

AWGN 환경에서 트렐리스 부호화된 8-PSK의 검파성능 개선에 관한 연구

이 종 석*, 정 희 석, 강 철 호
광운대학교 전자통신공학과

A Study on the Performance Improvement of the Detection of Trellis-Coded 8-PSK in AWGN Channel

Lee, Jong Suk*, Chung, Heui-Suck, Kang, Chul-Ho
Kwangwoon University
E-Mail : kwlj@sds.alpha.kwangwoon.ac.kr

요 약

TCM(Trellis-Coded Modulation)은 대역폭과 전력이 제한된 채널환경에서 채널부호화 기술과 변조기술을 결합시켜 대역폭의 증가없이 에리정성능력을 개선시키는 통신 기술이다.

본 논문에서는 TCM 신호의 복호시 사용되는 Viterbi decoder에서 traceback depth의 감소에 따른 BER(Bit Error Rate)의 증가를 개선하기 위해 수신부에서 설정하는 traceback depth를 추가로 blocking하여 TCM encoder의 입력시퀀스에 zero padding bits를 추가시키는 새로운 알고리즘을 제안한다.

모의실험결과, traceback depth가 50인 hard decision의 경우 약 2~2.5dB, 4-level soft decision과 8-level soft decision의 경우 약 0.3~2dB의 coding gain을 얻을 수 있었다.

I. 서 론

디지털통신 시스템의 중요한 목적은 전력과 채널대역폭이 제한된 통신환경상에서 정보를 포함한 신호의 안전한 전송과 일정한 전송속도에서 높은 신뢰성을 갖는 효율적인 정보의 전송에 있다. 고정된 신호전력에서 신뢰성이 보장된 데이터 통신을 위하여 디지털통신 시스템에서는 채널부호화 기술을 사용하게 되지만, 에리정성을 위한 redundancy bit의 추가로 인하여 실제적인 정보전송률이 감소하고 그에 따른 대역폭이 증가하게 된다. 반면에 대역폭의 효율적인 이용을 위하여 디지털

통신시스템에서는 M-ary 변조기술을 도입하지만 심볼에 할당되는 bit수가 많을수록 심볼간 유클리드 거리가 상대적으로 감소하게 되어 에리정성이 저하된다.

이와같이 채널부호화 기술과 변조기술 사이에서는 서로간의 trade-off 관계가 성립되어 어느 한쪽이 만족되면 다른 한쪽이 손해를 보는 특성을 지니고 있다. 이 두가지 방식의 효율적 이용을 위하여 개발된 방식이 바로 TCM(Trellis-Coded Modulation) 기술이다. TCM은 채널부호화 기법과 M-ary 변조기법을 조합시켜 대역폭을 증가시키지 않고 에리정성 능력을 갖도록 한 기술이다.

II. TCM의 기본이론

TCM방식은 대역폭과 전력이 제한된 환경에서 채널부호화 방식과 M-ary 변조기법을 일체화 시켜서 대역폭이나 전력의 증가없이 통신의 신뢰도를 향상시키는 기술로서 Ungerboeck에 의해 1982년에 처음 제안되었다. 1984년에는 고속의 voice-band modem에서 이용하기 위하여 CCITT에 의해 TCM 기술이 채택되었고, 그 이후에도 TCM에 관련된 여러 연구와 구현이 진행되었다.

TCM 신호의 형태는 다음 두가지의 기본적인 특징을 가진다. 첫째, 신호점의 수는 같은 정보율을 가진 변조형식에서 요구하는 것보다 더 크다. 즉 추가된 신호점은 대역폭을 줄이지 않고 오차제어를 위한 추가적인 bit를 허용한다. 둘째, 연속적인 신호점 사이의 종속성을 주기 위하여 convolutional code가 사용된다.

TCM에서의 일반적인 복호방식으로는 maximum likelihood estimation 알고리즘으로 잘 알려진 viterbi 알고리즘을 이용하여 trellis 구조로 모델링된 수신 시퀀스의 상대전이경로중 최대 경로확률을 갖는 trellis 경로를 역추적(back tracking)한다. 이는 채널상에서 발생하는 가신 백색 기우사안 잡음(Additive White Gaussian Noise, AWGN)을 고려할 경우, trellis code의 최적복호는 수신 시퀀스에 도달하는 최소 유클리드 거리를 가진 trellis의 경로를 찾는 것과 같다[3].

Viterbi 복호방식은 convolutional encoder의 메모리의 수가 많아질수록 trellis의 구조에서 상태가 복잡하고, 구현이 어렵기 때문에 메모리의 수를 제한을 받지만, AWGN 채널에 대해 성능이 우수하고, 특히 soft decision 방식을 적용하기가 매우 수월하다는 장점으로 많이 쓰이는 방식이다[4].

Viterbi decoder는 크게 BM(Branch Metric) unit, ACS(Add-Compare Select) unit, TB(Traceback) unit으로 구성되어 있다. 이 중에서 TB unit은 각 상태별로 수신신호에 대하여 계산된 경로값 중에서 최적의 상태 경로를 선택하고, 역방향으로 TB memory에 저장된 최대확률을 갖는 경로값을 추적하여 추정된 정보를 얻어내는 부분으로서, 수신신호에 대하여 각 시간에 대한 최적경로의 값을 저장하고 있어야 하기 때문에 실제적으로 하드웨어 설계시 수신기의 메모리의 크기를 결정시키는 부분이다. 이론상으로는 전체 수신신호를 모두 수신하여 BM unit과 ACS unit을 거쳐서 각 상태에 대한 최적경로값을 결정할 후 최종점에서 확률값이 가장 높은 상태의 경로값을 출발점으로 하여 역추적 과정을 통해 추정정보를 얻을 수 있다. 그러나 설계하고자 하는 시스템의 특성에 따라 입력은 무한대에 이를 수 있기 때문에 사실상 수신신호 전체를 한번에 처리하는 것은 불가능한 일이다. 그렇기 때문에 어느 일정 기간을 경하여 부분적인 복호화업을 하는데, 이를 traceback depth라고 한다.

TB unit에서 traceback depth를 깊게 설정하면 그만큼 BER이 작아 신뢰성이 높은 통신을 수행할 수 있지만, 실제적으로 traceback depth의 길이는 메모리의 크기와 밀접한 관계를 가지기 때문에 수신기의 하드웨어 설계를 고려한다면 traceback depth를 적당하게 줄여야 하며 그에 따른 BER의 증가를 감수해야 한다.

III. 제한한 Blocking TCM 알고리즘

1. Blocking TCM encoder의 설계

TCM 방식에서 신호를 수신할 경우 사용되는 Viterbi decoder에서는 몇가지 문제점들이 발생한다. 우선 인산량을 줄이기 위하여 적용시간 ACS unit에서는 한 상태로 들어오는 여러개의 경로에 대하여 동일한 확률값을 갖는 경로가 존재할 경우에는 임의로 한 개의

경로만을 선택하므로 잘못하면 원래 송신신호에 근거한 올바른 경로가 선택되지 않고 다른 경로가 생존경로로 남아있을 경우가 생길 수 있게 되고, 하드웨어의 설계를 고려할 경우 traceback depth를 무한대로 할 수 없기 때문에 부분적인 복호를 수행하여야 하는데 이렇게 되면 현재의 심볼과 이전 심볼들간의 convolution 관계를 무시하게되므로 BER이 증가한다. 또한, traceback depth 최종단에서 최적상태의 결정시 에러가 발생하게 된다면, 송신신호 경로와는 전혀 다른 경로를 통하여 복호를 수행하기 때문에 그만큼 에러가 더욱 증대될 것이다.

이와같은 traceback depth의 감소에 의한 BER의 증가를 막기위하여 송신부분에서 convolutional encoder에 traceback depth를 고려하여 일정 주기로 zero padding 하므로써 송신시퀀스를 blocking하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 기존의 convolutional encoder에서는 입력 신호 bit가 모두 인가되면 encoder의 메모리 수만큼 '0' bit를 첨가하여 메모리를 초기화 시키는데 이를 zero padding이라 한다.

본 논문에서 제안한 방식의 경우 수신단에서 설정하는 traceback depth의 길이에 맞추어 송신단에서 입력 시퀀스를 blocking한 후, block 단위별로 zero padding을 시킨다. 이와 같이 입력 시퀀스를 수신부에서 길정한 traceback depth만큼 blocking하고 이에따라 zero padding하면 depth의 길이에 따라 전체 codeword의 길이가 변화하고, encoder는 항상 block단위로 상태 초기화가 이루어진다. 그림 1에서는 부호율 2/3, 메모리 3, feed-forward 형태와 Ungerboeck encoder에 제한한 방식을 적용한 trellis diagram을 나타낸다.

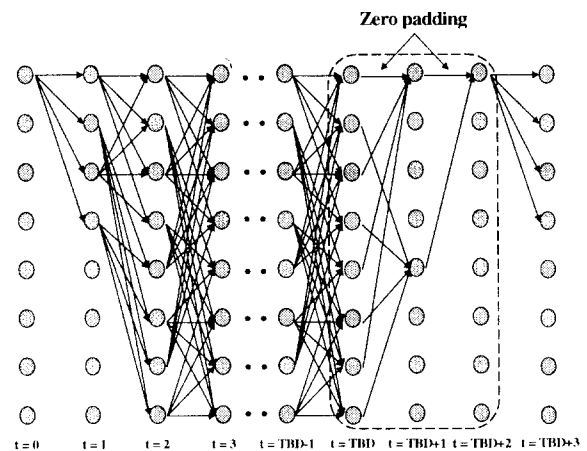


그림 1. Blocking TCM에서의 trellis diagram

2. Blocking TCM decoder의 설계

Viterbi decoder를 이용하여 기존의 TCM 신호의 부분적인 복호를 수행하면 역추적의 초기상태는 최초의 path metric 값을 갖는 상태로 결정되고, traceback depth가 작아질수록 확률값 추적값이 작아져서 동일한

최적 path metric 값을 갖는 상태의 발생 확률이 증대하게 되어, 이러한 경우 한번의 decoding cycle 동안 최소의 path metric 이 갖는 상태를 결정하는 것이 어렵게 되기 때문에, 역추적을 실행하는 초기상태를 임의적으로 선택하도록 하드웨어를 설계하는 것이 일반적인 방법이다[5].

만일 다수개의 최적 path metric 값의 발생으로 역추적의 초기상태를 임의로 선택하게 된다면 오류정정의 주각으로 인한 에러의 발생확률이 증대될 것이다.

본 논문에서 제안한 Blocking TCM 신호의 복호는 기존의 Viterbi 복호방식에서 traceback depth만큼 복호를 하고 나머지 zero padding bits에 의한 복호신호는 버리는 것 외에는 같은 방식을 취한다. 그러나 기존의 방식과는 다르게 한번의 decoding cycle이 끝나면 반드시 상태 초기화가 이루어지기 때문에, 다음 cycle의 복호 시작상태는 항상 고정될 수 있는 특징이 있다.

제안한 복호방식의 경우 제안을 통하여 검출이 불가능한 경우 traceback depth만큼 부분적 복호를 수행할 때, 검출이 불가능한 수신신호만을 가지고 최적의 경로를 추정하기 때문에 반드시 초기상태로 돌아가지는 않는다. 그러나 이러한 상황이 발생하여도 제안하는 방식에서는 다음 구간의 복호 수행시 초기상태부터 다시 일관수행을 시작하기 때문에 그만큼의 오류정정을 동일 수 있다. 그림 2에서 제안한 Blocking TCM 신호의 부분적 복호의 예를 나타낸다.

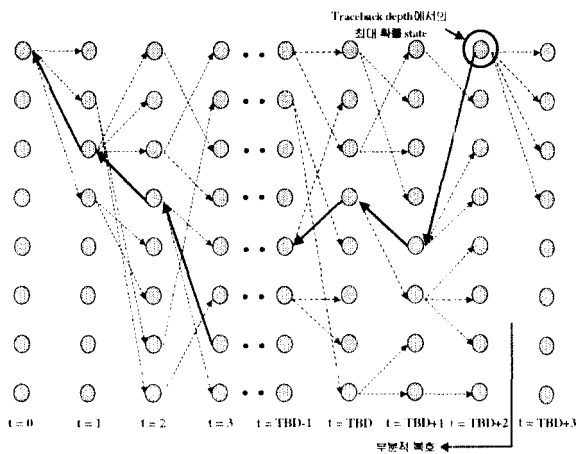


그림 2. Blocking TCM 신호의 부분적 복호

또한, blocking 방식을 적용된 송신신호에 대하여, 수신측 traceback depth만큼 역추적은 수행한 후 초기상태로 돌아가지 않는 것은 결국 오류가 있다는 것을 의미한다. 이러한 점을 고려하여 본다면 검출이 불가능한 수신신호에 대한 임의 상태의 수신 최적경로로부터는 초기상태로 들어오는 추정경로가 비록 계산된 path metric의 값이 최적값을 갖지 않더라도 올바른 경로인 확률이 시작상태로 수도 있다. 이러한 가정을 근거로 하여 부분

적 복호시 traceback의 시작상태를 항상 초기상태로 고정시키게 되면 더욱 오류를 줄일 수도 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 가정을 바탕으로 시뮬레이션을 통하여 각각의 경우에 대한 BER의 성능을 비교한다.

IV. 모의 실험 및 결과

본 논문에서 송신부는 부호율 2/3, 메모리 4, feed-forward 구조의 convolutional encoder와 8-PSK 변조기(π/4 안이로 프로그래밍하여 구성하였고, 채널은 AWGN을 모델링하였다. TCM encoder의 입력으로는 100만개의 random 신호를 발생시켰고 이를 다시 traceback depth 수직으로 zero padding하므로써 blocking하여 인가하였다. 수신부에서는 traceback depth + zero padding bits수의 간격으로 decoding 하여 각각의 E_b/N_0 [dB]에 대한 Viterbi decoder의 BER을 인도를 프로그래밍하였다. 그림 3에서는 본 논문에서 제안한 Blocking TCM 시스템의 블록도를 나타낸다.

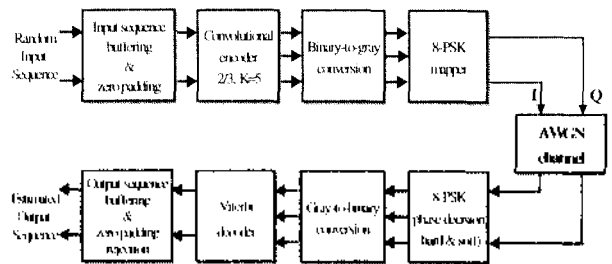


그림 3. Blocking TCM 시스템의 블록도

1. 기존방식에 대한 실험결과

그림 4에서는 traceback depth의 변화에 따른 TCM 8-level soft decision 방식의 BER을 나타낸다. 기존의 방식에 대해서 traceback depth가 차이정수 즉 BER이 증가하는 것을 볼 수 있으며 hard decision과 4 level soft decision의 경우도 역시 같은 결과를 얻을 수 있었다.

2. 제안한 방식에 대한 실험결과

본 논문에서 제안하는 Blocking TCM 방식에 대해 두가지 복호방식에 대한 실험을 하였다.

우선 traceback depth 수직으로 부분 복호를 하여 역추적의 시작상태를 수신 시퀀스의 최대확률값에 근거한 상태로 결정하여 복호하는 방식으로 실험하고, 다음에는 역추적의 시작상태를 송신부의 zero padding에 근거한 상태, 즉 초기상태로 고정시켜 복호하는 방식으로 실험하였다.

이 두가지 방식의 실험에서 hard decision 방식과

4-level soft decision 방식에서는 traceback depth가 줄어들음에 따라 BER이 증가하지 않는 것을 실험을 통하여 검증할 수 있었다.

그림 5에서는 traceback의 역추적 시작상태를 수신 시퀀스의 최대확률값을 갖는 상태로 결성할 경우, traceback depth의 변화에 따른 Blocking TCM 8-level soft decision 방식의 BER을 나타낸다. 기존의 방식에 비해 약간의 coding gain을 얻을 수 있었으나, depth의 길이가 줄어들음에 따라 hard decision과 4-level soft decision의 경우와는 달리 BER의 차이가 발생한다.

그림 6에서는 traceback의 역추적 시작상태를 송신부의 zero padding에 근거한 초기상태로 고정시킨 경우, traceback depth의 변화에 따른 Blocking TCM 8-level soft decision 방식의 BER을 나타낸다. 이 경우에는 depth의 길이가 줄어들어도 BER이 증가하지 않는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

TCM의 복호방식으로는 Viterbi decoder가 사용된다. Viterbi decoder는 크게 BM unit, ACS unit, TB unit으로 구성되어 있으며, 이 중에서 TB unit은 수신기 전체 메모리의 약 75%를 차지하고 있으므로 가격과 복잡성을 결정하는 중요한 부분이다. Viterbi 알고리즘의 이론상 TB unit의 메모리는 무한대에 이르지만 구현이 불가능하기 때문에 TB unit의 메모리 수를 제한시키는데, 이렇게 되면 수신기의 어려성능이 저하되는 것을 볼 수 있었다.

본 논문에서는 TB unit의 메모리 수를 제한시키더라도 어려성능이 저하되는 것을 방지하기 위하여 송신부의 입력시퀀스를 traceback depth 주기로 block화하여 zero padding bits를 추가시키는 방식을 제안하였고, 송신부의 특성을 고려하여 두가지 복호방식을 고려하여 실험을 하였다. 결과 역추적 시작상태를 초기상태로 고정시킨 경우 traceback depth가 감소함에 따른 BER의 변화가 없음을 알 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 제안하는 방식에 대하여 더욱 다양한 부호율과 convolutional encoder 메모리 수의 변화에 대한 실험을 통해 보다 일반화 시키고, 다양한 채널 환경에서의 실험을 통하여 특성을 분석하며, 실제 하드웨어 설계에 적합한 TCM 복호 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고 문헌

[1] Ezio Biglieri, Dariush Divisalar, Marvin K. Simon, Peter J., *Introduction to Trellis Coded Modulation with Applications*, Macmillan Publishing Company, 1991.

[2] Gottfried Ungerboeck, "Channel Coding with Multilevel/Phase Signals", *IEEE Trans on Information Theory*, Vol. IT-28, No. 1, pp. 55~66, January 1982.

[3] Simon Haykin, *Digital Communications*, John Wiley & SONS, 1988.

[4] Gottfried Ungerboeck, "Trellis-Coded Modulation with Reduction Signal Sets. Part II. State of the Art", *IEEE Comm Magazine*, Vol. 25 No. 2, pp. 12~15, February 1987.

[5] 황의준, 이종화, 임선인, 황선영, "미터비 디코더의 성능향상을 위한 역추적 알고리즘의 설계", 전자공학 회론편집, 제 31권 제 8호, pp. 100~109, 1994년.

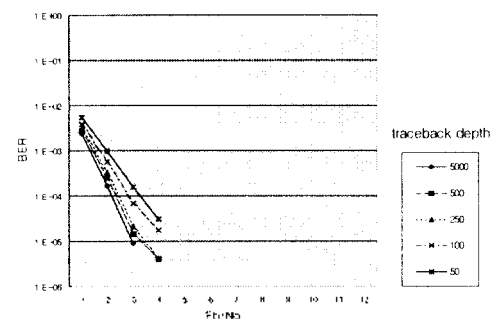


그림 4. Traceback depth의 변화에 따른 TCM 8-level soft decision의 성능비교

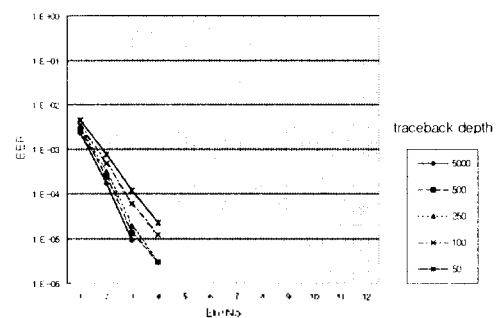


그림 5. Blocking TCM 8-level soft decision의 성능비교

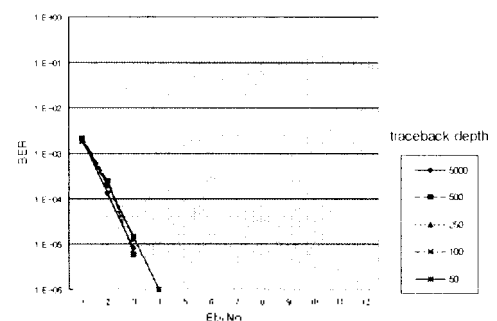


그림 6. 역추적 시작상태 고정시의 Blocking TCM 8-level soft decision의 성능비교