

# 무선 네트워크에서의 SNR기반 선택적 전달 기법

주 민 철\*, 권 대 길<sup>○</sup>, 조 진 웅\*

## SNR-Based Selective Relaying Scheme in Wireless Networks

MinChul Ju\*, Tai-Gil Kwon<sup>○</sup>,  
 Jin-Woong Cho\*

### 요 약

본 논문은 신호대잡음비(signal-to-noise ratio:SNR) 기반의 선택적 전달 기법에서의 아웃티지 성능을 분석한다. 전달 단말은 수신된 신호대잡음비의 값이 정해진 값보다 크면 수신된 신호를 재전송하고 정해진 값보다 작으면 수신된 신호를 재전송하지 않는다. 제안된 시스템에 대해서 정확한 아웃티지 확률을 구한다.

**Key Words** : outage probability, SNR-based selective relaying

### ABSTRACT

In this letter, we analyze the outage performance of the signal-to-noise ratio (SNR)-based selective relaying in a relay network, where the relay terminal may retransmit the received signal or remain silent based on the received SNR of the link from the source to the relay. For the proposed relaying scheme, we derive the exact outage probability.

### I. 서 론

무선 전송에서 성능을 향상할 수 있는 전달 통신에 대한 많은 연구가 이루어졌다<sup>[1]</sup>. 최근 신호대잡음비(signal-to-noise ratio:SNR) 기반<sup>[1]</sup>의 선택적 전달 기

법이 연구되기 시작했는데, 다중 전달 단말들과 사용자가 존재하는 네트워크에서의 전달 선택<sup>[3]</sup>, 동기화 조건 완화를 위한 차등 전달 전송기법<sup>[4]</sup>, 점근적 비트 오류율(asymptotic bit-error rate: BER) 성능분석이다<sup>[5]</sup>. 하지만 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법에 대한 정확한 아웃티지 성능분석은 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 하나의 소스 단말과 하나의 전달 단말과 하나의 목적지 단말로 이루어진 전달 네트워크에서의 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법에 대한 정확한 아웃티지 확률을 구한다. 이때 전달 단말은 수신된 신호대잡음비의 값이 정해진 값보다 크면 수신된 신호를 재전송하고 정해진 값보다 작으면 수신된 신호를 재전송하지 않는다.

### II. 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법

시스템은 하나의 소스 단말(S)과 하나의 전달 단말(R)과 하나의 목적지 단말(D)로 이루어지는데, 각각의 단말은 하나의 안테나를 가지고 반이중방식을 사용한다. 소스 단말로부터 목적지 단말로 전송되는 심볼  $x$ 는 단위 전송전력을 가지고 채널 상수는  $h_1$ 로 표시하고  $h_1 \sim CN(0,1)$ 이고, 이때  $h \sim CN(m, \sigma^2)$ 는 평균값  $m$ 과 분산  $\sigma^2$ 을 가지는 가우시안(Gaussian) 확률변수  $h$ 를 나타낸다. 여기서 소스 단말로부터 전송된 신호를 두 가지 다른 경로(직접경로와 전달경로)를 통해서 받게 된다. 첫 번째 타임 슬롯에 전달 단말에서 수신하는 신호  $z_1$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$z_1 = \sqrt{P_1} h_1 x + w \tag{1}$$

여기서  $P_1$ 은 소스 단말의 전송전력이고,  $w$ 는 가산성 잡음으로 평균값 0과 분산 1인 복소 가우시안 확률변수이므로,  $z \sim CN(0,1)$ 이다.

전달 단말은 증폭후전송 방식을 채용하여 소스 단말로부터 받은 신호를 목적지 단말로 전송하는데, 전달 단말의 수신된 신호의 신호대잡음비에 따라 일정 값을 곱하여 전송 전력을 단위 값으로 맞추는 증폭후전송 방식을 사용한다. 기존의 증폭후전송 방식에서는, 채널 상태와 상관없이 전달 단말에서 일정한 전송상수  $\beta$ 를 곱해서 전송하였는데, 제안된 신호대잡음비

\* 본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. [No. 20131010501720].

♦ First Author : School of Electrical Engineering, Kookmin University, mcju@kookmin.ac.kr, 중신회원

○ Corresponding Author : Korea Electronics Technology Institute (KETI), tgkwon@keti.re.kr, 정회원

\* Korea Electronics Technology Institute (KETI), chojw@keti.re.kr,

논문번호 : KICS2015-01-014, Received January 20, 2015; Revised February 2, 2015; Accepted February 2, 2015

기반의 선택적 전달 기법에서는 만약 수신신호의 신호대잡음비가 미리 정해진 임계값  $T$ 보다 크면 전달 단말에서  $\beta = 1/\sqrt{P_1|h_1|^2 + 1} = 1/\sqrt{\gamma_1 + 1}$ 를 곱해서 전송하고, 만약 수신신호의 신호대잡음비가 미리 정해진 임계값  $T$ 보다 작으면 수신신호를 전송하지 않는다. 그러므로, 전송상수  $\beta$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\beta = \begin{cases} 1/\sqrt{\gamma_1 + 1}, & \gamma_1 \geq T \\ 0, & \gamma_1 < T \end{cases} \quad (2)$$

그러므로 전달 단말에서 전송되는 신호  $y_1$ 은 다음과 같이 주어지는데  $y_1 = \sqrt{P_2}\beta z_1$ 이고 이때  $P_2$ 는 전달 단말의 전송전력이다. 전달 단말로부터 목적지 단말사이의 채널 상수는  $h_2$ 로 표시하고  $h_2 \sim CN(0,1)$ 로 두면, 목적지 단말에서의 수신 신호  $z_2$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$z_2 = \sqrt{P_2}h_2\beta z_1 + v \quad (3)$$

이때  $v$ 는 가산성 잡음으로 평균값 0과 분산 1인 복소 가우시안 확률 변수이므로,  $v \sim CN(0,1)$ 이다.

이때의 목적지 단말에서의 수신된 최종 신호대잡음비  $\Gamma$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Gamma = \frac{P_1 P_2 |h_1|^2 |h_2|^2 \beta^2}{P_2 |h_2|^2 \beta^2 + 1} = \begin{cases} \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}, & \gamma_1 \geq T \\ 0, & \gamma_1 < T \end{cases} \quad (4)$$

이때  $\gamma_2 = P_2 |h_2|^2$ 이다.

### III. 아웃티지 확률

최종 요구되는 전송률을  $\tilde{R}$ (bps/Hz)라 두면 아웃티지 확률  $P_{\text{out}}(\tilde{R})$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{\text{out}}(\tilde{R}) = \Pr\left[\frac{1}{2}\log_2(1 + \Gamma) < \tilde{R}\right] = \Pr[\Gamma < \tilde{R}] \quad (5)$$

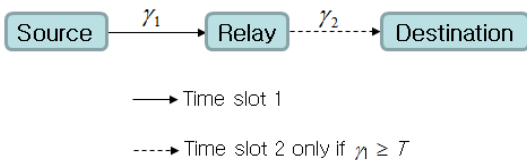


그림 1. 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법  
Fig. 1. SNR-Based Selective Relaying

이때  $\bar{R} = 2^{2\tilde{R}} - 1$ 이다. 식 (4)의  $\Gamma$ 를 식 (5)에 대입하면

$$P_{\text{out}}(\tilde{R}) = \Pr\left[\frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} < \bar{R}, \gamma_1 \geq T\right] + \Pr[\gamma_1 < T] = P_{\text{out},1} + \Xi_0(T; \bar{\gamma}) \quad (6)$$

이때  $\Xi_0(T; \bar{\gamma}) = 1 - \exp(-T/\bar{\gamma})$ 이고, 확률  $P_{\text{out},1}$ 을 다시 쓰면

$$P_{\text{out},1} = \Pr[(\gamma_1 - \bar{R})\gamma_2 < \bar{R}(\gamma_1 + 1), \gamma_1 \geq T] = \begin{cases} \Pr[T \leq \gamma_1 < \bar{R}] \\ + \Pr\left[\gamma_2 < \frac{\bar{R}(\gamma_1 + 1)}{\gamma_1 - \bar{R}}, \gamma_1 \geq \bar{R}\right], & \bar{R} \geq T \\ \Pr\left[\gamma_2 < \frac{\bar{R}(\gamma_1 + 1)}{\gamma_1 - \bar{R}}, \gamma_1 \geq T\right], & \bar{R} < T \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)의 첫 번째 경우인  $\bar{R} \geq T$ 를 살펴보면,  $P_{\text{out},1}$ 은

$$P_{\text{out},1} = \Xi_1(T; \bar{\gamma}) - \Xi_1(\bar{R}; \bar{\gamma}) + \int_{x=\bar{R}}^{\infty} \int_{y=0}^{\frac{\bar{R}(x+1)}{x-\bar{R}}} f_{\gamma_1}(x) f_{\gamma_2}(y) dx dy = \Xi_1(T; \bar{\gamma}) - \exp\left(-\frac{\bar{R}}{\gamma_1} - \frac{\bar{R}}{\gamma_2}\right) \frac{1}{\gamma_1} \times \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{\bar{R}(\bar{R}+1)}{z\gamma_2} - \frac{z}{\gamma_1}\right) dz \quad (8)$$

이때  $\Xi_1(T; \bar{\gamma}) = \exp(-T/\bar{\gamma})$ 이다. [5]의 식 (3.324.1)을 이용하고  $\Xi_0(T; \bar{\gamma}) + \Xi_1(T; \bar{\gamma}) = 1$ 을 이용하면 아웃티지 확률  $P_{\text{out}}(\tilde{R})$ 은 다음과 같다.

$$P_{\text{out}}(\tilde{R}) = 1 - 2 \sqrt{\frac{\bar{R}(\bar{R}+1)}{\gamma_1 \gamma_2}} \times \exp\left(-\frac{\bar{R}}{\gamma_1} - \frac{\bar{R}}{\gamma_2}\right) K_1\left(2 \sqrt{\frac{\bar{R}(\bar{R}+1)}{\gamma_1 \gamma_2}}\right) \quad (9)$$

식 (7)의 두 번째 경우인  $\bar{R} < T$ 를 살펴보면,  $P_{\text{out},1}$ 은

$$P_{\text{out},1} = \int_{x=T}^{\infty} \int_{y=0}^{\frac{\bar{R}(x+1)}{x-\bar{R}}} f_{\gamma_1}(x) f_{\gamma_2}(y) dx dy = \Xi_1(T; \bar{\gamma}) - \exp\left(-\frac{\bar{R}}{\gamma_1} - \frac{\bar{R}}{\gamma_2}\right) \frac{1}{\gamma_1} \times \int_{T-\bar{R}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\bar{R}(\bar{R}+1)}{z\gamma_2} - \frac{z}{\gamma_1}\right) dz \quad (10)$$

식 (10)에 대한 닫힌형태의 결과를 얻을 수 없기 때문에 적분영역  $\int_{T-\bar{R}}^{\infty} = \int_0^{\infty} - \int_0^{T-\bar{R}}$ 를 분리하고

V. 결론

본 논문에서는 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법에서의 아웃티지 성능을 분석하였다. 제안된 시스템에서의 전달 단말은 수신된 신호대잡음비의 값이 정해진 값보다 크면 수신된 신호를 재전송하고 정해진 값보다 작으면 수신된 신호를 재전송하지 않는다. 실험결과 분석된 아웃티지 확률이 매우 정확한 것을 확인하였다.

References

[1] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, pp. 3062-3080, Dec. 2004.

[2] M. Yang, J. Jang, and D. K. Kim, "Dual-mode transmission strategy for blind interference alignment scheme in MISO broadcast channels," *J. KICS*, vol. 38a, pp. 1102-1109, Dec. 2013.

[3] V.-A. Le, R.-A. Pitaval, S. Blostein, T. Riihonen, and R. Wichman, "Green cooperative communication using threshold-based relay selection protocol," in *Proc. ICGCS*, pp. 521-526, Shanghai, Jun. 2010.

[4] T. Himsoon, W. P. Siriwongpairat, W. Su, and K. J. R. Liu, "Differential modulation with threshold-based decision combining for cooperative communications," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 55, pp. 3905-3923, Jul. 2007.

[5] F. A. Onat, A. Adinoyi, Y. Fan, H. Yanikomeroğlu, and J. S. Thompson, "Asymptotic BER analysis of threshold digital relaying schemes in cooperative wireless systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 7, pp. 4938-4947, Dec. 2008.

$\exp(t) = \sum_{n=0}^{\infty} t^n/n!$ 를 이용하여,  $\exp(-z/\bar{\gamma}_1)$ 를 전개하면,

$$P_{out}(\bar{R}) = 1 - \exp\left(-\frac{\bar{R}}{\gamma_1} - \frac{\bar{R}}{\gamma_2}\right) \left[ 2\sqrt{\frac{\bar{R}(\bar{R}+1)}{\gamma_1\gamma_2}} \times K_1\left(2\sqrt{\frac{\bar{R}(\bar{R}+1)}{\gamma_1\gamma_2}}\right) - \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{a_1^{n+1}}{n!} E_{n+2}(a_2) \right] \quad (11)$$

이때  $a_1 = (T - \bar{R})/\bar{\gamma}_1$ 이고  $a_2 = \bar{R}(\bar{R}+1)/((T - \bar{R})\bar{\gamma}_2)$ 이며,  $K_1(\cdot)$ 은 첫 번째 순서와 두 번째 형태의 변형된 베셀 함수이고,  $E_n(\cdot)$ 는 지수 형태의 적분 함수이다. 최종적으로  $\bar{R} \geq T$ 일 때는 식 (6)과  $\bar{R} < T$ 일 때는 식 (11)으로 아웃티지 확률  $P_{out}(\bar{R})$ 을 구한다.

IV. 모의실험

본 섹션에서는 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법의 최종 아웃티지 확률  $P_{out}(\bar{R})$ 의 정확성을 알아보기 위해 모의실험 결과와 비교한다. 그림 2는  $10\log_{10}P$ 에 대해서 신호대잡음비 기반의 선택적 전달 기법의 아웃티지 확률을 보여주는데,  $P_1 = P_2 = P$ 로 두고,  $\bar{R} = 1$  bps/Hz로 정하였으며, 채널은 레일리(Rayleigh) 확률분포를 가정하였다.

그림 2에서 보듯이 구해진 수식이 모의 실험결과와 일치하고 정해진 임계값  $T$ 에 따라서 달라지는 것을 알 수 있다.

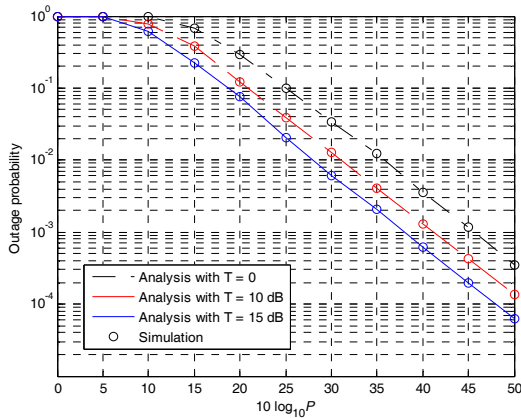


그림 2. 아웃티지 확률  
Fig. 2. Outage probability