

논문 2006-43TC-10-7

셀룰러 OFDMA 시스템을 위한 셀간 간섭추정 알고리즘

(An Inter-Cell Interference Estimation Algorithm for Cellular OFDMA Systems)

임 민 중*

(Minjoong Rim)

요 약

셀룰러 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템에서는 각 부반송파별로 주변 셀에서 오는 간섭의 양이 다를 수 있다. 만일 각 부반송파에 대해서 주변 셀로부터 오는 간섭의 양을 정확히 측정할 수 있다면 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio) weighting을 통해서 성능을 대폭 향상시킬 수 있다. 이 논문에서는 셀룰러 OFDMA 시스템에서의 셀간 간섭의 양을 측정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 각 파일럿 심벌들이 겪는 주파수 오차, 타이밍 오차, 단말의 이동 속도, 딜레이 스프레드에 의한 채널 변화의 영향을 제거하고 순수한 잡음 및 간섭에 의한 채널 변화를 측정한다.

Abstract

In cellular OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) systems, each subcarrier may suffer from different amount of interferences from neighbor cells. Suppose that it is possible to accurately estimate inter-cell interferences for each subcarrier, the performance can be considerably improved by applying SINR(Signal to Interference and Noise Ratio) weighting. This paper proposes an inter-cell interference estimation method for cellular OFDMA systems. The proposed method extracts amounts of noise and interferences by eliminating the channel variation effects of pilot symbols caused by frequency offset, timing offset, mobile velocity, and delay spread.

Keywords: Inter-Cell Interference, Interference Estimation, SINR Weighting, OFDMA, Cellular

I. 서 론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 구현상의 복잡도가 크지 않으면서 우수한 성능을 나타내는 특성을 가지고 있으며 광대역 무선통신 시스템에서 널리 사용되고 있다^[1]. OFDM이 셀룰러 이동통신 시스템에서 사용이 될 때에는 셀 간의 간섭을 평균화하기 위해서 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)^[2,3], FH-OFDM(Frequency Hopping OFDM)^[4,5], MC-CDMA(Multi-Carrier Code Division Multiple Access)^[5,6] 등의 형태로 사용이 된다. MC-CDMA의 경우 주파수축에서 대역확산을 함으로써, 그리고 FH-OFDM에서

는 부반송파 호핑을 통해서, 부반송파간의 간섭이 평균화되도록 한다. 그러나 OFDMA 시스템에서는 인접한 셀로부터의 간섭이 특정 부반송파에 집중이 되어 성능에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있다.

셀룰러 OFDMA 시스템에서는 각 부반송파별로 주변 셀로부터 오는 간섭이 양이 다르다. 따라서 만일 부반송파별로 간섭의 양을 정확히 측정할 수 있다면 채널 복호기에 데이터를 입력할 때 간섭의 양에 반비례하도록 데이터의 크기를 조절함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 잡음 및 간섭의 양은 수신되는 신호의 파일럿 심벌들을 이용하여 측정할 수 있다. 만일 채널의 시간축 및 주파수축의 변화가 없다면 파일럿 심벌들의 순간 채널추정값의 분산이 잡음 및 간섭의 양과 비례하게 되며, 따라서 분산을 측정함으로써 인접 셀로부터의 간섭을 측정할 수 있다. 그러나 실제 시스템에서는 주파수 오차, 타이밍 오차, 단말의 이동 속도, 딜레이 스프레드 등에 의해서 채널 변화가 발생하므로 이들에 의한 영향

* 정회원, 동국대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communication Engineering, Dongguk University)
접수일자: 2006년4월6일, 수정완료일: 2006년10월2일

을 제거하고 순수한 잡음 및 간섭에 의한 수신 파일럿 심벌의 분산을 측정하는 것이 필요하다.

이 논문에서는 OFDMA 상향링크 시스템에서 셀간의 간섭을 추정하는 알고리즘을 제안한다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 셀간 간섭을 고려한 채널보상 방법을 설명하며 III장에서는 간섭 추정 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 모의실험을 통해 제안된 알고리즘의 유효성을 보이며 V장에서는 논문의 결론을 맺는다.

II. 셀간 간섭을 고려한 채널보상

1. 셀간 간섭을 고려하지 않은 채널보상

전송되는 데이터 심벌을 $X(k)$, 해당되는 주파수 응답을 $H(k)$, 간섭 및 잡음을 $W(k)$ 라고 하자. 이 때 수신된 신호 $R(k)$ 는 식 (1)과 같은 관계식을 가진다.

$$R(k) = H(k)X(k) + W(k) \quad (1)$$

수신된 데이터는 채널보상된 값에 SINR(Signal-to-(Interference+Noise) Ratio) weighting을 하여 연관정 값을 얻고 채널복호기로 입력한다. 완전한 채널추정을 가정하였을 때 연관정 값을 얻기 위한 채널보상된 신호 $Y(k)$ 는 식 (2)와 같이 쓰여진다.

$$Y(k) = \frac{R(k)}{H(k)} \text{SINR} \quad (2)$$

주변 셀에 의한 간섭이 없을 경우 잡음의 분산은 모든 부반송파에 동일하다는 가정을 할 수 있으므로 SINR은 식 (3)과 같은 값을 사용할 수 있다.

$$\text{SINR} \propto |H(k)|^2 \quad (3)$$

따라서 셀 간 간섭을 고려하지 않은 채널보상에서의 SINR Weighting은 식 (4)와 같은 수식을 이용한다.

$$Y(k) = \frac{R(k)}{H(k)} |H(k)|^2 = H^*(k)R(k) \quad (4)$$

2. 셀간 간섭을 고려한 채널보상

주파수 재활용 효율이 1인 OFDMA 셀룰러 시스템에서는 주변 셀에 의한 간섭이 존재하며 간섭의 양은 부반송파마다 다를 수 있으므로 셀간 간섭을 고려한 채널보상이 필요하다. 잡음 및 간섭의 양을 E_{N+I} 로 한다면 SINR의 값은 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$\text{SINR} \propto \frac{|H(k)|^2}{E_{N+I}} \quad (5)$$

따라서 식 (2)는 식 (6)과 같이 쓰여질 수 있다.

$$\begin{aligned} Y(k) &= \frac{R(k)}{H(k)} \frac{|H(k)|^2}{E_{N+I}} \\ &= \frac{H^*(k)}{E_{N+I}} R(k) \end{aligned} \quad (6)$$

채널값 $H^*(k)$ 는 채널추정을 통해서 얻을 수 있으며 잡음 및 간섭의 양 E_{N+I} 은 별도의 추정이 필요하다.

III. 간섭 추정

1. 시스템 모델

이 논문에서는 데이터 전송은 그림 1과 같은 형태의 타일 또는 블록의 구조를 통해서 전송이 되며 타일에는 사각형 형태의 파일럿 심벌이 위치한다고 가정한다. 잡음 및 간섭의 양은 타일에 위치한 파일럿 심벌들의 순간채널추정값의 변화를 이용하여 측정할 수 있다. 그러나 순간채널추정값의 변화는 잡음 및 간섭 이외에도 주파수 오차, 타이밍 오차, 단말의 이동속도, 딜레이 스프레드에 의한 영향을 받는다. 주파수 오차 및 타이밍 오차는 모든 부반송파에 대해서 동일한 성질을 가지므로 비교적 추정하기 쉽다. 따라서 먼저 부반송파별로 공통된 값을 가지는, 주파수 오차 및 타이밍 오차를 제거한 후, 부반송파별로 다른 값을 가지는, 이동속도와 딜레이 스프레드에 의한 영향을 제거함으로써 잡음 및 간섭의 양을 측정한다.

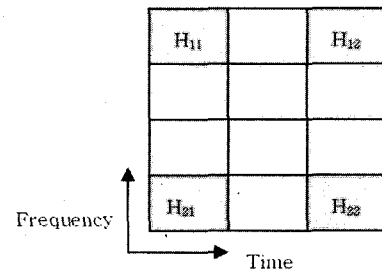


그림 1. 타일 구조

Fig. 1. Tile Structure.

2. 주파수 및 타이밍 오차의 보상

단말의 이동속도와 딜레이 스프레드에 의한 영향을

무시할 때, 주파수 오차 및 타이밍 오차는 다음과 같이 측정된다. FFT(Fast Fourier Transform)의 크기가 N_{FFT} 이고 순환 전치 구간의 크기가 N_{CP} , 샘플 주기가 T_{Sample} , 시간축의 파일럿 간격을 S_T , 주파수축의 파일럿 간격을 S_F , 주파수 오차를 f_{Offset} , 타이밍 오차를 T_{Offset} 이라고 할 때 시간축으로 인접한 두 파일럿 심벌의 위상 차이 θ_T 와 주파수축으로 인접한 두 파일럿 심벌의 위상 차이 θ_F 는 식 (7) 및 (8)의 관계를 가진다.

$$\theta_T = 2\pi f_{Offset} T_{Sample} S_T (N_{FFT} + N_{CP}) \quad (7)$$

$$\theta_F = \frac{2\pi T_{Offset} S_F}{N_{FFT}} \quad (8)$$

W_{11} , W_{12} , W_{21} , W_{22} 를 σ_w^2 의 분산을 가지는 주파수축의 잡음이라고 하고 첫 번째 파일럿 심벌의 정확한 채널값이 H 라고 할 때, 그림 1의 네 개의 파일럿 심벌들을 이용한 순간채널추정값은 식 (9)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} H_{11} &= H + W_{11} \\ H_{12} &= H \exp(j\theta_T) + W_{12} \\ H_{21} &= H \exp(j\theta_F) + W_{21} \\ H_{22} &= H \exp(j(\theta_T + \theta_F)) + W_{22} \end{aligned} \quad (9)$$

사용할 수 있는 타일의 수가 복수 개 있다면 이들을 같이 이용하여 주파수 오차 및 타이밍 오차를 측정하고 보상할 수 있다. n 번째 타일에 대해서 시간축 및 주파수축 상관도값을 식 (10) 및 식 (11)과 같이 정의한다.

$$C_T(n) = H_{11}^* H_{12} + H_{21}^* H_{22} \quad (10)$$

$$C_F(n) = H_{11}^* H_{21} + H_{12}^* H_{22} \quad (11)$$

식 (10)과 (11)은 SINR을 고려하여 결합된 후 그 각도를 측정함으로써 시간축 및 주파수축의 위상 차이를 추정한다.

$$\bar{\theta}_T = \arctan\left(\sum \frac{C_T(n)}{E_{N+I}(n)}\right) \quad (12)$$

$$\bar{\theta}_F = \arctan\left(\sum \frac{C_F(n)}{E_{N+I}(n)}\right) \quad (13)$$

추정된 값을 이용하여 순간채널추정값의 주파수 오차 및 위상 오차의 영향을 제거하고 간섭을 추정한다.

$$\begin{aligned} \hat{H}_{11} &= H_{11} \\ \hat{H}_{12} &= H_{12} \exp(-j\bar{\theta}_T) \\ \hat{H}_{21} &= H_{21} \exp(-j\bar{\theta}_F) \\ \hat{H}_{22} &= H_{22} \exp(-j(\bar{\theta}_T + \bar{\theta}_F)) \end{aligned} \quad (14)$$

3. 간섭의 추정

시간축 및 주파수축으로 변화하는 채널에서 잡음 및 간섭을 추정하기 위해서 파일럿을 이용한 순간채널추정값은 식 (15)와 같은 관계식을 가진다고 가정한다.

$$\begin{aligned} H_{11} &= H + W_{11} \\ H_{12} &= H + \Delta H_T + W_{12} \\ H_{21} &= H + \Delta H_F + W_{21} \\ H_{22} &= H + \Delta H_T + \Delta H_F + W_{22} \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)에서 ΔH_T 는 시간축의 채널 변화, ΔH_F 는 주파수축의 채널변화이다. 시간축 및 주파수축, 그리고 대각선 방향으로의 순간채널추정값의 변화는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_T = (H_{11} - H_{12})^2 + (H_{21} - H_{22})^2 \quad (16)$$

$$V_F = (H_{11} - H_{12})^2 + (H_{21} - H_{22})^2 \quad (17)$$

$$V_{Diagonal} = (H_{11} - H_{22})^2 + (H_{21} - H_{12})^2 \quad (18)$$

이들의 기대값은 잡음 및 간섭뿐만 아니라 시간축 및 주파수축의 채널변화를 포함하고 있다.

$$E\{V_T\} = 2\Delta H_T^2 + 4\sigma_w^2 \quad (19)$$

$$E\{V_F\} = 2\Delta H_F^2 + 4\sigma_w^2 \quad (20)$$

$$E\{V_{Diagonal}\} = 2\Delta H_T^2 + 2\Delta H_F^2 + 4\sigma_w^2 \quad (21)$$

식 (19), (20), (21)을 조합하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$E\{V_T + V_F - V_{Diagonal}\} = 4\sigma_w^2 \quad (22)$$

잡음 및 간섭의 양의 추정치 \bar{E}_{N+I} 는 식 (23)과 같이 추정한다.

$$\bar{E}_{N+I} = V_{Horizontal} + V_{Vertical} - V_{Diagonal} \quad (23)$$

4. 간섭 추정 알고리즘

간섭 추정을 정확하게 하기 위해서는 먼저 파일럿 심

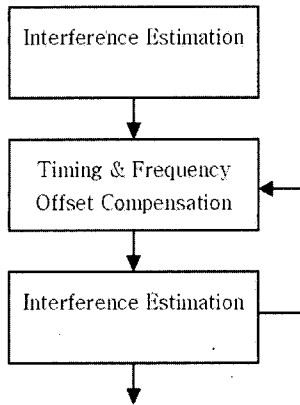


그림 2. 셀간 간섭 추정 알고리즘
Fig. 2. Inter-Cell Interference Estimation Algorithm.

벌의 순간채널추정값에서 주파수 오차 및 타이밍 오차에 의한 위상 차이를 제거하는 것이 필요하다. 그러나 주파수 및 타이밍 오차를 측정하기 위해서는 식 (12) 및 (13)에서 볼 수 있는 것과 같이, 잡음 및 간섭을 추정하는 것이 필요하다. 따라서 잡음 및 간섭의 추정과 주파수 오차 및 타이밍 오차의 추정을 반복하여 추정 성능을 향상시킨다. 그림 2는 간섭 추정 알고리즘의 블록도를 보여주고 있다. 먼저 식 (23)을 이용하여 대략적인 잡음 및 간섭 추정이 이루어지고 이를 바탕으로 주파수 오차 및 타이밍 오차의 추정이 이루어진 후 다시 잡음 및 간섭 추정을 하는 작업을 반복한다.

IV. 실험 및 토의

실험에서는 그림 3과 같이 6개의타일이 4슬롯 동안 연속으로 전송이 될 때 (12개의 OFDMA 심벌 동안 24개의 타일이 전송이 될 때) 6개 중 두 개의 타일에 간섭이 있는 경우를 가정하였다. 또한 간섭의 크기는 신호의 크기와 같다고 가정하였다. 간섭 추정 알고리즘에서 반복적인 간섭 추정은 한 번만 하였으며 그 외의 실

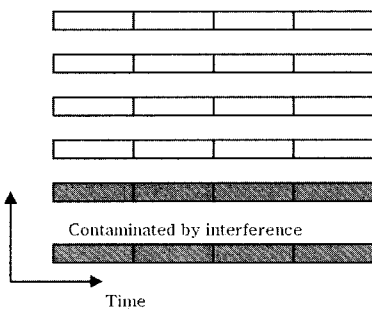


그림 3. 24개의 타일을 이용한 전송
Fig. 3. Transmission with 24 Tiles.

표 1. 실험 조건

Table 1. Simulation Parameters.

Parameter	Values
FFT Size	1024
Cyclic Prefix	128
Sample Period	100ns
Modulation	QPSK
Channel Coding	Convolutional Coding (1/2)
Channel	2-Ray Channel
Carrier Frequency	2.4GHz
Velocity	30, 120 Km/h
Delay Spread	10, 50 Samples
Frequency Offset	1000Hz
Timing Offset	30 Samples

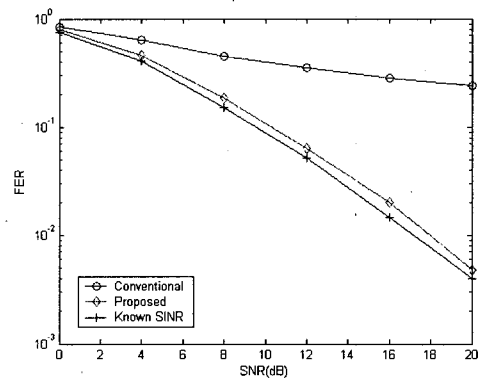


그림 4. 셀간 간섭추정 알고리즘의 FER 성능 (30Km/h, 10Samples)
Fig. 4. FER Performance of Inter-Cell Interference Estimation(30Km/h, 10Samples).

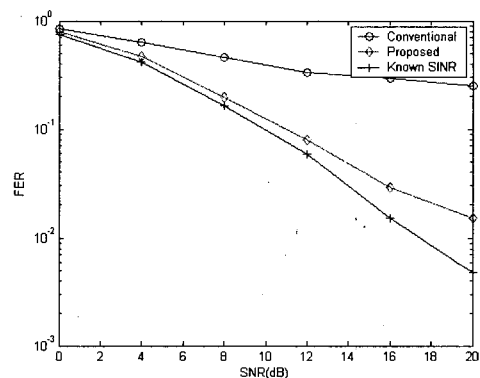


그림 5. 채널 변화가 클 때의 셀간 간섭 추정 알고리즘의 FER 성능 (120Km/h, 50Samples)
Fig. 5. FER Performance of Inter-Cell Interference Estimation with Large Channel Variations (120Km/h, 50Samples).

험 조건은 표 1에 있는 것과 같다.

실험에서는, 간섭을 고려하지 않은 채널보상을 할 때,

제안하는 간섭추정 알고리즘을 사용한 채널보상을 할 때, 그리고 정확한 SINR을 알고 있을 경우의 세 가지 경우에 대해서 FER(Frame Error Rate) 성능을 비교하였다. 데이터의 채널추정 및 보상은 완벽한 채널추정을 가정하였다. 그림 4는 단말의 이동속도가 30Km/h, 딜레이 스프레드가 10 샘플인 경우에 대해서 실험을 한 것이다. 간섭을 고려하지 않고 채널보상을 한 경우 성능이 매우 열화되는 것을 볼 수 있으나 제안된 방법을 사용한 경우는 SINR을 알고 있는 경우의 성능에 근접하는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 그림 4의 경우에 비해서 시간축 및 주파수축의 변화를 좀 더 크게 하여 실험한 것이다. 단말의 이동속도는 120Km/h로 하였으며 딜레이 스프레드는 50 샘플로 하였다. 채널의 변화가 큰 경우에는 간섭 추정의 정확성이 다소 떨어지는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

셀룰러 OFDMA 시스템에서는 각 부반송파별로 주변 셀로부터 오는 간섭의 양이 다르다. MC-CDMA의 경우 주파수축에서 대역확산을 함으로써 간섭의 양을 평균화하며 FH-OFDM에서는 부반송파 호핑을 함으로써 부반송파간의 간섭을 평균화시킨다. 그러나 주파수 재할용 효율이 1인 OFDMA 시스템에서는 특정 부반송파로 간섭이 집중될 수 있다. 셀간 간섭이 주파수축에서 평균화되지 않는 것은 단점이 될 수도 있으나 정확한 SINR의 측정을 바탕으로 SINR weighting을 할 수 있다면 간섭이 평균화되지 않는 것이 오히려 성능 향상을 이룰 수도 있다.

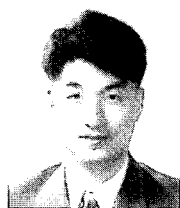
이 논문에서는 셀룰러 OFDMA 상향링크 시스템에서 잡음 및 간섭의 양을 측정하는 방법을 제안하였다. 수신

되는 신호의 파일럿 심벌들을 이용할 때 각 파일럿 심벌들은 주파수 오차, 타이밍 오차, 단말의 이동속도, 딜레이 스프레드에 의해서 채널의 변화를 겪으므로 이들에 의한 영향을 제거하고 순수한 잡음 및 간섭을 측정하도록 하였다. 실험 결과에 의하면 채널 변화가 크지 않은 환경에서는 SINR을 알고 있는 경우와 큰 성능차이가 없으며 채널 변화가 큰 경우에서도 약간의 성능 열화만이 있는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Z. Wang, G. B. Giannakis, "Wireless Multicarrier Communications," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.17, No.3, pp.29-48, May 2000.
- [2] X., Pengfei, Z. Shengli, G.B., Giannakis, "Bandwidth and Power-efficient Multicarrier Multiple Access," *IEEE Transactions on Communications*, Vol.51, No.11, pp.1828-1837, November 2003.
- [3] IEEE P802.16e/D12: Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems: Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, October 2005.
- [4] IEEE802.20: QFDD and QTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, Qualcomm, October 2005.
- [5] S. Tsumura, R. Mino, S. Hara, Y. Hara, "Performance Comparison of OFDM-FH and MC-CDM in Single and Multi-Cell Environments," *VTC 2005-Spring*, Vol.3, pp.1730-1734, June 2005.
- [6] S. Hara, R. Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Communications Magazine*, Vol.35, No.12, pp.126-133, December 1997.

저 자 소 개



임 민 중(정회원)

1987년 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사).

1993년 University of Wisconsin-Madison, Electrical and Computer Engineering (공학박사).

1993년~2000년 삼성전자 선임연구원.

2000년~현재 동국대학교 정보통신공학과 부교수.

<주관심분야 : 이동통신, 무선통신, 통신 VLSI, 통신 소프트웨어>