

무선통신채널에서 효과적으로 감소된 복잡도를 갖는 Turbo Trellis Coded Modulation 구조 연구

김 정 수

A Study on the Structure of Turbo Trellis Coded Modulation with an Effectively Reduced Complexity in Wireless Communication Channel

Kim, Jeong-su*

요 약 본 논문에서는 감소된 복잡도를 가진 Turbo TCM(Turbo Trellis Coded Modulation) 구조를 제안하고 그 성능을 분석한다. Turbo Codes와 대역폭 효율을 증대시키기 위한 변조기술을 적용한 부호화기를 구성하고 수신기에서는 이진 Turbo Codes와 유사한 형태지만 다소 상이한 심벌 대 심벌 MAP 반복복호를 사용한다. 반복복호에 따른 성능 분석을 했으며 제안된 구조는 Gray mapping을 이용한 Turbo Codes와 비교한 결과 BER = 10^{-2} 인 경우 약 2.5dB 우수한 이득을 얻을 수 있다.

Abstract This paper shows that the proposed Turbo TCM(Turbo Trellis Coded Modulation) has a good performance with a little complexity of decoder. The encoder structure, which is connected with Turbo Codes, is the proposed modulation technique for an efficient bandwidth. This method is used symbol by symbol MAP decoder of iteration similar to binary Turbo Codes in the receiver. The result shows that the BER performance according to iteration is improved about 2.5dB at BER = 10^{-2} compared to Turbo Codes with Gray mapping.

Key Words : Turbo TCM(Turbo Trellis Coded Modulation), turbo codes, map decoder

1. 서 론

변조와 부호화가 독립적인 시스템에서는 부호화를 위하여 부가정보(Redundancy)가 필요하게 된다. 따라서 이런 부가 비트의 사용량에 비례하여 여러 정정 능력은 증가하지만 데이터 전송율의 저하를 초래하게 된다. 즉, bit-rate의 관점에서 탁월한 부호 이득을 얻을 수 있지만, 대역폭의 사용 효율은 떨어지게 된다. 결국, 이런 단점들을 보완하기 위하여 제시된 방식이 TCM(Trellis Coded Modulation)이다[1]. 이 방식의 주목적은 대역폭의 증가없이 부호화 하지 않은 경우에 비하여 좀더 나은 부호 이득을 얻기 위한 것이다. 즉, TCM(= 부호화+변조)은 신호집합에 대한 부호화를 수행함으로써 부호화와 변조를 일체화한 방식이다. 채널 여러 측면에서, 부호화한 출력과 입력을 인터리빙하여 변형된 출력을 동시에 전송함으로써 이중의 부가 정보

를 주어 부호화 이득을 우수하게 한 Turbo Codes와 대역폭 효율을 증대시키기 위한 고차 변조기술을 적용한 방식이 Turbo TCM이다[1],[2],[3]. 이진 Turbo Codes에서는 각 정보 비트와 패리티 비트가 독립적으로 보내지게 된다. 그러므로 정보 비트의 likelihood 값은 수신 심벌로부터 독립적으로 계산되어진다[4],[5]. 반면에 트렐리스 부호화된 변조는 정보 비트와 패리티 비트의 조합이 채널 심벌로 매핑 되어진다. 그러므로 정보 비트의 likelihood 값은 분리하여 계산할 수 없다.

제안된 방식은 간소화된 두 개의 부호기를 사용하는 방식으로 Gray mapping한 Turbo Codes와 비교 분석한 결과 제안된 방식이 우수한 성능 이득을 보인다.

2. 제안된 Turbo TCM

2.1 제안된 Turbo TCM 부호기

제안된 Turbo TCM 부호기의 구조는 그림 1과 같이 2개의 RSCC (Recursive Systematic Convolutional Code)를 병렬로 연결하고 두 개의 구성 부호기 사이에

*한국사이버대학교 컴퓨터정보통신학부
E-mail : kjs@mail.kcu.ac

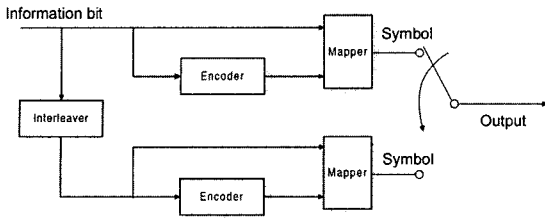


그림 1. Turbo TCM 부호기

인터리버로 구성된다. systematic한 정보와 부호화된 정보는 첫 번째 mapper를 통해 심벌로 맵핑되고 인터리버를 통과한 정보는 두 번째 mapper를 통해 맵핑 과정을 거쳐 평처리되어 보내진다.

2.2 제안된 Turbo TCM 복호기 설계

2.2.1 MAP 알고리즘 분할성 분석

MAP 알고리즘은 잡음이 섞인 수신 신호로부터 APP(a posteriori probability)를 계산하는 알고리즘이며 APP를 산출하는 원리는 다음과 같다. MAP 복호기의 입력이 다음과 같이 AWGN 채널을 통과한 잡음 데이터 복소수 열 $R_{1,N} = r_k(k=1,2,\dots,N)$ 로 정의하면 MAP 알고리즘의 목적은 주어진 $R_{1,N}$ 에서 most likely한 수신 신호를 발견한 것인데 이것은 LLR(Log Likelihood Ratio) L 값에 대응하는 각각의 d_k 를 계산함으로써 얻어질 수 있으며 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$L(d_k) = \log \frac{\sum_m \alpha_k^i(m) \beta_k^i(m)}{\sum_m \alpha_k^0(m) \beta_k^0(m)} \quad (1)$$

d_k : 입력 심벌, state index : $m = 0, 1, \dots, 2^v - 1$,
 v : register 수, $i \in 0, 1, \dots, 2^M - 1$

$$\alpha_k^i(m) = \sum_m^{2^v-1} \sum_{j=0}^{2^M-1} \alpha_{k-1}^j(m') r_{i,j}(r_k, m, m') \quad (2)$$

$$\beta_k^i(m) = \sum_m^{2^v-1} \sum_{j=0}^{2^M-1} \beta_{k+1}^j(m') r_{j,i}(r_{k+1}, m', m) \quad (3)$$

$$r_{i,j}(r_k, m, m') = P(r_k | d_k = i, S_k = m, d_{k-1} = j, S_{k-1} = m') / P(d_k = i, S_k = m | d_{k-1} = j, S_{k-1} = m') \quad (4)$$

여기에서, S_k 는 k 인 순간에 부호기의 상태를 의미한다. 심벌이 보내졌을 때 부호기의 현재의 상태와 현재입력에 의존하고 r_k 가 보내진 신호에 의존하기 때문에 식 (4)의 첫 번째 부분은 다음과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$P(r_k | d_k = i, S_k = m, d_{k-1} = j, S_{k-1} = m') = P(r_k | d_k = i, S_k = m) \quad (5)$$

만약 입력이 독립적이고, i 가 상태 m' 에서 m 으로 천이했을 때 식 (4)의 두 번째 부분은 다음과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$P(d_k = i, S_k = m | d_{k-1} = j, S_{k-1} = m') = P(d_k = i) \quad (6)$$

만일 m' 상태에서 m 으로 천이가 이루어지지 않을 때는 식 (7)과 같다.

$$P(d_k = i, S_k = m | d_{k-1} = j, S_{k-1} = m') = 0 \quad (7)$$

결과적으로, 식 (4)의 두 번째 부분은 다음 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(d_k = i, S_k = m | d_{k-1} = j, S_{k-1} = m') = P(d_k = i) \delta(i, m, m') \quad (8)$$

$$\delta(i, m, m') \equiv \begin{cases} 1 & m' \rightarrow m \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

여기에서, $m' \rightarrow m$ 는 심벌 i 가 부호기로 입력되었을 때, 상태에서 상태로의 천이를 의미한다.

식 (1)을 α, β 의 정의로, LLR로 MAP에 대한 수식으로 표현하면 다음 식 (9)와 같이 표현 할 수 있다.

$$L(d_k) = \log \frac{\sum_m \sum_{j=0}^{2^M-1} \alpha_{k-1}^j(m')}{\sum_m \sum_{j=0}^{2^M-1} \alpha_{k-1}^j(m')} \frac{P(r_k | d_k = i, S_k = m) P(d_k = i) \delta(i, m, m') \beta_k^i(m)}{P(r_k | d_k = 0, S_k = m) P(d_k = 0) \delta(0, m, m') \beta_k^0(m)} \quad (9)$$

여기에서, $P(d_k = l)$ 는 j 에 의존하지 않는다.

$$L^i(d_k) = \log \frac{P(d_k = i)}{P(d_k = 0)} + \log \frac{\sum_m \sum_{j=0}^{2^M-1} \alpha_{k-1}^j(m') P(r_k | d_k = i, S_k = m)}{\sum_m \sum_{j=0}^{2^M-1} \alpha_{k-1}^j(m') P(r_k | d_k = 0, S_k = m)} \quad (10)$$

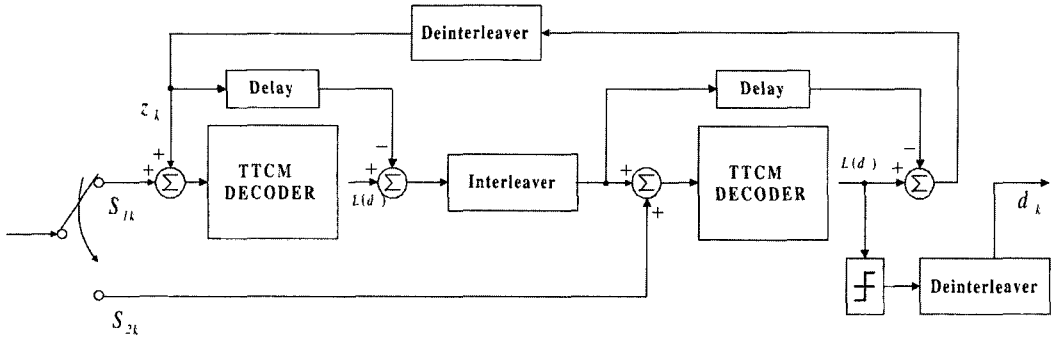


그림 2. Turbo TCM 복호기

식 (10)에서 r_k 는 독립적으로 systematic과 패리티 부분을 분리시킬 수 없다. 즉, $P(r_k|d_k = i, S_k = m)$ 은 두 개의 확률로 분리시킬 수 없다. 이것을 식 (11)과 같이 요약할 수 있다.

$$L^i(d_k) = L_{P_i} + L_{e \& S_i} \quad (11)$$

2.2.2 Turbo TCM 복호기의 구조

Turbo TCM 복호기는 직렬로 연결된 두 개의 MAP 복호기로 구성되어 있으며, 각 MAP 복호기의 출력은 반복 복호시 다음 MAP 복호기의 부가 정보로 이용된다. Turbo TCM 복호기의 전체 블록 다이어그램은 그림 2와 같다.

첫 번째 mapper를 통한 수신된 심벌 S_{1k} 가 첫 번째 MAP 복호기로 입력되고, 이때 MAP 복호기의 출력은 구

롭단위의 확률의 logarithm 값 $L^i(d_k) = L_{P_i} + L_{e \& S_i}$ 가 된다. 여기에서 systematic 정보와 extrinsic 정보는 분리시킬 수 없는 $L_{e \& S_i}$ 확률값을 갖게 되며, 반복복호로 발생한 신뢰도 $L_{e \& S_i}$ 로 요구하는 BER를 얻게 된다. 또한 두 번째 mapper를 통한 수신된 심벌 S_{2k} 는 두 번째 MAP 복호기로 입력되어진다. 첫 번째 복호기의 신뢰도 $L_{e \& S_i}$ 는 zero로 초기화 된다.

3. 시뮬레이션 결과

심벌 단위 MAP 복호기를 사용한 4-PSK(인터리버 크기 $N = 1024$), 트렐리스의 상태 수는 4이다. 채널은 AWGN으로 모델링 했고, 여기에서 N_0 는 잡음 전력 스펙트럼 밀도를 의미한다. 그림 3은 1bits/symbol 전송률을 갖는 4-PSK Turbo TCM에서 SNR에 대한 BER 성능을 보여주고 있다.

그림 3은 인터리버 크기 N 이 1024일 때 Gray mapping과 Turbo TCM의 성능을 분석한 결과를 보인다. Gray mapping은 iteration = 3인 경우에만 Turbo TCM은 iteration = 3, 6, 8일 때 성능을 분석해 보았다.

제안된 방식은 iteration = 6인 경우 5dB에서 약 5을 보이고, iteration=3인 경우 Gray mapping에 비해 제안된 방식이 BER=인 경우 약 2.5dB 이득을 얻는다.

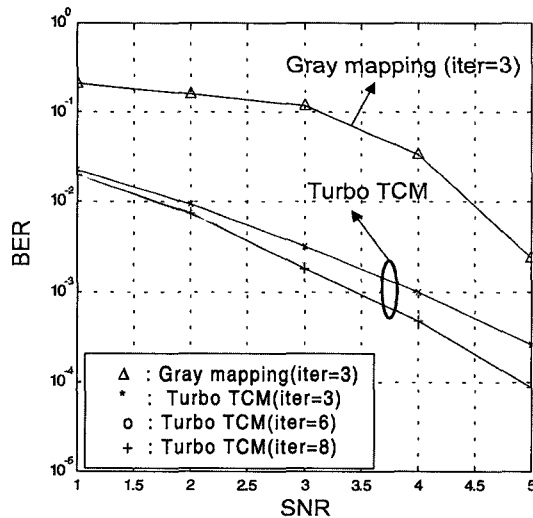


그림 3. iteration에 따른 Turbo TCM과 Gray mapping의 성능 분석(N=1024)

표 1. 시뮬레이션 파라미터

채널	AWGN
Constraint length	K = 3
생성다항식	G1 = 7(111), G2 = 5(101)
Frame size	1024
Iteration	3, 6, 8
Interleaver	Block 인터리버

4. 결 론

본 논문에서는 Turbo Codes를 적용한 TCM의 성능에 관하여 연구하였다.

간단한 Turbo TCM 구조로 기존의 방식에 비해 복잡도를 단순화 시켰으며 성능분석결과 Gray mapping에 비해 제안된 방식이 우수한 이득을 얻음(BER = 10^{-2} 인 경우 약 2.5dB)을 알 수 있었다. 또한 제안된 방식은 반복복호화가 증가할수록 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

Turbo TCM의 복호기의 복잡도가 시스템 설계에 있어 중요성을 감안할 때 제안된 방식은 QPSK 평처링 과정을 사용하여 효과적으로 감소된 복잡도를 갖으면서 성능을 향상시킴을 보여 준다.

참고문헌

- [1] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi and F. Pollara, "Serial concatenated trellis coded modulation with iterative decoding: design and performance," Proc. IEEE Glob. Comm. 97, pp.38-43, 1997.
- [2] Haruo OGIWARA, Voltaire Balisnomo BAJO, "Iterative Decoding of Serially Concatenated Punctured Trellis-Coded Modulation," IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL. E00-A, NO.1 pp.1-7, JANURAY 1999.
- [3] P. Robertson, T. Woz, "Bandwidth-Efficient Turbo Trellis-Coded Modulation Using Punctured Component Codes," IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS. VOL. 16. NO. 2, FEBRUARY 1998.
- [4] Wangrok Oh and Kyungwhoon Cheun, "Joint Decoding and Carrier Phase Recovery Algorithm for Turbo Code," IEEE Commun. Letters, vol. 5, no. 9, pp. 375-377, Sep. 2001.
- [5] Wangrok Oh, Kyungwhoon Cheun and Jinwoo Kim, "Lowering the Error Floor of Turbo Codes by a Simple Error Prone Bit Protection Scheme," Proc. 7th Communications /Electronics/C4ISR, Korea, Oct. 2003.