

논문 2010-5-21

적응형 변조 기법을 이용한 네트워크 부호화 기반 양방향 중계 통신

Network-Coding Based Two-way Relay Communication Using Adaptive Modulation Scheme

이진희*, 공형윤**

Jin-Hee Lee, Hyung-Yun Kong

요 약 논문에서는 양방향 중계기 통신에서 사용자와 중계기의 채널 환경을 기준으로 중계기의 QoS(Quality of Service)를 만족시키도록 하는 적응형 변조 기법을 이용한 네트워크 부호화 기반 양방향 중계기 통신을 제안한다. 양방향 중계기 통신은 두 사용자가 중계기의 도움을 받아 서로의 데이터를 교환하는 통신 방식이다. 네트워크 부호화를 이용한 양방향 중계기 통신은 기존의 양방향 통신에 비해 데이터 전송에 필요한 시간을 줄임으로써 높은 처리량(throughput)을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 사용자와 중계기간의 채널 환경을 기준으로 M-QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조 기법을 이용하여 시스템의 QoS를 만족시키는 적응형 변조 방법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안한 방식이 시스템이 원하는 QoS를 만족시킴을 보인다.

Abstract In this paper, we propose network-coding based two-way relay communication using adaptive modulation scheme for satisfying relay QoS(Quality of Service) according to channel environment between user and relay. Two-way relay communication is bidirectional cooperative communication that users exchange own signal with help of relay. Network-coding based two-way relay communication can achieve high throughput compared to conventional scheme through reducing time slots. we propose adaptive M-QAM modulation scheme in network-coding based two-way relay communication for satisfying QoS of relay. Simulation result shows that the proposed scheme satisfies goal QoS of system.

Key Words : Two-way Relay Communication, Adaptive Modulation, Relay, QAM

1. 서 론

중계기를 이용한 통신 방법은 송신단의 데이터를 전송받아 수신단으로 재전송함으로써 시스템의 전송 범위를 증대시키며, 데이터 전송의 신뢰성을 높일 수 있는 장점이 있다.^{[1][2]}

양방향 중계기 통신은 두 사용자 사이에 중계기가 존

재하여, 각 사용자의 데이터를 전송받아 상대 사용자에게 재전송하는 통신이다. 최근 양방향 중계기 통신에서 전송의 신뢰성과 데이터 처리량(throughput)을 증대시키기 위한 연구들이 진행되고 있으며, 중계기에서 두 사용자의 신호를 네트워크 부호화(Network-coding)하여 전송하는 네트워크 부호화 기반 양방향 중계 통신이 주목받고 있다.

네트워크 부호화(Network Coding) 기술은 최초 유선 네트워크 환경에서 제안된 기술로써, 패킷 레벨(packet level)에서의 부호화를 통해 네트워크의 주파수 효율과 처리량을 증대시키는 효과적인 기술이다.^[3]

*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

접수일자 2010.7.17 수정일자 2010.9.13

게재확정일자 2010.10.15

그림 1.(a)는 기존의 양방향 중계기 통신을 나타내며 네 단계를 걸쳐 이루어진다. 반면에 그림 1.(b)는 네트워크 부호화 기술을 이용한 것으로써 세 번째 단계에서 중계기는 양 신호를 네트워크 부호화 방법으로 결합하여 전송함으로써 데이터 전송시간을 줄일 수 있다. 줄어든 전송시간에 따라 처리량(throughput)과 주파수 효율(spectral efficiency)을 높일 수 있다.

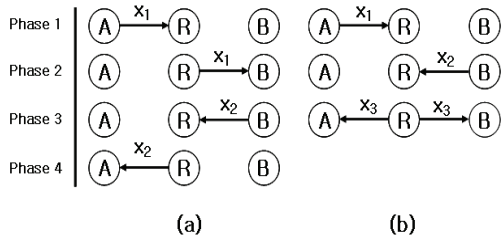


그림 4. (a) 기존 양방향 통신 (b) 네트워크 부호화를 이용한 양방향 통신
 Fig 1. (a) Conventional two-way relay communication (b) Network-Coding based two-way relay communication

그림 2는 기존의 양방향 통신과 네트워크 부호화를 이용한 양방향 통신의 처리량(throughput)을 나타낸 그림이다. 네트워크 부호화를 이용한 양방향 통신은 위에서 언급했듯이 데이터 전송에서 하나의 시간 슬롯을 줄임으로써 기존의 기법보다 1/4의 처리량 이득이 있음을 알 수 있다.

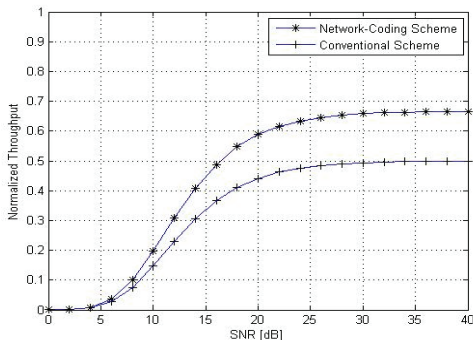


그림 2. 양방향 중계 통신의 처리량 분석
 Fig 2. Throughput analysis of network-coding based two-way relay communication

이러한 네트워크 부호화 기반 양방향 통신은 네트워크 부호화 동작의 특성 상 두 사용자가 동일한 변조방법

으로 변조를 수행한 후 중계기로 신호를 송신하며, 중계기는 네트워크 부호화 과정을 통해 다시 신호를 각 사용자로 재전송한다.

하지만 이렇게 동일한 변조 방법으로 변조 후 중계기에서 네트워크 부호화하는 방식은 중계기와 각 사용자의 채널이 고려되지 않은 방법으로써, 두 채널 중 한쪽의 채널이 열악한 환경에서는 성능 저하를 일으킨다. 따라서 본 논문에서는 각 채널 환경을 고려하여 적응적으로 변조를 수행하는 적응형 변조 기법(Adaptive Modulation)을 제안한다.

적응형 변조 기법은 대표적으로 M-QAM(M-ary Quadrature Amplitude Modulation)을 이용하는 방법이 있으며, 채널 환경에 따라 유동적으로 M의 값을 변경함으로써 전송률(data rate)과 오류 확률(Error Probability)을 조절할 수 있다.^[4,5]

본 논문에서는 네트워크 부호화 양방향 통신의 처리량 장점을 지니면서 전체 시스템의 QoS(Quality of Service)를 만족시키는 적응형 변조 기법(Adaptive Modulation Scheme)을 이용한 네트워크 부호화 기반 양방향 통신을 제안한다. II장에서는 본 논문의 전체적인 시스템 모델을 소개하며, III장에서는 M-QAM을 이용한 적응형 변조 기법 및 제로 패딩(zero padding)을 통한 네트워크 부호화 기법을 설명하며, IV장에서 모의 성능 결과를 보이고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문의 시스템 모델은 그림 3과 같이 두 사용자 및 중계기로 이루어져 있는 양방향 중계(Two-way relay) 모델이다.

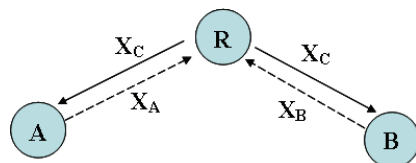


그림 3. 양방향 중계 통신
 Fig 3. Two-way relay communication

최초 사용자 A는 중계기로 자신의 신호 X_A 를 전송하며, 사용자 B 역시 X_B 신호를 전송한다. 중계기는 사

용자 A와 사용자 B로부터 신호를 수신하여 선형 네트워크 부호화 연산을 통해 X_C 를 생성하게 되며, 다시 각 사용자로 전송한다. 이러한 과정을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_{AR} &= \sqrt{P_A} h_{AR} X_A + n_{AR} \\ y_{BR} &= \sqrt{P_B} h_{BR} X_B + n_{BR} \\ y_{Ri} &= \sqrt{P_R} h_{Ri} X_C + n_{Ri}, \quad i = A, B \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 P_i 는 i 노드의 전송전력이며, $h_{i,j}$ 는 i 와 j 노드 사이의 채널 계수(Channel Coefficient)를 의미한다. $n_{i,j}$ 는 i 노드에서 j 노드로 전송되는 백색 가우시안 잡음(AWGN, Additive White Gaussian Noise)을 의미한다.

X_A 와 X_B 는 사용자 A와 사용자 B에서 전송된 신호를 의미하며 X_C 는 네트워크 부호화된 신호로써, 다음과 같이 표현된다.

$$X_C = X_A \oplus X_B \quad (2)$$

여기서 \oplus 는 bitwise-XOR 연산을 의미한다.

최종적으로 사용자 A와 사용자 B는 X_C 신호를 수신하여 복호 후 자신의 신호와 XOR연산을 이용하여 다른 사용자의 신호를 복원할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_A &= X_C \oplus X_B \\ X_B &= X_C \oplus X_A \end{aligned} \quad (3)$$

III. M-QAM을 이용한 적응형 변조방법

본 논문에서 제안하는 적응형 변조 기법은 M-QAM을 통한 유동적인 변조 기법을 이용한다. 최초 사용자 A와 사용자 B는 중계기로 파일럿 신호(pilot signal)을 전송하며 수신한 파일럿 신호를 기반으로 채널 환경을 분석, 채널 환경에 따른 QoS(Quality of Service)를 계산한다. 본 논문에서의 QoS는 전송 링크간의 비트 오류 확률(Bit Error Probability)을 기반으로 한다. 전송 링크에서의 M-QAM의 비트 오류 확률은 다음과 같이 나타낼 수

있다.^[4, eq(9.31)]

$$p_b^{M-QAM} \approx \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma}{M-1}}\right) \quad (4)$$

여기서 γ 는 전송 링크간의 채널 전력 이득 값이다. 위와 같은 M-QAM의 비트오류 확률은 M 값 및 전송 링크의 채널 환경 γ 를 통해 결정된다. 중계기는 최초 각 사용자들로부터 파일럿 신호를 수신함으로써 전송 링크간의 채널 환경을 추정할 수 있으며, 추정된 채널 환경과 시스템에서 요구하는 BER(Bit Error Rate)을 기준으로 그림 4와 같이 각 사용자의 변조 방법을 결정한다.



그림 4. M-QAM 적응형 변조
Fig 4. M-QAM adaptive modulation

그림 4와 같이 사용자의 변조 기법은 사용자와 중계기간의 채널 환경 및 시스템의 QoS를 기준으로 결정되어진다.

즉 사용자 A와 사용자 B는 중계기의 QoS를 만족시키는 변조 기법으로 신호를 전송하게 되며, 중계기는 각 신호를 복호하며, 네트워크 부호화 과정을 통해 다시 각 사용자로 신호를 재전송한다.

중계기에서 네트워크 부호화 과정은 각 사용자로부터 수신한 신호의 심벌 당 비트수가 동일하다는 가정을 한다. 그러나 적응형 변조 기법을 통해 각자 다른 변조 기법으로 송신되었기에 심벌 당 비트 수가 동일하지 않을 경우가 존재하며 이러한 문제점을 해결하기 위해 제로 패딩(Zero padding)을 이용한다.

제로 패딩(Zero padding) 기법은 두 신호를 비교하여 높은 심벌 당 비트 수를 가진 신호를 기준으로 그렇지 않은 신호의 나머지 비트를 영(0)으로 채우는 기법이다. 예를 들어 적응형 변조 기법을 통해 중계기는 QPSK의 변조기법과 16-QAM의 변조기법으로 변조된 두 신호를 수신하였다면 중계기는 두 신호를 각각 복호하며 복호된 QPSK 신호를 16-QAM신호와 비교하여 공백이 생기는 자리에 "0"를 삽입한다. 이러한 동작은 그림 5와 같다.

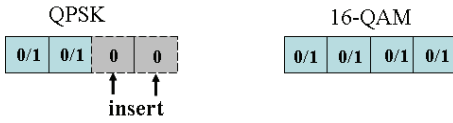


그림 5. QPSK와 16-QAM의 제로패딩 기법
Fig 5. Zero-Padding of QPSK and 16-QAM

이렇게 “0”를 삽입한 후 중계기는 두 신호를 네트워크 부호화 연산을 수행하게 되며, 16-QAM의 변조 기법을 통해 수신단으로 송신한다. 최종적으로 수신단은 중계기로부터 신호를 수신하며 복호과정 및 네트워크 부호화 과정을 수행한다. 그리고 최종적으로 제로 패딩을 통해 삽입된 영(0)비트를 제거함으로써 온전한 신호를 복호할 수 있다.

이러한 적응형 변조 기법은 열악한 채널 환경 하에서 QoS 및 전송률을 최적으로 만족시킬 수 있는 장점을 지니고 있다.

IV. 모의 성능 결과

본 장에서는 제안한 기법의 성능을 분석한다. 모의 실험은 레일레이 페이딩 채널(Rayleigh Fading) 환경에서 M-QAM 변조를 이용하였다. 중계기는 사용자 A와 사용자 B의 중간에 위치하며, 경로 손실 계수(path loss coefficient)는 4를 가정하였다.

시스템의 QoS에 따른 전송 링크의 채널 전력 이득은 다음 수식으로 결정되었다.

$$\gamma_k = \frac{M-1}{3} \left[Q \left(\frac{\sqrt{M} \log_2 M}{2(\sqrt{M}-1)} P_b^{k-QAM} \right)^{-1} \right]^2 \quad (5)$$

그림 6는 64-QAM 변조 기법을 이용한 양방향 통신과 적응형 변조 기법을 이용한 양방향 통신을 비교한 것이다. 시스템의 QoS는 10^{-1} 의 BER을 가정하였다. 기존의 64-QAM 변조 기법을 이용한 양방향 중계 통신은 신호 대 잡음비가 증가함에 따라 시스템의 오류 확률이 낮아지고 있음을 알 수 있다. 하지만 이는 일반적으로 시스템의 QoS를 만족시키지 못하며 높은 신호 대 잡음비에서 QoS를 만족시킬 수 있다.

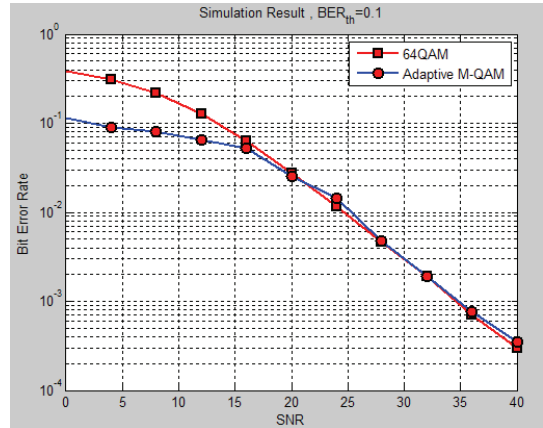


그림 6. $BER_{th} = 10^{-1}$ 성능 결과
Fig 6. Simulation result with $BER_{th} = 10^{-1}$

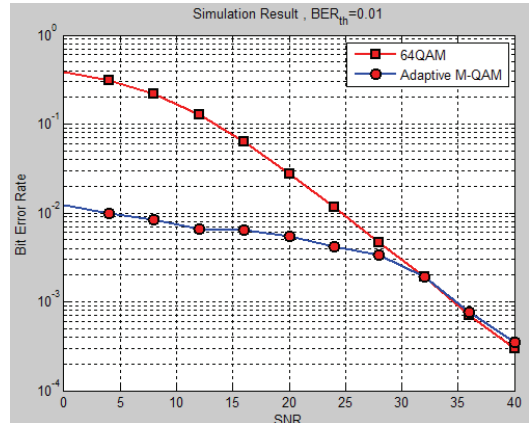


그림 7. $BER_{th} = 10^{-2}$ 성능 결과
Fig 7. Simulation result with $BER_{th} = 10^{-2}$

제안하는 적응형 변조 기법은 모든 신호 대 잡음비에서 10^{-1} 의 QoS를 만족하였으며 신호 대 잡음비 약 16dB 이상에서는 기존의 64-QAM 기법과 성능이 동일하였다. 이는 16dB 이상의 신호 대 잡음비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)에서의 채널 환경에 따라 64-QAM의 적응형 변조 기법이 이용되기 때문이다.

그리고 그림 7은 동일한 환경에서 시스템의 QoS를 10^{-2} 로 변경한 적응형 변조 기법의 성능 결과이다. 시스템의 QoS가 변경되었지만 제안하는 기법의 성능은 시스템의 10^{-2} QoS를 만족하였다. 신호 대 잡음비가 30dB 전후에서 기존의 64-QAM 변조 기법의 성능 결과와 동일하였으며 이는 이전에서 언급한 바와 같이 우수

한 채널 환경에서 64-QAM의 변조 기법을 이용하기 때문이다. 이와 같이 시스템의 QoS(Quality of Service)가 변경되더라도 제안하는 기법에서는 M-QAM 변조방법에서 M의 값을 변경함으로써 QoS를 만족시킨다.

V. 결론

본 논문에서는 사용자와 중계기간의 채널 환경을 고려하여 시스템의 QoS를 만족시키는 적응형 변조 기법을 이용한 양방향 중계기 통신 기법을 제안하였다. 각 사용자는 시스템의 QoS를 기준으로 각기 다른 변조 기법으로 신호를 전송하며, 중계기에서는 제로 패딩 기법과 네트워크 부호화 기법으로 두 신호를 합성하며 재전송이 이루어진다.

성능 결과 시스템의 QoS를 10^{-1} 및 10^{-2} 의 비트 오류 확률로 하였을 때, 적응형 변조 기법은 모든 신호 대 잡음비에서 시스템의 요구 QoS를 만족하였다.

참 고 문 헌

[1] M. O. Hasna and M. S. Alouini, "End-to-End Performance of Transmission Systems with Relay Over Rayleigh-Fading Channels," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 2, no. 6, pp. 1126-1131, Nov. 2003.

[2] M. O. Hasna and M. S. Alouini, "Harmonic Mean and End-to-End Performance of Transmission Systems With Relays," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 52, no. 1, pp 130-135, Jan. 2004.

[3] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y.R. Li, and R.W.Yeung, "Network information Flow," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol 46, pp.1204-1216, July 2000.

[4] T. Nечiporenko, K. T. Phan, C. Tellambura, and H. H. Nguyen, "Performance analysis of adaptive m-qam for rayleigh fading cooperative systems," in *IEEE International Conference on Communications-ICC 2008*, 2008, pp. 3393-3399.

[5] T. Nечiporenko, P. Kalansuriya, and C. Tellambura, "Performance of optimum switching adaptive mqam for amplify-and-forward relays," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 5, pp. 2258 - 2268, 2009.

[6] Andrea Goldsmith, *Wireless communications*, Cambridge University Press, Cambridge ; New York, 2005.

저자 소개

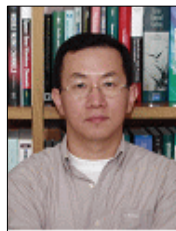
이진희(준회원)



- 2009년 2월 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 학사
- 2009년 3월~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정

<주관심분야 : 협력통신, 양방향 통신, 멀티 홉 시스템, MIMO>

공형운(정회원)



- 1989년 2월 미국 New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
- 1996년: 2월 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
- 1996년~1996년 LG전자 PCS 팀장

• 1996년~1998년 LG전자 회장실 전략사업단
 • 1998년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
 <주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크>