

OFDM/SDMA 기반 셀룰러 시스템에서 다양한 트래픽 데이터를 지원하기 위한 하향링크 자원할당 알고리즘

준회원 허 주*, 박 성 호*, 종신회원 장 경 희*, 정회원 이 희 수**, 안 재 영**

Downlink Radio Resource Allocation Algorithm for Supporting Heterogeneous Traffic Data in OFDM/SDMA-based Cellular System

Joo Heo*, SungHo Park*, Associate Members, KyungHi Chang*, Lifelong Member, HeeSoo Lee**, JaeYoung Ahn**, Regular Members

요 약

최근에 OFDM 기반 셀룰러 시스템의 Throughput 및 셀 커버리지를 향상시키기 위하여 SDMA(Spatial Division Multiple Access) 방식을 적용하는 자원 할당 방식에 대한 연구가 시작되고 있으나, 대부분의 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 방식에 대한 연구는 시스템 Throughput 만을 최적화시키거나 단일 셀 환경에서만 적용이 가능한 한계가 있다. 본 논문에서는 사용자가 요구하는 트래픽 특성에 맞는 High Layer QoS(Quality of Service) 파라미터를 고려하면서, 시스템의 Throughput의 손실을 최소화하고 인접 셀 간 간섭을 고려하여 다중 셀 환경에서도 적용이 가능한 하향 링크 OFDM/SDMA 기반 자원할당 알고리즘을 제안하고, Ped A 및 다중 안테나 채널 모델인 SCME (Spatial Channel Model Extensions) 채널에서 제안된 알고리즘 성능을 분석한다.

Key Words : OFDM/SDMA, Throughput Maximization, High Layer QoS, Inter-cell Interference

ABSTRACT

Recently, researches about downlink resource allocation algorithms applying SDMA to enhance the system throughput and cell coverage have begun. Most OFDM/SDMA based resource allocation algorithms have some limitations such that those only concentrate on maximizing the system throughput or can be applied in single cell environment. In this paper, we propose an OFDM/SDMA based downlink resource allocation algorithm which considers high layer QoS parameters suitable for the required data traffic and it also minimizes the system throughput loss and considers inter-cell interference from adjacent cells. so it can be adopted in multi-cell environment. We manifest the performance of the proposed algorithm in Ped A and SCME MIMO Channel Model.

I. 서 론

최근 국내외적으로 4세대 이동통신에 대한 관심

이 높아지면서, 4세대 이동통신 시스템의 요구 사항을 만족시키는 시스템에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다. 특히 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2003-000-10685-0) 및 한국전자통신연구원 위탁연구과제 “OFDMA 기반 4세대 이동통신 기반기술 연구”의 지원으로 수행되었음.

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (khchang@inha.ac.kr) ** 한국전자통신연구원 차세대 무선전송연구팀
논문번호 : KICS2006-01-046, 접수일자 : 2006년 1월 25일, 최종논문접수일자 : 2006년 2월 28일

Frequency Division Multiplexing : OFDM) 방식은 높은 전송 효율과 간단한 채널 등화 방식을 지원하는 이유로 하여, 4세대 이동통신 시스템에 적용하기에 적절한 방식중의 하나로서 주목받고 있다¹⁾.

또한 OFDM 기반의 다중 접속 방식인 OFDMA (OFDM-FDMA) 방식은 각 사용자에게 서로 다른 서브 캐리어를 할당하는 방식으로서, 사용자의 요구에 맞추어 서브 채널을 할당함으로써 다양한 QoS를 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다²⁾.

최근에는 OFDM 셀룰러 시스템의 Throughput 및 셀 커버리지를 더욱 향상시키기 위하여 SDMA (Spatial Division Multiple Access) 방식을 접목시키려는 연구가 진행되고 있다. 배열 안테나 기술을 이용한 SDMA 방식을 기지국에 적용하게 되면, 공간적으로 구분이 가능한 사용자를 같은 채널에 할당할 수 있게 되어 시스템 Throughput을 극대화시킬 수 있다³⁾.

지금까지 대부분의 OFDM/SDMA 방식에 대한 연구는 PHY 계층에서 주어진 사용자가 있을 때 각각의 사용자의 요구 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)을 유지하면서 최적의 Weight Vector를 산출하는 방법에 대한 연구가 주류를 이루어왔으며, 시스템 Throughput 최적화를 위하여 하나의 채널에 가능한 한 많은 사용자를 할당하는 MAC 계층에서의 자원 할당 방식에 대한 연구가 일부 수행되었다. 그러나 전체 시스템의 성능 향상을 위해서는 PHY 계층과 MAC 계층간의 Cross Layer Design 만이 요구되는 것이 아니라 그보다 더 위의 계층에서 요구하는 QoS를 만족시킬 수 있도록 자원할당 알고리즘이 설계되어야 한다.

그리고 대부분의 SDMA 기반 자원 할당 알고리즘은 Single Cell Scenario에서 설계되었기 때문에 Multi-Cell 환경으로 확장하게 될 경우, 급격한 성능 열화가 예상된다. 따라서 Multi-Cell 환경으로 인하여 발생하는 인접 셀 간섭을 대처할 수 있으며, OFDM 시스템에 적용 가능한 SDMA 기반 자원할당 알고리즘이 설계되어야 한다.

본 논문에서는 MAC 레벨 이상의 High Layer QoS 요구 조건을 만족시키면서 Multi-Cell 환경에서도 적용이 가능한 OFDM/SDMA 기반 하향링크 자원 할당 알고리즘을 제안하며, 3GPP에서 제안하는 다중 안테나 채널 모델인 SCME(Spatial Channel Model Extensions) 채널에서 시스템 Throughput 및 High Layer QoS 파라미터를 이용하여 시스템 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원할당 알고리즘을 위한 블록 다이어그램 및 알고리즘을 구성하는 기본 요소들에 대하여 서술한다. 3장에서는 제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원할당 알고리즘을 Ped A 및 3GPP 다중 안테나 채널 모델인 SCME 채널에서 성능을 분석하며, 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안하는 OFDM/SDMA 기반 하향링크 자원할당 알고리즘

그림 1은 M개의 Element로 구성된 배열 안테나를 가지며, K명의 사용자를 서비스하고 하나의 섹터를 담당하는 OFDM/SDMA 기반 기지국 시스템의 송신단 블록 다이어그램이다. M개의 안테나 어레이를 가지는 기지국은 SDMA를 적용하게 되면 최대 M명의 사용자를 하나의 채널로 서비스할 수 있다. 또한 사용자는 오직 1개의 수신 안테나를 가지고 있다고 가정한다.

제안하는 OFDM/SDMA 기반 기지국 시스템은 크게 4가지의 핵심 구성요소를 가지고 있다. 첫 번째 핵심 구성요소는 Subband and Bit Allocation for users 블록으로서 각각의 사용자에게 대하여 사용할 서브밴드의 수와 위치, 그리고 각각의 서브 밴드에 실릴 비트 수를 결정하는 블록이다.

두 번째 핵심 구성요소는 각각의 서브 밴드별로 할당되는 Adaptive Modulator이다. 각각의 Modulator는 각각의 서브 캐리어별로 Co-Channel 사용자에게 할당된 비트에 맞는 적응 변조를 수행한다.

각각의 Adaptive Modulator의 출력은 세 번째 핵심 구성 요소인 Beamforming and Spatial Separation of users for each subband 블록의 입력으로 들어가게 되는데, 이 블록에서는 Co-Channel 사용자의 공간 구분을 위한 Beamforming Weight Vector를 결정하게 된다.

마지막으로 네 번째 핵심 구성 요소는 사용자가 요구한 Traffic 특성을 자원 할당 시 고려하기 위하여 각각의 사용자들이 요구하는 QoS Parameter 들을 공급하는 블록이다.

위와 같은 4가지 핵심 구성요소를 기반으로 하여 OFDM 기반의 시스템에서 SDMA를 구현하여 더욱 더 효과적인 자원 할당을 수행할 수 있다.

제안하는 OFDM/SDMA 기반 하향 링크 자원 할당 알고리즘은 크게 3가지 구성 요소로 이루어지는데, 그 중 첫 번째는 셀룰러 시스템의 Throughput를

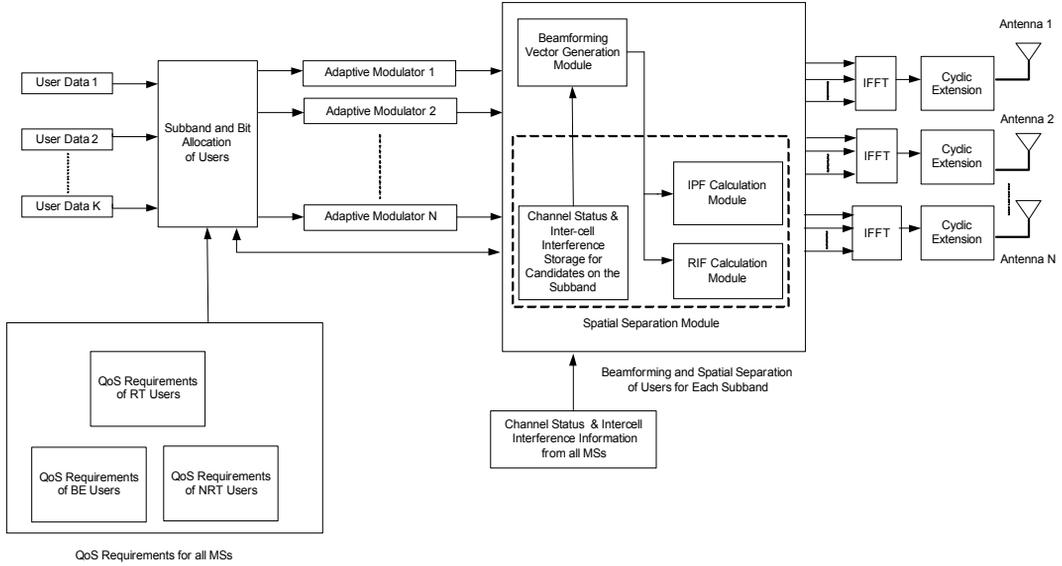


그림 1. 제안하는 OFDM/SDMA 기반 기지국 시스템 블록 다이어그램
Fig. 1. The Block Diagram of the Proposed OFDM/SDMA Transmitter

최적화하는 SDMA 기반 알고리즘에 기반을 두고 있다^[4].

사용자 k 의 n 번째 서브 밴드의 주파수 영역 SINR은 아래의 식 (1)과 같다.

$$SINR_{n,k} = \frac{\mathbf{w}_{n,k}^H H_{n,k} \mathbf{w}_{n,k}}{\sum_{j \neq k} \mathbf{w}_{n,j}^H H_{n,k} \mathbf{w}_{n,j} + \sigma_{n,k}^2} \quad (1)$$

$M \times M$ 행렬 $H_{n,k} = \mathbf{H}_{n,k} \mathbf{H}_{n,k}^H$ 은 서브 밴드 n 에서 $M \times 1$ 기지국 안테나와 사용자 k 간의 공간 및 시간 특성을 지니는 Spatial Covariance Matrix이다. $\mathbf{w}_{n,k} = [w_{n,k}^1, \dots, w_{n,k}^M]^T$ 는 사용자 k 의 서브 밴드 n 에 대한 빔 형성 계수이다. σ_k^2 는 사용자 k 의 AWGN 잡음의 분산값이다.

SINR의 분모에서 첫 번째 요소는 같은 서브 밴드를 사용하는 Co-Channel 사용자들로 인한 간섭을 의미하며 두 번째 요소는 사용자 k 의 AWGN 성분을 나타낸다. 시스템 Throughput 최적화를 위한 SDMA 기반 자원 할당 알고리즘은 최적의 자원 할당을 위하여 다음과 같은 2가지 성능 Metric을 고려한다.

첫 번째로 고려해야 할 요소는 기지국의 스케줄러가 사용자 k 에게 서브 밴드 n 을 할당하려고 할 때, 자신의 신호와 Co-Channel 사용자로부터 오는 간섭의 비로서 아래의 식 (2)와 같이 표기할 수 있다.

$$D_{n,k} = \max_{\mathbf{w}_{n,k}} \frac{\mathbf{w}_{n,k}^H H_{n,k} \mathbf{w}_{n,k}}{\mathbf{w}_{n,k}^H (\sum_{i \in U^n} H_{n,i}) \mathbf{w}_{n,k}}, \text{ s.t. } |\mathbf{w}_{n,k}| = c \quad (2)$$

여기서 c 는 상수에 해당하며, U^n 은 이미 서브 밴드 n 을 점유하고 있는 사용자들의 집합을 나타낸다.

두 번째로 고려해야 할 요소는 기지국 스케줄러가 사용자 k 에게 서브 밴드 n 을 할당할 경우, 서브 밴드 n 을 할당 받은 기존의 사용자가 겪게 될 간섭량의 증가분인데 이를 표현하면 아래의 식 (3), (4)와 같다.

$$D_{n,i}^-(k) = \max_{\mathbf{w}_{n,i}} \frac{\mathbf{w}_{n,i}^H H_{n,i} \mathbf{w}_{n,i}}{\mathbf{w}_{n,i}^H (\sum_{j \in U^n: j \neq i} H_{n,j}) \mathbf{w}_{n,i}} \quad (3)$$

$$D_{n,i}^+(k) = \max_{\mathbf{w}_{n,i}} \frac{\mathbf{w}_{n,i}^H H_{n,i} \mathbf{w}_{n,i}}{\mathbf{w}_{n,i}^H (\sum_{j \in U^n: j \neq i} H_{n,j} + H_{n,k}) \mathbf{w}_{n,i}} \quad (4)$$

식 (3)은 서브 밴드 n 에 대하여 사용자 k 가 서브 밴드에게 할당되기 전에 사용자 i 가 느끼는 SIR 값을 나타내며, 식 (4)은 서브 밴드 n 에 대하여 사용자 k 가 서브 밴드에게 할당된 후에 사용자 i 가 느끼는 SIR 값을 나타낸다. 사용자 k 에게 서브 밴드 n 의 IPF는 아래의 식 (2)-(4)를 토대로 다음과 같이 식 (5)로서 정의된다.

$$I_{n,k} = \frac{D_{n,k}}{\sum_{i \in U^n} (D_{n,i}^-(k) - D_{n,i}^+(k))} \quad (5)$$

식 (5)를 통하여 알 수 있는 사실은 자신의 SIR 값이 클수록 그리고 자신이 다른 사용자에게 미치는 간섭량의 증가분이 작을수록 이 Metric의 값이 커지게 되며, 이 값이 가장 큰 사용자 순으로 채널의 할당이 이루어지게 된다.

두 번째 성능 Metric은 RIF (Rate Increment Factor)이다. RIF는 아래의 식 (6)과 같이 정의된다.

$$T_{n,k} = b_{n,k} + \sum_{i \in U^*} (b_{n,i}^+(k) - b_{n,i}^-(k)) \quad (6)$$

$b_{n,k}$ 는 사용자 k 가 서브 밴드 n 을 할당받음으로써 서브 밴드 n 이 전송할 수 있는 데이터양의 증가를 의미하며, $b_{n,i}^-(k)$ 와 $b_{n,i}^+(k)$ 는 사용자 k 가 서브 밴드 n 을 할당받기 전, 후의 사용자 i 가 전송받을 데이터양을 의미한다. 따라서 식 (6)번의 두 번째 요소는 k 번째 사용자로 인하여 증가된 간섭량의 증가 때문에 감소된 Throughput의 증가분을 의미한다. 이 값이 0 보다 커야 사용자 k 에게 서브 밴드 n 을 할당할 수 있다.

시스템 Throughput을 최대화하는 OFDM/SDMA 기반 자원 할당을 위한 Metric으로서 APF 및 RIF Metric을 고려하여 다음과 같이 설계할 수 있다.

$$A_{n,k} = I_{n,k} T_{n,k} \quad (7)$$

제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 구성하는 두 번째 요소는 High Layer QoS 보장을 위한 자원 할당 알고리즘에 근거해 있다^[5]. 기존의 MAC 계층과 관련된 자원 할당 알고리즘의 단점은 오직 순시 Throughput 향상만을 위하여 자원을 할당하기 때문에, 좀 더 상위 계층의 QoS를 대변하는 각 사용자에 대한 기지국 Buffer Occupancy 및 사용자의 요구 Traffic 특성을 무시한 자원 할당을 초래하여 전체 시스템의 성능을 열화시킨다는 것이다.

예를 들어, 화상 회의와 같은 실시간 서비스는 도달하는 패킷들의 Delay Bound가 엄격하게 정해져 있으며, 기지국에서 Queue Length를 적절히 조절하여 Packet Dropping Ratio를 유지해야 하는 까다로운 서비스이다. 또한 HTTP와 같은 비실시간 서비스는 비록 실시간 서비스와 같이 엄격하지는 않지만, 각 사용자에게 Minimum Transmission Rate (R_{min})을 보장하여야 서비스가 가능하다. 이외는 달리 FTP와 같은 Best Effort 서비스는 특별한 High Layer QoS 파라미터를 고려할 필요가 없다. 이처럼

각 사용자는 서로 다른 종류의 트래픽을 요구할 수 있으며, 각각의 트래픽에 따라 고려해야 할 다양한 QoS 파라미터들이 존재한다. 따라서 전체 시스템 성능의 최적화를 위해서는 Upper 계층의 QoS 요구 조건이 MAC 및 PHY 계층을 위한 알고리즘 설계에 반영되어야 한다. 논문 [5]의 High Layer QoS를 보장하기 위한 자원 할당 알고리즘은 이들 QoS Parameter들을 고려하여 다음의 식 (8)-(9)와 같은 자원 할당 Metric을 설계하였다.

$$Q(k) = \begin{cases} \frac{-\log(P_{D,k}^*) \cdot D_k(t) - \bar{D}(t)}{D_k^* \cdot (1 + \bar{D}^{1/2})}, & \text{for RT service} \\ \exp\left\{\frac{\hat{L}_k(t) - \bar{L}(t)}{1 + \bar{L}(t)^{1/2}}\right\}, & \text{for NRT service} \\ 1, & \text{for Best-Effort service} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{D}(t) &= \frac{1}{K_{RT}} \sum_{k \in RT} \left(\frac{-\log P_{D,k}^*}{D_k^*} \right) \cdot D_k(t) \\ \hat{L}_k(t) &= \lambda \hat{L}_k(t-1) + (1-\lambda) \left(\frac{R_{min,k}^* - R_k(t-T)}{R_{min,k}^*} \right) \\ \bar{L}(t) &= \frac{1}{K_{NRT}} \sum_{k \in NRT} \hat{L}_k(t) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $P_{D,k}^*$ 는 사용자 k 가 실시간 서비스를 요청하는데 요구되는 Packet Drop Ratio를 나타내고, $D_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 시간 t 에서의 전송 지연을 의미 하며, $\bar{D}(t)$ 는 Weighted 평균 지연을 의미한다. 또한 $\hat{L}_k(t)$ 은 서비스 받은 전송율의 Moving Averaging에 해당하며, $\bar{L}(t)$ 는 $\hat{L}_k(t)$ 의 평균값에 해당한다. $R_k(t)$ 는 사용자 k 의 시간 t 에서의 서비스 데이터율을 의미하며, $R_{min,k}^*$ 은 사용자 k 의 최소 데이터 전송율 요구량을 의미한다. 또한 Real Time Service가 Non Real Time Service 보다 높은 우선 순위를 할당하기 위하여 식 (10)과 Metric을 제시하였다.

$$P(k) = \begin{cases} \rho_{RT} & \text{for RT service} \\ \rho_{NRT} & \text{for NRT service} \end{cases} \quad (10)$$

식 (8)-(10)와 같이 High Layer QoS 파라미터를 자원 할당시에 고려함에 따라 각 사용자가 요구하는 서로 다른 트래픽에 대한 QoS를 맞추어 자원을 할당할 수 있는 특징을 지닌다.

제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리

즘을 구성하는 마지막 요소는 인접 셀 간섭을 고려한 SDMA 기반 자원 할당 알고리즘에 근거해 있다 [6].

SDMA를 구현하기 위해서는 각각의 사용자에 대한 빔 형성 벡터를 형성시켜야 하는데, 빔 형성 벡터를 형성시키기 위해서는 사용자 채널 특성을 기지국이 알아야 한다. 다중 셀 환경에서는 각 사용자로부터 들어오는 간섭이 존재하므로, 각각의 사용자는 자신의 채널 값뿐만 아니라, 자신이 인접 셀로부터 겪는 간섭량 정보를 기지국에 전송해주어야 한다. 각각의 섹터는 프레임 단위로 이루어지는 자원 할당으로 인하여 인접 셀로부터 들어오는 간섭은 프레임단위로 랜덤하게 들어오게 된다. 따라서 인접 셀 간섭량의 랜덤한 특성으로 인하여 각 사용자는 간섭량의 평균과 표준편차를 측정하여 기지국에 전송한다. 사용자 k 는 각 서브 밴드 n 에 대하여 인접 셀로부터 들어오는 간섭량의 평균 및 표준 편차를 아래의 식 (11)과 같은 Moving Average 형태로서 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{n,k}(t) &= (1-\phi_k)\hat{\mu}_{n,k}(t-1) + \phi_k I_{n,k}^{inter}(t-1) \\ \hat{\sigma}_{n,k}^2(t) &= (1-\phi_k)\hat{\sigma}_{n,k}^2(t-1) + \phi_k (I_{n,k}^{inter}(t-1) - \hat{\mu}_{n,k}(t))^2 \end{aligned} \quad (11)$$

위와 같이 각 사용자들이 제공하는 인접 셀 간섭량의 평균 및 표준편차를 토대로 기지국이 빔형성 벡터를 구하고 자원 할당을 진행하게 되면, 시스템의 Target PER (Packet Error Rate) 성능의 열화 없이 데이터 전송이 가능하다.

본 논문에서는 다중 셀 환경에 적용 가능하며, 각 사용자가 요구하는 Traffic 특성을 고려하여 High Layer QoS를 보장하면서 시스템 Throughput 손실을 최소화하는 OFDM/SDMA 기반 하향 링크 자원 할당을 위한 Unified Metric을 제안한다. 제안하는 Unified Metric은 High Layer QoS 보장을 위한 QoS Metric으로 아래의 식 (12), (13)을 고려한다.

$$Q(k) = \begin{cases} \frac{-\log(P_{D,k}^*)}{D_k^*} \cdot D_k(t) - \bar{D}(t) \\ \exp\left\{\frac{-\log(P_{D,k}^*)}{D_k^*} \cdot D_k(t) - \bar{D}(t)\right\}, & \text{for RT service} \\ \frac{R_{\min} - R_k(t-T)}{R_{\min}}, & \text{for NRT service} \\ -1, & \text{for Best-Effort service} \end{cases} \quad (12)$$

Real Time Service를 요구하는 사용자의 경우, 기지국 버퍼에서의 지연 시간 이외에도 Target Packet Drop Ratio와 Delay Bound를 고려하도록 Metric이 설계되어 있으며, Non-Real Time Service를 요구하는 사용자의 경우에는 Minimum Transmission Rate (R_{\min})에 근거한 Fairness Metric을 선택하였다. 그리고 Best Effort Service의 경우에는 별다른 High Layer QoS 요구 조건이 없으므로 Real Time Service나 Non-Real Time Service의 경우보다 우선순위가 낮게 -1로 선택하였다.

이외에 Real Time Service를 요청하는 사용자가 제일 높은 우선 순위를 얻게 하기 위하여 다음과 같은 식 (13)과 같은 Metric을 추가적으로 적용한다.

$$P(k) = \begin{cases} 0 & \text{for RT service} \\ -1 & \text{for NRT \& BE service} \end{cases} \quad (13)$$

High Layer QoS 보장을 위한 Metric은 위의 두개의 Metric을 합한 것으로 식 (14)로서 정의한다.

$$QoS_Metric = Q(k) + P(k) \quad (14)$$

제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘은 High Layer QoS를 보장하는 부면 이외에 Throughput 최대화 및 인접 셀로부터 들어오는 간섭을 고려해야 한다. 이를 위하여 인접 셀로부터 들어오는 간섭 영향이 포함된 Throughput 최대화를 위한 Metric을 정의할 필요가 있다. Throughput Maximization Metric은 식 (5)와 (6)으로 정의한 IPF 및 RIF를 고려한다. 그러나 IPF를 구성하는 분자와 분모는 아래의 식 (15)-(17)과 같이 변경한 것을 사용한다.

$$D_{n,k} = \max_{w_{n,k}} \frac{w_{n,k}^H H_{n,k} w_{n,k}}{w_{n,k}^H (\sum_{i \in U^*} H_{n,i}) w_{n,k} + I_{n,k}^{adj}}, \text{ s.t. } |w_{n,k}| = c \quad (15)$$

$$D_{n,i}^- = \max_{w_{n,i}} \frac{w_{n,i}^H H_{n,i} w_{n,i}}{w_{n,i}^H (\sum_{j \in U^* \setminus j=i} H_{n,j}) w_{n,i} + I_{n,k}^{adj}} \quad (16)$$

$$D_{n,i}^+ = \max_{w_{n,i}} \frac{w_{n,i}^H H_{n,i} w_{n,i}}{w_{n,i}^H (\sum_{j \in U^* \setminus j=i} H_{n,j} + H_{n,k}) w_{n,i} + I_{n,k}^{adj}} \quad (17)$$

$$I_{n,k}^{adj}(t) = \hat{\mu}_{n,k}(t) + \alpha_k \cdot \hat{\sigma}_{n,k}(t) \quad (18)$$

여기서 식 (15)는 IPF의 분자 성분으로서 기지국의 스케줄러가 사용자 k 에게 서브 밴드 n 을 할당하려

고 할 때, 자신의 신호와 Co-Channel 사용자로부터 오는 간섭의 비이다. 또한 식 (16)-(18)는 IPF의 분포 성분으로 기지국 스케줄러가 사용자 k 에게 서브밴드 n 을 할당할 경우, 서브 밴드 n 을 할당 받은 기존의 사용자가 겪게 될 간섭량의 증가분이다.

기존의 단일 셀 환경에서 계산한 IPF와 RIF와는 달리 사용자 k 의 n 번째 서브 채널이 겪는 인접 셀 간섭의 예측량 $I_{n,k}^{adj}$ 을 식 (11)로부터 구한 평균값 및 표준편차를 고려하여 식 (18)과 같이 계산한 후, 이를 이용하여 빔형성 벡터 및 자원 할당을 진행함으로써 알 수 있다. 식 (18)과 같이 다소 Pessimistic하게 간섭량을 기지국에 올리는 특성으로 인하여 다소 시스템 Throughput은 감소하기는 하지만 원하는 PER 특성을 얻을 수 있다. Throughput 최대화를 위한 성능 Metric은 식 (19)와 같이 결정한다.

$$TM_Metric = T_{n,k} \quad (19)$$

Throughput 최대화를 위한 TM_Metric은 우선적으로 Rate Increment Factor (RIF)를 고려하며, 만약 같은 RIF를 보이는 사용자들이 있는 경우에는 Interference Preference Factor (IPF)가 가장 큰 사용자에게 우선적으로 채널을 할당하도록 설정한다.

본 논문에서 제안하고자 하는 Unified Metric은 식 (20)와 같이 QoS_Metric과 TM_Metric을 혼합한 형태의 Metric이다.

$$M_{n,k} = \beta \cdot TM_Metric + (1 - \beta) \cdot QoS_Metric \quad (20)$$

즉, Unified Metric은 QoS Metric과 TM Metric의 가중치를 적절하게 조절하여 High Layer의 QoS를 보장하면서 시스템 Throughput 손실을 최소화하도록 설계된다. 결국 제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘은 아래의 식 (21)와 같이 Problem Formulation 될 수 있다.

또한 식 (22)-(24)은 제약 조건을 의미하는데, 식 (22)는 사용자 k 의 데이터율을 의미하며, 식 (23)의 제약 조건은 실시간 서비스를 요청하는 사용자에게 우선적으로 자원을 할당시켜야 함을 의미하는 것이다. 또한 (24)의 제약 조건은 하나의 서브 채널을 공유할 수 있는 사용자의 수는 최대 송신 안테나의 수만큼이라는 것을 의미한다.

$$Max \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K M_{n,k} \quad (21)$$

$$R_k = \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M} \delta(k, n, m) \quad \forall k \quad (22)$$

$$R_k \leq R_k^*, \text{ for } k \in RT \quad (23)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K \sum_{m \in M} \delta(k, n, m) \leq M_T \quad \forall n \quad (24)$$

III. 시뮬레이션 환경 및 성능 분석

3.1. 시뮬레이션 환경

제안하는 OFDM/SDMA 알고리즘의 시스템 레벨 시뮬레이션을 위하여 중앙의 Victim Cell을 포함하여 총 19개의 셀로 각 셀은 3개의 섹터로 구성되어 총 57개의 섹터로 이루어진 2 Tier 다중 셀 환경을 고려한다. 아래의 표 1과 2는 제안하는 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 사용된 링크 레벨 및 시스템 레벨 시뮬레이션 파라미터이다. 또한 각 사용자가 기지국에 요청할 수 있는 Traffic Class는 총 3가지이며, 이들 서비스를 위한 트래픽 모델은 3GPP에서 제공하는 트래픽 모델^[7]을 사용하였다.

표 1. 기본 링크 레벨 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Basic Link Level Simulation Parameter

Item	OFDM System Parameters
Duplexing	TDD
Bandwidth(Nominal Channel BW)	8.75MHz
Sampling Frequency	10MHz
Sampling Period	100nsec
FFT Size	1024
Used Subcarrier	864
Data Subcarrier	768
Pilot Subcarrier	96
Subcarrier Spacing	9.765625kHz
Effective Symbol Time	102.4us
OFDM Symbol Time	115.2us
TDD Frame Time	5ms
Symbol / Slot	42
Subchannel	32
Subcarrier / Subchannel	27

표 2. 기본 시스템 레벨 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Basic System Level Simulation Parameter

Item	Sub item	Parameters	Value
Link Modeling	Freq. Band	Carrier Frequency	2.3GHz
		Effective Bandwidth	8.75MHz
	BS Tx Side	BS Tx Power	43.0dBi
		BS Tx Antenna Gain	15dBi
Link Modeling		BS Cable Loss	3dB
		BS Max EIRP	55dBm
		MS Rx Antenna Gain	0.0dBi
	MS Rx Side	BS Thermal Noise	-174.0dBm / Hz
		MS Noise Figure	7.0dB
	Channel Model	Frame sync	Perfect
		Path Loss	ITU-R Vehicular Model
		Shadowing	Standard Deviation 10dB
		Fading	Ped A / SCME Urban Macro [3km/h]
	Input Parameter	Cell Radius	# of Cells
Cell Configuration			Hexagonal
Cell Radius			1km
MS		Position	Uniform

3.1.1 Real Time Service Traffic

그림 3은 Streaming Service를 모델링한 3GPP Real Time Traffic Model이다. Streaming Service는 일반적으로 프레임 단위로 구성되며 프레임을 구성하는 패킷의 수, 크기 및 패킷 간 간격에 대한 규격은 표 3에 제시되어 있다. 본 논문에서 사용한 Real Time Service를 위한 트래픽 모델은 기존에 3GPP 그룹에서 제시하였던 트래픽 모델보다 조금 더 큰 데이터율을 전송하게 하기 위하여 초당 프레임 수를 증가하였다. Real Time Service는 Delay Bound나 Packet Drop Ratio와 같은 QoS Parameter들을 지지국이 보장해야만 서비스 가능하다.

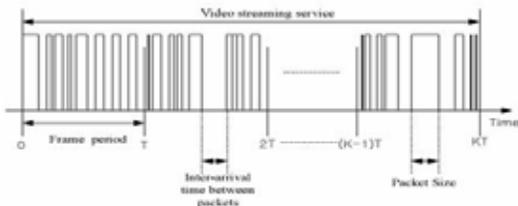


그림 3. 실시간 트래픽 모델
Fig. 3. Real Time Traffic Model

3.1.2 Non Real Time Service Traffic

그림 4는 WWW Service를 모델링한 3GPP Non-Real Time Traffic Model이다. WWW 서비스는 한 화면이 여러 가지 객체로서 구성되기 때문에 하나의 독립 개체를 의미하는 Packet Call의 모임으로 구성되며, 하나의 Packet Call에서 다음 Packet Call을 부르기 전에 Reading Time이 필요하다. WWW Traffic을 구성하는 여러 가지 파라미터에 대한 규격은 표 4에 제시되어 있다. Non Real Time Service는 Minimum Transmission Rate와 같은 QoS Parameter를 지지국이 최대한 보장해야 한다.

표 3. 실시간 트래픽 파라미터
Table 3. Real Time Service Traffic Parameters

Information Type	Distribution	Parameters
Inter-arrival time between the beginning of each frame	Deterministic	33.3ms
Number of packets in a frame	Deterministic	8
Packet size	Truncated Pareto	Mean : 50 Bytes Max : 125 Bytes $\alpha = 1.2$
Inter-arrival time between packets in a frame	Truncated Pareto	Mean : 2.5ms Max : 4ms $\alpha = 1.2$

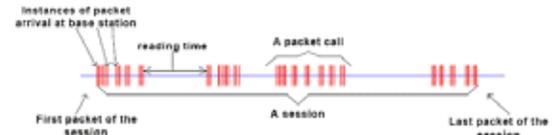


그림 4. 비실시간 트래픽 모델
Fig. 4. Non Real Time Traffic Model

표 4. 비실시간 트래픽 파라미터
Table 4. Non Real Time Traffic Parameters

Information Type	Distribution	Parameters
Main Object Size	Truncated Lognormal	Mean : 10,710 Bytes Standard Deviation : 25,032 Bytes Min : 100 Bytes Max : 2M Bytes
Embedded Object Size	Truncated Lognormal	Mean : 7,758 Bytes Standard Deviation : 126,188 Bytes Min : 50 Bytes Max : 2M Bytes
Number of Embedded Object per Packet Call	Truncated Pareto	Mean : 5.64 Max : 53 $\alpha = 1.1$
Reading Time	Exponential	30 sec

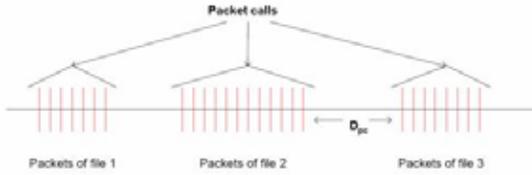


그림 5. Best Effort 트래픽 모델
Fig. 5. Best Effort Traffic Model

3.1.3 Best Effort Service Traffic

그림 5는 FTP Service를 모델링한 3GPP Best Effort Traffic Model이다. FTP 서비스는 파일들의 집합으로 구성되기 때문에 하나의 파일 개체를 의미하는 Packet Call의 모임을 구성되며, 하나의 Packet Call에서 다음 Packet Call을 부르기 전에 Reading Time이 필요하다. FTP Traffic을 구성하는 파라미터에 대한 규격은 표 5에 제시되어 있다. Best Effort 트래픽은 별도의 High Layer QoS를 요구하지 않는다.

표 5. Best Effort 트래픽 파라미터
Table 5. Best Effort Traffic Parameters

Information Type	Distribution	Parameters
File Size	Truncated Lognormal	Mean : 2 M bytes Standard Deviation : 0.722 M bytes Max : 5 M bytes
Reading Time	Exponential	Mean : 180 sec

3.2 시뮬레이션 결과

본 절에서는 시스템 Throughput 최대화를 위한 SDMA 알고리즘, High Layer QoS 보장을 위한 SDMA 알고리즘, 인접 셀의 간섭을 고려한 SDMA 알고리즘 각각에 대한 성능 검증 및 제안하는 OFDM/SDMA 기반 하향 링크 자원 할당 알고리즘에 대한 성능 결과를 제시한다.

3.2.1. Throughput 최대화를 위한 SDMA 자원 할당 알고리즘 성능분석

그림 6은 단일 셀 환경의 평균 SINR 33dB인 Ped A 채널 [8]에서 Throughput 최대화를 위한 SDMA 기반 자원할당 알고리즘을 적용한 경우의 섹터당 사용자 수에 따른 하향 링크 섹터 Throughput에 해당한다. 또한 그림 7은 섹터당 사용자가 5명이며, 평균 SINR이 33dB인 Ped A 채널에서 각각의 Band 당 Spatial Multiplexing Gain의 스냅샷이다. SDMA 알고리즘을 적용하는 경우, 하나의 밴드가

제공할 수 있는 SMG (Spatial Multiplexing Gain) 이 높기 때문에, 하나의 밴드에 한 명의 사용자만을 지원하는 BF의 경우보다 훨씬 더 많은 Sector Throughput을 제공할 수 있음을 알 수 있다.

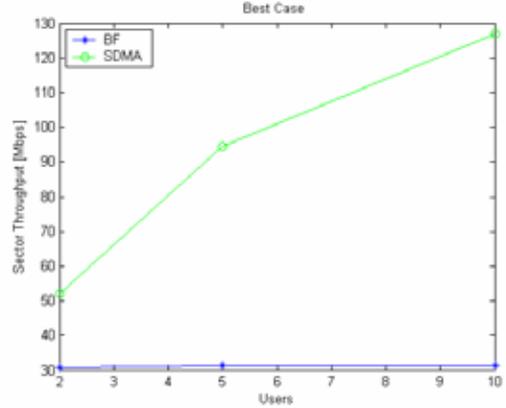


그림 6. DL Sector Throughput 비교 (평균 SINR = 33dB)
Fig. 6. Comparison of DL Sector Throughput (Average SINR = 33dB)

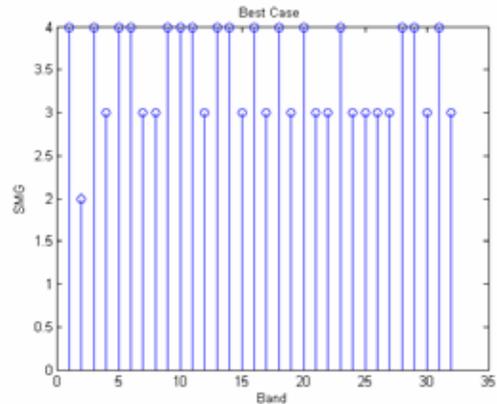


그림 7. SDMA 알고리즘의 Spatial Multiplexing Gain (5 사용자 / 섹터, 평균 SINR = 33dB)
Fig. 7. Spatial Multiplexing Gain of SDMA Algorithm (5Users / Sector, Average SINR = 33dB)

3.2.2 High Layer QoS 보장을 위한 SDMA 기반 자원할당 알고리즘 성능분석

3.2.2.1 비실시간 (Non Real Time) 서비스를 위한 Fairness 보장 자원할당 알고리즘 성능분석

앞에서 언급한 것처럼 HTTP 기반의 비실시간 서비스는 비록 실시간을 요구하지는 않지만 Minimum Transmission Rate을 보장해 줄 것을 요청할 수 있다. 또한 HTTP 기반 서비스를 요구하는 사용자들의 Fairness 역시 보장해야하기 때문에 Non-Real

Time Service를 요청하는 사용자들에게 식 (25)와 같은 Metric를 사용하여 자원을 할당함으로써 Fairness와 Minimum Transmission Rate를 보장할 수 있다.

$$Q(k) = \frac{R_{\min} - R_k(t-T)}{R_{\min}} \quad (25)$$

여기서 $R_k(t-T)$ 는 할당하기 이전까지 사용자 k 가 받은 데이터율을 의미하며, R_{\min} 은 사용자 k 가 요구하는 Minimum Transmission Rate을 나타낸다.

그림 8은 단일 셀 환경에서 평균 SINR 15dB의 Ped A 채널을 겪는 20명의 사용자가 HTTP 서비스를 요청하는 경우, Throughput 최대화를 위한 SDMA 알고리즘을 적용하였을 경우와 식 (25)로 정의되는 Fairness를 고려하는 SDMA 알고리즘을 적용하는 경우의 자원 할당 분포를 나타낸 그림이다.

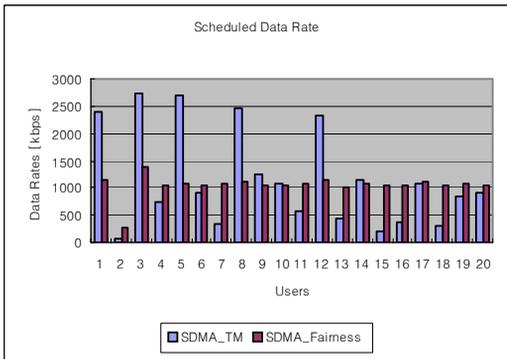


그림 8. 각 사용자별 자원 할당 분포
Fig. 8. Scheduled Data Rate per User

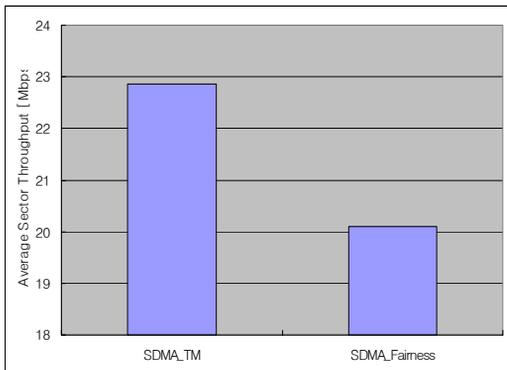


그림 9. Throughput 최대화 기반 SDMA 알고리즘과 Fairness 기반 SDMA 알고리즘 적용 시 섹터 Throughput 비교
Fig. 9. Comparison of Sector Throughput between SDMA Algorithm based on Throughput Maximization and SDMA Algorithm based on Fairness

Fairness를 고려하는 경우, 각 사용자가 획득할 수 있는 Data Rates이 시스템 Throughput을 최대화하는 SDMA 알고리즘의 경우보다 균일한 것을 알 수 있다.

그림 9는 평균 SINR 15dB의 Ped A 채널을 겪는 20명의 사용자가 HTTP 서비스를 요청하는 경우, 시스템 Throughput 최대화 SDMA 알고리즘과 Fairness를 고려하는 경우의 SDMA 알고리즘을 적용하는 경우의 시스템 Throughput을 비교한 그림이다. Fairness를 고려하는 경우, 섹터 Throughput의 약 10% 정도의 손실이 발생함을 알 수 있다.

3.2.2.2 실시간(Real Time) 서비스를 위한 High Layer QoS 보장을 위한 자원할당 알고리즘 성능분석

앞에서 언급한 것처럼 Stream Service는 실시간 패킷 전송을 요구하는 서비스로서 Packet Drop Ratio와 Delay Bound와 같은 보다 높은 QoS 파라미터들을 보장해 주어야 한다. Real Time Service를 요청하는 사용자들에게는 식 (26)과 같은 Metric를 사용하여 자원을 할당한다.

$$Q(k) = \exp\left\{ \frac{-\log(P_{D,k}^*) \cdot D_k(t) - \bar{D}(t)}{D_k^* + \bar{D}^{1/2}} \right\} \quad (26)$$

여기서 $P_{D,k}^*$ 는 사용자 k 가 실시간 서비스를 요청하는데 요구되는 Packet Drop Ratio를 나타내고, $D_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 시간 t 에서의 전송 지연을 의미하며, $\bar{D}(t)$ 는 Weighted 평균 지연을 의미한다.

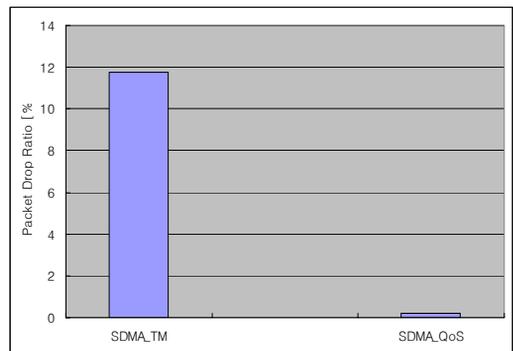


그림 10. Throughput 최대화 기반 SDMA 알고리즘과 실시간 서비스의 QoS 보장을 위한 SDMA 알고리즘 적용 시 Packet Drop Ratio 비교
Fig. 10. Comparison of Packet Drop Ratio between SDMA Algorithm based on Throughput Maximization and SDMA Algorithm based on Guaranteeing QoS of Real Time Service

그림 10은 Throughput 최대화를 위한 SDMA 알고리즘과 실시간 서비스를 위한 QoS 보장을 위한 SDMA 알고리즘을 적용한 경우의 평균 Packet Drop Ratio에 해당한다. Real Time Service의 경우 Target Packet Drop Ratio를 1%, Target Delay Bound를 10ms로 설정하였으며, Ped A의 평균 15dB의 채널을 겪는 10명의 실시간 서비스를 요구하는 사용자와 10명의 비실시간 서비스를 요구하는 사용자가 존재하는 단일 셀 환경을 고려하였다.

시뮬레이션 결과를 보면 Throughput 최대화를 위한 SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 적용하게 되면, SINR 만을 고려하므로 Real Time Service를 위해 요구되는 Target Packet Drop Ratio 1%에 도달하지 못하지만, 실시간 서비스를 위한 High Layer QoS를 만족하도록 자원을 할당할 경우, Target Packet Drop Ratio를 만족할 수 있음을 알 수 있다. 또한 이 경우, 패킷이 겪는 평균 Delay 역시 약 2.2ms로서 Target Delay Bound 역시 만족하였다.

그림 11은 Throughput 최대화를 위한 SDMA 알고리즘과 실시간 서비스를 위한 QoS 보장을 위한 SDMA 알고리즘을 적용한 경우의 평균 섹터 Throughput을 나타내는 그림이다. 이 경우에도 Real Time Service의 경우 Target Packet Drop Ratio를 1%, Target Delay Bound를 10ms로 설정하였으며, Ped A의 평균 15dB의 채널을 겪는 10명의 실시간 서비스를 요구하는 사용자와 10명의 비실시간 서비스를 요구하는 사용자가 존재하는 단일 셀 환경을 고려하였다. 실시간 서비스를 위한 QoS를 보장함으로써 인하여, 시스템 Throughput 최대화 SDMA 방식에 비하여 약 32%의 섹터 Throughput 손실이 발생함을 알 수 있다.

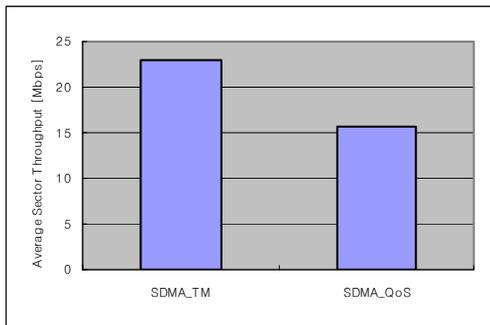


그림 11. Throughput 최대화 기반 SDMA 알고리즘과 실시간 서비스의 QoS 보장을 위한 SDMA 알고리즘 적용 시 섹터 Throughput 비교.
 Fig. 11. Comparison of Sector Throughput between SDMA Algorithm based on Throughput Maximization and SDMA Algorithm based on Guaranteeing QoS of Real Time Service

3.2.3 인접 셀 간섭을 고려한 SDMA 기반 자원할당 알고리즘의 성능 분석

표 6은 Ped A 채널에서 인접 셀로부터 들어오는 간섭이 존재하며, Target PER을 1%로 가정하는 경우의 SDMA 알고리즘의 PER 성능을 나타낸다. 인접 셀로부터 들어오는 간섭이 랜덤한 특성으로 인하여 아래의 결과를 통하여 알 수 있듯이 단순히 간섭량을 측정하여 전송하거나, 간섭량의 평균을 전송해서는 Target PER에 크게 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 간섭량의 평균과 표준편차를 이용하여 다소 Pessimistic하게 간섭량을 예측하여 기지국에 전송하여야 Target PER을 만족시킴을 알 수 있다.

표 6. 인접 셀 간섭이 존재하는 경우의 SDMA 알고리즘의 PER 성능
 Table 6. The PER Performance of SDMA Algorithm considering Inter-cell Interference

Average SINR	Instantaneous ICI	Mean of ICI	Mean & Std of ICI
5dB	12.1%	10.4%	0.93%
15dB	7.0%	6.5%	0.87%
25dB	2.1%	1.9%	0.64%

3.2.4 제안하는 OFDM/SDMA 알고리즘의 성능 분석

그림 12와 13은 Full Loading 상황에서 평균 SINR 15dB이며, 섹터 당 사용자 20명 중에서 4명은 실시간 서비스를 8명은 HTTP 서비스를, 8명은 FTP 서비스를 요청할 경우, TM 및 QoS Metric의 가중치 변화에 따른 Ped A 3km/h 채널에서의 평균 섹터 Throughput 및 실시간 사용자의 평균 Packet Drop Ratio에 해당한다. TM Metric을 증가시키면 시스템 Throughput이 증가하기는 하지만, 실시간 사용자의 QoS를 만족시키지 못하여 Packet Drop Ratio가 증가된다.

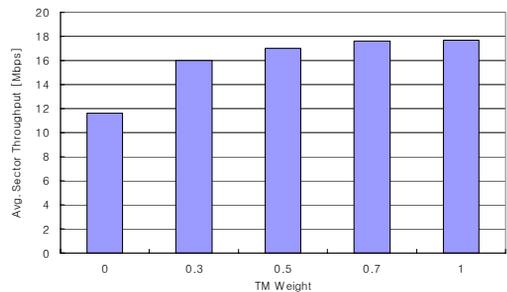


그림 12. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원할당 알고리즘의 평균 섹터 Throughput. (Ped A 3km/h, Case I)
 Fig. 12. The Average Sector Throughput of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (Ped A 3km/h, Case I)

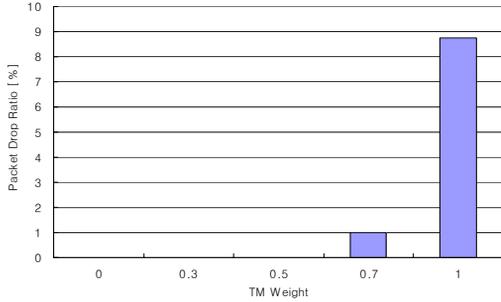


그림 13. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 적용한 경우, 실시간 서비스 사용자의 Packet Drop Ratio. (Ped A 3km/h, Case I)

Fig. 13. The Average Packet Drop Ratio of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (Ped A 3km/h, Case I)

1%의 Packet Drop Ratio를 기준으로 할 때, TM Metric 가중치 0.7, QoS Metric 가중치 0.3 적용 시, 평균 섹터 Throughput 17.6 [Mbps]를 얻을 수 있다.

그림 14와 15는 Full Loading 상황에서 평균 SINR 15dB이며, 섹터 당 사용자 20명 중에서 10명은 실시간 서비스를 5명은 HTTP 서비스를, 5명은 FTP 서비스를 요청할 경우, TM 및 QoS Metric의 가중치 변화에 따른 Ped A 3km/h 채널에서의 평균 섹터 Throughput 및 실시간 사용자의 평균 Packet Drop Ratio에 해당한다.

이 경우는 실시간 서비스 사용자가 많아짐으로 인하여 QoS Metric의 가중치가 증가하여야 실시간 서비스 사용자 요구 조건인 1%의 Packet Drop Ratio를 만족시킬 수 있다. 이 경우, TM Metric 가중치 0.2, QoS Metric 가중치 0.8 적용 시 평균 섹터 Throughput 15.0 [Mbps]를 얻을 수 있다.

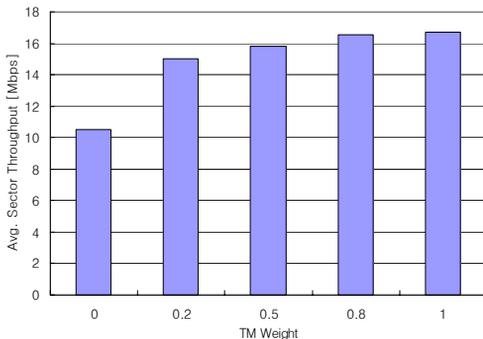


그림 14. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘의 평균 섹터 Throughput. (Ped A 3km/h, Case II)

Fig. 14. The Average Sector Throughput of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (Ped A 3km/h, Case II)

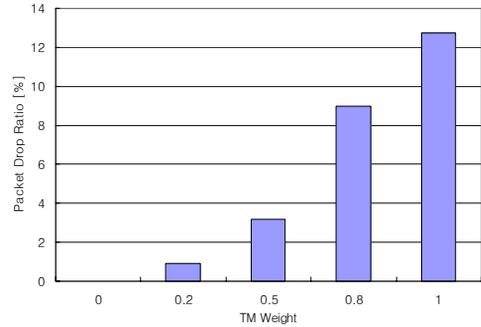


그림 15. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 적용한 경우, 실시간 서비스 사용자의 Packet Drop Ratio. (Ped A 3km/h, Case II)

Fig. 15. The Average Packet Drop Ratio of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (Ped A 3km/h, Case II)

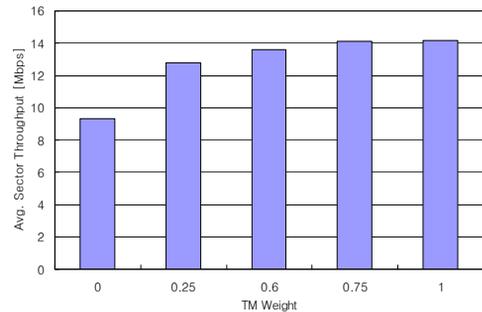


그림 16. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘의 평균 섹터 Throughput (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case I)

Fig. 16. The Average Sector Throughput of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case I)

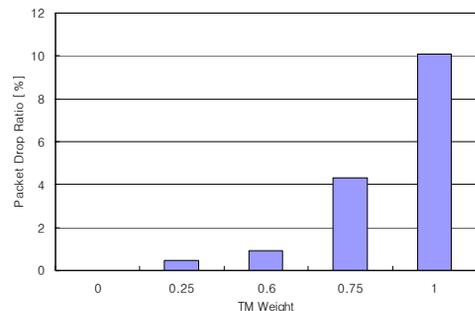


그림 17. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 적용한 경우, 실시간 서비스 사용자의 Packet Drop Ratio (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case I)

Fig. 17. The Average Packet Drop Ratio of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case I)

그림 16과 17은 Full Loading 상황에서 평균 SINR 15dB이며, 섹터 당 사용자 20명 중에서 4명은 실시간

서비스를 8명은 HTTP 서비스를, 8명은 FTP 서비스를 요청할 경우, TM 및 QoS Metric의 가중치 변화에 따른 SCME Urban Macro 1 3km/h 채널 [9]에서의 평균섹터 Throughput 및 실시간 서비스 사용자의 평균 Packet Drop Ratio에 해당한다. TM Metric을 증가시키면 시스템 Throughput이 증가하기는 하지만, 실시간 서비스 사용자의 QoS를 만족시키지 못하여 Packet Drop Ratio가 증가된다. 1%의 Packet Drop Ratio를 기준으로 할 때, TM Metric 가중치 0.6, QoS Metric가중치 0.4 적용 시, 평균 섹터 Throughput 13.6 [Mbps]를 얻을 수 있다.

그림 18와 19는 Full Loading 상황에서 평균 SINR 15dB이며, 섹터 당 사용자 20명 중에서 10명은 실시간 서비스를 5명은 HTTP 서비스를, 5명은 FTP 서비스를 요청할 경우, TM 및 QoS Metric

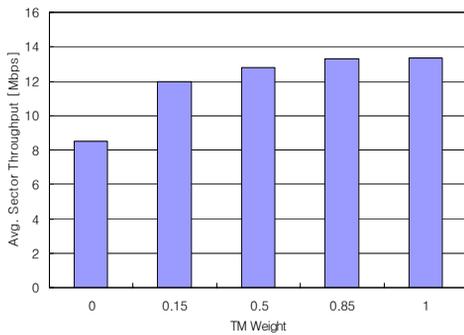


그림 18. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘의 평균 섹터 Throughput (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case II)
Fig. 18. The Average Sector Throughput of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case II)

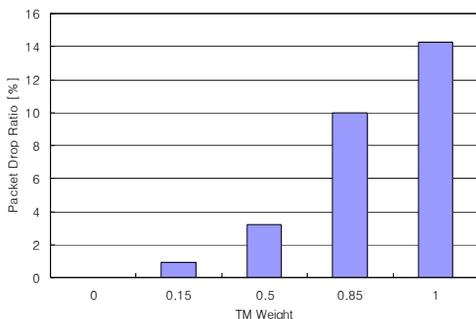


그림 19. Unified Metric을 이용한 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 적용한 경우, 실시간 서비스 사용자의 Packet Drop Ratio (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case II).
Fig. 19. The Average Packet Drop Ratio of OFDM/SDMA based Resource Allocation Algorithm utilizing Unified Metric. (SCME Urban Macro 1 3km/h, Case II)

의 가중치 변화에 따른 SCME Urban Macro 1 3km/h 채널에서의 평균 섹터 Throughput 및 실시간 서비스 사용자의 평균 Packet Drop Ratio에 해당한다. 이 경우는 실시간 서비스 사용자가 많아짐으로 인하여 QoS Metric의 가중치가 증가하여야 실시간 서비스 사용자 요구 조건인 1%의 Packet Drop Ratio를 만족시킬 수 있다. 이 경우, TM Metric 가중치 0.15, QoS Metric 가중치 0.85 적용 시 평균 섹터 Throughput 12.0 [Mbps]를 얻을 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 사용자가 요구하는 트래픽 특성에 맞는 High Layer QoS 파라미터를 고려하면서, 시스템의 Throughput의 손실을 최소화하고 Inter Cell Interference를 고려하여 Multi-Cell 환경에서도 적용이 가능한 하향 링크 OFDM/SDMA 기반 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. 또한 Ped A 및 SCME Urban Macro 채널에서 제안한 알고리즘의 성능 분석을 수행하였으며, 다양한 Traffic을 지원하는 셀룰러 환경에서 전체적인 시스템 성능 최적화를 위한 적절한 TM 및 QoS Metric의 가중치를 제시하였다.

제안하는 알고리즘은 QoS 만을 고려하는 방식에 비하여, Ped A 채널에서 섹터 Throughput 측면에서 Case I의 경우에 약 6.0 Mbps, Case II의 경우에 약 5.7 Mbps의 성능 이득이 있으며, Throughput 최대화 방식에 비하여는 섹터 Throughput의 손실이 발생하지만, 실시간 서비스 사용자의 Packet Drop Ratio 측면에서 Case I의 경우 약 8.6%, Case II의 경우 약 12.5% 정도의 성능 이득이 있음을 알 수 있다.

또한, SCME Urban Macro 1 채널에서 섹터 Throughput 측면에서 Case I의 경우에 약 4.2 Mbps, Case II의 경우에 약 3.4 Mbps의 성능 이득이 있으며, Throughput 최대화 방식에 비하여는 섹터 Throughput의 손실이 발생하지만, 실시간 서비스 사용자의 Packet Drop Ratio 측면에서 Case I의 경우 약 9%, Case II의 경우 약 13.8% 정도의 성능 이득이 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

[1] J. Chuang and N. Sollenberger, "Beyond 3G: wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," IEEE Commun. Mag., vol. 38, pp. 7887,

July 2000.

[2] H. Rohling and R. Grunheid, "Performance comparison of different multiple access schemes for the downlink of an OFDM communication system," in Proc. IEEE VTC'97, Phoenix, May 1997.

[3] 허 주, 장경희, "수신 빔형성 프리앰블을 이용한 송수신 빔형성 기반 OFDMA/TDD 시스템," 한국통신학회 논문지, 30권 No.9A, pp. 749-754, 2005. 10.

[4] I. Koutsopoulos and L. Tassiulas, "Adaptive resource allocation in SDMA-based wireless broadband networks with OFDM signalling," in Proc. INFOCOM, vol.3, pp.1376-1385, June 2002.

[5] Luke T. H. Lee, Chung-Ju Chang, Yih-Shen Chen, and Scott Shen, "A Utility-approached radio resource allocation algorithm for downlink in OFDMA cellular systems," in Proc. VTC, vol.3 pp.1798-1802, May 2005.

[6] T. Ren and R. J. La, Downlink beamforming algorithms with inter-cell interference in cellular networks, Draft 2004.

[7] 1xEV-DV Evaluation methodology addendum (V6), 3GPP2 WG5 evaluation Ad Hoc, 14 July 25, 2001.

[8] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.

[9] D. Baum, J. Salo, G. Del Galdo, M. Milojevic, and P. Kyuti, "An interim channel model for beyond-3G systems," in Proc. VTC, pp.3132-3135, May 2005.

허 주 (Joo Heo)

준회원



2002년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정
 <관심분야> 4세대 이동통신 무선전

송방식, Smart Antenna and MIMO, Radio Resource Management, Cross-layer Design

박 성 호 (SungHo Park)

준회원



2004년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과 (공학사)
 2006년 2월 인하대학교 정보통신대학원 (공학석사)
 2006년 3월~현재 LG CTO 연구원
 <관심분야> 4세대 이동통신 시스템, MIMO 및 Smart Antenna, MIMO Channel Modeling,

DMB 시스템 무선전송규격

장 경 희 (KyungHi Chang)

종신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1987년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept. (Ph.D.)
 1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원

1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장 (책임연구원)
 2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
 <관심분야> 4세대 이동통신 및 3G LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design

이 희 수 (HeeSoo Lee)

정회원



1993년 2월 KAIST 경영과학과 (학사)
 1995년 2월 KAIST 산업경영학과(석사)
 2001년 2월 KAIST 산업공학과 (박사)
 2001년 3월~현재 ETRI 이동통신연구단 차세대 무선전송연구

팀 선임연구원

<관심분야> 이동통신, 최적화

안 재 영 (JaeYoung Ahn)

정회원



1983년 연세대학교 전기공학과 (학사)
 1985년 연세대학교 대학원 전기공학과 (석사)
 1989년 연세대학교 대학원 전기공학과 (박사)
 1989년~현재 한국전자통신연구원 이동통신연구단 차세대무선

전송연구팀 팀장/책임연구원

<관심분야> 디지털 무선접속 및 전송 기술, 무선 MAC 프로토콜, 이동통신 시스템