

# Tera 대역 WPAN 통신 시스템

고영채  
고려대학교

## 요약

Tera 대역으로 일반적으로 여겨지는 300 ~ 3000GHz 대역을 이용하여 무선 근거리 개인 영역 통신 (WPAN) 에서 20~40Gbps 급의 데이터 통신을 하기 위한 국제 표준화가 현재 IEEE802.15표준화 그룹에서 진행 중이다. 본 논문에서는 표준화의 진행 상황과 더불어 테라 대역의 주파수 할당, 물리계층에서 테라 대역을 이용하여 WPAN이 가능하기 위한 요소 기술로서 빔포밍 기법에 대하여 정리한다. 주파수 할당은 비허가 주파수 대역의 가능성 여부 및 시기 등에 대하여 지난 수년간 테라 대역과 관련되어 ITU에서 발표된 문서들을 요약한다. 테라 대역에서 WPAN을 위한 물리계층의 요소 기술로서는 테라 대역의 주파수 특성인 전파의 직진성 및 거리에 따른 전력 감쇄를 극복하기 위하여 저전력 빔포밍 기술에 대하여 소개한다. 본 논문은 향후 약 5년 후에 표준화가 완성될 것으로 예상되는 시점에서 국내의 통신 관련 연구자에게 초고속 데이터 통신을 가능하기 위한 테라 대역 WPAN시스템을 준비하는데 있어서 유용한 자료로서 사용될 수 있을 것이라 여겨진다.

## 1. 서론

무선 통신의 발전은 셀룰라를 기반으로 하는 개인 휴대 통신의 발전을 계기로 1990년 이후로 전 세계적으로 주요 산업 기반이 되어 가고 있다. 셀룰라 통신 뿐만 아니라 개인 통

신을 위한 데이터 전송 시스템 역시 보다 많은 데이터 정보를 초고속으로 전송함으로써 개인 사용자의 편의를 증대시킬 뿐만 아니라 이로 인한 산업적 파급 효과도 셀룰라 통신과 더불어 증대되고 있다. 특히 휴대폰을 이용한 음성 서비스 이외에 무선 랜 (WLAN)을 이용하여 무선 인터넷의 사용 및 블루투스 (Bluetooth)를 이용한 근거리 데이터 통신 등은 일반 개인에게 친숙한 무선 장치가 되었다. 최근 57~66GHz 대역의 밀리미터파 대역을 이용하여 10미터 내외의 거리에서 최고 5Gbps급의 데이터 통신을 가능하게 하는 국제 표준이 IEEE802.15.3c에서 완성이 되었고 [1] 이보다 앞서서 ISO 표준을 위하여 ECMA TC48에서 국제 표준이 완성이 되었다 [2]. 초고속 데이터 통신으로 가능한 응용 서비스로는 고품질 (HD)급 영상을 비압축 형태로 실시간 전송하는 것 이외에 노트북과 빔 프로젝터 간의 무선 통신, 외장 메모리 데이터의 파일 전송도 포함 된다. 더 나아가 무선 랜 시스템에서 밀리미터파 대역을 이용하여 30m 이상에서도 개인 데이터 통신을 가능하기 위하여 IEEE802.11.ad에서 진행 중에 있으며 제조업체 및 통신 서비스업체로 구성된 WiGig라는 콘소시엄에서도 표준이 활발히 진행 중에 있다. 밀리미터파 대역을 통한 통신 시스템은 데이터 통신을 통신 장비에서 일반 가전업체로 확장한 첫 시스템이라는 점에서 큰 의미가 있다. 즉 통신 장비의 시장이 통신 자체를 벗어나 HD급 TV 또는 디지털 카메라 등과 같이 수요가 높은 가전 제품에 초고속 무선 장비가 응용됨으로써 앞으로 무선 장비 시장이 확대 될 수 있다는 것이다.

이러한 근거리 개인 휴대통신 시장의 확장에 맞추어서 2007년 11월에 300 ~ 3000GHz의 테라 대역을 이용하여

20~40Gbps급의 데이터 통신을 가능하기 위한 국제 통신 표준에 대한 논의가 IEEE802.15그룹에서 시작되었다. 응용 서비스로는 무선 파일 전송을 포함하여 2012년부터 상용화가 예상되는 초 고화질 (Ultra HD: UHD) 영상 전송이다 [3]. UHD의 데이터를 무선 전송하기 위해서는 최소 20Gbps급의 데이터 전송이 필요하다. 현재 기존의 기저 대역 및 밀리미터 대역을 이용한 무선 통신 시스템으로서는 데이터 전송 속도를 20Gbps급 이상으로 향상 시키는 데 있어서는 한계가 있다. 이에 따른 새로운 통신 시스템의 개발이 필요했으며 아직 발굴되지 않은 주파수 대역 중에서 가장 넓은 주파수 대역인 테라 대역이 주목을 받았고 이에 따른 표준이 진행된 것이다. 그러나 테라 대역을 이용하여 수십 Giga의 데이터 전송을 위해서는 Front-end에서의 초고주파 회로 및 ADC/DAC (Analog-to-Digital Converter/Digital-to-Analog Converter) 등의 하드웨어 장비 이외에 전송 기법 및 MAC계층에서의 데이터 처리를 위하여 개발되어야 할 부분들이 많이 있다.

본 논문에서는 테라 대역을 이용하여 초고속 무선 근거리 개인 통신을 가능하기 위하여 현재 논의되고 있는 주요 쟁점들을 살펴보고 이를 해결하기 위한 기술을 물리계층 측면에서 요약하고자 한다. 첫 번째로 기존의 통신 방식이라고 할 수 있는 협대역을 이용하여 초고속 무선 통신을 가능하게 하는 다중안테나 시스템 (MIMO)의 한계를 짚어보고 대역폭을 증대시킴으로써 초고속 통신이 가능한 것인지에 대하여 이론적인 검토를 하고자 한다. 특히 대역폭이 증대됨으로써 발생하는 잡음 전력의 증가에 대한 영향을 Shannon의 정보이론 측면에서 살펴보고 현실적인 조건에서 통신이 가능한 거리에 대한 결과를 소개한다. 둘째로 테라 대역의 주파수가 국제적으로 통일된 비허가 주파수 대역으로 할당 받을 수 있는지에 대하여 ITU에서 발표된 자료를 근거로 하여 소개한다. 세 번째로 전력 손실이 거리에 따라서 상대적으로 다른 주파수에 비해서 큰 테라 대역의 주파수 특성으로 인하여 통신 거리의 한계성을 극복하기 위하여 물리계층에서의 빔포밍 방식을 소개한다. 특히 빔포밍 방식에 있어서 테라 대역의 하드웨어 구현의 어려움을 고려한 빔포밍 송수신 방법에 대하여 다룬다. 마지막으로 결론으로 글을 맺는다.

## II. 협대역 통신과 광대역 통신 비교

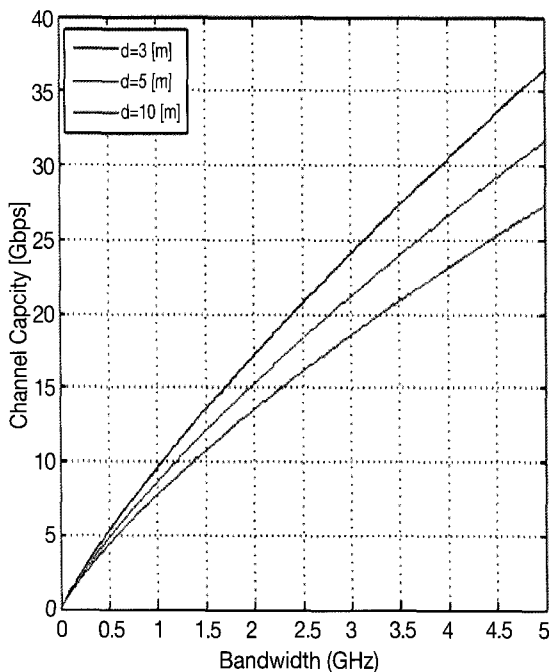
현재 비허가 주파수 대역을 이용하여 개인 사용자에게 가장 많이 사용되고 있는 주파수 대역은 2~10GHz 대역이며 무선 랜, 블루투스, UWB등의 시스템이 있다. 특히 무선 랜과 블루투스는 이미 상당히 개인 사용자에게 서비스가 공급되어 이용되고 있다. 먼저 그 중에서 무선 랜을 살펴보자. 무선 랜은 2GHz대역과 5GHz 대역에서 표준에 따라서 40MHz 또는 80MHz의 주파수를 할당되어 있으며 현재 완성된 표준 중에서는 IEEE802.11n 표준이 40MHz를 사용하고 전송단과 수신단에서 4개의 안테나를 바탕으로 공간 다중화 기법 (MIMO)을 이용하여 최고 약 300Mbps급의 전송속도가 가능하다. 실제로 안테나의 개수를 증가시킴으로써 선형적으로 데이터의 전송 속도를 더 높일 수 있으나 구현의 문제와 더불어 안테나 간의 거리가 보장되어야 하는 조건으로 인하여 현실적으로 어려움이 있다. 또한 공간 다중화 기법의 구현에 있어서는 지난 10년 이상의 오랜 기간 동안 연구를 통해서 증명된 바와 같이 최대한의 이득을 얻기 위해서 베이스밴드 영역에서의 알고리즘의 하드웨어 구현의 복잡성의 문제가 있다. 더 나아가 안테나의 개수를 증가시키고 다중 사용자의 스케줄링을 통하여 총 사용자의 데이터 전송량을 증가시킬 수 있는 소위 다중사용자 다중 안테나 기법 (Multi-user MIMO) 등이 셀룰라 통신 및 무선 랜 시스템 등에서 고려되고 있으나 구현을 위한 알고리즘은 매우 복잡한 형태를 띈다.

이와 반면에 한 사용자가 이용할 수 있는 주파수 대역이 수 백 Mega 또는 그 이상인 경우에 있어서 수 기가 비트의 전송속도를 위한 통신은 현재의 반도체 기술을 고려해보면 훨씬 수월하다. 이를 Shannon의 채널 용량 식으로 살펴보면 다음과 같다.

$$C=W \log(1+P/NW)$$

위에서 W는 한 사용자가 이용가능한 주파수 대역폭을 나타내며 P는 수신 전력, N은 백색잡음밀도를 나타낸다. 위에서 W를 증가시킴에 따라서 거의 선형적으로 채널 용량이 증가 될 수 있는 것을 살펴볼 수 있다. 한 가지 예로써 전송 전력을  $P_t=20\text{dBm}$ 이고 잡음 밀도가  $-173.9\text{dBW/Hz}$ 인 경우에 free space공간 환경에서의 대역폭 W를 증가함에 따라

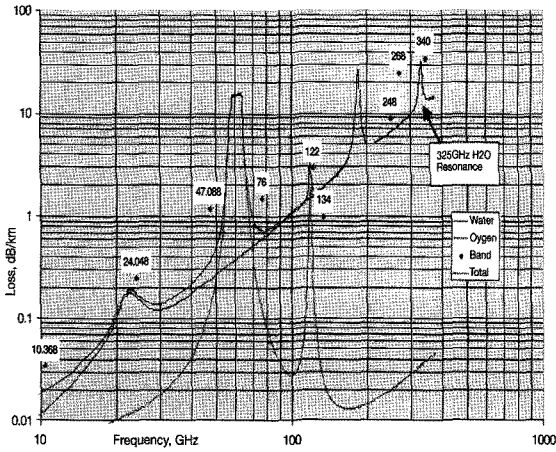
채널 용량의 증가를 통신 거리가 3미터, 5미터와 10미터인 경우에 대하여 각각 살펴본 결과가 (그림 1)에 있다. (그림 1)에서 보는 바와 같이 대역폭의 증가는 채널 용량을 거의 선형적으로 증가시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 광대역의 주파수 대역폭이 존재한다면 굳이 MIMO 기술과 같이 복잡도를 요구하는 시스템보다 초고속 데이터 전송을 위해서 적합할 것이다. 그렇다면 광대역 주파수 대역폭이 존재하는지 살펴볼 필요가 있다. 우선 밀리미터파 대역에서는 57~66GHz 대역이 거의 세계 모든 국가에서 비허가 주파수 대역으로 할당이 되었으며 IEEE802.15.3c에서는 위의 주파수 대역을 4개의 채널로 분할하여 한 채널당 약 2GHz를 할당하는 것으로 되어있다. 이러한 광대역 주파수를 이용하면 위의 그림에서 이론적으로 10미터 거리에서 약 13.5 Gbps의 데이터 전송이 가능하다. 그러나 UHD의 무선전송에 필요한 20Gbps급 이상의 데이터 전송을 위해서는 더 넓은 주파수 폭이 필요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유로 아직 발굴 되지 않은 주파수 대역인 300GHz 이상의 주파수 대역에 대한 관심이 높아지고 있다.



(그림 1) 거리(d)가 3m, 5m와 10m인 경우에 대하여 주파수대역폭(Bandwidth)에 따른 Shannon의 채널 용량(Channel Capacity)

### III. Tera 대역 주파수 현황

앞 절에서 언급한 바와 같이 초고속 데이터에 대한 요구와 필요성으로 Tera 대역의 발굴에 대한 관심이 높아지고 있다. 최초로 Tera대역에 대한 사용을 국제 전기통신 연맹 (ITU)의 World Radio Conference (WRC)를 통하여 제안한 곳은 IARU (International Amateur Radio Union)이다. IARU는 2007년 2월에 비엔나에서 개최한 회의에서 275-1000GHz 대역에 대하여 IARU가 단독으로 사용할 수 있도록 주파수 분할을 요구한 것에 대한 논의를 하였다[4]. 특히 IARU는 제출한 보고서에서 Tera 대역에 대한 주파수 특성을 상세히 연구하였고 이를 바탕으로 비전문가 무선 협의 회원들의 활용을 위한 주파수 분할의 필요성을 언급하였다. Tera대역에 대한 논의는 2007년 2월 WRC 회의의 후속으로 2011년 WRC의 중요 의제로 남겨놓은 상태다. 중요 의제는 정확히 Agenda Item 1.6으로 되어 있는데 275GHz에서 3,000GHz까지의 주파수 대역에 대하여 수동적 사용 (passive service)을 위한 주파수 할당에 대한 논의를 지칭한다. 여기에서 수동적 사용이란 과학 또는 의학과 같은 영역에서 실험용 목적으로 사용하는 것을 지칭한다. 예를 들어 275-323 GHz, 323-371 GHz, 388-424 GHz를 포함하여 총 8개 주파수 대역을 전파천문서비스 (radio astronomy service)를 위한 목적으로 수동적 사용으로 할당되어 있다. 한 가지 주목할 점은 수동적 사용인 주파수 대역은 주파수 간섭을 피할 수만 있다면 능동적 사용 (active service)으로도 ITU에서 할당할 수 있다. 그 밖에 여러 주파수 대역에서 지구 탐험 위성 서비스를 위하여 수동적 서비스로 할당되기도 했다. 그러나 개인 사용자의 서비스를 위한 능동적 사용에 대한 논의는 앞으로 다가오는 2011년 WRC에서 논의하지 않기로 했다. 이에 대하여 IEEE802.15의 Tera 대역을 위한 Interest Group (IGthz)은 2011년의 수동적 사용을 위한 주파수 분할이 테라 대역을 이용한 개인 통신 개발에 장애가 되지 않아야 하며 능동적 사용을 위한 긍정적 논의를 IEEE802를 통하여 공식적으로 ITU에 요청을 하였다. 더불어 IEEE802.15의 IGthz에 참여하고 있는 세계 유수 기업들과 대학 및 연구소에서도 각국에서 Tera대역의 능동적 사용 및 비허가주파수 대역으로 할당을 받기위하여 공동 노력을 진행 중에 있다 [5]. 이에 대한 가



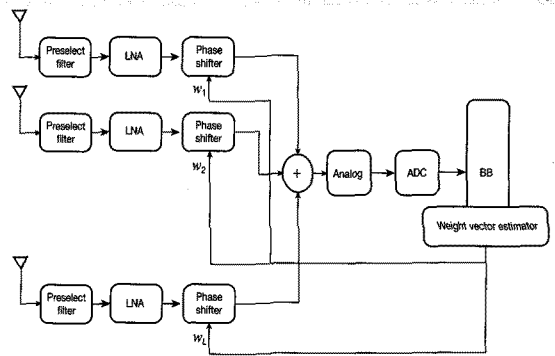
(그림 2) 주파수 대역에 따른 전력소모 (dB/km)

시적인 결정은 2013년 WRC회의에서 결정될 것으로 예상되며 각국의 노력으로 상당 영역의 주파수 대역을 능동적 사용 또는 비허가주파수 대역으로 할당이 될 것으로 예상하고 있다.

#### IV. Tera대역 통신에 적합한 빔포밍 기법

Tera대역을 이용한 통신에서 가장 어려운 점은 Tera대역의 전파 특성인 직진성 및 거리에 따른 큰 전력 소모일 것이다. 이러한 문제점은 밀리미터파 대역에서도 나타나는 현상이다. 특히 거리에 따른 전력 소모는 (그림 2)에서 보는 바와 같이 상당히 크다. 예를 들어 340GHz 대역에서의 거리에 따른 전력소모는 약 35dB/km 이다. 거리에 따른 전력소모는 간섭을 일으키지 않는다는 점에서 장점일 수도 있지만 통신 비거리의 단축이라는 단점도 있다. 이를 극복하기 위하여 여러 가지 기술들이 제안되고 있는데 특히 가장 주목받는 것으로는 다중 안테나를 이용한 빔포밍 기술이라고 볼 수 있다. 이러한 이유로 빔포밍 기술은 밀리미터파 대역을 이용한 WPAN 표준 시스템에 채택되었다. 그러나 밀리미터파 대역 WPAN 표준 시스템에서도 지적된 바와 같이 다중의 안테나를 사용했을 경우에 전력 소모량의 증가 및 구조의

복잡성으로 문제점이 많다. 따라서 복잡도가 낮고 전력소모량이 적은 빔포밍 구조 및 알고리즘이 필요하다. 특히 다중 안테나를 사용하면 안테나 개수 만큼의 RF-chain의 개수 및 ADC/DAC가 필요하다. 예를 들면 모뎀에서 ADC가 소모하는 전력이 약 50(mW)인데 N개의 안테나를 사용할 경우 N배의 전력 소모가 소요된다. 복잡도 측면에서 살펴보면 수신기의 베이스밴드 영역에서 N개의 안테나를 사용하여 N개의 ADC에서 출력되는 신호를 처리하기 위하여 N배의 신호처리 능력이 필요하다. 이러한 복잡도의 문제점은 데이터 전송율이 높은 경우에 더 심각해진다. 예를 들어 20Gbps급의 데이터를 처리하기 위해서 N개의 안테나와 N개의 ADC를 사용할 경우 Nyquist Sampling을 고려하면  $N \times 2 \times 20 \times 10^9$ 의 처리 속도가 요구되는데 현재의 하드웨어 수준으로는 구현하기에 어렵다. 이를 해결하기 위한 방법으로 단일 ADC를 사용하고 RF-chain의 개수를 줄일 수 있는 RF 빔포밍 방법이 최근 연구되고 있다. RF 빔포밍 방법은 RF영역에서 페이딩 채널의 위상 값을 보상해줄 수 있는 위상 변환기(phase shifter)를 사용하면 이루어질 수 있으며 위상 보상에 신호를 합성하는 합성기를 이용하면 된다. 이에 대한 구조를 살펴보면 (그림 3)과 같다. (그림 3)에서 보면 위상 변환기가 Low Noise Amplifier (LNA) 다음에 위치함으로써 잡음 지수(Noise Figure)에 대한 영향을 최소화 할 수 있다. 또한 가장 주목할 점은 신호가 모두 합성된 상태에서 베이스밴드 영역으로 입력이 되므로 각 안테나에 도달하는 페이딩 채널의 위상 정보에 대한 예측 기술이 요구된다. 이를 위하여 베이스밴드에서는 미리 정해놓은 코드북 벡터들을 이용하여 페이딩 채널의 위상값과 가장 근접한 벡터들을 선택하



(그림 3) RF 빔포밍 기술

는 알고리즘을 사용하여 채널 정보를 예측할 수 있다. 이에 대한 자세한 사항은 [6]에서 살펴볼 수 있다. 이렇게 RF빔포밍 방법을 사용하면 전력과 복잡도 면에서 단일 개의 안테나를 사용한 수신기에 비하여 거의 차이가 없다. 물론 위상 변환기 및 합성기가 RF단에서 추가되므로 잡음 지수가 증가하여 성능 면에서 일반적인 다수의 RF-chain과 다수의 ADC를 사용하는 수신 구조에 비하여 저하될 수 있다. 그러나 [6]에서 발표된 바와 같이 성능 저하가 안테나 개수에 상관없이 약 2.5dB의 손실만이 있다는 것을 알 수 있으며 빔포밍을 사용함으로써 얻어지는 이득이 안테나 4개인 경우를 예를 들면 약 20dB이상인 점을 고려하면 이러한 성능 저하는 미비하다고 할 수 있다. 따라서 현실적인 빔포밍 기술을 이용하여 Tera 대역 통신에서 발생하는 문제점을 상당히 해결할 수 있을 것이라고 예상된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 현재 관심도가 높은 Tera 대역을 이용한 개인 근거리 통신 방식에 대한 추세, 주파수 할당, 그리고 장애 요소를 해결하기 위한 방법으로 빔포밍 기술에 대하여 살펴보았다. 본문에서 언급한 바와 같이 Tera 대역 통신은 20Gbps급 이상의 초고속 데이터 통신을 가능하게 함으로써 대용량 파일 전송을 가능하게 하며 곧 상용화가 예상되는 UHD급 영상을 무선으로 전송할 수 있는 서비스 영역과 더불어 급성장 할 것이라고 예상된다. 이를 위하여 물리계층 및 MAC 계층에서의 통신 방법에 대한 연구와 더불어 RF 및 안테나에서의 각 소자 개발에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 필요성이 있다.

### Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원 IT 산업 원천기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F006-02, 테라헤르츠 대역 근거리 무선 통신시스템 연구]

## 참 고 문 헌

- [1] *Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, <http://ieee802.org/15/>
- [2] *Standard ECMA-387, High rate 60GHz PHY, MAC and HDMI PAL*, <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-387.htm> Dec, 2008
- [3] <http://www.ultrahdtv.net>
- [4] *Preliminary views on WRC-11 Agenda Item 1.6, Asia Pacific Telecommunity*, The 2nd meeting of the APT Conference Preparatory Group for WRC-2011, 24 June 2009
- [5] Thomas Kurner, "WRC Agenda item 1.6 and its possible implications on THz Communication," IEEE802.15-09-0230-00-thz
- [6] K. Jo, Y. -C. Ko, C.-G. Park, J. Park, "Multiple antenna post low noise amplifier RF combining", 2009 IEEE Globecom workshop on Multi-Gigabit MM-wave and Tera-Hz Systems

## 약 력



1997년 한양대학교 학사  
 1999년 미네소타대학교 석사  
 2001년 미네소타대학교 박사  
 2001년 ~ 2004년 Texas Instruments, Inc. 책임연구원  
 2004년 ~ 현재 고려대학교 교수  
 관심분야: 무선통신 시스템 개발

## 고 영 채