

QAM-TCM 복호기의 가지척도계산방식 비교 연구

김진우, 최시연, 강병희, 오길남, 김덕현
광주대학교 산업대학원 정보통신공학과

A Comparative Study of Branch Metric Calculator in QAM-TCM Decoder

Jin Woo Kim, Si Yeon Choi, Byeng Hee Kang, Kil Nam Oh, Duck Hyun Kim
Dept. of Information and Communications Eng., Graduate school of Kwangju University
E-mail : csl@bravo.kwangju.ac.kr

Abstract

TCM(Trellis Coded Modulation) has soft decision scheme so that BM(Branch Metric) calculates the ED(Euclidean Distance) between the received signal and each code words in signal space. For computing the ED, square and square root computations increase the hardware complexity. Some simplified method is known for convolutional codes with QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), PSK(Phase Shift Keying) modulation. But it is not acceptable for QAM (Quadrature Amplitude Modulation)-TCM scheme.

In this paper, we suggest that two modified BM computation methods, which is applicable for QAM-TCM. By comparative study, we also assessed two proposed method in the case of hardware complexity and BER (Bit Error Rate) performance.

I. 서론

TCM은 채널 코딩인 길쌈부호와 다 수준 디지털 변조방식을 결합한 변조방식을 말한다. 이는 길쌈부호만으로 구성된 종래의 다 수준 변조 방식에 비해 약 3 ~ 6 dB 정도의 부호 이득을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있으며 대역이나 전력이 제한된 채널에 대해 특히 유용하다. 최근의 디지털 통신에서는 이러한 TCM 변조를

다수 채택하고 있다[1-2].

TCM에서는 신호공간 상에서 수신된 신호와 기준 신호점 사이의 유클리드 거리(Euclidean Distance : ED)를 가지척도로 사용하여 연판정(soft decision) 복호를 수행한다. 그러나 유클리드 거리계산을 위해서는 하드웨어의 증대 및 시간상의 문제를 포함한다. 몇몇 간략화된 계산식이 알려져 있으나 이러한 구조 또한 QPSK, PSK 등 변조방식과 길쌈부호 복호를 위한 것으로 QAM-TCM에 적합하지 않다.

본 논문에서는 QAM TCM에 적용하기 위한 두 가지 방식의 간략화된 가지척도 계산 방법을 제시하고 이의 하드웨어 구현시 하드웨어 크기에 대하여 논의한다. 또한 두 방식을 적용한 시뮬레이션 비교를 통해 성능 해석과 평가를 한다. II장에서는 가지척도계산의 근사화 방법을 제시하고, III장에서는 두 방법의 하드웨어 구현에 관해 논의한다. IV장에서는 무선환경에서 이를 적용한 시뮬레이션 결과에 대해서 논의하며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 가지척도계산의 근사화 방법

가지척도(branch metric)란 수신된 신호와 각 상태에서 분지(transition)하는 코드워드 사이의 거리를 말하며 2차원 코드에서의 연판정(soft decision)을 위한 척도로서 식 (1)과 같이 정의되는 유클리드 거리가 사용된다.

$$ED = \sqrt{(R_I - C_{ij})^2 + (R_Q - C_{ij})^2} \quad (1)$$

여기서 R_I 는 I(In-phase)채널의 수신신호이고, R_Q 는 Q(Quadrature-phase)채널의 수신신호이며, C_{ij} 는 신호 성상도의 코드워드이다. 식 (1)의 구현에는 2번의 제곱 연산과 3번의 가감산 및 1번의 제곱근 연산이 포함된다. 만일 16-QAM 신호방식을 택하면 하나의 입력과 16개의 신호점 사이의 거리 계산을 위해서는 48번의 가감산과 32번의 제곱 및 16번의 제곱근 연산이 소요되어 하드웨어 구현에 어려움이 따른다. 특히 제곱근 연산을 룩업 테이블로 구성할 때 정밀도에 따라 많은 양의 메모리를 필요로 하게 된다. 예를들면 Qualcomm사의 Q1900칩셋의 경우 16-QPSK 모드로 동작될 때 2개의 4Kbyte 외부 메모리를 필요로 하고 이는 고집적의 장애요인이 된다[3]. 그림 1은 그레이 맵핑(gray mapping)을 적용한 16-QAM TCM 성상도와 코드워드 사이의 거리를 나타낸다.

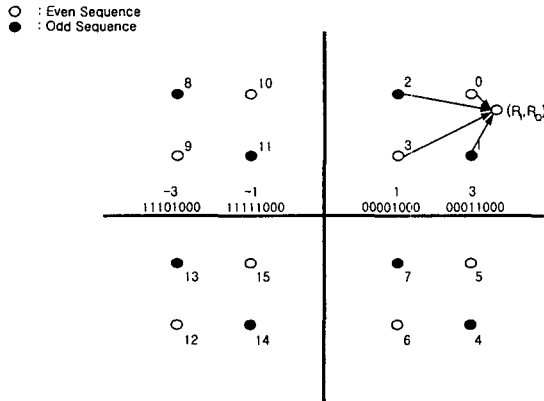


그림 1. 그레이 맵핑을 이용한 16-QAM 성상도

그림 1에서 2차원 신호공간 상에서 수신된 코드워드와 각 신호점 사이의 거리는 식(1)과 같은 유클리드 거리(ED)로 표시된다. 이와 같은 ED 계산상의 요인을 극복하기 위한 몇 가지 간략화된 방법으로 제곱 유클리드 거리(Squared Euclidean Distance : SED)와 절대값 유클리드 거리(Absoluted Euclidean Distance : AED)로 표시되는 자유거리(Free Distance)가 널리 알려져 있다. 제곱 유클리드 거리(SED)를 근사화 방법으로 이용한 자유거리는 식(2)와 같이 정의된다.

$$SED = (R_I - C_{ij})^2 + (R_Q - C_{ij})^2 \quad (2)$$

마찬가지로 절대값 유클리드 거리(AED)를 적용하면 식 (3)과 같다.

$$AED = |R_I - C_{ij}| + |R_Q - C_{ij}| \quad (3)$$

이 식 (2)와 (3)은 제곱근 연산을 제거함으로써 계산상의 장점뿐 아니라, 하드웨어 구현에 많은 이점을 갖는다. 위의 근사화 방식을 2차원공간상에서 나타내면 그림 2와 같다.

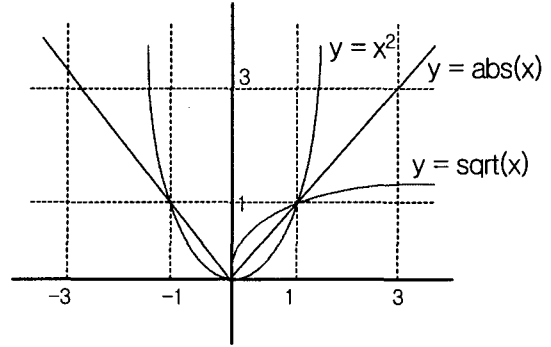


그림 2. 제곱근 연산의 근사화

III. 하드웨어 구현

위의 근사화 방법은 제곱근 연산이 없으므로 하드웨어 구현시 ED보다 많은 이점을 갖는다. 이를 위해 본 논문에서는 간략화된 두 방식을 적용한 16-QAM TCM 복호기를 예로서 설명한다[4].

두 방식의 코드워드들은 모두 상수값으로 표현할 수 있다. 이 값들은 수신된 신호와 뺄셈을 하여 가지척도의 연산방법에 따라 제곱이나 절대값을 취한다. 따라서 코드워드는 미리 LUT에 저장하여 가지척도에 따라 그 값을 선택하여 사용한다. 16-QAM TCM 복호기에서는 신호를 수신하였을 때 코드워드를 {-3, -1, 1, 3}의 조합으로 구성 가능하며, 이를 이용하여 LUT를 구성할 수 있다. LUT로 구현된 코드워드는 합성시 하드와이어드 로직으로 합성되어 계산시 속도 향상은 물론 하드웨어를 줄일 수 있다. 또한 가지척도계산기는 복호기의 구조에 따라 단일 구조와 병렬 구조로 나눌 수 있다.

총 16개의 가지척도가 존재하는 16-QAM TCM 복호기의 BMC를 단일 SED로 구현할 경우 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 이 경우 2개의 곱셈기와 3개의 가감산기로 구현이 가능하며 가산비교선택기(Add Compare Select : ACS)에 전달하기 위해 임시기억장치를 설계하였다. AED을 하드웨어로 구현할 경우 곱셈기 대신에 절대값 연산자가 들어가는 것을 제외하고는 SED의 하드웨어 구성과 같다. 그림 3은 단일 SED에 의한 BMC 블록도이다.

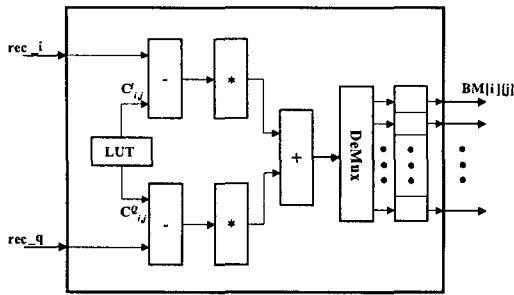


그림 3. 단일 SED에 의한 BMC 블록도

표 1은 AED와 SED방식을 적용한 단일 BMC와 16 병렬 BMC를 설계하여 Altera사의 Quartus II를 이용하여 합성했을 때의 소요된 LEs(Logic Elements)이다.

표 1. AED 및 SED 합성 결과

| | Single BMC | 16 Parallel BMC |
|-----|------------|-----------------|
| AED | 223 | 1,169 |
| SED | 527 | 3,841 |

표 1로부터 SED의 하드웨어가 AED보다 약 2배 이상이 소요됨을 알 수 있고, 병렬 구조로 구현할 경우 하드웨어 복잡도는 더욱 심하다. 또한 AED는 절대값 연산자에 의해 출력 비트의 크기를 입력비트의 크기와 같게 설계하여도 성능상의 문제가 발생하지 않는다. 그러나 SED의 경우 곱셈에 따라 출력 비트의 크기가 증가하여 하드웨어 구현시 주변장치(가산비교선택기, 생존경로기억장치 등)의 크기에 영향을 미치기 때문에 출력 비트의 스케일링(scaling)이 필요하다. 그러나 스케일링 크기에 따라 SED의 부호화 이득이 감소하기 때문에 시스템의 특성에 따라 적합한 스케일링 범위를 결정해야 한다.

그림 4는 16-QAM TCM 복호기를 하드웨어로 구현한 후 AED와 SED를 적용하여 시뮬레이션한 결과이며, 복호기의 입력비트는 8비트(bit)로 설정하였다. AED는 8비트의 계산 결과를 출력하며, SED는 16비트의 계산 결과를 출력한다. 그러나 뒷부분에 스케일링부를 삽입하여 출력비트를 16비트 ~ 8비트까지 변화시켜 시뮬레이션 하였다.

5비트 이하를 스케일링시키면 성능에 지장이 없는 것으로 나타났다. 6비트를 스케일링한 SED는 AED와 거의 동등한 성능을 보였으며, 7비트 이상을 스케일링한 경우에는 AED 보다 더 낮은 성능을 보였다. 본 시뮬레이션 결과는 16-QAM TCM에 최적화 된 것으로 다른 시스템에는 특성에 따라 스케일링 크기가 다르다.

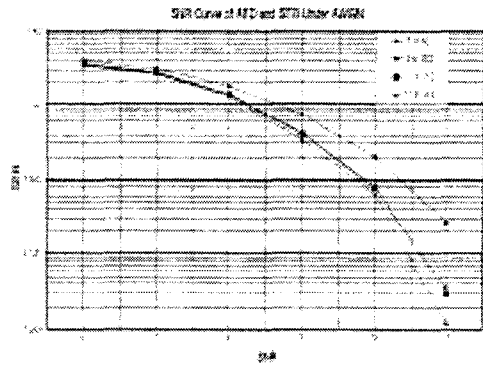


그림 4. 스케일링 크기에 따른 성능해석

IV. 이동무선환경 시뮬레이션

위의 근사화 방법을 이용하여 무선환경에 대한 QAM TCM에 대한 성능분석을 하기 위해 이동무선환경 테스트 베드상에서 시뮬레이션 하였다. 다중경로 지연이 전 송신호의 심볼 길이에 비하여 무시할 수 없을 때 주파수 선택적 페이딩현상이 나타나며, 적절히 시간 지연된 독립된 페이딩 채널들의 합으로 모델링할 수 있다. 다중경로 레일리(Rayleigh) 페이딩채널을 적용하기 위해 그림 5의 Jake의 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행였다[5].

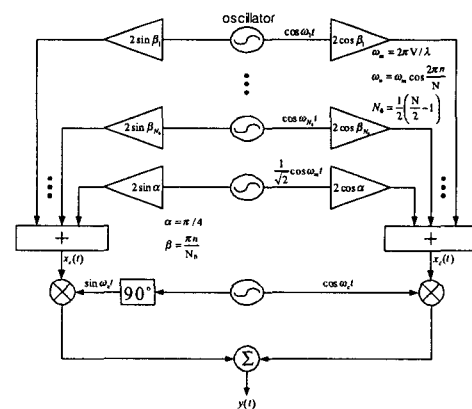


그림 5. Jake 모델의 채널 시뮬레이터 구성도

레일리페이딩은 Jake의 모델을 이용하여 각 독립된 페이딩 채널의 합으로 구성할 수 있으며, 각 독립된 페이딩 채널의 지연 시간, 평균 페이딩 크기 및 개수는 USADR(USA Digital Radio)의 FM 대역(88-108MHz) 이동환경 지연 프로파일을 적용하였다[6]. 그림 6은 USADR의 도심지역에서 느린 지연을 갖는 페이딩 채널(Urban-slow Rayleigh Multipath Fading)에 적용한 TCM 복호기의 BMC에 따른 C 시뮬레이션 결과이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 QAM TCM 복호기에 적용하기 위한 두 가지 간략화된 가지척도 계산 방법을 제시하고 이를 16-QAM TCM 복호기에 적용하여 하드웨어 구현 및 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였다.

비교연구 결과로서 SED는 AED에 비해 유사한 성능을 지니나, 2배 이상의 하드웨어를 더 소비한다. 시스템 크기에 따라 SED는 적절한 스케일링을 필요로 하며 이는 성능 저하의 요인이 된다. 같은 크기로 스케일링 하였을 경우, AED가 오히려 우수함을 보였다.

이동 무선환경에서의 시뮬레이션결과 SED가 AED보다 BER = 1.E-3에서 약 0.5dB정도 우수함을 알 수 있었다. 그러나 BER이 1.E-2 이하이거나 1.E-5 이상인 경우에 이르면 거의 성능차이가 없음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과로부터 SED나 AED는 성능상의 차이가 없으며 하드웨어 크기만이 주된 영향임을 알 수 있으며 QAM-TCM 복호기의 BMC 구현시 AED를 채택하는 것이 성능과 하드웨어 측면에서 유리함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.
- [2] L.H.C. Lee, *Convolutional coding : Fundamentals and applications*, Artech House Inc., Norwood, MA, 1997.
- [3] Qualcomm Inc., "Q1900 Viterbi/trellis decoder," Forward error correction products data book, pp. 1-46 ~ 1-49, Aug. 1998.
- [4] 최시연, 김택현, 오길남, 이수인, "An Implementation of 16-QAM TCM Decoder", CAD and VLSI Design Conference, pp. 181 ~ 185, May, 2000.
- [5] Michel C. Jeruchim, Philip Balaba, and K. Sam Shanmugan, *Simulation of Communication Systems*, Plenum Press, New York, 1992.
- [6] USADR, "Petition for Rule Making", Appendix E. pp 9-10. Columbia, Maryland, 1998.

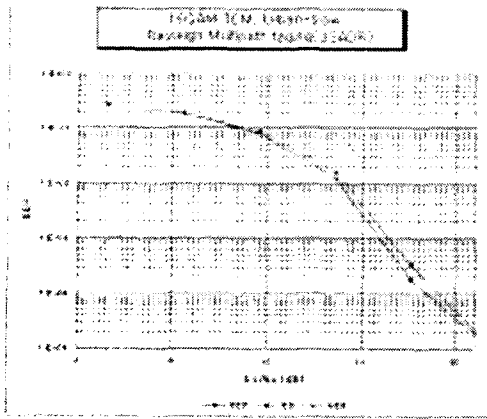


그림 6. 레일리 다중페이딩 채널특성(저속도심)

그림 7은 USADR의 도심지역에서 빠른 지연을 갖는 페이딩 채널(Urban-fast Rayleigh Multipath Fading)을 적용한 BMC에 따른 TCM 복호기의 시뮬레이션 결과이다.

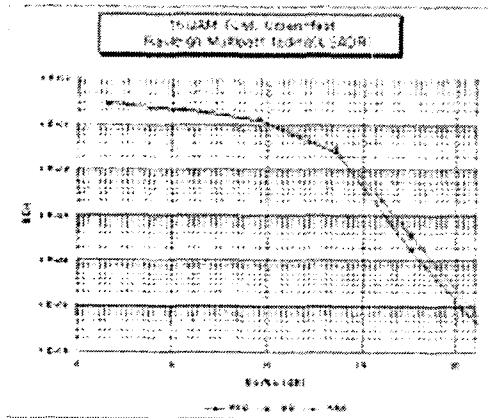


그림 7. 레일리 다중페이딩 채널특성(고속도심)

이동무선환경 테스트 베드상에서 시뮬레이션한 결과 AED와 ED는 거의 대등한 성능을 나타내고 있고, SED가 BER = 1.E-3에서 약 0.5dB정도 우수함을 알 수 있다. 그러나 BER이 1.E-2 이하이거나 1.E-5 이상인 경우에 이르면 거의 성능차이가 없음을 확인할 수 있다. 이는 제곱을 취함으로써 신호 공간상에서 인접 신호 사이의 거리를 늘리는 효과 때문인 것으로 사료된다. 그림 4의 결과로부터 스케일링에 의한 영향 또한 무시할 수 없으며 이러한 결과로부터 SED나 AED는 성능상의 차이가 없으며 하드웨어 크기만이 영향을 미치는 사실을 알 수 있다.