

Large Scale Fading값만을 피드백하는 분산 안테나 시스템을 위한 최적 전력 할당

학생회원 임 동 호*, 종신회원 최 권 휴**

Optimum Power Allocation for Distributed Antenna Systems with Large Scale Fading-only Feedback

Dongho Lim* *Student Member*, Kwonhue Choi** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 time-varying Rayleigh fading channel에서 분산 안테나 시스템의 최적 전력 분배 기법을 제안한다. 기존 관련 연구에서는 각 기지국으로부터 수신되는 전력의 차이를 기지국간 전력 분배에 고려하지 않았으나, 최근 들어 빠르게 변하는 small scale fading까지 Channel State Information (CSI)로하여 전력 분배를 하는 경우에 대한 연구가 진행되었다. 하지만, 실제 무선통신 환경에서 송수신단간의 거리 차이 때문에 피드백이 반영된 신호가 수신될 때의 페이딩 채널은 피드백을 하는 시점과는 차이가 있고, 이로 인한 성능저하가 나타난다. 본 논문에서는 이러한 성능저하를 극복하고 CSI 피드백의 부담을 경감시키기 위하여 small scale fading을 제외하고, 느리게 변하는 경로손실과, 새도잉에 의한 large scale fading값만을 피드백하는 분산 안테나 시스템을 제안하고 Bit Error Rate (BER)을 최소화하기 위한 최적 전력 분배 공식을 유도했다. 빠른 페이딩 환경에서, 제안된 최적 전력 분배 기법이 small scale fading까지 고려한 전력 분배 기법보다 월등히 좋은 성능을 보이며, 피드백 지연이 없는 환경에서도 1dB 이내의 성능을 보이는 것을 확인했다. 또한, 본 논문에서 Rayleigh fading channel을 가정하여 유도한 전력 분배 기법이 Line-of-Sight(LOS) 성분의 크기가 작은 Ricean fading channel에서도 최소의 BER과 거의 비슷한 값을 달성함을 보였다.

Key Words : Distributed Antenna Systems, Optimum Power Allocation, time-varying Rayleigh Fading Channel, Large Scale Fading-only Feedback

ABSTRACT

We propose the Optimum Power Allocation (OPA) scheme for Distributed Antenna Systems(DAS) in the time-varying Rayleigh fading channel. Recently, the OPA schemes which uses the Channel State Information (CSI) including a small scale (fast) fading have been proposed. However, the channel is changing vary fast over time due to small scale fading, therefore Bit Error Rate (BER) increases. Because of this reason, we derive the OPA for minimizing BER in DAS, which only uses a large scale fading to CSI and excepts a small scale fading. The simulation results show that the proposed OPA achieves better BER performance than conventional OPA considering a small scale fading in time-varying Rayleigh fading channel, and also has similar performance in Rayleigh flat-fading environment. The BER performance of proposed OPA which derived in Rayleigh fading channel is similar to minimum BER of Ricean fading channel which has small Line-of-Sight (LOS).

* "본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-C1090-0801-0045)

** 영남대학교 정보통신공학과 광대역무선통신 연구실 (gonew@yu.ac.kr)

논문번호 : #KICS2008-04-169, 접수일자 : 2008년 4월 14일, 최종논문접수일자: 2008년 6월 9일

I. INTRODUCTION

최근 분산 안테나 시스템(DAS)에서 small scale fading까지 포함한 CSI(channel state information)을 피드백하는 경우 전력 제어 기법을 분석하였다^[1]. 논문 [1]처럼 small scale fading까지 포함한 피드백을 하는 경우, 더 많은 정보를 갖게 되어 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 일반적으로 CSI를 피드백하기 위해 추가 대역폭이 요구되므로, 최근, CSI에 모든 채널 정보를 다 포함하지 않고 그 일부만을 피드백하는 제한된 피드백 환경의 전력 제어에 관한 연구가 진행되고 있다^[2-3]. 대역폭의 문제뿐만 아니라, small scale fading 피드백 시스템에서는 현실적으로 기지국과 이동국의 거리 차 때문에 CSI를 측정할 시점의 페이딩과 피드백이 반영된 수신 신호의 페이딩에 차이가 생기는 문제점이 있다. 또한, 채널 변화에 따른 Quality of Service (Qos)를 보장하기 위한 또 다른 기법으로 AMC(adaptive modulation and coding)에 관한 논의가 많이 되고 있다. 하지만 AMC의 경우, 위에서 언급한 빠른 small scale fading과 비슷한 문제가 발생한다. AMC의 특성상 송수신단의 변복조 기법과 변조차수의 전환 시점에 대한 엄격한 동기가 보장되어야 하는 어려움이 있다.

본 논문에서는 time-varying Rayleigh fading channel에서 채널 정보의 일부분만을 피드백하는 제한된 피드백과 비슷하게, 느리게 변하는 경로손실과, 색도잉에 의한 large scale fading값만을 CSI로 하는 large scale fading-only feedback system에서 BER을 최소화 하는 전력 분배 기법을 제안한다. 먼저, 전체 송신 전력이 주어진 조건에서 BER을 최소화하기 위한 각 기지국의 최적 전력 분배 공식을 수식으로 유도했다. 그리고 time-varying fading 환경에서, 제안된 large scale fading값만을 피드백하는 최적 전력 분배 기법과 기존의 전력 분배 기법들과 성능을 비교했다. 또한, 유도된 전력분배 공식은 Ricean factor가 작은 Ricean fading channel에서도 최소의 BER과 근접한 값을 달성하는 것을 확인했다.

II. 시스템 모델

기지국이 셀 중심에 있는 기존의 구조와 달리, 분산 안테나 시스템의 일반적인 구조는 그림 1과 같이 이동국과의 거리가 가장 가까운 기지국들의

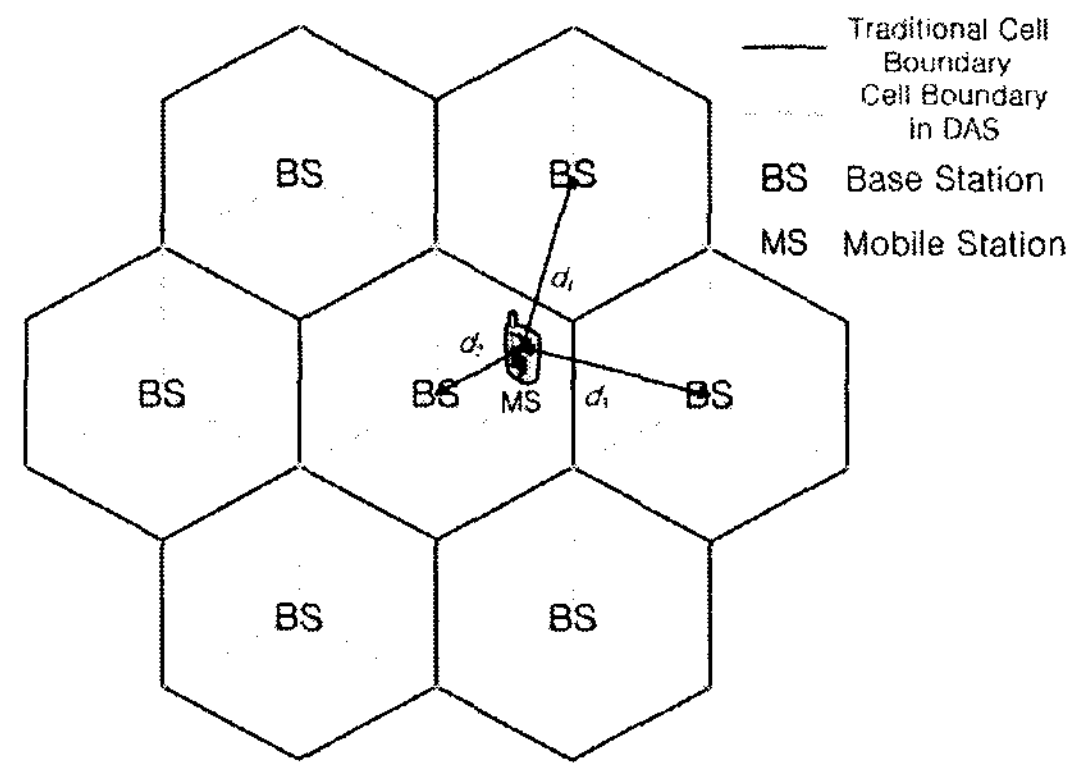


그림 1. 분산 안테나 시스템의 셀 구조

섹터 안테나로 가상의 셀을 구성한다^[1]. 실제로 기지국의 개수는 셀 반경, 사용자 밀도, 또는 다른 환경적 요소에 의해 결정될 수 있으나, 본 논문에서는 3개의 기지국으로 이루어진 가상의 셀을 갖는 분산 안테나 시스템을 예로 들었다.

분산 안테나 시스템에서 각 기지국으로부터 이동국에 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$y_i = h_i \sqrt{P_i} s + n_i \quad (1)$$

P_i 는 i 번째 기지국의 송신 전력이고 그 합은 다음과 같이 현재 이동국에 할당된 전체 송신 전력 P_T 를 만족한다.

$$P_T = \sum_{i=0}^3 P_i \quad (2)$$

식 (1)에서 s 는 송신 데이터이고, n_i 는 평균이 0이고 분산 $\sigma_n^2 = N_0/2$ 인 Additive White Gaussian Noise(AWGN)이다. 그리고 h_i 는 i 번째 기지국과 이동국 사이의 채널이득이며, 다음과 같이 large scale fading L_i 와 small scale fading f_i 로 이루어져있다.

$$h_i = \sqrt{L_i} f_i \quad (3)$$

위에서 f_i 는 i 번째 기지국과 이동국 사이의 small scale fading 계수이며, $\sigma_{f_i}^2 = 1/2$ 인 복소 가우시안 랜덤 변수이며 그 크기 $|f_i|$ 는 다음과 같은 Rayleigh 분포를 따른다.

$$p_{f_i}(x) = \frac{x}{\sigma_{f_i}^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_{f_i}^2}\right) \quad (4)$$

시간이 t_0 인 순간의 i 번째 기지국의 페이딩을 f_{i,t_0} 라고 하고, 송수신기간의 거리에 따른 전송 지연시간

(Round Trip Delay, RTD)후의 페이딩이 f_{i,t_0+RTD} 라면, first-order auto-regressive model을 따르는 다음과 같은 페이딩 채널로 나타낼 수 있다⁴⁾.

$$f_{i,t_0+RTD} = \sqrt{\beta}f_{i,t_0} + \sqrt{1-\beta}m_i \quad (5)$$

위에서 m_i 는 f_{i,t_0} 와 서로 독립이고 평균이 0, 분산이 1/2인 복소 가우시안 랜덤 변수이다. β 는 f_{i,t_0} 와 f_{i,t_0+RTD} 의 상관도를 결정하는 계수이며 $0 \leq \beta \leq 1$ 인 실수이다.

식 (3)에서 L_i 는 i 번째 기지국과 이동국 사이의 경로 손실과 새도잉을 포함한 large scale fading으로 다음과 같이 경로 손실 r_i 와 새도잉에 의한 감쇠 G_i 의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$L_i = r_i G_i \quad (6)$$

각 기지국으로부터의 경로 손실 $r_i = d_i^{-\alpha}$ 이며, d_i 는 그림 1에서 나타난 것과 같이 i 번째 기지국과 이동국 사이의 거리이고, α 는 거리에 따른 감쇠 지수로서 시스템 환경에 따라 다르게 주어진다. 또한, i 번째 기지국과 이동국 사이의 새도잉 G_i 는 다음과 같은 로그노말 분포를 따른다.

$$G_i = 10^{\frac{\zeta_i}{10}} \quad (7)$$

위에서 ζ_i 는 각 기지국과 이동국 사이의 새도잉에 의한 감쇠 정도를 데시벨로 나타낸 값이며, 다음과 같이 평균이 0이고 표준 편차가 σ_ζ 인 정규분포를 따른다.

$$p_{\zeta_i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\zeta} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_\zeta^2}\right) \quad (8)$$

수신단에서는 각 기지국으로부터 수신된 신호를 각각의 수신 신호 크기만큼의 가중치를 주고 신호를 합성하는 Maximal Ratio Combining (MRC)을 사용하여 다음과 같이 수신 신호 z 를 결정한다.

$$z = \sum_{i=1}^3 h_i \sqrt{P_i} y_i \quad (9)$$

식 (9)로부터 combining 한 후 수신 Signal to Noise Ratio (SNR)는 다음과 같이 각 기지국으로부터의 수신 SNR의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{E_s}{N_0} = \sum_{i=1}^3 \frac{|h_i|^2 P_i}{2\sigma_n^2} \quad (10)$$

III. 기존의 전력 분배 기법

3.1 small scale fading을 포함하는 피드백 환경의 최적 전력 분배 기법

기존의 분산 안테나 시스템 전력 제어에 관한 연구에서는 large scale fading에 의한 채널 이득뿐만 아니라, small scale fading까지 포함한 피드백 환경에서 분산 안테나 시스템을 분석하였다¹¹⁾. 수신기에서 SNR을 최대화하기 위한 방법으로는 MRC가 최적이지만, 송신기에서는 채널이득 h_i 가 가장 큰 채널에 전체 송신전력을 할당하는, 다음과 같은 선택적 전력 분배 기법이 식 (10)을 최대화하고 SER을 최소화함을 보였다¹¹⁾.

$$P_i = \begin{cases} P_T, l = \operatorname{argmax}_i |h_i|^2 \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

이는 피드백을 반영한 신호가 수신될 때까지 페이딩 채널이 변하지 않는다는 전제 조건이 필요하다. 하지만, 실제 무선 통신 환경에서 large scale fading은 특성상 피드백이 반영된 신호가 수신될 때까지 일정하다고 할 수 있으나, small scale fading은 매우 빠른 속도로 변한다. 따라서 기지국과 이동국의 거리가 멀어질수록 RTD가 커지는 상황에서는 피드백을 반영한 시점과 피드백에 의한 신호가 수신되는 시점의 페이딩에는 차이가 존재하게 된다. RTD에 의한 페이딩의 변화량을 (5)의 식으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta f_i = f_{i,t_0+RTD} - f_{i,t_0} = \sqrt{1-\beta}m_i - (\sqrt{\beta}-1)f_{i,t_0} \quad (12)$$

채널의 변화 정도를 결정하는 β 는 RTD가 증가할수록 감소하며, 위의 식에서 알 수 있듯이 β 가 작아질수록 Δf_i 가 커져서 페이딩 오차가 커지게 된다. (11)의 최적 전력 분배 기법을 사용한 경우, β 가 작아질수록 성능저하가 뚜렷해지는 것을 5절의 실험 결과에서 확인했다.

3.2 large scale fading값만을 피드백하는 환경의 기존의 전력 분배 기법

현실적으로 기지국과 이동국의 거리 차로 인해 피드백을 측정할 시점의 페이딩과 피드백이 반영된 수신 신호의 페이딩에 차이가 존재한다. 이 때문에 최근의 연구에서는 변화가 빠른 small scale fading

을 제외하고 상대적으로 시간에 따른 변화가 느린, large scale fading값, L_i 만을 피드백하는 전력 분배 기법에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^[5]. 분산 안테나 시스템에서 MRC 수신기 BER을 각 기지국으로부터의 small scale fading에 대하여 평균을 취하면 BER은 다음과 같이 주어진다^[5].

$$p_e \approx \sum_{i=1}^3 \frac{v_i \bar{N}_e}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{d_{\min}^2 L_i P_i}{d_{\min}^2 L_i P_i + 2}} \right] \quad (13)$$

위에서 $v_i = \prod_{k=1, k \neq i}^3 \frac{L_i P_i}{L_i P_i - L_k P_k}$ 이고, \bar{N}_e 와 d_{\min} 은 주어진 signal constellation에서 가장 가까운 심벌들의 평균 개수와 거리로서, 변조 차수에 따라 다음과 같이 수신 신호 레벨 γ 와 변조 차수 M 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$d_{\min} = \begin{cases} 2\sqrt{\gamma} \sin \frac{\pi}{M} & , M\text{-PSK} \\ 2\sqrt{\frac{2(M-1)\gamma}{3}} & , M\text{-QAM} \end{cases} \quad (14)$$

위에서 $\gamma = \sum_{i=1}^3 |h_i|^2 P_i / 2\sigma_n^2$ 이다.

large scale fading값만을 피드백하는 경우, 선택적 전력 분배 기법(Selective Power Allocation with Large Scale Fading-only Feedback)은 식 (15)와 같이 large scale fading 이득 L_i 가 가장 큰 하나의 기지국만 선택해 모든 송신 전력 P_T 를 할당하는 방식으로 BER은 식 (16)과 같이 주어진다^[5].

$$P_i = \begin{cases} P_T, l = \operatorname{argmax}_i L_i \\ 0 & , otherwise \end{cases} \quad (15)$$

$$p_{e,sel} \approx \frac{\bar{N}_e}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{d_{\min}^2 L_l P_T}{d_{\min}^2 L_l P_T + 2}} \right] \quad (16)$$

이 기법은 채널 이득이 가장 큰 하나의 기지국만 선택한다는 점에서 [1]의 기법과 비슷하지만, small scale fading을 제외한 느리게 변하는 large scale fading값만을 바탕으로 하므로 large scale fading값만을 피드백한다. 이 기법은 하나의 기지국에서만 신호를 전송하기 때문에 송신전력할당을 위한 계산 과정과 수신 신호결합 과정이 없는 장점이 있지만 식 (13)을 최소화 하지 못한다. 이는 하나의 기지국 신호만 존재하여 공간 다이버시티 이득을 얻을 수

없기 때문이다.

반면에, 균등 전력 분배 기법(Equal Power Allocation)은 채널 환경에 관계없이 한 셀의 분산 기지국에서 동일한 전력으로 신호를 전송하는 방식으로, BER은 다음과 같이 주어진다^[5].

$$p_{e,equal} \approx \sum_{i=1}^3 \frac{v_i \bar{N}_e}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{d_{\min}^2 L_i P_i / 3}{d_{\min}^2 L_i P_i / 3 + 2}} \right] \quad (17)$$

$$= \sum_{i=1}^3 \frac{v_i \bar{N}_e}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{d_{\min}^2 L_i P_i}{d_{\min}^2 L_i P_i + 6}} \right]$$

균등 전력 분배 기법은 기지국간 small scale fading의 다이버시티 이득을 얻을 수는 있지만, 낮은 SNR 환경에서는 상대적으로 BER 성능이 저하되는 단점이 있다.

IV. 제안된 전력 분배 기법

본 절에서는 기존의 전력 분배 기법들의 단점을 개선하고 최적의 BER성능을 얻기 위한 전력 분배 기법을 제안하고, 이를 수식으로 유도한다. 먼저, 식 (13)을 다음과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$p_e \approx \sum_{i=1}^3 v_i \bar{N}_e \left(\frac{1}{2d_{\min}^2 L_i P_i + 3} \right) \quad (18)$$

식 (13)을 식 (18)과 같이 근사화하기 위해서 다음의 근사식을 이용했다.

$$\frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{t}{t+1}} \right] \approx \frac{1}{4t+3} \quad (19)$$

식 (18)을 최소화하는 각 기지국의 전력 분배 조합은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\{P_{1,opt}, P_{2,opt}, P_{3,opt}\} = \operatorname{argmin}_{\{P_1, P_2, P_3\}} p_e \quad (20)$$

위에서 $P_{i,opt}$ 는 Lagrange Multiplier를 이용하여 구할 수 있다. 위의 식과 식 (2)의 조건을 이용하여 다음과 같은 Lagrange 함수로 나타낼 수 있다.

$$\mathcal{L}(P_1, P_2, P_3, \lambda) = p_e - \lambda(P_1 + P_2 + P_3 - P_T) \quad (21)$$

위의 식을 P_1, P_2, P_3, λ 에 대하여 각각 편미분하여 다음과 같은 4개의 연립 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_1} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_2} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_3} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = 0 \quad (22)$$

위의 연립 방정식을 풀이하면 각 기지국의 송신 전력은 최종적으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{i,opt} = \frac{P_T}{3} + \frac{\sigma_n^2}{3d_{min}^2} \left[\sum_{k=1, k \neq i}^3 \left(\frac{1}{L_k} - \frac{1}{L_i} \right) \right] \quad (23)$$

위의 식 (23)은 기존의 최적 전력 유도 관련 연구에서 제시된 water filling 기법과 비슷한 형태로 $-1/L_i$ 에 비례하는 항을 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만, 각 기지국이 자기 자신의 채널 이득 L_i 만을 고려하여 송신전력을 결정하는 기존 water filling 기법과는 달리, 제안된 최적 전력 분배 기법에서는 다른 기지국의 채널 이득의 역수, $1/L_k (k \neq i)$ 에 비례하는 항이 함께 더해져야 함을 알 수 있다. 또, 식 (23)에서 각 기지국의 송신 전력은 균등 전력 분배 항, $P_T/3$ 과 large scale fading 채널 이득이 반영된 가중치의 합으로 볼 수 있다. low SNR에서는 상대적으로 가중치가 크게 작용하여 선택적 전력 분배 기법에 가까워지고, 반대로 high SNR로 갈수록 균등 전력 분배 기법에 가까워지는 것을 알 수 있다.

식 (23)을 N 개의 기지국을 갖는 분산 안테나 시스템의 경우로 확장하면 다음과 같이 일반화할 수 있다.

$$P_{i,opt} = \frac{P_T}{N} + \frac{\sigma_n^2}{Nd_{min}^2} \left[\sum_{k=1, k \neq i}^N \left(\frac{1}{L_k} - \frac{1}{L_i} \right) \right] \quad (24)$$

또한, 식 (23)을 식 (13)에 대입하여 다음과 같이 최소의 BER을 구할 수 있다.

$$p_{e,min} \approx \sum_{i=1}^3 \frac{v_i N_c}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{d_{min}^2 L_i P_{i,opt}}{d_{min}^2 L_i P_{i,opt} + 2}} \right] \quad (25)$$

V. 성능 분석 결과

본 논문에서는 먼저 세 개의 섹터 안테나로 구성된 셀 내에서 이동국들이 균일한 확률로 분포하고 있다고 가정했다. 또한, 거리에 따른 신호의 감쇠지수 $\alpha=4$, 새도잉에 의한 신호 감쇠 ζ 의 표준 편차 $\sigma_\zeta=12$ 로 가정하고, BPSK와 16-QAM 변조를 사용하여 III절에서 언급한 기존의 전력 분배 기법과 제안된 전력 분배 기법에 대해 평균 BER 성능을 비교했다. 또한, exhaustive search로 찾은 최적 전력 분배의 BER결과를 함께 비교하여, 본 논문

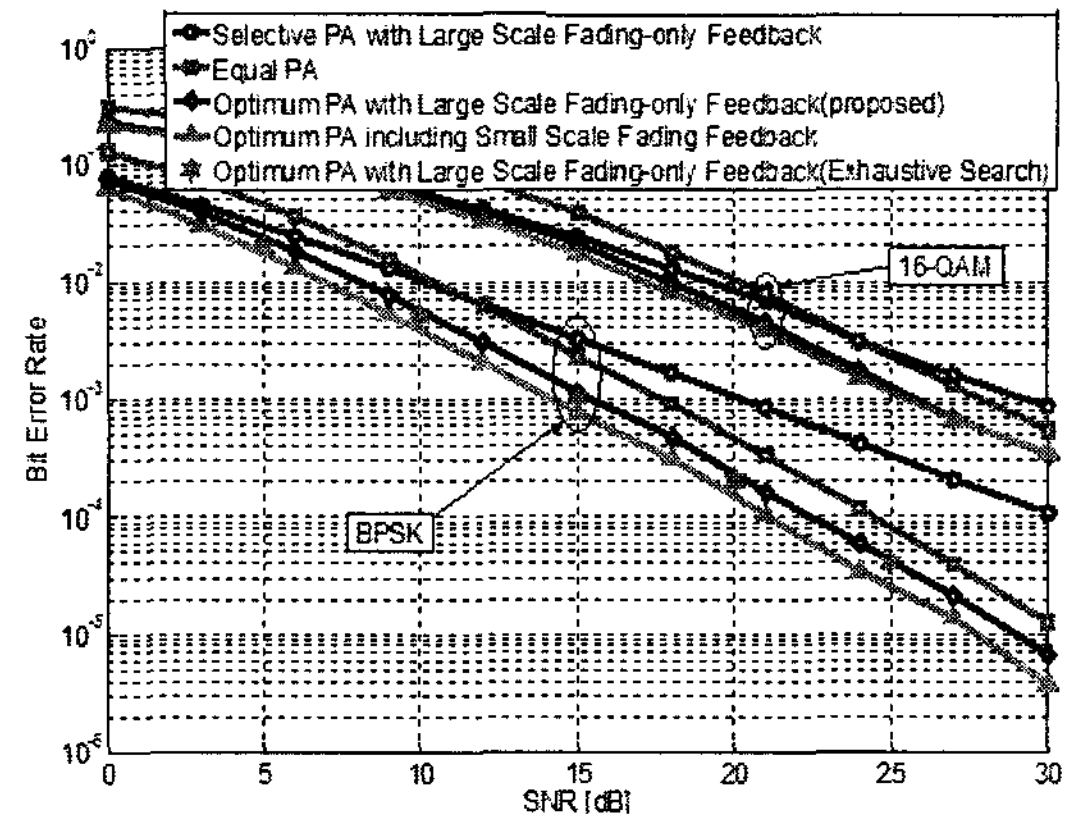


그림 2. 전력 분배 기법들에 따른 평균 BPSK와 16-QAM BER 성능 비교, $\alpha=4, \sigma_\zeta=12, \beta=1$ 인 Rayleigh Fading Channel.

서 유도한 수식에 의한 BER 결과가 거의 근사함을 확인하였다.

그림 2에서는 $\beta=1$ 인 경우, 즉, small scale fading의 변화 속도보다 feedback 속도가 충분히 빠른 환경에서 각 전력 분배 기법에 대한 성능 비교를 보이고 있다. BPSK인 경우 BER이 10^{-4} 을 달성하는 경우를 비교해보면, small scale fading까지 feedback하는 최적 전력 분배 기법이 Large Scale Fading값만 피드백하는 선택적 전력 분배 기법보다 7dB, 균등 전력 분배 기법보다는 3dB정도 더 좋은 성능을 보인다. 하지만, 제안된 Large Scale Fading값만을 피드백하는 최적 전력 분배 기법 역시 1dB 성능 차이로 비슷한 성능을 달성한다. 결과적으로, 빠른 small scale fading까지도 지연 없이 피드백할 수 있는 환경일지라도 large scale fading 피드백만으로 최적의 성능에 근접함을 알 수 있다. 16-QAM의 경우에서도, 각 전력 분배 기법 간 성능의 차이가 줄어들기는 하지만, BPSK와 같은 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한, 본 논문에서 유도한 전력 분배 공식의 정확도를 확인하기 위하여, 본 논문에서는 미세한 간격으로 전력 분배 조합을 바꾸어 가면서, 각 전력 분배 조합에 대하여 BER을 실험으로 구하고, 그 중 최소의 BER값을 도출하는 전력 분배 조합을 구하였다. 그리고 이때의 BER성능과 제안된 전력 분배 기법의 성능을 비교해 본 결과, 거의 비슷한 성능을 갖는 것을 확인했다.

피드백의 속도보다 페이딩의 변화속도가 더 빠른 환경이라면 측정 당시의 페이딩 채널과 실제 피드백이 반영되어 수신될 때의 페이딩 채널은 차이가 생기게 된다. 그림 3은 피드백 지연 시간 후의

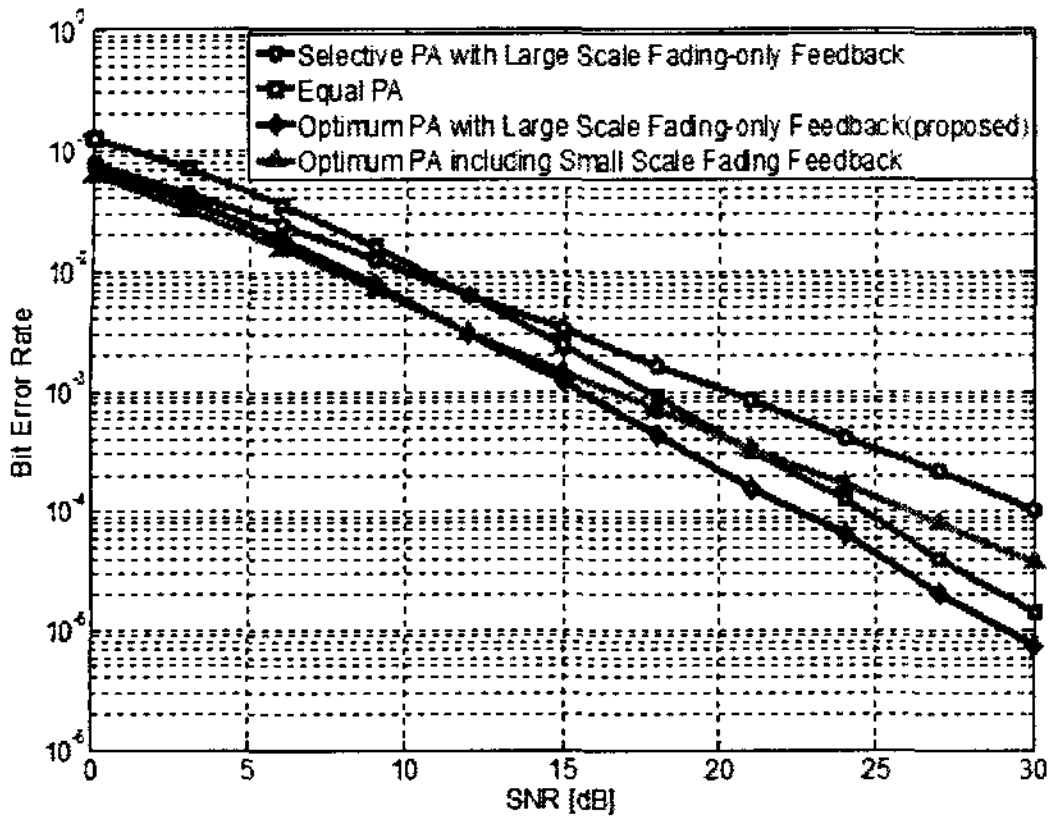


그림 3. small scale fading의 변화가 생겼을 때의 각각의 전력 분배 기법들에 따른 BPSK 변조의 BER 성능 비교, $\alpha=4, \sigma_c=12, \beta=0.96$ 인 Rayleigh fading channel.

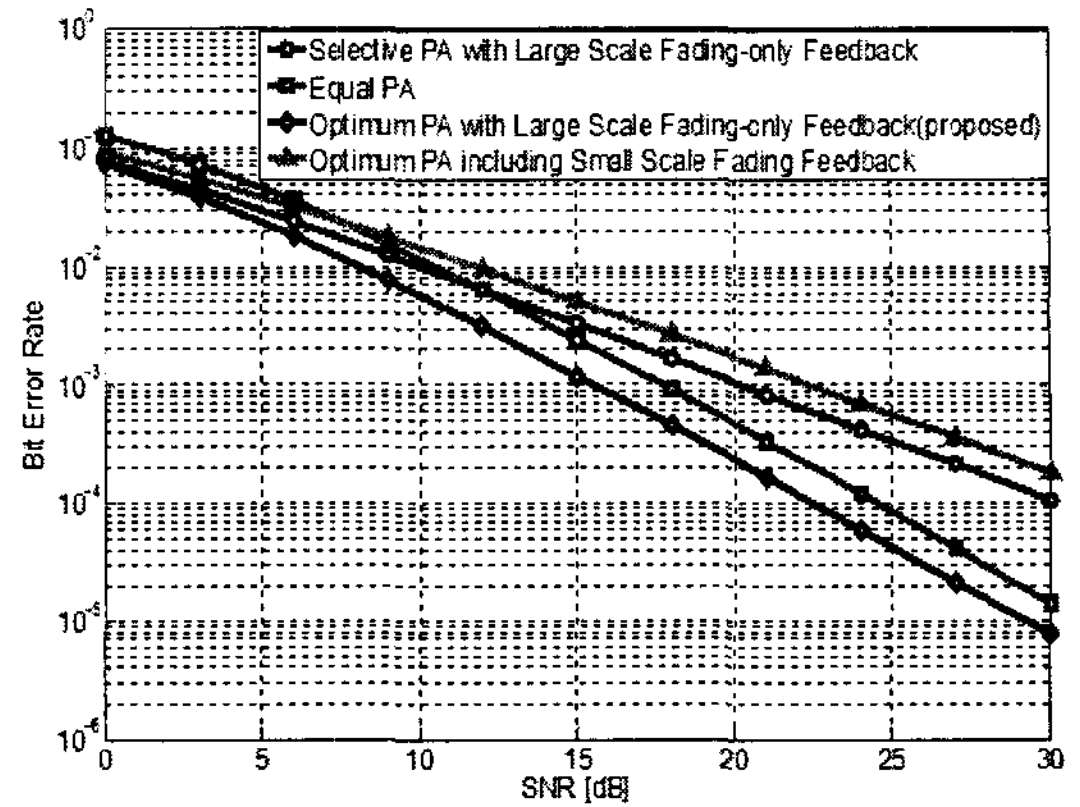


그림 4. 상관도가 전혀 없는 small scale fading의 변화가 생겼을 때, 각각의 전력 분배 기법들에 따른 BPSK 변조의 BER 성능 비교, $\alpha=4, \sigma_c=12, \beta=0.96$ 인 Rayleigh Fading Channel.

small scale fading의 상관도 β 가 0.96인 환경에서 BER 성능을 비교한 것이다. 10^{-4} 의 BER을 달성하는 SNR을 비교하면, small scale fading까지 피드백하는 최적 전력 분배 기법이 large scale fading값만 피드백하는 선택적 전력 분배보다 3dB 좋은 성능을 보이지만, 균등 전력 분배 기법과 제안된 최적 전력 분배 기법보다는 각각 1dB, 3dB 낮은 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 large scale fading-only feedback system에서는 피드백 지연 시간 동안 일정하게 유지되는 large scale fading값에 기반하여 전력을 할당하므로, 피드백 지연시간후의 small scale fading의 변화는 성능에 영향을 주지 못하는 반면 small scale fading까지 피드백하는 최적 전력 분배 기법에서는 피드백 지연시간 동안 small scale fading 변화에 의해 실제 수신 시점에서 전력 분배가 최적의 값에서 벗어나게 되기 때문이다.

극단적인 예로 small scale fading의 변화가 매우 커서 측정 당시의 small scale fading과 실제 신호를 전송할 때의 small scale fading이 전혀 상관도가 없다면 즉, $\beta=0$ 인 환경이라면 페이딩을 측정했을 때와 전력 제어된 신호가 수신되었을 때, large scale fading값만 일정하게 유지되고 small scale fading은 독립적인 페이딩 채널이 된다. 이 경우 그림 4에서 보이듯이 small scale fading까지 피드백하는 최적 전력 분배 기법의 경우, 성능의 저하가 심각하며 high SNR로 갈수록 가장 높은 BER을 보이는 것을 알 수 있다. 특히, 10^{-4} 의 BER을 갖는 경우를 비교해보면, 제안된 전력 분배 기법보다 9dB나 떨어지고, large scale fading값만을 피드백하는 선택적 전력 분배 기법에 비해서도 2dB나 차이가 난다.

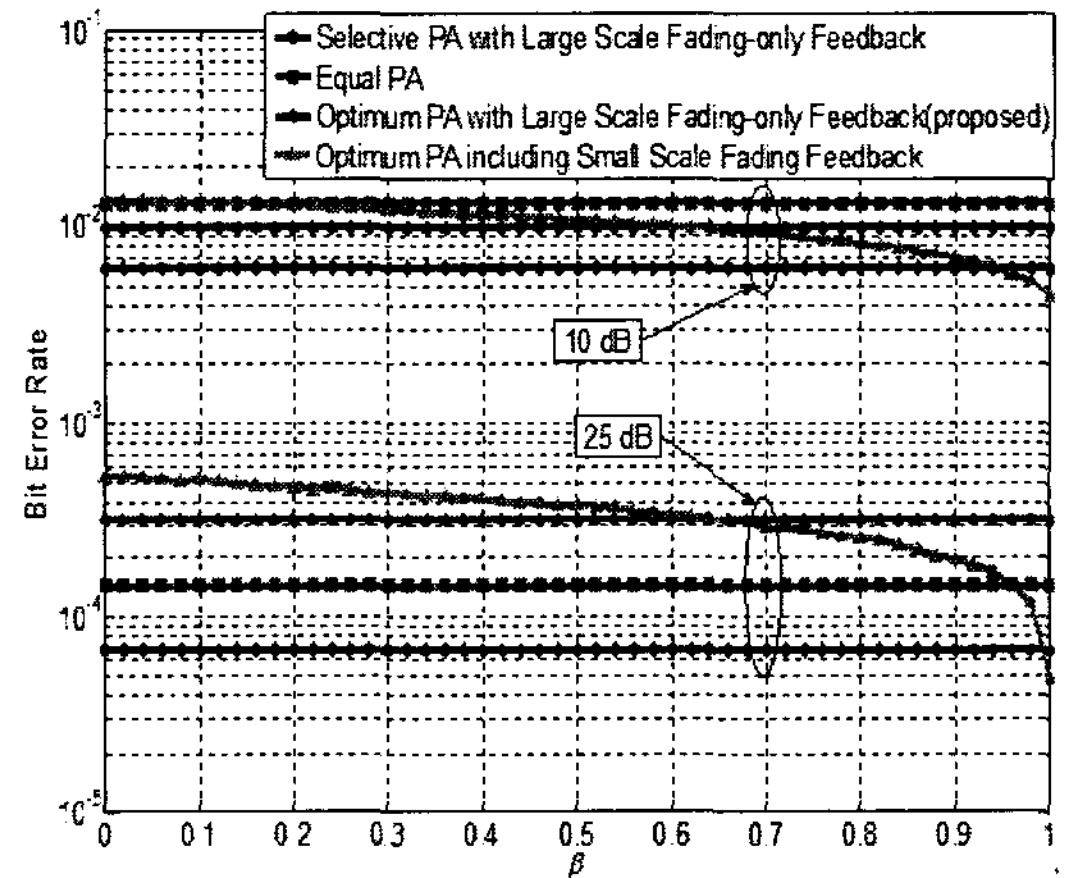


그림 5. 각 채널의 시간에 대한 상관도 β 에 따른 각각의 전력 분배 기법의 BPSK 변조의 BER 성능 변화, $\alpha=4, \sigma_c=12, \text{SNR}=10, 25\text{dB}$ 인 Rayleigh Fading Channel.

그림 5에서는 small scale fading 채널의 상관도를 결정하는 β 의 변화에 대하여 small scale fading까지 피드백하는 최적 전력 분배 기법과 제안된 최적 전력 분배 기법과의 성능 변화를 보여준다. small scale fading까지 피드백하는 최적 전력 분배 기법의 경우, 약간의 상관도 감소에도 성능의 저하가 심하다. 반면, 본 논문에서 제안된 최적 전력 분배 기법을 포함한 large scale fading-only feedback 기반 전력 분배의 경우, small scale fading은 고려하지 않고 전력을 분배하기 때문에 β 의 변화에도 전혀 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 더구나, small scale fading까지 피드백하는 경우, large scale fading값만을 피드백할 때에 비해 피드백에

표 1. 주어진 large scale fading에 대한 전력 분배 기법들과 Ricean fading channel의 최소 BER과의 비교, $\alpha = 4, \sigma_c = 12, \beta = 1$.

LOS [dB]	SNR [dB]	(P_1, P_2, P_3)	$[L_1, L_2, L_3]^T$			
			2.0e-2	1.4e-4	2.0e-4	
0	8	Selective	9.4e-3	3.3e-2	2.0e-2	
		Equal	3.5e-2	5.1e-3	1.0e-2	
		식 (23)	9.4e-3	5.1e-3	6.0e-3	
		Exhaustive Search	9.4e-3	5.1e-3	5.7e-3	
	15	Selective	2.3e-3	7.0e-3	4.3e-3	
		Equal	6.8e-3	8.7e-5	5.8e-4	
		식 (23)	2.3e-3	8.7e-5	2.2e-4	
		Exhaustive Search	2.3e-3	8.7e-5	1.5e-4	
	3	8	Selective	6.0e-3	1.9e-2	1.1e-2
			Equal	2.0e-2	2.6e-3	6.0e-3
			식 (23)	6.0e-3	2.6e-3	2.2e-3
			Exhaustive Search	6.0e-3	2.6e-3	1.3e-3
15		Selective	1.0e-3	3.4e-3	2.0e-3	
		Equal	3.2e-3	1.3e-5	1.6e-4	
		식 (23)	1.0e-3	1.3e-5	7.0e-5	
		Exhaustive Search	1.0e-3	1.3e-5	3.1e-5	
8	8	Selective	5.3e-6	9.8e-4	1.1e-4	
		Equal	1.0e-3	3.6e-4	4.8e-4	
		식 (23)	5.3e-6	3.6e-4	4.4e-5	
		Exhaustive Search	5.3e-6	3.6e-4	2.4e-5	

할당되는 자원이 많아짐으로써 상대적으로 전송 속도가 떨어지게 된다.

마지막으로, Rayleigh fading channel을 가정하여 유도한 최적 전력 분배 공식 (23)을 Ricean fading channel 환경에서 그대로 적용하여 성능을 시뮬레이션해 보았다. 표 1은 다양한 large scale fading값의 조합 $[L_1, L_2, L_3]$ 에 대하여 Ricean fading channel에서 large scale fading값만을 피드백하여 얻을 수 있는 전력 분배 조합 중 최소의 BER 값을 도출하는 전력 분배 조합을 실험으로 구하고, 그중 최소의 BER을 도출하는 전력분배 조합과 식 (23)의 전력 분배 기법을 사용한 경우의 BER 성능을 비교하였다. 표 1에서는 LOS 성분의 크기가 큰 경우에는 BER값이 최대 3dB정도 차이가 나지만, LOS 성분의 크기가 작은 경우에는 거의 비슷한 BER값을 보인다. 또한, 어느 한쪽의 채널 이득이 매우 크거나, 모든 기지국의 채널 이득이 비슷한 경우에는 최소의 BER과 같은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 일반적으로 LOS 성분의 크기가 작은 도심 환경에서는 본 논문에서 유도한 전력 분배 공식을 큰 성능 열화없이 사용할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 Rayleigh fading channel의 분산 안테나 시스템에서, 기존의 전력 분배 기법의 단점을 개선하고 성능을 향상시키기 위한 전력 제어 기법을 수식으로 유도했다. 전력 제어 루프의 피드백 지연에 의한 분산 안테나 시스템의 성능 저하를 막기 위해서, 피드백 지연시간동안 변화가 적은 경로 손실과, 새도잉에 의한 large scale fading값에 따라 각 기지국의 송신 전력을 적절히 조절해야 한다는 것을 보였다. 또한, 일반적으로 LOS 성분의 크기가 작은 도심 환경에서도, 본 논문에서 제안한 최적 전력 분배 공식을 적용할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Lin Dai, Shindong Zhou, and Yan Yao, "Capacity Analysis in CDMA Distributed Antenna Systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.4, No.6, pp.2613-2620, Nov. 2005.
- [2] Chun Kin Au-Yeung and David J. Love, "On the Performance of Random Vector Quantization Limited Feedback Beamforming in a MISO System," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.6, No.2, pp.458-462, Feb. 2007.
- [3] A. Pittayasatean, K. Woradit, L. Wuttisittikulki and S. Siwamigsatham, "Adaptive Power Allocation for Limited Feedback Multi-Antenna Transmissions," *IEEE ICAC2007*, Vol.3, pp.1916-1921, Feb. 2007.
- [4] C. B. Peel and A. L. Swindlehurst, "Performance of Unitary Space-time Modulation in a Continuously Changing Channel," *Proc. IEEE ICC'01*, Vol.9, pp.2805-2908, June 2001.
- [5] Wan Choi and Jeffrey G. Andrews, "Downlink Performance and Capacity of Distributed Antenna Systems in a Multicell Environment," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.6, No.1, pp.69-73, Jan. 2007.

임 동 호 (Dongho Lim)

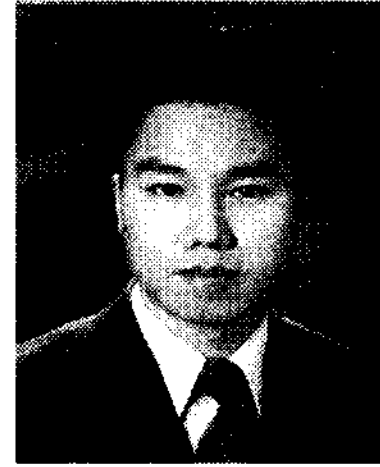
학생회원



2001년 3월~현재 영남대학교 정보통신공학과 학사과정
<관심분야> OFDM 기반 다중반송파 전송방식, Multiuser MIMO 시스템

최 권 휴 (Kwonhue Choi)

종신회원



1994년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업
1996년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
2000년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 박사
2000년 4월~2003년 2월 한국전자통신연구원 (ETRI) 광대역 무선전송 연구부 광대역 무선전송 연구팀 선임연구원
2003년 1월~현재 영남대학교 전자정보공학부 정보통신공학전공 조교수
<관심분야> OFDM 기반 다중반송파 전송방식, MIMO detection 알고리즘, CDMA 시스템