

홀로그래픽 정보 저장 장치의 Modulation 코드

Modulation Codes for Holographic Digital Data Storage

박주연, 황의석, 조장현
 대우전자 디지털 미디어 연구소
 jooyoun@web.dwe.co.kr

1. 서론

정보화의 가속에 따라서, 막대한 정보를 저장하고 처리하기 위한 대용량 정보 저장 장치가 요구되어 지면서, 여러 대응 방법들이 제안되었고, 그중 하나가 HDDS (Holographic Digital Data Storage) 이다. 이는 2차원 페이지 정보를 3차원의 공간상에 저장함으로써 고밀도 저장 능력과 빠른 전송 속도를 실현할 수 있다는 장점이 있다. HDDS는 2차원의 고밀도 이진 영상을 기록하고 재생하는 과정에서 인접 신호의 영향(ISI)과 가우시안 잡음(AWGN) 등이 포함되어지기 때문에 정보 복원 시 에러가 발생할 수 있다. 이러한 잡음의 영향을 줄이고 BER (bit error rate)을 충분한 수준으로 낮추기 위하여 modulation 코드^[1]를 사용한다. 즉, 기록되어지는 이미지에 에러가 많이 발생하는 형상을 제거하거나, 후 처리에서 에러를 줄일 수 있는 방법으로 인코딩 하여 에러를 줄이는 것이다. 본 논문에서는 이러한 modulation 코드에 대하여 살펴보고, 여러 코딩 방법의 특성을 컴퓨터를 이용한 가상 모의실험을 통하여 분석하였다.

2. 블록 코딩 방법

기록/재생 후 검출되어진 이진 영상은 앞서 언급한 여러 잡음들이 포함되므로 이에 대하여 공통적인 문턱 값을 적용하게 되면 많은 에러를 발생시키게 된다. 이러한 영향을 줄이기 위하여 블록단위로 국부적인 문턱 값을 적용할 수 있도록 인코딩 하는 방법이 블록 코딩 방법으로, 패리티 코딩과 밸런스 코딩 방법이 가장 많이 쓰인다. 패리티 코딩은 블록 내의 ON 픽셀의 개수를 패리티 비트로 함께 기록하여, 디코딩 시 패리티를 통하여 ON 픽셀의 개수를 알아내고, 인텐시티 값의 크기를 비교하여 이 개수만큼의 픽셀을 선택하여 ON으로 디코딩하고 나머지를 OFF로 디코딩 하는 방법이다. 더해지는 패리티의 양에 따라 BER 성능이 달라지며, 일반적으로 밸런스 코딩에 비해 BER 성능은 조금 떨어지는 편이지만 상대적으로 코드율이 높다는 장점이 있다. 밸런스 블록 코딩은 블록내의 ON 픽셀과 OFF 픽셀의 개수가 같도록 인코딩 하는 방법으로 1:2, 4:6, 6:8 등의 조합이 가능하다. 1:2 코드는 differential 코드로 불리며, ON 픽셀을 ON-OFF로, OFF 픽셀을 OFF-ON으로 인코딩 하여 디코딩 시 두 픽셀의 인텐시티 값의 크기를 비교하여 ON, OFF를 결정하는 방법이다. BER 특성은 매우 우수하나 코드율이 0.5로 낮다는 단점이 있다. 4:6과 6:8은 각각 4, 6비트의 정보 어를 6, 8비트의 ON, OFF의 개수가 같은 부호 어로 인코딩 하는 방법이다. 코드율을 높일수록 BER 성능은 떨어지나 패리티 코딩에 비해서 전반적으로 우수한 BER 특성을 갖는다. 또한 검출된 배열과 부호어의 상관성(correlation)을 이용하여 BER을 높일 수 있는 방법도 있으나, 상대적으로 계산 시간이 길어지는 단점이 있다.

3. Strip 코딩 방법

블록 코드가 해당 정보어 자체를 이용해 독립적으로 인코딩 하는 것과는 달리 strip 코드는 부호어가 현재의 정보어와 이전의 정보어들에 의해 주어지는 내부 상태에 따라 순차적으로 인코딩 되는 방법이

다 디코딩 시에도 내부 상태와 검출된 배열과 부호어의 상관성(correlation)에 따라 순차적으로 디코딩함으로써 채널을 통과하면서 발생하는 에러를 줄일 수 있다. 이러한 코딩방법으로 대표적인 것이 8:12 밸런스 코드^[2]로써 이 방법은 부호어들 간의 해밍 거리를 4 이상으로 유지하여 에러를 정정할 수 있는 장점이 있다. 이 방법의 트렐리스 선도를 그림 1에 나타내었다. 각각의 화살표들은 64개의 부호어들을 가지고 있고 정보어와 내부 상태에 따라서 하나의 경로를 따라 순차적으로 인코딩 되어진다. 디코딩 시에는 각 상태에 대한 상관성을 계산하여 상관성이 가장 큰 경로를 택하여, 역시 순차적으로 정보어를 복원해 낸다.

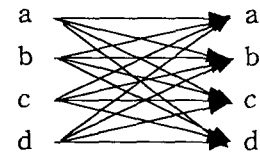


그림 1. 8:12 strip 코드의 트렐리스 선도

4. 각 코드의 BER 성능 평가

각 코드의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터를 이용한 가상 모의실험을 수행하였다. 노이즈는 Nyquist 광구경이 주는 ISI와 가우시안 잡음을 고려하였고, 신호 이미지에 이들 노이즈의 상대적인 세기를 변화시켜 가면서 SNR을 조절하였다.^[3] 각 코드에 따라 대략 100장 정도의 160×120 고밀도 이진 영상을 사용하였고, 에러 정정 능력을 확인하기 위하여 고의로 페이지당 1-2개의 에러를 발생 시켰다. 기타 조건들은 현재 연구팀에서 보유하고 있는 채널 평가기에 준하여 결정하였다. 코드의 성능을 비교하기 위하여 전체 정보 비트 중 에러난 비트의 비를 나타내는 BER 값과 고정 BER을 얻기 위한 Capacity gain 값을 각 코드에 대하여 계산하였다. 그림 2는 SNR에 대한 BER 그래프로써, 국부적으로 ON과 OFF를 결정하는 블록의 크기가 작을수록 BER 성능이 우수함을 알 수 있다. 또한 8:12 밸런스 코드는 에러를 정정함으로써 가장 우수한 성능을 보이고 있다. 그림 3은 Capacity gain을 나타낸 것으로 그림 2와는 조금 다른 특성을 보여주고 있다. BER 특성이 우수한 코드중의 하나였던 differential 코드는 낮은 코드율(0.5) 때문에 용량 면에서는 가장 나쁜 특성을 갖는 반면에 8:12 코드는 여전히 좋은 성능을 갖는다.

5. 결론

본 논문에서는 홀로그래픽 정보 저장 장치에 사용되는 코딩 방법에 대해서 전반적으로 살펴보고 시뮬레이션을 통하여 코드 성능을 비교 분석하였다. 두 결과를 비교해 볼 때 strip 인코딩을 통하여 에러 정정 능력이 있는 8:12 밸런스 코딩 방법이 가장 우수한 성능을 보이며, 상대적으로 낮은 코드율(0.66) 문제를 해결한다면 더욱 경쟁력 있는 코딩 방법이 될 것이다.

참고문헌

[1] J. Heanue et al, "Channel codes for digital holographic data storage," J. Opt. Soc. Am. A 12, 2432-2439 (1995).
 [2] J. Ashley et al., "Encoding and detection of balanced code," US Patent 6,016,330 (2000).
 [3] E. Hwang et al., "Channel modeling and spectral domain evaluation of the modulation codes in holographic data storage system," Proc. of Satellite ISOM 2000, 62-63 (2000).

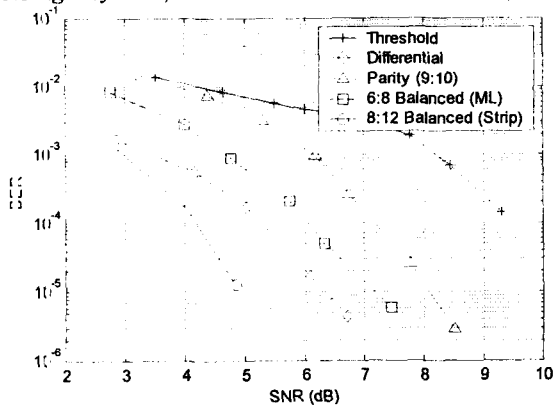


그림 2. SNR에 따른 BER 변화

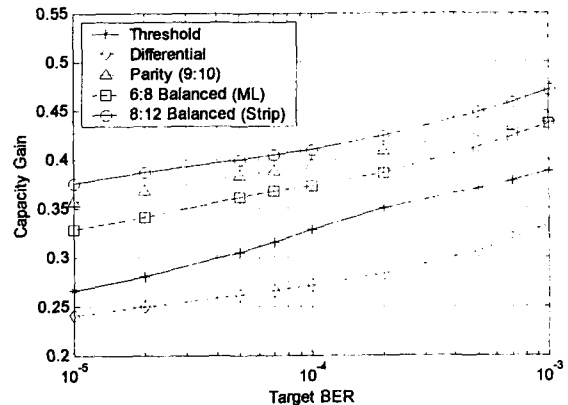


그림 3. 특정 BER에 대한 Capacity gain 변화