

특 집

무선 초고속 인터넷 물리계층 기술 동향

김 세 영, 김 낙 명

이화여자대학교 정보통신학과

요 약

최근, 3세대 이동통신 시스템의 상용화가 큰 이슈로 등장하고 있는 가운데, 한편에서는 휴대 인터넷에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 본고에서는 무선 초고속 휴대 인터넷과 관련된 기술적 요체를 중심으로 표준화 동향, 핵심 기술, 표준화에 후보로 떠오르고 있는 주요 시스템 모델 등에 관하여 개괄적으로 소개하고자 한다.

I. 서 론

초고속 인터넷 서비스가 보편화됨에 따라 어느 정도의 이동성이 지원되고 고속의 데이터 전송이 보장되는 새로운 서비스에 대한 필요성이 대두되고 있다. 그 일환으로 대두되고 있는 휴대 인터넷 서비스는 휴대형 무선 단말기를 이용하여 정지 및 이동 환경에서 고속으로 인터넷에 접속하여 다양한 정보 및 콘텐츠 이용이 가능하게 하는 서비스이다. 최근 이러한 목적으로 상용화된 KT의 네스팟 서비스가 이러한 수요의 한 단면을 보여주고 있으며, 이는 무선랜 표준인 802.11b 기술에 근거하여 시스템을 구성하였으므로, 통달거리가 짧은 단점에도 불구하고 전락 지역별로 그 이용이 점차 증대되고 있다. 물론 대체 서비스로서 기존의 이동 통신망을 이용한 휴대인터넷 서비스를 생각해 볼 수는 있으나, 전송 속도가 상대적으로 낮은데 반해 서비스 요금이 높기 때문에 유선

인터넷에 버금가는 활용을 기대하기는 어렵다.

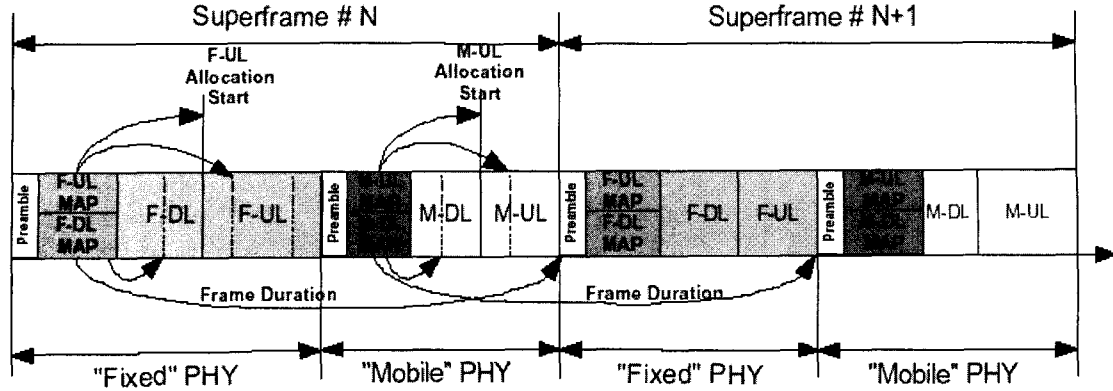
새로운 초고속 무선 휴대 인터넷은 광역의 커버리지, 고속의 데이터 전송 및 단말기의 이동성이라는 특성을 동시에 만족해야 한다. 현재 논의되고 있는 2.3GHz의 휴대 인터넷은 WLAN과 3G 셀룰러 서비스의 중간 서비스 영역을 대상으로 한다. 휴대 인터넷 서비스는 데이터 트래픽 특성에 최적인 packet network로 구성되어 음성과 데이터를 동시에 지원하는 셀룰러 이동통신에 비하여 비용 절감의 기대가 있고, 향후 음성 서비스는 VoIP 기술을 이용하여 제공이 가능하다. 또한, 사용자는 실내/외에서 모두 고속의 전송속도를 보장 받으며 양질의 서비스를 기대할 수 있다.

본고의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 IEEE 802.16e 및 IEEE 802.20을 중심으로 한 국제 표준화 활동을 살펴보고, III장에서는 초고속 인터넷을 위한 물리계층 핵심기술들을 소개한다. 이어, IV장에서는 무선 초고속 인터넷을 위해 제안되고 있는 후보 기술인 i-Burst 시스템, Flash-OFDM, HPi와 Ripwave 시스템 등에 대해 살펴본다.

II. 무선 초고속 인터넷기술 표준화 동향

1. IEEE 802.16e 표준화 그룹

IEEE 802.16(BWA: Broadband Wireless Access)은 WMAN(Wireless Metropolitan Area Network) 관련 표준을 진행중이다. 이미



〈그림 1〉 TDD super-frame 의 구조

완성된 802.16a 표준은 2-11GHz 주파수 대역을 사용하며 최근에는 이 표준을 확장하여 저속의 이동성을 지원하고 2~6GHz 주파수 대역을 사용하면서 최대 70Mbps의 데이터 속도를 지원할 수 있는 초고속 패킷 데이터 서비스용 802.16e의 표준 활동이 활발하게 진행중이다. 802.16e는 802.16a의 PHY 및 MAC의 확장 개념으로서, 802.16a의 모든 기능이 지원되어야 하며, 802.16e 디바이스는 802.16a 환경에서도 동작해야 한다. 또한, 802.16a 디바이스도 802.16e 환경에서 동작이 가능해야 된다는 전제가 있다.

한편, 802.16e는 고정 무선 시스템과의 호환성을 지원하게 된다. 이를 수행하기 위해 제안된 한 예를 살펴보면 TDD super-frame의 구조를 들 수 있다. 〈그림 1〉은 fixed frame과 mobile frame의 interleaving 한 예이다. 시간 축은 몇 개의 고정된 크기의 super-frame으로 나뉘어지고 하나의 super-frame 안에 몇 개의 frame들이 있는데 이 frame들은 fixed 또는 mobile type으로 나뉘어져 있다. super-frame은 먼저 fixed type의 preamble로 시작된다.

2. IEEE 802.20 표준화 그룹

IEEE 802.20 표준화그룹은 IEEE 802.16 산하 스터디 그룹(SG)으로 출발하였으나 인터넷 접속시 유비쿼터스 및 이동성을 보장할 수 있는 장점으로 2002년 12월에 독립 WG(Working

Group)으로 활동을 개시하였다. 즉, 802.20 WG는 이동성과 유비쿼터스가 보장되는 인터넷 액세스, 기업의 인트라넷 서비스와 정보 및 위치 서비스로의 접근, 및 인터넷 애플리케이션의 투명성 보장을 원하는 사용자의 요구를 충족시키는데 활동 목적이 있다. IEEE 802.20 WG이 추구하는 사항은 패킷 데이터용 MBWA(Mobile Broadband Wireless Access) 시스템을 위한 AI(air interface)의 PHY와 MAC 규격 개발에 있다. 물리 계층은 802.11과 802.16 표준을 바탕으로 할 것을 제안하였고, 광대역 환경 특성상 발생하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼 길이 문제와 고속 이동 환경에서 채널 보상 문제에 대한 분석이 필요하다고 언급하고 있다. 〈표 1〉은 MBWA에서 추구하는 성능기준을 보여주고 있다. 최대 250Km/h까지의 이동성을 지원하고, 스펙트럼 효율은 하향채널(DL)에서는 1bps/Hz/cell 이상이다. 주파수 대역은 3.5GHz 이하의 대역을 사용함을 전제로 하였고, 사용자당 최대 1Mbps 이상의 데이터 전송 속도를 지원한다. UMTS 모델을 사용하고 Duplexing으로는 FDD와 TDD를 모두 지원하고 있다.

이러한 목표를 위하여 제안되고 있는 기술들로는, 고속 데이터 전송을 위한 적응변조와 코딩기법이 있고, 주파수 사용효율을 극대화하기 위한 적응 빔형성이나 스마트 안테나 기법 등이 있다.

〈표 1〉 802.20에서 정의한 MBWA 시스템의 요구특성

특 성	대역폭 1.25 Mhz	대역폭 5 Mhz
이동성	최대 250 Km/hr	
주파수 효율	>1 bps/Hz/cell	
최대 전송속도 (하향채널 : DL)	>1 Mbps	>4 Mbps
최대 전송속도 (상향채널 : UL)	>300 kbps	>1.2 Mbps
셀 당 최대 총데이터율 (DL)	>4 Mbps	>16 Mbps
셀 당 최대 총데이터율 (UL)	>800 kbps	>3.2 Mbps
주파수 대역	<3.5GHz	
쌍방향 통신	FDD 및 TDD	
보안성	AES(Advanced Encryption Standard)	

〈표 2〉 802.20 및 여타 관련 표준들 간의 특성 비교

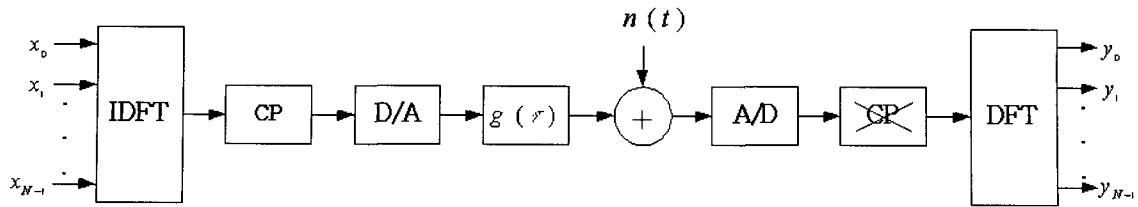
	802.11	802.15	802.16a	802.20
주파수 허가여부	비허가	비허가	허가/비허가	허가
주파수 대역	2.4GHz, 5GHz	응용에 따라 다양	2-11GHz	3.5GHz 이하
서비스 영역	근거리	개인영역	Metropolitan	Metropolitan
이동성	휴대, 근거리이동	개인영역	근거리이동 기준	자동차속도까지
표준화 대상	LAN 용 PHY 및 MAC	PAN 용 PHY 및 MAC	근거리이동용 PHY 및 MAC	차량속도 이동용 PHY 및 MAC

802.20 표준은 IP(Internet Protocol) 기반 고속 데이터 통신을 추구하고 있다. All IP 기반의 네트워크를 고려할 때 IP 프로토콜이나 응용 프로그램들의 어떤 수정 없이도 MBWA 무선 링크를 사용할 수 있어야 하고 이동성 제공을 위해 IP Mobility도 고려해야 한다. 그리고 MBWA에서의 핸드오프는 단말기가 셀 사이, 시스템 사이, 주파수 사이를 이동할 때 계속적으로 안정적인 서비스를 제공하기 위한 방식이 필요하여 All IP 망에서의 고속 이동성을 보장하는 단말 제어 핸드오프가 제안되고 있다. 〈표 2〉는 802.20 및 이와 유사한 다른 표준들의 특징을 비교하고 있다.

Ⅲ. 무선 초고속 인터넷을 위한 물리 계층 핵심기술

1. OFDM 기술

OFDM 기술은 광대역의 주파수 영역을 다수의 협대역 영역으로 나누어 구분하여 동시에 전송하는 기법으로서, 다중경로 페이딩에 의한 주파수 선택적 페이딩을 겪는 채널에 특히 강한 특성을 지니고 있어서 고속 무선 데이터 통신에 적합할 뿐만 아니라 현재 많은 통신 시스템의 표준으로 채택되는 추세이다. 휴대 인터넷 시스템의 범주만 보더라도, 뒤에서 소개할 Flarion, Broadstorm과 IOSpan 등의 모델에서 OFDM



OFDM baseband model

<그림 2> 기본적인 OFDM 구조도

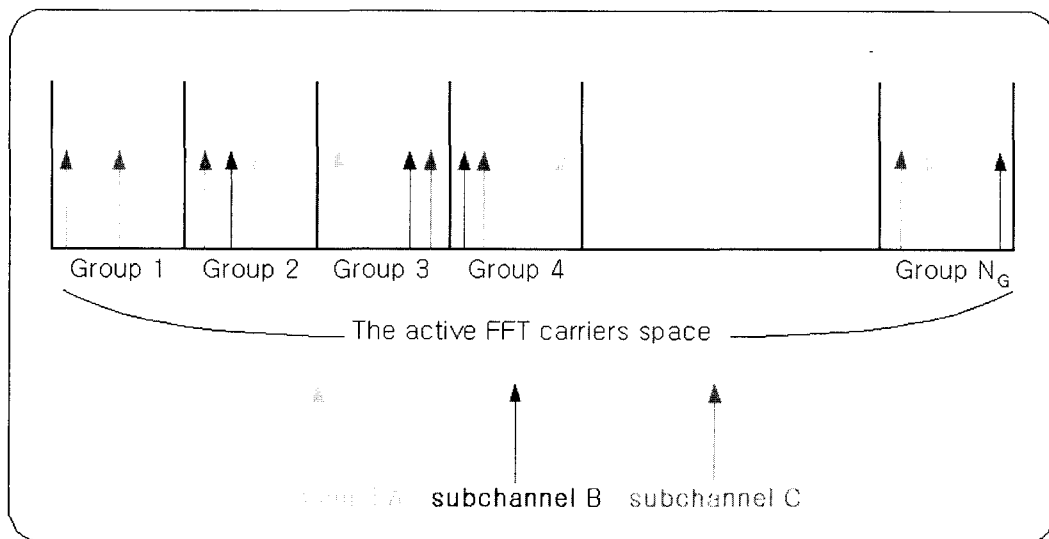
이 채택되고 있다. 특히 OFDM 방식은 단일 주파수만이 가능하여 디지털 오디오 방송(DAB: Digital Audio Broadcasting)과 유럽형 디지털 지상파 텔레비전 방송(DVB-T)의 표준 방식으로도 채택된 바 있다.

OFDM은 주파수 선택적 채널을 병렬의 부채널로 변환하는데, 이 방법에 의해서 주파수 선택적 페이딩을 겪는 전체 채널은 flat-fading을 겪는 여러 개의 부채널로 취급된다. 따라서, 고속의 데이터 전송시 고속의 데이터 전송 속도를 그대로 유지하면서 각 부채널에서의 심볼 주기를 부채널의 수 만큼 확장시킬 수 있기 때문에 전송 심볼의 길이가 길어져 주파수 선택적 페이딩 채널이래서도 성능열화가 매우 적다. 여기서 OFDM의 병렬전송은 수신단의 복잡도를 크게 줄이는

데도 기여하고 있다. 주파수 영역에서 신호를 처리하므로 병렬전송에 의해 각 부채널에 간단한 1-tap 등화기를 사용할 수 있고, 보호 구간의 삽입만으로 무선 통신 환경에서 고속의 데이터 전송을 할 때 가장 심각한 문제인 심볼간 간섭(ISI)의 영향을 효율적으로 해결할 수 있다.

2. OFDM 다중 접속(OFDMA)

OFDMA 기술은 OFDM을 바탕으로 하여, 각 user 별 데이터가 전체 직교성 부반송파들 중에서 일부 subset으로 구성되어 다중 접속을 달성하는 방식이다. OFDMA는 flexibility, scalability, diversity 등의 목적으로 TDMA, FH (Frequency Hopping) 등과 결합되어 사용되기도 한다. FH-OFDMA에서는 사용자 별로 할



<그림 3> OFDMA 시스템의 주파수 할당

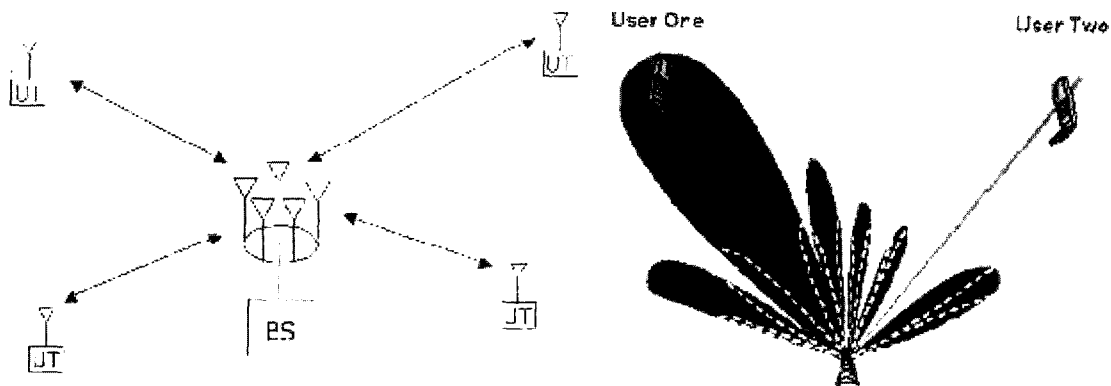
당된 부 대역들이 hopping pattern에 따라서 변동되게 된다. 즉, 사용자 별로 할당되는 부반송파를 일정 시간간격마다 변동시킴으로써 특정 사용자 정보가 deep fading 상태에 빠질 확률을 현저히 낮추주고, 여러 시간 슬롯을 기준으로 볼 때 간섭 신호를 averaging 시키는 특성을 지닌다. FH 방법으로는 임의 직교 패턴을 이용하는 방법이 있으며, 최근에는 인접셀 등의 간섭 신호 등을 고려하여 매 시간 슬롯마다 신호대 간섭 잡음 비를 최대화시키는 동적 FH 방법들에 대해서도 활발히 연구되고 있다. 일례로서 FH 방법과 간섭 제거 기술을 결합한 DFH(Dynamic Frequency Hopping) 방법을 들 수 있다. DFH 방식의 요점은 단말기의 채널 환경에 따라 간섭이 최소화되게 부채널을 할당하는 것이다. <그림 3>은 OFDMA의 부채널 할당의 일례를 보여주고 있다. 사용자마다 채널 특성이 다른 것을 고려하여, 부채널에 할당된 스트림들은 서로 다른 변조 기법, 코딩 방식, 전력 조정 방법을 사용할 수 있고, 자원 할당 알고리즘을 적용하여 주파수 효율을 더욱 증진시킬 수 있다.

3. Array Antenna 기술

기지국에 다수의 안테나를, 단말기에 하나 또는 다수의 안테나를 설치함으로써 신호 이득, 간섭 회피, 공간 다중접속(SDMA) 효과를 얻을 수 있다. 신호 이득은 공간 다이버시티를 통하여

fast fading에 강하게 되고 수신기에서의 coherent combining 과정으로 다경로 효과를 완화하는 것으로부터 얻어진다. 간섭 회피 기능은 다중 안테나를 이용한 동일 셀 내의 SINR의 증가를 얻을 수 있고, 셀간 간섭 및 대역폭 바깥 간섭을 줄일 수 있다. 또, SDMA 효과는 다수의 co-channel 사용자를 지원할 수 있게 함으로써, 스펙트럼 사용효율을 높인다. <그림 4>는 SDMA의 개념을 도시하고 있다. 단, SDMA는 정확한 채널 추정을 요구하므로 고속이동시의 초고속통신의 경우에는 구현이 어렵다는 단점이 있다.

더 나아가, 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술은 한정된 주파수를 효율적으로 사용하기 위해 다수의 송신 및 수신 안테나를 사용하는 기술이다. 다중 송수신 안테나 기술은 송신기에서 각 송신 안테나를 통해 서로 다른 데이터를 전송하고 수신기에서는 적절한 신호처리를 통해 송신 데이터를 구분해 냄으로써 시스템의 채널 용량을 극대화시킬 수 있다. 이러한 장점이 있는데 반해 MIMO 기술의 도입을 위해서는 전송 안테나가 공간적으로 분리될 수 있도록 충분한 angular multipath가 존재해야 되므로 채널 간에 높은 상관 레벨을 가질 경우 MIMO 기술의 적용은 어렵다. 2개의 송신 안테나를 사용한 Alamouti의 STBC(Space-Time Block Code)는 쉽게 OFDM에 적용될 수 있다는 장점이 있다.



<그림 4> Array 안테나 기술 개요 (a) 안테나 어레이 (b) SDMA

IV. 무선 초고속 인터넷 후보 기술 및 시스템

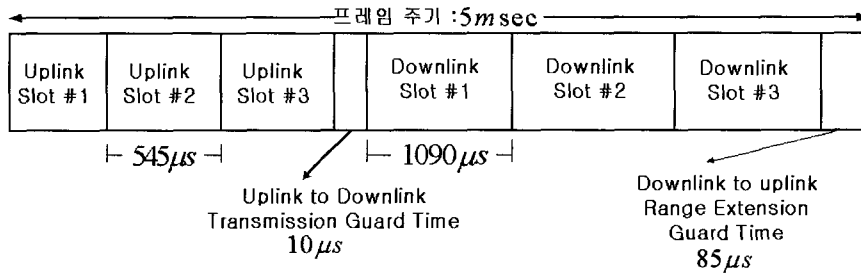
1. ArrayComm의 i-Burst 시스템

미국 ArrayComm사가 개발한 i-Burst 시스템은 IP 기반의 광대역 이동 무선인터넷 액세스 구조를 가지며 스마트 안테나를 사용하여 시스템의 용량, 효율 및 커버리지를 증대시키고 있다. i-Burst는 TDMA/TDD/SDMA 방식을 사용하여 사용자당 최대 하향 1.06Mbps, 상향 345.6kbps의 전송속도를 제공하고 중저속의 이동성을 지원한다. 특히, 고효율 변조기법과 스마트 안테나를 채용함으로써 주파수 효율을 4bps/Hz/cell까지 끌어 올리고 있다. <그림 5>는 i-Burst의 프레임 구조를 보여주고 있다. 그림에서 8개의 RF 채널들로 나뉜 5MHz의 주파수 할당

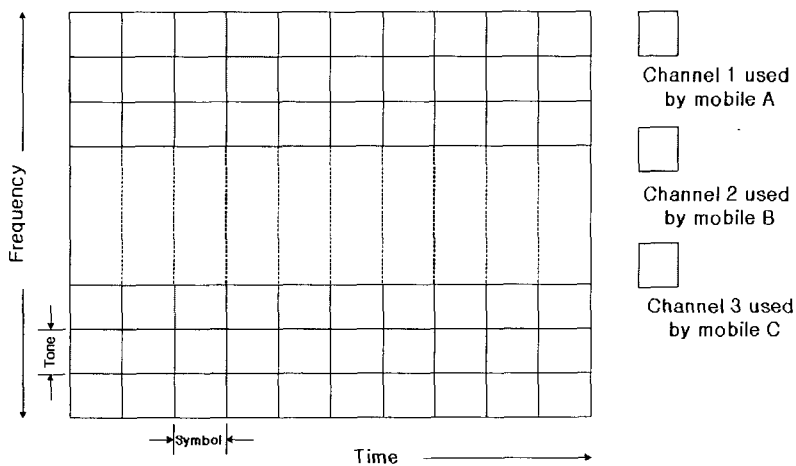
을 볼 수 있으며, 하나의 프레임은 5ms의 주기를 가지고 상향 링크를 위한 3개의 슬롯과 하향 링크를 위한 3개의 슬롯으로 구성된다. 그리고 상하향 링크사이에 각각 Transition Guard Time과 Range Extension Guard Time이 추가된다.

2. Flarion의 Flash-OFDM

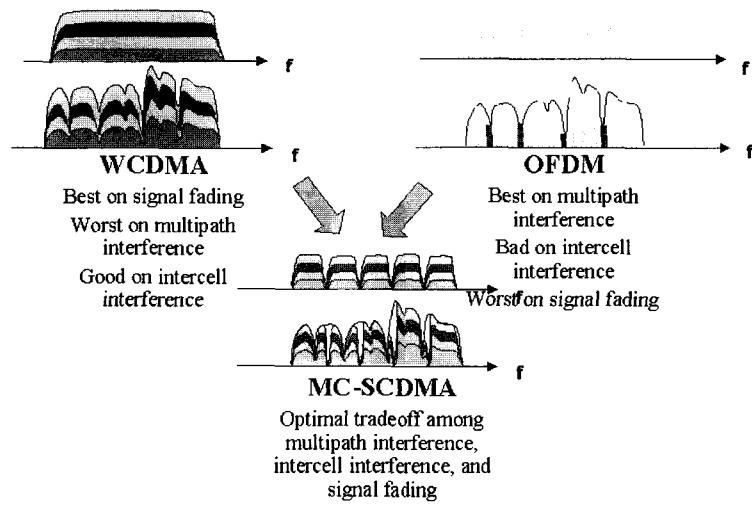
Flash-OFDM은 Flarion사가 독자적으로 개발한 OFDM을 이용한 초고속 무선통신 시스템이다. Flash-OFDM은 IP 기반의 셀룰러 네트워크를 지향하는 기술로 빠른 주파수 hopping에 의한 OFDM 기술을 이용하여 CDMA와 TDMA의 장점을 살려 송신 용량을 극대화한 것이 특징이다. <그림 6>에서 보여주는 Flash-OFDM은 의사랜덤 코드 패턴을 사용하여 fast hopping



<그림 5> i-Burst의 프레임 구조



<그림 6> Flash-OFDM



〈그림 7〉 Ripwave의 MC-SCDMA

을 한다. 각 사용자는 hopping pattern에 따라 서로 다른 부채널을 돌아가면서 사용하기 때문에 같은 셀 안의 사용자들은 서로 간섭이 최소화된다. 기지국들은 서로 다른 hopping pattern을 사용하게 되고 각각은 전체 사용 가능한 스펙트럼을 함께 공유하게 된다. 따라서 주파수 확산 시스템의 장점, 주파수 다이버시티, 그리고 ICI (InterCell Interference) averaging 같은 이득을 동시에 도모할 수 있게 된다.

3. ETRI 주도의 HPi 시스템

초고속 휴대 인터넷 시스템, 즉 HPi(High-speed Portable internet system)는 최대 셀의 반경이 수 km 정도이며 최대 60Km의 중저속 이동성을 지원하고 전송 속도 또한 50Mbps 까지 제공한다. HPi는 효율적인 고속의 인터넷 서비스를 위해 스펙트럼 효율의 극대화, 서비스 커버리지의 증대와 저비용 시스템을 추구하고 있다. 쌍방향 통신 방법으로는 채널 가용성을 용이하게 적용할 수 있고 작은 주파수 대역도 이용 가능한 TDD 방식을 제안하고 있으며, 다중 액세스 방법으로는 OFDMA 방식을 제안하고 있다. 그리고 IMT-2000 시스템 혹은 기존의 WLAN과 연동하여 연속적인 서비스를 제공할 수 있는 무선 초고속 휴대 인터넷 시스템 개발을 목

표로 하고 있다. 상용화 시기는 국내 사업자 및 제조업체와의 공동연구를 통해 조기 상용화를 이루어 2005년경으로 예상하고 있다.

4. Navini의 Ripwave 시스템

Ripwave 시스템은 기본적으로 2.596~2.686 GHz 대역을 전제로 하고 있으며, 변경이 가능하다. 시스템 대역폭은 5MHz이고 채널 대역폭은 500KHz로서 10개의 채널 할당이 가능하다. 다중접속 기술로는 MC-SCDMA (Multi carrier-Synchronous Code Division Multiple Access) 및 스마트 안테나 기술을 도입하여 주파수 재사용률을 1까지 높임으로써 3세대 이동통신과 비교하여 5배가량 주파수 효율을 높인 것이 특징이다. 가입자당 최대 전송속도는 5.5Mbps이고 TDD 기법을 사용한다. 〈그림 7〉은 MC-SCDMA의 개념을 나타내고 있다. MC-SCDMA의 셀간의 간섭은 WCDMA와 비슷하며 OFDM 보다 우수하다. 다경로 간섭에는 JD(joint detection)를 사용하여 OFDM과 비슷한 성능을 가지며 WCDMA보다 우수하다. 따라서 MC-SCDMA는 WCDMA와 OFDM을 결합함으로써 상호 보완의 장점을 얻은 시스템이라고 할 수 있다.

〈표 3〉은 위의 기술들을 종합적으로 비교 분석한 것이다.

〈표 3〉 무선 초고속 인터넷 후보 시스템 상호 비교

구 분	기술보유 업체	Duplex	다중접속 방식	이동성	하향 최대 전송 속도 (Mbps)			대역폭 (MHz)	커버리지
					Cell	Sector	User		
i-Burst	ArrayComm	TDD	TDMA/ SDMA	<30Km/h	20	NA	1 (24QAM)	5	<1.6Km
Flash- OFDM	Flarion	FDD	OFDM- FH	<110Km/h	9	3	3 (16QAM)	1.25	<4Km
HPi	ETRI	TDD	OFDM- TDMA	<60Km/h	34	NA	2	10	<1Km
Ripwave	Navini	TDD	MC- SCDMA	<60Km/h	50	17	3.2 (64QAM)	5	<1Km

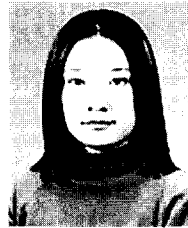
V. 결 론

본고에서는 최근 활발히 연구가 진행 중인 무선 초고속 인터넷의 표준화 동향 및 핵심 기술 요소를 살펴보았다. 표준화 동향으로는 현재 경쟁이 치열한 IEEE 802.16e와 IEEE 802.20의 특징 및 요소 기술들을 중심으로 살펴보고, 이를 이루기 위한 핵심 요소 기술로 OFDM, OFDMA와 어레이 안테나 기술 등을 소개하였다. 마지막으로 이 기술들을 적용한 후보 기술들을 비교 분석하였다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.ieee802.org/16/tge>
- [2] <http://www.ieee802.org/20/>
- [3] <http://www.flarion.com>
- [4] 권명규, 박평수, "2.3GHz대역 주파수 활용을 위한 표준 기술 소개 OFDM", TTA 저널 제48호
- [5] 차용주, 김정희, 이상호, 이성춘, "2.3GHz대역 주파수 활용을 위한 표준 기술 소개 i-Burst", TTA 저널 제84호
- [6] 최형진, 이희수, 손인수, "IEEE 802.20 회의", TTA 저널 제86호

저 자 소 개



김 세 영

2002년 2월 이화여자 대학교 정보통신학과 졸업, 2002년 9월~현재: 이화여자대학교 정보통신학과 석사과정, <주관심 분야: 4G 이동통신, OFDM, MIMO>



김 낙 명

1980년 서울 대학교 전자공학과 졸업, 1982년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사, 1990년 미국 Cornell University 전기공학과 공학박사 1990년~1996년: LG 정보통신(주) 중앙연구소 책임연구원, 1996년~현재: 이화여자대학교 공과대학 정보통신학과 부교수, <주관심 분야: 4G 이동통신, MIMO/OFDM 시스템, SDR>