

## 휴대인터넷 서비스를 위한 무선 접속 기술 및 시스템 분석

강 충 구

고려대학교 전파통신공학과

### I. 서 론

인터넷 접속 수요가 증대하면서 1Mbps 이상의 고속 데이터 전송을 보장하면서, 이동성이 지원되는 새로운 서비스에 대한 필요성이 대두되고 있다. 현재의 IMT-2000 시스템은 회선 및 패킷 서비스를 동시에 지원하기 때문에 망 구조가 복잡하고, 고가 장비로 인하여 높은 요금이 예상되므로 효율적인 이동 무선인터넷 접속 서비스로서 부적절한 것으로 지적되고 있다. 한편, 무선 LAN과 같이 제한된 지역을 커버하는 시스템의 경우에는 저가로 고속의 데이터 서비스를 제공할 수 있으나, 이동성이 취약하고 실외 환경에서 신뢰성 있는 서비스의 제공에 한계가 예상된다. 따라서, 국내에서는 2002년도부터 2.3GHz 대역을 활용하여 이와 같은 기존 시스템의 한계를 극복하고 ADSL 수준의 품질과 비용으로 정지 또는 저속 이동 중에도 고속 인터넷 접속이 가능한 준이동 무선인터넷 서비스로서 '휴대인터넷'이라는 새로운 서비스를 개념화한 바 있다. 휴대인터넷 서비스는 정액제 요금으로 "Always Connected" 형태로 유선 ADSL과 유사한 수준의 전송률과 품질을 보장함으로써 기존의 이동통신 및 3세대 이동통신과 차별화하고자 한다.

최근 정보통신부의 휴대인터넷·이동통신 주파수 연구반에서 새롭게 정의한 2.3GHz 대역 휴대인터넷 서비스의 개념은 "언제 어디서나 정지 및 이동 중에 고속으로 무선 인터넷 접속이 가능한 서비스"이다<sup>1)</sup>. 여기서, "언제 어디서나"의 의미는 실내 및 실외에서 인터넷 접속이 가능하게

하는 것이다. 한편, "정지 및 이동 중에"의 의미는 정지 또는 저속 이동성을 보장하는 것이나, 저속 이동성의 범위에 대해서는 의견이 명확히 일치되지는 않은 부분이다. 또한, 전송 속도 측면에서는 가입자당 최대 1Mbps급 이상으로 초고속 인터넷 수준의 전송률을 지원하는 서비스로 보고 있다<sup>2)</sup>.

휴대 인터넷 서비스를 위한 대안 기술은 크게, 실내 환경에서 Nomadic 서비스를 위한 무선 LAN 기술과 실외의 광대역 고정 무선가입자망을 위한 무선 MAN(Metropolitan Area Network) 기술, 그리고 이동환경에서 초고속 무선 인터넷 접속을 지원하는 이동 광대역 무선 액세스(Mobile Broadband Wireless Access: MBWA) 기술 등으로 구분할 수 있다. 이들 기술은 다시 표준 및 비표준 기술로 구분이 되며, 이들 규격의 표준화 및 상용화 현황을 요약하면 <표 1>과 같다.

본 고에서는 이미 보편적으로 알려져 있는 IEEE 802.11 규격 기반의 무선 LAN 기술, 2.5세대 이동통신과 기술적인 연장선상에 있는 3G 이동통신 기술 등에 대해서는 별도로 언급하지 않고, 무선 MAN의 관점에서 표준화가 지속적으로 진행되고 있는 IEEE 802.16e 기술과 MBWA를 지원하는 IEEE 802.20 그룹의 표준화에 참여하고 있는 개별 기술들에 대해서 살펴보고자 한다. 특히, 이들 MBWA 비표준 개별 기술로는 Flarion사의 flash-OFDM, ArrayComm사의 i-Burst, Navini사의 Ripwave, Broadstorm사의 Broad@ir 등을 들 수 있다. 한편, 한국전자통신연구원과 삼성전자가 공동 개발 중인 HPi

〈표 1〉 휴대 인터넷 서비스를 위한 대안 기술들의 분류 및 현황 구분

구분	표준	분류	규격	개발 현황
국 외	표준 기술	Wireless LAN	IEEE 802.11b	상용화
			IEEE 802.11a	상용화
			IEEE 802.11g	개발 중
		2.5G/3G 이동통신 기술	cdma2000 1x EV-DO	상용화
			W-CDMA	상용화
		Wireless MAN	IEEE 802.16a	개발 중
		Mobile WMAN	IEEE 802.16e	표준화 단계
	Mobile BWA	IEEE 802.20	표준화 단계	
	비표준 기술	Mobile BWA	i-Burst	시범 서비스
			flash-OFDM	시범 서비스
Ripwave			시범 서비스	
Broad@ir			시범 서비스	
국 내	비표준	휴대인터넷	HPI	개발 중

(High-speed Portable Internet) 기술은 IEEE 802.16a 규격을 기반으로 한다.

## II. 무선접속 기술

휴대 인터넷 서비스를 지원하기 위한 무선접속 기술을 무선전송 및 다중 접속, 그리고 매체접근 제어 기술로 구분하여 살펴본다.

### 1. 무선 전송 기술

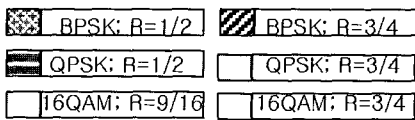
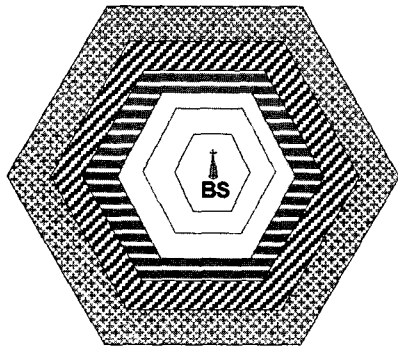
휴대 인터넷에서는 사용자당 적어도 1Mbps의 최대전송률(peak data rate)을 요구하며, 제한된 대역폭으로 이를 실현하기 위해서는 16-QAM 또는 64-QAM 등의 고효율 변조 방식과 더불어 다중경로 페이딩에 따른 인접심볼간 간섭(Inter-Symbol Interference: ISI)을 극복할 수 있는 기법이 구현되어야 한다. 특히, 무선 채널에서 고효율의 변조 방식을 적용하기 위해서는 충분한 신호대 간섭비를 확보할 수 있어야 하며, ISI를 극복하기 위해 복잡한 채널 등화기(equalizer)가 요구된다.

### 1) 적응 변조 및 부호화 방식(Adaptive Modulation & Coding: AMC)

단말의 위치에 따라 적절한 신호대 간섭비(C/I)를 확보하기 위해서는 링크 적응 기법(link adaptation)이 필요하며, 그 대표적인 방식이 전력제어(power control)이다. 그러나, 최대 송출 전력의 제한으로 인하여 전력제어만을 통해 셀 내의 모든 사용자들이 동일한 전송률과 품질을 확보하고자 할 때 셀 커버리지가 제한되고, 또한 동일 주파수를 사용하는 셀간의 간섭(co-channel interference)이 심각하게 야기될 수 있다.

일반적으로 수신신호 크기의 상관함수 값은 단말의 속도가 높아질수록 작아지게 되며, 반면 단말의 속도가 낮을 경우에는 그 값이 상대적으로 높아진다. 예를 들어, 도플러 주파수가 5Hz일 때 20ms에 걸쳐서 상관값이 0.8 이내로 유지될 수 있다. 즉, 다수의 프레임에 걸쳐서<sup>1</sup> 채널 상태가 변하지 않는다고 볼 수 있다. 따라서, 주어진 채널 상태에 따라 적절한 수준의 변조 및 채널

1. 광대역 이동인터넷 시스템에서 한 프레임의 길이는 대개 1ms-5ms의 범위를 가짐



〈그림 1〉 적응변조/부호화에 따른 영역별 전송 모드

부호화 방식을 적응적으로 적용할 수 있다. QPSK, 8-PSK, 16-QAM, 64-QAM 등의 변조 방식과 평처링에 의해 다양한 부호화률을 제공하는 채널 부호화 방식을 조합하여 다수의 물리계층 전송 모드를 제공한다. 일반적으로 단말의 위치가 기지국과 가까울수록 C/I가 높기 때문에 고효율 변조가 가능하고, 반면 셀 가장자리로 갈수록 변조 차수가 낮은 방식이 적용될 것이다. 따라서, 셀 내의 영역별로 AMC에 의해 결정되는 특정 전송 모드가 〈그림 1〉과 같이 구성될 수 있다.

한편, 휴대인터넷과 같은 패킷 데이터 시스템에서는 채널의 상태가 좋은 사용자가 우선적으로 전송할 수 있도록 스케줄링함으로써 시스템 전체의 수율(throughput)을 극대화할 수 있다. 따라서, AMC 방식은 이와 같은 스케줄링과 결합하여 동작하는 것이 일반적이며, 이때 시스템의 수율과 사용자간의 공정성을 극대화하기 위한 스케줄링 기법이 요구된다.

## 2) OFDM/OFDMA 기술

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술은 고속 입력 심볼열을 다수의 병렬 심볼열로 변환한 후에 각 열에서 발생하는 심볼을 상호 직교적인 부반송파 신호에 의해 전송하는 방식으로서, 이를 통해 주파수 선택적

인 광대역 채널을 다수의 협대역 플랫 페이딩 채널로 분할하여 전송하는 효과를 얻게 된다. 특히, OFDM 방식은 IFFT와 FFT 연산에 의해 구현이 간단하며, 각 전송 심볼열이 협대역 플랫 페이딩 채널을 겪는 효과를 얻기 때문에 단일 탭의 채널 등화로 검출이 가능하다<sup>2</sup>. 주파수 선택적 채널에서 이와 같은 특성을 얻기 위해서는 OFDM 심볼 내에 guard interval로서 OFDM 심볼의 일부를 복사하여 붙이는 cyclic prefix를 포함해야 하며, 이는 OFDM 심볼을 구성하기 위해 불가피한 오버헤더로 작용한다. 이때 cyclic prefix의 길이는 채널의 확산지연(delay spread) 길이보다 길어야 한다. Cyclic prefix의 길이가 OFDM 심볼의 10% 이내를 차지하도록 하고 부반송파간의 간격이 coherence bandwidth보다 크도록 설계하는 것이 일반적이며, 이에 따라 부반송파의 수가 결정된다. IEEE 802.11a 무선 LAN의 경우 64개의 부반송파를 사용하며, IEEE 802.16a 무선 MAN의 경우에는 256개의 부반송파를 사용하고 있다.

OFDM 방식에서는 주어진 시간에 한 사용자가 모든 부반송파를 동시에 사용하게 된다. 그러나, 전체 부반송파 중에서 일부 부반송파가 심한 페이딩을 겪게 되는 경우에는 채널 상태가 좋은 부반송파만을 선택해서 할당할 수 있으며, 이 경우에는 일부 부반송파에만 전력을 집중(concentration)할 수 있기 때문에 이득을 얻을 수 있다. 한편, 여러 사용자가 존재할 때 이들간에 채널 상태가 좋은 부반송파를 선택하여 할당함으로써 여러 사용자간에 부반송파를 공유하는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)가 제안된 바 있으며, 이는 새로운 다중 접속 방식으로서 IEEE 802.16a 및 IEEE 802.16e 규격에서 채택된 바 있다. 사용자별로

2.  $n$ 번째 부반송파에서 전송된 심볼과 수신된 심볼을 각각  $A_n$ 와  $R_n$ 이라고 할 때,  $R_n = H_n A_n$ 의 관계가 성립한다. 여기서  $H_n$ 은  $n$ 번째 부반송파에서의 주파수 응답이며, 이 값은 실제로 파일럿 심볼에 의해  $\hat{H}_n$ 로 추정된다. 따라서, 전송심볼은 각 부반송파별로 단일 값의 채널 추정치  $\hat{H}_n$ 에 의해  $\hat{A}_n = R_n / \hat{H}_n$ 으로 간단하게 검출된다.

〈표 2〉 이중화 방식의 장단점 비교

	FDD	TDD
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guard time에 따른 오버헤드가 존재하지 않음</li> <li>• TDD 대비 3dB 성능 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하나의 반송파를 사용하므로 반송파 할당이 유연함 ; 유휴 대역폭의 활용이 가능함</li> <li>• 스마트 안테나의 구현에 용이함</li> <li>• 인터넷 트래픽의 상하향 링크간의 비대칭적인 부하에 적절히 대처할 수 있음</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적절한 듀플렉서 필터링을 위해 상하향 링크간에 수십 MHz의 보호대역이 요구됨</li> <li>• 상하향 링크간에 유사한 수준의 용량을 갖게 되므로 상하향 트래픽의 비대칭성에 따라 적절하게 대처할 수 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 프레임과 프레임 사이에 설정되는 guard time이 오버헤드로 작용함</li> <li>• 미리 정해진 guard time에 의해 셀 커버리지가 결정됨</li> <li>• 셀룰러 시스템에서 셀간에 프레임 시작점과 상하향 비율을 동일하게 하지 않을 경우에 간섭이 발생할 수 있음</li> <li>• FDD 대비 3dB 성능 감소</li> <li>• 중계기 구현이 어려움</li> </ul>

채널의 상태에 따라 선택적으로 부반송파를 할당하기 위해서는 정확한 채널 측정 정보가 피드백되어야 하므로, 현재 구현되고 있는 대부분의 OFDMA 방식에서는 매우 단순한 형태를 채택하고 있다. 예를 들어, 일정 간격으로 떨어져 있는 부반송파의 집합을 할당하거나(scattered 방식), 또는 연속된 부반송파의 일부를 할당하고 있다. 각 사용자에게 할당되는 부반송파를 전체 대역에 흩어놓음으로써 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있기도 하다. 한편, 각 사용자에게 할당되는 부반송파의 집합을 부채널(subchannel)이라고 정의하며, OFDMA 시스템에서 이는 주파수 영역에서 각 사용자에게 할당되는 최소의 단위가 된다.

### 3) 이중화 방식

일반적으로 TDD와 FDD 방식이 모두 고려될 수 있으나, 휴대 인터넷 시스템에서는 상하향 링크간의 비대칭적인 트래픽 비율에 따라 TDD 방식이 선호되고 있다(예를 들어, i-Burst 및 Ripwave 등). i-Burst의 경우에는 상하향 1:2의 비율로 프레임이 구성되며, Ripwave의 경우에는 상하향 1:1 또는 1:3의 비율을 선택적으로 적용할 수 있도록 되어 있다. 특히, TDD 방식에

서는 상향과 하향링크가 모두 동일한 주파수에서 동작하므로 별도의 피드백 정보 없이도 채널 추정 가능성이 가능하므로 적응 어레이 안테나의 구현이 용이한 것이 또 다른 장점이 된다. 각 이중화 방식에 따른 특성을 비교 요약하면 〈표 2〉와 같다.

### 2. 다중접속 기술

휴대인터넷을 고려한 대부분의 시스템들은 중앙집중 예약 방식 다중접속(centralized reservation-based multiple access)을 기본으로 하고 있으며, 패킷 데이터 서비스를 위해 패킷 스케줄링에 의해 동적인 슬롯 할당을 수행하는 시분할 다중접속(TDMA)을 기본적인 접속 방식으로 채택하고 있다. 특히, 이는 OFDM, spread spectrum, smart antenna 등의 기술과 접목되면서 다양한 형태로 변형되고 있다. 셀룰러 형태로 구성되는 휴대인터넷 네트워크에서 다중접속 방식의 성능을 결정하는 가장 중요한 특성은 주파수 재사용 효율이다. 특히, 주파수 효율성을 극대화하기 위해 인접할 셀간에 동일한 주파수를 사용할 수 있는 능력이 요구되며, 이를 위한 다양한 기법들이 TDMA 방식과 접목되고 있다. 본 소절에서는 이러한 관점에서 고려될 수 있는 주요한 방식에 대해서 특성들을 간략히 언급하겠다.

### 1) 대역확산 기반 TDMA

인접 셀에서 동일한 주파수를 재사용할 수 있는 가장 기본적인 접근으로서 대역확산 방식과의 결합을 고려할 수 있으며, CDMA(Code Division Multiple Access)와 FHMA(Frequency Hopping Multiple Access) 방식이 대표적인 예가 된다. CDMA의 경우에는 각 시분할 슬롯에서 다수의 직교 코드를 할당 받을 수 있으며, 이에 따라 고속의 전송이 가능해질 수 있다. 그러나, 상향링크의 경우에는 사용자간 코드간의 동기가 일치하지 않음으로써 다중 사용자 간섭이 발생할 수 있으며, 하향링크의 경우에도 인접 셀 간에 유사한 형태의 간섭이 발생할 수 있다. 이와 같이 직교 코드간의 불일치로 인하여 발생하는 간섭으로 인하여 사용자 용량이 제한되게 된다. Navini사의 Ripwave 시스템에서는 이러한 직교 코드간의 시차에 따른 불일치를 극복하기 위해 동일 셀 내의 사용자 간에는 동기식 CDMA를 도입하여 용량을 극대화하고 있으며, 각 사용자에게 할당되는 직교 코드의 수를 동적으로 제어하여 전송률을 가변화할 수 있다.

한편, 또 다른 형태의 대역확산 방식은 주파수 도약 방식으로서, 이를 TDMA와 접목한 다중접속 방식을 FHMA라고 한다. FHMA 방식은 각 사용자들에게 할당된 고유의 패턴에 따라 주파수 도약을 하면서 심볼들이 전송된다. 만일에 동일한 주파수 및 시간 슬롯에서 두 사용자 이상이 동시에 전송을 하게 되면 충돌(hit)가 발생하지만, 주파수 도약률이 충분히 크면 충돌의 횟수가 상대적으로 작기 때문에 채널 부호화에 의해 정정해낼 수도 있다. 특히, FHMA 방식은 다중반송파를 기반으로 하기 때문에 OFDM 전송과 자연스럽게 접목될 수 있으며, 이를 FH-OFDM 방식이라고 하겠다. FH-OFDM 방식을 채택하는 대표적인 시스템으로 Flarion사의 flash-OFDM을 들 수 있다. Flash-OFDM 시스템은 동일한 셀 내에서는 모든 사용자들의 주파수 도약 패턴이 상호 직교를 유지하기 때문에 사용자간의 간섭이 발생하지 않는 반면, 인접셀 간에는 트래픽 부하에 따라 상호간의 간섭이 불가피하

다. 따라서, 인접 셀간 간섭으로 인한 성능 열화를 고려하여 셀 내의 부하를 제어하는 기법이 수반되어야 할 것으로 본다.

CDMA과 FHMA은 확산 코드 또는 주파수 도약 패턴에 의해 얻게 되는 처리 이득(processing gain)을 통해 순시적으로 발생하는 간섭을 평균화하는 방식으로서, 시스템의 용량은 이와 같은 간섭에 의해 제한된다.

### 2) OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

OFDMA은 OFDM 시스템에서 모든 사용자들이 부반송파들을 동적으로 공유하는 방식으로서, 앞 절에서 언급한 바와 같이 주파수 다이버시티와 전력 집중 등의 이득을 제공한다. OFDMA 기반의 셀룰러 시스템에서는 크게 두 가지 형태의 셀 배치 시나리오가 있다. 첫번째 시나리오는 각 섹터마다 다른 주파수를 할당하는 다중 셀 배치 방식이며, 이는 기존의 일반적인 셀 설계 시나리오에 해당한다. 또 다른 시나리오는 단일 주파수 네트워크(SFN) 방식으로서, 모든 셀에서 동일한 주파수를 사용하면서 섹터간에 동일한 부반송파를 공유하게 된다. SFN 구조를 통해 얻게 되는 장점은 섹터간의 대역 공유, 유연한 망 설계, CDMA에서와 같이 섹터화를 통한 용량 향상, 기존 망의 확장이 용이함, 빠른 핸드오프 지원, RF 채널을 바꾸지 않고 수행할 수 있는 소프트 핸드오프의 구현 가능성, 주파수 다이버시티 등을 들 수 있다.

### 3) SDMA(Space Division Multiple Access)

적용 어레이 안테나를 이용하여 신호 이득과 간섭 완화 효과를 얻을 수 있으며, 특정 사용자를 중심으로 빔을 형성하여 동일 주파수간의 간섭을 최소화함으로써 셀룰러 환경에서 주파수 재사용 효율을 극대화할 수 있다. 즉, 사용자를 중심으로 좁은 폭의 메인 빔을 형성하여 신호 성분을 증대시키면서, 동일 주파수의 다른 사용자 간섭을 Nulling 시켜서 신호 대 간섭비 성능을 향상 시

킬 수 있다. 특히, 사용자의 이동을 추적하면서 이 메인 빔을 지속적으로 유지하는 스마트 안테나가 적용되면 셀 내에서의 주파수 공유뿐만 아니라 모든 셀간에서도 주파수를 재사용할 수 있는 강력한 다중접속 방식이 된다. ArrayComm사의 i-Burst 시스템이 이와 같은 공간분할 다중접속을 도입하고 있으며, 전통적인 TDMA 시스템과 대비할 때 20배 이상의 용량 증가를 가져올 수 있다고 예견하고 있다.

### 3. 매체접근제어(Medium Access Control : MAC) 기술

MAC 계층은 논리적 채널을 통해 사용자 트래픽과 제어 트래픽을 높은 신뢰성과 효율성을 가지고 전달하기 위해 필요한 무선 매체에 대한 관리 및 제어 기능을 제공하며, 이를 위해 논리적 채널을 물리적 채널로 맵핑하는 기능을 수행한다. 특히, 호의 등록 및 해제뿐만 아니라, 단말의 전력 소모를 줄이기 위한 상태 관리, 네트워크 제어 및 관리, 그리고 각 사용자별로 자원 요청(bandwidth request) 및 할당(grant) 등의 기능을 포함한다. 이 중에서도 자원의 요청과 할당이 적시에 수행되고, 사용자들이 요구하는 다양한 QoS를 보장하기 위한 채널 구조와 스케줄링 알고리즘이 제시되어야 한다.

#### 1) 논리적 채널

일반적으로 논리적 채널은 크게 공유 채널(shared channel)과 고정 채널(dedicated channel)로 구분된다. 트래픽 채널은 항상 고정 채널이 되고, 제어 채널은 공유 또는 고정 채널이 된다. 고정 제어 채널의 경우에는 트래픽 채널과 함께 다중화가 되며, 공유 제어 채널의 경우에는 상향과 하향, 또는 양방향 채널로 구분된다. 사용자 데이터그램은 트래픽 채널로 맵핑이 되고, MAC 관리 메시지는 제어 채널로 맵핑이 된다. 모든 시스템에서 공통적으로 제공되는 공유 제어 채널로서는 RACH(Random Access Channel)과 PCH(Paging Channel) 등이 있다. 시스템의 프레임 동기화 및 네트워크 파라미터, 그리고 채널

할당 정보(MAP) 등을 모든 단말에게 통보하기 위한 하향링크 공유 제어 채널로서 BCH(Broadcast Channel)이 사용된다. 또한, 트래픽 채널에 대한 확인응답 메시지를 전달하기 위해 별도의 채널이 제공되어야 한다.

#### 2) 등록 및 자원 할당

단말은 등록(registration) 절차 후에 기지국과 단말간에 제어 및 사용자 데이터그램을 스트림 형태로 교환할 수 있으며, 다수 개의 스트림이 동시에 열릴 수도 있다. 만일에 더 이상 데이터그램이 발생하지 않는 경우에는 단말은 하향링크의 페이징 정보를 주기적으로 확인하고, 만일에 이러한 상태가 미리 정해진 시간동안 지속되는 경우에 등록이 완료된다. 일반적으로 등록은 RACH(Random Access Channel)을 통해서 수행된다. 대개의 시스템에서는 예약 방식에 의해 동작하므로 이를 위해 단말은 RACH 채널을 통해 자원 요청을 수행하고, 이에 대한 응답으로서 기지국에서 스케줄링된 결과에 따라서 자원 할당이 이루어진다. 한편, 단말로 수신 트래픽이 있을 경우에는 페이징 채널을 통해 단말에게 통보하게 된다.

일반적으로 서비스 유형은 크게 실시간 또는 비실시간 서비스로 구분되고, 또한 트래픽 발생 특성에 따라 constant bit rate(CBR) 또는 variable bit rate(VBR) 서비스로 구분될 수 있다. CBR 서비스에 대해서는 예약에 의해 항상 정해진 전송률이 보장되어야 하며, VBR 서비스의 경우에는 실시간 또는 비실시간 요구 사항에 따라 동적으로 자원 할당이 수행되어야 한다. 특히 VBR 서비스의 경우에는 동적으로 변하는 요구사항을 적시에 요청하기 위해 piggyback 메커니즘을 사용하는 것이 효율적이다. IEEE 802.16 시스템의 경우에는 대역 요청을 위한 절차로서, piggyback request와 polling 방식을 모두 고려하고 있다. Piggyback request 방식에서는 상향링크에 이미 열려 있는 연결을 통해 전송되는 PDU의 MAC 헤더에 대역 요청 정보를 실어 보내고, polling 방식에서는 기지국이 단말이 자

〈표 3〉 서비스 유형별 분류 및 스케줄링 방식

분류		서비스	스케줄링 방식
고정 전송률		VoIP	UGS(Unsolicited Grant Service)
가변 전송률	실시간	Streaming Service (e.g., MPEG)	Real-time Polling
	비실시간	FTP, E-mail, SMS, ....	Non-real-time Polling
최선형		Web browsing, E-mail	Best effort

원 요청을 하기 위해 필요한 상향 링크 자원을 미리 제공하는 방식이다.

### 3) 스케줄링 알고리즘

스케줄링 알고리즘은 일반적으로 주어진 자원을 여러 사용자들이 공유하기 위해 필요한 전송 순서를 결정하는 알고리즘으로서, 사용자의 QoS와 시스템의 수율을 결정하는 중요한 절차가 된다. 특히, AMC를 적용하는 휴대 인터넷 시스템의 경우에는 사용자의 위치에 따른 채널 상태에 의해 전송률이 달라지기 때문에 사용자간의 공정성(fairness)이 보장될 수 없다. 즉, 채널 상태가 좋은 사용자를 우선적으로 할당하게 되면 시스템의 전체 수율은 극대화될 수 있으나, 사용자간의 공정성이 확보될 수 없다. 일반적으로 시스템의 수율과 사용자간의 공정성을 동시에 고려하면서 이들간에 득실관계를 유연하게 제어할 수 있는 방안으로서 proportional fairness 스케줄링 알고리즘이 적용된다<sup>[2]</sup>. 이는 모든 사용자에 대해 현재 제공 가능한 전송률과 지금까지 할당 받은 평균 전송률의 비를 계산하고, 이 비율이 가장 큰 사용자를 우선적으로 고려하는 방식이다. 즉, AMC에 의해 현재  $t$ 번째 슬롯에 제공할 수 있는 사용자  $i$ 의 전송률을  $R_i(t)$ 라고 하면, 다음의 조건을 갖는 사용자를 선택하여 전송하게 된다.

$$\arg \max_i \left\{ \frac{R_i(t)}{\bar{R}_i(t)} \right\}$$

여기서  $\bar{R}_i(t) = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) \bar{R}_i(t-1) + \frac{1}{t_c} R_i(t)$ 이며,  $t_c$  값에 의해 수율과 공정성 간의 득실관계가 제어된다. 일반적으로 proportional fair-

ness 스케줄링 알고리즘은 비실시간 서비스에 적합하며, 만일에 실시간 서비스나 또는 특정 QoS를 요구하는 서비스에 대해서는 우선권을 결정하는 기준이 달라져야 할 것이다.

한편, 자원 요청 및 할당에 의해 동작하는 예약 방식의 경우에는, 자원 요청 과정에서 각 사용자가 필요로 하는 대역폭을 명시적으로 요청할 수 있다. 이 경우에는 사용자의 QoS 요구 사항과 채널 상태, 그리고 트래픽 부하 등을 동시에 고려해서 스케줄링이 수행되어야 한다. 예를 들어, 트래픽 부하가 낮을 경우에는 명시적으로 요청한 자원을 모두 수용할 수 있지만, 부하가 높을 경우에는 사용자의 QoS를 만족하면서 시스템의 수율을 극대화할 수 있는 스케줄링 방식이 적용되어야 한다. 서비스의 유형별 분류와 IEEE 802.16 규격에서 명시한 스케줄링 방식의 예를 요약하면 〈표 3〉과 같다<sup>[7]</sup>.

## III. 휴대 인터넷 시스템 기술 분석

### 1. i-Burst

#### 1) 개요

ArrayComm사의 i-BURST는 TDD(Time Division Duplexing) 방식 이중화와 시분할 다중접속(TDMA) 방식을 이용한 광대역 이동 인터넷 접속 시스템이다<sup>[8]</sup>. 총 5MHz의 대역폭을 8개의 반송파로 분할하며, 한 사용자가 1개의 반송파를 사용하여 하향링크에서 최대 1.0608Mbps의 전송률을 지원한다. 한편, 스마트 안테나를 이

용한 공간분할 다중접속 기술을 통해 1개의 반송파를 이용하여 공간적으로 3개의 채널을 제공하며, 이를 통해 5MHz 대역폭으로 최대 24Mbps의 하향링크 채널 용량을 제공할 수 있다. 또한, 공간분할 다중접속을 통해 모든 셀에서 동일한 주파수를 재사용할 수 있으며, CDMA나 FHMA 방식과는 달리 사용자간의 간섭을 공간적으로 분리함으로써 대역 효율성을 극대화하고 있다.

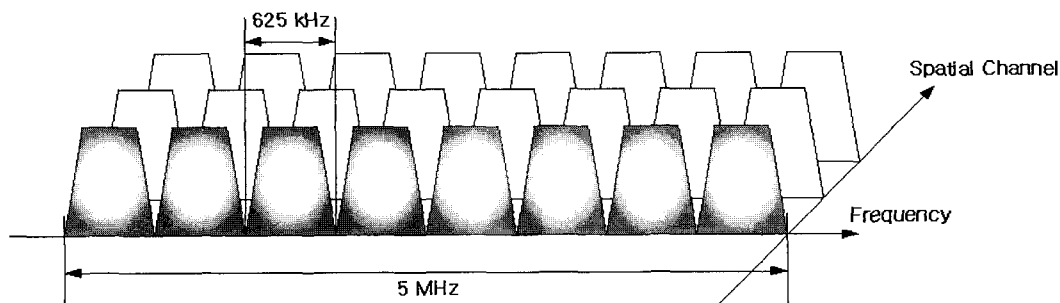
## 2) 채널 및 프레임 구조

〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 5MHz의 대역폭을 8개 625kHz 대역폭의 반송파로 분할하며, 각 반송파별로 독립적인 TDD 채널이 구성된다. 이때 각 반송파는 다시 스마트 안테나에 의해 공간적으로 재사용이 가능한 3개의 공간 분할 채널을 구성할 수 있다. 즉, 동일한 625kHz 대역을 동일한 셀 내에서 동일한 시간에 3개의 다른 단말이 사용 가능하다. 〈그림 2〉는 이와 같이 주파수 영역에서 분할된 반송파와 공간적인 반송파의 재사용으로 생성된 공간 채널에 의해 구성된 24개의 채널을 예시한 것이다. 625kHz 대역폭의 반송파 채널은 독립적인 TDD 채널로 사용되며, 25%의 excess bandwidth에 따라 각 채널당 500ksymbols/sec의 심볼 전송률을 구현한다. 간섭에 대응하기 위해 주어진 의사 랜덤 패턴(pseudo-random pattern)에 따라 반송 주파수들간의 느린 주파수 도약(slow frequency hopping)이 이루어진다. 주파수 도약 패턴에 관한 정보를 BS가 broadcast 채널을 통하여 UT

들로 통보한다.

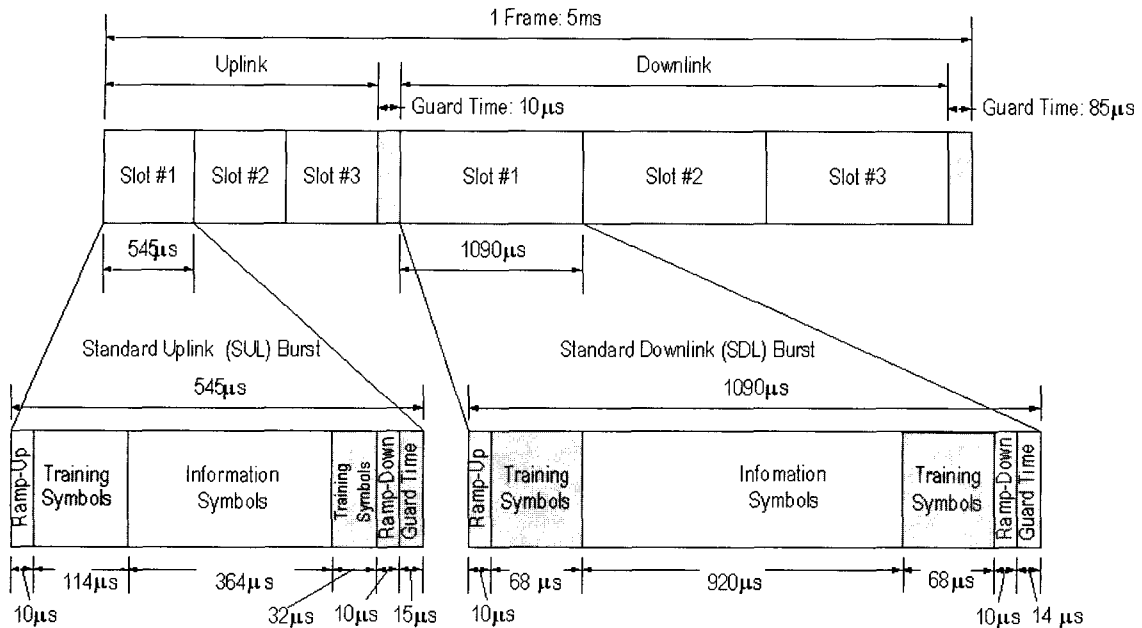
각 반송파에서의 TDD 프레임 구조는 〈그림 3〉과 같다. 5ms의 고정 프레임 길이를 가지며, 세 개의 상하향 시분할 슬롯 짝으로 구성되어 있다. 프레임은 비대칭형으로서, 상향링크와 하향링크의 프레임 길이는 전체의 각각 1/3과 2/3를 차지하도록 고정된다. 상하향 링크간의 10us의 보호구간(guard time)은 송수신 구간의 전환을 위해 필요한 turn-around time에 해당한다. 프레임과 프레임 사이에 존재하는 보호구간은 서로 다른 단말의 위치에 따라 발생할 수 있는 프레임간의 중첩을 막기 위한 것으로, 이 값에 따라 셀 커버리지가 결정된다. i-Burst의 경우에는 보호구간이 85us로 설정되어 있으며, 이 경우 통화영역을 15km까지 커버할 수 있다. 프레임 내의 각 슬롯을 통해 상향 또는 하향 링크 버스트가 전송되며, 이 버스트들을 각각 Standard Uplink (SUL) Burst와 Standard Downlink (SDL) Burst라고 불린다.

상향링크의 각 시분할 슬롯은 545us의 길이를 가지며, 하향링크의 각 시분할 슬롯은 1,090us의 길이를 갖는다. 따라서, 하향링크와 상향링크간의 시간비율은 2:1이다( $3 \times 1090 \text{ us} : 3 \times 545 \text{ us} = 2 : 1$ ). 각 시분할 슬롯을 통해 데이터 버스트(burst)가 전송되며, 각 버스트는 ramp-up period, training sequence, data payload, ramp-down period, inter-burst guard time으로 구성된다. Symbol 전송률이 500ksymbol/sec이므로 한 심볼의 주기는 2us이다. 따라서,



〈그림 2〉 부반송파 및 공간 분할 채널의 구성





〈그림 3〉 i-Burst의 프레임 및 상하향 버스트 구조

하향링크의 경우 한 슬롯에 의해 460개 심볼이 전송될 수 있다( $920\text{ us}/2\text{ us}=460\text{ symbols}$ ). 상향 버스트의 훈련열(training sequence)은 BS에서 적응 안테나의 공간 처리와 해당 시분할 슬롯에 대한 채널 등화를 위해 사용된다. 한편, 하향 버스트의 훈련열은 단말에서 해당 시분할 슬롯에 대한 채널 등화와 주파수/시간 동기를 위해서 사용된다.  $14\text{ us}$ 의 inter-burst guard time은 서로 다른 단말과 BS간의 거리차가 있을 때 시간지연으로 발생하는 버스트간의 간섭에 대응하기 위한 것이다.

### 3) 논리적 채널 및 버스트 유형

i-Burst에서 정의된 논리적 채널은 〈표 4〉와 같으며, 이들은 기능에 따라 〈표 5〉에 요약된 7개의 다른 버스트 유형으로 맵핑된다. Standard Uplink(U) burst와 Downlink(D) burst의 구조는 〈그림 3〉에서 보는 바와 같고, 트래픽 채널(TCH)과 랜덤접속 채널(RACH)이 이들 버스트로 맵핑된다. 단말이 특정 상향링크 시분할 슬

롯에 지정된 RACH 채널을 통해 메시지를 전송하면, 이에 대한 응답은 동일한 프레임의 하향링크 시분할 슬롯에 지정된 RACH 채널을 통해 할당된다. 상향 RACH 채널을 통해서서는 Random Access(RA) 메시지가 전달되고, 하향 RACH 채널을 통해서서는 Access Assignment(AA) 메시지가 전달된다. Configuration 메시지는 상향링크의 경우에는 〈그림 4〉에서 보는 지정된 별도의 C burst에 의해 전송되고, 하향링크의 경우에는 Standard Downlink(D) burst에 의해 전송된다.

8개 반송파 중의 하나를 BCH/CCH 반송파로 지정하고, 그 중에서 한 개의 시분할 슬롯을 BCH와 CCH 채널을 위해 예약되어 있다. 이 시분할 슬롯상에서 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 20개 프레임으로 구성된 한 개의 슈퍼프레임이 반복되면서, 각 채널들이 지정된다. 이 지정된 반송파와 슬롯의 위치는 모든 기지국에서 동일하며, 여기에 해당하는 자원은 RACH나 TCH 등을 위해 별도로 사용할 수 없다.

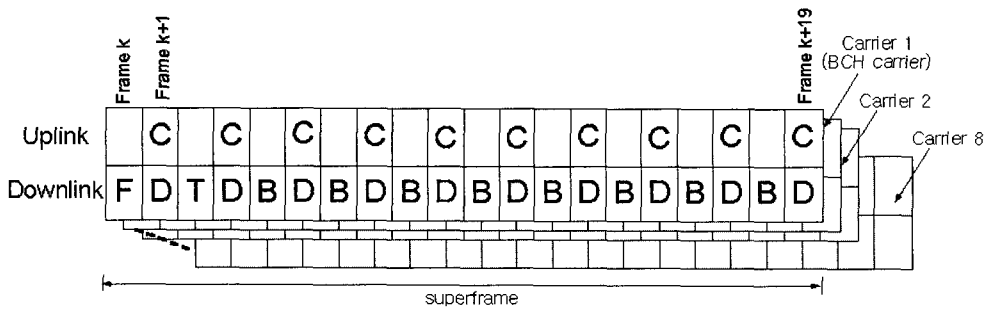
〈표 4〉 i-Burst에서의 논리적 채널

논리적 채널	방향	버스트 유형	기능
Broadcast Channel (BCH)	하향	B*, F**, T***	동기화, 경로 손실 및 핸드오버를 위한 측정, 기지국 컬러코드 통보
Paging Channel (PCH)	하향	P	하향링크 데이터 스트림을 시작하기 위한 통보
Configuration Channel (CCH)	상향	C	기지국 정보를 요청하기 위한 Configuration Request (CR) 메시지를 전송
	하향	D	등록을 위한 기지국 및 단말의 기본 파라미터를 통보하기 위한 Configuration Message (CM) 메시지를 전송
Random Access Channel (RACH)	상향	U	Random Access (RA) 메시지 전송: 신규 등록 요청, 단말에 의한 TCH 데이터 스트림의 설정 요청, 페이지에 대한 응답
	하향	D	Access Assignment (AA) 메시지 전송: 랜덤접속 요청에 따른 응답으로 상향링크 데이터 스트림에 대한 자원 할당 또는 확인응답 또는 거부, 그리고 상/하향링크의 변조 및 부호화 방식
Traffic Channel (TCH)	상향	U	사용자 데이터 및 제어 정보의 교환
	하향	D	

\*Broadcast Subchannel, \*\*Frequency Synchronization Subchannel, \*\*\*Timing Synchronization Subchannel

〈표 5〉 버스트 유형

버스트 유형		심볼	논리적 채널
Downlink Bursts	frequency synchronization	F	BCH
	timing synchronization	T	BCH
	broadcast	B	BCH
	page	P	PCH
	standard downlink	D	RACH, CCH, TCH
Uplink Bursts	configuration request	C	CCH
	standard uplink	U	RACH, TCH



〈그림 4〉 BCH/CCH 방송과의 슈퍼프레임 구조

〈표 6〉 SINR에 따르는 변조방식(3개 시분할 슬롯을 모두 사용하는 경우)

Modulation Class	Modulation Type	Downlink			Uplink		
		User Data Rate (kbps)	Bits/Frame	SINR [dB]	User Data Rate (kbps)	Bits/Frame	SINR [dB]
0	BPSK	105.6	528	-0.5	19.2	96	-0.8
1	BPSK	148.8	744	1.3	38.4	192	0.8
2	QPSK	244.8	1224	2.8	76.8	384	2.5
3	QPSK	379.2	1896	5.7	129.6	648	5.4
4	8PSK	484.8	2424	7.9	172.8	864	7.6
5	8PSK	595.2	2976	10.1	216.0	1080	9.9
6	12-QAM	787.2	3936	12.2	292.8	1464	11.9
7	16-QAM	921.6	4608	13.5	345.6	1728	13.2
8	24-QAM	1060.8	5304	15.4	-	-	-

#### 4) 변조 방식

i-Burst는 AMC를 적용하며, SINR 값에 따라 모두 9개의 변조 클래스로 구분된다. 이때 변조 클래스는 상향과 하향링크에 대해 독립적으로 결정되며, SINR의 dynamic range는 약 16dB이다. 변조 방식으로는 BPSK, QPSK, 8-PSK, 12-QAM, 16-QAM, 그리고 24-QAM이 사용된다. 채널 부호화율은 최소 1/2에서 최대 1이며, SINR 값에 따른 변조 클래스는 〈표 6〉과 같이 주어진다. 각 사용자에게 할당되는 데이터 전송률은 트래픽과 링크 상태에 따라 적응적으로 결정된다. 즉, 트래픽 부하에 따라 할당되는 슬롯 및 반송파의 수가 결정되며, 링크 상태에 따라 변조 방식과 채널 부호화율이 결정된다. 오류정정 부호화는 블록 코드 또는  $R=1/2$ 의 Convolutional Code를 사용한다. 상향 및 하향링크의 최대 전송률은 각각 1.0608Mbps와 345.6 kbps이다.

#### 5) 자원 요청 및 할당

단말은 상위 계층이나 또는 BS MAC 계층으로부터의 요청에 따라 상향링크 RACH를 통해 여러 가지 유형의 Random Access(RA) 메시지를 전송한다. 즉, 초기 등록 개시, 새로운 TCH의 개시, 또는 하향링크 페이지에 대한 응답 등과 같은 요청에 따라 단말은 해당 RA 메시지를 전송한다. 만일에 기지국의 MAC 계층이 거부하지 않으면, RA 메시지가 수신된 것과 동일한 프레

임에서의 하향링크 시분할 슬롯을 통해 Access Assignment(AA) 메시지를 통해 TCH 등의 자원을 할당한다. AA 메시지는 요청된 데이터 스트림 개시에 대한 자원 할당과 AMC에 따른 상/하향링크에서의 변조 및 부호화 방식, 전력 제어 정보 등을 포함한다.

단말이 어느 프레임의 어떤 시분할 슬롯을 통해서 RA 메시지를 전송해야 할지를 결정하기 위해서 재시도 정책(exponential sub-scan retry policy)이 적용되며, 이때 CR/CM 메시지 교환을 통해 인지된 RACH logical set과 RACH Slot Mask값 등이 이용된다. 즉, RACH logical set에서 RACH로 사용 가능한 자원에 의해 주어진 특정 sub-scan 구간에서 RA 메시지를 전송하고, 만일에 실패하면 정해진 지연시간동안 기다린 후에 다음 sub-scan 구간에서 재시도를 한다. 이 과정을 통해 정해진 U 슬롯으로 RACH 버스트를 통해 RA 메시지가 전송되면, 동일한 프레임의 동일한 위치에 있는 D 슬롯이 상향 RACH로 할당되고 이를 통해 AA 메시지가 전송된다. 단말은 AA 메시지에서 명시된 할당 채널을 통해 스트림을 전송하게 된다.

## 2. flash-OFDM

### 1) 개요

Flash-OFDM은 3.5GHz 이하의 대역에서

차량 속도의 이동성을 지원하면서 초고속 인터넷 접속을 위한 이동 인터넷 시스템으로서, 특히 대규모 이동 통신 서비스 시장을 목표로 설계된 것이다<sup>4,5)</sup>. 채널 대역폭은 1.25 MHz이며, FDD (Frequency Division Duplexing) 방식 이중화를 사용한다. OFDM 전송 방식으로서 FFT 크기는 128 (~88.8 us)이며, 부반송파 간격은 11.25 kHz이다. OFDM 심볼 전송률은 10 kHz 이므로, OFDM 심볼의 길이는 0.1 ms가 된다. 전체 128개의 부반송파 중에서 트래픽/제어 채널을 위해 113개의 부반송파가 사용되며, cyclic prefix의 길이는 16개 OFDM 심볼이다.

다중접속 방식은 FH-OFDMA (Frequency Hopping Orthogonal Frequency Division Multiple Access)로서, 인접 셀간 동일한 주파수를 재사용하기 위해 주파수 도약 방식이 OFDMA에 적용된 것이다. OFDMA를 기반으로 하는 flash-OFDM은 시간 축과 주파수 축을 기준으로 2차원적인 채널 구조를 갖는다 (<그림 6> 참조). 즉, 시간 축에서는 연속된 OFDM 심볼 단위의 채널이 구성되고, 주파수 축에서는 부반송파별 톤에 의해 채널이 구성될 수 있다.

2) 변조 및 채널 부호화 방식

하향링크와 상향링크 모두 LDPC (Low Density Parity Check) 부호를 사용하며, 현재

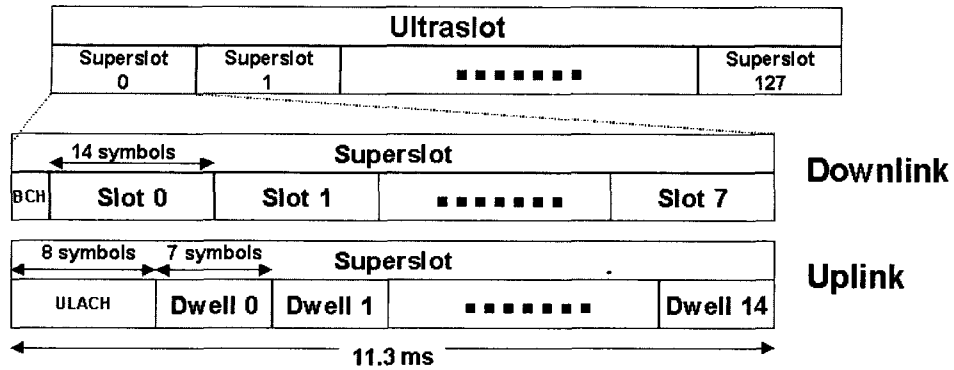
QPSK와 16-QAM의 2가지 변조 방식에 대해 AMC가 적용되고 있다 (추후 64-QAM까지 확장 예정). 각 부반송파별 전송률이 1 kHz이며, 사용자당 전송률은 트래픽 채널에 할당되는 톤의 수에 의해 결정된다. 하향링크의 경우에 총 96개의 톤이 트래픽 채널로 할당될 수 있기 때문에, 최대 전송률은 16-QAM 방식을 사용할 경우  $96 \text{ tones} * 10 \text{ ksymbols/sec/tones} * 4 \text{ bits/symbol} = 3.840 \text{ Mbps}$ 이 된다. 사용자별로 실제 할당되는 톤의 수는 96, 48, 24, 12개 등이 되며, 이 톤의 수와 AMC에 따라 사용자별 전송률이 결정된다 (<표 7>).

3) 프레임 구조 및 채널 구성

Flash-OFDM의 프레임은 11.3 ms의 superslot으로 구성되며, 128개의 superslot은 하나의 ultraslot을 구성한다 (<그림 5> 참조). 하향링크의 경우에는 superslot은 8개 슬롯과 broadcast channel (BCH)로 사용되는 한 개의 OFDM 심볼로 구성된다. 여기서, 각 슬롯은 14개 OFDM 심볼로 구성되므로 그 길이는  $14 \text{ symbols} * 0.1 \text{ ms/symbol} = 1.4 \text{ ms}$ 가 된다. 따라서, superslot의 길이는  $8 \text{ slots} * 1.4 \text{ ms/slot} * 0.1 \text{ ms} = 11.3 \text{ ms}$ 이 된다. 한편, 상향링크의 경우에는 8개 심볼로 구성된 Access Channel (ULACH)과 15개의 Dwell로 구성된다. 여기서 Dwell이란 7개

<표 7> 부반송파의 할당에 따른 사용자 전송률

Approximate Code Rate	Modulation	Downlink Burst Rates (Kbps)			
		Tones			
		96	48	24	12
1/6	QPSK	317	159	79	40
1/3	QPSK	612	306	153	76
1/2	QPSK	906	453	227	113
2/3	QPSK	1201	600	300	150
5/12	16-QAM	1495	748	374	187
1/2	16-QAM	1790	895	447	224
2/3	16-QAM	2379	1189	595	297
5/6	16-QAM	2968	1484	742	371



〈그림 5〉 Flash-OFDM의 프레임 구조

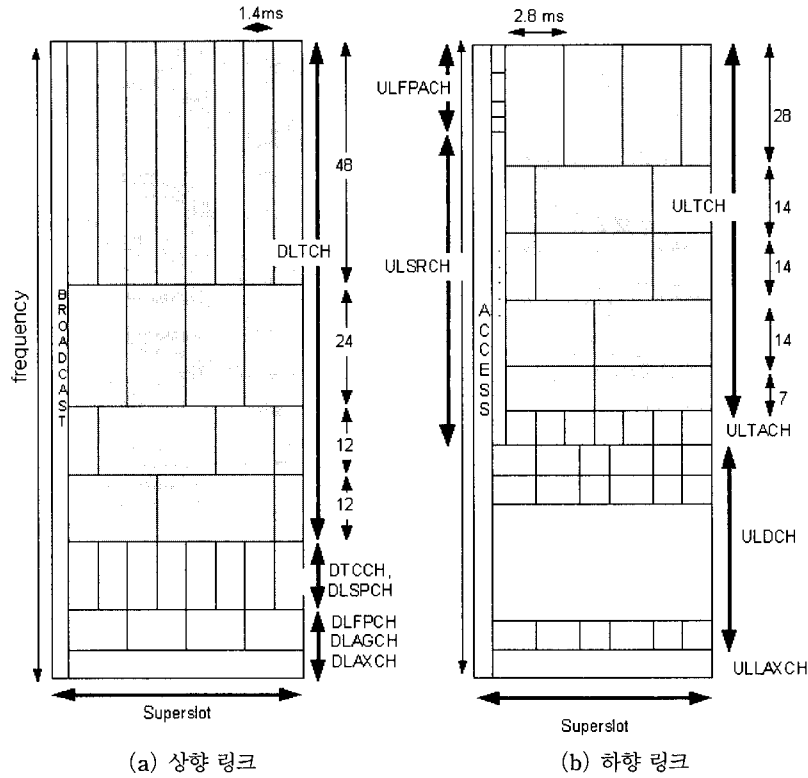
의 심볼로 구성된 상향링크 자원 할당의 기본 단위이며, 상향링크에서 주파수 도약이 수행되는 기본 단위이기도 하다.

특정 수퍼슬롯에 대해 주파수 및 시간 영역에서 동시에 살펴보면 〈그림 6〉과 같다. 하향링크의 경우에 11.3ms의 superslot 주기로 모든 부반송파에 걸쳐 broadcast 정보가 실리며, 각 시분할 슬롯에서 96개 반송파가 48개, 24개, 12개 등의 단위로 사용자별 트래픽 채널로 할당된다. 전체 114개 부반송파 중에서 트래픽 채널을 위한

96개 부반송파를 제외한 나머지 부반송파들은 하향링크 제어 채널로 할당된다. 상향링크의 경우에도 마찬가지로 11.3ms 단위로 superslot이 반복되며, 이때 첫번째 영역은 8개 심볼로 구성된 Access Channel (ULACH)이 지정되어 있다. ULACH를 통해 초기에 랜덤 접속한 단말들은 하향링크의 Access Grant Channel (DLACH)을 통해 채널이 할당된다. 상향과 하향링크에서 제공되는 채널을 각각 구분하여 요약하면 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 Flash-OFDM 채널의 구성

		방송	BCH	Broadcast Channel
		상향	제어 채널	공통 채널
DLFPCH	Fast Paging Channel			
DLSPCH	Slow Paging Channel			
DLACH	Access Grant Channel			
DLAXCH	Access Exchange Channel			
트래픽 채널			DLTCH	D/L Traffic Channel
하향	제어 채널	공통 채널	ULTACH	Traffic Ack Channel
			ULAXCH	Access Exchange Channel
			ULFPACH	Fast Paging Ack Channel
			ULSRCH	State Request Channel
			ACH	Access Channel
			전용	ULDCCH
트래픽			ULTCH	U/L Traffic Channel



(a) 상향 링크 (b) 하향 링크  
 <그림 6> 시간-주파수 영역 flash-OFDM 프레임 구조

하향링크의 방송채널(BCH)은 섹터 정보, 기지국 전송 파라미터, 시간 정보, 동기화 파라미터, 핸드오프 파라미터 등의 시스템 정보를 방송하기 위해 채널이다. 상향링크의 액세스 채널(ULACH)은 초기 접속을 위해 경쟁 방식으로 시도되는 채널이다. 이때 각 사용자들은 임의의 부반송파를 사용하므로 이들간의 직교성에 의해 랜덤 접속 과정에서 발생하는 충돌 확률은 상대적으로 낮을 것이다. 성공적으로 랜덤접속된 사용자들에 대해 기지국의 스케줄러는 매 1.4ms마다 DLTCH 슬롯을 할당할 수 있으며, 이 할당 결과는 DLAGCH의 의해 통보된다. DLTCH와 ULTCH로 전송된 데이터에 대해서 각각 ULDTACH와 DLTCCH를 통해 ACK이 전송된다.

4) 주파수 도약 방식

각 사용자의 채널을 구성하는 부반송파들은 전

체 1.25MHz 대역 내에서 주파수 도약을 수행한다. 하향링크의 경우에 0.1ms 길이의 OFDM 심볼 단위로 사용자별로 할당된 패턴에 따라 주파수 도약이 일어난다. 동일한 셀 내에서는 사용자간에는 상호 직교성을 갖는 도약 패턴을 할당한다. 이와 같은 직교성에 의해 동일한 셀 내의 사용자간에는 동일한 슬롯에서 동일한 톤을 할당받아 사용자간에 상호 간섭이 생기는 상황이 발생하지 않는다. 기존의 CDMA 시스템에서는 다중경로 채널 또는 코드간의 비동기 특성 등에 의해 동일한 셀 내에서도 사용자간의 간섭이 발생하여 용량이 제한되는 것과 대조적이다. 또한, CDMA 시스템에 비해 전력 제어 오류에 덜 민감하므로, near-far 문제에 덜 취약한 것이 장점이다. 그러나, 다른 셀간에는 직교성을 보장하지 않기 때문에 트래픽 부하가 늘어나게 되면 도약 패턴간의 충돌로 인하여 열화가 발생하고, 이로 인하여 수율이 제한될 수 있다.

### 5) 매체접근제어 및 상태 관리

최대 1500 바이트의 IP 패킷은 24 바이트 길이의 MAC payload로 분할되고, 이는 3바이트의 MAC Header와 결합하여 하나의 MAC 프레임을 구성한다. 이들 MAC 프레임은 1.4ms의 길이를 갖는 OFDM 시분할 슬롯에 맵핑이 되며, 이때 한 개의 슬롯에 맵핑이 되는 MAC 프레임의 수는 AMC에 의해 결정되는 전송률에 따라 달라진다. 즉, 최소 전송률인 159kbps일 경우에는 1개의 슬롯에 1개의 MAC 프레임이 맵핑되고, 최대 전송률인 3.172Mbps일 경우에는 최대 20개의 MAC 프레임을 맵핑할 수 있다.

MAC 계층에서는 트래픽의 발생 특성에 따라 각 단말에 할당되는 채널의 종류를 기준으로 단말의 상태를 On, Hold, Sleep, Null, Access로 구분된다. 단말이 초기 등록이나 또는 Sleep State에서 On State로 천이하기 위해서는 ULACH을 통해 경쟁방식 랜덤 접속을 시도하고, 그에 대한 확인 응답과 채널 할당이 하향링크 Access Grant 채널(DLAGCH)를 통해 수행된다. On State에서는 하향링크 트래픽 제어채널(DLAGCH)을 통해 상하향 트래픽 채널을 할당 받으며, 이들 채널을 통해 전송된 데이터에 대한 확인응답을 신속히 할 수 있는 Ack 채널이 할당된다. On State에서는 1ms 단위의 낮은 지연시간을 가지고 채널 요청과 할당이 가능하므로 QoS 제공에 적절한 채널 구조를 갖는다. 사용자 트래픽이 일정 시간동안 발생하지 않으면 On State에서 Hold State로 천이하며, 이 상태에서 단말은 데이터를 제한적으로 수신하는 저전력 모드(power save mode)로 동작한다. Hold State에서는 On State에서와 마찬가지로 타이밍 채널을 통해 기지국과의 동기를 유지하고 있기 때문에 On State로의 전환이 신속히 이루어질 수 있다. Fast paging 채널을 통해 하향 트래픽의 발생이 통보되면 상향링크 Fast Paging Ack 채널을 통해 확인응답을 하게 된다. 또한, 단말이 Sleep State로 천이하고자 할 때는 State Exchange Request Channel을 통해서 상태

천이를 기지국으로 통보한다. Sleep State에서는 타이밍 채널과 ULDCCH가 해제되어 전력 소모가 없으므로 초저전력 모드로 동작하나, 기지국과의 동기가 유지 되지 않는다. Sleep State에서 slow 페이징 채널(DLSPCH)을 통해 하향 트래픽의 발생이 통보되면, ULACH을 통해 응답을 하게 된다. Sleep State에서 On State로의 전환은 이와 같이 경쟁 방식을 통해 이루어지므로, Hold State에서 On State로의 전환보다 소요 시간이 길어진다.

## 3. Ripwave

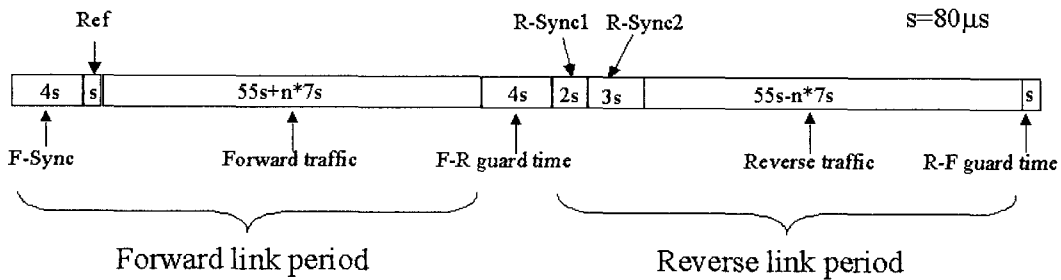
### 1) 개요

Navini Networks사의 Ripwave 시스템은 MCSB(Multi-Carrier Synchronous Beamforming) 기술로서, 미국 ANSI COMMITTEE T1 - TELECOMMUNICATIONS T1 P1.4에 규격이 기고된 바 있다<sup>6)</sup>. 다중접속은 다중 반송파 동기식 CDMA(Multi-carrier Synchronous CDMA : MC-SCDMA) 방식을 사용한다. 여기서, 다중 반송파 방식의 의미는 5MHz 대역을 10개의 반송파로 분할해서 사용한다는 점이며, 각 반송파별로 개별적으로 직접대역확산(Direct Sequence Spread Spectrum) 방식이 적용된다.

각 반송파에서의 칩률(chip rate)은 400kchips/sec이며, 이때 확산계수(spreading factor)는 32이다. 한 개의 반송파에서 전송되는 심볼은 길이가 32칩인 32개의 직교 코드인 Walsh Code를 사용하여 확산된다. 따라서, 심볼 전송률은  $(400 \text{ kchips/sec}) / (32 \text{ chips/symbol}) = 12.5 \text{ ksymbols/sec}$ 이 되며, 심볼의 길이는 80us이 된다. 이와 같은 채널 구조를 도식화하면 <그림 7>과 같다. 즉, 전체 5MHz 대역이 10개의 반송파로 분할되고, 각 반송파는 다시 32개의 직교 코드 채널로 구분된다. 한 사용자가 다수의 코드 채널을 동시에 사용하여 채널의 전송률을 증가시킬 수 있다.

500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz		500 KHz	
Carrier 1		Carrier 2		Carrier 3		Carrier 4		Carrier 5		Carrier 6		Carrier 7		Carrier 8		Carrier 9		Carrier 10	
1	17	1	17	1	17	1	17	1	17	1	17	1	17	1	17	1	17	1	17
2	18	2	18	2	18	2	18	2	18	2	18	2	18	2	18	2	18	2	18
3	19	3	19	3	19	3	19	3	19	3	19	3	19	3	19	3	19	3	19
4	20	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20
5	21	5	21	5	21	5	21	5	21	5	21	5	21	5	21	5	21	5	21
6	22	6	22	6	22	6	22	6	22	6	22	6	22	6	22	6	22	6	22
7	23	7	23	7	23	7	23	7	23	7	23	7	23	7	23	7	23	7	23
8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24
9	25	9	25	9	25	9	25	9	25	9	25	9	25	9	25	9	25	9	25
10	26	10	26	10	26	10	26	10	26	10	26	10	26	10	26	10	26	10	26
11	27	11	27	11	27	11	27	11	27	11	27	11	27	11	27	11	27	11	27
12	28	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28	12	28
13	29	13	29	13	29	13	29	13	29	13	29	13	29	13	29	13	29	13	29
14	30	14	30	14	30	14	30	14	30	14	30	14	30	14	30	14	30	14	30
15	31	15	31	15	31	15	31	15	31	15	31	15	31	15	31	15	31	15	31
16	32	16	32	16	32	16	32	16	32	16	32	16	32	16	32	16	32	16	32

〈그림 7〉 Ripwave 시스템의 채널 구조



〈그림 8〉 프레임 구조

2) 프레임 구조

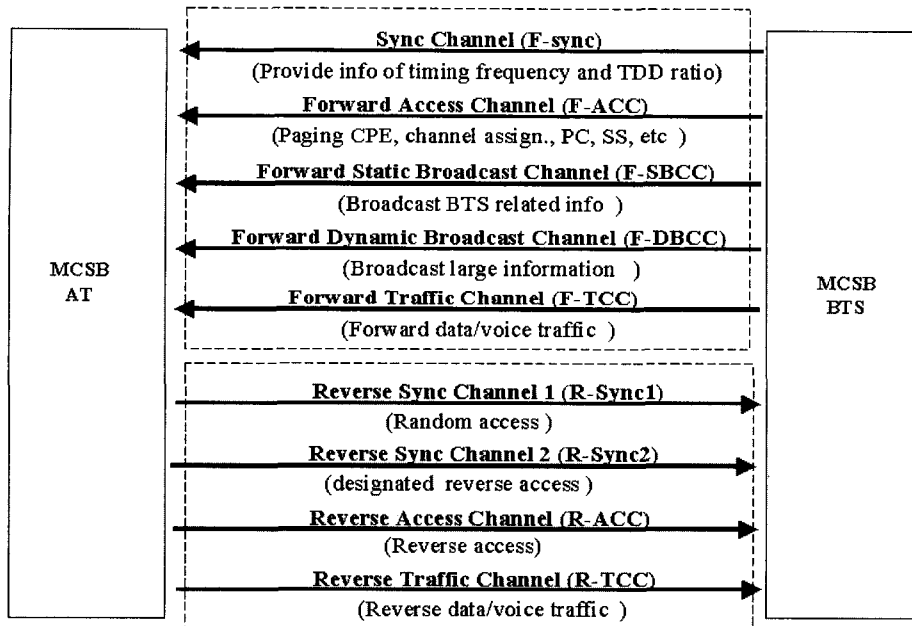
각 반송파별로 〈그림 8〉에서 보는 바와 같은 TDD 방식의 프레임 구조를 갖는다. 프레임은 하향링크 구간과 상향링크 구간의 심볼로 구성되며, 심볼의 길이는 앞에서 계산한 바와 같이 80 us이다. 한 개 프레임은 총 125개 심볼로 구성되므로, 그 길이는 10ms에 해당한다. 하향링크 구간에서 처음 4개 심볼은 프레임 동기화를 위한 것으로, 그 중에서 가운데 2개 심볼은 상향링크 및 하향링크 구간간의 비대칭 비율을 결정하기 위한  $n$ 값을 나타낸다. 예를 들어, 그  $n$ 값이 0인 경우에는 하향링크와 상향링크가 모두 55개 심볼로 구성되므로 대칭적인 구조를 나타내며, 만일  $n=4$ 의 경우에는 상향링크와 하향링크의 비율이 1 : 3이 된다. 현재 시스템에서는  $n=0$ 과  $n=4$

가 지원되고 있다. 하향링크와 상향링크간의 보호구간은 0.32ms에 해당한다.

3) 채널의 구분 및 물리 채널과의 맵핑

〈그림 9〉는 논리적 채널 형태와 그 기능을 도식화한 것이다. 순방향의 경우에는 상하향 비율에 따라 프레임 구조를 결정하는 동기 채널(F-Sync), 페이징 및 채널 할당을 위한 순방향 액세스 채널(F-ACC), BTS 관련 정보를 포함한 각종 정보를 알리는 방송 채널(F-SBCC, F-DBCC), 그리고 사용자 데이터 전송을 위한 순방향 트래픽 채널로 구성된다. 역방향의 경우에는 2가지 다른 역방향 동기 채널(R-Sync1, R-Sync2)역방향 액세스 채널(R-ACC), 그리고 역방향 사용자 데이터를 전송하는 역방향 트래픽 채널(R-



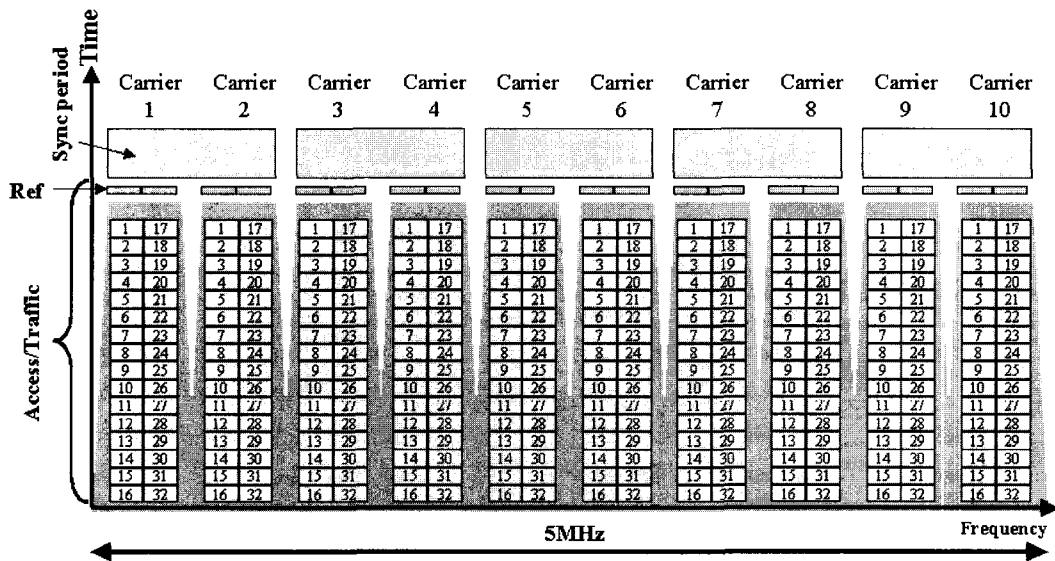


<그림 9> 논리적 채널의 구성

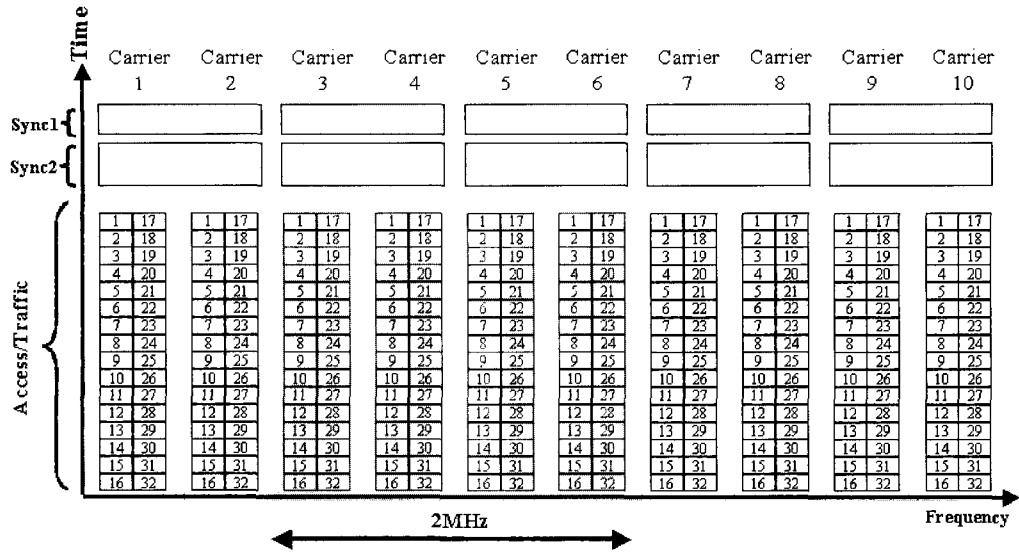
TCC)로 구성된다.

<그림 10>과 <그림 11>은 각각 순방향과 역방향에서의 논리적 채널과 물리채널간의 맵핑 관계를 도식화한 것이다. 여기서 물리채널은 500kHz 대역폭의 반송파와 각 반송파별로 직교 코드에

의해 생성되는 32개의 코드 채널을 의미한다. 예를 들어, <그림 8>의 TDD 프레임 구조에서 순방향 동기 채널(F-Sync) 구간과 Reference 구간을 제외한 나머지 순방향 트래픽 구간에서 1번 Walsh Code는 F-ACC로 맵핑되고, 2번



<그림 10> 순방향 링크의 물리 채널과 논리적 채널의 맵핑



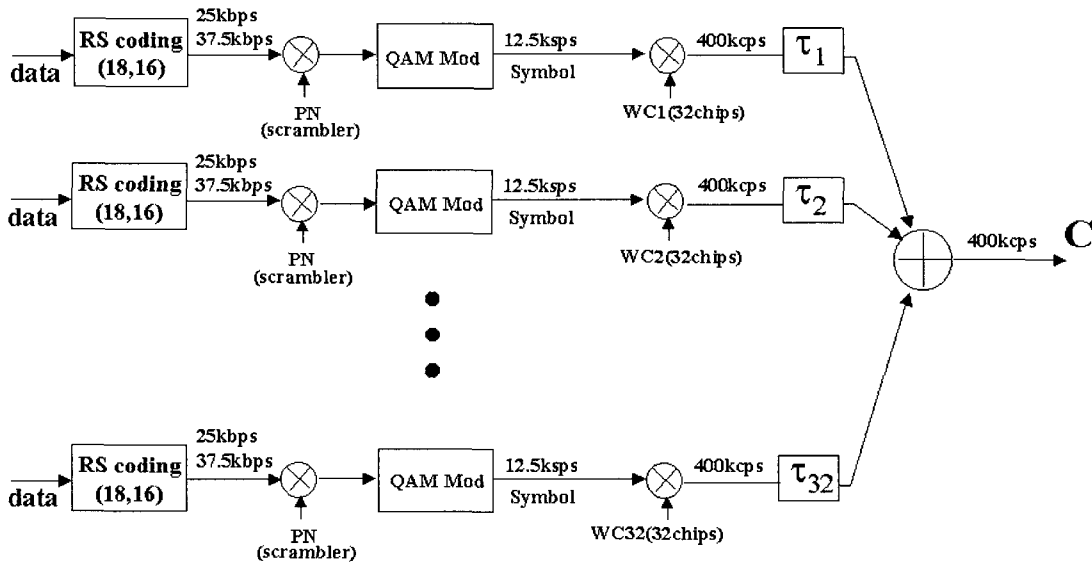
〈그림 11〉 역방향 링크의 물리 채널과 논리적 채널의 맵핑

Walsh Code는 F-Static BCC와 맵핑된다. 순방향 동기 채널의 경우에는 심볼당 32개 칩으로 확산되는 것이 아니라 심볼당 64개의 칩으로 확산되므로 칩률이 800 kcps에 해당되고, 따라서 이를 위해 2개의 반송파에 걸쳐 확산이 수행된다. 나머지 논리적 채널도 유사한 형태로 물리적 채널에 직접 맵핑된다. 순방향의 경우에는 최대

10개의 반송파를 지원하는 반면, 역방향의 경우에는 한 단말이 최대 4개의 반송파를 지원할 수 있도록 되어 있다.

4) 채널화 구조

앞에서 언급한 바와 같이 각 반송파별로 최대 32개의 코드 채널이 구성될 수 있다. 〈그림 12〉



〈그림 12〉 역방향 트래픽 채널의 구조

는 역방향에서 이와 같은 코드 채널이 구성되는 형태를 보여 주며, 순방향에서도 동일한 구조를 갖는다. 구체적인 채널 부호화와 변조 방식에 대해서는 뒤에서 별도로 언급하며, 직교 코드인 Walsh Code에 의해 32개 채널이 다중화되는 구조를 보여준다. 순방향의 경우에는 각 수신 단말의 입장에서 32개의 코드 채널이 동시에 수신되기 때문에 이들 채널간의 직교성이 유지된다. 따라서, 각 채널간의 간섭은 최소가 될 수 있다. 그러나, 역방향의 경우에는 단말의 위치와 이동성 등에 따라 수신되는 코드 채널의 동기가 다르기 때문에 이들 채널간에 간섭이 발생하여 성능 열화가 발생하게 된다. <그림 12>에서는 각 사용자별로  $\tau_s$ 의 지연이 존재하는 것을 예시하고 있다. 물론 한 사용자가 다수의 코드 채널을 다중화하여 전송한다면 이들 채널 간에는 동기가 맞을 수 있지만, 다른 사용자 간에는 동기가 맞지 않을 수 있다. 그러나, Ripwave 기술의 동기식 CDMA 방식에는 이와 같은 역방향에서의 비동기적인 특성에 대응하기 위해 송신기와 수신기 사이에서 페루프 동기제어 과정을 통해 동기화를 수행한다. 이 과정은 단말의 전송시점을 페루프를 통해 제어하며 모든 단말에서 기지국에 도달하는 시간이 동일하도록 하는 방식이다.

#### 5) 변조 및 채널 부호화

Ripwave에서는 채널의 상태에 따라 QPSK, 8-PSK, 16-QAM의 변조 방식을 적응적으로 선택하며, 향후에 64-QAM도 지원할 계획이다. 여기서의 적응 변조는 각 TDD 주기마다 변조 방식이 동적으로 변경될 수 있으며, 각 단말별로 다를 수 있다. 따라서, Walsh Code당 전송률은 변조방식에 따라 결정된다. 예를 들어, QPSK의 경우에는 심볼당 2비트이므로 한 개의 직교코드당  $12.5 \text{ ksymols/sec} * 2 \text{ bits/symbol} = 25.0 \text{ kbps}$ 의 전송률을 지원한다. 마찬가지로 8-PSK는  $12.5 * 3 = 37.5 \text{ kbps}$ , 16-QAM은  $12.5 * 4 = 50 \text{ kbps}$ , 64-QAM은  $12.5 * 6 = 75.0 \text{ kbps}$ 가 된다. 한편, 전부 10개의 반송파와 반송파당 32개의 코드채널이 존재하므로 전체 지원 가능한 전

송률은 QPSK 8Mbps, 8-PSK 12Mbps, 16-QAM 16Mbps, 그리고 64-QAM 24Mbps가 된다.

#### 4. HPI

HPI는 무선 LAN에서 제공하는 수준의 고속 전송률과 중저속의 단말 이동성을 지원하는 휴대 인터넷 시스템으로서, 기존 이동통신시스템보다 훨씬 저렴한 통신 요금을 실현하기 위해 대역효율성의 극대화를 추구하고 있다. 또한, 무선 LAN에서 지원할 수 없는 핸드오버 및 QoS 보장, 그리고 이동통신 수준의 보안성을 제공하는 것을 목표로 한다. HPI의 기본적인 무선접속은 IEEE 802.16a Wireless MAN의 OFDMA/TDD 규격을 따르며<sup>17,18</sup>, 셀룰러 망으로 동작하기 위해 필요한 이동성 지원과 대역 효율성 극대화 등을 위해 추가적인 기능들이 보완될 예정이다.

HPI는 2.3GHz-2.4GHz 대역의 시스템으로서 AP(Access Point)와 PAR(Packet Access Router)로 구성된다. PAR는 다수의 AP를 제어하면서 라우터의 기능을 통합하는 장치로서, AP와 PAR는 서로 bridge 기능에 의해 상호 접속된다. SFN-OFDMA 방식에 의해 섹터간에 반송파들을 동적으로 공유함으로써 주파수 재사용 효율을 극대화하고 있다. AP의 무선접속면은 10MHz 대역으로 최대 30Mbps의 전송률을 제공한다. 추후 MIMO 기술을 도입함으로써 최대 전송률을 50Mbps까지 증대하는 것을 목표로 한다. QPSK, 16-QAM, 64-QAM의 변조 방식을 적응적으로 사용하며, 채널부호는 Convolutional Turbo Code를 사용한다. 프레임 길이는 5msec이며, 기지국간의 동기화를 위해 GPS를 사용하게 된다. HPI의 매체접근제어 프로토콜은 IEEE 802.16a 규격을 따르며<sup>17,18</sup>, 특히 오류제어를 위해 Hybrid ARQ 방식을 도입한다.

## IV. 결 론

본 고에서는 광대역 이동인터넷 액세스 기반의

휴대인터넷 서비스를 고려한 전송, 다중접속, 매체접근제어 등을 포함한 무선접속 기술의 개념을 살펴보았다. 또한, 국내의 2.3GHz 대역 휴대인터넷 서비스를 위한 대안 기술 중에서 현재 개발이 거의 완료되어 국내에서 시험망을 통해 성능 실험이 진행되고 있는 주요 시스템들의 무선접속 기술의 특성을 개별적으로 살펴보았으며, 현재 국내에서 개발되고 있는 HPi 규격의 특징도 간략히 검토하였다. 향후 2.3GHz 대역 휴대인터넷 서비스를 성공적으로 실현하기 위해서는 대역 효율성과 네트워크의 경제성, 그리고 제외국 기술에 대한 종속성 등의 상세한 분석이 요구된다. 이들 대안 시스템들은 각기 다른 무선접속 기술을 채택하고 있기 때문에 이들의 성능을 객관적으로 비교하기 위해서는 우선적으로 개별 시스템별로 무선접속 기술의 특성을 완벽히 이해하며, 궁극적으로 이동 인터넷 환경에서의 트래픽 특성에 따른 대역 효율성과 수율, 그리고 사용자 용량 등을 객관적으로 평가할 수 있는 틀이 정립되어야 할 것이다.

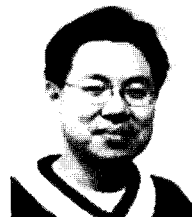
#### 참 고 문 헌

- [1] "2.3GHz대역 휴대인터넷 주파수 이용 방안 연구," 정보통신부 휴대 인터넷·이동통신 주파수 연구반 중간보고서, 2003년 5월
- [2] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data Throughput of CDMA-HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System," *Proceedings of IEEE VTC 2000*, pp.1854-1858, vol. 3, May 2000.
- [3] 박순준, 장일선, 임병근, 강충구, "광대역 이동 인터넷 서비스를 위한 공간분할 다중접속," *Proceedings of JCCI 2003*, 2003년 4월.
- [4] 2.3GHz 무선 초고속인터넷 서비스의 기술 세미나, 하나로통신 & Flarion, 2003년 3월
- [5] Flarion, "Low-Density Parity-Check Codes and Their Application in an

OFDM-based Wireless Data System," *IEEE VTC 2003 tutorial session*, Cheju, Korea, April 2003.

- [6] Navini Network, "MCSB(MultiCarrier Synchronous Beamforming) Physical Layer Overview," *ANSICOMMITTEE T1-TELECOMMUNICATIONS T1P1.4*, T1P1.4/2003-002, Atlanta, Georgia, May 2003.
- [7] IEEE Standard 802.16, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems"
- [8] IEEE Standard 802.16a, "IEEE Standard for Local and Metropolitan area networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems-Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz"

#### 저 자 소 개



##### 강 충 구

1987년 6월 Univ. of California (San Diego), 전자공학과 학사, 1989년 6월 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터 공학과 석사 1993년 3월 Univ. of California (Irvine) 전자 및 컴퓨터 공학과 박사, 1992년 7월~1992년 5월: Aerospace Corp. 연구원, 1993년 4월~1994년 2월: Rockwell International 연구원, 1994년 3월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 조교수/부교수/정교수, <주관심 분야: 광대역 무선 전송 기술 및 매체접근제어 프로토콜 설계/구현, 무선 네트워크 모델링 및 성능 분석, Wireless PAN/LAN/MAN, 4세대 이동통신 기술>