

3GPP 시스템에서 OFDM 기술의 현황

LG전자 이동통신기술연구소 김 학 성, 오 민 석, 최 진 성

3GPP WCDMA 시스템은 Rel-99 표준으로부터 시작하여 보완 개선 작업을 거쳐 현재 Rel-6 표준화에 이르렀다. 이와 함께 급변하는 통신시장환경에 적절히 대처하여 향후 제정되는 3GPP 표준 시스템의 경쟁력을 향상시키고 소비자가 요구하는 다양한 서비스를 충족시킬 수 있어야 한다는 사업자들의 의견이 강하게 제기되었다. 이를 만족시킬만한 표준을 얻기 위해 각 사업자 및 제조사 등의 의견을 듣는 자리를 마련하기 위해 2004년 11월 토론토에서 3GPP Future Long-Term Evolution(LTE) Workshop을 개최하였다. 이 워크숍에서 여러 회사들로부터 물리계층에서 서비스 계층까지 다양한 의견이 제안되었으며, 특히 물리계층에서는 OFDM 기반의 기술들이 큰 주목을 받았다. OFDM 기술 자체에 대해서는 3GPP에서 새로운 것은 아니다. 이미 Rel6 표준화 작업과정에 OFDM의 타당성 조사를 위한 작업(Feasibility Study)을 위해 OFDM Study Item(SI)가 존재하였었다[1]. 하지만 Rel6 시스템에 OFDM을 적용하려는 노력 중에 여러 사정으로 인해 표준화 실질 작업인 Work Item(WI)이 생성되지 못하고 현재 잠정적으로 중단된 상태이다.

본 기고에서는 현재 중단된 OFDM 기술 연구에 대한 과거 진행 내역 및 현재 상황, 또한 향후 RAN LTE 표준화 과정에서 강력한 대안 기술로 지목 받는 이유와 각 회사의 제안 기술들에 대해서 언급하고자 한다. 제1장은 OFDM 기술의 특징과 OFDM Study Item 과정에서 논의된 내용들에 대해서 언급한다. 제2장은 향후 표준화가 진행될 LTE에서 물리계층 후보 기술로서의 OFDM의 위치에 대해서 논하고자 한다.

1. 3GPP Rel6 시스템에서 OFDM 기술의 표준화 동향

3GPP에서는 Rel6 표준화 과정 동안 2002년도부터 2004년도 6월까지 기존의 WCDMA 반송파를 이용하여 서비스 중인 HSDPA 채널에 대해서 OFDM 반송파를 이용하여 서비스 할 수도 있다는 가능성에 대해서 타당성 조사를 수행하였다. 일명 OFDM-HSDPA 표준화라 불리며, 이 조사 및 분석 작업에는 Nortel Networks가 OFDM-HSDPA의 기본 구조와 얻을 수 있는 성능에 대한 대부분의 평가 작업을 수행하였으며, 이외에 Wavcom, FT, Huawei, Lucent, LG, Samsung 등이 일부 자사의 제안 및 성능 분석 등을 발표하였다. 하지만 Nokia, Motorola, Qualcomm 등과 같은 영향력이 큰 회사들이 여러 가지 다양한 이유(정치적, 기술적, 시간적)를 제시하며 반대여사를 강력히 표명하였으며 결과적으로 Work Item으로 발전하지 못하고 Study Item을 종료함과 함께 관련 표준 제정은 중단되었다. 본 기고에서는 먼저 OFDM 신호의 기본적인 특징과 더불어 Nortel 주도하의 회사들이 OFDM 기술을 어떠한 형태로 HSDPA에 접목시키고자 하였는지에 대한 과거 역사를 간단히 언급하고자 한다.

1.1 OFDM 기술

OFDM 기술은 기존의 Multi-carrier 기술과 달리 인접 반송파들이 서로 직교성을 유지하기 때문에 주파수 이용률이 상대적으로 높으며, 광대역 주파수 대역에 적용할 경우 단일 주파수 시스템에 비해 주파수 선택적 페이딩에 강한 특성을 보이기 때문에 WCDMA를 대체할 수 있는 유력한 변복조 기술로 논의되어 왔다. 또한 송신기 수신기에서 OFDM의 변복조를 간단한 신호처리 과정(IFFT, FFT)으로 구현할 수 있다는 이점이 있다.

그림 1은 5MHz의 기존 WCDMA 대역에 OFDM 변복조 기술을 적용할 경우 시간 주파수 영역에서 OFDM 신호의 형태를 도시한 것이다. 그림에서 Sub-carrier는 부 반송파, Guard interval은 신호간 심벌 간섭을 제거하기 위한 보호 구간, Symbols은 변조된 후 OFDM 심벌을 의미한다. 이와 같은 신호로 구성된 직교 반송파 전송 기술은 다음과 같은 일반적인 특징을 보인다.

- 시간 분산 특성(Time-dispersive): 직교 반송파 전송 기술은 다수의 병렬 부 반송파를 사용하여 데이터를 전송함으로써 단일 반송파 시스템에 비해 매우 긴 심벌 구간(OFDM Symbol interval)

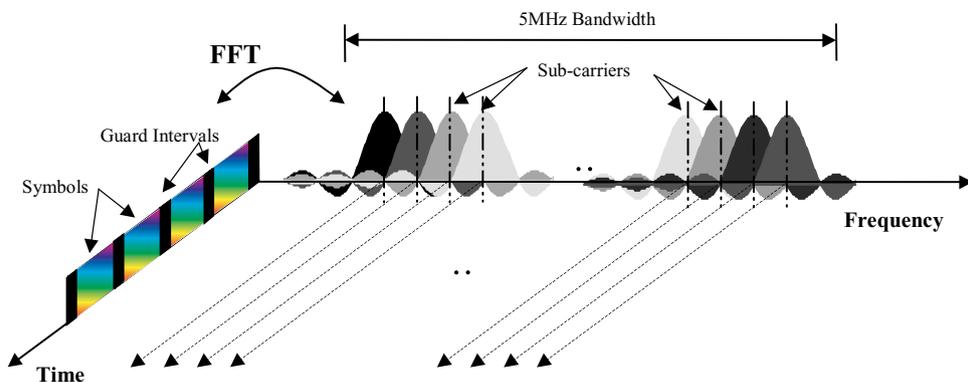


그림 1. 시간-주파수 영역에서 OFDM 신호 표현

을 확보할 수 있으며 이로서 시간 분산으로 인한 신호의 왜곡을 크게 감소시킬 수 있으며, 보호 구간(Guard Interval)을 심벌과 심벌 사이에 추가하여 채널 왜곡으로 인한 심벌간 간섭 요인을 최소화 하여 원래 신호를 복원할 수 있다.

- 주파수 효율성(Spectrum efficiency): OFDM 변조된 부 반송파는 상호 직교성이 보장될 수 있는 최소한의 간격으로 스펙트럼 상에 배치되기 때문에 기존의 다중 반송파 기술에서 각 부 반송파 간의 간격보다 더 적은 간격을 유지하며 신호를 전송할 수 있는 장점이 있다. 또한 OFDM 변조된 신호들의 스펙트럼은 매우 좋은 롤오프(roll-off) 특성을 가지고 있기 때문에 심벌간 구분을 필터나 윈도우 작업을 통해 간단히 수행할 수 있다. 이와 같은 이유로 매우 우수한 주파수 효율을 유지하며 광대역에 사용될 경우 더욱 효율이 증대될 수 있다.
- 송신 및 수신 처리과정(TX/RX Processing): 송신신호의 변조는 간단히 IFFT 과정을 통해서 이루어진다. 매우 큰 시간 분산 환경에서조차도 OFDM 수신 신호는 단순히 FFT만을 수행함으로써 쉽게 얻을 수 있다. 즉 셀 내 간섭(intra-cell interference) 제거 기법이 타 기법처럼 반드시 필요하지 않다. 더 나아가 사전신호(Prefix)를 삽입하기 때문에 시간동기 획득에러의 영향에 덜 민감하다. 하지만 OFDM은 주파수 오프셋 정정을 수행해야 하는 문제가 있다.
- MIMO 시스템으로의 확장: OFDM 방식은 MIMO 시스템의 확장이 용이하다. OFDM 부 반송파들은 병렬의 다수의 협 대역(narrow bandwidth) 채널로 구성되어 있기 때문에 각 부 반송파가 겪는 페이딩 과정이 거의 플랫폼 페이딩과 근사하게 모델링 될 수 있다. 다른 말로 표현하자면, 무선 채널의 페이딩 특성을 분석하여 각 부 반송파가 플랫폼페이딩을 겪도록 배치할 수 있다. 이렇게 간단히 모델링 되는 채널 특성은 MIMO 기

법의 구현을 용이하게 해준다.

Rel6 표준화 과정 동안 Nortel사는 이와 같은 OFDM 기술의 장점을 부각시켜 기존의 WCDMA 시스템으로 서비스 되는 HSDPA 기술을 OFDM으로 대체할 수 있다는 제안을 끊임없이 하였다. 이와 함께 OFDM 기술을 지지하는 회사들은 각자 회사의 이득을 추구하기 위해서 관련 기술을 제안하기도 하였다. 다음 절에 설명되는 IOTA 기술은 Wavecom를 비롯한 몇몇 회사들이 제안하고 지지한 기술이다.

1.2 OFDM 관련 기술(IOTA)

OFDM/IOTA(isotropic Orthogonal Transform Algorithm)는 각 부 반송파 변조에 IOTA로 불리는 특수한 형태의 함수(필터)를 적용한 OFDM/OQAM 변조 방식으로서 Wavecom, FT(Trance Telecom) 및 Orange 회사에서 지지하는 기술이다. OFDM/OQAM(Offset QAM) 변조는 기존의 OFDM 변조 방식의 대안으로서 보호 구간 및 보호 구간에 사용되는 CP(Cyclic Prefix)가 필요하지 않은 장점이 있다. 하지만 이 기법은 제대로 검증되지 않아서 구현 복잡성 및 실효성에 많은 논란이 있었다. 더구나 몇 회사가 독점하고 있는 기술로서 상식적으로 표준에 들어가기에는 정치적으로 많은 무리가 따를 수 밖에 없었다.

이해를 돕기 위해서 그림 2에 IOTA를 적용한 OFDM/OQAM의 블록 도를 간단히 도시하였다. 그림 2에서 IOTA는 시간 및 주파수 영역에서 동시에 독립적인 신호파형 및 주파수 스펙트럼 분포를 보이도록 만들어 주는 특수한 필터이다. 이 필터를 적용하면 가우시안(Gaussian) 함수를 시간 및 주파수 영역에서 동시에 직교화를 보장할 수 있는 새로운 함수로 변환시킬 수 있다. 본 기고의 특성상 자세한 기술적 설명은 생략하기로 한다([3GPP RAN R1-030014, R1-030087, R1-030166, R1-030167], [1]).

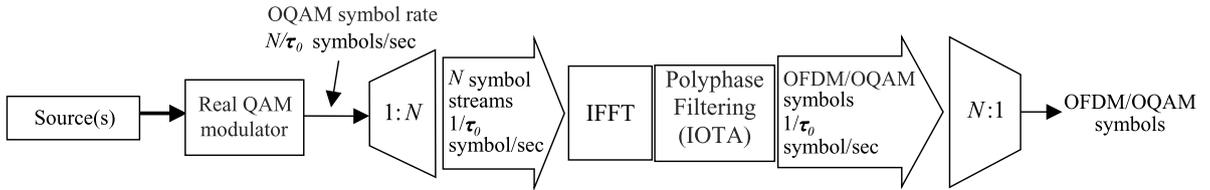


그림 2. IOTA를 적용한 OFDM/OQAM 변조기의 구성

1.3 제안된 OFDM HSDPA 기술

Nortel사가 OFDM 기술 제안 당시 현실적으로 표준을 추진하려고 한 부분은 사실상 하향링크 HSDPA 채널로 국한되었었다. Nortel의 제안에 따른 시스템 구성 예를 그림 3에 보였다. 제안된 OFDM-HSDPA 기술은 현존하는 WCDMA-HSDPA 기술을 대체하는 수준이었다. 따라서 시스템의 기본적인 요소인 셀 탐색, 호 설정, 동기획득 등과 같은 기본 기능은 기존의 WCDMA 시스템에 의존하며, 고속의 데이터 전송이 필요할 경우 OFDM-HSDPA 채널을 개통하거나 기존의 WCDMA-HSDPA 셀로부터 핸드오버 되도록 설계하였다. 따라서 OFDM 채널을 통한 제어 채널의 전송은 고려하지 않았으나, 상위 계층의 논리채널 수준에서의 다양한 매핑을 적용하여 HSDPA 이외에 기타 물리 채널을 지원할 수 있다는 가능성도 제시하였다.

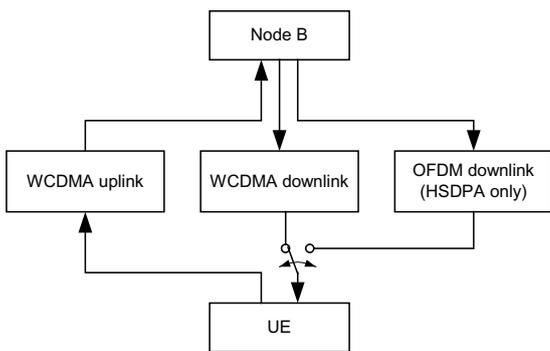


그림 3. WCDMA와 OFDM HSDPA 배치도

향후(Rel7 또는 그 이후에) OFDM-HSDPA 관련 Work Item이 생성된다면 이동성을 고려한 핸드오버, 주파수 동기 및 시간 동기 문제, 주파수 재 사용률과 셀 간 간섭 문제, UE 복잡도(수신기 RF, 셀 탐색, 측정, 동기, 복조, FFT, 채널 추정, 채널 등화), Node B에 미치는 영향(송신기, 변조, 채널 매핑, 다중화, IFFT, CP, 윈도우 사용, RF, DA, Up converter, 선형증폭기, PAPR), L2 및 L3 프로토콜에 미치는 영향(프로토콜 모델, RRC, Iub/Iur), 상향링크에 미치는 영향 등이 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

2. OFDM 기술의 향후 표준화 전망

현재까지 OFDM 기술은 3GPP에서 사실상 채택되지 않았다. 하지만 IEEE 등 여러 표준화 단체에서 OFDM 방식의 변복조 기술을 도입하고 그 성능이 입증되어 감에 따라 3GPP에서도 차츰 관심의 폭이 커지고 있어 왔던 것은 사실이다. 하지만 결정적인 계기가 된 것은 2004년 11월 캐나다 토론토에서 열린 3GPP Long-term Evolution(LTE) Workshop이다[2][3]. 이 워크숍은 향후 3GPP 시스템이 어떠한 방향으로 진화해 나가야 하는가에 대한 물음을 각 사업자 및 제조회사로부터 듣고자 하는 장소였으며, 공개롭게도 대부분의 기고문이 물리계층에 OFDM 기반 기술의 사용을 적극 제안하였다. 하지만 이는 충분히 예측할 수 있는 현

상이며, 다만 공식적으로 문서화되어 발표된 것뿐이다. 그렇다면 3GPP 시스템은 어떠한 방향의 진화를 원하고 있으며, 왜 물리계층에 OFDM 기술을 적극적으로 사용하려고 하는지 이해하기 위해 먼저 3GPP LTE에 대한 간단한 설명과 함께 이어 향후 3GPP 표준에서 OFDM 기술의 전망을 검토하기로 한다.

2.1 3GPP RAN LTE 회의

3GPP에서는 현재 3GPP UMTS 시스템의 경쟁력 강화를 위해 향후 2년 간에 걸쳐 새로운 표준을 제정하고자 2004년 12월 TSG RAN#26 Plenary 회의에서 추후 표준화 대상 시스템에 대한 연구를 진행하기 위한 Study Item을 생성하였다[4]. RAN#26 회의의 결정에 따라 본격적인 LTE 시스템 논의를 위해서 지난 2005년 3월 7, 8일 이틀에 걸쳐 도쿄에서 제1차 LTE 회의가 열렸다. 제1차 회의는 향후 시스템이 충족해야 할 조건사항의 결정과 이를 문서화하기 위한 기술문서(TR: Technical Report) 구조, 또한 본격적인 타당성 연구를 위한 기술문서(TR)의 구조를 정하는 것을 골자로 하였다. 하지만 이틀 동안 많은 논의에도 불구하고 충분히 결정을 내리지 못한 채 다음 회의를 기약하게 되었다. 다만 다음 회의 전에 이 메일을 통한 논의를 통해 진전된 요구조건에 대해서 합의를 도출할 가능성이 크다.

2.2 요구 사항(Requirements)

LTE 회의에서 요구하는 향후 시스템의 요구사항과 이를 만족하기 위한 시스템은 무엇인가에 대한 답을 얻어 내기 위해 먼저 LTE 시스템의 요구 사항을 검토해보자. 특히 물리계층과 밀접하게 관련된 요구사항을 분석하므로써 향후 시스템 설계 방향을 얻어낼 수 있을 것이다.

LTE 시스템이 충족해야 할 요구사항(Requirements)은 아래 열거한 바와 같다.

1. 매우 높은 최대 속도를 보장해야 한다(e.g. 하향 링크 100Mbps, 상향링크 50Mbps).
2. Scalable bandwidth를 보장해야 한다(예. 5, 10, 20, [15]MHz 및 1.25, 2.5MHz).
3. 현재의 셀과 동일한 위치에서 서비스를 하되 셀 가장자리 속도가 증대되어야 한다.
4. 주파수 이용효율이 크게 증대되어야 한다(Rel-6 시스템의 2배~4배정도)
5. 시스템 및 단말의 복잡도, 비용, 전력 소모가 합리적이어야 한다.
6. ...(생략)

위에 열거된 내용에 비추어 볼 때 광대역(최대 20MHz)에서 동작가능하고, 주파수 효율성이 높고, Scalable bandwidth 및 고속 서비스를 보장하고, 송수신기의 복잡도가 합리적인 시스템이 무엇인지에 대한 대답은 당연히 OFDM이 될 수 밖에 없다. 즉 다시 표현해 OFDM 시스템을 염두해 두고 위와 같은 요구조건을 나열한 것이나 다름없다. 즉 향후 제안될 시스템이 형태는 OFDM 기반 기술이 주류를 이룰 것임을 암시한다.

2.3 OFDM 기반기술 동향

LTE 물리계층 시스템을 구성하는데 있어서 특히 OFDM 기반기술 또는 이와 밀접한 관련이 있는 몇몇 기술에 대해서 간략히 언급하고자 한다. 물론 OFDM이 외의 CDMA 기법도 여럿 제안되었으나 본 기고에서는 OFDM 기반방식에 초점을 두도록 한다.

앞서 언급하였듯이 향후 물리계층 변복조 및 다중접속 기술은 OFDM 기반이 될 것이라는 것에 대해서는 대부분의 회사들이 어느 정도 공감대를 형성하고 있다. 다만 구체적으로 어떠한 방식이 어떻게 표준에 반영될 것인가가 지금 각자의 회사들이 주로 고민해야 할 부분

일 것이다. 현재 LTE 시스템 표준화에 가장 적극적인 행동을 보이는 회사로는 NTT DoCoMo를 들 수 있다. DoCoMo는 수년 전부터 물리계층 반복조 및 다중 접속 기술에 대한 자체 솔루션을 구축한 뒤 이에 대한 홍보를 꾸준히 진행해 왔다. 이를 바탕으로 LTE 표준화를 자신이 추구하는 방향으로 진행시키고자 노력하고 있으며 현재 'Requirements' 및 'Study Item' 기술문서 편집자(editor)를 맡고 있다. DoCoMo가 제안한 기술은 LTE 시스템의 하향링크에 VSF(Variable Spreading Factor)-OFCDM, 상향링크에 VSCRF(Variable Spreading Factor and Repetition Factor)-CDMA 기법이다. Nortel사는 과거 OFDM SI에서 크게 벗어나지 않는 OFDM-MIMO HSDPA 방식의 표준화를 제안하고 있다. Motorola는 Single Carrier, OFDM, IFDMA(Interleaved Frequency Division Multiple Access) 등 다양한 방법의 가능성을 염두해 두고 있으며, Qualcomm은 Backward compatibility에 초점을 두어 Multiple Carrier로 구성된 WCDMA 방식(Nx-WCDMA, N=1, 2, 3,...)이 표준으로 채택되길 바라고 있다. LG는 LTE 물리계층 다중접속기술로서 다양한 셀 및 무선채널 환경에 효율적으로 적용할 수 있는 다중도메인 확산 및 반복 방식(Multi-Domain Spreading/Repetition)을 적용한 다중 안테나 OFDM 시스템을 고려하고 있으며 더불어 상위계층과의 최적화를 꾀하는 방식을 제안하고 있다. 이외 Samsung, Ericsson, Nokia, Alcatel, Siemens, NEC, Lucent, Orange, FT 등 회사들도 주로 OFDM 기반의 시스템을 고려하고 있다. 또한 각 사의 제안이 OFDM 뿐만 아니라 OFDM 이외의 기술(e.g. 기존 WCDMA)을 제안하고 있는 경우도 있으며 또한 각자 다른 형태의 시스템 배치(Deployment) 및 이전(Migration) 시나리오를 고려하고 있는 것이 사실이나 다중접속기술로서 OFDM 기술이 기본이 될 것이라는 생각에는 큰 이견이 없어 보인다.

3. 맺음말

본 기고에서는 Rel6에서 연구되었던 OFDM 기반의 HSDPA의 Study Item 진행과정과 채택되지 못한 상황과 더불어 현재 많은 관심 속에서 진행되고 있는 LTE 시스템의 표준화에서 주목받는 OFDM 기술에 대해서도 언급하였다. 현재로서는 OFDM 기술의 적합성에 대해서 다소 의견차이가 있으나 OFDM 기술이 차세대 이동통신시스템에 적합한 기술이라는 인식을 부인하려는 회사는 시간이 흐를수록 급격히 줄어들 것이라는 것이다. 즉 3GPP 시스템에서도 향후 표준화될 시스템의 물리계층 핵심기술로 OFDM 기반의 다중접속기술이 선보일 날이 멀지 않아 보인다.

4. 참고문헌

- [1] 3GPP TSG RAN WG1, "3GPP TR 25.892 v6.0.0; Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) for UTRAN enhancement(Rel-6)," June 2004.
- [2] 3GPP TSG RAN, "Draft Scope and Agenda for the RAN long term evolution," RP-040385, Palm Springs, Canada, Sept 2004.
- [3] 3GPP TSG RAN Future Evolution Work Shop, "Compendium of Abstracts," Toronto, Canada, November 2004.
- [4] 3GPP TSG RAN, "Proposed SID on Evolved UTRA and UTRAN," RP-040461, Athens, Greece, Dec 2004. **TTA**