

CSS 기반의 TOA 알고리즘을 이용한 위치인식 시스템 구현에 관한 연구

A Study on the Location Awareness System Using TOA(Time of Arrival) of CSS(Chirp Spread Spectrum) Algorithm

김 정 수* 양 진 욱** 양 성 현***
(Jung-Soo Kim) (Jin-Uk Yang) (Sung-Hyun Yang)

요 약

본 연구는 저속의 UWB를 이용하여 지하 주차장, 터널 등 GPS로 위치 인식이 불가능한 실내 지역에서 차량관리 및 위치 인식을 하기 위한 목적으로 진행되었다.

본 논문에서는 IEEE802.15.4a의 2.45GHz 대역 표준으로 채택된 CSS(Chirp Spread Spectrum)를 이용하여 Ranging과 TOA(Time-of-Arrival)방식의 실내 위치인식 시스템을 제안 하였다. 기존의 실내 위치 인식기술로 사용되고 있는 Zigbee의 RSSI(Received Signal Strength Indication)는 환경 변화에 따른 오차율과 항상 최대 전력 사용을 필요로 하기 때문에 전력 소비가 많은 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 위에서 언급된 단점을 보완하기 위하여 위치기반으로 표준화된 801.15.4a Chirp 신호와 스펙트럼 방식의 특성을 이용한 SDS-TWR(Symmetrical Double Side-Two Way Ranging) 방식을 채택하여 TOA(Time of Arrival) 알고리즘을 통해 계산된 거리와 좌표를 측정하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 오류 방지 알고리즘을 적용한 데이터 오류율이 1% 미만으로 줄었으며, 가중치 팩터와 노드 운영 방안을 이용한 좌표 측정에서 6m × 3m 공간 안에 5cm 미만의 오차를 갖는 위치인식 시스템을 검증할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose the Location Awareness System adjusting Ranging Technology for CSS(Chirp Spread Spectrum) which is adopted on 2.45GHz standard in IEEE 802.15.4a and TOA(Time-of-Arrival) algorithm.

The conventional methods have adopted RSSI, ultrasonic waves and infrared rays in Zigbee. RSSI measures strength indication of received signal and recognizes the position of nodes in RF boundary. However, this technology has the following problems; lots of error by the change of the channel environment and much power consumption

In this paper, adopting chirp pulse on 2.45GHz standard in IEEE 802.15.4a and SDS-TWR(Symmetrical Double Side-Two Way Ranging) method using the characteristic of Spread Spectrum, a new Location Awareness System is suggested. The distance and the coordinate are measured within ± 5 cm by TOA(Time of Arrival) algorithm and proposed algorithm and the data in error rate is decreased less than 1%. Through these results, the algorithm suggested in this paper is verified for its performance in a computer simulation.

Key words : Ranging, TOA (time of arrival), location awareness system, WPAN, CSS

본 논문은 2006년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

* 주저자 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

*** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 3월 18일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 위성 통신으로 불가능한 지역의 위치 인식을 하기 위한 기술로 저 전력의 WPAN의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 기존의 실내 위치 인식 기술은 정확한 위치인식이 어렵고 많은 수의 노드가 요구되는 단점이 있다[1, 2]. 이런 단점들을 보완 하고자 새로운 실내 위치인식을 위해 UWB (Ultra Wide Band)의 저속 부분을 사용한 위치 인식 표준으로 IEEE 802.15.4a가 제정되었다 [3, 4]. 802.15.4a는 Chirp Pulse를 이용하여 RF의 신호의 시작시간과 도착시간만을 이용하여 거리를 측정 할 수 있는 것이 장점이다.

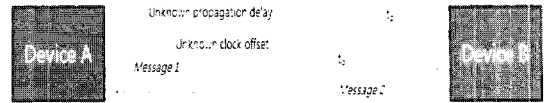
본 논문에서는 Nanotron사의 RF 모듈을 이용하여 거리를 측정하는 Ranging 알고리즘과 위치를 추정 할수 있는 TOA(Time- of-Arrival)을 이용하여 위치 인식 시스템을 구현 하였다. II단원에서는 본 논문에서 구현한 거리측정 방법에 대하여 기술하였고, III단원에서는 chirp Spread Spectrum의 신호 및 채널 분리방법을 분석하고 Ranging 방법에 대하여 설명하였다. IV단원에서는 위치인식 시스템을 제안 하고 구현 및 측정결과를 기술 하였으며 V단원에서 측정 결과로부터 발생한 오차율을 보완 하였고 마지막으로 VI단원에서 결론을 맺도록 한다.

II. 거리 측정 방법 및 기술 제안

본 단원에서는 본 논문에서 사용된 실내에서 거리를 측정하기 위한 Time of Arrival에 대하여 설명 한다.

1. TOA(Time of Arrival)

TOA 방법은 이동에 장치와 고정 장치 사이의 전 파 전달 시간을 측정하여 거리를 구하는 방식이다. TOA에서는 크게 TWR (Two Way Ranging)방법과 OWR (One Way Ranging)방법으로 나누어진다. 이



$$T_{2AR} = T_{2BT} - t_0 + t_p$$

$$T_{1BR} = T_{1AT} + t_0 + t_p$$

<그림 1> Two-Way Time 교환 모델
<Fig. 1> Two-way time model

러한 방법들은 두 장치간의 동기가 맞아야 정확한 측정이 가능하다. 그래서 통신 프로토콜과 네트워크 토폴로지에 크게 의존한다. 두 비동기 transceiver 사이에서 신호의 round-trip TOF (Time Of Flight) 측정을 가능하게 하는 첫 번째 기법은 전통적인 TWR 동기 기법이다.

장치 A와 장치 B는 동기가 맞지 않는 상태에서 장치 A에서 장치 B로 메시지 1을 보낼 때를 예를 들어 설명한다. 장치 A와 B는 3초라는 시간차가 있다고 가정한다. 즉, 장치 A는 0초부터 시작되고 B는 3초부터 시작된다고 생각하면 된다. 그리고 두 장치 간에 전송 지연을 5초라 가정을 한다면, 장치 B에서의 메시지 수신 시간은 장치 A에서 보낸 시간 0초에 두 장치 간의 클럭 오프셋 3초를 더하고 전송 지연 시간 5초를 더해주면 장치 B에서 메시지 수신 시간은 8초로 계산이 된다. 메시지 2도 위와 같은 과정으로 장치 A로의 메시지 수신 시간을 계산 할 수 있다.

한 쌍의 단말기는 반 이중(Half-Duplex) 패킷 교환을 가지고 시간 다중 통신(Time-Multiplex)이 된다. 요구장치 A가 응답 장치 B에게 패킷을 보낸다고 할 때, 이때 응답 장치 B는 장치 A의 동기 시간 정보를 포함한 패킷을 가지고 자신과의 동기를 맞추고 난 후 미리 약속된 일정한 시간을 지연하고 나서 응답을 하게 된다. 이러한 응답의 수신은 요구 장치 A가 Round-Trip TOF 정보를 결정할 수 있게 해준다. 즉 요구 장치 A가 보낸 패킷이 다시 돌아온 시간을 측정하고 이때 미리 약속한 응답 지연 시간을 빼주게 되면 장치 A와 B사이의 왕복 TOF가 된다. 이러한 해결은 특히 분포된 네트워크의 경우에 적당하다.

III. CSS(Chirp Spread Spectrum)를 이용한 Ranging

본 단원에서는 Chirp Spread Spectrum [5-8]의 주파수 대역 신호의 특성 및 채널 관리에 대하여 설명한다.

1. 주파수 대역

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 250~750MHz대역의 주파수 대역을 포함하고 있다. CSS의 주파수 대역에서는 250kb/s에서 최대 2Mb/s의 속도를 제공하며 IR-UWB에서는 842kb/s를 제공한다.

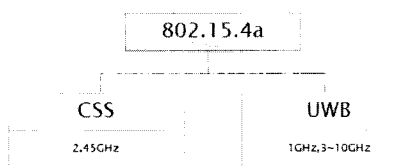
2. CSS(chirp spread spectrum) 특성

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

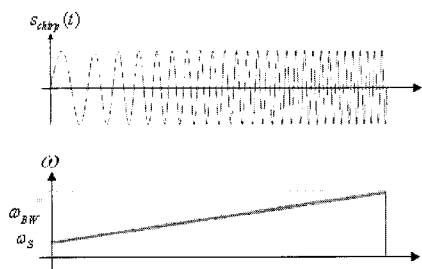
1) Chirp Pulses

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

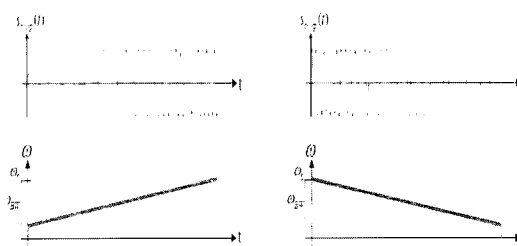
$$s_{chirp}(t) = \text{Re} \left[\exp \left[j \left(\omega_0 t + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}} t^2 + \theta_0 \right) \right] u(t) - u(t - T_{chirp}) \right] \quad (1)$$



<그림 2> 802.15.4a 주파수 대역
<Fig. 2> 802.15.4a base band



<그림 3> Chirp 신호에 따른 펄스와 주파수 변화
<Fig. 3> Pulse and frequency variation of chirp signal



<그림 4> 상향 Chirp과 하향 Chirp
<Fig. 4> Up chirp and down chirp pulses

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

Tchirp : Linear Chirp Signal의 Duration

ω_s : Linear Chirp의 Sweeping이 시작하는 시작 주파수

ω_{BW} : Sweeping하는 Bandwidth

$u(t)$: Unit Step 함수

때문에 시간이 지남에 따라 Schirp(Chirp signal)은 일정한 기울기로 주파수가 변한다. 때문에 시간에 따라 위상이 점점 더 빠르게 변화하는 것을 볼 수 있다.

2) Differential Bi-Orthogonal Chirp Spread Shift Keying 변조 방식

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.

(1) Binary Phase Shift Keying 방식

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

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

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

(2) Quadrature Phase Shift Keying 방식

Quadrature Phase 는 chirp 신호를 $2\pi \times \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2}$ 만큼의 위상 차이를 두어 변조한다.

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

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

$$S_2(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t + \pi] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})]$$

$$S_3(t) = \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{\chi rp}}t)t + 3\pi/2] + [u(t) - u(t - T_{\chi rp})] \quad (3)$$

3. Ranging Mode

Ranging은 위치 기반을 위해 가장 먼저 도착한 신호를 구분하기 위해서 일종의 동기를 맞추는 방

식으로 신호를 찾는 방법은 다음과 같다.

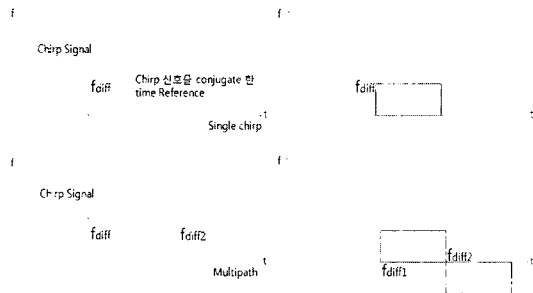
아래 그림은 수신된 신호의 single Chirp에서 점선으로 표시된 직선은 Chirp signal을 conjugate한 time reference이고 실선은 전송된 Chirp signal인데 이렇게 어긋난 2개의 Chirp signal이 곱해 졌을 때 사각형의 주파수 성분을 갖게 된다. Multipath시에도 마찬가지로인데 이렇게 시간차에 비례하여 신호가 생성된다. 때문에 수신기에서 이를 역으로 하여 가장 먼저 도착한 component를 찾아낼 수 있으며 이 시간을 이용하여 위치를 추적할 수 있다.

4. DBO-CSK의 SOP (Simultaneously operating piconet)

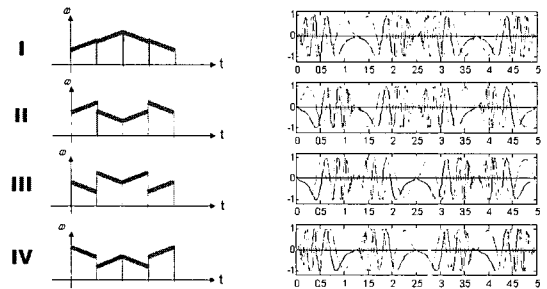
W-PAN에서 사용되는 시스템에서는 동시에 여러 그룹통신을 위하여 SOP (Simultaneously Operating Piconet)을 규정하게 되어 있는데 up/down chirp를 이용한 정책과 Different Time-Gap을 이용하여 Piconet을 구분한다. Up/Down chirp 방식은 시간영역에서 주파수 변화를 4가지로 구분하여 각각의 Piconet을 구분하는 방식이다.

Up/Down Chirp를 이용한 방식은 주파수의 변화를 다르게 하여 같은 대역에서 신호를 구분하여 Piconet을 구분할 수 있다.

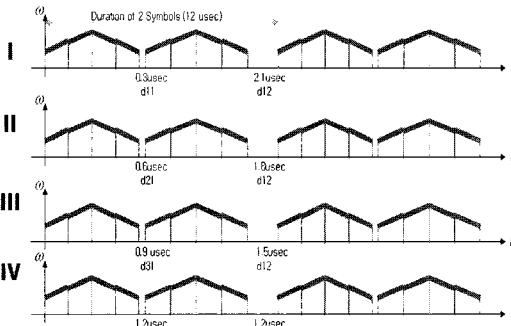
Time-Gap을 이용하는 방식은 주파수의 간격을 다르게 하여 Piconet을 구분하는 방식인데 이는 Difference encoding 방식을 사용하기 때문에 가능한 방식이다. 두 심볼에 들어가는 Time-Gap을 동일하



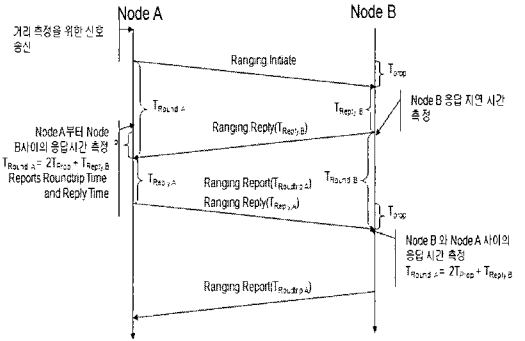
<그림 5> Chirp 신호의 Conjugate의 곱
<Fig. 5> Chirp signal conjugate multiplier



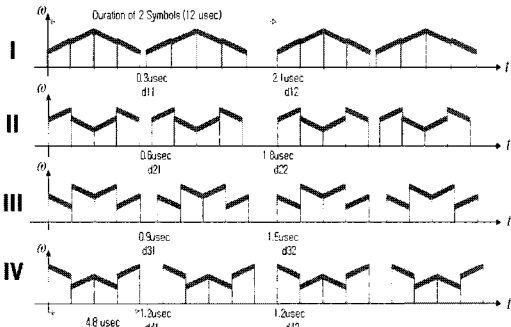
<그림 6> Up/down chirp를 적용한 SOP
<Fig. 6> SOP adjusting Up and Down chirp pulses



<그림 7> Time-gap을 적용한 SOP
<Fig. 7> SOP adjusting Time-gap



<그림 9> SDS-TWR
<Fig. 9> SDS-TWR



<그림 8> time-gap과 up/down chirp를 이용한 SOP
<Fig. 8> SOP using time-gap and up/down chirp

측정하는 방법으로 안테나로부터 전송되는 전파의 속도를 이용하여 2개의 장치 사이의 거리를 측정한다. 먼저 두 개의 장치사이에서 거리를 측정하는 방법으로 수신신호에 대한 도착시간과 응답시간을 측정하여 거리를 계산 한다[9-11].

노드 A부터 B까지 통신에 걸린 지연 시간과 통신시간을 노드의 타이머를 이용하여 측정하고 노드에 걸리는 통신시간에 지연시간을 제외한 후 여기에 전파의 속도 c 를 곱하여 거리 값 d 를 계산한다. 이 방법에서 요구 되는 것은 두 장치 사이의 정확한 동기화가 요구된다.

게 하고 Piconet 별로 심볼 간격을 다르게 하여 신호를 구분한다.

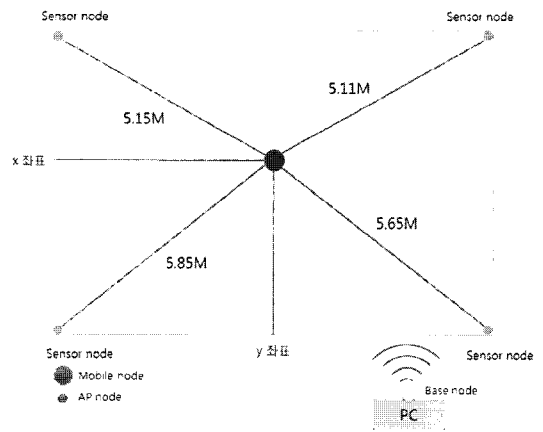
위의 두 가지 방식을 사용하여 보다 확실한 SOP 정책을 구현할 수 있다.

IV. 위치 인식 알고리즘 제안

Chirp Pulse를 이용한 Ranging방안에 대하여 제안하고 거리측정을 통한 위치 인식 알고리즘을 제안한다.

1. SDS-TWR(Symmetric Double Sided Two -Way Ranging) Protocol

두 개의 장비 사이에서 시간을 이용하여 거리를



<그림 10> TOA를 이용한 위치 측정 방법
<Fig. 10> Location awareness method using TOA

$$d = c \frac{T_{Round,A} - T_{Reply,B} + T_{Round,B} - T_{Reply,A}}{4} \quad (4)$$

2. TOA(Time of Arrival) 방식의 위치 추정방법

Ranging을 통하여 얻어진 거리 값을 이용하여 어플리케이션 상의 위치를 추적하는 방법으로 TOA 알고리즘을 이용한 좌표식으로 계산한다.

AP노드와 Mobile 노드간의 거리를 측정하여 각각의 좌표 값을 계산하는 TOA 알고리즘은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_1 &= \sqrt{(x_1 - x_M)^2 + (y_1 - y_M)^2} \\ D_2 &= \sqrt{(x_2 - x_M)^2 + (y_2 - y_M)^2} \\ D_3 &= \sqrt{(x_3 - x_M)^2 + (y_3 - y_M)^2} \end{aligned} \quad (5)$$

위 공식에서 D_i 는 측정된 거리를 나타내며 x_i, y_j 는 AP노드의 좌표 값을 의미한다. 위 공식을 적용하여 x_M, y_M 의 모바일 노드 위치를 나타낼 수 있다. 모바일 노드의 좌표값 x_M, y_M 을 구하기 위해 식을 간략화하면 D_1, D_2, D_3 에서

$$\begin{aligned} (D_1)^2 &= (x_1 - x_M)^2 + (y_1 - y_M)^2 \\ (D_2)^2 &= (x_2 - x_M)^2 + (y_2 - y_M)^2 \\ (D_3)^2 &= (x_3 - x_M)^2 + (y_3 - y_M)^2 \\ (D_1)^2 - (D_2)^2 &= x_1^2 - x_2^2 - 2x_1x_M + 2x_2x_M + y_1^2 - y_2^2 - 2y_1y_M + 2y_2y_M \\ (D_1)^2 - (D_3)^2 &= x_1^2 - x_3^2 - 2x_1x_M + 2x_3x_M + y_1^2 - y_3^2 - 2y_1y_M + 2y_3y_M \\ (D_2)^2 - (D_3)^2 &= x_2^2 - x_3^2 - 2x_2x_M + 2x_3x_M + y_2^2 - y_3^2 - 2y_2y_M + 2y_3y_M \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 모바일 노드의 현재 위치를 평면상에서 표시하기 위한 좌표 값은 위와 같은 식으로 정의할 수 있다.

예를 들어 AP1(0, 0), AP2(600, 0), AP3(300, 600), AP4(0, 600) (단위: cm)라고 가정하면 AP1과 AP2를 이용하여

$$\begin{aligned} (D_1)^2 &= x_M^2 - y_M^2 \\ (D_2)^2 &= (600 - x_M)^2 - y_M^2 \\ (D_1)^2 - (D_2)^2 &= 1200x_M - 360000 \\ x_M &= \frac{(D_1)^2 - (D_2)^2 + 360000}{1200}, \\ y_M &= \sqrt{(D_1)^2 - x_M^2} \quad (\text{단위: cm}) \end{aligned} \quad (7)$$

x_M 과 y_M 을 구할 수 있으며 네 개의 AP노드를 이용하여 동일한 값을 얻을 수 있다.

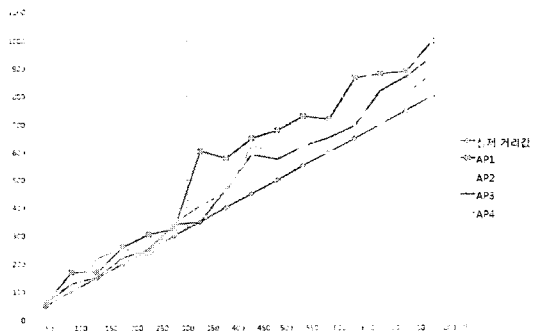
3. 정확도 개선을 위한 알고리즘

위에서 제시한 알고리즘을 바탕으로 문제점을 인지하고 위치 표현에 대한 효율성을 고려한 알고리즘을 제안한다.

1) 가중치 팩터를 이용한 거리측정

SDS-TWR에서 거리가 멀어짐에 따라 지연시간의 증가로 인하여 일정한 오차율을 보인다. 이러한 오차는 노드 out of band에서 발생하는 지연시간과 노드 안에서 처리하는 데이터의 양이 많아지면서 발생하는 오차율로 다음과 같이 보정할 수 있다.

<표 1>은 거리에 따른 가중치 오차율을 나타낸 것으로 거리가 증가함에 따라 가중되는 오차 값은 3.5m 이후 약 1m 만큼의 오차가 일정하게 증가한다.



<그림 11> 실제 측정된 거리에 대한 오차
<Fig. 11> Distance error rate for actual survey

<표 1> 실제거리 값과 측정거리 값에 의한 오프셋 값

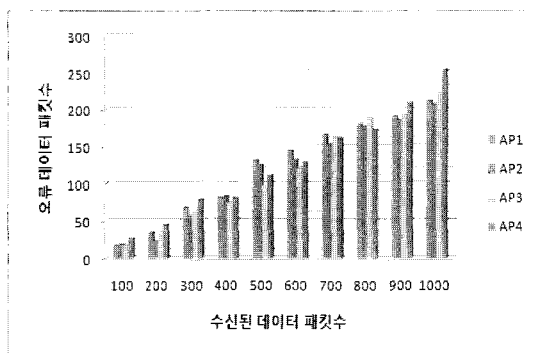
<Table 1> Offset between calculated distance and true distance

실제 거리	측정거리(평균)	오 차	offset
50 cm	65.65	10.65	20
100 cm	126.3	26.3	20
150 cm	184.1	34.1	20
200 cm	238.5	38.5	20
250 cm	255.25	5.25	20
300 cm	333.2	33.2	20
350 cm	473.95	123.95	100
400 cm	495.5	95.5	100
450 cm	614.25	164.25	100
500 cm	626.6	126.6	100
550 cm	634.9	84.9	100
600 cm	702.7	102.7	100
650 cm	777.85	127.85	100
700 cm	857.65	157.65	100
750 cm	859.8	109.8	100
800 cm	903.3	103.3	100

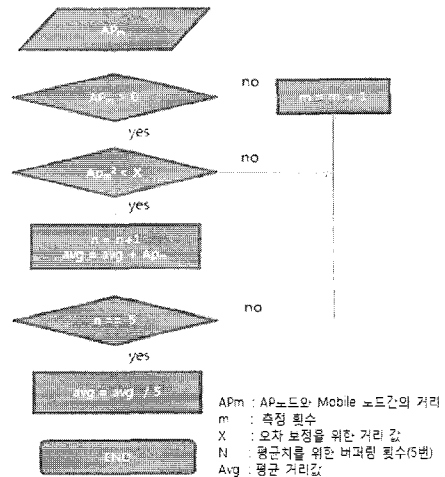
<표 2> 수신율에 의한 오류 샘플 값

<Table 2> Sample value in response time

AP1	AP2	AP3	AP4
65	0	112	92
80	120	120	116
82	135	0	0



<그림 12> 데이터 수신율에 따른 오차율
<Fig. 12> Date error rate in response time



<그림 13> 에러 방지 알고리즘
<Fig. 13> Error prevention algorithm

2) 거리 값 오류 검출 및 수정

거리를 측정하는 과정에서 각각의 노드들 간에 동기화 문제로 <표 2>와 같은 신뢰할 수 없는 데이터가 발생하게 된다. 이에 오차율을 줄이기 위해 각각의 노드에서 보내오는 데이터의 신뢰성을 판별하고 동기화 문제를 해결하기 위한 대책이 요구된다.

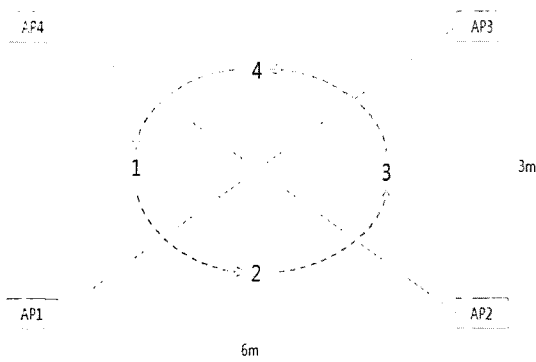
데이터 값 1,000개의 샘플에서 오류가 발생하는 확률은 다음과 같다.

<그림 12>의 오차율은 안테나의 수신거리와 전압 소비에 따라 차이를 보인다. 이러한 오류는 정확한 위치 기반에 있어서 치명적인 결과를 초래한다. 때문에 노드에서 발생하는 오차율을 사전에 방지하기 위한 알고리즘이 요구된다.

<그림 11>은 오류 방지 알고리즘으로 획득된 오차 값을 사전에 방지하고 오프셋 값을 적용하여 거리가 일정한 차이를 초과 하였을 때 2차로 방지해 준다.

3) 안테나 특성에 따른 노드 운영 방안

위에서 얻어진 결과를 보면 각각의 노드는 4m 이내에서는 정확도를 보였지만 거리가 4m 이후 안



<그림 14> 고정노드의 범위 설정
<Fig. 14> Boundary set-up about fixed nodes

테나의 수신율에 따른 급격한 오차율을 보였다. 따라서 AP 노드에 대한 송수신 통신거리를 감안한 노드 운영 방법이 필요한데 실시간으로 이동하는 노드에 대한 신뢰성 있는 데이터 추출 방식이 요구된다. 6m x 3m 공간에서 각각의 노드에 대한 송수신 범위를 설정하고 특정범위에 노드가 들어 왔을 시에 좌표를 계산한다.

먼저 1번 위치에 있을 경우 AP1 노드와 AP4 노드의 거리 값을 이용하여 좌표를 계산하고 2번 위치로 이동하였을 경우 거리를 참조하는 노드를 달리하여 오차를 줄였다. 고정노드와 모바일 노드의 거리가 멀어질수록 추측된 데이터의 신뢰성이 떨어지므로 고정노드의 망 운영 방법을 통해 데이터의 신뢰성을 최대한 높였다.

V. 실험 및 검증

이 장에서는 앞에서 소개한 TWR(Two-Way-Ranging)과 TOA 방식을 이용하여 위치 인식 시스템을 실험하고 검증하였다.

1. nanoLOC Device

나노트론사의 첫 번째 802.15.4a 표준의 무선 RF 모듈을 탑재한 보드로 2.45GHz 주파수 대역을 사용하여 주파수 확산방식인 CSS(Chirp Spread Spectrum)를 사용하여 RF신호만으로 거리를 측정할 수 있는 개발 보드이다.

인터페이스 회로로 RS-232 포트를 이용하여 MPU (ATmega128L)와 통신을 하며 PORTD, ADC/IO, JTAG, SPI, PORTB 출력 포트를 제공한다. 동작전압은 2.7V로 저 전력으로 동작하며 전압분배를 위한 Voltage Regulator를 통하여 LED와 스위치 및 MPU에 전압을 공급하여 준다.

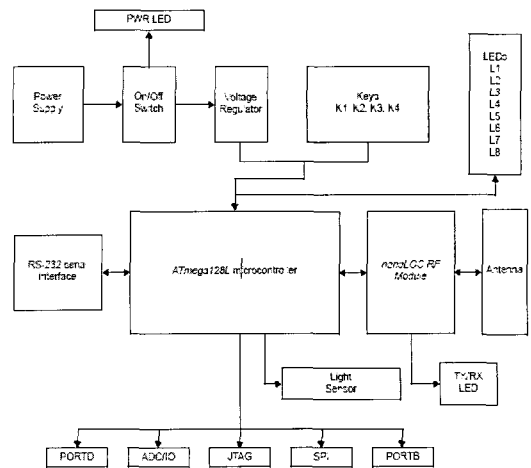
RF Chirp Pulse생성을 위한 RF 모듈은 다음과 같이 구성되어 있다.

1) 수신부

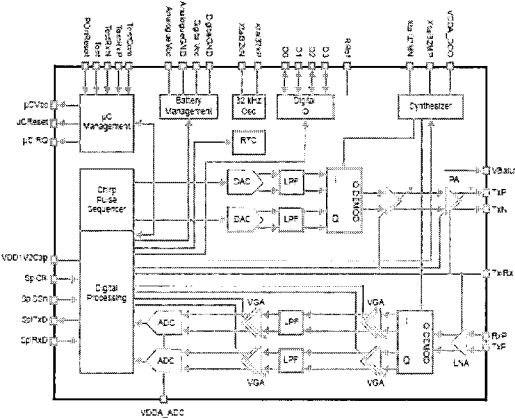
수신부에서는 안테나로부터 들어오는 신호를 LNA(Low Noise Amplifier) 통하여 들어온 신호에 대하여 잡음지수를 낮추고 IQ-DEMOD (In-phase Quadrature Demodulator)를 통하여 4개의 신호에 대한 채널을 분리해 준다. 나뉜 채널별 신호는 LFP (Low-Pass Filter)를 통하여 차단점 이하의 주파수만 통과하고 그 이상의 고주파수는 약화시켜 잡음을 없애주고 ADC로 보내어진다. 디지털 신호로 변환된 신호는 DSP를 통하여 처리된 신호 값을 수신한다.

2) 송신부

송신부로 들어온 신호는 DSP를 통하여 신호를 가공한 다음 Chirp Pulse Sequencer를 통하여 신호를 정렬한 후에 DAC로 보낸다. 아날로그 신호로 변환



<그림 15> NanoLOC 보드 블록 다이어그램
<Fig. 15> NanoLOC board block-diagram

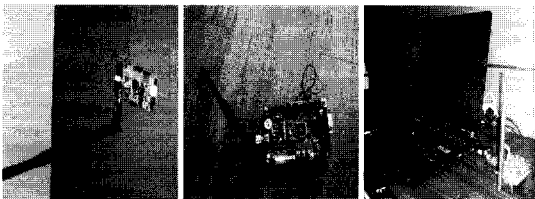


<그림 16> NanoLOC 모듈 블록 다이어그램
 <Fig. 16> NanoLOC module block-diagram

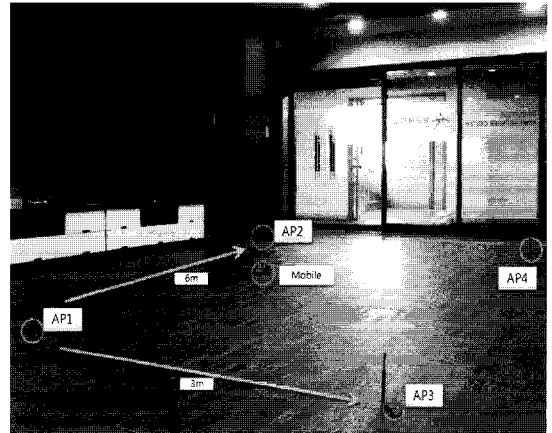
된 Chirp 신호는 LFP를 통하여 차단점 이하의 주파수만 통과 시킨다. 모듈레이터를 통하여 신호를 가공한 다음 동기화 하여 PA(Power Amplifier)를 통하여 신호를 증폭하여 안테나로 보낸다.

3) 그 밖의 디바이스

- uC(Micro Controller) Management
 MPU와 통신하여 DSP를 제어하는 역할로 MPU에 보내주는 신호를 통하여 전송 속도 클럭 타임, 전송 범위등의 동작을 수행한다.
- Battery Management
 2.7 V의 전압을 유지해 주는 역할을 한다.
- Digital I/O
 디지털 신호를 출력해주기 위한 I/O 장치로 시리얼 통신을 통한 HEX 코드의 신호로 데이터를 전송하여 준다.



<그림 17> 싱크, 모바일, AP 노드 (왼쪽부터)
 <Fig. 17> Sink, Mobile, AP node (from left)



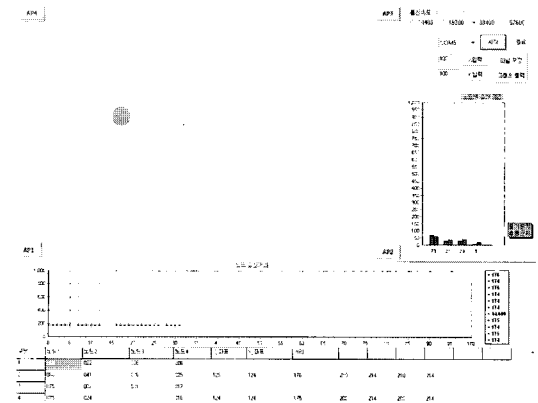
<그림 18> 전체 구성도
 <Fig. 18> The whole organization

2. 실험 및 결과

위치를 추정하기 위해서 4개의 AP 노드, Mobile 노드, PC와 통신을 하기 위한 Sink 노드로 구성 하였으며 AP노드들과 모바일노드의 SDS-TWR을 이용하여 거리를 측정하였다. 4개의 노드로부터 측정된 거리 값을 통하여 TOA 방식으로 위치를 추정하고 표시 하였다.

노드 구성은 다음과 같은데 PC와 통신을 위한 Sink노드와 좌표를 표시하기위한 모바일 노드 및 AP 노드로 구성 하였다.

가로 6m, 세로 3m의 직사각형 범위 내에서 실험



<그림 19> 검증을 위한 프로그램
 <Fig. 19> Developed program for verification

을 하였으며 망의 구성은 위의 그림과 같이 구성하였다.

1) 검증 프로그램

위치 인식 검증을 위한 GUI는 다음과 같이 설계하였으며 가로 및 세로의 길이를 입력받아 특정 공간에서의 모바일 노드의 위치를 표시하였다.

3. 측정 결과

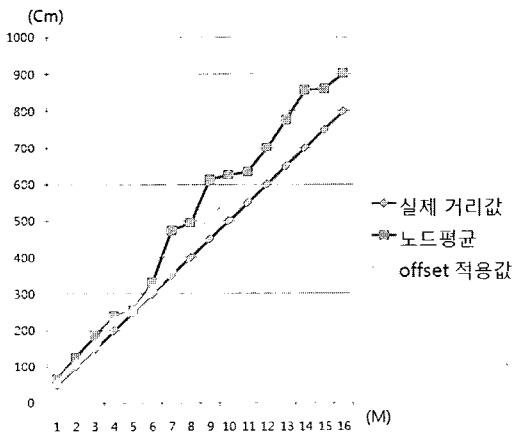
이 단원에서는 IV단원 3의 거리 값에 따른 가중치 팩터에 의한 거리 측정 결과에 오프셋 값을 적용시켜 거리 측정값의 정확도를 향상 시켰다.

1) 가중치 팩터에 의한 거리측정 결과

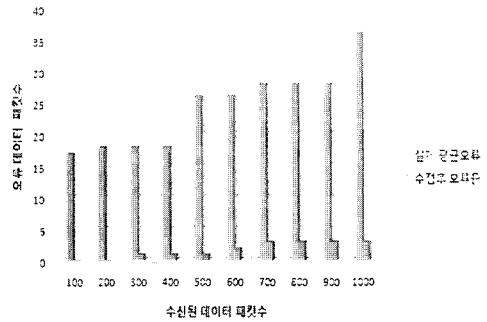
일정하게 증가된 가중치 팩터에 대하여 offset 값을 정의하여 적용한 결과로 거리가 멀어질수록 발생하는 가중치에 대하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

각각의 노드에서 발생하는 데이터 패킷 당 에러율로 시리얼 통신 및 측정 오류로 발생 오류율과 수정치를 적용하여 다음의 결과 값을 얻었다.

가중치 팩터는 CSS Specification [3]에 기술된 오차범위 1m를 기준으로 실제 환경에서 측정되어진



<그림 20> 가중치 팩터에 의한 거리 측정결과
<Fig. 20> Distance measurement after correction using a weighting factor and a offset

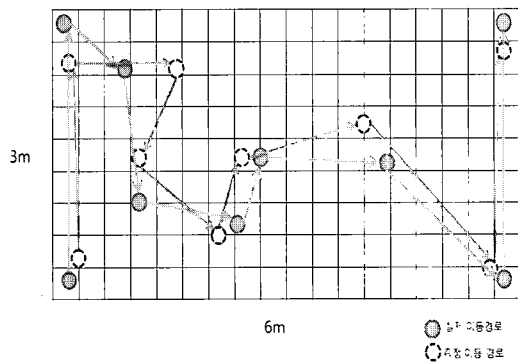


<그림 21> 알고리즘을 적용한 데이터 오류율
<Fig. 21> Data error rate after adjusting algorithm

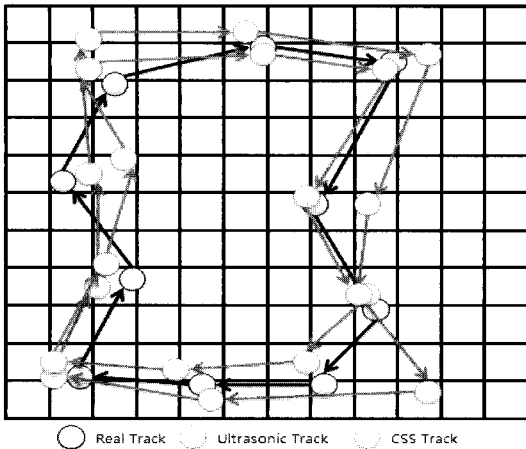
오차범위를 적용하여 팩터를 계산하고 정규화 하여 코드 상에서 offset 값으로 정의하여 계산한 결과 정확한 위치를 측정할 수 있는 요소로 작용하였다.

<그림 21>은 1,000개의 데이터를 위치 데이터를 받았을 때 발생하였던 데이터 오류율로 에러 방지 알고리즘을 적용하여 오류율을 1%미만으로 줄어든 것을 확인 할 수 있었다.

<그림 22>는 0.5m/s로 노드가 이동하였을 때 발생하는 오차에 대하여 오류를 검출하고 수정한 결과 99%의 데이터 수집 확률을 보였으며 장애물이 있을시 발생하는 오류율에도 90% 이상의 데이터 수집 확률을 보였다. 6m x 3m범위 안에서 0.5m/s 속도로 이동하였을 때 5cm 미만의 오차율이 발생하였다.



<그림 22> 각 상황에서의 좌표 정확도
<Fig. 22> Accuracy of coordinates in each simulation



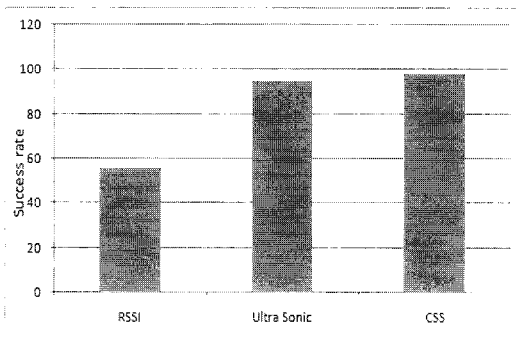
<그림 23> 각 상황에서의 좌표 정확도
 <Fig. 23> Accuracy of coordinates in each simulation

2) 성능 비교

기존의 Zigbee 기반의 실내위치 인식 시스템으로 [2]에서 제안된 초음파 센서와 Radio를 이용한 RSSI (Received Signal Strength Intensity) 방식의 단점은 초음파 센서는 많은 수 노드로 정확한 위치 인식을 할 수 있지만 이동시 오차 큰 오차율과 Line-of-Sight 확보가 요구 된다.

<그림 23>은 실내 3m²의 공간에서 0.3m/s 이동하면서 500ms로 데이터를 수집하는 환경에서 초음파 센서로 측정된 데이터 값과 CSS(Chirp Spread Spectrum)로 측정된 정확도를 비교한 것이다.

<그림 24>는 <그림 23>과 같은 환경에서 100개의 위치 인식 데이터를 받았을 때 데이터의 오류율



<그림 24> 데이터 오류율 비교
 <Fig. 24> Data Error rate comparison

을 비교한 것으로써 본 논문에서 제안한 가중치 팩터를 적용하여 보다 높은 초음파 센서와 비슷한 99%의 위치 인식률을 보여주었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 두 개의 노드사이의 거리를 측정하는 TWR (Two-Way-Ranging) 방식과 4개의 노드를 이용하여 위치를 추정하는 TOA 방식과 정확도를 높이기 위한 망 운영 방식을 이용하여 802.15.4a 표준의 2.45GHz 대역 CSS PHY를 이용한 위치 인식 알고리즘을 구현하고 검증하였다. 기존의 Zigbee 기반의 RSSI 방식의 위치 추정 방식보다 정확하고 실시간적인 위치 추정을 할 수 있으며 무선 RF만을 이용하여 보다 저 전력의 위치 추정을 할 수 있었다. 또한 장애물 및 주변 간섭 이동시에도 높은 성능으로 위치를 측정할 수 있었다. 향후 광범위한 망을 통하여 주차 관리 및 차량 관리 시스템 등에 널리 사용 되는 것이 기대되며 광범위한 망을 구축하였을 때 망을 효율적으로 관리하기 위한 라우팅 방안이 요구 된다.

참고문헌

[1] A. Awad, T. Frunzke, and F. Dressler, "Adaptive distance estimation and localization in WSN using RSSI measures," *Proc. the 10th Euromicro Conf. Digital System Design Architectures, Methods and Tools*, pp. 471 -478, Aug. 2007.

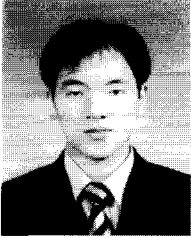
[2] S. Yi and H. Cha, "IEEE 802.15.4 /ultrasound-based tracking technique in wireless sensor networks," *Korean Institute Information Scientists Engineers*, vol. 33, no. 1(B), pp. 32-40, Aug. 2006.

[3] PART 15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs)*, IEEE P802.15.4aTM D3, pp.38-56, 109-124, June 2006.

[4] International Standards Research, *A Study on the IEEE Standard Proposal of the Location Based UWB*,

- Orthotron, Aug. 2005.
- [5] D. G. Oh, "New sinusoidal interference cancellation algorithm and its application for a DBO-CSS system of IEEE 802.15.4a," *Proc. First Int. Conf. Ubiquitous Convergence Technology*, vol. 1. no. 14, pp. 704-715, Dec. 2006.
- [6] Y. Qi, H. Kobayashi, and H. Suda, "On time-of-arrival positioning in a multipath environment," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 55, no. 5, pp. 1516-1526, Feb. 2006.
- [7] I. Guvenc and Z. Sahinoglu, "Threshold-based TOA estimation for impulse radio UWB system," *Proc. IEEE Int. Conf. Ultra Wideband Systems and Technol.*, pp. 420-425, Sept. 2005.
- [8] I. Guvenc and Z. Sahinoglu, "Threshold selection for UWB TOA estimation based on kurtosis analysis," *IEEE Comm. Lett.*, vol. 9, no. 12, pp. 1025-1027, Dec. 2005.
- [9] Nanotron Technologies, Gmbh, *nanoLOC ranging demonstrator: User Guide, version 1.01*, NA-06-0721-0377-1,01.
- [10] R. Hach, *Symmetric double sided two-way ranging*, IEEE P802.15 working group for wireless personal area networks (WPAN), Doc. IEEE P.802. 15-05-0334-00-004a, June 2005.
- [11] J. Y. Lee and R. A. Scholzy, "Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link," *IEEE J. Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 9, pp. 1677-1681, Dec. 2002.

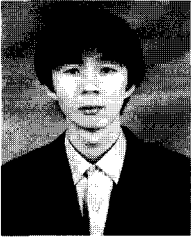
저자소개



김 정 수 (Kim, Jung-Soo)

2005년 : 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)

2007년 : 광운대학교 전자공학과(공학 석사)



양 진 옥 (Yang Jin-Uk)

2006년 : 성공회 대학교 컴퓨터 공학과(공학사)

2006년 ~ 현재 : 광운대학교 석사과정(전자 공학 전공)



양 성 현 (Yang, Seung-Hyen)

1983년 : 광운대학교 전기과(공학사)

1987년 : 광운대학교 대학원 전기과(공학석사)

1992년 : 광운대학교 대학원 전기과(공학박사)

1991년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학부 교수