논문 2011-6-3

균일전력 릴레이 선택방식을 적용한 이중 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 성능분석

Performance Analysis of a Double Opportunistic Cooperative Diversity System with Uniform Power Relay Selection

김남수*

Nam-Soo Kim

요 약 애드혹 네트워크에서는 협동 다이버시티를 적용하여 네트워크의 전력소모를 줄이고, 통달거리의 확장 및 시스템의 성능을 향상시키고 있다. 그러나 가장 큰 신호 대 잡음비(SNR, Signal-to-noise ratio)을 갖는 릴레이를 선택하여 송신하는 선택 릴레이 협동 다이버시티 방식은 느린 페이딩 채널에서 특정 릴레이가 계속 송신하므로 네트워크의 생존시간을 줄이게 된다. 그러므로 최근에 네트워크의 생존 시간을 늘이기 위하여 균일전력 릴레이 선택방식이 연구되었다. 본 논문에서는 소스-릴레이 및 릴레이-목적지간의 수신 신호 대 잡음비가 일정수준 이상이 되는 릴레이를 선택하여 송신할 수 있는 하는 이중 기회전송 협동 다이버시티(DOT, Double opportunistic cooperative diversity) 시스템에 균일전력 릴레이 선택방식을 적용하고 시스템의 성능을 유도하였다. 유도한 결과는 선택결합(SC, Selection combining) 방식과 최대비 합성결합(MRC, Maximal ratio combining) 방식과 비교하였다. 균일전력 릴레이 방식을 사용하였을 때 다른 방식에 비해서 시스템의 성능저하가 있었는데, 이는 네트워크의 생존 시간을 늘이기 위해서 릴레이에 균일한 송신기회를 주었기 때문으로 해석되었다.

Abstract Cooperative diversity system can be applied to an ad-hoc network for reduction of the power consumption, for expansion of the communication range, and for improving the system performance. In a selection relay cooperative diversity system which selects the maximal SNR(Signal-to-noise ratio) relay for transmitting the source information, the selected strong relay transmits continuously under slow fading channel, consequently it reduces the network lifetime. To overcome this defect, recently the uniform power relay selection has been studied to expand the network life time. We apply the uniform power relay selection to a DOT(Double opportunistic transmit) cooperative system that select the transmit relays, of which the SNR of the transmit relays exceed both of the source-relay and the relay-destination threshold. And the performance of the system is analytically derived. The performance comparisons are made among SC(Selection combining), MRC(Maximal ratio combining), and uniform power relay selection of the cooperative diversity system. We noticed that the performance of the uniform power relay selection is inferior to that of others. It is interpreted that the uniform transmit opportunity to the selected relays for extension of the network lifetime degrades the performance.

Key Words : cooperative, diversity, fading, relay selection, opportunistic

I. 서 론

협동 다이버시티는 송/수신기에 여러 개의 안테나를 설치하지 않고도 페이딩 현상에 의한 시스템의 성능저하

*정회원, 청주대학교 전자정보공학부
접수일자 2011.10.6, 수정완료 2011.11.25
게재확정일자 2011.12.16

를 개선할 수 있는 장점을 갖기 때문에 최근에 많은 연구가 진행되어왔다[1,2]. 특히 협동 다이버시티 방법에서 송신 릴레이를 결정하는 방법에 따라서 기회전송[2,3,4], 릴레이 추가(Incremental relay)[5,6], 이중 기회전송 협동 다이버시티(DOT, Double opportunistic cooperative diversity)[7,8] 방법 등이 있다.

기회전송 다이버시티는 소스로부터 수신한 신호 대 잡음비(SNR, Signal-to-noise ratio)가 임계치를 넘는 릴레이만 목적지로 전송한다. 이 방법은 소스-릴레이간의 채널상태만 고려하기 때문에 릴레이-목적지간의 채널이 좋은 경우 과다한 릴레이가 송신하여 시스템의 전력을 소모할 뿐만 아니라, 무선자원(즉, 타임슬롯, 주파수, 코드 등)을 낭비하게 되는 단점을 갖는다.

이와 같은 단점을 보완하기 위하여 릴레이 추가 다이버시티가 연구되었는데, 릴레이 추가 다이버시티 방식은 먼저 소스의 정보는 직접 경로를 통하여 목적지로 전송된다. 이 때 목적지에서 수신된 신호가 요구하는 성능을 만족하지 못할 경우, 여러 릴레이 중 가장 신호가 우수한 릴레이를 추가로 전송하여 다이버시티 이득을 얻게 된다. 즉, 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 최대의 SNR을 갖는 릴레이를 선택하는 최대경로 선택 방법을 사용한다[5,6].

만일 릴레이 추가 다이버시티 시스템이 느린 페이딩을 받는 채널에서 사용될 경우, 선택된 릴레이가 계속 선택된 확률이 가장 크므로 결국 특정 릴레이의 전력이 다른 릴레이에 비하여 먼저 소진되고 결국 전체 네트워크의 생존 시간이 줄어들게 되는 단점을 갖는다[9,10]. 따라서 전체 릴레이 노드를 균일하게 선택하여 사용하는 정규화 SNR 릴레이 선택방법 (이 논문에서는 균일전력 릴레이 선택방식이라고 하자)이 제안되었다[10].

그러나 전체 릴레이 노드를 대상으로 하는 정규화 릴레이 선택방법은 모든 릴레이가 선택될 확률이 동일하게 때문에, 수신 SNR이 낮은 릴레이가 선택되어 송신하는 경우 목적지에서 수신된 정보는 에러가 많게 된다. 그러므로 송신 릴레이를 선택할 때 전체 릴레이를 대상으로 하지 않고, 소스-릴레이 경로 및 목적지-릴레이 경로의 수신 SNR이 일정값 이상 되는 릴레이를 대상으로 하면 목적지에서의 에러는 줄일 수 있게 된다.

따라서 본 논문에서는 소스-릴레이 경로 및 목적지-릴레이 경로의 수신 SNR이 일정값 이상 되는 릴레이를 선정할 수 있는 이중기회전송 시스템(DOT)에 균일전력 릴레이 선택방식을 적용하였을 경우 시스템의 성능을 유도하였다. 본 논문에서는 레일레이 페이딩 채널을 가정하였으며, 릴레이는 복조후 전송 (DF, Decode-and- forward) 릴레이를 사용하였다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 해석하고자 하는 시스템 모델을 소개하고 송신 릴레이의 결정법을 서술한다. 제 3장에서는 제시한 시스템 모델의 오수신율을 이론적으로 유도하며, 제 4장에서는 해석적 결과의 수치적인 예를 들어 설명한다. 그리고 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델 및 송신 릴레이 결정

1. 시스템 모델

그림 1은 이 논문에서 제안하는 시스템의 모델인데 소스, M 개의 릴레이, 그리고 목적지로 구성되어 있으며, S, R, D 는 각각 소스, 릴레이, 그리고 목적지를 나타낸다. 그리고 $R_k (k = 1, 2, 3, ..., M)$는 k번째 릴레이를 의미한다. 이 모델은 DOT 시스템 모델[7,8]과 동일하지만, DOT 시스템에서는 소스 및 목적지로부터 수신된 SNR이 임계값을 넘는 모든 릴레이가 목적지로 송신하나, 본 논문에서는 시스템의 전력을 균일하게 사용하기 위하여 임계값을 넘는 릴레이 중 하나의 릴레이만 선택하여 사용한다. 이렇게 함으로써 SNR이 낮은 릴레이의 송신을 차단하여 시스템의 성능을 향상시킬 뿐 만아니라, 결국 네트워크 전체의 전력 소모도 줄이게 된다. 선택방법은 다음 절에서 자세히 설명한다.

이 그림 1에서 소스로부터 목적지로 정보를 전송하기 위한 전송 프로토콜은 다음과 같이 3개의 타임슬롯을 사용한다. 첫 번째 타임슬롯; 소스가 릴레이로 정보를 송신한다. 이때 릴레이는 소스로부터 송신된 신호를 수신한다. 두 번째 타임슬롯; 목적지가 릴레이로 파일롯 신호를 송신하는데 이는 목적지-릴레이간의 채널 정보를 획득하여 송신 릴레이를 결정하는데 사용하기 위함이다. 릴레이는 목적지로부터 송신된 파일롯 신호를 수신한다. 세 번째 타임슬롯; 송신조건을 만족시키는 하나의 릴레이를 선택하여 목적지로 송신한다[7,8].

그림1에서 실선은 소스에서 릴레이로 송신 및 목적지에서 릴레이로 송신을 의미한다. 점선은 송신 조건을 만족시키는 릴레이가 목적지로 송신하는 것을 나타낸다. 릴레이는 앞 절에서 언급한 바 와 같이 DF 릴레이를 가

정하고, 다중 경로 채널은 독립이고 동일한 분포를 갖는 레일레이 페이딩이라고 가정한다.

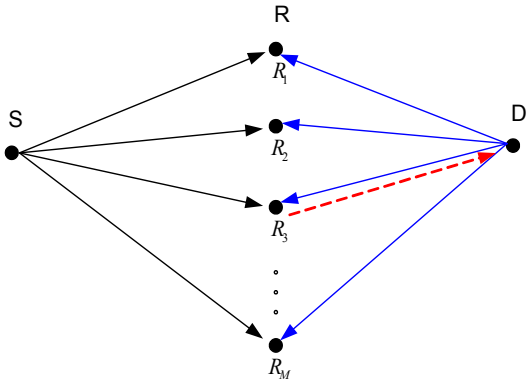

그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

2. 송신 릴레이의 결정

먼저 제1장에서 설명한 바와 같이 수신된 SNR이 일정 값 이상 되는 릴레이를 선정하기 위하여 각각의 릴레이는 소스로부터 수신한 (S-R 경로) SNR 과 목적지로부터 수신한 (D-R 경로) SNR을 임계값과 비교한다. 이 때 채널이 느린 페이딩을 받으면 채널은 가역적이므로[11], 목적지의 송신전력과 릴레이의 송신전력이 동일하다면 i 번째($i=1,2,...,M$) 릴레이가 목적지로부터 수신한 SNR γ_{Di} 는 목적지가 릴레이로부터 수신한 SNR γ_{iD}와 동일하다.

다음으로, 두 경로로부터 수신한 SNR이 임계값을 넘는 릴레이를 대상으로 하여, 평균 수신 SNR로 정규화된 SNR $\gamma_{iD}/\overline{\gamma_{iD}}$이 최대인 릴레이가 목적지로 송신한다[9]. 송신 릴레이를 정규화된 SNR $\gamma_{iD}/\overline{\gamma_{iD}}$ 이 최대인 릴레이로 선정하면, 각각의 릴레이가 송신할 확률은 서로 동일하여 송신 대상 릴레이 수의 역수가 된다. 결국 각각의 릴레이가 송신할 확률이 동일하므로 각 노드의 소모 전력도 동일하게 된다. 따라서 특정 경로(예를 들면 $S-R_i-D$ 경로)가 차단될 확률이 동일하게 되어 결국 네트워크의 생존 가능성을 높이게 된다.

Ⅲ. 오수신율 유도

각 채널이 독립인 레일레이 분포를 한다고 가정할 때, DOT에서 송신 조건을 만족시키는 릴레이의 송신 확률은 다음과 같다.

$$\mathbf{Pr}(\gamma_{Si} > \Gamma_R,\ \gamma_{iD} > \Gamma_R) \tag{1}$$

여기서 γ_{Si}, γ_{iD}, 그리고 Γ_R은 각각 i번째 ($i=1,2,...,M$) 릴레이가 소스로부터 수신한 SNR, 목적지로부터 수신한 SNR, 그리고 릴레이에서의 임계값이다.

송신 조건을 만족시키는 릴레이의 부분집합(subset)를 C라고 할 때, 부분세트의 크기가 k가 될 확률은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}\mathbf{Pr}\left[|C|=k\right] &= \binom{M}{k} p^k (1-p)^{M-k} \\ &= \binom{M}{k} \left[\mathbf{Pr}(\gamma_{Si} > \Gamma_R,\ \gamma_{iD} > \Gamma_R)\right]^k \\ &\quad \times \left[1 - \mathbf{Pr}(\gamma_{Si} > \Gamma_R,\ \gamma_{iD} > \Gamma_R)\right]^{M-k}\end{aligned} \tag{2}$$

소스 및 목적지로부터 수신된 SNR γ_{Si} 및 γ_{iD} 는 각각 독립이고 레일레이 페이딩을 받으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}\mathbf{Pr}\left[|C|=k\right] &= \binom{M}{k} \left[\exp\left\{-\left(\frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{Si}} + \frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{iD}}\right)\right\}\right]^k \\ &\quad \times \left[1 - \exp\left\{-\left(\frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{Si}} + \frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{iD}}\right)\right\}\right]^{M-k}\end{aligned} \tag{3}$$

그러므로 종단간 오수신율은

$$P_{out}\left[\gamma_s < \Gamma_D\right] = \sum_{k=0}^{M} \mathbf{Pr}\left(\gamma_s < \Gamma_D \| C| = k\right) \mathbf{Pr}\left[|C| = k\right] \tag{4}$$

여기서 γ_S 는 릴레이 선택 룰에 의하여 선택된 릴레이의 SNR을 나타낸다. 그리고 Γ_D는 목적지에서 요구하는 임계값이다. 정규화된 순간 SNR이 최대값을 갖는 릴레이가 송신하도록 선택되므로 선택된 릴레이로부터 수신된 SNR을 γ_{iD} 라고 하면,

$$\begin{aligned}\mathbf{Pr}\left(\gamma_s<\Gamma_D\|C|=k\right)&=\sum_{i=1}^{k}\mathbf{Pr}\left(\gamma_{iD}<\Gamma_D,\ \frac{\gamma_{iD}}{\overline{\gamma}_{iD}}\geq\max_{j=1,2,\ldots,k\atop j\neq i}\left(\frac{\gamma_{jD}}{\overline{\gamma}_{jD}}\right)\|C|=k\right)\\&=\sum_{i=1}^{k}\mathbf{Pr}\left(\frac{\gamma_{iD}}{\overline{\gamma}_{iD}}<\frac{\Gamma_D}{\overline{\gamma}_{iD}},\ \frac{\gamma_{iD}}{\overline{\gamma}_{iD}}\geq\max_{j=1,2,\ldots,k\atop j\neq i}\left(\frac{\gamma_{jD}}{\overline{\gamma}_{jD}}\right)\|C|=k\right)\\&=\sum_{i=1}^{k}\int_0^{\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}f_i(x)\prod_{j=1\atop j\neq i}^{k}\mathbf{Pr}\left(\frac{\gamma_{jD}}{\overline{\gamma}_{jD}}<\frac{\Gamma_D}{\overline{\gamma}_{jD}}\right)dx\\&=\sum_{i=1}^{k}\int_0^{\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}f_i(x)\prod_{j=1\atop j\neq i}^{k}F_j(x)\,dx\end{aligned}\tag{5}$$

로 쓸 수 있다. 여기서 $f(x)$ 및 $F(x)$는 각각 정규화된 SNR $\gamma/\overline{\gamma}$의 확률 밀도함수(pdf) 및 누적분포함수(cdf)인데, $f(x)=e^{-x}$ 이고 $F(x)=1-e^{-x}$ 이므로[9] (5)에 대입하면,

$$\mathbf{Pr}\left(\gamma_s<\Gamma_D\|C|=k\right)=\sum_{i=1}^{k}\int_0^{\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}e^{-x}(1-e^{-x})^{k-1}\,dx\tag{6}$$

이 되고, $(1+y)^{\alpha}=\sum_{l=0}^{\alpha}\binom{\alpha}{l}y^l$ 이므로,

$$(1-e^{-x})^{k-1}=\sum_{l=0}^{k-1}\binom{k-1}{l}(-e^{-x})^l\tag{7}$$

이 되므로 이를 (6)에 대입하면

$$\begin{aligned}\mathbf{Pr}\left(\gamma_s<\Gamma_D\|C|=k\right)&=\sum_{i=1}^{k}\int_0^{\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}e^{-x}(1-e^{-x})^{k-1}\,dx\\&=\sum_{i=1}^{k}\int_0^{\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}\sum_{l=0}^{k-1}\binom{k-1}{l}(-1)^l\left(\frac{-1}{l+1}e^{-(l+1)x}\Big|_0^{\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}\right)\\&=\sum_{i=1}^{k}\sum_{l=0}^{k-1}\binom{k-1}{l}(-1)^l\frac{-1}{l+1}\left(e^{-(l+1)\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}-1\right)\end{aligned}\tag{8}$$

이 된다. 따라서 (8) 및 (3)를 (4)에 대입하면, 결국 목적지에서 최종 오수신율은

$$\begin{aligned}P_{out}\left[\gamma_s<\Gamma_D\right]=&\sum_{k=0}^{M}\sum_{i=1}^{k}\sum_{l=0}^{k-1}\binom{k-1}{l}(-1)^l\frac{-1}{l+1}\left(e^{-(l+1)\Gamma_D/\overline{\gamma}_{iD}}-1\right)\\&\times\binom{M}{k}\left[\mathbf{exp}\left\{-\left(\frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{Si}}+\frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{iD}}\right)\right\}\right]^k\\&\times\left[1-\mathbf{exp}\left\{-\left(\frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{Si}}+\frac{\Gamma_R}{\overline{\gamma}_{iD}}\right)\right\}\right]^{M-k}\end{aligned}\tag{9}$$

이 된다.

Ⅳ. 해석적 결과의 예

그림 2는 각 노드의 평균 수신 SNR이 동일하다고 가정할 때, 균일전력 릴레이 선택방식의 평균 수신 SNR에 대한 오수신율을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바 와 같이 릴레이의 수가 증가하면 오수신율은 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 시스템 이득은 릴레이 수에 비례하여 증가하지는 않는다. 릴레이 수가 5, 10, 15, 20으로 증가할수록 오수신율 1*10^(-3)을 유지하기 위한 평균 수신 SNR은 각각 10, 6.3, 4.75, 3.85 dB로 계산되었다. 그러므로 시스템 이득은 각각 3.7, 1.55, 0.9 dB로 감소하였다.

그림 3에서는 결합 방법에 따른 오수신율을 비교한 것인데, 이 그림에서 SC는 수신된 신호 중에서 가장 강한 SNR을 선택하여 결합하는 선택결합(Selection combining, SC) 방법을 나타내고, MRC는 최대비 합성결합(Maximal ratio combining, MRC) 방법이다[12]. 여기서 보는 바와 같이 전체 릴레이의 수 M이 증가 할수록 시스템의 성능이 향상되는 것을 알 수 있고, 특히 평균 수신전력이 동일한 경우에는 SC 방법 과 본 논문의 균일전력을 고려한 릴레이 선택 방법의 결과와 동일하여야 한다. 그러나 M이 5인 경우는 오수신율 1*10^(-3)에서 다소 차이가 있다. 이는 확률밀도 계산시 미세한 오차들이 누적되어 나타난 현상이라고 해석되며, 그 외 M이 5 이상으로 증가하면 SC의 오수신율과 균일전력 릴레이 선택 방법에 의한 오수신율이 일치하는 것을 볼 수 있다.

릴레이 수가 10과 20일 때를 비교하면 오수신율 1*10^(-3)을 유지하기 위한 평균 수신 SNR은 MRC와 균일전력 릴레이 선택이 각각 5.8 dB 및 6.3 dB, 그리고 3.2 dB 및 3.85 dB 이었다. 따라서 MRC에 의한 오수신율은 다른 결합 방법의 성능보다도 항상 우수함을 보여주고 있다.

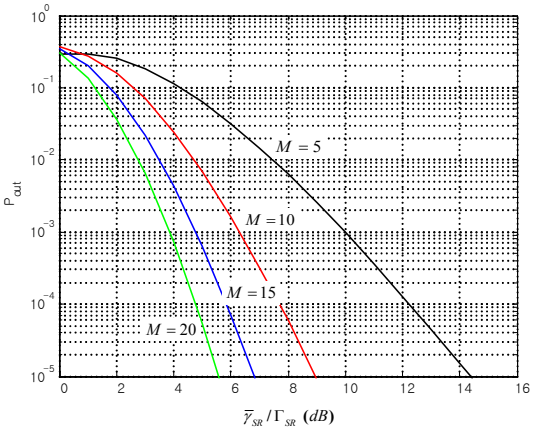

그림 2. 정규화된 평균 수신 SNR에 대한 오수신율
Fig. 2. Normalized average SNR vs. outage probability

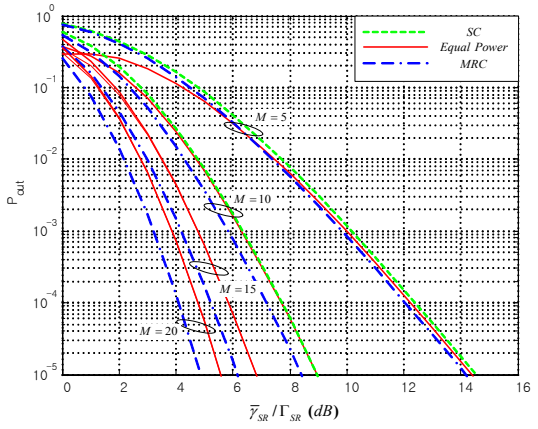

그림 3. 결합 방법에 따른 오수신율
Fig. 3. Outage comparisons for combining methods

그림 5는 릴레이의 위치가 소스-릴레이의 중간에 위치하지 않고 그림 4와 같이 서로 다른 경우의 오수신율을 구한 결과이다. 그림 5는 소스-릴레이와 릴레이-목적지 사이의 거리를 소스-목적지 사이의 거리로 정규화한 값을 나타내고 있다. 전체 릴레이 수는 3이고, 거리에 따른 감쇄계수는 4를 가정하였다. 가로축은 소스가 송신할 때 목적지에서 수신한 SNR을 나타낸다. SC의 오수신율은 J. Hu의 결과를 이용하였다[13].

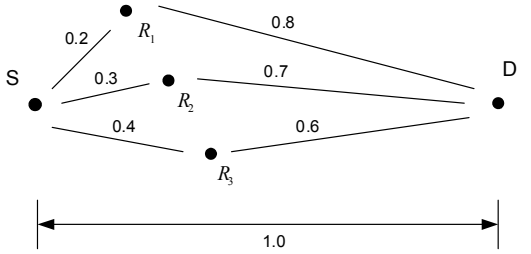

그림 4. 3-릴레이 노드의 위치 예
Fig. 4. Deploy of three-relay nodes

그림 5에서 알 수 있는 바 와 같이 오수신율 1*10^(-3)을 유지하기 위한 평균 수신 SNR은 SC와 균일전력 릴레이 선택방식이 각각 3.1 dB와 8.3 dB로 SC가 5.2 dB성능이 우수하였다. 이는 이미 예측하였듯이 가장 좋은 채널을 선택하여 수신하지 않고 각 각의 릴레이에 균등한 송신기회를 제공하였기 때문이다. 즉 SC와 같이 최대 SNR을 갖는 릴레이를 집중적으로 사용하여 네트워크의 생존시간을 짧게하는 대신, 균일전력 릴레이 선택방식에서는 SNR이 임계치를 넘는 릴레이를 균일하게 송신하였기 때문이다.

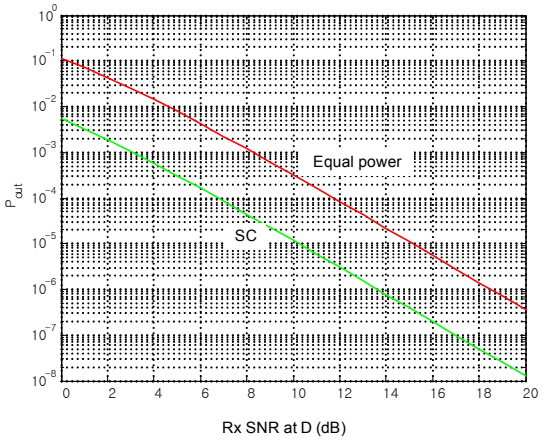

그림 5. 릴레이 노드의 위치가 상이할 때의 오수신율 ($M=3$)
Fig. 5. Outage probability with three-relay nodes in Fig.4 ($M=3$)

V. 결 론

협동 다이버시티는 페이딩을 받는 무선 채널에서 애드혹 네트워크에 적용되어 시스템의 전력소모를 줄이고,

통달 거리를 확장하며, 성능을 향상시키는 방법으로 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

그러나 느린 페이딩을 받는 채널에서 가장 큰 SNR을 갖는 특정 릴레이만 전송시키는 선택 협동 다이버시티 시스템을 사용할 경우, 특정 릴레이의 전력이 빨리 소진되어 네트워크의 생존 시간이 줄어들게 되는 단점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 협동 다이버시티 시스템에 참여하는 릴레이의 전력을 균일하게 사용하는 균일전력 릴레이 선택방식을 이중기회전송 시스템에 적용하였을 경우 시스템의 성능을 유도하였다.

유도한 결과 릴레이의 수가 많을수록 시스템의 성능은 향상되었다. MRC 및 SC와 비교결과 예측하였듯이 MRC가 가장 성능이 우수하였으며, 각 릴레이의 평균 수신 SNR이 동일한 경우 SC와 균일전력 릴레이 선택방식의 성능이 동일함을 확인하였다. 그러나 그림 4와 같이 릴레이의 위치가 서로 달라서 평균 수신 SNR이 다른 경우, 균일전력 릴레이 선택방식은 SC에 비하여 시스템의 성능이 약 5.2 dB 저하되었다. 이는 이미 예측하였듯이 가장 좋은 채널을 선택하여 수신하지 않고 각 각의 릴레이에 균등한 송신기회를 제공하였기 때문이다.

향후의 연구는 네트워크의 생존 기간과 시스템 성능 향상과의 관계를 유도하여, 주어진 조건에서 송신에 참여하는 최적의 릴레이 수를 구하는 연구를 계속할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] N. C. Beaulieu, and J. Hu, “A closed form expression for the outage probability of Decode-and-forward relaying in dissimilar Rayleigh fading channels,” IEEE Communications Letters, vol. 10, no. 12, pp. 813-815, Dec. 2006.

[2] Y. Zhio, R. Adve, and T. Lim, “Outage probability at arbitrary SNR with cooperative diversity,” IEEE Communications Letters, vol. 9, no. 8, pp. 700-702, Aug. 2005.

[3] Aggelos Bletsas, Hyundong Shin, Moe Z. Win, “Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.6, no.9, pp. 3450-3460, Sep. 2007.

[4] 김남수, “레일레이 페이딩 하에서 임펄시브 잡음을 갖는 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 성능해석,” 한국인테넷방송통신학회 논문지, 제10권, 6호, pp.99-105, Dec. 2010.

[5] K. Tourki, H. C. Yang, M.S. Alouini, “Error-rate performance analysis of incremental decode-and-forward opportunistic relaying,” IEEE Trans. on Communications, vol. 59, no. 6, pp. 1519-1524, June 2011.

[6] S. Ikki, M.H. Ahmed, “On the performance of cooperative-diversity networks with the Nth best-relay selection scheme,” IEEE Trans. on Communications, vol.58, no.11, pp.3062-3069, Nov. 2010.

[7] Nam-Soo Kim, Ye Hoon Lee “Double opportunistic transmit relaying system with GSC for power saving in Rayleigh fading channel,” Proceedings of COMM2010, Romania, pp.368-370, June 2010.

[8] Nam-Soo Kim, Ye Hoon Lee, “Decision of transmit relays and transmit power of double opportunistic transmit cooperative relaying system in Rayleigh fading channels,” Springer, LNCS6869, pp.487-495, 2011.

[9] L. Yang, M. S. Alouini, “Performance analysis of multiuser selection diversity,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 55, no. 6, pp. 1848-1861, Nov. 2006.

[10] J. Liu, K. Lu, X. Cai, and M.N. Murthi, “Regenerative cooperative diversity with path selection and equal power consumption in wireless networks,” IEEE Trans. on Wireless Communications, vol.8, no.8, pp. 3926-3932, Aug. 2009.

[11] M. Ju, I. M. Kim, “Joint relay selection and opportunistic source selection in bidirectional cooperative diversity networks,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol.59, no.6, pp. 2885-2897, July 2010.

[12] A. Goldsmith, *Wireless communications*, Cambridge University Press, 2005.

[13] Jeremiah Hu, N. Beaulieu, “Performance analysis of decode-and-forward relaying with selection combining,” IEEE Communication Letters, vol. 11, no.6, pp. 489-491, June 2007.

저자 소개

김 남 수(정회원)

- 1986년~1994년: ETRI(전자통신 연구소) 이동통신 연구단 무선기술 실장 역임
- 1991년: 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1991년~1991년: BNR(Bell Northern Research) 방문연구원
- 2002년~2003년: NJIT(New Jersey Institute of Technology) 교환교수
- 1994년~현 재: 청주대학교 전자정보공학부 교수
- 2006년~2007년: 청주대학교 학술정보처장
- 2010년~2010년: 청주대학교 입학처장
- 2008년~현 재: Marquis Who's Who in the World 등재
- 2011년~2012년: Marquis Who's Who in Science and Engineering 등재

<주관심분야 : Wireless mobile ad-hoc network, RF system design, Digital modulation, 무선 이동통신 채널, 이동통신 시스템 설계>