

60GHz대역 WPAN을 위한 DAF 협력통신 기법

박충헌 이재영 김성일 허준

고려대학교

p3ation@korea.ac.kr jy4213@korea.ac.kr dudux@korea.ac.kr junheo@korea.ac.kr

DAF cooperative communication scheme for 60GHz WPAN

Park, Choong-Hun Lee, Jae-Young Kim, Seong-Il Jun, Heo

Korea University

요약

본 논문에서는 초고속 근거리 무선전송을 위한 60GHz 시스템에서 릴레이를 이용한 협력통신 기법을 제안한다. 60GHz대역은 LOS(Line-Of-Sight)가 보장되어 있지 않은 경우에 거리에 따른 신호 감쇄가 심하여 릴레이를 이용한 협력 통신 기법이 효과적이다. 릴레이를 이용한 협력통신 방법은 크게 증폭 후 전송(AF)과 복호 후 전송(DF)의 두 가지 프로토콜로 나누어지며, AF프로토콜은 Soft information을 보낼 수 있다는 장점이 있고 DF프로토콜은 릴레이에서 복호 후 데이터를 보낸다는 점에서 부호화 이득을 얻어 낼 수 있다는 장점이 있다. 또한 AF와 DF의 장점을 결합한 복호 후 증폭 전송(DAF)프로토콜이 소개되었고 이에 대한 분석이 이루어졌다. 이에 본 논문은 60GHz 시스템과 AWGN, Rayleigh 페이딩환경에서 AF프로토콜에 대한 DAF프로토콜의 성능 이득을 보이고 비교한다.

1. 서론

최근 이동통신 시스템에서는 기기들의 소형화로 인해 소비전력을 최소화하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 소형화로 인한 소비 전력의 감소로 인해 신호 대 잡음비가 낮아지고, 수신된 신호의 신뢰성을 확보하는 것이 중요한 문제가 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안 중 하나로 릴레이를 이용한 협력 통신 방식에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.[1] 특히 최근 활발하게 연구가 진행 중인 60GHz 대역에서도 릴레이를 이용한 협력 통신 기법에 대한 관심이 증가하고 있다.

릴레이의 사용은 크게 릴레이가 송신단으로부터 받은 신호를 수신단에 증폭 후 전송(Amplify-and-Forward, AF)하는 프로토콜과 송신단으로부터 받은 신호를 복호 후 전송(Decode-and-forward, DF)하는 두 가지 프로토콜로 구분할 수 있다[1]. AF프로토콜은 송신단으로부터 받은 신호를 증폭 후 전송하는 방식으로 Soft Information을 그대로 전송할 수 있어 복잡도가 낮다는 장점이 있다. DF프로토콜은 송신단으로부터 받은 신호를 복호한다. 이후 다른 부호를 이용하여 재부호화 후 수신단으로 전송하는 방식으로 복호 후 재 부호화 한다는 측면에서 복잡도가 높은 편이나 성능 이득을 기대할 수 있다.

AF와 DF의 각 장점을 더해 만든 DAF(Decode-Amplify-Forward)프로토콜이 제안되었다[2]. DAF프로토콜은 릴레이가 송신단으로부터 받은 신호를 SISO(Soft-Input Soft-Output)복호 후 DF와는 달리 재부호화를 거치지 않고 AF프로토콜과 같이 신호를 증폭 후 수신단에 보내는 방식이다. DAF는 AF와 같이 릴레이에서 LLR(Log Likelihood Ratio)값을 전송하기 때문에 Hard Information에 비해 정보의 신뢰도가 높고 DF와 같이 릴레이에서 복호를 한번 거치기 때문에 부호화 이득을 얻어낼 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 Convolutional Code[3]를 사용하여 60GHz의

LOS(Line Of Sight)가 보장된 환경에서 AF와 DAF성능을 비교하였으며 일반적인 통신환경에서 Rayleigh 채널에 대한 AF와 DAF성능을 비교하였다.

2. 시스템 및 채널모델

가. 시스템 모델

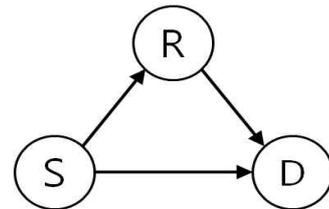


그림 1 릴레이 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 송신단(S), 수신단(D), 릴레이(R)로 구성된 채널 모델을 갖는다. 신호 전송은 송신단으로부터 수신단과 릴레이에 신호를 전송하는 단계와 릴레이에서 수신단으로 신호를 전송하는 두 단계로 나뉜다. 또한 릴레이는 송신과 수신을 한번에 할 수 없는 반이중 모드에서 송수신을 수행한다. 수신단 D는 첫 단계에서 수신된 신호와 두 번째 단계에서 수신된 신호를 MRC(Maximal Ratio Combining)로 더한다.

수신된 신호의 세기는 각 구성단간의 경로 감쇄를 통해 수신된 신호의 세기를 표현한다[4]. 이때 안테나는 unity gain을 지니고 평균 채널 계수의 크기를 1로 평균 잡음의 세기를 1로 가정한다. Reference distance가 d_0 인 경우 신호 감쇄 모델은 다음과 같다.

$$\overline{PL}(d)[dB] = 10\log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)^2 + 10\beta\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

여기서 λ 는 신호 파장의 길이, β 는 경로 감쇄 지수를 의미한다. 송신신호의 크기를 P_t [dB]라 하고 수신된 평균 신호 대 잡음비를 γ_{SD} [dB]라 하면 송신단과 수신단 사이에서 경로 감쇄를 거친 신호로부터 관계는 (2)와 같다.

$$P_t[dB] = \gamma_{SD}[dB] + \overline{PL}(d)[dB] \quad (2)$$

이때, 릴레이가 받은 평균 신호 대 잡음비와 수신단에서 송신단으로부터 받은 평균 신호 대 잡음비 사이는 (3)과 같다.

$$\gamma_{SR}[dB] = \gamma_{SD}[dB] + 10\beta \log\left(\frac{d_{SD}}{d_{SR}}\right) \quad (3)$$

릴레이에서도 송신단과 같은 신호의 세기로 전송한다고 가정하면 γ_{RD} 와 γ_{SD} 의 관계는 (4)와 같이 표현 가능하다.

$$\gamma_{RD}[dB] = \gamma_{SD}[dB] + 10\beta \log\left(\frac{d_{SD}}{d_{RD}}\right) \quad (4)$$

나. 채널 모델

본 논문에서는 BPSK변조를 사용하고 Rician fading 채널 모델의 각 구성단에서 받은 신호는 다음과 같다.[2]

$$y_{SD}(i) = \alpha_{SD} \sqrt{PL_{SD}^{-1}} \sqrt{P_t} x_s(i) + n_{SD}(i) \quad (5)$$

$$y_{SR}(i) = \alpha_{SR} \sqrt{PL_{SR}^{-1}} \sqrt{P_t} x_s(i) + n_{SR}(i) \quad (6)$$

$$y_{RD}(i) = \alpha_{RD} \sqrt{PL_{RD}^{-1}} \sqrt{P_t} x_r(i) + n_{RD}(i) \quad (7)$$

여기서 α 는 BPSK변조를 사용하였기 때문에 Rician 페이딩 채널 계수의 크기로 복소 가우시안 계수의 크기이며 LOS 성분의 신호세기 와 다른 성분의 신호세기 비로 결정되는 K 인자에 의해 (8)과 같이 결정된다[5]

$$\alpha_{SD} = \sqrt{\frac{K_{SD}}{1+K_{SD}}} + \sqrt{\frac{1}{1+K_{SD}}} \tilde{h} \quad (8)$$

이때, \tilde{h} 는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 가우시안인 확률변수 이다.

2. 증폭 후 전송(AF)

증폭 후 전송 방식은 릴레이가 송신단으로부터 전송받은 신호를 추가처리과정 없이 전송과워만 조절하는 과정이 있다. 릴레이의 SISO를 통과 후 증폭 인자를 곱해준 신호 $x_r(i)$ 는 식(9)와 같다.

$$x_r(i) = \frac{y_{SR}(i)}{\sqrt{P_t}}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (9)$$

N은 전송신호의 길이이다. 수신단에서 받은 신호 $y_{RD}(i)$ 는

$$y_{RD}(i) = \frac{\alpha_{RD} \alpha_{SR} P_t}{\sqrt{P_y} \sqrt{PL_{SD} PL_{RD}}} x_s(i) + \frac{\alpha_{RD} \sqrt{P_t}}{\sqrt{P_y PL_{RD}}} n_{SR}(i) + n_{RD}(i) \quad (10)$$

이때, 릴레이로부터 수신단에서 받은 신호는 $x_s(i)$ 가 BPSK 변조에 의해 $\alpha_{RD} \alpha_{SR} P_t / (\sqrt{P_y} \sqrt{PL_{SD} PL_{RD}})$ 의 페이딩 계수와 $\alpha_{RD}^2 P_t / (\overline{P_y} PL_{RD}) + 1$ 의 잡음 분산을 갖는 신호로 볼 수 있다. 이때, 수신단은 송신단으로부터 온 신호와 릴레이로부터 온 신호를 MRC하게 되는데 이는 각각의 구성단으로부터 온 신호의 LLR값으로 두 신호를 더한다.[2]

$$l_{AF}(i) = \frac{2\alpha_{SD} \sqrt{P_t}}{\sqrt{PL_{SD}}} y_{SD}(i) + 2 \frac{\alpha_{SD} \alpha_{RD} P_t \sqrt{P_y PL_{SD} PL_{RD}}}{\alpha_{RD}^2 P_t PL_{SD} + PL_{SD} PL_{RD} P_y} y_{RD}(i) \quad (11)$$

3. 복호 후 증폭 전송(DAF)

복호 후 증폭 전송은 릴레이에서 SISO를 통해 송신단으로부터 온 신호를 복호하고 LLR값을 AF방식과 같이 증폭 후 전송한다. 신호의 길이 N이 클 때, 가우시안 근사를 이용하면, 릴레이의 결과로 나오는 LLR값, $l_{SR}^{DEC}(i)$ 은 u_i 을 평균으로 갖고 σ_i^2 를 분산으로 갖는 변수로 볼 수 있다. 본 논문에서는 BCJR 알고리즘[6]을 이용해 복호한다. $l_{SR}^{DEC}(i)$ 의 평균 파워 제공된 값을 증폭 인자로 사용한다.

$$\overline{P_t} = \frac{\sum_{i=0}^N (l_{SR}^{DEC}(i))^2}{N} \quad (12)$$

$$x_R(i) = \frac{l_{SR}^{DEC}(i)}{\sqrt{\overline{P_t}}} = \tilde{u}_i x_s(i) + n_i(i) \quad (13)$$

이 때, 수신단이 릴레이로부터 받은 신호는 (14)와 같다.

$$y_{RD}(i) = \frac{\alpha_{RD} \sqrt{P_t}}{\sqrt{PL_{RD}}} x_r(i) + n_{RD}(i) = \frac{\alpha_{RD} \tilde{u}_i \sqrt{P_t}}{\sqrt{PL_{RD}}} x_s(i) + \alpha_{RD} \frac{\sqrt{P_t}}{\sqrt{PL_{RD}}} n_i(i) + n_{RD}(i) \quad (14)$$

AF프로토콜과 같이 릴레이와 송신단으로부터 온 신호를 MRC하면 (15)와 같다.

$$l_{DAF}(i) = \frac{2\alpha_{SD} \sqrt{P_t}}{\sqrt{PL_{SD}}} y_{SD}(i) + \frac{2\alpha_{RD} \sqrt{P_t PL_{RD} \tilde{u}_i}}{\alpha_{RD}^2 P_t \sigma_i^2 + PL_{RD}} y_{RD}(i) \quad (15)$$

4. 실험 결과

본 절에서는 앞에서 분석한 AF방식과 DAF방식에 대한 Rician 페이딩을 가정한 60GHz에서 통신과 Rayleigh 페이딩을 가정한 2.1GHz에서의 BER성능을 보인다. 본 실험에 사용한 전체 메시지비트는 1024

이고 Convolutional Code의 부호율은 1/2이다. LOS 성분의 신호세기 와 다른 성분의 신호세기 비로 결정되는 K 인자는 주파수 대역과 사이 거리에 의해 결정되고 경로 감쇄 지수는 통신환경에 따라 달라진다. 실험에서는 60GHz대역의 실내를 통신환경으로 보았다[5].

그림 2는 60GHz대역의 Rician 페이딩 환경의 실험이다. Reference distance는 1m, 송신단-릴레이의 거리는 6m, 송신단-수신 단의 거리는 6m, 릴레이-수신단의 거리는 10m로 보고 경로감쇄 지수 β 는 1.9로 설정하였다[7]. Direct는 협력 통신을 사용하지 않을 때 이 고 협력 통신을 사용하는 AF와 DAF기법에서 DAF기법이 AF기법에 비해 3dB가량의 이득을 보인다.

그림 3은 2.1GHz대역의 Rayleigh 페이딩 환경의 실험이다. 각 구 성단사이의 거리비를 유지하기 위해 송신단-릴레이의 거리는 300m, 송신단-수신단의 거리는 300m, 릴레이-수신단의 거리는 500m, 경로 감쇄 지수는 β 는 3으로 설정하였다. DAF기법이 AF기법에 비해 2dB 가량의 이득을 보였다. 그림 4.는 AWGN환경에서 DAF와 AF협력통신 기법을 적용한 결과로 1dB 성능 이득을 보인다.

같은 거리에 대해 Rayleigh 페이딩이 적용되는 통신보다 LOS 가 보장되는 Rician 페이딩환경에서의 통신이 AF기법 보다 DAF기법 에 유리한 것을 확인 할 수 있다.

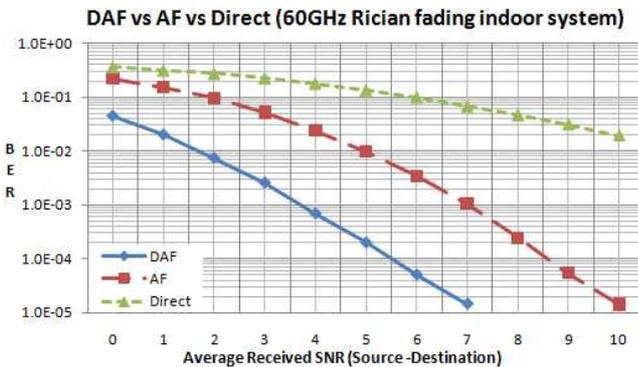


그림 2 60GHz Rician 페이딩 환경에서 DAF방식과 AF방식의 비교

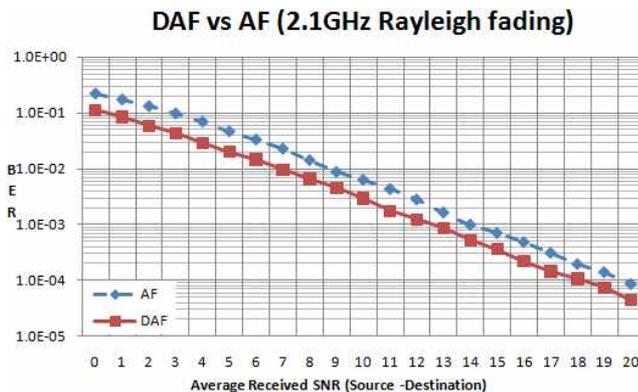


그림3 2.1GHz Rayleigh 페이딩 환경에서 DAF방식과 AF방식 비교

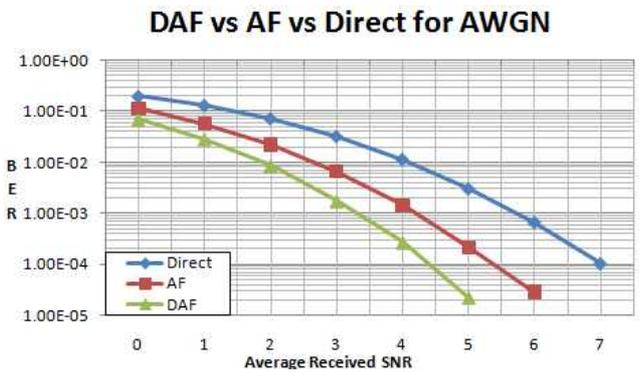


그림4 AWGN환경에서 DAF방식과 AF방식 비교

5. 결론

본 논문에서는 협력통신 기법 중 DAF기법을 소개하고 DAF기법 이 AF기법보다 우수함을 BER성능실험을 통해 보였다. 또한 2.1GHz 대역의 LOS가 보장되지 않는 통신환경에 대해 AF기법과 DAF기법의 성능이득을 보였다. 초고속 근거리 통신의 경우 LOS가 되어 LOS가 보장되지 않는 Rayleigh 페이딩의 경우에 대해 DAF기법이 AF기법 에 비해 성능이득차가 커 DAF기법이 LOS가 보장되는 60GHz대역에서 AF기법보다 유용함을 보였다.

Acknowledgement

“본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술개발 사업의 연구결과로 수행되었음”(KCA-2011-08913-04002)

참고문헌

- [1] J. Nicholas Laneman, David N.C.Tse, Gregory W. Wornell, "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient protocols and Outage Behavior," IEEE Transactions on Information Theory, Vol.50, No.12, December 2004
- [2] X. Bao and J Li, "Efficient message relaying for wireless user cooperation: Decode-Relay-Forward (DAF) and hybrid DAF and coded-cooperation," IEEE Transaction on Wireless Communication, vol. 6, no. 11, pp. 3975-3984, Nov. 2007.
- [3] Shu Lin and Daniel J. Costello, Error Control Coding, Prentice Hall, 2004
- [4] T. S. Rappoport, Wireless Communications: Principles and Practice, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [5] Y. Zhu, Y. xin, and P. Y. Kam, "Outage probability of rician fading relay channels," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 4, pp. 2648-2652, July 2008.
- [6] L. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, and J. Raviv, "Optimal Decoding of Linear Codes for minimizing symbol error rate", IEEE Transactions on Information Theory, vol. IT-20(2), pp.284-287, March 1974.
- [7] D. Dardari, L. Minelli, V. Tralli, O. Andrisano. "Wideband Indoor Communication Channels at 60GHz", IEEE Transactions on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol.3 pp.791-794, Oct 1996.