# UWB 측위 기술 소개 및 기술 동향

이창은, 성태경*
한국전자통신연구원, 충남대학교*

## 요 약

본고에서는 최근 새로이 각광받고 있는 UWB 기술을 소개한다. IR-UWB 측위 관련 국내 및 해외 동향을 살펴보고, IR-UWB 표준에 의거하여 IR-UWB 신호 및 프레임 구조, 계층 구조 등에 대하여 서술하였다. 그리고 IR-UWB를 이용하여 고정밀 거리추정 및 위치추정을 하는 연구 동향에 대하여 살펴보았으며, 마지막으로 기술 동향을 정리하여 IR-UWB 관련 회사의 제품을 소개하였다.

## Ⅰ. 서 론

UWB(Ultra WideBand) 시스템은 500MHz이상의 대역폭을 사용한 무선통신 혹은 비대역폭(중심 주파수에 대응하는 대역폭)이 20% 이상인 시스템을 말한다[1]. 넓은 대역폭을 사용하게 되면 해상도가 높아져 다중경로에 의한 신호에 대한 판단이 가능해지며, 채널 페이딩의 영향을 적게 받아 데시미터급 무선 측위가 가능해진다. 관련 표준인 IEEE 802.15.4a는 기존 15.4의 실제 필드에서 제시한 문제점인 보다 정확한 거리 측정, 통신 범위의 안정성, 다중경로의 영향 고려, 기타 다른 무선통신으로부터의 영향 고려, 이동성 강화 등을 해결하기 위한 표준이다[2]. Task Group 4h에 의하여 제정된 표준에 의하면 CSS-UWB (Chirp Spread Spectrum) 및 IR-UWB (Impulse Radio UWB) 두 가지의 PHY에 대하여 설명하고 있다[3][4]. 이 중 IR-UWB 신호는 3~10GHz 대역에 -41dBm/MHz로 신호를 방사하는 저전력 광대역 신호이다[5].

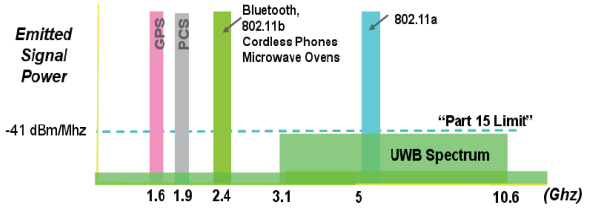


그림 1. UWB 신호

한국전자통신연구원에서는 2008년 IR-UWB 모뎀/MAC칩 및 RF칩의 2칩화에 성공했으며[6], 이를 이용하여 IR-UWB IRPS 시스템을 개발하여 ranging을 수행하였다.

< ETRI IRPS 시스템 규격 >

| | |
|---|---|
| 사용주파수 | 3494.4, 3993.6, 4492.8MHz |
| 채널 대역폭 | 499.2MHz |
| 변조방식 | BPM+BPSK |
| UWB 펄스 | 499.2MHz BW의 RRC |
| 프리앰블 길이 | 64 |
| 전송속도 | 0.85Mbps |
| Chip rate | 499.2MHz |
| 채널 코딩 | RS 코드, 길쌈 코드 |
| 확산 이득 | 12dB |
| 지원 SOP수 | 6 |
| 수신기 방식 | Coherent |
| 대상 규격 | IEEE 802.15.4a |
| ASIC 공정 | TSMC CMOS 0.13um RF/Mixed-signal 1P8M |

그림 2. IR-UWB IRPS 시스템 사양

이러한 IR-UWB 단일칩화는 Time Domain을 시작으로 아일랜드의 Decawave, 프랑스의 BeSpoon 등에서 성공하여 현재 상용화 단계에 이르렀으며, 최근에 들어서 대중적인 기술이 되었다. 본 고에서는 최근에 다시 주목받고 있는 UWB를 활용한 실내측위 기술에 대해 정리하였다.

## Ⅱ. UWB 기술

표준에 의하면 IR(impulse radio)-UWB는 임펄스 신호를 이용하여 신호의 광대역화를 달성하는 방법이며, BPM(burst position modulation)-BPSK 기법을 이용한다. IR-UWB의 경우 임펄스 신호를 생성하여 신호의 광대역화를 실현하며, 신호의 폭이 매우 좁은 것이 특징이다. 다중경로 신호가 들어오더라도, 높은 해상도로 인하여 이는 직접 경로로부터의 신호와 분리가 가능하다[7]. 이러한 IR-UWB 신호는 Ternary code를 이용하여 변조된다.

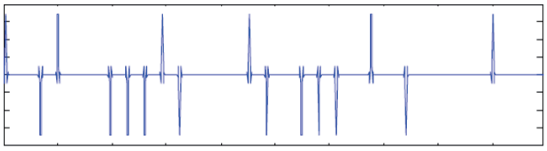

그림 3. IR-UWB 변조 신호

UWB PHY의 송신부는 동기(coherent) 수신과 비동기(non-coherent) 수신을 모두 지원할 수 있도록 BPM-BPSK로 변조되어 있고, burst hopping을 하는 이유는 UWB Pulse가 일정한 주파수를 갖지 않도록 하기 위함이다.

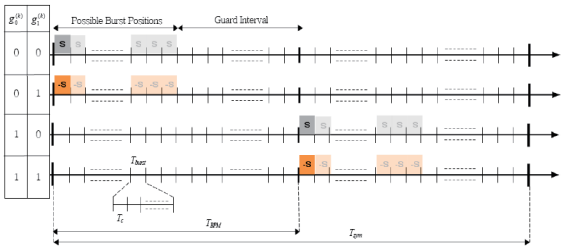


그림 4. BPM-BPSK 구조

표준에 의하면 Ranging 단말은 PHY, MAC, 그리고 상위 계층으로 이루어져 있으며 각각의 계층들은 동일 단의 계층들과만 통신하도록 구성되어 있다. 이들 상호간의 통신을 위하여 프리미티브 (서비스라고도 함)가 사용된다. 프리미티브는 수행되어야 할 행동을 명세하거나 이전 행동의 결과를 보고하는 역할을 한다.

PHY 계층의 프리미티브는 PHY 데이터 서비스 및 PHY 관리 서비스로 나뉘어진다. PHY 데이터 서비스는 PD-SAP (PHY data service access point)를 통하여 이루어지고 PHY 관리 서비스는 PLME-SAP (PHY layer management entity service access point)에서 이루어지며 PPDU (PHY protocol data unit)의 송수신을 담당한다. MAC 계층의 프리미티브는 같은 방식으로 MCPS-SAP(the MAC sublayer management entity service access point)과 MLME-SAP(the MAC sublayer management entity service access point)로 이루어진다. ranging을 수행하기 위하여 프리미티브를 통해 프로토콜 계층간을 오고가는 데이터에는 4가지 종류가 있다. request는 PHY 계층에 이 요청을 하고 confirm은 MAC 계층에 요청이 처리되었다고 알려준다. indication은 MAC 계층에 이벤트가 일어났음을 알려주고 response는 응답이 필요할 시에 생성된다.

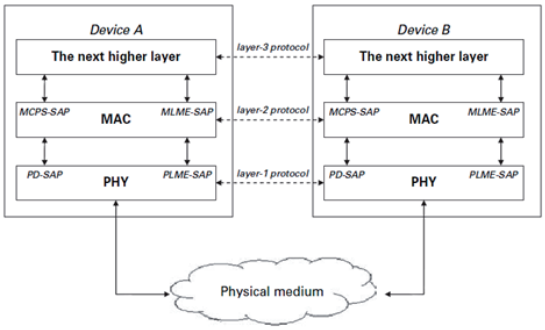


그림 5. IR-UWB ranging 프로토콜의 구조

ranging 프로토콜을 설계하는 기준에는 동기화 여부, 채널 용량, 전력 효율, ranging을 수행하기 위한 크리스탈의 정밀도, ranging 측정치 출력률 등이 있다. 짧은 프레임을 사용하면 높은 에너지 효율을 달성할 수 있으나, SNR을 개선하기 위한 충분한 처리 이득을 얻기 힘들다. 그리고 ranging 주기를 짧게 하면 채널 점유율이 짧아지나 크리스탈의 부정확함으로 인한 ranging 오차를 경감시키기 위한 기법과 trade-off 관계가 있다[2].

모든 IEEE 802.15.4a 패킷은 SHR (Synchronization header) 프리앰블, SFD(Strat Frame Delimeter), PHR (physical layer header) 그리고 데이터 필드로 구성된다. SHR 프리앰블은 ranging 프리앰블 및 SFD로 구성된다.

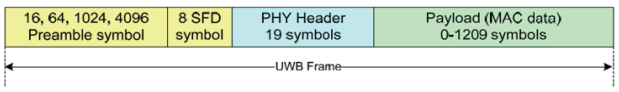


그림 6. IEEE 802.15.4a의 패킷 구조

ranging 프리앰블은 신호 획득 및 채널 사운딩, 그리고 leading edge 검출에 사용된다. 프리앰블 동안 획득을 하게 되면, 수신기는 패킷의 프리앰블을 수신하였음을 인지한다. 그렇지만, 수신기는 아직 어디가 프리앰블의 끝인지 알지 못한다. 이 때 SFD는 프리앰블의 마지막 및 PHY 서비스 데이터 유닛(PSDU; PHY Service Data Unit)의 시작을 알려준다. PHR은 SHR 다음에 전송되며 데이터율과 프레임 길이 정보를 포함하고 있다. 마지막으로, 데이터 필드는 통신 데이터를 전달하는 부분이다. 프리앰블은 신호 획득, 채널 사운딩, 그리고 leading edge 검출의 역할을 수행하며, SFD는 프레임 동기화 및 ranging 카운터 관리의 역할을 한다.

단말은 자신의 위치를 알고 있는 앵커와 앵커들과 측정한 측정치를 이용하여 자신의 위치를 구하는 태그로 나뉘어지며, 이

앵커와 태그 모드는 전환될 수 있다[8]. 또한, 경우에 따라서 측위 서버와 연결되는 베이스 스테이션을 따로 두는 경우도 있다[9]. 측정치는 클럭 바이어스를 포함하고 있어 TDOA(Time Difference of Arrival)을 수행하는 OWR(One-way ranging) 측정치 및 RTT(Rount Trip Delay)를 측정하여 클럭 바이어스를 포함하지 않는 TWR(Two-way ranging) 측정치로 나뉘어 진다[7].

One-way ranging 측정치는 단말 A가 단말 B에 메시지를 전송(혹은 broadcasting)하면 단말 B는 이를 측정하여 측위에 사용하는 것이다. 이 때, 두 단말에 공급되는 클럭은 같거나 클럭 오프셋을 보상할 수 있어야 한다. 유선 OWR 시스템의 경우 단말 간에 공통의 클럭을 공유하기 때문에 클럭 오프셋은 존재하지 않으며 위상 차이만 존재하게 된다[10]. 한편, 무선 OWR 시스템의 경우 단말이 각각의 클럭을 가지고 있기 때문에 이에 대한 보상이 필요하며 이에 대한 연구가 진행되었다[11][12].

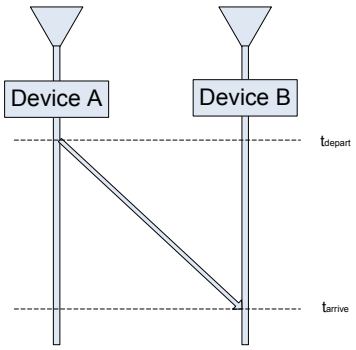


그림 7. OWR 측위 절차

한편, Two-way ranging 측정치는 단말 A가 단말 B에 메시지를 보내고, 이때의 단말 B가 다시 단말 A에게 메시지를 보내는 방식이다.

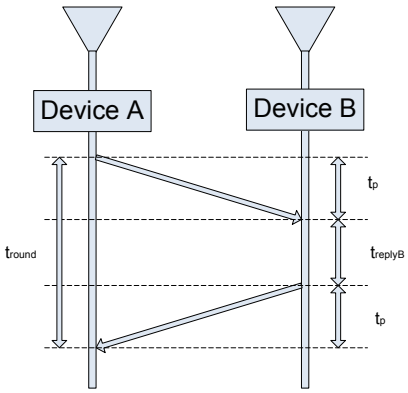


그림 8. TWR 측위 절차

TWR과정에서 단말 A가 단말 B에 신호를 개시했을 때부터 단말 A가 단말 B로부터 신호를 수신한 시간과 단말 B가 단말 A로부터 신호를 수신했을 때부터 단말 B가 단말 A에게 신호를 송신할 때까지의 시간의 차이는 단말 A에서 B로, 또 단말 B에서 A로의 시간이므로 이를 RTT라고 하며 반으로 나누어 광속을 곱하면 이동시간이 된다. 이 때, 단말 A 및 단말 B가 TWR 측정치를 획득하는 시간은 짧아 단말 간 이동이 무시할 수 있다고 가정한다. 단순 TWR의 경우 두 단말 간의 클럭 오프셋에 의하여 오차가 발생하므로[13], 이를 경감시키기 위하여 SDS-TWR(Symmetric Double-Sided Two way ranging)[3], ADS-TWR(Asymeetric Double-Sided Two way ranging)[14], Compensated TWR 방식 등이 제안되었다[15].

TWR 방식의 경우, 태그가 3개 이상의 앵커들과 TWR 측정치를 획득해야 하므로 측정치 획득에 시간이 걸리는 문제가 있으나, 태그의 개시 메시지 이후에 여러 대의 앵커가 순차적으로 응답을 하는 구조를 사용하면 고속으로 TWR 측위가 가능하다[16].

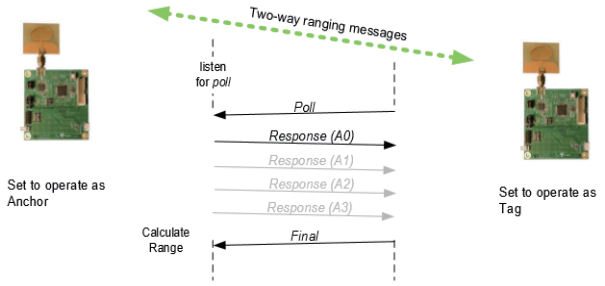


그림 9. 고속 TWR 측위 절차 (Decawave[17])

TDOA의 x와 y를 직접 도출하는 해는 Fang에 의하여 소개되었다[18]. TDOA 또한 선형화 기법을 사용하는 방법 및 측정치를 제곱하는 방법을 사용할 수 있다[19]. TOA 측정치가 2개, 3개인 경우에 x와 y를 직접 도출하는 해는 [7]에 소개되어 있으며, 측정치가 2개인 경우에는 측위 결과에 모호성이 발생한다. 그러나 측위 가능 영역을 제한하면 이러한 모호성을 제거할 수 있다. 측정치는 비선형성 특성이 있으므로 이를 선형화 기법을 써서 반복법을 사용하거나 측정치를 제곱하여 측위를 수행하는 방법이 있다[20]. 실제 구현 시에는 측정치를 제곱하는 경우 유효자리수 등의 문제로 인하여 주의를 기하여야 하고 z축의 경우 DOP(Dilution of Precision)이 좋지 않은 경우가 많으므로 z-Fixed로 계산을 하거나 고도계 정보를 융합하는 것이 바람직하다.

## Ⅲ. UWB 기술 동향

Wired지에 따르면, NFL(미국미식축구리그)는 2015년부터 Zebra Technologies의 Motionworks RFID 시스템을 도입하였으며 선수의 속도, 거리, 방향 정보를 Xbox One과 Windows 10에서 제공하고 있다[21]. BeSpoon은 2015년 8월 자사의 전용 칩과 측위 솔루션을 이용하여 운동 시의 선수와 공의 위치를 추적할 수 있는 Sport Tracking이라는 제품을 출시하여 프랑스 핸드볼 팀에서 선수들 트레이닝 시에 활용하고 있다[22].

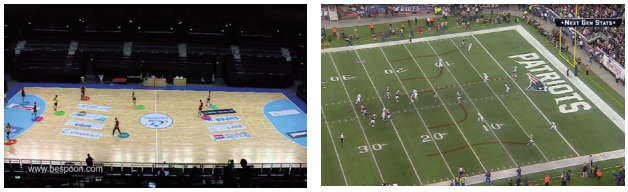


그림 10. Bespoon(좌), Zebra(우)의 운동추적솔루션

Decawave는 DW1000칩, DWM1000모듈, EVK1000, TREK1000 평가 키트를 출시하였으며, 통신범위는 290m의 범위까지, 10cm의 정확도로 최대 5m/s (18km/h)이다[23].

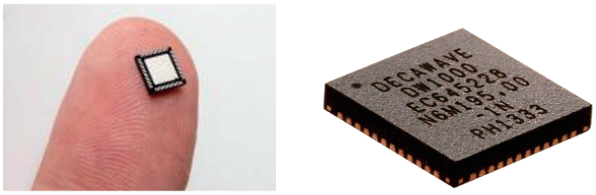


그림 11. Decawave사의 DW1000 모듈

Time Domain은 자사의 UWB 기술을 탑재한 PulsON OEM 모듈을 2015 Q3부터 생산하여 판매하고 있으며, P440의 경우 듀얼 안테나를 이용하여 ranging 기능 및 radar 기능도 수행이 가능하며 radar의 경우, 표준 준수 시 40cm를 투과할 수 있다[24].

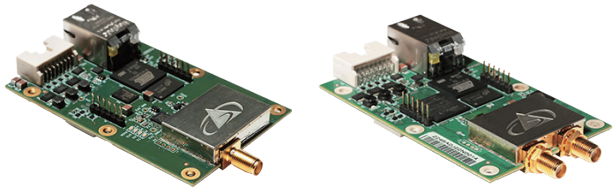

그림 12. Time Domain사의 PulsOn P330(좌) 및 PulsOn P440(우) 모듈

BeSpoon의 기술은 표준 모드에서 880m, Emergency 모드에서 3,641m의 ranging 거리를 달성하였으며[25], generic 펌웨어는 30cm의 정밀도로 최대 880m까지 ranging이 가능하다.

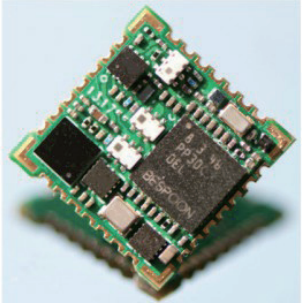

그림 13. BeSpoon사의 UPosition 모듈

OpenRTLS사는 Decawave사의 DW1000 모듈을 이용하여 one-way ranging 솔루션 및 개발 키트를 판매하며, 구매자는 태그 및 측위 서버에 대한 개발을 진행할 수 있다[26].

## Ⅳ. 결 론

본고에서 살펴본 바와 같이, 다양한 IR-UWB 관련 측위 기술이 개발되었고 운동선수의 위치 추적 등에 이미 활용이 되고 있는 것을 확인하였다. 칩셋의 저가격화, 관련 기술의 고도화와 더불어 IR-UWB 기술이 보다 대중화가 될 것이며 대한민국에서도 이러한 IR-UWB 기술 발전의 초기에 많은 연구를 수행하였으며 향후에도 연구를 지속하여 국제사회에 이바지할 것이다. IR-UWB가 일상생활 속에서 발견될 수 있기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

[1] Online article, http://www.fcc.gov/oet/info/rules
[2] Zafer Sahinoglu, Sinan Gezici, and Ismail Guvenc, "Ultra-wideband positioning systems," Cambridge, 2008
[3] IEEE Standard 802.15.4a-2007
[4] IEEE Standard 802.15.4-2011
[5] Manoj Joshi, "Ultra Wide Bandwidth," 2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC), 2010
[6] 와이즈인포, "WPAN 산업 백서 3. UWB," 2009. 9.

[7] Alan Bensky, "Wireless Positioning Technologies and Applications,"Altech house, 2008

[8] Chang-Eun Lee, Hyun-Ja Im, Jeong-Min Lim, Young-Jo Cho, and Tae-Kyung Sung, "Seamless Routing and Cooperative Localization of Multiple Mobile Robots for Search and Rescue Application, ETRI Journal Vol. 37, No. 2, Apr. 2015, pp. 262-272

[9] Muhammad Saqib and Chankil Lee, "Traffic control system using wireless sensor network,"2010 The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 7-10 Feb. 2010

[10] Swen Leugner, Mathias Pelka, and Horst Hellbrück, "Comparison of wired and wireless synchronization with clock drift compensation suited for U-TDoA localization,"13th Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC), 2016

[11] Yik-Chung Wu, Qasim Chaudhari and Erchin Serpedin, "Clock synchronization of wireless sensor networks,"IEEE Signal Processing Magazine, vol. 28, pp 124-138, Jan. 2011.

[12] Kyoung-Lae Noh, Qasim Mahmood Chaudhari, and Erchin Serpedin,"Novel Clock Phase Offset and Skew Estimation Using Two-Way Timing Message Exchanges for Wireless Sensor Networks,"IEEE Transactions on Communications, Volume: 55, Issue: 4, April 2007

[13] Aitzaz Ahmad, Davide Zennaro, and Erchin Serpedin,"Time-varying clock offset estimation in two-way timing message exchange in wireless sensor networks using factor graphs"IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2012

[14] Yi Jiang and Victor C.M. Leung, "An Asymmetric Double Sided Two-Way Ranging for Crystal Offset,"International Symposium on Signals, Systems and Electronics, 2007. ISSSE '07.

[15] Jiwon Park, Jeongmin Lim, Kyujin Lee, and Tae-kyung Sung, "A Two-Way Ranging WPAN Location System with Clock Offset Estimation," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2013) Vol. 19 No.2. pp 125-130 (in Korean)

[16] Hakyong Kim,"Double-sided two-way ranging algorithm to reduce ranging time,"IEEE Communications Letters Volume: 13, Issue: 7, July 2009

[17] Decawave Ltd, "Source Code Guide DECARANGERTLE ARM SOURCE CODE Version 2.1

[18] Bertrand T. Fang, "Simple Solutions for Hyperbolic and Related Position Fixes," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.26, No.5, 1990

[19] Y. T. Chan, and K. C. Ho, "A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 42, No.8, 1994

[20] A.H. Sayed, A. Tarighat and N. Khajehnouri,"Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information,"IEEE Signal Processing Magazine, Volume: 22, Issue: 4, July 2005

[21] "All NFL players are getting RFID chips this season, https://www.wired.com/2015/08/nfl-players-getting-rfid-chips-season/

[22] French Handball Team Trains With Wearable RFID Sensors, http://www.rfidjournal.com/articles/view?13492/

[23] Decawave homepage http://www.decawave.com/

[24] Time Domain homepagehttp://www.timedomain.com/

[25] BeSpoon and CEA-Leti establish world-record distance measurement on a single chip, http://electroiq.com/blog/2013/04/bespoon-and-cea-leti-establish-world-record-distance-measurement/

[26] OpenRTLS homepage, https://www.openrtls.com/

## 약 력

이 창 은

1996년 한양대 전자공학과 학사
1998년 동 대학원 전자공학과 석사
2012년 동 대학원 전자전파정보통신공학과 박사수료
2001년~현재 한국전자통신연구원
관심분야: 인공지능, 분산 및 협업 로봇 제어.

성 태 경

1984년 서울대 제어계측공학과
1986년 동 대학원 제어계측공학과 석사
1992년 동 대학원 제어계측공학과 박사
1997년~현재 충남대 정보통신공학과 교수
관심분야: GPS/ GNSS, 지상파 측위, UWB WPAN 측위, 위치인지 신호처리.