

차세대 이동통신을 위한 OFDM 기술

조용수 | TTA 2.3GHz 휴대인터넷 프로젝트그룹 특별위원
중앙대학교 교수

1. 서론

본 고에서는 Beyond IMT-2000 시스템의 전송방식으로 고려 중인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식에 대하여 기술한다. 현재 IMT-2000 시스템에서 사용되는 DS-SS 방식은 Rake 수신기를 사용하여 채널의 경로 다이버시티를 이용할 수 있고 소프트 핸드오프 등의 장점이 있으나, 이 방식은 고속 전송시 chip간 간섭이 증가함에 따라 하드웨어 복잡도가 급격히 증가하고 다중사용자 간섭에 의하여 수용 가능한 사용자의 용량에 제한을 받는 것으로 알려져 있다. 이에 반하여 OFDM 방식은 유·무선채널에서 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 최근 여러 고속 통신시스템의 전송방식으로 채택되었다. 즉, 다중경로 페이딩을 갖는 무선통신채널에서 심볼주기가 짧은 고속 데이터 전송시 단일반송파 방식을 사용하게 되면 심볼간 간섭이 더욱 심해지기 때문에 수신단의 복잡도가 크게 증가하는 반면, 다중반송파 방식의 경우에는 데이터 전송속도를 그대로 유지하면서 각 부반송파에서의 심볼주기를 부반송파의 수만큼 확장시킬 수 있기 때문에 하나의 탭을 갖는 간단한 등화기로 다중경로에 의한 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널을 잘 대처할 수 있다. OFDM 방식에서는 상

호 직교성을 갖는 복수의 반송파를 사용하므로 주파수 이용효율이 높아지고, 송·수신단에서 이러한 복수의 반송파를 변·복조하는 과정은 각각 IDFT와 DFT를 수행한 것과 같은 결과가 되어 IFFT와 FFT를 사용하여 고속으로 구현할 수 있다. 이러한 OFDM 방식은 고속의 데이터 전송에 적합하기 때문에 IEEE 802.11a, IEEE 802.16a/d, DAB/DMB, DVB-T의 표준 방식으로 채택되었으며, IEEE 802.15.3a에서 고속 전송방식의 표준으로 MB-OFDM을 고려 중이다. 본 고에서는 Beyond IMT-2000 시스템의 이동통신 시스템 전송방식으로 최근 활발히 연구 중인 OFDM 전송기술 및 핵심기술에 대하여 기술한다.

2. OFDM 방식의 통신시스템

최근 이동통신시스템에서 고속 데이터 전송을 위한 기술로 OFDM 방식을 많이 고려하고 있으며, 표 1은 기존 OFDM 통신시스템의 주요 파라미터를 참고로 비교하여 보여준다. AT&T에서는 1998년에 셀룰러 환경에서 이동 가입자에게 최대 1~2Mbps 전송률의 무선 인터넷 서비스를 제공하기 위한 ACIS(Advanced Cellular Internet Service)를 제안하였다. ACIS는 2

GHz 대역의 매크로셀 환경에서 OFDM 전송 방식을 채택하였으며, 하향링크에서의 link budget을 개선하기 위하여 Clustered OFDM 방식을 사용한 다중 기지국 전송안테나와 2개의 안테나를 사용한 수신 다이버시티를 결합하여 PAR을 최소화하고 약 10dB의 SNR 개선을 이루었다. 또한 ACIS에서는 주파수의 효율적인 사용을 위하여 DPA(Dynamic Packet Assignment) 알고리즘과 staggered 프레임 구조를 사용하였다. 2000년에는 AT&T에서 셀룰러 환경에서

무선 인터넷 서비스를 제공하기 위하여 이를 개선한 광대역 무선데이터 액세스 방식을 제안하였다. 이 방식에서는 기존의 ACIS를 개선하여 하향 패킷 데이터 모드에서 약 5MHz 대역폭의 광대역 OFDM(W-OFDM) 구조를 사용하여 매크로셀 환경에서 2~5 Mbps, 마이크로셀 환경이나 실내 환경에서 약 10 Mbps의 전송률을 지원한다. 또한, 이 방식에서는 Sony가 제안한 OFDM과 SFH(Slow Frequency Hopping)-TDMA 구조를 결합한 BDMA(Band

〈표 1〉 OFDM 방식 통신시스템의 주요 파라미터

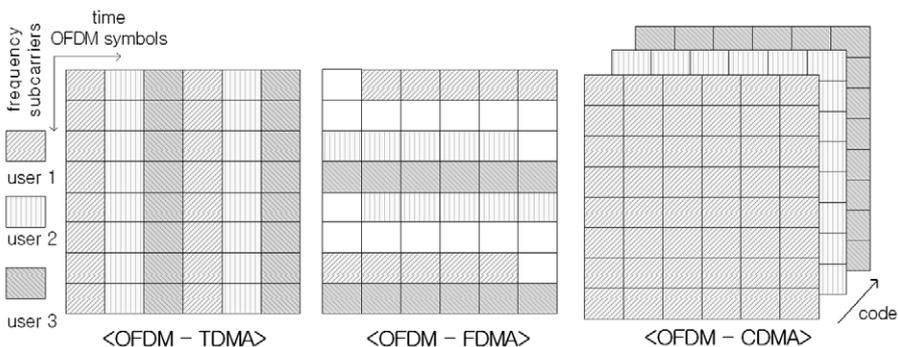
항목	무선 LAN (802.11a)	BWA (802.16a)	DAB (Eureka-147)	DVB-T	ADSL	VDSL	ACIS	W-OFDM
반송파수	52	52~1850	192~1536	1075/6817	256	2783	120	528
FFT 크기	64	64~2048	256~2048	2048/8192	512	8192	128	1024
반송파간격 (kHz)	312.5	2.8~312.5	1~8	1.116/4.464	4.3125	4.3125	6.25	8
심볼주기(us)	4.0	4.0~369.6	156~1246	231~280/ 924~1120	250	약 250	200	156.25
보호구간 길이 (us)	0.8	0.8~11.2	31~246	7~56/ 28~224	16	18	40	31.25
샘플링주기 (us)	0.05	0.05~0.2	0.5	0.13	0.452	0.0283	1.25	0.12
사용대역	5~6GHz	5~6GHz	VHF~UHF	VHF~UHF	25~1104 kHz	0.138~12 MHz	2GHz	NA
대역폭(MHz)	20	5~20	2.048	9.14MHz	1.1	12	0.8	5
채널코딩	컨볼루션 코드 1/2~3/4	컨볼루션+RS 1/2~3/4	컨볼루션 코드 1/4~3/4	컨볼루션+RS 1/2~7/8	RS	RS	RS 1/2	컨볼루션 RS 1/2
변조방식	BPSK QAM(4~64)	QPSK QAM(16,64)	DQPSK	QPSK QAM(16,64)	2 ¹ ~2 ¹⁵ QAM	2 ¹ ~2 ¹⁵ QAM	DQPSK	QPSK
MAC Duplexing	CSMA/CA	TDMA OFDMA	-	-	FDD	FDD	DPA	DPA
전송률 (Mbps)	6~54	1.7~61.7	0.6~1.7	4.98~31.67	Max. 8	Max. 52	Max. 2(0.6)	Max. 5(3.4) Microcell: 10
이동성	보행자 (3m/s)	고정	vehicle	vehicle	고정	고정	NA	NA
환경	옥내 : 40m 옥외 : 200m	옥외 : 수km	방송	방송	유선	유선	셀룰러	셀룰러

Division Multiple Access) 방식을 채용하여 시간 및 주파수 다이버시티 효과를 지원하고 있다. Flarion에서는 OFDMA/FDD 전송방식에 주파수 호핑을 적용하여 all-IP망에서 매우 적은 latency로 고속의 데이터를 전송할 수 있는 flash-OFDM 기술을 제안하였다. Broadstorm에서는 OFDMA/TDD 전송방식을 사용하고, 셀 내의 섹터 간 주파수 재사용율을 1/2로 하며 기지국별 우선순위 주파수대역을 두어 셀 간 간섭을 줄일 수 있는 Broad@ir 기술을 제안하였다. 또한 IEEE 802.16d/e에서는 기존의 OFDM/OFDMA 방식의 IEEE 802.16a에 이동성을 고려하여 표준안을 확장하기 위하여 활동 중에 있다. IEEE 802.16d에서는 IEEE 802.16a에 이동성을 고려하여 물리/MAC 계층을 수정하고, IEEE 802.16e는 기지국간의 핸드오프와 이동국의 전력소모를 줄이기 위한 sleep mode에 대한 작업을 진행 중에 있다. IEEE 802.20에서는 고속의 이동성을 갖고 패킷 데이터를 제공하기 위한 물리/MAC 계층의 규격을 작성하기 위하여 2003년 11월 의장단 선거를 완료하였으며, 채널 모델링 CG, 시스템 요구조건 CG, 평가 기준 CG를 만들어 진행하고 있다. 국내의 ETRI에서는 휴대 인터넷 서비스를 위한 OFDMA/TDD 방식의 HPI와 High-tier를 위한 OFDMA/FDD 방식의 HMM의 연구개발이 진행 중이다.

3. OFDM 다중액세스 기법

방송용이 아닌 셀룰러 이동통신에서는 다수의 사용자를 위한 다중액세스 방식이 필요하다. 대표적 방식으로는 TDMA, FDMA, CDMA가 있으며, OFDM과 이들 다중액세스 방식을 결합하여 사용한다. 그림 1은 다중액세스 기법에 대한 개념을 보여주고 있다. OFDM/TDMA 기법에서는 각 사용자에게 시간 슬롯이 할당되고 할당된 시간동안 각 사용자는 전체 부채널을 모두 사용한다. OFDM/FDMA(OFDMA) 기법에서는 전체 대역을 각 사용자가 요구하는 전송률에 따라 주파수 영역에서 부반송파를 할당한다. 또한 OFDM/CDMA 기법에서는 각 사용자에게 고유의 확산 부호를 할당하여 모든 시간과 부채널을 함께 사용하며, 확산방식에 따라 MC-CDMA, multicarrier DS-SS-CDMA, MT-SS-CDMA로 구분할 수 있다.

하향링크에서 OFDM 방식을 사용하고자 할 경우에는 위의 세가지 방식을 모두 적용할 수 있다. 그 중 OFDM/TDMA 방식은 사용자가 요구하는 전송속도에 따라 각 프레임 내에서 할당되는 OFDM 심볼의 수를 변화시킴으로 자원할당이 이루어지나, 한 사용자가 전체 대역을 모두 사용하므로 셀간 간섭을 고려한 주파수 계획이 필요하다. 또한 상향링크 전송시 각 사용자마다 데이터를 수신하기 전에 프리앰블을 사용하여 초



(그림 1) OFDM 다중액세스 개요

기화가 수행되어야 하므로 전송효율이 감소하며 이러한 오버헤드를 줄이기 위하여 상대적으로 큰 payload가 적용된다. 즉, 무선 LAN과 같이 독립적인 Cell 환경에서 작은 크기의 FFT를 사용할 경우에는 일반적으로 OFDM/TDMA가 적절한 선택이 된다. OFDMA는 각 사용자가 요구하는 전송속도에 따라 할당되는 부반송파의 수를 변화시킴으로써 자원분배를 효율적으로 할 수 있다. 사용자마다 서로 다른 부반송파를 할당받음으로써 셀내 간섭은 존재하지 않으며, interference averaging/avoidance 형태의 기술들을 이용하여 셀내 간섭을 줄일 수 있다. 이 방식은 특히 각 사용자별 채널 상황과 전송속도에 따라 적응적으로 각 사용자에게 좋은 주파수 대역과 비트 수를 결정할 수 있어, 다수 사용자에 대해 채널 용량을 최적화시킬 수 있다. 따라서 부채널의 개수가 많은 큰 크기의 FFT를 사용할 경우 다수의 사용자에 대한 자원분배가 용이한 OFDMA 방식이 유리하다. 특히, 상향링크에 적은 수의 부반송파들을 OFDMA 방식을 적용할 경우에 power concentration 효과와 우수한 granularity를 갖는 장점이 있다. OFDM-CDMA 방식은 사용자의 요구에 따라 할당되는 코드 수를 변화시키며 모든 사용자가 동시에 넓은 대역을 사용하므로 수신단에서 코드의 orthogonality가 만족되지 않을 경우에 셀내 간섭이 발생한다는 단점이 있으나, 이 방식의 경우

frequency diversity 효과를 얻는 장점이 있다. 이러한 OFDM 방식을 상향링크에서 사용하고자 할 경우에는 각 단말기마다 전송지연, 도플러 주파수 등이 모두 다르기 때문에 timing advance와 반송파 주파수 오프셋 보상 등이 필요하다. 표 2는 OFDM 방식을 사용한 다중액세스 기술을 비교하여 보여준다.

4. OFDM Duplexing 기법

이동통신에서 상향링크와 하향링크를 구분하기 위한 방식으로 크게 TDD(Time Division Duplexing)와 FDD(Frequency Division Duplexing), 그리고 이들을 결합한 HFDD 방식이 있다. FDD는 상향링크와 하향링크에서의 신호전송을 위해 서로 다른 주파수 대역을 할당하는 방식으로 일정 보호대역에 의해 구분되는 한 쌍의 주파수 대역이 필요하다. 또한 RF단의 필터에 의하여 상·하향 주파수 대역의 크기가 미리 정해지기 때문에 유연성이 낮고 별도의 상·하향 RF 부가 필요하다는 단점이 있으나, full-duplex 방식으로 latency가 작고 넓은 영역을 고속의 이동속도로 지원할 수 있다는 장점이 있다. TDD는 각 링크별로 서로 다른 시간 슬롯을 할당하고 해당 시간동안 동일한 주파수 대역을 사용하는 방식으로 각 시간 슬롯은 보

〈표 2〉 OFDM 다중액세스 기술비교

OFDM	TDMA	FDMA	CDMA
Method	one user/same time/ all subcarriers	multiple users/same time/ subset of all subcarriers	all users/same time/ all subcarriers
Flexibility	variable # of time slots	variable # of subcarriers	variable # of codes
MAI	Intracell	none	present
	Intracell	present	present
MAI Suppression	low frequency reuse factor	interference averaging interference avoidance	interference averaging
etc.	low UL transmission efficiency	high UL transmission efficiency	frequency diversity

호 시간에 의해 구분된다. 동시에 상·하향을 전송할 수 없으나 동적으로 상·하향의 시간 슬롯을 할당하므로 유연성이 뛰어나 asymmetric 전송에 적합하다. 또한 상·하향링크가 시간에 따라 분리되기 때문에 기지국간의 동기가 정확히 맞아야 하고 전파 지연 등에 의해 커버 영역이 감소하며 고속의 이동속도를 지원하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 상·하향 링크의 symmetric 채널 특성때문에 스마트 안테나, 링크 적응 기법, Precompensation 기법 등을 적용하기가 용이하며 이를 통하여 link budget을 크게 향상시킬 수 있다. 표 3은 Duplexing 기법을 비교하여 보여준다.

interference-averaging 방식과 동적채널 할당(dynamic channel assignment)을 통한 interference-avoidance 방식이 있다. 동적채널 할당기법은 기지국간의 정보교환이나 이동국에서 측정된 신호대 간섭비를 바탕으로 하여 채널을 동적으로 할당하여 간섭의 영향을 회피하는 방식으로써 OFDM 방식에서는 특성상 모든 부채널에서 간섭신호와 경로 손실을 쉽게 측정할 수 있으므로 이를 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 동적채널 할당기법을 구현하기 위하여 빠른 기지국간의 정보교환과 채널 재할당이 요구되어 고속으로 이동하는 시스템에는 적용하기가 쉽지 않다.

〈표 3〉 Duplexing 방식의 비교

	FDD	TDD
Spectrum	2 separate channels(guard band)	single channel(guard time)
Duplex	full duplex	half duplex
Efficiency	high	low
Flexibility	low	high
Complexity/Cost	high(RX filter, etc)	low
Coverage	macro/micro	micro/pico
Mobility	high	low
Etc.	low latency	symmetric channel

5. OFDM 자원 할당(Resource Allocation) 기법

4세대 이동통신시스템에서는 한정된 주파수 자원으로 고속의 데이터 전송을 제공하기 위해 대부분 1의 주파수 재사용율을 고려하고 있으며, OFDM 시스템에서는 인접 셀간에 동일한 대역을 사용함으로써 발생하는 co-channel 간섭으로 성능이 크게 열화된다. 이를 극복하기 위해 CDMA 방식에서와 같이 OFDM에 주파수 호핑을 결합하여 간섭을 평균화시키는

OFDMA 방식에서 효율적인 자원분배를 위해 전체 대역을 다수의 부채널로 나누게 된다. 부채널은 구성되는 반송파의 위치에 따라 Block(Cluster), Comb(Interleaved), Block-Random 형태가 있다. 그림 2는 위 3가지 형태의 부채널 구성 방법을 보여주고 있다. 이 중 Block 형태의 부채널은 인접한 부반송파들로 구성되며, 임의의 한 부채널이 null에 계속 빠져있는 것을 방지하기 위하여 일반적으로 주파수 호핑을 함께 사용한다. 부반송파의 간격이 coherence 대역폭보다 작을 경우에는 채널 추정의 복잡도를 줄일 수 있

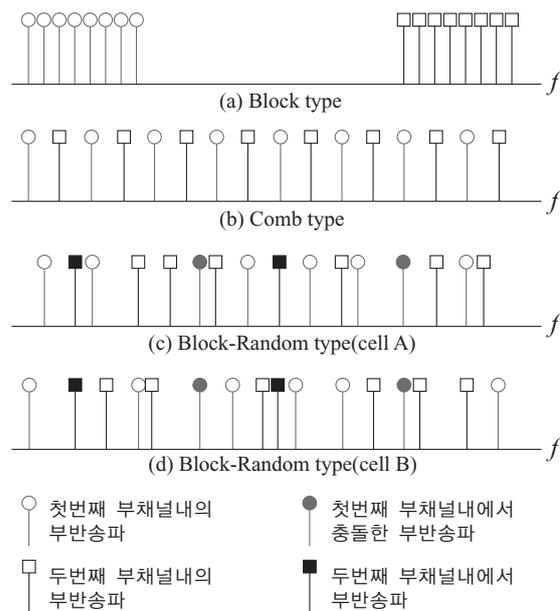
는 장점이 있다. Comb 형태의 부채널은 일정한 간격으로 떨어진 부반송파들로 구성되며 전체 대역에 걸쳐 확산되어 있으므로 주파수 다이버시티 이득을 가진다. 이 경우 채널 추정에 있어서는 Cluster 형태에 비해 비효율적이 된다. Block-Random 형태에서는 부채널내의 부반송파들이 Comb 형태와 같이 전체 대역에 확산되어 있으나 기지국 ID와 해당 순열에 따라 부반송파간의 간격이 바뀌어 일정 간격내에서 random한 위치를 갖는다. 예를 들어, IEEE 802.16a OFDMA 모드의 상향링크에서 부반송파 할당방식을 살펴보면 전체 대역은 32개의 부채널로 나뉘어지며, 각 부채널은 53개의 부반송파들로 구성된다. 셀룰라 환경에서 데이터 전송시 인접 셀에서 동일한 부채널을 동시에 사용하는 경우 Comb 또는 Block 형태의 부채널은 부채널 내 모든 부반송파들이 충돌하게 되어 셀간 간섭이 증가한다. 그러나, Block-Random 형태의 부채널은 그림 2(c), (d)에 나타난 바와 같이 인접 셀에서 동시에 같은 부채널을 사용하더라도 부채널을 구성하는

부반송파의 위치가 기지국에 따라 다르기 때문에 부반송파의 충돌을 최소한으로 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 이러한 형태의 부채널은 짧은 burst 구조에 적합하며, random한 위치에 존재하는 부반송파들로 인해 동기화 성능을 높일 수 있고, 주파수 호핑에서와 같이 큰 버퍼가 필요하지 않다는 장점이 있다.

6. OFDM 핵심 기술

가. MIMO-OFDM 기법

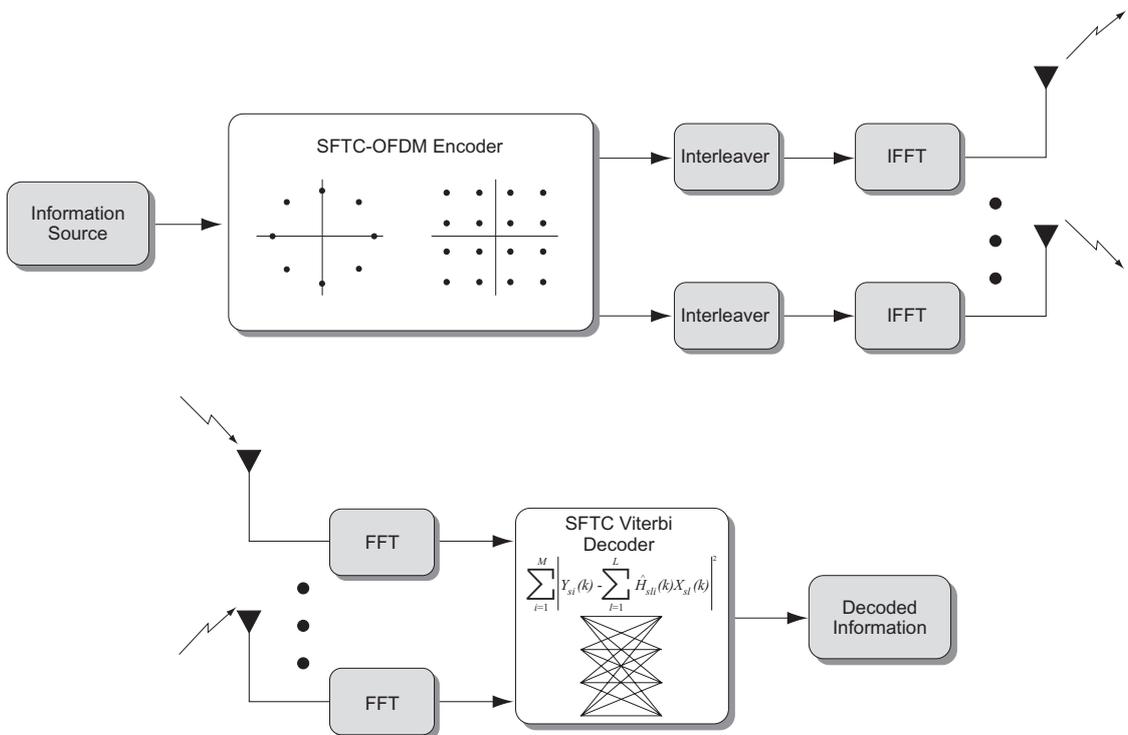
다중 안테나를 사용하는 OFDM 시스템은 다이버시티 이득을 목적으로 하는 STC(Space-Time Coded)-OFDM과 같은 대역폭에서 전송률을 증가시키기 위한 BLAST-OFDM이나 SVD-OFDM과 두 방식의 결합 형태인 Multiplexed-STC-OFDM 등의 기법들이 있다. 이 중 STC-OFDM 기법에는 SFTC(Space-



〈그림 2〉 OFDMA의 부채널 구성방법

Frequency Trellis Code)-OFDM, STBC(Space-Time Block Code)-OFDM, SFBC(Space-Frequency Block Code)-OFDM, Clustered-OFDM 등이 있다. 그림 3은 SFTC-OFDM의 블록도를 예로 보여준다. SFTC-OFDM 방식은 다중 안테나를 통해 부호화된 신호를 전송함으로써 공간·주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 기존의 방식에서 추가적인 대역폭의 증가없이 부호화 이득을 얻을 수 있다. STBC-OFDM은 다중안테나 시스템에서 간단한 부호화와 단순한 선형계산을 통한 복호를 통해 추가적인 대역폭의 증가없이 시·공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 시간적으로 연속된 두 OFDM 심볼간에 채널의 변화가 없을 경우 STBC-OFDM을 적용할 수 있으며 이 방식은 부반송파간 간격이 작고 유효 심볼의 길이가 짧은 무선 LAN과 같은 응용에서 유리

하다. 반면, 채널의 시변 정도가 커서 연속된 OFDM 심볼 사이에 채널이 변화할 경우에는 STBC-OFDM은 적용이 어려워진다. 그러나 채널의 주파수 선택적 특성(frequency selectivity)이 크지 않고, FFT 크기가 매우 커서 인접 부채널간의 채널 주파수 응답이 거의 바뀌지 않을 경우에는 주파수영역에서 부호화를 적용하는 SFBC-OFDM을 적용할 수 있다. BLAST-OFDM 방식은 rich scattering 환경에서 송·수신단에 다중 안테나를 사용하여 각 송신 안테나마다에 신호를 전송함으로써 전송률을 향상시킬 수 있으며, 송신 신호가 채널의 동기 대역폭(coherence bandwidth)보다 작은 대역폭을 갖는 주파수 비선택적 페이딩을 가정하기 때문에 BLAST-OFDM 방식이 다중경로 환경에 쉽게 적용될 수 있다. 이러한 BLAST-OFDM 방식에서는 송신 다이버시티 기법과



〈그림 3〉 SFTC-OFDM 방식의 블록도

는 달리 수신 안테나의 수가 송신 안테나의 수보다 같거나 많아야 하고 독립적인 페이딩 채널이 형성되어야 하기 때문에 송·수신단의 거리가 비교적 작고 노트북과 같이 다중 수신안테나를 사용할 수 있는 무선 LAN(Local Area Network) 또는 무선 PAN(Personal Area Network)과 같은 환경에 적합하다.

나. Smart Antenna-OFDM

셀룰라 환경에서는 일반적으로 기지국 안테나간의 상관특성이 크기 때문에 이를 이용하여 스마트 안테나 기술을 적용할 수 있다. Adaptive array antennas는 사용자의 환경 변화에 따라 원하는 신호를 최대화하고 간섭신호를 최소화하도록 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성하고, 간섭신호의 방향으로 null 빔을 형성할 수 있다. 이에 따라 적용범위, SNR, 셀 허용 용량 등이 증가하며, 이로 인하여 전력 소비 감소, 셀간 간섭의 회피, 다중신호 제거로 인한 OFDM에서 signal overhead 감소 등의 효과를 얻을 수 있다. OFDM시스템에서의 적응 안테나는 단일반송파 시스템과 비교하여 공간, 시간, 주파수 영역에서의 동작이 가능한 장점을 가지고 있다. 공간상에서는 DoA(Direction of an Arrival) 기반 beamformer, 시간영역에서는 TDL(Tapped-Delay-Line) 상의 필터링, 주파수영역에서는 각 반송파에서의 빔 형성을 할 수 있다. SA-OFDM 시스템에서는 적응 빔 형성을 위해 DFT 전단인 시간영역에서 적응 필터링을 수행하는 Pre-DFT DBF(Digital Beamforming)와 DFT 후 주파수 영역에서 각 반송파별로 적응 필터링을 수행하는 Post-DFT DBF 형태의 OFDM 기법을 고려할 수 있다. 이러한 방식으로 구현된 빔 형성 계수값은 TDD 시스템에서는 프레임내의 채널 변화가 없다면 상향링크와 하향링크에서 최적이라고 볼 수 있으나 사용자가 고속으

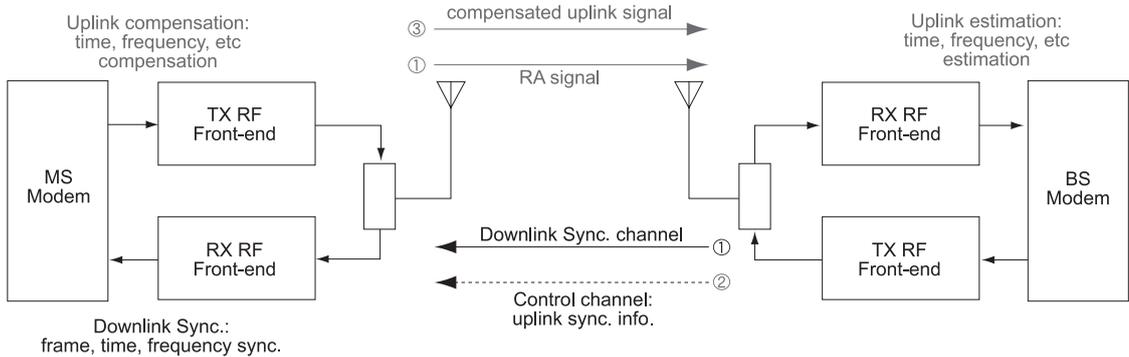
로 움직이는 경우를 포함한 일반적인 상황에서는 채널 변화에 대한 고려가 필요하다. 또한 FDD 시스템에서는 사용대역에 따라 다른 채널 응답을 가지기 때문에 링크별로 최적의 계수값을 구해야 하며, 하향링크에서 계수값을 추정하기 위해서는 안테나별 signaling과 feedback 채널이 필요하게 되는 오버헤드를 가진다.

다. 하향/상향링크 동기화 기법

기본적으로 OFDM 시스템은 동기에 상당히 민감하기 때문에 OFDM 기반의 셀룰러 시스템도 높은 정확도의 동기 성능이 요구된다. 그림 4는 셀룰러 시스템에서의 기지국과 이동국간의 동기화 구조를 보여준다. 셀룰러 시스템의 상향링크에서는 초기 동기를 위해 단말기가 기지국의 신호를 수신하여 시간 동기와 주파수 동기화 및 셀 탐색을 수행해야 한다. 또한, 초기 동기 획득 이후에는 시간과 주파수 옵셋을 추적(tracking)해야 하며, 핸드오버를 위해 인접 셀의 시간, 주파수 동기와 셀 탐색을 수행해야 한다. OFDMA 시스템의 상향링크 동기화 기법은 다수의 이동국과 하나의 기지국 사이에 정확한 동기가 이루어져야 하기 때문에 하향링크와 달리 동기화 과정이 복잡하다. 기본적으로 상향링크 동기화 절차는 기지국이 동기 정보를 추정하여 이동국에 전송하는 폐 루프(closed-loop) 방식으로 수행된다. 최초로 셀에 진입한 이동국은 하향링크 동기화 과정을 수행한 후 자신이 속한 셀의 기지국에 관한 전반적인 정보를 획득하고 이 정보를 토대로 기지국과 연결을 시도한다. 이러한 초기 연결 과정은 RA(Random Access) 과정에서 수행되며, 이외에 기지국과의 초기 연결, 재연결이 필요할 경우 그리고 핸드오버가 필요한 경우에도 RA 과정이 수행된다. RA 과정은 RA를 시도하는 이동국이 RA용 심볼을 전송함으로써 시작된다. RA 과정에서 초기 동기를 획득하여

기지국과 연결을 성공한 이후에도 채널 및 주파수 등이 시간에 따라 변할 수 있기 때문에 이를 추정할 수 있는 신호가 주기적으로 전송되어야 한다. 이러한 과정을 통하여 획득된 동기 정보 및 전력제어 정보는 하향링크 채널을 통하여 각 이동국에 전송되며, 각 이동국은 보상정보에 따라 시간 및 주파수를 보상한다.

어진 채널에 최적화된 적응 변조기법을 적용하여 고속의 전송률을 얻을 수 있다. 또한 다수 사용자를 위한 OFDMA 방식에서 기지국이 모든 사용자에 대한 채널 이득을 알 수 있을 경우, 각 사용자의 주파수 선택적 채널 상황에 따라 적응 부반송파 할당과 적응 변조방식을 적용하여 채널의 용량을 최적화할 수 있다. 그림



〈그림 4〉 OFDM 셀룰라 시스템의 동기화 구조

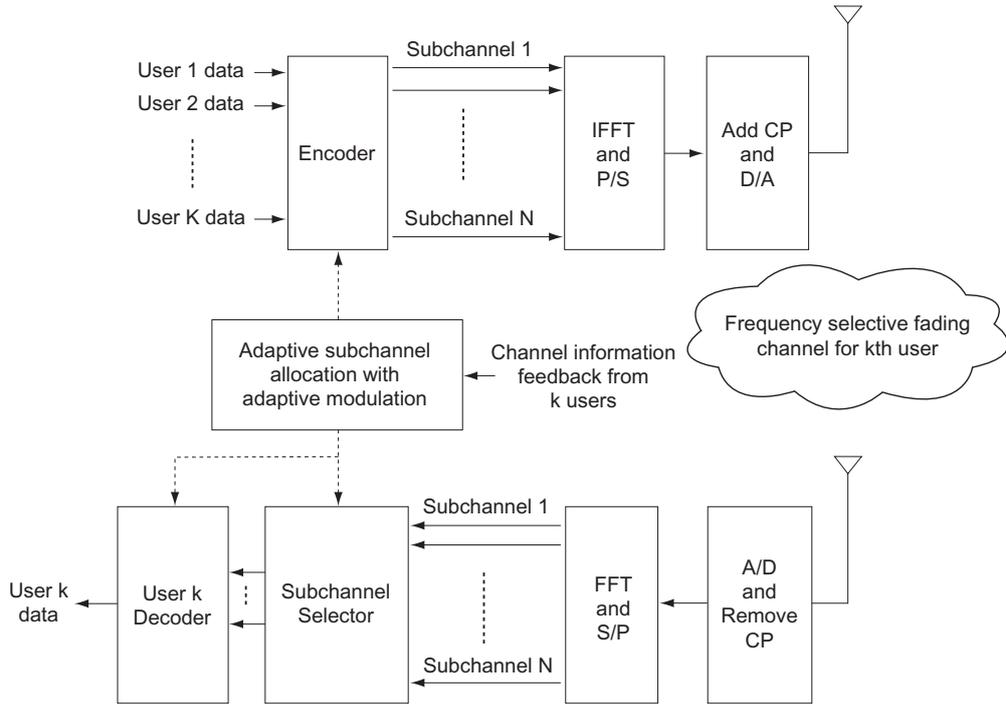
라. 링크 적응(Link Adaptation) 기법

시간에 따라 변하는 채널과 전송환경에 적응적으로 변조방식과 코딩율을 변화하여 전송률과 주파수 효율을 증가시킬 수 있는 기술이 최근 활발히 연구되고 있다. 현재까지의 셀룰러 통신시스템에서 적용되는 LA 기법은 주로 시변하는 무선 채널의 시간적 변화를 추적하여 적응적으로 변조와 코딩율을 적용하는 시간적인 측면에서 이루어졌다. 이러한 LA는 공간으로 확장할 경우 MIMO 시스템에, 주파수로 확장할 경우 OFDM 시스템에 적용할 수 있다. 차세대 통신시스템에서는 고속의 데이터 전송을 위하여 일반적으로 광대역을 사용하기 때문에 채널의 주파수 선택성이 더욱 커지게 되며 이 경우 현재와 같이 모든 부반송파에 동일한 변조방식을 적용할 경우 매우 비효율적이 된다. 이에 OFDM 방식에서는 채널상황을 알 수 있다면 주

5는 OFDMA 하향링크에서 다수 사용자를 위한 적응 OFDM 시스템의 블록도를 나타낸다. 그러나 이와 같이 각 사용자별로 좋은 부반송파를 할당하고 각 부반송파마다 최적의 변조방식을 결정하기 위해서는 송신단에서 하향링크에 대한 채널 상황을 정확히 알고 있어야 하므로 많은 signaling 오버헤드와 계산량이 요구된다. 또한 실제적인 궤환 채널에서는 궤환 경로에 의한 지연이 발생하고 궤환 채널 역시 신뢰할 수 없기 때문에 현재는 이동성이 없는 응용분야에 주로 고려되고 있다.

마. PAR 감쇄 기법

OFDM 신호의 시간영역 신호는 PAR(peak-to-average power ratio)가 단일반송파 방식보다 크게 나타나는 단점이 있다. PAR가 크면 ADC와 DAC의



〈그림 5〉 다수 사용자를 위한 적응 OFDM 시스템의 블록도

복잡도가 증가하고 RF 전력증폭기의 효율이 감소하게 된다. PAR를 감소시키기 위해 많은 기법이 제안되었는데 이들은 기본적으로 다음의 세가지 부류로 분류할 수 있다. 첫 번째로 신호왜곡 기법이 있는데 이 기법은 OFDM 신호를 최대치 또는 그 주변에서 비선형적으로 왜곡시켜 최대치의 크기를 감소시키는 클리핑, 피크 윈도잉, 피크 제거기법, Decision-Aided Reconstruction 기법, 디지털 클리핑&필터링 기법 등이 있다. 두 번째 부류는 부호화 기법으로 큰 PAR를 갖는 OFDM 신호 발생을 억제하는 특수한 전방 오류정정 부호집합을 사용한다. 이는 적절한 코드를 이용하여 각 부반송파간의 상관특성을 직교화하거나 낮추어 시간영역에서의 PAR를 감소시키는 방식으로 Golay 상보부호, Hadamard 행렬을 이용하는 방식 등이 있다. 세 번째 부류는 기본적으로 서로 다른 여러

개의 스크램블링 시퀀스로 각 OFDM 심볼을 스크램블링하고 그 결과 중 가장 작은 PAR를 갖는 시퀀스를 선택하는 방식이다. 스크램블링 시퀀스는 처음에 selected mapping과 partial transmit sequence라는 이름으로 제안되었다. 이외에도 특정 부채널을 사용하여 PAR를 감소시키는 Tone Reservation 기법, 심볼의 정상도를 변화시키는 Tone Injection 기법과 Fourier Projection 기법, DFT Spreading 기법 등이 있다.

바. 고속 시변 채널의 추정 및 등화 기법

4G 셀룰러 시스템은 최대 250km/h의 속도에서 약 2Mbps의 전송속도를 요구하고 있다. 이와 같은 고속의 이동환경에서 OFDMA 시스템의 성능열화를 방지



하기 위해서는 강건한 채널 추정이 요구된다. 특히, 고속의 이동환경에서는 한 OFDM 심볼 내에서도 채널이 변화하게 되어 부채널간 간섭을 발생시키기 때문에 기존의 등화 방식으로 성능이 열화되어 이에 대한 연구가 진행 중이다.

7. 결론

본 고에서는 Beyond IMT-2000 시스템의 이동통신 시스템 전송방식으로 활발히 연구 중인 OFDM 핵심기술의 최근 연구동향에 대하여 기술하였다. 특히

최근 이동통신시스템에 적용을 위한 OFDM 전송기법에 대한 많은 연구가 진행되어 기존에 문제점으로 되어 있던 많은 부분이 해결되었으나, 아직도 인접 셀에서 full-load가 될 경우 셀의 경계 부분에서 성능이 크게 열화되는 셀간 간섭 문제 등의 부분에서 연구가 필요하다. 아직 OFDM 방식이 이동통신시스템에 적용되어 상용화가 이루어진 적은 없으나, 미래에는 초고속의 인터넷 서비스 등의 고속 데이터 전송이 필요하고 OFDM 방식이 초고속의 전송에 적합하기 때문에 이를 적용한 시스템의 개발이 활발히 이루어질 것으로 사료된다. 

