

사용자 위치기반 홈오토메이션 서비스 기술 개발에 관한 연구

이중기*, 이영석²

¹한국폴리텍대학 메카트로닉스과, ²한국폴리텍대학 전자정보통신과

A Study on the Technology Development of User-based Home Automation Service

Jung-Gi Lee^{1*}, Yeong-Seok Lee²

¹Mechatronics, Korea Polytechnic University

²Division of Electronics & Telecommunications, Korea Polytechnic University

요 약 IoT 기술이 발전함에 따라 사용자의 이동성 및 정체성을 확인하기 위한 위치 기반 서비스(Location Based Service)에 대한 수요가 증가되고 있다. 초기의 LBS 시스템은 GPS(Global Positioning System) 위성에서 보내오는 신호의 위상을 측정하거나 반송파 신호의 코드를 추적하여 위성까지의 거리를 측정함으로써 위치정보를 확인하는 기술이 주로 사용되었다. 그러나 GPS위성을 사용하는 방식은 실내에서는 위성 신호의 수신이 어렵기 때문에 그 효용성이 떨어진다. 따라서 실내 환경에서 활용할 수 있는 위치인식기술을 위해 UWB, RFID, Zigbee 등과 같은 무선 통신 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본 논문에서는 저전력 기반의 위치 인식을 위한 IEEE 802.15.4a의 표준을 활용하여 CSS를 위한 2.45GHz 대역과 UWB를 위한 3.1~10.6GHz대역 및 250-750 MHz대역의 주파수 대역을 포함을 하는 LBS 시스템을 설계하였다. 그 결과로서 2.45GHz ISM RF 트랜시버와 Ranging 기능을 하드웨어로 구현하여 0dBm의 출력파워를 갖음을 확인하였다.

Abstract As Internet of Things (IoT) technology advances, there is a growing demand for location-based services (LBSs) to identify users' mobility and identity. The initial LBS system was mainly used to measure position information by measuring the phase of a signal transmitted from a global positioning system (GPS) satellite or by measuring distance to a satellite by tracking the code of a carrier signal. However, the use of GPS satellites is ineffective, because it is difficult to receive satellite signals indoors. Therefore, research on wireless communications systems like ultra-wide band (UWB), radio frequency identification (RFID), and ZigBee are being actively pursued for location recognition technology that can be utilized in an indoor environment. In this paper, we propose an LBS system that includes the 2.45GHz band for chirp spread spectrum (CSS), and the 3.1-10.6GHz band and the 250-750MHz bands for UWB using the IEEE 802.15.4a standard for low power-based location recognition. As a result, we confirmed that the 2.45GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band RF transceiver and the ranging function can be realized in the hardware and has 0dBm output power.

Keywords : CSS, IEEE802.15.4a, IoT, LBS, UWB,

1. 서론

최근 반도체의 소형화 및 무선 통신 기술의 발전으로 사용자에게 장소와 환경에 구애받지 않고 원하는 정보와 서비스를 제공할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous

Computing)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 사용자의 편의성 및 안정성 향상을 위한 무선위치인식 기술은 내비게이션, 홈오토메이션, 주차관리, 물류관리, 전선관안내 및 미아 방지 등 여러 분야에서 적용되고 있다[1]

*Corresponding Author : Jung-Gi Lee (Mechatronics, Korea Polytechnic Univ.)

Tel: +82-41-539-9472 email: leejk53@kopo.ac.kr

Received February 22, 2017

Revised March 9, 2017

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

이처럼 LBS는 현재 위성신호와 삼변측량법을 이용하는 GPS(Global Positioning System)는 실시간으로 이동하는 물체의 위치를 파악할 수 있으므로 위치 추적 서비스를 요구하는 분야에서 많이 활용되고 있다. 하지만 위성 신호 수신이 어려운 실내에서는 그 활용도가 떨어진다. 그에 따라 실내 환경에 적합한 위치인식을 위하여 UWB, Zigbee, RFID, Cricket 등과 같은 무선 통신 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 중이다[2-4]. IEEE 802.15.4a의 Chirp 신호와 SDS-TWR 방식에 오류방지 알고리즘을 적용하여 기존의 실내위치인식 기술로 사용되고 있는 Zigbee-RSSI의 위치 오차를 줄였다. 하지만 장애물이 존재하지 않는 가로 6m 세로 3m의 환경에서만 실험이 진행되어 여러 환경적 장애로 인한 오차보정에는 신뢰할 수 없다는 단점을 가진다.[5-8]

실내에서 사용자의 위치를 측위하기 위해서는 저전력에 기반을 두고 IEEE 802.15.4a의 두 기반 기술인 CSS 주파수 대역과 UWB 주파수 대역 모두에서 같이 동작하는 시스템의 개발이 필요하다. 이에 본 논문에서는 저전력 기반의 위치기반 서비스를 위해 IEEE 802.15.4a 기반 위치인지 서비스 기술을 개발하였다.

IEEE 802.15.4a는 CSS(Chirp Spread Spectrum)와 IR-UWB(Impulse Radio-Ultra Wide Band)를 포함한 표준으로 CSS를 위한 2.45GHz대역의 주파수 대역과 UWB를 위한 3.1~10.6GHz대역 및 250-750 MHz대역의 주파수 대역을 포함하고 있다.

2. 본론

IEEE 802.15.4a 중 CSS는 250kb/s에서 최대 2Mb/s의 속도를 제공하며 IR-UWB에서는 842kb/s를 제공한다. 그림 1은 IEEE 802.15.4a의 주파수 대역을 보이고 있다.

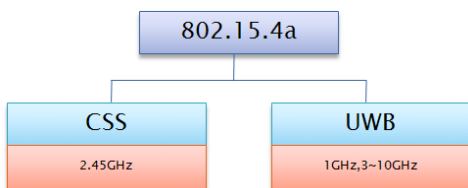


Fig. 1. 802.15.4a Base Band

2.1 신호의 특성

2.45 GHz 대역을 사용하는 CSS PHY로 기존의 IEEE 802.15.4와 달리 Chirp Pulse를 이용한 DBO-CSK(Differential Bi-Orthogonal Chirp Shift Keying) 변조방식을 사용한다.

Chirp 신호의 특성은 시간이 지남에 따라 주파수가 변하는 신호로 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S_{ch}(t) = \exp \left[j \left(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{ch}} \right) t + \theta_0 \right] \times [u(t) - u(t - T_{ch})] \quad (1)$$

식 (1)은 Chirp 신호 중 Rectangular Linear Chirp 신호로써 각각의 구성은 다음과 같다.

T_{ch} : Linear Chirp Signal의 Duration

ω_s : Linear Chirp의 Sweeping이 시작하는 시작 주파수

ω_{BW} : Sweeping하는 Bandwidth

$u(t)$: Unit Step 함수

식 (1)에 나타난바와 같이 시간이 지남에 따라 Schirp (Chirp signal)은 일정한 기울기로 주파수가 변한다. 그리고 시간에 따라 위상이 점점 더 빠르게 변화하는 것을 볼 수 있다

그림 2는 chirp 신호에 따른 펄스와 주파수의 변화를 보이고 있다.

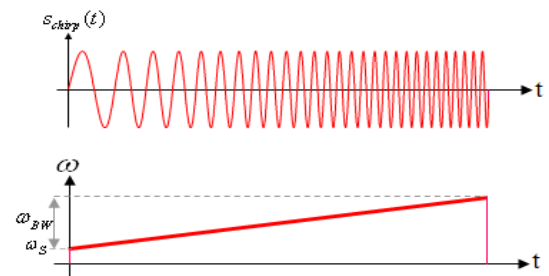


Fig. 2. Pulse and Frequency variation of Chirp Signal

CSS의 변조 방식으로는 DBO(Differential Bi-Orthogonal Shift Keying)방식을 사용하는데 이는 특정 Linear Chirp에 Phase Modulation을 적용하여 Data를 전송한다. Phase Modulation 방식은 Binary Phase와 Quadrature Phase모드로 동작할 수 있다.

2.2 Binary phase shift keying 방식

기존의 Chirp 신호에 π 만큼의 위상 차이를 두어 신호를 구분하는 방식으로 공식화 하면 다음과 같으며 2개의 신호를 발생한다.

$$S_0(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (2)$$

$$S_1(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t + \pi] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (3)$$

2.3 Quadrature Phase Shift Keying 방식

1/4 만큼의 위상 차이를 두어 신호를 분리하는 방법으로 신호를 기존의 Chirp 신호에 $\pi/2, \pi, 3\pi/2$ 신호를 천이시켜 변조한다.

$$S_0(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (4)$$

$$S_1(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t + \pi/2] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (5)$$

$$S_1(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t + \pi] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (6)$$

$$S_1(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t + 3\pi/2] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (7)$$

Encoding 방식으로 Differential Bi-Orthogonal 방식을 사용하는데 8-ary와 64-ary방식이 있다. 8-ary방식은 3개의 비트를 입력 받아 4개의 Bi-Orthogonal Code로 Encoding 된다.

Table 1. 8-ary bi-orthogonal mapping (r=3/4, 1 Mb/s)

Data Symbol (Decimal)	Data Symbol (Binary) (b0 b1 b2)	Code Word (c0 c1 c2 c3)
0	000	1 1 1 1
1	001	1 -1 1 -1
2	010	1 1 -1 -1
3	011	1 -1 -1 1
4	100	-1 -1 -1 -1
5	101	-1 1 -1 1
6	110	-1 -1 1 1
7	111	-1 1 1 -1

데이터 전송모드는 Coherent Detection 보다 성능이 떨어지는 Differential Detection 모드를 사용하는데 이는 Coherent Detection으로 SOP(Simultaneously Operating

Piconet)구성을 위해 Chirp의 기울기와 시작 주파수를 다르게 하였을 경우 하드웨어의 복잡도가 증가하기 때문이다. Differential Detection을 사용하는데 성능을 보완하기 위해서 3/4 Bi-Orthogonal coding 방식을 사용한다.

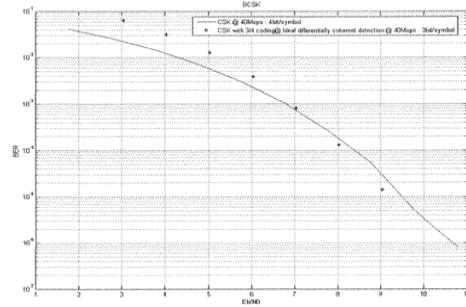


Fig. 3. Coherent Detection and 3/4 Bi-Orthogonal coding Comparison

점선으로 표시된 것이 3/4 coding을 Differential Detection으로 수신할 때의 Bit Error Rate를 나타낸 것이고 실선으로 표시된 것이 Coherent Detection이다. 시간이 지날수록 BER특성이 좋아 짐을 알 수 있다.

Ranging은 위치 기반을 위해 가장 먼저 도착한 신호를 구분하기 위해서 일종의 동기를 맞추는 방식으로 신호를 찾는 방법은 다음과 같다.

아래 그림은 수신된 신호의 single Chirp에서 빨간색으로 표시된 직선은 Chirp signal을 conjugate한 time reference이고 검정색은 전송된 Chirp signal인데 이렇게 어긋난 2개의 Chirp signal이 곱해 졌을 때 사각형의 주파수 성분을 갖게 된다. Multipath시에도 마찬가지로인데 이렇게 시간차에 비례하여 신호가 생성 된다. 때문에 수신기에서 이를 역으로 하여 가장 먼저 도착한 component를 찾아낼 수 있으며 이 시간을 이용하여 위치를 추적할 수 있다.

2.4 DBO-CSK의 SOP

W-PAN에서 사용되는 시스템에서는 동시에 여러 그룹통신을 위하여 SOP (Simultaneously Operating Piconet)을 규정하게 되어 있는데 up/down chirp를 이용한 정책과 Different Time-Gap을 이용하여 piconet을 구분한다. up/down chirp 방식은 시간영역에서 주파수 변화를 4가지로 구분하여 각각의 Piconet을 구분하는 방식이다.

up/down chirp을 이용한 방식은 주파수의 변화를 다르게 하여 같은 대역에서 신호를 구분하여 Piconet을 구분할 수 있다.

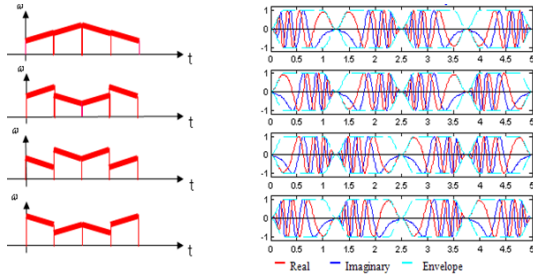


Fig. 4. SOP using Up and Down Chirp Pulses

Time-Gap을 이용하는 방식은 주파수의 간격을 다르게 하여 Piconet을 구분하는 방식인데 이는 Difference encoding 방식을 사용하기 때문에 가능한 방식이다. 두 심볼에 들어가는 time-gap을 동일하게 하고 piconet 별로 심볼 간격을 다르게 하여 신호를 구분한다.

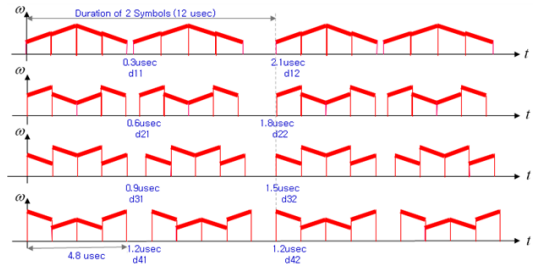


Fig. 5. SOP using Time-gap and up/down chirp

3. LBS 시스템 제작

2장에서 살펴본 내용들을 토대로 설계한 CSS 변조기의 구성은 다음과 같다.

그림 9에 보이는 각 블록의 동작은 다음과 같다.

De-multiplexer (DEMUX)는 2진 데이터 값을 받아서 I Path와 Q Path로 맵핑하는데 3비트 단위와 6비트 단위로 구분하여 맵핑한다. 이는 Bi-orthogonal 심볼로 맵핑하기 위한 작업이다. 3비트 맵핑의 경우 다음과 같다.

I-path : 1 0 0

Q-path : 1 1 0

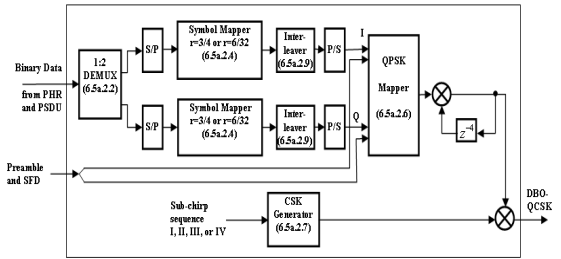


Fig. 6. Differential Bi Orthogonal Quaternary Chirp Shift Keying Modulator and Spreading

Serial to parallel mapping (S/P)는 신호를 변환하기 위에 직렬신호를 병렬로 바꾸어 신호를 I Path와 Q Path로 분리하고 3비트 단위로 묶어서 symbol 맵핑장치로 보내준다. 보내주는 신호의 형태는 다음과 같다.

I-path: {1 0 0}

Q-path: {1 1 0}

Data symbol to bi-orthogonal code word mapping 블록은 3비트 혹은 6비트로 구분된 신호에 대하여 Bi-orthogonal symbol형태로 맵핑하는 장치이다. 3비트로 맵핑된 신호는 1Mbps의 속도를 가지며 4개의 신호로 맵핑되며 6비트로 맵핑된 신호는 32개의 신호로 Bi-orthogonal symbol로 맵핑된다. 3bit의 경우 맵핑되는 형태는 다음과 같다.

I-path: -1 -1 -1 -1

Q-path: -1 -1 1 1

Parallel-to-serial converter (P/S) and QPSK symbol mapping 블록은 QPSK 변조를 위해 병렬로 된 신호를 다시 직렬신호로 바꾸어 주고 직렬로 된 신호를 QPSK 변조한다.

그림 7은 개발된 위치 인지용 보드의 블록도를 보이고 있다.

개발된 시스템의 동작은 다음과 같다.

트랜시버는 TX, RX, 기본적 디지털 동작을 수행하여, ISM 밴드 패스 필터와 안테나를 통하여 필터링하여 외부 잡음 신호를 처리한다.

위치 인지용 보드와 PC와 연결을 위하여 RS-232를 이용한 통신을 하며, PC에서는 Hyperterminal 소프트웨어를 사용한다.

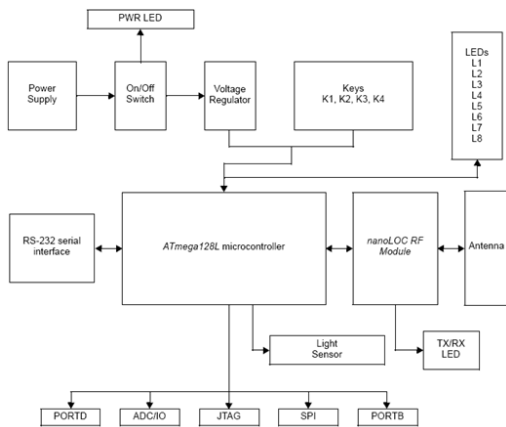


Fig. 7. Block diagram of developed board

JTAG 인터페이스를 통하여 위치 인지용 소프트웨어 펌웨어를 퓨징또는 디버깅을 한다. ISP 인터페이스는 위치 인지용 보드에 프로그램을 퓨징하는데 인터페이스 역할을 한다. AVR ISP 툴을 사용하여, WINAVR 프로그램을 사용하여 AVR용 소스코드를 실행파일을 생성한다.

그림 8은 위치 측위를 위한 실행된 서버프로그램을 보이고 있다.

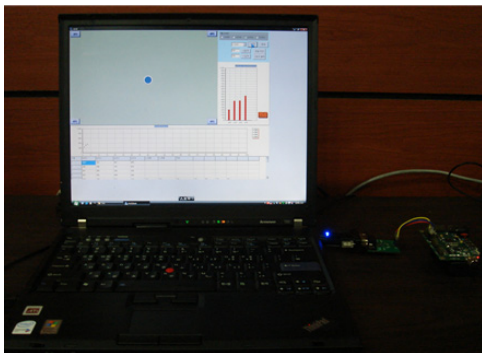


Fig. 8. Executed server program for location positioning

4. 결론

본 논문에서는 저 전력 기반의 위치 인식을 위하여 제안된 IEEE 802.15.4a는 CSS(Chirp Spread Spectrum)와 IR-UWB(Impulse Radio-Ultra Wide Band)를 포함한 표준으로 CSS를 위한 2.45GHz대역의 주파수 대역과 UWB를 위한 3.1~10.6GHz대역 및 250-750 MHz대역의 주파수 대역을 포함하고 있다. CSS의 주파수 대역에

서는 250kb/s에서 최대 2Mb/s의 속도를 제공하며 IR-UWB에서는 842kb/s를 제공한다. 2.45 GHz 대역을 사용하는 CSS PHY로 기존의 IEEE 802.15.4와 달리 Chirp Pulse를 이용한 DBO-CSK(Differential Bi-Orthogonal Chirp Shift Keying) 변조방식을 사용한다. CSS의 변조 방식으로 DBO(Differential Bi-Orthogonal Shift Keying)방식을 사용하는데 이는 특정 Linear Chirp에 Phase Modulation을 적용하여 Data를 전송한다. Phase Modulation 방식은 Binary Phase와 Quadrature Phase모드로 동작할 수 있다. 따라서 본 논문의 결과와 같이 위치 인식을 위한 2.45GHz ISM RF 트랜시버와 Ranging 기능을 하드웨어로 구현하여 0 dBm nominal 출력 파워를 갖도록 설계하여 사용한다면 저렴한 가격으로 위치기반의 인식이 가능하리라 사료된다.

References

- [1] H. J. Cho, K. I. Hwang, D. S. Rho, D. H. Seo, "Real Time Indoor Positioning System using IEEE 802.15.4a and Sensors", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 6, no. 36, pp. 850-856, Sep. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.6.850>
- [2] B.K. Kim, W.V. Park, Y.W. Ko, "Indoor positioning system using inertial sensor and cricket", *The journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 9, no. 5, pp. 17-24, 2011.
- [3] S. K. Park and Y. S. Suh, "Pedestrian navigation system using inertial sensors and vision", *Trans. KIEE*, vol. 59, no. 11, 2010.
- [4] B. Alzvi, and K. Pahlavan, "Modeling of the TOA-based Distance Measurement Error using UWB Indoor Radio Measurement," *IEEE Communication Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 275-277, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2006.1613745>
- [5] I. Suvenc, Z. Sahinoglu, and P. V. Orlik, "TOA Estimation for IR-UWB Systems with Different Transceiver Types," *IEEE Trans. Microwave Theory and Technique*, vol. 54, no. 4, pp. 1876-1886, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2006.872044>
- [6] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System", *IEEE INFOCOM*, vol. 2, Israel, pp. 775-784, Mar. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFCOM.2000.832252>
- [7] F. Lassabe, P. Canalda, P. Chatonnay and F. Spies, "A Friss based Calibrated Model for WiFi Terminals Positioning", *Proc. of WoWMoM*, pp. 382-387, 05, Jun. 2005
- [8] J. Hightower and G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing", *Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1109/2.940014>

이 중 기(Jung-Gi Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 원광대학교 전기전자공학부 (전자 공학사)
- 2005년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (전자및통신시스템 석사)
- 2007년 1월 ~ 2009년 3월 : (주) 유타렉스 기술연구소 책임연구원

- 2009년 4월 ~ 2015년 1월 : (주) 스마트온커뮤니케이션 선임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 아산캠퍼스 메카트로닉스과 교수

<관심분야>

전자 및 통신시스템, RFID/USN, IoT 및 융합기술

이 영 석(Yeong-Seok Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (학사)
- 1993년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (석사)
- 2004년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 성남캠퍼스 전자정보통신과 교수

<관심분야>

정보통신, RFID/USN, IoT 및 융합기술