

논문 2009-04-03

실내 무선측위/통신을 위한 IEEE 802.15.4a IR-UWB 시스템 설계

(IEEE 802.15.4a IR-UWB System Design
for Indoor Ranging and Communications)

오미경*, 박주호, 오정열, 길민수, 김재영
(Mi-Kyung Oh, Joo-Ho Park, Jung-Yeol Oh, Min-Su Kil, Jae-Young Kim)

Abstract : This paper aims at designing an impulse-radio ultra-wideband (IR-UWB) transceiver, especially targeting the IEEE 802.15.4a indoor ranging and communication systems. We first investigate the IEEE 802.15.4a IR-UWB signals and suggest the full-digital transceiver architecture accordingly. Since the wireless systems equipped with the impulse signal have the property of low-duty cycle, i.e., discontinuity in time, while the conventional systems takes the continuous signals, it is required to reconfigure the system design, including link budget. Following brief introduction to our IEEE 802.15.4a IR-UWB system hardware, we finally examine the ranging performance in indoor environments to verify our system design.

Keywords : Impulse radio, IR-UWB, IEEE 802.15.4a, Ranging, Positioning.

1. 서론

최근들어, 데이터 통신뿐만 아니라 실내나 음영 지역에서 수십 cm급 이내의 정밀한 위치인식/추적 기능을 줄 수 있는 임펄스(Impulse-Radio: IR)기반 초광대역(Ultra-wideband: UWB) 기술이 각광받고 있다. 이에 위치인식 WPAN 표준인 IEEE 802.15.4a에서는 IR-UWB 기술을 물리계층(PHY) 기술로 채택하여 2007년 3월 표준 제정완료 하였다[1][2].

IR-UWB 기술은 중심 주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 차지하거나 약 500MHz 이상의 점유 대역폭을 차지하는 임펄스를 사용하는 기술을 일컫는다. 기존 협대역 시스템이나 광대역 CDMA 시스

템에 비해 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력 밀도를 가지므로 기존의 통신 시스템과 양립할 수 있다는 것이 그 특징이다 [2][3][6]. 이러한 IR-UWB 기술은 매우 넓은 주파수 대역 점유라는 특징을 이용하여 실내에서 정밀한 위치인식/추적 기능을 줄 수 있기 때문에, <그림 1>과 같은 위치기반 유비쿼터스 홈, 작업장 안전관리 시스템, 차세대 로봇, 방재 등 위치기반 서비스 실현을 위한 핵심 기술로 인식되고 있다[5].

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 12. 26., 수정일 : 2009. 03. 04
채택확정 : 2009. 3. 20.

오미경, 박주호, 오정열, 길민수, 김재영 : 한국전
자통신연구원

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원
의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수
행하였음. [2006-S070-03, 홈네트워크용
Cognitive 무선 시스템 개발]



그림 1. 위치기반 유비쿼터스 홈
Fig. 1. Location-based ubiquitous home

본 논문에서는 실내 및 음영지역에서 수십 cm급 Ranging 및 1 Mbps급 데이터 통신을 위한 IEEE 802.15.4a 임펄스기반 시스템 설계를 다루고자 한다. 임펄스 기반의 무선측위/통신 시스템에서 사용하고 있는 임펄스는 기존의 통신시스템에서 사용하는 신호와는 달리 시간영역에서 불연속적인 신호를 사용한다[3][4]. 따라서 먼저 IEEE 802.15.4a 표준에서 사용하고 있는 임펄스 신호를 살펴보고, 정밀한 무선측위 및 데이터 통신을 위한 PHY 시스템 구조에 대해서 알아본다. 그리고 IEEE 802.15.4a Link budget 분석을 통하여 시스템의 규격을 확인한다. 마지막으로 하드웨어 구현 및 실내 다중경로 환경에서의 거리추정 성능 평가를 통하여 설계된 시스템을 검증한다.

II. 시스템 모델 및 임펄스 신호 특성

IEEE 802.15.4a 임펄스 시스템은 단순히 Ranging을 위한 시스템이 아니라 동시에 수 Kbps에서 수 Mbps의 데이터 통신을 지원하는 시스템이다. 이를 위한 IEEE 802.15.4a의 송수신기 구조는 <그림 2>과 같다.

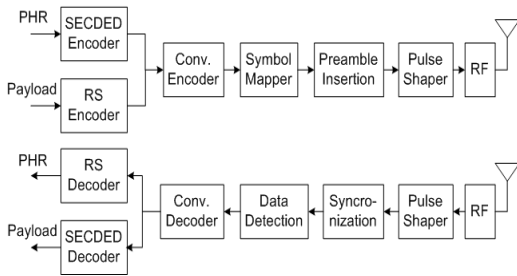


그림 2. IEEE 802.15.4a PHY 흐름도
Fig. 2. IEEE 802.15.4a PHY flow diagram

송신단에서는 Reed-Solomon (RS) 부호기, 길쌈 (Convolutional) 부호기, 심볼 매퍼(Mapper), 프리앰블 삽입, 펄스 Shaper, RF단, 안테나를 거쳐 채널로 나가게 되어 있다. 수신단에서는 RF를 통해 들어온 신호를 펄스 Shaper, 동기부, 데이터 복조부, 길쌈 복호기, RS 복호기를 거쳐 신호를 복원한다. <그림 2>의 Transceiver를 통해 송수신되는 IR-UWB PHY 패킷은 <그림 3>과 같이 프리앰블 심볼, SFD(Start Frame Delimiter) 심볼, PHY 헤더, 페이로드로 구성되어 있다.

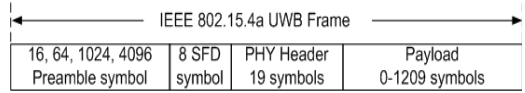


그림 3. IEEE 802.15.4a IR-UWB 패킷 형식
Fig. 3. IEEE 802.15.4a IR-UWB packet format

<그림 2> 및 <그림 3>을 통해 살펴본 바와 같이 IEEE 802.15.4a 임펄스 시스템은 기존의 무선 통신시스템에서 갖추어야 하는 요소들을 모두 갖추고 있다. 기존 시스템과 다른 요소는 임펄스 기반 신호 변복조 부분과, 시간영역에서 약 2nsec에 해당하는 임펄스로 펄스 Shaping을 하고, 이를 통해 Ranging을 할 수 있다는 점이다.

기존 시스템과 다른 점을 살펴보기 위해 IR-UWB 패킷의 프리앰블 신호와 페이로드 신호를 <그림 4>에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 시간영역에서 매우 짧은 펄스가 시간영역에서 불연속적임을 알 수 있다.

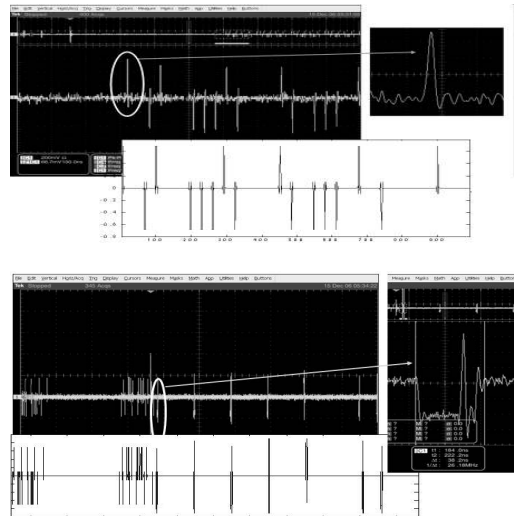


그림 4. IR-UWB 패킷의 프리앰블 신호(상) 및 페이로드 신호(하)
Fig. 4. IR-UWB Packet preamble signal (up) and payload signal (down)

<그림 4>에서 사용하고 있는 임펄스는 IEEE 802.15.4a에서 정의하고 있는 기준펄스로 아래식과 같이 500MHz 대역폭, Roll-off factor $\beta=0.6$, $T_p = 2\text{nsec}$ 인 Root-raised-cosine (RRC) 펄스이다.

$$r(t) = \frac{4\beta}{\pi\sqrt{T_p}} \frac{\cos[(1+\beta)\pi t/T_p] + \frac{\sin[(1-\beta)\pi t/T_p]}{4\beta t/T_p}}{(4\beta t/T_p)^2 - 1}$$

또 한 가지 살펴볼 사항은 <그림 2>의 RF 블록이다. IEEE 802.15.4a 표준에서는 <그림 5>와 같이 채널을 크게 Sub-GHz band, Low-band, High-band 3개의 대역으로 나누고, 모두 16개의 채널을 할당하였다. 그리고 채널 0번, 3번, 9번을 각 대역의 Mandatory 채널로 정하고 반드시 이 중 하나를 구현하도록 하고 있다. 이는 향후 국내외적으로 간섭문제를 피할 필요가 생겨났을 때 이에 유연하게 대응할 수 있는 장점이 있다. 또한 대역폭 1GHz가 넘는 채널 4번, 7번, 11번, 15번을 제외하고, Mandatory 채널을 포함한 나머지 채널의 주파수 대역 폭이 같으므로, 기본이 되는 통신 및 위치인식을 위한 무선기술은 수정하지 않도록 RF 블록을 설계할 수 있다면 추후 주파수 정책에 맞는 시스템 개발이 용이할 것이다.

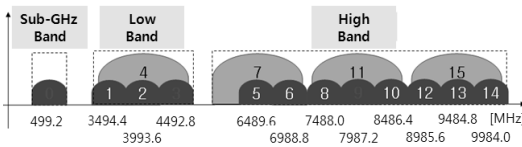


그림 5. IEEE 802.15.4a 주파수 운용 상황
Fig. 5. IEEE 802.15.4a frequency band plan

지금까지 IEEE 802.15.4a 임펄스 시스템에 대한 소개와 임펄스 신호의 특성, 채널할당에 대해서 알아보았다. 이를 기반으로 다음 장에서는 IEEE 802.15.4a 시스템 설계에 대해서 알아본다.

III. 시스템 설계

본 장에서는 <그림 2>의 IEEE 802.15.4a 임펄스 기반 무선측위/통신 시스템을 구현하기 위한 시스템 설계에 대해서 살펴본다. 먼저 Ranging 성능 및 통신 성능 향상을 위해 채택된 Full-Digital 시스템 구조에 대해 살펴보고, 이 시스템에 대한 Link budget을 분석한다.

1. Full-Digital 동기식 임펄스 시스템

IEEE 802.15.4a 임펄스 PHY 송신부는 동기(Coherent) 및 비동기(Noncoherent) 방식의 수신기를 모두 설계할 수 있도록 변조방식을 채택하였다. 즉 펄스의 극성정보 없이 펄스 위치만을 가지고 신호를 복원할 수 있는 비동기 방식의 수신기를 설계할 수 있도록 하였다[1][2][7].

임펄스 신호는 500 MHz 이상의 대역폭을 가지고 있으므로 임펄스의 에너지를 검출하여 데이터를 복원하는 비동기 수신방식이 구현측면에서 유리하다. 이러한 장점으로 인해 기존의 접근방법은 성능이 떨어짐에도 불구하고 비동기 수신방식으로 접근하였다.

동기방식 수신기의 경우는 우선 비동기방식 대비 거리추정 정밀도가 2~4배 이상 향상된다. 그리고 변조방식 및 확산이득, 채널부호기 등 송신신호 특성을 이용하여 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 즉 -41.3dBm/MHz의 소출력을 사용하는 상황에서도 통신거리를 더욱 확장시킬 수 있다는 장점이 있다. 그리고 IEEE 802.15.4a 표준의 기술 요구규격인 4-SOP (Simultaneous Operating Piconet) 구성을 위해서는 프리앰블 구간에서 동기식 수신이 반드시 필요하다. 더욱이 수신 임펄스 신호와 임펄스 템플릿의 Correlation을 디지털 영역에서 수행하는 수신 모뎀을 개발하면, <그림 5>에서의 RF 중심 주파수에 대해 독립적으로 수신 모뎀 개발이 가능하다는 장점이 있다.

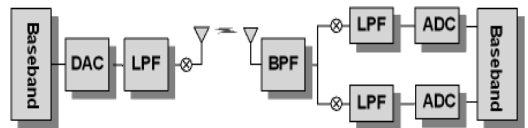


그림 6. Full-Digital 시스템 구조
Fig. 6. Full-Digital system structure

송신방식에 대해서는 디지털에서 기저대역 임펄스를 발생시킨 후 <그림 5>의 해당 주파수 대역으로 상향변환 해주는 방법을 제안한다. 디지털 임펄스 생성기는 기존의 Passband 아날로그 임펄스 생성기에 비해 재연성이 우수하고, 모든 주파수 밴드에 대해 동일한 임펄스를 생성시킬 수 있다.

따라서 주파수 상하향 변환시키는 RF와 임펄스 생성 및 Correlation을 포함한 모든 모뎀 알고리즘을 디지털로 수행할 수 있게 하는 <그림 6>의 동기식 Full-Digital 시스템 구조는 성능이 우수하고,

RF에서 중심 주파수만 변경해 줌으로써 시스템을 동작시킬 수 있기 때문에 IEEE 802.15.4a의 주파수 운용 상황에 능동적으로 대처할 수 있다.

2. Link Budget 분석

IEEE 802.15.4a 임펄스 시스템은 국내의 초광대역 규정에 맞는 -41.3dBm/MHz 이하의 소출력의 신호를 사용하여야 한다. 따라서 이와 같은 소출력 신호를 사용했을 때 거리에 따른 Path Loss를 고려한 Link Budget 분석은 시스템 설계에 필수라고 할 수 있다. <표 1>은 AWGN 통신거리 30m에서의 Link Budget을 계산한 것으로, 수신감도는 -80.1dBm이고 Link Margin이 5.8dB이다.

<표 1>에서 살펴본 바와 같이 -41.3dBm/MHz 소출력의 임펄스 신호를 사용하여 30미터의 통신거리를 확보하기 위해서는 수신단 RF 잡음지수와 구현손실에서 최소가 되도록 설계해야 함을 알 수 있다. 또한 <표 1>의 Link Budget은 AWGN 채널을 고려하여 계산한 것이므로 실제 실내 다중경로 채널을 감안한다면 더욱 더 구현손실을 줄여야 할 것이다. 따라서 Link Budget 분석을 통하여 시스템 성능향상을 위해서는 제안된 동기식 Full-Digital 시스템 구조가 IEEE 802.15.4a 무선측위 및 통신 성능을 위해 최적임을 알 수 있다.

표 1. IEEE 802.15.4a Link Budget 분석

Table 1. IEEE 802.15.4a link budget analysis

Parameters	Unit	Value
Throughput [Rb]	Mbps	1
Distance [d]	m	30
Bandwidth [BW]	MHz	500
Avg. TX Power[Pt=-41.3dBm/MHz+10log(BW)]	dBm	-14.3
Duty Gain(Dg)	dB	15.1
TX Peak Power [Ptp = Pt + 10log10(Dg)]	dBm	0.7
Center frequency [fc]	Hz	4.49E+09
Path loss 1 meter [L1=20log(4pi*fc/c)]	dB	45.5
Path loss d meter [L2=20log(d)]	dB	29.5
RX power [Pr=Pt-L1-L2]	dBm	-74.3
RX AWGN noise floor[N=-174+10log(BW)]	dBm	-87.0
RX noise figure [Nf]	dB	8.0
Average noise power [Pn=N+Nf-Dng]	dBm	-79.0
Pulses per symbol [Np]		16
Processing gain [PG=10log(Np)]	dB	12.0
Minimum Eb/No [S]	dB	8.0
Implementation loss [I]	dB	3.0
Link Margin [LM=Pr-Pn-S-I+PG]	dB	5.8
Proposed Min. Rx Sensitivity Level [Pmin]	dBm	-80.1

IV. 시스템 구현 및 검증

본 장에서는 지금까지 설명한 IEEE 802.15.4a 임펄스 무선측위/통신 시스템 설계 구조를 바탕으로 ETRI에서 구현된 시스템을 소개하고 시스템 성능 검증을 위한 Ranging 시험 결과를 제시한다.

1. 무선측위/통신 시스템 플랫폼

<그림 7>은 임펄스 기반 무선측위/통신 시스템의 플랫폼이다. 채널 코딩/디코딩, 신호 변복조, 임펄스 shaping, 임펄스 신호 동기부, Ranging 기능 등을 수행하는 모뎀부는 Altera사의 STRATIX FPGA에 구현하였다. ADC/DAC의 경우는 상용칩을 사용하였고, 각 칩은 ADC08D1000과 MAX19692이다. ADC/DAC 변환기를 거쳐 ETRI가 2007년 개발한 IEEE 802.15.4a IR-UWB RF칩과 연동하였으며, MAC 및 Ranging 프로토콜 구현을 위한 MSP430 마이크로 컨트롤러를 장착시켰다.

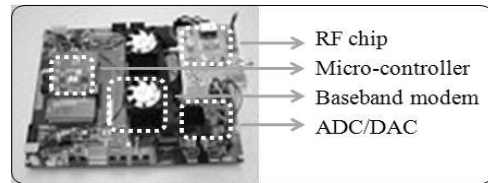


그림 7. 무선측위/통신 시스템 플랫폼

Fig. 7. System platform for ranging and communication

표 2. 시스템 규격

Table 2. System specification

대상 규격	IEEE 802.15.4a
사용주파수	3494.4, 3993.6, 4492MHz
채널 대역폭	499.2MHz
변조방식	BPM+ BPSK
UWB 펄스	499.2MHz BW의 RRC
프리앰블 길이	16, 64, 1024, 4096
전송 속도	0.85Mbps
Chip Rate	499.2MHz
채널 코딩	RS 코드, 길쌈 코드
확산 이득	12dB
지원 SOP 수	6
수신기 방식	Coherent/Noncoherent

<그림 7>의 플랫폼의 IR-UWB 무선측위/통신 시스템 규격을 요약하면 <표 2>와 같다.

2. 시스템 구현 구조

<표 2>의 시스템 규격에서 살펴본 바와 같이 임펄스의 3dB 대역폭은 499.2MHz이다. 따라서 임펄스를 디지털로 생성하기 위하여 사용되는 DAC (Digital-to-Analog Converter)는 대역폭의 2배인 998.4Msps로 선택하였고, 성능 및 복잡도를 고려하여 6-bit 해상도를 선택하였다.

<그림 6>의 LPF (Low-Pass Filter)는 임펄스 신호의 왜곡을 고려하여 400MHz 대역폭을 가지고, 600MHz에서 30~40dB 감쇄를 가지며, 3dB Pass-Band Ripple은 3dB를 허용하였다.

동기식 수신 모뎀 및 Ranging 성능에 영향을 미치는 ADC (Analog-to-Digital Converter)는 499.2MHz 인 Chip 당 2개의 샘플을 얻기 위하여 998.4Msps로 선택하였고, 성능 및 복잡도를 고려하여 4-bit 해상도를 선택하였다.

주파수 상하향변환을 시켜주는 RF부분은 Direct Conversion 구조로써 동작 주파수는 3~5GHz로 <그림 5>의 Low-Band를 지원한다.

현재는 성능 향상된 IR-UWB RF/아날로그 칩과, FPGA로 검증된 모뎀을 자체 개발한 저전력형 ADC/DAC와 통합한 단일 ASIC 모뎀 칩을 개발 중이다.

3. 시스템 시험 및 검증

<표 2>의 시스템 규격을 가지는 <그림 7> 플랫폼을 바탕으로 실내 무선 환경에서 거리에 따른 Ranging 시험을 수행하였다. 임펄스 신호를 이용한 Ranging에서 임펄스의 TOF (Time-of-Flight)인 t_p 를 추정하기 위해서는 기본적으로 <그림 8>과 같이 Two-Way Ranging (TWR)을 양방향에서 수행하는 SDS (Symmetric-double-sided)-TWR을 이용하였다. SDS-TWR은 두 노드 사이의 클럭 주파수 오프셋에 강인한 특성을 가지기 때문에 정밀한 Ranging 성능을 얻는데 효과적이다 [1].

Ranging을 위해서는 <그림 8>에 도시된 PHY 헤더의 첫 번째 필드(RMARKER라 일컬음)를 기준으로 SDS-TWR을 수행할 때 송수신되는 모든 RMARKER의 타이밍을 측정한다. 이때 RMARKER의 타이밍에서 1nsec 틀어짐은 30cm의 거리오차로 나타나므로 각 노드에 구비되어 있는 Ranging Counter의 정밀한 제어가 반드시 필요하다.

임펄스 기반 무선측위/통신 시스템 플랫폼인 <그림 7>을 이용하여 실내 Ranging 시험을 수행한 결과를 도시한 것이 <그림 9>이다. 본 실험을 수행한 환경은 실내 복도이며, SDS-TWR 3번을 수행하여 평균값을 도시한 것이다. <그림 9>의 y축은 거리[m]를 나타내고, x축은 0.6m에서 시작하여 0.6m씩 거리를 증가시켜 0.6m~15.6m거리에서 Ranging을 수행한 것을 나타낸다.

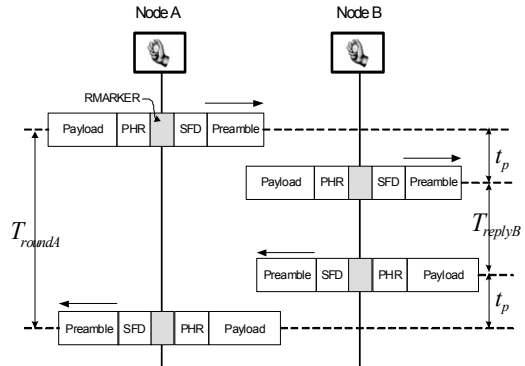


그림 8. IEEE 802.15.4a IR-UWB 패킷을 이용한 Two-Way Ranging (TWR)

Fig. 8. Two-way ranging (TWR) using IEEE 802.15.4a IR-UWB packet

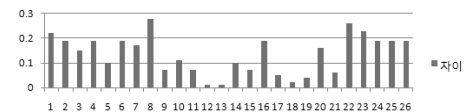
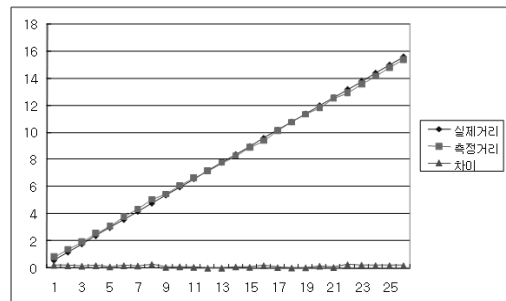


그림 9. 실내 Ranging 성능
Fig. 9. Indoor ranging performance

<그림 9>의 실제거리와 측정거리의 차이를 확대한 그림에서 살펴보는 바와 같이 본 논문에서 구현한 IEEE 802.15.4a 임펄스 기반 무선측위/통신 시스템으로 Ranging 실험 시 실내 거리추정 오차가

30cm 이하인 것을 알 수 있다.

<그림 10>은 Ranging 측정시 실내 환경에서의 다양한 다중경로 프로파일을 측정한 것이다. 가로의 x축은 1nsec 간격이고, y축은 다중경로 채널의 에너지에 해당한다. 그림에서 보는 바와 같이 실내 환경은 다중 경로에 의해 Direct Path에 해당하는 수신 신호 이외에도 여러 장애물을 거쳐서 수신되는 신호가 많으며, <그림 10>의 예와 같이 Direct Path에 의한 신호가 아닌 신호가 더 크게 수신될 수도 있다. 여기서 Direct Path에 해당하는 수신 신호의 위치를 찾아 RMARKER의 타이밍을 보상해 줌으로써 정밀한 Ranging을 할 수 있다. 즉 다중경로 프로파일에서 서로 분간이 가능한 임펄스를 사용하였기 때문에 실내 환경에서도 정밀한 Ranging이 가능한 것이다.

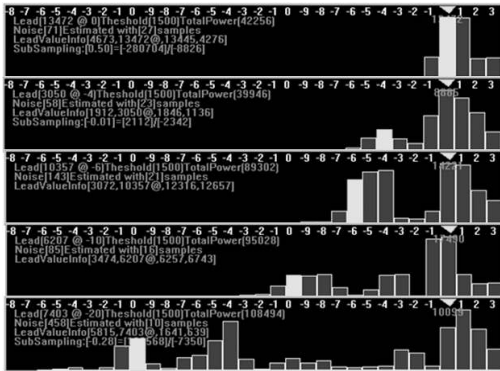


그림 10. 실내 다중경로 프로파일
Fig. 8. Indoor multipath profile

상기와 같이 실내에서의 우수한 Ranging 성능은 Link Budget 분석에서도 설명한 바와 같이 성능이 우수한 동기식 구조의 Full-Digital 시스템을 채택하였기 때문이다. 이로써 본 논문에서 설계한 IEEE 802.15.4a 무선측위/통신 시스템을 검증할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선측위와 통신 기능을 동시에 제공하는 위치인식 시스템 표준인 IEEE 802.15.4a IR-UWB 시스템 설계에 대해 살펴보았다. 실내에서 수십 cm급의 거리추정 정밀도와 1Mbps급 통신 성능 향상을 위해서 동기방식의 Full-Digital 시스템

을 설계하였으며, IR-UWB Link Budget 분석, 실내 다중경로 환경에서의 Ranging 실험 등을 통해 설계된 시스템을 검증하였다. 추후에는 2009년 1월 제작 완료된 IEEE 802.15.4a IR-UWB ASIC칩을 탑재하여 유비쿼터스 홈, 제철소 등에서의 작업장 안전관리 시스템 등 위치기반 서비스를 위한 소형 시스템 플랫폼을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.15.4a TG4a, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPAN)", Draft P802.15.4a, Mar. 2007.
- [2] 오미경, 김명중, 김재영, "유비쿼터스홈 구축을 위한 저속 위치인식 UWB 기술", 전자통신동향 분석 제 21권, 제 5호, pp. 30-39, 2006.
- [3] M. Oh, J. Kim, "Ranging implementation for IEEE 802.15.4a IR-UWB systems", IEEE VTC2008, pp. 1077-1081, May 2008.
- [4] L. Stoica, A. Rabbachin, H. O. Repo, T. S. Tuuraniemi, and I. Oppermann, "An ultrawideband system architecture for tag based wireless sensor networks", IEEE Trans. on VT, Vol 54, No. 5, pp. 1632-1645, Sept. 2005.
- [5] Z. Sahinoglu and S. Gezici, "Ranging in the IEEE 802.15.4a standard", IEEE WAMICON 2006, pp. 1-5, Dec. 2006.
- [6] N. He, and C. Tepedelenioglu, "Performance analysis of non-coherent UWB receivers at different synchronization levels", IEEE Trans. on Wireless Comm., Vol. 5, No. 6, pp. 1266-1273, June 2006.
- [7] J. Ryckaert, G. Van der Plas, V. De Heyn, C. Desset, G. Vanwijnsberghe, B. Van Poucke, and J. Craninckx, "A 0.65-to-1.4nJ/burst 3-to-10GHz UWB digital Tx in 90nm CMOS for IEEE 802.15.4a", IEEE ISSCC 2007, pp. 120-121, Feb. 2007.

저 자 소 개

오 미 경(Mi-Kyung Oh)



2000년 중앙대 전기전자 제어공학부 학사.
2002년 한국과학기술원 전자전산학과 석사.
2006년 한국과학기술원 전자전산학과 박사.

현재, 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야: IR-UWB 임펄스 통신, 무선측위 시스템, 통신 신호처리.
Email: ohmik@etri.re.kr

박 주 호(Joo-Ho Park)



1997년 충남대 전자공학과 학사.
1999년 충남대 전자공학과 석사.
현재, 한국전자통신연구원 연구원

관심분야: 무선측위 시스템, IR-UWB 시스템, ZigBee 시스템, RF 시스템 설계, Analog/RFIC 설계
Email: joohop@gmail.com

오 정 열(Jung-Yeol Oh)



1997년 동신대 정보통신공학과 학사.
1999년 전북대 정보통신공학과 석사.
2005년 전북대 컴퓨터공학과 박사.

현재, 한국전자통신연구원 선임연구원.
관심분야: IR-UWB 시스템, ZigBee 시스템, WBAN 시스템, 무선 디지털 통신시스템
Email: jyoh@etri.re.kr

길 민 수(Min-Su Kil)



2004년 호서대 정보제어공학과 학사.
2006년 호서대 정보제어공학과 석사.
현재, 한국전자통신연구원 연구원

관심분야: IR-UWB 시스템, ZigBee 시스템, 무선 디지털통신 시스템
Email: ackil@nate.com

김 재 영(Jae-Young Kim)



1990년 연세대 전자공학과 학사.
1992년 연세대 전자공학과 석사.
1996년 연세대 전자공학과 박사.

현재, 한국전자통신연구원 WBAN통신연구팀 팀장
관심분야: 위치인식 시스템, WPAN/WBAN 시스템, Analog/RFIC 설계
Email: jyk@etri.re.kr