

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

Part II : 상향링크에서 Channel Sounding을 통한 부채널 할당 및 사용자의 수율에 따른 초기전송전력 결정 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 II : Sub-channel Allocation in the Uplink Using the Channel Sounding and Initial Transmit Power Decision Algorithm According to the User's Throughput

SangJun Ko* Associate Member, KyungHi Chang* Lifelong Member,
JaeHyeong Kim** Regular Member

요 약

본 논문에서는 802.16e OFDMA/TDD 셀룰러 시스템에서 Sector Throughput과 Fairness를 향상시키기 위한 상향링크 동적자원할당 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 설명하기에 앞서 상향링크 채널 정보의 차이를 언급하고, Round-robin 알고리즘에 사용자의 위치에 따라 할당 받을 수 있는 부채널 수를 제한하는 기존의 FLR 알고리즘과 전송전력 최소화 또는 전송률 최대화 Inner Closed-loop Power Control 알고리즘을 적용함으로써 10% 정도의 Throughput과 공평성 측면에서 높은 성능 향상을 볼 수 있다. 또한 상향링크 채널 사운딩을 통한 상향링크 채널 정보를 이용하여 FASA 알고리즘을 수행함으로써 FLR 을 적용한 Round-robin에 비하여 31.8%의 Sector Throughput이 향상되었다. User Selection, 부채널 할당 알고리즘, 전력할당 알고리즘과 Simulation Methodology 등은 Part I 논문에서 이미 언급한 바와 같다.

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

ABSTRACT

In this paper, we propose an uplink dynamic resource allocation algorithm to increase sector throughput and fairness among users in 802.16e OFDMA TDD system. In uplink, we address the difference between uplink and downlink channel state information in 802.16e OFDMA TDD system. The simulation results show that not only an increment of 10% of sector throughput but higher level of fairness is achieved by round-robin using the FLR and the rate / margin adaptive inner closed-loop power control algorithm. The FLR algorithm determines the number of sub-channels to be allocated to the user according to the user's position. Also, we get 31.8% more sector throughput compared with the round-robin using FLR by FASA algorithm using uplink channel state information. User selection, sub-channel allocation, power allocation algorithms and simulation methodology are mentioned in Part I.

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (khchang@inha.ac.kr), ** 포스데이타 WiMAX/WiBro 시스템 개발부
논문번호 : KICS2007-01-032, 접수일자 : 2007년 1월 26일, 최종논문접수일자 : 2007년 9월 1일

I. 서론

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 방식으로 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. II장에서

는 기존의 상향링크 동적 자원 할당 알고리즘을 살펴보고, III장에서는 제안된 상향링크 동적 채널 할당 알고리즘 및 동적 전력 제어 알고리즘을 소개한다. IV장에서는 모의 실험을 위한 환경 및 파라미터를 소개하고, 제안된 동적 자원 할당 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존의 동적자원할당 알고리즘

2.1 최적 할당 알고리즘

동적자원할당 알고리즘은 크게 최적 할당 알고리즘과 준최적 할당 알고리즘으로 구분된다. Wong 은 모든 사용자의 요구전송률을 만족하면서, 송신 전력의 총 합을 최소화 할 수 있는 방법을 찾기 위해 Lagrange Relaxation을 사용한 최적 할당 알고리즘을 제안하였다¹¹. 즉, 최적 할당 알고리즘은 기지국이 모든 사용자가 요구하는 전송률을 만족시킬 수 있는 적절한 부반송파와 그에 따른 적절한 전력을 Lagrange Relaxation을 통하여 동시에 구하는 기법이다. 그러나 복수의 사용자가 존재할 경우, Lagrange Relaxation을 통한 계산은 매우 복잡하므로 실제 시스템에서는 구현하기 어렵다. 그러므로 실제 시스템에서는 최적 할당 알고리즘의 목적을 수행하면서 복잡도는 훨씬 낮은 준최적 할당 알고리즘을 통해 각 사용자에게 적절한 자원을 분배한다.

2.2 상향링크 준최적 할당 알고리즘

2.2.1 FLR 알고리즘

FLR (Full Loading Range) 알고리즘은 기지국이

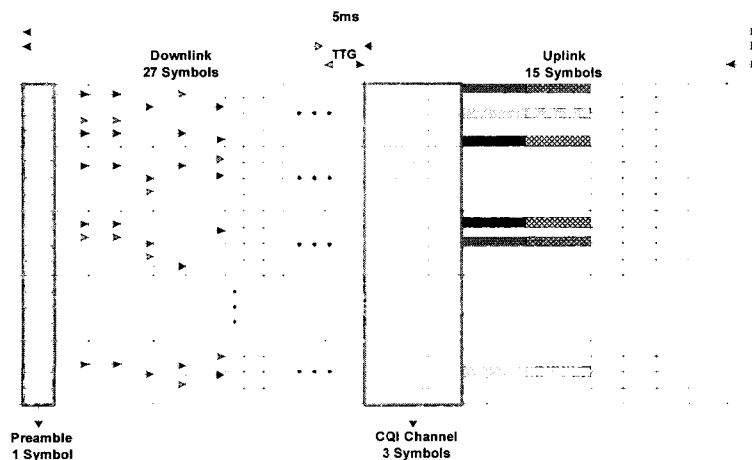
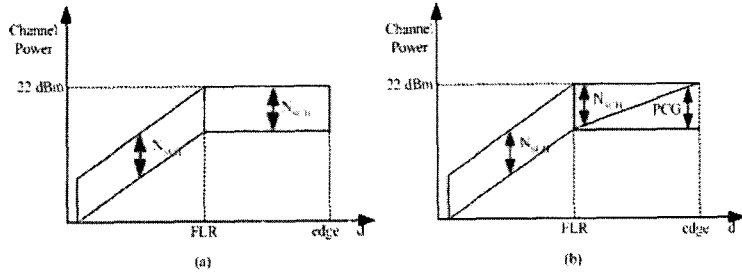


그림 1. 802.16e OFDMA/TDD System Frame Structure.



(a) PCG를 사용하지 않는 경우 (b) PCG를 사용한 경우
 그림 2. FLR 알고리즘.

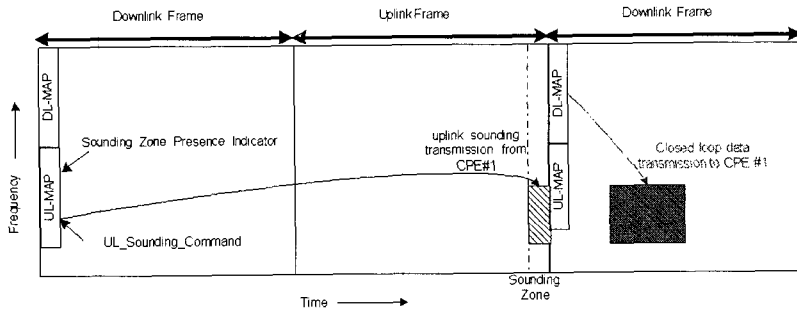


그림 3. 상향링크 채널 사운딩 방법.

각 사용자의 거리를 주기적인 Ranging 정보를 사용하여 측정할 후, 각 사용자에게 거리에 따라 할당 받을 수 있는 부채널의 수인 N_{SCH} 를 제한해 주는 알고리즘이다^[2,3]. 참고문헌 [3]에서 기술된 FLR 알고리즘은 Throughput과 Fairness에 대한 성능결과를 보이지 않았으나, 본 논문의 FLR 알고리즘은 Throughput과 Fairness Issue들이 고려된 알고리즘이다. 하향링크와 달리 상향링크 사용자는 자신이 할당 받은 부채널에 자신의 전력을 나누어서 송신한다. 즉, 기지국으로부터 일정거리 이상 떨어진 사용자가 너무 많은 부채널을 할당 받았을 경우, 각 부채널에 할당되는 전력이 너무 작아 오히려 Target CINR을 만족하지 못하는 경우가 생긴다.

그림 2는 FLR 알고리즘을 나타내고 있다. 모든 부채널을 할당 받아도 상관없는 거리인 FLR 이후의 사용자들은 자신들이 할당 받을 수 있는 부채널 개수인 N_{SCH} 를 줄임으로써 잉여전력 PCG (Power Concentration Gain)를 발생시킨다.

그림 2의 (a)는 PCG를 사용하지 않았을 경우 FLR 밖에서도 N_{SCH} 가 일정할 때는 기지국과 단말기 사이의 거리에 무관하게 송신전력이 일정하기 때문에 Path Loss가 증가하여 기지국 안테나에 수신된 신호의 전력이 부족하여 Target CINR을 만족

시키지 못한다. 그러나 (b)와 같이 PCG를 사용할 경우 FLR 밖에서는 단말기의 위치에 따라 N_{SCH} 를 제한시키면 PCG 이득을 발생시킬 수 있으며, 이를 이용하여 부채널 당 전력을 증가시킴으로써 기지국 안테나에 수신되는 신호의 부채널당 전력을 일정하게 유지할 수 있으므로 단말기의 위치에 따라서 N_{SCH} 와 PCG 이득을 제어하면 시스템의 상향링크 성능을 보장할 수 있다.

2.2.2 상향 링크 채널 사운딩 방법

이 절에서는 사용자가 상향링크에서 채널 사운딩 파형을 전송하여 TDD 상호성의 가정하에 기지국 대 사용자의 채널 정보를 결정하는 신호방식에 대하여 설명하겠다. 이 방법은 CSIT (Channel State Information Transmission) 가능 단말만이 지원할 수 있고 또한 이를 통해 Closed-loop 전송 방식을 사용할 수 있다. 이 절에서 설명하는 방법을 통해 기지국은 전송 및 수신 하드웨어가 적절히 교정되는 경우 상향링크 채널 정보를 측정하고, 측정된 정보를 통해 하향링크의 채널정보를 예측할 수 있다. 또한 사용자는 이동 환경에서 하향링크 채널 정보를 예측하기 위해 주기적으로 사운딩 신호를 전송하도록 명령을 받을 수 있다.

각 사용자에게 사운드링 주파수 대역을 할당하는 방법은 다음과 같다. 첫 번째 방법은 각 사용자가 사운드링 할당 내에서 모든 Sub-carrier를 점유하게 된다. 이 방법을 사용하여 다수의 사용자가 아래에 정의된 바와 같이 동일한 사운드링 시퀀스를 사용하나, 각 사용자는 다른 주파수 도메인 위상 변환을 통해 근본적인 사운드링 시퀀스를 증가시킨다. 각 사용자의 시퀀스는 다음 수식에 의하여 정해진다.

$$S_{m}(k) = S_u(k)e^{-j\frac{2\pi kn}{P}} \quad (2-1)$$

여기서 k 는 점유된 Sub-carrier의 인덱스이고, L_s 는 점유된 Sub-carrier의 수, p 는 최대 Cyclic Shift 인덱스이고, n은 0부터 p-1까지의 범위를 갖는 할당된 Cyclic Time Shift 인덱스이다. 또한 p와 n은 Sounding 명령으로부터 정해진다. 길이가 L_s (18의 배수)인 시퀀스 $S_u(k)$ 는 Offset u 만큼 시퀀스 $S(k)$ 를 Cyclic Shift하여 얻게 된다. 시퀀스 $S(k)$ 는 다음 그림 4의 Golay 시퀀스의 하위 시퀀스로 이진수 표현이며, 시작위치는 그림 5에 주어진 Offset(Ls)을 통해 정해진다.

0xd8c5, 0xda3b, 0xdb5, 0x25c5, 0xdbc5, 0xda3b, 0x243b, 0xda3b, 0xdb5, 0xda3b, 0xdb5,
0x25c5, 0x243b, 0x25c5, 0xdb5, 0x25c5, 0xdb5, 0xda3b, 0xdb5, 0x25c5, 0xdb5, 0xda3b,
0x243b, 0xda3b, 0x243b, 0x25c5, 0xda3b, 0xdb5, 0x25c5, 0xda3b, 0x243b, 0xda3b, 0xdb5,
0xda3b, 0xdb5, 0x25c5, 0xdb5, 0xda3b, 0x243b, 0xdb5, 0xda3b, 0xdb5, 0x25c5, 0x243b,
0x25c5, 0xdb5, 0x25c5, 0x243b, 0x25c5, 0x243b, 0xda3b, 0x243b, 0x25c5, 0xdb5,
0x243b, 0x25c5, 0xdb5, 0x25c5, 0x243b, 0x25c5, 0x243b, 0xda3b, 0x243b, 0x25c5, 0xdb5,
0x25c5, 0xdb5, 0x25c5, 0xdb5, 0x25c5, 0x243b, 0xdb5, 0xda3b, 0x243b, 0xda3b,
0x243b, 0x25c5, 0x243b, 0xda3b, 0xdb5, 0xda3b, 0x243b, 0x243b, 0x25c5, 0x243b,
0xda3b, 0x243b, 0x25c5, 0xdb5, 0x25c5, 0x243b, 0x25c5, 0x243b, 0xda3b, 0xdb5, 0xda3b,
0x243b, 0xda3b, 0xdb5, 0xda3b, 0xdb5, 0x25c5, 0xdb5, 0xda3b, 0x243b, 0xda3b,
0x25c5, 0x243b, 0x243b, 0xdb5, 0x243b, 0x243b, 0x243b, 0x243b, 0x243b, 0x243b,

그림 4. Golay Sequence of Length 2048 Bits.

Length	Offset	Length	Offset	Length	Offset	Length	Offset	Length	Offset
15	44	30	172	54	364	87	1476	1170	906
30	119	62	446	112	767	202	1539	2358	1876
45	140	94	434	130	423	218	514	328	172
60	3	160	1707	148	1067	296	311	474	1770
75	57	228	740	196	1171	394	363	642	1541
90	478	300	109	244	1154	502	1100	816	130
105	32	414	1473	262	1153	600	107	928	384
120	475	486	96	320	1154	708	128	104	1547
135	162	660	28	428	1138	816	509	1314	100
150	141	840	1473	536	652	944	577	1335	442
165	744	1020	507	774	671	1022	1264	1350	407
180	784	1200	949	792	671	1090	1270	1368	406
195	96	1512	1536	910	641	1098	1153	1386	410
210	574	1800	187	928	640	1116	164	1404	387
225	305	2100	1510	1016	639	1134	939	1422	376
240	18	2400	736	1104	1407	1152	1537	1440	367

그림 5. Length dependent Offsets.

2.2.3 Power Control 알고리즘

Power control은 주어진 대역 내에서 Target MCS Level을 만족시키기 위하여 사용자에게 제한된 전력 내에서 적절한 송신전력을 정해주는 과정이다.

2.2.3.1 Inner-loop Power Control

Inner-loop Power Control에서는 사용자가 할당 받은 부채널 별 수신 CINR이 주요 변수로 작용하며, Closed Loop Power Control과 Open-loop Power Control로 구분된다^[4].

2.2.3.1.1 Closed-loop Power Control

기지국은 사용자가 할당 받은 부채널의 CINR을 측정한다. 그 후, 기지국은 사용자의 수신 CINR과 Target CINR를 비교하여 조정할 사용자의 전력량을 결정한다. 결정된 전력 조정량을 사용자에게 통보하면 사용자는 이를 다음 번 Scheduling 시에 고려하여 새로운 송신전력을 결정한다.

$$BS : \Delta P = CINR_{Target} - CINR_{Rx} \quad (2-2)$$

$$SS : P_{new} = P_{old} + \Delta P$$

식 (2-2)는 이와 같은 과정을 dB Scale을 바탕으로 표현한 것이다.

2.2.3.1.2 Open-loop Power Control

기지국은 시스템의 NI(Noise Interference) Level 과 각 MCS Level에 따른 Target CINR을 Broadcasting 한다. 사용자는 기지국의 EIRP (Effective Isotropic Radiation Power)와 하향링크 Preamble을 이용하여 측정된 RSSI (Received Signal Strength Indication)의 차를 이용하여 Path Loss 를 구한다. 측정된 Path Loss 값과 NI와 Target CINR 값을 이용하여 사용자가 자신의 송신 전력을 결정한다.

$$SS : PL_{DL} = BS_{EIRP} - RSSI \quad (2-3)$$

$$SS : P_{new} = PL_{DL} + NI + CINR_{Target}$$

식 (2-3)은 이와 같은 과정을 dB Scale 을 바탕으로 표현한 것이다.

2.2.3.2 Outer-loop Power Control

Outer-loop Power Control은 CRC (Cyclic

Redundancy Check)를 통해서 Target CINR을 조정하는 과정으로 수행된다 [4]. 만약 CRC가 Error인 경우에는 사용자의 Target CINR 을 높여줌으로써, 해당 사용자가 Inner-loop Power Control을 통해 보다 높은 전력으로 송신하게끔 하는 것이다. 그러나 CRC가 Error가 발생하지 않은 경우에는 해당 사용자의 Target CINR을 낮춰준다. 이로써 Inner-loop Power Control을 통해 보다 낮은 전력으로 송신함으로써 다른 사용자들에게 미치는 간섭의 영향을 작게 하는 것이다.

$$CINR_{Target, New} = CINR_{target, Old} + Offset_{SS} \quad (2-4)$$

$$Offset_{SS} = Offset_{SS} + \Delta_{UP} : CRC Error$$

$$Offset_{SS} = Offset_{SS} - \Delta_{DN} : CRC OK$$

III. 제안된 동적자원할당 알고리즘

3.1 제안된 상향링크 동적 채널 및 전력제어 알고리즘

본 절에서는 802.16e 시스템의 상향링크 특성을 파악하고, ITU-R M.1225 Vehicular Path Loss 모델을 적용하여 거리에 따른 FLR Look-up Table을 도출하는 FLR 알고리즘과 상향링크 채널 사운딩을 통한 상향링크 채널정보를 이용한 상향링크 동적 채널 할당을 제안한다. 그리고 사용자가 전송한 데이터량에 따른 적응적 Power Control 알고리즘을 제안하겠다^[2-4].

3.1.1 제안된 상향링크 채널 사운딩 방법

상향링크 는 총 15개의 Symbol로 구성되어 있으며, 그 중 처음 3 Symbol은 CQI 채널용으로 쓰인다. 즉, 나머지 12개의 Symbol을 데이터 Symbol로 사용한다^[5]. 상향링크 Scheduling은 하향링크의 경우와 다음과 같은 차이점이 있다. 첫째, 하향링크의 Preamble 처럼 채널 정보를 측정할 수 있도록 별도로 마련된 Symbol 구간이 없다. 둘째, 간섭환경이 다르다. 즉, 하향링크는 주변 기지국으로부터 간섭을 받지만, 상향링크의 경우에는 주변의 다른 사용자들로부터 간섭을 받는다. 셋째, 하향링크 의 경우 송신할 수 있는 총 전력이 20W 임에 반해 상향링크의 경우 사용자가 송신할 수 있는 총 전력은 200mW이다.

이와 같은 상하향링크의 차이점 때문에, 상향링크

크에서의 채널 정보는 그림 6과 같이 하향링크와는 다르다.

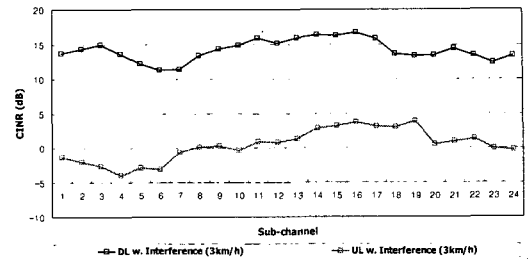


그림 6. 인접 셀 간섭에 의한 상하향링크의 채널정보 차이.

즉, 상향링크에서도 채널 정보를 이용한 동적자원할당 알고리즘을 사용하기 위해서는 상향링크 채널 사운딩을 통한 상향링크 채널 정보를 직접 상향링크 동적 자원 할당에 적용해야 한다.

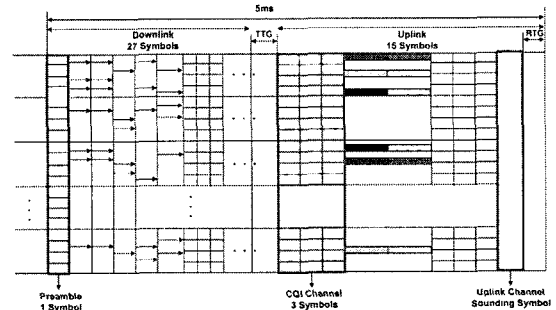


그림 7. 상향링크에서 정확한 동적 자원 할당을 위해 제안된 Frame 구조

위 그림 7은 Preamble을 이용한 하향링크 동적 자원 할당과 채널 사운딩을 이용한 상향링크 동적 자원 할당을 지원하기 위해 본 논문에서 제안하는 Frame 구조이다.

3.1.2. 제안된 전력 제어 알고리즘

본 논문에서 제안하는 전력제어 알고리즘은 기존의 Inner-closed Loop Power Control 알고리즘을 적용하기 위해서 초기전송전력을 결정함에 있어, 사용자가 할당 받은 Data Rate를 고려하는 방식이다.

$$BS : P_{Tx_SCH} = P_{User,Total} / N_{SCH} \quad (3-1)$$

$$SS : P_{New, Tx_SCH} = P_{Tx_SCH}$$

사용자가 자신이 요구하는 데이터 전송률보다 적은 양을 서비스 받은 시점에서는 식 (3-1)과 같은

전송률 최대화 Inner Closed-loop 전력 제어 알고리즘을 통해 초기 송신전력을 자신의 최대 전력으로 한다. 예를 들면, 최대 전송 전력이 100이고 요구하는 전송률을 만족 못한 사용자가 FLR 에 의해 정해진 할당 부채널 수가 4개 이하 전체 부채널 수의 제한으로 인해 실제 할당 받은 부채널의 수가 2개 라고 가정하자. 즉, FLR 에 따르면 각 부채널 당 25 (100/4) 의 전력을 할당하여 전송해야 하지만, 실제 할당 받은 부채널 수가 2개 이므로 각 부채널 당 50 (100/2) 의 전력을 할당하여 자신의 총 전력을 모두 사용하여 초기 전력을 정하는 것이다. 그러나 자신이 요구하는 데이터 전송률을 이미 만족한 사용자들은 식 (3-2)와 같은 전송전력 최소화 Inner Closed-loop 전력 제어 알고리즘을 적용함으로써 초기 전송전력을 최소화한다. 위와 동일한 예를 들면 사용자는 각 부채널 당 25 (100/4)의 전력만을 할당하여 전송함으로써 자신의 총 전력 중 50%를 남겨 두는 것이다.

위와 같은 두 가지 전력제어 방식을 이용하여 사용자의 초기 전력을 정한 후, 기존의 방식대로 각 심볼마다 새로운 송신전력을 1dB 씩 조정한다.

$$BS : P_{Tx_SCH} = P_{User.Total} / N_{SCH, Look-up Table} \quad (3-2)$$

$$SS : P_{New, Tx_SCH} = P_{Tx_SCH}$$

IV. 모의 실험을 통한 성능분석

4.1 모의 실험을 위한 주요 고려사항

시스템의 간섭 모델을 설정하기 위한 CNR은 식 (4-1)과 같다^[6].

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

식 (4-1) 에서, G는 쉐도잉과 Path-loss만을 고려한 Geometry이고, $\{\gamma_j\}$ 는 보호구간 안에 존재하는 구분 가능한 Multi-path Fading Component이며, 프레임 구간에서의 평균값으로 한다. $\{\psi_k\}$ 는 보호구간 밖에 존재하는 구분 가능한 Multi-path Fading Component이며, 마찬가지로 프레임 구간에서의 평균값으로 한다.

단말과 기지국간의 거리에 따른 감쇄 성분을 나타내는 Path loss는 다음과 같이 표현된다 [7].

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

여기서, D는 단말과 기지국간의 거리 (Km), Δh_b 는 기지국의 높이 (m), f는carrier 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 상관 관계를 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 하향 링크의 감쇄는 식 (4-3)과 같은 방법으로 모델링 된다^[8].

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

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 Z₁과 각 기지국에 독립적인 확률 변수 Z₂의 Weight Sum으로 표현된다. 두 확률변수 Z₁과 Z₂는 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 0.5를 적용한다.

3 Sector/cell에서 최대 안테나 이득은 15 dBi로 설정되며, 각각의 섹터에서 사용된 Antenna pattern 다음과 같이 정의된다^[8].

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

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

(4-5)

그림 8은 3 섹터 안테나 패턴이다.

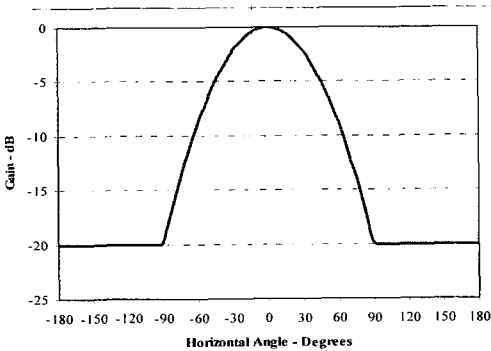


그림 8. 3 Sector Antenna Pattern.

Background Noise는 다음과 같이 설정된다.

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

(4-6)

NF (Noise Figure) = 7dB

$$N_0 B = -167 + 39.9 = -127.1 \text{ dBm/Carrier}$$

(4-7)

B = 10MHz / 1024 = 9.765625 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 9와 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 Sector의 FRF (Frequency Reuse Factor) 는 1이다. 시뮬레이션을 수행할 시 중앙의 Victim Cell에는 단말군을 1000번 이상 Uniform하게 발생시킴으로써 이동성과 유사한 효과를 발생시키며, 주변 Cell의 Interferer 단말군은 한 번만 발생시킨다. 그리고 CINR 계산시 Victim Cell의 사용자들은 자신의 Sector로부터는 Multi-path Fading을 겪고, 타 Sector로부터의 간섭은 Path Loss, Shadowing, Antenna Pattern 만을 고려한다.

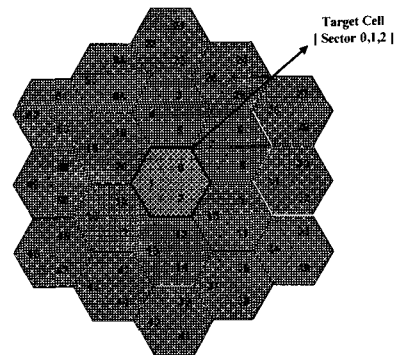


그림 9. 2 Tier Cell Environment.

표 2. 기본 OFDM 시스템 변수.

Item	OFDM System Parameters
Bandwidth	8.75 MHz
Sampling Frequency	10 MHz
Sampling Period	100 nsec
FFT 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

표 2는 시뮬레이션에서 적용된 기본 OFDM 시스템 파라미터를 나타낸다. 그리고 표 3은 2-Tier 다중 셀 환경에서의 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다⁵¹.

4.3 모의 실험 결과

본 절에서는 FLR 알고리즘과 전송전력 최소화 또는 전송률 최대화 Inner Closed-loop 전력 제어 알고리즘의 성능을 살펴보고, 채널 사운딩을 이용한 동적 자원 할당의 결과를 살펴보겠다.

하향링크와 상향링크는 서로 상이한 채널 특성을 가지고 있으므로 채널 사운딩을 사용하지 않는 경우에는 Ranging 정보를 이용하여 사용자의 위치 정보를 얻고, 이를 이용하여 각 사용자 별로 할당 받을 부채널 수인 N_{SCH} 를 정해주는 FLR 알고리즘을 적용한다.

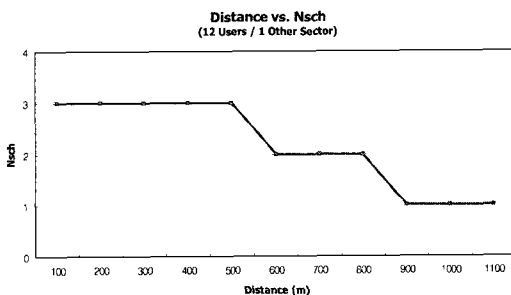


그림 10. Look-up Table : Distance vs. NSCH.

그림 10은 Target CINR 은 -5.17 dB (QPSK 1/12)이고 인접한 Sector 에 사용자가 12명씩 위치하고 있는 환경에서 Path Loss 만을 고려했을 시의 사용자 거리 별 부채널 할당 개수이다. 간단히 설명을 하자면 100m 이내에 위치하는 사용자는 전체 부채널 중 3개의 부채널 만을 할당 받았을 경우 평균적으로 -4.67 dB 정도의 수신 CINR 을 가지게 되고, 4개의 부채널을 할당 받았을 경우 평균적으로 -6.14 dB 정도의 수신 CINR 을 가지게 된다. 즉, Target CINR 인 -5.13 dB 를 유지하기 위해서는 4 개 이상의 부채널을 할당 받으면 안된다. 위와 같은 Look-up Table 을 사용자들에게 적용시키기 위해서는 다음과 같은 상황을 고려해야 한다.

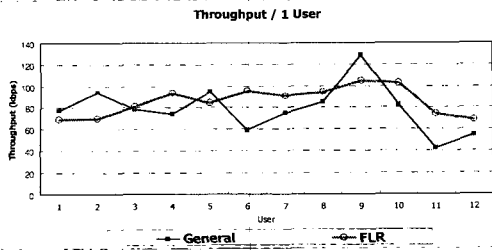
1. 모든 사용자의 N_{SCH} 의 합이 시스템의 총 부채널 수를 넘을 경우.
2. 모든 사용자의 N_{SCH} 의 합이 시스템의 총 부채널 수보다 적을 경우.

첫 번째 경우에는 어떤 사용자부터 우선적으로 N_{SCH} 를 정해주는 문제가 중요하다. 만약 기지국으로부터 가장 가까운 거리에 위치하는 사용자 우선으로 N_{SCH} 를 정해주게 되면 셀의 외곽에 위치한 사용자는 한 개의 부채널도 할당 못 받을 수 있다. 이런 경우 시스템의 Throughput은 증가하겠지만 전체 사용자의 공평성은 유지가 되지 않는다. 따라서 첫 번째 경우에는 셀 외곽에 위치한 사용자 우선으로 N_{SCH} 를 정해줌으로써 공평성을 최대로 유지한다.

두 번째 경우에는 모든 사용자에게 N_{SCH} 를 정해주고 난 뒤에도 여분의 부채널이 생길 경우, 사용자들에게 할당을 해줄 것인지 여부를 정해야 한다. 만약 이미 N_{SCH} 가 정해진 사용자에게 추가적인 부채널을 할당할 경우 해당 사용자는 고정된 전력으로 인해 자신이 할당 받은 부채널 각각에 배분하는 전력이 작아지게 된다. 즉, 오히려 부채널을 더 사용함으로써 Target CINR을 만족할 수 없는 경우가 생기게 된다.

따라서 본 논문에서는 첫 번째 경우에는 셀 외곽에 위치한 사용자에게 우선적으로 N_{SCH} 를 할당해주고, 두 번째 경우에는 추가적으로 정해주지 않는다. 그 후 각 사용자에게 Round-robin을 통해 정해진 개수의 부채널 수만큼 부채널을 할당하고, 전송 전력 최소화 또는 전송률 최대화 Inner-closed Loop 전력 제어를 수행한다.

그림 11에서 General Case 는 12명의 사용자가 총 24개의 부채널을 각각 2개씩 사용하는 경우이고,



	Total (kbps)	Std. Dev.
General	941.05	21.27
FLR	1025.41	12.76

그림 11. 상향링크 Scheduling에 FLR과 변형된 Inner Closed-loop 전력 제어를 적용시킨 결과.

FLR Case는 12명의 사용자가 그림 10의 Look-up Table에 따라 각 사용자 별로 다른 개수의 부채널을 할당 받고 변형된 Inner-closed Loop 전력 제어를 수행한 경우이다. FLR을 적용했을 경우 일반적인 Round-robin의 경우보다 시스템 전체 Throughput의 향상은 10% 정도지만 사용자들간의 Fairness는 훨씬 높아졌다. 즉, FLR을 적용함으로써 모든 사용자가 자신의 채널 환경에 맞는 부채널 수만을 할당 받게 되고 이를 통해 시스템의 Fairness가 향상되었다.

여기서 Fairness란 사용자들이 시스템 자원을 얼마나 공평하게 사용 가능한지에 대한 측정량 측정량이며, 본 논문에서는 다음과 같은 Fairness Metric을 사용한다.

$$FM = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (R_{k,Req} - R_{k,Acq})^2}{K}} \quad (4-8)$$

여기서, K는 사용자 Index, $R_{k,Req}$ 와 $R_{k,Acq}$ 은 각 사용자의 요구되는 최소 Data Rate와 획득된 Data Rate를 나타낸다.

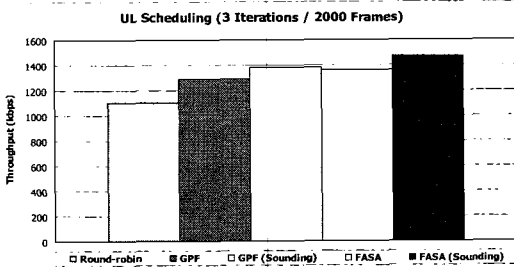


그림 12. Uplink 동적 자원 할당 알고리즘의 결과.

위 그림 12는 상향링크 채널 사운딩을 통한 상향링크 채널 정보를 이용하여 Scheduling을 수행한 결과이다. 위 결과는 FLR 을 통한 Look-up Table 을 적용하여 사용자가 할당 받을 수 있는 부채널의 개수를 정해준 후 Round-robin 알고리즘을 통해 동적 채널할당을 수행한 결과와 하향링크 채널정보를 이용하여 GPF 알고리즘과 FASA 알고리즘을 적용시킨 경우와 채널 사운딩을 통한 상향링크 채널 정보를 이용하여 GPF 알고리즘과 FASA 알고리즘을 적용시켰을 때의 결과를 비교한 것이다 [9,10]. 하향링크 채널 정보를 이용했을 경우, FLR 을 적용한 Round-robin에 비하여 GPF 알고리즘은 16.3 % 그리고 FASA 알고리즘은 22.7 % 의 Sector Throughput이 향상되었다. 또한 채널 사운딩을 통한 상향링크 채널정보를 이용한 경우, FLR 을 적용한 Round-robin 에 비하여 GPF 알고리즘은 25.4 % 그리고 FASA 알고리즘은 31.8 % 의 Sector Throughput이 향상되었다. 이를 통해 좀더 정확한 채널 정보를 이용하여 동적 채널 할당을 수행함으로써 성능이 향상된다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 802.16e OFDMA/TDD 셀룰러 시스템에서 Sector Throughput과 공평성을 향상시키기 위한 상향링크 동적자원할당 알고리즘을 제안한다.

상향링크에서는 하향링크 채널 정보를 이용한 동적자원할당의 어려움을 언급하고, 거리 별 할당 부채널 개수를 정해주는 기존의 FLR 알고리즘과 전송전력 최소화 또는 전송전력 최대화 Inner-closed Loop Power Control 알고리즘을 적용하여 시스템의 공평성을 증가시키고 상향링크 채널 사운딩을 이용한 동적 자원 할당을 제안한다.

모의실험을 통해 상향링크 환경에서는 FLR 알고리즘과 전송전력 최소화 또는 전송를 최대화 Power Control을 통해 10% 정도의 Throughput 향상을 볼 수 있고, 공평성 측면에서 높은 성능 향상을 볼 수 있다. 또한 상향링크 채널 정보를 이용한 동적 채널 할당을 수행함으로써 FLR 알고리즘이나 하향링크 채널 정보를 이용한 경우보다 더 높은 Throughput 을 얻을 수 있다.

참고 문헌

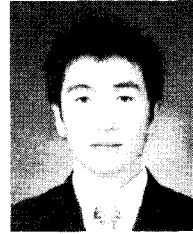
[1] Cheong Yui Wong, Cheng, R.S., Lataief, K.B.,

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] Daeho Kim, YounOk Park and Whan Woo Kim, "Design and performance analysis of 802.16a based OFDM modem for high speed personal internet," *in proc. JCCI*, April 2004.
- [3] Daeho Kim and Whan Woo Kim, "Uplink sub-channel allocation and power control algorithm using ranging information in high speed portable internet system," *KICS Journal*, pp. 729-736, Sept. 2005.
- [4] In-Seok Hwang, Jang-Hoon Yang and Soon-Young Yoon, "An uplink power control algorithm for WiBro systems," *in proc. JCCI*, April 2006.
- [5] IEEE P802.16e / D11-2004 IEEE Standards for local and metropolitan area networks part 16 : Air interface for fixed broadband wireless access systems.
- [6] 3GPP R1-030042, Update of OFDM SI Simulation Methodology, Jan. 2003.
- [7] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.
- [8] CDG Evolution Study Report, Revision 4.00, Dec. 1999.
- [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, 장경희, 김태형, "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," *한국통신학회 논문지*, pp. 247-260, 2007. 03.

고 상 준 (SangJun Ko)

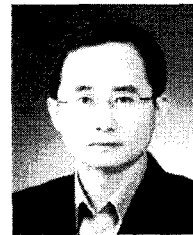
준회원



2005년 2월 인하대학교 GIS 공학 (공학사)
 2007년 2월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)
 2007년 3월~현재 LG 전자 단말 연구소
 <관심분야> 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, WiBro 시스템 무선 전송규격, Dynamic Resource Allocation

장 경 희 (KyungHi Chang)

중신회원



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, Cooperative Relaying System, RFID 및 USN

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 : 포스데이터, FLYVO 연구소 WiMAX/WiBro 시스템 개발부 선행기술연구팀장 (수석연구원)
 <관심분야> 채널 코딩 및 변조, 통신 시스템 신호처리, Power Amplifier Predistortion, 차세대 무선통신 시스템구조