

지능형 로봇 공간을 위한 실내 측위기술

Indoor Localization Technique for Intelligent Robotic Space

지능형 로봇 특집

안효성 (H.S. Ahn)	지능형작업제어연구팀 선임연구원
이재영 (J.Y. Lee)	지능형작업제어연구팀 연구원
유원필 (W.P. Yu)	지능형작업제어연구팀 팀장
한규서 (K.S. Han)	지능형작업제어연구팀 선임연구원

목 차

-
- I. 서론
 - II. 관련기술 및 동향분석
 - III. 지능형 로봇을 위한 측위기술
 - IV. 결론

본 고에서 다루고자 하는 지능형 로봇 공간(intelligent robotic space)은 이동성(mobility), 조작성(manipulability)으로 대표되는 로봇의 독특한 기능을 분산센싱, 분산처리환경을 구축하여 고기능화함으로써 자연스러운 이동, 조작기능의 구현이 가능한 공간으로 정의할 수 있다. 이는 개념적으로 가상 공간(virtual space), 추론 공간(semantic space), 물리 공간(physical space)으로 구성된다. 가상 공간은 로봇-센서간 융합을 통한 환경지도 작성 및 표현을 위한 플랫폼 기술이고 추론 공간은 로봇 및 로봇과 연동된 사람이나 사물의 상태 해석을 위한 객체 모델 기술이다. 물리 공간은 지능형 이동성과 로봇 조작 능력의 향상을 위한 지능형 하드웨어 공간이다. 본 고에서는 물리 공간에서 가장 핵심적인 이슈인 실내 측위기술에 대해서 알아본다. 측위기술은 사람이나 사물의 위치를 정밀하게 결정하여 로봇이 인간과 공존할 수 있도록 안정적이고 신뢰성 있는 측위 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 지능형 로봇을 위한 측위기술은 크게 무선 센서네트워크 기반의 광역(coarse) 위치 결정과 RFID 및 로봇 비전(vision)을 기반으로 하는 정밀(fine) 위치 결정으로 나뉘어진다. 본 고에서는 Wi-Fi, ZigBee, UWB를 이용하는 무선 센서네트워크 기반의 실내 위치 측정에 관한 연구 개발 동향을 분석하고 각각의 기술이 가지는 장단점을 비교한다.

I. 서론

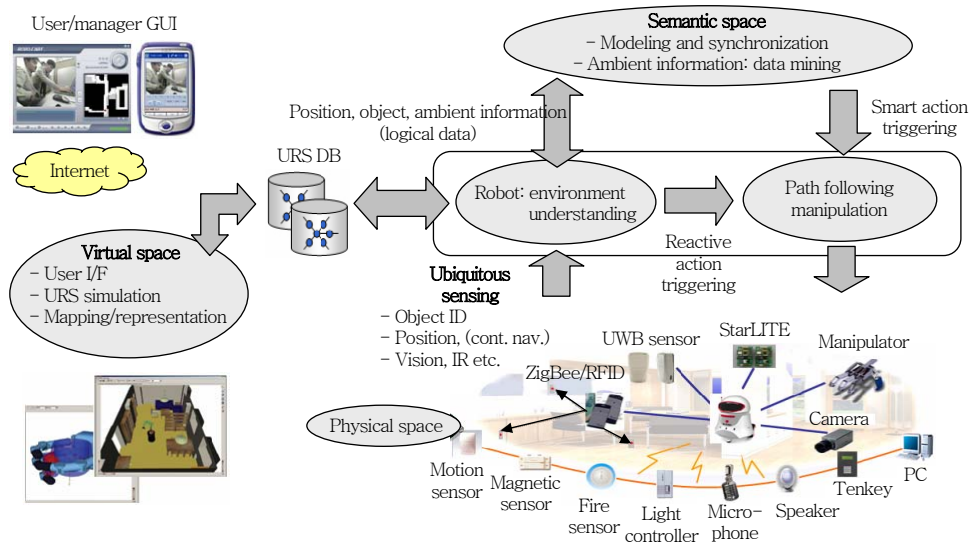
21세기 한국 사회의 저출산, 고령화 문제는 노동 인구의 감소와 생산성 저하로 이어지며 이는 경제 발전의 둔화로 나타날 것이다. 이에 반하여 소비 시장은 다양화, 개인화되어 다품종 소량 생산의 요구가 급격히 커지고 있으며 IT 기술의 발전과 맞물려 새로운 서비스에 대한 소비 욕구가 창출되고 있다. 지능형 로봇 산업은 이러한 생산성 저하 문제를 해결하고 다품종 소량 생산, 소비자 친화적인 경제 발전의 동력이 될 것으로 예상된다. 지능형 로봇은 산업 및 인간 생활공간에 배치되어 인터넷, 유무선통신망 등에 기반을 두고 다양한 서비스를 창출할 수 있을 것으로 기대되고 있는데, 이의 구체적인 실현은 인간과 로봇이 공존할 수 있는 지능형 로봇 공간(intelligent robotic space)의 구현을 통하여 나타날 것이다. 지능형 로봇 공간은 자율적이고 유연한 지능형 이동성과 로봇 조작 능력의 향상을 위한 지능형 공간이며 사무, 공장, 가정 자동화를 가능하게 해 줄 새로운 연구 개발 프레임워크라고 할 수 있다. (그림 1)은 지능형 로봇 공간이 개념적으로 3개의 공간인 가상 공간(virtual space), 추론 공간(semantic space), 물리 공간(physical space)으로 구

성되어 있음을 보여준다. 본 고에서는 물리 공간 구축을 위한 핵심적 선행기술인 실내 측위기술에 관한 관련기술 동향 및 각각 시스템이 가지는 장단점과 성능에 대해서 분석한다.

II. 관련기술 및 동향분석

1. 기술 조사

네비게이션(navigation)은 한 지점에서 다른 지점으로 경로정보와 위치정보를 이용하여 이동하는 기술이다. 네비게이션이라는 연구영역은 연구범위, 응용범위, 연구결과물, 관련 회사, 연구인력 등이 워낙 광범위하여 어느 특정 시스템에 국한되어 보편화 될 수 있는 단일화된 최적의 솔루션이 존재하지 않는다. 고전적인 연구 관점에서 네비게이션이라고 말할 때는 주로 GPS를 기반으로 하는 실외(outdoor navigation) 위치 측정 시스템을 지칭하여 왔다. 그러나, 최근의 무선 통신의 발전과 재해 구조의 목적으로 미국 연방 통신청(FCC)이 권고한 모든 911 요청자의 정밀한 위치 파악에 대한 요구 사항이 실내 위치 인식이라는 연구분야를 급속히 활성화시켰고, 이는 실내 네비게이션이라는 연구 분야를 더욱 성장



(그림 1) 지능형 로봇 공간의 구성

시켰다. 따라서 네비게이션은 크게 실외 네비게이션과 실내 네비게이션으로 나뉠 수 있다. 하지만 실외 네비게이션의 경우 GPS를 통하여 사용자가 원하는 충분한 위치 정밀도를 제공해줄 수 있는데 반하여, 실내의 경우 아직까지 주도적(dominant)인 솔루션이 없는 상황이다. 문헌 조사를 통하여 볼 때, 대부분의 연구는 비전을 기반으로 한 물체 인식 방법과 무선 통신망(WSN)을 기반으로 하는 통신기반 기법으로 구분될 수 있다. 본 장의 문헌 조사에서는 실내 네비게이션에 대한 전체적인 연구 흐름을 무선 통신망을 중심으로 알아본다. 비전을 통한 연구는 참고 문헌 [1]을 소개하는 것으로 대신한다. 본 장의 주요 참고문헌은 2005년 7월 IEEE signal processing magazine 특별호[2]에 실린 5개의 리뷰 형식의 논문들[3]-[7]이다. 위치 인식에 관한 연구의 분류는 측정 방법에 따른 분류, 관측 성분에 따른 분류, 통신 방식(protocol)에 따른 분류로 나뉘어진다.

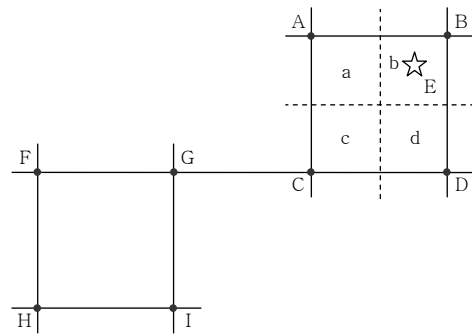
가. 측정 방법에 따른 구분

먼저 위치 추적을 계산하고 실행하는 모듈에 따라서 클라이언트 기반 방법(client-based design)과 기준노드 기반 방법으로 나뉘어진다. 클라이언트 기반 방법은 기준노드들에서 발신한 신호를 태그와 같은 전파 수신 클라이언트에서 수신하여 클라이언트 자신의 위치를 계산하는 방법이다. GPS가 대표적인 클라이언트 기반 위치 추적 시스템이라 할 수 있다. 무선랜(WLAN)을 통한 핑거프린팅 방법은 액세스 포인트(AP)에서 클라이언트로 전파를 송신하여 위치를 결정하는 것으로 이 방법도 클라이언트 기반 위치 인식 시스템이라 할 수 있다. 기준노드 기반 위치 인식 시스템은 태그에서 발신한 신호를 기준노드에서 수신하여 태그의 위치를 계산한다. 이 방식은 클라이언트로부터 수신된 신호의 강도(strength)나 신호의 방향, 신호의 전파 시간차 등을 이용하여 클라이언트의 위치를 결정한다. 기준노드로 이용될 수 있는 비컨(beacon)의 특성에 따라 고정된 비컨을 이용한 측위(localization with fixed beacons), 움직이는 비컨을 이용한 측위(localization with

moving beacons), 비컨이 없는 측위(beacon-free localization) 등으로 나뉘어진다. 비컨이 없는 측위는 클라이언트 내부에 장착되어 있는 센서나 클라이언트 주변 환경에 있는 자연 환경 표식 등을 이용하여 위치를 결정한다.

거리의 측정 여부에 따라 거리기반 위치추정 방식(range-based method)과 거리독립 위치추정(range-free method)으로 나뉘어진다. 거리기반 위치추정 방식은 거리를 측정하여 삼각법(triangulation)에 의하여 위치를 측정한다.

거리독립 위치추정은 거리 기반에 의한 위치 결정이 아니라, 셀 단위의 좌표 분류에 의한 위치 결정이다. 즉 (그림 2)처럼 사물 E의 위치가 셀 a, b, c, d, 또는 점 F-G-H-I로 구성된 셀에 있는지 결정하는 방법이다.



(그림 2) 셀 기반 위치 결정

나. 관측 성분에 따른 구분

움직이는 클라이언트의 관측 성분에 따른 위치 결정 방법의 대표적인 것으로 수신된 신호의 강도를 이용하는 RSSI를 들 수 있다. 이 방법은 사물이나 태그 등에 부착된 발신기(transmitter)에서 나온 전파의 강도를 이용하여 전파 강도의 약해진 정도에 따라 센서에서 발신기까지의 거리를 측정한다. 즉 이 방법은 다음의 거리와 신호 강도의 관계를 이용한다.

$$I \propto \frac{k}{r^a} \tag{1}$$

식 (1)은 거리(r)와 신호 강도(I)의 관계가 비례상

수 k 와 지수 상수 a 의 함수임을 알 수 있다. 이들 상수는 시간과 환경에 따라 바뀌기 때문에, 신호 강도에 의하여 거리를 결정하는 것은 많은 오차를 포함한다. 신호의 이동 속도를 이용하는 TOA 방법은 빛의 속도(c)로 움직이는 전파를 발신시간과 수신시간의 차를 이용하여 거리를 측정하는 방법이다. 이 방법을 사용하기 위해서는 발신기와 수신기(receiver)의 시각 동기화(time synchronization)가 중요하나, 이런 시각 동기화는 실내의 짧은 거리에서는 쉽게 달성되지 않는다. 시각 동기화의 어려움을 극복하기 위한 방법으로 두 개 이상의 지점에서 수신한 시간 차이를 이용하는 TDOA 방법이 있다. TOA의 경우 세 곳 이상의 수신 지점에서 수신기 사이의 시각 동기 및 수신기와 발신기의 시각 동기화가 필요하지만 TDOA의 경우 수신기 사이의 시각 동기화만 필요하고 발신기와 수신기 사이의 동기화는 필요하지 않다. 신호의 수신 각도에 따라서 위치를 결정하는 AOA 방법은 수신기에서 전파가 수신된 방향을 결정하여 사물의 위치를 추정하는 방법이다.

디지털 전파 지도 정보(digital radio map information)를 이용하는 핑거프린팅 방법은 전파의 신호 강도, 예를 들어서 실내에서 AP로부터 나온 신호의 세기를 데이터베이스로 가지고 있고, 나중에 센서가 이들 AP들로부터의 신호의 세기를 측정하여 데이터베이스와 비교하여 사물의 위치를 추정하는 방식이다. 이 방법은 거리 기반 없는 측정 방식이라 할 수 있다.

위의 알고리즘들 중 TOA와 TDOA의 경우 시각 동기화 캘리브레이션(timing calibration between sensors) 및 전파 직진성(LOS)을 최대한 정밀하게 보장해 줘야 하는 단점이 있다. 이 외에도 위의 방법에 의하여 위치를 추정할 경우 채널 흐려짐(channel fading), 신호 숨겨짐(shadowing), 신호대 잡음비(SNRs), 다중 사용자 간섭(multiuser interference), 다중경로(multipath)[7] 등의 많은 오차 요인들이 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위한 방안으로 두 개 이상 알고리즘들을 결합하는 방식, 예를 들어 AOA + TDOA 같은 퓨전(fusion)에 의하여 성능의

향상을 도모하는 경우가 있다. 참고문헌 [4],[5]에서 구체적인 수학기술을 참조할 수 있다. 참고문헌 [4]는 정밀한 TOA, AOA의 추정을 위한 안테나 배열(array) 기법을 소개하고 있으며, 참고문헌 [5]에서는 관측식을 기반으로 하는 필터링 기법을 소개하고 있다.

다. 통신 방식(protocol)에 따른 구분

실내 네비게이션(indoor navigation)에는 RFID, laser, sonar, radar, infrared 등 다양한 통신 방식이 이용되어 왔지만 최근의 추세는 Wi-Fi 기반, UWB, ZigBee 등 세 가지 통신 방식을 이용하는 방법들이 빠르게 발전되고 있다. Wi-Fi 방식을 이용한 측위는 IEEE 802.11 a/b/g에 의한 WLAN을 이용하는 방식[8]으로, Wi-Fi 방식에 의한 측위 방식은 핑거프린팅이 대표적이다. 하지만 이 방식은 사전에 전파지도를 작성해야 하는 단점이 있으며, 신호가 외부 환경요소에 상당히 민감하다[9],[10]. UWB 방식의 측위는 IEEE 802.15.3a, IEEE 802.15.4a 표준(표준화 진행중)에 따른 ultra wideband를 이용한 측위로 WPAN을 위한 방식[7],[11]이다. UWB를 기반으로 한 측위 방식은 높은 정밀도와 외부 환경 요소에 거의 영향을 받지 않는 장점이 있으나, 초기의 위치 및 자세 캘리브레이션과 고정밀도의 시각 동기화를 요구하는 단점이 있다. ZigBee를 이용한 측위 방법은 신호의 세기를 이용하는 RSSI 방식이 주로 이용되고 있으며, 현재 나와 있는 대표적인 제품은 Chipcon의 cc2420, cc2431 등이다.

위에서 언급한 측정 방법, 관측 성분, 그리고 통신 방식에 따른 위치 인식에 관한 수많은 논문이 나와 있으며, 다양한 응용 사례를 보여주는 논문들이 출판되어 있다. 몇 개의 응용 사례에 관한 연구는 참고문헌 [12] 등을 참고할 수 있다. 하지만 지능형 로봇 공간에서 목적으로 하는 지정된 공간에서 사물이나 사람의 위치를 아무런 제약 없이 추정하는 실제적인 응용 사례는 찾아보기 힘들며, 더욱이 로봇의 측위와 결합된 상호 작용에 대한 적용 사례는 보고되지 않았다.

2. 동향분석

본 장 1절에서 설명한 기술들의 구체적 구현 및 성능은 Wi-Fi나 UWB를 지원하는 송수신기(transceiver)나 칩셋의 개발과 이러한 칩셋 하드웨어에 의해서 크게 좌우된다. Wi-Fi 방식의 무선 통신은 현재 랩톱(laptop)이나 PDA 등에서 광범위하게 상업화되어 이용되고 있기 때문에 측위와 관련된 업체들이 매우 다양하다. 그에 반하여 UWB 및 ZigBee에 기반한 측위를 솔루션으로 제공하는 회사는 찾기 어렵다. UWB의 경우 아직까지 통일된 통신 표준안(protocol)이 정립되지 않았고, UWB 신호의 극단적으로 짧은 임펄스(impulse; 넓은 주파수 영역)와 이에 대한 캘리브레이션 방법의 어려움 때문이다. 간단하게 생각해서 펄스(pulse)의 폭이 수 피코초(pico seconds)이고, 펄스 간의 간격 역시 수 피코초 또는 수 나노초(nano seconds)일 경우 수신기간의 동기화를 달성하기는 쉽지 않다. 본 절에서는 Wi-Fi와 UWB 기반으로 위치 정보를 제공하는 제품을 제작 판매하는 몇 개 대표적인 회사를 알아보고 그들의 기술 수준을 파악한다. ZigBee의 경우 Chipcon¹⁾을 참조하는 것으로 대체한다.

가. Wi-Fi 방식

Wi-Fi 기반 위치 인식 시스템은 많은 회사에서 개발되어 왔으며, 그 응용도 무척 다양하다. Wi-Fi는 현재 쉽게 접근이 가능하고 많은 개발 비용이 들어가지 않는다는 장점이 있는 반면, 상대적으로 정밀도가 떨어지는 것으로 알려졌다. Aruba²⁾는 캘리포니아에 기반을 둔 회사로 주요 제품은 Aruba 6000, Aruba AP 70 등이다. 측위를 위해서는 mobility controllers와 관련 소프트웨어가 필요하다. 하지만 이들 제품은 측위 전용이 아니기 때문에 태그가 상대적으로 크다는 단점이 있다. AirTight³⁾는 미국 캘리포니아와 인도, 호주에 기반을 하고 있으며, 주요 제품은 Wi-Fi Planning Service 등이다. 제품은 주로 보안 용도로 이용된다. 위치 결정을 위해서는 핑거프린팅 같은 전파지도가 필요하기 때문

에 새로운 환경에서 환경지도를 작성하면서 실시간으로 이용하기에는 적합하지 않다. Airespace⁴⁾ (최근에 CISCO에 합병됨)의 주요 제품은 RF Fingerprinting Pinpoints Location이고, 무선 측위를 위해서 개발된 제품이다. 관측 방식은 RSSI이고, 사전에 전파지도 작성이 필요하다. AeroScout⁵⁾의 대표적인 제품으로 AeroScout Visibility System은 실내 무선 측위를 위해서 개발되었다. 필요한 장비는 tags, mobile view, exciter, engine, receiver 등이며, 스펙상으로는 1미터 이내의 정밀도를 제공한다. 이 제품은 TDOA와 RSSI를 결합한 방식을 쓰고 있다. PanGo⁶⁾는 미국 매사추세츠에 있는 회사로 사물의 위치 추적을 위해 개발된 PanGo Locator 등의 제품을 판매하고 있다. 가장 큰 장점으로는 Wi-Fi 네트워크에 쉽게 연결할 수 있기 때문에 추가적인 하드웨어 부품이 필요 없다. 다만 사람이나 사물의 추적을 위해서는 PanGo Active RFID 태그가 필요하다. Ekahau⁷⁾의 제품 역시 많은 종류의 Wi-Fi adapter에 쉽게 결합할 수 있으며, 소프트웨어 기반의 제품이다. 역시 사람이나 사람의 추적을 위해서는 태그가 필요하다. 설치 및 운영면에서는 PagGo와 큰 차이를 보이지 않는다. Ekahau는 TDOA 방식을 이용하고 있으며 실제 실험을 통하여 확인된 위치 정밀도는 5~10미터 정도다. Precision Systems⁸⁾는 실내 무선 측위를 위해서 iLocate ver. 2 등을 출시하였다. 수신기와 송신기 사이에 전파를 주고 받는 양방향 통신을 이용하기 때문에 성능은 우수하다고 판단되지만, 지능형 로봇을 위한 측위망에는 이용하기 쉽지 않을 것으로 판단된다. Beacon device나 optical reader 등의 복잡한 장비가 필요하다.

1) www.chipcon.com
 2) www.arubanetworks.com
 3) www.airtightnetworks.net
 4) www.airespace.com
 5) www.aeroscout.com
 6) www.pangonetWORKS.com
 7) www.ekahau.com
 8) www.precision-sys.com

나. UWB 방식

UWB 방식에 의한 실내 위치 정보를 제공해주는 제품을 찾기는 쉽지 않다. 현재 비록 Wisair⁹⁾, Alereon¹⁰⁾, Staccato¹¹⁾를 비롯해, IT 산업을 이끌고 있는 Intel, Motorola, IBM, Samsung 등 많은 회사가 상업화된 칩셋을 개발하고 있으나 전문적인 UWB 기반 위치 정보를 제공해주는 상업화된 제품을 찾기는 쉽지 않다. 대표적인 업체로 Ubisense와 Multispectral Solutions, Inc.를 들 수 있다. Ubisense¹²⁾는 영국에 본사를 둔 회사로 현재 UWB 기반 측위에서 선도적인 업체라 할 수 있다. 태그와 수신기 등이 필요하며 많은 종류의 케이블을 직접적으로 연결해야 하는 단점을 가지고 있다. 현재로서는 유일하게 상업화된 제품을 판매하는 업체로서 세계적으로 가장 앞선 기술을 보유한 것으로 판단되나 구체적인 기술 수준을 확인하기는 어려운 실정이다. Multispectral Solutions, Inc.¹³⁾는 미국 메릴랜드에 기반을 둔 회사로 Sapphire DART-UWB-based Precision Asset Location System이라는 제품을 개발 판매하고 있다. 200미터의 거리까지 측정이 가능하며, 30cm 이내의 정밀도를 제공하고 있다. 태그의 수명은 5년이다. 그러나, 높은 가격, 수신기 및 하드웨어 시스템 구축의 어려움이 단점으로 파악되었다.

Ⅲ. 지능형 로봇을 위한 측위기술

지능형 로봇 측위의 목적은 네트워크 로봇이 사용자의 개입 없이 스스로 사물이나 사람의 위치를 계산할 수 있게 하는 것이다. 기본 개념은 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 센서들로부터 측정된 신호를 중앙 서버에서 해석하여, 네트워크 로봇에게 사물이나 사람의 위치를 계산할 수 있게 하는 것이

다. 사물이나 사람에게는 무선 태그가 부착되고 이 태그로부터 발생하는 전파신호를 수신하여 위치를 결정한다. 측위망의 무선 센서네트워크는 크게 세 가지 센서망으로 구성될 수 있다. 방(room)이나 지역(zone)의 구분을 위한 Wi-Fi 방식의 핑거프린팅 방법, 약 3~10미터 정도의 오차를 가지는 ZigBee 기반 위치 인식 방법, 그리고 약 1미터 정도의 오차를 갖는 UWB 전파 기반의 정밀 측위 방법으로 구성될 수 있다. 이들 센서망들은 각각의 서로 다른 위치 정밀도와 위치 인식 범위를 가지고 있으므로 개별 센서망만을 사용하여 측위망을 구성하는 것보다는 이들을 다단계로 결합하여 위치 결정을 하는 것이 좋다. 비록 본 고에서는 기술하지는 않지만 로봇이 사물에 가까이 접근하였을 경우 로봇 비전(robot vision)을 통하여 사물의 형태를 확인하여 최종적으로 로봇이 원하는 서비스를 수행하게 된다. (그림 3)은 지능형 로봇을 위한 측위망이 coarse-to-fine 다단계 센서망으로 구성되어 사물의 위치를 결정하는 것을 보여준다. 본 장에서는 무선 센서네트워크 관련 기술인 Wi-Fi, ZigBee, UWB에 근거한 측위 기술에 대해서 설명한다.

1. Wi-Fi 방식

무선랜 방식의 Wi-Fi 통신을 이용하는 경우 무선 인터넷 통신을 위한 기구인 AP를 이용하기 때문에 추가적으로 하드웨어를 설치할 필요가 없다는 장점이 있다. 몇 개의 무선 AP들로부터 나오는 전파를 사전에 모델링하여 전파지도도를 만드는 것이 필요하다. 하지만 전파지도도를 위한 측정된 전파 강도 C는 일반적으로 시간의 함수인 $C + \Delta C$ 와 같이 관측된다. 즉 관측된 강도는 시간과 환경에 따라서 변하는 시간의 함수인 $C(t)$ 로 주어지게 된다. 사실 실내에서 무선 전파 신호의 강도는 시간에 따라서 변하며, 주변 환경의 변화에 민감하게 반응을 하여 실제적으로는 전파의 강도가 일정하게 관측될 수 없다. 기준 전파지도도를 작성 시에도 고정된 장소에서 전파의 강도는 계속 변하며, 어떤 일정한 값을 가질 수 없는 것

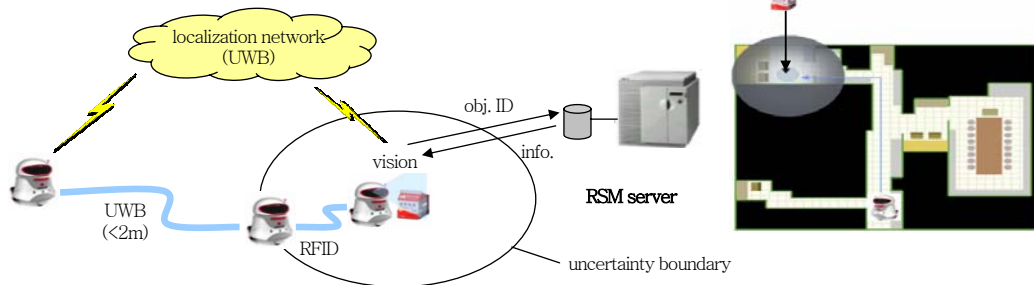
9) www.wisair.com

10) www.alereon.com

11) www.staccatocommunications.com

12) www.ubisense.net

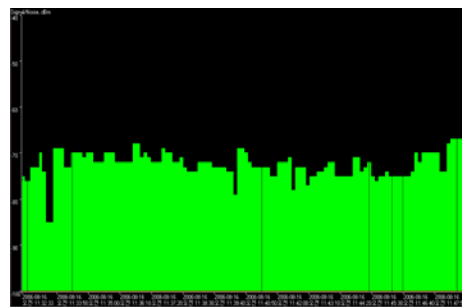
13) www.multispectral.com



(그림 3) 다단계 위치 결정 시스템(Coarse-to-fine Localization)

을 관찰할 수 있다. 즉 AP에서 나오는 전파는 시간에 따른 변화를 가지기 때문에 정밀한 위치 결정을 위해서는 시간과 환경에 따른 변화 성분도 고려하여 위치 결정 알고리즘을 만들어야 한다. 일반적으로 실내에서는 전파들의 반사(reflection), 다중경로(multipath), 회절(diffraction)과 AP에서 출력이 일정하지 않기 때문에 많은 오차 요소가 존재하게 된다. (그림 4)는 AP로부터 나온 전파의 강도를 고정된 위치에서 측정된 것을 보여준다. 그림에서 보듯이 전파의 강도는 비록 동일한 지점에서 측정되었다 하더라도 시간에 따라서 변화는 모습을 보여준다.

전파지도를 만드는 방법을 자세히 알아보자. 실내에서는 많은 종류의 무선 근거리 통신망으로부터 전파 신호를 수신하게 된다. 이러한 전파 신호는 무선 AP 개수만큼 받게 되며, 무선 수신기(LAN 카드)에서는 이들 신호를 아이디(identities)에 따라 구분할 수 있다. 예를 들어 위치-1에서 편의상 총 n개의 AP로부터 전파를 수신한다고 가정한다. n개의 AP로부터 전파를 수신할 경우, 전파의 강도를 아이디에 따라서 구분할 수 있으나, 이들 강도는 시간에 따라서 변하게 된다. 이들 신호 강도의 최대값과 최소값을 관측해서 서버에 기준값으로 저장한다. 여러 위치에서 기준 전파지도를 작성하기 위해서 그리드(grid) 형식으로 위치를 바꿔가면서 전파의 강도를 기록하도록 한다. 통상적인 방법인 정사각형의 네 지점을 경유하면서 실내 공간 전체를 스캔하여 기준 전파지도를 작성한다. 전파지도의 작성시 각 지점에서 전파 강도의 최대/최소값을 기록하고, 관측 데이터를 이용하여 평균값을 작성한다. 위치 결정은 어



(그림 4) 전파 강도의 시간에 따른 변화

는 지점에서 n개의 AP에서 나온 전파 신호의 강도를 측정하고 이들 측정된 강도와 가장 근접한 강도를 가지는 위치를 전파지도로부터 찾아서 결정하게 된다. 측정된 강도와 전파지도에 기록되어 있는 강도의 비교는 다양한 방법을 통하여 할 수 있다. 일반적으로 사용되는 방법은 Maximum Likelihood Estimation (MLE)이나 이차원 시스템(2-dimensional system)에 이용되는 패턴 매칭(pattern recognition) 방법 등이다.

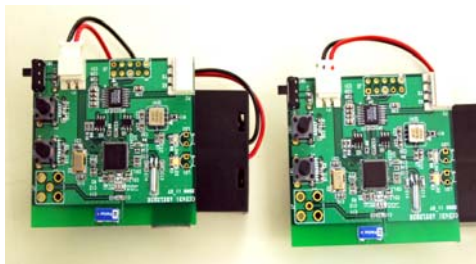
2. ZigBee 방식

ZigBee를 이용한 측위망은 기준 노드에서 나오는 전파의 세기와 태그에서 관측된 전파의 강도를 이용하여 삼각법에 의하여 위치를 결정한다. ZigBee 측위망의 주된 목적은 사람이나 사물의 위치를 결정하는 것으로 로봇의 위치는 실시간으로 알려질 수 있다고 가정된다. 사실 로봇의 위치는 공개특허 - 인공표식 기반의 실시간 위치 산출 시스템 및 방법(등록번호 10-2005-103285)에 소개된 방법

을 이용하여 쉽게 결정할 수 있다. 특히 10-2005-103285에서 제시한 방법은 StarLITE라 불리며, 이에 대한 자세한 설명은 [13]을 참고하라. 편의상 움직이는 태그를 이동형 태그라 칭하고 로봇에 장착된 태그를 이동형 기준 태그라 한다. 이동형 태그와 이동형 기준 태그 모두 전파 송신기에서 나오는 전파를 수신하고, 수신된 신호의 강도를 측정할 수 있도록 설계된다. 전파의 강도를 측정하여 삼각 측량 방법으로 위치를 결정할 때 가장 큰 문제는 전파의 propagation 모델을 정확히 결정하는 것이다. 따라서 ZigBee 기반 RSSI 방식으로 사물의 위치를 결정하는 경우 전파의 propagation 모델을 실시간으로 결정하여 이를 위치추정에 이용하는 것이 핵심 기술이다. 일반적인 전파 신호 강도의 거리에 따른 강도 변화에 대한 모델은 식 (2)와 같다.

$$s_r = \frac{A}{r^a} s_0 \quad (2)$$

식에서 A 는 비례상수이고 a 는 강도의 감쇄를 나타내는 지수를 나타내며, s_r , s_0 는 각각 송신된 신호 및 수신된 신호의 강도를 나타낸다. 일반적으로 이들 상수 A 와 a 는 환경과 시간에 따라 변화하기 때문에 정확한 값을 찾기는 매우 힘들고, 설령 초기에 정확한 값을 측정하였다 하더라도 시간이 지남에 따라 오차를 가지게 된다. 이러한 점을 극복하고자 하는 것이 ZigBee 측위망의 핵심적 문제라고 할 수 있다. (그림 5)는 현재 ETRI에서 개발된 사람에게 부착 가능한 이동형 태그와 로봇에 부착 가능한 이동형 기준 태그를 보여준다. 전파 모델 상수 A 와 a 는 (그림 5)의 이동형 기준 태그를 이용하여 결정한다.

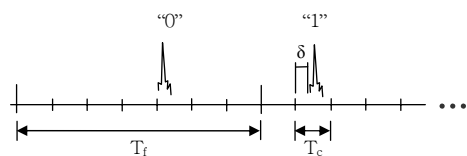


(그림 5) 개발된 이동형 태그와 이동형 기준 태그

3. UWB 방식

UWB는 매우 넓은 대역폭을 가지는 라디오를 이용하는 무선 통신 기술이다. 미국 연방통신위원회 (FCC)는 라디오의 대역폭이 500MHz 이상이거나 중심 주파수의 20% 이상일 때 이것을 UWB라고 정의하였고, UWB의 넓은 대역폭으로 인해 기존에 사용하고 있는 GPS, WLAN과 같은 무선 통신 설비가 영향을 받아 성능이 저하되는 것을 막기 위해 신호의 발산 세기가 약 0.5mW 이하일 때만 제한 없이 사용할 수 있도록 하고 있다(그림 6) 참조).

먼저 UWB와 다른 협대역 전파 통신 시스템과의 기본적인 차이점은 UWB는 임펄스 무선 신호를 사용한다는 점이다. 이전의 협대역 라디오 통신에서는 신호를 반송파에 실어 보내었지만 UWB는 반송파 없이 주파수 대역에서 극히 짧은 펄스를 전송하는 방법을 사용하고 있다. 이렇게 반송파를 사용하지 않음으로 해서 수신기와 발신기가 신호에서 up/down converting 등의 과정을 생략할 수 있어 구조를 간단히 할 수 있다. 그리고 임펄스 무선 신호를 사용함으로써 UWB는 기존의 라디오에 비해서 높은 시간 해상도를 제공해 줄 수도 있다. UWB는 매우 넓은 대역폭을 가짐으로써 여러 장점을 가진다. 첫번째는 10미터에서 110Mb 이상의 높은 데이터 전송률을 제공할 수 있다는 점이고 두번째는 협대역 라디오에 비해 다중경로와 간섭의 영향을 덜 받는다는 점이다. 다음으로 UWB의 낮은 신호 세기는 전송 거리를 짧게 하기도 하지만 기존의 무선 통신에 영향을 주지 않음으로 해서 동시에 사용하는 것이 가능하고, 다른 측면에서는 신호를 발견하기 어려운 특성으로 인해서 의도하지 않은 도청을 방지할 수도 있다.



(그림 6) UWB 라디오에서 임펄스를 기반으로 한 PPM

Ubisense는 Ubisense사의 UWB를 기반으로 하고 TDOA와 AOA를 동시에 사용하는 위치 측정 시스템이다. 지능형 로봇을 위한 측위망에서는 Ubisense를 이용하여 UWB 기반 측위망을 구성할 수 있다. Ubisense는 하드웨어로서 신호를 주고 받는 센서와 태그, 그리고 시스템을 동작시키는 소프트웨어 플랫폼이 설치된 서버로 구성된다. Ubisense 시스템이 이미 설치되어 있다고 한다면, 다음과 같은 순서로 시스템을 설정하고, 또 동작함을 살펴볼 수 있다.

- Platform Control: Ubisense Controller, Ubisense Platform 기동
- Building Edit: 위치 측정 영역 작성
- Cell Edit: 위에서 작성한 영역에 센서들이 위치하게 될 셀을 지정하고, 센서들의 좌표와 하드웨어 정보 설정
- Service Administration: 시스템 동작이 필요한 서버기동
- Object Administration: 태그 정보 설정
- Sensor Calibration: 센서들의 각도와 시간 차이 조정
- Map: 태그의 위치 정보 확인

상세한 설정의 내용은 Ubisense 설명서에서 확인할 수 있으므로 생략한다.

<표 1>은 Ubisense와 인공 특이점 기반의 위치 측정 시스템(StarLITE)에 기반한 위치 측정의 성능을 보여준다. 사람 또는 각종 물체에는 태그를 설치하여 UWB 기반의 위치 측정 시스템으로 해당 위치를 계산하고, 로봇의 경우는 StarLITE를 이용하여 정확한 로봇의 위치 정보를 얻은 것이다. <표 1>은 이 두 가지 정보를 연동시켜 로봇이 원하는 사물에

<표 1> x축과 y축에서 위치 오차 및 거리 오차

	x (m)	y (m)	Distance (m)
Average	0.45	0.39	0.65
Variation	0.26	0.13	0.32
Standard Deviation	0.51	0.36	0.56

다가가도록 제어한 결과이다. <표 1>의 결과는 물체가 움직일 수 있는 최대 속도를 계산하여 물체의 이동 속도에 충분한 제한을 둬으로써 오차를 줄인 결과다. 하지만 더욱 정제된 결과는 칼만필터(Kalman filter) 등의 잡음 제거 필터를 결합하여 획득될 수 있다. UWB의 경우 상대적으로 안정적이고 높은 정밀도를 제공하지만 하드웨어 설치의 번거로움과 높은 시각 동기화에 대한 필요성이 Ubisense 시스템의 실용성을 떨어뜨린다.

IV. 결론

본 고에서는 지능형 로봇을 위한 측위기술의 동향 및 각각 시스템의 특징에 대해서 간략하게 설명하였다. 로봇 측위망은 coarse-to-fine 측위기술로서 Wi-Fi, ZigBee, UWB 기술들이 사물이나 사람의 위치를 1~2미터 이내로 결정하기 위해서 이용될 수 있으며, RFID와 로봇 비전이 사물의 인식 및 정밀 위치 결정을 위해서 이용될 수 있다. 무선 인터넷 통신에 이용되는 Wi-Fi를 이용한 측위는 방(room) 수준의 해상도를 제공해주며, ZigBee의 경우 3~10미터 정도의 위치 정확도를 제공한다. UWB의 경우 사물이 정지해 있을 경우 약 1미터 정도의 위치 정밀도를 제공한다. 하지만 사물이나 사람이 이동중일 경우 실시간 추적은 어렵다. <표 2>는 Wi-Fi, Zig-

<표 2> 무선 센서네트워크 기반 측위 시스템의 장단점 비교

	Wi-Fi	ZigBee	UWB
단점	- 정밀도가 떨어짐 - 반응성이 느림 - 전파 간섭이 심함	- 전파 모델이 필요함 - 전파 모델이 시간에 따라서 변함 - 전파지도의 작성이 필요함	- 케이블 등 많은 하드웨어 설치가 필요함 - 움직이는 사물의 추적이 불가능함
장점	- 추가적인 하드웨어 설치가 필요 없음 - 안정적인 위치 정보 제공	- 설치 장비가 간소함 - 태그의 사이즈가 작음	- 상대적으로 높은 정밀도 제공

Bee, UWB 시스템의 장단점을 비교한 것이다. <표 2>에서 보이듯이 향후 중요한 연구 과제는 전력 소모나 설치 측면에서 실용성을 증대시키고 실시간 위치 추적이 가능한 네트워크 망의 통합적 설계라고 할 수 있다. 또한 Wi-Fi, ZigBee, UWB 및 RFID, 비전 기술을 유연하게 연동시키는 끊임 없는 coarse-to-fine 위치 결정 시스템 개발도 중요한 연구 영역이라 할 수 있다.

약어 정리

AOA	Angle of Arrival
AP	Access Point
FCC	Federal Communications Commission
GPS	Global Positioning System
LOS	Line of Sight
PPM	Pulse Position Modulation
RSSI	Received Signal Strength Index
SNRs	Signal-to-Noise Ratios
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
UWB	Ultra Wideband
WSN	Wireless Sensor Network

참고 문헌

[1] Guilherme N. DeSouza and Avinash C. Kak, "Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey," *IEEE*

● 용어해설 ●

위치인식 UWB: 저전력 초광대역 통신으로써 무선 임펄스를 연속적으로 전송하고 이를 수신하여 근거리에서 수 cm 정도의 정밀한 위치인식 및 추적 기능을 달성할 수 있도록 하는 통신 표준이다. 사용 주파수 대역은 3.1~10.6GHz이고 동작거리는 수십 미터 정도이다.

RF 핑거프린팅(RF fingerprinting): 전파 강도의 세기에 대한 정보를 데이터베이스로 저장해놓고 이를 이용하여 위치를 결정하는 방법으로, 수신된 전파의 아이디(identity)와 강도를 이용하기 때문에 셀 단위의 위치인식에 적합하지만 환경 변화에 민감하다는 단점이 있다.

Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.24, No.2, 2002, pp.237-267.

[2] A. Dogandzic, J. Riba, G. Seco, and A. Lee Swindlehurst, "Positioning and Navigation with Applications to Communications," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol.22, No.4, 2005, pp.10-11.

[3] G. Sun, J. Chen, and W. Guo, "Single Processing Techniques in Network-aided Positioning," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol.22, No.4, 2005, pp.12-23.

[4] A.H. Sayed, A. Tarighat, and N. Kha-jehnouni, "Networked-based Wireless Location," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol.22, No.4, 2005, pp.24-40.

[5] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, "Mobile Positioning Using Wireless Networks," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol.22, No.4, 2005, pp.41-53.

[6] N. Patwari, J.N. Ash, S. Kyperountas, A.O. Hero III, R.L. Moses, and N.S. Correal, "Locating the Nodes," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol.22, No.4, 2005, pp.54-69.

[7] S. Gezici, Z. Tian, G.B. Giannakis, H. Ko-bayashi, A.F. Molisch, H. Vincent Poor, and Z. Sahinoglu, "Localization via Ultra-Wideband Radios," *IEEE Signal Proc. Magazine*, Vol.22, No.4, 2005, pp.70-84.

[8] Moustafa Amin Abdel Azim Yousief Abdel Rehim, HORUS: A WLAN-based indoor location determination system, Dissertation, University of Maryland, 2004.

[9] A.M. Ladd, K.E. Bekris, A.P. Rudys, D.S. Wallach, and L.E. Kavraki, "On the Feasibility of Using Wireless Ethernet for Indoor Localization," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol.20, No.3, 2004, pp. 555-559.

[10] Z. Xiang, S. Song, J. Chen, H. Wang, J. Huang, and X. Gao, "A Wireless LAN-based Indoor Positioning Technology," *IBM J. Res. & Dev.*, Vol.48, No.5/6, 2004, pp.617-626.

[11] Marco Crepaldi, Analysis, design and simulation of an UWB receiver for indoor localization, Dissertation, Politecnico Di Torino, 2005.

[12] Y.H. Lin, I.C. Jan, P.C. In Ko, Y.Y. Chen, J.M. Wong, and G.J. Jan, "A Wireless PDA-based Physiological Monitoring System for Patient Transport," *IEEE Trans. Inf. Tech. In Biomedicine*, Vol.8, No.4, 2004, pp.439-447.

[13] 이재영, 채희성, 유원필, "이동로봇을 위한 IR 랜드마크 기반의 실시간 실내 측위 시스템," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol.12, No.9, 2006, pp.868-875.