

CSS/ToA 기반 RTLS의 현장 적용 시험

고형준*, 류대현**, 두주영***, 김연수***

*(주)바른기술

**한세대학교 IT학부

***KT 미래기술연구소

e-mail:dhryu@hansei.ac.kr

A Field Test for CSS/ToA based RTLS

Hyung-Jun Goh*, Dae-Hyun Ryu**, Ju-Young Du***, Yeon-Soo Kim**

*BarunTech Co.

**Dept of IT, Hansei University

***Advanced Technology Laboratory, KT

요 약

유비쿼터스 환경에서 '상황인식 서비스(context-aware service)'를 구현하기 위해서는 위치 정보 및 이를 기반으로 한 주변의 상황에 대한 정보, 그리고 거기에 적합한 서비스 제공 인프라를 구축하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 최근 IEEE 802.15.4/a에서 표준화가 완료된 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기반의 RTLS를 구축하고 성능을 평가한다.

1. 서론

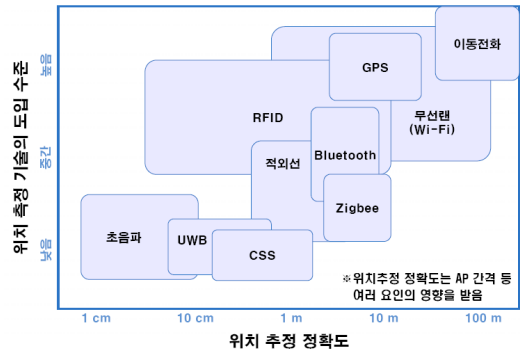
유비쿼터스 서비스를 실현하기 위해서는 다양한 요소 기술들이 결합되어야 한다. 그 중 중요한 서비스인 '상황인식 서비스(context-aware service)'를 구현하기 위해서는 위치 정보 및 이를 기반으로 한 주변의 상황에 대한 정보, 그리고 거기에 적합한 서비스 제공 인프라를 구축하는 것이 필요하다. 즉, 위치추적 기술은 유비쿼터스 환경의 특징인 '상황기반 컴퓨팅'을 구현하는 핵심 기술이라 볼 수 있으며 이에 따라, 다양한 방식을 이용한 위치추적 기술이 연구되고 있다[1].

위치추적 기술로서 GPS 및 이동통신망 기반의 광역 측위 기술은 위치정확도가 낮고 실내 및 음영지역에서 사용상의 어려움이 있는 반면에, WLAN, Zigbee, UWB(Ultrawide Band), Bluetooth, RFID, 초음파(Ultrasonic), IrDA 등의 근거리 무선 기술은 광역 위치추적 기술처럼 넓은 지역에서의 위치추적에는 한계가 있지만, 실제로 사람들이 활동하는 공간을 중심으로 수 미터 이내의 높은 위치추정 정확도를 제공할 수 있다. 그러므로 근거리 무선기술은 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 실내 및 근거리 위치추적 기술로서 고려되고 있다. (그림 1)은 무선통신기술을 이용한 측위 성능을 나타낸다[2].

위치추적 솔루션중 하나가 실시간 위치추적시스템(Real Time Location System)이다. RTLS는 근거리 무선기술을 기반으로 하기 때문에 위치추적 범위의 관점에서 가장 좁은 영역에 적용된다. 즉, 공장이나 사무실 같은 실내공간

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

(Indoor) 및 야적장 및 공원과 같은 제한적인 범위의 실외 (Outdoor)에서 특정 사물 및 사람의 위치를 찾아주거나 이를 기반으로 부가적인 기능을 제공할 수 있다.



(그림 1) 무선통신기술을 이용한 측위 성능[5]

RTLS에서도 GPS 및 LBS에서와 마찬가지로 삼각법 (Triangulation), 인접법(Proximity), 그리고 공간을 작은 셀로 나누어 개체가 존재하는 셀의 위치를 확인함으로써 현재 위치를 추정하는 셀(Cell) 방식을 사용한다. 이 중에서 삼각법에 의한 위치 추적이 가장 보편적인 위치 추정 방법이며 삼각법에 의한 위치 추정은 RSSI(Received Signal Strength Indicator)나 TOA(Time of Arrival) 등 기법을 바탕으로 이루어진다[3].

RTLS는 위치추적의 대상이 되는 태그, 액세스 포인트 (Access Point), 그리고 중앙 서버 혹은 위치계산 엔진 (Positioning Engine)으로 구성된다. 또한, 실내 무선 측위 시스템은 동작하는 방식에 따라 인프라 기반 방식

(Infrastructure-Based Architecture) 및 단말기 기반 방식 (Terminal-Based Architecture)을 선택적으로 사용할 수 있으며, 각 구성요소의 기능은 위치추적 시스템이 구성되는 방식에 따라 다소 차이를 나타낸다[3].

실내 측위 기술 개발과 관련된 주요 이슈로는 정확도 및 위치정보 안정성, 단말 장치 관련 이슈 그리고 구축 관련 이슈가 있다. 먼저 정확도 및 위치정보 안정성과 관련해서는 어떤 WPAN 기술을 이용할 것인지, 어떤 방식으로 안정적인 위치정보를 생성할 것인지 그리고 복수 공간에 대한 위치정보 연속성 제공 방법에 대한 검토가 이루어져야한다. 단말 장치 관련 이슈로는 태그의 크기와 무게 그리고 배터리 소모량 등을 고려하여야한다. 구축 관련 이슈로서는 AP/Beacon의 설치 위치 결정 및 음영지역 대처 방법, RF Channel Plan 및 전파간섭문제, 장치의 등록 및 관리방법, 위치추적 대상의 정보와 단말 장치의 정보 연동 및 활용 방법, 대규모 위치 데이터 처리 및 위치정보 처리 방법 등이 고려되어야 한다.

개인 무선네트워크기술인 IEEE 802.15.4a 표준은 정밀한 거리측정을 지원할 수 있는 전파시간 정보를 이용할 수 있도록 CSS 및 IR-UWB (Impulse Radio Ultra Wideband) 방식을 제공한다[4]. 또한 스프레드 스펙트럼 기술을 이용하기 때문에 간섭효과의 영향을 최소화 할 수 있기 때문에 고정도 실내측위에 적합한 기술로 거론된다.

본 연구에서는 상황인식 서비스 적용을 위해, 최근 IEEE 802.15.4/a로 표준화된 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기반 위치추적 시스템의 성능을 평가한다. 이를 위하여 여러 경우의 측위환경과 네트워크를 구성하고 태그(Tag)의 위치를 측정하여 데이터를 수집한다. 수집된 위치측정 데이터는 다양한 방법으로 가시화하는 한편, 각 조건별로 추정오차의 누적분포함수를 구하여 환경 및 조건 별 측정위치 정확도 등의 데이터를 제시한다. 이러한 가시화 작업 및 누적분포함수를 이용한 데이터 분석을 통해 CSS 기반 측위기술의 적용 타당성을 확인한다.

2. CSS/ToA 기반의 실시간위치추적시스템

현재, 2.4 GHz 대역의 IEEE802.15.4a/CSS를 지원하는 칩셋은 독일의 Nanotron Technology 에서만 제공되고 있으며, 국내의 Orthotron 도 2008년 중에 제품을 출시할 것으로 알려져 있다. CSS를 이용한 고정밀 위치추적 솔루션은 삼선네트웍스를 비롯하여, 세연테크놀로지 등 국내의 다수의 업체에서 개발이 진행되었거나 진행 중에 있다.

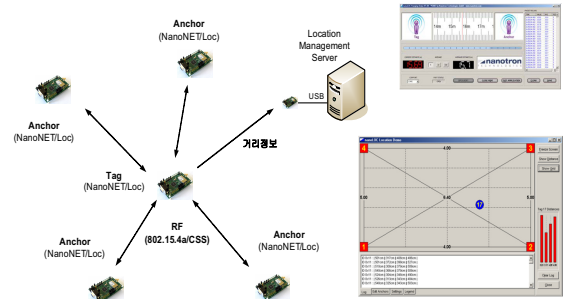
Nanotron Technology의 NA5TRI 칩셋은 위치추적을 위해 ISM 대역에서 80MHz 및 22MHz의 대역폭을 이용한다. 데이터 통신을 위해 최대 2Mbps의 대역폭을 제공하며, 위치추적을 위한 거리 측정(Ranging)이 데이터 통신 과정에서 수행되므로 별도의 장치나 대역폭을 필요로 하지 않는다. CSS 기술을 이용하기 때문에 전파 간섭에 강한 특성을 보이며, SDS-TWR(Symmetric Double

Sided - Two-Way Ranging) 기법을 사용함으로써 장치들 사이의 시간 동기화를 필요로 하지 않는다[6, 7].

SDS-TWR 방식은 로칼 노드에서 리모트 노드까지의 측정 값이 리모트 노드에서 로칼 노드까지의 측정 값과 같다는 점에서 대칭적(symmetrical)이다. 또한 두 노드(로칼 노드와 리모트 노드) 이 거리 측정에 사용된다는 점에서 Double-Sided 라고 하고, 데이터 패킷이 한 노드로부터 전송되고 하드웨어 응답 패킷이 자동으로 송신 노드에 되돌아 전송된다는 점에서 Two-Way라고 한다. SDS-TWR 방식에서 두 개의 노드 간의 전파 시간(propagation time: T_p)은 다음 식을 이용하여 구한다.

$$T_p = \frac{(T_1 - T_2) + (T_3 - T_4)}{4}$$

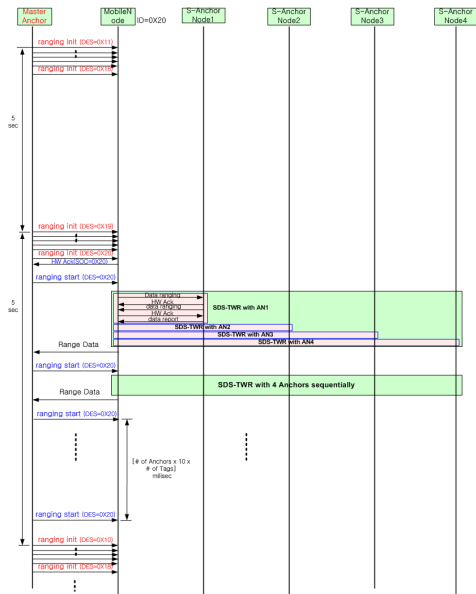
- T1 = 로칼 노드와 리모트 노드 간의 round trip 전파지연시간
- T2 = 리모트 노드에서의 처리 지연
- T3 = 리모트 노드와 로칼 노드간의 round trip 전파지연시간
- T4 =로칼 노드에서의 처리 지연



(그림 2) nanoLOC DK을 이용한 가장 기본적인 측위 네트워크의 구성

본 연구에서는 Nanotron NanoLoc Development Kit 을 사용하여 CSS 기반의 실시간 실내 위치추적 시험장치 구성하고 그 성능을 평가하였다. nanoLOC LOCATION DEMO에서는 미리 위치를 알고 있는 Anchor 노드들을 이용하여 2차원 공간에서 태그의 위치를 추정할 수 있다. 태그의 위치는 최소 4개 이상의 Anchor 노드의 X/Y 좌표에 대한 상대적인 X/Y로 계산된다. nanoLOC LOCATION DEMO를 이용한 측위 시스템은 태그와 Anchor 간의 거리 계산을 수행하는 nanoLOC chip의 거리 계산 기능을 이용하는 embedded application과 사용자 정합부(UD)로 구성된다. 태그의 위치는 Windows® 기반의 응용 프로그램 상에 표시된다. 태그에서 올라오는 거리정보를 이용하여 태그의 위치를 계산하고 이를 UI에 그래픽으로 표시한다. (그림 2)는 nanoLOC DK을 이용한 가장 기본적인 측위 네트워크를 보여 준다.

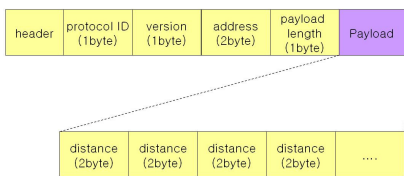
측위를 위한 각 노드들 간의 데이터 전송 절차는 (그림 3)과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 Master Anchor 는 PC 와 연결된 베이스 노드이고, Tag노드는 17 ~ 32, Anchor노드는 0 ~ 16(0:Master)의 주소 범위를 갖는다.



(그림 3) 측위를 위한 각 노드들 간의 데이터 전송 프로토콜

베이스 노드는 Tag 노드 주소 범위를 17 ~ 24, 25 ~ 32의 두 그룹으로 나누어 약 5초 간격으로 RNI(Raging Node Init) 패킷을 반복하여 전송한다. RNI 패킷에는 미리 설정된 Anchor의 주소가 포함되어 있으며 HW ACK를 검사하여 RNI 패킷에 응답한 노드를 네트워크에 존재하는 노드로 판단한다.

베이스 노드는 또한 주기적으로 네트워크에 포함된 노드에 대해서 RSTART(Ranging Start) 패킷을 전송한다. Tag노드는 이 패킷을 전송받으면 RNI 패킷에서 전송받은 각각의 Anchor노드와의 거리를 계산하여 베이스 노드에 RD(Raging Data) 패킷 형태로 보고한다. RD 패킷은 (그림 4)와 같고, 헤더의 Address 부분에 베이스 노드의 주소인 0x0000으로 지정되고, Payload 부분에 각 Anchor와의 거리가 포함되어 있다. 베이스 노드가 RSTART 패킷을 전송하는 간격은 Anchor 노드의 개수와 관련이 있고, 한 주기에 한 개의 Tag노드에만 전송한다. 예를 들어 Anchor노드가 4개이고 Tag노드가 두 개인 환경에서 각 Tag노드는 80 밀리 초(10x4x2=80) 마다 RSTART 패킷을 전송 받는다.



(그림 4) Ranging 패킷의 포맷

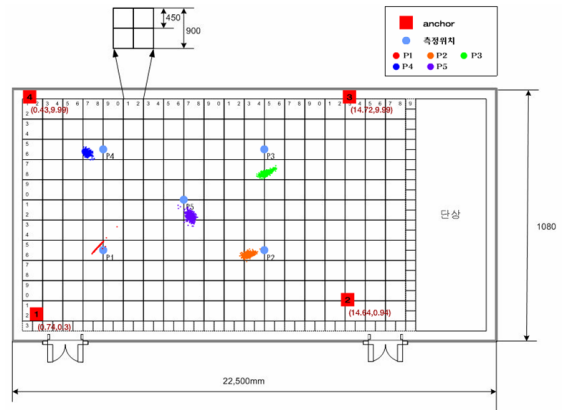
태그에서 PC쪽으로 보내오는 Ranging 패킷의 포맷을 소스코드에서 찾아서 (그림 4)에 나타내었다. 여기서 address는 태그의 ID를 의미한다.

3. 현장시험 및 성능검토

본 연구에서는 상황인식서비스 적용환경으로서 강당이 나 강의실 같은 실내 및 운동장과 같은 제한적인 범위의 실외에서 시험을 수행하였다. 그러나 본 논문에서는 실내 환경으로 크기가 22.50m x 10.80 m 이고 높이가 3.50 m 인 소형 강당에서의 시험 결과만을 제시하였다. (그림 5)에 강당의 사진, 평면도와 측정 점의 위치 그리고 본 RTLS 에서 추정한 위치를 나타내었다. 또한 Anchor Node의 수를 증가 하면서, 그리고 태그의 수를 최대 3개 까지 증가하여 멀티 태그의 지원여부, 태그 이동 시의 경우 등도 시험 하였으나 본 논문에서는 생략하였다.



(a) 강당 사진

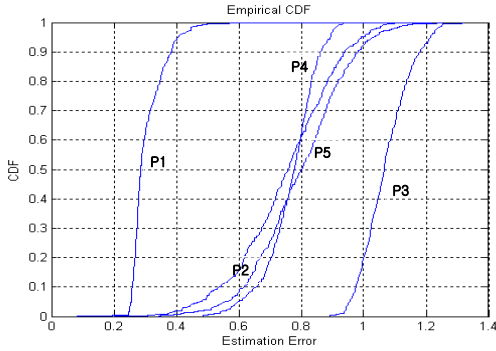


(b) 평면도(측정점 및 추정 값 표시)

(그림 5) 실내 시험 환경(강당)

본 시험에서는 (그림 5)와 같이 태그를 1m 높이의 트레일에 장치하고 다섯 개의 측정점(P1 - P5)에 장치 상태에서 위치 값을 추정하였다. 시험결과는 UI 화면에도 표시되며, 정확한 추정 위치 값과 각 Anchor 노드와 태그 간의 거리 값은 로그 파일로 저장된다. 로그 파일에는 시험일자 및 시간, 태그 ID 그리고 추정위치($\overline{x_t}, \overline{y_t}$), 혹은 추정위치($\widetilde{x_t}, \widetilde{y_t}$), 그리고 사전에 그 위치좌표가 등록된

Anchor 노드와의 거리가 각각 d_1 , d_2 , d_3 , d_4 로 표시되어 있다. 추정 2의 주기는 사용자가 설정할 수 있으나 본 실험에서는 초당 2회에서 6회(평균 3회 정도)로 하였다. 이러한 결과를 바탕으로 위치추정 오류의 누적분포함수(cumulative distribution function, cdf)를 구하여(그림 6)과 같이 나타내었다.



(그림 6) 위치추정 오류의 누적분포함수

위 그림에서 추정위치는 그 오차가 대부분(80% 이내) 1.2 m 이내임을 알 수 있다. 위 실험의 경우 강당의 중앙에 위치한 P5에서 가장 높은 정확도를 보여줄 것으로 예상하였으나 실제로는 P1에서 가장 높은 위치 추정 정확도를 보여주고, P3에서 정확도가 가장 낮은 결과를 보여주고 있으나 본 연구에서는 그 이유를 확인하지 못하고 있다. 이는 실내 무선측위 기술의 한계로 생각되는데 실내 공간의 전파환경에 대한 특성이 매우 복잡할 뿐 아니라, 개별 Anchor 노드의 RF 특성도 서로 동일하지 않기 때문으로 추측된다.

시험 결과에 의하면 CSS/ToA 방식의 RTLS는 운용 환경에 크게 의존하지만, 태그가 정지하고 있는 경우 대략 1m 안밖의 위치정확도를, 태그가 이동하는 경우(지면제약으로 본 논문에서는 제시되지 않음) 약 2m 정도의 위치정확도를 갖는 것으로 확인 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 상황인식 서비스 적용을 위해, 최근 IEEE 802.15.4/a에서 표준화가 완료된 CSS 기반의 위치추적 시스템을 구축하고 성능을 평가하였다. 이를 위하여 여러 경우의 측위환경과 네트워크를 구성하고 태그의 위치를 측정하여 데이터를 수집하였다. 수집한 위치추정 데이터는 다양한 방법으로 가시화하는 한편, 각 조건별로 추정오차의 누적분포함수를 구하여 환경 및 조건 별 측정위치 정확도 등의 데이터를 제시하였다. 시험 결과, 태그가 정지하고 있는 경우 대략 1m 내외의 위치정확도를, 태그가 이동하는 경우 약 2m 정도의 위치정확도를 갖는 것으로 확인되었다.

CSS 기반의 측위기술은 그 설치 및 운용이 다른 방식

에 비해 비교적 간편하며, 실내 공간 구성에 따라 Anchor 노드의 위치를 적절히 선정하고 개수를 조절한다면 위치 정확도도 대략 1m 내외로 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

본 시험 결과는 어플리케이션에 따른 Ranging 범위 및 음영지역을 고려한 Anchor 노드의 위치선정, 음영지역 대처 방법, RF Channel Plan 및 전파간섭문제, 장치의 등록 및 관리방법, 위치추적 대상의 정보와 단말 장치의 정보 연동 및 활용 방법, 대규모 위치 데이터 처리 및 위치정보 처리 방법 등에 대한 문제 해결에 활용될 수 있다. 그러나 Ranging 범위 만 보더라도, 설치장소의 전파환경, 노드의 Power Control 설계, 배터리 용량, 사용 안테나 등 매우 다양한 요소에 좌우된다. 이러한 요소들은 결국 어플리케이션에 따라 달라지기 때문에 위치추적시스템 구축을 위해서는 서비스 성능요구사항을 만족할 수 있는 상당한 엔지니어링이 필요하다고 본다.

참고문헌

- [1] M. Weiser, "The Computer for the 21st Century", Scientific American, pp. 94~104, Sep. 1991.
- [2] 조영수 외, 실내의 연속측위 기술 동향, 전자통신동향분석 제 22권 제 3호 2007년 6월
- [3] 김학용, "무선랜 기반 위치정보 서비스", Telecommunications Review, 16권 2호, pp. 188~202, 2006.
- [4] IEEE 802.15 WPAN Low Rate Alternative PHY Task Group 4a (TG4a), <http://ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [5] 김학용, "근거리 위치 추적 최신 기술 및시장 시장 동향", 삼성네트웍스, 2007.12.5
- [6] <http://www.nanotron.com>
- [7] Y. Jiang and V. Leung, "An Asymmetric Double Sided Two-Way Ranging for Crystal Offset", Int'l Symposium on Signals, Systems and Electronics, (ISSSE '07), pp. 525~528, July 2007.