

OFDMA 시스템에서 셀 외곽지역의 동일 채널간섭 최소화를 위한 자원할당 기법

준회원 김 대 관*, 김 중 경*, 정회원 서 중 수*

A New Resource Allocation Technique to Mitigate Co-Channel Interference in Cellular OFDMA Systems

Dai-kwan Kim*, Jong-kyung Kim* Associate Members, Jong-soo Seo* Regular Member

요 약

본 논문은 다중 셀 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템에서 외곽 지역 사용자들의 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위해 두 단계로 이루어진 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 다중 셀 환경에서 셀 외곽 지역에 위치한 사용자들은 인접 셀에서 발생하는 동일 채널 간섭에 의한 수신 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)의 열화가 셀 내부 지역의 사용자들에 비해 심각하다. 제안하는 기법은 인접한 셀들의 외곽 사용자들 간 배타적 부반송파 할당과 전력 재할당을 통해 동일 채널 간섭을 억제한다. 모의실험 결과 외곽 지역의 데이터 전송률을 600Kbps 이상 향상시킴으로써 지역 간 불균형한 서비스 제공 현상을 완화시켜 사용자 수와 사용자의 셀 내 위치에 대해 안정적인 데이터 전송률을 지원하였다.

Key Words : OFDMA; multi-cell; resource allocation; CCI

ABSTRACT

This paper considers the problem of mitigating CCI(Co-channel Interference) in cellular OFDMA downlink systems. The users in the cell-edge area suffer from large CCIs, and their SINR requirements are hard to be maintained. To guarantee their QoS, we propose a new exclusive sub-carrier allocation and power control algorithm. The performance of the proposed two-step algorithm is simulated in SUI-A path-loss model, and it is compared with that of the conventional algorithm. The simulation results show that the data transmission rate in the cell-edge area was increased by 600Kbps within the same power constraint. The results indicate that with proposed algorithm, the data rate stability can be achieved independently of the user location in the cell.

I. 서 론

최근 고품질 멀티미디어 콘텐츠 서비스에 대한 수요의 증가로 인해 차세대 광대역 무선 통신 기술에 대한 관심이 증가하고 있다¹⁻³⁾. 또한, 무선 통신 서비스의 한정된 주파수 자원과 채널 환경 제약 조

건을 극복하기 위해 기존의 단일 반송파(Single-carrier) 전송 방식보다 개선된 성능을 가지는 다중 반송파(Multi-carrier) 전송 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{1, 2, 4)}.

OFDMA 시스템은 다중반송파 전송과 다중 접속을 지원하는 기법으로 사용자간 구분은 부반송파에

* 본 논문은 연세대학교 학술 연구비의 지원에 의하여 수행되었음.

* 연세대학교 전기전자공학과 디지털전송 연구실 (kimdaekwan, ace4y, jsseo@yonsei.ac.kr)

논문번호: KICS2006-01-045, 접수일자: 2006년 1월 25일, 최종논문접수일자: 2006년 5월 18일

의해 결정된다. 사용자에게 할당된 부반송파의 개수는 사용자의 데이터 전송량이나 채널 환경의 변화에 따라 증감시킨다. 이러한 부반송파 할당 방식은 시간-주파수 자원의 효율적인 이용을 가능하게 하여 전송 효율을 극대화 할 수 있다.

단일 셀 OFDMA 시스템의 자원 할당 기법은 다중 경로 페이딩에 의한 채널 이득에 근거하여 개별 사용자에게 할당할 부반송파 개수와 변조방식, 전송 전력을 결정한다⁴⁾. 단일 셀 환경에서는 OFDM 심볼의 개별 부반송파가 단일 사용자에게 의해서만 사용되기 때문에 동일 채널 간섭이 발생하지 않는다. 그러나 다중 셀 환경의 경우 동일 부반송파가 인접 셀에서 사용되기 때문에 동일 채널 간섭이 발생하며 이는 OFDMA 시스템의 성능을 열화시키는 요인이 된다^{5, 6)}. 따라서 다중 셀 OFDMA 시스템의 자원 할당 기법은 단일 셀 환경에서 고려한 조건 외에 동일 채널 간섭의 영향을 최소화시키는 알고리즘이 요구된다.

동일 채널 간섭은 인접 셀에서 해당 부반송파에 할당된 전송 전력과 사용자의 위치에 따른 경로 손실, 다중 경로 페이딩에 의한 채널 이득에 의해 좌우된다. 특히 사용자가 셀 외곽 지역에 위치한 경우 셀 중심에 있는 사용자에게 비해 동일 채널 간섭에 의한 신호 대 간섭 및 잡음 비의 열화가 심각하다. 따라서 본 논문에서는 다중 셀 환경에서 순방향 OFDMA 시스템의 성능 향상을 위하여 인접 셀 기지국에 의해 발생하는 동일 채널 간섭에 대한 효과적인 제어 기법을 제안한다.

II. OFDMA 시스템 모델링

OFDMA 시스템은 전체 대역폭을 N 개의 직교 부반송파로 나누고 이들을 각 사용자에게 중첩되지 않게 할당한다. 시간-주파수 자원의 2차원 할당 구조를 이용할 경우 각 사용자의 부반송파들은 해당 사용자의 데이터를 할당받은 후 하나의 OFDMA 심볼을 통해 동시에 전송된다. 이 때, OFDMA 시스템에서 부반송파는 단일 사용자에게만 할당되므로 각 사용자의 부반송파 인덱스 집합은 서로 동일한 부반송파를 포함하지 않는다.

그림 1은 전체 사용자 수가 K 일 때 순방향 OFDMA 시스템의 기저 대역 등가 모델을 나타내고 있다. OFDMA 전송 신호에는 유효 심볼 시간 동안 여러 사용자들의 데이터들이 혼재한다. 따라서

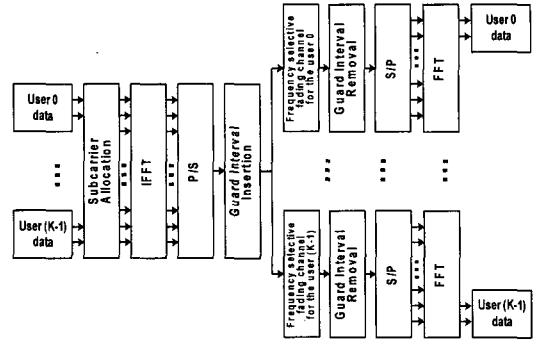


그림 1. 순방향 OFDMA 시스템의 기저 대역 등가 모델
Fig. 1. Downlink OFDMA system

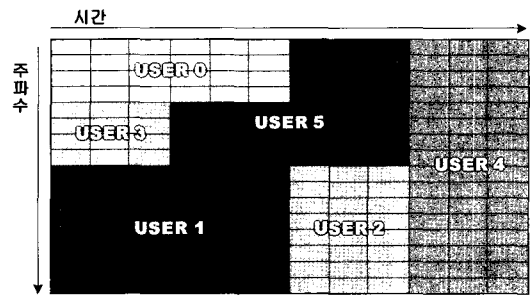


그림 2. OFDMA 시스템의 프레임 내 사용자 데이터 할당
Fig. 2. Resource allocation of OFDMA system

개별 사용자의 데이터 분포를 표현하기 위해서는 시간과 주파수 영역을 동시에 표현해야 하며 시간-주파수 자원의 2차원 자원 할당 구조로 설명할 수 있다. 그림 2는 OFDMA 시스템의 프레임 내에 각 사용자의 데이터가 할당된 예를 보여준다. 개별 격자는 OFDMA 심볼의 각각의 부반송파를 나타내며 사용자는 채널 이득 등의 할당 근거에 의해 프레임 내의 일부분을 할당 받는다.

III. 동일 채널 간섭 모델링

다중 셀 순방향 OFDMA 시스템에서 동일 채널 간섭의 세기는 인접한 셀들의 기지국에서 해당 부반송파에 할당된 전력에 의해 결정되며 개별 사용자에게 따른 경로 손실, 전파 음영(Shadowing), 채널 페이딩(Fading) 등에 의해 영향을 받는다.

경로 손실은 해당 부반송파를 사용하는 사용자와 동일 채널 간섭을 발생시키는 인접 셀의 기지국간의 거리에 의해 결정된다. 모든 부반송파에 할당된 전력이 단위 전력 P_0 로 일정하다고 할 때 특정 부반송파의 경로 손실에 의한 수신 전력 P_L^k 은 다

음과 같이 표현될 수 있다⁵⁾.

$$P_L^{jk} = P_L(d_{jk}) = P_0 \left(\frac{d_{jk}}{d_0} \right)^{-\alpha} \quad (1)$$

여기서, d_{jk} 는 사용자 k 와 각 기지국 j 간의 거리를 의미하며 α 는 경로 손실 지수(Path-loss exponent), d_0 는 기준 거리를 나타낸다.

전파 음영은 평균이 0, 분산이 σ^2 인 로그-노말(Log-normal) 음영 효과로 표현할 수 있으며 그 식은 다음과 같다⁶⁾.

$$L(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x)^2}{2\sigma^2}\right) \text{ dB} \quad (2)$$

일반적으로 무선 전파 환경에서 전파 음영의 표준 편차는 6~10dB의 값을 갖는다. 또한, 전파 음영 값은 부반송파 간 상관관계를 갖는다. 인접하는 두 부반송파 간의 전파음영 특성은 다음 식과 같이 일차 가우스-마르코프(Gauss-Markov) 모델로 표현된다⁶⁾.

$$L_{(n+1)} = \rho L_n + \sqrt{1-\rho^2} W \quad (3)$$

여기서 n 은 부반송파의 인덱스를 나타내며 ρ 는 부반송파 간의 상관도를 의미한다. W 는 L_n 과는 독립적인 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 랜덤 변수이다.

무선 전파 환경에서는 경로 손실과 전파 음영, 채널 페이딩을 함께 고려해야 하므로 부반송파 n 을 사용하는 사용자 k 에 대한 기지국 j 로부터의 전체 채널 이득은 다음과 같이 표현된다.

$$G_{jk,n} = P_L^{jk} 10^{0.1L_{jk,n}} |H_{jk,n}|^2 \quad (4)$$

여기서 $H_{jk,n}$ 은 채널 페이딩을 의미한다. 식 (4)에서 계산된 전체 채널 이득 $G_{jk,n}$ 을 사용하여 다중 셀 OFDMA 시스템의 동일 채널 간섭을 계산하면 다음과 같다.

$$I_{\tilde{k},n} = \sum_{j=0, j \neq \tilde{k}}^{J-1} G_{jk,n} P_{j,n} \quad (5)$$

여기서 \tilde{k} 는 사용자 k 가 속해 있는 기지국의 인덱스이며 $P_{j,n}$ 은 기지국 j 에서 부반송파 n 에 할당된 전송 전력을 의미한다. 식 (5)를 이용하여 기

지국 \tilde{k} 에 위치하는 개별 사용자 k 의 부반송파 n 에 대한 SINR을 정의하면 다음과 같다.

$$SINR_{k,n} = \frac{G_{\tilde{k}k,n} P_{\tilde{k},n}}{\eta + I_{\tilde{k},n}} \quad (6)$$

IV. OFDMA 시스템의 자원 할당

4.1 자원 할당 조건

다중 셀 환경에서 OFDMA 시스템의 자원 할당은 인접 셀에 의한 동일 채널 간섭을 고려하여 이루어져야 한다⁶⁾. 각 셀에서 단일 셀을 가정하고 얻은 최적의 자원 할당 결과도 동일 채널 간섭을 고려하지 않으면 사용자의 수신 SINR의 열화로 인해 요구 SINR을 만족시킬 수 없다. 따라서 동일 채널 간섭을 고려한 자원 할당 조건이 필요하며 수신 SINR과 요구 SINR은 다음의 조건으로 표현된다⁵⁾.

$$SINR_{k,n} \geq \gamma_{k,n} \quad (7)$$

여기서 $\gamma_{k,n}$ 은 부반송파 n 에 대한 사용자 k 의 요구 SINR이다. 식 (6)과 (7)을 이용하여 J 개의 셀에 대해 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$G_n P_n \geq \eta \gamma_n \quad (8)$$

여기서,

$$G_n = \begin{bmatrix} G_{00,n} & -\gamma_{0,n} G_{10,n} & \cdots & -\gamma_{0,n} G_{(J-1),0,n} \\ -\gamma_{1,n} G_{01,n} & G_{11,n} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\gamma_{(J-1),n} G_{0(J-1),n} & \cdots & \cdots & G_{(J-1),(J-1),n} \end{bmatrix}$$

$$\gamma_n = [\gamma_{0,n} \ \gamma_{1,n} \ \cdots \ \gamma_{(J-1),n}]^T$$

위의 행렬식의 해 중 전송 전력이 최소가 되는 해는 다음과 같다.

$$P_n = \eta G_n^{-1} \gamma_n \quad (P_n \geq 0) \quad (9)$$

각 기지국은 개별 부반송파 n 에 대해 전송 전력 벡터 $P_n = [P_{0,n} \ P_{1,n} \ \cdots \ P_{(J-1),n}]^T$ 에 의거하여 전송 전력을 할당하면 인접 셀에 의한 동일 채널 간섭의 영향을 배제시키면서 각 셀의 사용자가 요구 SINR 조건을 충족시킬 수 있다. 전송 전력 벡터 P_n 의 요소는 모두 양의 값을 가져야 하며 그렇지

않은 경우 해당 부반송파 n 은 J 개의 셀에서 동시에 재사용될 수 없음을 의미한다. 이 경우 특정 기지의 부반송파 n 에 할당한 전송 전력을 한 OFDM 심볼 주기 동안 일시적으로 제거함으로써 식 (9)를 만족하는 해를 얻을 수 있다⁷⁾.

4.2 부반송파 할당

제한한 알고리즘은 인접하는 세 셀의 각 섹터를 그림 3과 같이 두 영역으로 세분화한 셀 구조를 사용한다. 셀 외곽 지역의 사용자 그룹은 인접 셀에 의한 동일 채널 간섭량이 크며 동시에 심각한 동일 채널 간섭을 유발한다. 반면, 셀 중심 지역의 사용자 그룹은 경로 손실로 인해 동일 채널 간섭의 영향이 작으며 유발하는 간섭량도 작다. 따라서 제안 알고리즘은 인접한 세 셀의 외곽 지역에 서로 중복되지 않도록 부반송파를 할당하여 외곽 지역 사용자 간에 심각한 동일 채널 간섭이 발생하지 않도록 설정한다. 셀 중심 지역에는 자신의 셀 외곽 지역에서 사용되지 않은 모든 부반송파를 사용함으로써 주파수 효율을 높인다.

셀 구조가 두 영역으로 세분화되면 부반송파간의 중첩이 허용되지 않는 외곽 지역 사용자 그룹부터 부반송파 할당이 이루어진다. 제안한 알고리즘은 부반송파 할당을 위해 세 셀의 외곽 지역에 위치한 사용자들을 동시에 고려한다. 세 셀에 속한 모든 외곽 지역 사용자들은 식 (4)에 의해 얻어진 평균 채널 이득에 대해 오름차순으로 정렬되며 그 순서에 따라 부반송파를 할당 받는다. 즉, 평균 채널 이득이 가장 열악한 사용자부터 다른 사용자의 부반송파와 중첩되지 않는 범위 내에서 최대 채널 이득을 갖는 부반송파를 선택한다. 이는 평균 채널 이득이 열악한 사용자일수록 더 높은 전송 전력을 요구하여 동일 채널 간섭이 증가하기 때문이다⁸⁾. 사용자에게 할당되는 부반송파의 개수는 개별 사용자의 요구 데이터 전송률이 전체 데이터 전송률에서 차지하는 비율에 따라 결정된다.

외곽 지역 사용자 그룹의 부반송파 할당이 종료되면 각 섹터는 독립적으로 셀 중심 지역 사용자에게 자원을 할당한다. 중심 지역의 부반송파 할당에는 각 섹터의 외곽 지역 사용자에게 할당한 부반송파들을 제외한 전대역의 모든 부반송파가 사용된다. 결과적으로 각 섹터는 시스템에서 제공하는 모든 부반송파를 사용하게 되고 주파수 재사용 계수(FRF : Frequency Reuse Factor) 1을 만족한다. 할당 순서는 외곽 지역과 마찬가지로 채널 이득이 열악한

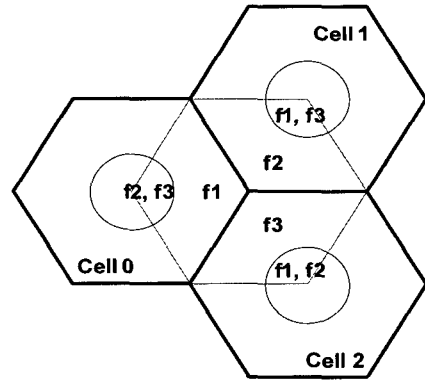


그림 3. 제안한 알고리즘의 셀 내 주파수 분배 구성도
Fig. 3. Proposed cell-planning

사용자부터 순차적으로 결정된다.

부반송파 할당이 종료되면 각 사용자는 요구 데이터 전송률에 필요한 비트수를 자신에게 할당된 부반송파에 할당하게 되며 이 때 비트가 할당되는 부반송파는 다음 식을 전체 비트 수에 대해 반복적으로 적용하여 결정한다⁹⁾.

$$n^* = \arg \min_n \{ \Delta P_{k,n} \} \quad (10)$$

이 때,

$$\Delta P_{k,n}(c_{k,n}) = \frac{[f(c_{k,n+1}) - f(c_{k,n})]}{|H_{k,n}|^2}$$

여기서 $\Delta P_{k,n}(c_{k,n})$ 은 $c_{k,n}$ 비트가 할당된 부반송파 n 에 한 비트를 추가로 할당할 때 전송 전력의 증가량이며 $f(c_{k,n})$ 은 사용자 k 가 $c_{k,n}$ 비트를 수신하기 위해 필요한 수신 전력을 의미한다.

4.3 전송 전력 재할당

OFDMA 시스템의 부반송파와 비트 할당이 종료되면 각 부반송파의 전송 전력이 결정된다. 그러나 각 섹터에서 독립적으로 결정한 전송 전력은 인접 셀에 의한 동일 채널 간섭에 대한 고려 없이 할당된 수치이기 때문에 사용자의 실제 수신 SINR은 요구치보다 작다. 따라서 전력 재할당 계수 $d_{i,n}$ 을 사용하여 기할당 전력 $P_{j,n}$ 을 보정해야 한다. 전력 재할당 후의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{k,n} = \frac{d_{k,n} G_{kk,n} P_{k,n}}{n + \sum_{j=0, j \neq k}^{J-1} d_{j,n} G_{jk,n} P_{j,n}} \quad (11)$$

전력 재할당 계수 $p_{j,n}$ 은 인접 셀을 동시에 고려하여 결정되며 인접한 세 개의 셀을 가정할 때 개별 부반송파와 n 에 대해 다음의 SINR 조건을 만족해야 한다.

$$\begin{bmatrix} G_{00,n}P_{0,n} - \gamma_{0,n}G_{10,n}P_{1,n} - \gamma_{0,n}G_{20,n}P_{2,n} \\ -\gamma_{1,n}G_{01,n}P_{0,n} \quad G_{11,n}P_{1,n} - \gamma_{1,n}G_{21,n}P_{2,n} \\ -\gamma_{2,n}G_{02,n}P_{0,n} - \gamma_{2,n}G_{12,n}P_{1,n} \quad G_{22,n}P_{2,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{0,n} \\ p_{1,n} \\ p_{2,n} \end{bmatrix} \geq \eta \begin{bmatrix} \gamma_{0,n} \\ \gamma_{1,n} \\ \gamma_{2,n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서 $G_{jj,n}$ 은 동일 부반송파 n 을 사용하는 셀 j 의 기지국으로부터 셀 j 의 사용자까지의 채널 이득을 의미하며 $\gamma_{j,n}$ 은 셀 j 의 부반송파 n 에 대한 사용자의 최소 요구 SINR을 나타낸다. 최적의 전송 전력을 결정하기 위해 전력 재할당 계수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} p_{0,n} \\ p_{1,n} \\ p_{2,n} \end{bmatrix} = \eta \begin{bmatrix} G_{00,n}P_{0,n} - \gamma_{0,n}G_{10,n}P_{1,n} - \gamma_{0,n}G_{20,n}P_{2,n} \\ -\gamma_{1,n}G_{01,n}P_{0,n} \quad G_{11,n}P_{1,n} - \gamma_{1,n}G_{21,n}P_{2,n} \\ -\gamma_{2,n}G_{02,n}P_{0,n} - \gamma_{2,n}G_{12,n}P_{1,n} \quad G_{22,n}P_{2,n} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma_{0,n} \\ \gamma_{1,n} \\ \gamma_{2,n} \end{bmatrix} \quad (13)$$

식 (13)에서 구한 전력 재할당 계수는 반드시 양의 값을 가져야 하며 음의 값을 가지는 경우는 만족하는 해가 존재하지 않다는 것을 의미한다. 즉, 해당 부반송파를 세 셀에서 동시에 사용함이 불가능하며 이 경우 세 셀 중 두 셀만 전송 전력을 할당하고 나머지 한 셀은 해당 부반송파에 할당하는 전송 전력을 제거하여 실현 가능한 전송 전력 재할당의 해를 얻을 수 있다^[7]. 예를 들어 식 (13)에서 인덱스 1인 셀의 전송 전력을 제거하면 전력 재할당 계수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} p_{0,n} \\ p_{2,n} \end{bmatrix} = \eta \begin{bmatrix} G_{00,n}P_{0,n} - \gamma_{0,n}G_{20,n}P_{2,n} \\ -\gamma_{2,n}G_{02,n}P_{0,n} \quad G_{22,n}P_{2,n} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma_{0,n} \\ \gamma_{2,n} \end{bmatrix} \quad (14)$$

특정 셀의 전송 전력을 제거하여 실현 가능한 해를 얻으면 해당 부반송파에 대한 주파수 재사용 계수는 2가 되며 나머지 두 셀은 상호 동일 채널 간섭에 의한 SINR 열화를 배제하고 데이터를 전송할 수 있다. 전송 전력의 제거로 실현 가능한 해를 얻을 수 있는 셀이 다수인 경우 셀 인덱스 \tilde{k}^* 는 다음 식에 의해 결정된다.

$$\tilde{k}^* = \arg \max_{\tilde{k}} \{G_{\tilde{k}\tilde{k},n}\} \quad (15)$$

즉, 채널 이득이 가장 높은 사용자가 위치한 셀의 전송 전력을 제거함으로써 같은 부반송파를 이

용하는 사용자 중 상대적으로 채널 이득이 나쁘고, QoS를 만족하기 어려운 외곽 지역 사용자들을 지원할 수 있다. 또한, 전송 전력의 제거는 식 (15)에서 결정된 사용자가 할당 받은 모든 부반송파에 대해 적용하여 전송 전력이 제거되는 사용자 수를 최소화한다.

식 (14)의 해가 존재하지 않는 경우는 한 개의 셀에서만 전송 전력을 할당하게 되며 전력 재할당 계수는 $p_{j,n} = 1$ 이 된다. 즉, 전송 전력을 할당하는 셀이 하나만 존재하므로 해당 부반송파에 대한 주파수 재사용 계수가 3이 되고 인접하는 두 셀의 동일 채널 간섭이 존재하지 않기 때문에 사용자는 기존의 할당 전력 $P_{j,n}$ 으로 최소 요구 SINR을 만족한다.

모든 부반송파에 대한 세 셀의 전력 재할당 계수가 얻어지면 각 셀은 기존 할당 전력 $P_{j,n}$ 을 $p_{j,n}P_{j,n}$ 으로 재할당하고 그 합으로 전체 전송 전력을 계산한다. 전체 전송 전력이 기지국 최대 송출 전력 보다 높은 경우 기지국은 사용자 중 가장 높은 전력을 요구하는 사용자에 대한 전력 할당을 제거한다.

결과적으로 제안한 알고리즘을 통해 각각의 부반송파는 적응적으로 주파수 재할용 계수를 갖게 되며 고정적으로 사용하는 기존 알고리즘과 비교하면 표 1로 나타낼 수 있다.

표 1. 부반송파 주파수 재할용 계수 비교
Table 1. Comparison of frequency reuse factor

	Reuse partitioning	Virtual cell	Proposed
FRF	Inner-cell : 1 Outer-cell : 3	3	1 or 2 or 3 (adaptive)

V. 전산 모의실험 및 결과 분석

전산 모의실험은 OFDMA 방식을 적용하는 휴대 인터넷 WiBro 시스템^[10]을 가정하고 순방향 프레임 구간과 역방향 프레임 구간으로 구분하여 전체 프레임의 길이는 5ms로 하였다. 한 프레임에는 42개의 OFDM 심볼이 포함되며 프레임 내 순방향 구간과 역방향 구간의 비율은 가변적이다. 모의실험에서 사용된 다중 셀 OFDMA 시스템 환경은 표 2와 같다.

경로 손실 모델은 IEEE 802.16 WG에서 제안된 SUI(Stanford University Interim) 채널 모델을 적용했으며 다음과 같이 표현된다^[11].

$$P_L = A + 10\alpha \log_{10}(d/d_0) + X_f + X_h + s, \quad d > d_0 \quad (16)$$

$$A = 10 \log_{10}(4\pi d_0 / \lambda)^2$$

$$a = a - bh_b + c/h_b$$

$$X_f = 6 \log_{10}(f/2000)$$

$$X_h = -10.8 \log_{10}(h_r/2000) \quad (\text{A, B 모델})$$

$$= -20 \log_{10}(h_r/2000) \quad (\text{C 모델})$$

여기서, d 는 사용자와 기지국간 거리이고 기준 거리 d_0 는 100m이며 s 는 전파 음영을 나타낸다. 또한, h_b 는 기지국 안테나의 높이, a 는 경로 손실 지수, f 는 MHz 단위의 사용 주파수, h_r 는 사용자 단말기 안테나의 지면으로 부터의 높이를 나타낸다. SUI 채널 모델은 11GHz 이하 주파수 대역의 시스템에 적용 가능하도록 모델링 되었으며 건물 밀집도와 지면의 굴곡 정도에 따라 A, B, C 모델로 구분된다. A 모델은 건물 밀집도가 높은 대도시 도심 환경에 적합한 모델이며 B, C는 건물 밀집도가 낮은 환경에 적합하다. a 를 결정하는 계수 a , b , c 는 모델에 따라 표 3과 같다.

표 2. 전산 모의실험 환경
Table 2. Simulation parameters

파라미터	규격
대역폭	10 MHz
부반송파 개수	1024
유효 심볼 시간	102.4 μ s
이동국 잡음지수	5 dB
열잡음 밀도	-174 dBm/Hz
기준 반송파 주파수	2.3 GHz
기지국 안테나 이득	15 dBi
사용자 안테나 이득	0 dBi
전파 음영 표준편차	10 dB
기지국 최대 송출 전력	20 W (43 dBm)
셀 반경	0.9 km
경로 손실 모델	SUI-A 모델

표 3. SUI 채널 모델 계수
Table 3. SUI channel model parameters

모델 계수	SUI-A	SUI-B	SUI-C
a	4.6	4.0	3.6
b (m-1)	0.0075	0.0065	0.005
c (m)	12.6	17.1	20

그림 4는 셀 전 영역에서 사용자수 증가에 따른 데이터 전송률 성능을 나타낸다. 'RF 1'은 주파수 재사용 계수 1을 사용한 알고리즘, 'Reuse parti-

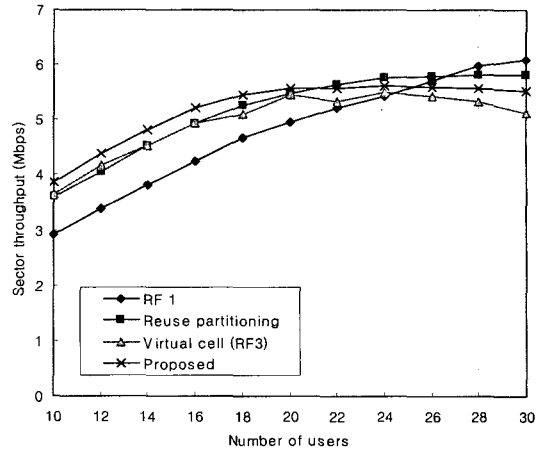


그림 4. 셀 전 영역에서 섹터별 데이터 전송률
Fig. 4. Sector throughput in the entire cell

tioning'은 셀 중심 지역과 외곽 지역의 주파수 재사용 계수를 각각 1과 3으로 세분화한 주파수 재사용 영역 알고리즘의 성능을 나타낸다. 또한, 'Virtual cell'은 주파수 재사용 계수 3을 사용하는 가상 셀 알고리즘, 'Proposed'는 제안된 알고리즘의 성능을 나타낸다. 제안 알고리즘의 섹터별 데이터 전송률은 최대 5.5Mbps로 나타났으며 'Reuse partitioning', 'RF 1' 알고리즘의 최대 데이터 전송률은 각각 5.76Mbps와 6.1Mbps이었다.

그림 5, 6, 7은 각각 셀 중심 지역, 중간 지역, 외곽 지역에서 각 알고리즘의 데이터 전송률 성능을 나타낸다. 셀 중심 지역은 상대적으로 면적이 가장 작기 때문에 그 안에 분포하는 사용자의 수가 작아져 실제 데이터 전송률은 1Mbps로 나타났으며 전체 전송률의 15%에 불과했다. 따라서 제안 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능 차이가 최대 0.1Mbps로 나타났다. 셀 중간 지역에서는 제안 알고리즘이 사용자수가 18명 이상인 구간에서 데이터 전송률이 더 이상 증가하지 못하고 2.75Mbps로 한정되었다. 그러나 셀 외곽 지역에서는 사용자수가 10~22명인 구간에서 제안 알고리즘의 데이터 전송률이 지속적으로 증가하였으며 22~30명 구간에서는 2Mbps를 유지함으로써 사용자수 증가에 따라 전송률이 열화되는 기존 알고리즘과의 성능차를 나타냈다. 그림 6, 7을 비교해 볼 때 제안 알고리즘은 사용자수가 30명인 환경에서 중간 지역과 외곽 지역의 데이터 전송률 격차를 0.75Mbps로 감소시켰으로써 각각 2.2Mbps, 2.3Mbps의 격차를 보이는 'Reuse partitioning', 'Virtual cell' 알고리즘에 비해 지역 간 균형적인 데이터 전송률을 지원하였다.

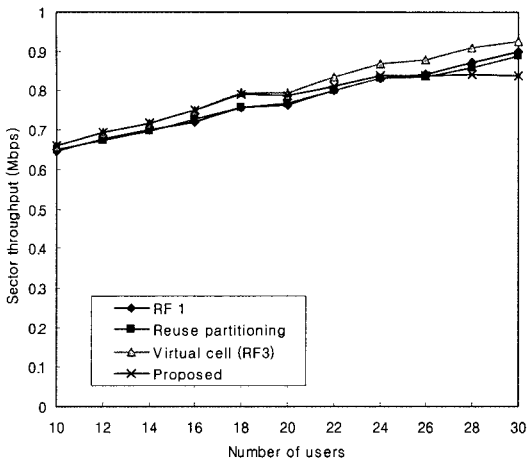


그림 5. 셀 중심 지역에서 섹터별 데이터 전송률
Fig. 5. Sector throughput in the inner-cell area

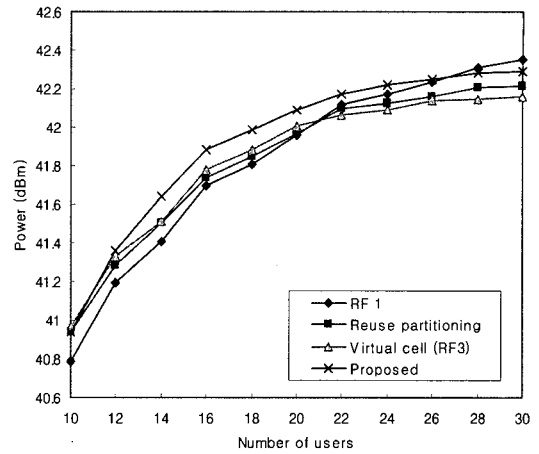


그림 8. 시스템 요구 전력
Fig. 8. System required power

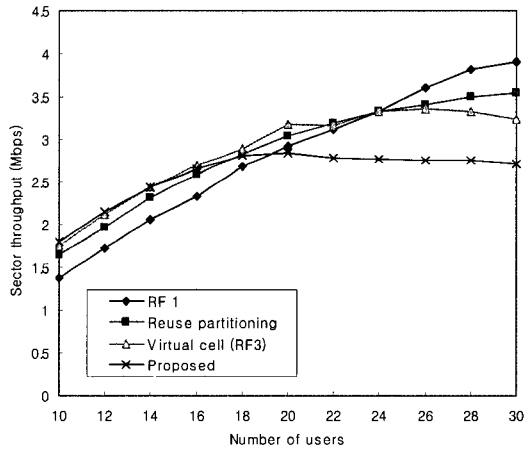


그림 6. 셀 중간 지역에서 섹터별 데이터 전송률
Fig. 6. Sector throughput in the mid-cell area

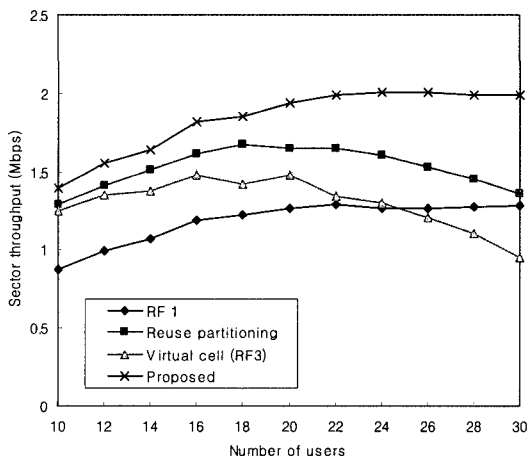


그림 7. 셀 외곽 지역에서 섹터별 데이터 전송률
Fig. 7. Sector throughput in the outer-cell area

그림 8은 사용자수 증가에 따른 각 알고리즘의 시스템 요구 전력을 나타낸다. 제안 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 최대 0.2dBm의 전력을 더 사용하게 된다. 따라서 높은 전송 전력을 요구하는 외곽 지역 사용자들 더 많이 지원하면서도 기존 알고리즘과의 요구 전력 차이를 좁혀 효율적인 전력 사용을 가능하게 하였다.

VI. 결론

본 논문은 다중 셀 순방향 OFDMA 시스템의 동일 채널 간섭으로 인한 셀 외곽 지역 사용자들의 데이터 전송률 저하를 개선하기 위해 새로운 주파수 재사용 알고리즘과 전력 재할당 알고리즘을 제안하고 전산 모의실험을 통해 동일 채널 간섭의 영향을 비교 분석하였다. 제안하는 알고리즘은 다중 셀 OFDMA 시스템에서 주파수 재사용 영역에 의한 사용자 그룹의 세분화를 통해서 외곽 지역 사용자들 간의 동일 채널 간섭을 사전에 제거한다. 또한 각 셀에 대한 자원 할당 후에 전송 전력 재할당 알고리즘을 적용하여 동일 채널 간섭에 대한 전력 보정을 통하여 외곽 지역 사용자들의 데이터 전송률을 높일 수 있다. 모의실험 결과, 제안 알고리즘은 셀 내부 지역에서 사용자 수가 증가함에 따라 데이터 전송률이 다소 감소했으나 셀 외곽 지역에서는 사용자 수의 증가와 관계없이 전 구간에서 2Mbps의 안정적인 성능을 나타냈다. 따라서 외곽 지역의 데이터 전송률을 향상시킴으로써 지역 간 불균형한 서비스 제공 현상을 완화시켜 사용자수와 사용자의 셀 내 위치에 대해 안정적인 전송률을 지원했다.

참 고 문 헌

[1] R. Berezdivin, R. Breinig, and R. Topp, "Next-generation wireless communications concepts and technologies," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.3, pp.108-117, March 2002.

[2] J. Chuang and N. Sollenberger, "Beyond 3G:Wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Communications Magazine*, Vol.38, pp.78-87, July 2000.

[3] R. Van Nee, et al., "New high-rate wireless LAN standards," *IEEE Communications Magazine*, pp.82-88, Dec. 1999.

[4] C. Y. Wong, et al., "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.17, pp.1747-1758, Oct. 1999.

[5] S. Pietrzyk, G.J.M. Janssen, "Subcarrier Allocation and Power Control for QoS Provision in the Presence of CCI for the Downlink of Cellular OFDMA Systems," *IEEE VTC Spring*, Vol.4, pp.2221-2225, Apr. 2003.

[6] C. H. Yih, E. Geranotis, "Centralized power allocation algorithms for OFDM cellular networks," *IEEE MILCOM '03*, Vol.2, pp.1250-1255, Oct. 2003.

[7] F. Berggren, R. Jäntti, and S. Kim, "A generalized algorithm for constrained power control with capability of temporary removal," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.50, pp.1604-1612, Nov. 2001.

[8] A. Miguel, S. Pfletschinger, "A spectrally efficient method for subcarrier and bit allocation in OFDMA," *IEEE VTC '05*, May 2005.

[9] David N. C. Tse and Stephen V. Hanly, "Multiaccess Fading Channels-Part I: Polymatroid Structure, Optimal Resource Allocation and Throughput Capacities," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol.44, No.7, pp.2796-2815, Nov. 1998.

[10] 한국정보통신기술협회, "Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service-Physical Layer and MAC Layer," *TTAS.KO-06.0082*, Jun. 2005.

[11] D. Baum, "Simulating the SUI channel models," *IEEE 802.16.3c-01/53*, April 2001.

김 대 관 (Dai-kwan Kim)

준회원



2004년 연세대학교 전기전자공학과 졸업
2004년~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
<관심분야> 디지털 이동통신, OFDM, Resource allocation

김 종 경 (Jong-kyung Kim)

준회원



2002년 연세대학교 전파공학과 졸업
2004년 연세대학교 전기전자공학과 석사
2004년~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
<관심분야> 디지털이동통신, OFDM, Resource allocation

서 종 수 (Jong-soo Seo)

정회원



1975년 연세대학교 전자공학과 졸업
1983년 Univ. of Ottawa, Canada 전기공학과 석사
1998년 Univ. of Ottawa, Canada 전기공학과 박사
1975년~1981년 LG정밀 중앙연구소
1987년~1989년 IDC, Canada 책임연구원
1990년~1992년 삼성종합기술원 정보 시스템 연구소 수석연구원
1992년~1995년 CAL, Canada 책임 연구원
1995년~현재 연세대학교 전기전자공학과 정교수
<관심분야> 디지털 통신/방송 시스템, Resource allocation, CDMA, OFDM