

광대역 다중경로 실측채널에서 터보부호를 적용한 W-CDMA 시스템의 성능 분석

홍청호^o, 김덕수, 김신희, 전준수, 김철성
전남대학교 컴퓨터공학과, RRC

Analysis of W-CDMA system with Turbo Code in Realistic Wideband Multipath Channel

Cheong-Ho Hong^o, Deok-Soo Kim, Shin-Hee Kim, Jun-Soo Jeon, Cheol-Sung Kim
Dept. of Computer Engineering, RRC, Chonnam National University

Abstract

Turbo codes of long block sizes have been known to show very good performance in an AWGN channel and the turbo code has been strongly recommended as error correction code for IMT-2000 in 3GPP(3rd Generation Partnership Project). Recently, turbo codes of short block sizes suitable for real time communication systems have attracted a lot of attention. Thus, in this paper we consider the turbo code of 1/3 code rate and short frame size of 192 bits in ITU-R channel model. We analyzed the performance of W-CDMA systems of 10MHz bandwidths employing RAKE receiver with not only MRC diversity but also turbo code.

의 transport 채널에서 적용된다. 3GPP의 transport 채널의 종류에 따른 코딩 기법과 코딩률은 [표1]과 같다[11].

transport 채널의 종류	코딩 기법	코딩률
BCH	길쌈부호	1/2
PCH		
RACH		
CPCH, DCH	터보부호	1/3, 1/2
DSCH, FACH		1/2
No coding		

[표1] 3GPP에서 사용되어지는 코딩 기법과 코딩률

1. 서 론

무선 이동통신 시스템에서 페이딩 채널의 특성으로 인하여 발생하는 비트 오류를 정정하기 위해 사용되는 채널 코딩은 통신 신뢰도를 개선시키는 매우 중요한 기법이다. 이러한 이동통신 시스템에 사용되는 채널 코딩 기법은 길쌈부호 등 여러 가지가 있는데 최근 들어 터보부호가 그 우수한 성능으로 인하여 많은 관심의 초점이 되고 있다.

Berrou 등에 의해 제안된 터보부호는 AWGN 채널상에서 인터리버 크기가 큰 경우에 Shannon 한계에 근접하는 우수한 성능을 나타낸다고 알려져 있다[1]. 이런 강력한 코딩 기법을 무선 통신 시스템에 적용하기 위하여 근래에 많은 연구가 활발히 진행되고 있으며 Rayleigh 페이딩 채널에서도 터보부호의 우수한 성능이 입증되고 있다[2].

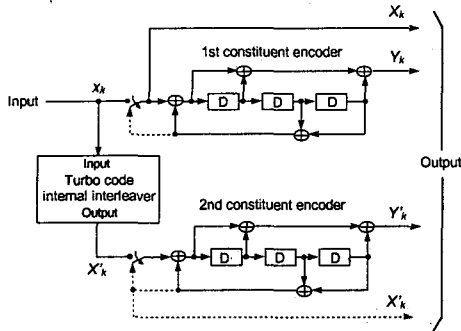
따라서 본 연구에서는 IMT-2000과 같은 제3세대 무선 통신 시스템을 유연성있게 지원할 수 있는 광대역 CDMA (W-CDMA) 방식에 짧은 프레임 사이즈를 갖는 터보부호를 적용하여 W-CDMA 방식의 성능을 분석하고자 한다. No coding, 길쌈부호, 터보부호 기법이 3GPP

2. 터 보 부 호

2.1 터보 부호기

본 논문에서 사용된 터보 부호기는 [그림1]에 보여지는 것처럼 두개의 RSC (Recursive Systematic Convolutional) 코드와 인터리버로 구성된다. 각 부호기는 인터리버를 사이에 두고 병렬로 연결되어 있으며 동일한 정보 비트열을 각각 부호화 한다. 본 연구에서는 코드률이 1/3이고, 광대역 다중경로 실측채널에 적절한 192비트의 짧은 프레임 크기를 고려하였다. 내부 인터리버는 패딩된 직각 매트릭스 비트들의 입구와 pruning된 직각 매트릭스 비트들의 출구로 구성되어 있다. 터보부호 내부 인터리버의 입력 비트는 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_K$ 로 표시된다. 여기서 K ($40 \leq K \leq 5114$)는 비트 수이다[11].

터보 부호는 인터리버의 길이가 증가할수록 우수한 성능을 나타내는 반면, 지연이 증가하게 되는 단점이 있다[3]. 따라서 음성통신과 같이 실시간 처리가 중요시되는 경우에는 인터리버의 길이, 즉 성능과 지연 사이에 적절한 조화가 필요하게 된다. 본 연구에서는 실시간 통신 시스템에 적절한 짧은 프레임 크기의 터보부호의 성능을 조사하기 위해 블록 크기가 192비트인 랜덤 인터리버를 사용하였다.



[그림1] 3GPP의 1/3 터보부호기의 구조

[그림1]에서 살펴보면, 터보 부호기는 이진 데이터 d_k 를 $\{X_k, Y_{1k}, Y_{2k}\}$ 로 부호화한다. 여기서 시퀀스 X_k 는 시스터메틱 시퀀스를 나타내고, 시퀀스 Y_{1k} 는 d_k 의 패리티 비트를, Y_{2k} 는 d_k 가 인터리버를 통과하여 순서가 뒤바뀐 정보 비트의 패리티 비트를 나타낸다. 인터리버는 정보 비트들을 두 번째 부호기의 입력으로 바꾸는데 사용된다. 좀더 면밀히 검토해 보면, 인터리버 길이를 N 이라고 했을 때 입력정보 비트열은

$$d = (d_1 \ d_2 \ \dots \ d_k \ \dots \ d_N), \quad d_k \in \{0, 1\}$$

이고, 부호기의 출력은

$$Y_1 = (Y_{11} \ Y_{12} \ \dots \ Y_{1k} \ \dots \ Y_{1N}), \quad Y_{1k} \in \{0, 1\}$$

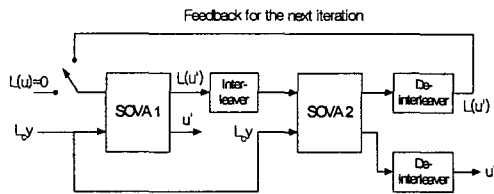
$$Y_2 = (Y_{21} \ Y_{22} \ \dots \ Y_{2k} \ \dots \ Y_{2N}), \quad Y_{2k} \in \{0, 1\}$$

이다. Y_2 는 인터리버를 통과한 정보 비트열을 부호화한 것이다. 채널을 통과한 후의 수신된 시퀀스는 $R_1^N = (R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_N)$, $R_k = (x_k, y_k)$ 으로 표현한다. 여기서 x_k 와 y_k 는 부호기의 출력 X_k 와 Y_k 가 변조되어 채널을 통과한 신호를 의미한다. 이 시스템의 전체 터보 부호의 코드율은 1/3이다.

2.2 복호 알고리즘

복호 알고리즘은 MAP (Maximam a-posteriori) 알고리즘과 비터비 알고리즘을 보완한 SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) 알고리즘이 있다. SOVA 알고리즘은 soft output을 얻는데 사용된다. MAP 알고리즘은 계산량 많고 구현하기 힘들다. 그러므로 본 논문에서는 계산량이 적고 구현하기 쉬운 SOVA 알고리즘을 사용하였다 [4].

터보 복호기의 구성도는 [그림2]와 같다.



[그림2] 터보 복호기

SOVA 알고리즘은 다음과 같다.

1. 제로 상태에서만 $M_0^{(m)}$ 을 0으로 초기화 한다.

$$M_0^{(m)} = \begin{cases} 0, & \text{zerostate} \\ -\infty, & \text{otherstate} \end{cases}$$

2. 시간 t 를 증가시키면서 격자도의 각 상태에서 메트릭을 계산한다.

$$M_t^{(m)} = M_{t-1}^{(m)} + u_t^{(m)} L_c y_{t,1} + u_t^{(m)} L(u_t) + \sum_{j=2}^N x_{t,j}^{(m)} L_c y_{t,1}$$

m : 가능한 이진 경로

$M_t^{(m)}$: 시간 t , 경로 m 에 대한 누진 메트릭

$u_t^{(m)}$: 시간 t , 경로 m 에 대한 시스터메틱 비트

$x_{k,j}^{(m)}$: 시간 t , 경로 m 에서 N 개의 중 j 번째 비트 ($2 \leq j \leq N$)

$y_{k,j}^{(m)}$: $x_{k,j}^{(m)}$ 이 채널을 통과하여 수신된 값

L_c : 채널 신뢰도

$L(u_t)$: 시간 t 에서 사전확률값

3. 각 상태에서 $\max_m M_t^{(m)}$ 을 구한다. $M_t^{(1)}$ 은 최적경로 메트릭을, $M_t^{(2)}$ 는 경쟁경로 메트릭을 나타낸다.

4. 최적경로와 그에 해당하는 비트 및 메트릭 $M_t^{(1)}$ 를 저장한다.

5. $\Delta_t^0 = \frac{1}{2} |M_t^{(1)} - M_t^{(2)}|$ 를 계산한다.

6. 시간 t 의 각 상태에서 최적경로와 경쟁경로를 비교하여 두 경로간에 해당하는 비트가 서로 다른 경우에 그 메모리 레벨 (MEM)에서 Δ_t^{MEM} 을 업데이트 한다.

7. 수신된 시퀀스의 마지막까지 단계 2로 돌아간다.

8. 추정된 비트 시퀀스 u 와 $L(u)$ 를 출력한다.

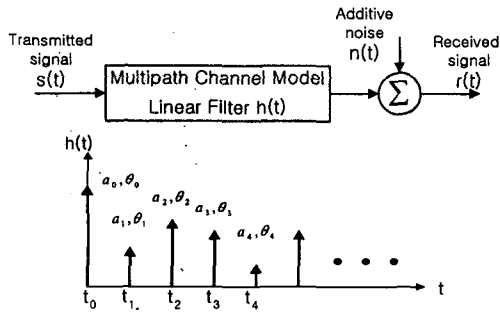
$L(u)$ 는 succeeding 복호기를 위한 사후 시퀀스 $L(u)$ 에 의해 판단되어진다.

3. 다중경로 채널에서의 W-CDMA

광대역 다중경로 채널은 [그림3]처럼 일반적으로 선형 필터로 표현되므로 채널 임펄스 응답은 식(1)과 같다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \sqrt{p_l} \alpha_l \delta(t - \tau_l) e^{j\theta_l} \quad (1)$$

여기서 p_l 은 ITU-R M.1225 전력 지연 프로파일의 l 번째 요소의 전력이고, α_l 은 서로 독립적인 zero-mean 시변 복소 가우시안 프로세스의 크기로부터 얻어진 Rayleigh 분포의 랜덤변수이며, τ_l 은 시간 지연, θ_l 은 이런 프로세스의 위상이다. 여러 경로들의 위상 $\{\theta_l\}$ 은 상호 독립적인 랜덤 변수로서 $(0, 2\pi)$ 구간에서 uniform 분포로 가정한다. 시간지연 τ_l 과 경로세기 성분 $\sqrt{p_l}$ 은 ITU-R 전력 지연 프로파일에서 얻을 수 있다.



[그림3] 선형 필터 모델

본 논문에서는 100[nsec]의 시간 해상도를 가진 ITU-R 채널모델을 사용하므로 채널 대역폭을 전형적인 10MHz로 가정하고 10MHz 대역폭의 경우의 CDMA 시스템에 대하여 분석한다.

W-CDMA 신호를 해석하기 위해서 전체 수신신호는 K 개의 DS신호의 합으로 구성되고 각각은 서로 비동기적이라고 가정한다. 또한 coherent BPSK 변조방식과 완벽한 전력 제어와 동기화를 가정한다.

k번째 전송된 신호는 식(2)와 같다.

$$s_k(t) = m_k(t) c_k(t) \exp(j\omega_0 t) \quad (2)$$

여기서 $m_k(t)$ 와 $c_k(t)$ 는 각각 k번째 사용자의 데이터와 확산코드를 나타낸다. 모든 수신신호 $r(t)$ 는 식(3)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} \sqrt{P_l} a_{k,l} m_k(t - \tau_{k,l}) c_k(t - \tau_{k,l}) \times \exp[j(\omega_0(t - \tau_{k,l}) + \theta_{k,l})] + n(t) \quad (3)$$

여기서 K는 전체 사용자 수이고 L은 다중경로 수이며, $n(t)$ 는 가산성 가우시안 잡음을 나타낸다.

원하는 사용자로부터의 신호는 $k=0$, 그리고 $k=1, 2, \dots, K-1$ 는 그 외 사용자들로부터의 신호를 의미한다. 또한 $l=0$ 은 첫 번째 도착한 신호를 의미하며, $l=1, 2, \dots, L-1$ 은 그 외의 다중경로 신호들이다. 그리고 $\tau_{k,l}$ 은 사용자 k의 l번째 신호의 지연 시간을, $\theta_{k,l}$ 은 사용자 k의 l번째 위상편이를 나타낸다.

$t = T$ 에서 전형적인 상관기의 출력은 다음 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} Z(T) &= \text{Re} \left[\int_0^T 2r(t) c_0(t) \exp(-(w_0 t + \theta_0)) dt \right] \\ &= \text{Re} \left[\int_0^T 2(s_0(t) + s_i(t) + n(t)) c_0(t) \exp(-(w_0 t + \theta_0)) dt \right] \\ &\equiv S + I + N \end{aligned} \quad (4)$$

$Z(T)$ 의 통계적 특성을 구하기 위해서 $Z(T)$ 의 각 성분 S, I, N의 통계적 특성을 분석해야 한다. 먼저 원하는 사용자의 신호 S의 통계적 특성을 살펴보면, S에 관한 식(5)을 유도할 수 있다[5].

$$S = \left| \sum_{l=0}^{L-1} \sqrt{P_l} \tilde{a}_{0,l} \exp(j\tilde{\phi}_{0,l}) R_c(\tau_{0,l}) \right| \quad (5)$$

식(5)에서 \sim 는 랜덤 변수의 표기이다. 모든 다중경로 성분을 이용하기 위해서 최대 결합비(MRC) 레이크 수신기를 사용한다고 하면 그때 수신기 출력은 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_T = S_T + I_T + N_T \quad (6)$$

그리고 수신기 출력의 신호성분인 S_T 의 통계적 특성에 대한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$S_T = \sum_{i=1}^M G_i S_i \quad (7)$$

여기서 G_i 는 i번째 가지의 이득으로 신호전압 대 잡음과 간섭 전력의 비이며, 식(8)로써 표현할 수 있다[6][7].

$$S_i = K \frac{S_i}{N} \quad (8)$$

보통 MAI(Multiple Access Interference)는 가우시안으로, 그리고 잡음은 가산성 가우시안 잡음으로 알려져 있다[8][9]. 식(5)에서 L이 크다면 S는 여러 개의 랜덤 변수의 복소수 합의 절대값이 된다. S의 pdf, 즉 $p(s)$ 의 이론적 유도 대신 random number generator를 이용하여 수치적으로 S를 생성함으로써 $p(s)$ 를 구한다. 그러면 $p(s)$ 는 터보부호의 페이딩 상수가 된다.

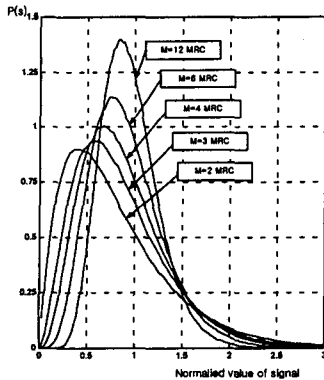
4. 모의 실험

성능을 비교 평가하기 위해서 outdoor to indoor, 보행자 환경을 고려한다. ITU-R M.1225 채널 파라미터는 [표2]와 같다[10].

Tap	Channel B	
	Relative Delay (ns)	Average Power (dB)
1	0	0
2	200	-0.9
3	800	-4.9
4	1200	-8.0
5	2300	-7.8
6	3700	-23.9

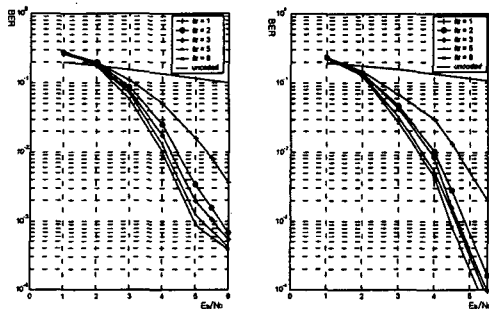
[표2] outdoor to indoor, 보행자 환경의 tapped-delay-line parameters

식(6)를 이용하여 S를 수치적으로 발생시켜 터보 복호기의 입력으로 사용되는 W-CDMA 신호들의 확률밀도함수($p(s)$)를 구하여 그 결과를 [그림 4]에 도시하였다. S는 단위 전력을 갖도록 일반화된 것이다. 이 연구는 ITU-R 채널 환경에서의 수신신호를 터보부호를 적용한 레이크 수신기를 통과시킴으로써, 레이크 수신기의 가지 수에 따른 성능을 분석하기 위한 것이다. 이 연구에서 터보 부호기는 [그림 1]에서 보여지는 것처럼 3개의 메모리와 1개의 랜덤 인터리버를 갖고, 코드율은 1/3이다. 또 실시간 처리를 위하여 192 비트의 짧은 인터리버를 사용하였다.

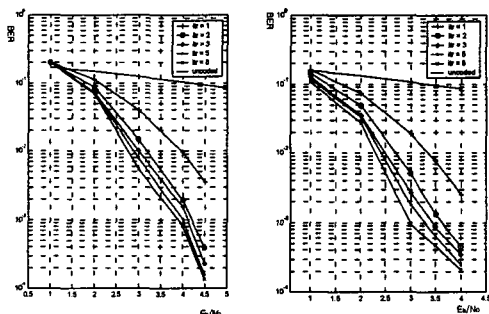


[그림4] 도심지역에서 10MHz 대역폭의 pdf

모의 실험에서 터보 부호기는 SOVA 알고리즘을 사용하였고, 레이크 수신기의 가지 수(M)가 각각 3, 4, 6, 12개인 시스템에 터보부호가 적용되었을 때의 비트 에러율 (BER)은 [그림5], [그림6] 과 같다.



[그림5] M=3, 4인 10MHz 대역폭 시스템의 BER



[그림6] M=6, 12인 10MHz 대역폭 시스템의 BER

5. 결론

본 논문은 광대역 다중경로 채널 환경에서 터보 부호를 사용하는 W-CDMA 시스템의 성능을 모의실험을 통하여 분석하였다. 성능 분석을 위해 수치적으로 W-CDMA의 수신신호를 생성하였고, 터보부호를 적용하여 성능을 설명하였다. 또한 음성과 같은 실시간 처리에 적당한 터보부호화 된 시스템을 만들기 위해 SOVA 부호 알고리즘을 짧은 프레임 크기의 데이터에 적용하

였다. 그리고, 성능은 반복 부호의 실행으로 설명하였다.

	I=2	I=3	I=5	I=8
M=3	5.82	5.55	5.23	4.99
M=4	5.17	4.88	4.77	4.48
M=6	4.30	4.21	4.00	3.96
M=12	3.98	3.66	3.45	3.00

[표3] BER 10^{-3} 에서의 branch 개수와 iteration 횟수에 따른 E_b/N_0 (dB)

모의실험 결과, 10^{-3} 의 BER에 대하여 M=4에서 3번의 반복부호를 수행하는 경우와 M=3에서 8번의 반복부호를 수행하는 경우, M=4에서 8번의 반복부호를 수행하는 경우와 M=6에서 2번의 반복부호를 수행하는 경우, 또 M=12에서 2번의 반복부호를 수행하는 경우와 M=6에서 8번의 반복부호를 수행하는 경우에 거의 동일한 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

터보부호는 IMT-2000에서 오류정정부호로 채택되어 졌다. 따라서, 이 논문의 결과는 터보부호 시스템의 구현의 기본 데이터로서 유용할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo-codes," *IEEE ICC'93*, Genva, Switzerland, vol. 2. pp. 1064-1070, May 1993.
- [2] E. K. Hall and S. G. Wilson, "Design and Analysis of Turbo Codes on Rayleigh Fading Channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. JSAC-16, No. 2, pp. 160-174, Feb. 1998.
- [3] A. S. Barbalescu and S. S. Pietrobon, "Interleaver Design for Turbo Codes," *Electronics Letters*, vol. 30, No. 25, pp. 2107-2108, Dec. 1994.
- [4] S.S. Pietrobon and A.S. Barbalescu, "A simplification of the modified Bahl decoding algorithm for systematic convolutional codes," in Proc., *Int. Symp. on Info. Theory and Applications*, Sydney, Australia, pp. 1073-1077, Nov. 1994.
- [5] Cheol-Sung Kim, Hoon Jeong and Dong-Jin Oh, "Comparison W-CDMA and N-CDMA systems over wideband Rayleigh channel," *Proc. of 10th PIMRC'99*, pp. 1007-1011 Osaka, Japan, Sep. 1999.
- [6] M. D. Yacoub, "Foundations of Mobile Radio Engineering," *CRC Press*, 1993.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communication*, 3rd ed., *McGraw-Hill*, 1995.
- [8] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread spectrum multiple access communication -Part I : System Analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1977.
- [9] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling and L. B. Milstein, "Theory of spread spectrum communications A Tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 855-884, May 1982.
- [10] Recommendation ITU-R M.1225, *Guideline for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000*, (question ITU-R 39/8), 1997.
- [11] Document of 3GPP, *Multiplexing and channel coding (FDD)*, *3GPP TS 25.212 v3.5.0(2000.12)*, (Release 1999)

한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터의 연구비지원에 의해 연구되었음