

5G 이동통신을 위한 무선접속 기술

강길모, 김현민, 신오순
 숭실대학교

요약

본 고에서는 차세대 5G 이동통신 무선접속 후보 기술에 대해 살펴본다. 4G 이동통신 기술은 OFDM 전송 기술의 적용으로 인해 데이터 전송률 향상 및 서비스 다양화 등의 측면에서 큰 성능 향상을 이루었다. 하지만 4G에 비해서도 월등히 향상된 성능을 추구하는 5G 이동통신 구현을 위해서는 근본적으로 주파수 효율성 향상이 필요하다. 본 논문에서는 주파수 효율성 향상을 위한 연구 중 하나로서 새로운 무선접속(Air Interface) 기술에 대한 최근 연구 동향을 살펴보고 후보 기술들이 OFDM 기술을 비롯한 다른 방식들에 대해 갖는 장단점을 분석한다.

I. 서론

4G 이동통신 기술에 대한 Vision 권고서가 2003년 승인되어 2012년 상세 규격이 발행 되었으며 현재 LTE를 중심으로 상용 서비스가 이루어지고 있다[1]. 이제 차세대 이동통신인 5G 이동통신을 위한 기술 연구 프로젝트를 가동 중에 있으며 세계 각국은 5G 기술 주도권 확보를 위해 노력하고 있는 현실이다. 우리나라에서도 5G 이동통신 개발과 관련된 많은 연구들이 진행 중에 있으며, <그림 1>과 같이 7가지 측면에서 5G의 성능지표와 목표치를 제안하였다[2].

5G 이동통신은 4G에 비해 최대 1,000배의 전송속도 실현을 목표로 하고 있다. 4G 이동통신 시스템의 근간을 이루는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 물리 계층 전송 기술은 부반송파 간의 직교성을 이용하여 주파수 자원의 효율을 높임과 동시에 고속 전송을 구현하였음에도 불구하고 많은 양의 Sidelobe에 의한 누수전력 소모로 인해 최대의 주파수 효율을 얻을 수 없다. 따라서 OFDM으로는 5G 이동통신의 요구조건을 만족시키기엔 부족한 면이 있다는 인식에 따라 주파수 효율성을 더 향상시킬 수 있는 기술의 필요성이 대두되었다.

주파수 효율성 향상을 위한 핵심 기술의 하나로써 무선접속 기술, 즉 Waveform의 변형을 통한 새로운 물리 계층 전송 기법들이 연구되고 있으며, <그림 2>에 나타난 바와 같이 새로운 Waveform 기술은 주파수 효율성 향상과 동시에 5G 이동통신의 Connectivity를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

제 2장에서는 Waveform의 변형을 통한 최신 무선접속 기술의 연구 동향을 살펴보고 대표적인 기술들의 동작 원리 및 기존 OFDM 전송 기술과의 차이점을 설명한다. 제 3장에서는 각각의 무선접속 기술의 특징과 그에 따른 적용 유망 분야에 대해서 살펴보고, 마지막으로 제 4장에서 결론을 맺는다.

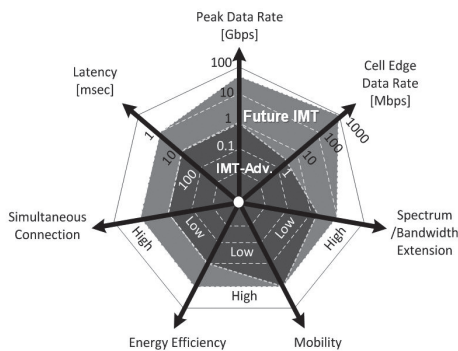


그림 1. 한국이 제안한 5G 성능지표[2]

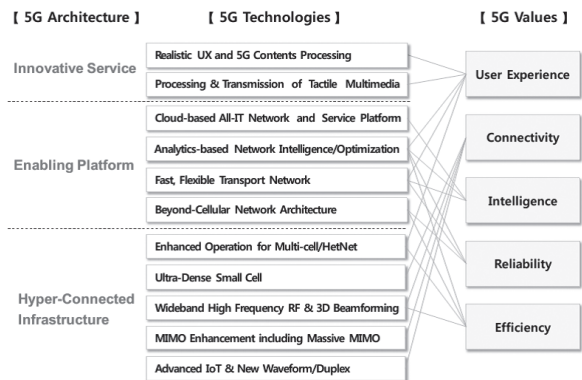


그림 2. 5G 이동통신의 핵심기술[3]

II. 5G 무선접속 후보 기술

OFDM 전송 기술은 유선/무선 통신에서 많은 연구가 이루어 졌으며 LTE, Wi-Fi, DMB/DVB 등 방송 및 통신 분야에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다[4]. OFDM은 부반송파(Subcarrier) 간 직교성을 유지하며 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT (Fast Fourier Transform)를 이용하여 낮은 복잡도로 구현할 수 있는 장점이 있다. 또한 주파수 선택적 페이딩 채널에서도 간단한 등화기(Equalizer)를 이용하여 부반송파 별 채널 보상이 용이하며, 송수신 다중안테나 기술(MIMO: Multiple Input Multiple Output)을 적용하기에 용이한 구조를 갖는다. 또한 OFDM은 각 부반송파 별 채널 상태에 맞추어 적응형 변조 방식을 적용함으로써 높은 전송률을 실현할 수 있는 장점이 있다[5].

하지만 다중 사용자 접속 방식에 있어서는 많은 문제점이 존재한다. 대표적으로 OFDM 기반의 다중사용자 접속 기술인 OFDMA 방식은 사용자 간의 ICI (Inter-Carrier Interference) 발생을 방지하기 위해 수신단에서 신호의 완벽한 동기를 필요로 한다[6]. 하지만 상향링크의 경우 각 사용자는 서로 다른 위치에 있으며 송신신호의 전파 시간 또한 서로 다르기 때문에 완벽한 동기화를 획득하기 어렵다[7]. 매 심볼마다 CP (Cyclic Prefix)를 붙임으로써 동기화 문제를 해결할 수 있지만 이로 인한 전송률 손실 문제가 발생한다. 또한 OFDM 신호의 Sidelobe 누수 전력은 인지 라디오(Cognitive Radio) 시스템에서 매우 심각한 문제가 된다[8].

OFDM 신호의 Sidelobe 전력을 줄이기 위한 방편으로 Filterd OFDM과 같은 해결책이 제안되었지만[9]-[10], 성능 측면에서 한계가 있다. 따라서 OFDM의 문제점을 해결하기 위한 새로운 Waveform 기반의 무선 접속 기술의 필요성이 대두되었다. 본 장에서는 이러한 배경 하에 5G 이동통신 무선접속 기술로 제안된 대표적인 기술로 FBMC (Filter Bank Multi-Carrier), UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier), GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing), BFDM (Bi-orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 소개한다.

A. FBMC

OFDM 시스템에서 사용하는 원형 필터 (Prototype Filter)는 직각 Window를 사용하며, 부반송파 간의 직교성으로 인해 이상적인 채널 환경에서 완벽한 복조가 가능하다. 하지만 실제적인 다중경로 채널 환경에서는 CP가 삽입되어야 하고 이로 인

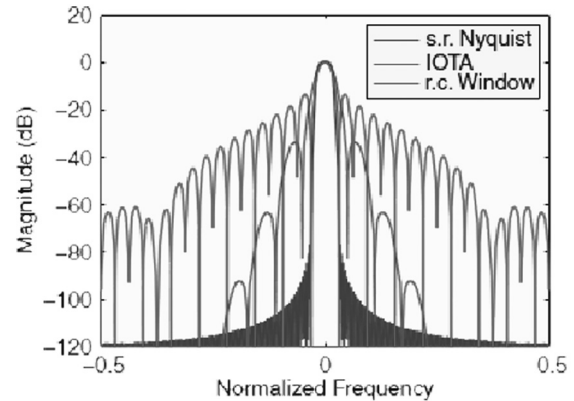


그림 3. IOTA, Raised Cosine, Nyquist 필터의 스펙트럼 비교[14]

해 전송률이 저하되고 Sidelobe 누수 전력으로 인해 주파수 효율이 저하되는 문제점이 있다. Filterd OFDM에서는 Sidelobe 누수 전력을 줄이기 위하여 Raised Cosine 필터를 적용한 Window 방식을 사용하지만 효율적인 방법이라 단언할 수 없다. 이를 보완하고자 제안된 기술이 FBMC이다.

FBMC는 OFDM보다 진화된 원형 필터를 사용함으로써 CP를 사용하지 않고 Sidelobe의 누수 전력을 줄이는 기술이다. 사실 필터 뱅크 방식의 다중반송파 전송 방식은 OFDM 이전에 이미 존재하던 기술로[11] 높은 복잡도로 인해 관심을 받지 못했지만 DSP 기술의 발달로 최근 들어 다시 주목 받기 시작하였다. FBMC의 원형 필터는 다음과 같은 조건을 갖는다. 첫째, 높은 주파수 효율을 얻기 위한 복합 변조가 가능해야 하며 사용 가능한 채널의 대역폭을 균등하게 분할할 수 있어야 한다. 둘째, 하나의 원형 필터만 사용하여 직교성을 유지해야 하며 거의 완벽한 복원이 가능해야 한다. 이러한 원형 필터는 여러 가지 방식으로 설계가 가능하고 대표적으로 IOTA (Isotropic Orthogonal Transform Algorithm) 필터를 사용한다[12]. IOTA 필터는 OFDM의 직각 펄스와 달리 가우시안(Gaussian) 펄스를 사용하여 직교 펄스를 생성하는 방식으로 CP를 사용하지 않고도 다중경로에 따른 ISI (Inter-Symbol Interference) 및 도플러(Doppler) 효과에 따른 채널 변화에 의해 발생하는 ICI를 제거할 수 있다.

<그림 3>은 IOTA 필터, Raised Cosine 필터 및 Nyquist 필터의 스펙트럼을 비교한 것으로 Raised Cosine 필터는 Sidelobe 누수 전력이 다른 필터에 비해 큰 것을 확인할 수 있다. 반면 IOTA 필터를 사용했을 때 Sidelobe 누수 전력으로 인한 간섭을 제거할 수 있음을 확인할 수 있다.

<그림 4>는 FBMC에서 주파수 효율을 증가시키기 위한 목적으로 OQAM (Offset QAM) 변조 방식을 적용한 SMT

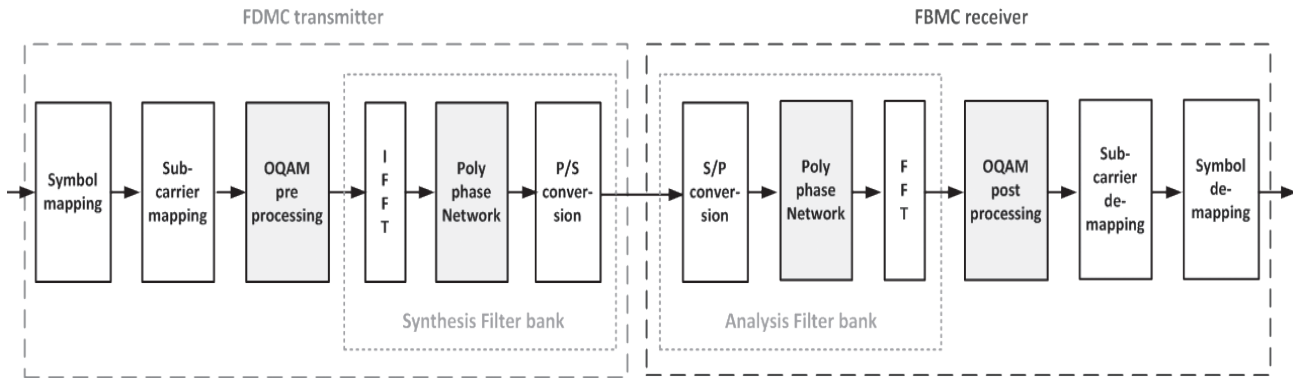


그림 4. FBMC 블록도

(Staggered Multitone) 방식 블록도를 보여준다[12]. SMT 방식은 QAM의 허수 성분을 지연 시켜 인위적인 위상 차를 생성하여 전송 효율을 향상시킨다. 뿐만 아니라 VSB 변조와 PAM 변조 방식을 이용한 CMT (Cosine Modulated Multitone) 방식도 존재한다[13]. CMT는 VSB 변조를 통해 주파수 간격을 줄임으로써 주파수 효율을 향상시키는 방식이다. FBMC는 비록 높은 복잡도를 갖지만 Sidelobe 누수 전력이 없다는 점과 CP없이 ISI와 ICI를 제거함으로써 높은 전송 효율을 달성할 수 있는 전송 기술이다.

B. UFMC

OFDM 시스템의 가장 치명적인 문제점 중의 하나는 CFO (Carrier Frequency Offset)에 의한 성능 저하이다. CFO는 송수신기의 오실레이터(Oscillator)의 오차나 도플러 확산 효과로 인해 발생하며 이로 인해 부반송파 간의 직교성이 손실되어 ICI를 유발시킨다[15-19]. 이러한 문제점을 보완하기 위해 OQAM 기반의 FBMC가 제안되었지만, 교차된 OQAM 심볼 간 간섭이 존재하는 문제와[12], 다중 안테나 기술을 적용하기 어렵다는 단점이 있다[18]. FBMC가 각 부반송파 별로 필터를 적용하는 것과 달리 UFMC는 인접하는 부반송파 그룹을 만들고 부반송파 그룹 별로 필터를 적용한다. [19]에서 UFMC의 원형 필터로 FIR (Finite Impulse Response) Chebyshev 필터를 제안하였다. UFMC의 필터는 OFDM의 CP 길이보다 짧은 필터를 사용하기 때문에 <그림 5>에 나타나 있듯이 인접 채널에 간섭을 유발하는 Sidelobe 누수 전력을 크게 감소시키면서 인접 채널과 직교성을 유지할 수 있다. <그림 6>은 UFMC의 블록도를 보여준다. UFMC 기술의 설계 기준은 FBMC와 Filtered OFDM의 단점은 피하면서 대부분의 이점을 유지하는 것이다. 모든 특성

이 OFDM이나 FBMC를 능가하는 것은 아니지만 다양한 시나리오에 적합한 가능성을 갖고 있다.

C. GFDM

GFDM의 블록 구조는 2차원 데이터를 분할할 수 있는 유연성을 갖는 변조 방식으로 OFDM과 대조적으로 부반송파 별로 여러 심볼을 전송하기 때문에 추가적인 DoF (Degree of Freedom) 이득을 얻을 수 있다[21],[22]. <그림 7>은 GFDM의 블록도를 보여준다. GFDM은 송신 신호에 조절 가능한 펄스 정형 필터를 적용하여 ICI에 강인하다. 또한 Circular Convolution을 이용하여 부반송파 별로 원형 펄스를 블록 단위로 전송함으로써 필터의 끝부분에서 발생할 수 있는 전송률 손실을 방지할 수 있다. FBMC는 짧은 버스트(Burst) 전송에 있어서 많은 수의 심볼을 형성할 수 있지만 연속하는 심볼은 다중경로 효과로 인하여 시간 축에서의 등화기 복잡도를 증가시키는 문제

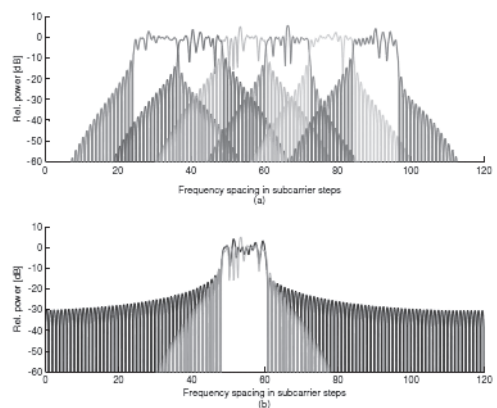


그림 5. UFMC 스펙트럼[19]

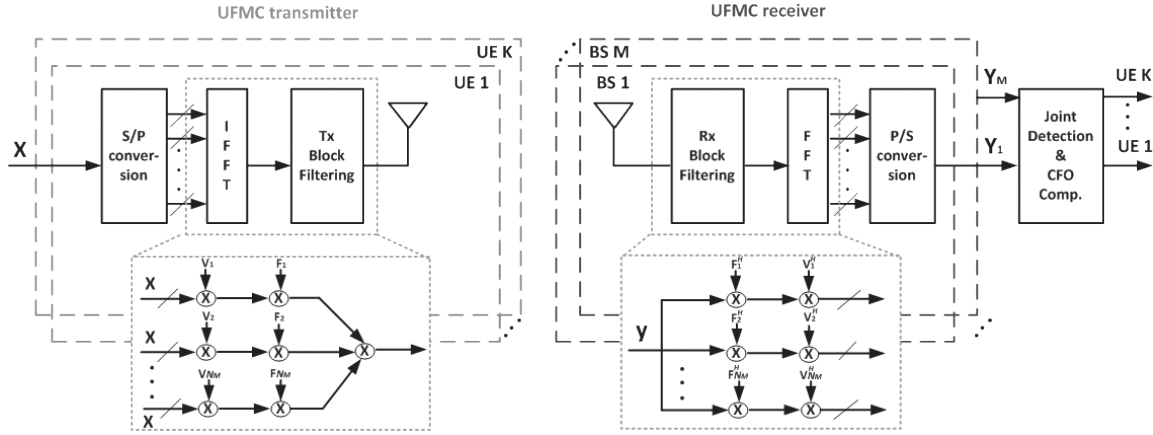


그림 6. UFDM 블록도

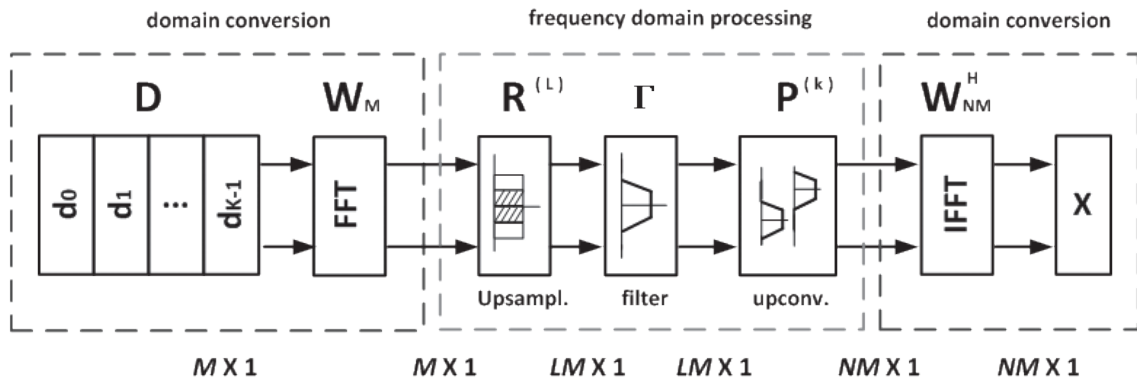


그림 7. GFDM 블록도

점이 있다. 하지만 GFDM의 원형 구조는 주파수 상에서의 등화기 구현을 가능하게 하며 이는 다중경로 효과를 다중 심볼에 걸쳐서 쉽게 보상하는 것이 가능하다. 이러한 GFDM의 특성으로 인해 특히 상향링크 상황에서 대부분의 처리를 기지국이 부담함으로써 단말의 전력 소모를 감소시킬 수 있는 장점을 갖는다. 또한 GFDM은 블록 단위로 시간 Windowing 기법을 적용

하여 <그림 8>과 같이 대역 밖으로의 누수 전력을 조절할 수 있다[20]. 하지만 초기 정형 필터로 인하여 부반송파 간 직교성은 성립되지 않기 때문에 Self ICI와 Self ISI가 존재하고 불완전한 동기는 다중접속의 경우 성능에 큰 영향을 미치는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 0.1ppm 이상의 오실레이터 정확도가 요구되는데, 이는 현재 LTE 시스템 요구 조건의 10-100배에 달하는 수치이다.

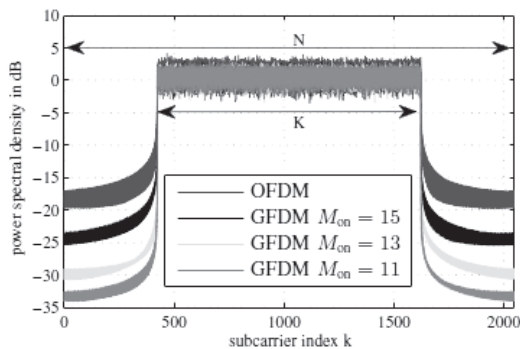


그림 8. GFDM 스펙트럼[20]

D. BFDM

랜덤 접속(Random Access)은 단말이 기지국과 연속적으로 정보를 주고 받는 것이 아니라 단말이 한번 혹은 매우 적은 시도로 물리 계층 Random Access 채널을 통해 네트워크에 접속하는 방식이다. Random Access 채널은 상대적으로 긴 심볼 길이 때문에 CFO에 매우 강인한 특성을 가져야 하고 또한 산발적인 트랙픽을 효율적으로 전송할 수 있어야 한다. 이러한 랜덤 접속 시스템의 특성에 적합한 시스템이 BFDM이다[24].

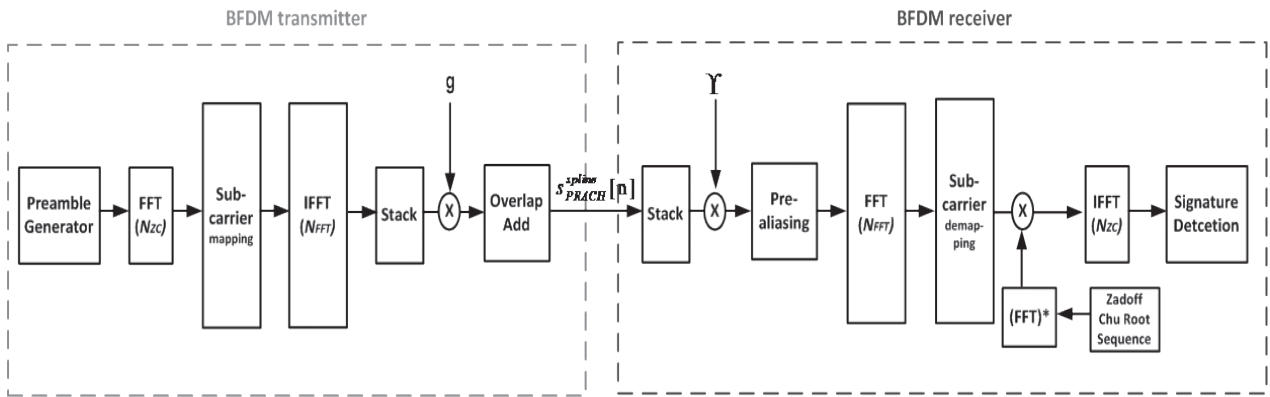


그림 9. BFDm의 블록도

〈그림 9〉는 BFDm의 송수신 블록도를 나타낸 것이다. BFDm은 OFDM 송수신 펄스의 직교성을 이중 직교성 특성을 갖도록 하는 기술로 송수신 펄스의 시간-주파수 상의 특징이 개별적 직교가 아닌 쌍으로 직교하도록 한다. 이러한 특성 때문에 BFDm은 OFDM과 같이 심볼 길이에 한계를 주는 전송에 있어 CFO에 매우 강인한 특성을 갖는다. Sidelobe 누수 전력 억제 관점에서 BFDm은 송신 원형 필터를 설계하는데 있어 다른 접속 기술에 비해 유연성을 갖는다. [23]에서는 정합필터(Matched Filter) 대신에 비정합필터(Mismatched Filter)를 사용하였다. 〈그림 10〉은 OFDM 시스템과 BFDm 시스템의 스펙트럼을 비교한 것이다. 이 그림으로부터 BFDm 기술은 인접 채널에 큰 간섭을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있으며, Guard Band를 이용하면 잔존 간섭도 크게 줄일 수 있다[25].

Ⅲ. 무선접속 기술 응용분야

본 장에서는 제 II장에서 소개한 무선접속 기술들의 특성에 대하여 정리하고 각각의 기술이 적용될 수 있는 응용 분야에 대하여 살펴본다. FBMC는 낮은 Sidelobe 누수 전력 특성에 따라 인접 라디오 통신에 유리하고 또한 매우 효율적인 동기화 방식으로 저지연(Low-Latency) 통신 및 셀 간 CoMP (Coordinated Multi-Point) 기술을 구현하기에 적합하다. 하지만 송수신 필터의 복잡도와 다중안테나 시스템에 적용하기 어려운 단점이 있어 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다. UFMC는 다양한 트래픽 조건에 따른 유연성 있는 부호화 방식으로 적응적인 파형을 생성하고 Filtered OFDM과 FBMC의 단점을 보완하면서 대부분의 장점을 유지하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 이

러한 특성으로 인해 Tactile Internet, MTC (Machine-Type Communications) 트래픽 수용, Fragmented 스펙트럼 활용, 상량링크 Joint Reception 등의 다양한 시나리오에 적용될 수 있는 기술로 생각된다. 하지만 아직 초기 연구 단계여서 후속 연구가 필요하다. BFDm은 기회적인 주파수 사용을 추구할 수 있고 FBMC 필터의 끝 부분에서 발생하는 문제를 완화하는 블록 단위 전송 방식이다. 이 방식은 매우 유연한 특성을 가지고 있어 선형 수신기 및 순차적 간섭제거(Successive Interference Cancellation) 등과 같은 수신 신호처리 기술을 적용하기 쉽다. MTC와 같이 낮은 듀티사이클 (Duty Cycle), 매우 짧은 버스트 전송을 요구하는 통신 시스템에 적합한 통신 기법으로 생각된다. BFDm은 랜덤 접속 방식을 위해 제안된 기술로서 펄스 정형 필터와 이중 직교성을 이용하여 긴 심볼 길이를 갖는 시스템에 특화된 전송 기술이다. BFDm은 다른 통신 시스템에의 적합성에 대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다. 〈표 1〉은 위에서 설

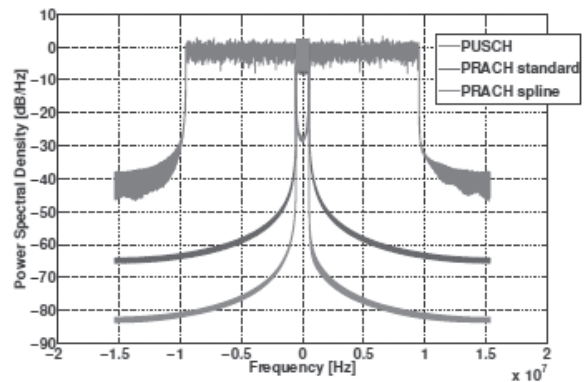


그림 10. BFDm의 스펙트럼[25]

표 1. 무선접속 기술 별 특징 및 응용분야

무선접속 기술	특징	응용분야
FBMC	저지연, 낮은 Sidelobe 누수 전력, 효율적 동기화	인지 라디오, CoMP
UFMC	혼합적인 트래픽 지원, 유연성	Tactile Internet, MTC, Fragmented 스펙트럼
GFDM	비선형적 대역폭, 낮은 듀티 사이클, 버스트 전송	MTC
BFDM	이중 직교성, 긴 심볼 길이	랜덤 접속

명한 무선접속 기술들의 특징 및 응용 분야를 정리한 것이다.

IV. 결론

본 논문에서는 5G 이동통신을 위한 무선접속 기술로 연구가 진행 중인 FBMC, UFMC, GFDM, BFDM 기술의 구조 및 특성을 살펴보고 기존 OFDM 기술과의 차이점에 대해서 설명하였다. 아직 5G 이동통신이 어떤 기술을 채택하여 어떤 방향으로 구성될 지에 대한 논의의 초기 단계에 있으며 국가별 주도권 경쟁이 한창 진행 중이다. 이러한 현실에서 5G 이동통신 기술의 중요한 부분 중의 하나인 무선접속 기술에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서 제시한 기술에 대한 후속 연구뿐만 아니라 새로운 형태의 무선접속 기술 연구를 통해 우리나라가 5G 이동통신 기술 개발 및 표준화에 있어 우위를 선점하고 5G 이동통신 실현을 앞당길 것으로 생각된다.

Acknowledgement

본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 과제임 (No. 2013R1A2A2A01011222).

참고 문헌

- [1] ITU-R, "Recommendation ITU-R M.1645: Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," June 2003.
- [2] ITU-R WP5D, "Working document toward preliminary draft new recommendation ITU-R M.[IMT.VISION]: IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," June 2014.
- [3] Network Technology R&D Center, "SK Telecom's view on 5G vision, architecture, technology, and spectrum," SK Telecom, Oct. 2014.
- [4] R. V. Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications. Boston, MA: Artech House, 2000.
- [5] Y. Li and G. L. Stüber Eds., Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications. New York, NY: Springer-Verlag, 2006.
- [6] IEEE, "Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems," IEEE Standard 802.16e, 2005.
- [7] M. Morelli, C.-C. J. Kuo, and M.-O. Pun, "Synchronization techniques for orthogonal frequency division multiple access (OFDMA): A tutorial review," Proc. IEEE, vol. 95, no. 7, pp. 1394-1427, July 2007.
- [8] B. Farhang-Boroujeny and R. Kempter, "Multicarrier communication techniques for spectrum sensing and communication in cognitive radios," IEEE Commun. Mag., vol. 46, no 4, pp. 80-85, Apr. 2008.
- [9] T. A. Weiss and F. K. Jondral, "Spectrum pooling: An innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency," IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 3, pp. S8-S14, Mar. 2004.
- [10] S. Pagadarai, R. Rajbanshi, A. M. Wyglinski, and G. J. Minden, "Sidelobe suppression for OFDM-based cognitive radios using constellation expansion," in Proc. IEEE Wireless Commun. & Networking Conf. 2008 (WCNC 2008), Mar.-Apr. 2008, pp. 888-893.
- [11] S. Weinstein and P. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform," IEEE Trans. Commun. Tech., vol. 19, no. 5, pp. 628-634, Oct. 1971.
- [12] B. R. Saltzberg, "Performance of an efficient parallel data transmission system," IEEE Trans. Commun.

Tech., vol. 15, no. 6, pp. 805–811, Dec. 1967.

[13] L. Lin and B. Farhang–Boroujeny, “Cosine modulated multitone for very high–speed digital subscriber lines,” EURASIP J. Appl. Signal Process., 2006, Article ID 19329.

[14] B. Farhang–Boroujeny, “OFDM versus filter bank multi–carrier” IEEE Signal Process. Mag., pp. 92–112, May 2011.

[15] H. Zhang, N. B. Mehta, A. F. Molisch, J. Zhang, and H. Dai, “Asynchronous interference mitigation in cooperative base station systems,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 1 pp. 155–165, Jan. 2008.

[16] V. Kotsch and G. Fettweis, “Interference analysis in time and frequency asynchronous network MIMO OFDM systems,” in Proc. IEEE Wireless Commun. & Networking Conf. 2010 (WCNC 2010), Sydney, Australia, Apr. 2010, pp. 1–6.

[17] P. Marsch and G. P. Fettweis, Coordinated Multi–Point in Mobile Communications: From Theory to Practice, Cambridge Univ. Press, 2011.

[18] S. M. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wireless communications,” IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, no.8 pp. 1451–1458, Aug. 1998.

[19] V. Vakilian, T. Wild, F. Schaich, S. ten–Brink, and J.–F. Frigon, “Universal–filtered multi–carrier technique for wireless systems beyond LTE,” in Proc. Inter. Workshop Broadband Wireless Access 2013 (BWA 2013), Atlanta, GA, USA, Dec. 2013.

[20] N. Michailow, I. Gaspar, S. Krone, M. Lentmaier, and G. Fettweis, “Generalized frequency division multiplexing: Analysis of an alternative multi–carrier technique for next generation cellular systems,” In Proc. Inter. Symp. Wireless Commun. Systems 2012 (ISWCS 2012), Paris, France, Aug. 2012, pp. 171–175.

[21] G. Fettweis, M. Krondorf, and S. Bittner, “GFDM – Generalized frequency division multiplexing,” in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. 2009 Spring (VTC 2009 Spring), Barcelona, Spain, Apr. 2009.

[22] N. Michailow, S. Krone, M. Lentmaier, and G. Fettweis, “Bit error rate performance of generalized frequency division multiplexing,” in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. 2012 Fall (VTC 2012 Fall), Quebec City, Canada, Sept. 2012.

[23] W. Kozek and A. Molisch, “Nonorthogonal pulse shapes for multicarrier communications in doubly dispersive channels,” IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, no. 8, pp. 1579–1589, Oct. 1998.

[24] D. Schafhuber, G. Matz, and F. Hlawatsch, “Pulse–shaping OFDM/BFDM systems for time–varying channels: ISI/ICI analysis, optimal pulse design, and efficient implementation,” in Proc. IEEE Inter. Symp. Personal, Indoor & Mobile Radio Commun. 2012 (PIMRC 2012), Sydney, Australia, Sept. 2012, pp. 1012–1016.

[25] M. Kasparick, G. Wunder, P. Jung, and D. Maryopi, “Bi–orthogonal waveforms for 5G random access with short message support,” in Proc European Wireless Conf. 2014, Barcelona, Spain, May 2014, pp. 1–6.

약 력



강길모

2013년 송실대학교 정보통신전자공학부 공학사
2013년~현재 송실대학교 전자공학과 석사과정
관심분야: 통신시스템, 통신이론



김현민

2012년 송실대학교 정보통신전자공학부 공학사
2012년~현재 송실대학교 전자공학과
석박사통합과정
관심분야: 통신시스템, 통신이론



신오순

1998년 서울대학교 전기공학부 공학사
2000년 서울대학교 전기공학부 공학석사
2004년 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 공학박사
2004년~2005년 Harvard University
박사후연구원
2006년~2007년 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2007년~현재 송실대학교 정보통신전자공학부
부교수
관심분야: 통신이론, 통신시스템, 통신신호처리