

비선형 왜곡을 가진 위성 채널상에서 신경회로망 콘볼루션 복호기(NCD)의 성능

正會員 유철우*, 강창언*, 홍대식*

The Performance of Neural Convolutional Decoders on the Satellite Channels with Nonlinear Distortion

C. W. You*, C. E. Kang*, D. S. Hong* *Regular Members*

요 약

성능 향상을 위한 구축장 길이의 증가에 따라 시스템의 하드웨어적 복잡도가 지수적으로 증가하는 단점을 가진 비터비 복호기의 대안으로, 비터비 복호기와 비슷한 성능을 보이면서 비용은 줄이고 실시간 처리를 항상 가능하게 해 주는 신경회로망 콘볼루션 복호기가 콘볼루션 부호를 복호하는 방법으로써 제안되었다. 이 논문에서는, 부가 백색 정규 잡음 채널 환경에서 동기 BPSK 변조 방식을 사용한 경우와 위성 채널에서 동기 QPSK 변조 방식을 사용한 경우에 대하여, 신경회로망 콘볼루션 복호기와 비터비 복호기를 사용하여 이루어진 모의 실험 결과를 제시한다.

비터비 복호기와는 다르게, 신경회로망 콘볼루션 복호기는 위성 채널에서 사용된 여파기와 진행파관 전력 증폭기의 특성에 의해 나타나는 비선형적인 왜곡 현상을 학습할 수 있다. 그 결과, 부가 백색 정규 잡음 채널 환경에서 행해진 실험 결과와 비교해 볼 때, 위성 채널에서의 체계적 콘볼루션 부호에 의한 신경회로망 콘볼루션 복호기와 비체계적 부호를 이용한 비터비 복호기 사이의 성능차가 줄어든다는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The neural convolutional decoder(NCD) was proposed as a method of decoding convolutional codes. In this paper, simulation results are presented for coherent BPSK in memoryless AWGN channels and coherent QPSK in the satellite channels. The NCD can learn the nonlinear distortion caused by the characteristics of the satellite channel including the filtering effects and the nonlinear effects of the traveling wave tube amplifier(TWTA). Thus, as compared with the AWGN channel, the performance difference in the satellite channel between the NCD for the systematic code and the Viterbi decoder for the nonsystematic code is reduced.

*연세대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Eng. Yonsei University
論文番號: 95130-0403
接受日字: 1995年 4月 3日

I. 머리말

디지털 통신이 발달함에 따라 오류 정정 기술의 중요성이 점차로 커졌다. 이 가운데서 오류 정정 부호 분야에서 콘볼루션 부호가 쉬운 구현과 몇 가지 매력적인 복호방식 때문에 위성 통신 시스템에서 중요한 역할을 차지하게 되었다. 비터비 알고리즘은 메모리를 가지지 않는 채널을 통해 전송된 콘볼루션 부호의 복호방식으로써 1967년에 Viterbi에 의해 제안되었다. 그 뒤 비터비 복호기는 사실상 최대 우도(maximum likelihood) 복호기이고, 이 관점에서 최적이라는 것이 밝혀졌다[1, 2]. 그런데 비터비 복호기는 구축장 길이가 증가함에 따라 성능 개선이 있지만, 복호를 위해 필요한 메모리 용량이 지수적으로 증가하게 된다. 때문에 시스템의 하드웨어 역시 복잡해져 비용이 상승하게 되고 실제 이용상에 제한이 생기게 된다[3].

신경회로망은 1950년대 중반 학문으로서의 모습을 갖추었으나, 여러 기술상의 난점과 인공 지능의 특성에 의하여 여러 해에 걸친 긴 암흑기에 빠져있었다. 그러나, Hopfield에 의하여 1982년에 발표된 한편의 논문은[4] 신경회로망에 새로운 관심을 불러 일으켰으며, 그 뒤 지금에 이르기까지 신경회로망은 다양한 분야에서 활발히 응용되어 뛰어난 성과를 보여주고 있다. 한편, Kolmogorov's theorem의[5] 발견은 최초로 신경망의 사상에 관한 잠재능력을 보여주었으며, 실세계의 많은 유용한 함수의 근사를 구현할 수 있으리라는 희망을 안겨주었다. 그 뒤 많은 논문들에서 세층으로 이루어진 신경망이면 실용적인 대부분의 함수를 원하는 정확도까지 근사화할 수 있다는 사실이 밝혀졌다. 또한, 다층 퍼셉트론은 불록 형태의 결정 영역뿐만 아니라 일반 선형 분류기는 할 수 없는 비불록 형태 결정 영역도 형성할 수 있다. 그리고 주어진 몇 가지 제한 조건만 만족된다면, 은닉층에 무한개의 노드를 가진 세계층으로 이루어진 역전파 신경회로망은 어떤 임의의 사상도 표현할 수 있다[6]. 게다가 BPN은 패턴 인식, 최적 분류 함수에 대한 집합적 근사화를 할 수 있음도 밝혀냈다[7].

이 논문에서 사용된 신경회로망 콘볼루션 복호기는(neural convolutional decoder:NCD)[8], 기존 방식과는 달리 복호 과정에 필요한 시간은 오직 입력단에 도달한 신호가 출력난까지 진행되는 동안 통과하는

게이트들의 지연 시간뿐이므로, 복호 과정이 빠른 시간 내에 일정하게 행해진다는 장점을 가진다. 그리고, NCD는 이상적 상황에서 최대 우도 결정과 동일한 성능을 보여줄 수 있음이 증명되었다[9]. 또한, 다른 것들과 비교할 때 가장 큰 차이점이자 장점인 신경회로망의 비선형성은, 위성채널과 같이 비선형적 왜곡 현상을 보이는 곳에서 선형시스템이 가질 수 없는 여러 가지 가능성과 능력을 제공해 준다.

II. 신경회로망 콘볼루션 복호기

2.1 역전파 신경회로망과 알고리즘

NCD의 구조는 참고 문헌[8]에 나타나 있으므로 여기서는 간단히 언급하기로 한다. 이 논문에서 NCD를 구현하기 위해 역전파 신경회로망이(backpropagation neural network:BPN) 사용되었다. 전통적인 BPN에서는 평균 제곱 오차를 줄이기 위해 최대 기울기 알고리즘을 사용하는데, 이 논문에서 사용하는 BPN 역시 이 방식에 따른다. 그리고 수렴 속도 향상을 위해 이미 효과가 인정되어 널리 이용되는 모멘텀(momentum) 항을 사용했다.

최대 기울기 방식에 의해 최소화되어야 할 오차 기준 함수는 식 (2-1)과 같이 표현할 수 있다.

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (y_{pk} - o_{pk})^2 \quad (2-1)$$

여기서 y_{pk} 는 p번째 학습 표본의 기대 출력값을, o_{pk} 는 실제 출력값을 나타낸다. 이 논문의 목적에 맞게 시그모이드 함수를 수정하여, 다음과 같은 전달 함수를 사용한다.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-\alpha x}} - 1 = \frac{1 - e^{-\alpha x}}{1 + e^{-\alpha x}} \quad (2-2)$$

여기서 α 는 전달 함수의 비선형 정도를 결정하는 변수인데, 원래 시그모이드 함수의 출력범위는 '0'에서 '1'인 반면, 식 (2-2)의 출력값 범위는 이 논문에서 사용하는 양극 신호를 이용하는 통신 시스템에 맞는 '-1'에서 '1'이다. 식 (2-2)의 일계 도함수는 다음과 같다.

$$f'(x) = \frac{\alpha}{2} (1 + f(x)) (1 - f(x)) \quad (2-3)$$

2.2 신경회로망 콘볼루션 복호기의 구조

NCD는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 그 한가지는, 부호율이 k/n 인 콘볼루션 부호를 복호하기 위해, N 개의 입력 마디와 k 개의 출력 마디를 가진 NCD이다. 그러나, 이와 같이 한 부호어를 위한 출력 마디 k 개를 가진 NCD는, 시스템은 간단하지만 잡음에 약한 단점이 생긴다. 더욱 정확하게 클래스가 구분되어 오류에 강하게 하기 위해 여러 개의 부호어에 해당하는 출력 마디를 가진 NCD의 구현이 필요하다. 이를 위해 구성된 또 다른 한가지의 NCD는 그림 2-1에 나타나 있다. 여기서 NCD의 입력단 마디들은 메모리 소자들로 구성된 이동 저장기이며, 입력 마디수 N 과 출력 마디수 M 은 각각 n 과 k 의 정수배이어야 하며, 많은 실험을 통해 적절히 정해진다. 그리고 NCD를 학습시키기 위한 학습 표본은 그림 2-2와 같이 만들어진다.

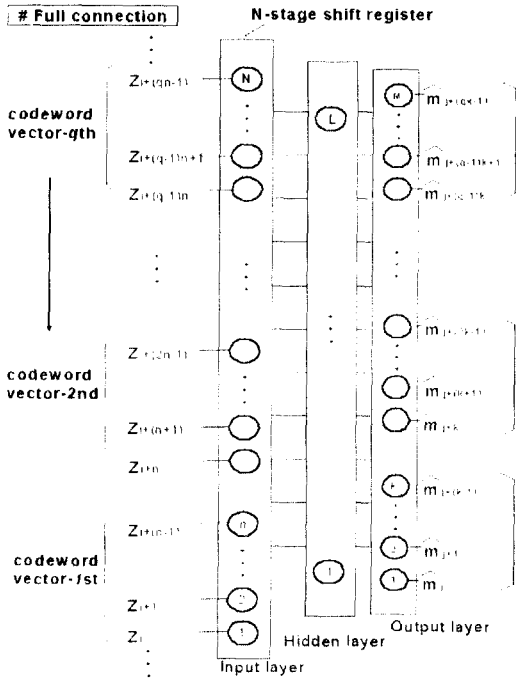


그림 2-1 여러 개의 부호어에 대한 출력 마디를 가진 NCD의 구성도

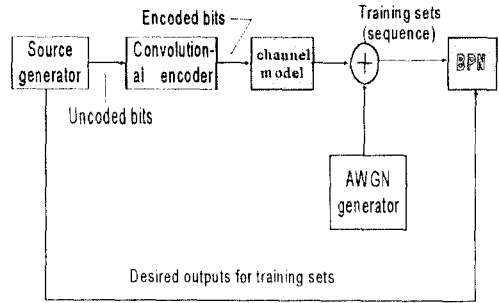


그림 2-2 NCD의 학습 샘플을 만드는 과정

III. 위성 채널 모형

위성 통신은 지상에서 이루어지는 여러 가지 통신에 비해 높은 신뢰도를 가지며 광역성, 동보성 및 액세스의 용이성등으로 그 이용 범위가 점차로 확대되어가고 있다. 그리고, 우주 통신 기술이 발전함에 따라 여러 선진국들은 위성 통신의 장점을 배가하기 위해 차세대 위성 통신에 필요한 기술을 개발하여 위성 성능의 고도화를 추진하고 있다.

이 장에서는 위성 통신 시스템의 구조와 위성 채널의 특성을 고찰하고 이를 통해 위성 채널에서 발생하는 주요 신호 왜곡 요소를 고려한 위성 채널을 모형화 한다. 그리고, 구축된 모형은 NCD가 가지고 있는 비선형적 사상 능력이 위성 채널의 비선형 왜곡을 해결해 줄 수 있음을 보여주기 위한 실험에 이용될 것이다.

3.1 위성 채널 모형화의 필요성

위성 통신 시스템은 지상의 지구국들과 이들을 연결해주는 우주 공간의 인공위성으로 구성되어 있으며 기본 구조는 그림 3-1과 같다.

여기서 채널 입력 여파기는 인접 채널의 간섭 신호와 잡음을 제거하는 역할을 하며 또한 다중화 되어 있는 신호를 다른 채널과 구분하는 일도 한다. 이렇게 입력 여파기를 통과한 신호는 위성 내부의 고출력 증폭기를 통과하면서 증폭된 다음, 채널 출력 여파기를 거쳐 하향 링크상에서 잡음이 부가되어 지구국으로 전송된다.

위성 중계기에서 사용되는 증폭기는 크게 진행파관

증폭기(traveling wave tube amplifier:TWTA)와 고출력 증폭기로 나누어진다. TWTA는 고출력을 낼 수 있다는 장점을 가지고 있지만 최대 출력을 얻기 위해서는 포화 영역에서 동작해야 한다. 그러나 포화 영역에서의 진폭-진폭 변환과 진폭-위상 변환은 비선형적 특성을 보여준다. 그 결과, 비선형적인 신호 왜곡이 발생하게 된다. 그림 3-2는 TWTA의 비선형성이 미치는 영향을 고찰하기 위하여 이 논문에서 사용된 위성 채널 모형의 블록도이다. 하향 링크 잡음은 AWGN으로 모형화 하였다. 이렇게 입력 여파기를 통과한 신호는 위성 내부의 고출력 증폭기를 통과하면서 증폭된 뒤, 채널 출력 여파기를 거쳐 하향 링크 상에서 잡음이 부가되어 지구국으로 전송된다.

3.2 채널 여파기 및 진행파관 증폭기 모형화

이 논문에서 사용되는 위성 채널에 대한 변조 방식은 QPSK인데, 이 방식은 위성 통신에서 가장 널리 쓰이는 디지털 변조방식 중 한 가지이다. 복조 방식은 동기 PSK 복조방식을 사용한다. 반송 주파수를 가지고 있는 변조 신호를 컴퓨터 모의 실험에 이용하기 위해서는 등가의 저역 통과 신호로 변환해야 한다.

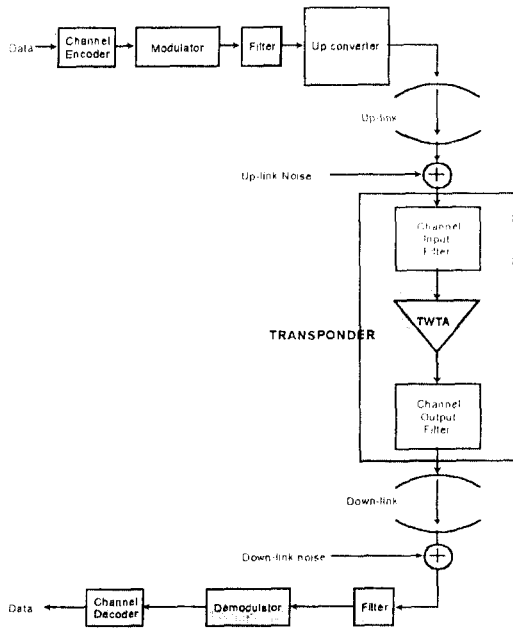


그림 3-1 위성 통신 시스템의 기본 구조

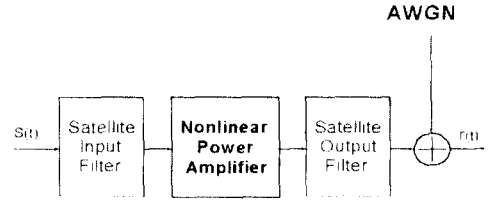


그림 3-2 간략화된 위성 채널의 블록도

이는 대역 통과 신호의 동 위상 성분을 복소 진폭 신호의 실수부에, 직교 성분을 허수부에 각각 할당하므로써 얻을 수 있다. QPSK 변조 신호의 경우 식 (3-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{QPSK}(k\Delta t) = A(k\Delta t)\sqrt{P/2}e^{j\theta} + jB(k\Delta t)\sqrt{P/2}e^{j\theta} \quad (3-1)$$

여기서 Δt 는 표본화 시간 간격이며 $1/\Delta t$ 는 표본화 주파수가 된다. 이때 반송 주파수는 0이므로 표본화 주파수에 의해 전송 신호의 대역폭이 정해지며, 일반적으로 표본화 주파수는 정보 전송율의 8~16 배로 하는 것이 가장 적합하다[10]. 이 논문에서는 표본화 주파수를 정보 전송율의 16 배로 하여, 위성의 입출력 여파기의 특성을 살펴봄과 동시에 표본화로 인한 에일리에이징(aliasing) 잡음을 최소화하였다.

실험에 이용된 QPSK 신호의 위상은 45° , 135° , 225° 및 315° 를 유지하고 있으며 위성 채널의 입출력 여파기를 통과하면서 위상 왜곡을 나타내게 된다. 입력 채널 여파기에 의해 왜곡된 전송 신호는 위성 증폭기의 TWTA를 통과하면서 더욱 심한 위상 및 진폭 왜곡을 겪게 된다. 증폭기를 최대한으로 이용하려면 포화 영역에서 동작하여야 하는데, 이때의 위상 및 진폭 변환 특성이 비선형적이기 때문에 입력 여파기에 의해 왜곡된 전송 신호는 한층 더 심한 왜곡을 겪게 된다. 그런데, TWTA는 위성 통신에서 다음 두 가지 형태의 비선형적인 왜곡 특성을 보여 준다[11]. 곧, 진폭-진폭 변환과 진폭-위상 변환이 그것이다. 이 논문에서는 진폭-위상 모형을 이용하여 TWTA를 모형화 했으며 주파수에 독립적인 신호 특성을 나타내는 헬릭스 형태의 TWTA를 사용했다.

TWTA를 모형화하는데는 실측 데이터를 이용하여 이에 가장 근접하는 특성식을 구하는 것이 일반적인

방법이다. 여기서, 1981년에 Saleh[11]가 제시한 특성 식을 이용했다. Saleh의 모형은 진폭-위상 함수와 동 위상-직교 위상 함수를 각각 두 개의 매개변수만으로 표현할 수 있다.

일반적으로, TWTA의 입력 신호를 다음의 식 (3-2)와 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = r(t) \cos[\omega_0 t + \psi(t)] \quad (3-2)$$

여기서, $r(t)$ 는 변조된 신호의 진폭이고 $\psi(t)$ 는 변조된 신호의 위상을 나타낸다. 식 (3-2)의 신호가 TWTA를 통과하면 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = A[r(t)] \cos[\omega_0 t + \psi(t) + \phi(r(t))] \quad (3-3)$$

여기서 $A(r)$ 은 r 에 대한 기함수인데 진폭-진폭 변환 특성을 나타내며, $\phi(r)$ 은 r 의 우함수로서 진폭-위상 변환 특성을 보여준다. 이때 $A(r)$ 과 $\phi(r)$ 은 두개의 파라미터를 이용하여 다음의 두 식처럼 표현될 수 있다.

$$A(r) = \alpha_a r / (1 + \beta_a r^2) \quad (3-4)$$

$$\phi(r) = \alpha_\phi r^2 / (1 + \beta_\phi r^2) \quad (3-5)$$

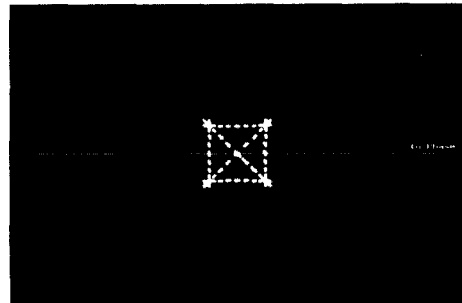


그림 3-4 위성채널 입력 여파기를 통과한 QPSK 신호의 성상도

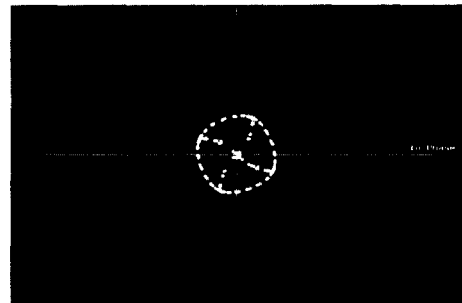


그림 3-5 TWTA를 통과한 QPSK 신호의 성상도

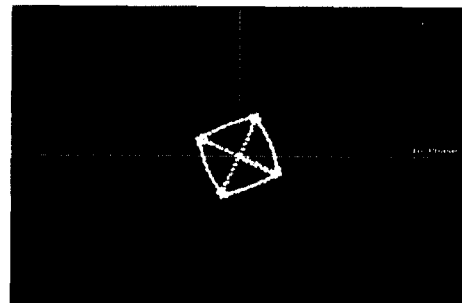


그림 3-6 위성채널 출력 여파기를 통과한 QPSK 신호 성상도

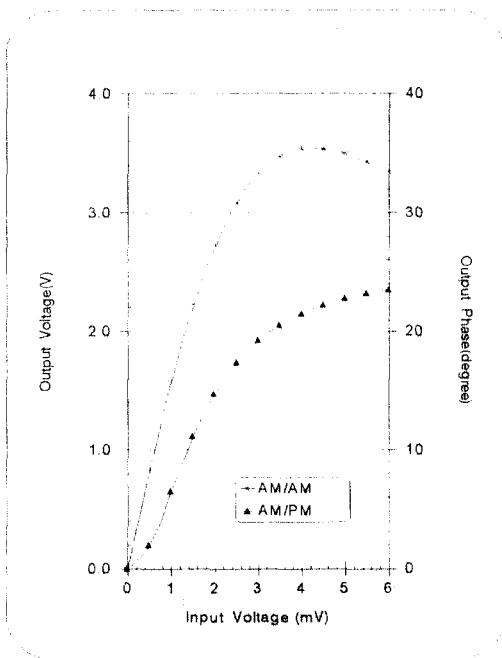


그림 3-3 위성에 포함된 TWTA의 비선형적 변환 특성 (진폭-위상 모형)

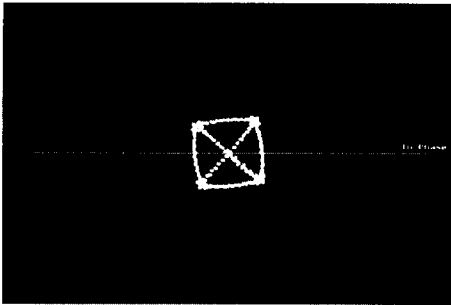


그림 3-7 채널 신호왜곡을 보정한 후의 QPSK 신호 성상도

이와 같은 형태의 모형을 진폭-위상 모형이라고 하며 단일 반송파에 대한 전력 및 위상 전달 함수는 그림 3-3과 같다.

그림 3-4는 채널 입력 여파기를 통과한 후에 살펴본 QPSK 신호의 성상도인데, 네 가지만 존재했던 신호의 위상이 다양하게 변화하여 나타남을 알 수 있다. 그림 3-5와 3-6, 그리고 그림 3-7은 위성 모형의 각 부분을 통과한 QPSK 신호의 성상도이다. TWTA의 비선형적 증폭 특성에 의해 크기 및 위상에 있어서 다양한 왜곡이 발생함을 알 수 있다.

IV. 실험 결과

이 장에서는 NCD의 오율 성능을 컴퓨터 실험을 통하여 알아보고 그 결과를 나타낸다. 실험 환경은 부가 백색 가우스 잡음(additive white Gaussian noise: AWGN) 채널 및 위성 채널이고, $K=3$, 부호율이 $1/2$ 인 체계적/비체계적 콘볼루션 부호가 이용된다. 실험에 이용된 복조 방식은 180° BPSK와 QPSK이며 동기 복조 방식을 채택했다.

모든 실험에서 한 부호어에 대한 출력마디를 가진 NCD보다 여러 부호어에 대한 출력마디를 가진 NCD가 더 나은 성능을 보여주었으므로, 여기서 제시하는 실험 결과들은 모두 여러 부호어에 대한 출력마디를 가진 NCD에 의해서 얻어진 것들이다.

4.1 부가 백색 가우스 잡음 채널에서의 실험 결과

그림 4-1에서 $14*64*4$ BPN은 $K=3, 4$ 의 비체계적 콘볼루션 부호를 사용한 경판정 비터비 복호기보

다 나은 성능을 보임을 알 수 있다. 그러나 $K=3$ 인 비체계적 콘볼루션 부호를 사용한 연판정 비터비 복호기보다는 약 1.5 [dB]정도 성능이 떨어진다. 같은 종류의 체계적 콘볼루션 부호를 사용한 비터비 복호기의 결과와 비교한 것이 그림 4-2이다. 비터비 복호기와의 오율 성능차가 0.5 [dB] 이하인 것을 알 수 있다. 그러므로 비체계적 콘볼루션 부호에 대해 신경회로망을 제대로 학습만 시킬 수 있다면, NCD 역시 비체계적 콘볼루션 부호에 의한 비터비 복호기와 유사한 성능을 보이리라 예측할 수 있다.

4.2 위성 채널에서의 실험 결과

이 절에서는 제안된 신경회로망 시스템이 위성 채널에서 효율적임을 입증하기 위해 주요 신호 왜곡 요소를 고려하여 모형화한 위성 채널을 이용하여 오율 성능 실험을 수행하고 결과를 분석, 고찰하였다. 이때 최대의 전력 효율을 얻기 위해 위성 중계기의 고출력

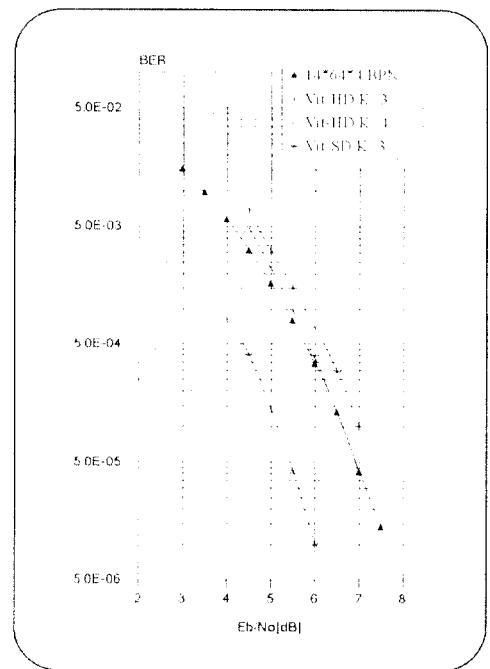


그림 4-1 체계적 콘볼루션 부호에 의해 학습된 NCD와 비체계적 콘볼루션 부호를 사용한 32 비트 경로 메모리를 가진 비터비 복호기의 오율 성능 비교 곡선 ($K=3$, code rate = $1/2$)

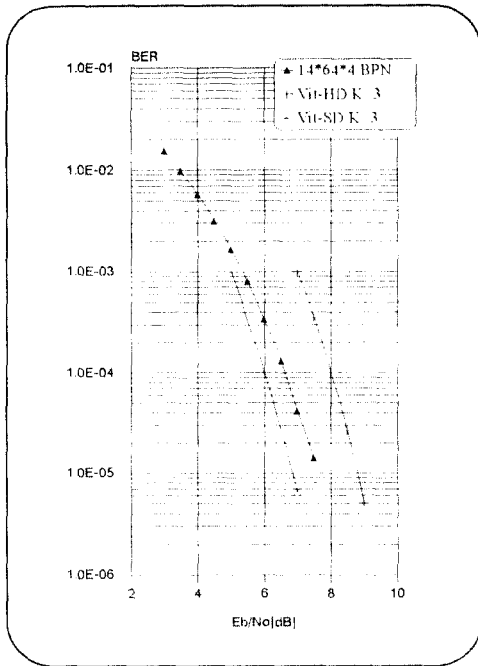


그림 4-2 체계적 콘볼루션 부호에 의해 학습된 NCD와 체계적 콘볼루션 부호를 사용한 32 비트 경로 메모리를 가진 비터비 복호기의 오율 성능 비교 곡선 (K=3, code rate=1/2)

증폭기에 인가되는 입력 신호의 입력 백-오프량은 0이다. 곧, 증폭기는 포화 영역에서 동작점을 가지도록 실험을 수행함으로써 포화 영역의 비선형성에 의한 신호 왜곡 현상을 살펴본다.

그림 4-3은 오율 정정 방식을 사용하지 않고 순수한 변조 신호만을 모형화하여 위성 채널상에서 전송한 QPSK 신호의 채널 오율 특성을 나타내고 있다. 그림 4-3에서 볼 수 있듯이 순수 부가 백색 정규 잡음 채널에서의 오율 성능보다 위성 채널에서의 오율 성능이 10^{-4} 의 BER상에서 2 [dB] 가까이 떨어짐을 알 수 있었는데, 이는 위성 채널의 입출력 여파기 및 증폭기의 비선형성에 의한 신호 왜곡이 상당히 심각함을 나타낸다.

그림 4-3은 오율 정정 방식을 사용하지 않고 순수한 변조 신호만을 모형화하여 위성 채널상에서 전송한 QPSK 신호의 채널 오율 특성을 나타내고 있다. 그림 4-3에서 볼 수 있듯이 순수 부가 백색 정규 잡음 채널에서의 오율 성능보다 위성 채널에서의 오율 성

능이 10^{-4} 의 BER상에서 2 [dB] 가까이 떨어짐을 알 수 있었는데, 이는 위성 채널의 입출력 여파기 및 증폭기의 비선형성에 의한 신호 왜곡이 상당히 심각함을 나타낸다.

그림 4-4는 위성 채널 환경에서 부호율이 1/2, K가 3인 체계적 콘볼루션 부호에 의해 학습된 신경회로망 콘볼루션 복호기의 각 출력 마디별 오율 성능 곡선이다. 그리고 그림 4-5는 그림 4-4의 결과와 부가 백색 정규 잡음 채널에서의 결과를 비교한 그림이다.

그림 4-5를 살펴보면, AWGN 채널 환경에서 학습된 가중치를 그대로 위성 채널에 사용한 경우, 비터비 복호기의 경우와 마찬가지로 10^{-4} 의 BER상에서 약 1.4 [dB]정도의 성능 하락이 관측되었다. 그러나, AWGN 채널 환경에서 학습시킬 때와 동일한 조건으로 위성 채널 환경에서 학습시킨 NCD의 경우는, AWGN 채널 환경의 오율 성능 보다 약 10^{-4} 의 BER상에서 0.9 [dB]정도만의 성능 하락을 보였다. 곧, 단순히 AWGN 채널 환경에서 학습된 가중치에 의한 NCD보다 0.5 [dB]정도의 성능 향상을 보인 것이다. 그러므로, 위성 채널 환경에서 학습시킨 NCD는 새로이 위성 채널의 비선형적 왜곡 특성을 학습했다고 볼 수 있다. 비터비 복호기는 채널이 바뀔 때 따라 새로운 채널의 특성과 무관하게 동작하지만, NCD는 새로운 채널의 특성을 학습함으로써 이와 같은 결과를 보이게 된 것이다. 이는 NCD의 두드러진 특징 중의 하나라고 말할 수 있다.

그림 4-6은 위성 채널에서의 NCD의 오율 성능과 비터비 복호기의 오율 성능차를 보여준다. AWGN 채널에서 보였던 10^{-4} 의 BER상에서 오율 성능차인 1.5 [dB]보다 줄어든 1 [dB] 정도의 성능차만 보였다. 이 정도의 오율 성능차는 오직 사용된 콘볼루션 부호의 종류에(체계적 부호 또는 비체계적 부호) 의해서만 발생하는 오율 성능차와(약 1 [dB]) 동일하다고 볼 수 있다.

이상의 여러 결과를 보여준 NCD는 주어진 조건 및 환경에서 최적의 성능을 보였다고 확인할 수는 없다. 왜냐하면, 신경회로망 자체가 학습 방법이나 각 단의 마디수, 그리고 학습 이득 상수등의 선택에 따라 너무나 다양한 결과를 보여줄 수 있기 때문이다.

그러나 간단한 구조의 신경회로망을 가지고 앞과 같은 일련의 결과를 얻게된 이유는 한마디로 다음과

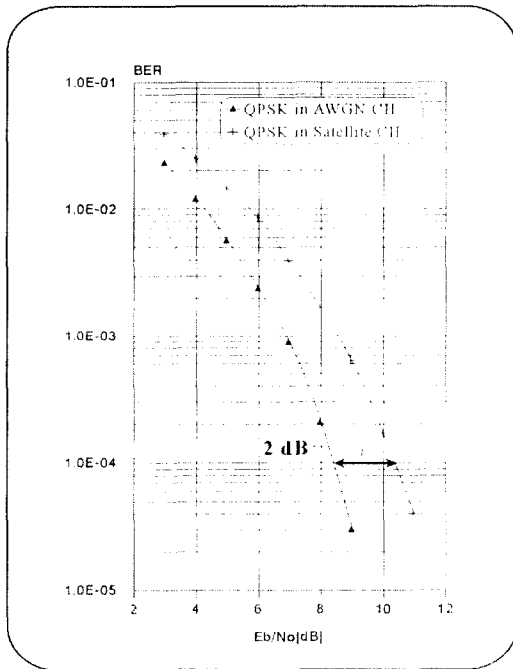


그림 4-3 오류 정정 방식을 사용하지 않은 QPSK 신호의 오류 성능 곡선

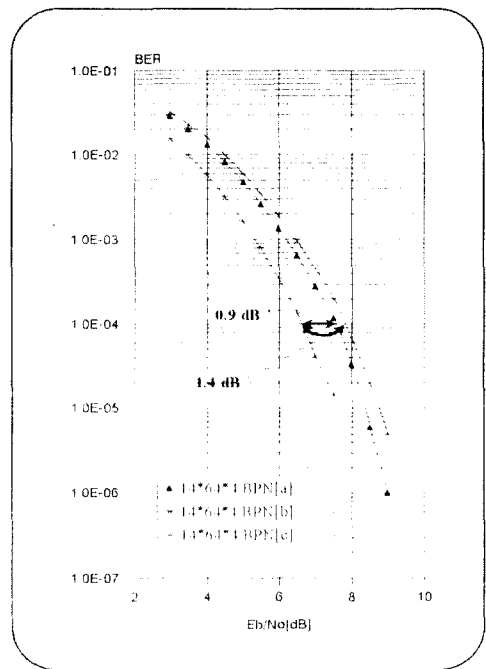


그림 4-5 부호율이 1/2, K가 3인 체계적 콘볼루션 부호로 학습된 NCD의 오류 성능 곡선
 14*64*4 BPN [a]: AWGN 채널에서의 오류 성능 곡선
 14*64*4 BPN [b]: 위성 채널에서의 오류 성능 곡선
 14*64*4 BPN [c]: AWGN 채널에서의 구한 가중치를 위성 채널에 적용한 경우의 오류 성능 곡선

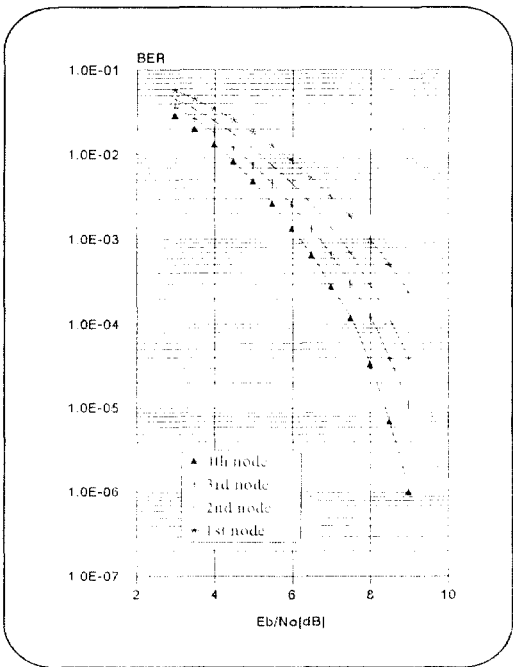


그림 4-4 위성 채널에서 학습된 (14, 64, 4)로 이루어진 신경회로망 콘볼루션 복호기의 각 출력마디별 오류 성능 곡선

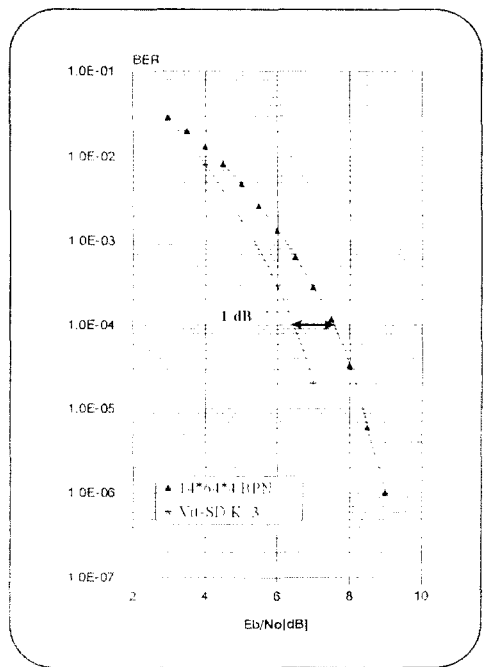


그림 4-6 위성 채널에서의 NCD의 오류 성능과 비터비 복호기의 오류 성능

같이 말할 수 있다. 곧, 항상 고정된 동작만을 하는 비터비 복호기와는 달리 신경회로망 복호기는 주어진 환경이 가지고 있는 특징을 학습시에 고려함으로써 인하여 각 채널의 특성이 반영된 가중치를 구하게 된다. 그리고, 이와 같은 사실은 신경회로망이 가지고 있는 고유의 장점이라고 볼 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 기존 비터비 복호기의 대안으로 제안된 NCD의 성능을 위성 채널에서 살펴보고, AWGN 채널 결과와 비교한다. 그리고 실험은 AWGN 및 위성 채널 환경에서 각각 BPSK와 QPSK 변조 방식을 이용하여 행해진다.

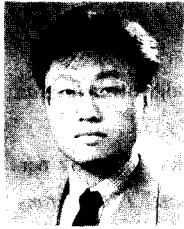
AWGN 채널의 경우, $K=3$, 부호율이 $1/2$ 인 체계적 콘볼루션 부호에 대하여, 비교적 간단한 구조를 가지고 학습된 NCD의 성능이 $K=3$ 과 $K=4$ 인 비체계적 콘볼루션 부호에 의한 경판정 비터비 복호기의 성능보다 뛰어났다. 또한 이 NCD는 $K=3$ 인 체계적 콘볼루션 부호에 의한 연판정 비터비 복호기와는 비슷한 성능을 보여 준다. 그러나, $K=3$ 인 비체계적 콘볼루션 부호에 의한 연판정 비터비 복호기의 성능보다는 떨어지는데, 이는 사용된 부호의 차이가 주된 이유이다.

한편 위성 채널의 경우, 위성에서 사용되는 입출력 필터와 비선형 전력 증폭기인 TWTA 때문에 비선형적 왜곡이 발생한다. 그 결과, 콘볼루션 부호를 비터비 복호기를 통해 복호할 경우 E_b/N_0 대 BER 성능이 나빠지게 된다. 그러나 신경회로망은 위성 채널의 비선형적 특성을 학습할 수 있으므로, E_b/N_0 대 BER 성능 저하가 비터비 복호기 경우보다는 적었다. 다시 말하면, $K=3$ 인 비체계적 콘볼루션 부호에 의한 연판정 비터비 복호기와 체계적 콘볼루션 부호에 대하여 학습이 이루어진 신경회로망 복호기의 성능차가 AWGN 채널 경우보다 줄어들었다.

모의 실험에서는 비록 비체계적 콘볼루션 부호에 대한 학습이 어려워 NCD의 성능이 비터비 복호기보다는 떨어지지만, 좋은 학습 방법만 찾아낼 수 있다면, 최대 우도(ML) 관점에서 복호를 행할 수 있는 NCD는 비터비 복호기의 성능을 쫓아갈 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. G. D. Forney, Jr., "The Viterbi algorithm," *Proc. IEEE*, vol. 61, pp. 268-278, Mar. 1973.
2. A. J. Viterbi, "Convolutional codes and their performance in communication systems," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-19, pp. 751-772, Oct. 1971.
3. J. A. Heller and I. M. Jacobs, "Viterbi decoding for satellite and space communication," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-19, pp. 835-847, Oct. 1971.
4. J. J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 79, pp. 2554-2558, Apr. 1982.
5. A. N. Kolmogorov, "On the Representation of Continuous Functions of Many Variables by Superposition of Continuous Functions of One Variable and Addition," *Dokl. Akad. Nauk VSSR*, vol. 144, pp. 954-956, Aug. 1957.
6. M. Amari, "Mapping abilities of Three-Layer Neural Networks," *Int'l Joint Conf. on Neural Networks*, pp. 419-423, Washington D.C., June 1989.
7. O. K. Ersoy and D. S. Hong, "Parallel, Self-Organizing, Hierarchical Neural Networks-II," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. IE-40, pp. 218-227, Apr. 1993.
8. C. W. You and D. S. Hong, "Neural Convolutional Decoders," *Int'l Conf. on Neural Information Processing*, pp. 987-992, Korea, Oct. 1994.
9. 유철우, 홍대식, "신경회로망 콘볼루션 복호기(NCD)의 확률적 특성 고찰," 한국 통신 학회 추계 종합 학술 대회 논문집, pp. 349-354, 서울, 1994. 11.
10. M. C. Jeruchim, P. Balaban, and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication Systems*, Plenum Press, pp. 268-269, 1992.
11. A. A. M. Saleh, "Frequency-Independent and Frequency-Dependent Nonlinear Models of TWT Amplifiers," *IEEE Trans. on Comm*, vol. COM-29, pp. 1715-1720, Nov. 1981.



유철우(Cheol-Woo You) 정회원

1993년 2월:연세대학교 전자공학
공학사

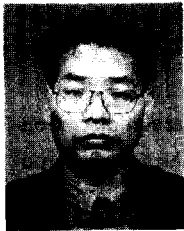
1995년 2월:연세대학교 대학원 전
자공학 공학석사

1995년 3월~현재:연세대학교 전
자공학과 박사
과정

※주관심분야:디지털 이동 통신 시스템, 신호처리,
신경회로망등임

강창언(Chang-Eon Kang) 정회원

현재:연세대학교 전자공학과 교수
한국통신학회 논문지 제20권 제1호 참조



홍대식(Dae-Sik Hong) 정회원

1961년 1월 4일생

1983년 2월:연세대학교 전자공학
공학사

1985년 2월:연세대학교 대학원 공
학석사

1990년 8월:Purdue University West
Lafayette, IN. Electric-
cal Eng. Ph.D.

1985년 3월~1986년 8월:연세대학교 산업 기술 연구소
연구원

1987년 8월~1990년 8월:Purdue University West Lafa-
fayette, IN. Research Assistant

1990년 9월~1991년 8월:Purdue University West Lafa-
fayette, IN. Post-Doc. Research
Associate

1991년 9월~1995년 8월:연세대학교 전자공학과 조교수

1995년 9월~현재:연세대학교 전자공학과 부교수

※주관심분야:신경회로망, 디지털 통신 시스템, 디지
털 통신 시스템과 신경회로망의 접목
에 관한 연구, 자기 기록 시스템에 관
한 연구등임