

CSS기반 다중 위치인식 시스템에 관한 연구

A Study on a Multi Location Awareness Base on CSS(Chirp Spread Spectrum)

양진욱* 조성수** 양성현*** 강준길****
(Jin-Uk Yang) (Seung-Soo Cho) (Seung-Hyun Yang) (Jun-Gil Kang)

요약

교통 정보에 있어 위치 인식 시스템은 차량 관리, 교통정보 제공을 위한 기초 기반 기술로 현재 GPS시스템을 기반으로 널리 제공되고 있지만 낮은 정확도와 통신 가시거리 확보로 인한 통신 음영지역이 발생하는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 무선 RF만으로 정밀한 위치 인식이 가능한 IEEE 802.15.4a의 ISM Band를 사용하는 CSS(Chirp Spread Spectrum)방식을 기반으로 하여 주차장 및 터널 등의 음영지역에서 위치를 인식할 수 있는 다중 위치 인식시스템의 에너지 효율적이고 데이터 중심적인 프로토콜을 제안하고 설계하였다.

측정결과, 15 cm미만의 오차 범위를 갖으며, 5 % 미만의 데이터 오류율을 갖는 네트워크를 구성할 수 있었으며, 저전력 알고리즘을 적용하여 Tag Node의 수명을 3 V, 1500 mAh 용량의 배터리에서 동작 주기를 적용하여 0.7 일의 수명에서 13.5 일의 수명을 갖는 다중 위치 인식 시스템을 구현 할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we proposed and designed the protocol for energy efficiency and the center of data aiming at the design of a Multi Location Awareness System that recognizes a shadow site in parking and tunnel, which stands on the basis of CSS(Chirp Spread Spectrum) method using ISM Band of IEEE 802.15.4a that aware close location with wireless RF only.

As a result of the protocol measurement, it displays the observation errors of less than 15cm, the data error rate of less than 5%, and can implement the Multi Location Awareness System with maximum length of life for 13.5 days using battery of 3 V(1500 mAh).

Key words: CSS, WPAN, location, protocol, TOA

† 이 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

* 주저자 : 광운 대학교 전자공학과 석사과정

** 공저자 : 광운 대학교 전자공학과 박사과정

*** 공저자 : 광운 대학교 전자공학부 교수(교신저자)

**** 공저자 : 광운 대학교 전자공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 8월 8일

† 논문심사일 : 2008년 8월 29일

† 게재확정일 : 2008년 9월 1일

I. 서 론

위치 인식 기술은 교통, 군사, 홈 네트워크, 물류, 의료, 건설 현장 등의 다양한 분야에서 ‘보이지 않는 기술’로 다양한 서비스 제공을 위한 기초 기반기술로 이해되고 있는 기술이다. 특히 교통에서 위치 인식기술은 교통관리, 카 네이게이션, 차량관리 등의 서비스를 제공하기 위한 기반 기술로 사용되는데 현재 GPS(Global Positioning System)를 이용한 위치인식 기술이 널리 사용되고 있다. 하지만 GPS는 LoS(Line-Of-Sight)가 확보 되지 않는 곳에서는 서비스가 불가능하고 정확도가 낮은 단점을 가지고 있다.

이런 문제를 해결하기위해서 다양한 방법으로 실내 및 위성 통신이 불가능한 음영지역에서 WPAN(Wireless Personal Area Network)을 이용하여 위치를 추정할 수 있는 기술들이 연구 되어 왔다. 대표적인 기술로는 Zigbee의 네트워크 기술과 초음파 센서를 이용하여 위치를 추정하는 기술과 Zigbee의 신호의 세기를 이용하여 위치를 인식하는 기술들이 연구 되어 왔지만 정확도, 높은 비용, 통신 가지거리 확보에서 문제점들을 가지고 있다 [1,2].

때문에 WPAN 환경에서 보다 저 전력으로 정확한 위치 인식 기술을 확보하기 위해 IEEE 802.15.4a Tasking Group은 저 전력, 저비용으로 높은 정확도의 거리를 측정할 수 있는 새로운 기술을 표준으로 제정하였다.

본 논문에서는 WPAN환경에서 무선 RF만으로 거리 측정이 가능한 IEEE 802.15.4a의 ISM Band CSS(Chirp Spread Spectrum)방식을 이용하여 넓은 지역의 위치를 추정할 수 있는 광역 네트워크를 구성하고 에너지 효율적이며 데이터 중심적인 네트워크 프로토콜을 설계하고 구현하였다.

논문의 구성은 2장에서 CSS의 특성에 대하여 설명하였고 3장에서 프로토콜을 제안하고 설계 하였으며 성능 평가를 위해 4장에서 설계된 프로토콜의 정확도, 소모전력, Cell 인식정확도, 데이터 오류율을 측정하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. DBO-CSS의 특성

이 장에서는 광역 위치 인식 망을 구현하기위해

사용된 CSS(Chirp Spread Spectrum)의 특성에 대하여 설명 하였다 [3,4].

1. 주파수 및 전송 속도

저 전력 기반의 위치 인식을 위하여 제안된 IEEE 802.15.4a는 ISM Band인 CSS와 IR-UWB(Impulse Radio- Ultra Wide Band)를 포함한 표준으로 CSS를 위한 2.45 GHz대역의 주파수 대역과 UWB를 위한 3.1 ~ 10.6 GHz대역 및 250~750 MHz대역의 주파수 대역을 포함하고 있다. CSS의 주파수 대역에서는 250 kb/s에서 최대 2 Mb/s의 속도를 제공하며 IR-UWB에서는 842 kb/s를 제공한다.

2. Chirp Pulses

Chirp 펄스는 일정한 대역폭 안에서 선형 주파수의 특성에 따라 반송파를 일정한 기울기로 확산 시키는 방법으로 Chirp 신호 중 Rectangular Linear Chirp 수식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

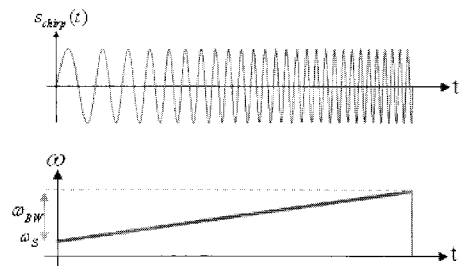
T_{chirp} : Linear Chirp Signal의 Duration

ω_s : Linear Chirp의 Sweeping이 시작하는 시작 주파수

ω_{BW} : Sweeping하는 Bandwidth

$u(t)$: Unit Step 함수

<그림 1>은 시간의 함수인 s_{chirp} (Chirp Signal)을 나타낸 것으로 일정한 기울기로 주파수가 변하기



<그림 1> Chirp 신호의 펄스와 주파수 변화
<Fig. 1> Pulse and frequency variation of chirp signal

때문에 시간이 지남에 따라 위상이 점점 빠르게 변화하는 것을 확인 할 수 있다.

3. Differential Bi-Orthogonal Chirp Spread Shift Keying 변조 방식

CSS의 변조 방식으로 DBO-CSK(Differential Bi-Orthogonal Shift Keying)방식을 사용하는데 이는 특정 Linear Chirp에 Phase Modulation을 하여 Data를 전송한다. Phase Modulation 방식은 Binary Phase와 Quadrature Phase변조 방식으로 구성할 수 있다.

1) Binary Phase Shift Keying 방식

기존의 Chirp 신호에 π 만큼의 위상 차이를 두어 신호를 구분하는 방식으로 공식화 하면 식 (2)와 같으며 2개의 반송파를 만드는 방식을 사용한다.

$$\begin{aligned}
 S_0(t) &= \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}}t)t + [u(t) - u(t - T_{chirp})]] \\
 S_1(t) &= \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}}t)t + \pi + [u(t) - u(t - T_{chirp})]]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

2) Quadrature Phase Shift Keying 방식

Quadrature Phase는 Chirp 신호를 $2\pi \times \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2}$ 만큼의 위상의 차이를 두어 변조하는 방식으로 식 (3)과 같이 4가지 반송파를 만든다.

$$\begin{aligned}
 S_0(t) &= \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}}t)t + [u(t) - u(t - T_{chirp})]] \\
 S_1(t) &= \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}}t)t + \pi/2 + [u(t) - u(t - T_{chirp})]] \\
 S_2(t) &= \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}}t)t + \pi + [u(t) - u(t - T_{chirp})]] \\
 S_3(t) &= \exp[j(\omega_s + \frac{\omega_{BW}}{2T_{chirp}}t)t + 3\pi/2 + [u(t) - u(t - T_{chirp})]]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

4. Bi-Orthogonal Mapping

신호를 반송파에 Encoding 하는 방식으로 Differential Bi-Orthogonal 방식을 사용하는데 8-ary와 64-ary방식이 있다. 8-ary방식은 3개의 비트를 입력 받아 4개

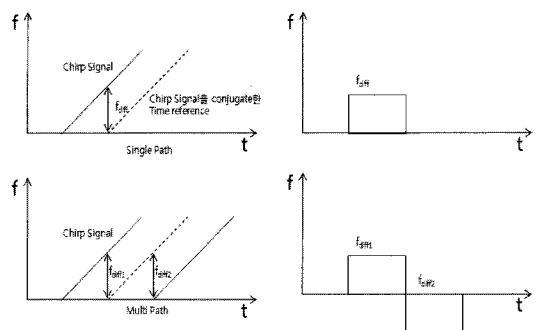
의 Bi-Orthogonal Code로 Encoding 하여 8개의 신호를 생성 하며 64-ary 방식은 6개의 비트를 입력 받아 30개의 Code로 Encoding하며 총 64개의 신호를 생성 한다.

5. Data Transmission Mode

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 Detection의 성능을 보완하기 위해서 3/4 Bi-Orthogonal coding 방식을 사용한다.

6. Ranging Mode

시간을 측정하기 위해 가장 먼저 도착한 신호를 구분 하는 방법이 요구되는데 <그림 2>에서 점선으로 표시된 직선의 Chirp signal을 Conjugate한 Time Reference이고 실선은 전송된 Chirp signal인데 이렇게 어긋난 2개의 Chirp Signal이 곱해 졌을 때 사각형의 주파수 성분을 갖게 된다. Multipath시에도 마찬가지로 시간차에 비례하여 사각의 주파수 성분을 가지는 신호가 생성된다. 이 특성을 이용하여 수신부에서 이를 역으로 스펙트럼 분석을 하면 가장 먼저 도착한 Component를 찾아낼 수 있다.



<그림 2> Chirp 신호의 Conjugate의 곱
<Fig. 2> Chirp signal conjugate multiplier

7. DBO-CSK의 SOP(Simultaneously Operating Piconet)

WPAN에서 사용되는 시스템에서는 동시에 여러 그룹통신을 위하여 SOP (Simultaneously Operating Piconet)을 규정하게 되어 있는데 CSS 방식에서는 Piconet을 구분하기 위해 신호의 특성을 이용하여 구분하는 Up/Down Chirp을 이용한 방법, 신호에 시간차를 두어 구분하는 Different Time-Gap을 이용하는 방법과 이 두 가지를 모두 적용하는 하이브리드 방법으로 Piconet을 구분한다. 총 3가지의 구분 방법을 사용한다.

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

두 개의 장비 사이에서 시간측정을 이용하여 거리를 측정하는 방법으로 안테나로부터 전송되는 전파의 속도를 측정하여 2개의 장치 사이의 거리를 측정한다. 먼저 두 개의 장치사이에서 거리를 측정하는 방법으로 수신신호에 대한 도착시간과 응답시간을 측정하여 거리로 환산하는 방법을 사용한다 [5-8].

식 (4)는 거리로 환산하는 방법을 나타낸 것으로 Node A부터 B까지 통신에 걸린 지연 시간과 통신 시간 T_{Round} 를 Node의 타이머를 이용하여 측정하고 상대 Node에서 걸리는 처리지연시간 T_{Reply} 를 제외

한 후 순수하게 A,B Node간의 전파가 전송된 시간을 산출 한다. 2번의 송수신의 평균값을 계산하여 전파의 속도 c 를 곱하여 거리 값 d 를 계산한다.

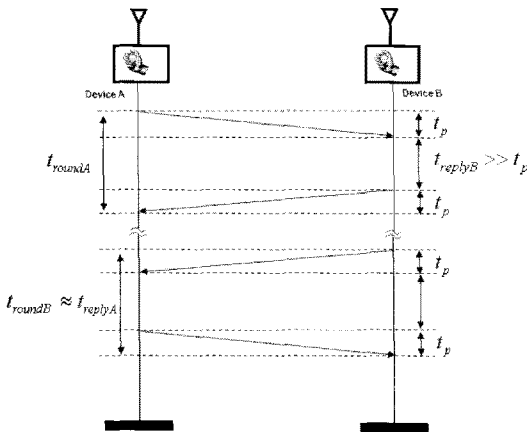
$$d = c \frac{T_{\theta,A} - T_{Reply,B} + T_{\theta,B} - T_{Reply,A}}{4} \quad (4)$$

III. CSS 다중 망 프로토콜 제안

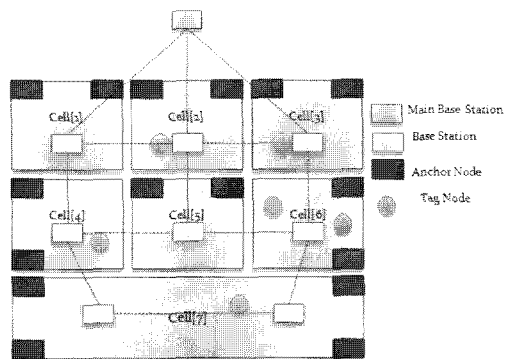
이 장에서는 앞에서 설명한 CSS의 Ranging기술을 기반으로 하여 다중 위치 인식 네트워크의 프로토콜을 제안 하고 설계하였다.

1. CSS기반의 다중 네트워크 구성 및 프로토콜 설계

본 논문에서 설계한 다중 네트워크의 구성은 클라이언트 기반의 위치 인식 네트워크를 하나의 Cell 단위로 구분하고 각각의 Cell은 Base Station에 의해 상호 연결되는 Mash 형태의 네트워크 토폴로지로 <그림 4>와 같이 구성하였고 각 Cell 안에서 Tag Node에 의해 수집된 거리 정보를 Base Station에서 수집하고 위치정보로 가공하여 Sink Node인 Main Base Station 까지 Relay방식으로 전송하도록 설계하였다.



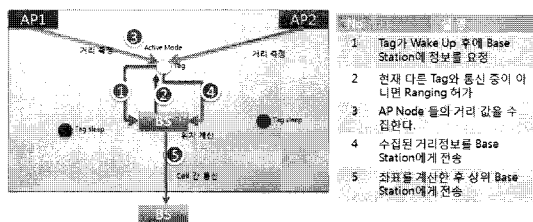
<그림 3> SDS-TWR
<Fig. 3> SDS-TWR



<그림 4> 다중 네트워크 구성도
<Fig. 4> Multi network topology

1) Cell의 구성 및 동작 설계

각 Cell 안에서 Node들의 구성은 삼각 측정을 통한 좌표 측정 알고리즘을 사용하여 위치를 계산하



<그림 5> Cell 구성 및 동작
<Fig. 5> Cell topology and operation

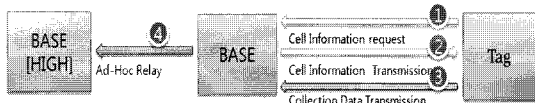
기 위해 고정된 Anchor Node와 정보를 수집하기 위한 Base Station, 위치인식 대상 이 되는 Tag Node로 <그림 5>와 같이 구성하였다.

2. Node의 동작 알고리즘 및 프로토콜 제안

이 절에서는 각 Cell안에서 동작하는 통신 Frame과 Node들의 동작 알고리즘을 제안하고 설계 하였다.

1) Base Station 구성

Base Station은 Tag Node에게는 자신의 Cell의 정보를 제공하고 Tag Node의 동작을 스케줄링 한다. <그림 6>는 Tag Node와 Base Station간의 송수신 순서를 나타낸 것으로 Tag Node로 부터 수집된 거리 값을 수신하여 좌표 값을 계산하고 Frame을 생성하고 상위 Base Station에게 전송하는 역할을 한다.

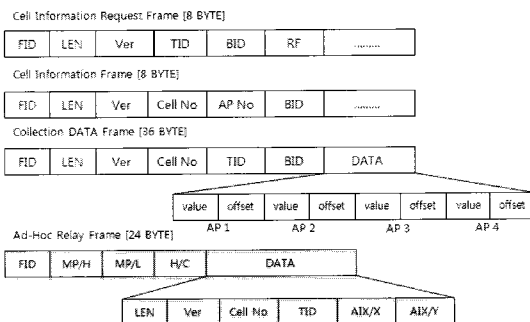


<그림 6> Base Station의 통신
<Fig. 6> Communication of the base station

(1) Base Station Frame 설계

총 4개의 송수신 Frame을 Base Station 처리하는 Base Station의 Frame 구조는 <그림 7>과 같이 구성 하였다.

각 Frame들은 Tag Node로부터 허가요청 받는 Cell Information Request Frame과 Tag Node로 응답 해주는 Cell Information Frame, Tag Node로부터 수



<그림 7> Base Station의 통신 Frame
<Fig. 7> Communication frame of the base station

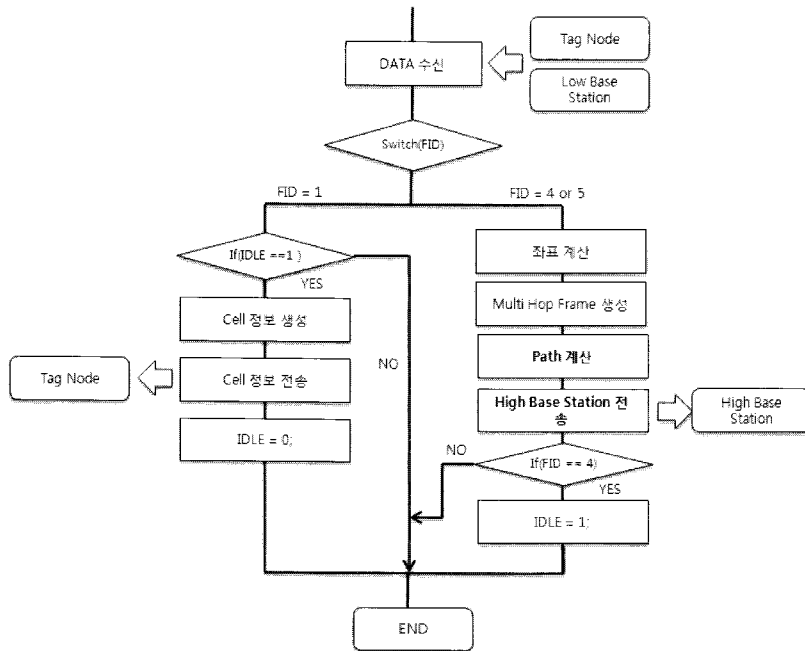
<표 1> Base Station의 Frame 속성
<Table. 1> Frame property of base station

Frame Division	Unit	Discription
Cell Information Request Frame	TID	Tag Node ID
	BID	Base Station ID
	RF	RF Power(Transmit)
Cell Information Frame	Cell No	Cell Number
	AP No	Anchor Number
	BID	Base Station ID
Collection Data	Cell No	Cell Number
	TID	Tag Node ID
	BID	Base Station ID
	Value Offset	Ranging Distance
Ad-Hoc Relay Frame	MP/H	Multi Path High Number
	MP/L	Multi Path Low Number
	H/C	Hop Count
	DATA	Tag Node Information

집된 거리 값들을 수신 받는 Collection Data Frame, 상위 Base Station으로 전송하는 Ad-Hoc Relay Frame 으로 구성하였다. 각각의 성분의 구성은 공통 적으로 Frame ID를 저장하는 FID와 데이터의 길이, Node의 버전을 저장하는 Len과 Ver을 가지고 있으며 각 Frame의 속성은 <표 1>과 같이 구성 하였다.

(2) Base Station 알고리즘

Base Station은 <그림 8>과 같이 동작하며 크게 3 가지 동작을 수행하도록 설계 하였는데 Tag Node



<그림 8> Base Station 동작 알고리즘
<Fig. 8> Base station operation algorithm

에게 Cell 정보를 제공하면서 Tag Node의 스케줄링을 하는 역할과 Cell 안의 Tag Node로부터 수집된 거리 값을 바탕으로 좌표를 계산하는 역할을 한다. 마지막으로 기대 비용을 계산하여 하위 Cell과 자신의 Cell에서 발생한 위치 정보를 Relay방식으로 상위 Cell로 전송 하는 역할을 수행을 하도록 설계 하였다.

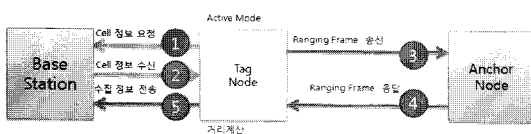
2) Tag Node 동작

Tag Node는 전력 소비를 줄이기 위한 방안으로 Active Mode와 Sleep Mode로 동작하도록 설계 하였으며 네트워크의 트래픽을 줄이기 위해 Base Station으로부터 정보를 받은 Tag Node만 동작 하도록 설계하였다. <그림 9>은 Tag Node의 동작 순서

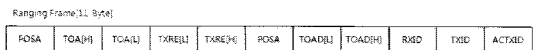
를 나타낸 것으로 자신이 속해 있는 Cell 안의 Anchor Node와 거리 값을 측정하고 수집하여 Base Station에게 전송한다.

(1) Tag Node와 Anchor Node간 Ranging Frame

Tag Node와 Anchor Node간의 거리를 측정하기 위한 방법으로 SDS-TWR을 사용하는데 Tag에서 Anchor Node로 Anchor Node에서 Tag Node로 두 번의 시간측정하여 거리로 환산 하는 방식을 사용한다. Clock Time을 저장하기 위해 사용되는 Ranging Frame은 <그림 10>와 같이 구성 하였다.

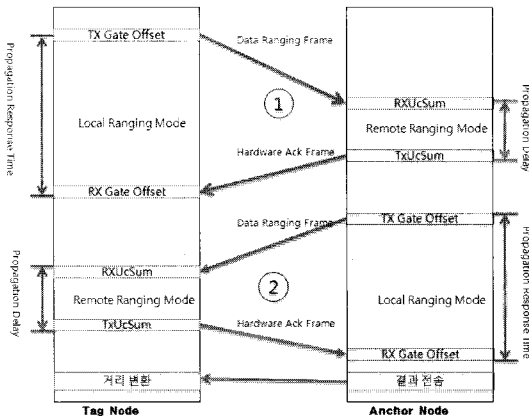


<그림 9> Tag Node 동작
<Fig. 9> Tag node operation



POSA : Phase offset acknowledge
TOA[H] : Time of Arrival High Bit
TOA[L] : Time of Arrival Low Bit
TXRE[L] : Transmission Response time Low Bit
TXRE[H] : Transmission Response time High Bit
TOAD[L] : Time of arrival mean Data Low Bit
TOAD[H] : Time of arrival mean Data High Bit
RXID : Pre Receive ID
TXID : Pre Transmission ID
ACTXID : Acknowledge Transmission ID

<그림 10> Ranging Frame
<Fig. 10> Ranging Frame



<그림 11> Ranging Frame 통신
<Fig. 11> Ranging frame communication

Ranging Frame은 Local Ranging Frame과 Remote Ranging Frame로 구분 되는데 Local Ranging Frame은 자신의 Node 안에서 처리되는 값들을 저장하며 Remote Ranging Frame은 상대 Node에서 발생한 지연시간과 송신 수신 시점을 저장하여 송신할 때 사용한다.

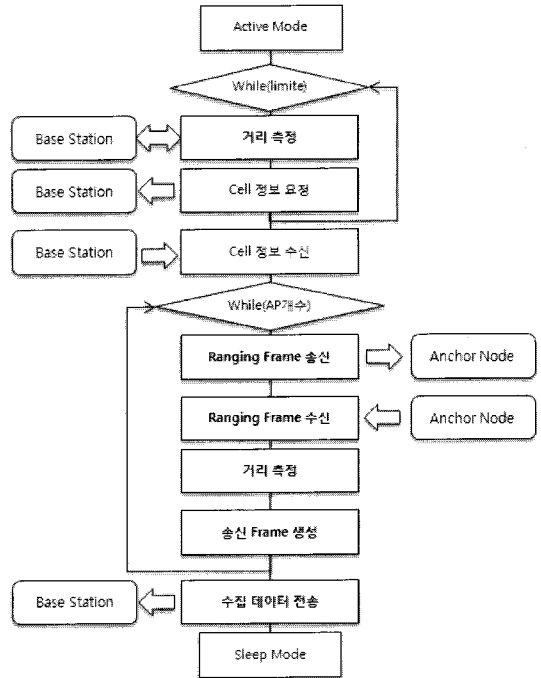
<그림 11>은 Tag Node와 Anchor Node 사이에서 거리를 측정하는 Ranging 방법을 나타낸 것으로 Ranging은 총 2번에 걸쳐 수행되는데 각각의 Node가 Local Node와 Remote Node로 구분 되어 수행 한다. Local Node는 Remote Node에게 Ranging Frame을 전송 하며 Remote Node는 응답시간을 저장하여 Local Node에게 응답 한다. 시간 측정의 정확도를 높이기 위해 Tag Node와 Anchor Node가 각각 한번 씩 Local Node가 되어 시간을 측정 되며 순수 전파의 통신 시간만 측정하는 방법으로 총 송수신 시간에서 송신시점 수신 시점을 더한 값을 제하고 Node에서 걸린 지연시간을 제하여 Node와 Node 사이에서 순수 Air Time만 산출한다.

$$res[m/s] = \frac{T_{\text{responseTime}} - GateOffTime - delayTime}{2.0} - RangingConst \quad (5)$$

ms 단위로 산출된 시간 값을 바탕으로 ps 당 300 um를 확산하는 전파의 특성을 이용하여 거리 값으로 환산한다.

(3) Tag Node 동작 알고리즘

Tag Node는 <그림 12>와 같이 동작하는데 Active 모드로 전환 되었을 때 Base Station과의 거리를 측정하여 자신의 속해 있는 Cell 인식하고 인식된 Base Station에게 Cell 정보를 요청한다. Cell 정보를 응답받으면 Cell안의 Anchor Node와의 거리를 측정하고 송신 버퍼에 수집하여 Base Station으로 전송하고 Sleep Mode로 전환한다.



<그림 12> Tag Node의 동작 알고리즘
<Fig. 12> Tag node operation algorithm

3. 네트워크 동작 알고리즘

이 절에서는 본 논문에서 설계한 네트워크 동작을 최적화 하고 전력소비를 줄이기 위한 방안과 위치 좌표를 측정하기 위한 방안을 제안 하고 설계하였다.

1) 저 전력 및 신호 간섭 회피 알고리즘

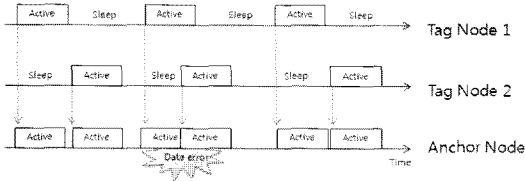
CSS 기반의 장비는 RF신호만을 이용하여 거리 값을 계산하기 때문에 송신부의 안정된 출력이 요구

된다. 때문에 기존의 센서 네트워크 Node보다 많은 양의 전류를 소모 하게 되는데 Node의 수명을 최대화 하고 안정된 거리 정보를 수집하기 위해서 <그림 13>과 같이 Tag Node의 동작에 주기를 주어 불필요한 통신 시간을 줄이고 일정한 시간(Duty Cycle)동안만 Active 상태로 동작하는 방식으로 설계하였다.



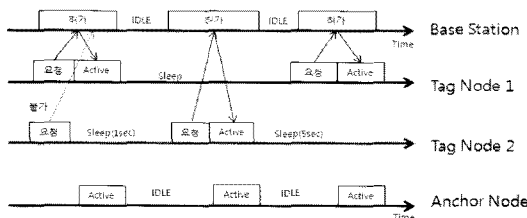
<그림 13> Tag Node의 동작 주기
<Fig. 13> Interval time of tag node

하지만 동작 시간이 같을 경우 Anchor Node의 중복 동작에 의한 데이터 오류가 발생 하는데 같은 Cell 안에 Tag Node가 증가함에 따라 심각하게 발생 된다.



<그림. 14> Tag Node의 동시 동작에 의한 Data Error
<Fig. 14> Data error of tag node operation at the same time

이런 문제를 해결하기 위한 방법으로 Cell 안에서 Tag Node의 동작을 통제 하였는데 Base Station 을 이용하여 시간 영역에서 Tag Node들의 동작을 스케줄링



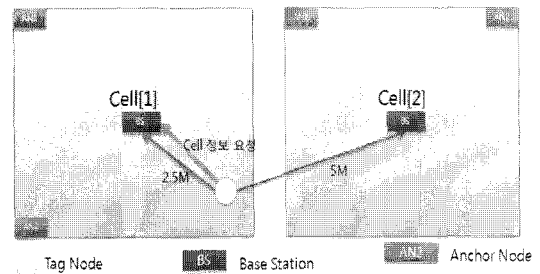
<그림. 15> Base Station을 통한 스케줄링
<Fig. 15> Scheduling through the base station

하였다. <그림 15>는 2개의 Tag Node와 Base Station의 동작을 나타낸 것으로 Base Station에게 정보를 받은 Tag Node만 거리를 측정하도록 설계하였다.

2) Cell 인식 알고리즘

위치 인식을 위한 네트워크는 Tag Node가 정확한 좌표를 측정하기 위해서 자신이 속해 있는 Cell 을 정확히 인지하고 좌표를 측정하는 것이 요구되는데 Tag Node는 Cell 정보를 요청하기 전에 자신이 속해 있는 Cell 찾기 위해 인접한 Base Station과 의 거리 값을 측정하여 최소값을 산출한다.

<그림 16>는 2개의 인접한 Cell에서 Tag Node의 동작을 나타낸 것으로 최소 값을 산출하여 자신이 속해 있는 Cell을 인식 한다.



<그림 16> Tag Node의 Cell 인식
<Fig. 16> Cell awareness of the tag node

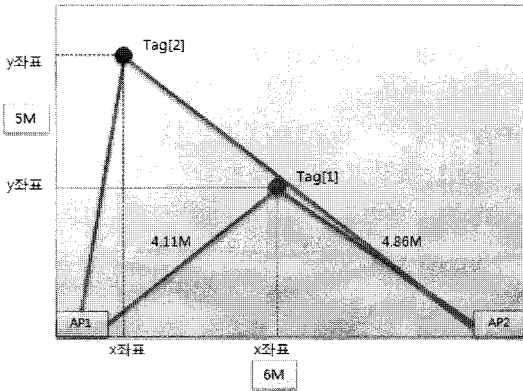
3) 좌표 측정 방법

Tag Node의 수집된 정보를 바탕으로 Base Station 에서 위치를 계산하는데 좌표를 계산하는 방법으로 삼각 측정방식의 사용 하였다. 많은 수의 Node를 사용 할수록 정확한 위치 인식이 가능하지만 본 논문에서는 비용을 최소화 하기위해 2개의 Anchor Node만을 사용하여 좌표 값을 산출 하였다.

<그림 17>은 Anchor Node와 Tag Node간의 거리를 측정하여 좌표 값을 계산하는 알고리즘은 나타낸 것으로 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$D_1 = \sqrt{(x_1 - x_T)^2 + (y_1 - y_T)^2}$$

$$D_2 = \sqrt{(x_2 - x_T)^2 + (y_2 - y_T)^2} \tag{6}$$



<그림 17> TOA를 이용한 위치 측정 방법
<Fig. 17> Location awareness method using TOA

식 (6)의 성분은 D_i 는 측정된 거리를 나타내며 x_i, y_i 는 Anchor Node Node의 좌표 값을 의미한다. 위 공식을 적용하여 x_T, y_T 의 Tag Node의 위치를 나타낼 수 있다. Tag Node의 좌표 값 x_T, y_T 을 구하기 위해 식을 간략화하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(D_1)^2 = (x_1 - x_T)^2 + (y_1 - y_T)^2$$

$$(D_2)^2 = (x_2 - x_T)^2 + (y_2 - y_T)^2$$

$$(D_1)^2 - (D_2)^2 = x_1^2 - x_2^2 - 2x_1x_M + 2x_2x_M + y_1^2 - y_2^2 - 2y_1y_M + 2y_2y_M \quad (7)$$

따라서 Tag Node 현재 위치를 평면상에서 표시하기 위한 좌표 값은 위와 같은 식으로 정의할 수 있다. 예를 들어 Anchor 1(0, 0), Anchor 2(600, 0) (단위: cm)라고 가정하면 Anchor 1과 Anchor 2를 이용하여 식 (8)과 같이 좌표 x_T 과 y_T 을 구할 수 있다.

$$(D_1)^2 = x_T^2 - y_T^2$$

$$(D_2)^2 = (600 - x_T)^2 - y_T^2$$

$$(D_1)^2 - (D_2)^2 = 1200x_T - 360000$$

$$x_T = \frac{(D_1)^2 - (D_2)^2 + 360000}{1200},$$

$$y_T = \sqrt{(D_1)^2 - x_T^2} \quad (\text{단위: cm}) \quad (8)$$

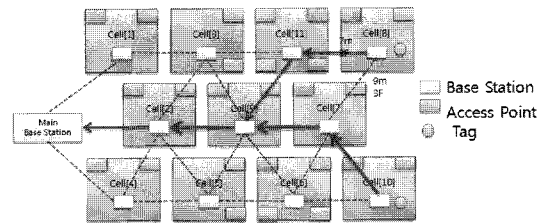
4. Multi Network 정보전송

이절에서는 광역 위치 인식 망에서 네트워크의 구성과 발생된 위치 정보를 Main Base Station 까지

전송하는 방법을 설계 하였다.

1) 다중 네트워크 구성

네트워크의 구성은 발생된 정보를 Sink까지 전송하기 위해 각 Cell의 Base Station에 의해 상호 연결되는 그물망 형태의 네트워크 토폴로지로 구성하였다. <그림 18>은 발생된 위치 정보를 전송을 나타낸 것으로 각 Base Station ID값과 기대비용을 측정하여 Main Base Station 까지 Ad-Hoc 통신을 한다.



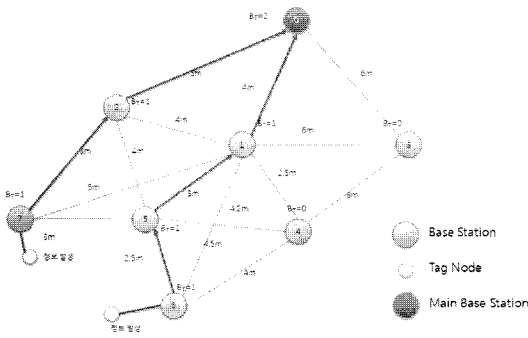
<그림 18> Ad-hoc Relay 전송 방법
<Fig. 18> Ad-hoc relay communication method

6. 경로 선택 방법

네트워크의 Sink가되는 Main Base Station까지 빠른 정보 전송과 데이터 트래픽 방지를 위해 기대 비용을 측정하여 동적이 경로를 생성하도록 구성 하였는데 경로 탐색하는 기대 비용을 계산하기 위한 계산 방식으로 인접한 Cell의 거리 값을 r , RF의 세기를 R_p , Traffic의 양을 B_T , BS의 ID값을 B_n 이라고 했을 때 기대 비용 M_{path} 는 식 (9)와 같이 계산 하였다.

$$M_{path} = r + R_p + B_T^2 + B_n^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

계산된 M_{path} 값의 최소 값을 산출하여 발생된 위치 정보를 Main Base Station까지 전송하도록 설계 하였는데 Base Station의 ID값을 강조하여 Base Station 까지 빠른 경로를 구성하도록 <그림 19>와 같이 Mash 형태의 네트워크 토폴로지를 사용하여 설계 하였으며 Traffic 값을 강조하여 네트워크의 경로를 최대한 분산 시켰다.



<그림 19> Multi hoc Relay 경로 탐색 방법
<Fig. 19> Multi hoc relay path search method

IV. 구현 및 성능 평가

이 장에서는 앞에서 제안한 다중망의 프로토콜을 나노트론사의 CSS기반의 Node를 사용하여 구현 하였으며 Tag Node의 수명, Cell 인식률, 데이터 오류률을 측정하여 성능을 평가 하였다[9].

1. 개발 환경

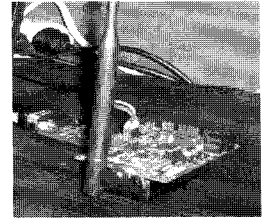
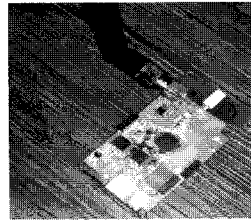
본 논문에서 사용된 장비는 나노트론사의 첫 번째 IEEE 802.15.4a 표준의 CSS를 적용한 Node로 주요 특성은 <표 2>와 같이 구성된다.

NanoLoc RF Module은 2.45 GHz 대역의 ISM RF 트랜시버로써 2.3~2.7V의 전압으로 동작하며 Power Down모드로 동작 할 때 2 μ A 전류를 소모 한다.

메인 MCU는 Atmega사의 128계열을 사용하여 동

<표 2> NanoLoc RF 모듈의 주요 특징
<Table. 2> Feature of nanoLoc RF module

Parameter	value
공급 전압	2.3~2.7V
최대 RF 출력 파워	0dBm
최대 전송 속도	2Mbps
-10 dBm output power 송신	25mA
0 dBm output power 송신	30mA
수신	33mA
Power Down Mode	2uA
채널당 주파수 대역폭	22MHz

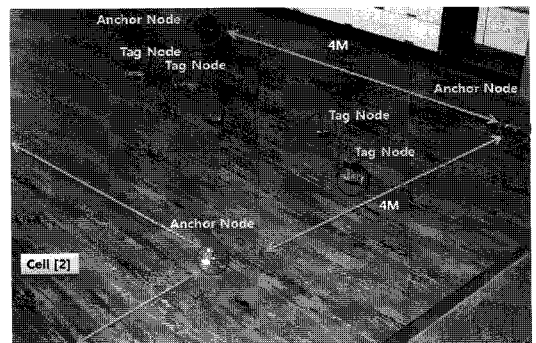


<그림 20> 프로토타입 Node
<Fig. 20> Prototype node

작하며 Active 모드일 때 100 mA를 소모하고 Sleep 모드로 동작 할 때는 0.07 mA를 소모 한다. 본 논문에서 사용된 Node는 나노트론사의 Node와 동일한 특성을 가진 프로토타입의 Node를 함께 사용하여 네트워크를 구현하였다.

2. 측정 환경

제안된 프로토콜의 구현과 성능을 평가하기 위하여 구성된 Cell은 4 m² 크기로 구성 하였으며 측정 시에는 벽면에 고정하여 위치 정보를 수집하였다. <그림 21>은 Cell구성을 보여주기 위해 나타낸 것으로 실제 측정 시에는 1.5 m 높이에 Node를 고정시켜 측정하였다. Anchor는 적용하는 좌표 식에 따라 Cell의 가장자리에 위치되며 Base Station은 인접 Cell과 정보를 주고 받기위해 Cell의 중앙 위치하였다.



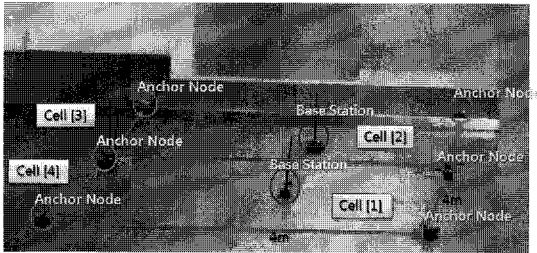
<그림 21> Cell 구성
<Fig. 21> Cell organization

1) 다중 네트워크 구성

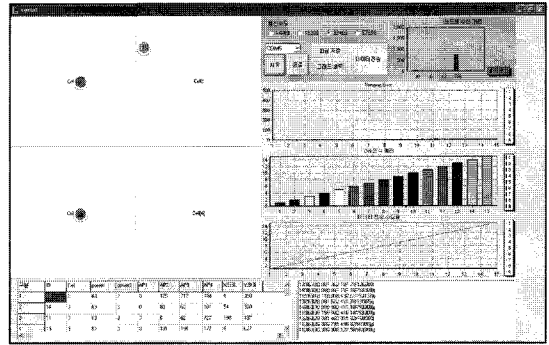
각 Cell의 간격은 30cm의 간격으로 네트워크를

구성 하였으며 Base Station의 ID 값으로 Cell 번호를 적용하였다. Base Station은 Cell의 중앙에 위치하는데 구현된 네트워크 안에서 Base Station 간의 간격은 4.3 m 간격으로 위치하였다.

측정하기 위해 거리 오차율, 데이터 오류 발생률, Cell인식 오류율과 데이터수집 오류율을 그래프로 표시 하였으며 수신되는 Frame을 실시간으로 표시 하였다.



<그림 22> 다중 네트워크 구성도
<Fig. 22> Multi network organization



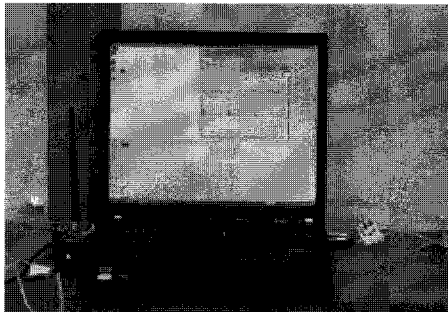
<그림 24> 검증을 위한 프로그램
<Fig. 24> Developed program for verification

2) Main Base Station

각 Cell에서 수집된 정보를 받아 컴퓨터로 정보를 전송하기 위한 Sink 역할을 수행하는 Node로 ID 값으로 0값을 갖으며 1번 Base Station과 5 m 범위 안에 구성 하였다.

3. 측정 결과

이 절에서는 구현된 네트워크의 프로토콜 성능을 평가하기 위해 각각의 환경에서 Tag Node의 수명, 데이터 오류율, 정보 수집률, 위치 인식 정확도를 측정하였다.



<그림 23> Main Base Station (Sink)
<Fig. 23> Main Base Station (Sink)

1) Tag Node의 소모전력 측정결과

제안한 저 전력 알고리즘은 전력소비를 줄이고 수명을 최대화 하기위해 Tag Node에게 주기를 주어 불필요한 통신 시간동안 전원을 차단하도록 설계하였는데 사용된 Node는 3V 1500mAh 용량의 배터리에서 전류의 소모량은 <표 3>과 같다.

3) 모니터링 프로그램

측정을 위한 응용프로그램은 Borland C++를 사용하여 설계 하였으며 Main Base Station과 시리얼 통신을 통하여 Frame을 수신 받아 가공하였다. 응용 프로그램의 구성의 각각의 Cell에서 인식된 Tag Node의 좌표 값을 픽셀로 환산하여 위치를 표시하는 모니터링 부분과 제안된 프로토콜의 성능을

<표 3> NanoLoc Device 소모 전류
<Table. 3> NanoLoc device consumption current

RF Module	
송신 소모 전류	30 mA
수신시 소모전류	33 mA
Sleep Mode의 소모전류	2 μ A
Micro Controller	
Active Mode 소모전류	100 mA
Sleep Mode 소모전류	0.07 mA

<표 4> Tag Node의 동작 소모 전류

<Table 4> Consumption current of tag node operation

Frame	Transmit	Receive	Time[m/s]
Cell 인식	6	3×BS(3)	120+90
Cell 정보 요청	1	-	20
Cell 정소 수신	-	1	10
거리 측정	2×An(2)	3×An(2)	80+60
수집데이터 전송	1	-	20
Atmega128 소모전류	100mA		150
합 계	12	16	550

Anchor Node가 2개이고 인접한 Base Station 이 2개 일 때 제안한 프로토콜에서 Tag Node가 통신하는 횟수는 <표 4>와 같다.

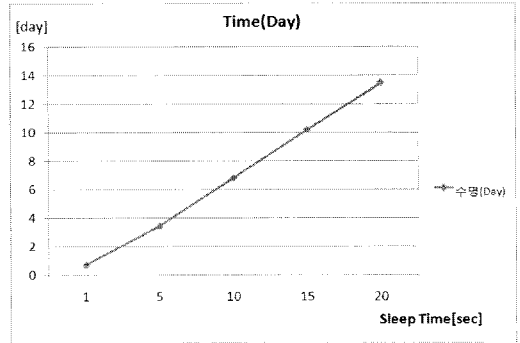
Tag Node의 Active Mode의 총 통신 횟수는 송신 12번과 수신 16번의 통신으로 구성 된다. Tag Node가 통신하는 시간은 걸리는 시간은 송신 20 m/s 수신 10 m/s가 소모되어 총 Tag Node의 통신 시간은 550 m/s가 소모 된다. 따라서 Active 시간 동안 Tag Node의 송수신 시간만 산출 하면 송신 240 m/s 수신 120 m/s의 시간 동안 동작 하는데 Tag Node의 수명을 측정하는 방법으로 Active 동작 시간과 Sleep 시간을 계산한 값과 마이크로 컨트롤러의 소모전류 100 mA를 합산하여 식 (10)으로 계산하였다. Tag Node의 수명을 측정하였다.

$$life - cycle [day] = \frac{\text{배터리의 용량}(1500mA \times 3600sec \times 1000)}{1일 통신 횟수 \times Active \times \text{소모전류}} + \frac{((3600sec \times 24 \times 1000 \times sleep) - (Active \times 1일 통신 횟수 \times sleep))}{100mA}$$

(10)

<표 5> 주기별 Tag Node의 수명
<Table 5> Life cycle of sleep period tag node

주기 (sec)	소모 전류		Active Time(m/s)	1일 동작횟수	수명 (Day)
	Active(mA)	Sleep(mA)			
20	166	0,072	550	4320	13.7
15	166	0.072	550	5670	10.3
10	166	0.072	550	8640	6.9
5	166	0.072	550	17280	3.5
1	166	0.072	550	86400	0.7

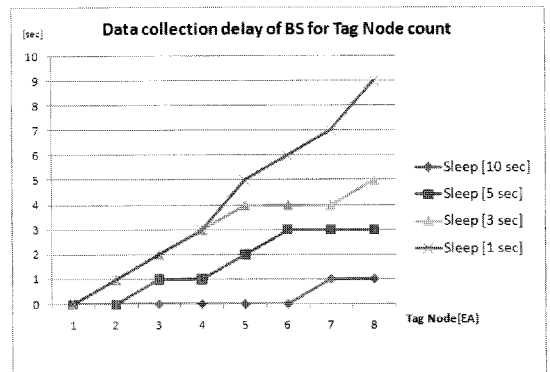


<그림 25> Tag Node의 수명
<Fig. 25> Life cycle of tag node

측정결과는 Sleep 주기를 20초로 설정하고 3 V, 1500 mAh 용량의 배터리를 사용 하였을 경우 550 m/s 동안 동작하는 전류의 양을 최대 163 mA로 계산 하였을 때 Tag Node의 수명은 <표 5>와 <그림 25>와 같이 13.7일로 계산 되었다.

2) 정보 수집 Rate 측정결과

측정 환경은 Cell 안에서 에서 8개의 Tag Node 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 번을 동작하여 11번 Node의 정보의 수집 속도를 200개 데이터 평균값으로 측정하였으며 Sleep주기는 1초에서 10 초까지 증가 시키면서 측정 하였다. 신호의 출동을 방지하기 위해 Cell 정보를 전송 받지 못할 경우 Tag Node는

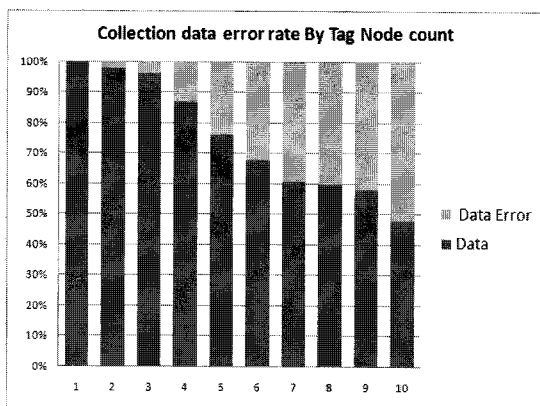


<그림 26> Tag Node의 증가에 따른 BS의 Data 수집 지연시간
<Fig. 26> Data collection delay of BS for tag node count

1초의 Delay Time이 측정 되었는데 측정 결과로 <그림 26>과 같이 Sleep 주기를 10초로 하고 8개의 다중 Tag Node환경에서 동작 시켰을 때 1초의 지연 시간이 발생하는 것을 확인 하였다.

3) 데이터 오류율 측정결과

Tag Node는 거리 정보를 수집하는 과정에서 다른 Tag Node와 중첩된 시간에 동작할 경우 Anchor Node와의 거리 측정 과정에서 신호 간섭에 의한 데이터 수집 오류가 발생하였다. Tag Node가 증가함에 따라 이러한 중첩 현상은 심각하게 발생되었는데 하나의 Cell에서 10개의 Tag Node가 Sleep 주기 3초로 동작할 경우 500개의 데이터 중 50%이상의 데이터 측정 오류가 발생 하는 것을 <그림 27>과 같이 확인하였다.

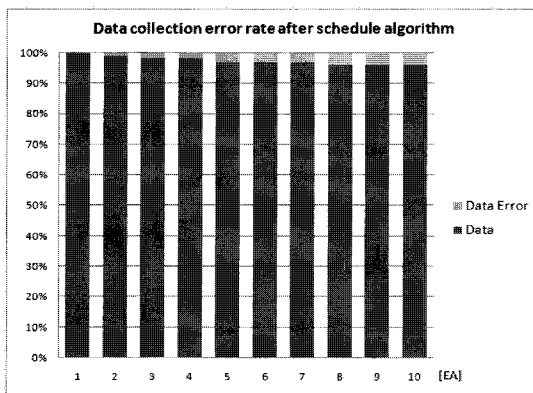


<그림 27> Tag Node의 개수 당 데이터 수집 어려움
<Fig. 27> Collection data error rate by tag node count

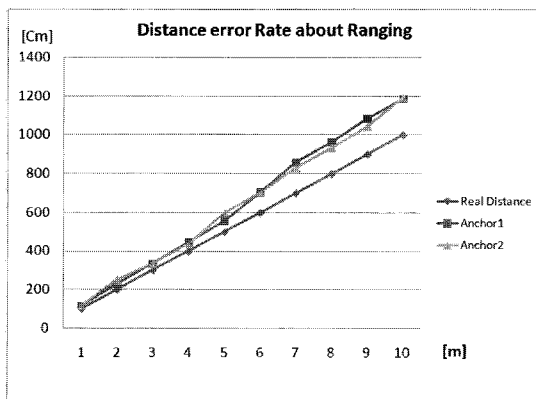
이러한 오류율을 줄이기 위한 방안으로 앞 에서 제안한 스케줄링 알고리즘을 적용 하였 을 때 발생하는 오류율을 <그림 28>과 같이 5 %미만의 결과를 확인 하였다.

4) 위치인식 정확도 측정결과

먼저 정확한 위치인식을 위해 각 Node간의 발생하는 오류율을 측정하였다. 측정결과로 <그림 29>과 같이 5 m이후 1 m이상의 가중되는 오차가 발생



<그림 28> 스케줄링 후 데이터 수집 어려움
<Fig. 28> Data collection error rate after schedule algorithm



<그림 29> 거리 값에 따른 오차율
<Fig. 29> Distance error rate about ranging

하는 것을 확인 하였다.

발생된 오차율은 거리 값이 멀어짐에 따라 발생 하였는데 4 m까지는 안정된 거리 측정을 확인 하였으며 5 m 이상부터 넓은 거리 오차율을 보였다. 이결과를 바탕으로 하여 <표 6>과 같이 4 m까지는 가중치에 대한 오프셋 값을 20 cm 적용하였고 5 m 이후 1 m의 가중치를 적용하여 거리를 측정 하였다.

좌표를 측정하는 방법으로 Tag Node의 Sleep 주기를 3초를 하고 5 m²의 Cell 안에서 10 cm/sec로 이동하는 환경의 각 상황에서 50번의 측정의 평균 값을 계산하였다. 측정 결과로 최대 15 cm미만의 오차율을 보였으며 10 초 주기로 측정하였을 때

<표 6> 거리에 따른 오프셋
 <Table 6> Offset in proportion to distance

Real Distance	측정거리(평균)	오 차	offset
100 cm	115.3	15.3	20
200 cm	228.5	28.5	20
300 cm	333.2	33.2	20
400 cm	436.5	36.5	20
500 cm	596.6	96.6	100
600 cm	703.7	103.7	100
700 cm	857.6	157.6	100
800 cm	963.3	163.3	100
900 cm	1193.3	193.3	100
1000 cm	1212.3	212.3	100

Tag Node의 이동 궤적을 추정 할 수 있었다.

5. Cell 인식 정확도 측정 결과

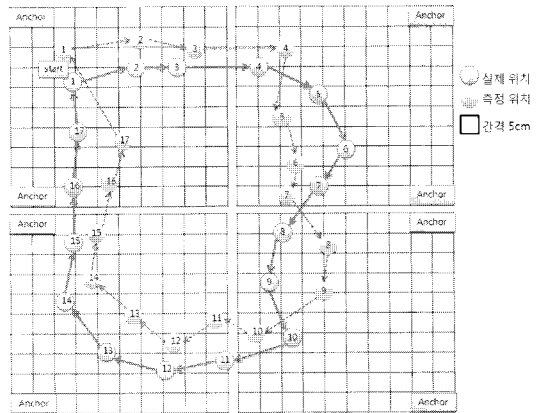
측정 방법으로 2개의 Cell에서 Tag Node가 1 m/sec로 Cell간의 경계를 이동 하였을 때 Cell을 인식 하는 정확도를 측정하였다. <그림 31>은 4개의 Cell에서 Tag Node가 이동시 발생하는 인식 오류를 나타낸 것으로 각각의 300 개의 데이터 중 각 Cell에서 95%이상의 정확도를 확인 할 수 있었다.

V. 결 론

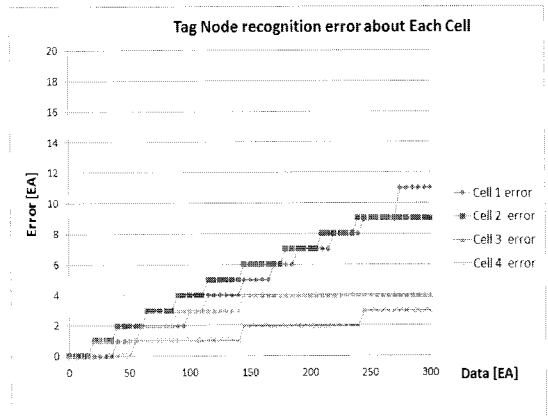
본 논문에서는 차세대 위치인식 네트워크 기술로 주목 받고 있는 IEEE 802.15.4a 표준의 2.45 GHz 대역 CSS를 방식을 이용하여 위치 인식 다중 망의 프로토콜을 설계하고 구현 하였다.

측정 결과로 다중 네트워크 환경에서 발생하는 Tag Node간의 신호 간섭에 의한 오류율을 5%미만으로 줄였으며 전력소비를 최소화하기 위해 주기를 적용하여 Tag Node의 수명을 13.7 일로 연장 하였다. 또한 다중 네트워크 환경에서 Tag Node의 Cell 인식 정확도는 95 %이상의 정확도를 보였으며 위치 인식 정확도는 15 cm미만의 오차를 보였다.

구현된 CSS기반의 위치 인식 시스템은 초음파, 적외선과 같은 기존의 센서 네트워크 장비와 다르



<그림 30> 다중 Cell 기반 위치 인식 정확도
 <Fig. 30> Accuracy of coordinates in multi cell-based



<그림 31> Cell당 Tag인식 오류
 <Fig. 31> Tag node recognition error about each cell

게 별도의 센서 없이 RF 신호만으로 이동 궤적을 추적 할 수 있는 위치 인식 시스템이 구현이 가능 하였으며 광역 위치 인식 시스템을 위한 다중 망 환경에서도 높은 위치 인식 정확도를 보였다. 때문에 향후 다양한 물류, 의료, 홈 네트워크, 군사, 등의 위치를 기반으로 하는 다양한 저 전력의 WP AN환경에서 위치를 기반으로 하여 다양한 응용 서비스를 제공하는 핵심 기술로 사용될 것이 기대 된다. 하지만 안정된 송신 RF 출력과 네트워크의 수명을 연장하기 위한 배터리 기술과 보다 정밀한 위치 인식을 위한 좌표 측정 방법이 요구되며 송수신 전력 소비를 최소화 할 수 있는 RF Chip의 보완이

요구된다.

참고문헌

- [1] S. Y. Yi and H. J. Cha, "IEEE 802.15.4/ Ultrasound-based Tracking Technique in Wireless Sensor Networks," *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 33, no. 1(B), pp. 37-39, June 2006.
- [2] International Standards Research, *A Study on the IEEE Standard Proposal of the Location Based UWB*, Orthotron, pp. 8-32, Aug. 2005.
- [3] IEEE P802.15.4a™ D3, PART 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs), pp. 38-56, pp. 109-124, June 2006.
- [4] 김정수, 양진욱, 양성현, "CSS 기반의 TOA 알고리즘을 이용한 위치인식 시스템 구현에 관한 연구," *한국ITS학회논문지*, 제7권, 제2호, pp. 13-25, 2008. 4.
- [5] 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.
- [6] J. Y. Lee and R. A. Scholysz, "Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link," *IEEE J. Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 9, pp. 1677-1688, Dec. 2002.
- [7] Y. Qi and R. Kohno, "Mitigation of sampling-induced errors in delay estimation," *Proc. IEEE Int. Conf. Ultra-Wideband*, pp. 402-407, Sept. 2005.
- [8] Y. Qi, H. Kobayashi, and H. Suda, "On time-of-arrival positioning in a multipath environment," *Proc. Vehicular Technology Conf.*, vol. 5 pp. 3540-3544, Sept. 2006.
- [9] Nanotron Technologies GmbH, *NanoLoc Raging Demonstrator: User Guide*, ver. 1. Nov. 2007.

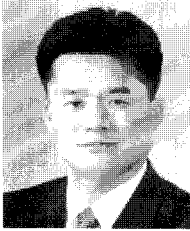
저자소개



양진욱 (Yang, Jin-Uk)

2006년 : 성공회 대학교 학사과정 졸업(컴퓨터 공학)

2006~현재 : 광운대학교 석사과정(전자 공학 전공)



조성수 (Cho, Seong-Soo)

2006년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학 박사과정 재학중



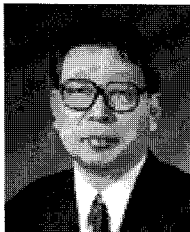
양성현 (Yang, Seung-Hyun)

1983년 : 광운 대학교 전기과(공학사)

1987년 : 광운 대학교 대학원 전기과(공학석사)

1992년 : 광운 대학교 대학원 전기과(공학박사)

1991년~현재 : 광운대학교 전자공학부 교수



강준길 (Kang, June-Gil)

1972년~현재 : 광운대학교 전자공학과 교수