

802.16e OFDMA/TDD 셀룰러 시스템의 성능 최적화를 위한 부채널과 전송전력 결합 할당 알고리즘

Part I : 하향링크에서 공평성이 보장되는 수율 최대화 부채널 할당 알고리즘 및
잉여 전송전력의 효율적인 사용을 위한 전력할당 알고리즘

준회원 고 상 준*, 종신회원 장 경 희*, 정회원 김 재 형**

Capacity Optimization of a 802.16e OFDMA/TDD Cellular System using the Joint Allocation Algorithm of Sub-channel and Transmit Power

Part I : Sub-channel Allocation Algorithm for Throughput Maximization in the Downlink insuring Fairness
and Power Allocation Algorithm for efficient use of Extra Transmit Power efficiently

Sang-Jun Ko* *Associate Member*, Kyung-Hi Chang* *Lifelong Member*,
Jaehyeong Kim** *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 802.16e OFDMA/TDD 시스템의 하향링크에서 제안된 FASA (Fairness insured Aggressive Sub-channel Allocation) 알고리즘을 적용하여 사용자에게 적절한 부채널을 할당한 후, 제안된 Improved CHC 알고리즘을 통해 적절한 전송전력을 할당하는 결합할당 알고리즘을 제안한다. FASA 알고리즘은 선택된 사용자에게 최대의 채널 이득을 보장해줄 수 있는 복수개의 부채널이 존재할 경우, 그 중 주변 사용자들에게 가장 적은 채널 이득을 보장해주는 부채널을 선택된 사용자에게 할당함으로써 시스템의 Throughput을 최대화 시키는 알고리즘이다. 또한 본 논문에서 제안된 Improved CHC 알고리즘은 사용자에게 할당되는 하향링크 전송 전력 중, 잉여전력을 수거하고 재할당함으로써 시스템의 전송전력할당의 효율성을 최대화 시키는 알고리즘이다. Improved CHC 알고리즘을 통해 추가적인 Throughput 및 공평성의 향상을 얻을 수 있다.

Key Words : FASA, Improved CHC, Power Control, 802.16e, OFDMA

ABSTRACT

This paper solves the problem of finding a suitable sub-channel and power joint allocation method for multiple users in 802.16e OFDMA/TDD cellular systems. The joint allocation is that firstly the sub-channel is allocated to the users and then suitable power is allocated. We propose a FASA (Fairness insured Aggressive Sub-channel Allocation) algorithm which is a dynamic channel allocation algorithm considering all users' channel state information conditionally to maximize fairness and throughput. The improved CHC algorithm, which is dynamic power allocation algorithm, is also proposed in this paper. The Improved CHC algorithm collects the extra of the downlink transmit power and then re-allocates it to other users. Simulation results show that the proposed improved CHC algorithm additionally increases the fairness and sector throughput.

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (khchang@inha.ac.kr), ** 포스데이타 WiMAX/WiBro 시스템 개발부
논문번호 : KICS2006-07-300, 접수일자 : 2006년 7월 7일, 최종논문접수일자 : 2007년 3월 13일

I. 서 론

직교 주파수 분할 다중화 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM) 방식은 높은 전송 효율과 간단한 채널 등화 방식 때문에, 4세대 이동통신 시스템에 적용하기 적절한 방식중의 하나로서 주목 받고 있다. 또한 OFDM 에 기반을 둔 다중 사용자 접속 방식인 직교 주파수 분할 다중 접속 (OFDM-FDMA) 방식은 각 사용자에게 서로 다른 부반송파를 할당하는 다중 사용자 접속 방식으로서 사용자의 요구에 맞추어 다양하게 자원을 할당함으로써 다양한 QoS 를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다. OFDMA 방식은 IEEE 802.16a 의 표준 물리계층이며, 한국에서 활발히 연구되고 있는 초고속 휴대 인터넷의 무선 접속 방식으로 채택된 상태이다.

그러나 OFDMA 기반 셀룰러 시스템의 구축을 위해서는 아직도 많은 부분에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 하는데, 예를 들면 OFDMA 셀룰러 시스템의 커버리지를 증대시키기 위한 셀 계획법 연구 및 효율적으로 무선 자원을 관리하여 셀 용량을 증대시키는 자원 할당 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 그리고 사용자의 채널 정보를 이용하여 Modulation Level 및 동적 채널 할당과 같은 Link Adaptation 및 적응 변조 기법 연구 역시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 802.16e OFDMA/TDD 시스템에서 효율적인 자원관리를 위한 하향링크 및 상향링크의 동적 채널 할당 알고리즘과 동적 전력 할당 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 기존의 하향링크 동적 자원 할당 알고리즘 중 대표적인 알고리즘들을 최적 할당 알고리즘과 준최적 할당 알고리즘으로 나누어 살펴보고, 3장에서는 제안된 하향링크 동적 채널 할당 알고리즘 및 동적 전력 할당 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 모의 실험을 위한 환경 및 파라미터를 소개하고, 제안된 동적 자원 할당 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존의 동적자원할당 알고리즘

2.1 최적 할당 알고리즘

동적자원할당 알고리즘은 크게 최적 할당 알고리즘과 준최적 할당 알고리즘으로 구분된다. 최적 할당 알고리즘은 기지국이 모든 사용자가 요구하는

전송률을 만족시켜줄 수 있는 적절한 부반송파와 그에 따른 적절한 전력을 Lagrange Relaxation 을 통하여 동시에 구하는 기법이다^[1]. 그러나 복수의 사용자가 존재할 경우, Lagrange Relaxation 을 통한 계산은 매우 복잡하므로 실제 시스템에서는 구현하기 어려우므로 실제 시스템에서는 복잡도가 훨씬 낮은 준최적 할당 알고리즘을 통해 각 사용자에게 적절한 자원을 분배한다.

2.2 하향링크 준최적 할당 알고리즘

준최적 할당 알고리즘은 다음과 같은 세 단계로 수행된다.

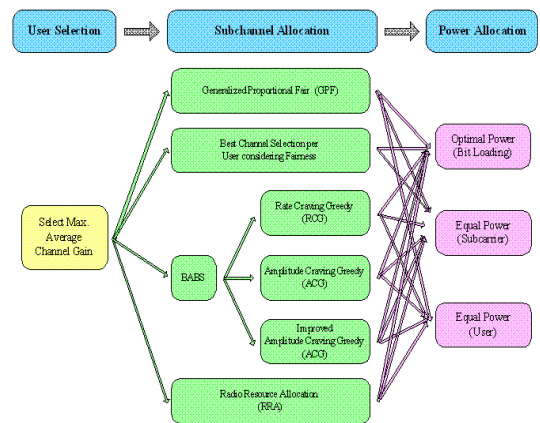


그림 1. 준최적 할당 알고리즘의 3단계.

2.2.1 사용자 선택 과정

사용자 선택 과정은 서비스를 요구하는 사용자들이 시스템의 용량을 넘어설 경우, 사용자들 중 순서적인 채널 이득이 상대적으로 좋은 사용자들을 우선적으로 선택하는 과정으로써 시스템 전체적인 측면에서의 성능을 높일 수 있게 된다. 또한 서비스를 요구하는 사용자들이 시스템의 용량을 넘지 않더라도 사용자들 중 채널 상황이 나빠서 자원을 할당해줘도 서비스를 받을 수 없는 사용자들을 제외 시키게 된다.

2.2.2 부채널 할당 알고리즘

부채널 할당 알고리즘은 선택된 사용자에게 부채널을 할당해주는 과정으로, 전체 송신 전력을 최소화 시키는 방식과 전송률을 최대화 시키는 방식으로 구분된다.

2.2.2.1 BABS 알고리즘

BABS (Bandwidth Assignment Based on SNR) 알고리즘은 전송전력 최소화 방식의 알고리즘이다^[2].

$$H_k = \left(\sum_{m=1}^M |H_k(m)|^2 / M \right) \quad (2-1)$$

식 (2-1)은 사용자 k의 평균 채널 이득을 나타낸다. 각 사용자로부터 피드백 받은 모든 부채널의 평균 채널 이득을 이용하여 각 사용자가현재 채널 상황에서 하나의 부채널로부터 제공받을 수 있는 전송률을 구해 각 사용자가 요구하는 전송률을 만족시켜줄 수 있는 부채널 수를 정한다.

$$m_k = \frac{R_{\min}^k}{R_{\max}} \quad (2-2)$$

식 (2-2)의 R_{\min}^k 은 k 번째 사용자의 최소 데이터 요구량이며, R_{\max} 는 k 번째 사용자가 하나의 부채널에서 얻을 수 있는 데이터 전송률이다. 즉, 각 사용자 별로 요구하는 데이터량과 채널 상황에 따라서 할당 받아야 할 부채널 수 m_k 를 정해주는 것이다.

모든 부채널의 채널 이득이 식 (2-1)과 같은 때, 각 부채널 별로 R_{\min}^k / m_k 의 전송률을 가져야 하며, 그에 따른 송신 전력의 총합은 식 (2-3)과 같다.

$$m_k f(R_{\min}^k / m_k) / H_k \quad (2-3)$$

m_k 는 k 번째 사용자에게 할당된 부채널의 수이며, $f()$ 는 전송률에 따른 요구 수신전력이다. 따라서 수신전력을 최소화 시킬 수 있는 m_k 집합을 찾기 위해서는 식 (2-4)를 만족하는 해를 찾아야 한다.

$$\begin{aligned} & \min \sum_{k=0}^{K-1} \frac{m_k}{H_k} f\left(\frac{R_{\min}^k}{m_k}\right) \\ & \text{s.t. } \sum_{k=0}^{K-1} m_k = M \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$m_k \in \left\{ \left\lceil \frac{R_{\min}^k}{R_{\max}} \right\rceil, \dots, M \right\}, \quad \forall k$$

BABS 알고리즘은 다음 2가지 가정을 전제로 하고 있다.

1. 시스템에 주어진 대역은 무한대에 가까워서 모든 사용자가 자신이 요구하는 데이터 전송률을 만족할 수 있는 충분한 대역이 존재한다.
2. 상대적으로 소수의 부채널을 할당 받은 사용자

보다 다수의 부채널을 할당 받은 사용자가 추가적으로 부채널을 할당 받을 때 소비되는 송신전력은 적다.

만약 각 사용자에게 할당될 부채널 수 m_k 의 총합이 전체 부채널 수를 넘을 경우 가장 적은 부채널을 할당 받은 사용자의 부채널 개수를 m_k 의 총합이 전체 부채널 수를 넘지 않을 때까지 하나씩 취소시킨다. 이는 2번째 가정과 관련된 것으로써 다수의 부채널을 할당 받은 사용자보다 적은 수의 부채널을 할당 받은 사용자의 부채널을 취소시킴으로써 얻는 송신전력 이득이 크기 때문이다. 또한 만약 각 사용자에게 할당될 부채널 수 m_k 의 총합이 전체 부채널 수보다 적을 경우, 가장 적은 추가 송신 전력 G_k 으로 부채널을 하나 더 할당할 수 있는 사용자에게 m_k 의 총합이 전체 부채널 수와 동일해질 때까지 추가로 할당한다. 이런 과정을 통해 각 사용자에게 할당할 부채널 수를 구한다.

2.2.2.2 RCG 알고리즘

BABS 알고리즘을 통하여 각 사용자 별 할당 받은 부채널 수가 정해진 후, RCG (Rate Craving Greedy) 알고리즘을 통해 사용자들에게 정해진 수만큼의 부채널을 할당한다^[2].

기지국은 각 부채널 별로 최대 전송률로 전송할 수 있는 사용자에게 부채널을 할당하며, 사용자 별 부채널의 수가 BABS 알고리즘을 통하여 미리 정해진 m_k 보다 큰 경우, 부채널을 정해진 수만큼 할당 받지 못한 사용자 가운데 시스템 전체 전송률의 손실을 최소화 할 수 있는 사용자와 해당 부채널을 찾아 부채널 재할당을 수행한다.

```

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
         $l^* \leftarrow \arg \min_{\{l \in C_k, m_k\}} \min_{0 \leq n \leq N-1} r_l(n) + r_l(n)$ 
         $n^* \leftarrow \arg \min_{0 \leq n \leq N-1} r_l(n) + r_l(n)$ 
         $C_k \leftarrow C_k \setminus \{l^*\}, C_{l^*} \leftarrow C_{l^*} \cup \{n^*\}$ 
    end while
end for
    
```

그림 2. RCG 알고리즘.

		User			
		#1	#2	#3	#4
Sub-channel	#1	X	1	2	3
	#2	X	6	3	5
	#3	6	2	4	1
	#4	5	9	1	8
	#5	3	4	6	2
	#6	8	7	8	6
	#7	2	3	5	4
	#8	1	5	X	7

그림 3. RCG 알고리즘의 수행 결과.

그림 3은 사용자에게 부채널 할당을 수행하는 과정을 도식화 한 것이다. 세로축은 부채널의 인덱스를 나타내며, 가로축은 사용자의 인덱스를 나타낸다

RCG 알고리즘은 전체적인 시스템의 손실을 최소화 하면서 모든 사용자에게 공평한 기회를 부여한다는 점에서 매우 뛰어난 알고리즘이다. 그러나 복잡한 부채널 할당과정을 두 번이나 반복적으로 수행해야 한다는 복잡도의 부담이 존재한다.

2.2.2.3 BCS 알고리즘

BCS (Best Channel Selection per user considering fairness) 알고리즘은 전송률 최대화 알고리즘의 일종으로써, BABS 알고리즘 대신 사용자들이 실제로 할당 받은 데이터 전송률을 고려하는 알고리즘이다^[3-5].

<p>User 1 Acquired Datarate / Required Datarate = 100 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>5</td><td>6</td><td>2</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	2	1	4	3	5	6	2	<p>User 2 Acquired Datarate / Required Datarate = 200 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>5</td><td>7</td><td>3</td><td>2</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	2	3	1	5	7	3	2
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
2	1	4	3	5	6	2																							
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
2	3	1	5	7	3	2																							
<p>User 3 Acquired Datarate / Required Datarate = 150 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>6</td><td>2</td><td>8</td><td>5</td><td>3</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	5	4	6	2	8	5	3	<p>User 4 Acquired Datarate / Required Datarate = 300 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>2</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	4	5	2	7	1	3	2
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
5	4	6	2	8	5	3																							
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
4	5	2	7	1	3	2																							

Smallest

User 1 :	$\frac{M_{Acquired}}{M_{Required}} = \frac{100}{400}$
User 2 :	$\frac{M_{Acquired}}{M_{Required}} = \frac{200}{400}$
User 3 :	$\frac{M_{Acquired}}{M_{Required}} = \frac{150}{400}$
User 4 :	$\frac{M_{Acquired}}{M_{Required}} = \frac{300}{400}$

그림 4. BCS 알고리즘의 사용자 선택.

우선 사용자가 현재까지 할당 받은 전송률의 합과 사용자 별 요구하는 전송률의 비가 가장 적은 사용자를 선택한다. 그림 4에서 네 명의 사용자가 모두 400 kbps 의 데이터 전송률을 요구하고 있다. 그러나 그 중 첫 번째 사용자가 현재까지 100 kbps 의 데이터를 할당 받았기 때문에 공평성을 고려하여 선택된다.

사용자를 선택한 후, 선택된 사용자의 부채널 중 가장 좋은 채널 이득을 보장해 주는 부채널을 할당해 준다.

<p>User 1 Acquired Datarate / Required Datarate = 100 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>5</td><td>6</td><td>2</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	2	1	4	3	5	6	2	<p>User 2 Acquired Datarate / Required Datarate = 200 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>5</td><td>7</td><td>3</td><td>2</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	2	3	1	5	7	3	2
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
2	1	4	3	5	6	2																							
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
2	3	1	5	7	3	2																							
<p>User 3 Acquired Datarate / Required Datarate = 150 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>6</td><td>2</td><td>8</td><td>5</td><td>3</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	5	4	6	2	8	5	3	<p>User 4 Acquired Datarate / Required Datarate = 300 / 400</p> <table border="1"> <tr><th>SC1</th><th>SC2</th><th>SC3</th><th>SC4</th><th>SC5</th><th>SC6</th><th>SC7</th></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>2</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> </table>	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	4	5	2	7	1	3	2
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
5	4	6	2	8	5	3																							
SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7																							
4	5	2	7	1	3	2																							

Select

그림 5. BCS 알고리즘의 부채널 할당.

위 그림 5는 선택된 사용자의 부채널 중 여섯 번째 부채널의 채널 이득이 가장 높음으로써 기지국이 첫 번째 사용자에게 여섯 번째 부채널을 할당해 주는 과정을 나타내는 것이다.

2.2.2.4 GPF 알고리즘

GPF (General Proportional Fair) 알고리즘은 개별 사용자들의 시간에 따른 채널의 변화가 서로 독립적인 것을 이용한 알고리즘이다^[6,7]. 즉, 각 사용자들의 채널 정보를 이용하여 Fairness 를 보장하고자 하는 알고리즘이다. GPF 알고리즘은 PF Metric 값을 설정하여 스케줄링을 수행하는데, 이 값은 현재 채널의 상태와 과거에 서비스 받은 전송률에 따라 결정된다. PF Metric은 다음 식과 같이 정의된다.

$$PF\ metric = \frac{R_k(t)}{T_k(t)} \quad (2-5)$$

$$T_k(t) = \left(1 - \frac{1}{T_c}\right) T_k(t-1) + \frac{1}{T_c} R_k(t-1) \quad (2-6)$$

위 식 (2-5)에서 $R_k(t)$ 는 현 시점에서 순시적으

로 얻을 수 있는 데이터 전송률이며, 식 (2-6)의 $T_k(t-1)$ 은 $(t-2)$ 시간까지 서비스 받은 데이터 전송률이며, $R_k(t-1)$ 은 $(t-1)$ 시점에 서비스 받은 데이터 전송률이다. 즉, 사용자가 현 시점까지 많은 데이터를 서비스 받았으면 우선 순위가 내려간다. 그러나 만약 그 사용자의 순시적인 채널 상황이 너무 좋다면 우선 순위가 다시 올라가는 개념이다. 그리고 T_c 는 평균을 취하는 시간상의 구간 범위 (Window)를 의미한다. 즉, 사용자의 채널 상황이 나빠졌을 경우, 채널 상황이 개선되기까지는 최소한 T_c 정도의 시간이 필요함을 의미한다.

2.2.3 전송전력 할당 알고리즘

전력 할당 방법은 대표적으로 Water Filling 알고리즘, EBPU (Equal Band Power per User) 알고리즘, EBP (Equal Band Power) 알고리즘이 있다. 그 중 Water Filling, EBPU 및 Power Control 은 사용자 채널 상태를 이용하여, 채널 이득에 알맞게 전력을 할당하는 방식이고, EBP 알고리즘은 채널의 상태와 상관없이 각 부채널 별로 균일한 전력을 할당하는 방식이다.

2.2.3.1 Water Filling 알고리즘

Water Filling 알고리즘은 사용자의 각 부채널의 채널 이득을 측정한 후, 채널 이득이 높은 부채널에 상대적으로 높은 전력을 할당해주는 알고리즘이다⁸⁾. 다중사용자 OFDM 시스템의 전체 전송률을 표현한 수식 (2-7)을 이용하여 Lagrange Relaxation 을통하여 채널 값에 따른 각 부채널에 할당될 전력을 구하면 다음 식과 같다.

$$P_{k^*}(m) = \begin{cases} s_{k_m} = \frac{N_0 B \Gamma}{M} \left[\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\alpha_{k_m}^2} \right]^+ & (2-7) \\ s_{k_m} = 0, & \text{for } k \neq k_m^* \end{cases}$$

위 식 (2-7)에서 $[x]^+$ 는 $\max\{x, 0\}$ 을 의미하고, α_{k_m} 는 k^* 사용자가 m 번째 부채널에서 얻는 채널 이득이며, λ_0 는 전체 전송 전력을 고려한 송신 전력 Threshold 이며, s_{k_m} 는 k^* 사용자가 m 번째 부채널에 할당 받은 송신 전력이며, $P_{k^*}(m)$ 는 m 번째 부채널에서의 송신전력을 의미한다. 즉, α_{k_m} 이 크면 클수록 시스템은 k^* 사용자의 m 번째 부채널에 더 많은 전력을 할당 하게 되는 것이다.

Water Filling 알고리즘은 λ_0 을 정확하게 구할 수 있는 명확한 방법이 없으며 λ_0 을 매 Scheduling 마다 계산해야 하는 계산량의 부담이 있게 된다.

2.2.3.2 EBP 알고리즘

EBP 알고리즘은 각 사용자의 채널 상태를 전혀 고려하지 않고 시스템의 모든 부채널에 동일한 전력을 할당해 주는 것이다⁸⁾.

$$P_{k^*}(m) = \begin{cases} s_{k_m} = \frac{\bar{S}}{M} & \text{for } m=1,2,\dots,M \\ s_{k_m} = 0, & \text{for } k \neq k_m^* \end{cases} \quad (2-8)$$

위 식 (2-8) 에서 전체 송신 전력 \bar{S} 을 전체 부채널 개수인 M 으로 나누어서 동일하게 할당하는 것을 알 수 있다.

2.2.3.3 EBPU 알고리즘

EBPU 알고리즘은 Water Filling 과 같이 사용자 별 부채널의 채널 정보를 이용하여 전력을 할당하는 방식이지만 부채널 별로 다른 전력을 할당 하지 않는다는 점에서 Water Filling 알고리즘 보다 계산량이 적다는 장점이 있다³⁾. 본 논문에서는 EBPU 알고리즘의 개념을 이용한 Improved CHC 알고리즘을 제안하였으며, 이는 제 3 장에서 자세히 설명 하도록 하겠다.

III. 제안된 동적자원할당 알고리즘

3.1 제안된 하향링크 동적채널할당 알고리즘

본 논문에서 제안하고 FASA 알고리즘은 사용자 선택과 선택된 사용자에게 부채널을 할당하는 두 단계로 이루어진다.

부채널을 할당받을 사용자의 선택은 각 사용자의 순시적인 채널 상황과 그 시점까지 서비스 받은 데이터 전송률을 고려하여, 공정성을 유지하면서 시스템의 데이터 전송률을 향상 시킬 수 있는 사용자를 선택한다. 선택된 사용자를 대상으로 부채널을 할당 해주는 방법에는 ASA (Aggressive Subchannel Allocation) 알고리즘을 적용한다⁹⁻¹¹⁾. 한 명의 사용자에게 할당된 부채널은 다른 사용자에게 재 할당 될 수 없으며, 각 사용자의 모든 부채널들의 채널정보는 양자화되어 기지국으로 전송되기 때문에, 동일한 채널정보를 가진 복수개의 부채널들이 존재할 수 있다. 즉, ASA 알고리즘은 선택된 사용자에게 동일한 채널이득을 보장해주는 복수개의 부채널이

존재할 경우, 그 중 다른 사용자들에게 가장 낮은 채널이득을 보장해주는 부채널을 선택된 사용자에게 할당해 주는 알고리즘이다.

ASA 알고리즘은 다음과 같은 세 단계를 통하여 수행된다.

첫째, 아직 다른 사용자에게 할당 되지 않은 부채널 중에서 선택된 사용자에게 가장 높은 채널 이득을 보장해주는 부채널을 찾는다

$$m^* = \arg \max_{m=0:M-1} (r_{k_{FASA},m}) \quad (3-1)$$

식 (3-1)에서 $r_{k_{FASA},m}$ 는 선택된 사용자 k_{FASA} 가 m 번째 부채널에서 보장 받을 수 있는 데이터 전송률이다. 전체 부채널 중 사용자 k_{FASA} 에게 가장 높은 데이터 전송률을 보장할 수 있는 부채널 은 m^* 이고, 이는 복수 개 존재할 수 있다.

둘째, 부채널 m^* 가 다른 사용자들에게 보장할 수 있는 데이터 전송률을 구한다.

$$R_{m^*} = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq k_{FASA}}}^{K-1} r_{k,m^*} = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq k_{FASA}}}^{K-1} \frac{q_{m^*}(k)}{T} \quad (3-2)$$

위 식에서 R_{m^*} 는 선택된 사용자를 제외한 모든 사용자들의 m^* 부채널에서 보장받을 수 있는 데이터 전송률의 합이다.

셋째, 식 (3-2)에서 구한 R_{m^*} 의 크기를 비교하고, 가장 작은 값 (즉, $m_{opt}^* = \arg \min(R_{m^*})$) 을 가지는 부채널을 선택된 사용자에게 할당한다. 즉, 다른 사용자에게 상대적으로 더 많은 채널이득을 보장해줄 수 있는 부채널을 남겨둠으로써 전체 시스템의 데이터 전송률을 높일 수 있다.

그러나 기존의 알고리즘들은 이와 같이 동일한 채널이득을 보장해 줄 수 있는 복수개의 부채널이 존재할 때, 이와 같은 고려 없이 가장 빠른 인덱스의 부채널을 선택된 사용자에게 할당해준다.

그림 6의 가로축은 사용자 세로축은 부채널 번호를 나타낸다. 그림 14 에서 나타난 각 사용자의 각 부채널 별 값은 채널 이득, 즉, 각 사용자에게 보장하는 전송률 $q_k(m)$ 을 나타낸다.

GPF 알고리즘에 의해 k_1 사용자가 선택되고, k_1 사용자 부채널 중 가장 높은 채널 이득을 가진 m_4 부채널을 k_1 사용자에게 할당해준다. 다음 k_2 사용자가 선택되고 그에게 m_3 부채널을 그리고 k_3 사용

	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄
m ₁	1	6	2	5
m ₂	2	6	6	8
m ₃	3	8	2	7
m ₄	9	3	6	4
m ₅	5	2	3	1
m ₆	2	2	1	6
m ₇	1	1	3	4
m ₈	2	7	2	9

	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄
m ₁	0	6	0	0
m ₂	0	0	6	0
m ₃	0	8	0	0
m ₄	9	0	0	0
m ₅	5	0	0	0
m ₆	0	0	0	6
m ₇	0	0	3	0
m ₈	0	0	0	9

그림 6. FASA 알고리즘 적용 예.

자에게는 m_2 부채널을 그리고 k_4 사용자에게는 m_8 부채널을 할당해준다.

$$r_{k_3,m_5} = r_{k_3,m_7} = 3 \quad (3-3)$$

그 후 GPF 알고리즘에 의해 k_3 사용자가 다시 선택되고 그의 부채널 중 m_5 과 m_7 부채널이 가장 높고 동일한 채널 이득을 보장해 준다. 그러므로 기지국은 k_3 사용자에게 둘 중 어떤 부채널을 할당해 줘야 할지 결정해야한다.

$$R_{m_5} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq k_3}}^4 \frac{q_{m_5}(k)}{T} = 8 \quad (3-4)$$

$$R_{m_7} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq k_3}}^4 \frac{q_{m_7}(k)}{T} = 6$$

식 (3-4)에서 볼 수 있듯이, 두 부채널 중 m_5 부채널 이 다른 사용자에게 더 많은 채널이득을 보장해줄 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 기지국은 k_3 사용자에게 m_7 부채널을 할당해 줌으로써 다른 사용자들이 m_5 부채널을 할당 받을 수 있는 기회를 보장해준다. 즉, FASA 알고리즘은 모든 사용자들이 가능한 자신에게 높은 채널 이득을 보장해줄 수 있는 부채널 을 할당 받음으로써 전체적인 시스템의 성능 및 공평성이 다른 알고리즘들에 비해 높다는 장점을 가지고 있다.

3.2 제안된 하향링크 동적전력할당 알고리즘

제안된 동적 전력 할당 알고리즘은 Improved CHC 알고리즘이다. 우선 기지국은 사용자들에게 부채널을 할당한 후, 기지국 최대 송신 전력을 모든 부채널에 동일하게 할당한다. 그 후, 다음과 같은 세 단계를 거쳐 전력을 재할당한다.

첫 번째 단계는 모든 사용자들을 세 개의 그룹으로 나누는 것이다. 세 그룹은 다음과 같다.

✓ Group 1 : 자신이 요구하는 데이터 전송률 $R_{req,min}$ 을 만족하는 사용자들의 그룹.

$$R_{k \in Group1} \geq R_{req,min} \quad (3-5)$$

✓ Group 2 : 자신이 요구하는 데이터 전송률 $R_{req,min}$ 을 만족 못하는 사용자들의 그룹.

$$R_{k \in Group2} < R_{req,min} \quad (3-6)$$

✓ Group 3 : 자신이 할당 받은 부채널의 평균 CINR 이 가장 낮은 MCS Level인 MCS_0 의 Target CINR 조차 만족하지 못하여 링크가 형성조차 안되는 사용자들의 그룹.

$$CINR_{k \in Group3} < CINR_{MCS_0} \quad (3-7)$$

두 번째 단계는 기지국이 각 사용자에게 할당한 전력 중 잉여 전력을 회수하는 과정이다. 전력을 회수당하는 대상은 Group 1과 Group 2의 사용자들이다. 만약 사용자 k 의 수신 CINR인 $CINR_k$ 가 MCS_{m-1} 의 Target CINR인 $CINR_{MCS_{m-1}}$ 보다 크다면 사용자 k 의

MCS 레벨은 MCS_{m-1} 이다.

$$CINR_{MCS_m} > CINR_k > CINR_{MCS_{m-1}} \quad (3-8)$$

여기서 사용자 k 의 수신 CINR인 $CINR_k$ 가 MCS_{m-1} 의 Target CINR인 $CINR_{MCS_{m-1}}$ 보다 크므로, 사용자 k 는 MCS_{m-1} 을 만족할 수 있는 전력보다 더 많은 잉여전력을 할당 받았다는 것을 의미한다. 따라서 다음 수식 (3-9)와 같이 사용자 k 에게서 MCS_{m-1} 을 만족하고 남은 잉여 전력을 수거한다.

$$Power_{Extra} \leftarrow (Power_k - Power_{CINR_{MCS_{m-1}}}) \quad (3-9)$$

즉, 기지국은 Group1과 Group2의 모든 사용자들의 각각 현재 MCS 레벨을 고려하여 식 (3-9)와같이 잉여전력을 수거한다.

세 번째 단계는 기지국이 수거한 하향링크 잉여 전력을 Group 2의 사용자들에게 재할당해주는 과정이다. 이 때 시스템의 Throughput을 최대화 하기 위해, 식 (3-10)과 같이 Group 2의 사용자들 중 상대적으로 가장 높은 MCS Level에 근접한 사용자

Initilization	Algorithm
1. Set of available subchannels : $A = \{0, 1, \dots, M-1\}$	Set user's priority ($k = 0 : K-1$)
2. For every user, the available set of subchannels are empty : $A_k = \{\}, \text{ for } k = 0, \dots, K-1$	$T_k(t) = \left(1 - \frac{1}{T_c}\right) T_k(t-1) + \frac{1}{T_c} R_k(t-1)$
3. Datarate of k^{th} user's at n^{th} sub-channel : $r_{k,n}$	$PF \text{ metric}_k = \frac{R_k(t)}{T_k(t)}$
	end $k_{FASA} = \arg \max_k PF \text{ metric}_k$ $m^* = \arg \max_{r_{k_{FASA}, m}} (m = 0 : M-1)$
	If k_{FASA} has multiple m^* , $m_{opt}^* \leftarrow \arg \min_{k=0, k \neq k_{FASA}} \left(\sum_{k=0}^{K-1} \frac{q_{m^*}(k)}{T} \right)$
	else $m_{opt}^* \leftarrow m^*$
	end
	Result update $A_{k_{FASA}} \leftarrow A_{k_{FASA}} \cup \{n_{opt}^*\}$
	$R_k(t) \leftarrow r_{k_{FASA}, n_{opt}^*}$
	$A \leftarrow A - \{n_{opt}^*\}$

그림 7. FASA 알고리즘

k^* 에게 우선적으로 전력을 할당한다.

$$k^* = \arg \max_{k \in \text{Group2}} (MCS_k) \quad (3-10)$$

전력을 재할당 받을 사용자를 선정한 후, 해당 사용자의 MCS 레벨을 한 단계 올리기 위해서는 얼마의 전력이 필요한지 식 (3-11)과 같이 계산한다.

$$Power^* = Power_{MCS_{k^*+1}} - Power_{MCS_{k^*}} \quad (3-11)$$

식 (3-11)에서 $Power_{MCS_{k^*}}$ 는 선택된 사용자 k^* 의 현재 MCS 레벨이며, $Power^*$ 는 사용자 k^* MCS 레벨을 한 단계 올리기 위해서 필요한 추가 전력이다. 만약 현재 기지국이 보유하고 있는 총 잉여전력보다 $Power^*$ 가 작다면, 기지국은 잉여전력 $Power^*$ 을 사용자 k^* 가 할당 받은 부채널들에게 동등하게 추가 할당해준다. 그림 8은 제안된 Improved CHC 알고리즘의 세 단계 중 전력을 재할당 하는 부분의 Pseudo Code 이다.

```

while (PowerExtra > 0)
    k* = arg max ( MCSk )
        k ∈ Group2
    Power* = PowerMCSk+1 - PowerMCSk

    if ( PowerExtra ≥ Power* )
        Powerk* ← Powerk* + Power*
        PowerExtra ← PowerExtra - Power*
    else ( PowerExtra < Power* )
        Powerk* ← Powerk* + PowerExtra
        PowerExtra ← 0

    if ( Rk* ≥ Rreq, min )
        Group 2 ← Group 2 - k*
        Group 1 ← Group 1 ∪ k*
end while
    
```

그림 8. Improved CHC 의 전력 재할당 과정.

위 그림 8에서 볼 수 있듯이, 기지국은 총 잉여전력을 Group 2의 사용자들에게 모두 재할당해줄 때까지 위와 같은 과정을 반복하게 된다. 또한 전력을 할당 받음으로써, 자신이 요구하는 Data Rata를 충족하게 되는 사용자들은 Group 2의 명단에서 제외된다.

제안된 Improved CHC 알고리즘은 기지국이 총 송신전력을 각 사용자들이 할당 받은 부채널에 배분함에 있어, 전력의 효율성을 최대화 시킴으로써 시스템 전체 Throughput 을 향상시킨다. 또한 자신

이 요구하는 Data Rata를 만족 못하는 사용자들에게 우선적으로 잉여전력을 재할당함으로써 사용자들 간의 공평성을 높이고 QoS를 높게 보장한다.

IV. 모의 실험을 통한 성능분석

4.1 모의 실험을 위한 주요 고려사항

시스템의 간섭 모델을 설정하기 위한 CNR은 식 (4-1)과 같다^[12,13]. 식 (4-1) 에서, G는 웨도잉과 Path-loss만을 고려한 Geometry이고, $\{\gamma_j\}$ 는 보호구간 안에 존재하는 구분가능한 Multi-path Fading Component이며, 프레임 구간에서의 평균 값으로 한다. $\{\psi_k\}$ 는 보호구간 밖에 존재하는 구분가능한 Multipath Fading Component이며, 마찬가지로 프레임 구간에서의 평균 값으로 한다.

$$(C/N)_{\text{OFDM}} = \frac{\sum_{j=1}^J \|\gamma_j\|^2}{G^{-1} + \sum_{k=1}^K \|\psi_k\|^2} \quad (4-1)$$

단말과 기지국간의 거리에 따른 감쇄 성분을 나타내는 Path loss는 다음과 같이 표현된다^[14].

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

여기서, D는 단말과 기지국간의 거리 (Km), Δh_b 는 기지국의 높이 (m), f는 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 감쇄효과는 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 상관 관계를 고려하여야 한다. 각 셀의 단말과 해당 기지국간 Shadowing의 Correlation은 1.0으로, 각 셀의 단말과 인접 기지국간의 Correlation은 0.5로 한다.

Path Loss 와 Shadowing을 포함한 단말과 각 기지국 간 하향 링크의 감쇄는 식 (4-3)과 같은 방법

으로 모델링 된다¹⁵⁾.

$$L = k_0 D^{-u} 10^{X/10} R^2 \quad (4-3)$$

여기서, D는 단말과 기지국 간의 거리(km), u는 경로 감쇄 Exponent, R은 안테나 이득, X는 평균은 0 이고 표준편차는 σ 인 가우시안 확률변수이다. $K_0 D^{-u}$ 는 선형 Path Loss값을 나타낸다. X는 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 는 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 가우시안 확률변수이다. 그러므로, X는 식 (4-4)와 같이 표현된다.

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

여기서, 서로 다른 셀의 섹터간 Shadowing 값은 Correlation이 0.5 를 적용한다.

3 Sector /cell 에서 최대 안테나 이득은 15 dBi 로 설정되며, 각각의 섹터에서 사용된 Antenna pattern 다음과 같이 정의된다¹⁶⁾.

$$A(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad (4-5)$$

where $-180 \leq \theta \leq 180$
 min[] : Minimum Function
 θ_{3dB} : 3dB Beamwidth
 $A_m = 20$ dB : Maximum Attenuation.

그림 9는 3 섹터 안테나 패턴이다.

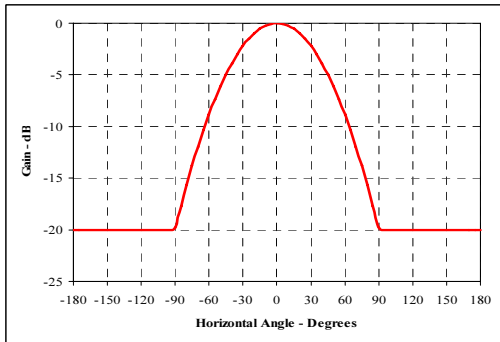


그림 9. 3 Sector Antenna Pattern.

Background Noise는 다음과 같이 설정된다.

$$\begin{aligned} N_0 &= kTF = 1.38 \times 10^{-23} \times 293 \times F \\ &= -174 \text{ (dBm / Hz)} + NF \text{ (dB)} \\ &= -167 \text{ (dBm / Hz)} \end{aligned} \quad (4-6)$$

$$NF \text{ (Noise Figure)} = 7 \text{ dB}$$

$$N_0 B = -167 + 39.9 = -127.1 \text{ dBm/Carrier} \quad (4-7)$$

$$B = 10 \text{ MHz} / 1024 = 9.765625 \text{ kHz}$$

표 1. 각 MCS Level 별 PER 10^{-1} Target CINR

Modulation Order	Coding Rate	Target CINR
QPSK	1/12	-5.17
	1/8	-3.17
	1/4	-0.17
	1/2	2.83
	2/3	4.39
16 QAM	1/2	7.43
	2/3	9.89
64 QAM	1/2	12.82
	2/3	15.29

4.2 모의 실험 환경 및 파라미터

인접섹터가 간섭으로 작용하는 시스템 레벨 간섭 분석 시뮬레이션을 위하여, 그림 10과 같은 Hexagonal 셀로 구성된 2-Tier 다중 셀 환경을 고려한다. 이 경우의 다중 셀 환경은 중앙의 Victim Cell을 포함하여 총 19개의 셀로 각 셀은 3개의 섹터로 구성되어 총 57개의 섹터로 이루어진다. 또한 각 기지국은 Hexagonal 셀의 중심에 위치하고, 각 기지국 간 거리는 2R 동일하다고 가정하며 각 Sector 의 FRF (Frequency Reuse Factor) 는 1이다. 시뮬레이션을 수행할 시 중앙의 Victim Cell 에는 단말군을 1000번 이상 Uniform 하게 발생시킴으로써 이동성과 유사한 효과를 발생시키며, 주변 Cell 의 Interferer 단말군은 한 번만 발생시킨다. 그

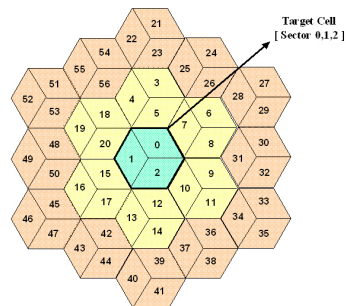


그림 10. 2 Tier Cell Environment.

리고 CINR 계산시 Victim Cell 의 사용자들은 자신의 Sector로부터는 Multi-path Fading 을 겪고, 타 Sector로부터의 간섭은 Path Loss, Shadowing, Antenna Pattern 만을 고려한다.

표 2는 시뮬레이션에서 적용된 기본 OFDM 시스템 파라미터를 나타낸다. 표 3은 2-Tier 다중 셀 환경에서의 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다^[12].

표 2. 기본 OFDM 시스템 변수.

Item	OFDM System Parameters
Bandwidth	8.75 MHz
Sampling Frequency	10 MHz
Sampling Period	100 nsec
FTT Size	1024
Used Sub-carrier	864
Data Sub-carrier	768
Pilot Sub-carrier	96
Sub-carrier Spacing	9.765625 KHz
Effective Symbol Time	102.4 us
OFDM Symbol Time	115.2 us
TDD Frame Time	20 ms
Symbol / Frame	42
Downlink Symbol	27
Uplink Symbol	15
Sub-channel / 1 Symbol	24
Sub-carrier / Sub-channel	36

표 3. 시스템 레벨 간섭 분석 시뮬레이션 Parameters.

Item	Sub-Item	Parameter	Value
Link Modeling	Freq. Band	Carrier Frequency	2.3 GHz
		Effective B.W	8.75 MHz
	BS Tx Side	BS Tx power	43.0 dBm
		BS Tx Antenna Gain	15 dBi
		BS Cable Loss	3 dB
		BS Max EIRP	55 dBm
	MS Rx Side	BS Rx Antenna Gain	0.0 dBi
		BS Thermal Noise	-174.0 dBm / Hz
		MS Noise Figure	7.0 dB
		Frame Sync	Perfect
	Channel Model	Path Loss Model	ITU Veh.
		Shadowing	Std. Dev. 10 dB
Input Parameter		# of Cells	19
		Cell Configuration	Hexagonal
		Cell Radius	1 km
		# of Users	12
		Position	Uniform

4.3 하향링크 동적자원할당 모의 실험 결과

본 절에서는 하향링크에서 동적채널할당 알고리즘만 적용한 경우와 동적전력할당 알고리즘도 적용했을 경우의 성능을 Throughput 및 Fairness 의 관점에서 비교 분석하였다. 그림 11은 동적채널할당 알고리즘만 적용했을 경우의 각 알고리즘 별 Sector Throughput을 나타낸다. 사용자들의 채널정보를 이용하지 않는 RR (Round-robin) 의 경우 다른 알고리즘에 비해 낮은 Throughput을 보이고 있다.

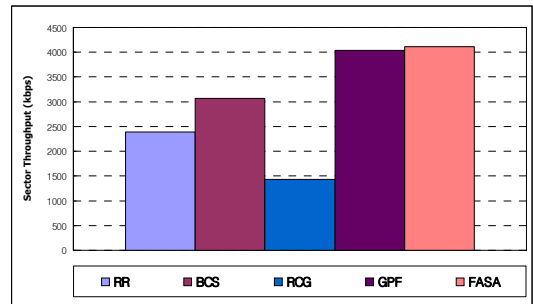


그림 11. 동적채널할당 알고리즘간의 Throughput 비교

특히 이론적으로 복잡도는 매우 높지만 성능은 매우 높은 RCG 알고리즘의 Throughput 이 매우 낮음을 볼 수 있다. 이는 RCG 알고리즘 자체의 문제가 아니라 BABS 알고리즘에 따른 문제이다. 우선 BABS 알고리즘은 모든 사용자가 원하는 데이터 전송률을 서비스 받을 수 있는 무한대의 채널이 있다고 가정한다. 그리고 전송전력 최소화를 위한 알고리즘의 특성 때문에 채널 상황이 나쁜 사용자들이 우선적으로 더 많은 채널을 할당 받게 된다.

즉, BABS 알고리즘의 기본 가정처럼 무한대의 채널이 존재한다면 상관없지만, 실제 시스템의 경우 채널이 제한되어있으므로 오히려 채널 상황이 좋은 사용자들이 채널을 거의 할당 받지 못하게 된다. 이런 이유로 인해 RCG 알고리즘의 성능이 낮다.

본 논문에서 제안한 FASA 알고리즘의 경우 사용자의 순시적인 채널 상황과 서비스 받은 데이터 전송률을 동시에 고려하여 사용자를 선택하고, 다른 모든 사용자의 채널 상황을 고려하여, 선택된 사용자에게 가장 적절한 부채널을 할당해주기 때문에 Round-robin 보다는 약 82%의 Throughput 향상을 보이고 있으며, GPF 알고리즘 보다는 약 4.9%의 Throughput 향상을 보이고 있다. 그림 12는 각 동적채널할당 알고리즘에 의한 사용자 별 서비스 받은 데이터 전송률이고, 그림우측의 표는 각 알고리즘

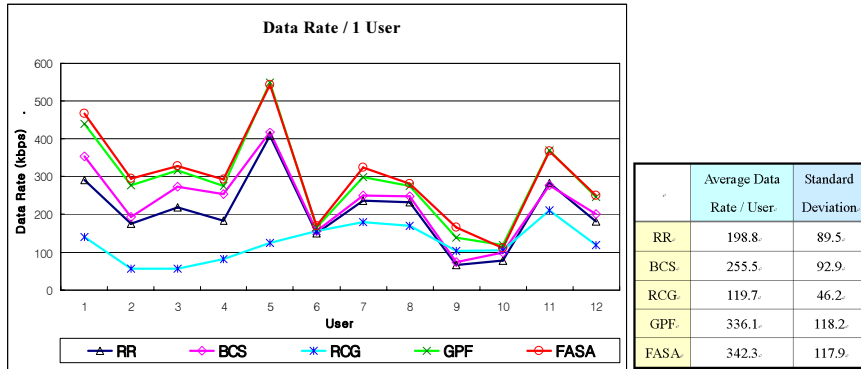


그림 12. 동적채널할당 알고리즘간의 Fairness 비교

즘의 표준편차를 나타 내고 있다. 표준편차가 낮을 수록 공평성이 높은 것이다. RCG 알고리즘의 경우, BABS 에 의해 채널 상황이 나쁜 사용자들에게 집중적으로 부채널을 할당해줌으로 인해 공평성이 매우 높음을 볼 수 있다. FASA 알고리즘은 GPF 알고리즘에 비하여 공평성이 높음을 알 수 있다. 이는 FASA 에 의해 모든 사용자가 가능한 자신에게 높은 채널 이득을 보장하는 부채널을 할당 받을 수 있게 하기 때문이다.

그림 13은 FASA 알고리즘을 통해 동적채널할당을 수행한 후 사용자의 잉여 전력을 회수함에 있어, 각각 50%, 60%, 70%, 80% 의 전력은 남겨두고 나머지 50%, 40%, 30%, 20% 의 전력만을 회수했을 경우의 결과이다. Preamble 을 통한 채널 정보는 시간이 경과함에 따라 변화하기 때문에 Margin 이 없이 사용자의 잉여

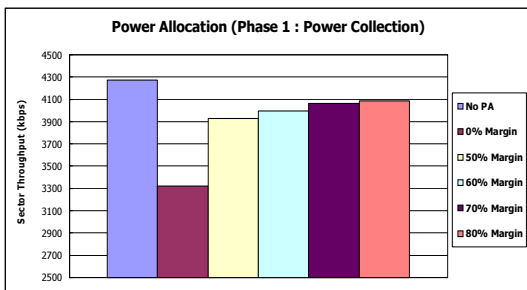


그림 13. Improved CHC 알고리즘의 Phase 1 수행 결과.

전력을 회수할 경우 사용자들의 수신 CINR 을 낮추게 되는 경우가 발생한다. 이로 인해 Sector Throughput 이 많이 저하되는 것을 볼 수 있다. 즉, 채널의 변화를 감안하여 어느 정도의 Margin 을 두고 잉여 전력을 회수해야 하는 것이다. 잉여 전력을

적게 회수할수록 성능 저하가 둔화되는 것을 그림 13에서 볼 수 있다. 그림 14는 기지국이 회수한 잉여 전력을 Group 2 의 사용자들에게 할당한 결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이 50% 와 70% 의 전력을 남기고 나머지를 회수한 후 다시 재할당해주는 경우의 Throughput 이 가장 높게 나왔으며, 60% 의 전력을 남기고 나머지 40%의 전력을 재할당 해주는 경우는 너무 많은 전력의 수거로 인해 오히려 시스템의 Throughput 이 낮게 나왔으며, 80%의 전력을 남기고 나머지 20%의 전력을 재할당 해주는 경우는 너무 적은 재할당 전력으로인해 시스템의 성능이 낮다.

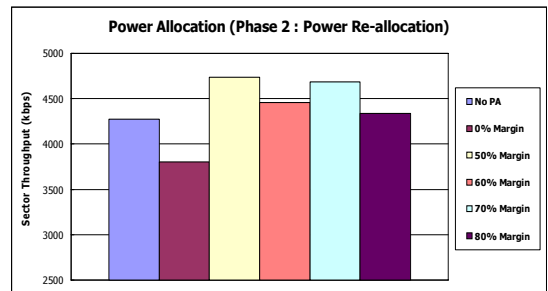


그림 14. Improved CHC 알고리즘의 Phase 1&2 수행결과.

그림 15에서 Improved CHC 알고리즘을 적용한 후, 시스템의 전체 Throughput 이 향상된 은 물론 사용자들간의 표준편차가 줄어들었음을 알 수 있다. 즉, Improved CHC 알고리즘에 의해 Throughput 향상과 더불어 공평성도 향상된 것이다.

또한 Improved CHC 알고리즘을 적용하기 전에는 시스템 최소 요구 데이터 전송률인 256 kbps (Threshold) 를 넘지 못하는 사용자들이 다수 존재 했으나, Improved CHC 알고리즘을 적용한 후에는

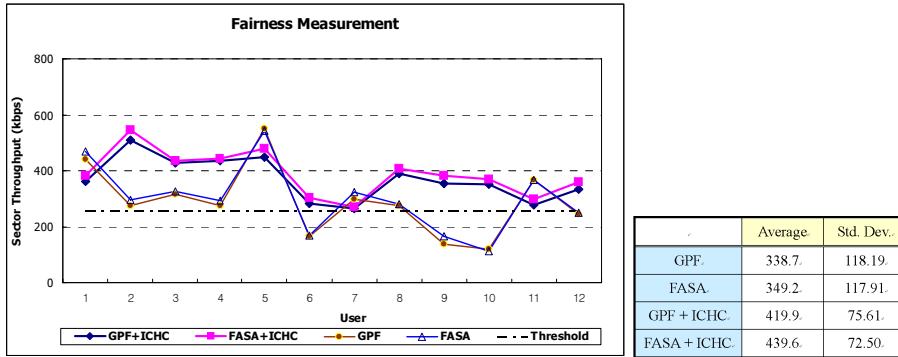


그림 15. Improved CHC 알고리즘 수행 후의 동적채널할당 알고리즘간의 Fairness 비교

모든 사용자들의 평균 Throughput 이 256 kbps 를 넘고 있다는 것이다. 이는 모든 사용자들을 256 kbps 를 만족하는 사용자와 만족 못하는 사용자 그리고 이에 서비스를 받을 수 없는 사용자 세 그룹으로 나눈 후 256 kbps 를 만족하는 사용자들의 잉여 전력을 회수하여 256 kbps 를 넘지 못하는 사용자들에게 재 할당해준 결과이다.

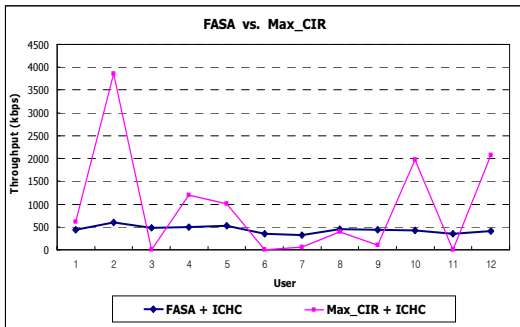


그림 16. FASA 와 Max CIR 의 Fairness 비교

그림 16에서 볼 수 있듯이 Max CIR 알고리즘은 전체적인 시스템의 Throughput 은 매우 높음에 반해 사용자들간의 Fairness 가 매우 낮음을알 수 있다. 그에 반해 FASA 는 사용자들간의 Fairness 가 매우 높다.

그림 17은 Round-robin 알고리즘과 GPF 알고리즘과 FASA 알고리즘을 통해 동적 채널 할당을 수행하고 Improved CHC 알고리즘 (Margin 50%)을 통해 동적 전력 할당을 수행한 결과이다. FASA 알고리즘이 Round-robin 에 비해서는 142.3% 정도의 Sector Throughput 증가를 보였고 GPF 에 비해서는 5.6 % 의 Sector Throughput 향상을 볼 수 있다.

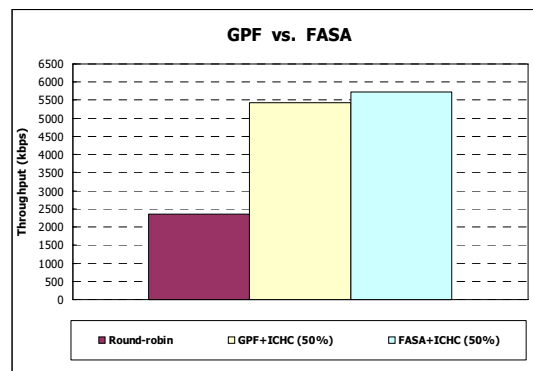


그림 17. FASA 와 GPF의 Throughput 비교

V. 결론

본 논문에서는 802.16e OFDMA/TDD 셀룰러 시스템의 하향링크Sector Throughput 과 공평성을 향상시키기 위한 하향링크 동적자원할당 알고리즘을 제안한다.

제안된 FASA 알고리즘은 사용자의 순서적인 채널 상황과 서비스 받은 데이터 전송률을 동시에 고려하여 사용자를 선택하고, 다른 모든 사용자의 채널 상황을 고려하여, 선택된 사용자에게 가장 적절한 부채널을 할당해주는 동적채널할당 알고리즘이다. 제안된 Improved CHC 알고리즘은 채널 상황기반으로 사용자들을 세 그룹으로 분류하고, 기지국의 잉여송신전력의 수거 및 재할당을 통해 동적전력할당을 수행함으로써 전력의 효율성을 높여 시스템의 Throughput 및 공평성을 향상시킨다. 모의실험을 통해 하향링크 환경에서는 FASA 알고리즘이 Round-robin 보다는82%, BCS 알고리즘 보다는 38%, 그리고 GPF 알고리즘 보다는 7.9% 의 Throughput 향상을 볼 수 있다. 그리고 FASA 알고

리즘의 경우 Improved CHC 알고리즘을 통해 25% 정도의 추가적인 Throughput 향상 및 높은 공평성의 향상을 볼 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Cheong Yui Wong, Cheng, R.S., Lataief, K.B., and Murch, R.D., "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, pp. 1747-1758, Oct. 1999.

[2] Kivanc, D., G. Li, and Hui Liu, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA," *IEEE Transaction on Wireless Commun.*, pp. 1150-1158, Nov. 2003.

[3] J. Heo, I.S. Cha, and K.H. Chang, "A novel transmit power allocation algorithm combined with dynamic channel allocation in reuse partitioning-based OFDMA/FDD system," in *Proc. IEEE ICC*, June 2006, WC52-4.

[4] J. Heo, S.H. Park, and K.H. Chang, "An effective downlink resource allocation for supporting heterogeneous traffic data in an OFDM/SDMA-based cellular system," in *Proc. GLOBECOM*, Nov. 2006.

[5] J. Heo and K.H. Chang, "Transmit and receive beam forming for OFDMA/TDD system," *International Symposium on Antenna and Propagation*, Aug. 2005, pp.27-30.

[6] Aniba G. and Aissa S, "Adaptive proportional fairness for packet scheduling in HSDPA," in *proc. IEEE GLOBECOM*, Nov. 2004, pp. 4033-4037.

[7] Wengerter, C., Ohlhorst, J., and Elbwart, A.G.E., "Fairness and throughput analysis for generalized proportional fair frequency scheduling in OFDMA," in *proc. IEEE VTC Spring*, May 2005, pp.1903-1907.

[8] Jiho Jang and Kwang Bok Lee, "Transmit power adaptation for multiuser OFDM systems,"

IEEE J. Selected Areas in Commun., pp. 171-178, Feb. 2003.

[9] S.J. Ko, J. Heo, and K.H. Chang, "Aggressive sub-channel allocation algorithm for intelligent transmission in multi-user OFDMA system," *LNAI, KES (International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems)*, Oct. 2006.

[10] S.J. Ko, J. Heo, and K.H. Chang, "Aggressive sub-channel allocation algorithm for efficient dynamic channel allocation in multi-user OFDMA system," in *Proc. PIMRC*, Mar. 2006.

[11] 고상준, 허 주, 장경희, "다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 사용자간 전송효율 최적화를 위한 aggressive sub-channel allocation 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, pp. 617-626, 2006. 06.

[12] IEEE P802.16e / D11-2004 IEEE Standards for local and metropolitan area networks part 16 : Air interface for fixed broadband wireless access systems.

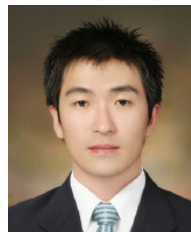
[13] 3GPP R1-030042, Update of OFDM SI Simulation Methodology, Jan. 2003.

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

[15] CDG Evolution Study Report, Revision 4.00, Dec. 1999.

고 상 준 (Sang-Jun Ko)

준회원



2005년 2월 인하대학교 GIS 공학 (공학사)

2007년 2월 인하대학교 정보통신 대학원 (공학석사)

2007년 3월 ~ 현재 LG 전자 단말 연구소

<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, WiBro 시스템 무선 전송규격, Dynamic Resource Allocation

Dynamic Resource Allocation

장 경 희 (Kyung-Hi Chang)

중신회원



1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1992년 8월 : Texas A & M Univ., EE Dept. (Ph.D.)

1989년~1990년 : 삼성종합기술

원 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, Cooperative Relaying System

김 재 형 (Jaehyeong Kim)

정회원



1988년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1996년 8월 : University of California, Los Angeles, Electrical Engineering (Ph.D.)

1996년~2004년 : Wireless Advanced Technology Laboratory, Lucent Technologies

2004년~현재 : 포스데이타, FLYVO 연구소
WiMAX/WiBro 시스템 개발부 선행기술연구팀장 (수석연구원)

<관심분야> 채널 코딩 및 변조, 통신시스템 신호처리, Power Amplifier Predistortion, 차세대 무선통신 시스템구조