

## cdma2000 브로드캐스트 네트워크에서의 에러 복구 성능 분석

조용진<sup>o</sup> 조용우 김준우 강경태 신현식  
 서울대학교 컴퓨터공학부  
 {yongjin<sup>o</sup>, xtg05, kesker nicola, shinhs}@cslab.snu.ac.kr

## Performance Analysis of Error Recovery in cdma2000 Broadcast Networks

Yongjin Cho<sup>o</sup>, Yongwoo Cho, Junu Kim, Kyungtae Kang, Heonshik Shin  
 School of Computer Science & Engineering, Seoul National University

## 요약

cdma2000 브로드캐스트 네트워크에서는 에러의 제어를 위해서 전향적 에러 교정 방식을 사용한다. 본 논문에서는 에러가 연속적으로 발생하는 무선 환경의 특성을 고려하여 전향적 에러 교정 방식의 에러 복구 성능 분석에 필요한 모델을 제시하였고, 이를 수학적으로 해석하였다. 그리고 실험을 통해서 이 모델이 실제의 경우에도 충분히 적용될 수 있음을 보였다.

## 1. 서론

최근 3GPP2(Third Generation Partnership Project 2)는 cdma2000에서 브로드캐스트와 멀티캐스트 서비스(BCMCS)를 제공하기 위한 명세를 정립하였다[1][2][3]. 이 명세는 네트워크 리소스 사용을 최소화 하면서 양질의 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다.

일반적으로 무선환경은 유선환경보다 비트 에러율이 높고, 채널 상태가 좋지 않을 때 에러가 연속적으로 발생하는 특징이 있다. 따라서 양질의 서비스를 제공하기 위해서는 이러한 에러를 효과적으로 처리하는 방법이 필요하게 된다. 이를 위해 cdma2000의 BCMCS에서는 전향적 에러 교정(forward error correction) 방식으로 Reed-Solomon 코딩을 사용한다[4][5]. 이 경우 연속적인 에러를 복구하는데 효과가 있음은 널리 알려져 있지만, 에러 복구 성능에 대한 정확한 분석은 아직 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 cdma2000의 BCMCS에서 사용하는 Reed-Solomon 코딩의 에러 복구 성능 분석 모델을 제시하였고, 실험으로 이 모델의 정확성을 보였다.

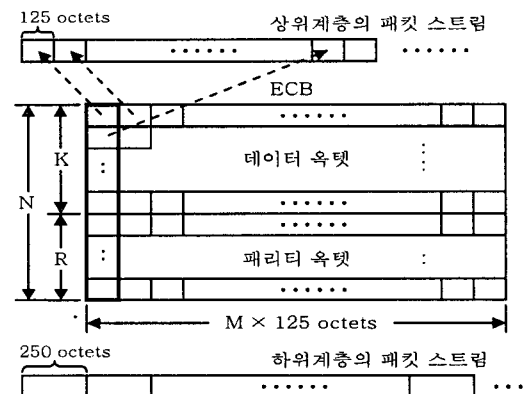
2장에서는 본 논문과 관련된 연구분야에 대해서 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제시하는 에러복구 모델에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험에 대해서 설명한 후에 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 언급한다.

## 2. 배경 연구

Reed-Solomon 코딩은 각 방식에 따라  $(N, K, R)$ 의 코드로 나타낼 수 있다. 이 코드를 이용할 경우  $K$ 개의 심볼을 전송하기 위해서  $R$ 개의 패리티 심볼을 추가해서 총  $N(=K+R)$ 개의 심볼을 전송한다. 한편으로

cdma2000은 물리계층에서 터보 코드(turbo code)를 사용해서 에러가 생긴 패킷은 상위계층으로 미리 알려준다. 따라서 최고  $R$ 개의 패킷이 에러가 나더라도  $N$ 개 패킷 전부를 복구할 수 있다.

에러 복구는 각각의 브로드캐스트 채널마다 따로 이루어진다. <그림 1>은 그 중 하나의 채널에 대한 에러 제어 블록(ECB)의 구조를 간략히 나타낸 것이고, 에러 복구 과정은 다음과 같다. 하위계층(물리계층)으로부터 250 옥텟의 패킷 스트림을 받아서 ECB의 첫 번째 행부터 차례대로 채워 나간다. ECB의 한 논리 패킷의 크기는 125 옥텟이기 때문에 하나의 하위계층 패킷은 두 개로 나누어져 채워진다. 일단 ECB 전체가 채워지면 열 단위로 에러복구를 하게 된다. 앞서 설명한 것과 같이  $N$ 개의 논리 패킷 중에  $R$ 개가 에러가 있더라도  $N$ 개를 전부 복구할 수 있다. 이렇게 복구가 끝나면 상위계층으로 125 옥텟의 논리 패킷 스트림을 넘겨준다. 만약  $R$ 개를 초과해서 에러가 있더라도 에러가 있는 패킷을 제외한 패킷은 정상적으로 상위계층으로 전달된다.



<그림 1> 한 개의 논리 채널에 대한 ECB 구조

### 3. 에러 복구에 대한 성능 분석 모델

#### 3.1 채널 모델

본 논문에서는 QPSK 변조 방식을 이용한 무선 채널 환경을 가정하였으며, 이때 Zorzi[6][7]의 임계 모델에 따라, Reyleigh Fading 채널 상에서의 에러 발생 경향을 first-order 2-state Markov 프로세스를 통해 모델링하였다. 이때 양호→불량 상태전이 확률을  $\alpha$ , 불량→양호 상태전이 확률을  $\beta$ , 전체 에러 발생확률을  $\varepsilon$ 으로 정의하였다.

#### 3.2 에러 복구에 대한 성능 분석

무선 채널에서는 에러가 연속적으로 발생하기 때문에 단순히 임의의 패킷이 에러인지에 관한 확률만 가지고는 분석 할 수 없다. 따라서 연속한 에러의 길이를 고려해야 한다. 이를 위해서 우선 현재부터 연속적으로  $\kappa$ 개의 패킷에서 에러가 발생할 확률을 아래와 같이 정의한다.

$$P_{burst}(\kappa) = (1 - \beta)^{\kappa-1} \beta$$

에러의 평균 연속 길이는  $1/\beta$ 로 평균 42 패킷이고, 이의 발생확률이 1~5% 이므로, 하나의 ECB에서 여러 개의 에러 클러스터가 나타나는 경우는 희박하다고 볼 수 있다. 따라서 ECB내에 에러 클러스터가 발생할 수 있는 경우는 <그림 2>와 같이 4가지로 분류된다. 현재 ECB의 처음부터 에러가 발생하다가 채널의 상태가 좋아지는 경우(Case1), 처음부터 끝까지 채널의 상태가 나쁜 경우(Case2), 채널 상태가 좋았다가 나빠진 후 다시 좋아지는 경우(Case3), 채널 상태가 좋다가 나빠져서 현재 ECB의 끝까지 나쁜 경우(Case4)이다. 그리고 각 경우에 대해서 복구를 못할 정도의 길이로 에러가 발생할 확률은 다음과 같다.

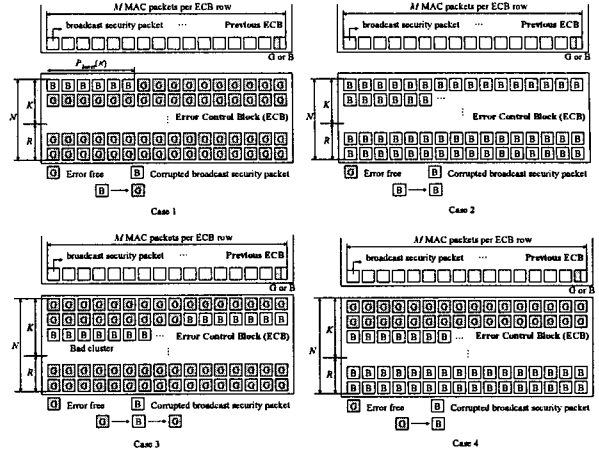
$$P_{case1} = ((1 - \varepsilon)\alpha + \varepsilon(1 - \beta)) \times \left[ \sum_{\kappa=RM+1}^{NM-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-1} \right],$$

$$P_{case2} = ((1 - \varepsilon)\alpha + \varepsilon(1 - \beta)) \times (1 - \beta)^{NM-1},$$

$$P_{case3} = ((1 - \varepsilon)(1 - \alpha) + \varepsilon\beta) \sum_{\lambda=1}^{(N-R)M-2} (1 - \alpha)^{\lambda-1} \alpha \times \left[ \sum_{\kappa=RM+1}^{NM-\lambda-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-\lambda-1} \right],$$

$$P_{case4} = ((1 - \varepsilon)(1 - \alpha) + \varepsilon\beta) \times \left[ \sum_{\kappa=RM+1}^{NM-1} (1 - \alpha)^{NM-\kappa-1} \alpha (1 - \beta)^{\kappa-1} \right].$$

위의 확률을 이용하여 각각의 경우에 대해서 하나의 ECB내의 복구하지 못한 논리 패킷 개수에 대한 기대값을 다음과 같이 구할 수 있다(단,  $\Theta = \kappa \bmod M$  이다).



<그림 2> 복구할 수 없는 에러의 4가지 경우

$$E_{case1} = ((1 - \varepsilon)\alpha + \varepsilon(1 - \beta)) \Phi_{case1},$$

$$\Phi_{case1} = \sum_{\kappa=RM+1}^{(R+1)M-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-1} \Theta + \sum_{\kappa=(R+1)M}^{NM-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-1} \kappa.$$

$$E_{case2} = ((1 - \varepsilon)\alpha + \varepsilon(1 - \beta))(1 - \beta)^{NM-1}.$$

$$E_{case3} = ((1 - \varepsilon)(1 - \alpha) + \varepsilon\beta) \sum_{\lambda=1}^{(N-R)M-2} (1 - \alpha)^{\lambda-1} \alpha \Phi_{case3} + ((1 - \varepsilon)(1 - \alpha) + \varepsilon\beta) \sum_{\lambda=(N-R)M-1}^{(N-R)M-2} (1 - \alpha)^{\lambda-1} \alpha \Phi'_{case3},$$

$$\Phi_{case3} = \sum_{\kappa=RM+1}^{(R+1)M-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-\lambda-1} \Theta + \sum_{\kappa=(R+1)M}^{NM-\lambda-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-\lambda-1} \kappa,$$

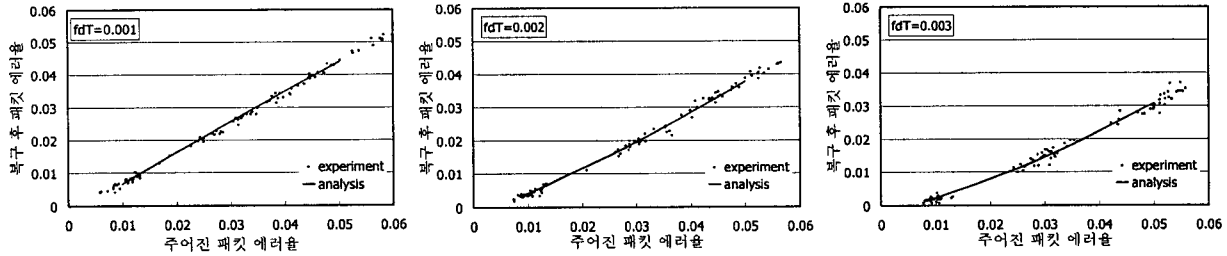
$$\Phi'_{case3} = \sum_{\kappa=RM+1}^{NM-\lambda-1} P_{burst}(\kappa)(1 - \alpha)^{NM-\kappa-\lambda-1} \Theta.$$

$$E_{case4} = ((1 - \varepsilon)(1 - \alpha) + \varepsilon\beta) \Phi_{case4},$$

$$\Phi_{case4} = \sum_{\kappa=RM+1}^{(R+1)M-1} (1 - \alpha)^{NM-\kappa-1} \alpha (1 - \beta)^{\kappa-1} \Theta + \sum_{\kappa=(R+1)M}^{NM-1} (1 - \alpha)^{NM-\kappa-1} \alpha (1 - \beta)^{\kappa-1} \kappa.$$

그리고 전체 경우의 기대값은 각 경우의 기대값을 모두 더한 값이므로, 에러 복구 후의 패킷 에러율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$PER_{recoverd} = \frac{E_{case1} + E_{case2} + E_{case3} + E_{case4}}{NM}$$



<그림 3> Reed-Solomon 코드가 (16, 12, 4)일 때 실험 결과와 분석 결과의 비교

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 실험 환경

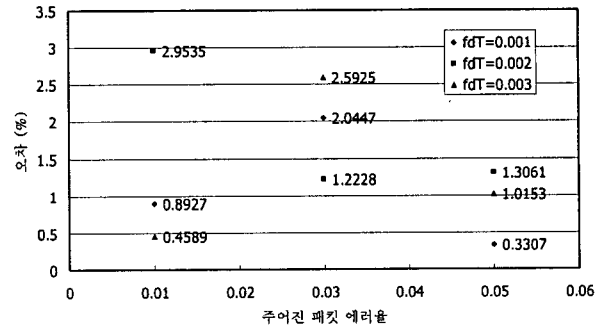
하위계층으로부터 받는 패킷의 에러 패턴에 영향을 미치는 요소는 페이딩 값(fdT), 패킷 에러율(PER) 2가지가 있다. 이 두 값을 각각 0.001에서 0.003까지, 0.01에서 0.05까지 주어서 실험을 하였다. 그리고 Reed-Solomon 코드는 (16, 12, 4)를 사용하여 실험 하였으며, ECB의 M 값은 가장 좋은 복구 성능을 보이는 값인 16으로 주었다. 이러한 다양한 조건을 바탕으로 한 실험을 통해 실제로 에러 복구 후 상위계층으로 전달되는 패킷의 에러율을 얻었다.

##### 4.2 실험 결과

<그림 3>은 Reed-Solomon 코드가 (16, 12, 4)이고, fdT가 각각 0.001, 0.002, 0.003일 때 실험 결과와 분석 결과를 비교한 것이다. 분포된 점은 100개의 노드에 0부터 0.06사이의 패킷 에러율을 주었을 때 복구 후 패킷 에러율을 도시한 것이고, 실선은 분석 모델로 계산한 계산한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 분석으로 예측한 값을 중심으로 실험 결과가 전구간에서 아주 근접하게 분포함을 알 수 있다. 그리고 두 결과 사이의 오차는 <그림 4>에 나타나 있다. 이는 10개의 노드의 결과를 평균한 값과 분석모델의 결과를 주어진 패킷 에러율이 0.01, 0.02, 0.03일 경우에 대해 비교한 것이다. 결과에서 나타난 바와 같이 오차가 3%이내로 본 논문에서 제시한 분석 모델이 매우 정확하다는 것을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 cdma2000의 BCMCS에서 에러 복구를 위해 사용하는 전향적 에러 복구 방식의 성능에 대한 수학적 분석 모델을 제시하였고, 다양한 환경을 고려한 인자들을 사용하여 제시한 분석 모델에 대한 정확성을 검증하였다. 본 연구는 현재의 BCMCS에서의 에러 복구 성능에 대한 수학적 분석 모델을 제공할 뿐만 아니라, 차세대 무선이동통신에서 광범위하게 사용될 것으로 예상되는 전향적 에러 복구 및 그와 연관된 활용 분야에 대한 연구에 분석적 기초를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.



<그림 4> 실험 결과에 대한 분석 결과의 오차

#### 참고 문헌

- [1] 3GPP2 X.P0019 v0.1.3, "Broadcast-multicast services (bcmcs) framework draft document," August 2003.
- [2] J. Wang, R. Sinnarajah, T. Chen, Y. Wei, E. Tiedemann, and QUALCOMM, "Broadcast and multicast services in cdma2000," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 2, pp. 76-82, February 2004.
- [3] 3GPP2 S.R0083-0 v1.0, "Broadcast-multicast services security framework," October 2003.
- [4] P. Agashe, R. Rezaifar, P. Bender, and QUALCOMM, "cdma2000 high rate broadcast packet data air interface design," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 2, pp. 83-89, February 2004.
- [5] 3GPP2 C.S0054 v1.0, "cdma2000 high rate broadcast-multicast packet data air interface specification," March 2005.
- [6] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "On the accuracy of a first-order markov model for data block transmission on the fading channels," *Proc. IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, pp. 211-215, November 1995.
- [7] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "Error statistics in data transmission over fading channels," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 46, no. 11, pp. 1468-1477, November 1998.