A Novel Decoding Algorithm of Superposition Modulation for Cooperative IoT System

Yu Ho Choi and Seo Weon Heo, *Senior Member, IEEE*Hongik University, Seoul, Republic of Korea

seoweon.heo@hongik.ac.kr

Kwi Seob Um and Seo Weon Heo, Member, IEEE  
Hongik University, Seoul, Republic of Korea  
seoweon.heo@hongik.ac.kr

***Abstract* – 본 논문에서는 협력통신 IoT 시스템에서 적용하는 중첩변조(SM, Superposition Modulation) 방식에 대한 새로운 방식 복호화 알고리즘을 소개한다. 기존의 SM에서 적용하는 SIC(Successive Interference Cancellation) 알고리즘과 달리 수신한 패킷으로부터 각 노드의 정보에 대한 bit LLRs(Log Likelyhood Ratio)를 직접적으로 도출하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 복호화 알고리즘은 전력할당비가 주된 정보에 대해 복호화가 실패한 경우에도 복호화가 가능하며, 종래의 SIC 복호화 방식에 비해 페이딩 채널에서 2dB 가량 우월한 성능을 보인다.**

1. INTRODUCTION

최근 IoT 통신 시스템의 신뢰성을 높이기 위한 수많은 연구들이 진행되었다. 전력과 비용의 제한으로 인해 IoT 기기에 다이버시티 효과를 얻기 위한 다중안테나 기술을 적용하기에 어려움이 따른다. 따라서 여러가지 제약사항을 극복할 수 있는 협력통신이 공간 다이버시티 효과를 얻기 위한 좋은 대안이 된다.[1][2] AF(Amplify and Forward), DF(Decode and Forward)와 CF(Compress and Forward) 협력통신 방식 중 임계값에 따라 다양한 방식으로 재전송 방식이 제안되었다.[3]-[4] 본 논문에서는 소스 노드와 중계 노드 사이의 채널을 비오류로 가정하기 때문에 DF 협력통신 방식에 초점을 맞춘다.

데이터 전송률을 확보하고 송신 전력소비량을 줄이기 위해서 재전송 단계에서 중계 노드로부터 소스 노드와 자신의 패킷을 SM으로 전송하는 방식이 소개되었다.[5] 수신단에서 SIC 알고리즘을 적용하여 소스 노드와 중계 노드의 복호화 방식을 적용했다. 협력통신에서 소스 노드와 중계 노드가 incrementally relay SM 통신하는 시스템도 소개되었다.[6] 이외에도 2개 이상의 중계노드를 활용하여 전력할당비를 달리하며 재전송하는 방식도 제안되었다.[7]-[10]

종래 SM 방식의 문제점은 SIC 알고리즘이 주 전력할당비 정보의 복호화 여부에 따라 BER 성능을 저하시킨다. 본 논문에서는 Error propagation 효과를 개선하기 위해서 수신한 신호로부터 각 노드의 LLR 정보를 직접적으로 추출하는 복호화 방식을 제안한다.

1. SYSTEM MODEL

본 논문에서는 단일 홉 협력통신 네트워크 시스템을 다룬다. Fig.1에 나타난 바와 같이 소스 노드, 중계 노드, 게이트웨이를 각각 S, R, D로 표기한다. 본 시스템은 2단계 phase로 구성하여 phase 1에 소스 노드로부터 중계 노드와 게이트웨이에 각각 채널 심볼을 전송한다. 게이트웨이에서 phase 1에 수신한 패킷에 에러가 존재할 경우, NACK을 전송하여 중계 노드로부터 재전송을 요청한다. 중계 노드는 phase 2에 중계 노드와 소스 노드의 정보를 SM 방식으로 재전송한다. 본 논문에서는 소스 노드와 중계 노드 사이의 채널은 에러없이 완벽한 채널이라고 가정한다.

게이트웨이에서 phase 1에 수신한 신호는 다음과 같다.

(1)

게이트웨이에서 phase 2에 수신한 신호는 다음과 같다.

(2)

, 는 채널모델로써 평균이 0이고, 분산이 1인 복소 가우시안 랜덤변수를 의미하며, , 는 AWGN을 의미한다. 는 중계 노드와 게이트웨이 사이의 감쇠

Fig.1 System model of the cooperative IoT system

상수이고, 와 는 소스 노드와 중계 노드의 채널 심볼을 의미한다. 제 1전송에서 에러가 존재하지 않는 경우 phase 2에 는 0이 되고, 중계 노드의 심볼 만 전송하게 된다.

Fig.2 Conventional and Proposed Decoding Algorithm

1. PROPOSED DECODING ALGORITHM

Fig.2에 종래의 SM 방식과 제안 방식의 비교하고 있다. 편의성을 위해 본 설명에서는 채널코딩을 고려하지 않고, QPSK 변조방식을 사용지만, 다른 채널코딩 방식이나 변조방식이 적용될 수 있다. 수신한 패킷의 심볼은 각각 , 로 표기한다.

Phase 1 : 종래의 방식과 제안 방식 모두 는 2k&2k+1 인덱스의 소스 노드 비트 정보를 가리키며, LLR metric 을 계산하여 복호화한 비트 정보는 이다.

Phase 2 : 종래의 방식에서 게이트웨이는 2k&2k+1 인덱스의 중계 노드 비트정보 LLR metric 을 계산한다. 이와 같이 중계 노드의 정보를 복호화하는 과정에서 error propagation이 발생할 수 있다. 중계 노드의 복호화 이후, 수신한 심볼에서 를 제거하여 소스 노드 정보를 복호화하기 위한 LLR 을 추출하여 bit level combining을 수행한다.

제안방식의 복호화 알고리즘에서 게이트웨이는 adaptive power ratio mapping table을 활용하여 소스 노드와 중계 노드에 대한 LLR & 을 SIC없이 각각 수행한다. 가령, QPSK 변조방식에서 phase 2에 수신한 심볼 의 4k & 4k+2 인덱스 비트 정보는 소스 노드 비트 정보의 2k & 2k+1 인덱스에 해당한다. 따라서 이에 해당하는 비트 LLR 을 추출하여 BLC 단계를 진행한다. 이와 동시에, 로부터 중계 노드의 2k & 2k+1 인덱스에 해당하는 비트 정보 LLR 를 추출한다. 요약하자면, 제안방식의 SM 복호화 알고리즘에서는 & 로부터 비트 LLR을 SIC로부터 발생하는 에러지연없이 직접적으로 계산하는 방식을 취한다.

1. SIMULATION RESULT

본 논문에서는 BER 성능을 검증하기 위해서 Monte Carlo 시뮬레이션 결과를 비교한다. 제안하는 알고리즘은 명료한 설명을 위해서 채널코딩을 고려하지 않았지만, 실제 IoT 시스템[11]을 가정하고 Table1과 같이 설정한다. 중계 노드의 정보에 대한 전력할당비() 다양한 비율로 고려하여 실험한 결과는 다음과 같다.

|  |  |
| --- | --- |
| Turbo code polynomial | 11, 13 |
| Block length | 780 |
| Code rate | 1/3 |
| Modulation | QPSK |
| Fading channel | Quasi-static Rayleigh |
| Channel between S & R | Error free |
| Combining | Bit Level Combining |

Table 1. Simulation parameter

복호화 알고리즘의 성능이 전력할당비에 비례하기 때문에 종래 방식과 제안 알고리즘의 BER 성능 중 가장 성능이 우월한 전력할당비를 실험했다.



Fig 3. BER Performance of SIC algorithm with different power ratio() of Relay node



Fig 4. BER Performance of SIC algorithm with different power ratio() of Relay node



Fig 5. BER Performance of proposed algorithm with different power ratio() of Relay node

Fig 7. BER Performance of proposed algorithm with different power ratio() of Relay node

Fig 5. Comparison of BER Performance between SIC and proposed algorithm

1. CONCLUSIONS
2. REFERENCE

[1] J.N. Laneman, D.N.C. Tse, G.W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior", IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, 2004.

[2]T. E. Hunter, A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks", IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.

[3] A.H. Bastami, A. Olfat, "Optimal SNR-based selection relaying scheme in multi-relay cooperative networks with distributed space-time coding", IET Commun., vol. 4, no. 6, pp. 619-630, 2010.

[4] W. P. Siriwongpairat, T. Himsoon, W. Su, K. J. R. Liu, "Optimum threshold-selection relaying for decode-and-forward cooperation protocol", Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'06), Apr. 2006.

[5] E. Larsson, B. Vojcic, "Cooperative transmit diversity based on superposition modulation", IEEE Commun. Lett., vol. 9, no. 9, pp. 778-780, 2005.

[6] Cengis Hasan, Umit Aygolu, "Incremental superposition modulated cooperative transmission", Signal Processing and Communications Applications Conference 2009. SIU 2009. IEEE 17th, pp. 592-595, 2009.

[7] X. Jin, H. N. Kim, "Switched-power two-layer superposition coding in cooperative decode-forward relay systems", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 15, no. 3, pp. 2193-2204, Mar. 2016.

[8] Xianglan Jin, Hyoung-Nam Kim, "A New Switching Superposition Strategy in Decode-Forward Relay System", Vehicular Technology IEEE Transactions on, vol. 67, no. 8, pp. 7826-7830, 2018.

[9] T. Yang, J. Yuan, "Performance of iterative decoding for superposition-modulation-based cooperative transmission", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 9, no. 1, pp. 51-59, Jan. 2010

[10] C. Hasan, . Aygl, "An incremental relaying approach for superposition-modulated cooperative transmission", Proc. IEEE WCNC, pp. 1-6, 2009-Apr.

[11]M. Chen, Y. Miao, Y. Hao, K. Hwang, "Narrow band Internet of Things", IEEE Access, vol. 5, pp. 20557-20577, 2017.