

다중 기지국 환경에서 최적 파일럿 시퀀스 설계 및 채널추정기법 연구

정회원 이형기*, 윤현민*, 강문규**

The Study on the Optimal Pilot Sequence Design and Channel Estimation Method for Multi-cell Environments

Hyung-Ki Lee*, Hyun-min Yun*, Moon-Kyoo Kang** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 기지국간 간섭이 큰 다중기지국 환경에서 MIMO-OFDM 시스템을 위한 최적 파일럿 시퀀스 설계 및 채널 추정 기법을 제안한다. 제안된 파일럿 시퀀스의 경우 평균 제곱 오류(Mean Square Error)를 최소화시키며, 설계된 파일럿에 적합한 채널 추정 방법을 제안한다. 제안된 파일럿 시퀀스 및 채널 추정 기법은 추 시퀀스의 상관관계 특성을 이용해 설계하였으며 모의실험을 통해 설계된 파일럿 시퀀스를 이용한 채널 추정 기법이 기지국간 간섭 완화에 효과적임을 보인다.

Key Words : MIMO-OFDM, 채널 추정, 파일럿 시퀀스, 추 시퀀스, 평균제곱오류, 인접셀간 간섭

ABSTRACT

In this paper, the channel estimation and optimal pilot sequence design technique of multiple-input multiple-output (MIMO) orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems in multi-cell environments are studied for situations in which the inter cell interference (ICI) is the dominant channel impairment. We design pilot sequence aiming at minimizing mean square error and propose the channel estimation technique correspond to the designed pilot sequences. The proposed pilot sequences employ the sequences with good correlation properties such as Chu sequence and through simulations, it is shown that channel estimation algorithm using designed pilot sequence is effective for mitigating the ICI.

I. 서론

OFDM 시스템은 주파수 선택적 채널에 강하고 구현의 용이성 등으로 인하여 DAB (Digital Audio Broadcasting), WLAN (Wireless Local Area Network), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 등 다양한 표준에 채택되었다^{1,2}. 그러므로 MIMO-OFDM 시스템은 채널 용량 면에서 많은 이득을 가져다주며 차세대 무선 통신 시스템에서 가장 유망한 시스템 중의 하나이다.

일반적으로 채널 추정은 코히어런트 변복조를 위해서 매우 중요하며, 채널 추정 성능의 정확성은 전체 시스템 성능에 매우 중요한 영향을 미친다. 특히, MIMO 시스템에서는 안테나 간 간섭이 매우 크기 때문에 보다 정확하고 복잡한 채널 추정 수행 과정을 요구한다³. 또한, 이들 시스템이 다중 기지국 환경에 적용되면 기지국간 간섭이 큰 기지국 경계 지역에서는 성능 열화가 크게 발생한다^{4,5}. 그러므로 기지국 간 간섭을 줄이는 것은 채널 추정에 있어서 매우 중요하다. 본 논문에서는 다중 기지국 환경의 MIMO-OFDM

* 재능대학 정보통신과 (leehk@mail.jnc.ac.kr, yhm@mail.jnc.ac.kr), *** 재능대학 컴퓨터정보계열 (kmk55@mail.jnc.ac.kr)
논문번호 : 10023-0402, 접수일자 : 2010년 4월 2일,

시스템에서 추 시퀀스^[6]를 기반으로 설계된 파일럿 시퀀스를 이용하여 기지국 간 간섭을 완화시킴으로서 채널 추정 성능을 향상시키는 기법을 제안한다. 설계된 파일럿 시퀀스는 추 시퀀스 상관관계의 규칙성에 근거한 통계적 특성을 이용하여 MSE의 성능을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 II장에서 시스템 모델에 대해 설명하며, III장에서는 다중 셀 환경에서의 채널 추정 기법에 대한 MSE를 유도하며 이를 기반으로 최적의 파일럿 시퀀스를 설계하고 또한 이에 적합한 채널 추정 기법을 제안하며, IV장에서는 모의실험을 통하여 설계된 파일럿 시퀀스 및 채널 추정 기법의 성능을 검증하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 환경은 그림 1과 같으며, 본 논문에서 고려되는 시스템은 N 개의 부반송파를 가지고 N_T 개의 송신 안테나가 설치된 MIMO-OFDM 시스템이다.

이동 단말의 다수 수신 안테나에서는 동일한 채널 추정 기법이 독립적으로 수행되고 각각의 송수신 안테나에 대한 채널은 동일한 확률 분포를 가지므로 수식 전개 편의를 위해 하나의 수신 안테나에 대해서만 고려하였다. 일반적으로 기지국 획득 (cell acquisition)

과정은 채널 추정 작업 이전에 이루어지고 근접 기지국들의 간섭 전력은 이 과정에서 측정될 수 있으므로 평균 간섭 전력이 큰 순으로 기지국 순서의 정렬이 가능하다. 이 기지국들의 정렬 순서에 대해 시간 영역에서의 b 번째 기지국의 파일럿 시퀀스 집합 $\mathbf{x}^b = [\mathbf{x}_0^b \mathbf{x}_1^b \dots \mathbf{x}_{N_T-1}^b]$ 이며, 여기서 $\mathbf{x}_t^b = [x_t^b(0) x_t^b(1) \dots x_t^b(N-1)]$ 는 b 번째 기지국의 t 번째 송신안테나의 파일럿 시퀀스라 가정한다. 그러면 기준 기지국(N_B)에서의 q 번째 이동 단말의 수신 OFDM 심볼의 보호구간을 제거한 후의 수신 신호는 다음 식(1)과 같다.

$$\mathbf{y}_q = \mathbf{X}\mathbf{H}_q + \sum_{b=1}^{N_B-1} \sqrt{\alpha_q^b} \mathbf{X}^b \mathbf{H}_q^b + \mathbf{n}_q \quad (1)$$

식(1)에서 기지국의 인덱스는 감쇄 인수 ($0 \leq \alpha^{N_B-1} \leq \dots \leq \alpha^1 \leq \alpha^0 = 1$)의 크기가 큰 순으로 정렬되고, 수식 표기의 편의를 위해서 기준 기지국의 인덱스인 0은 생략하도록 한다. $\mathbf{X}^b = [\mathbf{X}_0^b \mathbf{X}_1^b \dots \mathbf{X}_{N_T-1}^b]$ 은 $N \times LN_T$ 크기를 가지는 행렬이다. 여기서 \mathbf{L} 은 채널 경로의 최대 지연 확산이며, \mathbf{X}_t^b 는

$$\mathbf{X}_t^b = \begin{bmatrix} x_t^b(0) & x_t^b(N-1) & \dots & x_t^b(N-L+1) \\ x_t^b(1) & x_t^b(0) & \dots & x_t^b(N-L+2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_t^b(N-1) & x_t^b(N-2) & \dots & x_t^b(N-L) \end{bmatrix}$$

그리고 각각의 송신 안테나에 할당된 파일럿 시퀀스 총 전력의 합은 $\sum_{k=0}^{N-1} |x_t^b(k)|^2 = N/N_T$ 가 되며, $\mathbf{H}_q^b = [\mathbf{h}_{q,0}^b \mathbf{h}_{q,1}^b \dots \mathbf{h}_{q,N_T-1}^b]^T$ 은 q 번째 이동 단말과 b 번째 간섭 기지국과의 시간 영역에서의 $LN_T \times 1$ 크기를 가지는 채널 행렬이다. 또한 여기에서 크기 $L \times 1$ 벡터 $\mathbf{h}_{q,t}^b$ 는 b 번째 기지국의 t 번째 송신 안테나와 q 번째 이동 단말에서의 수신 안테나와의 채널 벡터이다. 이 경우 \mathbf{H}_q^b 는 레일리 페이딩 분포를 가지고 다른 안테나와의 채널과 uncorrelated되며, 다음 식(2)가 성립한다.

$$E[\mathbf{H}_q^a \mathbf{H}_q^{bH}] = \begin{cases} \mathbf{I}_{LN_T}, & a = b, \\ L, & \\ 0_{LN_T \times LN_T}, & a \neq b. \end{cases} \quad (2)$$

벡터 \mathbf{n}_q 은 공분산 행렬 $\text{Cov}(\mathbf{n}) = E(\mathbf{n}\mathbf{n}^H) = \sigma_n^2 \mathbf{I}_N$ 을 가지는 평균이 0인 백색 가우시안 벡터가 된다.

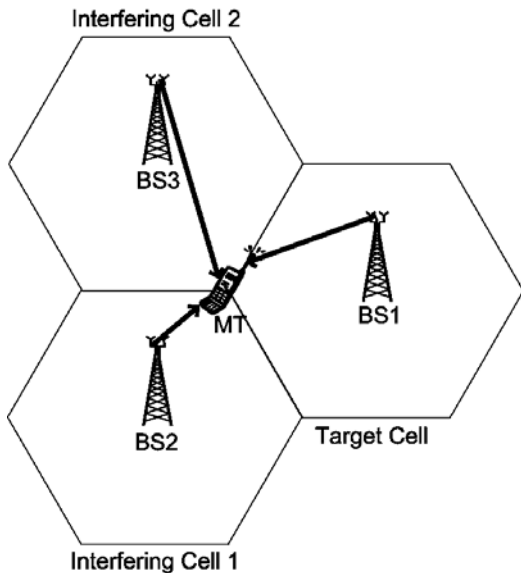


그림 1. 시스템 환경
Fig. 1. System environment

III. 다중 기지국 환경에서의 채널 추정기법

3.1 다중 기지국 환경에서의 채널 추정의 MSE

단일 기지국 환경을 위해 설계된 파일럿 시퀀스를 이용해 채널 추정을 수행할 경우에 기지국간 간섭이 고려되지 않았기 때문에 채널 추정 기법의 성능 열화가 심하게 발생한다. N_B 개의 간섭 기지국에 N_T 개의 송신 안테나가 있다고 가정한다면, $LN_B N_T$ 개의 독립적인 채널이 존재하게 된다. 그러므로 least square (LS) 채널 추정 기법의 경우 채널 행렬에 대해 non-singular 해를 구하기 위해서는 파일럿 시퀀스 길이 N 은 식(3)을 만족하여야한다⁵⁾.

$$N \geq LN_T N_B \quad (3)$$

그러나 채널의 최대 길이 L 은 일반적으로 $N/4$ 또는 $N/8$ 보다 짧기 때문에 적고 파일럿 시퀀스를 할당할 수 있는 최대 안테나 수는 대략 4~8개이다⁷⁾. 이러한 제약 조건으로 인하여 기지국 당 설치 가능한 최대 송신안테나 수를 8이라 하면, 고작 하나의 기지국들에 할당된 안테나들에 대해서 간섭 없이 채널 추정할 수 있다. 따라서 간섭을 최소화하기 위해서는 각각 기지국과의 파일럿 시퀀스들 간 비 직교 상관관계 $\mathbf{D}^b = \mathbf{X}^H \mathbf{X}^b \neq \mathbf{0}_{LN_T \times LN_T}$ 가 매우 중요하다. 이를 고려하여 다중 기지국 환경에서 기준 기지국에서의 q 번째 이동 단말의 LS 채널 추정치 $\hat{\mathbf{H}}_q = (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^H \mathbf{y}_q$ 에 대한 MSE값을 식(4)와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{MSE}_q &= \frac{1}{LN_T} E \left\{ \text{Tr} \left\{ (\hat{\mathbf{H}}_q - \mathbf{H}_q) (\hat{\mathbf{H}}_q - \mathbf{H}_q)^H \right\} \right\} \\ &= \frac{1}{LN_T} E \left\{ \text{Tr} \left\{ (\hat{\mathbf{H}}_q - \mathbf{H}_q) (\hat{\mathbf{H}}_q - \mathbf{H}_q)^H \right\} \mathbf{h}_q^b \right\} \\ &= \frac{1}{LN_T} \left[\sigma_n^2 \text{Tr} \left\{ (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \right\} + \sum_{a=1}^{N_B-1} \sum_{b=1}^{N_B-1} \sqrt{\alpha_a^a \alpha_b^b} \right. \\ &\quad \left. E \left\{ \text{Tr} \left\{ (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \mathbf{D}^b \mathbf{h}_q^b \mathbf{h}_q^a \mathbf{D}^{bH} (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \right\} \right\} \mathbf{h}_q^b \right\} \\ &= \frac{\sigma_n^2}{LN_T} \text{Tr} \left\{ (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \right\} \\ &\quad + \frac{1}{LN_T} \sum_{b=1}^{N_B-1} \alpha_q^b \text{Tr} \left\{ \mathbf{D}^{bH} (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-2} \mathbf{D}^b \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)의 마지막 식에서 첫 번째 항은 단일 기지국 환경에서의 평균 잡음 전력에 의한 MSE이며 두 번째 항은 다중 기지국 환경에서의 간섭 전력으로 인한 MSE이다.

3.2 다중 기지국 환경에서의 최적 파일럿 시퀀스
앞 절에서 유도한 MSE는 $\mathbf{X}^H \mathbf{X}$ 와 \mathbf{D}^b 에 의해 결정되며 이 값들은 각각 파일럿 시퀀스의 자기 상관 함수와 상호 상관 함수에 의해 결정된다. 그러므로 좋은 상관관계 특성을 가지는 시퀀스를 기반으로 하는 파일럿 시퀀스를 설계하는 것은 매우 중요한 일이다. 특히, 식(4)에서 첫 번째 항을 최소화하기 위해서는 다음의 식(5)를 만족시켜야한다⁸⁾.

$$(\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} = \frac{N_T}{N} \mathbf{I}_{LN_T} \quad (5)$$

시퀀스 길이 N 인 추 시퀀스의 집합은 $\mathbf{C}_r^N = \{a_r^N | 0 < r < N, \text{gcd}(N, r) = 1\}$ 이며, 여기서 a_r^N 의 k 번째 원소는 다음 식(6)과 같다⁶⁾.

$$a_r^N(k) = \begin{cases} \exp\left(j\pi \frac{rk^2}{N}\right), & N \text{ 짝수,} \\ \exp\left(j\pi \frac{rk(k+1)}{N}\right), & N \text{ 홀수} \end{cases} \quad (6)$$

추 시퀀스 a_r^N 은 $\theta_r^N(\tau) = N\delta_K(\tau \bmod N)$ 을 자기 상관관계 함수로 가지며, 이러한 자기 상관관계 함수의 특성⁷⁾ 인해 추 시퀀스를 기반으로 하는 파일럿 시퀀스의 경우 식(5)를 만족시킬 수 있다. 또한 추 시퀀스의 상호 상관관계 함수의 특성을 이용하여 기지국간 간섭 전력량을 줄일 수 있는 파일럿 설계를 위한 기준을 유도할 수 있다. 단일 기지국 환경에서 MSE의 관점에서 최적의 파일럿 시퀀스를 유도하기 위해서는 식(5)를 만족시키는 파일럿 시퀀스가 요구되며 추 시퀀스의 자기 상관 함수를 이용하여 다음 식(7)을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} [\mathbf{X}_s^H \mathbf{X}_t]_{i,j} &= \frac{N}{N_T} \delta_K(j-i) \cdot \delta_K(t-s) \\ &= \frac{N}{N_T} \delta_K(j-i+L(t-s)) = \frac{1}{N_T} \theta_r^N(j-i+L(t-s)) \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)은 단일 기지국에서 추 시퀀스를 이용하여 최적의 파일럿을 설계할 수 있음을 보여 준다. 즉, 식(5)를 만족시키기 위해서는 동일 기지국의 서로 다른 안테나 사이의 파일럿 시퀀스가 서로 직교해야 할 뿐만 아니라 이들 시퀀스간의 cyclic shifted 시퀀스 간에도 직교성이 만족되어야 하는데 추 시퀀스는 cyclic shifted 시퀀스들 간에 직교성을 유지하므로 이를 만

족사키며 다음 식(8)과 같은 파일럿 시퀀스를 유도할 수 있다.

$$x_i^{b(k)} = \frac{\alpha_{r_b}^N(k+L)}{\sqrt{N_T}} \quad (8)$$

위 파일럿 시퀀스의 경우, cyclic shifted 직교성을 만족시키기 위하여 하나의 추 시퀀스로부터 cyclic shift를 이용하여 만들어지며 그 값은 최대 채널 지연 값 L 에 의해 결정된다. 하지만 설계된 파일럿 시퀀스를 이용하여 채널 추정을 할 경우 기지국간 간섭으로 인하여 성능이 열화된다. 그러므로 간섭을 제거하기 위한 추가적인 작업이 필요하며 일반적으로 기지국 경계지역에서의 간섭 전력은 잡음 전력보다 매우 크므로 잡음 전력을 생략한다면, 각 파일럿 시퀀스에 따른 채널추정 오류값은 식(9)와 같다.

$$[\widehat{\mathbf{H}}_q - \mathbf{H}_q]_j = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^{N_B-1} \sqrt{\alpha^{(b)}} [\mathbf{H}_q^{(b)}]_j \theta_{r,r_b}^N(j) \quad (9)$$

이 경우 추 시퀀스의 상호상관 관계 함수의 특성 때문에 g_{r,r_b}^N 가 가능한 가장 작은 값을 가질 때 다른 기지국들로 인한 간섭이 가장 넓은 범위에 분포하게 되지만, 이들 값의 표준편차는 가장 작다. 반대로 g_{r,r_b}^N 가 가장 클 경우에, 간섭의 표준편차는 가장 크게 된다.

본 논문에서 설계된 파일럿 시퀀스는 식(5)를 만족하고, 다중 기지국 환경에 적용하였을 경우, q 번째 이동 단말의 LS 채널 추정치 $\widehat{\mathbf{H}}_q = (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^H \mathbf{y}_q$ 에 대한 MSE는 다음 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_n^2 \text{Tr}\{(\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1}\}}{LN_T} + \frac{1}{LN_T} \sum_{b=1}^{N_B-1} \alpha_b \text{Tr}\{\mathbf{D}^{(b)} (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-2} \mathbf{D}^{(b)}\} \\ &= \frac{N_T \sigma_n^2}{N} + \frac{N_T}{LN^2} \sum_{b=1}^{N_B-1} \alpha_b \text{Tr}\{\mathbf{D}^{(b)} \mathbf{D}^{(b)}\} \end{aligned} \quad (10)$$

식(8)에서 b 번째 기지국의 파일럿 시퀀스는 추 시퀀스 $\alpha_{r_b}^N$ 로부터 생성되므로, 식(10)에서 b 번째 기지국으로 인한 간섭 전력 총합인 $\text{Tr}\{\mathbf{D}^{(b)} \mathbf{D}^{(b)}\}$ 값은 다음 식(11)과 같이 유도할 수 있다.

$$\text{Tr}\{\mathbf{D}^{(b)} \mathbf{D}^{(b)}\} = \sum_{\tau=0}^{LN_T-1} |\theta_{r,r_b}^N(\tau)|^2 \quad (11)$$

식(11)로부터 다중 기지국 환경에서의 간섭 전력의

특성은 추 시퀀스의 상호 상관 함수에 결정됨을 알 수 있다. 간섭을 제거하는 가장 직접적인 방법은 간섭을 포함하고 있는 채널 탭을 채널 추정 과정동안 제거하는 것이다. 채널 전력이 간섭 전력보다 작다면 탭을 제거하면 성능은 향상될 것이며 반대의 경우에는 성능의 열화가 발생할 것이다. 그러므로 채널 탭을 어떻게 선택할 것인가에 따라 채널추정 성능이 좌우된다. 이 경우, 채널 추정을 하려는 기지국의 채널 경로 수를 알고 있다면 탭의 전력을 크기를 이용해 간섭 탭을 제거시킴으로서 효과적으로 간섭 전력을 제거시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 LS 기법을 이용하여 채널 추정치 $\widehat{\mathbf{H}}_q = (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^H \mathbf{y}_q$ 를 획득한 다음, 이들 중에서 M 번째까지의 큰 전력을 가지는 채널 탭을 선택하게 되며, 이 채널 추정 기법을 식(12)와 같이 수학적으로 표현할 수 있다.

$$[\widehat{\mathbf{H}}_q]_j = \begin{cases} [\widehat{\mathbf{H}}_q]_j & \text{if } [\widehat{\mathbf{H}}_q] \in \{ \langle [\widehat{\mathbf{H}}_q]_l \rangle \mid l \leq M \} \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (12)$$

위 식에서 $\langle [\widehat{\mathbf{H}}_q]_l \rangle$ 은 집합 $[\widehat{\mathbf{H}}_q]$ 에서 l 번째 큰 전력을 가지는 채널 탭이다. 식(12)를 이용할 경우 전력의 크기에 의해 채널 탭이 선택되어지기 때문에 총 간섭 전력은 동일할지라도 실제 채널과 간섭 채널의 전력 크기의 차가 클수록 간섭 채널 탭이 선택되어질 확률이 낮게 된다. 따라서 기준 기지국의 채널 전력과 간섭 전력의 차이를 최대화 하기위해서 가능한 작은 g_{r,r_b}^N 값을 가지게 되도록 각 기지국의 파일럿 시퀀스를 설계하여야 한다.

IV. 모의실험 및 성능검증

본 장에서는 파일럿 설계 및 평가를 위해 MIMO-OFDM 시스템을 육각형 셀룰러 환경에서 실험하였다. 각 기지국들의 모든 송수신 안테나에 대해 독립적으로 만들어진 레일리 다중 경로 페이딩 채널에 대해 모의실험하며 하나의 OFDM 심볼 길이동안 채널은 변하지 않으며 uncorrelated라고 가정하였다.

그림 2에는 $N_B = 2$ 일 경우에 제안된 파일럿 시퀀스들의 상호 상관관계 함수 특성에 따른 성능 비교를 보이는 것으로, 그림 2에서 채널은 10개의 경로를 가지며, 채널의 최대 지연 확산 $L = 128$, 그리고 총 부반송파의 개수 $N = 1029$, 송신 안테나의 개수 $N_T = 8$, 수신 안테나 개수 $N_R = 8$, 총 기지국 개수 $N_B = 2$ 로

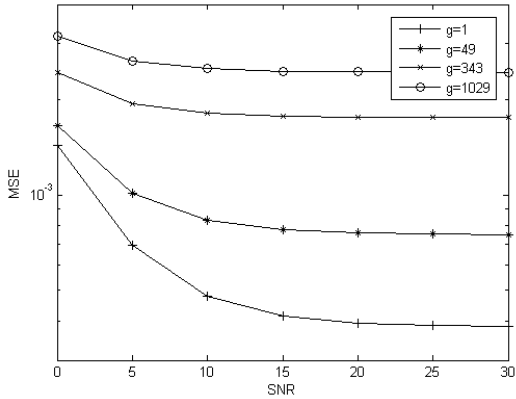


그림 2. 상호 상관 특성에 의한 성능 비교 ($N_B = 2$)
 Fig. 2. Comparison of performance by cross-correlation characteristics. ($N_B = 2$)

가정하였다. 또한 수신단에서 채널 추정시 $M=10$ 이라고 가정하였다. $N=1029=3 \times 7^3$ 경우, a_r^N 와 $a_{r_1}^N$ 로부터 생성된 기준 기지국과 l 번째 간섭 기지국의 파일럿 시퀀스에 대해 가능한 g_{r,r_1}^N 은 1, 3, 7, 21, 49, 147, 343, 1029이다. 그림 3에서는 편의를 위해 g_{r,r_1}^N 를 g_1 으로 표기하였으며 모의실험에서는 g_{r,r_1}^N 이 1, 49, 343, 1029를 가지는 4가지 경우를 고려하였다. 이동 단말에서의 기준 기지국의 평균 수신 신호 전력 대 간섭 기지국의 평균 수신 신호 전력비는 3dB이다. 모의실험 결과에서 볼 수 있듯이 총 간섭 전력량이 동일한 상황이지만 g_{r,r_1}^N 이 작을수록 간섭 전력의 표준편차가 최소화되고, 동시에 기준 기지국과의 채널 전력과 간섭 기지국의 전력 차가 크게 되어 효과적으로 기준 기지국의 채널을 선택하게 된다.

그림 3에는 $N_B=3$ 일 경우에 제안된 파일럿 시퀀스들의 상호 상관관계 함수 특성에 따른 성능 비교를 보이는 것으로, 그림 3에서는 총 기지국 개수 $N_B=3$ 그리고 세 기지국의 파일럿 시퀀스의 상호 관계 함수에 의한 $(g_{r,r_1}^N, g_{r,r_2}^N)$ 은 (1,1), (3,49), (49,343), (1029,1029)를 가지는 4가지 경우에 대하여 모의 실험하였다. 역시 편의를 위해 g_{r,r_1}^N 와 g_{r,r_2}^N 를 각각 g_1, g_2 로 표기하였다. 이동 단말기에서의 기준 기지국의 평균 수신 신호 전력 대 l 번째 기지국의 평균 수신 신호 전력과 기준 기지국의 평균 수신 신호 전력 대 2번째 기지국의 평균 수신 신호 전력비는 각각 3dB, 6dB이다. 그림 3에서의 결과 또한 그림 2에서의 결과와 유사하게, $(g_{r,r_1}^N, g_{r,r_2}^N)$ 이 작은 값을 가질수록 제안된 기

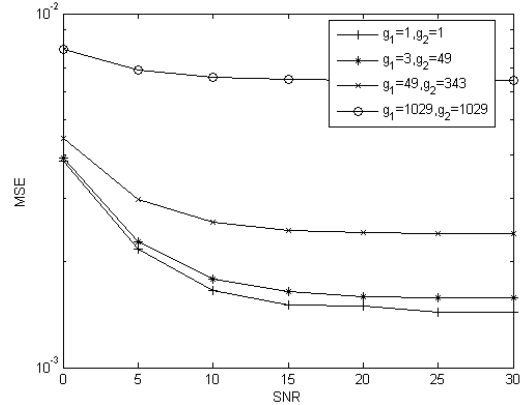


그림 3. 상호 상관 특성에 의한 성능 비교 ($N_B = 3$)
 Fig. 3. Comparison of performance by cross-correlation characteristics. ($N_B = 3$)

법의 MSE가 작아짐을 알 수 있다. 그러므로 제안된 기법을 이용하여 채널 추정을 할 경우 각 기지국의 파일럿 시퀀스는 최소의 g_{r,r_1}^N 값을 갖도록 설계되어야 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 다중 기지국 환경에서 MIMO-OFDM 시스템에서 LS 채널 추정 기법의 MSE를 유도하였고, 추 시퀀스의 상호 관계 특성을 이용해 간섭 전력으로 인한 채널 추정 성능 저하를 최소화시키는 파일럿 시퀀스의 설계 및 이에 적합한 채널추정 기법을 제안하였다. 식(12)에서 제안된 채널 추정 기법을 사용할 경우 추 시퀀스간의 상호상관 관계 함수의 특성으로 인하여 두 개의 추 시퀀스 a_r^N 와 $a_{r_b}^N$ 을 기반으로 하는 파일럿 시퀀스들은 $r-r_b$ 와 시퀀스 길이 N 의 최대 공약수가 최소값을 가질 때 채널 추정 성능이 가장 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] D. Hu, L. Yang, Y. Shi, and L. He, "Optimal pilot sequence design for channel estimation in MIMO OFDM systems," IEEE Comm. Letters, Vol.10, No.1, pp.1-3, Jan. 2006.
- [2] Z. Hossein and P. Subbarayan, "Robust and improved channel estimation algorithm for MIMO-OFDM systems," IEEE Trans. Wireless. Commui., Vol.6, No.6, pp.2006-2013, June 2006.

- [3] G. L. Stuber, J.R. Barry, Y. Li, M. A. Ingram, S. W. McLaughlin, and T. G. Pratt, "Broadband MIMO-OFDM wireless communications," Proceedings of the IEEE, Vol.92, No.2, pp.271-294, Feb. 2004.
- [4] L. Thiele, M. Schellmann, S. Schiffermuller, V. Jungnickel and W. Zirwas "Multi-Cell Channel Estimation using Virtual Pilots," Vehicular Technology Conference, 2008. IEEE, Vol.5, No.5, pp.1211-1215, May 2008.
- [5] G. Kang, Y. Yang, P. Zhang and Anja. Klein, "Pilot Design for Inter-Cell Interference Mitigation in MIMO OFDM Systems," IEEE Commu. Letters, Vol.11, No.3 pp.237-239, March 2007.
- [6] D.C. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.IT-18, pp.531-532, July 1972.
- [7] I. 802.16, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Medium Access Control Modification and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz, P802.16a/D7. IEEE, 2002.
- [8] I. Barhumi, G. Leus, and M. Moonen, "Optimal training design for MIMO-OFDM systems in mobile wireless channels," IEEE Trans. Signal Processing, Vol.5, pp.1615-1624, June 2003.

윤 현 민 (Hyun-min Yun)

정회원



1986년 원광대학교 전자공학과
1988년 인하대학교 대학원 전자공학과(석사)
2006년 2월 인하대학교 전자공학과(박사)
1988년 1월~1991년 2월 LG 반도체연구소근무
1991년 3월~현재 재능대학 정보통신계열 교수
<관심분야> 반도체소자 및 VLSI회로설계

강 문 규 (Moon-Kyoo Kang)

정회원



1979년 2월 인하대학교 전자공학과
1981년 9월 인하대학교 전자공학과(석사)
2005년 2월 인하대학교 전자공학과(박사)
1991년 3월~현재 재능대학 컴퓨터정보계열 교수

<관심분야> MIMO, WLAN, UWB

이 형 기 (Hyung-Ki Lee)

정회원



1985년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)
1987년 8월 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2006년 2월 인하대학교 전자공학과(공학박사)
1992년 3월~현재 재능대학 정

보통신과 교수

1989년 6월~1992년 3월 LG 텔레콤 네트워크센터 연구원

<관심분야> MIMO, WLAN, UWB