

연속 시변채널에서의 이동통신 시스템을 위한 터보 등화기법의 성능

박종일, 최영윤, 이동성
 군사과학대학원 전자통신공학과
 (02) 970-2598

The Performance of Turbo Equalization for Wireless Cellular Systems over Continuous Time Varying Channels

Jong Il Park, Yeongyoon Choi, Dong Sung Lee
 Advanced Institute of Military Science and Technology
 E-mail: jongpark@netsgo.com

Abstract

The iterative usage of soft outputs increases the performance of digital radio receiver. The feedback of reliability information reduces the channel estimation errors and increases the performance of equalization. This paper investigates the turbo equalization techniques for wireless cellular systems over continuous time varying channel. Simulation results over a GSM channel were presented.

I. 서론

이동통신 시스템의 성능 저하는 주로 다중 경로 전파에 기인한다. 등화기와 Viterbi 복호기의 결합은 다중 경로 페이딩에 기인한 빠른 시간 변화를 극복할 수 있는 적절한 방법 중의 하나이다. Soft output을 연속적으로 사용하는 터보복호의 원리를 이용하면, 이동통신 시스템 수신기의 성능을 보다 더 향상시킬 수 있다. Soft output은 decision의 신뢰성에 관련된 정보이다. 연속 시변채널의 등화기에서 터보복호의 원리[1]를 적용하여 매 복호 시 채널평가를 반복하면 채널계수 평가오류를 감소시키므로 전체적인 등화기의 성능이 향상될 것으로 판단된다.

본 논문은 연속 시변채널에서의 이동통신 시스템을 위한 터보등화기법[2]을 연구한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 및 채널 모델을

기술하고 III장에서는 연속 시변채널에 적합한 터보 등화기를 제안하고 IV장에서는 시뮬레이션 결과를 제공하고 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 및 채널모델

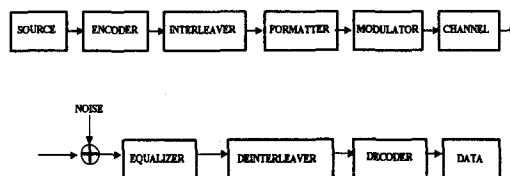


그림 1. 시스템 및 채널모델

그림 1은 본 연구의 대상인 GMSK(Gaussian minimum shift keying) 이동통신 시스템의 블록선도이다[3]. GMSK변조기술은 CPM(continuous phase modulation)에 속한다. GMSK는 부분응답 가우시안펄터에 의하여 MSK의 위상을 매끄럽게 만드는 완전응답 MSK(minimum shift keying)에서 얻어진다. 0.25와 0.3사이의 값을 가지는 BT로 GMSK변조된 신호 $s(t)$ 를 간단히 표현하면

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} c_i j^i p(t-iT), \quad (1)$$

$c = (\dots c_i \dots)$ 는 입력 데이터 시퀀스 $u = (\dots u_i \dots)$ 의 차동부호화로부터 얻어지며 $p(t)$ 는 $0 \leq t \leq LT$ 의 시간간격을 가지는 실수 값의 가우시안펄스함수이다.

변조된 신호의 복소 포락선 $s(t)$ 는 각각이 랜덤하게

변화하는 왜곡 $f_k(t)$ 와 그룹지연 $\tau_k(t)$ 을 겪는 $M+1$ 개의 평행한 다중 경로의 시변 주파수선택적 페이딩 채널을 따라 전파된다. 신호 $s(t)$ 는 또한 AWGN(additive white Gaussian noise)에 의해 왜곡된다. 따라서 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^M f_k(t) s(t - \tau_k(t)) + \eta(t), \quad (2)$$

여기서 $\eta(t)$ 는 평균 0, 분산 $\frac{1}{2} E[|\eta(iT)|^2] = N_0$ 를 가지는 복소값의 AWGN, $r(t)$ 는 등화기의 입력이다. 등화기의 출력은 deinterleave되고 복호기로 보내진다.

III. 연속 시변채널을 위한 터보등화기법

이동통신 시스템에서 다중 경로 페이딩 채널은 연결 부호화 시스템의 내부 길쌈부호기로 간주되어 질 수 있다. 따라서 등화기는 연결부호화 시스템의 내부복호기로 간주될 수 있다. 연결부호화 시스템에서 soft output의 효과적인 사용은 전체시스템의 성능을 향상시킨다. 그림 2에서 보는 바와 같이 Soft output 복호기와 soft output 등화기의 기본 요소는 SISO(soft-in/soft-out)구조이다. SISO구조는 신호(부호기의 입력 또는 입출력)의 확률 분포를 출력 한다. SISO등화기는 채널평가기를 구비한 SISO로 고려되어질 수 있다.

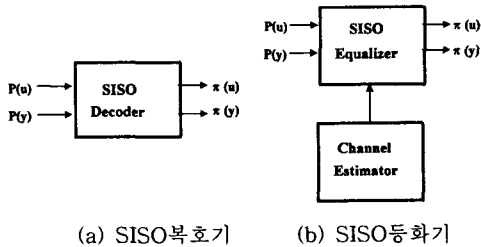


그림 2. SISO구조

제안된 시스템에서 $u_i \in \{0, 1\}$ 는 심벌의 입력이고 $s_i \in \{0, 1, 2, \dots, 2^M - 1\}$ 는 trellis diagram의 상태이다. $y_i = (y_{i,0}, y_{i,1}, \dots, y_{i,n-1})$ 는 $1/n$ convolutional 부호기의 출력이며 $r_i = (r_{i,0}, r_{i,1}, \dots, r_{i,n-1})$ 는 무 기억 채널의 출력이다. L_l 는 길이 l 의 모든 가능한 정보시퀀스의 집합으로 정의하고 L_i^u 는 시간 i 에서의 심벌 u_i 로 모든 시퀀스를 구성하는 L_l 의 부분집합으로 정의한다. SISO의 기본 목적은 아래와 같이 주어진 심벌의 APP(a posteriori probability)를 발생시키는 것이다.

$$\pi_i(u_i) = P[u_i | r] = \frac{\sum_{u \in L_i^u} p[r, u]}{\sum_{u \in L_l} p[r, u]} = \frac{\sum_{u \in L_i^u} p[r, u] P[u]}{\sum_{u \in L_l} p[r, u] P[u]} \quad (3)$$

DMC(discrete memoryless channel)하의 동일한 확률을 갖는 시퀀스 u 를 가정하면 식(3)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\pi_i(u_i) = \frac{\sum_{u \in L_i^u} p[r, u]}{\sum_{u \in L_l} p[r, u]} = \frac{\sum_{u \in L_i^u} \prod_{j=0}^{l-1} p[r_j | y_j]}{\sum_{u \in L_l} \prod_{j=0}^{l-1} p[r_j | y_j]}, \quad (4)$$

여기서 $p[r_j | y_j]$ 는 천이확율을 나타낸다. 식 (3)에서 AWGN채널 하의 확률 $p[r, u]$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$p[r, u] = \left(\frac{N_0}{\pi E_b}\right)^{n/2} \exp \left[-\sum_{i=0}^{l-1} \frac{E_b}{N_0} \|r_i - y_i\|^2\right], \quad (5)$$

여기서 E_b 는 신호의 비트 에너지이고, $\|\cdot\|$ 는 Euclidean norm이다. SISO구조에서 정보심벌 및 그 출력의 APP는 trellis based 복호알고리즘에 의하여 효율적으로 구할 수 있다.

그림 3은 본 연구에서 제안된 터보등화기의 블록 선도이다. 터보등화기의 구조는 직렬결합 터보코드(SCCC)의 복호화과정의 구조와 유사하다. 병렬결합 터보코드(PCCC)에서는 정보심벌의 신뢰성 정보가 터보복호화를 위하여 필요하였다. SCCC에서는 정보심벌 뿐만 아니라 부호기출력의 신뢰성 정보 모두 필요하다. 터보복호화에 사용된 SISO구조의 정보심벌의 APP는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\pi_i(u_i) = P[u_i | r] = \sum_{s_i} \sum_{s_{i+1}} P[r_{i+1}^c | s_{i+1}] P[s_i | r_0^i] P[u_i, s_{i+1}, r_i | s_i], \quad (6)$$

APP의 기본 형태는 식(3)에서의 APP와 동일하지만 $P[u_i, s_{i+1}, r_i | s_i]$ 는 아래와 같은 새로운 DMC 천이확율을 갖는다.

$$P[u_i, s_{i+1}, r_i | s_i] = p[r_i | u_i, s_i, s_{i+1}] p[u_i] p[u_i | s_i, s_{i+1}] p[s_{i+1} | s_i], \quad (7)$$

$\xleftrightarrow{\text{a priori}} \xleftrightarrow{\text{deterministic}} \xleftrightarrow{\text{trellis}}$

새로운 DMC 천이확율은 외부 시스템에서 제공되는 정보심벌의 a priori 확률 $p[u_i]$ 를 포함하고 있다. 부호기출력의 APP는 정보심벌의 APP와 유사한 방법에 의해서 구할 수 있다.

그림 1에서 부호기는 $G_{ff}=07, G_{fb}=05, (K=3)$ 이 생성다항식인 두 개의 동일한 RSC(recursive systematic convolutional)코드를 가지는 터보코드가

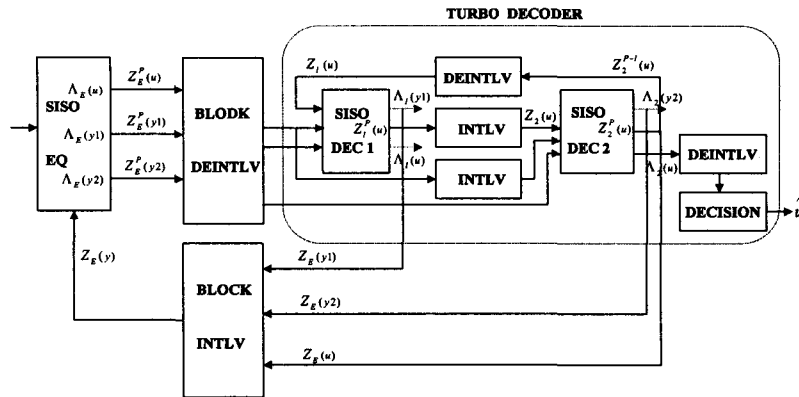


그림 3. 터보등화기 구조

puncturing 없이 사용된다. Interleaver의 크기는 304이다. 그림 3에서 터보복호기는 두 개의 동일한 SISO 복호기로 구성되어 진다. 터보등화기의 출력 신뢰성 벡터는 터보복호기의 입력으로서 사용되어 진다. 터보복호기는 LLR 접근 방법에 의해 구현이 되어졌다. 터보등화기의 중요 특성은 SISO복호기에서 얻은 신뢰성 정보가 재환되어 SISO등화기의 입력 a priori 확률로 사용되는 것이다. 구해진 신뢰성 정보는 계속적인 반복 복호 및 등화에서 재환되는 신뢰성정보를 점점 강화시키는데 사용되어진다.

기존 연구에서 GSM채널은 한 time burst내에서 quasistatic한 것으로 가정되어 졌다. 이러한 가정은 한 time burst의 범위내에서 채널계수의 상대적인 작은 시간 변화에 기인한다. 일반적으로 GSM시스템의 채널계수는 상관기법에 의해서 평가되어진다. Midamble training sequence를 사용하여 burst의 중앙에서 채널계수를 평가하는 이 방법은 한 time burst내 모든 시간단계에서 하나의 대표적인 채널계수만 사용한다. 사실상 이러한 방법은 burst의 양 끝단 근처에서 채널평가 오류를 가져온다. 시변속도가 비교적 완만한 채널환경 하에서 상관기법으로 평가된 채널계수는 비록 완전하지 않더라도 적절한 수준의 성능을 제공한다. 고속 페이딩에 의한 시간에 따른 채널계수의 급격한 변화는 한 time burst내의 채널 특성을 연속 시변채널의 특성에 근접하게 한다. 이 경우 상관기법으로 구해진 채널계수의 오류는 보다 더 증가한다. 최근의 연구에서 GSM채널의 연속적인 채널계수 평가는 상관기법에 의한 평가보다 전체적인 시스템의 성능을 더 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

본 연구에서는 그림 3에서 제안된 터보등화기에 대하여 연속 시변채널에서 서로 다른 채널평가 알고

리즘을 사용했을 때의 성능을 비교평가 하였다. 매 시간 단계의 채널평가 절차를 터보등화기법에서 시행하면 한 time burst내에서 하나의 대표 값을 사용하는 것에 비하여 채널평가 오류를 감소시킬 수 있다. 왜냐하면 터보등화기법은 매 반복 시마다 decision에 대한 신뢰성이 점점 증가하므로 이를 이용한 채널평가의 결과는 그 신뢰성이 더 높아진다. 시변 채널 모델로서 3가지의 GSM채널 중 가장 높은 도플러 주파수를 가지는 RA250채널을 사용했다. 상관기법에 의한 채널계수 평가의 오류를 증가시키기 위해 그림 4와 같이 GSM신호 포맷인 midamble training sequence를 preamble training sequence로 바꾸었다.

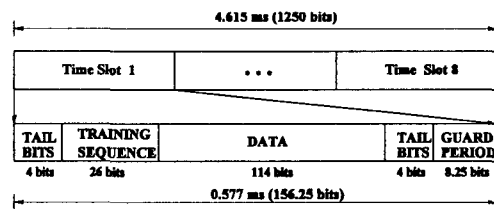


그림 4. 신호포맷(preamble)

일반화된 modified-MAP[4] 알고리즘이 SISO 등화기를 위해 사용되어졌으며 MAP알고리즘[5]이 터보복호화를 위하여 사용되었다. 한 time burst내의 각 시간단계에서의 즉시적인 채널계수평가를 위해 per-survivor기법이 사용된다. 적응채널평가를 위한 알고리즘으로 step size $\beta=0.01$ 인 LMS 알고리즘이 사용되었다. 이 기술은 trellis diagram의 각 상태와 시간 단계에서 채널 평가를 필요로 한다. LMS per-survivor기법은 전체적인 구현의 복잡성을 상관기법에 비하여 상대적으로 증가시킨다.

IV. 시뮬레이션 결과

먼저 LMS per-survivor기법과 상관기법을 비교하기 위하여 각 경우의 출력을 터보복호기의 입력으로 사용하여 그 성능을 시뮬레이션 하였다. 이는 그림 3의 터보등화기 구조에서 터보복호기로부터 SISO등화기로 신뢰성 정보의 궤환이 없는 형태이다. 그림 5는 GSM의 RA250 채널에서 터보복호기를 시뮬레이션한 결과이다. 1회 반복 후 BER 10^{-2} 에서 LMS per-survivor기법이 상관기법에 비하여 약 1 dB의 상대적인 이득을 가져온다. 반복 횟수를 증가시킬수록 상대적 이득은 감소되며 5회 반복 후에는 두 알고리즘의 성능이 거의 동일하다. 이는 한 번 평가된 채널계수가 매 반복 복호 시 계속 사용되기 때문이다. 그림 6은 터보복호기로부터 SISO등화기로 궤환이 있는 완전한 형태의 터보등화기의 시뮬레이션 결과이다. 1회 반복 후 상관기법에 대한 LMS per-survivor기법의 이득은 BER 10^{-2} 에서 1 dB정도

이다. 이 1 dB 이득은 터보등화기에 의해 채널계수 평가의 신뢰성을 보다 향상시킨 것에서 기인하는 이득이다. 매 반복 시 각 알고리즘의 성능을 비교하면 LMS per-survivor기법은 반복 회수의 증가에 따라 상관기법에 대하여 일정한 수준의 상대적인 이득을 유지한다. 연속 시변채널에서의 우수한 성능을 보여주는 터보등화기법은 채널의 시간적인 변화가 심한 이동통신환경에 매우 적합한 기술임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 연속 시변채널에서의 이동통신 시스템을 위한 터보등화기법을 제안하였다. 서로 다른 채널 계수평가 알고리즘을 사용하는 터보등화기의 성능을 GSM채널에서 시뮬레이션하였다. LMS per-survivor기법을 이용한 채널평가는 채널계수의 신뢰성을 향상시켰으며 상관기법에 비해 1 dB정도의 이득을 가져온다. LMS per-survivor기법을 이용하는 터보등화기법은 시간에 따른 채널특성의 변화가 심한 이동통신 시스템의 성능향상에 유용한 기술이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] C.Berrou and A.Glavieux, "Near Optimum Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-codes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 44, pp. 1261-1271, October 1996.
- [2] C.Douillard, M.Jezequel, C.Berrou, A.Picart, P.D-idier, and A.Glavieux, "Iterative Correction of Intersymbol Interference: Turbo-equalization," *European Transactions on Telecommunications*, vol 6, pp. 507-511, September-October 1995.
- [3] L. Hanzo and R. Steele, "The Pan-European Mobile Radio System Part I," *European Transactions on Telecommunications*, vol. 6, pp. 245-260, March-April 1994.
- [4] X.Wang and S.B. Wicker, "A Soft Output Decoding Algorithm for Concatenated Systems," *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 543-553, March 1996.
- [5] L.Bahl, J.Cocke, F.Jelinek, and J.Raviv, "Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate," *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 284-287, 1974.

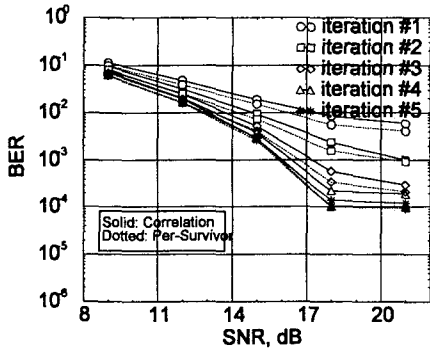


그림 5. 시뮬레이션 결과 (터보복호기)

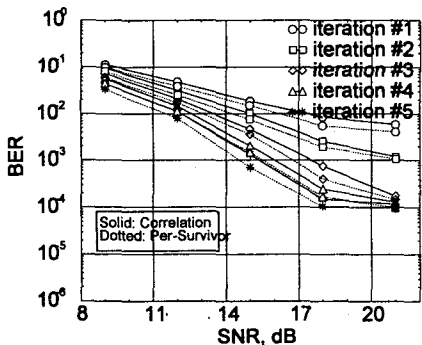


그림 5. 시뮬레이션 결과 (터보등화기)