

# 60 GHz 채널 환경에서의 릴레이를 이용한 중계 시스템 연구

## Performance of Relaying Protocols in 60 GHz Wireless Networks

이 용 욱\*, 강 동 훈\*, 박 효 배\*, 오 왕 록\*\*

(Yongwook Lee, Donghoon Kang, Hyobae Park, Wangrok Oh)

**Abstract** - In this paper, we exploit the cooperative diversity relay protocol to compensate for defects of wireless communication in 60 GHz. We derive and proof results of the numerical expressions versus various scenarios using the computer simulations. Optimal location and scaling factor of relay are presented through analysis of performances and compared between direct-path and time diversity transmission. Consequently, our results confirm that cooperative diversity relay protocol is an effective mean of enhancing the performance of wireless communication systems in 60 GHz.

**Key Words** : Cooperative diversity relay, Time diversity, Relaying protocol, millimeter wave, 60 GHz

### 1장. 서 론

최근 무선 통신 환경에서는 높은 데이터 전송률을 지원하는 서비스의 급증으로 새로운 주파수 대역인 밀리미터파 대역 (millimeter wave, mmW)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 60 GHz 대역은 허가를 득하지 않고 사용할 수 있는 대역으로 실내 고속 무선 송수신 시스템을 위하여 활용할 수 있는 잠재성을 가지고 있다. 60 GHz 대역의 특성은 직진성이 강하고 주변 간섭에 강건할 뿐만 아니라 각종 소자의 소형화 및 경량화가 가능한 장점이 있다. 반면에 자유 공간을 통해 전파되면서 겪게되는 전파손실 (path loss)이 커서 전파거리가 짧으며 강한 직진성으로 인한 전파 경로상의 방해물로 인하여 전파가 단절되는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 60 GHz 대역의 단점들을 보완하는 새로운 프로토콜들이 다양한 계층별로 제안되었고 그 중 대표적인 것으로 릴레이를 통한 중계 시스템을 들 수 있다<sup>[1]</sup>. 협력 다이버시티 중계 (cooperative diversity relay) 통신 기법은 무선 통신 시스템의 효율성을 결정하는 요소인 시스템 용량 (capacity), 커버리지 (coverage), 그리고 신뢰성 (reliability)을 향상시키기 위해 최근 많이 연구되고 있는 기법이다. 이 협력 다이버시티 중계에서는 각 단말기 (terminal)에 1개 혹은 그 이상의 협력 단말이 지정되며, 이러한 협력 다이버시티 중계를 여러 개 중계 단말을 거쳐서 전송하는 방식을 다중 홉 중계 시스템 (multi-hop relay system)이라고 한다. 협력 단말들은 서로에게 송신 신호를 전달받고 목적 단말 (destination terminal)에게 재전송하여 수신기 측에서 다이버시티 효과를 얻는다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 60 GHz 대역 WPAN (wireless personal area network) 시스템에서 응용 가능한 모델인 송신 단말과 수신 단말 사이에 한 개의 중계 단말

(two-hop)이 있어서 협력 통신을 하는 가장 기본적인 시스템 모델 하에, 지향성 통신이므로 송신 단말은 LOS (line of sight) 경로나 중계기를 통한 우회 경로 중 한 경로로만 데이터를 전송하는 시분할 방식 (TDM)을 가정한다. 또한 중계기는 송신 단말로부터 신호를 받으면 단순히 특정 이득을 곱하여 증폭한 후 그대로 수신 터미널로 전송하는 방식인 amplify-and-forward (AF) 프로토콜을 사용한다<sup>[3]</sup>. 이 후 본 논문의 구성은 II장에서 구현하려고 하는 환경을 도식하고 각각의 환경에 따른 성능을 수식으로 도출하며 III장에서는 전산실험을 통하여 도출된 성능을 입증하며 IV장에서는 결론을 맺는다.

### 2장. 시스템 모델

#### 2.1 채널 모델

시스템의 구성을 위한 채널 모델은 60 GHz 대역에서의 Residential 모델로 IEEE 802.15.3c WPAN의 표준화 과정에서 사용하고 있는 CM1.3을 가정하였다<sup>[4]</sup>. LOS가 존재할 때의 TSV (triple S-V: Shoji-Sawada-Saleh-Valenzuela) 모델<sup>[5]</sup>을 기반으로 하였으며 안테나 모델은 Reference antenna model (IEEE 15-06-0427-04-003c)로 Tx와 Rx의 전파각도는 각각 30°와 15°로 설정하였다.

#### 2.2 시나리오

본 절에서는 릴레이를 이용한 시스템을 시나리오별로 구분하여 환경을 각각 도식하고 성능을 도출하였다.

##### 2.2.1 릴레이의 위치에 따른 성능

그림 1에서 볼 수 있듯이 릴레이가 송신부 (source)와 수신부 (destination)의 중간지점에 위치한다고 가정하면 가장 좋은 성능을 얻기 위한 최적의 릴레이 위치를 찾기 위하여 릴레이의 위치에 따른 성능을 분석해보았다. 먼저 릴레이의 성능분석에 앞서서 직접 경로를 통한 성능을 분석해 보면 직접 경로를 통한 수신신호를  $r_{direct}$  라고 하면

저자 소개

\* 준회원 : 충남대학교 정보통신공학과 석사과정

\*\* 정회원 : 충남대학교 전기정보통신공학부 조교수·공학박사

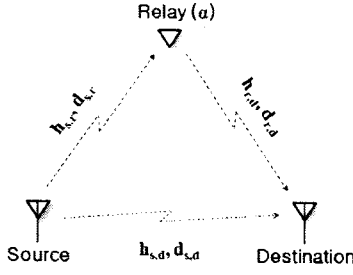


그림 1. two-hop 협력 중계 시스템  
Fig. 1. two-hop cooperative relaying system.

$$r_{direct} = (s * h_{s,d}) + n_{s,d} \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있고 여기서  $s$ 는 송신된 신호,  $h_{s,d}$ 와  $n_{s,d}$ 는 각각 송신부와 수신부 사이의 채널 impulse response와 AWGN noise를 나타낸다. 식 (1)을 다시 쓰면

$$r_{direct} = s'_{s,d} + n_{s,d} \quad (2)$$

$$r_{direct} = s_{s,d} + n'_{s,d} \quad (3)$$

와 같이 나타낼 수 있고 식 (2)의  $s'_{s,d}$ 은 채널의 다중경로 (multipath)와 전파손실 (path loss)의 영향을 함께 고려한 것이다. 이때, 전파손실에 의한 수신 신호  $s'_{s,d}$ 는 반대로 AWGN noise의 전력증가로 다시 쓸 수 있는데 이를 식 (3)에 나타내었다. 여기서 CM1.3의 채널 특성에 의하여 다중경로의 영향은 무시하였다. AWGN noise와 전파손실에 의한 noise variance를 구해보면 식 (4)에서

$$\sigma_{n'_{s,d}}^2 = \sigma_{n_{s,d}}^2 \left( \frac{d_{s,d}}{d_{ref}} \right)^\beta \quad (4)$$

와 같이 나타낼 수 있고  $d_{s,d}$ 와  $d_{ref}$ 는 각각 송신부와 수신부까지의 거리와 channel impulse response의 기준이 되는 거리를 나타내며  $\beta$ 는 전파손실 지수를 나타낸다<sup>[6]</sup>.

시스템의 변조방식을 QPSK라고 한다면 오류확률은 다음의 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Pr_{direct} &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{(d_{s,d}/d_{ref})^\beta N_0}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

같은 방법으로 릴레이 경로를 통한 성능을 분석해 보면 먼저 릴레이까지 수신된 신호를  $r_{s,r}$ 이라고 하면

$$r_{s,r} = (s * h_{s,r}) + n_{s,r} \quad (6)$$

와 같이 나타낼 수 있고 다시 수신부까지 수신된 신호를  $r_{relay}$ 라고 하면

$$\begin{aligned} r_{relay} &= \alpha(r_{s,r} * h_{r,d}) + n_{r,d} \\ &= \{\alpha(s * h_{s,r} + n_{s,r}) * h_{r,d}\} + n_{r,d} \\ &= \alpha(s'_{s,r} + n_{s,r}) * h_{r,d} + n_{r,d} \\ &= \alpha(s_{s,r} * h_{r,d}) + \alpha(n'_{s,r} * h_{r,d}) + n_{r,d} \\ &= \alpha s'_{s,r,d} + \alpha n'_{s,r,d} + n_{r,d} \\ &= \alpha s_{s,r,d} + \alpha n'_{s,r,d} + n'_{r,d} \end{aligned} \quad (7)$$

$$Pr_{diver} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{\frac{1}{2} E_b + \frac{\alpha^2}{2} E_b}{\left( \frac{d_{s,d}}{d_{ref}} \right)^\beta N_0 / 2 + \alpha^2 \left( \frac{d_{s,r}}{d_{ref}} \right)^\beta N_0 / 2 + \left( \frac{d_{r,d}}{d_{ref}} \right)^\beta N_0 / 2}} \right) \quad (10)$$

와 같이 나타낼 수 있고 여기서  $\alpha$ 는 릴레이의 증폭 계수 (scaling factor)이다. 식 (4)와 같은 방법으로 noise variance를 구해보면

$$\sigma_{n_{diver}}^2 = \alpha^2 \sigma_{n_{s,r}}^2 \left( \frac{d_{s,r}}{d_{ref}} \right)^\beta + \sigma_{n_{r,d}}^2 \left( \frac{d_{r,d}}{d_{ref}} \right)^\beta \quad (8)$$

와 같이 표현할 수 있고 최종적으로 릴레이 경로의 오류확률은

$$Pr_{relay} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{\alpha^2 E_b}{\alpha^2 \left( \frac{d_{s,r}}{d_{ref}} \right)^\beta N_0 + \left( \frac{d_{r,d}}{d_{ref}} \right)^\beta N_0}} \right) \quad (9)$$

과 같이 구할 수 있다.

## 2.2.2 릴레이의 증폭 계수에 따른 성능

송신부의 최대 사용 전력이 고정되어 있을 때 릴레이의 증폭 계수  $\alpha$ 에 따른 성능을 분석하고 그에 따른  $\alpha$ 값을 최적화하였다. 앞에서 나타낸 식 (5)와 (9)를 이용하여 릴레이의 위치를 고정하였을 때 증폭 계수  $\alpha$ 의 변화에 따른 성능을 확인할 수 있다. 최종 분석은 III장의 모의실험 결과에 함께 도식화 하였다.

## 2.2.3 시간 다이버시티를 이용한 성능

지금까지의 성능은 직접 경로와 릴레이만을 통한 단일 경로의 성능을 각각 비교한 것이지만 본 시나리오에서는 같은 신호가 전체 data time slot에서 절반씩을 사용하여 서로 다른 경로로 전송된다고 가정하였을 때 수신부에서 두 경로의 신호를 모두 수신하였을 때와 하나만 수신하였을 때의 성능을 나타내었다.

각각의 경로로 전송되는 신호가 전체 data time slot에서 절반씩을 사용한다는 것은 결국 절반의 전력으로 송신되는 것과 같은 의미이므로 식 (5)와 (9)를 이용하여 오류확률을 구해보면 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다. 각각의 시나리오별로 오류확률의 결과는 III장의 모의실험에 같이 나타내었다.

## 3장. 모의실험 결과

모의실험을 위하여 가정한 릴레이의 위치는 그림 2에 도식하였으며 각각의 환경별로 BER 성능은 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 BER 성능을 통하여 확인할 수 있듯이 릴레이의 증폭 계수( $\alpha$ )가 2 (=6 dB)이상이면 릴레이의 위치가 송신부에 가까워질수록 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 이는 거리에 따른 전파손실보다 릴레이의 증폭 계수에 의한 이득 (gain)이 더 크게 작용하기 때문이다. 그러나 이때에는 AOA (angle of arrival)가 작아짐에 따라 릴레이의 주된 사용 목적인 장애물로 인한 전파의 단절을 막기 위한 효과가 크지 않다는 것과 두 개의 경로를 동시에 수신한다면 직접경로와 릴레이의 경로 간에 ISI (Inter-symbol-interference)가 발생할 확률이 커질 것으로 예상할 수 있다. 결국 구현하려고 하는 환경에 맞는 릴레이의 위치 선정이 고려되어야 할 것이다. 또한 그림 4의 Env.1 환경의 BER 성능에서는 릴레이의 증폭 계수가 일정값 이상이면 더 이상 성능의 이득을 볼 수 없다

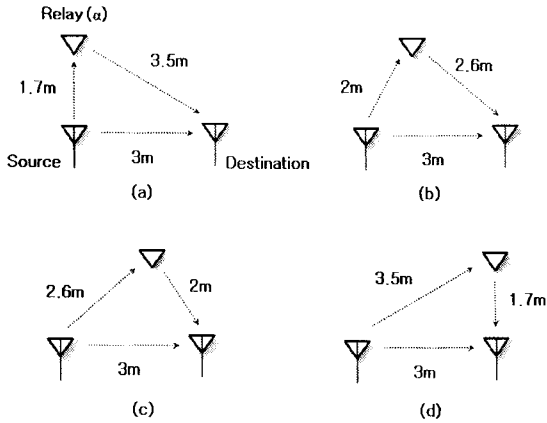


그림 2. 릴레이의 위치에 따른 환경 구성도 (a) Env.1 (b) Env.2 (c) Env.3 (d) Env.4  
 Fig. 2. Plot of environment construction versus location of relay (a) Env.1 (b) Env.2 (c) Env.3 (d) Env.4

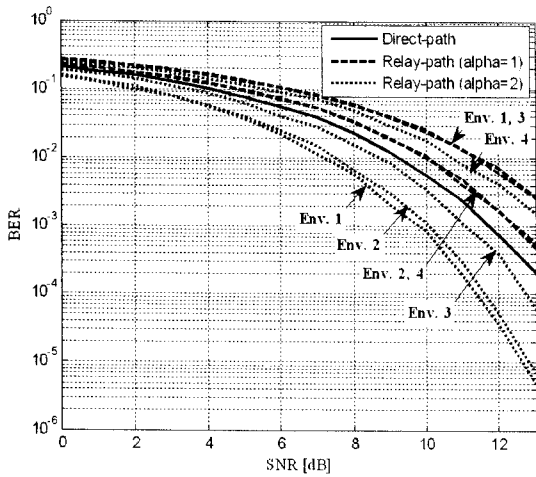


그림 3. 릴레이의 위치에 따른 BER 성능  
 Fig. 3. BER performance versus location of relay.

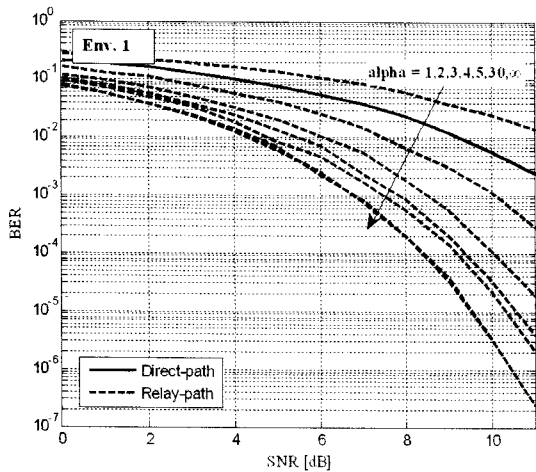


그림 4. 릴레이의 증폭 계수에 따른 BER 성능  
 Fig. 4. BER performance versus scaling factor of relay.

는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 송신부와 릴레이간의 채널 환경이 성능을 결정짓는 주요 요인으로 작용하기 때문이다.

그림 5에서는 시간 다이버시티를 이용하여 서로 다른 경로

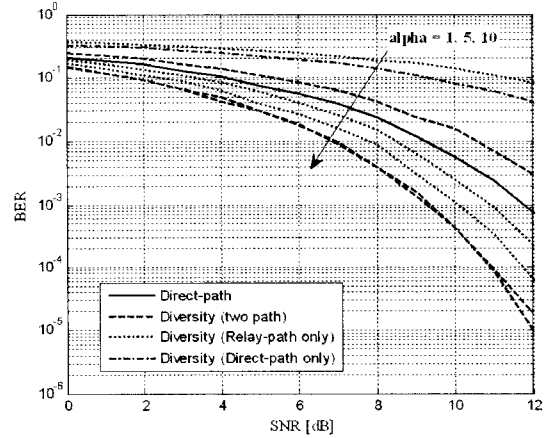


그림 5. 릴레이의 증폭 계수에 따른 BER 성능  
 Fig. 5. BER performance versus scaling factor of relay.

로 수신된 신호를 합쳤을 때의 성능과 다른 하나의 경로가 단절되었을 때의 성능을 보여주고 있다. 릴레이의 증폭 계수가 5 이상만 되어도 직접 경로로 전부 수신한 신호의 성능보다 다이버시티를 이용하였을 때 릴레이의 경로만을 통하여 수신한 신호의 성능이 더 좋은 결과를 보인다.

#### 4장. 모의실험 결과

본 논문에서는 60 GHz 대역이 가지는 전파 특성들 중 자유공간에서의 전파 손실과 전파 경로의 단절 등을 극복하기 위하여 협력 다이버시티 중계 기법을 도입하였으며 다양한 환경과 시나리오를 구성하여 각각의 성능을 수식으로 도출하고 컴퓨터 모의실험을 통하여 결과를 입증하였다. 최적의 릴레이 위치와 증폭 계수를 나타내었으며 시간 다이버시티를 이용한 방식이 효율적인 통신 기법임을 나타내었다. 결과적으로 릴레이를 이용한 중계 시스템이 60 GHz 대역의 무선 통신을 돕는 효율적인 수단이 될 수 있음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] H. J. Kwon, S. E. Hong, Y. S. Kim, K. P. Kim and W. Y. Lee, "Anti-blocking mechanism by relay," IEEE 802.15-08-0-01-003c, July 2008
- [2] R. Pabst, B. Walke, D. Schultz, P. Herhold, H. Yanikomeroglu, S. Mukherjee, H. Viswanathan, M. Lott, W. Zirwas, M. Dohler, H. Aghvami, D. Falconer and G. Fettweis, "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio," *IEEE Comm Magazine*, pp. 80-89, Setp. 2004
- [3] S. Yang and J. C. Belfiore, "Diversity of MIMO multihop relay channels-part I: Amplify-and-forward," *IEEE Trans. on Inform.*, Apr. 2007
- [4] S. K. Yong, "TG3c Channel modeling subcommittee final report," IEEE 802.15-07-0584-01-003c, Mar. 2007
- [5] K. Sato, H. Sawada, Y. Shoji and S. Kato, "Channel model for millimeter wave WPAN," *IEEE International Symposium on personal*, Sept. 2007
- [6] E. Zimmermann, P. Herhold and G. Fettweis, "On the performance of cooperative relaying protocols in wireless networks," *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, pp. 2212-2216, Oct. 2003