

이동 무선 환경에서의 TCM 및 MTCM의 성능 비교 평가

김 민 호*

A Study on the performance evaluation with TCM and MTCM in the mobile radio environment

Min-Ho Kim*

요 약

통신의 신뢰도를 향상시키고 오류가 적은 통신을 하고자 할 때 부호화 기법을 사용하며, 블록코드나 컨볼루션 코드와 같은 에러 정정부호를 사용하려면 전송할 정보비트에 부가정보를 추가하여야 한다. 그러나 부가정보를 사용하면 신뢰성은 커지나 대역폭 효율은 떨어진다. 따라서 대역폭이 제한된 환경에서 데이터 전송률의 변동없이 큰 부호화 이득을 얻을 수 있는 방법이 꾸준히 연구되어 왔다.

본 논문에서는 Ungerboeck가 설계한 TCM과 Divsalar가 제안한 다중화 지수 2의 다중 트렐리스 변조 (Multiple trellis-coded modulation) 최적 부호기를 설계하고 상태수에 따른 TCM과 MTCM의 성능을 Monte Carlo 방법을 이용하여 비교 평가하였다.

Abstract

In order to enhance the confidence in the mobile communication and improve the performance of the bit error, we have been using coding method. In the case of this, we have to add redundancy bits by using error correcting codes such as the block or convolutional codes. However, the result of redundancy bits causes to improve confidence, but to drop the efficiency in the bandwidth. We have studied coding method that we are able to get the good coding gain without any changes in the data transmission rates in the limited bandwidth.

In this paper, we design TCM(Trellis Coded Modulation) which was proposed by Ungerboeck and MTCM(Multiple TCM) , with multiplicity(k=2), which was proposed by Divsalar, using the optimum encoder. As state number is varied in the optimum encoder, we compare the performance of the TCM and MTCM by using Monte Carlo simulation.

* 울산과학기술대학교 조교수

I. 서론

디지털 이동 통신에서는 가우시안 잡음과 더불어 전파 경로 손실 및 이동속도에 의한 페이딩으로 통신 시스템의 성능이 크게 저하되어 여러 문제점을 가지고 있으며 전력과 대역폭이 제한되어 있다. 전력이 제한된 환경에서는 오류 검출 및 정정을 위해 정보 비트에 부가정보를 추가하여야 한다. 그러나 추가된 부가정보로 인해 전송률이 감소하고 대역폭 사용효율이 떨어지게 된다. 또한 대역폭이 제한된 환경에서는 주파수 이용 효율을 향상시켜 대역폭을 줄이는 근본적인 방법으로 M-ary 변조법이 있다. 그러나 M-ary 변조는 대역폭 효율은 향상되지만 신뢰도를 향상시키기 위해서 전력을 증가시켜야 하는 단점을 갖고 있다. [1] 전력이 제한된 환경에서 효율적인 방법인 채널부호화와 대역폭이 제한된 환경에서 효율적인 방법인 M-ary 변조 방식을 하나의 과정으로 수행하여 대역폭과 전력의 증가없이 신뢰도를 향상시킬 수 있으며 이를 해결한 것이 Ungerboeck가 제안한 트렐리스 부호화 변조(trellis-coded modulation)이다. [4][5]

페이딩 채널 및 가우시안 채널에서의 성능을 향상시키는 방법은 Divsalar와 Simon이 제안한 다중트렐리스 부호화 변조(multiple TCM)이다. 이 방법은 일반적인 트렐리스부호화변조의 경우에는 각 트렐리스 가지에 1개의 심볼이 할당되는 반면 다중 트렐리스 부호화 변조의 경우에는 각 트렐리스 가지에 다중화 지수 만큼의 심볼을 할당하여 부호화 이득을 얻는 방법이다. [2]

본 논문에서는 전력과 대역폭이 제한된 이동무선환경에서 Ungerboeck의 TCM과 Divsalar의 다중화 지수 2의 다중 트렐리스 부호화 변조(MTCM)를 Calderbank - Mazo의 해석적 기법을 이용하여 최적의 부호기를 설계하였다. 또한 이동 통신에서 주로 사용하는 QPSK와 8PSK에 대해 2상대, 4상대, 8상대일 때 TCM과 MTCM의 성능 평가를 Monte-carlo 시뮬레이션으로 행하였다. 상태의 증가와 변조 방법에 따른 성능 이득을 연관정을 이용한 back-trace 방식의 비터비 알고리즘을 이용함으로써 메모리량을 줄이고 실시간 처리가 가능하도록 하였다.

II. TCM과 8PSK변조방식

1. TCM의 개요

트렐리스 부호화 변조는 성능을 향상시키기 위하여, 채널 부호화로써 k/n 콘볼루션 부호화기를 사용하며, 전송비트량의 증가를 가져오나 대역폭의 증가를 막기 위해 2k 보다 더 큰 2n 개의 채널신호 집합을 사용함으로써 대역폭 증가를 막을 수 있다. 변조방식에 따른 오류율(BER)은 신호 공간상 채널 신호들간의 유클리드 거리(Euclidean distance)의 제곱에 밀접한 관계가 있다. 그러므로 채널부호화와 변조를 하나의 과정으로 취급하는 트렐리스 부호화 변조에서, 사용되는 k/n 콘볼루션 부호기는 신호열 사이의 유클리드 거리가 최대가 되도록, 콘볼루션 부호를 설계하고 신호사상(signal mapping)을 하여야 한다. 이러한 방법에 의하여, 변조신호의 자유 유클리드 거리인 d_{free} 가 부호화되지 않은 신호들 사이의 최소 유클리드 거리인 d_{min} 을 초과하게 된다. 수신측에서는 MLSE 복호 방법인 비터비 복호기(Viterbi decoder)를 이용함으로써 부호화 이득을 얻게된다. [7]

2. TCM의 집합분할

자유 유클리드 거리를 최대화 시키기 위하여, 부호화기의 출력을 신호 사상기에 인가하여 사상(mapping)하는 규칙이 Ungerboeck에 의해서 제안된 신호 집합 분할(signal set partition) 기법이다. 이것은 채널 신호 집합을 연속적인 부분집합으로 분할하여 부분집합내 신호들 사이의 최소 유클리드 거리가 점차적으로 증가하도록 분할하는 방법이다. [4]

그림 1의 트렐리스 부호화된 8-PSK에서와 같이 특정 집합내 신호들간에 가장 작은 유클리드 거리 Δ_i , $i=0,1,2,\dots$ 가 점차적으로 커지도록 더 작은 부분집합으로 분할하는 것이다. 이러한 분할을 k+1번 반복하며 트렐리스 부호화 변조를 설계하기 위한 마지막 단계로, 이러한 집합 분할이 이루어지도록 콘볼루션 부호화기를 설계한다. 콘볼루션 부호화기는 상태도나 트렐리스도로부터 설계할 수 있다.

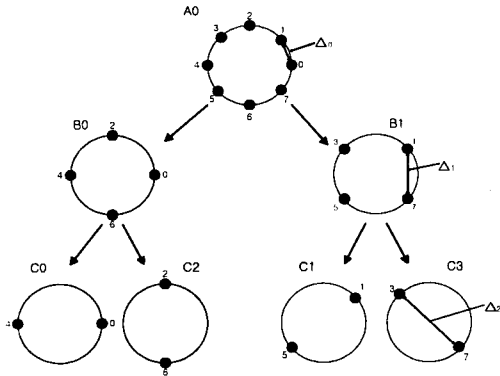


그림1. 8PSK의 집합분할
Fig1. Set partitioning for 8PSK

III. MTCM의 구조

MTCM은 Ungerboeck 방식과 달리 각 트렐리스 선도의 가지에 한 개 이상의 채널 심볼을 대응시킨다는 데 큰 특징이 있다. 일반적인 MTCM의 구성도는 그림 2와 같다. b 개의 입력 데이터 비트는 부호율이 b/s 인 트렐리스 부호기에 의해서 s 개의 부호화된 비트로 출력된다. s 개의 비트들은 k 개의 묶음으로 나뉘어 사상기에 입력되어 k 개의 채널 신호를 선택하게 된다. 이 때 수율은 단위대역폭당 비트전송률로서 $r = b/k$ [bits/sec/Hz]이다. k 는 다중화 지수(multiplicity)라 하며 정수값을 갖는다.[6] Ungerboeck의 TCM은 MTCM에서 $k = 1$ 의 특수한 경우라고 생각할 수 있다. s 의 이진 부호화는 k 개의 그룹 출력 심볼 m_1, m_2, \dots, m_k 이 되며, 각 그룹 심볼은 사상기를 통하여 M_i -ary 변조를 하여 출력심볼을 생성한다.

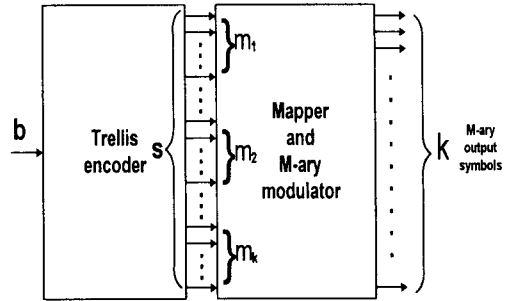


그림 2. 일반적인 MTCM 송신기
Fig 2. Generalized MTCM transmitter

입력 데이터 비트 b 는 다중화 지수 k 의 정수배일 필요는 없으므로, MTCM에서는 수율이 정수값이 아닐 수도 있다. 즉 정수배가 아닌 경우 비교대상이 되는 부호화하지 않는 시스템은 존재하지 않는다. 특별한 경우, 즉 $b = nk, s = (n + 1)k$ 이면 수율이 n [bits/sec/Hz]이 되고, 따라서 비교대상이 되는 부호화 하지 않은 시스템이 존재한다. 다중화 지수 k 는 4보다 클 수 없으며, 그 이유는 4라는 값이 d_{free} 의 증가를 가져올 수 있는 이론적 가장 큰 값으로, k 값이 그 이상 크더라도 d_{free} 는 증가하지 않고 일정한 값을 갖기 때문이다. [2][6]

1. 해석적 방법에 의한 최적 부호기 설계

다중화 계수가 2인 4/6 다중 트렐리스 부호화된 8PSK 변조기는 4개의 입력 비트가 2차원 신호 집합 분할 방법에 의해 신호 집합 분할이 이루어 지도록 설계된 콘볼루션 부호화에 입력되어 각 3 비트씩의 2개의 그룹이 형성되고 각 그룹은 신호 사상기에서 신호가 출력된다. 이러한 콘볼루션 부호화를 설계하기 위해 필요한 2상태 트렐리스 부호화기를 Calderbank-Mazo의 해석적 기법을 이용하여 최적 부호기를 설계하였으며, 그림3과 같다.[3] 4상태와 8상태에 대한 콘볼루션 부호화기도 동일한 방법에 의해서 얻어질 수 있다.

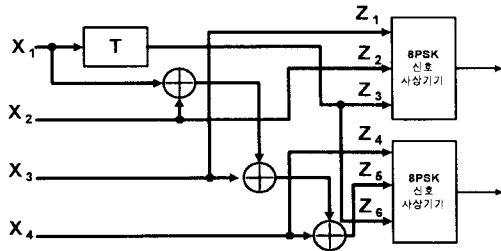


그림3. 4/6 다중 트렐리스 부호화된 2상태, 8PSK의 송신기 구성
Fig 3. Transmitter implementation for rate 4/6 multiple trellis coded two states, 8PSK

2. MTCM의 비터비 알고리즘

비터비 알고리즘은 어떠한 메트릭에 따라 가장 짧은 경로(path)를 찾겠다는 개념이다. 우선, 새로운 신호점이 수신되기 전에 트렐리스 도의 각 상태에는, 각각 하나의 생존경로(survival path)와 경로 메트릭(path metric)을 갖고 있다. 잡음이 부가된 새로운 신호점이 수신되었을 때 비터비 알고리즘은 트렐리스의 각 가지에 있는 신호들과의 유클리드거리에 해당하는 가지 메트릭 (branch metric)을 계산한다. 다중 트렐리스 부호화 변조의 경우에는 각 가지에 하나 이상의 심볼이 존재하므로 가지에 있는 각 심볼에서의 유클리드 거리에 해당하는 비트 메트릭의 합이 가지 메트릭에 해당된다. 트렐리스 도의 각 상태에서는 합-비교-선택(add-compare-select, ACS) 절차에 의하여 계산된 가지 메트릭을 이전의 경로 메트릭과 더해 새로운 경로 메트릭을 만든다. 부호기는 각 상태로 들어오는 가지들 중에서 가장 작은 메트릭 값을 갖는 경로를 선택하고 이를 생존 경로로 기억시킨다. 이와 같은 과정을 경로 메모리(path memory) 양만큼 계속 수행한 후 가장 작은 경로 메트릭 값을 갖는 상태에서 마지막 가지에 도달할 때까지 역추적(back-tracing)하여 데이터를 부호화 한다.

IV. 시뮬레이션 및 검토

백색 가우시안 잡음 환경하에서 Ungerboeck의 TCM 시스템과 Divsalar가 제안한 MTCM 시스템의 성능을

해석적 기법의 최적화된 부호기를 사용해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 상태수가 2, 4, 8인 경우에 대하여, E_b/N_0 대 (E_b : 비트에너지, N_0 : AWGN의 전력밀도)대 오율(Bit Error Rate)을 계산하였다. 비터비 부호기의 경로 메모리(path memory)수는 상태수의 5배에 해당되는 길이를 사용하였다.

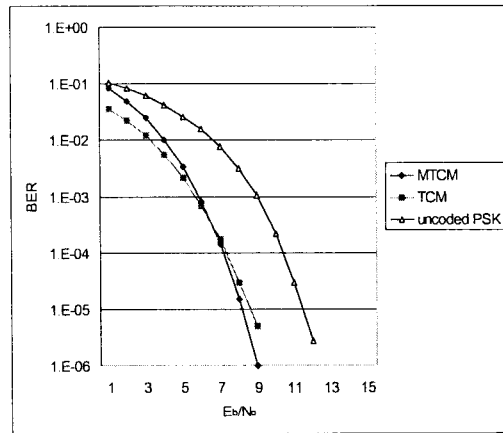


그림4. 1/2 트렐리스 부호화된 QPSK와 2/4 다중 트렐리스 부호화된 2상태 QPSK의 성능 비교
Fig 4. Comparison of the performance 1/2 trellis coded QPSK and 2/4 Multiple trellis coded QPSK for each two states.

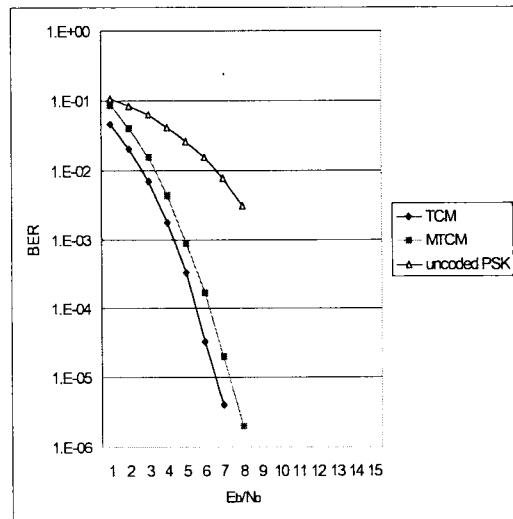


그림 5. 1/2 트렐리스 부호화된 QPSK와 2/4 다중 트렐리스 부호화된 4상태 QPSK의 성능 비교
Fig 5. Comparison of the performance 1/2 trellis coded QPSK and 2/4 Multiple trellis coded QPSK for each four states

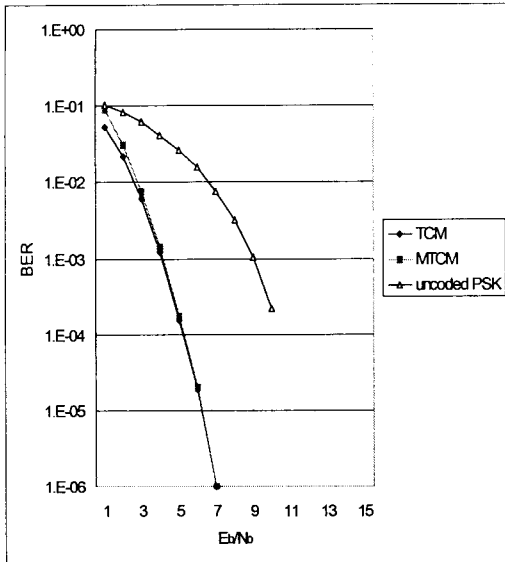


그림 6. 1/2 트렐리스 부호화된 QPSK와 2/4 다중 트렐리스 부호화된 8상태 QPSK의 성능 비교
 Fig 6. Comparison of the performance 1/2 trellis coded QPSK and 2/4 Multiple trellis coded QPSK for each for eight states.

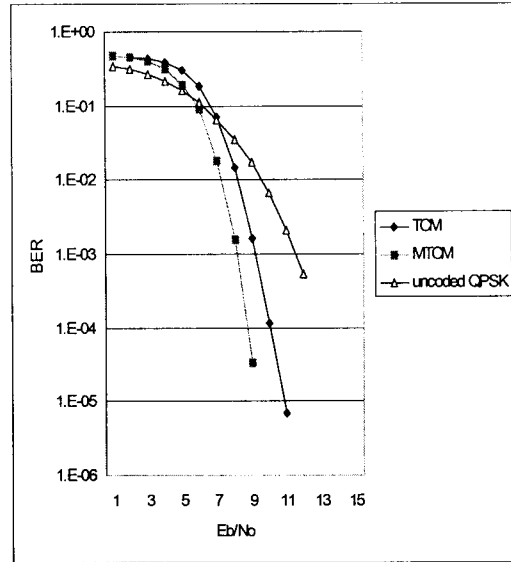


그림 8. 1/2 트렐리스 부호화된 8PSK와 2/4 다중 트렐리스 부호화된 4상태 8PSK의 성능 비교
 Fig 8. Comparison of the performance 1/2 trellis coded 8PSK and 2/4 Multiple trellis coded 8PSK for each four states.

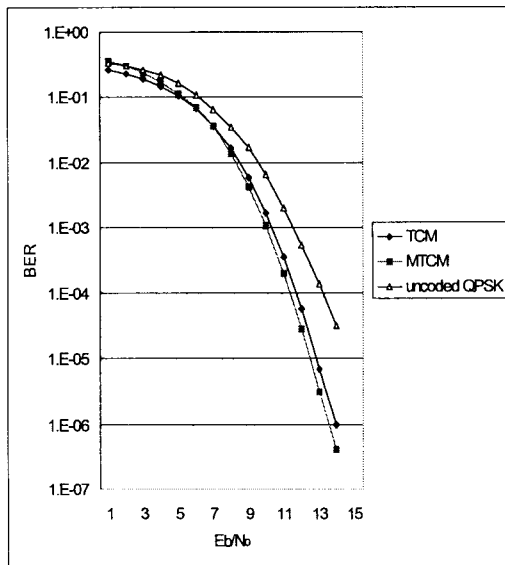


그림 7. 1/2 트렐리스 부호화된 8PSK와 2/4 다중 트렐리스 부호화된 2상태 8PSK의 성능 비교
 Fig 7. Comparison of the performance 1/2 trellis coded 8PSK and 2/4 Multiple trellis coded 8PSK for each two states.

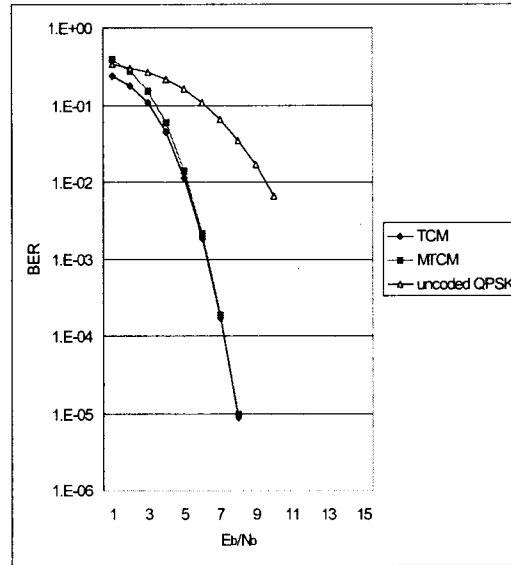


그림 9. 1/2 트렐리스 부호화된 8PSK와 2/4 다중 트렐리스 부호화된 8상태 8PSK의 성능 비교
 Fig 9. Comparison of the performance 1/2 trellis coded 8PSK and 2/4 Multiple trellis coded 8PSK for each eight states.

그림 4는 AWGN 채널하에서 QPSK 2상태 TCM과 MTCM을 비교평가 한 결과 이며, 오류확률이 10^{-6} 일 때 MTCM이 TCM보다 약 1 dB의 성능이득을 얻을 수 있다. 그림 5와 6에서는 TCM이 병렬천이가 없으므로 TCM은 MTCM을 적용한 시스템의 성능과 별 차이가 없음을 확인할 수 있다. 그림 7은 8PSK 2상태 TCM이 병렬천이가 발생함으로 인해 오류확률이 10^{-6} 일 때, 약 0.8 dB정도 MTCM 시스템이 TCM 보다 우수하며, 그림 8에서는 TCM에 병렬천이가 존재하기 때문에 오류확률이 10^{-6} 일 때 MTCM이 TCM보다 우수함을 알 수 있다. 그러나 그림 9의 8상태 MTCM은 TCM에서 병렬천이가 존재하지 않기 때문에 오히려 TCM 보다 성능 열화를 가져옴을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 AWGN 채널에서 TCM과 MTCM을 비교 평가하였다. Ungerboeck가 설계한 TCM 방식과 Divsalar가 제안한 MTCM 방식을 다중화 지수 2일 때 최적부호기의 성능이득을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 트렐리스 부호화된 다중화 지수 2의 M-ary PSK는, 동일한 대역폭 효율을 갖는 부호화되지 않은 변조 시스템보다 2~3dB 정도 좋은 성능이득을 얻을 수 있으며, 트렐리스 부호화기는 상대수가 많을수록 보다 좋은 여러 성능이득을 보이지만, 시스템의 복잡도가 증가한다. 최소 복잡도를 갖는 부호화기는 해석적 기법의 설계에 의해 최적으로 구성 하였으며, MTCM의 경우 병렬천이를 가진 TCM과 비교해볼 때 상대수에 따라 1~3.3dB 정도의 성능이 향상되었지만, 병렬천이가 존재하지 않을 때는 오히려 TCM보다 성능이 열화됨을 확인하였다.

참고문헌

[1] G. Ungerboeck, "Channel coding with

multilevel/phase signal,"IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-28, No1, pp.55-67, Jan. 1982.

[2] D. Divsalar and M. K. Simon, "Multiple trellis coded modulations(MTCM)," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-36, No.4, pp.410-419, April 1988.

[3] J. M. Turgeon and P. J. Maclane, "Minimum transmitter complexity design of analytically described trellis codes," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-38, No.9, pp.1352-1358, Sep. 1990.

[4] G. Ungerboeck, "Trellis-coded modulation with redundant signal sets - Part I : Introduction," IEEE Communications Magazine, Vol. 25, No. 2, pp.5-11, Feb. 1987.

[5] G. Ungerboeck, "Trellis-coded modulation with redundant signal sets - Part II : State of the art," IEEE Communications Magazine, Vol. 25, No. 2, pp5-11, Feb. 1987.

[6] 김한중, "이동 위성 채널에서 다중 트렐리스 부호화된 MDPSK의 다중심볼 차동검파, 연세대학교 박사학위논문 1993.

[7] 김종일 "이동통신에서 TCM의 연집에러 정정을 위한 복호방식", 한국통신학회 논문집 Vol. 17 No.9, 1992.

[8] 동아대학교 한국 자원 개발 연구소, "이동통신 시스템의 채널 시뮬레이션", 1992.

저 자 소 개



김민호
1999 동아대학교 전자공학과
공학박사
현재 울산기능대학 정보통신설
비과 조교수