

CR을 위한 OFDMA 기반 적응 전송 방식

김윤희 · 김광순\*

경희대학교 전자정보학부 ·  
\*연세대학교 전기전자공학부

요 약

CR은 사용자 환경의 실시간 조건에 따라 무선 파형을 적응시킴으로써 주파수 스펙트럼을 유연하고, 효율적이며, 신뢰성 있게 활용하는 지능적인 무선 통신 방식을 의미한다. 한편, 무선 채널의 다양한 특성에 따라 시간 및 주파수 영역에서 자원의 동적 할당이 가능한 OFDMA 방식은 CR 시스템에 잘 부합되는 방식이라 할 수 있다. 본 고에서는 무선 환경에서 주파수 효율을 증대시키기 위해 OFDMA 기반 적응 전송 방식의 기술 동향을 살펴보고, 사용자 환경에 좀 더 지능적으로 대처하는 CR 시스템을 구현하기 위한 재구성 가능한 OFDMA 전송 플랫폼을 소개한다.

I. 서 론

CR(Cognitive Radio)은 시스템이 사용자 및 시스템 주변 환경을 인식하고 그 환경의 통계학적 변화를 학습하여 그에 적응하는 방법을 적용하는 지능적인 무선 통신 시스템이라 할 수 있다<sup>[1]-[3]</sup>. 이렇게 시스템 주변 환경에 적응하는 것은 언제 어디서나 신뢰성 있는 통신을 가능하게 하면서 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위한 것이다. 최근에 미국 연방통신위원회(FCC)가 주파수 부족 현상을 해결하기 위해 주파수 이용 현황 및 효율적인 주파수 관리 방법을 연구하여 개방형 주파수 관리 정책을 점진적으로 수용할 것을 제안함에 따라 CR 기술이 특히 주목을 받게 되었다<sup>[4],[5]</sup>.

개방형 주파수 관리 정책이란 특정 사용자에게 인가된 주파수 대역에서 주 사용자들에게 간섭을 주지 않는 한에서 다른 사용자가 그 대역을 빌려 쓸 수 있도록 하는 것이다. 이 때, 전파 환경을 감지하여 특정 주파수 대역의 사용 유무를 판단하고, 가장 알맞은 주파수 대역(spectrum holes)을 찾아 통신을 수행하는 과정은 바로 CR 개념과 잘 부합하는 것이다. 이러한 방식을 CR로 지칭하기도 하나 이는 CR의 많은 응용 가운데, 주파수 대역에 적응하는 것으로 “spectrum agile radio” 라는 이름이 더 적합하다고 볼 수 있다<sup>[6]</sup>. 이렇게 주파수 대역을 차용하는 개념을 세계 최초로 적용한 무선 통신 시스템 표준을 개발하기 위한 IEEE 802.22 표준화 그룹이 결성되어 활발하게 표준화를 수행하고 있다<sup>[7]</sup>.

한편, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 다중 경로 감쇄(multipath fading)에 강인하고 송수신기의 복잡도가 적은 장점으로 DAB(Digital Audio Broadcasting)나 DVB(Digital Video Broadcasting) 같은 디지털 방송 및 무선 랜 및 휴대인터넷 등의 패킷 기반 무선 시스템에서 전송 효율을 높이는 데 활용되어 왔다<sup>[8]-[13]</sup>. 또한, OFDM 기반 다중 접속 방식 가운데 OFDMA(OFDM-Frequency Division Multiple Access) 방식은 여러 사용자에 대한 자원 할당이 용이하고 셀 내 간섭이 없다는 장점으로 차세대 이동 통신 시스템에서의 유력한 전송 방식으로 고려되고 있다<sup>[14]-[16]</sup>. 이렇게 OFDM 방식은 방송, 고정 광대역 망, 이동 셀룰러 환경의 이중 시스템 및 이중 서비스에 공통으로 적용되고 있기 때문에, 사용자 환경 및 요구 서비스에 따라 최적의 방

식을 선택하는 CR 알고리즘과 이를 실현시키는 재구성 가능한 하드웨어를 설계하는 데 가장 좋은 전송 플랫폼이 될 수 있다.

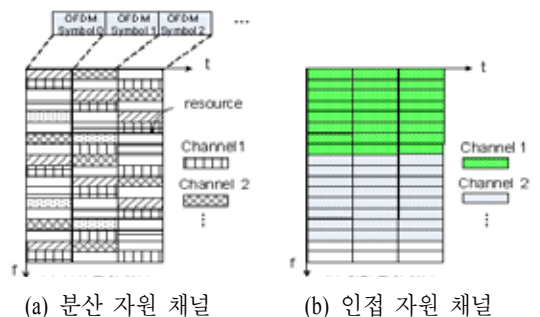
본 고에서는 효율적인 주파수 활용을 위해 무선 채널 환경에 적응하는 CR 기술의 한 분야로, OFDMA 기반 적응 전송 기술을 소개한다. 이 때, 성능과 복잡도에서 차이가 두드러지는 두 가지 서로 다른 적응 전송 기법을 소개하고, 각 적응 전송 방식의 장단점을 분석한다. 이에 따라 한 프레임 내에서 두 적응 전송 방식을 함께 지원하는 방법과 사용자 환경에 따라 서로 다른 두 적응 전송 방식을 적용하는 채널 비율을 다르게 설정하는 방법을 제안한다. 제안하는 OFDMA 플랫폼은 시스템 파라미터를 다르게 설정함으로써 고정 및 이동의 서로 다른 셀 환경에 각각 적합한 전송 기술을 적용할 수 있으며, 더 나아가 셀 및 사용자 환경의 실시간 특성에 따라 송신 파라미터를 재설정하여 전송 효율을 더욱 증대할 수 있도록 한다.

## II. OFDMA 시스템 모형

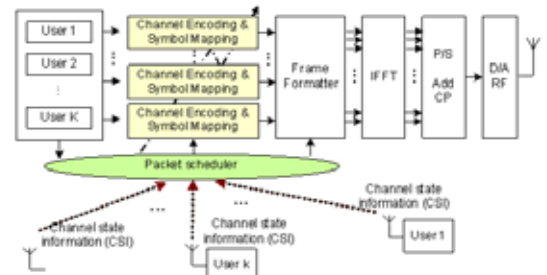
OFDMA 방식은 [그림 1]과 같이 다수의 OFDM 심볼로 이루어진 시간 슬롯을 시간과 주파수 영역에서 서로 직교하는 다수의 물리 채널로 나누고, 여러 사용자가 물리 채널을 공유하여 사용하는 방식이다. 이 때, 자원(resource) 할당의 최소 단위는 OFDM 심볼을 구성하는 한 부반송파에 해당한다. OFDMA에서는 시간, 주파수 2차원 자원 격자에서 물리 채널을 구성하는 자원의 위치를 다르게 함으로써 다양한 형태의 물리 채널을 만들 수 있다. [그림 1]은 OFDMA에서 데이터 전송을 위해 물리 채널을 구성하는 두 가지 대표적인 방법을 보인 것이다. [그림 1(a)]는 물리 채널을 시간/주파수에 퍼져 있는 자원으로 구성하는 방법으로 주파수 도약(frequency hopping)으로 주파수 다이버시티 및 셀간 간섭 평균화를 얻기 위

한 채널 구조이다<sup>[17]</sup>. 한편, [그림 1(b)]는 부분 블록 적응 변조 부호화 또는 대역 선택을 위해 물리 채널을 인접한 부반송파들로 구성된 구조이다<sup>[18]</sup>. 본 논문에서는 전자를 분산 자원 채널 후자를 인접 자원 채널로 부르기로 한다. 두 물리 채널 구조는 주파수 선택성 페이딩 특성을 지니는 무선 채널에서의 적응 전송을 다른 방법으로 접근하며 이에 대한 자세한 설명은 다음 절에서 다룬다.

[그림 2]는 적응 전송을 적용하는 OFDMA 시스템 구조를 보인 것이다. 기지국 송신단의 패킷 스케줄러는 고정 또는 이동 수신단에서 보내온 채널 상태 정보(channel state information)와 각 사용자들의 전송 데이터 버퍼 상태에 따라, 한 프레임에 데이터를 전송할 사용자와 각 사용자의 전송 옵션을 결정한다. 이 때, 전송 옵션은 채널 상태 정보에 따라 요구하는 품질을 만족시키는 AMC(Adaptive Modulation & Co-



[그림 1] OFDMA 시스템의 물리 채널 구성 방법



[그림 2] 적응 전송을 위한 OFDMA 시스템 구조

ding) 옵션 또는 전력 또는 데이터를 전송하는 물리 채널 위치 등을 포함할 수 있다. 이 때 선택된 AMC 옵션에 따라 입력 데이터 패킷에 대해 채널 부호화 및 심볼 대응을 수행하고, 프레임 구성기(frame formatter)에서 할당된 물리 채널의 위치와 송신 전력에 따라 심볼 진폭을 증폭하여 [그림 1]과 같은 물리 채널의 프레임 내 시간/주파수 위치로 대응한다. 대응된 심볼은 IFFT 및 보호 구간 삽입 등의 OFDM 변조를 통해 전송하게 된다. 이 때, 제어 채널을 통해 해당 물리 채널의 전송 옵션이 함께 전송된다. 수신단은 해당 채널에 대한 전송 모드에 따라 송신단의 역과정을 통해 보내온 정보를 복원한다.

### III. OFDMA 기반 적응 전송 기술

#### 3-1 분산 자원 채널에서의 적응 전송

분산 자원 채널 구조에서 각 단말이 기지국에 전송하는 채널 상태 정보는 cdma2000 1xEv-DO 시스템과 같은 CDMA 기반의 기존 이동 셀룰러 시스템에서처럼 물리 채널을 구성하는 심볼들의 수신 SNR (Signal-to-Noise power Ratio)의 평균을 이용할 수 있다. 기존 CDMA 시스템에서는 레이크 수신기로 수신 심볼마다 시간 다양성을 동일하게 얻기 때문에 채널의 시간 변화를 무시하면 심볼마다 SNR 값이 동일하다. 따라서, 전력 제어를 수행할 경우 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널에서와 동일한 성능을 얻을 수 있다. 그러나, OFDMA에서 분산 자원 채널로 데이터 패킷을 전송하는 경우 주파수 선택성 페이딩에 의해 각 심볼마다의 수신 SNR은 평균 수신 SNR과 다르게 된다. 따라서, 평균 수신 SNR로 전력 제어를 수행할 경우 OFDMA 분산 자원 채널에서의 특정 전송 옵션에 대한 성능은 AWGN 채널의 성능보다 나빠진다.

이렇게 CDMA 시스템과 다른 OFDMA 분산 자원

채널 구조에서의 성능을 [그림 3]에 나타내었다. 이 그림은 부호율이 2/3인 LDPC(Low-Density Parity-Check) 부호를<sup>[19]</sup> 적용하고 16 QAM을 사용할 때, 평균 SNR으로 전력 제어 시의 패킷 오류율(PER)을 채널 변화율에 따라 성능을 보인 것이다. 그림에서 채널 변화율 정보는 다음과 같이 정의되는 정규화된 표준 편차를 8 레벨로 양자화한 std0, std1, ..., std7 값을 사용하였다.

$$\tilde{\sigma}_{SNR} = \frac{\sigma_{SNR}}{m_{SNR}}$$

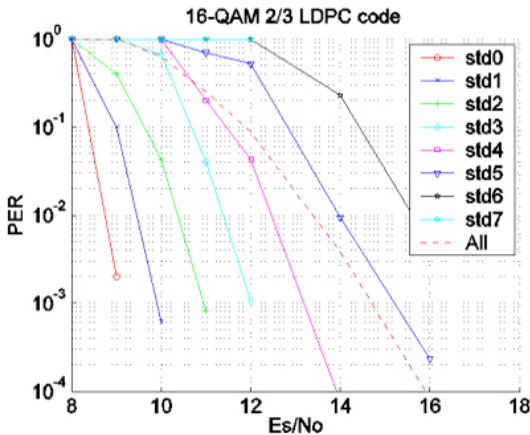
여기서,

$$m_{SNR} = \frac{1}{N_f W} \sum_{n=0}^{W-1} \sum_{k=0}^{N_f-1} SNR_{n,k},$$

$$\sigma^2_{SNR} = \frac{1}{(WN_f - 1)} \sum_{n=0}^{W-1} \sum_{k=0}^{N_f-1} (SNR_{n,k} - m_{SNR})^2$$

이며,  $W$ 는 물리 채널을 구성하는 OFDM 심볼 수,  $N_f$ 는 한 OFDM 심볼을 구성하는 부반송파 수, 그리고  $SNR_{n,k}$ 는  $n$ 번째 OFDM 심볼의  $k$ 번째 부반송파에 대한 수신 심볼이다. 그림에서 std0은 채널 변화가 거의 없는 경우이고, std7은 채널 변화가 가장 큰 경우를 나타내는데, 채널 변화율이 클수록 성능이 나빠지는 것을 볼 수 있다. OFDMA 시스템에서 이러한 채널 변화율에 따른 성능 저하를 보상하기 위해 평균 SNR 값에 부가적으로 정규화된 표준 편차를 귀환하여 전력 제어 및 AMC를 수행하는 방법이 제안되었다<sup>[20]</sup>. 제안한 방식은 평균 SNR만을 귀환하는 방법보다 1/2의 송신 전력으로 동일한 전송률(throughput)을 제공한다.

분산 자원 채널에서의 적응 전송 방식은 주파수 대역마다 페이딩 세기가 다른 주파수 선택성 페이딩 채널의 주파수 다양성을 활용하지 않고 단순히 평균화하는 방식이다. 따라서, 채널 상태 정보도 평균 SNR 또는 표준편차와 같이 전체 대역에 대한 평균 정보를 귀환하므로 귀환 정보량이 적고, 전송 옵션을 선택하는 알고리즘도 비교적 간단하다.



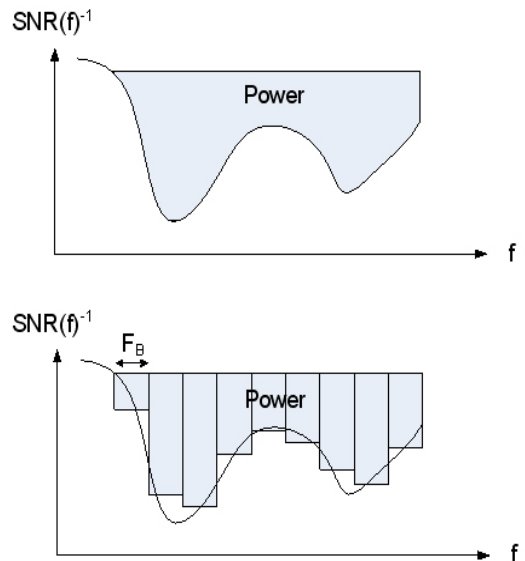
[그림 3] 분산 자원 채널에서 평균 SNR에 따른 전력 제어 시 SNR의 변화율에 따른 성능<sup>[20]</sup>

### 3.2 인접 자원 채널 구조에서의 적응 전송

광대역 채널에서 OFDM 심볼을 구성하는 부반송파는 주파수 대역에서 위치에 따라 서로 다른 페이딩을 겪는다. 만약, 이러한 페이딩 값을 송신단에서 알 수 있다면 부반송파마다 그에 알맞은 변조 방식과 전력을 할당함으로써 성능을 향상시킬 수 있다<sup>[21]~[23]</sup>. 이러한 방식을 비트-로딩(bit-loading) 알고리즘이라고 하며, 모든 부반송파에 대해 동일한 전력과 변조 방식으로 전송하는 분산자원 채널에서의 방법에 비교하여 성능이 우수한다. 그러나, FDD(Frequency Division Duplex) 시스템이나 패킷 기반의 TDD(Time Division Duplex) 시스템에서 송신단이 각 부반송파가 겪은 수신 SNR 정보를 알기 위해서는 사용자가 각 부반송파마다의 채널 상태 정보를 전송해야 하는 단점이 있다. 따라서, 귀환 정보량을 줄이기 위해 [그림 4]와 같이 인접한  $F_B$  부반송파를 하나의 부대역으로 묶고 부대역에 대한 평균 채널 상태 정보만을 귀환 채널로 전송하여 부대역에 대한 전송 옵션을 선택하는 방법이 제안되었다<sup>[24],[25]</sup>. 이러한 방식을 구현하기 위해서는 물리 채널을 인접자원으로 구성하는 것이 필요하다.

한편, 다중 사용자 환경에서는 특정 부반송파에서 사용자의 채널 상태가 다른 점을 이용하여 사용자마다 채널 상태가 좋은 부반송파 그룹을 동적으로 할당하면 다중 사용자 다양성(multiuser diversity)을 추가적으로 얻을 수 있다. 기존 연구에서는 사용자마다 부반송파 그룹을 동적으로 할당하고 할당된 부반송파별로 변조 방식과 전력을 함께 제어함으로써 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 보였다<sup>[26],[27]</sup>. 그러나, 이러한 적응 전송 방식은 2가지 문제가 있다. 한정된 용량의 귀환 채널로 여러 사용자로부터 부반송파별 채널 상태 정보를 수신해야 하는 점과 주어진 채널 상태 정보로 다중 사용자의 최적 부반송파 그룹과 AMC 옵션 (또는 변조 방식) 및 전력을 합리적인 복잡도로 선택할 수 있어야 한다는 점이다.

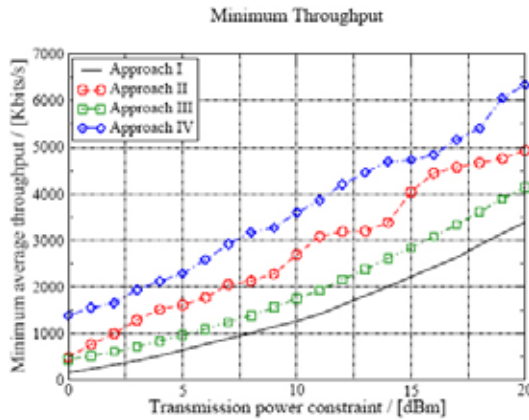
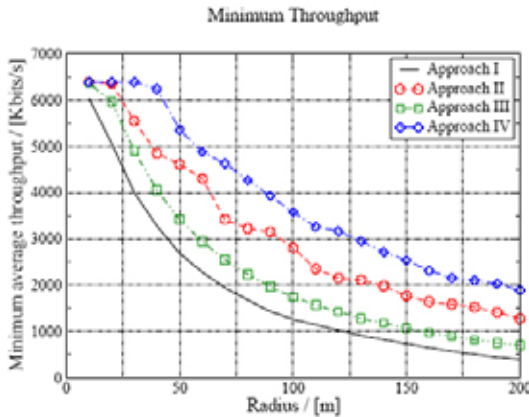
귀환 정보량을 줄이기 위한 노력으로, 부반송파 대신 부대역에 대한 대표 채널 상태 정보를 보내는 방법이 제안되었고, 채널 상태가 좋은 일부 부대역만을 선정하여 부대역 인덱스와 그에 대한 채널 상태 정보를 전송하는 방법도 제안되었다<sup>[13]</sup>. 또한, 부대



[그림 4] 부반송파별 전력 제어, 부대역별 전력 제어의 예

역에 대한 채널 상태 정보를 초기에만 전송하고 채널 상태 정보의 변화만을 추가적으로 전송하는 방법과 채널 상태 정보를 소스 코딩 기법으로 압축하여 전송하는 방법 등이 제안되었다. 하지만, 분산 자원 채널 구조에서의 평균 SNR 정보만을 이용하는 방식보다 채널 상태 정보가 많이 필요함을 볼 수 있다.

한편, 주어진 채널 상태 정보를 이용하여 다중 사용자에게 자원 할당을 최적화하기 위해서는 최적화하려는 목적 함수와 제한 조건을 정의하여야 하는데 이를 어떻게 정의하느냐에 따라 성능과 복잡도의 손익 관계가 발생할 수 있다. 기존 연구 결과에서는 동적으로 부반송파 (또는 부대역)를 선택하고 선택된 부반송파에 대한 변조 방식 및 전력을 할당할 때 전력 할당에 따른 성능 향상은 미비한 것으로 밝혀졌다<sup>[28],[29]</sup>. 따라서, 전력을 고정하고 부반송파 및 변조 방식만을 최적화한다면 복잡도를 줄일 수 있다. 그러나, 셀 내 사용자 분포에 따라 전력 제어가 성능에 크게 미칠 수도 있다. [그림 5]는 16 사용자가 셀에 균일하게 분포할 때 적응 변조 방식을 수행한 경우 부반송파와 전력을 어떻게 할당하느냐에 따른 성능을 보인 것이다<sup>[30]</sup>. 그림에서 볼 수 있듯이 다중 사용자 환경에서는 전력 제어보다는 부반송파를 동적으로 할당하는 것이 전송률을 더 향상시킬 수 있다. 그러나, 전력 제어를 함께 수행하면 셀 경계에서의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다. 따라서, 성능 향상 측면에서 OFDMA 자원을 인접 자원 채널 구조로 나누고 동적 부반송파 (부대역) 할당 및 그에 대한 적응 전송을 고려할 필요가 있다.



[그림 5] OFDMA에서 적응 변조 수행 시 부반송파 및 전력 할당 방법에 따른 성능 비교 (I: 고정 부반송파 할당 & 고정 전력 할당, II: 동적 부반송파 할당 & 고정 전력 할당, III: 동적 전력 할당 & 고정 부반송파 할당, IV: 동적 부반송파 & 동적 전력 할당)<sup>[30]</sup>.

#### IV. 재설정 가능한 프레임 구조

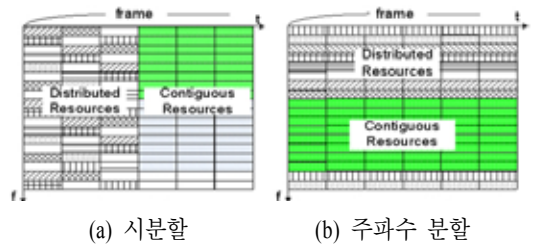
##### 4-1 물리 채널 다중화

지금까지 살펴 본 분산 자원 채널 구조와 인접 자원 채널 구조는 사용자 환경에 따라 서로 다른 장단점을 지닌다. 분산 자원 채널 구조는 다중 사용자 다양성을 활용하지 못하나, 귀환해야 할 채널 상태 정보가 적기 때문에 채널 상태 정보를 자주 전송할 수 있고 채널 변화에 좀 더 빠르게 적응할 수 있다. 따라서, 이동 환경의 단말에게 알맞은 방법이라 할 수 있다. 한편, 인접 자원 채널 구조는 동적으로 부대역 (부반송파)을 할당함으로써 다중 사용자 다양성을

확보할 수 있으나, 부대역 선택을 위해서는 귀환 정보 양이 많아 채널 변화를 빠르게 추적할 수 없다. 한편, 채널의 주파수 선택성이 높아 부대역 내에 SNR이 주파수 대역내의 평균 SNR과 비슷한 경우에는 부대역을 선택함으로써 얻는 성능 이득이 줄어든다. 따라서, 인접 자원 채널 구조를 사용하여 동적으로 부대역을 할당하는 방식은 고정 환경, 특히 주파수 선택성이 적은 셀 안쪽에 위치한 사용자에게 알맞다

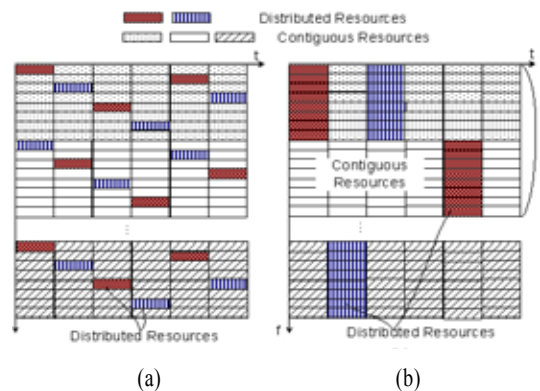
본 절에서는 한 프레임에서 두 종류의 채널 구조를 지원하면서 셀 내 사용자 환경에 따라 두 채널의 비율을 다르게 하는 재구성이 가능한 프레임 구조를 고려한다. [그림 6]은 기존 시스템에서 두 채널 구조를 동시에 지원하는 방법으로 시분할 방식<sup>[13]</sup>과 주파수 분할 방식을 나타낸다<sup>[18]</sup>. 휴대 인터넷 시스템에서는 [그림 6(a)]와 같이 두 종류의 물리 채널을 시분할로 다중화하여 이동 사용자나 스마트 안테나를 사용하지 않는 경우 분산 자원 채널을 할당하고, 고정 사용자나 스마트 안테나를 적용하는 환경에서는 인접 자원 물리 채널을 할당한다. 이렇게 하면, 분산자원 채널에 주로 이동 환경 및 셀 경계의 열악한 채널 환경에 있는 사용자들이 할당 받게 되어 한정된 전력으로 전송률을 향상시키기가 어렵게 된다. 반면, [그림 6(b)]와 같이 주파수 다중화를 하면 동일한 시간에 분산 자원 채널 구조에 적합한 이동 사용자 및 셀 경계 사용자와 같은 열악한 환경의 사용자와 인접 자원 구조를 선호하는 안정적인 고정 사용자가 함께 할당됨으로써, 전력 분배를 효과적으로 할 수 있다. 즉, 좋은 환경의 사용자로부터 여분의 전력을 받아 열악한 사용자에게 할당함으로써 최소 전송률을 향상시킬 수 있다. 그러나, 분산 자원 채널을 구성하는 자원이 시간에 따라 주파수 위치가 바뀌지 않음으로 인해서 다양성 이득을 충분히 얻을 수 없다.

[그림 7]은 동일 프레임 내에 분산 자원 채널과 인접자원 채널을 동시에 지원하는 또 다른 방법을 나타낸 것이다. 이 방식에서는 사용자마다 선호하는



[그림 6] 기존의 두 종류의 물리 채널 지원 방법

부대역을 선택하는 방식을 지원하기 위해 주파수 자원을 인접하는 여러 부대역으로 나누고, 분산 자원 채널은 도약으로 부대역의 시간주파수 영역에서 골고루 퍼져 있는 자원으로 구성한다. 이 때, 주파수 도약을 하는 기본 단위는 자원 할당을 쉽게 하도록 최소 단위보다 큰  $R_f \times R_t$  크기로 설정할 수 있으며,  $R_f$ 는 주파수 영역에서의 자원 수,  $R_t$ 는 시간 영역에서의 자원 수이다. [그림 7(a)]는 최소 단위인  $1 \times 1$  자원을 기반으로 한 주파수 도약, [그림 7(b)]와  $8 \times 1$  자원 블록을 기반으로 한 주파수 도약을 나타내며 주파수 선택성이 높은 채널에서는 [그림 7(a)]와 [그림 7(b)]의 성능 차이가 그리 크지 않다. 이 때, 인접 자원 채널은 각 부대역에서 분산 자원 채널을 뺀 나머지 자원들로 구성된다. 그러면, [그림 6(b)]의 주파수 분



[그림 7] 분산자원 채널을 시간/주파수 분할로 구성하는 방법

할 경우와 마찬가지로 최소 전송률을 향상시킬 수 있으면서, 분산 자원 채널을 구성할 때 시간 축에서도 도약하는 패턴을 사용함으로써 주파수 다양성을 추가적으로 얻을 수 있다.

#### 4.2 프레임 재구성

본 절에서는 두 종류의 물리 채널을 함께 지원하는 프레임 구조에서 분산 자원 채널과 인접 자원 채널 비율  $C_d : C_c$ 에 대한 재구성 방법을 논의한다. 앞 절에서 명시했듯이 분산 자원 채널과 인접 자원 채널이 적합한 사용자 환경은 다르고, 각 채널에 따른 적응 전송 방식을 적용할 때 귀환 정보와 성능에서의 손익 관계가 발생한다. 따라서, 셀 내 사용자 분포 및 사용자 개개인의 무선 채널 환경 특성에 따라 최적의 물리 채널을 할당하고 그에 따라 프레임 구조를 재구성하며 각 사용자 정보에 따라 할당된 채널에 알맞은 적응 전송 방식을 적용한다면 자원 이용 효율을 더욱 증가시킬 수 있다. 예를 들어 셀 내 사용자가 주파수 선택성이 적은 고정 사용자들만 있을 경우  $C_d : C_c$ 를 0 : 8로 설정하여 인접 자원 채널을 기반으로 한 적응 전송 방식을 적용하고, 이동 환경의 사용자나 주파수 선택성이 높은 사용자들만 있을 경우  $C_d : C_c=8 : 0$ 로 설정하여 분산 자원 채널을 기반으로 한 적응 전송을 수행할 수 있다. 이렇게 비율에 따라 다른 프레임 구성 모드를 설정하고 셀 내 액티브 사용자들의 특정 채널 환경에 따라 프레임 구성 모드를 바꾸며, 해당 프레임 내에서 각 사용자에 대한 채널 상태 정보로 부대역 선택 또는 적응 변조 부호화 방식을 적용하게 된다.

이러한 프레임 구성은 셀 특성에 따라 기지국 설치 시 고정값으로 설정할 수 있고, 한 셀 내에서 액티브 사용자들의 분포가 시간적으로 바뀌는 것을 추적하여 장기적인 시간에서 재구성할 수 있으며, 사용자들이 소규모 페이딩 특성에 따라 부대역 선택 및 AMC 전송 모드를 선택할 때 물리 채널 종류도

함께 설정하여 변경할 수도 있다. 이 때, 두 물리 채널의 비율을 선택하는 방법으로 액티브 사용자들로부터 무선 채널의 변화율 정보를 이용할 수 있다. 고정 환경에서의 채널 변화는 주로 무선 채널의 주파수 선택성에 기인하는 한편, 이동 환경에서는 시간 선택성 및 주파수 선택성에 기인한다. 따라서, 사용자마다 무선 채널의 변화율을 시간과 주파수 영역에서 각각 추정하여 송신단에 알려줄 수 있다. 이 때, 시간 축으로는 도플러 주파수 또는 코히어런스(coherence) 시간을 추정할 수 있고, 주파수 축으로는 RMS 지연 확산 또는 코히어런스 대역폭을 추정할 수 있다. 또한, 무선 채널 변화율을 시간과 주파수 영역에 상관없이 3장에서 구한 정규화된 표준편차를 대푯값으로 추정하여 제공할 수 있다.

사용자 환경에 따른 프레임 재구성은 비단 분산 자원 채널과 인접 자원 채널의 비율만으로 국한되지 않는다. 하드웨어 복잡도가 허용하는 한 시스템이 사용하는 대역폭, 파일럿 패턴, 보호 구간 길이나 FFT 크기 등의 OFDM 파라미터 등도 사용자 및 셀 내 환경에 따라 최적화할 수 있다. 이러한 방법들은 앞으로 개발될 지능적인 CR 시스템을 구성하는 한 요소로써 고려할 수 있다.

### V. 결 론

일반적으로 CR을 빈 주파수 대역을 찾아 통신을 수행하는 통신 시스템과 동일하게 생각하고 있으나, 넓은 의미에서의 CR은 시스템이 사용자 및 시스템 주변 환경을 인식하고 그 환경의 통계학적 변화를 학습하여 그에 적응하는 방법을 적용하는 지능적인 무선 통신 시스템이라 할 수 있다. 따라서, 현재 대부분의 무선 통신 시스템에서 적용하고 있는 전력 제어 및 AMC 등의 적응 전송 기법들은 CR의 일부 기능을 수행하고 있는 것이다. 본 고에서는 자원 할당과 적응 송신에 유연한 OFDMA를 기반으로 한 적

응 전송 방식을 살펴보았다. 이 때 사용자 환경에 따라 다른 장단점을 지니는 두 적응 전송 방식을 동일 프레임 내에 지원하고, 한정된 자원을 최적으로 사용하기 위해 셀마다 다른 무선 채널 환경과 시간에 따라 바뀌는 사용자 환경에 따라 알맞은 프레임 구조와 적응 전송 방식을 선택하는 개념을 제시하였다. 이러한 방법은 미래의 지능적인 CR 시스템을 구현하기 위한 한 부분 요소로 고려할 수 있다. 그러나, 실제 시스템으로의 적용을 위해서는 프레임 구조를 선정하기 위한 기준과 선정 방법, 그에 따른 제어 신호의 오버헤드 분석, 허용하는 복잡도 내에서의 프레임 재구성 방안 및 그에 따른 성능 향상 정도가 구체적으로 제시되어야 할 것이다

### 참 고 문 헌

- [1] G. Maguire, J. Mitola, "Cognitive radio: making PCS personal", *IEEE PCS Mag.*, Aug. 1999.
- [2] Joseph Mitola III, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio", Ph. D Dissertation, Royal Institute of Technology(KTH), May 2000.
- [3] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications", *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [4] Federal Communications Commission (FCC), "Spectrum policy task force", *Rep. ET Docket*, no. 02-135, Nov. 2002.
- [5] Federal Communications Commission (FCC), "Notice of proposed rule making", *ET Docket*, no. 04-113, May 2004.
- [6] K. Challapali, "Spectrum agile radios: real-time measurements", *Cognitive Radio Conference*, Washington DC, Oct. 2004.
- [7] IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks, <http://www.ieee802.org/22/>.
- [8] IEEE 802.11a, High-speed physical layer in the 5 GHz band, 1999.
- [9] ETSI EN 300 401, Radio broadcasting systems: digital audio broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers, Sep. 2000.
- [10] ETSI EN 300 799, Digital video broadcasting (DVB); framing, structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, Jun. 1999.
- [11] IEEE Std 802.16a-2003, Air interface for fixed broadband wireless access systems-medium access control modifications and additional physical layer specifications for 2-11 GHz, Apr. 2003.
- [12] IEEE P802.16e/D3, Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands, May 2004.
- [13] TTAS.KO-06.0064R1, Specifications for 2.3 GHz band portable internet service - Physical layer, TTA, Dec. 2004.
- [14] J. Chuang, L. J. Cimini, G. Li, L. Lin, B. McNair, N. R. Sollenberger, M. Suzuki, and H. Zhao, "High-speed wireless data access based on combining EDFE with wideband OFDM", *IEEE Commun. Magazine*, vol. 37, pp. 92-98, Nov. 1999.
- [15] 김윤희, 안재영, "차세대 이동통신 무선 전송 기술 연구 동향", *한국통신학회지*, 22(9), pp. 39-49, 2005년 9월.
- [16] 3GPP TR 25.814, v0.2.0, "Physical layer aspects for evolved UTRA(Release 7)", Aug. 2005.
- [17] EP 01039683, Frequency hopping multiple access with multicarrier signals, Lucent technologies, Inc., Sep. 2000.
- [18] PCT WO 02/058300, Multicarrier communications with time division multiplexing and carrier selective loading, Broadstorm Telecommunications, Inc.,



- Jul. 2002.
- [19] D. J. C. MacKay, "Good error correcting codes based on very sparse matrices", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 45, no. 2, pp. 399-431, Mar. 1999.
- [20] K. S. Kim, Y. H. Kim, J. Y. Ahn, and S. G. Hwang, "A pragmatic adaptive OFDM/FDD cellular system in frequency-selective fading channels", *Wireless World Research Forum(WWRF) 8bis Meeting, WG4*, Beijing, China, Feb. 2004.
- [21] I. Kalet, "The multitone channel", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 37, no. 2, pp. 119-124, Feb. 1989.
- [22] P. Chow, J. Cioffi, and J. Bingham, "A practical discrete multitone transceiver loading algorithm for data transmission over spectrally shaped channels", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, no. 2, Feb. 1995.
- [23] R. Fischer, J. Huber, "A new loading algorithm for discrete multitone transmission", in *IEEE Proc. GLOBECOM*, pp. 724-728, Nov. 1996.
- [24] T. Keller, L. Hanzo, "Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission", *IEEE Trans. Vehic. Techn.*, vol. 49, pp. 1893-1906, Sep. 2000.
- [25] R. Grünheid, E. Bolinith, and H. Rohling, "A block-wise loading algorithm for the adaptive modulation technique in OFDM systems", *Proc. IEEE Vehic. Techn. Confer. (VTC)*, Atlantic City, NJ, U.S.A., 2, pp. 948-951, Oct. 2001.
- [26] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation", *IEEE Journal on Selected Areas of Comm.*, vol. 17, no. 10, pp. 1747-1758, Oct. 1999.
- [27] D. Kivanc, H. Liu, "Subcarrier allocation and power control for OFDMA", *Proc. Conference on Signals, Systems and Computers*, vol. 1, pp. 147-151. 2000.
- [28] T. Hunziker, D. Dahlhaus, "Optimal power adaptation for OFDM systems with ideal bit-interleaving and hard-decision decoding", *Proc. IEEE Int. Conference on Communications(ICC)*, vol. 5, pp. 3392-3397, 2003.
- [29] W. Rhee, J. Cioffi, "Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation", in *Proc. Vehicular Technology Conference(VTC)*, pp. 1085-1089, 2000.
- [30] M. Bohge, J. Groass, and A. Wolisz, "The potential of dynamic power and sub-carrier assignments in multi-user OFDM-FDMA cells", *Proc. IEEE Globecom*, St. Louis, MO, USA, Nov. 2005.

≡ 필자소개 ≡

김 윤 희



1995년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학  
학과 (공학사)  
1997년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학  
학과 (공학석사)  
2000년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학과 (공학박사)  
2000년 9월~2004년 8월: 한국전자통신

연구원 선임연구원

2004년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 조교수

[주 관심분야] 무선/이동 통신, 통신 신호처리, 적응전송, 채널 부호화

김 광 순



1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학과 (공학사)  
1996년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학과 (공학석사)  
1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학과 (공학박사)  
2000년 3월: Dept. ECE, UC San Diego,

Postdoc 연구원

2000년 4월~2004년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원

2004년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학부 조교수

[주 관심분야] 이동통신, 통신 신호처리, 변복조방식, 적응전송, 채널부호