 에러보정 알고리즘을 적용하여 생성한 데이터 페이지의 광량 분포가 더 고르게 나타났음을 볼 수 있다.

4. 결 론

HDSS 시스템에서 IPI 노이즈는 에러를 발생시키는 주요 원 인중 하나이다. 또한 주어진 데이터를 정확하게 기록/재생하기 위해서는 저장매체에 기록되는 데이터 페이지의 intensity profile이 최대한 고르게 분포될 필요가 있다. Subtractive Clustering 기법을 사용하여 on픽셀이 모인 부분을 찾아 그부분의 광량을 일정 수준 차단하도록 하였고 신경망 이론의 역전파 알고리즘을 사용해 변수를 최적화하여 시뮬레이션에 의해 에러 픽셀의 개수가 61개에서 15개로 줄어든 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 차세대 대용량 정보저장장치 개발사업(00008145)의 일환으로 수행되었으며 관계자분들의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Hans J.Coufal, Demetri Psaltis, Glen T.Sincerbox, "Holographic Data Storage" (Springer)
- [2] 나원, 백중환, "클러스터링을 이용한 C. elegans 행동표현형의 분류", 대한 전자공학회 03년도 하계종합학술대회 논문집 IV, pp1743-1746.
- [3] 김민수, 강성곤, "입출력 부공간에서의 데이터 클러스터링에 의한 퍼지제어 시스템 설계", 대한 전자공학회 논문지 1977,12 vol.34S, no.012, pp.30-40
- [4] Su Hwan Kim, Kyung Jin Kang, Tae Won Rhee, "확장된 퍼지 클러스터링 알고리즘을 이용한 영상 분할" 전자공학회 논문지-B 1992,3 vol.29B, no.003, pp35-46
- [5] Simon Haykin, "Neural Network" chap.6