

4-state 8PSK TCM 방식의 비교 및 성능향상에 관한 연구

정희원 은도현*, 박형근*, 양윤오*, 조춘근, 박세준, 차균현*

Study on Performance enhancement and Comparison of 4-state 8PSK TCM Schemes

Do-Hyun Eun*, Hyung-Kun Park*, Yoon-Oh Yang*, Choon-Geun Cho, Se-Jun Park,
Kyun Hyon Tchah* *Regular Members*

요 약

본 논문은 대역폭이 제한된 환경에 적합한 8PSK TCM의 성능향상에 위해 새로운 심볼사상방식을 제안하고 그 성능향상을 확인하였다. 연구내용으로 첫째, 세가지 TCM(Ungerboeck의 상태수 4인 8PSK TCM, Wilson-Leung의 상태수 4인 8PSK TCM, Jamali의 상태수 4인 8PSK TCM)기법을 AWGN 및 페이딩 채널에서 오차 성능을 비교하였다. AWGN 채널에서는 Ungerboeck의 TCM 기법이 나머지 두가지 TCM 기법보다 성능이 우수함을, 페이딩 채널에서는 Jamali의 TCM 기법이 우수한 성능을 보임을 검증하였다. 둘째로, TCM성능향상을 위해 새로운 심볼사상방법을 제안하였다. 기존의 TCM 기법에서는 유클리드 거리만 고려한 두 가지의 심볼사상방법-자연심볼사상방법, 그레이 심볼사상방법-을 채택하고 있다. 본 논문은 셋 분할하는 경우 유클리드 거리뿐만 아니라 해밍 거리도 고려한 새로운 심볼사상방법을 앞서 제시한 모든 TCM 기법에서 기존의 두 방법보다 성능이 우수함을 모의실험을 통해 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, the performance enhancement of the 8PSK TCM(Trellis Coded Modulation) which is suitable to a bandwidth-limited environment is studied with three cases. First, three 4-state 8PSK TCM schemes by Ungerboeck, Wilson-Leung and Jamali are compared in the error performance on the AWGN and fading channel. It is validated that Ungerboeck's TCM scheme is superior to others in AWGN channel and Jamali's TCM scheme is superior to others in fading channel. At the second, in TCM scheme, a new symbol mapping method is proposed and its advantage is confirmed in the error performance. In existing TCM scheme there are two symbol mapping methods, one is natural which considers only the Euclidean distance, the other is Gray. In this paper, a new symbol mapping method is designed on considering both the Euclidean distance and the Hamming distance.

I. 서론

현재의 정보통신은 기술의 발전과 인간 욕구의 증대로 인한 서비스의 다양화, 가입자의 증가, 및 고속 데이터 필요성으로 인해 안정된 정보전송과

한정된 주파수대역 문제가 대두되었다. 현재 이동통신은 무선채널에서 안정된 정보전송을 위해 채널코딩으로 컨볼루션 부호가 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 비트오율(BER)성능을 향상시키지만 대역폭을 증가시키는 단점을 갖고 있다. 이것을 극복하기

* 고려대학교 공과대학 전자공학과(silverax@popeyes.korea.ac.kr) 정희원
논문번호 : 98144-0326, 접수일자 : 1998년 3월 26일

위한 변조기법이 전송 대역폭의 증가 없이 비트 오울 성능을 향상시키는 트렐리스 부호화 변조기법이다. 본 논문은 기존 TCM 기법의 성능향상에 대해 연구하였다. 구체적으로는 먼저 TCM 기법과 컨벌루션 부호 기법을 비교 평가하였고 AWGN 및 페이딩 채널에서 성능이 우수한 세가지 트렐리스 부호화 변조기법을 적용하여 비트 오울을 평가하였다. 또한, 각 TCM 설계에 대해서 유클리드 거리만을 고려한 기존의 자연심볼사상 방법과 유클리드 거리와 해밍 거리를 고려하여 새롭게 제안한 심볼사상 방법의 비트 오울을 평가하여, 새롭게 제안한 심볼사상 방법을 적용한 TCM 기법이 기존의 심볼사상 방법을 채택한 TCM 기법보다 비트 오울이 향상됨을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. II장에서는 모의 실험에 사용된 채널을 소개하였고, III장에서는 본 논문에 사용된 세가지 TCM 기법에 대한 설명과 AWGN 및 페이딩 채널에서의 오차수식을 다루었다. 또한, TCM 성능향상을 위해 새로운 심볼사상 방법을 제안하였다. IV장에서는 III장에서의 내용을 SPW를 이용한 모의실험 결과를 보여주고, V장에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

II. 채널 모델링

전파가 송신단 안테나에서 발생하여 전파될 때 주위의 지형이나 건물 및 이동체에 반사, 회절, 산란에 의해 여러 경로와 지연시간을 가지고 수신단에서 수신된다. 다중경로 페이딩에 의해 진폭페이딩, 도플러 확산(doppler spread)과 시간 지연확산(time delay spread)과 같은 현상이 발생하는데 이 각각의 현상에 의해 채널의 특성이 규정짓게 된다.

채널은 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였고, 일반적인 도시환경의 페이딩을 가정하였다. 또한 이동국의 속도를 보행자 속도로 고려하였다. 보행자속도에 의한 도플러 주파수 값을 계산하면 9.5Hz가 되고 이 값을 채널의 변화율로 이용하였다. 각 지연시간에서 수신되는 신호 값의 분포를 레일리 분포로 가정하였고 각 페이딩 신호의 위상은 균일한 분포를 가진다고 가정하고 발생하였다.

III. TCM

3.1 TCM 개요

TCM 기법은 1982년 처음으로 Gottfried Ungerboeck에 의해 제안되었다^[1]. 이것은 부호화율

이 $m/(m+1)$ 인 컨벌루션 부호와 변조기법이 하나로 결합된 형태이고, 이 기법의 주된 장점은 주파수 대역이 제한된 환경에서 대역폭의 회생 없이 부호화 이득을 얻을 수 있다는 것이다. 그림 1은 TCM 부호기의 일반적인 형태를 나타낸다. 그림 2는 최적의 유클리드 거리를 유지하기 위한 메모리 수가 2이고 4-state 8PSK TCM의 셋 분할(set partitioning) 그림이다. 즉 연속적인 셋분할은 유클리드 거리가 큰 방향으로 $\Delta_0 < \Delta_1 < \Delta_2$ 즉, $(A) \rightarrow (A_0, A_1) \rightarrow (A_{00}, A_{10}, A_{01}, A_{11})$ 이루어진다. 셋분할은 1개의 신호점이 될 때까지 계속된다.

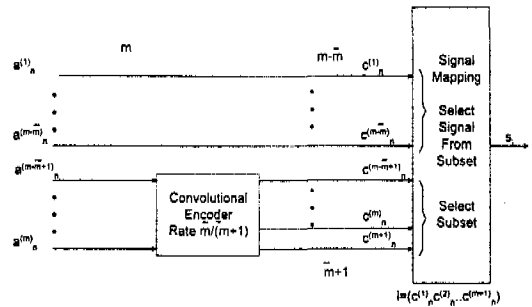


그림 1. TCM 부호기 구조

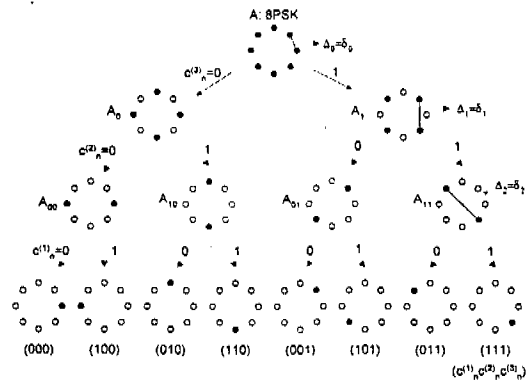


그림 2. 8PSK 신호셋의 셋분할도

3.2 TCM 오차 수식

기존의 컨벌루션 부호는 해밍 거리(Hamming distance)에 의해 오차성능이 결정되었지만, TCM은 컨벌루션 부호와 변조기법(예 : PSK)이 결합된 형태이기 때문에 오차성능은 심볼 사이의 유클리드 거리(Euclidean distance)에 의해 결정된다. 그리고 AWGN 환경과 페이딩 채널 환경에서 오차성능을 좌우하는 파라미터는 각각 다르게 나타난다.

· AWGN 환경하에서의 오차 수식

비트오차확률 상한은

$$P_b \leq \frac{1}{2m} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{d_{free}^2}{4N_0}} \right) e^{\frac{d_{free}^2}{4N_0}} \frac{\partial T(D, D)}{\partial D} \Big|_{D=1} e^{-\frac{d_{free}^2}{4N_0}} \quad (1)$$

이다^[8].

여기에서 m 은 전송 비트수이고 d_{free} 은 자유유클리드 거리이고 $T(D, D)$ 는 수정오차상태도 수식이다. 위의 수식은 AWGN 채널에서 TCM 성능이 유클리드 거리가 클수록 우수함을 보여준다.

· 페이딩 환경하에서의 오차 수식

비트오차확률 상한은

$$P_b \leq \prod_{m=7}^{4K} \frac{4K}{|s_n - \hat{s}_n|^2} \left(\frac{E_s}{N_0} \right)^L, \quad \frac{\bar{E}_s}{N_0} \gg K \quad (2)$$

이다^[9].

여기에서 s_n 과 \hat{s}_n 은 트렐리스도에서 각각 바른 경로와 오류가 발생한 경로를 경유하는 부호화된 전송 시퀀스이고, K 는 라이시안 파라미터이고, \bar{E}_s 는 평균 심볼에너지이고, L 은 최단 오차사건 경로의 길이이다. 위의 수식은 AWGN 환경에서 유클리드 거리를 강조한것과 달리 페이딩 채널에서 TCM 성능이 최단 오차사건 경로의 길이 L 과 그 경로의 메트릭 곱이 클수록 성능이 우수함을 보여준다.

3.3 TCM 설계

위 수식 (1), (2)를 기본으로 AWGN 및 페이딩 채널에서 각각 우수한 성능을 갖는 Ungerboeck TCM과 Wilson-Leung TCM, Jamali TCM 세가지를, 상태수는 4, 부호화율은 2/3로 하였다. 각각의 트렐리스도는 다음과 같다^{[1],[6],[9]}.

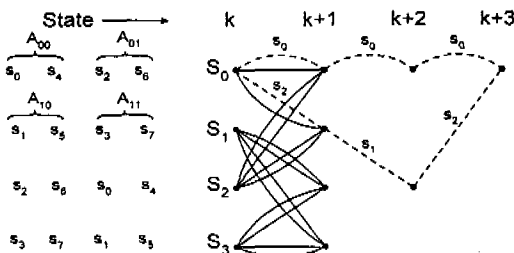


그림 3. Ungerboeck TCM 트렐리스도

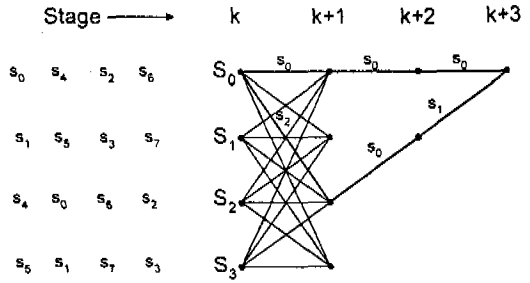


그림 4. Wilson-Leung TCM 트렐리스도

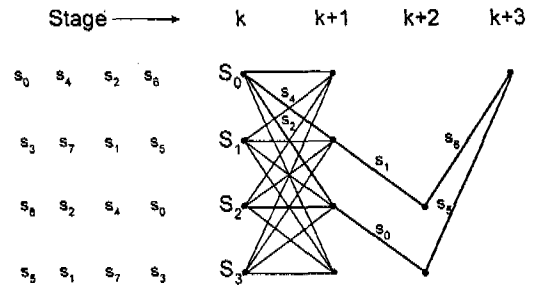


그림 5. Jamali TCM 트렐리스도

위 세가지 TCM의 부호화 이득은 식 (4)와 같이 주어진다^[8].

$$g_{\infty} \equiv g |_{SNR \rightarrow \infty} = 10 \log \frac{(d_{free}^2/E_s)_{coded}}{(d_{free}^2/E_s)_{uncoded}} \quad (3)$$

그림 3, 4, 5를 통해 각각의 자유유클리드 거리는 4, 2.586, 3.172이고, 식 (3)으로 계산한 Ungerboeck의 부호화 이득은 부호화되지 않은 QPSK에 비해 3dB 높고, Wilson-Leung의 TCM 기법은 1.1dB, Jamali의 경우에는 2dB 정도 높다. 부호화 이득 결과값을 통해서 데이터를 AWGN 전송 채널을 통해 전송할 때에는 병렬경로가 존재하는 Ungerboeck의 부호화 변조기법의 성능이 우수함을 알 수 있다.

그러나, 페이딩 전송 채널에서는 식 (2)에서 알 수 있듯이 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 파라미터가 최단 오차사건경로의 길이와 메트릭곱이다. Wilson-Leung은 최단 오차사건경로를 2로 하여 1인 Ungerboeck방식보다 좋은 성능을 보인다. 하지만 Jamali는 최단 오차사건경로를 2로 유지하면서, 그 경로의 가지 곱을 최적화시켜서 페이딩에서는 세가지 방식 중 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 또한, SPW를 이용한 모의실험을 통해 상기 사실을 검증하였다.

3.4 TCM 성능 개선 방법

기존의 TCM, 즉 AWGN 및 페이딩 전송채널에서 각각 우수한 성능을 보인 Ungerboeck TCM과 Jamali TCM에서의 심볼사상 방법은 모두 유클리드 거리만을 고려하여 설계되었다. 이렇게 설계된 심볼사상 방법으로는 그림 6(b), (c)와 같이 자연심볼사상방법(natural symbol mapping method)과 그레이 심볼사상방법(gray symbol mapping method), 두가지가 있다. 그림 6(a)는 QPSK의 신호좌(signal constellation)를 표현하고, 그림 6(b)는 기존의 8PSK TCM 성능 분석에 이용된 자연심볼사상 방법이고, (c)는 그레이 심볼사상방법이다. 자연심볼사상방법은 단순히 반시계방향으로 순차적인 심볼사상 방법으로 인접한 부호화된 심볼비트 차이가 한 개에서 최대 세 개까지 나타나게 된다. 예를 들면, 심볼 비트 $S_0(000)$ 와 $S_1(001)$ 은 비트 차이가 1이고, $S_0(000)$ 와 $S_7(111)$ 은 비트 차이가 3이다. 이것은 전송채널을 통과한 결과 비트가 최대 세 개의 오차를 갖을 수 있기 때문에 그만큼 성능저하 가능성을 내포하게 되는 것이다. 이 약점을 보완하고자 제안한 방법이 그레이심볼사상 방법이고, 이것은 그림 6(c)에서 표현한 것처럼 부호화된 인접 심볼비트 차이가 한 개이다. 예를 들면, 인접 심볼 비트 $S_0(000)$ 과 $S_7(100)$ 의 비트 차이는 1이고, 나머지도 마찬가지이다. 이 방법은 전송채널을 통과한 결과 비트오차를 한 개로 줄일 수 있다. 그 결과 AWGN 및 페이딩 전송채널에서 자연심볼사상 방법보다 우수한 성능을 보인다.

트렐리스도 그림 3, 4, 5를 통해서 살펴보면, 인접한 심볼 사이의 실제 비트 차이는, 현재의 상태에서 다음 상태로 신호가 전이될 때 신호셋 A_0, A_1 의 각각의 심볼에 사상된 비트 차이이다. 여기에서 신호셋 A_0, A_1 은 그림 6의 각 심볼사상 방법에서 공통으로 $A_0 = \{s_0, s_4, s_2, s_6\}$, $A_1 = \{s_1, s_5, s_3, s_7\}$ 이다. 즉 트렐리스 경로를 통과한 인접 비트차이는 각각의 신호셋 A_0, A_1 안에 한정된다. 그 결과 자연심볼사상 방법의 실제 인접한 비트 차이는 1 또는 2이고, 그레이심볼사상 방법의 비트 차이

그림 6(d)는 유클리드 거리와 해밍 거리를 모두 고려하여 신호셋 A_0, A_1 의 각각의 네 개 인접 심볼 비트 차이가 1이 되도록 새롭게 심볼사상을 하였다. 그렇게하면 실제 인접 비트 차이는, 즉 신호셋 A_0 에서 $S_0(000), S_2(100), S_4(110), S_6(010)$ 의 비트 차이는 1이고, 신호셋 A_1 도 마찬가지이다.

여기에서 그림 3의 Ungerboeck TCM 트렐리스도의 바른 경로와 최단 오차사건경로를 통과하는 입력 비트와 부호화기의 출력 비트의 오류 수를 각각 세가지 경우의 심볼사상 방법을 적용하여 살펴보면 그림 6(d)의 심볼사상 방법이 성능이 우수함을 예측할 수 있다.

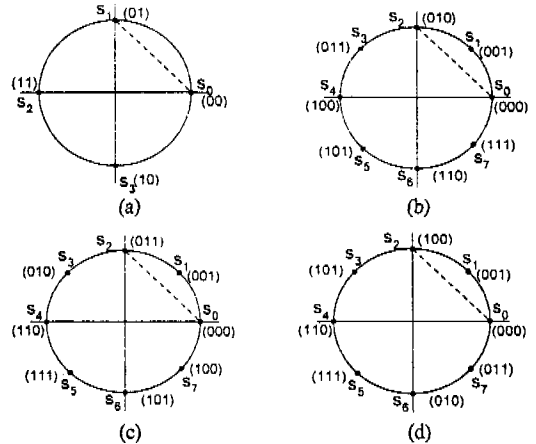


그림 6. (a) QPSK (b) 자연심볼사상 8PSK (c) 그레이심볼사상 8PSK (d) 제안된 새로운 심볼사상 8PSK

그림 7, 8, 9는 세가지 심볼사상 방법을 적용하여, Ungerboeck TCM의 심볼에 대응하는 입력 비트와 출력 비트, 그리고 바른 경로와 최단 오차경로 사이의 비트 오류 수를 보여준다.

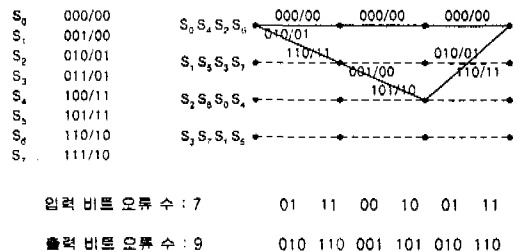


그림 7. 자연심볼사상 방법을 적용한 Ungerboeck 트렐리스도의 비트 오류 수

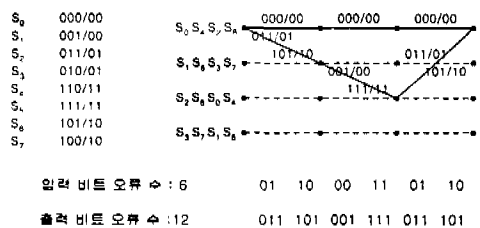


그림 8. 그레이심볼사상 방법을 적용한 Ungerboeck 트렐리스도의 비트 오류 수

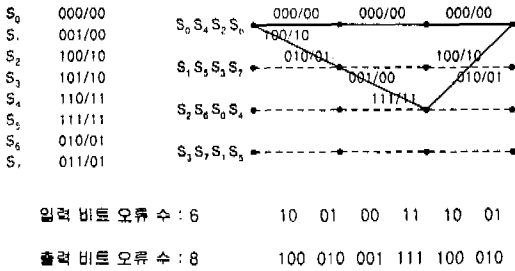


그림 9. 새로운 심볼사상 방법을 적용한 Ungerboeck 트렐리스도의 비트 오류 수

Ungerboeck TCM은 병렬 경로가 존재하기 때문에 그림 7, 8, 9의 비트 오류 수는 병렬 경로를 모두 고려하였다. 연속적인 정보비트 00가 TCM 부호화기를 통과하고 출력 비트 000가 심볼 S_0 에 사상되어 전송된다고 가정하면, 그림 7, 8, 9에서의 바른 경로는 000/00(출력 비트/입력 비트)의 경로가 되고, 최단 오차경로 길이가 3인 실선으로 표시된다. 이 경우에 자연심볼사상 방법을 적용한 결과는 그림 7과 같이 나타난다. 여기에서 페이딩 채널을 통과하는 비트의 오류의 확률이 랜덤하다고 가정한다. 입력 비트 오류 수는 7이고 출력 비트 오류 수는 9이다. 그림 8의 그레이심볼사상 방법을 적용한 경우에는 입력 비트 오류 수는 6이고, 출력 비트 오류 수는 12이다. 그림 9의 새로운 심볼사상 방법을 적용한 경우에는 입력 비트 오류 수는 6이고, 출력 비트 오류 수는 8이다. 각각의 세 가지 경우에서 입력 비트 오류 수가 가장 작은 경우는 그레이심볼사상 방법과 새로운 심볼사상 방법이고, 출력 비트 오류 수가 가장 작은 경우는 새로운 심볼사상 방법을 확인 할 수 있다. 여기에서 성능의 우수함은 페이딩 채널을 통과한 비트 오류 확률이 랜덤하기 때문에 비트 오류 수가 작은 경우로 판단할 수 있다. 그 결과 그림 6(d)와 같이 새롭게 제안한 심볼사상 방법이 성능이 우수함을 예측할 수 있다.

IV. 모의실험

AWGN 채널에서는 부호화되지 않은 QPSK와 그림 6(b), (c), (d)의 세 가지 심볼사상 방법을 적용한 상태수가 4이고 대역폭 효율이 같은 부호화율 2/3인 Ungerboeck, Wilson-Leung, Jamali의 8PSK TCM의 성능을 비교하고, 페이딩 채널에서는 CSI(Channel State Information)의 경우를 채택하였고, 각 세가지 TCM을 서로 다른 심볼사상하여 성능을 평가한다. 모의실험은 SPW(Signal

Processing WorkSystem)를 이용하였다.

4.1 전체 시스템 구조

4.1.1 AWGN 채널에서 시스템 구조

AWGN 전송채널에서 전체 시스템 구조는 다음 그림 10과 같다. 그림 10은 메모리 수가 2, 부호화율이 2/3인 8PSK TCM의 송신단과 비터비 알고리즘을 이용하여 정보 비트를 찾는 수신단의 전체 구조를 보여준다. 여기에서 심볼사상 방법은 그림 6의 세 가지 방법-(b), (c), (d)-을 채택하였고, 비터비 복호기에서 복호화 간격은 일반적으로 사용되는 구속장의 다섯 배수인 15로 하였다.

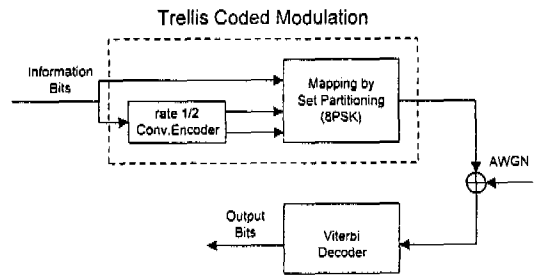


그림 10. AWGN 전송채널에서의 TCM 구조

4.1.2 페이딩 채널에서 시스템 구조

페이딩 채널에서 전체 시스템 구조는 다음 그림 11과 같다. 페이딩 전송채널에서 발생할 수 있는 연립 오차(burst error)를 최소화하기 위해 송신단에서 인터리빙을 사용하였고, 수신단에서는 디인터리빙을 하였다. 디인터리빙된 신호를 비터비 복호기를 이용하여 송신된 정보 비트를 찾는다. 심볼사상 방법과 부호화 간격은 AWGN 채널과 동일하고, 사용자의 이동 환경에 따른 도플러 주파수는 보행자를 기준으로 하여 9.5Hz로 하였다.

4.2 모의실험 결과 및 분석

4.2.1 AWGN 전송채널에서의 결과 및 분석

AWGN 전송채널에서의 각각의 성능은 신호에너지대잡음비(SNR)와 비트 오류율로 표시하였다. 결과 그림은 각각 그림 12, 그림 13, 그림 14이다. 모의 실험 결과, 그림 12은 AWGN 환경에서의 기존의 자연심볼사상 방법의 세가지 TCM과 부호화되지 않은 QPSK 변조기법의 성능 차이를 보여준다. 즉, 3.3절에서 설명하였듯이 AWGN 환경하에서는 Ungerboeck TCM 기법이 최고의 성능을 보이고,

Jamali TCM, Wilson-Leung TCM, 부호화되지 않은 QPSK 변조기법 순으로 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 그림 13은 AWGN에서 우수한 성능을 갖는 Ungerboeck TCM을 그림 6의 세가지 심볼사상 방법을 적용하여 얻은 결과를 신호에너지대 잡음비와 비트 오류율 나타낸 것이다. 그림 13은 기존의 자연심볼사상 방법보다

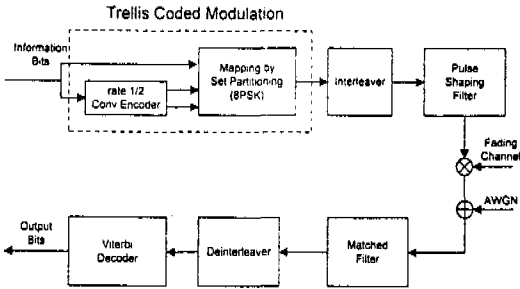


그림 11. 페이딩 전송채널에서 TCM 구조

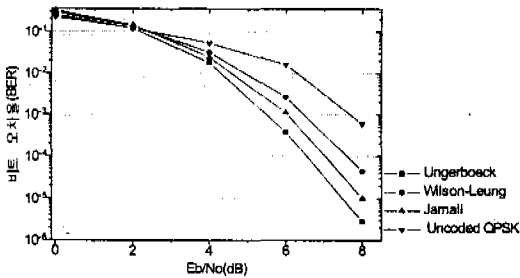


그림 12. AWGN에서 자연심볼사상 방법의 8PSK TCM 성능 비교

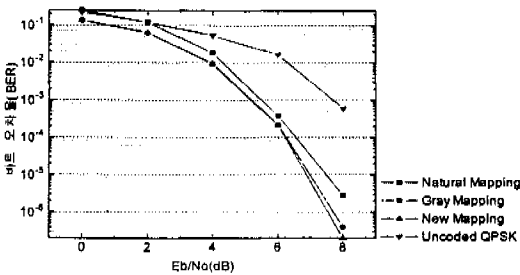


그림 13. AWGN에서 Ungerboeck TCM 성능 비교

그레이, 그리고 제안한 새로운 심볼사상 방법이 약 0.5dB 정도 성능이 우수함을 보여 주고 있다. 그림 14는 TCM 부호화기와 동일한 메모리 수(=2)를 갖고 부호화율이 각각 1/2와 2/3 컨벌루션 부호화된 비트를 단순히 8PSK 변조기법에 결합한 형태와 세가지 TCM과의 성능을 비교하였다. 그 결과 세가지 TCM기법이 모두 성능이 우수하였고, 이것

으로 TCM의 주요한 장점인 대역폭이 제한된 경우에 성능의 우월성을 확인할 수 있었다.

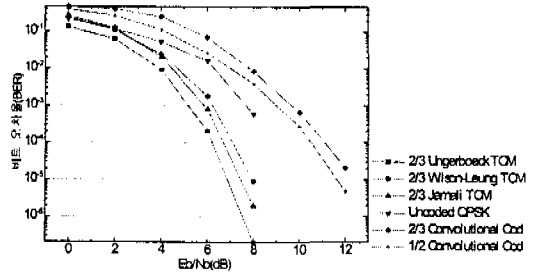


그림 14. AWGN에서 새로운 심볼사상 방법의 8PSK TCM과 컨벌루션 부호 성능 비교(메모리=2)

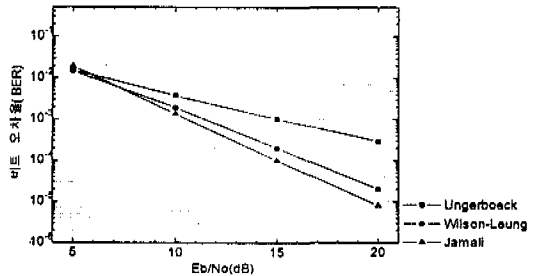


그림 15. 페이딩 채널에서 자연심볼사상 방법의 8PSK TCM 성능 비교(fd=9.5hz)

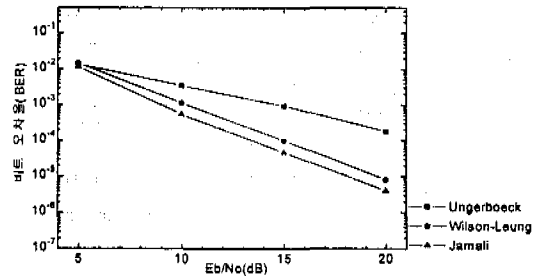


그림 16. 페이딩 채널에서 새로운 심볼사상 방법의 8PSK TCM 성능 비교(fd=9.5hz)

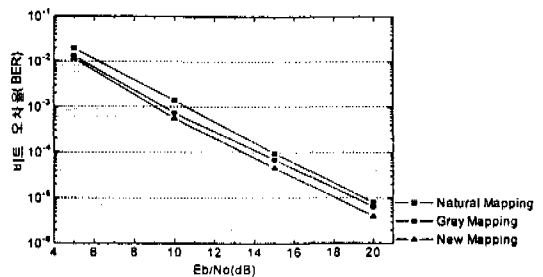


그림 17. 페이딩 채널에서 Jamali TCM 성능비교(fd=9.5hz)

4.2.2 페이딩 전송채널에서의 결과 및 분석

각각의 성능은 신호에너지대 잡음비(SNR) 와 비트 오류율로 표시하였고, 그 결과 그림은 각각 그림 15, 그림 16, 그림 17이다. 그림 15은 페이딩 채널에서의 기존의 자연심볼사상방법의 세가지 TCM을 성능비교한 것이다. 결과를 분석하면, 3.3절에서 설명하였듯이 페이딩 채널에서는 Jamali TCM 기법이 최고의 성능을 보이고, Wilson-Leung TCM, Ungerboeck TCM 순으로 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 즉, 페이딩 채널에서 자연심볼사상 방법을 적용한 Jamali TCM이 가장 우수하다는 기존의 결과를 확인시켜준다. 그림 16은, 그림 6(d)의 제안한 새로운 심볼사상 방법을 적용하여 세가지 TCM을 비교한 결과이고, 이것은 기존의 자연심볼사상 방법과 마찬가지로 페이딩 채널에서는 Jamali TCM이 가장 우수한 성능을 갖고 있음을 확인시켜 준다. 그림 17은 페이딩 채널에서 가장 성능이 우수한 Jamali TCM을 사용하여 세가지 심볼사상 방법에 따른 비트 오류율을 보여 준다. 기존의 자연심볼사상 방법보다는 그레이 심볼사상방법이 약 1dB, 그레이 심볼사상방법보다는 제안한 새로운 심볼사상방법이 약 1dB 정도 성능의 우수함을 확인할 수 있다. 모든 모의실험결과 페이딩 및 AWGN 환경하에서 새롭게 제안한 심볼사상 방법이 우수하다는 것을 확인하였고, 연립오차가 발생하기 쉬운 페이딩환경에서 성능향상정도가 뛰어나다는 것을 확인하였다.

V. 결론

본 논문은 대역이 제한된 환경에 적합한 트렐리스 부호화 변조기법의 성능향상을 연구하였고, 두 가지 결론을 내릴 수 있다.

첫째, 기존의 트렐리스 부호화된 8PSK 변조기법 세 가지-Ungerboeck TCM, Wilson-Leung TCM, Jamali TCM-를 적용하여 AWGN 및 페이딩 채널에서 모의실험하여, AWGN 채널에서는 자유유클리드 거리가 가장 큰 Ungerboeck 부호화 변조기법의 성능이 우수하고, 페이딩 채널에서는 오차수식(2)에서 처럼 최단 오차사건경로의 길이와 그 가지 메트릭 곱을 최적화한 Jamali TCM의 성능이 우수함을 확인하였다.

둘째, 새로운 심볼사상 방법을 제안하여 앞서 제안된 모든 TCM방식에서 성능향상을 확인하였다. 기존의 심볼사상 방법은 유클리드 거리만을 고려하여 설계하였기 때문에 인접 심볼간 해밍 거리가 최

소 1부터 최대 3까지 나타나게 되었다. 여기에 유클리드 거리와 해밍 거리를 모두 고려하여, 즉 각각의 신호셋 내에서 해밍 거리가 1이 되게 설계하였고, 모의실험을 통해 기존의 자연심볼사상 방법과 그레이 심볼사상 방법보다 제안한 새로운 심볼사상 방법의 성능이 우수함을 앞서 제안된 모든 방식에서 확인하였다. 또한, 새로운 심볼사상 방법이 AWGN환경에서보다 실제 무선채널환경인 페이딩환경에서 더 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] G. Ungerboeck, "Channel coding with multilevel/phase signals", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-28, pp. 55-67, Jan. 1982.
- [2] G. Ungerboeck, "Trellis-coded modulation with redundant signal sets, Part II: State of the art," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 25, pp.12-21, Feb. 1987.
- [3] D. Divsalar and M. K. Simon, "Trellis-coded modulation for 4800-9600 bits/s transmission over a fading mobile satellite channel," *IEEE Journal of Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, pp.162-175, Feb. 1987.
- [4] D. Divsalar and M. K. Simon, "The design of trellis coded MPSK for fading channels: Performance criteria," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, pp.1004-1012.
- [5] D. Divsalar and M. K. Simon, "The design of trellis coded MPSK for fading channels: Set partitioning for optimum code design", *IEEE Trans. Commun.*, vol 36, pp.1013-1021, Sept. 1988.
- [6] S. G. Wilson and Y. S. Leung, "Trellis-coded phase modulation on Rayleigh channels," *Proceeding of ICC '87 Conf. Rec.*, Seattle, WA, pp. 21.3.1-21.3.5, June 1987.
- [7] D. Divsalar, P. J. Mclane and M. K. Simon, *Introduction to Trellis Coded Modulation with Applications*, Macmillan Publishing Co., 1991.
- [8] S. Hamidreza Jamali and Tho Le-Ngoc, *Coded-Modulation Techniques for Fading Channels*, Kulwer Academic Publisher, pp. 82-86, 105-113, 131-137, 1994.

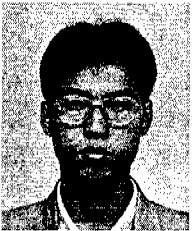
[9] S. Hamidreza Jamali and Tho Le-Ngoc, "A New 4-State 8PSK TCM Scheme for Fast Fading, Shadowed Mobile Radio Channels", *IEEE Trans. on Vehicular Tech.* vol. 40, no. 1, Feb. 1991.



은도현(Do-Hyun Eun) 정회원
1992년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1995년 8월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1997년 8월 : 고려대학교 전자공학과 박사 수료

<관심분야> 변복조이론, 채널코딩, 개인이동통신시스템

양윤오(Yoon-Oh Yang) 정회원
1996년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1998년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1998년 3월 : LG 정보통신
<관심분야> 채널코딩, 개인이동통신시스템



박형근(Hyung-Kun Park) 정회원
1995년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1997년 3월~현재 : 고려대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 이동통신, 멀티캐리어 CDMA, IMT-2000,

조춘근(Choon-Geun Cho)
1993년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1996년 8월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1998년 8월 : 고려대학교 전자공학과 박사 수료
<관심분야> CDMA 시스템, 이동통신



박세준(Se-Jun Park)
1982년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1988년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1988년 9월~현재 : 한국통신 인력개발본부 선임연구원

1997년 3월 : 고려대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 컴퓨터 네트워크, CDMA 시스템, 이동통신

차균현(Kyun-Hyon Tchah) 정회원
1965년 2월 : 서울대학교 전기공학과 공학사
1967년 6월 : 미국 일리노이 공대 대학원 공학석사
1976년 6월 : 서울대학교 대학원 공학박사
1977년 3월~현재 : 고려대학교 전자공학과 교수
1998년 1월~현재 : 한국통신학회 회장
1998년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 부이사장
<관심분야> 대역확산통신, 이동위성통신, IMT-2000, B-ISDN