

# 군집 소실 채널 상에서의 인터리빙된 짧은 코드의 성능 분석

\*장재윤 \*장민† \*김상효 \*이성준

\*성균관대학교 \*\*한국전자통신연구원

\*[minycloud@gmail.com](mailto:minycloud@gmail.com)†

## Performance Analysis of Interleaved Short Length Codes over Burst Erasure Channel

\*Jae-Yoon Jang \*Min Jang \*Sang-Hyo Kim \*\*Sung-Jun Lee

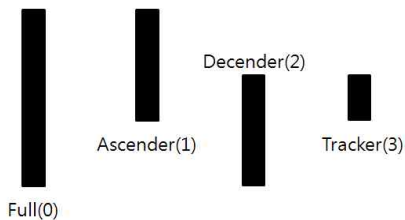
\* Sungkyunkwan University \*ETRI

### 요약

본 논문에서는 군집 소실 채널 상에서 동작할 수 있는 짧은 길이의 인터리빙된 코드들의 성능을 분석한다. 먼저 좋은 성능을 갖는 짧은 길이의 그래프 부호와 해밍부호를 설계한다. 이 후 군집 소실에 잘 대응하기 위하여 인터리빙 기능을 채널 부호화 방법에 적용한다. 생성된 짧은 코드에 적용한 인터리빙 부호를 군집 소실에 최적의 성능을 보이는 Reed-Solomon (RS) 부호와 성능을 비교한다. 짧은 길이의 부호이므로, ML(Maximum Likelihood)방법과 BP(Belief propagation)의 두 가지 복호 방법들을 이용한 경우 성능의 차이 또한 비교해 본다.

### 1. 서론

네 가지 상태를 갖는 바코드인 4상 바코드 시스템은 [그림 1]과 같다. 현재 4상 바코드 시스템은 미국을 비롯한 호주, 캐나다 등의 국가에서 사용되고 있으며 국내에서도 사용을 검토하고 있다. 이 바코드는 기존의 바코드에 비해 하나의 바코드가 갖는 값이 증가하여 더 많은 데이터를 효과적으로 전달할 수 있는 장점이 있는 반면, 바코드가 갖는 정보량이 증가함에 따라 오류 검출 혹은 오류 정정의 필요성 또한 증가하게 되었다. 이에 따라 4상 바코드 시스템을 사용하고 있는 각 국가들은 우편 바코드에서 동작하는 효과적인 오류 정정 부호를 개별적으로 연구하여 적용을 하고 있다. 미국의 United States Postal Service (USPS) 경우에는 11bit크기의 interleaved 소실 채널 부호를 사용하고 있으며, 호주와 캐나다는 RS 부호[1]를 사용하고 있다. 본 논문에서는 우편 바코드 시스템에 적용할 수 있는 짧은 크기의 그래프 부호와 해밍코드를 이용해서 모의실험을 해본다. 그리고 이를 우편 바코드가 처할만한 채널환경에서 인터리빙 방법을 적용한 후 실험하여 성능을 분석해 본다. 또한 같은 채널환경에서 적용될 수 있는 적절한 크기의 인터리빙 하지 않은 RS부호를 이용해서 모의실험 해 봄으로써 인터리빙된 부호화의 성능 분석을 해본다.



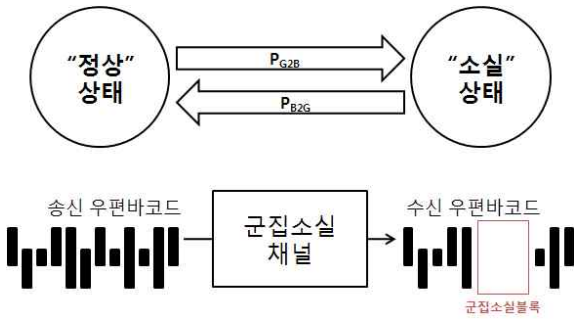
[그림 1] 4-state Barcode 시스템 부호화

### 2. 본론

#### 2.1 군집 소실 채널 (Burst Erasure Channel)

바코드 판독 결과를 분석하면 종이에 인쇄되는 바코드의 물리적인 특성 상, 바코드의 값이 바뀌는 오류는 거의 나타나지 않으며 바코드 값이 사라지는 소실이 주로 나타나게 된다. 또한 이러한 소실은 봉투의 일부분이 찢어지거나 혹은 다른 물체에 의해서 가려질 때, 혹은 바코드 판독 위치를 잘못 판단하였을 때 발생하기 때문에 군집하여 나타나는 경우가 대부분이다. 따라서 본 논문에서 바코드가 치하는 상황을 군집 소실채널[4]로 모델링하였다.

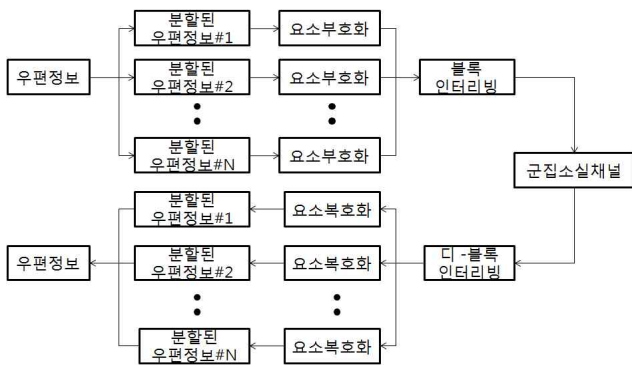
군집 소실 채널은 입력되는 심벌의 연속적인 일부분을 지워서 소실로 만든다. [그림 2]는 군집 소실 채널 모델을 보여준다. “정상”은 소실이 발생하지 않은 상태이며, “소실”은 1의 확률로 소실이 발생하는 상태를 말한다. 각 상태로의 천이는  $P_{G2B}$ ,  $P_{B2G}$ 에 의해서 결정되는데,  $P_{G2B}$ 는 “정상” 상태에서 “소실” 상태로의 천이 확률이고,  $P_{B2G}$ 는 “소실” 상태에서 “정상” 상태로 천이할 확률이다.  $P_{G2B}$ 는 군집 소실 블록이 발생할 확률에 영향을 미치는 파라미터로, 그 값이 작을수록 군집 소실 채널은 더 좋은 특성을 나타내게 된다. 반면에  $P_{B2G}$ 는 군집 소실 블록의 길이에 영향을 미치는 파라미터로,  $P_{B2G}$ 가 클수록 평균 군집 소실 블록의 크기는 작아지고, 반대로  $P_{B2G}$ 가 작으면 평균 군집 소실 블록의 크기는 커진다. 본 논문에서는 이와 같은 두 파라미터를 적절하게 설정하여 실제 우편 바코드가 처할 수 있는 채널을 모델링한다.



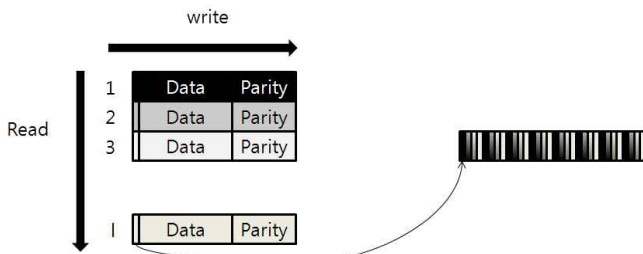
[그림 2] 랜덤 군집소실채널의 상태 천의 다이어그램

## 2.2 짧은 길이의 인터리빙 부호

우편 바코드 시스템의 전반적인 전송 과정은 [그림 3]과 같다. 특히 이 과정 중 존재하는 군집 소실 채널의 특성상 채널을 통과한 부호는 군집해서 소실이 일어나게 된다. 최적의 소실 복원 능력을 갖는 부호를 요소 부호로 삼아 인터리빙 하여 최적의 군집소실 복원 능력을 갖는 부호를 설계할 수 있음이 알려져 있다. 여기서 인터리빙 방법 [2], [3] 이란 채널로 부호를 전송하기 전 부호화(encoded)된 부호어를 순차적으로 보내는 것이 아니라 [그림 4]와 같은 방법으로 진행하는 방법을 말한다. 데이터 읽는 방법을 열 방향으로 읽지 않고 행 방향으로 읽으면서 각 행에서 한 비트씩 전송하게 한다. 인터리빙방식을 채택하여 부호화 된 코드에 적용하게 되면 연속적인 소실이 일어나더라도 각 행의 소실개수는 인터리빙 방식을 채택하기 전보다 줄일 수 있어 효과적인 복호가 가능하게 한다.



[그림 3] 전반적인 우편정보 전송 과정.



[그림 4] 블록 인터리빙 방법

## 2.3 요소부호

본 논문에서는 바코드 시스템에 적용할 오류 정정 부호로 앞서 살펴본 짧은 길이의 인터리빙 부호와 캐나다, 호주 등의 우편시스템에서 사용하는 RS 부호를 고려한다.

인터리빙 부호의 생성을 위해서 사용한 오류정정부호는 그래프 부호와 해밍 부호이다. 그래프 부호는 짧은 길이의 LDPC [5] 부호에 사용되는 패리티 체크 행렬을 이용하여 생성하였으며, 서로 다른 부호율을 갖는 두 그래프 부호를 설계하였다. 이 그래프 부호의 부호어의 크기는 24 비트로 동일하며, 인터리빙 블록의 수를 5개이다. 해밍부호는 GF(25)에서 설계된 (31, 26)부호와 GF(24)에서 설계된 (15, 11) 부호를 고려하였다. 그래프 부호와 비슷한 부호어의 길이와 부호율을 갖도록 각각 4개와 9개의 인터리빙 블록을 생성하였다. 각 부호의 메시지 비트수, 부호어의 비트수, 부호율, 블록 수는 [표 1]에 나타나있다.

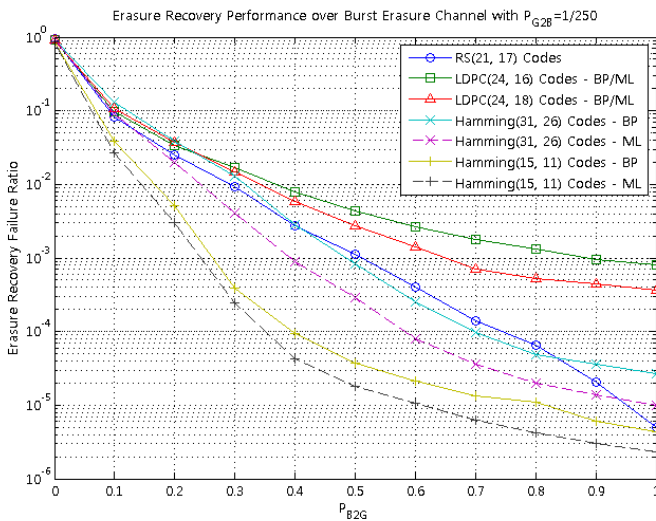
[표 1] 모의실험에서 사용되어지는 각 부호

	메시지 (Message)	코드워드 (Code word)	부호율 (Code rate)	블록수 (Depth)
RS(21.7)	102	126	0.809	1
Graph(24.16)	80	120	0.666	5
Graph(24.18)	90	120	0.75	5
Hamming(31.26)	104	124	0.838	4
Hamming(15.11)	99	135	0.733	9

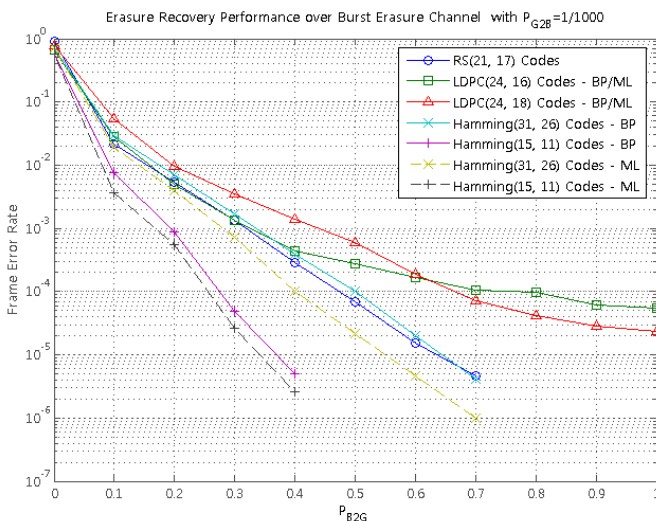
## 3. 모의실험 및 결과

랜덤 군집소실채널을 채널환경으로 설정하고 해밍 부호와 그래프 부호를 이용해서 인터리빙 과정을 거친 부호와 인터리빙을 거치지 않은 RS부호를 군집 소실 채널에 통과 시켜 봄으로써 어느 부호가 더 좋은 성능을 가지는지 모의실험을 해 보았다. 모의실험의 복호화(decoded) 방법으로는 짧은 크기의 코드를 사용하기 때문에 그래프 부호에 소실 채널 신뢰 전파 복호 방식이 사용되었다. 또한 짧은 크기 이므로 최대 우도 복호도 고려 하였다.

[그림 5]과 [그림 6]은 랜덤 군집소실채널 환경에서 각 코드들의 소실 복원 성능을 분석한 것이다. [그림 4]과 [그림 5]의 가로축은 소실블록의 크기에 영향을 미치는  $P_{\text{BLK}}$ 이며, 값이 커질수록 소실블록의 크기가 작아진다. 모의실험에서 사용되어진 코드들의 정보는 [표 1]에 있는 값을 이용하였고 전반적인 실험 결과로는 부호율이 낮을수록 소실이 적어지는 경향을 [그림 5]과 [그림 6]에서 볼 수 있다. 또한 최대 우도 복호 방법과 신뢰 전파 복호 방법들간 비교에서는 그래프 부호에서는 별 차이를 보이지 않았으나 해밍 부호에서는 최대 우도 복호방식이 신뢰 전파 복호 방법에 비해서 더 우수한 성능을 보였다. 마지막으로 그래프 부호를 인터리빙 해서 얻은 결과값은 부호율이 RS부호에 비해서 더 작은 수치를 가지고 있었지만 군집 소실 채널상에서의 성능 비교를 해 보면 RS부호 보다는 낮은 성능을 보인다는 것을 알 수 있었다. 반면에 해밍 부호를 인터리빙 해서 얻은 결과 값은 부호율이 RS부호에 비해서 더 높을 경우에도 신뢰 전파 복호 방법에서는 군집 소실 채널상 성능 비교를 했을 경우 비슷한 결과 값이 나왔고 최대 우도 복호 방법을 이용했을 때는 더 좋은 결과 값을 얻을 수 있어 인터리빙된 해밍 코드가 RS부호에 비해서 더 좋은 성능을 보인다는 것을 알 수 있었다.



[그림 5] 균집소실채널에서의 부호별 소실복원 성능분석  $P_{G2B}=1/250$



[그림 6] 균집소실채널에서의 부호별 소실복원 성능분석  $P_{G2B}=1/1000$

#### 4. 결론 및 향후 연구 방향

균집 소실 채널에서 최적의 성능을 보이는 부호를 찾아보기 위해서 인터리빙 시키지 않은 RS부호와 인터리빙 된 해밍부호, 그래프부호를 이용해서 채널을 통과 시켜 본 결과 그래프 부호는 RS부호 보다는 성능이 미치지 못하지만 인터리빙된 해밍 부호는 RS부호 보다 성능이 좋았다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 적은 크기에서는 신뢰 전과 복호 방식보다는 최대 우도 복호 방식이 더 좋은 복호화 방법이란 것을 알 수 있었다.

앞으로 바코드에 사용할 수 있는 RS부호나 작은 크기를 갖는 인터리빙 부호를 설계해보고, 이를 지능형 우편 시스템에서 사용하고 있는 interleaved 소실채널부호와의 성능 비교를 통해서, 미래에 지능형 바코드 시스템에 사용 가능한 최적의 오류, 소실 부호를 찾고자 한다.

#### 논문 사사

본 논문은 한국전자통신연구원의 연구 일환으로 수행되었다. (ETRI 지능형 우편 바코드 오류 제어 연구, 과제번호: 2009-0592-000)

#### 참고문헌

- [1] Reed, I. S. and Solomon, G., "Polynomial Codes Over Certain Finite Fields," SIAM Journal of Applied Math., vol. 8, 1960, pp. 300-304.
- [2] D. Divsalar, S. Dolinar, and C. Jones, "Protograph LDPC codes over burst erasure channels," in IEEE Military Commun. Conf., MILCOM'06, 2006.]
- [3] Gokul Sridharan, Abishek Kumarasubramanian, Andrew Thangaraj, and Srikrishna Bhashyam. Optimizing burst erasure correction of LDPC codes by interleaving. Information Theory, 2008. ISIT 2008. IEEE International Symposium on, pages 1143 - 1147, July 2008.
- [4] L. Xu. Maximizing burst erasure-correction capability of MDS codes. Communications, IEEE Transactions on, 54(11):1901 - 1904, Nov. 2006.
- [5] R. G. Gallager, Low-density parity-check codes. Cambridge, MA: MIT Press, 1963.