논문 2010-5-16

레일리 페이딩 채널에서 2차 사용자 스펙트럼 접근이 가능한 협력통신 기법

Enable Secondary User Spectrum Access in Cooperative Communication Scheme with Rayleigh Fading Channel

김 렴*, 공형윤**

Lyum Kim, Hyung-Yun Kong

요 약 본 논문에서는 한 쌍의 1차 사용자 송수신단(PT-PR)과 한 쌍의 2차 사용자 송수신단(ST-SR)을 가지는 무선 인지 통신 시스템을 고려한다. 첫 번째 시간 슬롯(1 Phase)에서 1차 사용자 송신단(Primary Transmitter : PT)은 1차 사용자 수신단(Primary Receiver : PR), 2차 사용자 송신단(Secondary Transmitter : ST) 및 2차 사용자 수신단(Secondary Receiver : SR)에 자신의 신호 x_p를 브로드캐스트하며, 각각의 수신단(PR, ST, SR)에서는 수신된 신호를 복호한다. 두 번째 시간 슬롯(2 Phase)에서 ST는 수신 후 복호한 x_p'와 자신이 전송하고자하는 신호 x_s를 결합하여 PR과 SR에 브로드캐스트하고, 각 수신단(PR, SR)에서는 수신한 신호를 복호한다. 이 때 PR은 첫 번째 시간 슬롯에 수신한 x_p와 두 번째 시간 슬롯에 수신한 x_p+x_s 신호 중 x_p를 검출하여 최대 비 결합(Maximal Ratio Combining) 기법을 이용하여 결합한다. 이 때 PR에서는 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. SR은 첫 번째 시간 슬롯에 수신한 x_p와 두 번째 시간 슬롯에 수신한 $x_p + x_s$신호를 가지고 선형결합을 통해 x_s를 얻는다.

Abstract In this paper, the considered cognitive radio system has a pair of PT-PR and a pair of ST-SR. In first time slot(1 Phase), PT broadcast signal x_p to PR, ST and SR. Then, each receivers(PR, ST, SR) decode received signal x_p. In second time slot(2 Phase), ST combine decoded signal x_p' and signal x_s, and it broadcast combined signal to PR and SR. PR and SR decode combined signal. At this time, PR can achieve diversity gain, due to using MRC, it combine 'received and decoded signal x_p' at 1 phase' and 'detected signal x_p at 2 phase'. SR use linear combining technique and it can obtain x_s.

Key Words : Cooperative communication, Cognitive radio, Maximal Ratio Combining, decode-and-forward relaying, Bit Error Rate

Ⅰ. 서 론

주파수자원은 무선통신이 발전함에 따라 국가의 소중한 무형자산으로써 그 가치가 더욱 커지고 있는 실정이다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나 21세기의 정보화 사회에서는 주파수자원이 그에 못지않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 우리나라의 무선통신기술은 아날로그 세대인 1980년대까지는 매우 제한적으로 사용되었으나 1990년대 CDMA 이동통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하고 현재는 유비

*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학과
**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학과(교신저자)
접수일자 2010.8.5 수정일자 2010.9.10
게재확정일자 2010.10.15

쿼터스 정보화 사회를 눈앞에 두고 있다.[1]

최근 들어 다양한 무선통신 서비스의 급증으로 인해 한정된 주파수 자원은 점점 포화상태에 이르고 있다. 앞으로의 미래 사회에서 계속해서 증가하는 다양한 무선 콘텐츠와 서비스는 더 많은 사용자를 불러올 것이며, 이는 또 다른 주파수의 할당이 필요함을 의미한다. 그러나 미국의 주파수 관리 정책을 담당하는 연방 통신협회(FCC : Federal Communication Commission)의 보고서에 따르면 실제 사용되는 스펙트럼 사용률(spectrum utilization)이 6.5% 이내로 매우 낮게 나타나고 있으며, 이는 곧 기존의 주파수 정책이 효율적인 주파수 운용을 하지 못하고 있음을 보여준다. 따라서 유한한 주파수 이용의 효율을 높일 수 있다면, 현재 예상되는 주파수 부족 문제를 해결할 수 있음을 시사하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 무선인지(cognitive radio, CR) 기술은 기존의 낮은 스펙트럼 사용률을 획기적으로 높여줄 수 있는 대안으로 인식되고 있다. 무선인지 기술의 기본적인 개념은 기존의 주파수 할당 정책에서 1차 사용자(Primary user)만이 할당된 주파수에 접근할 수 있었으나, 무선인지 기술에서는 해당 주파수를 이용함에 있어서 1차 사용자와 2차 사용자(Secondary user)가 서로 공유할 수 있다는 것이다. 하지만 이 때 2차 사용자는 1차 사용자의 통신에 장애를 일으키지 않는 한도 내에서 해당 주파수의 사용이 가능하다는 전제조건이 필요하다.

협력 통신(Cooperative communication)은 다이버시티 이득을 얻기 위해 송신기 또는 수신기에서 다중 안테나를 필요로 하는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 시스템의 단점을 극복하기 위해 주변의 단말을 통신에 참여하게 하여 중계기 역할을 하게 함으로써 가상의 MIMO 시스템을 생성하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 획기적인 기술이다. 송신단은 수신단과 중계기로 신호를 전송하고, 중계기는 수신한 송신단의 신호를 수신단으로 재전송한다. 수신단은 송신단과 중계기로부터 받은 두 신호를 MRC(Maximal Ratio Combining)와 같은 신호결합기법을 이용하여 복호하고, 송신 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.[2]

본 논문에서 고려되는 시스템은 1차 사용자 송신단(PT)의 전송 커버리지 내에 1차 사용자 수신단(PR) 및 2차 사용자 송·수신단(ST, SR)이 존재한다고 가정한다. 각 수신단(PR, ST, SR)은 1차 사용자의 신호를 수신하고, 수신한 신호를 복호한다고 한다. 그리고 2차 사용자 송신단(ST)은 수신한 1차 사용자의 신호와 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여 1차 사용자 수신단과 2차 사용자 수신단에 전송한다. 최종적으로 1차 사용자 수신단(PR)에서는 1차 사용자 송신단에서 보낸 신호와 2차 사용자 송신단에서 보낸 결합 신호를 최대 비 결합(Maximal Ratio Combining : MRC)를 이용하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 2차 사용자 송·수신단 간 통신도 가능하게 된다. 하지만 이 때 1차 사용자의 통신에 2차 사용자가 참여하게 됨으로써 발생하는 Trade-off 관계가 발생하게 되며, 이 때 1차 사용자 및 2차 사용자 수신단에서 얻어지는 비트 오류율(Bit Error Rate : BER)을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II 장에서는 본 논문에서 고려되는 시스템 모델의 동작과 1차 및 2차 사용자 수신단에서 신호를 검출하는 방법에 대하여 설명하며, III 장에서는 시스템의 비트 오류율에 따른 성능을 분석한다. 마지막으로 IV 장에서는 성능 분석 결과를 토대로 고려되는 시스템의 성능에 대한 결론을 맺도록 한다.

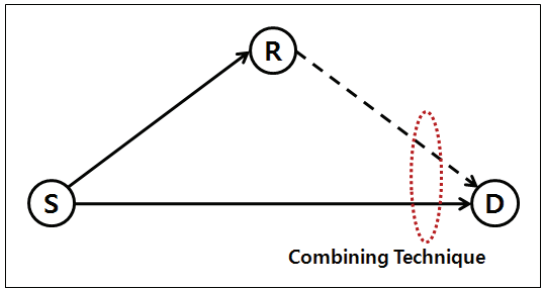


그림 1. 일반적인 협력통신 모델
Fig. 1. General cooperative communication model

II. 시스템 모델

본 논문에서 고려되는 시스템 모델은 그림 2와 같이 한 쌍의 1차 사용자 송·수신단(PT-PR)과 한 쌍의 2차 사용자 송·수신단(ST-SR)으로 구성된 시스템을 고려한다.

이 때 그림 3과 같이 1차 사용자 수신단(PR), 2차 사용자 송신단(ST) 및 2차 사용자 수신단(SR)은 모두 1차 사용자 송신단(PT)의 전송 커버리지 내에 위치하며, 각 채

널은 모두 독립적이라고 가정한다.

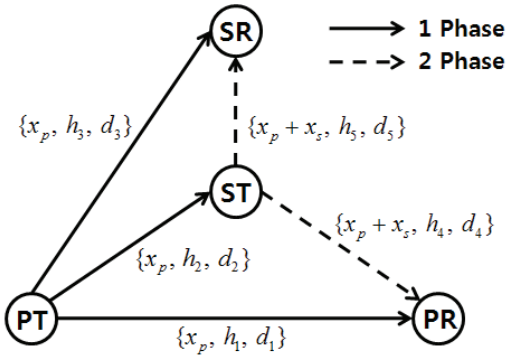


그림 2. 고려된 시스템 모델
Fig. 2. Considered System Model

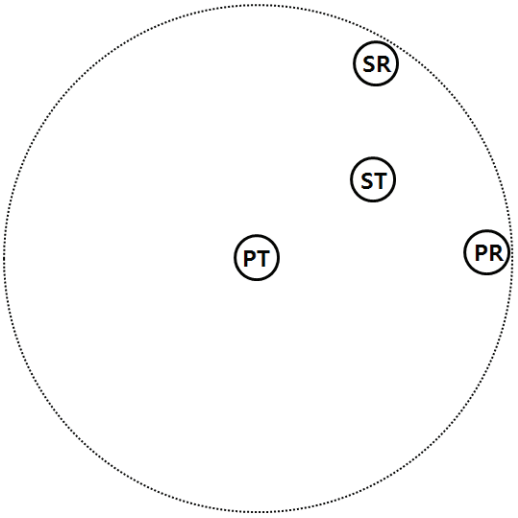


그림 3. 1차 사용자 송신단(PT)의 전송 커버리지
Fig. 3. Transmission coverage of Primary user Transmitter

첫 번째 시간 슬롯에서 PT는 PR, ST, SR에 자신의 신호 x_p를 브로드캐스트하며, ST에서는 수신한 신호를 복호하여 $\hat{x_p}$을 얻는다. 그리고 두 번째 시간 슬롯에서 ST는 자신이 보내고자 하는 신호 x_s와 복호한 신호 $\hat{x_p}$를 결합한 신호를 PR과 SR에 전송한다. 이 때 ST는 PT-PR 간 통신의 중계기 역할을 하면서, 자신의 신호 또한 2차 사용자 수신단(SR)으로 전송할 수 있으며, 최종적으로 PR에서는 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

1. 첫 번째 시간 슬롯(1 phase)에서의 시스템 동작

첫 번째 시간 슬롯에서 PT는 PR, ST, SR 노드에 자신의 신호 x_p를 전송하며, 이 때 각 노드에서 수신한 신호는 다음과 같다.

$$PR\text{에서 수신하는 신호 :} \quad y_{PT,PR} = \sqrt{P}h_1 x_p + n_1 \tag{1}$$
$$ST\text{에서 수신하는 신호 :} \quad y_{PT,ST} = \sqrt{P}h_2 x_p + n_2$$
$$SR\text{에서 수신하는 신호 :} \quad y_{PT,SR} = \sqrt{P}h_3 x_p + n_3$$

이 때 PT-PR, PT-ST, PT-SR 간 채널은 레일리 페이딩(Rayleigh fading) 채널로 설정하며, 각 채널은 독립적이고 그림 2와 같이 h_1, h_2, h_3으로 나타낸다. P는 전송 전력을 나타내며, n_i는 각 노드에서 잡음을 나타낸다. 그리고 신호를 수신한 ST노드는 복호 후 전달(Decode and Forward) 방식을 따른다. 따라서 수신한 x_p신호를 복호하여 $\hat{x_p}$신호를 얻으며, 다음 시간 슬롯에 전송한다.

2. 두 번째 시간 슬롯(2 phase)에서의 시스템 동작

두 번째 시간 슬롯에서 ST는 수신 후 복호한 신호 $\hat{x_p}$에 자신이 전송하고자 하는 신호 x_s를 결합하여 PR과 SR에 전송하며, 각 노드에서 수신한 신호는 다음과 같다.

$$PR\text{에서 수신하는 신호 :} \quad y_{ST,PR} = \underbrace{h_4\sqrt{\alpha}\,\hat{x_p}}_{signal} + \underbrace{h_4\sqrt{1-\alpha}\,x_s + n_4}_{noise} \tag{2}$$
$$SR\text{에서 수신하는 신호 :} \quad y_{ST,SR} = \underbrace{h_5\sqrt{1-\alpha}\,x_s}_{signal} + \underbrace{h_5\sqrt{\alpha}\,\hat{x_p} + n_4}_{noise}$$

이 때 전체 총 전송 전력 P(=1)를 두 신호 $\hat{x_p}$와 x_s에 각각 나누어서 할당하도록 하며, 그 중 $\hat{x_p}$신호에 할당되는 전송 전력을 식(2)에서 α로 표기하였다. 각 신호에 전송 전력을 어떻게 할당하느냐에 따라서 PR 및 SR에서의 수신 성능이 변하게 되며, 이에 대한 결과를 이용

하여 1차 및 2차 사용자의 요구 조건을 충족할 수 있는 최적의 전송 할당을 찾고자 한다.

결합 신호를 수신한 PR과 SR에서의 신호를 다음과 같이 받아들인다. PR에서는 결합 신호 내에서 $\hat{x_p}$, x_s 중 수신하기를 원하는 신호는 $\hat{x_p}$라고 볼 수 있으며, x_s는 불필요한 성분(=잡음)으로 성능 저하의 원인이 된다. 따라서 PR에서는 ST에서 전송하는 결합신호에서 $\hat{x_p}$에 보다 많은 전송 전력을 할당할수록 성능이 나아짐을 다음 장(성능 분석)에서 확인할 수 있다. SR의 경우는 PR과 반대가 된다.

3. PR과 SR에서 최종 신호 검출 방법

PR과 SR에서 최종적으로 원하는 신호를 검출하는 방법은 다음과 같다.

(1) PR의 경우 – 최대 비 결합 방식 이용

첫 번째 시간 슬롯에서 수신한 신호 $y_{PT,\,PR}$과 두 번째 시간 슬롯에 수신한 $y_{ST,\,PR}$을 수신한 PR은 두 신호로 최대 비 결합(Maximal Ratio Combining : MRC)를 이용하여, 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 이 때 두 번째 시간 슬롯에 수신한 신호 $y_{ST,\,PR}$ 중 단지 $\hat{x_p}$ 성분만을 이용하여 첫 번째 시간 슬롯에 수신한 신호와 MRC를 적용한다.

이 때 두 번째 시간 슬롯에 받은 신호 중 $\hat{x_p}$만을 필요로 하며, x_s는 불필요한 신호이기 때문에 PR은 결합 신호 중 단지 $\hat{x_p}$만을 찾아낼 필요가 있다. 결합 신호 성분 중에서 $\hat{x_p}$신호만을 찾기 위해서 PR에서 앞서 수신한 신호 $y_{PT,\,PR}$를 이용하여, 다음 슬롯에서 받은 신호에서 자신의 신호를 찾을 수 있다.[3]

두 번째 시간 슬롯에서 수신하는 결합 신호 $y_{ST,\,PR}$와 첫 번째 시간 슬롯에 수신한 신호 $y_{PT,\,PR}$를 선형 결합을 이용하여 식 (3)와 같은 방법으로 $\hat{x_p}$ 성분의 신호로 판단될 수 있는 신호 y_{PR}^{2phase}을 얻으며, 식 (4)는 단순히 신호 성분만으로 표현한 것이다.

$$y_{PR}^{2phase} = y_{ST,\,PR} - \{(y_{ST,\,PR}) - y_{PT,\,PR}\} \quad (3)$$

$$\hat{x_p}' = \underbrace{(\hat{x_p} + x_s)}_{2phase\ 수신신호} - \left\{ \underbrace{\underbrace{(\hat{x_p} + x_s)}_{2phase\ 수신신호} - x_p^{PR}}_{=x_s} \right\} \quad (4)$$

이렇게 PR에서 첫 번째 시간 슬롯과 두 번째 시간 슬롯에서 위와 같은 방법으로 찾은 신호를 최대 비 결합(Maximal ratio combining : MRC)을 이용하여 결합하며, 이 때 다이버시티 이득을 취할 수 있다. 최종적으로 성능 분석 시 x_p와 MRC를 통해 얻은 결과를 비교함으로써 비트 오류율을 얻는다.

(2) SR의 경우

SR에서 자신이 원하는 신호 x_s를 얻는 방법은 PR에서 신호를 얻는 방법과 같은 방법을 이용하지만 더욱 간단하다. 두 번째 시간 슬롯에 수신하는 결합 신호 $y_{ST,\,SR}$과 첫 번째 시간 슬롯에 수신한 신호 $y_{PT,\,SR}$을 선형 결합을 이용하여 x_p성분의 신호를 소거함으로써 식 (5)와 같이 원하는 신호 x_s만을 얻을 수 있으며, 식 (6)은 신호 성분만으로 표현한 것이다.

$$y_{SR}^{2phase} = y_{ST,\,SR} - y_{PT,\,SR} \quad (5)$$

$$\underbrace{(x_p^{ST} + x_s)}_{2phase\ 수신\ 신호} - x_p^{SR} = x_s \quad (6)$$

Ⅲ. 성능 분석

본 논문에서 시스템의 성능 분석은 PR과 SR에서 수신하는 신호의 비트 오류율(Bit Error Rate : BER)을 얻는 것으로 진행하였다. 각 채널은 모두 독립적이며, 레일리 페이딩(Rayleigh fading) 채널을 고려하고, 잡음 n_i은 각 노드에서 평균이 0, 분산 σ^2(=1)인 표준정규분포를 가지는 가산성 백색 가우시안 잡음(Additive white Gaussian noise : AWGN)을 고려한다. 경로 감쇄(path-loss) 지수는 3으로 주어지며, 채널 이득은 식(7)과 같다.

$$Channel\ gain = d_i^{-3},\ \ i = 1, \ldots, 5 \quad (7)$$
$$(d = \text{노드간 거리})$$

직접 전송과 최대 비 결합(MRC)을 이용한 전송을 공정하게 비교하기위해 직접 전송 시 전송전력이 1이라고 가정할 때, MRC를 이용한 전송 시 전송 전력은 PT에서 1/2, ST에서 1/2로 정규화 하였다. 변조방식은 BPSK를 이용한다.

1. 전송 전력 할당에 따른 BER 성능 변화

첫 번째 성능 분석 방법은 각 노드의 위치를 고정하고 두 번째 시간 슬롯에서 ST가 전송하는 결합 신호 중 $\hat{x_p}$에 α, x_s에 $1-\alpha$로 전송 전력을 나누어 할당한다. 이 때 PR 및 SR에서 비트 오류율에 따른 성능을 분석하였다. 이 때 각 노드간 거리(d)는 그림 4와 같으며, PT-ST-PR은 일직선상에 존재한다고 가정한다.

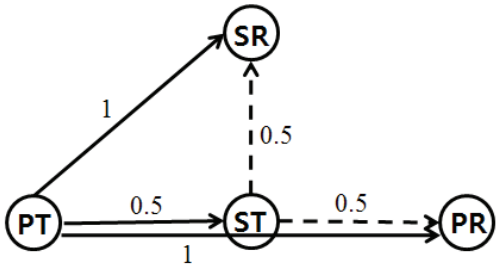


그림 4. 각 노드간 거리 및 위치
Fig. 4. Distance and Position of each nodes

이 때 PR에서 얻어지는 SNR에 따른 BER 성능 변화는 다음 그림 5와 같다.

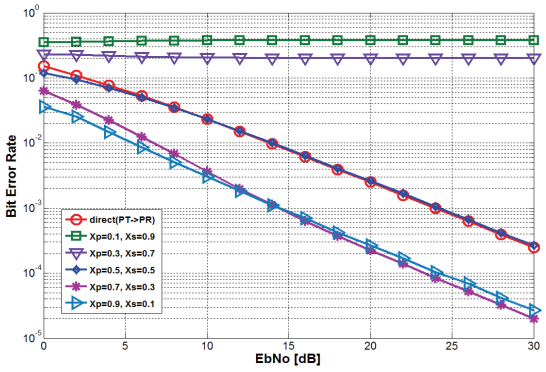


그림 5. x_p와 x_s에 할당되는 전송 전력에 따른 MRC를 이용한 Primary Receiver(PR)의 BER 성능
Fig. 5. Using MRC, BER performance of PR according to transmission power allocation of x_p and x_s

모의실험 결과 ST에서 전송하는 결합신호에서 $\hat{x_p}$와 x_s신호에 할당되는 총 전송 전력을 1로 볼 때 x_p에 할당되는 전송 전력이 0.4까지는 직접 전송보다 낮은 성능을 보이다가 $\hat{x_p}$에 0.5의 전송 전력을 할당한 시점에 PT-PR간 직접 전송과 거의 비슷한 성능을 보이며, 이보다 많은 전력을 $\hat{x_p}$에 할당할수록 PR에서 MRC를 이용한 수신 성능이 나아짐을 보이고 있다.

SR에서 얻어지는 SNR에 따른 BER 성능 변화는 다음 그림 6과 같다.

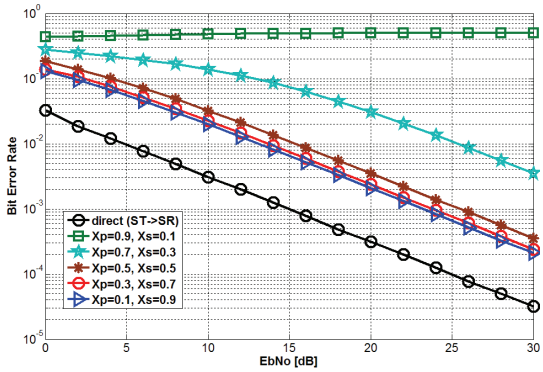


그림 6. x_p와 x_s에 할당되는 전력비에 따른 Secondary Receiver(SR)의 BER 성능
Fig. 6. BER performance of SR according to transmission power allocation of x_p and x_s

그림 6에서는 x_s에 할당되는 전송 전력을 높이더라도 ST-SR간 직접 전송보다 못한 성능을 보임을 알 수 있다. 여기서 성능비교를 위해 이용된 직접 전송의 성능은 단순히 ST와 SR만이 존재하고, 서로간의 거리는 0.5로 가정하여 SR에서 수신하는 비트 오류율이다. 첫 번째 시간 슬롯에서 수신하는 신호는 사실상 SR에서는 쓸모없는 신호이며, 두 번째 시간슬롯에서도 원하는 신호인 x_s에 신호 $\hat{x_p}$가 결합되어 수신되므로 이것이 성능 열화의 원인이 됨으로써 이와 같은 결과를 얻는다. 또한 x_s에 할당되는 전송 전력이 0.5 이상부터는 더 많은 전송 전력을 할당하더라도 성능 향상이 크게 이루어지지 않는다.

2. ST 위치에 따른 PR에서의 BER 성능 변화

두 번째 성능 분석 방법은 PT-ST간 거리를 d로 두고, ST-PR간 거리를 $1-d$라고 할 때 d의 변화에 따라 PR에서 MRC를 이용하여 수신하는 BER 성능 변화를 살펴본다. 이 때 PT-PR, PT-SR, ST-SR간 거리는 그림 4와 같이 고정한다. SNR(Signal to Noise Ratio)은 10dB로 고정하며, ST에서 생성되는 결합신호의 $\hat{x_p}$와 x_s 신호에 할당되는 전송 전력을 변화시킨다. 이 때 PT와 PR 사이에 ST의 위치 변경에 따른 BER 성능은 그림 7과 같다.

첫 번째 시간 슬롯에서 x_p신호를 수신하게 되면 ST는 복호한 뒤 자신의 신호를 결합하여 전송하는 복호 후 전송(Decode and Forward : DF) 방식을 따른다. 일반적으로 고정된 중계기를 이용하는 복호 후 전송 방식을 사용하는 협력 전송에서 중계기의 최적의 위치는 전체 거리를 1로 잡았을 때 송신단을 기준으로 중계기가 0.3 근처에 위치하는 것으로 알려져 있다.[6]

본 모의실험 결과도 x_p신호에 할당되는 전송 전력이 1에 가까워질수록 최적의 성능을 내는 위치가 d=0.3 에 가까워지고 있다. 또한 본 모의실험을 통해 ST에서 전송하는 결합신호에 할당되는 전력이 달라짐에 따라 최적의 성능을 보이는 ST의 위치를 파악할 수 있다.

3. 전송 전력 할당에 따른 최적의 위치를 적용한 시스템 성능 분석

모의실험 (1)과 (2)를 통해서 결합신호에 각각 할당되는 전송 전력이 변화함에 따라 PR과 SR에서 수신 성능이 어떻게 변화하며, 각 전송 전력 할당에 대한 최적의 ST 위치를 알 수 있다. 1차 사용자(Primary user)의 성능이 $\hat{x_p}$에 0.5 이상의 전송 전력이 할당되었을 때 직접 전송보다 나은 성능을 얻을 수 있으므로, 그 이하의 전송 전력 할당 시 성능은 무의미하다. 따라서 모의실험 (1)과 (2)를 통해 얻은 결과를 이용하여, 각 전송 전력 할당마다 최적의 성능을 얻을 수 있도록 ST의 위치를 조정하여 성능을 분석한다.

그림 8에서 일반적인 경우(Normal)는 그림 4와 같이 ST가 PT와 PR의 가운데에 위치(d=0.5)할 때 PR 및 SR의 수신 성능이며, 최적화의 경우(Optimization : Optim.)는 각 전송 전력 할당 시 최적의 성능을 보이는 지점으로 d를 조정하였다.

그림 7에서 ST가 전송하는 결합신호에서 각 전송 전력 할당을 달리할 때 최적의 성능을 보이는 ST 위치가 달라짐을 알 수 있었으므로, 이 결과를 모의실험에 적용하였다. 그림 8에서 보이는바와 같이 ST가 최적의 위치에 있을 때 PR의 수신 성능이 보다 향상됨을 보이고 있다. SR의 수신 성능의 경우는 ST의 위치가 달라지더라도 ST-SR간 거리 변화는 고려하지 않아 그림 6과 같은 성능을 보인다.

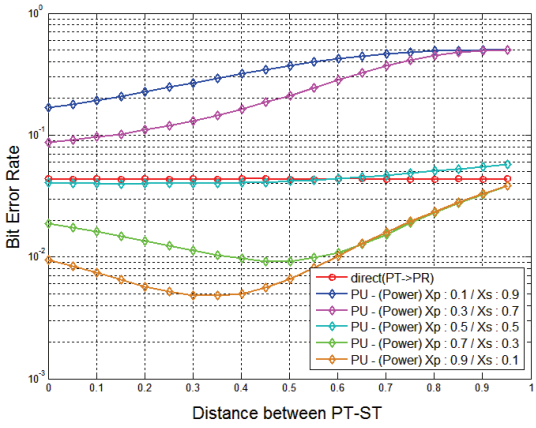


그림 7. d의 변화에 따라 MRC를 이용하는 Primary Receiver(PR)의 BER 성능

Fig. 7. Using MRC, BER performance of PR according to changed of d

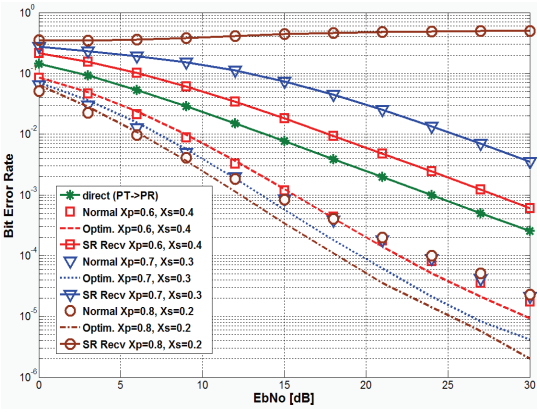


그림 8. 최적의 ST 위치에 따른 Primary Receiver(PR)과 Secondary Receiver(SR)의 BER 성능

Fig. 8. BER performance of PR and SR according to optimization of ST position

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 첫 번째 시간 슬롯에서 PT에서 전송하는 신호를 PR, ST, SR에서 수신하고, 두 번째 시간 슬롯에서 ST는 수신 후 복호한 신호와 자신이 보내고자 하는 신호를 결합하여 전송함으로써 1차 사용자와 2차 사용자가 같은 스펙트럼을 사용할 수 있는 시스템 모델을 분석하였다. 모의실험 1에서 ST가 신호를 결합하여 전송할 때 각 신호에 할당되는 전송 전력이 달라짐에 따라 변화하는 BER 성능을 알 수 있다. 모의실험 2에서 PT와 PR 사이에 존재하는 ST의 위치에 따른 BER 성능을 얻음으로써 최적의 위치를 알 수 있다. 또한 이렇게 얻은 모의실험 결과를 바탕으로 ST가 최적의 성능을 얻는 위치에서 다른 임의의 위치보다 성능이 나아짐을 모의실험 3을 통해 보였다.

본 논문에서 도출된 연구 결과는 1차 사용자의 스펙트럼에 2차 사용자의 접근을 고려할 때 1차 사용자의 성능이 약간 떨어지지만 어느 정도의 성능을 보장하면서, 2차 사용자의 접근이 가능하게 함으로써 스펙트럼 효율성을 높일 수 있음을 보였다. 또한 이 때 최적의 성능을 얻을 수 있는 방법을 제시하고, 증명하였다.

참 고 문 헌

[1] 김창주, “Cognitive Radio 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제21권, 제4호, .62-69쪽, 2006년 8월

[2] Aria Nostatinia, Todd E. Hunter, "Cooperative Communication in wireless network", IEEE Communication Magazine, vol. 42, pp. 74-80, Oct. 2004.

[3] B. Rankov and A. Wittneben, “Spectral efficiency protocols for halfduplex fading relay channels”, IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 25, no. 2, pp. 379-389, Feb. 2007.

[4] Michael R. Souryal, Branimir R. Vojcic, "Performance of Amplify-and-Forward and Decode-and-Forward relaying in Rayleigh fading with Turbo codes", ICASSP 2006, pp.IV-681-684, Toulouse, France, May. 2006

[5] J. M. Peha, "Approaches to spectrum sharing", IEEE Communication Magazine, vol. 43, no. 2, pp. 10-12, 2005

[6] Kyunchul Kwak, Woohyun Seo, Daesik Hong, "Relay position in decode-and-forward relay systems to achieve full diversity gain", KICS Wireless Commun, vol. 32, No. 12, pp. 1260-1266, Dec. 2007

[7] J. N. Leneman, D.N.C Tse, G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks : Efficient protocols and outage behavior", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, 2004

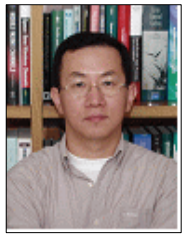
저자 소개

김 렴(준회원)

• 2010년 2월 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
• 2010년 3월~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 석사학위 과정

<주관심분야 : 협력통신, MIMO, 인지통신, 다중 홉 시스템, 양방향 통신,>

공 형 윤(정회원)



• 1989년 2월 : 미국 New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
• 1991년 2월 : 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
• 1996년 2월 : 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
• 1996년~1996년 : LG전자 PCS 팀장
• 1996년~1998년 : LG전자 회장실 전략사업단
• 1998년~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

<주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크>