

특집 | 05 | IEEE 802.15.4a 임펄스 기반의 고정밀 실내 측위 기술

목 차

1. 서 론
2. 실내 측위 기술 동향
3. IEEE 802.15.4a 국제표준 임펄스 기술
4. 임펄스 기반 측위/통신 시스템
5. 결 론

오미경 · 김재영
(한국전자통신연구원)

1. 서 론

전세계적으로 유비쿼터스 환경에 대한 중요성이 부각되면서 위치 정보를 갖는 각종 기기들의 개발 및 보급이 진행됨에 따라, 언제 어디서나 사람과 객체의 위치를 인식하고, 이를 기반으로 한 다양한 측위 서비스가 대두되고 있다. 특히 실내나 음영지역에서도 측위가 가능하고 수 십 cm 이내의 정밀도를 요구하는 위치인식 서비스의 필요성이 크게 증가하고 있다.

임펄스 기술은 시간영역에서 매우 짧은 펄스를 생성하여 전송하는 기술로써, 데이터 통신뿐만 아니라 실내에서 수십 cm급 이내의 정밀한 측위/추적 기능을 줄 수 있다. 임펄스 기술은 Impulse-radio Ultra-wideband (IR-UWB)로도 일컬어지며, 위치인식 WPAN 표준인 IEEE 802.15.4a에서 물리계층 기술로 채택되어 2007년 3월 표준 제정 완료 하였다[1][2][3].

임펄스는 500MHz 이상의 점유 대역폭을 차지하는 신호로써, 기존 협대역 시스템이나 광대역 CDMA 시스템에 비해 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력 밀도를 가

지므로 기존의 통신 시스템과 양립할 수 있다는 것이 그 특징이다[4][5]. 이러한 IR-UWB 기술은 매우 넓은 주파수 대역 점유라는 특징을 이용하여 실내에서 정밀한 추적/기능을 줄 수 있기 때문에 (그림 1)과 같은 인명구조/방재, 유비쿼터스 홈, 작업장 안전관리 시스템 등 다양한 위치기반 서비스 실현을 위한 핵심 기술로 인식되고 있다.

본 고에서는 실내 무선 측위에 대한 기술 동향과, IEEE 802.15.4a IR-UWB 표준 기반 측위 기술, 그리고 현재 ETRI에서 구현하고 있는 측위 시스템에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 실내 측위 기술 동향

현재 실내 측위는 IR-UWB를 비롯한 WLAN, ZigBee, CSS (Chirp Spread Spectrum) 등 전자기파를 이용하는 기술과 전자기파 이외의 초음파, 적외선, 영상 등의 기술로 나눌 수 있다[6]. 초음파 및 적외선을 이용한 실내 측위는 수 cm급의 정밀도를 보이고 있으나 수 m 이내라는 인식거리의 한계를 가지고 있어 실내 30m급의 WPAN 환경에서 사용하는데 제약 사항이 많다.



위치기반 서비스 시나리오

(그림 1) 실내 위치기반 서비스 시나리오

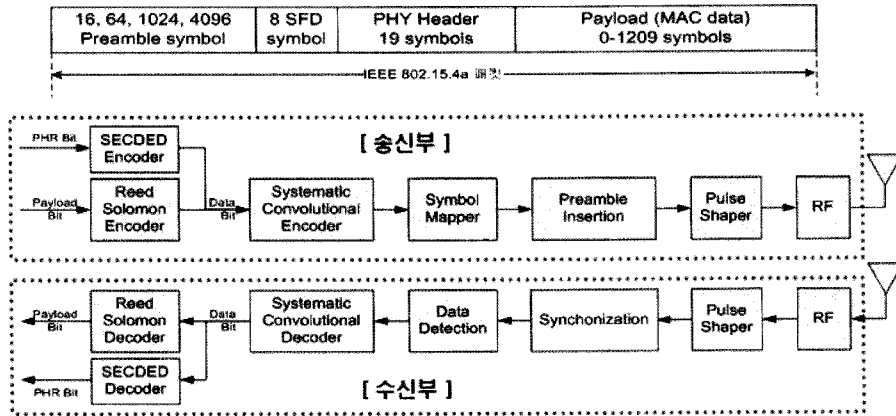
<표 1> 실내 측위 기술 동향

	기술 현황	장단점
비표준 IR-UWB (Timedomain사, Ubisense사)	- 비표준 임펄스를 이용한 측위 - 측위 정밀도: ±30cm 이하급	- 실내에서 30cm 이하급의 측위 정밀도 - 데이터 통신이 불가능하고 기존 노드간 망동기를 위한 Timing Cable 연결로 인프라 구축이 어려움
IEEE 802.15.4a IR-UWB 표준 (ETRI, IMEC사, Decawave사)	- 국제 표준 임펄스를 이용한 측위 - 측위 정밀도: ±30cm 이하급	- 실내 고정밀 측위 및 데이터 통신 가능 - 기존 노드간 Timing Sync-less 망으로 인프라 구축이 손쉬움 - 쌍방향 통신기능으로 전력소모 큰 편임
WLAN (마이크로소프트 연구소)	- WLAN 신호를 이용한 RSSI 기반의 측위 기술 - 측위 정밀도: 수 m급	- 물류추적 등에 사용될 수 있음 - 실내 정밀 측위로 사용하기 어려움 - 시스템 인프라 구성이 어렵고, 고가격임
ZigBee (TI사)	- IEEE 802.15.4 신호를 이용한 RSSI 기반의 측위 기술 - 측위 정밀도: 수 m급	- 통신 및 위치인식을 동시에 수행 - 실내에서 측위 정밀도가 떨어짐
CSS (Nanotron사)	- Chirp Spread Spectrum (CSS) 신호를 이용한 측위 - 측위 정밀도: 실내 2m/실외1m급	- 저전력 및 통신거리 확장성의 장점 - 2.4GHz ISM 밴드에서의 간섭영향이 있고, 실내 환경에 대한 영향이 큼
초음파 (MIT)	- 초음파를 이용한 측위 - 측위 정밀도: 수 cm급	- 수 cm급 정밀도가 가능하나, 데이터 통신 기능이 없고, 전파거리의 한계가 있음 - 장애물에 의한 간섭 및 방향성 특성으로 인해 이동체의 위치인식을 하기 어려움
적외선 (AT&T사)	- 적외선을 이용한 측위 - 측위 정밀도: 수 cm급	- 수 cm급 위치정확도의 장점 - 인식거리 1m 이내로 한계가 있으며, 통신기능이 없고, 형광등/적사광선의 간섭이 있음

따라서 WPAN 영역에서 실내 측위 서비스를 제공하기 위해서 전자기파 기술을 사용하여 시스템을 개발하는 사례가 대부분이다. <표 1>은 현재 실내 측위에 사용되고 있는 기술에 대하여 기술현황과 장단점에 대하여 정리한 표이다.

3. IEEE 802.15.4a 국제표준 임펄스 기술

IEEE 802.15.4a 국제표준은 ZigBee의 물리계층 기술인 IEEE 802.15.4의 대체 물리계층기술로, (그림 2)에 도시된 패킷을 송수신한다. 데이터 통신과 함께 고정밀 Ranging 기능을 주기 위



(그림 2) IEEE 802.15.4a IR-UWB 패킷 및 송수신부 블록 다이어그램

하여 시간영역에서 매우 짧은 임펄스를 이용하여 패킷 통신을 하고 있다. IEEE 802.15.4a IR-UWB 시스템은 (그림 2)의 블록도와 같이 IR-UWB 패킷을 생성하는 송신부와 패킷을 수신받아 데이터를 복원하면서 Ranging을 위해 펄스인 Leading Edge 검출을 수행하는 수신부로 나뉘어져 있다.

(그림 2)에서 살펴보는 바와 같이 IEEE 802.15.4a 임펄스 기반의 송수신부는 기본적인 무선 통신시스템의 구조와 다른 점이 크게 없다. 다른 점이 있다면 임펄스 신호를 위한 변조부(Symbol Mapping부)와 Pulse Shaper, 그리고 패킷 송수신과 함께 Ranging 기능을 수행한다는 것이다. 여기서는 기존 무선통신 시스템과 차별화 된 부분에 대해서 설명하도록 한다.

3.1 임펄스 기반 변조 기술

IEEE 802.15.4a 임펄스를 이용한 변조방식은 동기식(Coherent), 비동기식(Non-coherent)의 수신기를 지원할 수 있도록 (그림 2)에 도시된 IR-UWB 패킷의 PHY Header 및 Payload 구간에서는 BPM(Burst position modulation)+BPSK 변조 방식을 도입하였다. 이 변조 방식은 펄스의 위치와 극성에 정보를 실을 수 있으므로 2 비트를 1 심볼로 맵핑하는 방법이다. 또한 펄

스 한 개를 보내는 대신 4개 또는 16개를 보낼 수 있도록 되어있어 확산이득을 얻을 수 있도록 하였다. 여기서 펄스의 극성에 실리는 정보는 송신부의 Systematic Convolutional Encoder의 Parity이기 때문에 Non-coherent 방식의 수신단을 도입하여 펄스 극성을 복원하지 못하는 경우에도, 성능 열하는 발생하지만 데이터 통신을 할 수 있도록 하였다. 즉 오류 정정 기능을 수신단에서 활용할 수 없기 때문에 수신성능은 떨어지지만 저전력의 Non-coherent 수신기를 도입할 수 있도록 하였다.

(그림 2)의 IR-UWB 패킷에서 시간/주파수 동기, 채널추정, Ranging 등을 위한 Preamble과 SFD (Start Frame Delimiter) 구간에서는 앞서 설명한 BPM+BPSK 변조방식과 다른 방법을 사용하여 신호를 맵핑한다. 송수신단간에 서로 알고 있는 코드로 이루어진 Preamble 및 SFD 구간에서는 $\{1,0,-1\}$ 로 이루어진 길이 31의 Ternary Code가 1 Preamble 심볼이며, 이 심볼을 나타내는 방법은 0의 값에서는 펄스를 사용하지 않고, 1 또는 -1의 값에서는 펄스의 극성으로 맵핑하였다.

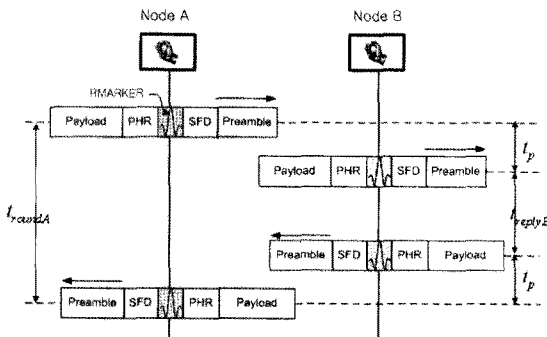
3.2 Pulse Shaper

IEEE 802.15.4a IR-UWB 표준에서 정하고 있

는 기저대역 임펄스 신호는 대역폭 500MHz, Roll-off Factor 0.6의 Root-Raised Cosine (RRC) 펄스와 Cross Correlation을 취하였을 경우, 그 값이 0.5nsec 동안 0.8 이상인 펄스를 사용하도록 하고 있다. 따라서 표준 규정에 맞는 임펄스는 어느 것이나 가능하므로, 3dB 주파수 대역폭이 500MHz인 8차 Butterworth 아날로그 펄스 등도 사용할 수 있다.

3.3 임펄스 기반 Ranging 기술

IEEE 802.15.4a IR-UWB 표준은 망동기가 필요없이 무선측위를 할 수 있도록 두 노드 사이에 Ranging 절차를 Optional로 정의하고 있다. 망동기 없이 무선측위를 하기 위해서는 기본적으로 (그림 3)과 같이 Two-Way Ranging (TWR)을 정의하고 있다. TWR 방법은 IR-UWB 패킷의 PHY Header 첫 번째 펄스(RMARKER라 일컫음)를 기준으로 패킷을 주고 받으면서 송수신시에 RMARKER의 Timestamp를 획득함으로써 Time-of-Flight (TOF)인 t_p 를 $(t_{roundA} - t_{replyB})/2$ 와 같이 계산한다. t_p 가 얻어지면 여기에 빛의 속도를 곱함으로써 노드 A와 B사이의 거리가 추정된다.



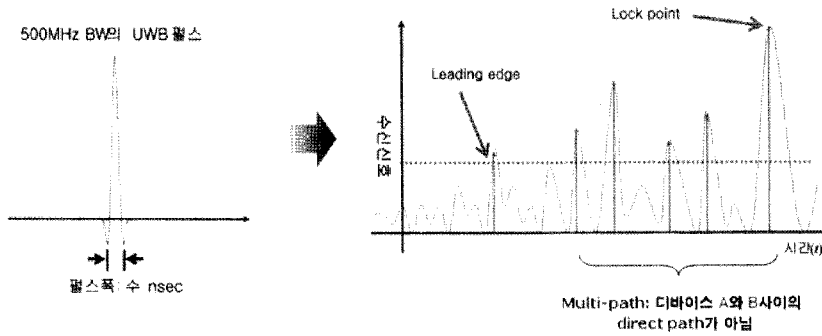
(그림 3) IEEE 802.15.4a 임펄스 기반 Two-Way Ranging 절차

(그림 3)의 TWR과 같은 방법으로 두 노드 사이에 Ranging을 수행하기 위해서는 각 노드에서

RMARKER의 Timestamp 정보를 획득할 수 있도록 Ranging Counter가 구비되어 있어야 하고, Ranging Counter의 Start/Stop 등의 동작을 제어하는 Ranging Controller를 구현해야 할 것이다.

여기서 RMARKER의 Timing을 획득하는 Ranging Counter에 대해서 살펴보자. 전파는 빛의 속도로 이동해 가기 때문에, RMARKER Timing을 획득할 때의 Insec 틀어짐은 30cm의 거리오차로 나타난다. 따라서 IEEE 802.15.4a IR-UWB 시스템에서 고정밀의 측위를 위해서는 각 노드에 구비되어 있는 Ranging Counter에서의 RMARKER 정밀 Timing 획득이 필수이다.

(그림 3)과 같이 IR-UWB 패킷 송신시에는 자기 자신의 RMARKER가 언제 송신되는지 알 수 있으므로 Timing 획득에 문제가 없지만, 수신시에는 실내 다중경로 무선 환경의 영향으로 (그림 4)와 같이 RMARKER 펄스가 여러 경로를 통해 들어오게 된다. 이 때 RMARKER 펄스가 직접경로(Direct Path)를 통해 전파되어, 수신단에서 측정된 신호가 최대값을 가지게 되면 문제가 없으나, (그림 4)와 같이 RMARKER의 직접경로 수신 신호가 다중경로에 의해 발생하여 수신된 신호보다 작은 경우에는 직접경로에 해당하는 Leading Edge를 검출하여 수신 RMARKER Ranging Counter값에서 보상해 주어야 한다. 일반적으로 실내 무선 환경에서 Leading Edge와 최대값인 Lock Point 사이의 시간차가 수 nsec에서 수십 nsec까지도 발생할 수 있으므로 이를 보상하지 않으면 수십 cm에서 수 m의 오차가 발생할 수 있음을 의미한다. 여기에서 실내 측위를 위해 임펄스를 사용하는 이유에 대해서 설명할 수 있다. (그림 4)와 같이 다중경로를 Resolving할 수 있는 이유 중에 하나가 시간영역에서 아주 짧은 즉 주파수영역에서 초광대역인 임펄스를 사용했기 때문이다. 이에 반해, 기존 무선통신 시스템에서 사용하는 협대역



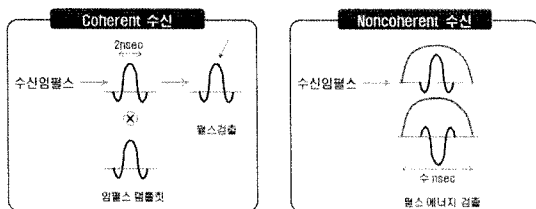
(그림 4) 실내 다중경로 환경에서의 수신신호 특성

신호는 다중경로 신호가 중첩되어 수신되므로 Leading Edge 검출이 어렵게 되어 기본적으로 수 m 이상의 거리오차가 발생하는 것이다.

3.3 IEEE 802.15.4a IR-UWB 수신 기술

위에서 살펴본 바와 같이 정밀한 Ranging을 위해서는 수신 RMARKER의 Timing을 획득함에 있어 Leading Edge 검출을 수행하여 보상해 주어야 한다. 이를 위해서는 에너지 검출에 기반을 둔 Non-coherent 수신기로는 정밀하게 Leading Edge 검출이 어렵기 때문에 Coherent 수신기 개발이 바람직하다.

(그림 5)에서 도시한 바와 같이 Coherent 수신기의 경우는 임펄스 신호를 그대로 복원할 수 있는데 반하여, Non-coherent 수신기는 수신임펄스의 에너지를 넓은 시간영역에 걸쳐 검출하기 때문에 임펄스의 Peak를 정밀하게 찾아내기가 어렵다.



(그림 5) 임펄스 신호를 위한 Coherent 수신기 v.s. Noncoherent 수신기

또한 Preamble 및 SFD 구간에서 사용하는 Ternary Code는 펄스의 극성 정보를 복원하여야 Correlation을 통한 패킷 검출, SOP (Simultaneous Operating Piconet) 구성 등을 수행할 수 있다. 그리고 PHY Header 및 Payload 구간에서 (그림 2)의 블록도에 나와 있는 Convolutional Decoder의 코딩 이득을 얻기 위해서 펄스의 극성 정보를 반드시 복원하여야 한다. 이를 위해서는 임펄스 기반 측위/통신 시스템을 위한 Coherent 수신기 개발이 필수이다.

4. 임펄스 기반 측위/통신 시스템

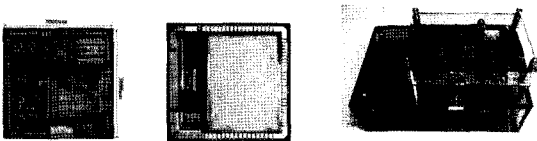
〈표 2〉 ETRI 임펄스 기반 측위/통신 시스템 개발 규격

Parameters	Value
대상규격	IEEE 802.15.4a
사용 주파수	3494.4, 3993.6, 4492.8MHz
채널 대역폭	499.2MHz
임펄스 규격	499.2MHz 대역폭의 RRC
Chip Rate	499.2MHz
ADC 규격	998.4MHz 클럭, 4-bit Resolution
DAC 규격	998.4MHz 클럭, 6-bit Resolution
변조방식	BPM+BPSK
프리앰블 길이	16, 64, 1024, 4096
전송 속도	0.85Mbps
채널 코딩	RS코드, Convolutional 코드
확산 이득	12dB
자원 SOP 수	6
수신기 방식	Coherent/Noncoherent 지원
Ranging 정밀도	실내 30cm 급

ETRI에서는 위치인식 WPAN의 표준인 IEEE 802.15.4a IR-UWB RF칩 및 모뎀칩과,

MAC 및 네트워크 그리고 응용 시스템을 개발해 오고 있다. ETRI에서 개발한 임펄스 기반 측위/통신 시스템 개발 규격은 <표 2>와 같고, 실내 30cm급 Ranging 정밀도 성능 및 데이터 통신 성능 향상을 위하여 Coherent 수신기를 기준으로 개발하였으며, Non-coherent 수신도 지원할 수 있도록 개발하였다.

(그림 6)은 2008년 12월 제작 완료된 임펄스 기반 측위/통신용 RF칩과 모뎀칩의 Die Photo와, 이 칩셋을 MCU(Micro-Controller Unit), UWB 칩 안테나와 통합시킨 보드를 도시한 것이다. 여기서 모뎀칩은 디지털 기저대역 모뎀과 아날로그-디지털간 데이터 컨버터인 1Gsp/s 4-bit ADC(Analog-to-Digital Converter) 및 1Gsp/s 6-bit DAC(Digital-to-Analog Converter)를 통합시킨 디지털/아날로그 Dual-Mode로 제작된 칩이다. 통합 보드는 측위/통신을 위한 프로토콜구현과 응용 프로그램과 인터페이스 하기 위한 MCU를 장착시키고, RF칩과 모뎀칩을 연동시켰으며, 작은 사이즈의 UWB 칩 안테나를 장착시켜 제작하였다.

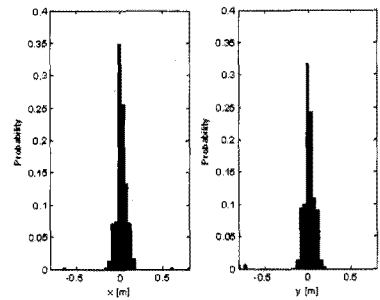
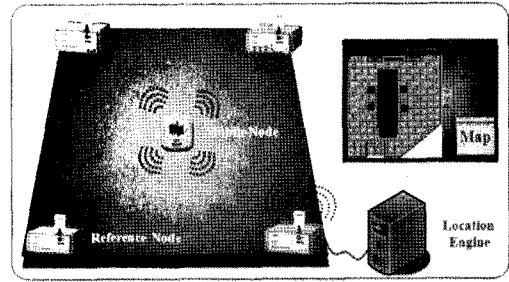


(그림 6) 측위/통신용 RF칩과 모뎀칩의 Die Photo 및 통합 보드

측위/통신용 IR-UWB 칩셋 기반의 통합 보드를 기준노드 및 이동노드로 활용하여 (그림 7)의 왼쪽과 같이 측위/통신 시스템을 구축하였다. 측위/통신 시스템은 이동노드의 위치를 인식하기 위해서 자기 자신의 위치를 알고 있는 3개 이상의 기준노드가 구비되어 있고, 이동노드와 기준노드간 Ranging 정보를 바탕으로 2D 위치계산을 수행하는 Location Server와 계산된 결과를

Display할 수 있는 Map으로 구성되어 있다.

(그림 7)의 오른쪽 그림은 (x,y)=(0,0)의 좌표에서 300번의 위치인식을 수행한 후 이를 2D 히스토그램으로 도시한 것이다. 위치인식을 수행한 환경은 실내 실험실 환경이며, 위치인식 계산은 Ranging 추정 정보를 이용하여 삼각 측량한 것이다. 기준노드와 이동노드간의 Ranging 정보는 노드간 클럭 주파수 옵셋에 대한 영향을 최소화하기 위하여 (그림 3)의 TWR을 양방향에서 수행하는 SDS (Symmetric-double-sided)-TWR을 이용하여 추정하였다. 실험 결과, 대부분의 경우 -20cm ~ +20cm 범위 내에서 위치인식이 되고 있음을 알 수 있다.



(그림 7) 무선측위/통신 시스템 구성도 및 실내 측위 성능

5. 결론

본 고에서는 실내 고정밀 무선측위와 1Mbps 급의 통신 기능을 동시에 제공하는 위치인식 WPAN 표준인 IEEE 802.15.4a IR-UWB 기술에 대해 살펴보았다. 그리고 ETRI에서 개발한 표준기반 IR-UWB 칩셋과 이를 이용한 시스템

구축, 그리고 실내 측위 성능에 대해 소개하였다.

제철소와 조선소 같은 공장에서의 작업장 안전관리 시스템, 유비쿼터스 홈, 지능형 로봇 가이드, 물류 추적, 방재 등의 서비스를 제공하기 위해서는 실내나 음영지역에서 수십 cm급의 측위 정밀도가 요구되므로 기존의 무선 기술을 이용한 위치인식 시스템과는 차별화된 시스템이 필요하다. 이에 부합하는 IEEE 802.15.4a IR-UWB 표준기반 시제품은 향후 1~2년 이내에 출시될 것으로 예상되고 있으나, 실내 수십 m에서의 측위 성능 및 저전력소모를 모두 만족하는 상용제품의 출시는 그 이후가 될 전망이다.

참고문헌

[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, March 2007.

[2] M. Oh, J. Kim, "Ranging implementation for IEEE 802.15.4a IR-UWB systems," IEEE VTC 2008, pp 1077-1081, May 2008.

[3] 오미경, 박주호, 오정열, 길민수, 김재영, "실내 무선측위/통신을 위한 IEEE 802.15.4a IR-UWB 시스템 설계," 임베디드공학회 추계 학술대회, Nov. 2008.

[4] J. Ryckaert, G. Van der Plas, V. De Heyn, et al, "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.

[5] Z. Sahinoglu and S. Gezici, "Ranging in the IEEE 802.15.4a standard," IEEE

WAMICON 2006, pp. 1-5, Dec. 2006.

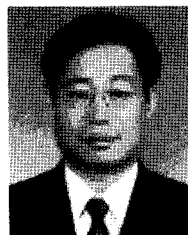
[6] 남윤석, 최은창, 허재두, "저속 WPAN에서 수신신호세기의 Vector Matching을 이용한 위치인식 방법," Journal of Info. Tech. App. & Management, 제 12권, 제 4호, pp. 93-104, Dec. 2005.

저자약력



오 미 경

2000년 중앙대학교 전기전자제어공학부(학사)
 2002년 한국과학기술원 전자전산학과(석사)
 2006년 한국과학기술원 전자전산학과(박사)
 2002년 9월~2004년 2월 미국 미네소타주립대/방문연구원
 2006년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야 : 통신 및 Ranging 모뎀 신호처리, IR-UWB
 측위시스템, WPAN시스템
 이 메 일 : ohmik@etri.re.kr



김 재 영

1990년 연세대학교 전자공학과(학사)
 1992년 연세대학교 전자공학과(석사)
 1996년 연세대학교 전자공학과(박사)
 1996년~1999년 대우전자 선임연구원
 1999년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : Analog/RFIC 설계, IR-UWB 측위시스템,
 WPAN/WBAN시스템
 이 메 일 : jvk@etri.re.kr