

# 다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 사용자간 전송효율 최적화를 위한 Aggressive Subchannel Allocation 알고리즘

준회원 고 상 준\*, 허 주\*, 종신회원 장 경 희\*

## Aggressive Subchannel Allocation Algorithm for Optimize Transmission Efficiency Among Users in Multiuser OFDMA System

SangJun Ko\*, Joo Heo\* Associate Members, KyungHi Chang\* Lifelong Member

### 요 약

본 논문에서는 OFDMA 시스템 하향 링크에서 섹터 Throughput을 향상시키기 위하여, 모든 사용자의 채널 상태를 고려하여 동적 채널 할당을 진행하는 ASA(Aggressive Subchannel Allocation) 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 알고리즘을 섹터 별 Frequency Reuse Factor 가 1인 2-tier 환경 하에서 Round Robin, ACG(Amplitude Craving Greedy), RCG(Rate Craving Greedy) 그리고 GPF(General Proportional Fair) 알고리즘과 함께 모의실험을 통하여 각 알고리즘의 성능을 분석한다. 그 결과 본 논문에서 제안한 ASA 알고리즘이 Round Robin 보다는 58 %, ACG 보다는 190 %, RCG 보다는 130 % 그리고 GPF 보다는 8.5 % 높은 Sector Throughput 을 보인다.

**Key Words** : ASA Algorithm, OFDMA, 동적 채널 할당(Dynamic Channel Allocation), Throughput

### ABSTRACT

In this paper, we propose an ASA(Aggressive Subchannel Allocation) algorithm, which is an effective dynamic channel allocation algorithm considering all user's channel state to maximize downlink sector throughput in OFDMA system. We compare an ASA algorithm with Round Robin, ACG(Amplitude Craving Greedy), RCG(Rate Craving Greedy) and GPF(General Proportional Fair) in the 2-tier environment of FRF(Frequency Reuse Factor) 1 and then analyze the performance of each algorithms, through compute simulation. Simulation results show that the proposed ASA algorithm gets 58 %, 190 %, 130 % and 8.5 % better sector throughput compared with the Round Robin, ACG, RCG and GPF respectively.

### I. 서 론

최근 국내외적으로 4세대 이동통신에 대한 관심이 높아지면서, 4세대 이동통신 시스템의 요구 사항을 만족시키는 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 특히, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 높은 전송 효율과 간단한 단일 탭 등화기로 채널

널의 왜곡을 보상하고, 심각한 인접 심볼간 간섭(ISI : Inter Symbol Interference) 문제를 Cyclic Prefix (CP) 를 사용하여 쉽게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있으므로, 4 세대 이동통신 시스템에 적용하기에 적절한 방식중의 하나로서 주목 받고 있다.

이러한 OFDM 시스템의 장점을 기반으로 하여, 다양한 QoS(Quality of Service) 를 만족시키기 위한 다중 사용자 접속 방식인 직교 주파수 분할 다

\* 인하대학교 정보통신대학원 (khchang@iuha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-12-516, 접수일자 : 2005년 12월 30일, 최종논문접수일자 : 2006년 5월 11일

중 접속(OFDMA : OFDM-FDMA) 시스템에 대한 연구가 진행 중에 있다. OFDMA는 각 사용자에게 서로 다른 서브 캐리어를 할당하는 다중 사용자 접속 방식으로서, 사용자의 요구에 맞추어 다양하게 자원을 할당함으로써 다양한 QoS를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 주파수 선택적 페이딩 현상과 협대역 간섭에 강한 특성으로 인해 차세대 광대역 무선 다중 접속 방식 중 하나로 제안되고 있다. OFDMA 방식은 IEEE 802.16a 표준의 물리 계층이며, 한국에서 연구되고 있는 초고속 휴대인터넷과의 연계가 활발히 진행 되고 있는 상태이다.

하지만 지금까지 OFDM 기술은 주로 이동성이 많지 않은 시스템에 적용이 되어 왔기 때문에, 셀룰러 환경에서도 OFDM 기술을 사용할 수 있기 위해서는 OFDMA 셀룰러 시스템 커버리지를 증대시키기 위한 셀 계획법 연구 및 효율적으로 무선 자원을 관리하여 셀 용량을 증대시키는 자원 할당 기법 등에 대한 연구가 필요하다. 또한 사용자의 채널 정보를 이용하여 Modulation Level 및 동적 채널 할당 같은 Link Adaptation 및 적응 변조 기법 연구 역시 필요하다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 사용자의 채널 정보를 이용하여 시스템의 용량을 증대시키기 위한 동적 자원 할당을 수행함에 있어, 사용자간의 공평성을 최적화시키기 위한 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 적응적 무선 채널 할당 방법 및 본 논문에서 제안하는 적응적 무선 채널 할당 기법을 알아본다. 3장에서는 모의실험을 위한 파라미터 소개 및 모의실험을 통해 제안된 적응적 무선 채널 할당 기법의 성능 분석을 하며, 4장에서는 결론을 맺는다.

## II. 적응적 무선 채널 할당 기법

4세대 이동통신 시스템은 제한된 무선 자원을 사용하여 고속의 전송률을 지원하고 다양한 서비스 품질을 보장하는 것이 요구됨으로 효율적인 무선 자원 할당에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>[1]</sup>. 본 장에서는 기존의 적응적 무선 채널 할당 기법을 소개하고 본 논문에서 제안하는 기법을 소개한다.

### 2.1 기존의 적응적 무선 채널 할당 기법

#### 2.1.1 BABS 알고리즘

BABS(Bandwidth Assignment Based on SNR) 알고리즘은 한 시스템의 각 사용자가 요구하는 전

송률을 만족시켜 주기위하여 최소 몇 개의 서브 채널을 할당 받아야 하는지를 결정해 줌으로써 채널 상황이 좋은 사용자에게만 서브채널을 할당하지 않고 전체 사용자의 공평성을 고려하여 할당하기 위한 기법이다<sup>[2]</sup>.

우선 각 사용자의 수신 SINR 을 이용하여 다중 사용자 OFDM 시스템에서 각 사용자의 송률을 구해야 한다. 시스템이 QAM 변조와 이상적인 페이지 검출이라고 가정하는 경우, k번째 사용자의 m번째 부반송파와 신호의 BER은 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$BER \leq \frac{1}{5} \exp\left(\frac{-1.5\gamma_k(m)}{(2^{q_k(m)} - 1)}\right) \quad (2-1)$$

$q_k(m)$ 과  $\gamma_k(m)$ 은 각각 k번째 사용자의 m번째 부반송파에 할당된 심볼당 비트수와 SINR을 나타낸 것이다.

위의 BER은  $q_k(m) \geq 2, 0 \leq \gamma_k(m) \leq 30dB$  에서 타당한 값을 얻는다. 우리가 얻고자 하는 BER이 주어진 상황에서는, 위의 식 (2-1) 을 k번째 사용자의 m번째 부반송파에 의해 전송될 수 있는 한 심볼의 최대 비트수로 바꾸어 표현할 수 있다.

$$q_k(m) = \log_2\left(1 + \frac{\gamma_k(m)}{\Gamma}\right) \quad (2-2)$$

식 (2-2)에서  $\Gamma = -\ln(5BER)/1.5$  으로 나타낼 수 있다. 다중 사용자 OFDM 시스템에서의 각 사용자의 전송률은 각 사용자들의 각 부반송파의 전송률의 모든 합으로 나타낼 수 있으므로, 위의 식 (2-2) 를 이용하여, 각 사용자의 전송률을 구해보면, 다음 식 (2-3)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_k = \sum_{m=1}^M \frac{q_k(m)}{T} = \frac{1}{T} \sum_{m=1}^M \log_2\left(1 + \frac{\gamma_k(m)}{\Gamma}\right) \quad (2-3)$$

위의 식 (2-3)에서 T는 OFDM 심볼 길이를 나타낸다. 위의 식 (2-3)에서 보는 것과 같이 수신 SINR  $\gamma_k(m)$ 이 각 사용자의 전송률과 비례함을 알 수 있다.

기지국은 각 사용자로부터 피드백 받은 전 서브 채널의 평균 SINR 값을 식 (2-3)을 이용하여 각 사용자가 현재 채널 상황에서 모든 서브 채널로부터

```


$$m_k \leftarrow \left\lceil \frac{R_{k,req}}{R_k} \right\rceil, \quad k = 0, \dots, K-1$$

while  $\sum_{k=0}^{K-1} m_k > M$ , do
     $k^* \leftarrow \arg \min_{0 \leq k \leq K-1} m_k$ 
     $m_{k^*} \leftarrow 0$ 
end while
while  $\sum_{k=0}^{K-1} m_k < M$ , do
     $G_k \leftarrow \frac{m_k + 1}{H_k} f\left(\frac{R_{min}^k}{m_k + 1}\right), \quad k = 0, \dots, K-1$ 
     $l \leftarrow \arg \min_{0 \leq k \leq K-1} G_k$ 
     $m_l \leftarrow m_l + 1$ 
end while
    
```

그림 1. BABS 알고리즘

제공받을 수 있는 전송률  $R_k$ 을 구한 후 식 (2-4)를 통해 각 사용자에게 할당 될 서브 채널수를 결정한다.

$$\overline{R}_k = \frac{R_k}{M}, \quad m_k = \left\lceil \frac{R_{k,req}}{\overline{R}_k} \right\rceil \quad (2-4)$$

$R_k$  은 각 사용자가 모든 서브채널로부터 얻을 수 있는 전송률이고,  $M$  는 서브채널 수이다. 즉,  $\overline{R}_k$ 는 각 사용자가 하나의 서브채널로부터 얻을 수 있는 평균 전송률이고  $R_{k,req}$ 는 각 사용자가 요구 하는 전송률으로써, 각 사용자가 할당 받을 서브 채널 수  $m_k$ 를 식 (2-4)를 통해 구할 수 있다.

그림 1은 BABS 알고리즘의 Pseudo Code를 나타낸 것이다.

만약 각 사용자에게 할당될 서브 채널 수  $m_k$ 의 총합이 전체 서브채널 수를 넘을 경우 가장 적은 서브 채널을 할당 받은 사용자의 서브 채널을  $m_k$ 의 총합이 전체 서브채널 수를 넘지 않을 때까지 하나 씩 취소시킨다. 또한 만약 각 사용자에게 할당될 서브 채널 수  $m_k$ 의 총합이 전체 서브채널 수 보다 적을 경우, 가장 적은 전력  $G_k$ 의 추가로 서브채널을 하나 더 할당할 수 있는 사용자에게  $m_k$ 의 총합이 전체 서브채널 수와 동일해질 때까지 추가로 할당한다.

### 2.1.2 ACG 알고리즘

ACG(Amplitude Craving Greedy) 알고리즘은

```

Ensure :  $m_k$  is the number of subcarriers allocated
to each user  $C_k \leftarrow \{ \}$  for  $k = 0, \dots, K-1$ 

for each subchannel  $m = 0 : M-1$ , do
     $k^* \leftarrow \arg \max_{0 \leq k \leq K-1} |H_k(m)|^2$ 
    Let  $\#C_k$  denote the cardinality of set  $C_k$ 

    while ( $\#C_{k^*} = m_{k^*}$ ) do
         $|H_{k^*}(m)|^2 \leftarrow 0$ 
         $k^* \leftarrow \arg \max_{0 \leq k \leq K-1} |H_k(m)|^2$ 
    end while
     $C_{k^*} \leftarrow C_{k^*} \cup \{m^*\}$ 
end for
    
```

그림 2. ACG 알고리즘

BABS 알고리즘으로부터 정해진 수만큼 각 사용자에게 서브채널을 할당해 주는 기법으로써 첫 번째 서브채널부터 마지막 서브채널까지 서브채널 순서대로 각 서브채널에서 가장 큰 Channel Gain 을 가지는 사용자에게 해당 서브채널을 할당 해주는 기법이다<sup>2)</sup>.

$$H_k = \arg \max |H_k(m)|^2 \quad (2-5)$$

$$\text{where } m = 0 : M-1 \\ k = 0 : K-1$$

식 (2-5)의  $|H_k(m)|^2$ 은  $m$ 번째 서브채널에서 각 사용자들의 Channel Gain을 나타낸다. 그중 가장 큰 Channel Gain  $H_k$ 를 가지는  $k$  번째 사용자에게  $m$ 번째 서브채널을 할당한다.

만약 할당을 진행하는 과정중간에 BABS알고리즘을 통해 정해진 할당 서브 채널 개수를 만족 하게 되는 사용자에게는 더 이상 서브 채널을 할당 하지 않는다.

그림 2는 ACG(Amplitude Craving Greedy) 알고리즘의 Pseudo Code를 나타낸 것이다.

그림 2에서  $\#C_{k^*}$ 는  $k^*$  사용자에게 할당된 서브 채널의 집합이다. 즉,  $\#C_{k^*}$ 가  $k^*$  사용자에게 할당 될 서브 채널 수  $m_{k^*}$ 와 같아지면  $k^*$  사용자에게는 더 이상 서브 채널을 할당하지 않는다.

ACG 알고리즘은 첫 번째 서브채널부터 마지막 서브채널까지 순차적으로 사용자에게 할당해주기 때

문에 시스템의 복잡도가 적다는 장점이 있지만, Channel Gain이 높은 서브채널을 우선적으로 사용자들에게 할당하지 않고 서브채널 순서대로 할당함으로써 인해 전체적인 시스템의 성능이 낮다는 단점이 있다.

2.1.3 RCG 알고리즘

RCG (Rate Craving Greedy) 알고리즘도 BABS 알고리즘으로부터 정해진 수만큼 각 사용자에게 서브채널을 할당해 주는 기법이다.

할당절차는 두 번의 절차로 구성된다. 우선 1차 할당 과정으로써 각 서브채널에서 가장 높은 Channel Gain을 가지는 사용자에게 해당 서브채널을 할당한다. 그 후 2차 할당과정으로써 모든 사용자들의 BABS 알고리즘을 통한 할당 수를 맞추기 위하여 전체 시스템의 Throughput 손실을 최소로 하며 모든 사용자간의 서브채널을 재할당한다. 즉, RCG 알고리즘은 2차적 할당과정으로써 ACG 알고리즘에 비하여 Throughput 측면에서는 우수하지만, 복잡도가 높다는 단점이 있다.

그림 3은 RCG 알고리즘의 Pseudo Code를 나타낸 것이다.

2.1.4 GPF 알고리즘

GPF(General Proportional Fair)은 개별 사용자들의 시간에 따른 채널변화가 서로 독립적인 특징을 이용한 알고리즘이다. 즉, 사용자들의 채널에 대한 정보를 이용하여 Fairness 를 보장하는 알고리즘이다. GPF 알고리즘의 Metric은 현재 채널의 상태와 과거에 서비스 받은 데이터양에 따라 결정된다.

$$GPF\ Metric = \frac{R_k(t+1)}{T_k(t+1)} \quad (2-6)$$

$$T_k(t+1) = \left(1 - \frac{1}{T_c}\right) T_k(t) + \frac{1}{T_c} R_k(t) \quad (2-7)$$

위 식에서  $T_k(t)$ 는 현재까지  $k$  사용자의 평균 Throughput 을 나타내며,  $T_c$  는 평균을 취하는 시간상의 구간범위를 의미한다. 즉, 기지국은 사용자의 채널상태가 좋지 않을 경우, 시간이 최소  $T_c$  정도는 지나야 채널상태가 개선된다고 가정하는 것이다.

2.2 제안된 ASA 알고리즘

본 논문에서 제안한 ASA (Aggressive Subchannel Allocation) 알고리즘은, BABS 알고리즘을 통

Ensure :  $m_k$  is the number of subcarriers allocated to each user,  $r_k(n)$  is the estimated transmission rate of user  $k$  on subcarrier  $n$

for each subcarrier  $n = 0 : N-1$ , do

$$k^* \leftarrow \arg \max_{0 \leq k \leq K-1} r_k(n)$$

$$C_{k^*} \leftarrow C_{k^*} \cup \{n\}$$

end for

for all users  $k$  such that  $\#C_k > m_k$  do

while  $\#C_k > m_k$  do

$$l^* \leftarrow \arg \min_{\{l: \#C_l < m_l\}, 0 \leq l \leq N-1} -r_k(n) + r_l(n)$$

$$n^* \leftarrow \arg \min_{0 \leq n \leq N-1} -r_k(n) + r_l(n)$$

$$C_k \leftarrow C_k \setminus \{n^*\}, C_{l^*} \leftarrow C_{l^*} \cup \{n^*\}$$

end while

end for

그림 3. RCG 알고리즘

한 사용자별 서브 채널 할당수를 정해주는 과정이 없다. 대신 다음과 같은 기본 전제를 바탕으로 한다.

1. 모든 사용자들은 자신의 채널정보를 상향 링크를 통하여 기지국으로 전송한다.
2. 동일 셀 내 간섭을 배제하기 위하여 하나의 서브채널을 복수의 사용자에게 할당하지 않는다.
3. 모든 서브채널들의 채널정보는 양자화되어 기지국으로 전송되기 때문에, 동일한 채널정보를 가진 복수개의 서브채널들이 존재할 수 있다.

본 논문에서 제안한 ASA 알고리즘은 다음과 같은 네 단계로 이루어진다.

첫째, 우선 기지국은 공평성을 고려하여 서브채널을 할당 받을 사용자를 선택한다.

$$k_{ASA} = \arg \min_{ASA} \frac{\sum_{m \in C_k} r_{k,m}}{R_{k,req}} \quad (2-8)$$

$(k = 0 : K-1)$

식 (2-8)의  $k_{ASA}$ 는 ASA Scheduler에 의해 공평성을 고려하여 선택된 사용자이고,  $C_k$ 는 사용자  $k$ 가 그때까지 할당받은 서브채널의 집합이며,  $r_{k,m}$

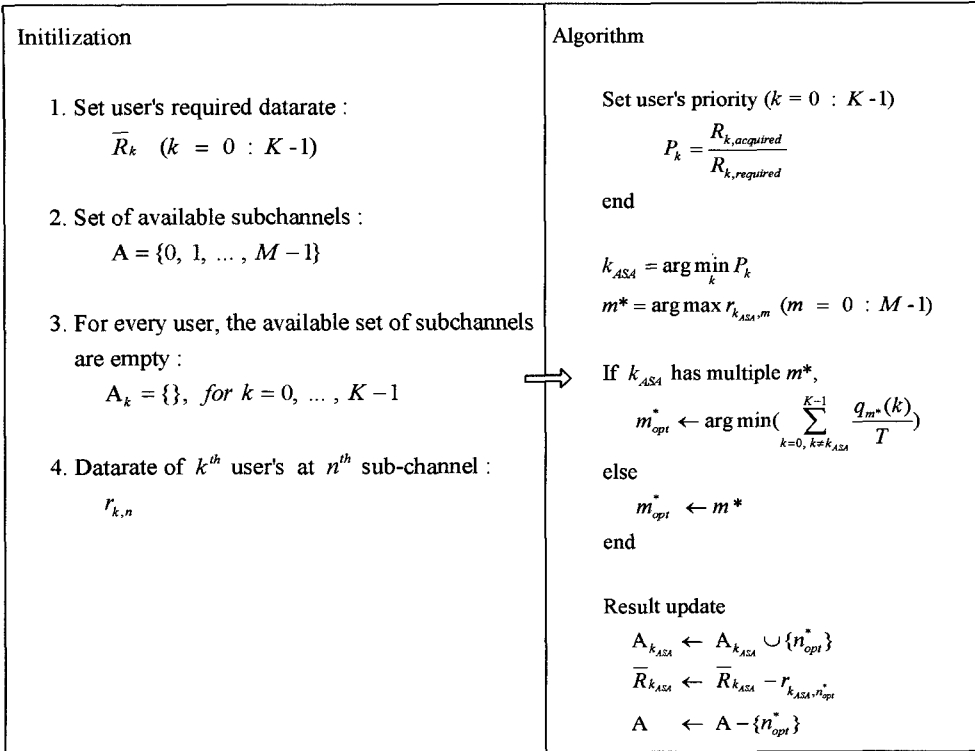


그림 4. ASA 알고리즘

은 사용자  $k$  가 할당받은  $m$  번째 서브채널에서의 전송률이다. 그리고  $R_{k, req}$  는 사용자  $k$  가 요구하는 전송률이다. 즉, 자신이 요구하는 전송률과 비교하여 가장 적은 양의 전송률을 보장받은 사용자에게 우선권을 주는 것이다.

둘째, 아직 다른 사용자에게 할당 되지 않은 서브채널 중에서 선택된 사용자  $k_{ASA}$  에게 가장 높은 Channel Gain, 즉, 가장 높은 전송률을 보장할 수 있는 서브 채널을 찾는다. 이 때, 사용자들은 기지국에 자신의 Channel 정보를 양자화 시켜 전송하기 때문에 기지국의 입장에서는 한 사용자에게 동일한 Channel Gain을 보장하는 서브 채널이 복수 개 존재할 수 있다.

$$m^* = \arg \max_{m=0: M-1} (r_{k_{ASA}, m}) \quad (2-9)$$

식 (2-7) 에서  $r_{k_{ASA}, m}$  은 선택된  $k_{ASA}$  사용자가  $m$  번째 서브채널에서 보장 받을 수 있는 전송률이다. 전체 서브채널 중 사용자  $k_{ASA}$  에게 가장 높은 전송률을 보장할 수 있는 서브채널은  $m^*$  이

고, 이는 복수개 존재할 수 있다.


셋째,  $m^*$  서브채널들이 시스템의 다른 사용자들에게 보장하는 전송률을 구한다.

$$R_{m^*} = \sum_{\substack{k=0, \\ k \neq k_{ASA}}}^{K-1} r_{k, m^*} = \sum_{\substack{k=0, \\ k \neq k_{ASA}}}^{K-1} \frac{q_{m^*}(k)}{T} \quad (2-10)$$

여기서  $R_{m^*}$  는 선택된 사용자를 제외한 모든 사용자들의  $m^*$  서브채널 에서 보장받을 수 있는 전송률의 합이다.

넷째, 식 (2-8)에서 구한  $R_{m^*}$  의 크기를 비교한다. 그 중, 가장 작은 값 (즉,  $m_{opt}^* = \arg \min (R_{m^*})$ ) 을 가지는 서브채널을 선택된 사용자에게 할당한다. 즉, 다른 사용자들에게 더 많은 전송률을 보장할 수 있는 서브채널을 남겨둠으로써 전체 시스템의 전송률을 높일 수 있다. 그러나 기존의 적응적 무선 채널 할당 기법들은 위와 같이 선택된 사용자에게 할당할 서브채널이 복수 개 존재할 경우, 다른 사용자의 입장을 고려하지 않고, 서브채널 번호가 가장 빠

	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>
m <sub>1</sub>	1	6	2	5
m <sub>2</sub>	2	6	6	8
m <sub>3</sub>	3	8	2	7
m <sub>4</sub>	9	3	6	4
m <sub>5</sub>	5	2	3	1
m <sub>6</sub>	2	2	1	6
m <sub>7</sub>	1	1	3	4
m <sub>8</sub>	2	7	2	9



	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>
m <sub>1</sub>	0 <sup>6</sup> ⑥	0	0	0
m <sub>2</sub>	0	0 <sup>3</sup> ③	0	0
m <sub>3</sub>	0	0 <sup>2</sup> ②	0	0
m <sub>4</sub>	0 <sup>1</sup> ①	0	0	0
m <sub>5</sub>	0 <sup>7</sup> ⑦	0	0	0
m <sub>6</sub>	0	0	0 <sup>8</sup> ⑧	0
m <sub>7</sub>	0	0	0 <sup>5</sup> ⑤	0
m <sub>8</sub>	0	0	0 <sup>4</sup> ④	0

그림 5. ASA 알고리즘의 적용 예.

큰 것을 선택된 사용자에게 할당한다.

그림 4는 ASA 알고리즘의 Pseudo Code 를 나타낸 것이고 그림 5는 ASA 알고리즘을 이용하여 각 사용자에게 서브 채널을 할당한 예이다.

그림 5는 시스템의 총 사용자가 네 명 그리고 총 서브 채널은 여덟 개라고 가정하고 가로축은 사용자 세로축은 서브채널 번호를 나타낸다. 그림 5에서 나타낸 각 사용자의 각 서브채널 별 값은 Channel Gain 값, 즉, 각 사용자에게 보장하는 전송률  $q_k(m)$  을 나타낸다.

사용자들의 요구 전송률이 동일하다고 가정하면, 기지국은 공평성에 의해  $k_1$  사용자에게 가장 높은 전송률을 보장할 수 있는  $m_4$  서브채널을 할당해준다. 다음  $k_2$  사용자에게  $m_3$  서브채널을  $k_3$  사용자에게는  $m_2$  서브채널을 그리고  $k_4$  사용자에게는  $m_8$  서브채널을 할당해준다. 그 후  $k_3$  사용자가 자신의 요구 전송률에 비하여 가장 적은 전송률을 보장 받았기 때문에 기지국은 공평성에 의해  $k_3$  사용자에게 서브채널을 할당해 준다.

이 때  $k_3$  사용자의 서브채널 중  $m_5$ 와  $m_7$  서브 채널이 동일한 Channel Gain, 즉, 전송률을 보장함으로 기지국은 어떤 서브채널을  $k_3$  사용자에게 할당해 줄지 결정해야한다.

이런 경우에 기존의 동적채널할당 알고리즘들은 다른 사용자들의 입장은 고려하지 않고 단순히  $m_5$  서브채널의 순서가  $m_7$  서브 채널의 순서보다 빠르기 때문에  $k_3$  사용자에게  $m_5$  서브채널을 할당 해 준다. 그러나 ASA 알고리즘은 그 중 어떤 서브채널을  $k_3$ 에게 할당 할 것인지를 결정한다. 앞서 설명했던 식 (2-10)을 이용하면 식 (2-11)과 같은 결과가 산출된다.

$$R_{m5} = \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq 3}}^4 \frac{q_{m5}(k)}{T} = 8 \tag{2-11}$$

$$R_{m7} = \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq 3}}^4 \frac{q_{m7}(k)}{T} = 6$$

식 (2-11)의 결과에서 볼 수 있듯이, 다른 사용자에게 보장할 수 있는 전송률이  $m_7$  서브채널보다  $m_5$  서브채널이 더 크다. 그러므로 기지국은  $k_3$  사용자에게  $m_7$  서브채널을 할당해 준다.

만약 단순히  $m_5$ 의 서브채널번호가  $m_7$  보다 빠르다는 이유만으로  $k_3$  사용자에게  $m_5$ 를 할당해 준다면, 전체적인 시스템의 Throughput 의 손해가 있게 된다. 즉, 다른 사용자들의 상황을 고려한 동적 채널 할당의 결과가 단순히 공평성만을 고려한 동적 채널 할당에 비하여 전체적인 시스템의 Throughput 측면에서 더 높은 성능을 얻을 수 있다.

### III. 모의실험을 통한 성능 분석

#### 3.1 모의실험을 위한 주요 고려 사항

시스템의 간섭 모델을 설정하기 위한 CNR은 식 (3-1)과 같다<sup>[5]</sup>.

$$(C/N)_{OFDM} = \frac{\sum_{j=1}^J \|\gamma_j\|^2}{G^{-1} + \sum_{k=1}^K \|\psi_k\|^2} \tag{3-1}$$

식 (3-1)에서 G는 Shadowing과 Path-loss 만을 고려한 Geometry이고  $\{\gamma_j\}$ 는 보호구간 안에 존재하는 구분 가능한 Multipath Fading Component이며, Frame 구간에서의 평균값으로 한다.  $\{\psi_k\}$ 는 보호구간 밖에 존재하는 구분 가능한 Multipath Fading Component이며, 마찬가지로 Frame 구간에서의 평균값으로 한다.

단말과 기지국간의 거리에 따른 감쇄 성분을 나타내는 Path-loss는 다음과 같이 표현된다<sup>[6]</sup>.

$$L_{pl}(D) = 40 \times (1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b) \times \log_{10}(D) - 18 \times \log_{10}(\Delta h_b) + 21 \times \log_{10}(f) + 80 \tag{3-2}$$

여기서,  $D$ 는 단말과 기지국간의 거리(km),  $\Delta h_b$ 는 기지국의 높이(m),  $f$ 는 Carrier 주파수 (MHz)이다.

Log Normal Shadowing은 기지국과 단말간의 거리에 관계없이 주변 환경에 의해 발생하는 감쇄 성분을 나타내는 것으로, 기지국과 단말의 위치가 동일하더라도 주변 상황에 따라 신호가 겪는 감쇄 효과는 다를 수 있음을 의미한다. 인접 셀 간섭을 분석하기 위해서는 둘 이상 기지국 사이의 Propagation Loss를 비교해야 하는데, 이를 위해서는 특정 단말과 기지국들 사이에 존재하는 Propagation Loss의 상관관계를 고려하여야 한다. 각 셀의 단말과 해당 기지국간 Shadowing의 Correlation은 1.0으로, 각 셀의 단말과 인접 기지국간의 Correlation은 0.5로 한다.

Path-loss와 Shadowing을 포함한 단말과 각 기지국 간 하향링크 감쇄는 식 (3-3)과 같은 방법으로 모델링 된다.

$$L = k_0 D^{-\alpha} 10^{X/10} R^2 \quad (3-3)$$

여기서,  $D$ 는 단말과 기지국 간의 거리(km),  $\alpha$ 는 경로 감쇄 Exponent,  $R$ 은 안테나 이득,  $X$ 는 평균은 0이고 표준편차는  $\sigma$ 인 가우시안 확률변수이다.  $k_0 D^{-\alpha}$ 는 선형 Path-loss 값을 나타낸다.  $X$ 는 모든 기지국에 공통인 확률 변수  $Z_1$ 과 각 기지국에 독립적인 확률 변수  $Z_2$ 의 Weight Sum으로 표현된다. 두 확률변수  $Z_1$ 과  $Z_2$ 의 평균이 0 이고 표준편차가  $\sigma$ 인 가우시안 확률변수이다. 그러므로  $X$ 는 식 (3-4)와 같이 표현된다.

$$X = aZ_1 + bZ_2, \quad a^2 + b^2 = 1 \quad (3-4)$$

여기서, 서로 다른 셀의 섹터간 Shadowing 같은 Correlation, 0.5 (즉,  $a^2 = b^2 = 0.5$ ) 인 값을 적용한다. 그리고 위의 계산에는 다음 요소가 적용된다.

- Fast Fading : 매 심볼마다 링크 레벨 채널 모델에 따라 갱신되며, CINR도 매 심볼마다 계산된다.
- Shadowing : 매 단말군 발생 기간 동안 일정하지만 시뮬레이션 시간이 20ms 초과 하는 경우 마다 갱신된다.
- Path-loss : 매 단말군 발생 기간 동안 불변
- Antenna Gain : Horizontal 안테나 패턴만을 고려한다<sup>[7]</sup>.

각각의 섹터에서 사용된 안테나 패턴은 식 (3-5)

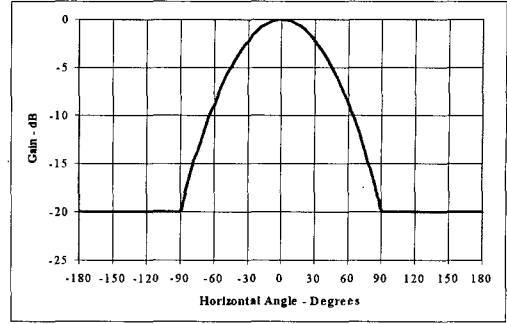


그림 6. Horizontal Antenna Pattern

와 같이 정의된다<sup>[7]</sup>.

$$A(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad (3-5)$$

where  $-180 \leq \theta \leq 180$

$\min[]$  is the minimum function

$\theta_{3dB}$  is the 3dB beamwidth

$A_m = 20dB$  is the maximum attenuation

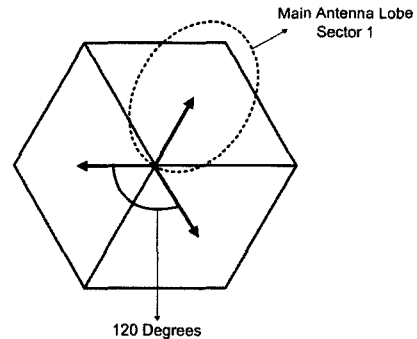


그림 7. 3-Sector 안테나 패턴

Background Noise는 다음과 같이 설정된다.

$$N_0 = kTF = 1.38 \times 10^{-23} \times 293 \times F \quad (3-6)$$

$$= -174 (dBm/Hz) + NF (dB)$$

$$= -167 (dBm/Hz)$$

where  $NF$  (Noise Figure) = 7 dB

$$N_0 B = -167 + 39.9 = -127.1 dBm / Carrier$$

where  $B = 10MHz / 1024 = 9.765625 kHz$

(3-7)

AMC를 적용하기 위한 채널에 따른 변조방식 및 부호화의 Table은 LLS (Link Level Simulation)를

표 1. 하향링크 변조방식과 채널 부호화에 따른 PER 1%를 만족하는 CINR (Ped-A 3km/h)

변조 방식	부호화	CINR (dB)
QPSK	1/12	-3.89
QPSK	1/6	-1.57
QPSK	1/3	0.92
QPSK	2/1	3.10
QPSK	2/3	5.84
16QAM	1/2	8.64
16QAM	2/3	12.6
64QAM	2/3	17.1
64QAM	5/6	21.4

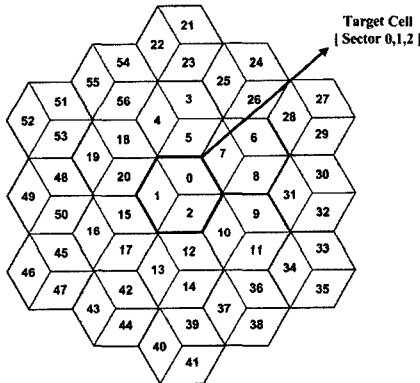


그림 8. 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 2-Tier 다중 셀 환경

통해 얻을 수 있다. Ped-A 3km/h의 경우, 하향링크 변조방식과 채널 부호화에 따른 PER 1%를 만족하는 CINR은 표 1에 나타난다.

### 3.2 모의실험 환경 및 파라미터

인접 섹터가 간섭으로 작용하는 시스템 레벨 간섭 분석 시뮬레이션을 위하여, 그림 8과 같은 Hexagonal 셀로 구성된 2-Tier 다중 셀 환경을 고려한다<sup>[4]</sup>.

이 경우의 다중 셀 환경은 중앙의 Target Cell을 포함하여 총 19개의 셀로 구성되며, 각 셀은 3개의 섹터로 구성되어 총 57개의 섹터로 이루어진다. 또한 각 기지국은 Hexagonal 셀의 중심에 위치하고, 각 기지국간 거리는 2R로 동일하다고 가정한다. 또한 각 섹터의 Reuse Factor는 1로 동일하다.

표 2는 시뮬레이션에서 적용된 기본 OFDM 시스템 파라미터를 나타낸다<sup>[4]</sup>. 그리고 표 3은 2-Tier 다중 셀 환경에서의 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다<sup>[4]</sup>.

### 3.3 모의실험 결과 및 분석

본 절에서는 2-Tier 환경 하에서 Ped-A 3km/h<sup>[6]</sup> 경우 다음과 같은 다섯 가지 알고리즘의 섹터

표 2. 기본 OFDM 시스템 파라미터

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

표 3. 2-Tier 다중 셀 환경의 시스템 레벨 시뮬레이션 파라미터

Item	Sub-Item	Parameters	Value
Link Modeling	Freq. Band	Carrier Freq.	2.3 GHz
		Effective BW	8.75 MHz
	BS Tx Side	BS Tx Power	43.0 dBi
		BS Tx Antenna Gain	15 dBi
		BS Cable Loss	3 dB
		BS Max EIRP	55 dBm
		MS Rx Side	BS Rx Antenna Gain
	Channel Model	BS Thermal Noise	-174.0 dBm / Hz
		MS Noise Figure	7.0 dB
		Frame Sync.	Perfect
		Path Loss Model	ITU Ped. Model
Shadowing		Standard Deviation 10 dB	
Input Parameter	Cell	# of Cells	19
		Cell Configuration	Hexagonal
		Cell Radius	1 km
	MS	# of Users	12 / Sector
Position	Uniform		

Throughput, 사용자 별 Throughput 을 분석한다.

1. RR (Round Robin) : 32개의 서브채널을 FRF (Frequency Reuse Factor) 1로 사용하고 5ms의 Frame 마다 한번씩 AMC 를 수행하는 경우.
2. ACG, RCG, GPF, ASA : 32 개의 서브 채널을 FRF 1로 사용하고, 5ms 마다 한 번씩 AMC 와 20 ms 마다 동적채널할당을 수행하는 경우.

그림 9는 사용자의 채널 및 속도가 Ped-A 3km/h



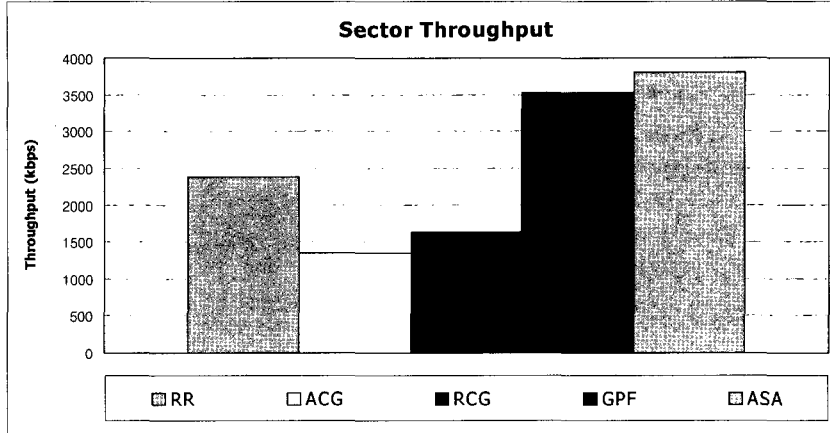


그림 9. 알고리즘 별 Sector Throughput

이고, 주변 셀이 Full Loading일 때 각각의 적응적 무선 채널 할당 기법에 따른 Sector Throughput을 비교한 것이다.

ASA 알고리즘은 Round Robin, ACG, RCG 그리고 GPF 알고리즘과 비교하여 각각 58%, 190%, 130% 그리고 8.5% 정도의 Sector Throughput 향상이 있음을 볼 수 있다. 이는 모든 사용자들의 상황을 고려하여 가능한 모든 사용자가 자신에게 높은 Channel Gain을 보장 해 줄 수 있는 서브 채널을 할당 받기 때문이다.

이론적으로 RCG 알고리즘은 복잡도는 높지만 Throughput 측면에서는 매우 높은 성능을 보여야 한다. 그러나 그림 9의 결과에서 볼 수 있듯이 RCG 알고리즘의 성능이 매우 낮음을 볼 수 있다. 그 이유는 다른 사용자들에 비해 상대적으로 채널상황이 나쁜 사용자에게 우선적으로 서브채널을 할당 하는 BABS 알고리즘의 특성 때문이다.

시스템이 모든 사용자의 요구 데이터양을 만족시켜 줄 수 있는 충분한 대역을 가지고 있는 이상적인 상황이라면 BABS 알고리즘을 통하여 모든 사용자가 자신이 요구하는 데이터양을 만족시켜 줄 수 있는 적절한 수의 서브채널을 할당 받을 수 있고 RCG 알고리즘을 통하여 Multiuser Diversity Gain을 얻음으로써 전체적인 시스템의 Throughput이 매우 높을 것이다. 그러나 실제 시스템에서는 서비스 할 수 있는 대역이 한정되어있기 때문에 채널 상황이 나쁜 사용자들에게 우선적으로 채널을 할당 하다보면 결국 채널 상황이 좋은 사용자에게 할당 해줄 채널이 부족하여 전체 시스템의 Throughput이 매우 낮아진다.

또한 BABS 알고리즘을 배제하고 공평성을 고려

하여 사용자를 선택한 후 RCG 알고리즘을 통하여 동적채널할당을 수행할 경우, RCG 알고리즘은 두 차례에 걸친 할당 과정을 수행함으로 한차례의 할당 과정으로 사용자들에게 적절한 서브채널을 할당 하는 ASA 알고리즘에 비하여 복잡도가 매우 높다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 OFDMA 시스템 하향링크에서공평성에 의하여 선택된 사용자에게 동적 채널 할당을 하는 경우 다른 모든 사용자들의 채널 상황을 고려하여 가능한 모든 사용자가 자신에게 높은 Channel Gain, 즉, 높은 전송률을 보장하는 서브 채널을 할당 받을 수 있도록 하는 ASA 알고리즘을 제안하였다. 그리고 32개의 서브채널을 FRF (Frequency Reuse Factor) 1로 사용하는 환경 하에서 5ms의 Frame 마다 한번씩 AMC를 수행하는 Round Robin과 5ms 마다 한 번씩 AMC와 20 ms 마다 동적 채널 할당을 수행하는 ACG, RCG, GPF 그리고 본 논문에서 제안하는 ASA 알고리즘을 적용하여 Sector Throughput을 분석하였다.

그 결과 효율적인 동적 채널 할당을 수행하여 다른 알고리즘에 비하여 높은 Multiuser Diversity Gain을 얻을 수 있는 ASA 알고리즘이 Round Robin, ACG, RCG 그리고 GPF 알고리즘 보다 Sector Throughput이 각각 58%, 190%, 130% 그리고 8.5% 향상됨을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K.B. Letaief and

R.D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation," *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. 17, pp. 1747-1758, Oct. 1999.

- [2] D. Kivanc, G. Li, and H. Liu, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 2, pp. 1150-1158, Nov. 2003.
- [3] J. Jang and K.B. Lee, "Transmit power adaptation for multiuser OFDM system," *IEEE J. Select Area Commun.*, Vol. 21, pp. 171-178, Feb. 2003.
- [4] 차인석, "Reuse Partitioning 기반 OFDMA 시스템에서의 동적 채널할당을 고려한 효율적인 적응 전송 전력할당 알고리즘," 석사학위논문, 인하대학교, 정보통신대학원, 2005. 08.
- [5] CDG Evolution Study Report, Revision 4.00, Dec. 1999.
- [6] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.
- [7] 3GPP R1-030042, Update of OFDM SI simulation methodology, Jan. 2003.

**고 상 준 (SangJun Ko)**

준회원



2005년 2월 인하대학교 GIS 공학과 (공학사)  
 2005년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정  
 <관심분야> 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, WiBro 시스템 무선 전송규격, Dynamic Resource Allocation

**허 주 (Joo Heo)**

준회원



2002년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
 2004년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정  
 <관심분야> 4세대 이동통신 무선전송방식, Smart Antenna and MIMO, Radio Resource Management, Cross-layer Design

**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 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design