

主題

# 4G 이동통신을 위한 Multiple-Antenna OFDM 기술

중앙대학교 전자전기공학부 박경원, 이미현, 조용수

차 례

- I. 서 론
- II. 이동통신을 위한 OFDM 전송방식
- III. MIMO-OFDM 기술
- IV. SA(Smart Antenna)-OFDM 기술
- V. 결 론

## I. 서 론

본 고에서는 Beyond IMT-2000 시스템의 전송방식으로 고려 중인 multiple-antenna OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식에 대하여 기술한다. OFDM 방식은 무선채널에서 고속으로 데이터 전송을 하고자 할 경우 다중경로에 의해 발생하는 심각한 주파수 선택적 페이딩 채널에 쉽게 대처할 수 있고, 셀내 간섭이 존재하지 않으며, 자원 할당의 granularity가 우수하고, FFT와 1-탭 등화기를 사용하여 고속으로 구현할 수 있다는 장점이 있어 4G 이동통신의 전송 방식으로 최근 활발히 연구되고 있다 [1]-[4]. 또한 다중 안테나를 사용할 경우 전송률 향상과 전송 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있고, 특히 이러한 다중 안테나 기법을 주파수 선택적 채널에 적용하고자 할 경우 OFDM 방식에서는

수신단에서 주파수 선택적 채널의 영향을 극복하기 위하여 추가적인 부분이 필요하지 않기 때문에 다중 안테나를 갖는 OFDM 방식이 효율적이 4G의 전송방식으로 고려되고 있다. II 장에서는 이동통신을 위한 OFDM 전송방식, III 장에서는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)-OFDM 기술, IV 장에서는 SA(Smart Antenna)-OFDM 기술에 대하여 설명한다. V 장에서는 본 고의 결론을 맺는다.

## II. 이동통신을 위한 OFDM 전송방식

셀룰러 이동통신에서는 다수의 사용자를 위한 다중액세스 방식이 필요하다. 대표적 방식으로는 TDMA, FDMA, CDMA가 있으며, OFDM과 이들 다중액세스 방식을 결합하여 사용한다. 표 1은 OFDM 방식을 사용한 다중액세스 기술을 비

교하여 보여 준다. OFDM/TDMA 방식은 한 사용자가 전체 대역을 모두 사용하므로 셀간 간섭을 고려한 주파수 계획이 필요하다. 따라서 무선 LAN과 같이 독립적인 Cell 환경에서 작은 크기의 FFT를 사용할 경우에 적절하다. OFDM/FDMA(OFDMA) 방식은 전체 대역을 각 사용자가 요구하는 전송률에 따라 주파수영역에서 부송파를 할당하므로 자원분배를 효율적으로 할 수 있으며, 다수 사용자에게 채널 용량을 최적화시킬 수 있다. 이 방식은 셀내 간섭이 존재하지 않으며, interference averaging/avoidance 형태의 기술들을 이용하여 셀간 간섭을 줄일 수 있다. 따라서 부채널의 개수가 많은 큰 크기의 FFT를 사용할 경우와 상향링크에 적은 수의 부반송파들을 적용할 경우 적절하다. 이 경우에는 power concentration 효과와 우수한 granularity를 갖게 된다. 또한 OFDM/CDMA 방식은 각 사용자에게 고유의 확산부호를 할당하여 모든 시간과 부채널을 함께 사용하며, 확산방식에 따라 MC-CDMA, multicarrier DS-CDMA, MT-CDMA로 구분된다. 이 방식은 수신단에서 코드의 orthogonality가 만족되지 않을 경우에 셀내 간섭이 발생한다는 단점이 있으나, 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.

이동통신에서 상향링크와 하향링크를 구분하기 위한 방식으로 크게 TDD(Time Division Duplexing)와 FDD(Frequency Division Duplexing), 그리고 이들을 결합한 HFDD 방식이 있다. FDD는 별도의 상·하향 RF부가 필요하다는 단점이 있으나, full-duplex 방식으로 latency가 작고 넓은 영역을 고속의 이동속도로 지원할 수 있다는 장점이 있다. TDD는 동적으로 상·하향의 시간 슬롯을 할당하므로 유연성이 뛰어나 asymmetric 전송에 적당하다. 또한 상·하향 링크가 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 reciprocal 채널 특성 때문에 smart antenna, 링크 적응 기법, precompensation 기법 등을 적용하기가 용이하며 이를 통하여 link budget을 크게 향상시킬 수 있다. 표 2는 Duplexing 방식을 비교하여 보여준다.

표 1. OFDM 다중액세스 방식 비교

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	none	present
	Intercell	present	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

표 2. Duplexing 방식의 비교

	FDD	TDD
Spectrum	2 separate bands (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	reciprocal channel

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 1은 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 있는 장점이 있다. Comb 형태의 부채널은 일정한 간격으로 떨어진 부반송파들로 구성되며 전체 대역에 걸쳐 확산되어 있으므로 주파수 다이버시티 이득을 가진다. 이 경우 채널 추정에 있어서는 Block 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 간격 내에서 random한 위치를 갖는다. 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 1(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.

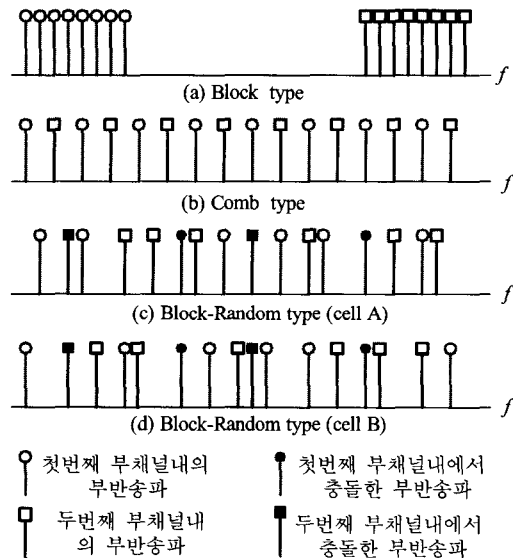


그림 1. OFDMA의 부채널 구성 방법

### III. MIMO-OFDM 기술

송·수신부에서 다중 안테나를 사용하는 OFDM 시스템은 다이버시티 이득을 목적으로 하는 STC(Space-Time Coded)-OFDM, 같은 대역폭에서 전송률을 증가시키기 위한 SM(Spatial Multiplexed)-OFDM, 두 방식의 결합 형태인

SM-Diversity-OFDM 등의 기법들이 있다.

## 1. STC-OFDM 기법

송신 다이버시티 기법을 적용한 OFDM 시스템은 SFTC(Space-Frequency Trellis Coded)-OFDM, STBC(Space-Time Block Coded)-OFDM, SFBC(Space-Frequency Block Coded)-OFDM, Clustered-OFDM 등이 있다. STTC는 페이딩 채널하의 다중안테나 시스템을 위한 다이버시티 및 부호화 방식이며, STTC를 OFDM 방식에 적용할 경우에는 주파수 영역에서 부호화 과정을 수행하게 되므로 SFTC-OFDM이 된다 [5][6]. STBC는 2개의 송신 안테나를 사용한 Alamouti의 처음 제안된[7] 이후 Tarokh의 직교 설계조건에 따라 임의의 송신 안테나 개수로 확장 가능한 여러 가지 부호화율의 STBC로 발전되었다. STBC는 다중안테나 시스템에서 간단한 부호화와 단순한 선형계산을 통한 복호를 통해 부가적인 대역폭의 증가 없이 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 유리하다. 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.

## 2. SM-OFDM 기법

동일한 대역폭에서 송·수신단의 다중 안테나를 사용하여 전송률을 증가시키는 SM-OFDM

기법은 BLAST-OFDM과 SVD-OFDM이 있다. BLAST방식은 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. BLAST-OFDM의 검출 방식은 수신단에서의 검출방법에 따라 선형 검출(linear detection), 비선형 검출(nonlinear detection), ML 검출(Maximum Likelihood detection) 방식 등 기존의 단일 반송파 V-BLAST 검출 방식을 그대로 사용할 수 있다[8]. BLAST-OFDM 시스템에서는 부반송파마다 검출 알고리즘을 적용해야 하기 때문에 연산량이 클 수 있으나, 부반송파를 동기 대역폭을 고려하여 그룹화하고 각 그룹에 검출 알고리즘을 적용함으로써 nulling과정의 가중치 추정의 연산량을 줄일 수 있다.

이러한 BLAST-OFDM 방식에서는 송신 다이버시티 기법과는 달리 수신 안테나의 수가 송신 안테나의 수보다 많아야 하고 독립적인 페이딩 채널이 형성되어야 하기 때문에 송·수신단의 거리가 비교적 짧고 노트북과 같이 다중 수신안테나를 사용할 수 있는 무선 LAN(Local Area Network) 또는 무선 PAN(Personal Area Network)과 같은 환경에 적합하다.

한편, 저속 페이딩 채널 혹은 고정 채널인 경우에 송신단에서 채널의 정보를 알고 있으면 채널을 SVD(Singular Value Decomposition) 분석을 통하여 병렬채널로 분리한 후 병렬화된 채널에 독립적인 데이터를 전송함으로써 최대의 채널 용량을 얻는 SVD 방식을 적용할 수 있다. 주파수 선택적 페이딩 채널 환경에서 SVD 방식을 OFDM 시스템에 적용한 경우에 OFDM 각 부반송파의 SVD에 의하여 병렬화된 채널 이득은

eigenvalue로 주어진다. 이러한 경우에 병렬화된 채널의 이득은 주파수 선택적 특성을 갖기 때문에 주파수 영역에서 각 부반송파에 적응 비트로딩을 수행함으로써 비트 오류를 및 채널 용량을 크게 향상시킬 수 있다. 또한, 병렬화된 채널에 최적의 전력을 할당하는 water-filling 알고리즘을 적용하면, 전력의 낭비를 막을 수 있어 채널 용량을 더욱 향상시킬 수 있다.

### 3. SM-Diversity-OFDM 기법

SM 방식의 BLAST 구조는 수신단의 안테나 수가 송신단의 안테나 수와 같으면 다이버시티 이득을 얻을 수 없기 때문에 전송률을 증가시키면서 다이버시티 이득을 얻기 위하여 SM-STBC-OFDM와 ST-BICM-OFDM과 같이 STC 기법과 접목시키는 연구가 진행되고 있다.

STBC-IC(Space-Time Block Code Interference Cancellation) 기법은 다중 사용자 환경에서 두 명의 사용자가 각각 2개의 송신 안테나를 통하여 STBC 기법으로 전송하고 수신단에서 2개의 안테나로 각 사용자의 정보를 복원하는 방식이다[9]. 이와 같은 STBC-IC 방식은 STBC의 직교구조를 이용하여 다른 사용자의 간섭 신호를 제거하고 독립적으로 다이버시티 결합이 가능하기 때문에 송신 안테나가 두 개인 경우에 2차의 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 동일한 대역폭을 사용하면서도 수신단의 총 전송률이 증가하는 장점이 있다. 다수의 사용자를 위한 SFBC-IC 기법을 단일 사용자의 OFDM 시스템에 적용하면 SM-STBC-OFDM 구조가 된다. SM-STBC-OFDM 기법은 단일 사용자 측면에서 전송률의 증가와 더불어 다이버시티 이득도 얻을 수 있기에 채널용량이 크게 증가한다. 송신단의 안테나가 4개이고 수신단의 안테나가 2개인 경우에 전송량은 단일 안테나에 비하여 두 배로 증가하며, 다이버시티 차수는 2가 된다. 수신단의

안테나를 4개로 확장하는 경우에 전송률은 동일(단일 안테나의 두 배)하게 유지하며 다이버시티 차수를 4로 증가시킬 수 있다.

BICM(Bit Interleaved Coded Modulation) 기법은 다이버시티 이득을 효과적으로 얻을 수 있어 레일레이 페이딩 채널환경에서 좋은 성능을 보인다[10][11]. 또한 SM 기법과 결합할 경우에 고속 시변 채널에서 전송률을 증가시키면서 낮은 비트 오류를 얻을 수 있으나 ST-BICM는 기본적으로 최대 우도 수신기를 사용하기 때문에 각 비트별로 LLR(Loglikelihood Ratio)을 구하는 과정이 복잡한 단점이 있다. ST-BICM의 수신단에서 BLAST 형태의 수신기 구조를 사용하고 LLR의 계산을 간단한 구조로 변형하면 수신기의 복잡도를 줄일 수 있다. ST-BICM 기법을 OFDM 시스템에 적용한 ST-BICM-OFDM 기법은 주파수 영역에서 부채널 별로 주파수 선택적 페이딩에 의한 고속 페이딩을 경험하기 때문에 BICM기법을 통하여 다이버시티 이득을 효과적으로 얻을 수 있는 장점이 있다.

앞서 살펴본 다양한 MIMO-OFDM 기법들은 각각 특성이 있기 때문에 응용분야 및 사용목적에 따라 적절한 기법을 선정해야한다. 예를 들어 저속의 전송률을 제공하는 시스템에서 link budget을 개선하고자 한다면 다이버시티 이득이 큰 STC-OFDM방식이 적절하며, 신호대 잡음비가 높은 환경에서 고속의 전송률을 제공하려면 SM-OFDM 기법이 최선의 선택이 될 수 있다. 또한, 중고속의 전송률을 제공하며 link budget을 개선하려면 다이버시티 이득과 전송률을 동시에 고려할 수 있는 SM-Diversity-OFDM이 적합하다. 이외에도 안테나 수 및 검출 알고리즘의 연산량 등이 MIMO-OFDM 기법 선정에 중요한 요소로 작용한다.

#### IV. SA(Smart Antenna)-OFDM 기술

Smart Antenna 기술은 phased array, SDMA(Space Division Multiple Access), 적응 배열 안테나 시스템, 빔형성, 공간 프로세싱 등을 포함하며, 크게 switched 빔과 적응배열 안테나의 두 가지 범주로 나눌 수 있다. Switched beam 기법은 미리 정해진 빔패턴 중 수신 전력에 따라 최고의 성능을 줄 수 있는 빔패턴을 선택하여 통신하는 방식으로 무지향성 안테나에 비해 공간 선택으로 인한 이득을 얻으나 제한된 성능 향상을 보인다. 적응 배열 안테나 시스템의 빔형성은 안테나 어레이를 사용하여 각 엘리먼트 별로 입사된 신호들을 임의의 기준(e.g. MMSE, ML, maximum SINR)하에서 결합하여 다른 공

간상의 위치한 co-channel 사용자로부터의 간섭 신호와 원하는 신호를 분리할 수 있는 기법이다. 이에 따라 적용범위, SNR, 셀 허용 용량 등이 증가하며, 이로 인하여 전력 소비 감소, 셀간 간섭의 회피, 다중경로 신호의 감소로 인한 OFDM의 signal overhead(guard interval) 감소 등의 효과를 얻을 수 있다[12].

적은 빔형성을 수행하기 위한 기술로는 공간상의 정보를 기반으로 하는 Spatial Reference-based Beamforming(SRB BF), 훈련신호를 이용하여 spatial signature를 추정하는 Training Reference based-BF(TRB BF)과 임의의 정보없이 수신된 신호의 특성을 기반으로 하는 Blind BF의 세 가지로 크게 분류할 수 있다. 표 3은 각 BF의 특성을 비교하여 보여준다. SRB BF 기법은 공간상에서 입사되는 원하는 신호의 DoA

표 3. Beamforming 기법 비교

	SRB BF	TRB BF	Blind BF
DoA	DoA	training sequence	some property
Algorithms	delay and sum, null-steering, MVDR, LCMV, GSC	LMS, SMI, RLS	CMA, FA
Calibration	calibration, mismatching DoA	synchronization	noise
Speed	<high speed	low speed	-
Est. EQ	required	not required (MMSE criterion)	blind EQ
Accession	TDD, FDD	TDD, FDD( $\Delta$ )	TDD, FDD( $\Delta$ )
Ants (OFDM)	M independent to # of subcarriers(N)	MxN dependent to # of subcarriers	MxN dependent to # of subcarriers
Adv.	- incident signals need to be detected - no diversity gain due to multipath	- fast algorithm required - path diversity gain - low spectral efficiency	- combination - tracking
Comment	M: # of antenna element		

(Direction-of-Arrival) 정보를 필요로 한다. DoA 정보를 얻기 위한 방향 탐지 알고리즘에는 conventional method, MVDR(Minimum Variance Distortionless Response), MUSIC(Multiple Signal Classification), ESPRIT(Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Technique) 등이 있고, 상관성을 가지는 환경에서의 성능 열화는 spatial smoothing, frequency-domain filtering 등을 수행하여 상관성을 가진 간섭들을 주 경로와 무상관화시켜 주 경로의 DoA를 추정할 수 있다. TRB BF에서 빔형성을 위한 적응 알고리즘에는 LMS(Least Mean Square), SMI(Sample Matrix Inversion), RLS(Recursive Least Square) 등이 있으며 각 방식들은 수렴속도와 복잡도에 대한 trade-off를 가진다.

#### 4.1 Smart Antenna(SA)-OFDM 기법

Smart Antenna 시스템에서 입사되는 광대역 신호들은 각 엘리먼트별로 다중경로를 경험하며 수신된다. 이러한 광대역 TRB 빔형성은 공간상에서의 간섭뿐만 아니라, 시간영역상의 다중 경로에 의한 왜곡/간섭(ICI, ISI)의 영향을 고려해야 한다. 이 경우 빔형성은 시간영역에서 엘리먼트

별 TDL 형태의 FIR 필터 또는 주파수 영역에서 다수 개의 narrow BF로써 수행될 수 있다. 이와 같이 광대역 신호에 대한 SA-OFDM 시스템에서 적응 빔형성을 위한 방식으로는 FFT 전단인 시간영역에서 각 엘리먼트별 적응 필터링(TDL)을 수행하는 Pre-FFT BF와 각 엘리먼트별 FFT 후 주파수 영역에서 각 부반송파별로 적응 필터링(1-tap)을 수행하는 Post-FFT BF 형태를 고려할 수 있다. Smart Antenna 관점에서 OFDM 시스템은 여러 개의 협대역 채널로 구성되어 있어, 전체 대역폭은 주파수-선택적 페이딩이지만 각 부반송파가 flat 페이딩을 경험하므로, 적응적으로 각 부반송파별 협대역 빔형성을 수행하여 결합될 수 있어 Post-DFT BF로의 구현이 용이하다[12].

또한 다중사용자를 고려하여 SDMA 뿐만 아니라 OFDMA를 수행할 수 있으며, SA-OFDMA에서는 각 사용자에게 일부 대역을 할당하고 사용자별로 할당된 대역에서 빔포밍을 수행할 수 있다. SA-OFDMA 시스템에서 Post-FFT BF는 부분대역 사용에 따른 변화가 없으나, Pre-FFT BF는 경험하는 채널/간섭 상황에 TDL tap 수가 변화될 수 있으며 해당 대역의 시간영역 신호가 필요하므로 일반적으로 더 많은

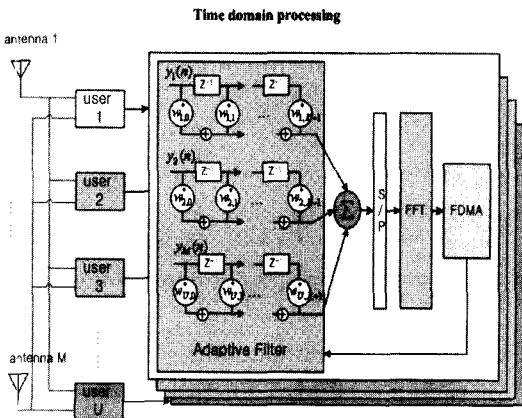


그림 2. SA-OFDMA의 시간영역 처리기법

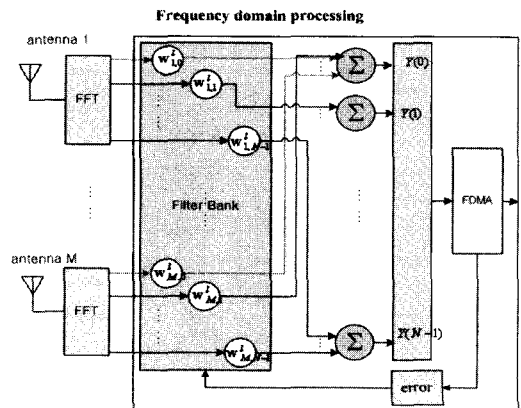


그림 3. SA-OFDMA의 주파수영역 처리기법

저장공간이 필요하다. 그림 2는 시간영역에서 광대역 신호에 대해 적응 빔형성을 수행하는 SA-OFDMA 수신단을 보여주며, 그림 3은 주파수영역에서 적응 빔형성을 수행하는 Post-DFT DBF 형태의 SA-OFDMA 수신단을 보여준다[13]. 일반적으로 다중 사용자를 위한 OFDMA 시스템에서 각 엘리먼트별 시간영역에서의 TDL FIR 필터에 의한 계산량이 각 엘리먼트별 주파수 영역에서의 FFT 계산량보다 많다. 표 4는 SA-OFDMA의 경우 주파수영역 처리와 시간영역 처리를 비교하여 보여준다.

위의 방식으로 구현된 빔형성 계수는 TDD 시스템에서 프레임내의 채널 변화가 없다면 상향링크와 하향링크에서 최적이라고 볼 수 있으나 사용자가 이동하는 경우에는 채널 변화에 대한 고려가 필요하다. 또한 FDD 시스템에서는 사용대역에 따라 다른 채널 응답을 갖기 때문에 링크별로 최적의 계수값을 구해야 하며, 하향링크에서 계수값을 추정하기 위해서는 안테나별 signaling과 feedback 채널이 필요하게 되는 오버헤드를 갖는다.

## 4.2 SA-Diversity 기법

Smart Antenna와 다이버시티 기법(특히 MRC)은 다중 안테나를 이용한다는 점은 같지만 Smart Antenna는 간섭신호를 제거하고 서비스 범위를 확장하며 기지국의 용량을 증대시키는 기

법인 반면, 다이버시티 기법은 페이딩 환경 하에서 페이딩 극복 대책으로 수신 신호의 전력 변동을 줄여 성능을 개선하는데 목적이 있다. Smart Antenna는 공간중첩(spatial aliasing)을 방지하기 위하여 안테나 사이의 간격이 반송파 파장의 0.5 배 이내에서 설계되기 때문에 각확산(angle spread)이 작은 셀룰러 환경의 기지국에서는 다이버시티 이득을 얻기 어렵다. 반면에 다이버시티 기법은 기지국에서 충분한 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 안테나 간격을 반송파 파장의 4 배 혹은 10배 설계하지만 co-channel 간섭이 존재하는 경우에 이를 제거할 수 없기 때문에 성능이 열화된다. 이와 같은 서로의 단점을 보완하여 다이버시티 이득을 개선하고 co-channel 간섭을 제거할 수 있는 Smart Antenna와 다이버시티 기법의 결합에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다[14]-[17].

가장 기본적인 방법은 다수의 부배열(sub-array) 안테나를 구성한 후에 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 거리(일반적으로 반송파 파장의 4 배 혹은 10배 이상)에 배치하는 것이다[14]. 이 방식은 먼저 각 부배열 안테나에서 적절한 기준에 따라 빔을 형성하여 간섭 신호를 제거한 후 빔형성된 수신 신호를 다이버시티 결합함으로써 간섭신호를 효과적으로 제거하면서 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 한편, 하향링크의 경우에는 비교적 간단하게 송신 다이버시티를 구현할 수

표 4. SA-OFDMA의 시간영역과 주파수영역 처리기법의 비교

	Time-domain	Frequency-domain
Interference	tapped-delay-line filter	narrowband BF at each bins
Interference	sensitive to narrowband interference	insensitive to BW of interference
Complexity	more complex than FD	easy
Complexity	# of users (U)	# of antennas
Complexity	U FFTs, $U_x(N_xN)$ multiplications	M FFTs, $M_xN$ multiplications
Complexity		more flexible resource allocation



있는 STBC 기법을 Smart Antenna에 적용한 SA-STBC 기법이 제안되었다[15]-[17]. 각 안테나에 블록코드를 적용하는 기존의 STBC 기법과 달리 SA-STBC는 상관성이 적은 빔을 형성하고 각 빔에 블록코드를 적용한다. 그림 4(a)와 같은 2-branch SA-STBC를 고려할 때, 상관성이 적은 두 개의 빔을 형성하고 이를 그림 4(b)와 같이 시간과 빔영역에서 STBC를 적용한다. 빔사이에 독립적인 채널 특성을 가지도록 상관성이 적은 공간 다이버시티 빔을 생성하는 방법은 angle 다이버시티를 이용하는 방법과 안테나 polarization을 이용하는 방법이 있다.

Angle 다이버시티를 이용하는 방법은 빔사이의 간격이 HPBW(Half Power Beam Width)의 0.5배 이상의 떨어져 있어야 다이버시티 이득을 얻을 수 있으나 이동국의 DoA에서 너무 벗어나게 되면 수신 전력의 손실이 발생하기 때문에 수신 전력과 다이버시티 이득 사이에 trade-off를 가진다. 반면에 Polarization 다이버시티를 이용하는 경우에는 동일한 방향으로 다이버시티 빔을 생성할 수 있기 때문에 전력의 손실이 적은 장점이 있다. Angle 다이버시티를 이용하여 공간 다이버시티 빔을 생성하는 방법은 switched 빔 방식으로 여러 개의 빔을 생성하고 이 중에서 최적의 빔을 선택하는 방법과 DoA 정보를 이용하여 CBF(Conventional BF) 혹은 null-steering 방식

으로 빔을 생성하는 방법 등이 있다. 한편, TDD 시스템과 같이 기지국에서 상향링크 채널 정보를 하향링크에 적용할 수 있는 경우에는 수신단에서 수신 SNR를 극대화 시키는 빔을 생성할 수 있는 최적 빔 계수를 구할 수 있다[17]. 이 때, 각 빔계수는 채널의 자기 공분산의 가장 큰 두 eigenvalue에 해당하는 eigenvector가 된다.

## V. 결 론

Beyond IMT-2000 시스템은 2010년까지 Mobile Access의 경우 셀당 최대 100 Mbps를, Nomadic Access의 경우에는 셀당 최대 1 Gbps의 전송속도를 요구한다. 이러한 고속의 전송을 위해서는 MIMO-OFDM, SA-OFDM, 또는 이를 결합한 형태의 방식이 필수적으로 사용될 것으로 보인다. 본 고에서는 각 방식의 최근 연구동향을 기술하였으며, 이러한 전송방식의 성공적인 구현을 위해서는 각 방식에 적합한 동기화기법, 채널 추정 기법, PAR 감소기법, 셀간 간섭 감소기법 등에 대한 연구가 함께 이루어져야 한다.

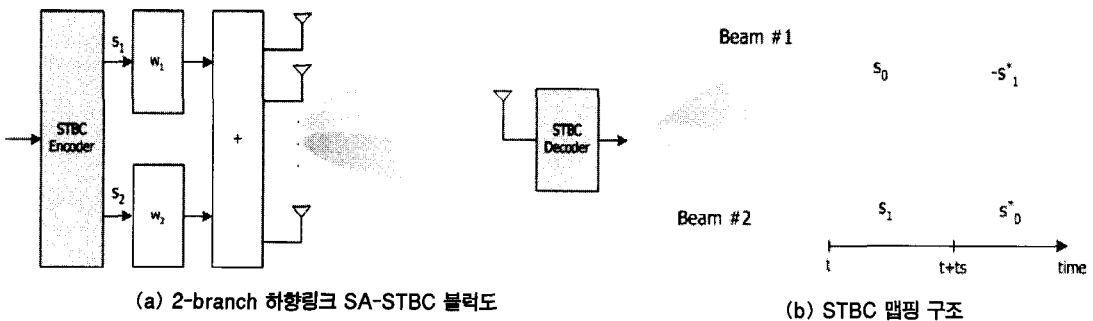


그림 4. 하향링크 SA-STBC 기법

## 참 고 문 헌

- [1] L. J. Cimini, J. Chuang, and N.R. Sollenberger, "Advanced cellular internet service(ACIS)," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 150-159, Oct. 1998.
- [2] J. Chuang and N.R. Sollenberger, "Beyond 3G: wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 78-87, July 2000.
- [3] Flarion, *OFDM for Mobile Data Communications*, Mar. 2003.
- [4] Broadstorm, BROADAIR™ SYSTEM2000, 2003.
- [5] V. Tarokh, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," *IEEE Tran. on Information Theory*, vol. 44, no. 2, pp. 744-765, Mar. 1998.
- [6] A. F. Naguib, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time coding and signal processing for high data rate wireless communications," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 17, no. 3, pp. 76-92, May 2000.
- [7] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [8] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," *Bell Laboratories Technical Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 41-59, Aug. 1996.
- [9] A. F. Naguib, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Applications of space-time block codes and interference suppression for high capacity and high data rate wireless systems," in *Proc. 32nd Asilomar Conf. Signals, Systems, and Computers*, vol. 2, pp. 1803-1810-59, Nov. 1998.
- [10] G. Caire, G. Taricco, and E. Biglieri, "Bit-Interleaved Coded Modulation," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. 44, No. 3, pp. 927-946, May 1998.
- [11] B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: a versatile approach to spatial filtering," *IEEE ASSP Mag.*, pp. 4-24, Apr. 1998.
- [12] K. B. Song, C. S. Hwang, J. Cioffi, "Rate-compatible Punctured Convolutionally (RCPC) Space-Frequency Bit-interleaved Coded Modulation (SF-BICM)," *Proc. IEEE ICC 2004*, June 2004.
- [13] C.K. Kim, K.C. Lee, and Y.S. Cho, "Adaptive beamforming algorithm for OFDM systems with antenna arrays," *IEEE Tran. on Consumer Electronics*,

Vol. 46, No. 4, pp. 1052-1058, Nov. 2000

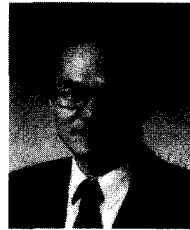
- [14] S. Kapoor, D. J. Marchok, and Y. F. Huang, "Adaptive Interference Suppression in Multiuser Wireless OFDM Systems Using Antenna Arrays," *IEEE VTC*, Jeju, Apr. 2003.
- [15] M. Katz and J. Ylitalo, "Extension of Space-Time Coding to Beamforming WCDMA Base Station," *IEEE VTC*, 2000.
- [16] K. I. Pedersen and P. E. Mogensen, "A Simple Downlink Antenna Array Algorithm Based on a Hybrid Scheme of Transmission Diversity and Conventional Beamforming," *IEEE VTC*, 2001.
- [17] Z. Lei, F. P. S. Chin, and Y. C. Liang, "Combined Beamforming with Space-time Block Coding for Wireless Downlink Transmission," *IEEE VTC*, 2002.



**이 미 현**

1998 : 중앙대학교 전자공학과  
학사  
2001 : 중앙대학교 전자공학과  
석사  
2001 ~ 현재 : 중앙대학교 전자  
전기공학부 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, OFDM/DMT 모뎀 설계무선  
LAN/셀룰러 모뎀

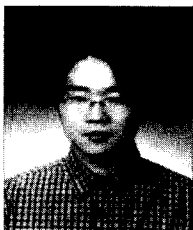


**조 용 수**

1984 : 중앙대학교 전자공학과  
학사  
1989 : 연세대학교 전자공학과  
석사  
1991 : The University of  
Texas at Austin 공학박사

1984 : 금성전기(주) 연구원  
2001 : 한국전자통신연구원 초빙연구원  
1992 ~ 현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수  
2003 ~ 현재 : TTA 휴대인터넷 무선접속실무반 의장

<관심분야> 디지털 통신, OFDM 셀룰러/LAN 모뎀,  
OFDM 모뎀의 FPGA 설계



**박 경 원**

1999 : 중앙대학교 전기공학과  
학사  
2001 : 중앙대학교 전기공학과  
석사  
2001 ~ 현재 : 중앙대학교 전자  
전기공학부 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, OFDM/DMT 모뎀 설계무선  
LAN/셀룰러 모뎀