

## 초저전력 무선통신 기술

양 석 철\*, 최 성 수\*\*, 오 휘 명\*\*, 신 요 인\*

\*숭실대학교 정보통신전자공학부, \*\*한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹

### 요 약

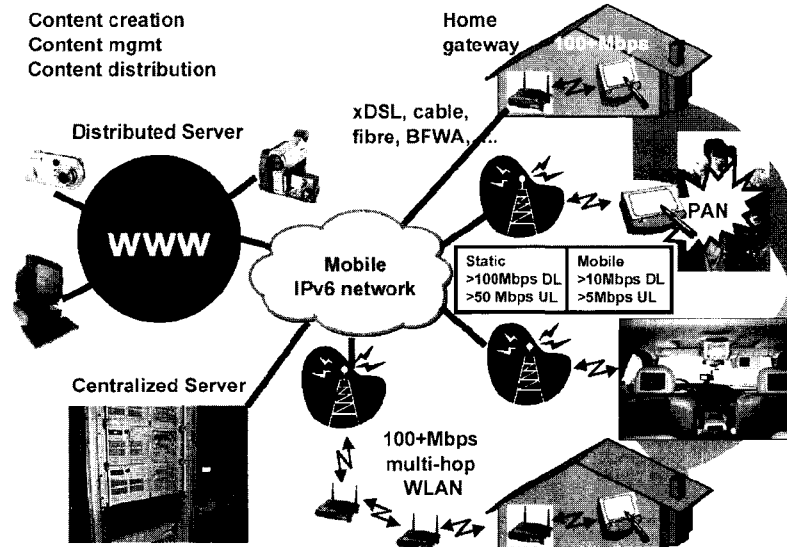
최근 무선통신 분야는 유비쿼터스 시대의 도래라는 새로운 변혁에 발빠르게 대응하면서, 이를 보다 효율적이고 신속하게 현실화시키기 위해 요구되는 다양한 기술적 특성들에 대한 연구 개발에 주력하고 있는 상황이다. 이러한 추세에 발맞추어, 본 논문에서는 향후 유비쿼터스 네트워크 구축에 필수적인 무선통신 시스템의 저전력화를 위한 기존 제반 무선통신 기술의 개선 방안과 더불어 초저전력, 초고속 전송 및 위치추적 특성으로 인해 최근 각광받고 있는 UWB 기술에 대해 소개하고자 한다. 특히, 보다 실용적인 저전력화를 위해 시스템 및 회로 레벨에서의 전력 문제를 병행적으로 고려했으며, 초저전력 UWB 기술이 각광받는데 뒷받침되는 다양한 특성과 더불어 최근 연구 동향에 초점을 맞추었다.

### I. 서 론

최근 유무선통신 및 네트워크 분야를 총 망라하여 전세계적으로 신개념인 유비쿼터스 네트워크(Ubiquitous Network)의 거대한 물결에 휩싸여 있다고 해도 과언이 아니다. 유비쿼터스 네트워크란 언제 어디서나 누구라도 컴퓨터와 네트워크를 간단하고 편리하며 안전하게 활용할 수 있는 환경을 말하며, 칩, 센서, 태그 등의 초소형 컴퓨터들이 모든 사물과 공간에 파고들어 상호

통신할 수 있는 차세대 정보사회를 의미한다<sup>[1]</sup>. 유비쿼터스 개념은 컴퓨터 공학자였던 Mark Weiser 박사에 의해 최초로 주창되었는데, 미래의 수많은 컴퓨터들이 결코 사용자를 귀찮게 하거나 불편하지 않게 조용히 자신을 이용해 주기를 기다리는 인간 중심의 이상적인 컴퓨팅 환경을 유비쿼터스 컴퓨팅으로 상정한 것에서부터 비롯되었다<sup>[1]</sup>. 이와 더불어 그는, 전세기는 대형의 고가 컴퓨터 한 대를 거대 경영체 중심으로 수많은 사용자들이 공유하던 메인 프레임 시대에서 개인용 PC 시대를 거쳐 다양한 컴퓨터들이 환경 도처에 편재되어 사용자가 컴퓨터와 네트워크 존재를 의식하지 않게 되는 유비쿼터스 시대가 도래할 것이라고 예견하였다<sup>[1]</sup>. 그러므로, 유비쿼터스 네트워크는 사용자가 언제 어디서나 컴퓨터를 이용할 수 있도록 네트워크를 통해 상호 연결된 보이지 않는 수많은 컴퓨터가 편재되고 사용자가 원하는 대로 쉽게 이용할 수 있는 컴퓨팅 환경을 지향하며 더 나아가서는 사용자가 원하는 컴퓨팅을 컴퓨터 스스로 알아서 제공하는 고요하고도 스마트한 환경을 의미한다<sup>[2]</sup>. 이는 구체적으로, 사물 및 공간의 지능화를 촉진시켜서 각종 센서 및 스마트 태그 등이 제조물, 의자, 교량 등의 모든 일상 사물과 도시 공간에 스며드는 사용자 중심의 정보통신 시대를 열어갈 것으로 예상된다<sup>[1]</sup>. <그림 1>은 이러한 향후 유비쿼터스 네트워크 구성의 한 예를 도시하고 있다.

한편, 이를 실현하기 위한 유비쿼터스 혁명은 5C의 5ANY를 지향하는데, 5C는 컴퓨팅(Computing), 통신(Communication), 접속(Connectivity), 콘텐츠(Contents), 고요함(Calm)



〈그림 1〉 향후 실현될 유비쿼터스 네트워크 구성의 예시<sup>[1]</sup>

을, 5ANY는 언제(Anytime), 어디서나(Anywhere), 어느 네트워크로(Anynetwork), 어느 기기라도(Anydevice), 무슨 서비스든(Anyservice)의 의미를 담고 있다<sup>[2]</sup>. 따라서, 유비쿼터스의 핵심 개념은 네트워크로 연결되어 상호 협력하는 분산 컴퓨팅 시스템인 한편, 단순히 컴퓨팅만을 의미하는 것이 아니라 통신 개념도 포함하게 된다<sup>[2]</sup>. 특히, 분산되어 있는 많은 유비쿼터스 기기들이 효율적으로 통신하는 방법이 무선 통신인데 최근의 다양한 근거리 무선통신 기술들에 관한 활발한 연구와 개발은 유비쿼터스 시대의 출현을 앞당기고 있다<sup>[2]</sup>. 또한, 유비쿼터스 네트워크를 효율적으로 구축하기 위해서는 무선통신 기술의 소형화, 저가격화, 저전력화가 필수적이라 할 수 있으며, 특히 유비쿼터스를 위해 가장 중요하게 요구되는 사항인 언제 어디서나를 만족하기 위해서는 무선통신 기기들의 저전력화를 위한 연구가 어느 쟁점보다도 우선되어야 할 것이다. 예를 들어, 전력 소모 즉 기기의 배터리 수명과 가장 밀접한 연관성을 갖는 센서 및 태그 기반의 유비쿼터스 센서 네트워크에서 특정 센서의 기능이 전력 소모로 인해 마비되면, 해당 센서가 제공해야 하는 네트워크 상의 정보 및 타 센서와

의 상호 교류를 통해 제공되어야 하는 정보 등이 손실되며 이는 즉 전체 네트워크의 성능 저하를 초래하게 된다. 그러므로, 네트워크 유지를 위한 전력 제어가 기기 자체적으로 이루어지든 중앙 통제식으로 수행되든 간에, 유비쿼터스 네트워크의 생산성 및 효율성 증대 차원에서 무선통신 기술 및 시스템의 저전력화는 반드시 필요하다.

이에 본 논문에서는 무선통신 시스템의 저전력화를 위한 기존 제반 기술의 개선 방안과 더불어, 초저전력, 초고속 전송 및 위치추적 특성으로 인해 최근 각광받고 있는 UWB(Ultra Wide Band) 기술을 소개하고자 한다. 이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선, II장에서는 시스템 저전력화를 위한 변조 방식, 채널 부호화, 라우팅 및 다원접속의 문제점과 개선 방안에 대해 기술한다. 이어 III장에서는 근거리 고속 물리계층을 위한 UWB 무선통신 기술에 대해 소개하고, 최근 위치추적 기능을 수반한 저속 Zigbee 기반 W-PAN(Wireless Personal Area Network)의 저전력 물리계층 결정을 위해 창설된 IEEE 802.15 SG4a에서의 UWB 연구 현황에 대해 기술한다. 그리고, 마지막으로 IV장에서는 향후 연구 방향과 함께 결론을 맺는다.

## II. 무선통신 시스템의 저전력화를 위한 기술 개선 방안

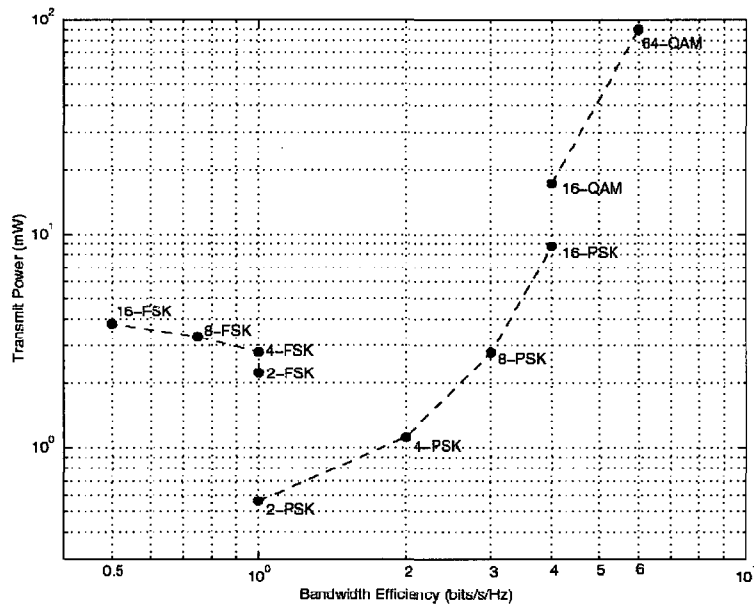
무선통신 시스템의 저전력화를 위해서는 크게 두 가지 사안을 병행하여 고려할 필요가 있다. 첫째는 특정 성능을 얻기 위한 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio; SNR) 개념에서의 전력 이득, 즉 시스템 레벨이고, 둘째는 회로 구성의 복잡도에서 야기되는 소자들의 전력 소모 개념, 즉 회로 레벨이다. 상식적으로 알 수 있듯이, 이들 사안들은 서로 절충 관계에 있고 시스템 저전력화의 관점에서는 어느 하나 소홀히 할 수 없는 중요한 요소들이다. 따라서, 본 절에서는 이러한 두 가지 사안을 동시에 고려하였으며 이들 사이의 절충점을 모색하는 방향으로 기술하였다.

### 1. 변조 방식

현존하는 무선통신의 데이터 변조에 있어서 가장 대표적인 방식은 크게 PSK(Phase Shift Keying) 및 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 계열과 FSK(Frequency Shift

Keying) 계열로 분류될 수 있는데, 전송하고자 하는 심벌의 수가 증가할수록 PSK 및 QAM 계열은 밴드폭 효율을 높이기 위해 전송 신호 전력의 증가를 감수하는 반면, FSK 계열은 밴드폭 효율을 희생하여 전송 신호의 저전력화를 달성하게 된다. 다시 말해, FSK 계열에서는 심벌수가 증가할수록 동일한 성능을 얻기 위해 더 낮은 SNR이 요구되므로 시스템 레벨에서의 저전력화 측면에서 PSK 및 QAM 계열보다 우수하다고 볼 수 있다. 하지만 실제적으로 회로 레벨에서의 전력 소모까지를 모두 고려했을 경우, 이와 같은 결과는 아래의 예에서 알 수 있듯이 반드시 성립하는 것은 아니다. <그림 2>는  $10^{-5}$ 의 비트오율(Bit Error Rate; BER) 성능을 요구 조건으로 하고 레일리 페이딩 실내 채널 환경을 가정했을 경우, 앞서 언급되었던 세 가지 변조 방식에 대해서 심벌수의 변화에 따른 전력 소모 및 밴드폭 효율을 도시하고 있다<sup>[3]</sup>.

여기서 알 수 있듯이, 회로 레벨에서의 전력 소모까지 고려했을 경우 심벌수가 8개 이상일 때만 FSK 계열이 우수하고, 그 이하인 경우에는 다른 변조 방식과 동일한 성능을 얻기 위해 약 6dB



<그림 2> 변조 방식과 심벌수의 변화에 따른 전력 소모 및 밴드폭 효율 비교<sup>[3]</sup>

정도의 추가적인 RF 전력을 요구하게 된다<sup>[3]</sup>. 더욱이, 심벌수가 8개 이상이라 하더라도 밴드폭 효율 측면을 고려하면 FSK 계열이 다른 방식들보다 반드시 우수하다고 단정지을 수 없다. 결론적으로는, 시스템에 요구되는 기술 사양의 고려와 더불어 시스템 성능 및 밴드폭 효율의 최적화를 기반으로 하는 시스템 및 회로 레벨에서의 병행적인 저전력화가 수행되어야 한다.

한편, 최근 활발하게 거론되고 있는 Modulation Scaling 기법은 전송 시간 지연과 에너지 소모 간의 절충 관계를 기반으로 하여, 저전력화를 수행하기 위해 전송 심벌의 수, 즉 변조 레벨을 조정하는 적응적 변조 기법을 의미한다<sup>[4]</sup>. 먼저, 한 비트를 기준으로 하여 비트 간격  $T_{bit}$ 과 에너지 소모  $E_{bit}$ 를 고려하면 다음 식들과 같다.

$$T_{bit} = \frac{1}{b \times R_s} \quad (1)$$

$$E_{bit} = (P_s + P_E) \cdot T_{bit} \quad (2)$$

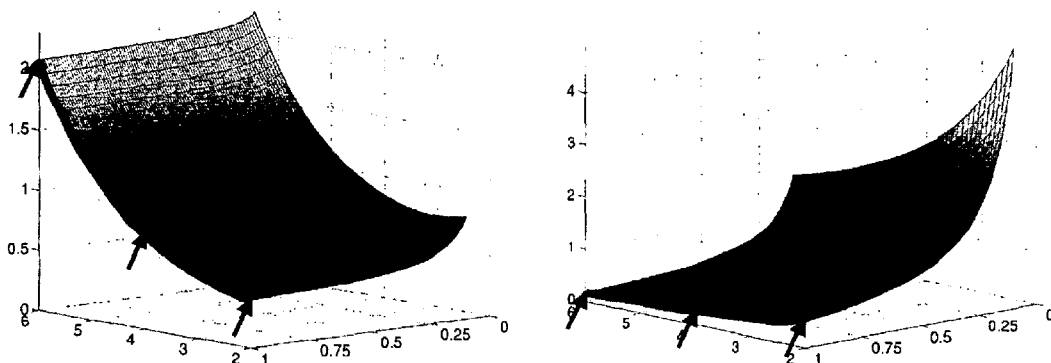
여기서,  $b$ 는 심벌당 비트수 (즉 변조 레벨),  $R_s$ 는 심벌 전송율을 나타내며,  $P_s$ 는 시스템 레벨,  $P_E$ 는 회로 레벨에서 요구되는 전력을 각각 의미한다. 앞서 언급된 바와 같이 저전력화는 시스템 및 회로 레벨을 병행적으로 고려해야 하는데, 특히 다양한 심벌 전송율을 스위칭 동작을 통해 지원하는 통신 시스템의 경우 회로 레벨에서의 전력 소모는 심벌 전송율의 변화, 즉 스위칭

동작에 의해 크게 증가할 가능성을 가지고 있다<sup>[4]</sup>. 한편 <그림 3>은 변조 레벨과 심벌 전송율의 변화에 따른  $T_{bit}$ 과  $E_{bit}$ 의 변화를 도시하고 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 지원 가능한 최대 심벌 전송율로 동작할 경우, 비트 간격  $T_{bit}$  뿐만 아니라 에너지 소모  $E_{bit}$ 도 최소가 된다<sup>[4]</sup>.

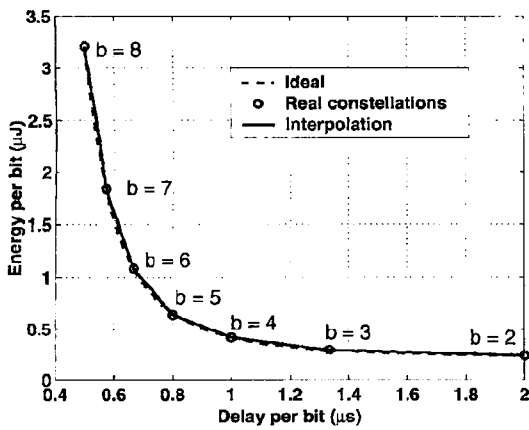
따라서, 시스템 설계시 저전력화를 위해 심벌 전송율을 고정, 지원 가능한 최대 심벌 전송율만으로 동작하게 하여 불필요한 스위칭 동작에 의한 전력 소모를 방지하는 것이 중요하다. 또한 이렇게 심벌 전송율이 고정된 경우  $E_{bit}$ 과  $T_{bit}$ 은 변조 레벨  $b$ 의 함수가 되는데, 위 그림에서 알 수 있듯이 심벌 전송율의 경우와는 다르게 변조 레벨의 변화에 대해서 둘은 절충 관계를 가지게 된다<sup>[4]</sup>. 그러므로, 시스템에 우선적으로 요구되는 사양이 저전력 소모인지 고속 데이터 전송인지를 감안하여 최적의 변조 레벨을 설정하는 것이 중요하다. 한편 QAM 변조 방식을 가정할 경우, 심벌 전송율이 최대인 경우로 고정되면  $E_{bit}$ 은 다음 식과 같은 최소값을 갖게 되고, 이는 변조 레벨의 변화에 의해서만 좌우된다<sup>[4]</sup>.

$$E_{bit} = C_s \times \frac{2^b - 1}{b} + C_E \times \frac{1}{b} \quad (3)$$

위 식에서,  $C_s$ 는 무선 채널, 전송 거리, 비트오율에 의해 결정되는 시스템 레벨에서의 전력 파라미터이고,  $C_E$  회로 레벨에서의 전력 파라미터



<그림 3> 변조 레벨과 심벌 전송율에 따른 비트 간격과 에너지 소모의 변화<sup>[4]</sup>



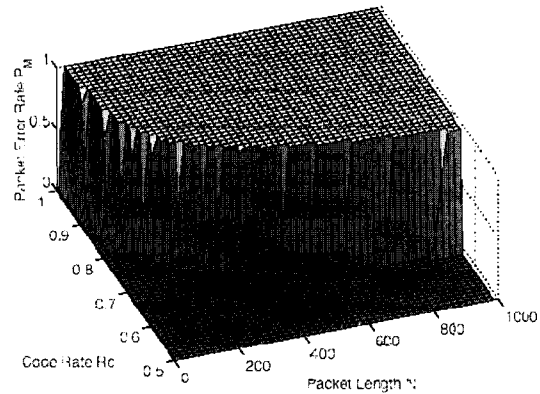
〈그림 4〉 변조 레벨에 따른 전송 시간 지연 및 에너지 소모 변화의 예시<sup>[4]</sup>

를 나타낸다. 참고로, 〈그림 4〉는 QAM 변조 방식을 가정하고 시스템 파라미터를  $R_s=250$  ksp/s,  $C_s=100$  nJ,  $C_e=180$  nJ로 적용했을 경우, 변조 레벨  $b$ 에 따른 전송 시간 지연 및 에너지 소모 변화의 예를 도시하고 있다<sup>[4]</sup>.

2. 채널 부호화

채널 부호화 (Channel Coding)는 전송된 데이터의 오류 정정을 통한 시스템의 성능 향상을 목적으로 사용되는 기술로서, 대표적으로 터보 부호 (Turbo Code), 길쌈 부호 (Convolutional Code) 등이 있다. 이는 데이터 오류를 정정한다는 개념에서 시스템 레벨의 전력 이득을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 오류 정정 능력이 증가할수록 특히 데이터 복호 측면에서 엄청난 복잡도를 요구하기 때문에 회로 레벨에서의 전력 소모를 증가시킨다. 따라서, 요구되는 시스템 성능과 전력 소모를 절충하기 위해 다양한 부호율을 지원하는 시스템의 설계가 필요하게 된다. 다음의 예에서는 패킷 단위의 전송을 가정하여 채널 부호화시 저전력화를 위해 반드시 고려해야 할 사항들에 대해 설명한다.

부호율 (Code Rate)이  $R_c$ 인 채널 부호를 사용하여  $N$  비트 패킷 단위로 데이터 전송이 수행된다고 가정할 경우, 패킷오율 (Packet Error Rate; PER)  $P_M$ 은 부호율  $R_c$ 와 패킷 크기  $N$



〈그림 5〉 데이터 패킷 크기와 부호율에 따른 패킷오율 성능 변화<sup>[5]</sup>

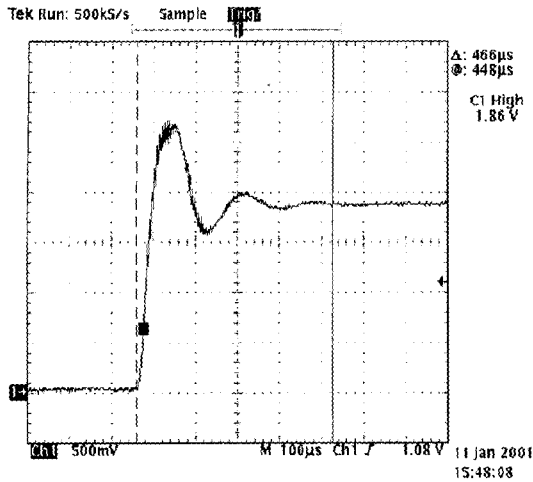
에 의해 크게 영향을 받는다. 〈그림 5〉에서 알 수 있듯이, 패킷 크기와 부호율이 작아질수록 더욱 우수한 패킷오율 성능을 보임을 확인할 수 있다<sup>[5]</sup>.

한편 앞서의 경우와는 다르게, 신호 전송시 소모되는 에너지를 패킷 단위로 고려하면 다음 식과 같다<sup>[5]</sup>.

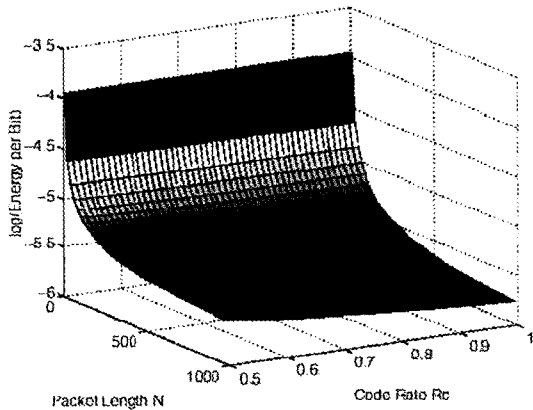
$$E_{\text{packet}} = P_{\text{start}} T_{\text{start}} + P_{\text{on}} T_{\text{on}} \quad (4)$$

위 식에서,  $P_{\text{start}}$ 와  $T_{\text{start}}$ 는 전송 시작을 위해 소모되는 전력과 시간을,  $P_{\text{on}}$ 와  $T_{\text{on}}$ 은 전송 중에 소모되는 전력과 시간을 각각 의미한다. 앞서 언급된 것처럼, 패킷 크기와 부호율을 줄이면 성능 면에서 향상을 보일 수는 있지만 에너지 소모 측면에서 생각하면 심각한 문제점에 봉착하게 된다. 〈그림 6〉은 특정 시스템에서의  $P_{\text{start}}$ 와  $T_{\text{start}}$  특성에 대해 도시하고 있다<sup>[5]</sup>. 그림에서 알 수 있듯이 이 시스템에서 전송 시작 부분에서 상당한 전력과 시간을 소모하고 있음을 볼 수 있고, 패킷 크기가 작을수록 그 빈도수가 찾아지며 이는 장기적으로 볼 때 시스템 전력에서 막대한 비중을 차지하게 된다. 이와 더불어, 부호율을 낮추면 오류 정정을 위한 잉여 비트의 수가 증가하므로 성능이 우수해지지만 복호 알고리즘 및 회로의 복잡도로 인한 전력 소모의 증가를 야기하게 된다.

따라서, 시스템에 요구되는 패킷오율 성능 및 소모 전력의 절충점을 산출하여 최적의 패킷 크



〈그림 6〉 시스템의 전송 시작을 위해 소모되는 전력 및 소모 시간의 예시<sup>[6]</sup>



〈그림 7〉 부호율과 데이터 패킷 크기에 따른 시스템 요구 전력 비교<sup>[6]</sup>

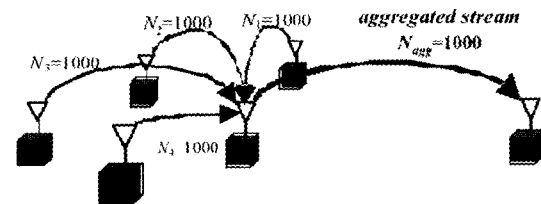
기 및 부호율을 적용시키는 것이 필수적이다. 특별히, 작은 크기의 다수 패킷을 버퍼링을 거쳐 한꺼번에 전송한 후 수신단에서 패킷 단위로 복호하는 방법을 적용하면 전송 시작을 위해 소모되는 전력과 시간을 줄이면서 동시에 패킷오류 성능을 향상시킬 수 있게 된다. 참고로, 〈그림 7〉은 부호율  $R_c$ 와 패킷 크기  $N$ 에 따라 요구되는 전력을 비교하여 도시하고 있다<sup>[6]</sup>.

### 3. 라우팅 기법

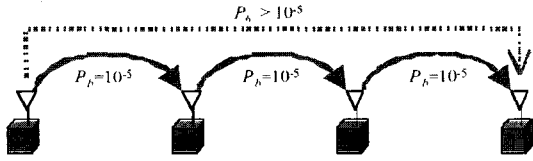
라우팅에 관련된 저전력화 문제에 대해서 본

논문에서는 크게 두 가지 방안을 고려하고자 한다. 첫째는 노드와 노드 간의 데이터 처리량 감소에 의한 저전력화 방안이고, 둘째는 노드와 노드 간의 경로 손실 감소에 의한 저전력화 방안이다. 먼저 데이터 처리량 감소에 의한 저전력화의 한 예로 Data Aggregation 기법을 들 수 있는데, 이 기법은 〈그림 8〉에서와 같이 전송 노드의 전송 전력과 수신 노드의 수신 전력 소비를 줄이기 위해 중간 노드에서 우선적으로 모든 전송 노드로부터  $N$ 개의 데이터를 수집한 후, 이를 다시 고품질로 압축한  $N$ 개의 데이터로 변환하여 최종 수신 노드로 전송하는 방식이다<sup>[6]</sup>. 이 방식에 의하면 전송 노드에는 경로 손실에 의한 전력 소비의 부담을 경감시킬 수 있게 되고, 수신 노드는 데이터 처리량 감소를 통해 수신 전력을 줄일 수 있게 된다는 이점이 생긴다. 하지만, 구현의 관점에서 다시 고려하면 중간 노드에 요구되는 시스템 복잡도가 전송 노드의 수에 비례하여 가중되고, 마찬가지로 수신 노드에서도 고품질 데이터를 처리하기 위한 회로 레벨 상의 소모 전력 증가가 예상되며, 모든 전송 데이터가 압축된 만큼 시스템 링크에 요구되는 성능 수준 또한 높아지게 된다.

한편, 경로 손실 감소에 의한 저전력화의 예로는 Multi-Hop 기법을 들 수 있다<sup>[6]</sup>. 시스템 전력에 대한 경로 손실은  $\beta d^n$ 으로서 표현될 수 있는데, 여기서  $\beta$ 는 증폭기 및 안테나에서의 선형적인 전력 감쇄를 의미하고,  $d$ 는 송수신 거리,  $n$ 은 경로 손실 지수를 각각 나타낸다. 그런데 일반적으로  $n$ 은 2와 4 사이의 값을 갖게 되므로, 송수신 거리가 증가하게 되면 그에 따른 전력 손실은 지수적으로 급격하게 증가하게 된다. 따라서



〈그림 8〉 데이터 처리량 감소 기반의 저전력화를 위한 Data Aggregation 기법 예시<sup>[6]</sup>



〈그림 9〉 경로 손실 감소 기반의 저전력화를 위한 Multi-Hop 기법 예시<sup>[6]</sup>

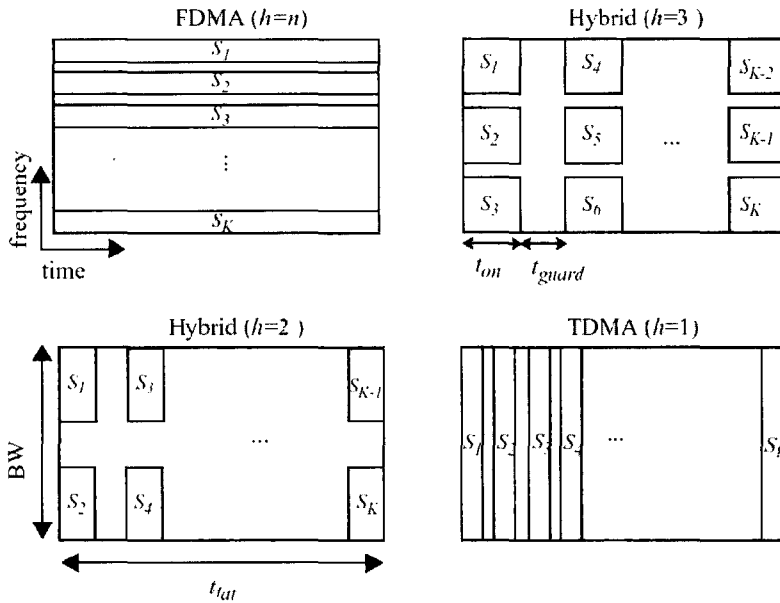
〈그림 9〉에서와 같이, 원거리 상에 있는 송수신 모드 사이에 중간 노드들을 효과적으로 배치하여 경로 손실에 의한 지수적인 전력 감쇄 효과를 줄이는 Multi-Hop 기법이 고려되고 있다. 이 기법에 의하면,  $h$ 번의 Hopping을 가정할 경우 경로 손실이  $h\beta(d/h)^n$ 으로 감소하게 되므로, 시스템에 요구되는 성능과 전력을 보다 효율적으로 절충할 수 있다는 장점이 있다.

하지만, 구현 측면에서 이 방법 역시 데이터 송수신 과정의 빈도수 증가로 인한 소모 전력의 증가가 예상되며, 특히 다수의 중간 노드를 경유하면서 축적되는 오버헤드로 인해 추가 전력의 소비를 야기하게 된다. 결론적으로, Data Aggregation 및 Multi-Hop 기법을 적용하기 위해서는 시스템에 요구되는 성능, 송수신 노드 간의 거리,

데이터 처리량 수준 등을 고려하여 선택하는 것이 바람직하다.

4. 다원접속 방식

저전력화를 위한 효율적인 다원접속 방식에 대해, 본 논문에서는 일반적인 TDMA(Time Division Multiple Access) 및 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 방식을 기반으로 주파수 대역폭 및 시간 슬롯에 따른 소모 전력의 분석을 통한 해결책들을 살펴보고자 한다. 〈그림 10〉에서 알 수 있듯이, TDMA 방식에서는 사용자마다 할당된 고유의 시간 슬롯을 통해 다원접속이 수행되지만 하나의 주파수 대역폭을 모든 사용자가 공유하게 되고, 반면에 FDMA 방식에서는 사용자들이 각기 다른 주파수 대역폭을 가지고 다원접속을 수행하지만 특정 시간에 모든 사용자의 신호가 동시에 존재하게 된다. 따라서, 송신단 측면에서 고려해보면 TDMA 방식이 FDMA 방식보다 전체 전송 시간에 있어서 훨씬 짧기 때문에 소모 전력은 작은 반면, 수신단에서는 TDMA 방식의 경우 분할된 시간 슬롯의 정확한 동기화를 위해 상당한 전력 소모가 예상



〈그림 10〉 일반적인 FDMA와 TDMA 및 하이브리드 형태의 다원접속 방식 비교<sup>[8]</sup>

된다<sup>[3]</sup>. 그러므로, 효율적인 저전력화를 위해서는 시스템에 요구되는 기술 사양 및 주파수 대역 등과 더불어 송수신단 특성까지 고려하여 <그림 10>에서처럼 두 가지 방식을 적절히 결합한 하이브리드 형태의 다윈접속 방식이 요구된다<sup>[3]</sup>.

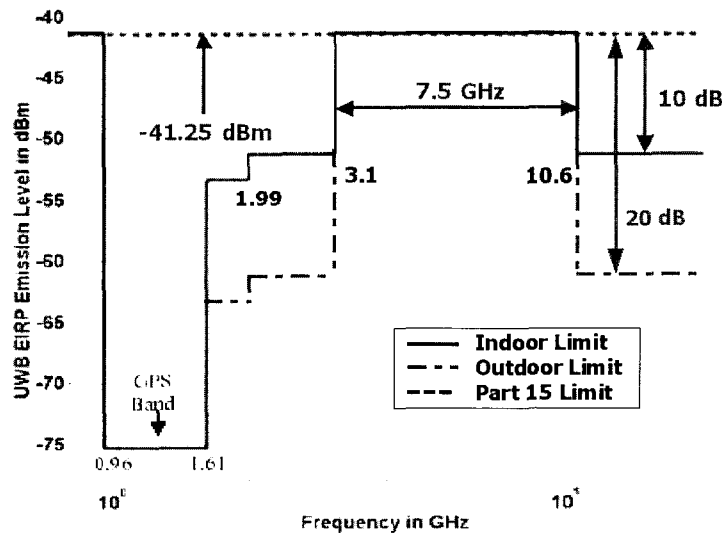
### III. 초저전력 UWB 무선통신 기술

최근 미국 FCC(Federal Communication Commission)의 상업화 승인이 있는 후로부터 UWB에 대한 연구와 개발은 새로운 전기를 맞고 있다. 100Mbps 이상의 초고속 W-PAN의 표준화 그룹인 IEEE 802.15 TG3a를 중심으로 유수의 관련 회사들은 WiMedia 콘소시엄 결성, UWB 칩셋 제작 및 기술 특허 출원, 물리계층 제안서 제출 등 최근의 급격한 추세에 발빠르게 대응하고 있는 상황이다. 이와 함께 최근 들어 위치추적 관련 기능을 수반하는 저가의 저속 저전력 W-PAN의 물리계층을 위해 UWB를 적용하는 방안을 연구하기 위해 IEEE 802.15 SG4a가 발족되었다. 따라서 본 절에서는 향후 유비쿼터스 네트워크의 구현에 필수적인 초저전력 무선

전송 방식으로 각광받고 있는 UWB 연구 활동에 대해 기술하고자 한다.

#### 1. UWB의 특성

UWB는 연속적인 정현파를 사용하는 기존의 무선통신 시스템과는 달리 초단시간 펄스의 사용으로 인해 초광대역을 점유하면서도 단속적으로 데이터를 전송할 수 있는 독특한 특성을 갖는 초저전력 무선통신 기술이다. 지난 1988년에 Time Domain사에서 미국 FCC에 최초로 UWB 기술의 도입을 요청하였고, 이에 FCC에서는 1998년 9월 Notice of Inquiry, 2000년 5월 Notice of Proposed Rule Making을 거쳐, 마침내 2002년 2월 UWB를 위한 첫번째 Report & Order를 발표하게 되었다<sup>[7]</sup>. 여기에는 UWB 방사 지침, GPS(Global Positioning System)와 연방 항법 시스템 등과 같은 민감한 통신 장비에 대한 보호, 기존 무선통신에 간섭을 제공하지 않는 수준에서의 UWB 기술 허가에 관한 조항이 제시되어 있다. 이를 바탕으로 FCC에서 규정한 주파수 대역 제한 수준은 각각의 응용 분야마다 차이가 있지만, 무선통신 분야에 초점을 맞추어 보면 <그림 11>에서와 같이 3.1GHz~10.6GHz에 이르는 총 7.5GHz의 매우 방대한



<그림 11> 무선통신 분야를 위해 FCC에서 규정한 주파수 대역 제한 및 방사 제한<sup>[7]</sup>



대역폭 제한과 더불어  $-41.25 \text{ dBm/MHz}$ 라는 매우 낮은 방사 제한을 두고 있음을 알 수 있다<sup>[7]</sup>. 참고로, UWB에 대한 스펙트럼 마스크 방사 제한값은 FCC의 Part 15 규정에서 정한 비의도적 방사 기기(Unintentional Radiator)에 대한 값과 동일하다(다만 이 경우는 UWB와는 달리 단위 MHz 당 값이 아니라는 차이가 있다). 한편, 2003년 1월에 초고속 W-PAN을 위한 UWB 기술의 본격적인 표준화 작업을 위해 발족된 IEEE 802. 15 Alternate Task Group 3a, 즉 TG3a에서는 유수 관련 업체들의 참여를 통해 UWB 기반으로 10미터 이내에서 110 Mbps~480 Mbps급 초고속 데이터 전송을 위한 물리계층 결정을 위해 활발히 연구 중에 있으며, 세부적으로는 기존의 IEEE 802 무선통신 시스템들과의 공존 문제, 다중경로 환경에서의 강인성, 여러 응용 분야를 위한 연구 등을 다루고 있다.

FCC에 의한 UWB의 정의는 두 가지로 분류될 수 있는데, 첫번째는 다음 조건을 만족하는 시스템으로서 정의된다<sup>[7]</sup>.

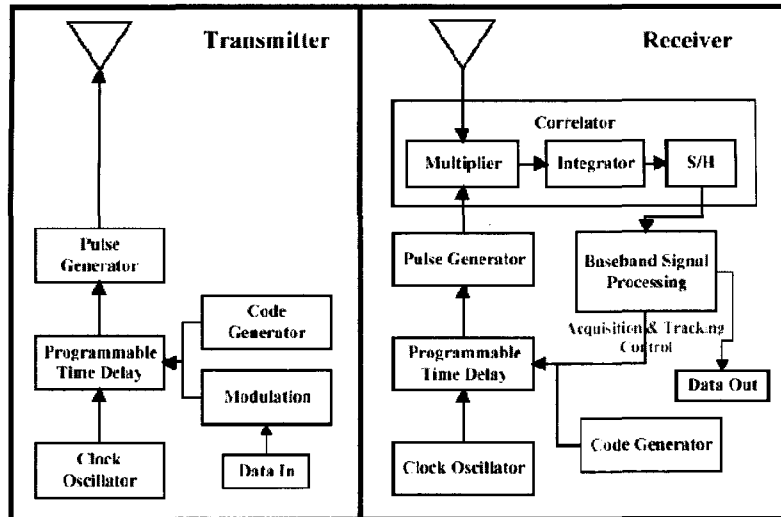
$$\text{Fractional Bandwidth} \\ \equiv \frac{f_u - f_l}{(f_u + f_l)/2} \geq 0.2 \quad (5)$$

$f_u$ : Upper 10dB down point  
 $f_l$ : Lower 10dB down point  
 $f_u - f_l$ : -10dB BW  
 $(f_u + f_l)/2$ : Center frequency

두번째는 위 식에서의 Fractional Bandwidth와 관계없이 절대적인 대역폭인  $(f_u - f_l)$ 이 500 MHz 이상인 시스템으로 정의된다. 따라서, UWB 시스템은 수백 MHz~수 GHz의 대역에 걸쳐 스펙트럼이 존재하므로 기존의 무선통신 시스템과의 공존이 불가피하지만, 매우 낮은 전력의 초광대역 특성 때문에 큰 간섭이 없을 것으로 예상되고 있다. UWB 시스템은 초광대역 특성으로 초저전력의 사용에도 불구하고 블루투스(Bluetooth) 및 기존의 IEEE 802.11 계열 Wire-

less Local Area Network(W-LAN) 등의 시스템보다 높은 데이터 전송율을 지원할 수 있다는 장점을 갖는다. 게다가, 임펄스 라디오(Impulse Radio) 시스템<sup>[8]</sup>의 경우에는 다중경로에 대한 세밀한 분해가 가능해지므로 센티미터 단위의 정밀도를 지원하는 위치추적, Ranging, Imaging 등의 특수 응용 분야를 포함하여 센서 네트워크를 비롯한 저가의 저전력 유비쿼터스 통신에도 충분히 적용 가능하다. <그림 12>는 펄스 위치변조(Pulse Position Modulation; PPM) 기반의 시간 도약 다원접속 임펄스 라디오 UWB 시스템의 송신신기 구조를 도시하고 있는데, 일반적으로 송신단에서는 nano second 단위의 매우 좁은 폭을 갖는 가우시안 모노사이클 펄스(Gaussian Monocycle Pulse) 혹은 임펄스를 PPM과 시간 도약 시퀀스 기반의 다원접속 방식을 통해 단속적으로 전송하고, 수신된 신호는 상관기(Correlator)를 거쳐 복조된다<sup>[8]</sup>.

먼저 송신기의 경우, 회로 레벨 측면에서는 Mixer 등을 포함한 RF(Radio Frequency)와 IF(Intermediate Frequency) 단의 생략으로 인해 시스템 구현을 위한 회로 구성이 기존의 통신 시스템에 비해 매우 간단해지므로 전력 소모를 줄일 수 있게 되고, 시스템 레벨 측면에서도 앞서 살펴본 바와 같이 FCC에 의한 UWB 방사 전력 제한 수준 자체가 매우 낮기 때문에 전송 전력 이득을 증대시킬 수 있다. 이와 더불어 수신기의 경우, 아날로그단에서는 LNA(Low Noise Amplifier)의 생략 등으로 전력 이득을 얻을 수 있으며, 디지털 모듈에서는 GHz 단위의 RF가 아닌 데이터 심벌 전송율에 의해 회로가 동작하게 되므로 시스템 복잡도 측면에서 훨씬 간단하게 되어 소모 전력을 크게 감소시킬 수 있다. 따라서, 이러한 이유들 때문에 UWB 기술은 기존의 무선통신 기술과는 달리 시스템 및 회로 레벨에서의 병행적인 저전력화를, 두 사안의 절충으로 인한 손해를 최소화하면서 보다 효율적으로 완성시킬 수 있다는 장점을 갖는다.



〈그림 12〉 PPM 기반 시간 도약 다원접속 임펄스 라디오 UWB 시스템 송수신기 구조<sup>[8]</sup>

## 2. 저전력 저속 W-PAN 및 UWB 기술

저속 W-PAN을 위한 기술인 Zigbee는 낮은 데이터 전송을 기반의 가정 자동화 및 무선 데이터 네트워크 실현에 요구되는 무선통신 기술이다. 이러한 Zigbee 기술의 표준화를 위해 지난 2000년 12월에 창설된 IEEE 802.15 Task Group 4, 즉 TG4에서는 저속 W-PAN을 위한 PHY 및 MAC의 표준화를 진행하고 있고, 관련 산업계 콘소시엄인 Zigbee Alliance에서는 PHY 및 MAC을 비롯해서 데이터 링크 계층, 네트워크계층, 응용 계층까지의 표준화에 박차를 가하고 있다<sup>[9]</sup>. 한편, Zigbee를 위한 최초의 기술 표준인 IEEE 802.15.4는 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 통한 높은 신뢰성, 오류 제어 능력, 우선 순위에 따른 통신, 직접시퀀스 대역 확산 기술 사용, 간섭 방지를 위한 사용 주파수 변환, 사용자에게 의한 보안 수준 결정 등을 제공하는 강력한 패킷 데이터 프로토콜을 제시하고 있다<sup>[9]</sup>. Zigbee는 가정 또는 사무실의 조명, 보안 등을 무선으로 제어할 수 있는 효율적인 네트워크를 구축하기 위한 핵심 기술로 고려되고 연결 기기들의 전력 소모가 적은 것이 특징이며, 휴대전화, 노트북 등을 1 Mbps의 속도로 연결시켜 주는 기존 블루투스의 저속 및 보급형 버전이라

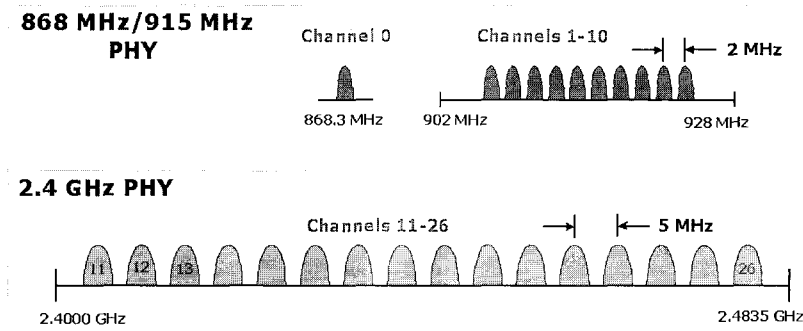
고 말할 수 있다. 이러한 Zigbee를 위한 불리계층은 Dual PHY 형태로서, 사용하는 주파수 대역은 무선 전화, IEEE 802.11b, 전자레인지 등의 동작 대역과 같은 2.4GHz ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역, 그리고 868MHz 및 915MHz 대역을 점유하고 있다. 또한, 하나의 무선 네트워크에 최대 255대의 Zigbee 기기를 연결할 수 있으며, 저전송을 단점을 극복하기 위해 전력 소모를 최소화하도록 설계되고 있다. 〈표 1〉은 Zigbee 기술 표준인 IEEE 802.15.4의 Dual PHY 특징 비교를 제시하며, 〈그림 13〉에서는 Dual PHY를 위한 주파수 채널의 형태를 비교하고 있다<sup>[9]</sup>.

현재 이미 많은 휴대전화 및 부품 업체들이 Zigbee의 저전력, 저비용 특성에 주목하여 이 기술의 채택을 적극적으로 검토하고 있으며, 또한 전자 부품 업체들도 Zigbee 모듈 개발에 힘쓰고 있다. 특히 근거리 핵심 전송 기술인 Zigbee 기술은 자동 제어 뿐만 아니라 무선 센서 네트워크를 구성할 수 있는 기술로 부각되고 있어 향후 유비쿼터스 시대를 대비하는 저전력 핵심 기술로 관심을 모으고 있다.

한편, 저속 Zigbee 표준을 기반으로 향후 유비쿼터스 네트워크 구축에 필수적인 위치추적 관련

〈표 1〉 Zigbee 기술 표준인 IEEE 802.15.4의 Dual PHY 특징 비교<sup>[9]</sup>

PHY	Frequency Band	Spreading Parameters		Data Parameters		
		Chip Rate	Modulation	Bit Rate	Symbol Rate	Symbols
868/915 MHz PHY	868-868.6 MHz	300 kcps	BPSK	20 kbps	20 ksps	Binary
	902-928 MHz	600 kcps	BPSK	40 kbps	40 ksps	Binary
2.4GHz PHY	2.4-2.4835 GHz	2.0 Mcps	OQPSK	250 kbps	62.5 ksps	16-ary Orthogonal

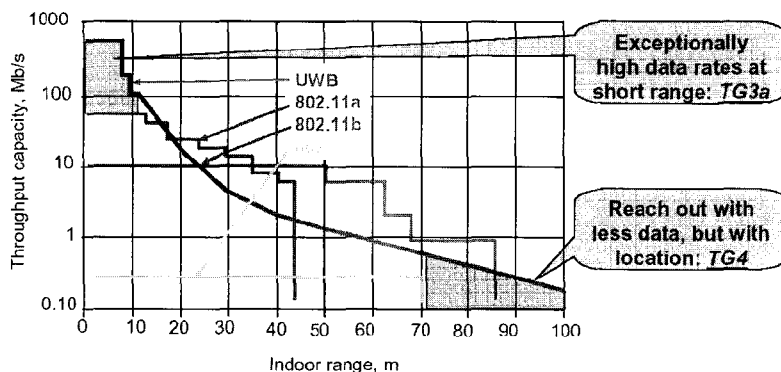


〈그림 13〉 IEEE 802.15.4의 Dual PHY를 위한 주파수 채널 형태 비교<sup>[9]</sup>

기능을 수반하는 저가의 저전력 물리계층의 결정을 위해, 지난 2003년 3월 IEEE 802.15 Alternate Study Group 4a, 즉 SG4a가 창설되었다<sup>[10]</sup>. 동 그룹에서는 추가적으로 데이터 전송율 및 적용 가능 거리의 유통성까지 고려하여 기존 Zigbee 기술보다 새로운 핵심적인 응용 분야 개발 및 관련 시장에서의 높은 선점 가능성을 예상하고 있으며, 이를 위해 기대하는 응용 분야의 범주는 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 스마트 태그, 스마트 홈, 위치추적, 인명 구조 등의 위치추적 분야
- 원격 센서 및 위치 인식 장치 등을 기반으로 하는 각종 제어 분야
- 신체 관리 모니터링 및 의료진 위치 파악 등을 요구하는 의료 관련 분야

앞서 언급한 바와 같이 IEEE 802.15 SG4a에서 기존의 Zigbee 기술 표준과 차별적으로 추



〈그림 14〉 데이터 처리량과 적용 가능 거리의 질충 관계에 따른 UWB 특성 비교<sup>[10]</sup>

〈표 2〉 UWB의 초저전력 특성 분석을 위한 Link Budget 예시<sup>[10]</sup>

Parameter	Value	Unit
Throughput (Rb)	100	kbps
Average Transmit Power	-14.3	dBm
Tx antenna gain (Gt)	0.0	dB
Geometric center frequency Fc	4.0	GHz
Path loss at 1 meter ( $L1=20\log(4\pi Fc/c)$ )	44.5	dB
Path loss at 10 meters ( $L2=20\log(10)$ )	20.0	dB
Rx antenna gain (Gr)	-3.0	dBi
Rx power at 10m ( $Pr=Pt+Gt+Gr-L1-L2$ )	-81.7	dBm
Average noise power per bit ( $N=-174+10\log(Rb)$ )	-124.0	dBm
Rx Noise Figure Referred to the Antenna Terminal (Nf)	15.0	dB
Average noise power per bit ( $Pr-N+Nf$ )	-109.0	dBm
Minimum Eb/No (S)	3.6	dB
Implementation Loss(I)	3.0	dB
No of Bands	1	
Chip Rate	2	MHz
Processing gain (PG)	10	dB
3 dB Bandwidth per band	0.50	GHz
Bits per symbol	1.0	
Raw Bit rate	200.0	kbps
Code rate	0.5	
Pulse Tx power (Pt)	9.7	dBm
Antenna Impedance	50.0	ohm
Transmit p-p voltage at PA	1.9	Volt
<b>Link Margin at 10 m (<math>M=Pr-Pn-S-I+PG</math>)</b>	<b>30.7</b>	<b>dB</b>

구하는 가장 두드러진 핵심 요소가 위치 예측 기능과 저전력 특성이므로, 최근 이에 부합하는 가장 유력한 후보 기술로 UWB가 거론되고 있는 상황이다<sup>[10]</sup>. UWB 기술은 〈그림 14〉에서 보는 바와 같이, 시스템 성능에 있어서 데이터 처리량과 적용 가능 거리가 서로 절충 관계에 있기 때문에, IEEE 802.15 TG3a에서 요구하는 근거리 초고속 데이터 전송과 더불어 상대적으로 원거리의 저속 데이터 전송을 요구하는 IEEE 802.15 TG4 및 위치 예측 기능 수반의 저전력 특성을 추구하는 IEEE 802.15 SG4a에도 적절하다는 장점을 갖는다<sup>[10]</sup>.

〈표 2〉에서는 이러한 UWB의 초저전력 특성을 분석하기 위해 IEEE 802.15 SG4a에서 참고로 한 Link Budget 계산의 한 예를 제시하고 있는데, 500 MHz의 대역폭, 2 MHz의 칩 전송율을 가정할 경우 10미터의 송수신 거리에서 약 30 dB에 해당하는 우수한 전력 이득을 얻게 될 수 있다<sup>[10]</sup>. 특히, 표에서 평균 송신 전력인 -14.3 dBm을 환산하면 38  $\mu$ W가 되고 한

비트당 10개의 칩을 반복 전송하므로, 비트당 소모되는 에너지는 약 0.38 nJ에 해당하는 소량이 된다<sup>[10]</sup>.

#### IV. 결 론

지금까지 향후 유비쿼터스 네트워크의 효율적인 구축을 위해 요구되는 무선통신 시스템 저전력화에 대해, 기존 제반 기술의 개선 방안 및 초저전력 UWB 기술 소개에 초점을 맞추어 살펴 보았다. 결론적으로, 효율적인 저전력화를 위해서는 시스템뿐만 아니라 회로 레벨까지 병행적으로 고려하는 것이 필수적이며, 어느 방법을 선택하든지 간에 시스템에 요구되는 다른 기술 사양들과의 적절한 절충점을 모색하여 시스템을 설계하는 것이 중요할 것이다. 더불어, 초저전력 특성으로 최근 각광받고 있는 UWB 기술에 대한 보다 적극적인 연구 개발과 함께 위치추적 등을 비롯하여 UWB 기술이 제공하는 유비쿼터스 네트워크에 적합한 다양한 장점을 최대한 수용하기 위한 노력이 필요할 것으로 여겨진다.

#### 감사의 글

본 논문은 2003년도 산업자원부 차세대신기술 개발사업의 연구비 지원 결과임.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이성국, "유비쿼터스 IT혁명과 우리의 대응책," 제7회 4세대 이동통신 포럼, 한국과학기술회관, 2003년 9월.
- [2] 이근호, "UWB: 유비쿼터스 무선의 핵심," UWB 통신시스템 및 응용기술 워크샵, 충북대학교, 2003년 7월.
- [3] A. Y. Wang, S. Cho, C. G. Sodini, and A. P. Chandrakasan, "Energy efficient modulation and MAC for asymmetric

RF microsensor systems," *Int'l Symp. Low Power Electronics & Design (ISLPED 2001)*, pp.106-111, Huntington Beach, USA, August 2001.

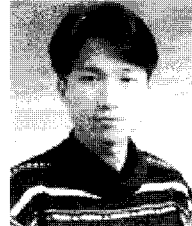
- [4] C. Schurgers, O. Aberthorne, and M. B. Srivastava, "Modulation scaling for energy aware communication systems," *Int'l Symp. Low Power Electronics & Design (ISLPED 2001)*, pp. 96-99, Huntington Beach, USA, August 2001.
- [5] R. Min, "Energy and quality scalable wireless communication," Ph. D. Dissertation, Dept. of Electrical Eng. & Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, May 2003.
- [6] R. Min and A. Chandrakasa, "A framework for energy-scalable communication in high-density wireless networks," *Int'l Symp. Low Power Electronics & Design (ISLPED 2002)*, pp. 36-41, Monterey, USA, August 2002.
- [7] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission," ET Docket 98-153, April 2002.
- [8] P. Withington, "Impulse radio overview," available at <http://www.time-domain.com>
- [9] P. Kinney, "IEEE 802.15.4 tutorial," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [10] R. Aiello, J. Ellis, U. Kareev, K. Siwiak, L. Taylor, "Understanding UWB-Principles & implications for low-power communications," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/SG4a.html>

## 저자 소개



### 양석철

2002년 2월 숭실대학교 정보통신 전자공학부 졸업 (학사), 2002년 3월~현재: 숭실대학교 정보통신 전자공학부 (석사과정), <주관심 분야: UWB 전송시스템>



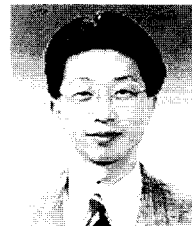
### 최성수

1996년 2월 경원대학교 전자공학과 졸업 (학사), 1998년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (석사), 2002년 9월~2002년 12월: University of Minnesota, Department of EECS Pre-Doctoral Assistant, 2003년 2: 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (박사), 2003년 2월~현재: 한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹 선임연구원, <주관심 분야: 저전력 초고속 유무선 통신 시스템, 오류정정부호화기 설계, SoC 설계>



### 오휘명

1998년 연세대학교 전기공학과 졸업 (학사), 2000년 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (석사), 2000년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 (박사과정), 2001년~현재: 한국전기연구원 연구원, <주관심 분야: UWB 전송시스템>



### 신요안

1987년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사), 1989년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업 (석사), 1992년 12월 University of Texas at Austin 전기및컴퓨터공학과 졸업 (박사), 1992년 12월~1994년 7월: 오스틴 소재 MCC(Microelectronics & Computer Technology Corp.) 연구원 Member of Technical Staff, 1994년 9월~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수, <주관심 분야: UWB 전송시스템, CDMA 및 OFDM 모뎀, MIMO 시공간 신호처리>