

임펄스 UWB 기술 기반 실시간 위치인식 시스템(RTLS) 응용 기술

박영진 | 이순우 | 강지명 | 강문경 | 김관호
한국전기연구원

요 약

본 논문에서는 극초단의 임펄스 초광대역 (IR-UWB) 기술을 이용한 실시간 위치 추적 및 위치 인식 응용에 대해 소개한다. 소개되는 임펄스 UWB 시스템은 임펄스 신호의 크기만을 검출하는 Noncoherent 방식을 사용하며, 무선측위 방법은 TDoA 방식을 사용하였다. IR-UWB를 이용한 실시간 위치인식용 태그 칩과 비콘 칩을 제작하여 실제 환경에서 시험하였고, 제안된 시스템은 우수한 무선측위 및 인식 성능을 나타내었다. 제안된 기술은 현재 제정 중에 있는 ISO/IEC 24730-6 (61) 표준의 주요 항목을 준용하고 있다.

전송시 기존의 반송파 신호를 사용한 시스템에 비해 매우 낮은 전력소모를 갖는다.

IR-UWB 시스템은 임펄스 신호의 검출 방법에 있어, 수신 임펄스의 크기와 위상을 사용하는 coherent 방식이 있다. 이 방식은 일반적으로 높은 사양의 ADC를 요구하고, 정밀한 time sampling이 요구되어, 수신기의 구조가 매우 복잡하고 전력 소모가 매우 커지는 단점이 있다. 이와는 달리, 다중 경로 페이딩을 거쳐 수신되는 임펄스 신호의 수신 크기만을 이용하는 Noncoherent 방식이 있다. 이 방식은 수신기의 구조가 매우 간단하게 설계될 수 있으나, 외부 협대역 잡음에 매우 취약한 단점이 있다.

1. 서 론

임펄스 초광대역 (Impulse Radio-based Ultra wideband : IR-UWB) 무선 기술은 수 나노초 (nano second, 10^{-9} sec) 이하의 시간 폭을 갖는 임펄스 신호를 사용하는 무선 기술이다 [1][2]. IR-UWB 무선 기술의 특징에는 여러 가지가 있으나, 주요한 특징으로 임펄스 신호의 우수한 시간 정밀성을 말할 수 있다.

이러한 우수한 시간 정밀성을 이용할 경우 다중 경로 페이딩이 있는 실내에서 수센티미터 이내의 정밀 위치 인식 또는 위치 추적 응용에 적용될 수 있다 [2-4]. 또한, 임펄스 신호를 이용할 경우 송신 듀티율이 0.1% 이하이기 때문에, 신호

한편, IR-UWB RTLS 시스템을 위한 무선 측위 방식으로는 ToA (Time of arrival), TDoA (time difference of arrival) 방식 등을 들 수 있다 [5][6]. ToA 방식은 임펄스 신호의 왕복 시간을 활용하는 것이다. 이 경우 송수신 모두 수신 임펄스의 정확한 타이밍을 검출해야 하는 어려움이 있다.

즉, 일반적인 실시간 위치 인식 시스템에서는 Tag의 저복잡, 저전력 특성을 요구하고 있으나, ToA 방식을 적용할 경우 Tag의 복잡도가 매우 증가하는 단점이 있다.

TDoA 방식은 단방향으로 주기적으로 신호를 전송하는 Tag가 있으며, Tag로부터 각 수신기에 전송된 임펄스 신호의 시간차를 측정하여 무선 측위를 수행한다. 이 경우 Tag는 매우 간단하고 저전력 소모가 가능하도록 설계가 가능하나, 수신 비콘 간의 타이밍 동기가 매우 중요하여, 비콘

설치에 단점이 있다.

이러한 IR-UWB 기술을 이용한 실시간 위치 인식 시스템의 상용화를 위하여, IEEE 802.15 TG4a 표준화 그룹에서는 IEEE 802.15.4a 국제 표준을 제정하였다 [7]. 또한, 최근 IEEE 802.15 TG4f 그룹에서는 Active RFID 적용을 위하여 초광대역 기술을 기반으로 한 IEEE 802.15.4f 표준을 마련하였다 [8].

특히, 국제 표준화 기구인 ISO에서도 실시간 위치인식 시스템 (RTLS) 기술에 대한 ISO 표준을 제정하기 위하여 ISO/IEC JTC1/SC31/WG5 그룹이 만들어졌으며, UWB 기술을 이용한 RTLS는 ISO/IEC WD 24730-6 (61, 62)으로 표준문서를 나누어 표준안 작성을 진행하고 있다 [9].

IEEE 802.15.4f와 ISO/IEC WD 24730-6의 기본적인 공통점은 다음과 같다.

- 1MHz/2MHz pulse repetition frequency (PRF)
- On-off-keying(OOK) modulation
- Three symbol mapping mode
 - Base mode : one chip per symbol
 - Enhanced mode : 4 chips per symbol
 - Long range mode : 64 chips per symbol
- Three frequency bands
 - Band no.1 : 중심주파수 $f_c=6489.6$ MHz
 - Band No.2 : 중심주파수 $f_c=6988.8$ MHz
 - Band No.3 : 중심주파수 $f_c=7987.2$ MHz

본 논문에서는 이러한 국제 표준들 중에서, 저전력 RTLS 응용을 목적으로 표준화 제정이 진행되고 있는 ISO/IEC 24730-6의 주요한 항목을 준용하여 제작된 IR-UWB RTLS 시스템을 소개하고, 실제 시연 결과를 통하여 실내 공간에서의 IR-UWB RTLS의 우수한 특성을 제시하고자 한다.

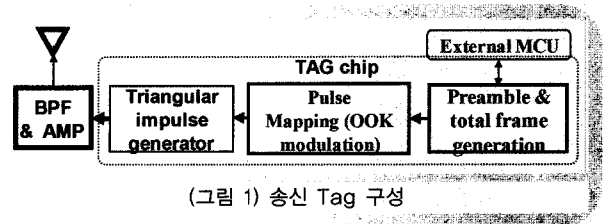
소개될 시스템은 송수신부의 복잡도를 낮추고, Tag의 전력소모를 최소화 하기 위하여 Noncoherent 방식의 임펄스 검출 방식을 사용하고, 비콘간의 동기를 기반으로 한 TDoA 방식의 무선측위 방식을 적용하였다.

II. 본론

1. 송신부 구성

(그림 1)에는 송신부의 구성을 나타내었다. 송신부의 구성은 외장 MCU를 사용하였고, 외장 MCU에서 데이터를 보내면, PHY에서는 프리앰블을 포함한 전체 프레임을 생성하는 매우 간단한 구조이다.

ISO/IEC 24730-6처럼 OOK 변조 방식을 사용한다. 즉, 정보가 있을 때에만 펄스를 발생한다. 발생된 펄스는 대역 통과 필터 및 증폭기를 통하여 안테나를 거쳐 외부로 방사된다.

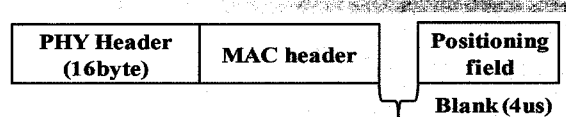


(그림 1) 송신 Tag 구성

(그림 2)에는 Tag 에서 만들어지는 전체 프레임의 구성을 나타내었다. 그림에서 처럼, 전체 프레임은 PHY header, MAC header, 그리고, Positioning field가 있다.

MAC header와 positioning field 사이에는 수 us이하의 시간 지연이 존재한다. 즉, 그림에서처럼 데이터 전송과 라인징과 측위를 위한 부분이 구분되어있다. 이는 측위의 신뢰도를 높이기 위해서 사용된다.

또한, 고속 정밀 타이밍 샘플러의 동작을 측위 부분에서만 수행하게 함으로 전체 시스템의 복잡도 및 전력 소모를 낮출 수 있다. 데이터 필드와 위치 인식 필드를 분리한 프레임 구조는 기존 IEEE 802.15.4a에서 제안된 전송 표준 포맷과 달라진 부분이다.



(그림 2) 전체 송신 프레임 구성

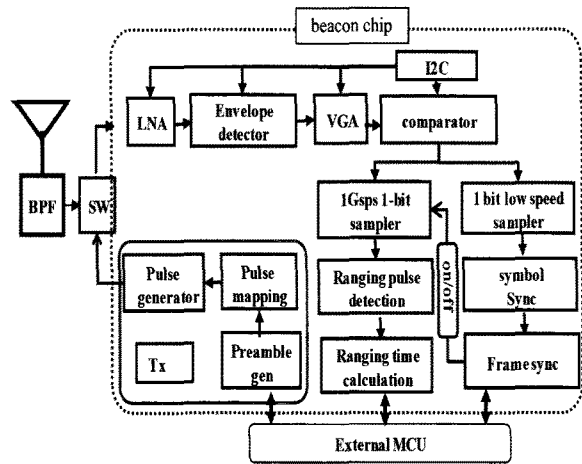
2. 수신부 구성

(그림 3)에는 IR-UWB RTLS응용을 위한 Noncoherent 수신 구조를 나타내었다.

수신기의 가장 큰 특징은 실내에서 다중 경로 페이딩에 의하여 수신된 임펄스 신호의 검출을 위해 임펄스 신호의 크기만을 활용한다. 즉, 수신부 RF부는 LNA만이 존재한다.

다중 경로를 통하여 수신되는 임펄스 신호들의 클러스터는 LNA에 의해 증폭되고, 증폭된 신호는 포락선 검파기에 의해 검출되며, 검출된 신호의 레벨에 따라 VGA를 이용하여 가변 이득 증폭하며, 고속 비교기를 (1bit 샘플러) 사용하여 임펄스 신호를 검출한다.

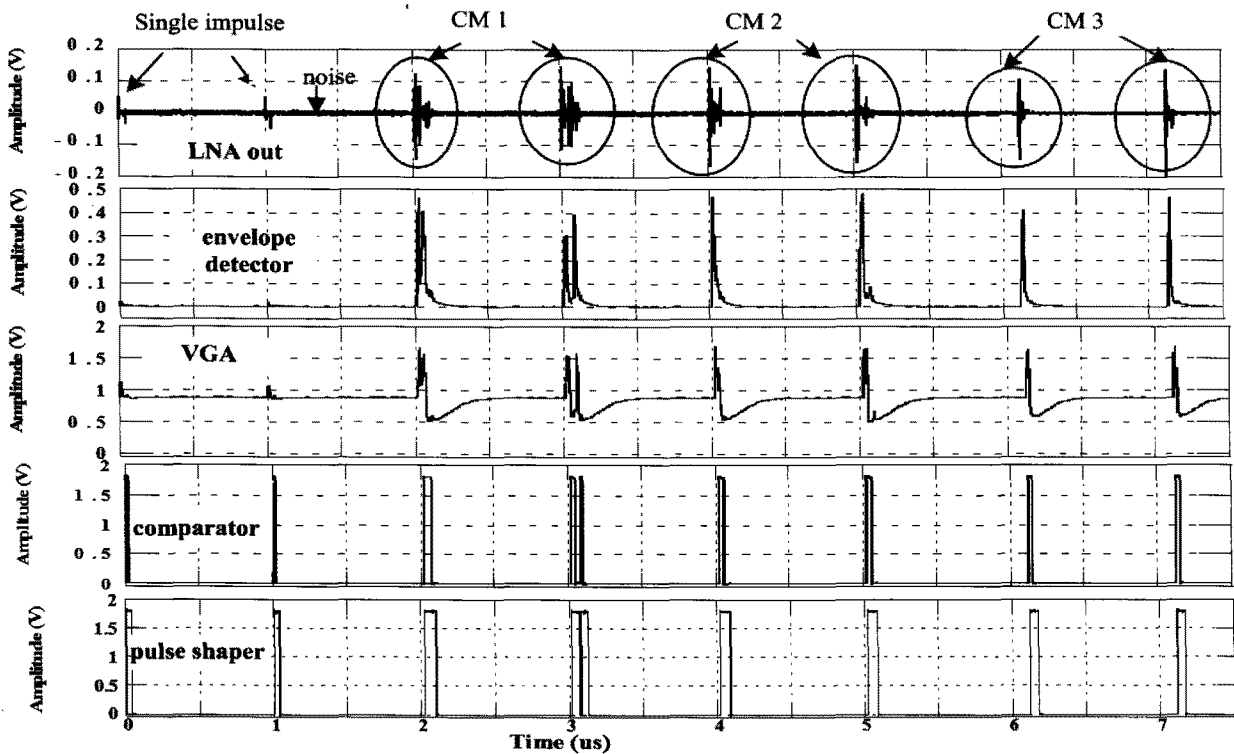
비교기를 통하여 검출된 임펄스 신호의 위치는 실제 첫 번째 임펄스 신호의 도착 시점과 차이가 발생하며, 이 차이는 추후 Calibration을 통하여 보상이 된다. 비교기를 통과한 신호는 아날로그 구형파이며, VGA 로 부터의 입력 크기에 따라 신호 폭이 달라진다. 이를 일정하게 하기 위하여 디지털



(그림 3) IR-UWB RTLS 수신기 구조

샘플링 부와 비교기 사이에는 아날로그 구형파의 폭을 넓혀 주는 Pulse shaper (PS) 가 존재한다.

PS는 펄스 시작점을 변경하지 않으며, 단지 펄스 폭만을 조정한다. RF와 아날로그 소자들의 제어는 I2C 로 이루어 진다.



(그림 4) RF 및 아날로그 부분 시뮬레이션

(그림 4)에는 실제 Cadence Spectre를 이용한 RF 및 아날로그 부에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 입력 펄스는 참고문헌 [10]의 임펄스 신호를 사용하였고, IEEE 802.15.4a 채널 모델링 자료를 이용하여 LOS 실내 홈 환경(CM1), NLOS 실내 홈 환경(CM2), LOS 사무실 환경(CM3)에 대하여 시뮬레이션하였다[11]. 각 펄스 간의 간격은 1us (1MHz)로 하였다. (그림 4)의 LAN out에 채널을 고려하지 않는 두 개의 단일 펄스, CM1에 의한 채널 출력(두 개 펄스에 입력에 의한 채널 출력), CM2에 의한 채널 출력, CM3에 의한 채널 출력 결과를 나타내었다. 그림으로부터 포락선 검파기, VGA, 비교기에 의한 시간 영역 신호의 모양을 알 수 있다.

고속 비교기에 의해 검출된 임펄스 신호는 연결된 디지털 샘플러에 의해 디지털 신호로 변환된다. 디지털 샘플러는 두 종류가 있다. 하나는 데이터 복원을 위한 100 MHz이하의 저속 샘플러가 있으며, 다른 하나는 임펄스 신호의 정밀한 수신시간 검출을 위한 1GHz의 고속 샘플러이다. 고속 샘플러에 의해 검출된 타이밍 정보와 데이터 정보는 외장 MCU에 전달되고, 외장 MCU에서 수신된 시간 정보를 측위서버로 전달한다.

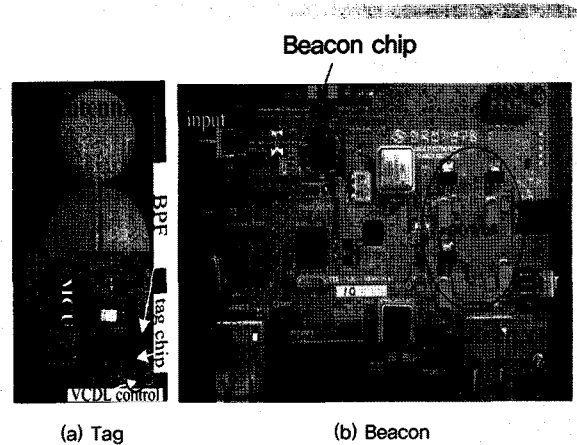
3. TDOA 기반의 IR-UWB무선측위 시스템 시제품 및 시연

3.1 IR-UWB 실증 시험 구성

IR-UWB RTLS 테스트 베드 구현을 위하여 임펄스 발생기를 포함한 UWB Tag 칩과 수신기 Beacon 칩을 TSMC 0.18um CMOS 공정을 사용하여 제작하였다. (그림 5)에는 개발된 칩을 이용한 Tag 모듈(왼쪽)과 Beacon 모듈(오른쪽) 사진을 나타내었다. Beacon 모듈에는 데이터 정보를 주고 받는 이더넷 포트와 비콘간의 동기를 맞추기 위한 기준 클럭 입력부가 있다.

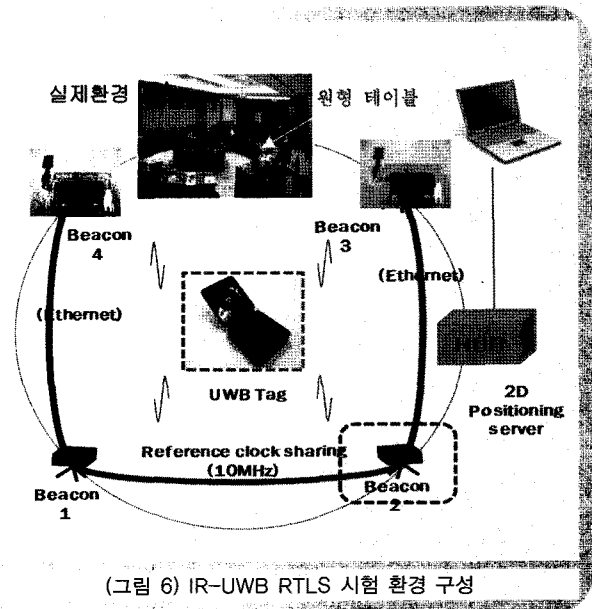
(그림 6)에는 IR-UWB RTLS 시험 환경의 구성을 나타내었다. 시험 환경은 LOS 환경이며, 전체 크기는 12mx10m이다.

회의실 중앙에는 큰 원형 테이블과 작은 원형 테이블이 있다. 그림에서 처럼 네개의 비콘은 클럭 분배기를 이용하여



(그림 5) IR-UWB RTLS (a) 태그 모듈 및 (b) Beacon 모듈 사진

비콘간의 클럭 동기를 맞추었다. 또한, 각 비콘으로부터 데이터는 허브를 통하여 측위를 계산하는 소형 서버에 전달된다. 태그는 배터리로 동작된다.

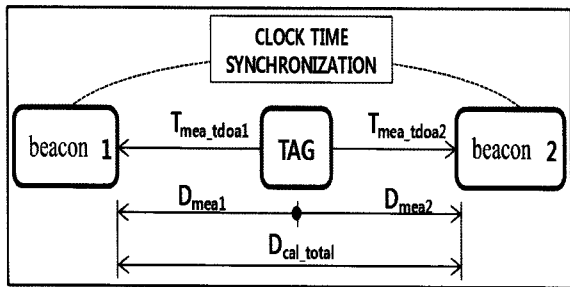


(그림 6) IR-UWB RTLS 시험 환경 구성

3.2 무선측위 알고리즘

(그림 7)에는 1차원 TDoA 기반의 무선측위 방법에 대하여 설명하였다.

(그림 7)을 이용하여 다음과 같이 태그와 비콘간의 거리 (D_{mea_tdoa1} 과 D_{mea_tdoa2})를 계산할 수 있다.



(그림 7) 1차원 TDoA 기반 무선측위 설명도

$$D_{mea_tdoa1} = (D_{cal_total} + \Delta D_{mea_tdoa}) / 2 \quad (1)$$

$$D_{mea_tdoa2} = (D_{cal_total} - \Delta D_{mea_tdoa}) / 2$$

$$\begin{aligned} \Delta D_{mea_tdoa} &= D_{mea_tdoa1} - D_{mea_tdoa2} \\ &= c \times (\Delta T_{cal_tdoa} + (T_{mea_tdoa1} - T_{mea_tdoa2})) \end{aligned}$$

$$D_{cal_total} = D_{mea_tdoa1} + D_{mea_tdoa2}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

- ΔT_{cal_tdoa} : calibration모드에서의 Tag와 비콘 간의 임펄스 신호 전달 절대시간차이
- D_{cal_total} : 두 비콘 사이의 절대 거리
- T_{mea_tdoa1} : 태그로부터 방사된 임펄스 신호가 비콘 1에서 검출한 시간
- T_{mea_tdoa2} : 태그로부터 방사된 임펄스 신호가 비콘 2에서 검출한 시간.

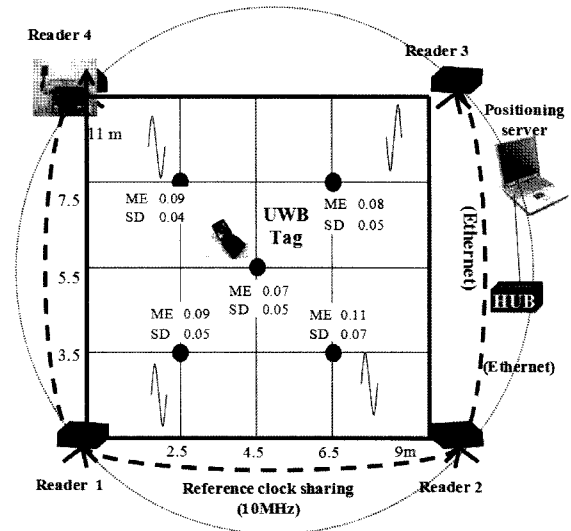
측정은 제일 먼저 Calibration을 수행하여, 기준 정보를 획득한 다음 이루어진다. 또한, calibration은 채널 환경의 변화에 대한 오차율을 최소화 하기 위하여 주기적으로 수행할 수도 있다.

2차원 위치 인식을 위해서는 각 비콘으로부터 획득한 수신 시간 정보를 활용하여 쌍곡선 그래프를 얻으며, 이 쌍곡선을 이용하여 위치를 구한다.

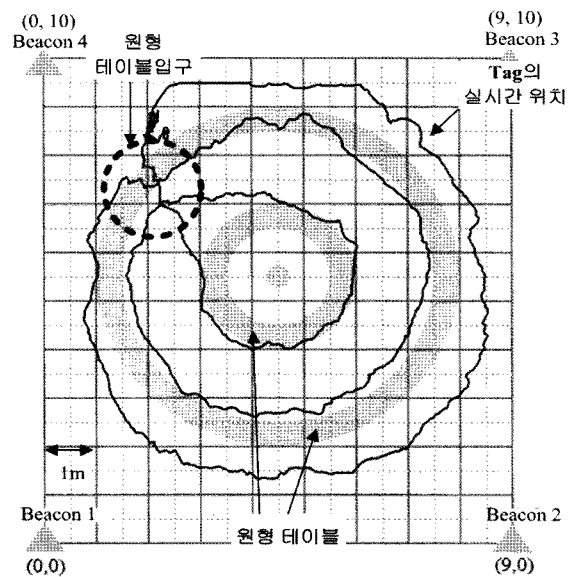
구해진 위치 정보는 일반적인 median filter 또는 좀더 복잡한 칼만 필터 등을 활용하여 발생하는 에러를 최소화 할 수 있다.

3.3 IR-UWB 실증 시험

(그림 8)은 실제 환경에서 측정한 결과이다. 우선 고정형 태그에 대한 위치 인식 성능을 시험하였다. 위치를 정확히 알고 있는 다섯 개의 포인트에서 3000번 이상을 측정한 결과이다. ME는 평균 에러를 의미하며, SD는 표준 편차를 말한다. 결과에서도 알 수 있듯이 평균 에러는 약 11cm 이하이며, 표준 편차는 7cm 이하이다.



(그림 8) 고정형 Tag에 대한 무선측위 측정 결과



(그림 9) 실시간 위치 추적 측정 결과

(그림 9)는 동일한 실험 환경에서 Tag의 실시간 위치 추적 결과를 보여주는 것이다. 그림에서처럼 원형 테이블을 따라 이동한 태그의 궤적을 잘 보여준다.

이러한 측정 결과는 IR-UWB 기술을 이용한 실시간 위치 인식 응용 시스템은 다중 경로 페이딩에 의한 영향이 존재하는 열악한 환경에서도, 매우 우수한 위치 인식 및 위치 추적 성능을 가짐을 보여준다.

III. 결 론

IR-UWB 기술을 이용한 실시간 위치인식 시스템을 소개하였다. IR-UWB 기반 실시간 위치인식 및 위치 추적 성능의 우수성을 실제 제작 및 실제 환경에서의 시험을 통하여 보여 주었다. 시험 결과에서 보였던 것처럼, IR-UWB 기술은 기존 방식과 달리 실내 다중 환경에서도 매우 우수한 무선 위치인식 및 추적 성능을 가짐을 보여주고 있다. 현재 관련 응용에 대한 국제 표준화가 진행 중이며, 이 표준들을 기반으로 실시간 위치인식에 대한 다양한 제품이 출시될 것이다. 그러나, 향후 NLOS 환경에서의 적용 방안 및 TDoA 방식을 위한 비콘간의 정밀한 무선 동기 기술에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 조 문 헌

- [1] "U.S. 47 Part 15 ultra-wideband operations FCC report and order," FCC, Washington, DC, Apr. 22, 2002.
- [2] I. Oppermann, H. Matti, and J. Iinatti, *UWB Theory and Applications*. England, J. Wiley & Sons, 2004.
- [3] D. Davide, et al., "Ranging with ultrawide bandwidth signals in multipath environments," *Proceeding of the IEEE*, Vol. 97, No. 2, pp. 404-426, 2009.
- [4] Z. Sahinoglu, S. Genici, and I. Guvenc, *Ultra-wideband Positioning Systems*, Cambridge University Press, Ch. 4, 2008.
- [5] L. Stolica, A. Rabbachin, and I. Oppermann, "A low-complexity noncoherent IR-UWB transceiver architecture with TOA estimation," *IEEE Trans. on Microwave theory and techniques*, VOL. 54, No. 4, pp. 1637-1646, April 2006.
- [6] 김정태, "무선측위 기술 조사 및 분석" 대한전자공학회 논문지 (TC편), 제 48권, 제 2호, 72-78페이지, 2011.
- [7] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirement Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE Std 802.15.4a-2007 (Amendment to IEEE Std 802.15.4-2006), 2007.
- [8] IEEE 802.15 WPAN Active RFID system TG 4f [online: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4f.html>].
- [9] ISO/IEC NP 24730-6, "Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- Real Time Locating Systems (RTLS) -- Part 6: Ultra Wide Band Air Interface protocol", Oct. 2009.
- [10] Y. J. Park, et al., "Low complexity impulse radio based UWB (IR-UWB) transceiver," *IEEE Int. symp. on antenna & propagation*, Jun. 2007, pp. 673-676.
- [11] IEEE 802.15.4a Channel Modeling Subcommittee, "IEEE 802.15.4a channel model final report," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>.

약 력



박 영 진

1997년 중앙대학교 전자공학과 공학사
 1999년 KAIST 전기전자과 공학석사
 2002년 Universitaet Karlsruhe 공학박사
 2002년 Universitaet Karlsruhe POST DOC
 2002년 ~ 현재 한국전기연구원 전기정보망연구센터 책임연구원
 2005년 ~ 현재 과학기술연합대학원 전력정보통신공학과 겸임교원
 관심분야 : 임펄스 무선 기술, 무선전력전송기술,
 차량용 레이더 기술



이 순 우

2001년 부산대학교 공학사
 2003년 KAIST 공학석사
 2004년 ~ 2005년 Hynix 반도체 연구원
 2005년 ~ 현재 한국전기연구원 전기정보망연구센터 선임연구원
 관심분야 : 신호처리 및 반도체 설계, 초광대역 임펄스 및
 위치인식 기술



강 지 명

2004년 서울대학교 컴퓨터공학 학사
 2006년 서울대학교 전기, 컴퓨터공학 석사
 2006년 ~ 현재 한국전기연구원 전기정보망연구센터
 관심분야 : 무선 네트워크, 위치 인식, 무선전력 전송제어



강 문 경

2007년 창원대학교 공학사
 2009년 창원대학교 공학석사
 2009년 ~ 현재 한국전기연구원 전기정보망연구센터 연구원
 관심분야 : 무선센서네트워크, IR-UWB RTLS, Positioning
 and filtering



김 관 호

1978년 송전대학교 전자공학과 공학사
 1980년 연세대학교 전자공학과 공학석사
 2008년 연세대학교 전자공학과 공학박사
 1980년 ~ 1983년 한국전력공사
 1983년 ~ 2011년 한국전기연구원 전기정보망연구센터 센터장
 2005년 ~ 현재 과학기술연합대학원 전력정보통신공학과 겸임교원
 2011년 ~ 현재 한국전기연구원 의료IT융합본부 본부장
 관심분야 : 전파통신, 전력선통신 시스템, 무선에너지 전송,
 UWB레이더 및 센서