

# Rayleigh Fading 채널에서 SCCC의 반복복호에 의한 UEP 채널 부호화의 성능 분석

이 연 문, 조 경 식, 정 차 근  
호서대학교 제어계측공학과 영상통신연구실  
전화 : (0418) 540-5429 / FAX : (0418) 540-5480

## Performance of UEP Channel Coding with Iterative Decoding of SCCC under Rayleigh Fading Channel

Youn Moon Lee, Kyung Sik Cho, Cha Keon Cheong  
Image Communication Lab., Dept. of Control&Instrumentation, Hoseo University  
E-mail : minall@netian.com

### Abstract

본 논문에서는 이동 무선 채널에 의한 동영상의 실시간 전송을 위해 채널 상태에 따라 터보코드의 반복 복호 횟수를 자동으로 결정한 UEP(Unequal Error Protection) 채널 부호화 방법에 대해 레일리 페이딩 채널에서의 성능을 분석한다. 이 부호화 방법은 열악한 채널 환경에서 우선 순위가 높은 정보에 보다 많은 반복 횟수가 부과되게 함으로써 헤더 정보나 움직임 벡터 등과 같이 동영상 신호의 복원에 중요한 정보에 대한 오류의 전파효과를 억제시킬 수 있다. 연접 오류의 주요인인 레일리 페이딩 채널에서 복호기의 성능을 분석하기 위해 컴퓨터 모의실험을 수행해 그 결과를 제시한다.

### 1. 서 론

채널의 대역폭이 제한되어 있는 이동체 무선망에 의한 동영상 정보 전송의 경우, 채널 특성의 변화로 인해 랜덤 에러 및 Multipath Fading에 의한 Burst 에러의 발생으로 수신영상의 품질을 보증할 수 없게 된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 Forward Error Correction(FEC)에 의한 에러 검출 및 정정, 에러를 은닉하기 위한 기법들에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다.[1] 그러나 기존의 방법들은 동영상이 가지고 있는 정보의 특성을 충분히 고려하지 않고 채널 특성만을 이용한 방법들이 대부분으로 고품질의 동영상 정보를 전송하기에는 한계가 있다.

Turbo Code라 알려진 Parallel Concatenated Convolutional Code(PCCC)[2]는 Shannon limit에 근접할 정도의 코딩 이득을 보인다. 그러나 반복 복호로 인한 시간지연 때문에 동영상의 실시간 전송에는 적합하지 않다. 이에 비해 SCCC(Serially Concatenated Convolutional Code)[3]는 연접부호의 하나로 PCCC와 비교해서 인터리버 이득이 크고, 낮은 BER에서 더 우수한 성능을 갖는다. 이런 SCCC 구조의 특성과 동영상 정보가 갖는 특성을 고려함으로써 UEP 기능의 실현이 가능하다. 또한 계산량을 줄여 실시간 전송을 하기 위해서 부호에 SOVA(Soft Output Viterbi Algorithm)[4]를 사용해서 복호한다.

정보원의 특성에 따라 SCCC 구조의 반복 복호 횟수를 자동으로 조절함으로써 상이한 오류 정정 능력을 갖는 UEP 기능의 채널 부호화의 실현이 가능하다. 즉, 우선 순위가 높은 정보에 대해서는 반복 복호 횟수를 늘리고 우선 순위가 낮은 정보에 대해서는 반복 복호 횟수를 줄이거나 하지 않도록 한다.

본 논문에서는 [5]에서 검토한 부호화 방법으로 레일리 페이딩 채널환경하에서의 부호화 성능을 분석한다. 실험에서 기지국에 대해 이동체가 움직인다는 조건하에 도플러 효과에 의한 레일리 페이딩 채널 모델을 적용한다. 레일리 페이딩 채널에서 제한된 최대 반복 횟수와 인터리버 사이즈에 따른 복호기의 성능을 컴퓨터에 의한 모의 실험으로 검증하고 그 결과를 제시한다. 즉, SCCC의 구조에서 RCPC 부호를 사용해 정보의 우선순위에 따라 부호율을 다르게 적용하고 레

일리 페이딩 채널 모델링을 거친 후 반복 복호를 수행한다. 마지막으로 제시된 부호화 방법을 적용해서 반복 횟수와 인터리버 크기에 따른 Rayleigh Fading 채널에서의 성능을 비교 분석한다.

2. Rayleigh Fading 채널 모델링

SCCC 에 의한 UEP 채널 부호화 방법[5]은 정보의 중요도에 따라 반복 복호의 횟수를 자동으로 조정함으로써 열악한 채널환경에서도 중요도가 높은 정보를 효율적으로 보호하기 때문에 동영상 전송에 있어서 헤더정보나 움직임 벡터 등의 손상에 의해 복호 영상의 치명적인 손상이나 오류의 연속프레임으로의 전파를 방지할 수 있다.

실험에서는 비교적 단순한 구조로 널리 사용되는 Clarke's 모델[6]을 사용해서 페이딩 채널을 구현하고 이동체의 속도가 120km/h 인 채널을 가정해서 실험을 진행한다.

이동 통신 환경에서의 통신 시스템의 성능은 다양한 비선형 및 시변성의 채널특성의 변화로 인해 많은 제약을 받는다. AWGN 과 기지국에 대해 이동체가 움직이므로써 발생되는 도플러 효과, 지형지물로 인한 음역 효과, 인접 채널간에 발생하는 동일 채널 간섭 현상과 다경로 산란으로 인한 시간 지연 퍼짐, 그리고 신호가 여러 경로들을 통해 서로 다른 신호 강도와 다른 시간에 수신됨으로써 발생하는 다경로 페이딩 현상 또는 레일리 페이딩 현상 등이 이동 통신 시스템에서 심각한 제한점들이 되고 있다. 특히, 다경로 페이딩 현상은 연접 오류의 주요인이 된다[7].

본 논문에서는 Clarke's 모델을 사용해 레일리 페이딩 채널을 구현한다. 이것은 이동체에서 수신된 신호에 대한 전자장의 통계적 특성을 추정한 모델이다. 여기서 이동체 안테나에 대한 전자장의 입사조건이 임의의 위상과 임의의 도달 방위각을 가지고 N 방위 평면파로 구성되어 있다고 가정한다. 또한 신호 성분이 이동체에 직접 도달하는 경로가 존재하지 않기 때문에 신호의 레벨이 동등한 평균 크기를 갖는 것으로 가정한다.

$f_c$ 의 전송 주파수에서 이동국을 향해  $\alpha$ 의 각도로 들어오는 신호중 어느 특정 순간에서의 주파수  $f$ 는 다음의 식(1)과 같이 표현된다.

$$f = \frac{v}{\lambda} \cos(\alpha) + f_c = f_m \cos \alpha + f_c \quad (1)$$

여기서  $v$ 는 이동체의 속도이고,  $\lambda$ 는 전송 주파수의 파장을 나타낸다. 그리고  $f_m$ 은 최대 도플러 천이 주파수이다.

주파수  $f$ 에 대한 파워 스펙트럼은 다음과 같이 주

어진다.

식(2)에서 파워 스펙트럼은 최대 도플러 천이 주파수  $f_m$ 에서 차단 주파수를 갖는 저주파 필터와 같은

$$S_{E_z}(f) = \frac{1.5}{\pi f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m}\right)^2}} \quad (2)$$

역할을 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 주파수  $f$ 가 최대 도플러 주파수를 갖는다면 즉, 위상이  $0^\circ$  또는  $180^\circ$ 일때 파워 스펙트럼의 크기는 무한대가 된다. 그러나 이런 위상을 가질 확률이 극히 낮으므로 고려하지 않아도 실용상에는 문제가 되지 않는다. 그림 1은 이상의 레일리 페이딩 채널 모델링을 나타낸 것이다.

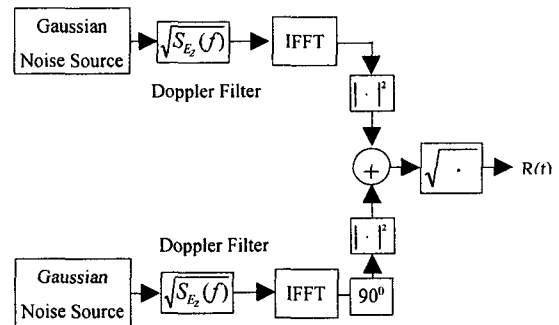


그림 1 레일리 페이딩 채널 모델링

이동 무선 채널에서 레일리 분포는 일반적으로 개별적인 다경로 요소의 포락선이나 플랫 페이딩 신호의 수신된 포락선의 통계적 시변 특성으로 표현되어진다. 두 Gaussian 노이즈의 합에 대한 포락선이 레일리 분포를 따른다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그림 2는 2GHz 대역에서 이동체 속도가 120km/h 이고 64kbps

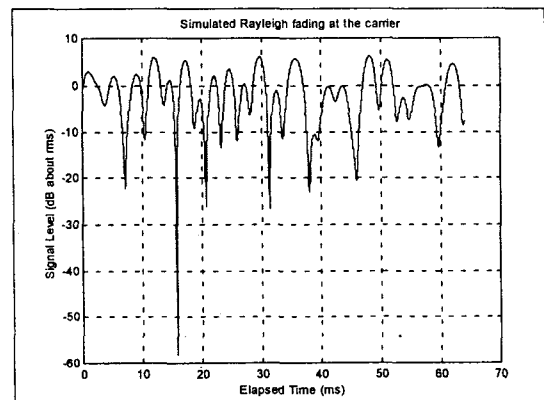


그림 2 2GHz 대역에서 이동체 속도가 120km/h 이고 64kbps의 전송속도를 가지는 레일리 페이딩 채널의 포락선

의 전송속도를 가지는 레일리 페이딩 채널의 포락선을 시간 함수에 따라 나타낸 것이다.

### 3. 실험 구성

본 논문에서는 그림 3 과 같은 RCPC 부호[8]를 사용한 SCCC 에서 정보의 우선 순위에 따라 부호율을 다르게 적용해서 반복 복호를 수행한다. 실험에 사용한 SCCC 는 2 개의 1/2 RSC 코드를 S-랜덤 인터리버 [9]를 사이에 두고 직렬로 연결했다. 생성다항식은 (7,5)<sub>8</sub>를 사용했고 레일리 페이딩 채널 모델링을 적용했다. 또한 복호기는 그림 4 와 같이 SOVA 를 사용한 기본적인 SCCC 복호 방법에 경계값 측정 모듈이 첨가된 구조로 되어있다. 이 모듈에서 채널의 출력에 대한 연관정 값(신뢰값)을 측정함으로써 반복 복호 횟수를 자동으로 조정할 수 있게 했다.[10]

변복조단에 의한 채널 특성 변화는 변복조 시스템이 이상적이라 가정하여 고려하지 않았다. 즉, 변복조 시스템은 단순히 신호의 중심주파수를 천이시키는 작용만 한다고 보아 본 실험에서는 레일리 페이딩의 특성과 AWGN 에 의한 랜덤 잡음을 채널을 특징짓는 주요인으로 고려했다. 이동체가 120km/h 로 진행할 경우 통과 대역 주파수가 2GHz 에서 222Hz 의 최대 도플러 주파수를 갖는다. 본 논문에서는 기지국과 이동체 사이의 자연 장애물과 인공 구조물을 고려해서 시변 채널을 사용하고, 이동체가 움직임에 따라 도플러 효과에 의해 발생하는 페이딩율이 222Hz 인 채널을 대상으로 실험을 수행했다.

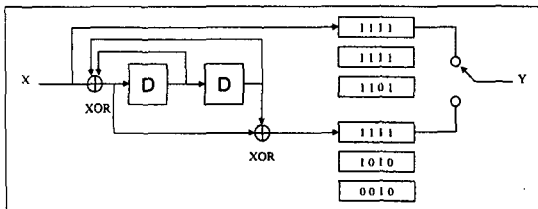


그림 3 RCPC 부호화 방법을 사용한 1/2 RSC 부호화

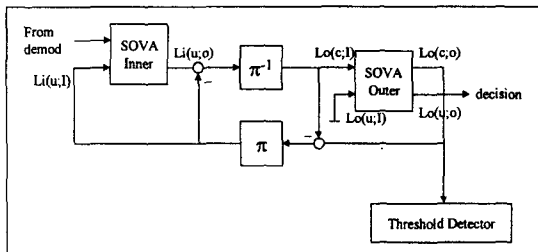


그림 4 SCCC 에 의한 복호 횟수 자동 결정 반복 복호기

### 4. 실험 결과

그림 5 는 반복 복호를 수행하지 않은 복호기와 자동으로 반복 복호를 수행한 복호기의 성능을 도시한 것이다. 이 결과에서 중요도가 높은 레벨(1/4)에서 볼 때 대략 1.5dB 의 개인 이득을 얻을 수 있다.

그림 6 에 레일리 페이딩 채널에서 인터리버의 크기에 따른 반복 복호의 성능 변화를 나타낸다. 인터리버의 크기가 증가할수록 뚜렷한 성능개선을 보인다. 이것은 인터리버의 크기가 클수록 연결오류를 상관관계가 적은 랜덤오류로 변환시켜 주기 때문이다. 인터리버의 크기가 클수록 성능은 좋아지지만 복호시 지연이 증가하기 때문에 적절한 크기의 인터리버를 선정하는 것이 바람직하다.

표 1 은 레일리 페이딩 채널에서 인터리버 크기에 따른 레벨별 복호 횟수를 나타낸다. 이 결과로부터 원하는 BER 에 도달하지 않았는데도 반복이 중단됨을 확인할 수 있다. 이것은 정정되지 않은 오류 비트들이 반복을 해도 개선되지 않기 때문에 일어난다. 즉 반복 횟수를 증가함에 따라 신뢰도의 평균값은 증가하지만 여전히 오류로 남아있는 비트들이 존재하기 때문이다.

그림 7 은 AWGN 채널과 레일리 페이딩 채널의 성능을 비교한 것이다. 이 결과로부터 AWGN 채널에 비해 레일리 페이딩 채널이 대략 2.5dB 정도 성능이 저하됨을 알 수 있다.

### 5. 결 론

실험 결과에서 볼 때 레일리 페이딩에 의한 연결 오류가 심각하게 나타남을 알 수 있다. 제한한 복호기는 중요도가 높은 레벨에서 높은 개인 이득을 얻을 수 있으므로 연결 오류로 인한 열악한 채널 환경에서도 중요도가 높은 레벨의 정보에 우선순위를 부여해 보호하므로 지속적인 오류 전파 현상에 효율적으로 대처할 수 있다. 그러나 신호 레벨이 아주 낮을 경우에는 반복을 계속해도 오류가 정정되지 않기 때문에 효율이 떨어질 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Chi-Yuan Hsu, Antonio Ortega, Masoud Khan-sari, "Rate Control for Robust Video Transmission over Burst-Error Wireless Channels", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 5, May 1999
- [2] C. Berroe, A. Galviex, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding

and decoding : Turbo-Codes," Proc. ICC'93, Geneva, Switzerland, pp. 1064~1070, May 1993

[3] Yufei Wu, "Design and Implementation of Parallel and Serial Concatenated Convolutional Codes", PhD thesis, Virginia Tech, May 1999

[4] J. Hagenauer, "Source-Controlled Channel Decoding" IEEE Transactions on Communications, Vol. 43, No. 9, pp. 2449~2457, Sept. 1995

[5] 이연문, 조경식, 정차근, "SCCC의 반복복호에 의한 UEP의 채널 부호화", 신호처리학회논문지, 제 12회, 1999.10.2

[6] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications : Principles & Practice", Prentice Hall, 1996

[7] K. Otani, K. Daikoku and H. Omori, "Burst error performance encountered in digital land mobile radio channel", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-30, No.4, pp. 156-160, November 1981

[8] J. Hagenauer, "Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes (RCPC Code) and their Applications", IEEE Trans. on Communications, Vol. 36, No. 4, pp. 389~400, April 1988

[9] 진익수, 노예철, 주유상, 강범주, "터보부호의 인터리버 분석", 주간기술동향 통권 905호, 한국전자통신연구원, 1999.7.21.

[10] 배성일, 김재석, "효율적인 저전력 터보 복호기", 대한전자공학학회논문지, 제 22권, 제 1호, pp. 73~76, 1999. 6

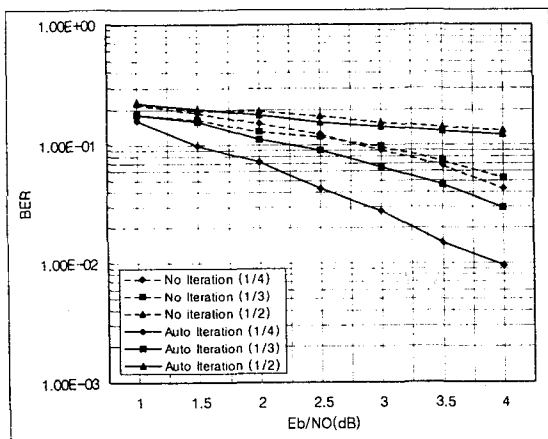


그림 5 레일리 페이딩 채널에서 제안된 복호기의 성능 변화 (인터리버 크기 : 512, 반복 횟수 : 16)

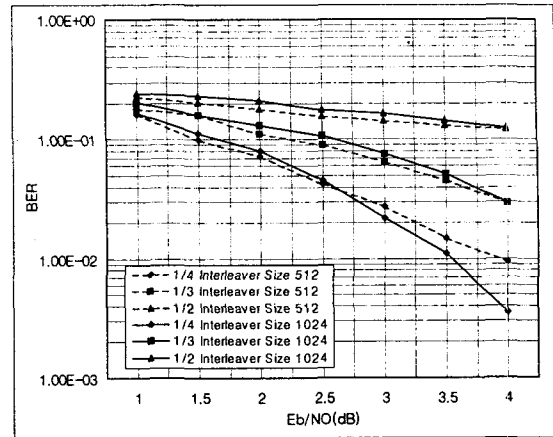


그림 6 레일리 페이딩 채널에서 인터리버 크기에 따른 성능 변화 (반복 횟수 : 16)

표 1 레일리 페이딩 채널에서 인터리버 크기에 따른 레벨별 복호 횟수

반복횟수	512			1024		
	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2
1.0	14	1	1	14	1	1
1.5	14	1	1	14	1	1
2.0	14	1	1	14	1	1
2.5	13.9	1.1	1	12.7	2.3	1
3.0	13.3	1.7	1	11.2	3.8	1
3.5	10.7	4.3	1	9.5	5.5	1
4.0	9.2	5.4	1.4	8.1	6.4	1.5

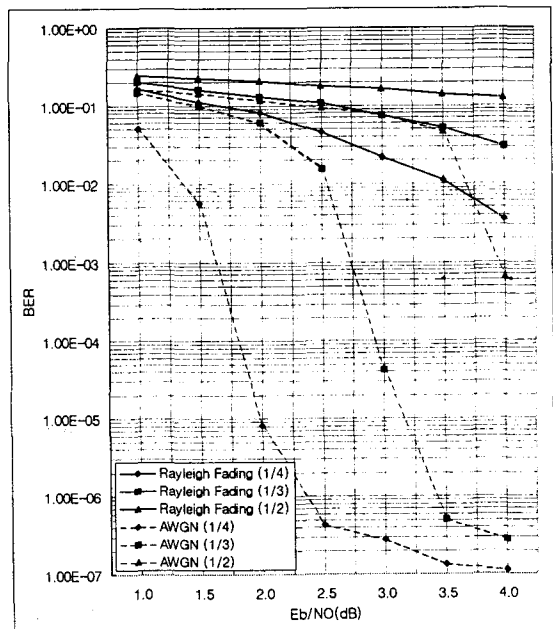


그림 7 AWGN 채널과 레일리 페이딩 채널에서의 성능비교 (인터리버 크기 : 1024, 반복 횟수 : 16)