[차세대이동통신] LTE 상향링크 물리계층 제어신호에 대한 표준화 규격작업과 문제점?

현재 3GPP에서는 기존 3G-WCDMA 무선접속기술 대체할 만한 기술에 대한 표준화 작업이 활발히 진행 중이다. 변복조 기술적인 측면에서 보면 하향링크에는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), 상향링크에는 SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 무선접속기술을 이용하는 E-UTRA/UTRAN(Evolved Universal Terrestrial Radio Access/ UMTS Terrestrial Radio Access Network/Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) 시스템의 표준화 작업을 진행하고 있다. 특히 이 표준화 작업에 전 세계 운영회사, 제조사, 표준화 기구 및 관련종사자들의 관심이 어느 때보다 높기 때문에 표준 기술의 논의 및 검증이 더 활발히 진행되고 있으며 이는 표준기술 완성도를 높여 향후 발간될 LTE(Long Term Evolution) 시스템의 경쟁력 제고에 크게 이바지 할 것으로 예상된다. 현재 LTE 표준화 작업은 3단계로 나누어 진행되어 왔으며 2006년 3월 현재 마지막 세 번째 단계를 막 시작하는 시기에 있다.
본 기고문에서는 LTE 표준기술의 이해를 돕고 및 향후 표준화에 대한 향방을 가늠하는데 일부 도움을 제공하기 위해 현재까지 진행된 다양한 물리계층 표준기술 중에서 상향링크 제어채널에 대한 이슈를 중점적으로 다루고자 한다.

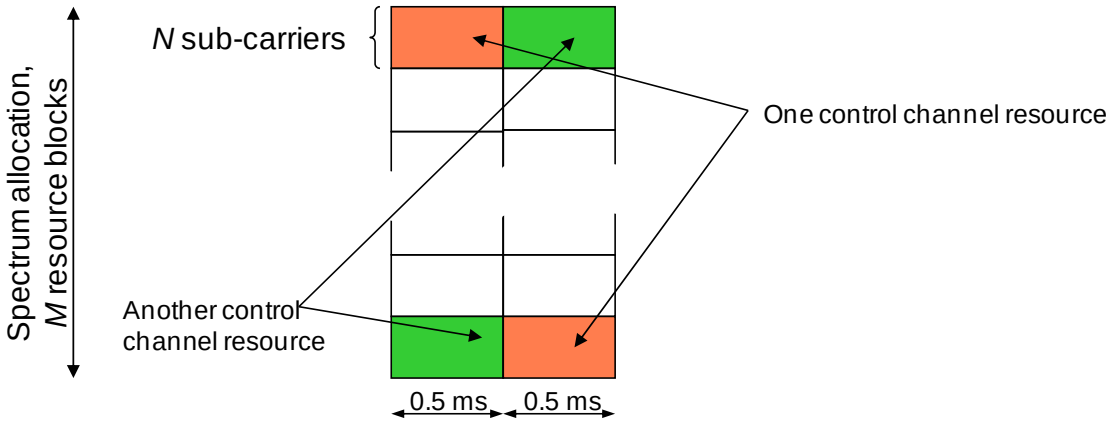
상향링크 제어채널이란?

상향링크 제어채널이란 하항링크 제어정보와 관련된 제어정보 또는 상향링크 전송에 관련된 제어정보 등을 전송하는 물리계층 채널을 일컫는다. 현재 LTE 표준화 문서에 정의된 상향링크 제어채널은 PUCCH(Physical Uplink Control Channel)로서 현재까지 논의된 내용에 의하면 PUCCH 채널을 통하여 전송되는 정보에는 상향링크 데이터 스케쥴링에 이용하는 것을 주 목적으로 하는 채널품질정보(CQI: Channel Quality Indicator) 및 하향링크 데이터 전송에 따른 상향링크 응답 신호인 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) ACK(acknowledgement)/NACK(negative acknowledgment)가 있다.

PUCCH 표준화 추진 현황

상향링크 제어채널에는 크게 두 가지 이슈가 있다. 첫 번째로 두 개의 제어 정보 즉 CQI와 ACK/NACK 신호를 어떻게 보낼 것인가? 즉 어떠한 방법으로 다중화를 시킬 것인가? 에 대한 제어채널 구조적인 측면에 대한 쟁점이 있고, 두 번째로는 CQI(Channel Quality Indicator) 정보를 어떻게 구성해서 어떠한 방법으로 전송할 것인가에 대한 전송방식에 대한 쟁점이 있다(추가적으로 Scheduling Request, S-RS와의 다중화 등의 이슈가 남아 있다). 이 중에 특히 제어채널을 어떻게 다중화 할 것인가에 대한 논의에 무게를 두고 현재까지의 결정사항 및 향후 추이를 가늠해 본다. 기타 세부적인 쟁점에 대한 논의나 CQI 전송 방식에 대한 논의는 표준화 추진 현황을 지켜본 후 차후에 기고하기로 한다.

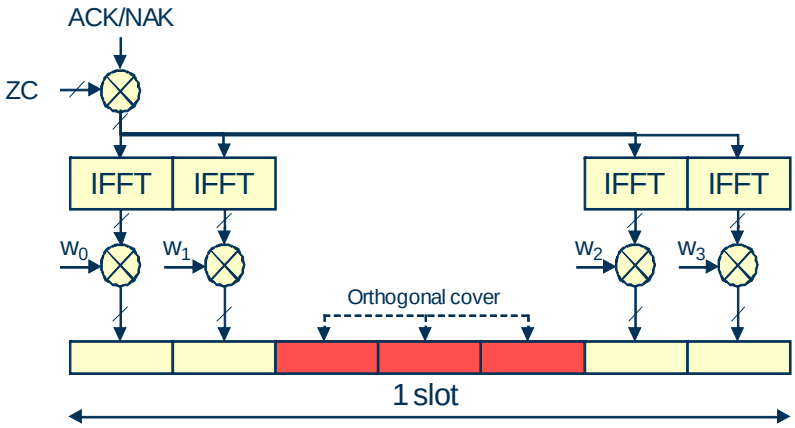
2005년도 하반기 서울 회의에서 상향링크제어채널을 전송하는데 사용되는 주파수 및 시간 자원 영역이 결정되었다. 상향링크 변복조 방식이 SC-FDMA 기술을 사용하므로 자원할당 방식은 OFDMA과 유사점이 많다. 따라서 자원을 주파수-시간으로 구성된 작은 영역 즉 자원영역(RB: Resource Block)단위로 할당하도록 정의하였다. 1 RB는 주파수 영역에서 12개 부반송파와 시간 영역에서 2 개 슬롯(1개 슬롯은 0.5ms)에 걸친 자원영역을 일컫는다. 상향링크제어채널은 전체대역 중에서 대역의 양쪽 끝부분의 지정된 개수의 RB를 사용하여 전송하되 매 슬롯마다 양쪽 영역을 서로 도약하도록 규정되어 있다. 이는 그림 1과 같다.
0.5ms 슬롯 단위로 예약 영역의 위치를 도약하는 이유는 주파수 영역의 다이버시티(diversity) 이득을 얻기 위한 것이다. 또한 사용자간에는 부호분할 다중화, 즉 CDM(Code Division Multiplexing)으로 구분할 수 있도록 하였으며, 이를 위해 ZC(Zadoff-Chu) 시퀀스 계열의 직교코드를 사용하는 것 가정하였다. 그림에서 같은 색으로 구분된 영역은 동일 사용자가 사용할 수 있는 영역이다. 즉 한 사용자가 두 색으로 지정된 두 영역을 동시에 사용할 수 없다. 이는 상향링크에 도입된 SC-FDMA 기술에서 기인한 것으로 한 사용자가 송신하는 주파수 특성이 단일 주파수 특성을 지녀야 출력증폭기에서 신호의 왜곡을 최소화 할 수 있기 때문이다. OFDMA 기술보다 SC-FDMA기술이 이러한 특성이 더 우수하게 나타난다. 하지만 이로 단일주파수 특성을 보장하도록 시스템을 설계하는 것 자체가 또 다른 여러 가지 제약을 유발할 수 있다는 단점을 가지고 있다.



<그림 1> 상향링크 제어채널용 자원 영역의 할당

그림 1을 바탕으로 크게 두 가지 제안기법이 논의되어 왔다. 하지만 두 기법에서 ACK/NACK을 전송하는 구조는 그림 2와 같이 동일한방식이 적용된다. 따라서 그림 2에서 HARQ ACK/NACK 신호는 ZC 시퀀스를 통해서 변조되고 이렇게 변조된 신호는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 거쳐 하나의 SC-FDMA 신호를 형성하고 여기에 다시 다른 형태의 직교코드(예. Walsh Hadamard)가 다시 SC-FDMA 심볼단위로 곱해져서 전

송된다. 간단히 말하면 ACK/NACK 신호는 두 번의 직교코드를 사용해서 전송되며 이때 두 겹의 직교코드로 변조된 심볼은 각 사용자 마다 직교성을 유지할 수 있도록 설계되어야 한다. 그림 2에 보인 예는 1 슬롯에 7개의 심볼로 구성되어 있고 이중에서 4개의 심볼에만 실제 ACK/NACK정보를 보낼 수 있으며, 나머지 3 SC-FDMA 심볼의 지정된 영역(빨간색영역)에는 ACK/NACK용 파일럿 신호(RS: Reference Signal)가 전송된다. 3개의 RS를 사용하는 것과 위치가 지난달 아테네(RAN1#50)회의에서 결정되었다.

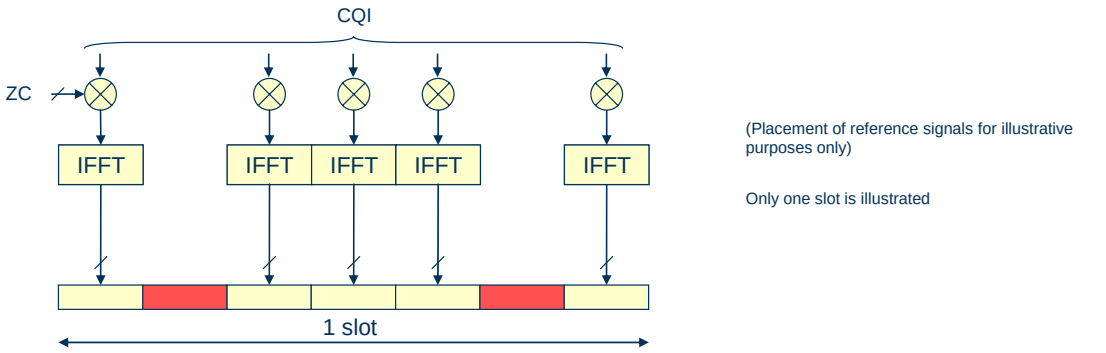


<그림 2> 상향링크 ACK/ANCK 제어신호 전송을 위한 구조

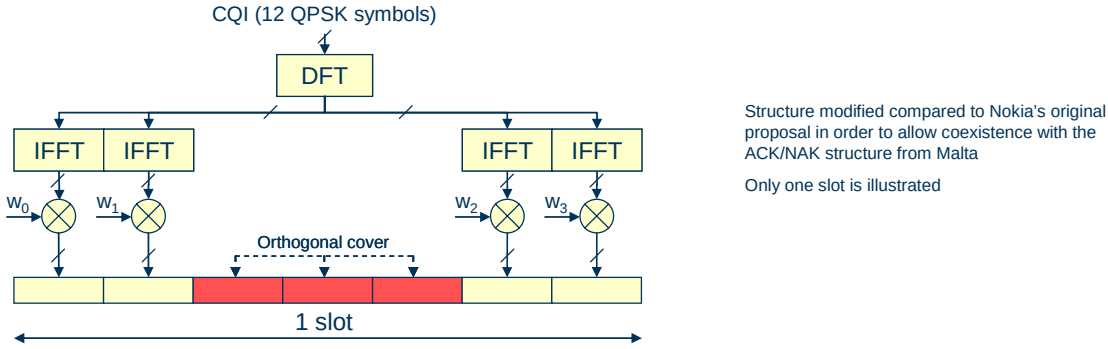
이와 같은 구조는 5월 3GPP 고베 회의 전에 이메일 상에서 이미 잠정적으로 결정되었고 이와 함께 CQI도 동시에 전송할 수 있는 다중화 구조로서 그림 3, 4와 같이 두 가지 형태로 압축되었다. 그림 3의 구조 A형태는 일본 NTT DoCoMo를 비롯한 일본 제조업체와 그 외 많은 회사의 지지를 받고 있었고, 그림 4의 구조 B형태는 Nokia, Nokia Siemens Network와 그 외 몇 회사의 동의를 받고 있었다.

RAN1#49차 Kobe회의에서는 상향링크 제어신호 다중화구조를 결정하기 위해 많은 논의를 하였다. 구조 A는 ZC 계열의 코드를 사용하여 1개 코드에 1개의 CQI 심볼을 전송할 수 있는 구조이다. 따라서 그림 3에서와 같이 2개를 RS(빨간색)로 사용된다면 나머지 5개의 SC-FDMA 심볼에 5개의 심볼을 전송할 수 있는 구조이다. 이렇게 되면 한 슬롯에 5개 심볼 즉 10 비트의 부호화 비트를 전송할 수 있다. 이 기법은 일반적인 채널 상황에서 6명의 사용자가 1개 서브프레임(1ms)에 최대 20비트까지 전송할 수 있다. 문제는 현재 광대역 LTE 시스템에서 과연 20kbps 의 CQI 전송속도가 감당해 낼 수 있을 지에 대해서는 많은 의문이 제기되었다. 특히 MIMO를 고려한다면 어떻게 할 것인가에 대한 논의가 많이 있었다. 결국 MIMO는 여러 서브프레임에 시간적으로 나누어 보내는 방안 등을 고려해서 이 기법으로 현재 LTE 시스템을 충분히 지원할 수 있다고 결정하였다. 한편 구조 B의 경우 ZC 시퀀스를 사용하지 않고 단지 시간영역 확산코드만을 적용해서 다중화를 수행하는 방법이다. 이 경우 1RB를 가정했을 경우 확산코드의 길이가 4이고 시퀀스의 종류가 4개를 얻어 낸다면 최대 4명을 다중화 할 수 있다. 구조 A에 비해서 다중화할 수 있는 사용자의 수가 적다는

단점이 있다. 하지만 구조 B의 경우 한 슬롯에 12 심볼 24 부호화 비트를 전송할 수 있다는 장점이 있다. 이 경우 서브프레임당 48kbps의 전송속도를 얻을 수 있다. 즉 구조 A의 약 2.5 배의 전송속도를 얻을 수 있다. 하지만 구조 A가 설계나 구현의 복잡도 측면에서 간단하고 대부분의 회사들이 구조 A로 간단하게 다중화 하는 방식을 선호하기 때문에 결과적으로 구조 A로 다중화 구조가 결정되었다.



<그림 3> CQI 전송을 위해서 제안된 다중화 구조 A



<그림 4> CQI 전송을 위해서 제안된 다중화 구조 B

하지만 구조 A는 앞서 언급한 한 서브프레임에서 전송할 수 있는 최대 CQI 비트수의 제약이라든가 ACK/NACK 과 CQI를 동시에 보낼 경우 Joint coding 기술을 사용하거나 ACK/NACK을 첫 번째 슬롯에 CQI를 두 번째 슬롯에 전송하는 시간분할형태로 전송해야 한다. 문제는 두 제어신호의 에러요구조건(Requirement)이 다르기 때문에 Joint coding을 수행할 경우 두 조건을 독립적으로 충족시키기가 어려우며 간단히 설계할 경우 높은 요구조건에 맞추어 설계를 하다 보면 결과적으로 자원 낭비를 초래할 수 있다는 단점이 있다. 다른 방법으로 TDM형태로 전송한다고 하더라고 서버프레임당 20Kbps 전송속도를 두 제어신호가 나누어 사용해야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 이번 회의에서 다중화 구조가 A로 결정되었다고 하더라도 향후 ACK/NACK을 동시에 전송할 경우의 해결책이 명쾌하지 못하다

면 현재 결정에 대한 혼선이 올 수도 있다. 이런 방식의 결정구조에 비추어 보면 향후 구조 B로 결정사항이 바뀔 가능성에 대해서 어느 누구도 확언을 할 수 없다. 이런 예에 비추어 볼 때 과연 표준화라는 것이 무엇을 의미하는지에 대한 질문을 스스로 던져 볼 때가 되지 않았나 하는 생각이 든다. 현시점에서의 LTE 표준화에 대한 전반적인 개인적 소견을 아래 간략히 언급하고 마무리 하고자 한다.

맺음말

최근 지난 몇 회의를 거치면서 표준규격의 많은 부분의 윤곽이 서서히 드러나고 있다. 사람에 따라 다르겠지만 혹자는 전혀 결정된 내용이 없다고 말할 수 있으나 한편으로는 윤곽이 드러났다면 앞서 가는 회사들은 이미 오래 전부터 관련 특허를 모두 작성해 놓았다고 생각해도 과언이 아니다. 이 의미는 결국 회사들이 나아갈 방향이 결정되어 있는 상태이며 이들 간의 타협점만 남은 것이라고도 해석될 수 있다. 이번 달에 드디어 말 많던 LTE 표준이 승인된다. 내용의 충실도를 떠나 아마 상징적인 시기로 보는 것이 바람직하다. 즉 2004 년 11 월 LTE 관련 워크샵을 시작으로 숨가쁘게 달려왔던 표준화 작업이 일단락 되는 것이다. 추후 많은 보완이 필요하지만 RAN1 의장이나 뜻을 같아하는 사람들은 이번 회의에서 LTE 제 1 차 버전의 표준을 승인 받으려 할 것으로 예상된다. 그러나 과연 이렇게 얻어진 표준규격이 과거 Release 99, 4, 5, 6 에서 보여줬던 완성도와 충실도를 가진 표준이 아니라는 것이 현재로서는 논쟁거리가 될 수 있다. 물리계층 표준을 80%정도의 완성도를 갖추었다고 할 지라고 상위 표준은 더욱이 완성도를 논할 단계가 아니기 때문에 말이 많은 것이다. 현재 정해진 표준규격이나 향후 나아갈 표준화 방향에 비추어 보면 현재 LTE 상향링크 설계에 많은 문제점이 노출되어 있다는 것은 많은 부분이 사실로서 인식되어가고 있으나 초창기부터 Single carrier FDMA 방식을 주장했던 회사와 여기에 동조하여 IPR 거리를 많이 움켜쥐려 했던 회사들은 이런 문제를 애써 무마하려는 태도가 어렴풋이 나타난다. 결과야 어떻든 당시 반대하지 못하고 끌려온 회사들도 현재로서는 뭐라 하고 싶은 말이 있을 지언 정 큰소리를 못 내는 것은 당연하다. 더구나 초기 표준규격으로서 승인 받을 경우 더 이상 후퇴는 없을 것이다. 이 점이 심히 우려되는 부분이며, 표준화의 어두운 면을 여실히 드러내고 있는 듯하다.

한마디 더하자면, 회사들이 제안했던 기술을 기반으로 논의를 하지만 결국 기술 우선주위가 아닌 표준화 추진에 편의성, 각 회사의 이해관계(정치적 논리), 기술의 몰이해로 인한 잘못된 결정으로 인해 실제 결정된 기술의 완성도가 크게 떨어질 수도 있다는 문제점 알고서도 모르는 척 흘러가는 듯하다. 이러한 잘못된 결정으로 인해 향후 초래될 잘못된 설계 방향은 표준화 일정에 매우 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 우리는 직시해야 한다. 물론 필자도 목소리 내어 외치지는 못하지만 많은 사람들이 공감한다면 지금 당장은 묘수가 없다 할지라도 최소한 향후 표준화 작업을 할 때 각 회사들은 제안된 기술들에 대한 정확한 이해, 그리고 철저한 성능분석, 시스템 반영의 용이도, 정치적 이해관계 철저한 배제 등을 기반으로 해서 기술 우위의 표준화 작업을 추진하는 것이 바람직하지 않을까? 이러한 마음

가짐이나 행동이야 말로 진정한 파트너십 관계로부터 얻어 낼 수 있는 값진 이득이 아닐까 생각한다. 마지막으로 우리나라 속담에 급할수록 돌아가라는 말이 있다. 최근 표준화 작업이 진행되는 과정을 지켜보는 그리고 실무를 담당하는 한 사람으로서 이런 내용의 말의 누군가에게 간절히 해주고 싶다.

김학성 (LG전자 3G표준화그룹 책임연구원, bryankim@lge.com)