

5G 무선 기술



고영조 ETRI 통신인터넷연구소 무선전송연구부 무선전송방식연구실 실장

방송찬 ETRI 통신인터넷연구소 무선전송연구부 부장

1. 머리말

유럽, 미국, 동아시아를 중심으로 4G LTE/LTE-Advanced 다음 세대인 5G 이동통신에 대한 관심이 고조되고 있다. 유럽의 FP7 프로젝트인 METIS(Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society)[1], 미국의 GreenTouch, 중국의 IMT-2020 프로모션 그룹, 일본의 ARIB 2020, 한국의 5G 포럼 등 주요 5G 관련 단체와 에릭슨, NSN, 퀄컴, NTT-DoCoMo, 화웨이, 삼성, LG 등 주요 이동통신 사업자와 제조자들이 5G 이동통신의 비전과 목표를 제시하고 이를 달성하기 위한 주요 기술들에 대해서 이야기하고 있다. 위 단체와 기업에서 제시하고 있는 5G의 비전과 기술적 목표는 다소 차이가 있으나 대체로 다섯 가지 카테고리로 분류되고 각각에 대한 목표는 대략 다음과 같다.

① 폭발적 데이터 트래픽의 수용: 4G 대비~1,000배

② 사용자당 전송률의 획기적 증가: 평균 전송률 ~1Gbps

③ 대폭 증가된 연결 디바이스 개수의 수용: 4G 대비 10~1,000배

④ 매우 낮은 단대단 지연(End-to-End Latency): ~1ms

⑤ 고에너지 효율: 4G 대비 10~1,000배

5G의 기술적 목표 및 요구사항은 크게 용량증대, 저지연, 에너지 효율, 연결 디바이스 수의 4가지 기술 분야로 나누어 볼 수 있다. 본 고에서는 용량증대와 저지연에 초점을 맞추어 5G 비전을 실현하는데 필요한 무선전송기술 후보들에 대해 알아본다.

2. 5G 무선전송 후보기술

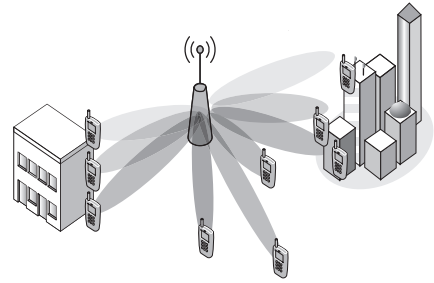
본 장에서는 용량증대와 저지연을 위한 5G 무선전송 후보기술에 대해 알아보자.

2.1 네트워크 고밀도화(Network Densification)

무선전송기술 향상은 셀 하나가 수용할 수 있는 트래픽 양을 증가시키는 반면 셀의 크기를 줄임으로써 즉, 일정 영역 내 셀의 개수를 증가시켜 셀 분할에 따른 용량증대를 꾀할 수 있다. 특히, 트래픽 양이 많은 핫스팟(Hot Spot) 지역에 집중적으로 소형셀을 배치시켜 트래픽 요구를 효과적으로 수용할 수 있다. 3GPP에서는 Rel-12 표준화를 목표로 고밀도 소형셀 배치에 따른 효율적 이동성 관리, 주파수 이용효율 증대, 에너지 효율 증대 방법으로 소형셀의 온오프와 디스커버리, 매크로셀과 소형셀에 대한 단말의 이중연결 등의 논의가 진행 중이다[2][3]. 특히 단말의 이중연결성(Dual Connectivity)에서 단말은 매크로셀과 소형셀 모두에 연결되어, 매크로셀 기지국은 커버리지 보장과 이동성 관리를 수행하고 소형셀 기지국은 주로 높은 데이터율을 제공하는 역할을 한다. 네트워크 고밀도화는 단위 면적당 용량을 증가시켜 향후 폭발적 트래픽 증가를 수용하기 위한 5G 핵심기술로 여겨지고 있다.

2.2 대규모 안테나 시스템(Massive MIMO)

대규모 MIMO[4] 기술은 기지국에 수십 혹은 수백 개의 안테나를 장착하여 동일자원으로 수십 명의 사용자를 동시에 지원함으로써 인해 높은 용량 증대와 더불어 높은 에너지 효율 증대를 얻는 기술이다. 다중사용자 MIMO 기술에서 송신안테나와 사용자의 수를 증가시킴에 따라 전송효율이 크게 증가할 수 있으나, MIMO 송수신 필터 복잡도도 지수적으로 증가하는 문제로 인해 현실적인 실현에는 많은 어려움이 따르는 것으로 알려져 왔다. 이에 반해 대규모 MIMO 기술은 TDD 시스템에서 상향/하향 링크의 채널 상관관계를 이용하여 완벽한 채널벡터를 얻을 수 있다면 안테나 수가 매우 커질수록 서로



[그림] 대규모 안테나 시스템

다른 사용자의 채널 간에 간섭이 사라지게 되어 단순한 송수신 필터의 사용으로 여러 사용자를 동시에 서비스할 수 있다는 사실을 제시하여 시스템 설계를 단순화하였다. 대규모 MIMO가 TDD를 전제로 하는 기술임에 반해 현재 세계적으로 대다수 통신사는 TDD 대신 FDD 주파수 대역을 운영하고 있다. 따라서, 가까운 미래에는 TDD 대규모 MIMO를 실현하기에 어려움이 따른다. 한편, LTE-Adv 시스템은 8개의 안테나를 이용하여 최대 4개의 사용자에게 각기 하나의 데이터 스트림을 송신할 수 있다. LTE에서는 대규모 MIMO의 개념을 3차원 공간으로 확장하여 3차원 빔포밍 기술의 표준화를 앞두고 현재 3차원 채널 모델에 대한 연구가 진행되고 있다.

2.3 전이중(In-band Full Duplex)

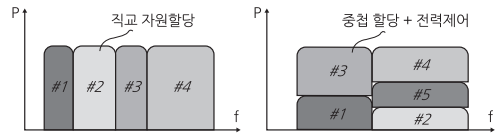
샤논의 한계(Shannon limit)에 따른 무선 링크 전송량 증가를 위해서 송신 무선자원과 수신 무선자원을 공유하여 무선 자원의 양을 높이는 방향으로 전이중 전송방식을 연구하고 있다. 현재 사용 중인 반이중 송수신기는 듀플렉서 혹은 써큘레이터로 송신 신호와 수신 신호를 주파수 영역 혹은 시간 영역에서 구분할 수 있지만, 송신 신호와 수신 신호가 섞이는 전이중 송수신기는 단일 안테나로 송수신하는 경우에 송신부 모델과 수신부 모델이 정상적으로

동작하지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전이중 송수신기는 송신 안테나와 수신 안테나를 물리적으로 구분하여 사용한다. 전이중 송수신기를 이동통신 시스템의 기지국에 적용하는 경우, 반향 신호의 수신 전력이 셀 경계 단말의 수신 전력에 비해 수십 dB 이상 크기 때문에 기저대역 모델의 신호 처리 이전에 적절한 반향제어/반향제거 기법을 통해서 반향 신호의 수신 전력을 잡음 전력 수준으로 낮춰야 한다. 반향제거를 위해, 송수신 안테나 격리 기술/아날로그 단 반향제거/디지털 단 반향제거를 순차적으로 적용한다. 디지털 가입자망(xDSL)에서 사용하는 혼선 처리기법과 3세대 무선 통신(CDMA, WCDMA, WiBro 등)에서 활용한 아날로그 중계기(ICS Repeater)의 반향신호 처리기법을 적용할 수 있다[5][6][7].

2.4 비직교 다중접속(NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)

NOMA는 5G 기술 목표 중 셀의 용량 증대 달성을 위한 후보기술로 동일한 시간, 주파수, 공간 자원 상에 두 대 이상의 단말에 대한 데이터를 동시에 전송하여 주파수 효율을 향상시키는 기술이다. NOMA에서는 기존의 직교 다중접속 방식, 예를 들어 OFDMA 방식이 갖고 있던 주파수 자원 할당 관점에서의 직교성을 깨고, 같은 주파수 자원 상에 두 대 이상의 단말을 동시에 중첩 할당하여 자원 효율을 높이고자 한다(그림 2).

기지국은 서로 채널 품질의 차가 큰 복수 개의 단말(예를 들면, 셀 중심 지역에 위치한 단말과 셀 경계 지역의 단말)에 대하여 해당 데이터 심볼들을 중첩(superposition)하여 전송한다. 이때, 셀 중심 지역의 단말에는 작은 전력을, 셀 경계 지역의 단말에는 높은 전력을 할당할 수 있다. 셀 중심 단말



[그림 2] 직교 다중접속과 NOMA의 비교

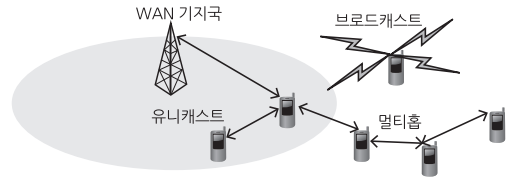
은 순차적 간섭제거(SIC : successive interference cancellation) 방식에 따라 신호의 세기가 큰 셀 경계 단말의 간섭 신호를 먼저 복호하여 제거한 후 자신의 신호를 성공적으로 복호할 수 있고, 셀 경계 단말은 셀 중심 단말의 간섭 신호가 상대적으로 약하게 도달하므로 이를 간섭으로 간주한 채 자신의 신호를 복호할 수 있다.

2.5 초광대역 지원(Super wideband)

현재의 LTE 및 LTE-A는 반송파 집성을 적용하지 않은 단일 대역폭 기준으로 최대 20MHz까지의 대역폭을 지원한다. 한편 5G 기술 목표인 1,000배 데이터 트래픽을 수용하기 위해서는 지금의 셀룰러 대역보다 훨씬 넓은 대역폭(수백 MHz~수 GHz)을 갖는 주파수 자원이 요구되며, 이때 이 광대역 무선 채널에 적합한 효율적인 송수신 지원 기술이 필요하다.

2000년대 초중반 연구되었던 기존의 초광대역(Ultra-wideband, UWB) 통신은 보통 커버리지 10m 안팎의 근거리 저전력 전송을 목표로 했다는 점에서 5G 기술로 논의 중인 초광대역 전송 기술과는 차이가 있다. 초광대역 전송 지원을 위한 요소 기술로는 넓은 대역폭의 채널 특성에 적합한 광대역 초기접속 기술, 각 단말에 대용량 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 HARQ 전송 및 피드백 지원 기술, 기존 셀룰러 대역과의 협력 기술 등을 고려할 수 있다. 초광대역 전송의 후보 대역으로는 통상적으로 6GHz 이하의 대역을 지칭하는 셀룰러 대역 또는

6GHz 이상의 밀리미터파(millimeter wave) 대역을 모두 고려할 수 있다. 밀리미터파 대역의 경우, 무선 채널의 도플러 효과 등 큰 스케일 페이딩 특성이 셀룰러 대역의 경우와 많이 다르므로 프레임 구조, 물리 채널 및 신호의 새로운 설계가 필요할 수 있다.



[그림 3] 5G 단말 네트워킹

2.6 저지연 고신뢰 무선전송(Low Latency & High Reliability)

5G 이동통신 서비스로 실시간 게임, 실감형 통신, 원격 의료, 원격 제어 등이 대두되고 있다. 이 서비스들은 공통으로 저지연 고신뢰 무선전송을 필요로 하는데, 이 서비스들을 원활히 지원하기 위해서는 데이터 패킷의 단대단 지연(End-To-End Latency)이 수 ms 이하여야 한다. 현재 LTE 시스템의 데이터 패킷의 단대단 지연은 ~20ms 정도로 위의 서비스들을 원활히 지원하는데 한계가 있다. 데이터 패킷의 단대단 지연은 크게 기지국과 단말간의 통신 구간과 CN(Core Network) 구간으로 나눌 수 있다. 기지국과 단말간의 통신 구간은 다시 무선접속 구간과 무선전송 구간으로 나눌 수 있다. 무선접속 구간에는 스케줄링 요청, 자원할당 등이 해당되고, 무선전송 구간에는 데이터 전송, 데이터 복조 등이 해당된다. 무선전송 구간에서 데이터 패킷의 단대단 지연을 줄이기 위해서는 기본적으로 TTI(Transmission Time Interval)를 줄여야 한다. 5G 이동통신 시스템에서는 LTE 시스템 대비 1/10 줄여든 0.1ms의 TTI를 고려할 수 있다.

2.7 단말 네트워킹(Device Networking)

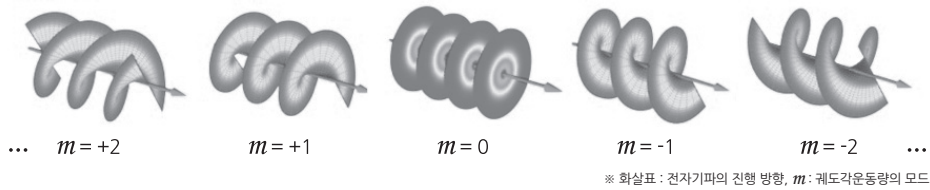
단말간 통신의 목적은 공공안전 및 상업 서비스 두 가지 용도로 분류될 수 있고, 커버리지 안팎에서는 물론 부분 커버리지에서도 사용 가능하여야 한다. [그림 3]과 같이 부분 커버리지 UE를 통해 커버리

지 밖의 UE들이 WAN(Wide Area Network)에 연결될 수 있다. 2014년 9월 발간 예정인 LTE Rel-12에서 규격화 될 단말간 통신의 목적은 공공안전 서비스 제공에 국한되어 있고 물리계층에서는 피드백이 없는 브로드캐스트만 정의될 예정이다. 반면 5G에서 단말간 통신은 공공안전은 물론 IoT를 포함한 상용 서비스 제공으로 무게 중심이 옮겨갈 것으로 예측된다. 이를 위해 브로드캐스트는 물론 유니캐스트와 그룹캐스트도 규격화될 것으로 전망된다. 또한, 커버리지 확대를 위해 멀티홉에 의한 단말간 통신도 제공될 것이다.

5G에서는 단말간 통신을 이용하여 물건들이 서로 소통하면서 인간의 행동과 주변 상황에 따라 적절히 반응하는 IoT(Internet of Things)를 통해 의료, 자동차, 교육, 사회안전 등에서 새로운 서비스가 풍부하게 창조될 것으로 예측된다.

2.8 그 밖의 5G 무선전송 후보 기술들

그 밖의 5G 무선전송 후보기술로 FTN(Faster-Than-Nyquist), FBMC(Filter Bank Multicarrier), OAM(Orbital Angular Momentum) 등이 있다. FTN은 1T bits/s를 전송하였을 때 이를 최적으로 수신하기 위해 1/2T Hz의 기저대역 대역폭이 요구되는 Nyquist criterion의 한계를 넘어, 동일한 대역폭에서 Nyquist rate보다 더 빠른 Rate으로 전송하여 Capacity를 증대시키는 기술로 1970년대에 J. E.




[그림 4] 서로 다른 궤도각운동량을 갖는 전자기파 파면의 형태

Mazo에 의해 제안되었고 동일 대역폭에서 Nyquist rate 기반의 전송 대비 전송률이 30~100%까지 향상될 수 있음을 제시하고 있다[8]. FBMC는 다수의 필터를 이용하여 다수의 반송파에 다수의 서로 다른 심벌을 주파수 효율적으로 동시에 전송하기 위한 기술이다[9]. OFDM이 고안되기 이전인 1960년대부터 FBMC에 관한 연구가 시작되었으나, OFDM 대비 높은 구현 복잡도로 인해 PLC(Power line communication) 표준규격인 IEEE P1901을 제외하면 대부분의 표준 단체에서 채택되지 못했다. FBMC를 적용하면 반송파 별 필터가 사이드로브를 발생시키지 않도록 하여 인접 반송파 간 간섭에 강인한 장점이 있다. 또한, 등방성 직교변환 알고리즘(Isotropic orthogonal transform algorithm)을 적용하면, 채널의 시간 확산 및 주파수 확산을 고려하여 필터를 설계, 인접 반송파 간섭 및 인접 심벌 간섭을 극복할 수 있다. FBMC의 사이드로브 특징에 의해 상향링크 FDMA 전송 및 CR(Cognitive Radio)과 같은 인접 반송파 간 간섭에 강인성이 요구되는 환경에 응용될 수 있을 것으로 예상된다[10]. OAM은 전자기파의 기본 성질 가운데 하나로 전자기파의 회전운동량과 관련된 값이다. 궤도각운동량은 전자기파가 진행할 때 파면(Wavefront)이 꼬인 형태에 따라 정해지는데, 파면의 꼬인 형태(방향, 횡수)에 따라 궤도각운동량은 양자화 된 값을 갖고 이를 정수인 모드로 나타낼 수 있다(그림 4). 지금까지 무선 통신

에서 사용했던 평면파는 궤도각운동량이 0이다. 궤도각운동량을 이용하여 정보를 전송하는 방법은 크게 두 가지를 들 수 있다. 첫째는 서로 다른 궤도각운동량을 갖는 전자기파에 각각 다른 정보를 실어 전송하는 방법이고, 둘째는 보내고자 하는 정보를 전자기파의 궤도각운동량 자체로 변조하여 전송하는 방법이다. 궤도각운동량을 갖는 전자기파를 생성하기 위해서는 특수한 안테나가 필요한데 대표적으로는 나선형 위상판(Spiral Phase Plate), 피치-포크 홀로그램(Pitch-Fork Hologram), 원형 안테나 배열(Circular Antenna Array) 등을 이용하는 방법이 알려졌다.

3. 맺음말

5G 무선전송은 다양한 RAT(Radio Access Technology)가 공존하는 형태가 될 것으로 예상되고 5G 기술은 용량증대와 저지연 설계가 중요 키워드가 될 것으로 보인다. 특히, 초기 5G 무선전송은 기술적인 측면과 사업자의 경제성 관점에서 기존 4G의 진화적 발전을 토대로 새로운 기술을 수용하는 형태가 될 가능성이 높다. 이 경우 시스템 레벨에서 기존 단말을 여전히 지원하기 위해 매크로 기지국의 경우 후방호환성(Backward Compatibility)을 유지하고 소형셀을 중심으로 획기적 용량증대와 저지연을 위한 새로운 기술이 도입할 가능성이 높다.

이와 같은 관점에서 5G와 관련된 선제적 연구는 4G 진화를 이끌어 나갈 기술들에 대한 지속적인 연구 개발과 새로운 기술에 대한 연구를 병행하여야 할 것으로 보인다. 

[참고문헌]

- [1] METIS Deliverable D1.1, 'Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system,' METIS, April 2013.
- [2] 3GPP TSG RAN TR 36.872 v1.0.1, 'Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical Layer Aspects', Aug. 2013.
- [3] 3GPP TSG RAN TR 36.842 v0.2.0, 'Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN – Higher-layer Aspects', May 2013.
- [4] T. L. Marzetta, 'Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas,' IEEE Trans. Wireless Comm., Vol. 9, No. 11, pp. 3590-3600, Nov. 2010.
- [5] Duarte, M., 'Full-duplex wireless communications using off-the-shelf radios: Feasibility and first results,' ASILOMAR 2010, Nov. 2010.
- [6] Ehsan Aryafar, Mohammad Amir Khojastepour, Karthikeyan Sundaresan, Sampath Rangarajan, Mung Chiang, 'MIDU: enabling MIMO full duplex,' Mobicom 2012, Aug. 2012
- [7] Duarte M, et al, 'Design and Characterization of a Full-duplex Multi-antenna System for WiFi networks', IEEE Vehicular Technology, Nov 2013.
- [8] J. B. Anderson, F. Rusek, and V. Owall, 'Faster-than-Nyquist signaling,' Proc. IEEE, vol. 101, no. 8, pp 1817-1830, Aug. 2013.
- [9] B. Farhang-Boroujeny, 'OFDM versus filter bank multicarrier,' IEEE Sig. Proc. Mag., vol. 28, no. 3, pp. 92-112, May 2011.
- [10] M. Shaat and F. Bader, 'An uplink resource allocation algorithms for OFDM and FBMC based cognitive radio systems,' presentation material in Proc. IEEE CROWNCOM, 2010.

정보통신 용어해설

오프로딩 효과 Offloading effect [무선]

급증하는 데이터 트래픽을 다른 네트워크로 분산하는 효과.

가장 효과적인 방법이 이동통신망에서 와이파이 망으로 트래픽을 분산하는 방법이 있으며, 이밖에도 데이터를 분산하는 방법으로는 펌토셀을 이용하는 방법과 콘텐츠 전송 네트워크(CDN: Content Delivery Network)를 이용하는 방법 등이 있다.

