

논문 2010-6-14

레이레이 페이딩하에서 임펄시브 잡음을 갖는 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 성능해석

Performance Analysis of an Opportunistic Cooperative Diversity System with Impulsive Noise in Rayleigh Fading

김남수*

Nam-Soo Kim

요 약 통신 시스템의 성능을 유도하기위하여 가장 많이 가정하는 잡음의 모델은 부가성 백색 잡음이다. 그러나 실제 통신 시스템을 사용하는 환경에서는 임펄시브 잡음이 더욱 현실적인 모델이기 때문에 최근에는 임펄시브 잡음 하에서의 통신 시스템의 성능을 분석하는 연구가 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 최근에 집중적인 연구 주제가 되고 있는 협동다이버시티 시스템을 대상으로 하여 임펄시브 잡음하에서 시스템의 성능을 유도하였다. 특히 릴레이 방식으로 복조후 전송방식과 증폭후 전송방식을 사용하였을 때의 성능을 해석적으로 유도하고 비교하였다. 연구결과 레이레이 페이딩을 받는 무선 채널에서, 임펄시브 잡음의 평균 임펄스의 수가 감소할수록 잡음의 임펄시브 성분이 증가하고, 그 결과 신호 대 잡음비(SNR)가 큰 영역에서 시스템의 성능은 열화되었다. 그리고 동일한 조건에서 복조후 전송 릴레이를 채택한 협동 다이버시티 시스템이 증폭후 전송방식을 채택하였을 때보다 우수한 성능을 나타내었다.

Abstract The most frequently used noise model for the performance analysis of a communication system is additive white Gaussian noise. However impulsive noise model is more practical for the real communication environments, currently the performance analysis of a communication system in impulsive noise is increasing. In this paper, therefore, the performance of a cooperative system, which is recently one of the most intensive research topics, is derived in impulsive noise. We analytically derive and compare the performance of two opportunistic cooperative diversity systems which have an amplify-and-forward (AF) relaying or a decode-and-forward (DF) relaying. It is noticed that the impulsive noise component is increases with decreasing the average number of impulses in impulsive noise, consequently the performance of two systems is degraded in high SNR region. Also it is shown that the performance of the opportunistic cooperative system with DF relaying is superior to that with AF relaying.

Key Words : Cooperative, Diversity, Fading, Impulsive Noise, Opportunistic

I. 서 론

최근에 협동 다이버시티 시스템에 관한 연구가 매우 빠르게 진행되고 있는데, 협동 다이버시티 시스템은 송신기 및 수신기에 여러 개의 안테나를 사용하지 않고 공

간적으로 릴레이를 사용함으로써 무선 채널에서 공간 다이버시티를 얻을 수 있기 때문이다. 특히 협동 다이버시티 시스템은 전력이 제한된 애드혹 네트워크에 적용이 쉽고 이동국과같이 소형인 시스템에 안테나를 여러 개 설치하지 않아도 되는 장점을 갖는다^[1].

*정회원 : 청주대학교 전자정보공학부

접수일자 : 2010.11.6, 수정완료일자 : 2010.12.2

게재확정일자 2010.12.15

협동 다이버시티 시스템은 릴레이에서 수신된 신호 대 잡음비(SNR)가 임계값 이상이 되어야 전송하는 기회

전송 방식을 주로 사용한다^{[2],[3]}. 이는 수신된 SNR이 임계값 보다 작은 릴레이의 신호를 중계하면 목적지에서 시스템의 성능이 급격히 저하되기 때문이다.

한편 통신 시스템의 성능을 저하시키는 가장 주된 요인 중 하나는 잡음이다. 대부분 시스템의 성능을 해석할 때에는 부가성 백색 잡음(Additive white Gaussian noise, AWGN)을 주로 가정하였다. 그러나 실제로 사용되는 통신 환경은 임펄시브 잡음(Impulsive noise)에 더욱 가까운데, 예를 들면 전자 스위치, 복사기, 냉장고, 프린터 등에서 임펄시브 잡음이 발생된다. 따라서 통신 시스템을 사용하는 가장 보편적인 환경에서는 임펄시브 잡음이 존재하는 것이 일반적이다^[4].

그러므로 최근에는 임펄시브 잡음이 존재할 때에 공간 다이버시티 및 협동 다이버시티의 성능을 유도한 논문이 발표되고 있다^{[5],[6]}. 특히 협동다이버시티 시스템의 성능을 유도한 2009년의 [6]은 임펄시브 잡음이 존재할 때의 협동다이버시티 시스템에서 비트오율을 유도하였는데, 릴레이 방식으로 증폭 후 전송 (Amplify-and-forward, AF)방식을 택하였으며, 특히 최근에 적용되는 기회 전송방식은 채택하지 않았다.

한편 시스템의 성능을 나타내는 2가지 방식으로 비트오율 및 오수신율(Outage probability)을 일반적으로 사용한다. 비트오율은 변복조 방식에 따라서 성능을 나타내는 수식이 계속 변화하므로 최근에는 변복조 방식과는 무관하게 시스템의 성능을 오수신율로 유도하는 경향이 증가하고 있다.

따라서 본 논문에서는 임펄시브 잡음이 존재할 때 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 오수신율을 유도하였다. 특히 임펄시브 잡음 하에서 기회전송 협동 다이버시티 시스템에 두 가지 대표적인 릴레이 방식인 증폭후 전송 (Amplify-and-forward, AF) 방식과 복조후 전송 (Decode-and-forward, DF) 방식을 채택하였을 때, 두 방식의 오수신율을 해석적으로 유도하고 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 제2장에서 해석하고자 하는 협동 다이버시티 시스템의 모델을 설명하였고, 제3장에서 시스템의 오수신율을 해석적으로 유도하였다. 그리고 제4장에서 수치적인 예를 들어서 임펄시브 잡음 하에서 각 파라메타의 변화에 따른 시스템의 성능을 분석하였고 물리적인 해석을 기술하였다. 마지막으로 제5장에서 본 논문의 결론을 서술하였다.

II. 시스템 모델

1. 기회전송 협동 다이버시티 모델

그림 1은 일반적인 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 모델을 나타내고 있는데, S는 소스, R_k ($k=1, 2, \dots, K$)는 릴레이, 그리고 D는 목적지를 나타낸다. 각 노드는 안테나를 하나씩 갖고 있으며, 소스와 릴레이 노드가 시간차를 두고 송신한다고 가정한다. 먼저 타임 슬롯1에서는 소스가 송신하고 릴레이가 수신하는데, 이 그림에 실선으로 나타낸 바와 같이 소스에서 정보를 무선 채널로 전송하면 여러 개의 릴레이가 동시에 수신하게 된다. 그리고 타임 슬롯2에서는 수신된 SNR이 임계값보다 큰 릴레이만 목적지로 송신한다(기회 전송방식). 그리고 수신된 SNR이 임계값보다 작은 릴레이는 송신하지 않는다(예를 들어, 그림1에서는 R_1 과 R_3 가 송신하는 예를 나타내었다).

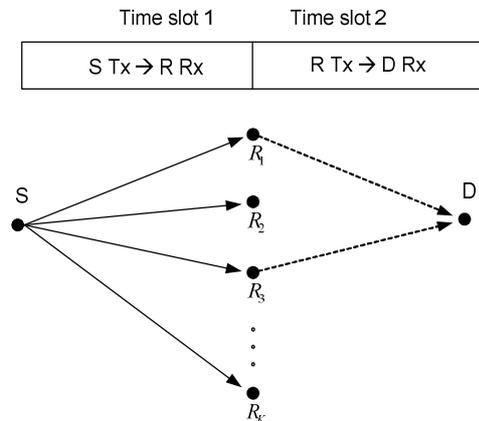


그림 1. 기회전송 협동 다이버시티 시스템 모델
Fig. 1. System model of an opportunistic transmission cooperative diversity system

2. 임펄시브 잡음 모델[4],[6]

이 절에서는 [4], [6]에서 설명한 미들톤(Middleton)의 A-클래스 잡음모델을 논문의 흐름과 독자들의 이해를 돕기 위해서 간략히 서술하고자 한다. 미들톤의 A-클래스 잡음은 가우시안 잡음성분과 임펄스 잡음성분이 혼합되어 있는데, 평균이 영인 복소 가우시안 잡음의 분산은 σ_g^2 로 나타내고 임펄스 잡음성분의 분산은 σ_i^2 라고 하자. 이때 가우시안 잡음 성분과 임펄스 잡음 성분의 비를 다음과 같이 정의하자.

$$T = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

그리고 가우시안 잡음성분과 임펄스 잡음성분으로 구성된 임펄시브 잡음을 w 라고 할 때 임펄시브 잡음의 확률 밀도 함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$p(w) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\alpha_m}{\pi\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{|w|^2}{\sigma_m^2}\right) \quad (2)$$

여기서, α_m 은 m 개의 임펄시브 잡음이 발생할 확률이며

$$\alpha_m = \frac{e^{-A} A^m}{m!} \quad (3)$$

이고, A 는 간섭시간 동안 평균 임펄스의 수이다. 그리고 σ_m^2 는 m 개의 임펄스가 존재할 때 잡음의 조건부 분산이며 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma_m^2 = \frac{\sigma^2(\frac{m}{A} + T)}{1 + T} \quad (4)$$

여기서 σ^2 은 임펄시브 잡음 w 의 평균 분산이다.

그림2는 $T=0.001$, $\sigma^2=1$ 일 때 임펄시브 잡음의 확률밀도 함수를 그림으로 나타낸 것인데, A 값이 증가할수록 점차 임펄스 성분은 작아지고 가우시안 분포함수에 접근하지만, A 값이 감소할수록 임펄스 성분이 증가함을 보여주고 있다.

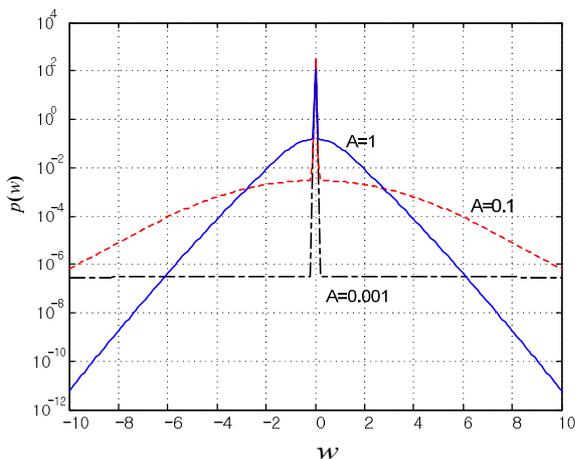


그림 2. 임펄시브 잡음의 확률밀도함수 ($T=0.001$, $\sigma^2=1$)

Fig. 2. Probability density function of an impulsive noise ($T=0.001$, $\sigma^2=1$)

III. 오수신율 유도

1. 복조 후 전송 (DF) 방식

오수신율을 유도하기 위하여 그림 1의 기회전송 협동 다이버시티 시스템에서 각 채널이 서로 독립이고 레일레이 페이딩을 받는다고 가정한다. 그리고 릴레이의 수는 K 개이고 복조 후 전송 릴레이를 사용하며, m 개의 임펄스가 주어졌을 때 선택 결합(Selection Combining)을 갖는 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 조건부 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다^[2].

$$P(\bar{\gamma}_m | m) = \sum_{k=0}^K \Pr(\gamma_c < \gamma_0 | |C|=k) \Pr(|C|=k) \quad (5)$$

여기서, γ_0 는 임계값이며 γ_c 는 선택 결합 한 후의 SNR이다. 그리고 C 는 기회 전송하는 릴레이의 집합을 나타낸다. 그런데 m 개의 임펄스가 존재할 때 입력되는 각 채널의 평균 수신전력이 동일하다고 가정하면 (즉, $\bar{\gamma}_{im} = \bar{\gamma}_m$ ($i = 1, 2, \dots, k$)),

$$\Pr(\gamma_c < \gamma_0 | |C|=k) = (1 - e^{-\gamma_0 / \bar{\gamma}_m})^k \quad (6)$$

가 되고,

$$\Pr(|C|=k) = \binom{K}{k} (e^{-\gamma_0 / \bar{\gamma}_m})^k (1 - e^{-\gamma_0 / \bar{\gamma}_m})^{K-k} \quad (7)$$

이다. 따라서 임펄시브 잡음 하에서 중단간 오수신율은 조건부 오수신율의 평균을 취하면 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out, DF} &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-A} A^m}{m!} P(\bar{\gamma}_m | m) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-A} A^m}{m!} \sum_{k=0}^K \binom{K}{k} (e^{-\gamma_0 / \bar{\gamma}_m})^k (1 - e^{-\gamma_0 / \bar{\gamma}_m})^{K-k} \end{aligned} \quad (8)$$

앞에서 각 채널의 평균 수신 SNR이 동일하다고 가정하였으므로, 평균 신호전력을 S 라고 하면 평균 수신 SNR은

$$\bar{\gamma}_m = \frac{S}{\sigma_m^2} = \frac{S}{\sigma^2} \frac{1+T}{\frac{m}{A} + T} \quad (9)$$

이다.

2. 증폭 후 전송 (AF) 방식

증폭 후 전송 릴레이는 소스로부터 수신한 신호를 릴레이로 증폭한 후 목적지로 전송하는 방식이다. 릴레이의 수는 K 개이고 증폭 후 전송 릴레이를 사용하며, m

개의 임펄스가 주어졌을 때 선택 결합을 갖는 협동 다이버시티 시스템의 조건부 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다^{[2],[7]}.

$$P(\overline{\gamma}_m|m) = \sum_{k=0}^K \Pr(\gamma_c < \gamma_0|m) = \left[1 - \frac{2\gamma_0}{\sqrt{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}} K_1\left(\frac{2\gamma_0}{\sqrt{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}}\right) e^{-\gamma_0(1/\gamma_{SR}+1/\gamma_{RD})} \right]^K \quad (10)$$

여기서, γ_0 와 γ_c 는 각각 앞 절에서 설명한 임계값과 선택 결합한 후의 SNR이다. 또한 $\overline{\gamma}_{SR}$ 과 $\overline{\gamma}_{RD}$ 는 각각 소스와 릴레이 및 릴레이와 목적지 사이의 평균 SNR이다. 그리고 K_1 은 제2종 제1차 수정 베셀함수(first-order modified Bessel functions of the second kind)이다.

앞 절과 같이 각 채널에서 수신되는 평균 수신 전력이 동일하다는 가정 하에서 임펄시브 잡음이 존재할 때 증폭후 전송 릴레이 시스템의 중단간 오수신율은 조건부 확률 (10)의 평균을 취하면 얻을 수 있다.

$$P_{out,AF} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-A} A^m}{m!} P(\overline{\gamma}_m|m) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-A} A^m}{m!} \left[1 - \frac{2\gamma_0}{\sqrt{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}} K_1\left(\frac{2\gamma_0}{\sqrt{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}}\right) e^{-\gamma_0(1/\gamma_{SR}+1/\gamma_{RD})} \right]^K \quad (11)$$

앞 절에서와 마찬가지로 각 채널의 평균 수신 전력이 동일하다고 가정하면 (즉, $\overline{\gamma}_{SR} = \overline{\gamma}_{RD} = \overline{\gamma}_m$), (11)은 다음과 같이 간단히 쓸 수 있다.

$$P_{out,AF} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-A} A^m}{m!} \left[1 - \frac{2\gamma_0}{\gamma_m} K_1\left(\frac{2\gamma_0}{\gamma_m}\right) e^{-2\gamma_0/\gamma_m} \right]^K \quad (12)$$

IV. 수치적인 예

이 장에서는 앞에서 서술한 무선 채널로부터 수신한 신호는 서로 독립이며 레일레이 페이딩을 받고, 각 채널의 평균 SNR이 동일하다는 가정 하에 시스템의 오수신율을 수치적으로 계산한 예를 서술한다.

그림 3과 그림 4는 DF 릴레이를 갖는 기회전송 협동

다이버시티 시스템의 오수신율을 나타내었다. 먼저 그림 3은 A 값을 가변하였을 때 시스템의 오수신율을 나타낸 것인데, 정규화 평균 SNR($\overline{\gamma}_m/\gamma_0$)이 큰 영역(이 예에서는 약 15 dB이상)에서는 A 값이 클수록 시스템의 성능이 우수하지만 정규화 평균 SNR이 작은 값(이 예에서는 5 dB이하)에서는 A 값이 작을수록 시스템의 성능이 우수함을 나타내고 있다. 그리고 A 값이 점차 증가할수록 오수신율은 임펄시브 잡음이 없는 경우의 오수신율에 접근한다. 오수신율 1×10^{-3} 을 유지하기 위한 정규화 평균 SNR은 A 값이 1, 0.1, 그리고 0.01로 감소함에 따라서 각각 12.6 dB, 17.5 dB, 그리고 23.8 dB로 증가된다. 이는 시스템의 오수신율을 1×10^{-3} 으로 유지하기 위하여 임펄시브 잡음이 없는 경우에 비하여 각각 2.6 dB, 7.5 dB, 그리고 13.8 dB의 송신전력이 더 필요하다는 것을 의미한다.

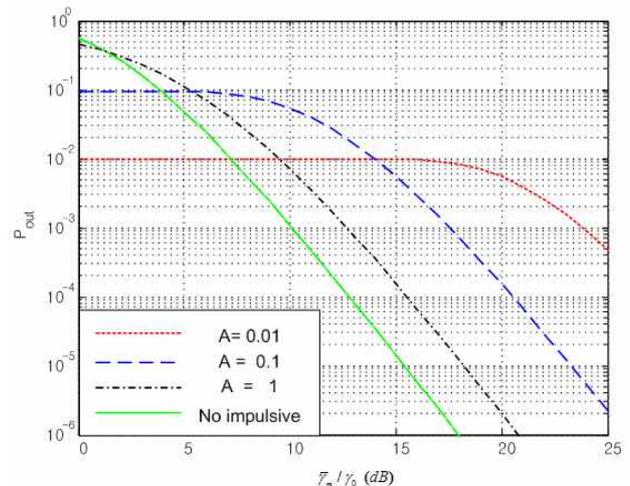


그림 3. A 값의 변화에 따른 DF 릴레이를 갖는 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 오수신율 ($K=4, T=0.01$)

Fig. 3. Outage probability of an opportunistic transmission cooperative diversity system with DF relay for different A ($K=4, T=0.01$)

그림 4는 T 값을 가변하였을 때 DF 릴레이 시스템의 오수신율을 나타낸 것인데, 정규화 평균 SNR($\overline{\gamma}_m/\gamma_0$)이 큰 영역(이 예에서는 5 dB이상)에서 T 값이 클수록 시스템의 성능이 우수함을 나타내고 있다. 그리고 T 값이 점차 증가할수록 오수신율은 임펄시브 잡음이 없는

경우의 오수신율에 접근한다. 오수신율 1×10^{-3} 을 유지하기 위한 정규화 평균 SNR은 T 값이 1, 0.1, 그리고 0.01로 감소함에 따라서 각각 14.9 dB, 17.2 dB, 그리고 17.5 dB로 증가된다. 즉, 시스템의 오수신율을 1×10^{-3} 으로 유지하기 위하여 임펄시브 잡음이 없는 경우에 비하여 각각 4.9 dB, 7.2 dB, 그리고 7.5 dB의 송신전력이 더 필요하다는 것을 의미한다. 앞의 그림 3과 그림 4를 비교할 때 시스템의 성능은 T 값보다 A 값에 더 민감한 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 이는 가우시안 잡음성분과 임펄스 잡음성분의 비보다 간섭시간 동안 평균 임펄스의 수에 더 많은 영향을 받는 것을 의미한다.

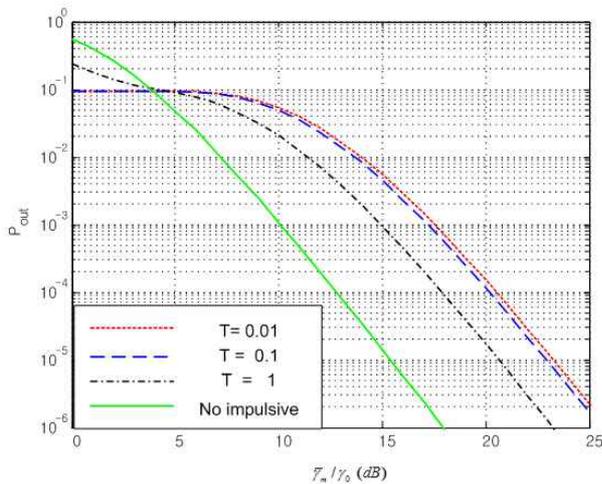


그림 4. T 값의 변화에 따른 DF 릴레이를 갖는 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 오수신율 ($K = 4, A = 0.1$)

Fig. 4. Outage probability of an opportunistic transmission cooperative diversity system with DF relay for different T ($K = 4, A = 0.1$)

그림 5와 그림 6은 AF 릴레이를 갖는 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 오수신율을 나타내었다. 그림 5는 A 값을 가변하였을 때의 오수신율로, 그림 3과 같이 정규화 평균 SNR($\overline{\gamma_m}/\gamma_0$)이 큰 영역(이 예에서는 약 15 dB 이상)에서는 A 값이 클수록 시스템의 성능이 우수하지만 정규화 평균 SNR이 작은 값(이 예에서는 5 dB 이하)에서는 A 값이 작을수록 시스템의 성능이 우수함을 나타내고 있다. 그리고 A 값이 점차 증가할수록 오수신율은 그림 3과 같이 임펄시브 잡음이 없는 경우의 오수신율에 접근한다. 오수신율 1×10^{-3} 을 유지하기 위한 정

규화 평균 SNR은 A 값이 1, 0.1, 그리고 0.01로 감소함에 따라서 각각 13.7 dB, 18.7 dB, 그리고 25.6 dB로 증가된다. 이는 시스템의 오수신율을 1×10^{-3} 으로 유지하기 위하여 임펄시브 잡음이 없는 경우에 비하여 각각 3.7 dB, 8.7 dB, 그리고 15.6 dB의 송신전력이 더 필요하다는 것을 의미한다. 그리고 그림 3에 나타난 DF 릴레이의 경우보다 같은 조건에서 각각 1.1 dB, 1.2 dB, 그리고 1.8 dB 성능이 열화되었음을 나타내고 있다. 즉 동일한 오수신율을 유지하기 위하여 더 큰 전력으로 송신하여야 한다.

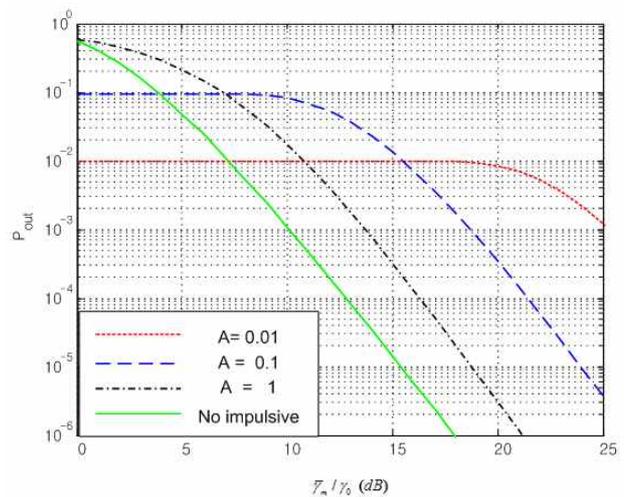


그림 5. A 값의 변화에 따른 AF 릴레이를 갖는 기회전송 협동다이버시티 시스템의 오수신율 ($K = 4, T = 0.01$)

Fig. 5. Outage probability of an opportunistic transmission cooperative diversity system with AF relay for different A ($K = 4, T = 0.01$)

그림 6은 T 값을 가변하였을 때 시스템의 오수신율을 나타낸 것인데, 정규화 평균 SNR($\overline{\gamma_m}/\gamma_0$)이 큰 영역(이 예에서는 5 dB 이상)에서 T 값이 클수록 시스템의 성능이 우수함을 나타내고 있다. 그리고 T 값이 점차 증가할수록 오수신율은 임펄시브 잡음이 없는 경우의 오수신율에 접근한다. 오수신율 1×10^{-3} 을 유지하기 위한 정규화 평균 SNR은 T 값이 1, 0.1, 그리고 0.01로 감소함에 따라서 각각 16.1 dB, 18.3 dB, 그리고 18.7 dB로 증가된다. 이는 시스템의 오수신율을 1×10^{-3} 으로 유지하기 위하여 임펄시브 잡음이 없는 경우에 비하여 각각 6.1 dB, 8.3 dB, 그리고 8.7 dB의 송신전력이 더 필요하다는 것을

의미한다. 그리고 그림 4에 나타낸 DF 릴레이의 경우와 같은 조건에서 각각 1.2 dB, 1.1 dB, 그리고 1.2 dB 성능이 열화되었음을 나타낸다. 그리고 그림 5와 그림 6에서도 DF의 경우와 마찬가지로 시스템의 성능은 T 값보다 A 값에 더 민감한 영향을 받았다. 즉, 시스템의 성능은 가우시안 잡음 성분 대 임펄스 잡음성분의 비율인 T 보다 임펄스의 수에 더 많은 영향을 받는 것을 의미한다.

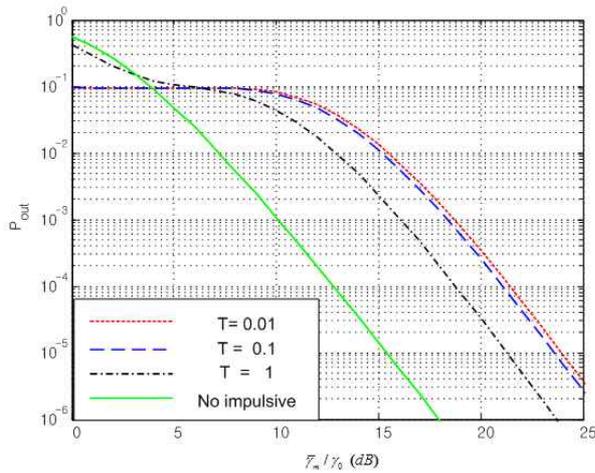


그림 6. T 값의 변화에 따른 AF 릴레이를 갖는 기회전송 협동다이버시티 시스템의 오수신율 ($K = 4, A = 0.1$)

Fig. 6. Outage probability of an opportunistic transmission cooperative diversity system with AF relay for different T ($K = 4, A = 0.1$)

V. 결론

본 논문에서는 임펄시브 잡음 환경에서 기회전송 협동 다이버시티 시스템에서 DF 릴레이를 사용하였을 때와 AF 릴레이를 사용하였을 때의 중단간 오수신율을 해석적인 방법으로 유도하였다.

본 논문의 결과 임펄시브 잡음의 확률 밀도함수로부터 평균 임펄스의 수가 줄어들수록 임펄시브 성분이 가우시안 성분보다 증가함을 알 수 있었다.

그리고 레일레이 페이딩을 받는 무선 채널에서, 임펄시브 잡음의 평균 임펄스의 수가 감소할수록 잡음의 임펄스 잡음성분이 증가하고, 결과적으로 SNR이 큰 영역에서 시스템의 성능은 열화되었다. 한편 가우시안 잡음 성분과 임펄스 잡음성분의 비가 증가할수록 가우시안 성

분만 존재할 때의 시스템 성능에 접근함을 알 수 있었다.

또한 시스템의 성능은 가우시안 잡음성분과 임펄스 잡음성분의 전력비보다 간섭시간 동안 평균 임펄스의 수에 더 많은 영향을 받았다. 그리고 예측한 바와 같이 DF 릴레이 방식과 AF 릴레이 방식을 비교한 결과 DF를 사용한 기회전송 협동 다이버시티 시스템의 성능이 우수하였다. 이는 AF 릴레이는 수신된 신호에 포함된 잡음도 동시에 증폭하여 전송하기 때문에 DF 릴레이보다 성능이 저하되기 때문이다.

결국 협동 다이버시티 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 평균 SNR이 동일하더라도 임펄시브 잡음의 발생 빈도가 적은 환경에서 사용하는 것이 성능을 개선할 수 있다.

참고 문헌

- [1] V. Stankovic, A. Madsen, and Z. Xiong, "Cooperative diversity for wireless ad hoc networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.23, no.5, pp.37-49, Sep. 2006.
- [2] J. Hu, N.C. Beaulieu, "Performance analysis of distributed spatial diversity with selection combining," *Proceedings of ICC*, pp.4611-4615, May 2008.
- [3] Y. Zhao, R. Adve, and T. J. Lim, "Outage probability at arbitrary SNR with cooperative diversity," *IEEE Communications Letters*, vol.9, no.8, pp.700-702, Aug. 2005.
- [4] D. Middleton, "Non-Gaussian noise models in signal processing for telecommunications: new methods and results for class A and class B noise models," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.45, no.4, pp.1129-1149, May 1999.
- [5] C. Tepedelenlioglu, P.Gao, "On diversity reception over fading channels with impulsive noise," *IEEE Trans. on Vehicular Technol.*, vol.54, no.6, pp.2037-2047, Nov. 2005.
- [6] S. Al-Dharrab, M. Uysal, "Cooperative diversity in the presence of impulsive noise," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol.8, no.9.

pp.4730-4739, Sept. 2009.

- [7] M.Hasna, M-S Alouini, "End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh-fading channels," IEEE Trans. on Wireless Communications, vol.2, no.6, pp.1126-1131, Nov. 2003.

※ 이 논문은 2010 - 2012학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음

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 ~ 현재: 청주대학교 전자정보공학부 교수
- 2006년 ~ 2007 : 청주대학교 학술정보처장
- 2010년 ~ 현재 : 청주대학교 입학처장
- 2008년 ~ 현재 : Marquis Who's Who in the World 등재
- 2011 ~ 2012 : 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>