

논문 2011-5-8

레이리 페이딩 채널 상에서 기회주의적 증분형 중계기 선택 기법을 기반으로 한 협력 전송 알고리즘

Cooperative Transmission Protocol based on Opportunistic Incremental Relay Selection over Rayleigh fading channels

단 디 쉬엔*, 공 형 윤**

Tran thi Xuyen, Hyung-Yun Kong

요 약 본 논문에서는 새로운 협력 전송 프로토콜을 제안한다. 기존의 협력 전송 프로토콜은 송신단과 수신단 사이에 위치하는 다수의 노드들 중에서 가장 높은 SNR을 가지는 노드를 이용하여 수신단으로 신호를 전송한다. 그러나 본 논문에서 제안하는 협력 전송 프로토콜은 노드의 위치정보를 기반으로 하여 송신단으로부터 복호에 성공한 노드들 중 수신단에 가장 가까운 노드를 선택하여 선택된 노드만이 수신단으로 신호를 전송하게 한다. 본 논문에서 제안하는 위치 정보를 기반으로 하는 중계기 선택 기법을 이용하는 협력 전송 프로토콜에 대해 수학적으로 분석하고 모의실험을 통해 이를 증명한다.

Abstract In this paper, we firstly propose a novel cooperative transmission protocol, which utilizes the advantages of mid-nodes in the route from the source to the destination. Taking benefits from balancing between the received packet from the source and acknowledge message from the destination, the mid-node between the source and the destination is firstly considered to be the broadcaster. If its signal is successfully received from the source, it leads to consider the next nodes, which has closer distance to the destination than it. If one of these nodes correctly receives the signal, it performs broadcasting the signal to the destination instead of mid-node. Otherwise, the mid-node directs attention to these nodes being near to the destination. As the result, some nodes are unnecessary to be considered and passed over time. After that, we analyze some published selection relaying schemes based on geographic information to choose the best nodes instead of the instantaneous SNR as before. Finally, simulation results are given to demonstrate the correctness of the performance analyses and show the significant improvement of the selection relaying schemes based geographic information compared to the other ones.

Key Words : Selection relaying scheme, Geographic information, Packet error rate, Multihop cooperative communication.

1. 서 론

최근 들어 무선 통신을 위한 기술이 나날이 발전해감

에 따라 페이딩이나 잡음과 같은 방해 요소들을 감소시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구는 라우팅 분야에서도 활발히 진행되고 있으며 최근에는 협력 라우팅 기법이 시스템의 성능 향상을 위한 기술로서 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 다중 홉 네트워크에서 기존의 라우팅 알고리즘에 비해 우수한 성능을 얻을 수 있는 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데 그

*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)

접수일자 2011.4.16, 수정일자 2011.8.18

게재확정일자 2011.10.14

중 하나로 협력 다중 홉 전송 기법이 있다. 이러한 협력 다중 홉 전송 기법은 송신단과 수신단 사이에 위치한 노드들 중 최적의 노드를 선택하여 수신단으로 신호를 전송하는 기법으로 [1]에서 순시 SNR을 이용한 최적의 중계기 선택 기법(SRSIS)이 제안되었다. [2,3]에서는 오 수신 확률에서 이득을 얻을 수 있는 최적의 중계기 선택 기법이 제안되었다. 또한 [4]에서는 최적의 중계기 차수를 찾아 이를 이용한 중계기 선택 기법이 제안되었다. 위에서 언급한 다수의 기술들은 대부분 증폭 후 재전송 기법을 고려한 것들이다. 그러나 [5]에서는 복호 후 재전송 기술을 이용한 다중 홉 협력 전송 기법을 제안하였다. 특히 [5]에서는 3가지의 중계기 선택 기법을 제안하고 이들을 분석하였다.

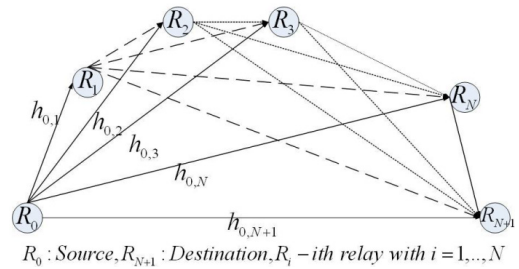
[6]에서는 중계기 선택 기법과 함께 ARQ를 이용한 프로토콜을 제안하였는데 모의실험 결과에서는 순시 SNR을 이용한 중계기 선택 기법보다 위치 정보를 이용한 중계기 선택 기법(SRBGI)의 성능이 더 우수함을 알 수 있었다.

따라서 네트워크에 속한 노드들의 위치 정보를 아는 것은 시스템 성능 향상에 지대한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히 [7]에서는 수신단에 가까운 노드들을 이용하여 신호를 전송하는 기술을 제안하였는데 수신단에 가까운 노드들만을 고려하는 것은 송신단에서 중계기간 성능이 저하될 수 있음을 뜻한다. 따라서 [8]에서는 송신단과 중계기, 중계기와 수신단간 위치 정보를 고려한 시스템을 제안하고 성능을 분석하였다.

따라서 본 논문에서는 네트워크에 속한 위치 정보를 바탕으로 하는 협력 전송 프로토콜을 연구하고 시스템의 성능 향상을 위해 협력 ARQ 시스템을 고려한다. 본 논문은 다음과 같은 순서로 진행된다. 섹션 2에서는 시스템 모델과 시스템 동작원리에 대해서 설명하고, 섹션 3에서는 제안하는 시스템 모델을 자세히 분석한다. 섹션4에서는 섹션3에서 보인 모의 실험 결과를 바탕으로 수학적 분석을 증명한다. 또한 섹션 5에서는 본 논문은 결론을 기술한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 시스템 모델은 그림 1과 같다.



R_0 : Source, R_{N+1} : Destination, R_i - i th relay with $i=1, \dots, N$
 그림 1. 시스템 모델
 Fig. 1. The system model.

1. 기본 전송 프로토콜

첫 번째 시간슬롯에서 송신단은 모든 중계기와 수신단으로 신호를 전송하고 신호를 수신단 노드들로부터 feedback신호를 기다린다. 이 때 만약 송신단이 수신단으로부터 ACK신호를 수신한다면 송신단은 새로운 신호를 전송할 준비를 한다. 그러나 수신단으로부터 ACK 신호를 수신하지 못한 경우 송신단은 feedback신호를 수신하기 위해 기다린다. 만약 어떠한 중계기 중 하나로부터 ACK 신호를 수신하게 되면 송신단은 수신단으로부터 ACK 신호를 수신할 때까지 어떠한 행동도 하지 않는다. 만약 송신단으로 ACK 신호를 전송하는 중계기가 다수일 경우 중계기 선택 기법을 이용하여 하나의 중계기만이 수신단으로 신호를 전송하게 한다. 이러한 기술로 인해 시간슬롯 및 전력 그리고 주파수 이용률을 높일 수 있게 된다.

각각의 노드는 수신단으로부터 전송되는 feedback 신호를 기반으로 한다. 그리고 각각의 시간 지연을 결정하기 위해 송신단으로부터 수신되는 패킷을 고려한다. 시간 지연은 식(1)과 같이 계산된다.

$$T_i = |d_{R_i R_{N+1}} - d_{R_i R_0}| \quad (1)$$

만약 R_i 가 송신단으로부터 수신한 신호의 복호에 성공한다고 가정할 경우 R_i 는 ACK 신호를 모든 중계기와 송신단으로 전송한다. 그리고 R_i 는 R_{i+1} 로 신호를 전송하고 R_{i+1} 는 R_{i+2} 로부터 ACK 신호를 수신하기 위해 신호의 전송을 멈춘다. 이와 같은 대기 시간을 지연 시간이라고 하며 지연 시간이 지난 후에도 feedback 신호를 수신하지 못한 경우 R_{i+1} 는 신호를 재전송하며

ACK를 수신한 경우 R_{i+1} 는 버퍼에 저장된 신호를 삭제한다.

2. 위치 정보를 기반으로 한 전송 프로토콜의 성능 분석

SRBFI와 SRBGI의 장점 및 단점을 비교하기 위해 본 논문에서는 3가지의 중계기 선택 기법^[11]을 고려한다.

① 기회주의적 증분형 복호 후 재전송 기법(Opportunistic Incremental DF : OIDF)

OIDF 기법은 NACK 신호를 수신한 중계기와 송신단이 가장 성능이 우수한 중계기를 선택하여 수신단으로 신호를 전송하는 기법이다.

② 기회주의적 증분형 중계기 선택 복호 후 재전송 기법(Opportunistic Incremental Selection DF : IOSDF)

IOSDF 기법은 feedback 신호에 따라 다른 방식으로 동작한다.

- a. 성공 : 수신단으로부터 ACK 신호를 수신한 경우 송신단 및 모든 중계기는 버퍼에 저장된 신호를 삭제하고 송신단은 새로운 신호를 전송한다.
- b. 성공 후 재 전송 : 수신단이 신호의 복호에 성공하여 ACK 신호를 송신단으로 전송하나 수신단에서 복호한 신호를 확인하기 위해 신호의 재전송을 요청한다. 이 경우 일반적으로 송신단이 신호를 재전송하며 가장 성능이 우수한 중계기를 이용하여 수신단으로 신호를 재전송하게 된다.
- c. 실패 : 수신단에서 신호의 복호에 실패하여 NACK 신호를 전송하는 경우 송신단 및 최적의 중계기가 수신단으로 신호를 재 전송하게 된다.

③ 기회주의적 결합 증분형 중계기 선택 기법

만약 최적의 중계기가 신호의 복호에 실패한다면 나머지 중계기 중 가장 성능이 우수한 중계기를 이용하여 수신단으로 신호를 전송하여야 한다. 따라서 본 기법에서는 신호의 복호에 성공한 중계기 중 성능이 가장 우수한 중계기를 이용하여 수신단으로 신호를 전송하며 신호의 복호에 성공한 노드가 없는 경우 송신단이 수신단으로 신호를 재 전송하게 된다.

III. 성능 분석 (및 시간 소비)

1. 기회주의적 증분형 DF

(Opportunistic Incremental DF : OIDF)

OIDF 기법에서는 수신단에서 가장 가까운 하나의 중계기만이 수신단으로 신호를 전송한다.본 기법의 패킷 에러 확률은 식(2)와 같다.

$$P_{OIDF}^1 = P_{0,N+1} [P_{0,N} + (1 - P_{0,N})P_{N,N+1}] \quad (2)$$

최적의 중계기가 수신단으로 신호를 전송하는 본 기술에서 수신단의 패킷 에러 확률은 m 번의 재전송 후 복호에 성공할 확률과 복호에 실패할 확률로 나뉜다. 따라서 OIDF의 패킷 에러확률은 식(3)와 같다.

$$P_{OIDF}^m = P_{0,N+1} \left[P_{0,N} P_{OIDF}^{m-1} + (1 - P_{0,N}) P_{N,N+1} \right] \quad (3)$$

$$P_{OIDF}^0 = 1$$

2. 기회주의적 증분형 중계기 선택

DF(Opportunistic Incremental Selection DF : IOSDF)

IOSDF의 패킷 에러확률은 식(4)과 같다.

$$P_{IOSDF}^1 = P_{0,N+1} (0) \left[P_{0,N} + (1 - P_{0,N}) P_{N,N+1} \right] \quad (4)$$

pdB는 수신단에서 동일한 신호를 두 번 수신하였음에도 복호한 신호가 정확하지 않을 확률이다. 이러한 pdB는 식(5)과 같다.

$$P_{i,j}(2) = \int_0^\infty PER(2\gamma) f_{\gamma_{ij}}(\gamma) d\gamma = \frac{2\gamma_{i,j}g}{1 + 2\gamma_{i,j}g} \exp\left(-\frac{\gamma_t}{\gamma_{i,j}}\right) \quad (5)$$

일반적으로 m 번 재전송이 일어난 경우에도 수신단에서 에러가 발생할 확률은 식(6)과 같다.

$$P_{i,j}(m) = \int_0^{\infty} PER(m\gamma) f_{\gamma_{ij}}(\gamma) d\gamma = \frac{1}{1 + m\gamma_{i,j}g} \exp\left(-\frac{\gamma_t}{\gamma_{i,j}}\right) \quad (6)$$

따라서 IOSDF의 패킷 에러 확률은 식(7)와 같다.

$$P_{IOSDF}^m = P_{0,N+1}(m) \left[P_{0,N} P_{IOSDF}^{m-1} + (1 - P_{0,N}) P_{N,N+1} \right]^m \quad (7)$$

3. 기회주의적 결합 증분형 중계기 선택 기법 (Opportunistic Joint Incremental Selection Relaying Scheme : OJISRC_DF)

OJISRC_DF 기법의 패킷 에러 확률은 식(8)과 같다.

$$P_{LIISR_DF} = P_{0,N+1} \left[\sum_{i=1}^N P_{0,i} P_{0,N+1} + \sum_{i=1}^N (1 - P_{0,i}) \prod_{j=i+1}^N P_{0,j} P_{i,N+1} \right] \quad (8)$$

재 전송 횟수가 최대치(m)에 도달했을 경우 패킷 에러 확률은 식(9)과 같다.

$$P_{LIISR_DF}^m(i) = \prod_{j=i+1}^N P_{i,j} P_{i,N+1} P_{IFISR_DR}^{m-1}(i) + \sum_{j=i+1}^N (1 - P_{i,j}) P_{j,N+1} \prod_{l=j+1}^N P_{i,l} P_{IFISR_DF}^{m-1}(j) \quad (9)$$

$$\lim_{\sigma_{i,j} \rightarrow \infty} P_{i,j} = \lim_{\sigma_{i,j} \rightarrow \infty} \left[1 - \frac{\sigma_{i,j}g}{1 + \sigma_{i,j}g} \exp\left(-\frac{\gamma_t}{\sigma_{i,j}}\right) \right] \rightarrow a = 1 \quad (10)$$

본 논문에서 제안하는 시스템은 TDMA(Time Division Multiple Access) 전송 방식을 사용한다. 따라서 각 노드에게 할당되는 전송 시간은 노드가 신호를 충분히 전송할 수 있을 정도의 시간이 되어야 한다. 그렇지 않으면 노드 간 신호에 충돌이 발생하여 시스템의 성능 저하가 발생할 수 있다. 또한 신호의 전송에 따른 시간 지연(T_c)

역시 고려되어야 한다. 이러한 시간 지연은 노드간 거리나 노드의 수에 따라 달라지므로 모든 중계기는 송신단과 수신단 사이의 거리에서 발생할 수 있는 최대한의 시간 지연을 고려하여 전송 시간이 할당되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 시간 지연을 고려한 R_j 의 패킷 평균 전송 시간을 계산한다.

a. 제안하는 전송 프로토콜의 평균 전송 시간

제안하는 기법의 평균 전송 시간은 식(11)과 같다.

$$T_{MN}^{m,i} = T_p + \left[P_{0,k} \sum_{j=1}^{k-1} (1 - P_{0,j-1})^* \prod_{l=j}^{k-1} P_{0,l} [T_{MN}^{m-1,j+k-j+1} T_s] + (1 - P_{0,k}) \sum_{j=k+1}^N \prod_{l=k+1}^j P_{0,l} (1 - P_{0,j})^* [T_{MN}^{m-1,j+(j-k+1)} T_s] \right] \quad (11)$$

또한 재전송이 0일 때 평균 전송 시간은 식(12)과 같다.

$$T_{MN}^{m,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } m=0 \\ T_p + P_{i,N+1} \times \left[P_{0,k} \sum_{j=1}^{k-1} (1 - P_{0,j-1})^* \prod_{l=j}^{k-1} P_{0,l} [T_{MN}^{m-1,j+(k-j+1)} T_s] + (-P_{0,k}) \sum_{j=k+1}^N \prod_{l=k+1}^j P_{0,l} (1 - P_{0,j})^* [T_{MN}^{m-1,j+(j-k+1)} T_s] \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

IV. 모의 실험

제안하는 전송 프로토콜은 BPSK를 이용하여 신호를 전송하며 FEC는 사용하지 않는 것으로 가정을 하였다. 또한 하나의 패킷 당 1080개의 비트가 실리며 변수(α , g , γ_i)는 각각(67.7328, 0.9819, 6.3281dB)[24, table 1]로 가정하였다. 모든 노드간 거리는 1로 동일하다고 가정하였으며 경로 손실 지수는 3으로 가정하였다.

그림2 - 그림4는 중계기의 수나 재전송 횟수에 따른 패킷 에러 확률을 나타내고 있다. 섹션 3에서 유도한 수학적 증명과 모의실험을 통한 결과 값이 동일하게 나오는 것을 알 수 있다. 그림 3에서는 IOSDF의 패킷 에러 확률을 보여 주고 있다. IOSDF 기법의 경우 중계기의 수가 증가하여도 최대 다이버시티 이득을 얻지 못하는 것을 알 수 있다.

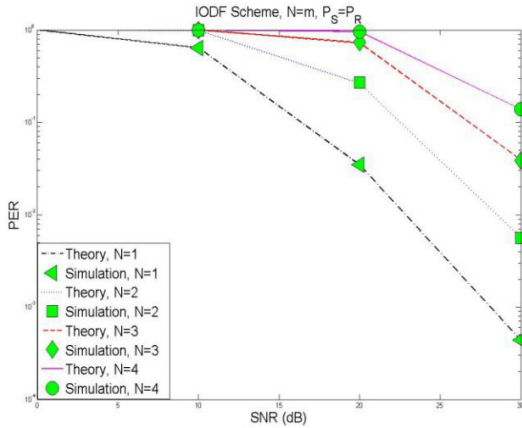


그림 2. 중계기의 수에 따른 IODF 기법의 패킷 에러 확률
Fig. 2. Performance of IODF scheme with the variety of the number of relays and number of transmissions.

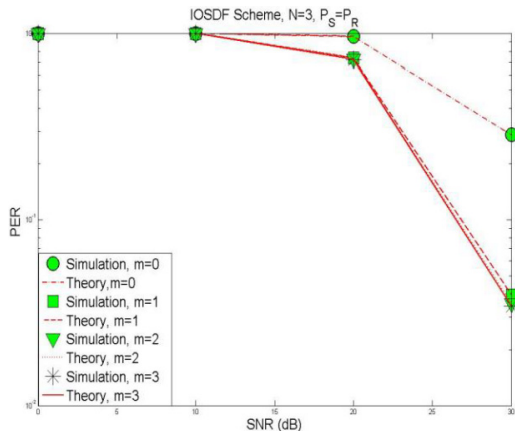


그림 3. 중계기의 수가 3인 경우 재전송 횟수에 따른 IOSDF의 패킷 에러 확률
Fig. 3. Packet error rate of the IOSDF scheme when the number of relays is fixed at 3 relay while changing the number of transmissions.

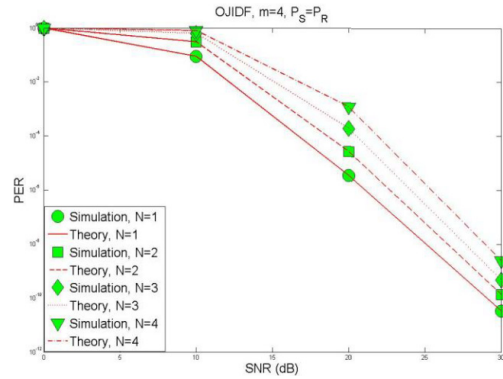


그림 4. 중계기의 수에 따른 OJIDF의 패킷 에러 확률
Fig. 4. Performance of the OJIDF scheme with fixing the number of transmissions for different number of relays in the network.

V. 결론

본 논문에서는 새로운 협력 통신 시스템을 제안하고 이를 분석하였다. 또한 제안하는 전송 프로토콜을 Closed-form 형태로 분석할 뿐만 아니라 수학적으로 이를 유도하고 모의실험을 통해 증명하였다. 또한, 본 논문에서 제안하는 위치 정보를 기반으로 한 전송 프로토콜이 순시 SNR을 기반으로 한 전송 프로토콜에 비해 우수한 성능을 보임을 증명하였다.

참고 문헌

- [1] Bletsas, A., et al., A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection. *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, 2006. 24(3): p. 659-672.
- [2] Michalopoulos, D.S. and G.K. Karagiannidis, Performance analysis of single relay selection in rayleigh fading. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 2008. 7(10): p. 3718-3724.
- [3] Xu, F., et al., Outage Performance of Cooperative Communication Systems Using Opportunistic Relaying and Selection Combining Receiver. *Signal Processing Letters, IEEE*, 2009. 16(2): p.

- 113-116.
- [4] Zhihang, Y. and K. Il-Min, Relay ordering in a multi-hop cooperative diversity network. Communications, IEEE Transactions on, 2009. 57(9): p. 2590-2596.
- [5] Zhou, Q.F., F.C.M. Lau, and S.F. Hau, Asymptotic Analysis of Opportunistic Relaying Protocols. Wireless Communications, IEEE Transactions on, 2009. 8(8): p. 3915-3920.
- [6] Sanjit Biswas, R.M., ExOR: Opportunistic Multi Hop Routing for Wireless Networks. Proceedings of ACM SIGCOMM'05, 2005: p. 133-144.
- [7] Zorzi, M. and R.R. Rao, Geographic random forwarding(GeRaF) for ad hoc and sensor networks: energy and latency performance. Mobile Computing, IEEE Transactions, 2003. 2(4): p. 349-365.
- [8] Mauve, M., A. Widmer, and H. Hartenstein, A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks. Network, IEEE, 2001. 15(6): p. 30-39.
- [9] Guanding, Y., Z. Zhaoyang, and Q. Peiliang. Cooperative ARQ in Wireless Networks : Protocols Description and Performance Analysis. in Communications, 2006. ICC '06. IEEE International Conference on. 2006.
- [10] Yu, G., Z. Zhang, and P. Qiu, Efficient ARQ protocols for exploiting cooperative relaying in wireless sensor networks. Computer Communications, 2007. 30(14-15): p. 2765-2773.

저자 소개

단 디 쉬엔(준회원)



- 2006년 6월 : 하노이 대학 전자통신 공학과 졸업
- 2010 7월 : 울산대학교 전기전자정보 시스템 공학부 석사과정

<관심분야> 협력통신, 모듈레이션, 채널 부호화, MIMO, 디지털

공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
 - 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사
 - 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사
 - 1996년~1996년 : LG전자 PCS팀장
 - 1996년~1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단
 - 1998년~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주 관심 분야> 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크