

논문 2007-44TC-5-12

다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법

(Amplify-and-Forward Cooperative Diversity with Multiple Relays)

이 동 우*, 정 영 석**, 이 재 홍***, 연 승 호****, 이 미 숙****, 양 재 수****

(Dongwoo Lee, Young Seok Jung, Jae Hong Lee, Seung Ho Yeon, Mi Sook Lee, and Jae Soo Yang)

요 약

본 논문에서는 위상 피드백을 사용하는 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법을 소개한다. 시뮬레이션 결과는 위상 피드백을 사용하는 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법이 기존 무선 통신 기법에 비해 향상된 성능을 제공할 뿐만 아니라 협동에 참여하는 단말기 수에 따라 다이버시티 이득을 얻음을 보여준다. 제안된 기법은 적은 양의 피드백만으로도 완전한 피드백을 사용한 경우에 근접하는 성능을 제공한다.

Abstract

In this paper, we introduce the amplify-and-forward (AF) cooperative diversity with multiple relays using phase feedback. Simulation results show that the AF cooperative diversity with multiple relays using phase feedback not only provide the better performance than the direct transmission, but also obtain the diversity gain according to the number of the cooperating terminals. The performance of proposed scheme using tolerable feedback is close to optimal performance.

Keywords : Cooperative diversity, Amplify-and-Forward, Wireless networks

I. 서 론

협동 다이버시티가 무선통신 시스템에서 채널 용량 증대와 다이버시티 이득(diversity gain)을 얻는 방법으로 소개된 이후, 협동 다이버시티 기술과 관련된 많은 연구가 진행되었다. 그러나 협동 다이버시티 기술에서 다중 중계 단말기(relay)를 이용하는 경우가 하나의 중계 단말기를 이용하는 경우에 비해 향상된 다이버시티 이득을 제공할 수 있음에도 불구하고, 다중 중계 단말기를 이용하는 증폭재전송 협동 다이버시티 (amplify-

and-forward cooperative diversity) 기술에 대한 연구는 부족한 실정이다. 일부 연구에서는, 전체 사용가능한 채널을 무선통신 네트워크상의 모든 단말기 수만큼의 직교하는 서브채널(orthogonal subchannel)로 나누어 전송하는 반복 기반(repetition-based) 협동 다이버시티 기술이 증폭재전송 협동 다이버시티 기술의 성능을 개선함을 보여준다. 그러나 반복 기반 협동 다이버시티 기술은 전체 사용가능한 채널이 협동에 참여하는 모든 단말기들의 수만큼 나누어지기 때문에 그에 따른 대역폭 효율성(bandwidth efficiency) 감소를 야기 시킨다.

또한, 협동 다이버시티 기술에 대한 대부분의 연구는 수신지(destination)가 중계 단말기들과 수신지 사이의 채널 상태 정보(CSI: channel state information) 뿐 아니라 송신 단말기(source)와 중계 단말기들 사이의 채널 상태 정보도 정확히 알고 있는 것으로 가정하였다. 그러나 실제 무선통신 시스템에서 수신지가 송신 단말기와 중계 단말기 사이의 채널 상태 정보를 정확히 아는 것은 비현실적이다.

본 논문에서는 채널 위상 정보 피드백(feedback)과

* 학생회원, 서울대학교 전기컴퓨터공학부
(Seoul National University)

** 정회원, (주)삼성전자 통신연구소
(Samsung Electronics Corp.)

*** 정회원, 서울대학교 전기컴퓨터공학부
(Seoul National University)

**** 정회원, (주)KT
(KT Corp.)

※ 본 연구는 BK21 사업, ITRC 사업, (주)KT의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2007년3월5일, 수정완료일: 2007년5월14일

위상 회전을 사용하여 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기술을 제안한다. 대역폭 효율성을 얻기 위하여 중계 단말기들은 동일한 서브채널(subchannel) 상에서 송신 단말기로부터 수신한 신호를 동시에 재전송한다. 중계 단말기들로부터 수신지로 신호가 동시에 전송될 경우 발생할 수 있는 신호의 논코히런트(noncoherent) 결합 문제를 해결하기 위하여 위상 피드백과 위상 회전 기법이 적용되었다. 제안된 기술은 수신지가 무선통신 네트워크상의 모든 채널 상태, 즉 전역 채널 상태 정보(global CSI)를 아는 경우와 각 단말기들이 직접 데이터를 주고받는 인접한 단말기간의 채널 상태 정보, 즉 지역 채널 상태 정보(local CSI)만을 아는 보다 현실적인 가정을 기반으로 논의된다.

II. 위상 피드백을 사용하는 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법

본 논문에서는 하나의 안테나를 갖는 $M+2$ 개의 단말기로 구성된 무선통신 네트워크 시스템을 가정하였다. 무선통신 네트워크 시스템은 하나의 송신 단말기 s 와 하나의 수신지 d , 그리고 M 개의 중계 단말기, r_i , $i=1, \dots, M$ 로 구성되어있다. 전체 사용가능한 채널은 각각 송신 단말기와 중계 단말기들의 전송을 위해 두 개의 직교하는 서브채널로 나뉘어 사용된다. 첫 번째 서브채널에서 송신 단말기는 자신이 수신지로 전송하고자 하는 데이터를 중계 단말기와 수신지에 브로드캐스트(broadcast)한다. 두 번째 서브채널에서 중계 단말기들은 송신 단말기로부터 수신한 신호를 증폭하고 수신지로 동시에 재전송한다.

본 논문에서는 각 단말기들로부터 수신지에 수신되는 신호들의 완벽한 동기화(synchronization)를 가정한다. 또한 제안된 기법은 제안된 기법을 적용하지 않은 기존 무선통신 시스템과 동일한 전송 전력(transmission power)을 사용한다고 가정한다.

첫 번째 서브채널에서, i 번째 중계 단말기와 수신지에서 수신되는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{sr_i} &= h_{sr_i}x + n_{sr_i} \\ y_{sd} &= h_{sd}x + n_{sd} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서, y_{ij} 는 i 단말기로부터 j 단말기에 수신되는 신호, x 는 송신 단말기가 송신한 신호, h_{ij} 는 i 단말기로부터 j 단말기에 수신되는 페이딩 채널 계수

(fading channel coefficient)이며, n_{ij} 는 i 단말기로부터 j 단말기에 수신되는 가산성 잡음(additive noise)을 나타낸다.

채널 계수 h_{ij} 와 잡음 n_{ij} 는 차원 당 평균이 0이고, 각각 1과 N_0 를 분산으로 갖는 독립적 원형 대칭 복소 가우시안 랜덤 변수(independent circularly symmetric complex Gaussian random variables)와 동일한 분포이다. 또한 페이딩 계수가 한 프레임동안 일정하고 각 단말기들 간에 독립적인 준정상(quasi-static) 페이딩 채널을 가정하였다.

두 번째 서브채널에서, i 번째 중계 단말기는 송신 단말기로부터 수신한 신호를 A_i 배만큼 증폭시킨 후 수신지로 재전송하게 된다. 수신지에서 중계 단말기들로부터 수신된 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} y_{rd} &= \sum_{i=1}^M \left(|h_{r_i,d}| |A_i| |h_{sr_i}| e^{j\epsilon_{r_i,d}} \right) x \\ &+ \sum_{i=1}^M \left(|h_{r_i,d}| |A_i| e^{j\epsilon_{r_i,d}} \right) n_{sr_i} + n_{rd} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서, 양자화 오류, $\epsilon_{r_i,d} = \hat{\phi}_{r_i,d} - \phi_{r_i,d}$ 이고, $\phi_{r_i,d}$ 는 $h_{r_i,d}$ 에 의해 생긴 i 번째 중계 단말기에서 수신지로 가는 경로의 실제 위상 회전이며, $\hat{\phi}_{r_i,d}$ 는 양자화된 $\phi_{r_i,d}$ 의 추정값이다.

증폭 계수 A_i 와 증폭 계수의 크기 $|A_i|$ 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$A_i = |A_i| e^{-j(\phi_{sr_i} + \hat{\phi}_{r_i,d})} \quad (3)$$

$$|A_i| = \sqrt{\frac{\alpha \rho}{\rho |h_{sr_i}|^2 + 1}} \quad (4)$$

상기 식에서, $\alpha = E_r/E_s = 1/M$, $\rho = E_s/N_0$, E_s 는 송신 단말기 평균 전송 전력, E_r 는 중계 단말기 평균 전송 전력, ϕ_{sr_i} 는 h_{sr_i} 에 의해 생긴 i 번째 중계 단말기에서 수신지로 가는 경로의 실제 위상 회전이다. h_{sr_i} 는 i 번째 중계 단말기에서 채널 추정으로 정확히 알 수 있다고 가정하였다. 식 (3)에서 볼 수 있는 것처럼, 증폭 계수 A_i 는 h_{sr_i} 과 $h_{r_i,d}$ 의 위상 회전 효과를 제거한다.

양자화된 위상 피드백은 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\phi}_{r,d} = \left\lfloor \frac{\phi_{r,d}}{2^q} \right\rfloor \cdot \frac{2\pi}{2^q} + \frac{2\pi}{2^{q+1}} \quad (5)$$

상기 식에서 q 는 피드백 비트 수를 의미한다.

식 (5)와 같이 양자화된 위상 피드백을 이용하여 위상 회전을 할 경우, 중계 단말기에서 동시에 송신되는 신호들의 위상이 수신지에서 0 (radian) 근처의 좁은 범위 안으로 모아지게 되고, 양자화 오류는 다음과 같은 범위를 갖게 된다.

$$-\frac{2\pi}{2^{q+1}} \leq \epsilon_{r,d} < \frac{2\pi}{2^{q+1}} \quad (6)$$

실제 환경에서의 제약으로 인해, 수신지로부터 중계 단말기로의 피드백 비트 수는 가능한 한 적어야 한다. 그러나 피드백의 양자화(quantization)는 수신 신호 대 잡음비(SNR: signal-to-noise ratio)의 열화를 가져오는 양자화 오류항 $e^{j\epsilon_{r,d}}$ 를 야기 시킨다. 비록 양자화 비트의 증가는 적은 수신 신호 대 잡음비 열화와 더 나은 성능을 보장하지만, 시스템의 복잡도를 증가시킨다.

1. 전역 채널 상태 정보를 이용한 최적 수신기

먼저, 수신지가 전역 채널 상태 정보를 알고 있는 경우, 최적 수신기를 이용한 데이터의 수신을 설명한다.

수신지가 무선통신 네트워크와 관련된 모든 채널 상태, 즉 전역 채널 상태 정보를 알고 있다면, 식 (1)과 식 (2)의 복호화에 최적(optimal) 결합 기법인 최대비 결합기(MRC: maximal-ratio combiner)의 적용이 가능하다. 수신지에서 송신 단말기와 중계 단말기로부터 수신된 신호들의 결합신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_c = w_d y_{sd} + w_r y_r \quad (7)$$

상기 식에서, w_d 는 송신 단말기와 수신지간의 경로를 위한 웨이팅 계수(weighting coefficient)이고, w_r 은 중계 단말기들과 수신지간의 경로를 위한 웨이팅 계수이다. 웨이팅 계수 w_d 와 w_r 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$w_d = C h_{sd}^* \quad (8)$$

$$w_r = C \left(\frac{\sum_{i=1}^M (|h_{r,d}| |A_i| |h_{sr,i}| e^{j\epsilon_{r,d}})^*}{\sum_{j=1}^M |h_{r,d}|^2 |A_j|^2 + 1} \right) \quad (9)$$

상기 식에서, *는 켈레 복소수를 나타내고, C 는 임의의 상수를 나타낸다. 결합 신호의 신호 대 잡음비는 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma_C = |h_{sd}|^2 \rho + \left(\frac{\sum_{i=1}^M |h_{r,d}| |A_i| |h_{sr,i}| e^{j\epsilon_{r,d}}}{\sum_{j=1}^M |h_{r,d}|^2 |A_j|^2 + 1} \right)^2 \rho \quad (10)$$

식 (8)로부터 불능 사건(outage event)은 다음과 같이 얻어진다.

$$|h_{sd}|^2 \rho + \left(\frac{\sum_{i=1}^M |h_{r,d}| |A_i| |h_{sr,i}| e^{j\epsilon_{r,d}}}{\sum_{j=1}^M |h_{r,d}|^2 |A_j|^2 + 1} \right)^2 \rho < 2^{2R} - 1 \quad (11)$$

상기 식에서, R 은 스펙트럼 효율(spectral efficiency)이다.

제한된 기법은 비효율적인 채널 할당으로 인해 신호 대 잡음비 손실이 $M+1$ 인 반복 기반 증폭재전송 협동 다이버시티 기술과 달리, 효율적인 채널 할당의 결과로 신호 대 잡음비 손실이 $M+1$ 에 지수적이지 않은 불능 확률 성능을 갖는 것을 볼 수 있다.

양자화 오류 양자화 오류항, $e^{j\epsilon_{r,d}}$ 는 수신 신호 대 잡음비의 열화를 야기 시킨다. 만약 중계 단말기에서 완전한(full) 위상 피드백을 가정한다면, 양자화 오류 $\epsilon_{r,d}$ 는 0이 된다.

2. 지역 채널 상태 정보를 이용한 준최적 수신기

다음으로, 무선통신 네트워크상의 단말기들이 지역 채널 상태 정보를 알고 있는 경우, 준최적(suboptimal) 수신기를 이용한 데이터의 수신을 설명한다.

만약 수신지가 송신 단말기와 중계 단말기간의 채널 상태를 모른다면, 수신지에서 수신된 신호들을 결합하는데 최대비 결합기를 사용할 수 없다. 그러나 각 중계 단말기에서 수신지로부터의 채널 위상 정보 피드백과 위상 회전을 이용해 신호 전송에 따른 위상회전의 효과를 제거할 수 있다면, 각 단말기들이 지역 채널 상태 정보만을 아는 경우에도 수신지에서 코히런트(coherent) 혹은 세미코히런트(semi-coherent)하게 더해진 신호를 얻을 수 있다.

수신지에서 송신 단말기와 중계 단말기로부터 수신된 신호가 식 (7)와 같이 결합된다면, 웨이팅 계수 w_r ,

은 임의의 상수가 되고, w_d 는 다음과 같이 주어진다.

$$w_d = C \frac{h_{sd}^*}{|h_{sd}|} \quad (12)$$

만약 송신 단말기와 수신지간의 경로를 위한 웨이팅 계수 w_d 의 크기, $|w_d|=1$ 로 정하고, 수신지로부터 각 중계 단말기로 양자화된 위상 피드백을 사용한다면, 결합된 신호의 신호 대 잡음비는 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma_C = \left(\frac{\left| |h_{sd}| + |w_r| \left(\sum_{i=1}^M |h_{r_i,d}| |A_{i1}| |h_{sr_i}| e^{j\epsilon_{r_i,d}} \right) \right|^2}{|w_r|^2 \left(\sum_{j=1}^M |A_{j1}|^2 |h_{r_j,d}|^2 \right) + 1} + 1 \right) \rho \quad (13)$$

상기 식에서 볼 수 있듯이 완전한 피드백을 사용하는 경우 양자화 오류 $\epsilon_{r_i,d}$ 이 0이 되기 때문에, 중계 단말기에서 동시에 송신되는 신호들이 수신지에 코히런트하게 더해져서 수신되게 된다. 비록 양자화된 피드백을 사용하는 경우에는 양자화 오류가 존재하고 그에 따라 성능에 열화가 발생하게 되지만, 여전히 중계 단말기에서 동시에 송신되는 신호들이 수신지에 세미코히런트하게 더해져서 수신되고 단말기 수 증가에 따른 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 된다.

가. 세미코히런트 등이득 결합기

먼저 준최적 수신기 구현예로서 세미코히런트 등이득 결합기(CEGC: semi-coherent equal gain combiner)를 설명한다.

세미코히런트 등이득 결합기의 경우, 간단하게 식 (13)에서 웨이팅 계수 w_r 의 크기 $|w_r|$ 를 1로 정한다. 그러면 그에 따른 불능 사건은 다음과 같이 주어진다.

$$\left(\frac{\left| |h_{sd}| + \sum_{i=1}^M |h_{r_i,d}| |A_{i1}| |h_{sr_i}| e^{j\epsilon_{r_i,d}} \right|^2}{\left(\sum_{j=1}^M |A_{j1}|^2 |h_{r_j,d}|^2 \right) + 2} \right) \rho < 2^{2R} - 1 \quad (14)$$

나. 선택적 세미코히런트 등이득 결합기

다음으로, 준최적 수신기 구현예로서 선택적 세미코히런트 등이득 결합기(S-CEGC: selective semi-coherent equal gain combiner)를 설명한다.

선택적 세미코히런트 등이득 결합기의 경우, $|w_r|$ 는 다음과 같이 정한다.

$$|w_r| = \begin{cases} 0, & \text{for } |h_{sd}|^2 \rho \geq t \\ 1, & \text{for } |h_{sd}|^2 \rho < t \end{cases} \quad (15)$$

상기 식에서, 문턱 신호 대 잡음비(threshold SNR), $t = 2^{2R} - 1$ 이다.

다시 말하자면, 만약 $|h_{sd}|^2 \rho$ 이 특정 문턱 신호 대 잡음비 밑으로 떨어지면, 세미코히런트 등이득 결합기의 결합된 신호의 신호 대 잡음비가 적용된다. 그렇지 않은 경우, 제안된 기법을 적용하지 않은 기존 무선통신 시스템의 신호 대 잡음비가 적용된다.

III. 실험

다음으로 시뮬레이션 결과를 살펴본다. 모든 시뮬레이션에서 스펙트럼 효율 1bit/s/Hz와 오류가 없는 위상 피드백을 가정하였다.

그림 1과 그림 2는 $M=1-10$ 인 경우 최대비 결합기, 세미코히런트 등이득 결합기, 선택적 세미코히런트 등이득 결합기의 불능 확률(outage probability) 성능을 보여준다. 모두 완전한 피드백을 가정하였다. $M=10$ 인 경우에서 볼 수 있는 것처럼, 최대비 결합기, 세미코히런트 등이득 결합기, 선택적 세미코히런트 등이득 결합기는 불능 확률 10^{-2} 에서 기존 무선통신 시스템에 비해 각각 14.6dB, 14dB, 14dB의 신호 대 잡음비 이득

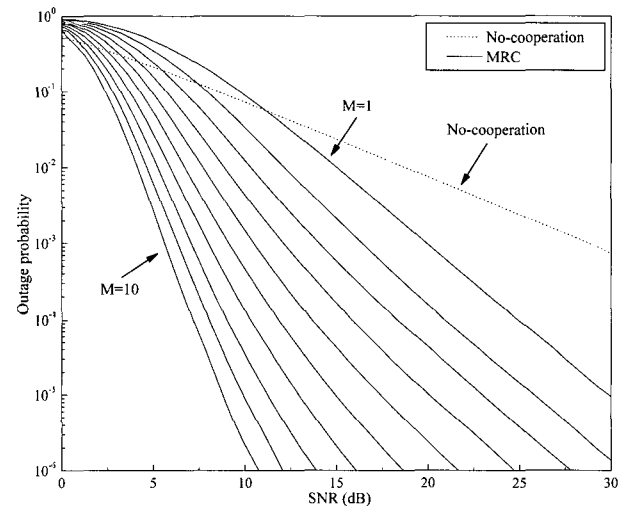


그림 1. 위상 피드백을 이용한 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법에서 전역 채널 상태 정보를 이용한 최적 수신기의 불능 확률

Fig. 1. Outage probabilities of AF cooperative diversity with multiple relays using phase feedback for the MRC with global CSI.

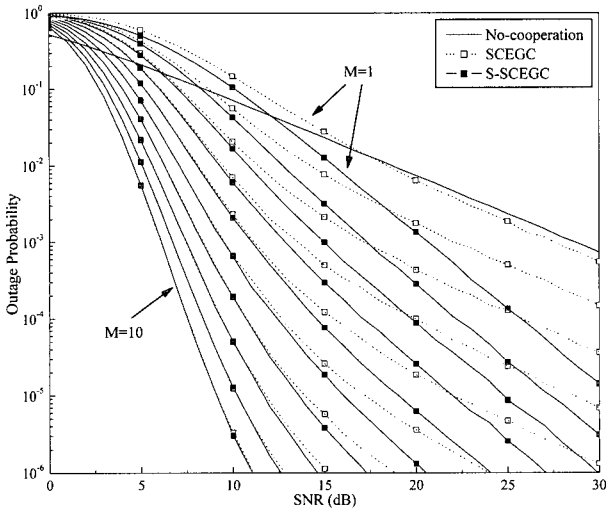


그림 2. 위상 피드백을 이용한 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법에서 지역 채널 상태 정보를 이용한 준최적 수신기의 불능 확률

Fig. 2. Outage probabilities of AF cooperative diversity with multiple relays using phase feedback for the SCEGC and S-SCEGC with local CSI.

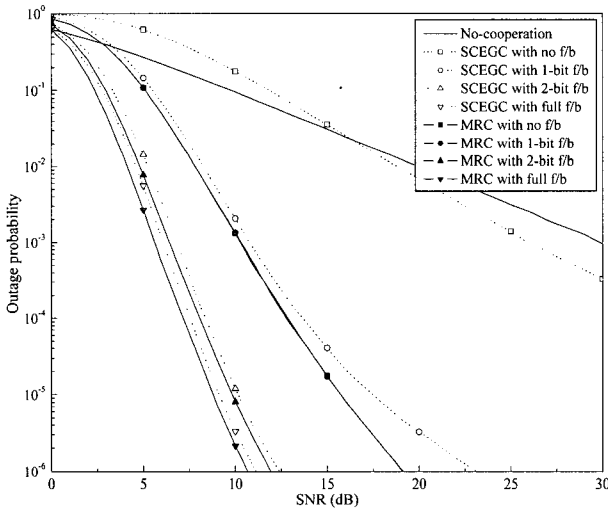


그림 3. 위상 피드백을 이용한 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법에서 위상 피드백 양자화 비트 수에 따른 최적 수신기와 준최적 수신기의 불능 확률

Fig. 3. Outage probabilities of AF cooperative diversity with multiple relays using phase feedback for the SCEGC and MRC according to the number of quantization bit.

을 얻는다. 최대비 결합기의 경우, 전역 채널 상태 정보를 이용하기 때문에, 지역 채널 상태 정보를 이용하는 세미코히런트 등이득 결합기, 선택적 세미코히런트 등이득 결합기에 비해 향상된 성능을 제공한다. 비록 세미코히런트 등이득 결합기의 경우 높은 신호 대 잡음비

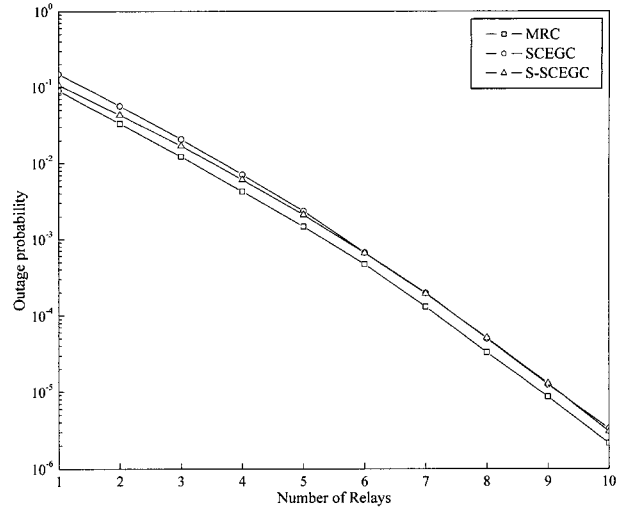


그림 4. 위상 피드백을 이용한 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법에서 중계 단말기 수에 따른 최적 수신기와 준최적 수신기의 10dB에서의 불능 확률

Fig. 4. Outage probabilities of AF cooperative diversity with multiple relays using phase feedback for the optimal receiver and suboptimal receiver according to the number of relays at 10dB.

에서 성능 열화가 존재하지만, 선택적 세미코히런트 등이득 결합기를 적용할 경우 효과적으로 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

그림 3은 피드백 양자화 비트 수에 따른 최대비 결합기와 세미코히런트 등이득 결합기의 성능을 보여준다. $M=10$ 인 경우, 10^{-2} 의 불능 확률에서 2비트 피드백 기법과 완전한 피드백 기법을 적용한 최대비 결합기와 세미코히런트 등이득 결합기의 신호 대 잡음비 이득 차이는 각각 0.66dB, 0.66dB이다. 즉, 제안된 기법은 적은 양의 피드백으로도 잘 구현됨을 볼 수 있다.

그림 4는 신호 대 잡음비가 10dB인 경우 중계 단말기 수에 따른 최대비 결합기, 세미코히런트 등이득 결합기, 선택적 세미코히런트 등이득 결합기의 성능을 보여준다. 중계 단말기의 수가 증가함에 따라서 성능이 향상됨을 볼 수 있다. 또한, 중계 단말기의 수가 증가할수록 세미코히런트 등이득 결합기와 선택적 세미코히런트 등이득 결합기간의 성능차이는 줄어든다.

IV. 결 론

본 논문은 무선통신 네트워크상에서 하나의 안테나를 갖고 있는 무선 단말기들이 증폭재전송 협동 다이버시티를 통해 수신지에 데이터를 전송하는 방법을 제안

하였다. 수신지로부터 중계 단말기로의 채널 위상 정보 피드백과 각 중계 단말기에서의 위상 회전을 이용하여 중계 단말기들이 송신 단말기로부터 전송받은 신호를 수신지로 동시에 중계하는 경우에 발생할 수 있는 신호의 논코히런트 결합 문제를 해결하였다. 수신지에서 전역 채널 상태 정보와 지역 채널 상태 정보를 이용한 신호 결합 기법을 소개하였다. 시뮬레이션 결과는 위상 피드백을 사용한 다중 사용자를 위한 증폭재전송 협동 다이버시티 기법이 기존 무선통신 시스템에 비해 비약적으로 성능을 개선시킬 뿐 아니라 중계 단말기의 수에 따라서 향상되는 다이버시티 이득을 얻음을 보여준다. 또한 제안된 기법은 적은 양의 피드백만으로도 완전한 피드백을 사용한 경우와 비슷한 성능을 제공한다.

참 고 문 헌

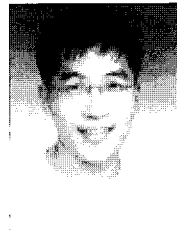
- [1] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415-2425, Oct. 2003.
- [2] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reea, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, March 2006.
- [3] D. Lee, Y. S. Jung, and J. H. Lee, "Amplify-and-forward cooperative transmission with multiple relays using phase feedback," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, Montreal, Canada, Sept. 2006.
- [4] 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.
- [5] X. Deng and A. M. Haimovich, "Cooperative relaying in wireless networks with local channel state information," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, Dallas, TX, Sept. 2005.
- [6] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity—Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [7] —, "User cooperation diversity—Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 1939-1948, Nov. 2003.
- [8] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," in *Proc. IEEE Wireless Comm. And Networking Conf. (WCNC)*, Chicago, IL, Sept. 2000.
- [9] M. Janani, A. Hedayat, T. E. Hunter, and A. Nosratinia, "Coded cooperation in wireless communications: space-time transmission and iterative decoding," *IEEE Trans. Sig. Proc.*, vol. 52, pp. 362-371, Feb. 2004.
- [10] T. Hunter and A. Nosratinia, "Diversity through coded cooperation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no.2, Feb. 2006.
- [11] A. Nostratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [12] E. Zimmermann, P. Herhold, and G. Fettweis, "On the performance of cooperative diversity protocols in practical wireless systems," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, Orlando, FL, Sept. 2003.
- [13] E. Zimmermann, P. Herhold, and G. Fettweis, "On the performance of cooperative diversity protocols in practical wireless systems," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, Orlando, FL, Sept. 2003.
- [14] 이동우, 정영석, 이재홍, "다중 사용자를 위한 Amplify-and-Forward Cooperative Diversity," 2006년도 대한전자공학회 하계학술대회, vol. 29, no.1, pp. 83-84, 제주도, 대한민국, 2006년 6월

저 자 소 개



이 동 우(학생회원)
2005년 고려대학교 전기전자전파
공학부 학사 졸업
2005년~현재 서울대학교
전기컴퓨터공학부 석박사
통합과정

<주관심분야 : 시공간 부호, MIMO, 협력 다이버
시티>



정 영 석(정회원)
2000년 서울대학교 전기공학부
학사 졸업
2007년 서울대학교 전기컴퓨터
공학부 박사 졸업
2007년 현재 (주)삼성전자
통신연구소

<주관심분야 : 시공간 부호, 터보부호, MIMO>



이 재 홍(정회원)
1976년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업
1978년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업
1986년 Univ. of Michigan, Ann
Arbor, 전기 및 컴퓨터
공학과 박사 졸업

1987년~현재 서울대학교 전기공학부 교수
2004년~현재 대한전자공학회 부회장
2007년 현재 IEEE Vehicular Technology
Society 수석부회장
<주관심분야 : 디지털통신, 부호이론, MIMO,
OFDM>



연 승 호(정회원)
1985년 충북대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업
1988년 충북대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업
1988년~1990년 LG전자
중앙연구소 연구원

2000년 충북대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업
1990년~현재 KT BcN본부 무선플랫폼개발부장
<주관심분야 : 무선통신, BcN 서비스플랫폼, 정
보보호>



이 미 숙(정회원)
1996년 한국과학기술원 정보통신
공학과 석사 졸업
현재 (주)KT BcN 본부
<주관심분야 : 무선 엔지니어링,
WLAN, WPAN, Wireless>



양 재 수(정회원)
1981년 한국항공대학교 통신
공학과 학사 졸업
1985년 건국대학교 전자공학과
석사 졸업
1993년 NIJT 전기및컴퓨터공학과
박사 졸업

<주관심분야 : 디지털통신, RFID/USN, 차세대
이동통신>