

# 전이중 릴레이 시스템에서 오수신 확률을 최소화 시키는 전송 기법

정희원 이 선 영\*, 종신회원 김 성 루\*\*°

## Outage Optimal Transmission Strategy for Full-Duplex Relay System

Sunyoung Lee\* *Regular Member*, Seong-Lyun Kim\*\*° *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 전이중 전송 방식을 사용하는 릴레이 전송 시스템의 오수신 확률을 최소화하는 전송 기법을 제안한다. 릴레이국이 전이중 전송 방식으로 동작하면, 단말국이 기지국과 릴레이국으로 받는 신호를 동시에 수신하게 되고, 두 송신국으로부터의 신호는 서로에게 간섭으로 작용하여 성능을 열화시킨다. 이로 인해 시스템의 오수신 확률이 높아지는데, 본 논문에서는 기지국이 레이어드 브로드캐스팅 기법을 적용하여 정보를 송신하고, 이 때 간섭의 양을 고려하여 전송 파워를 최적으로 할당함으로써 시스템의 오수신 확률을 낮추었다. 이를 위해 제안하는 기법의 용량 및 오수신 확률을 수식적으로 유도하였고, 오수신 확률을 최소화 시키는 파워 할당 비율을 제시하였다. 제안된 전이중 전송 방식 및 파워 할당 알고리즘은 추가적인 자원 할당으로 자원의 비효율성을 발생 시키는 반이중 전송 방식의 릴레이 전송 방식에 대한 좋은 해법을 제공할 수 있다.

**Key Words** : relay system, layered broadcasting, full-duplex relay, outage probability, power allocation

### ABSTRACT

In this paper, we proposed a transmission scheme for a full-duplex relay system that minimizes outage probability. A relay system with the full-duplex relay can mitigate resource inefficiency of a half-duplex relay system. However, the mobile station suffers from the interference because the base station and the relay station transmits signal simultaneously to the mobile station. First, we suggest a layered broadcasting for full-duplex relaying. Second, we derive an optimal power allocation for the layered broadcasting in terms of the outage probability minimization. The proposed algorithm shows better performance than a half-duplex relaying system with and without the diversity, and a conventional full-duplex relaying system.

### 1. 서 론

3GPP LTE, IEEE 802.16, 802.20 등 차세대 이동통신 시스템에서는 향상된 데이터 전송 속도를 지원하기 위해 OFDM, MIMO 등의 기술을 도입하고 있

다. 그러나, 제한된 송신 전력으로 높은 데이터 전송 속도를 지원하면 낮은 Eb/No로 인해 오류율이 증가한다. 뿐만 아니라 2GHz 보다 높은, 고주파 대역의 사용이 불가피하므로 음영 지역이 증가할 것으로 예상된다. 릴레이 시스템은 분산된 다중 안테나 시스템을

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1111-0011))

\*\* 연세대학교 전기전자공학과 무선자원최적화연구실 (sunyoung@yonsei.ac.kr)

\*\* 연세대학교 전기전자공학과 (slkim@ramo.yonsei.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-03-160, 접수일자 : 2011년 3월 25일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 1일

형성함으로써 다이버시티 이득을 증가시키거나 직접 경로의 경로손실을 줄임으로써 수신 신호대간섭비를 높이고 수신 신호의 오류율을 감소시키므로 고속의 전송 속도를 통해 향상된 서비스를 제공하고자 하는 차세대 통신 시스템에 매우 적합하다. 때문에, 상향링크에서 각각의 사용자가 다중 안테나 시스템의 안테나와 같이 동작하는 사용자 협력 릴레이 시스템뿐만 아니라, 하향링크에서 고정된 릴레이국 (RS) 을 사용하는 시스템 등 다양한 형태로 연구되고 있다<sup>[1-3]</sup>.

릴레이 시스템을 도입함으로써 음영지역 문제가 해결되고 높은 데이터 전송 속도를 뒷받침 할 수는 있지만, 동시에 송수신 하지 못하는 반이중 전송 방식 (Half-duplex)의 릴레이를 활용할 경우, 릴레이국에 추가적으로 자원을 할당해야한다. 일반적인 릴레이 시스템은 그림 1과 같이 첫 번째 타임 슬롯에 기지국 (BS) 이 브로드캐스팅하고, 두 번째 타임 슬롯에 릴레이국이 단말국 (MS) 에게 전송한다. 단말국이 정보를 수신하기 위해서는 2개의 타임 슬롯이 필요하다. 때문에, 다이버시티 이득을 얻고, 경로 손실을 줄일 수는 있으나, 전송 효율을 크게 감소시켜 성능 향상이 미미하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 릴레이 시스템의 멀티플렉싱 손실을 극복하고, 전송 효율을 높이기 위해 전이중 전송(Full-duplex) 릴레이를 고려한 전송 방법을 제안한다.

일반적인 무선 환경에서 동일 무선 자원을 이용하여 송신과 수신을 동시에 수행하는 전이중 전송 방식은 송신 신호가 수신 안테나로 강하게 수신됨으로써 매우 큰 간섭을 야기하므로 원하는 신호를 수신하기 어렵다. 그러나, 물리 계층의 간섭 제거 기술을 통해 전이중 전송 방식의 릴레이는 동시에 송신과 수신 가능하다<sup>[4]</sup>. 본 연구는, 직접 경로를 간섭으로 여기고 수신 신호대간섭비를 제어했던 종래의 연구와 달리, 직접 경로를 활용하여, 수신 신호의 다이버시티 이득을 얻으면서 신호대 간섭비를 제어하는 것을 목적으로 한다.

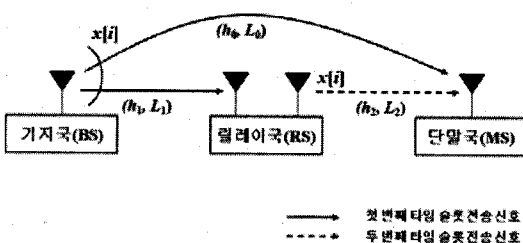


그림 1. 반이중 전송 방식 릴레이 시스템의 전송 구조  
Fig. 1. Transmission structure for half-duplex relay system.

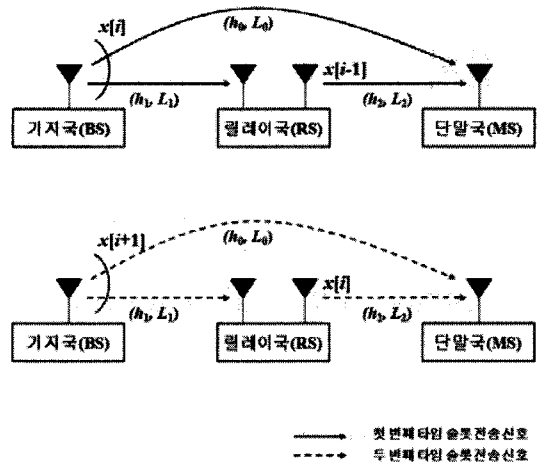


그림 2. 종래 방식 전이중 전송 방식의 릴레이를 사용한 전송 구조  
Fig. 2. Conventional transmission structure of full-duplex relay system.

제 II장에서는 시스템 모델 및 종래 기법을 설명하고, 문제점을 찾는다. 이어지는 III장에서는 제안하는 방식의 전이중 전송 방식을 소개하고, IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제시된 방식의 적합성을 보이고자 한다.

## II. 시스템 모델 및 종래 기법

### 2.1 시스템 모델

일반적인 전이중 전송 방식의 릴레이 시스템은 그림 2와 같다. 릴레이국은 기지국으로부터 신호를 수신 후, 복호 후 재전송 (Decode-and-Forward) 하는 방식을 취한다. 매 타임 슬롯에서 릴레이국은 이전 수신 신호를 전송해주는 동시에, 현재 신호를 수신한다. 전이중 전송 방식의 릴레이 시스템은 각 링크 간 영향을 미치는 간섭을 효과적으로 제어하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는, 기존 전이중 전송 방식 릴레이 시스템을 바탕으로 간섭을 효과적으로 제어할 수 있는 전송 방식을 제안한다.

기지국으로부터 단말국, 기지국으로부터 릴레이국 그리고 릴레이국으로부터 단말국의 레일레이 페이딩 채널 값은 각각  $h_0, h_1, h_2$  라고 하며, 평균이 0, 분산이 1인 레일레이 분포를 따른다. 채널의 이득은  $G_i = |h_i|^2$  라 나타내고, 각 링크의 경로 손실은  $L_0, L_1, L_2$ , 그리고 신호대 잡음비는  $\gamma$  이다. 릴레이국은 단말국으로의 전송 속도를 향상시키기 위해 기지국과 단말국 사이에 존재하며, 링크 별 경로 손실 모델은 채널/트래픽 등 멀티홉 시스템의 구형 방식에 다루고

표 1. 각 구간별 경로 손실 모델  
Table 1. Path loss model for links

링크	경로 손실 모델
기지국 - 단말국	Type C
기지국 - 릴레이국	Type D
릴레이국 - 단말국	Type E

있는 IEEE 802.16j-06/013 문서를 참조하여 표 1에 정리하였다. 표 1의 모델은 단말국으로의 전송 속도를 높이기 위해 릴레이국이 기지국과 단말국 사이에 설치된다고 가정한다. 기지국은 높은 빌딩이나 산 위에 설치되므로, 기지국과 단말국 사이의 채널은 Type C, 즉, Flat terrain with light tree densities 이며, 가시선 (Line of sight)을 형성한다. 기지국과 릴레이국간 링크의 성능 열화로 인해 전체적인 성능이 감소하는 것을 방지하기 위해, 릴레이국은 기지국과 가시선을 형성할 수 있도록 설치된다고 가정하며, 기지국과 릴레이국간 채널은 Type D를 형성한다. 릴레이국과 단말국 사이의 링크는 Type E의 경로 손실 모델을 따르며 가시선을 형성하지 않는다.

단말국은 기지국과 릴레이국으로부터 정보를 수신하며, 릴레이국이 반이중 전송 방식으로 전송하는지 또는 전이중 전송 방식으로 전송하는지에 따라 단말국의 수신 신호는 달라진다. 또한, 정보를 송수신 할 때, 하나의 주파수 자원을 사용한다고 가정하며, 사용되는 자원의 시간 단위는 타임 슬롯이라 한다.

### 2.2 종래 기법

그림 1은 반이중 전송 방식을 사용하는 릴레이 시스템을 나타내고 있다. 첫 번째 타임 슬롯에 기지국 (BS)이 브로드캐스팅하고, 두 번째 타임 슬롯에서 릴레이국은 수신 신호를 복호 후 단말국 (MS)에게 전송한다. 단말국이 정보를 수신하기 위해 두 타임 슬롯을 필요로 한다. 앞서 밝혔듯이, 이러한 방식은 다이버시티 이득을 얻고, 경로 손실을 줄일 수는 있으나, 전송 시간의 증가로 효율을 크게 감소시켜 성능 향상이 미미하다는 단점이 있다.

전이중 전송 방식에 관한 연구는 크게 두 분류로 나눌 수 있다. 첫째는, 여러 개의 반이중 전송 방식의 릴레이를 활용하여 마치 전이중 전송 방식과 같이 보이도록 운용하는 것이고, 둘째는, 실제로 전이중 전송 방식의 릴레이국을 사용하는 것이다. 그림 3은 여러 개의 반이중 전송 방식의 릴레이국을 활용하여 전이중 전송과 같은 효과를 내는 경우의 예이다. 기지국은 연속한 타임 슬롯에 새로운 정보를 송신하고, 두 개의 반이중 전송 방식 릴레이국이 번갈아가며 수신 신호

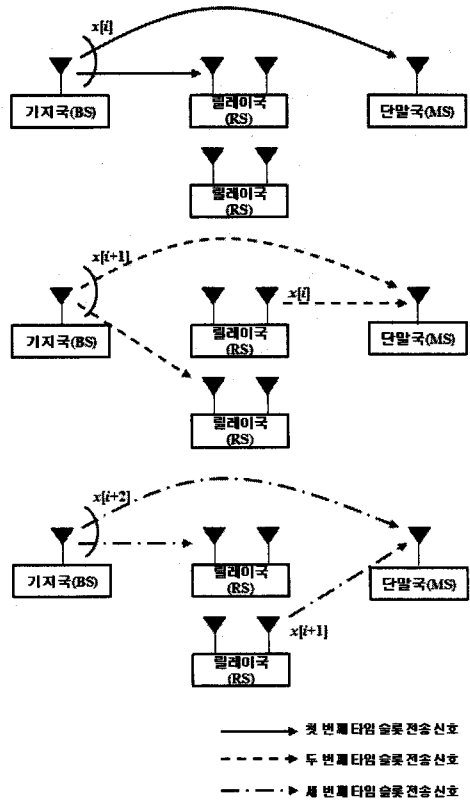


그림 3. 여러 개의 반이중 전송 방식의 릴레이국을 사용하는 릴레이 시스템의 전송 구조  
Fig. 3. Transmission structure of half-duplex multiple relay stations

를 복호 후 전송하므로, 단말국은 모든 타임 슬롯에서 새로운 정보를 수신한다. 이러한 방식은 두 번째 타임 슬롯과 세 번째 타임 슬롯에서 송신 중인 릴레이국 신호가 수신 중인 릴레이국에게 간접 신호로 작용할 수 있다. 이에 반해, 실제로 전이중 전송 방식의 릴레이를 활용할 경우, 그림 2에서 볼 수 있듯이 기지국에서 브로드캐스팅하는 신호는 릴레이국으로부터 신호를 수신 중인 단말국에게 간섭을 일으킨다. [4]에서는 전이중 전송 방식의 릴레이국을 사용할 때, 각각의 기지국과 릴레이국이 평균 전송 파워의 제약조건 하에서, 기지국과 릴레이국의 파워 할당 알고리즘을 제안하였다. 기지국으로부터 수신하는 신호를 간섭으로 모델링하고, 단말국에서의 수신 신호대간섭비를 최대화 시켜 용량을 최대화시키는 방식이다. 많은 릴레이 시스템에서 직접경로를 통한 수신환경이 열악할지라도 [4]에서와 같이 직접 경로를 활용할 여지를 두고 있는 것은, 다이버시티 이득을 통한 성능의 향상을 기대할 수 있기 때문이다. 각 전송 기법의 성능 비교를 위해 최대 용량 및 오수신 확률<sup>[5]</sup>을 알아보도록 한다.

2.2.1 반이중 전송 방식 릴레이

반이중 전송 방식 전송 릴레이의 경우, 각 송신국(기지국 및 릴레이국)이 직교하는 자원(시간 또는 주파수)을 이용하여 전송을 시도한다(주로 시간 분할 전송 방식). 즉,  $i$  번째 타임 슬롯에 기지국이 릴레이국에게 정보를 전송고,  $i+1$  번째 타임 슬롯에 릴레이국이 단말국으로 정보를 전송한다. 이 때, 단말국이 직접 경로를 활용하는지 여부에 따라 다이버시티 이득을 얻을 수도 있다. 직접 경로를 활용하지 않을 경우, 즉, 단말국이 오직 릴레이국으로부터만 정보를 전송받을 경우, 용량은 다음과 같다.

$$C(\gamma) = \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \gamma \min \left( \frac{G_1}{L_1}, \frac{G_2}{L_2} \right) \right) \quad (1)$$

오수신 확률은 용량이 목표 용량  $R$  보다 작을 확률,  $\Pr(C(\gamma) < R)$ , 이며, 반이중 전송 방식 전송 릴레이의 오수신 확률은 (2)와 같다.

$$\Pr[C(\gamma) < R] = 1 - e^{-\frac{(L_1+L_2)(2^{2R}-1)}{\gamma}} \quad (2)$$

단말국에서 직접경로를 활용하여 다이버시티 이득을 얻을 경우, 기지국은  $i+1$  번째 타임 슬롯에서 이전 타임 슬롯의 전송 신호를 재전송한다. 단말국은  $i+1$  번째 타임 슬롯에서 기지국과 릴레이국으로부터 신호를 수신한다. 이를 반영한 오수신 확률은 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr[C(\gamma) < R] &= \Pr \left[ \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \gamma \frac{G_0}{L_0} + \gamma \min \left( \frac{G_1}{L_1}, \frac{G_2}{L_2} \right) \right) < R \right] \\ &= 1 - \frac{1}{L_0 - (L_1 + L_2)} \\ &\quad \cdot \left( e^{-\frac{(L_1+L_2)2^{2R}-1}{\gamma}} L_0 - e^{-\frac{L_0(2^{2R}-1)}{\gamma}} (L_1 + L_2) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2.2 양방향 동시 전송 방식 릴레이

종래의 전이중 전송 방식에서, 기지국은 매 타임 슬롯마다 새로운 정보를 전송하고, 동시에 릴레이국은 이전 타임 슬롯에 기지국으로부터 받은 정보를 단말국에게 전송한다.  $i$  번째 타임 슬롯에서 릴레이국과 단말국의 수신 신호,  $y_{RS}[i]$ 와  $y_{MS}[i]$ 는 아래와 같다.

릴레이국의 수신 신호 :

$$y_{RS}[i] = \frac{x[i]G_r h_{1[i]}}{\sqrt{L_1}} + n_{RS}[i]$$

단말국의 수신 신호 :

$$y_{MS}[i] = \frac{x[i]G_b h_{0}[i]}{\sqrt{L_0}} + \frac{x[i-1]G_r h_{2}[i]}{\sqrt{L_2}} + n_{MS}[i]$$

이 때,  $x[i]$ 는 기지국이  $i$ 번째 타임 슬롯에 전송한 정보,  $n_x[i]$ 는  $i$ 번째 타임 슬롯에  $X$ 에서의 잡음이다.  $G_b$ 와  $G_r$ 는 기지국과 릴레이에서의 채널 보상 값으로 각각  $G_b = h_0^*/|h_0|^2$  이고  $G_r = h_2^*/|h_2|^2$  이다. 종래의 전이중 전송 방식의 용량은 (4)와 같다.

$$C(\gamma) = \log_2 \left( 1 + \min \left( \frac{G_1}{L_1} \gamma, \frac{G_2/L_2}{G_0/L_0 + 1/\gamma} \right) \right) \quad (4)$$

그러므로, 오수신 확률은 (5)와 같다.

$$\Pr[C(\gamma) < R] = 1 - \frac{L_0 e^{-(2^R-1)(L_1+L_2)/\gamma}}{L_0 + L_2(2^R-1)} \quad (5)$$

III. 제안하는 방식의 전이중 전송 방식

3.1 전송 구조

종래 방식 전이중 전송 방식의 문제점은, 단말국이  $i$ 번째 타임 슬롯에서 기지국과 릴레이국의 신호를 모두 수신하는 것이다. 이 신호에는 기지국이  $i$ 번째 타임 슬롯에 전송한 정보  $x[i]$  뿐만 아니라  $i-1$ 번째 타임 슬롯에 전송한 정보  $x[i-1]$ 가 모두 포함되어 있기 때문에, 두 정보 간에 간섭이 발생하고, 오수신 확률을 높이는 원인이 된다. 때문에, 본 논문에서는  $i$ 번째 타임 슬롯에서 기지국이 브로드캐스팅 할 때에  $i$ 번째 전송 정보  $x[i]$ 와 이미  $i-1$ 번째 타임 슬롯에서 전송한  $x[i-1]$ 를  $1-\alpha$  대  $\alpha$ 의 비율의 파워를 할당하여 동시에 전송함으로써 단말국에서  $i-1$ 번째 전송 정보를 효율적으로 복호할 수 있도록 하는 방식을 제안한다. 이러한 방식을 레이어드 브로드캐스팅이라 한다<sup>[6]</sup>. [6]에서는 릴레이가 존재하는 네트워크를 구성하는 가장 기본 단위 네트워크, 즉 기지국, 릴레이국, 릴레이를 활용하는 단말국과 그렇지 않은 단말국으로 구성된 네트워크에서, 두 단말국이 모두 요구 전송 속도를 만족시킬 수 있는 레이어드 브로드캐스팅에 대해 연구되었다. 제안하는 방식과 비교하는 방식들의 전송 구조를 표 2에 나타내었다.

표 2. 제안된 방식과 비교하는 방식들의 타임 슬롯 별 전송 신호  
Table 2. Transmission signal at each time slot for the proposed and other systems.

	타임 슬롯	기지국	릴레이국
제안된 방식	i	$(\sqrt{\alpha} x[i-1] + \sqrt{1-\alpha} x[i]) G_b$	$x[i-1] G_r$
	i+1	$(\sqrt{\alpha} x[i] + \sqrt{1-\alpha} x[i+1]) G_b$	$x[i] G_r$
반이중 전송 방식	i	$x[i]$	-
	i+1	-	$x[i]$
전이중 전송 방식	i	$x[i]$	$x[i-1]$
	i+1	$x[i+1]$	$x[i]$

3.2 오수신 확률 및 전송 파워의 최적화

$x[i-1]$ 와  $x[i]$ 에 할당되는 파워에 따른 제안하는 전이중 전송 방식의 용량은 (6)과 같다.

$$C(\alpha, \gamma) = \log_2 \left( 1 + \min \left( \frac{(1-\alpha) \frac{G_1}{L_1}}{\alpha \frac{G_1}{L_1} + \frac{1}{\gamma}}, \frac{\frac{G_2}{L_2} + \alpha \frac{G_0}{L_0} + 2 \frac{\sqrt{\alpha G_0 G_2}}{L_0 L_2}}{(1-\alpha) \frac{G_0}{L_0} + \frac{1}{\gamma}} \right) \right) \quad (6)$$

그림 4에서와 같이, 제안하는 알고리즘에서는 기지국과 단말국간 링크의 채널에서 성능 열화가 발생할 수 있다. (6)을 통해 이 점이 반영되었으며, 이로부터 유도한 제안된 방식의 오수신 확률은 (7)과 같이 근사화 할 수 있다. 그림 5를 통해 신호대 잡음비가 14dB, 18dB, 30dB일 때 다양한 파워 비율 ( $\alpha = 0.1$ ,  $\alpha = 0.3$ ,  $\alpha = 0.4$ )에서 근사화가 잘 되고 있음을 확인할 수 있다.

$$P_{out}(\alpha) \approx 1 - \left( \frac{1}{L_0 - \alpha L_2} \right) \times \left( \frac{L_0^2}{L_2(2^R - 1)(1 - \alpha) + L_0} e^{2\sqrt{\frac{L_2}{L_0}} \alpha - \left( L_2 + \frac{L_1}{1 - 2^R \alpha} \right) \frac{(2^R - 1)}{\gamma}} \right) - \frac{\alpha^2 L_2}{(2^R - 1)(1 - \alpha) + \alpha} e^{2\sqrt{\frac{L_1}{\alpha L_2}} - \left( \frac{L_0}{\alpha} + \frac{L_1}{1 - 2^R \alpha} \right) \frac{(2^R - 1)}{\gamma}} \quad (7)$$

릴레이 시스템에서의 용량은 링크의 최소 용량에 영향을 받기 때문에, 파워 할당을 통해 각 링크간 균형을 이루는 것은 시스템의 용량 향상을 위해 매우 중요하다. 그러므로, 제안하는 방식의 릴레이국과 단말국에서의 수신 신호대 잡음간섭비를 구하고, 이를 이용해 오수신 확률을 최소화 시키는 파워 할당을 결정하고자 한다. 비교를 위해, 종래의 시스템에서의 단말국에서의 수신 신호대 잡음간섭비를 표 3에 나타내었다. 제안하는 방식에서는  $x[i-1]$ 에 할당한 파워의 비율( $\alpha$ )이 증가하면, 릴레이국의 수신 신호대 잡음간섭비가 감소하며, 단말국의 수신신호대 잡음간섭비는 증가한다. 때문에 이 중 작은 값에 의해 생기는 병목 현상을 방지함으로써 오수신 확률을 최소화 시킬 수 있

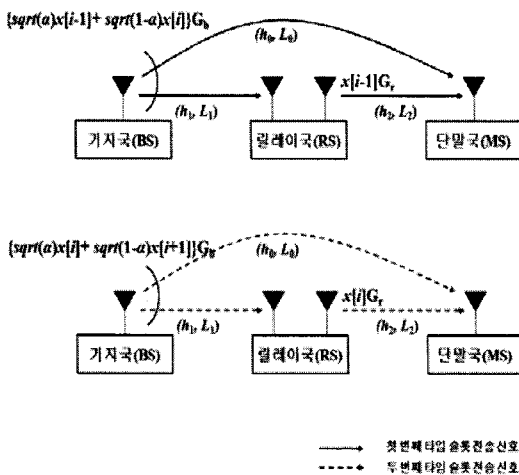


그림 4. 전이중 전송 방식 릴레이를 이용한 제안하는 방식의 전송 구조  
Fig. 4. Transmission structure of proposed algorithm with full-duplex relay.

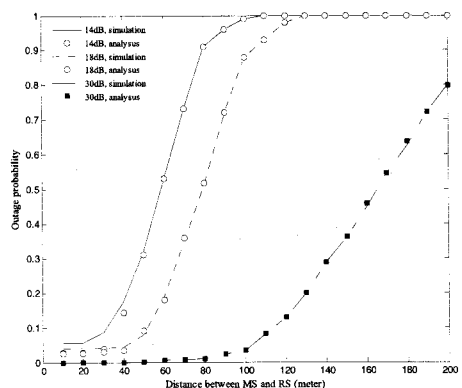


그림 5. 제안하는 방식에서 릴레이국과 단말국 사이의 거리에 따른 오수신 확률  
Fig. 5. Outage probability of the proposed full-duplex relay system according to the distance from the relay station and the mobile station.

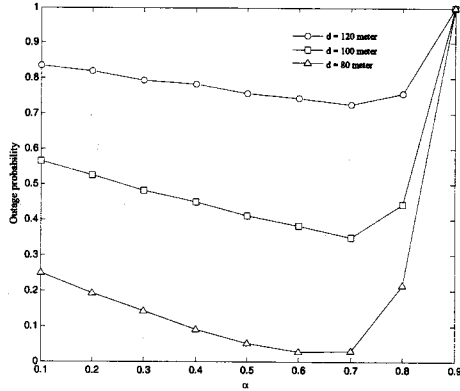


그림 6. 제안하는 방식에서  $\alpha$ 에 따라 변화하는 오수신 확률.  
Fig. 6. Outage probability according to  $\alpha$  for the proposed full-duplex relay system.

표 3. 종래 방식들의 단말국에서의 수신 신호대 잡음간섭비  
Table 3. Received SNR at the mobile station for conventional transmission structures

반이중 전송방식	$\gamma \left( \frac{G_0}{L_0} + \min \left( \frac{G_1}{L_1}, \frac{G_2}{L_2} \right) \right)$
전이중 전송방식	$\min \left( \gamma \frac{G_1}{L_1}, \frac{G_2}{L_2} / \left( \frac{G_0}{L_0} + \frac{1}{\gamma} \right) \right)$

다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 제안된 방식은 오수신 확률  $P_{out}(\alpha)$ 은  $\alpha$ 에 대해 convex 이며, 파워 할당 알고리즘은 다음과 같다.

$$\hat{\alpha} = \arg \min_{\alpha} P_{out}(\alpha) \quad (8)$$

(7)을 이용해 최적의 파워 할당 값을 계산하기 위해,  $u = 2^R - 1$ ,  $A = L_0^2 / (L_2 u + L_0 + L_2 u \alpha)$ ,  $B = u / \gamma$ ,  $K = 2 \sqrt{\alpha / (L_0 L_2)}$  라 두자. 최적의 파워 할당 값은 (7) 식의  $\alpha$ 에 대한 미분식을 통해 구할 수 있다. 오수신 확률의  $\alpha$ 에 대한 미분식은 다음과 같고,

$$f_p(\alpha) = A e^{-L_2(B-K)} C + e^{-\frac{L_0(B-K)}{\alpha}} D \quad (9)$$

파라미터 C와 D는 (10)과 같다.

$$C = \frac{L_2}{L_0 - \alpha L_2} + \frac{L_2 u}{L_2 u + L_0 - L_2 u \alpha} + \frac{L_1 B(1+u)}{(1 - (1+u)\alpha)^2}$$

$$D = \left( \frac{\alpha L_2}{u + (1-u)\alpha} \right) \times \left( -\frac{\alpha L_2}{(L_0 - \alpha L_2)} + \frac{2u + \alpha - \alpha u}{u + (1-u)\alpha} + \frac{L_0(B+K)}{\alpha} - \frac{\alpha L_1 B(1+u)}{(1 - (1+u)\alpha)^2} \right) \quad (10)$$

#### IV. 시뮬레이션 및 분석

제안하는 방식의 파워 할당을 통한 오수신 확률의 향상을 실험하기 위해 실험 환경은 채널 모델, 트래픽 모델, 성능 매트릭 등을 포함한 멀티홉 시스템의 evaluation methodology에 대해 다른 IEEE 802.16j-10 문서를 참고하였다.

그림 7과 그림 8은 기지국과 릴레이국간의 거리가 50 미터일 때, 단말국의 위치를 이동시키며 살펴본 오수신 확률 그래프이다. 제안된 방식의 전이중 전송 릴레이 방식은 릴레이를 사용하지 않는 경우, 직접경로를 활용하지 않는 반이중 전송 방식 릴레이를 사용하는 경우, 직접 경로를 활용하는 반이중 전송 방식 릴레이를 사용하는 경우 및 종래의 전이중 전송 방식에

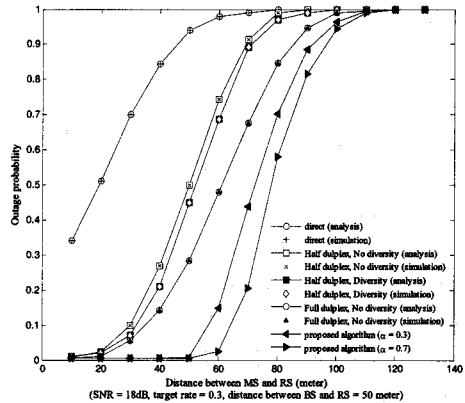


그림 7. 기지국-릴레이국간 거리가 50미터이고, 목표 용량이 0.3 일 때의 오수신 확률  
Fig. 7. Outage probability when the distance from BS to RS is 50 meter and the target rate is 0.3.

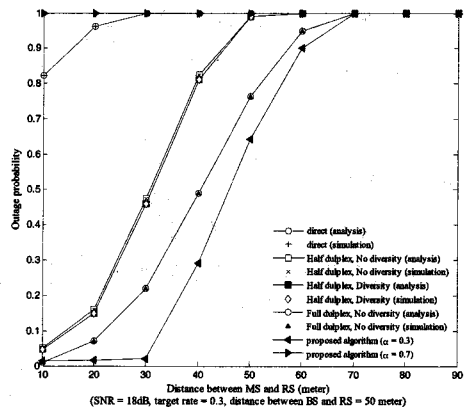


그림 8. 기지국-릴레이국간 거리가 50미터이고, 목표 용량이 1.0 일 때의 오수신 확률  
Fig. 8. Outage probability when the distance from BS to RS is 50 meter and the target rate is 1.0

비해 오수신 확률을 낮추는 것을 확인할 수 있다. 단말국의 위치가 릴레이국으로부터 멀어질수록 기지국에서는 이전 전송신호에 큰 파워를 할당하여 전송함으로써 간섭의 양을 줄이고, 릴레이국 이 전송중인 정보의 복호를 도움으로써 오수신 확률을 줄인다.

그림 6과 그림 7을 통해, 릴레이국과 단말국 사이의 거리가 일정 수준 이상으로 멀어지면 기지국에서 최적의 파워를 할당함에도 불구하고 원하는 오수신 확률을 얻을 수 없음을 알 수 있다.

그림 9는 기지국과 릴레이국의 거리가 100 미터이고 목표 용량이 0.3일 때, 신호대 잡음비 및 릴레이국과 단말국의 거리에 따른 오수신 확률을 보여준다. 그림 7 및 그림 8에서와 같이 릴레이국과 단말국 사이의

거리가 일정 거리 이상으로 멀어지면 기지국에서 어떤 파워 할당  $\alpha$  을 사용하는지에 관계없이 오수신 확률을 낮출 수 없다.

그림 10에서는 기지국과 릴레이국의 거리가 100 미터이고 목표 용량이 0.3일 때, 신호대 잡음비 및 릴레이국과 단말국의 거리에 따른 최적의 파워 할당  $\alpha$  를 확인하였다. 릴레이국과 단말국 사이의 거리가 멀수록 기지국에서는 이전 신호를 전송하는데에 파워를 크게 할당하여 간섭의 양을 줄이고 오수신 확률을 낮춘다.

### V. 결론

본 논문에서는 전이중 전송 방식의 릴레이 시스템에서 간단한 레이어드 브로드캐스팅을 적용하여 단말국이 받는 간섭을 조절하고 오수신 확률을 최소화하는 파워 할당 방식을 제안하였다. 이러한 방식은 반이중 전송 방식 릴레이의 자원 비효율성을 극복할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안한 방식의 릴레이 시스템이 종래의 전이중 전송 릴레이 시스템 및 반이중 전송 방식의 릴레이 시스템에 비해 오수신 확률을 낮출 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 다수의 릴레이 및 단말이 존재하는 경우로의 확장이 가능하며, 단말기에서의 복잡도 증가 없이 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.

### 참고 문헌

- [1] G. Kramer, M. Gastpar, and P. Gupta, "Cooperative strategies and capacity theorems for relay networks," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 51, no.9, pp. 3037-3073, Sep. 2005.
- [2] G. Scutari and S. Barbarossa, "Distributed space-time coding for regenerative relay networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5, pp. 2387-2399 Sep. 2005.
- [3] B. Rankov and A. Wittneben, "Spectral efficient protocols for half-duplex fading relay channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379 - 389, Feb. 2007.
- [4] A. Høst-Madsen, J. Zhang, "Capacity bounds and power allocation for wireless relay channels", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 51, no. 6, pp.2020-2040, June 2005.

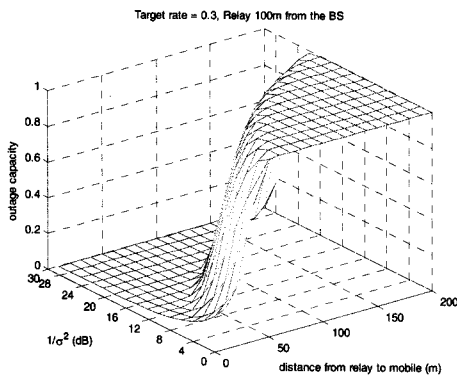


그림 9. 기지국과 릴레이국의 거리가 100 미터이고 목표 용량이 0.3일 때, 신호대 잡음비 및 릴레이국과 모바일국의 거리에 따른 오수신 확률.  
Fig. 9. Outage probability according to the signal-to-noise ratio and the distance from RS to MS when the target rate is 0.3, and RS is 100 meter far away from BS.

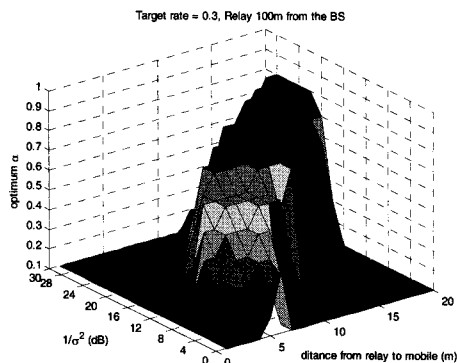


그림 10. 기지국과 릴레이국의 거리가 100 미터이고 목표 용량이 0.3일 때, 신호대 잡음비 및 릴레이국과 모바일국의 거리에 따른 최적의 파워 할당비  $\alpha$ .  
Fig. 10. The optimal power allocation  $\alpha$  according to the signal-to-noise ratio and the distance from RS to MS when the target rate is 0.3, and RS is 100 meter far away from BS.

- [5] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [6] S. Lee and S.-L. Kim, "Layered broadcasting for wireless relay networks," *Telecommunications Review*, vol. 20, no. 3, pp.419-428, June 2010.

**이 선 영 (Sunyoung Lee)**

정회원

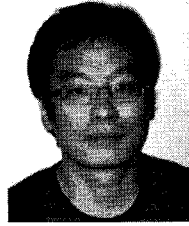


2004년 8월 연세대학교 전기전자공학과 졸업  
 2004년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석박사 통합과정  
 2011년 9월~현재 LG전자 연구원

<관심분야> 인지무선통신시스템, LTE, 무선자원관리

**김 성 룬 (Seong-Lyun Kim)**

종신회원



1994년 8월 KAIST 공학박사  
 1994년~1998년 ETRI 이동통신기술연구단 선임연구원  
 1998년~2000년 스웨덴 KTH, Dept. Signals, Sensors & Systems 조교수  
 2000년~2004년 ICU 조교수, 부교수

2004년~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교수, 교수

<관심분야> Radio resource management, information theory, robotic network, economics of wireless systems