

다량의 안테나, 포트 및 subchannel 을 기반한 beam group 동기신호 전송 방식

윤찬호, 명정호, 고영조
한국전자통신연구원

chyoon@etri.re.kr

Synchronization signal block transmission method for Massive MIMO systems

Chanho Yoon, Jungho Myung, and Young-Jo Ko
Electronics Telecommunications Research Institute (ETRI)

요약

본 논문은 Massive MIMO 의 특징인 다량의 안테나와 port 가 주어진 경우, multi beam group 을 활용하여 각 beam group 에 맞는 beam alignment 을 적용할 때 단말의 복잡도를 줄이면서 최적의 beam group 을 찾을 수 있도록 지원하는 synchronization sequence block 의 구성을 제안한다.

I. 서론

4G long term evolution (LTE) 및 5G new radio (NR) 의 경우 각 세대의 진화는 전세대의 요구사항을 뛰어 넘는 목표를 가지고 진화해 왔다. 최대 전송률/용량 측면에서 5G NR 은 4G LTE 의 20 배를 달성한다는 목표가 하나의 예이다. 6 세대 셀룰러망 6G 의 경우 5G NR 대비 20 배 더 높은 최대 용량/전송률을 달성하는 것이 목표인데, NR 의 접근법과 유사한 새로운 주파수 영역을 활용하고 넓은 대역폭과 더 많은 안테나와 RF chain 및 layer 를 적용하는 MIMO (즉, extreme massive MIMO: emMIMO) 를 적용하는 것으로 달성하는 목표를 가지고 있다 [1]. 기존 NR 의 주파수 대역은 2 가지 영역으로 나뉘며 주파수 6GHz 미만에서는 frequency range 1 (FR1) 그리고 이상에서는 frequency range 2 (FR2)라고 명칭하였다 [2]. 6G 에서는 기존의 LTE 및 NR 기지국의 지리적 위치를 재활용하는 가정하에 upper middle band (7~20GHz: FR3) 대역을 추가로 도입해 urban cell 에 적용하려고 한다 [3].

FR3 주파수 대역에서 가증되는 path loss 와 indoor penetration loss 는 NR 대비 20 배 높은 cell 용량을 달성하기 위해 반드시 극복해야할 큰 장애이다. 따라서 FR3 대역에서의 path 및 penetration loss 를 극복하고 cell 의 capacity 를 높이기 위해 emMIMO 를 적용 하게 될 확률이 높다. 이러한 emMIMO 를 적용하는 경우, 예를 들어 최대 1024 개의 antenna element (AE)를 활용할 수 있는데, 이렇게 적용된다면, beam forming (BF)에 (AE 개수와 비례관계)의한 감쇄를 극복 할 수 있고 FR3 영역 내의 7GHz 와 같은 저 주파수 대역대에 신호 감쇄 폭이 FR2 대비 훨씬 개선되기 때문에 기존의 기지국 위치에 설치하여 NR 대비 비슷하거나 준하는 cell coverage 를 확보 할 수 있다. 그러나, 매우 많은 AE 가 적용 된 경우, 기지국에서 송신하는 신호의 beam 이 매우 sharp/narrow 한 특성을 보이기 때문에 단말이 기지국 beam 과 align 되는 확률이 줄어들 가능성 증가한다 (반대로, AE 수를 줄이면 기지국의 beam 은 wide 해지지만, BF gain 은 감소한다). 그러므로 하나의 narrow beam 안에 다중의 단말이 beam align 될 확률이 마찬가지로 더 낮아지기에, BF align 이 되지 못한 coverage hole 이 발생할 확률이 높다. 따라서 세분화 되고 많은 beam profile 을 가지고 관리해야하는 복잡성 문제가 대두 될 수 있다. 또한 beam 이 narrow 한 경우,

beam 을 시간적인 영역에서 sweeping 해야하는 공간적 granularity 증가와 step 이 길어져서 수많은 단말과의 막대한 beam alignment 지연이 발생한다. 또한 narrow 한 beam 자체가 실제 channel 의 spread 보다 좁은 경우도 발생하는 단점이 존재한다. 또한 기지국 입장에서도 수 많은 AE 및 RF chain 을 적용하기 때문에 높은 에너지 소비량이 단점이 될 수 있다.

따라서 넓은 cell coverage 를 가지면서 FR3 대역에서 더 부각이되는 전파의 blockage 및 limited diffraction 을 극복하는 BF gain 을 만족하면서 beam sweeping 을 최소화 하여 delay 를 최소화 할 수 있는 emMIMO 운용 방법과 자원 관리 방식이 제시되어야 한다. 특히 수 많은 안테나를 활용한 beam sweeping 과정과 연관된 초기 접속시 단말입장에서 참조신호 처리에 소비해야하는 전력을 최소화하고 기지국에 전송시 에너지 소모를 최소화 하면서 감지할 수 있게하는 동기신호 전송 방식을 지원하는 시스템 구조의 제안이 필요하다. 즉, 다중의 beam group 을 낮은 복잡도로 beam align 을 지원하는 구체적인 시스템적 beam sweeping 방법이 제시되어야 한다.

II. 본론

본 논문에선 다수의 beam group 별로 묶인 단말들의 beam management 를 수행하는 것이 기본인 구조를 제안한다. 이때 beam group 당 지정 할 수 있는 port 수와 subchannel 수를 다양하게 configure 할 수 있다. 우선 subchannel 의 total 개수가 beam group 의 수와 동일하다고 가정한다. 그리고 각 subchannel 의 대역폭은 전체 시스템의 대역폭을 total subchannel 수로 나눈것으로 정한다. 그리고 beam group 당 대응되는 port 및 sub-channel 의 총 수는 기지국이 균일하게 지정할 수 있다. 예를 들어 총 port 수가 64 개 라고 가정 할 때, Figure 1 과 같이 beam group 당 frequency 영역의 subchannel 으로 mapping 될 때, 균일 하게 2, 4, 8, 16, 32 또는 64 spatial layer 로 mapping 하면, 하향 채널에서의 시스템에선 beam group 당 1, 2, 4, 8, 16 또는 32 개의 subchannel 을 사용하게 된다.

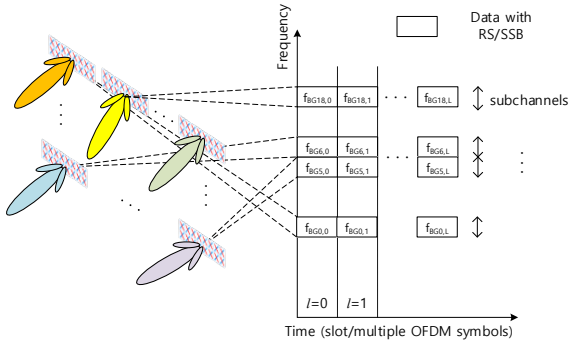


Figure 1 Subchannel 로 나누어진 beam group 과 mapping 예시

주파수로 나뉜 beam group 들이 단말의 초기 접속을 하는 경우 동기신호를 각각 beam group 별 subchannel 영역에서 독립적으로 전송하면 커버해야하는 주파수 대역이 넓어 단말이 사용해하는 에너지와 지연이 높기 때문에 효율적이지 않다. 특히 한정된 에너지로 동작하는 단말이 하향 대역폭의 전 영역을 염두해두고 beam sweeping 하는 것은 에너지 효율성 측면에서 바람직 하지 않다. 따라서 본 논문에선 단말 입장에서 beam 검출이 energy efficient 하게 검출을 하는 법을 제시하고자 Figure 2 와 같이 시스템이 초기에 설정한 beam group 과 subchannel 의 mapping 관계에 영향없이 지정된 주파수 영역의 동기신호 시퀀스 대역폭 내에서 synchronization signal block (SSB)를 전송하도록 정한다. 하지만 앞서 제시된 beam group 당 subchannel 은 주파수 영역에서 1:1 mapping 관계에 있는데, 이러한 관계를 변경할 필요가 있다.

우선 모든 beam group 은 임의의 정해진 순서에 따라 순차적으로 SSB 를 전송한다. 이때 SSB 가 전송되는 구간은 beam group 과 subchannel 의 mapping 관계에서 permutation 을 적용한다. Permutation 을 적용 하는 수식은 다음과 같다.

$$k_{BG}^{itlv} = (k_{BG_n} - SC_{bw}l) \bmod N_{BG}$$

여기서 k_{BG_n} 는 n 번째 beam group 의 frequency subcarrier index 이고 l 은 slot (또는 unit multiple OFDM symbols) index 이다. SC_{bw} 는 subchannel 의 기본 대역폭에 해당하는 subcarrier 수 이다. N_{BG} 는 total beam group 의 수 이다.

그리고 slot/frame 시간 상 SSB burst 구간이 되면 각 beam group 은 상기 permutation 방법을 적용하여 SSB 및 data 을 지정된 주파수 대역 구간에 맞게 shift 하여 전송하며, 해당 시간에 SSB 를 전송하지 않는 구간에는 data 및 DMRS, CSI-RS 과 같은 참조신호들을 전송한다. 또한 SSB 신호를 전송하지 않는 subchannel 과 연계된 beam group 은 data 및 참조신호들을 전송한다. 상기의 방식대로 하면 모든 beam group 은 공통 주파수 대역에서 SSB 를 전송 할 수 있게된다. SSB burst 내에선 SSB 신호를 전송하는 beam group 수가 제한 될 수 있으나, SSB 신호를 전송 하지 못한 beam group 은 순차적으로 이어서 오는 timing 의 SSB busrt 에서 SSB 를 전송할 수 있게 된다.

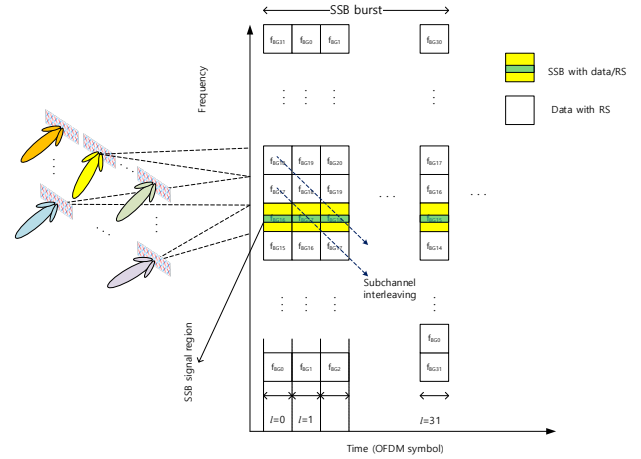


Figure 2 Synchronization burst 구간에서의 subchannel 로 나누어진 beam group 의 frequency interleaving 예시

동기신호 전송구간에서 frequency interleaving 을 적용하면 단말 입장에서 협대역의 신호 성분만 initial access 용도로 동기신호 검출 및 beam align 을 수행 할 수 있게된다. 또한 SSB burst 구간 뿐만 아니라 전 slot 및 frame 구간에서 beam group 과 subchannel 의 mapping 관계가 일정한 주기로 permutation 이 되는 형태를 적용할 수 있다. 여러 beam group 이 합쳐져서 하나의 beam group 으로 형성된 경우에도 기존과 같이 SSB 의 전송은 각 기본단위의 beam group 이 순차적으로 전송하는 것을 가정 할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 massive MIMO 를 운용할 때 형성 가능한 beam group 형성시 단말의 에너지 소모와 beam align 지연을 낮추기 위해 제시하였고 기지국의 beam profile 가지수 및 단말의 sweeping 복잡도를 낮출 것으로 분석된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실).

참고 문헌

- [1] Z. Wang, J. Zhang, H. Du, D. Niyato, S. Cui, B. Ai, M. Debbah, K. B. Letaief, and H. V. Poor, "A Tutorial on Extremely Large-Scale MIMO for 6G: Fundamentals, Signal Processing, and Applications", IEEE Communications Surveys & Tutorialss, 2024.
- [2] 3GPP TSG RAN, "Study on channel model for frequencies from 0 to 100 GHz (Release 15)," 3GPP TR 38.901, V15.0.0, June 2018.
- [3] H. Holma, H. Viswanathan, and P. Mogensen, "Extreme massive MIMO for macro cell capacity boost in 5G-Advanced and 6G," White paper, Nokia Bell Labs.