

무선 센서 네트워크와 초음파 센서를 이용한 이동로봇의 실내 위치 인식 기술

본 연구에서는 먼저 무선 센서 네트워크와의 연동을 통해 다양한 센서를 이용하여 이동로봇의 위치를 인식할 수 있는 방법에 대해 살펴보고 이 중 구조가 간단하고 성능이 비교적 정확하여 많이 사용되고 있는 초음파 센서를 이용한 이동로봇의 위치 인식 방법에 대해 소개하고자 한다.

■ 박종진*, 천창희, 최규석
(청운대학교)

1. 서론

근래에 IT 산업이 급속히 발달하면서 모든 사람, 사물 그리고 컴퓨터가 언제, 어디서나 연결되어 인간의 삶을 도와주는 유비쿼터스 환경이 도래하고 있다. 이런 환경 속에서 로봇의 개념도 각 로봇이 독립되어 동작하는 기존의 지능형 로봇에서 벗어나 시간, 장소 상황에 제한되지 않고 모든 것이 다양한 방법으로 접근(access) 가능한 네트워크 지능형 로봇으로 발전하고 있다. 이러한 네트워크 로보틱스는 단일 로봇 자체에서 이루어지는 프로세싱을 저비용, 저전력의 무선 센서 네트워크와의 통합을 통해 분산, 처리하는 방향으로 나아가고 있으며, 이를 통해 광범위한 지역의 표적 추적, 침입자 탐색 및 위치 추적, 실시간 환경 모니터링 등의 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)의 강점을 사용한 자율 이동로봇이 가능하게 되었다.

최근에는 저전력, 비용효율성, 견고성(robustness)과 유연성(flexibility) 등 센서 네트워크가 가지는 특징을 맞춰 다양한 로봇이 개발되었다. 그 중에는 CotsBots, Robomote, Micabot, Milibot 같은 것이 있다. 이들은 모두 전력 사용 및 비용, 기능 등의 측면에

서 여러 제한 요인을 고려하여 성능이 향상되었고 크기가 작은 것($10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$ 이하)이 특징이다. 이와 같이 설계에서부터 센서 네트워크와의 결합을 고려하여 로봇 자체가 센서 노드의 역할을 하는 이러한 로봇뿐만 아니라 기존의 로봇에 센서 네트워크 노드를 부착하여 네트워크와의 연동을 통해 센서 네트워크의 장점을 결합하여 로봇의 성능 향상을 꾀하는 연구도 진행되고 있다. 또한 네트워크 노드에 부가되는 다양한 센서 및 프로그램을 통해 여러 응용 프로그램이 연구되고 있다[1-2].

이러한 네트워크 이동로봇이 센서 네트워크의 정보를 이용하여 정해진 공간에서 임의의 경로로 자율적으로 주행하기 위해서는 실내에서의 위치 인식(localization) 방법이 핵심적인 기술이다. 무선 센서 네트워크에서의 위치 인식은 노드의 위치를 결정하는 작업이다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에서 위치가 알려진 노드를 기준(고정, 앵커) 노드(reference, anchor node)라고 하고 위치가 알려지지 않은 노드를 미지(이동) 노드(unknown, blind node)라 한다. 위치 정보는 무선 센서 네트워크 환경에서 다양한 응용분야의 상황을 인식하는데 중요한 역할을 한다. 무선 센서 네트워크에서의 위치 인식 알고리즘은 거리기반(range-based) 방법과 거리독립(range-free) 방법으로 크게 나눌 수 있다.

거리기반 방법은 위치를 알고 있는 두 노드 간의 신호 세기인 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 또는 초음파 신호나 RF 전파 속도를 이용한 전파도달 시간(TOA: Time of Arrival) 등을 사용하여 거리를 측정하는 방법 등이 있다. 거리기반 방법을 통한 위치 인식의 정확도는 전파 전달 수단 및 사람, 건물 형태, 물건 등 주위 환경 변화에 민감하게 반응하며 별도의 하드웨어가 필요하다. 거리독립 방법은 두 노드 간의 절대적인 거리에 기반하지 않고 연결성(connectivity)이나 홉-카운트(hop-count) 정보를 가지고 위치를 인식한다. 이 방법은 하드웨어적으로 거리기반 방법에 비해 단순화할 수 있으나 정확한 위치 인식이 어려운 면이 있다.[3-4]

최근 들어 센서 네트워크와 다양한 센서를 이용하여 로봇의 위치 인식의 정확성을 개선하려는 연구가 이루어져 왔다. 이동 로봇의 위치 인식 기술은 사용되는 센서에 따라 상대 위치인식 기법과 절대 위치인식 기법으로 분류된다. 상대 위치인식 기법의 대표적인 예는 로봇에 부착된 회전센서(encoder)나 자이로센서를 이용하는 방법이다. 이 방법은 시스템의 구현이 용이하고 저렴한 장점이 있지만 주행량이 증가하면 바퀴의 미끄러짐 등으로 오차가 발생하고, 이 오차가 누적되어 정확한 위치인식이 어렵다. 절대 위치인식 기법들은 GPS, 비전센서, 초음파 센서, RFID, 콤팩스 센서 등의 거리, 방향 또는 시각정보 등을 이용하는 것으로 상대 위치인식 기법에 의한 단점들을 보완할 수 있다. 하지만 사용되는 센서를 위한 별도의 하드웨어 모듈을 설치해야 하고 센서에 의해 측정되는 정보에 따라 연산량이 증가하거나 GPS의 경우처럼 실내에서 사용하기 위해서는 별도의 중계기를 설치해야 하는 등의 단점이 있다.[5]

본 연구에서는 먼저 무선 센서 네트워크와의 연동을 통해 다양한 센서를 이용하여 이동로봇의 위치를 인식할 수 있는 방법에 대해 살펴보고 이 중 구조가 간단하고 성능이 비교적 정확하여 많이 사용되고 있는 초음파 센서를 이용한 이동로봇의 위치 인식 방법에 대해 소개하고자 한다.

2. 무선 센서 네트워크의 각종 센서를 이용한 거리 인식 기술

이동로봇의 주행(navigation)뿐만 아니라 무선 센서 네트워크에서 위치 인식은 핵심적인 기술이다. 이를 위해서는 네트워크의 각 노드 간의 거리 측정이 정확하게 이루어져야 한다. 무선 센서 네트워크에서 거리를 측정하기 위한 기술로는 신호의 도착 시간을 이용하는 TOA 방식, 두 개 이상의 센서의 도착 시간

을 쌍곡선을 이용하여 계산하는 TDOA (Time Difference of Arrival) 방식, 각도를 이용하여 위치를 추정하는 AOA (Angle of Arrival) 방식, RSSI를 이용한 방식 등이 있다. 무선 네트워크 환경에서 노드 간의 측정된 거리 값을 가지고 위치를 인식하는 방법에는 3개 이상의 노드를 이용하여 위치를 추정하는 삼각측량법(triangulation), K-Nearest Neighbor 알고리즘, Learning Vector Quantization 알고리즘, Smallest Polygon 알고리즘, 근접기법(proximity) 등이 있다[6].

(1) 적외선(infrared)을 이용한 거리 측정(2, 7)

적외선을 이용한 거리 측정 방법은 1992년 AT&T 캠브리지 연구소에서 개발한 액티브 배지(active badge)가 있다. 이 시스템은 제록스에서 개발한 것으로 고객 관리 직원이 자리에 없을 경우, 고객의 연락을 자동으로 그 직원이 위치한 곳에 착신하게 하기 위해 개발된 것이다. 이 시스템은 적외선 센서가 천장에 배치되어 있고 사람은 액티브 배지라고 하는 적외선 발생기를 몸에 지니고 있다. 그리고 이 액티브 배지는 자기 소유의 인식 번호를 가지고 주기적으로 적외선 센서에게 알려주면서 자신의 위치를 파악하게 해주는 시스템이다. 이 시스템은 전체 시스템이 간단하다는 장점을 가지는 반면 정밀한 측정이 어렵고 가까운 거리(1~40cm)만을 감지하므로 장애물 감지 및 회피 등에 많이 사용된다.

(2) RF (Radio Frequency) 신호를 이용한 거리 측정(5, 8)

RF 신호를 이용한 방법은 RF 전파 속도를 이용한 TOA 등의 거리기반 측정 방법을 사용한다. TOA란 전파가 송신 측에서 출발하여 수신 측에 도달할 때까지의 시간을 측정한 후, 그 시간에 전파의 전송 속도를 곱하여 거리를 계산하는 방식을 의미한다. TOA는 전파의 속도가 낮을수록 그 정확도가 올라가므로 빛의 속도에 가까운 RF 신호보다 초음파와 같이 그 속도(340m/s)가 낮은 전파를 이용하여 거리를 구한다. RF 신호를 이용한 거리 측정은 초음파에 비해 정확도가 낮지만, 초음파의 단점인 직진성이 없다는 장점이 있다. 최근 IEEE 802.15.4 A 그룹에서는 RF 전파 속도를 이용한 TOA 기술을 표준화하여 발표하였다. 이는 측정된 시간에 실제 빛의 속도를 곱하여 거리를 계산한다. 빛의 속도는 1 나노초당 3cm 정도의 거리를 이동하므로, 1 마이크로초만 놓쳐도 30m의 오차를 가지게 된다. 한백전자에서는 IEEE 802.15.4 A 기술을 구현한 Ubi-NanoLOC을 개발하였다. 이 제품은 평균적으로 $\pm 2m$ 정도의 오차범위에서 노드 간의 거리를 측정할 수 있다. 실제로는 보통 좀 더 정확한 거리 측정을 위

해 RF와 초음파 신호의 도착 시간차를 이용한 방식을 사용한다. 최근에는 RF와 초음파센서의 특성을 이용하여 고속의 이동로봇의 위치를 추정하는 기법이 연구되었다.

(3) RFID를 이용한 거리 측정(9, 10)

RFID (Radio Frequency Identification)을 이용한 거리 측정 방법은 태그와 리더기 사이에 신호를 통해 대상의 정보를 알아내는 방법이다. 이 방법은 주로 특정 위치에 리더기를 설치해 태그가 지나가면 반응하여 위치를 파악하는 방식이다. RFID는 동시에 여러 태그를 고속으로 인식 가능하다는 장점이 있어 주로 물류/유통 분야에서 많이 쓰이고 있고 근래에는 이동로봇의 위치인식에도 적용되고 있다. 이 중 노면의 고정된 위치에 다수의 태그를 부착하고 태그와 이동로봇에 부착된 리더기 사이의 자료를 확률 그리드(probability grids)로 생성하고 전체 영역을 작은 사각형으로 분리하여 로봇이 있을 만한 곳의 확률을 계산하는 방법이 있으며 위치인식 성능에 많은 영향을 미치는 RFID 배치 방법의 효율성을 개선하여 이동로봇의 위치 인식율을 높이는 연구가 선행되고 있다.

(4) RSSI 신호를 이용한 거리 측정(6, 11)

RSSI란 RF 모듈에서 수신한 전파의 세기를 의미한다. 일반적으로 무선 전파는 전송되는 거리의 제곱 혹은 네제곱에 반비례하여 그 세기가 감쇠된다. 따라서 이 신호의 세기에 따라 노드간의 거리를 계산할 수 있다. 그러나 이 방법은 회로내부 손실이나 경로 손실 등 주위 환경에 민감하게 반응하여 오차를 가지게 되므로 이를 보완하는 것이 필요하다. RSSI와 거리에 대한 방정식은 다음 식 (1)과 같다.

$$RSSI = -(10 \times n \times \text{Log}_{10}d + P) \tag{1}$$

여기서 n: 전송지수,

d: 거리,

P: 송신 노드로부터 1미터 거리에서 수신한 RSSI 값의 -1을 곱한 값.

(1)에서 환경의 변화와 P, n값의 설정에 따라 거리 측정값이 크게 변하므로 최근에는 비선형 모델링 방법인 퍼지 모델링을 이용하여 RSSI와 거리 사이의 관계를 나타내는 퍼지모델을 구하고 이를 통해 노드간의 거리를 측정하는 방법이 제안되었다. 또한 RSSI 신호와 TOA 방법, 엔코더 센서값 등을 혼합하여 거리 측정의 정확도를 개선하는 방법이 제안되었다.

(5) 초음파를 이용한 거리 측정(7, 12-16)

초음파 센서는 다른 센서에 비해 구동원리가 간단하고 시스템 구성비용이 저렴한 장점이 있다. 초음파를 이용한 시스템에는 액티브 배트(active bat), MIT에서 개발한 크리켓(cricket), UCLA에서 개발한 Medusa 노드 등이 대표적이다. 초음파는 RF 신호에 비해 상대적으로 속도가 느리기 때문에 생기는 시간 차이로 TOA 방식과 TDOA 방식을 사용하여 계산한다. 거리 측정 방법 중 초음파를 이용한 거리 측정은 비교적 높은 정확도를 가지고 또 위성으로부터 신호를 받을 필요가 없기 때문에 실내에서 거리 측정하는데 많이 사용된다. 그러나 초음파의 직진성으로 인해 송신측과 수신측이 서로 마주봐야 하는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 이동로봇에 사용되는 초음파 센서는 ±15° 정도의 지향각을 가진다. 최근에는 지향각이 넓은 저가의 초음파 센서를 이용하여 이동로봇의 장애물 회피에 대한 연구가 이루어졌다. 또한 초음파 신호가 360° 전방향(omni-directional)으로 전파되는 장치를 이용하여 송신측과 수신측을 일치하지 않고 거리를 측정하려는 방법이 연구되고 있다. 이 방법은 오차가 많이 발생되므로 다른 센서와의 융합을 통해 오차를 보정하는 것이 필요하다.

(6) 컴퍼스(magnetic compass) 센서를 이용한 방향각 측정(17)

일반적인 차동 휠 기반의 이동로봇에서 방향각(azimuth)과 진행 방향이 서로 의존적이므로 잘못된 방향각 정보는 이동로봇이 잘못된 위치로 움직이도록 한다. 따라서 정확한 방향각 정보를 가지는 것이 이동로봇의 성능에 매우 중요하다. 로봇의 방향각을 결정하는 센서로는 자이로(gyro) 센서, 회전(encoder) 센서 그리고 마그네틱 컴퍼스가 일반적으로 사용된다. 회전 센서는 이동로봇의 기구학을 이용하여 방향각을 계산하는데 사용되지만 주행 시 누적에 의한 내부 오차 및 슬립에 의한 외부 오차가 커지는 단점이 있다. 이러한 오차는 이동로봇의 성능을 심각하게 저하시킨다. 센서 네트워크를 이용한 거리 측정 및 위치 인식의 경우에도 절대 좌표만을 인식할 뿐 이러한 방향각에 대한 측정이 어렵다. 따라서 회전 센서에 의한 방향각을 보정하거나 자이로 센서나 컴퍼스 센서 값이 방향각으로 사용되고 있다. 마그네틱 컴퍼스는 지구 자기장을 감지하여 절대 방향각을 나타내는 센서로 진북(0도)을 기준으로 방향각을 측정한다. 마그네틱 컴퍼스는 외부 자기장에 영향을 받아 오차가 발생하므로 정확한 방향각을 얻기 위해 이를 차단하는 것이 중요하다.

3. 초음파 센서를 이용한 위치 인식 기술

본 연구에서는 주어진 공간에서 이동로봇의 위치 인식과 주행을 위해 앞에서 언급된 다양한 센서 중 초음파 센서와 무선 센서 네트워크를 사용하는 방법을 제안하였다. 주어진 공간의 일정 지점에 설치된 센서 네트워크 노드는 초음파 센서를 통해 측정된 이동로봇과의 거리를 호스트 컴퓨터로 전송하는 역할을 한다. 이동 노드에 부착된 송신 센서 1개와 기준 노드에 부착된 수신 센서 3개에 의해 측정된 거리는 삼각측량법을 이용하여 이동로봇의 위치를 인식하고 이를 바탕으로 한 주행에 사용된다. 사용되는 초음파 센서는 구동 원리가 간단하고 정확도가 높지만 센서간 거리의 정확한 측정을 위해 일치되어야 하는 지향각이 좁은 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 이동로봇에 설치된 초음파 센서를 360° 회전시켜 각 센서 간의 거리를 정확히 측정하였다. 주행 시에는 이동로봇의 모터에 내장된 회전 센서 값을 이용하여 로봇의 위치를 추정하고 특정 위치에 일시 정지할 때는 초음파 센서에 의한 위치 인식 값을 구하고 이 값으로 회전 센서에 의한 위치 오차와 방향각을 보정하는 방법을 사용하였다. 사용되는 이동로봇은 LEGO사의 Mindstorms NXT를 이용하여 구현하였다.

3.1 초음파 센서에 의한 거리 측정 및 위치 인식

무선 센서 네트워크의 노드 위치 인식 기술 중 정확한 위치 측정을 위해 주로 사용하는 방법은 초음파 신호를 이용한 TOA 방식이다. 송신기에서 출발된 초음파 신호가 수신기에 수신될 때까지 걸린 시간이 $t(sec)$ 이면 소리의 속도, v 는 기온 15(°C)에서 340(m/s)이므로 초음파 센서 노드 간의 거리, S 는 다음 (2)와 같다. (2)에서 소리의 속도는 공기의 온도에 따라 변하게 되고 (3)에 의해 계산된다.

$$S = v \times t = 340 \times t \tag{2}$$

$$v = 331.5 + 0.6T \tag{3}$$

여기서 T 는 온도이다.

이동 로봇의 위치 인식을 위해 사용된 무선 센서 네트워크와 초음파 센서 옵션 모듈은 ZigBee 기반의 무선 센서 네트워크 패키지로 8개의 모터와 각종 옵션 센서 보드로 구성되어 있다. 각각의 모터는 마이크로 컨트롤러(ATmega 128L), 무선 통신 칩(CC2420), 기본 센서(온도, 습도, 조도), 안테나 등으로 구성되어 있다.

센서 네트워크 모트에 초음파 센서 모듈이 장착된 각 노드에

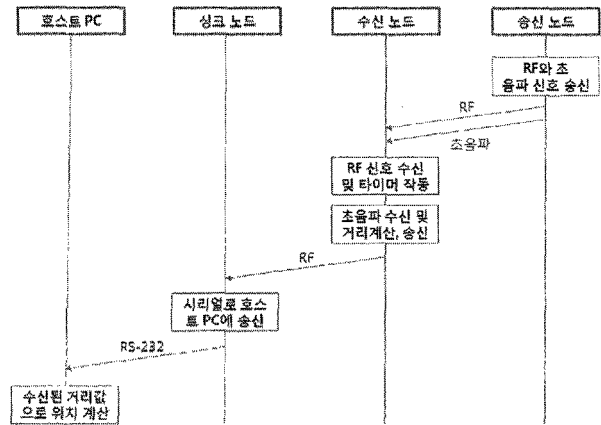


그림 1. 초음파 센서 모듈의 동작 원리

서의 거리 측정 동작 원리는 다음 그림 1과 같다. 각 노드는 0 이상의 아이디(ID)를 부여받는다. 0번 노드는 싱크(sink) 노드로서 수신된 노드 간의 거리 정보를 시리얼(serial)로 호스트 PC로 전송하고, 1~9 사이의 아이디를 가지는 노드는 수신기가 되어 초음파 신호를 수신하며 10 이상의 아이디를 가지는 노드는 송신기로 작동한다. 송신 노드는 1초마다 RF를 통해 수신 노드에게 지금 초음파를 전송할 것이라고 알린다. 수신 노드는 RF 메시지를 통해 송신 노드가 초음파를 전송함을 알고, 초음파 모듈을 작동(on) 시킨다. 그리고 타이머를 동작시켜 얼마만큼의 시간 후에 초음파가 자신에게 도착했는지 측정한다. 대기 중에 RF 신호의 속도는 $3 \times 10^8(m/s)$ 이며 초음파에 비해 10°정도 빠르기 때문에 RF 전송에 따른 오차는 매우 적다. 송신 노드는 RF 메시지 전송이 끝나면 바로 초음파 모듈을 작동시켜 초음파를 전송한다. 수신 노드에 초음파가 도달하는 시간은 거리에 따라 증가하므로 타이머를 통해 송신 노드와의 거리를 계산할 수 있다. 수신 노드는 계산된 거리 값을 싱크 노드에게 RF로 전송한다. 싱크 노드는 거리 값을 보낸 수신 노드의 아이디(ID)와 거리 값을 시리얼을 통해 호스트 PC로 전달한다. 측정된 거리 정보를 이용하여 호스트 PC에서 이동로봇의 위치를 삼각측량법에 의해 구한다.

센서 네트워크에서 사용되는 위치 측정 방법은 고정된 세 점과 그들 간의 거리를 이용한 삼각측량법이다. 삼각측량은 위치 좌표가 알려진 기준 노드(reference nodes)들과 위치를 계산하고자 하는 이동 노드(blind node) 간의 거리를 각각 측정하고, 이를 바탕으로 이동 노드의 위치를 계산하는 방법이다. 그림 2는 평면상에서 삼각측량법의 기본적인 개념도이다. 여기서 k번째 기준 노드의 2차원 좌표를 $n_k = [n_{k1}, n_{k2}]^T$ 로, 이동 노드의 2차원

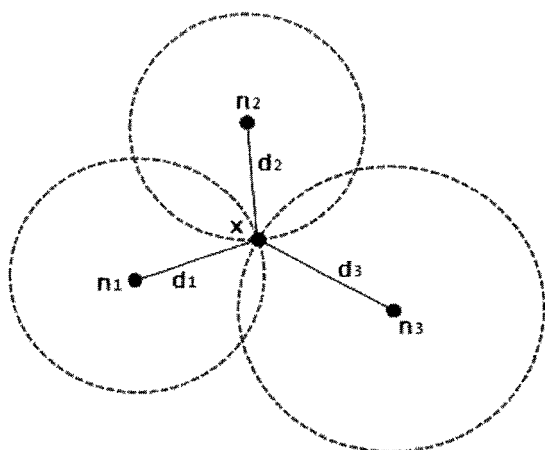


그림 2. 삼각측량법 개념도

좌표를 $x = [x_1 \ x_2]^T$ 와 같이 벡터로 표현할 경우, 기준 노드 k 와 이동 노드 간의 거리 d_k 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_k = \|x - n_k\|_2 \tag{4}$$

여기서 $\|\cdot\|_2$ 는 2-norm을 의미한다.

기준 노드 좌표 n_k 와 그 거리 d_k 의 쌍이 3개 이상 존재할 경우 식 (4)를 연립하여 이동 노드의 좌표 x 를 구할 수 있다.

삼각측량법을 이용하여 이동 노드의 위치를 정확히 인식하기 위해서는 기준 노드와 이동 노드 간의 거리를 정확히 측정하여야 한다. 초음파는 실내에서 거리 측정하는데 높은 정확도를 가지지만 이러한 정확도를 얻기 위해서는 지향각이 좁고 초음파 신호가 가지는 직진성으로 인해 송신측과 수신측이 일치하도록 서로 마주봐야 한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하고 각 기준 노드와 이동 노드 간의 정확한 거리 측정을 위해 이동 로봇에 장착된 초음파 센서 노드를 360° 회전시켜 각 센서 간의 거리를 측정하였다.

3.2 실험 및 결과

본 연구에서 사용한 무선 센서 네트워크와 초음파 센서에 의한 이동로봇 위치 인식의 성능과 이를 기반으로 한 이동로봇의 주행 시스템 평가를 위해 실험실 내에 4×5(m)의 실험 공간을 만들고 2차원 직교 좌표를 할당하였다. 할당된 직교 좌표의 (0,0), (4,0), (0,5) 위치에 3개의 고정 노드를 설치하였다. 이동 로봇의 전면에 부착된 이동 노드는 360° 회전하며 1초마다 초음파 신호를 각 고정 노드로 송신하여 거리를 측정한다. 먼저 초음파

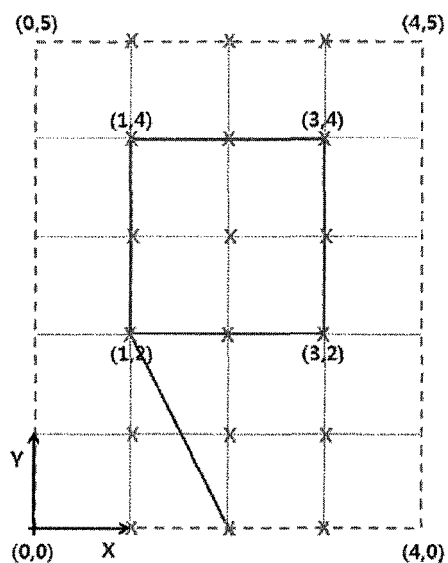


그림 3. 좌표 평면

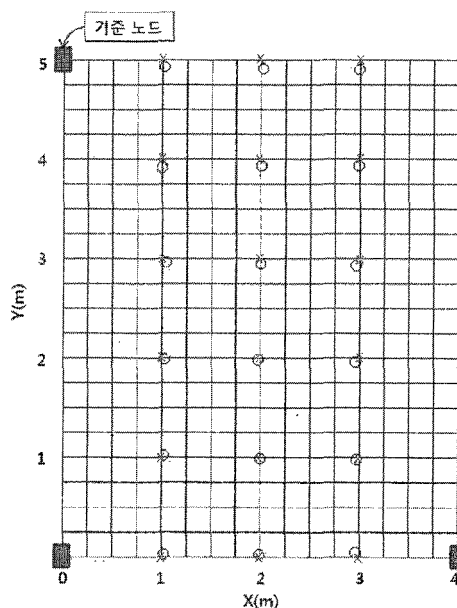


그림 4. 초음파 센서의 위치 인식 결과

센서에 의한 위치 인식 실험을 위해 그림 3과 같이 좌표 평면 상에 ×로 표시된 고정 위치에 초음파 센서를 두고 각 위치의 좌표를 인식하였다. 또한 제한된 위치 인식 방법을 이용하여 이동 로봇의 주행을 실험하기 위해 좌표 평면의 중심을 순회하는 경로를 지정하였고 출발 지점은 (2,0) 위치로 하였다. 이동 로봇의 제어를 위한 프로그램은 Mindstorms NXT를 위해 개발된 JAVA 프로그래밍 기법인 iCommand 방식을 사용하여 작성하였다. 이

표 1. 위치인식 좌표

번호	실제 좌표(cm)	초음파센서 인식 좌표 (cm)	번호	실제 좌표(cm)	초음파센서 인식 좌표(cm)
1	(100,0)	(102, 3)	10	(100,300)	(104, 296)
2	(200,0)	(199, 3)	11	(200,300)	(201, 296)
3	(300,0)	(297, 4)	12	(300,300)	(296, 294)
4	(100,100)	(103, 102)	13	(100,400)	(100, 392)
5	(200,100)	(200, 99)	14	(200,400)	(201, 393)
6	(300,100)	(297, 99)	15	(300,400)	(299, 393)
7	(100,200)	(104, 200)	16	(100,500)	(102, 493)
8	(200,200)	(199, 199)	17	(200,500)	(202, 493)
9	(300,200)	(297, 197)	18	(300,500)	(299, 491)

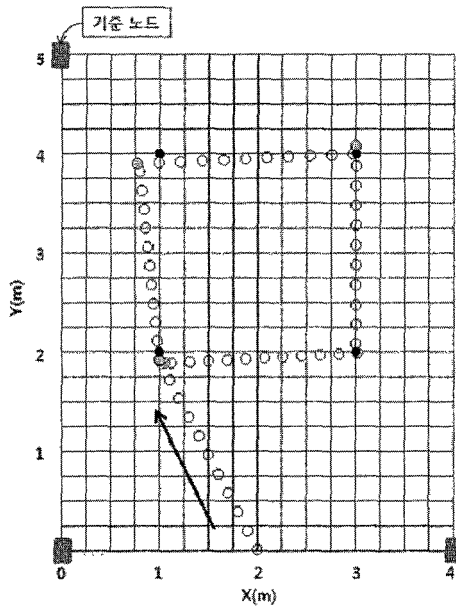


그림 5. 제안된 방법에 의한 경로 주행 결과

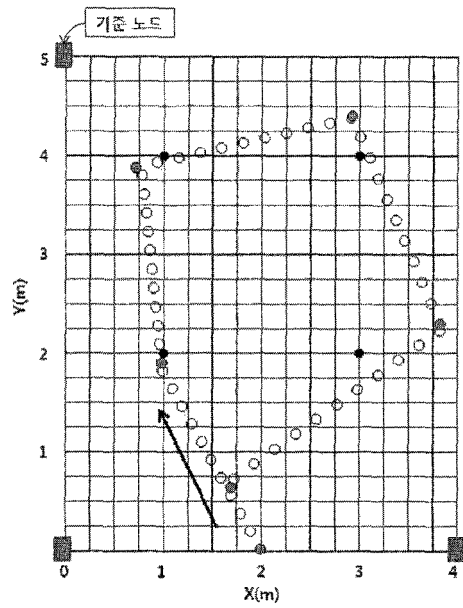


그림 6. 회전 센서에 의한 경로 주행 결과

방식은 개별적인 iCommand 코드를 무선으로 NXT에 전송하여 NXT 브릭을 제어하는 방식으로 블루투스 무선 통신을 사용한다. 이동 로봇은 회전 센서로부터 얻은 데이터를 iCommand API가 제공하는 함수를 이용하여 자체적으로 자신의 위치와 방향각을 계산한다. 방향각은 극좌표로 주어진다.

그림 4와 표 1은 초음파 센서에 의한 위치 인식 실험을 위해 고정된 위치에서 초음파 센서에 의해 측정된 위치 인식 결과를 보여준다. 실험 결과 초음파 센서에 의한 위치 인식 값은 실제 위치 좌표와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 최대 오차는 9cm

이다.

그림 5, 표 2와 그림 6, 표 3은 각각 본 논문에서 제안한 방법과 회전 센서 값만을 이용해 지정된 경로를 순회하는 이동 로봇의 주행 실험 결과이다. 그림 5와 6에서 ●로 표시된 위치는 이동 로봇이 회전 센서 값을 가지고 계산한 자신의 위치를 나타낸다. ○는 이동 로봇의 실제 주행 경로를 나타낸다. ○는 초음파 센서를 이용하여 인식한 이동 로봇의 위치를 나타내고 있다. 그림 5와 표 2에 의하면 이동 로봇의 회전 센서에 의해 인식한 위치와 방향각은 경로를 정확하게 추종하고 있지만 초음파에 의해 관

표 2. 제안된 방법에 의한 경로 좌표와 방향각

경로	로봇 자체 인식 좌표 (cm)	초음파 센서 인식 좌표 (cm)	로봇 자체 인식 방향각 (도)	수정된 로봇 방향각 (도)	다음 목표점에 대한 방향각(도)
출발점 (200,0)	(200,0)	(200, 1)	90	90	116.7
목표점 1 (100,200)	(100,200)	(100, 192)	117.2	117.5	90.1
목표점 2 (100,400)	(100,400)	(77, 390)	90.5	96.6	2.3
목표점 3 (300,400)	(300,400)	(300, 408)	-5.1	3.6	-90
목표점 4 (300,200)	(300,200)	(302, 200)	-93.2	-89.3	179.9
목표점 1 (100,200)	(100,200)	(105,190)	-178	180	

표 3. 회전 센서에 의한 경로 좌표와 방향각

경로	로봇 자체 인식 좌표 (cm)	초음파 센서 인식 좌표 (cm)	로봇 자체 인식 방향각(도)	다음 목표점에 대한 방향각(도)
출발점 (200,0)	(200,0)	(200, 2)	90	116.7
목표점 1 (100,200)	(100,200)	(98, 190)	117	89.5
목표점 2 (100,400)	(100,400)	(72, 388)	88.8	2.9
목표점 3 (300,400)	(300,400)	(293, 441)	-4.8	-88.3
목표점 4 (300,200)	(300,200)	(384, 223)	-95.9	-175.2
목표점 1 (100,200)	(100,200)	(169, 64)	-177	

측된 실제 위치와 방향각은 다른 것을 볼 수 있다. 이는 이동 로봇이 좌표 평면 상에 주어진 위치로 이동하기 위해 제어 프로그램의 icommand API 함수가 설정하는 만큼 충분히 모터를 움직이지 못하거나 미끄러짐 등의 외부 영향에 의한 결과로 보인다. 이를 보정하여 주어진 경로를 따라 이동 로봇이 수행하도록 하기 위해, 이동 로봇의 회전 센서에 의한 위치는 목표 지점에 도달한 이후 초음파 센서에 의해 인식된 이동 로봇의 위치로 수정되고, 이동 로봇의 방향각은 이전 출발점의 위치 좌표, 현재 이동 로봇의 회전 센서에 의한 위치 좌표 그리고 초음파 센서에 의해 인식된 실제 이동한 위치 좌표를 가지고 오차를 보정함으로써 다음 위치로의 정확한 수행이 가능하도록 하였다. 그럼 6과 표 3의 결과는 로봇에 내장된 회전 센서 값만으로 icommand API 함수에 의해 수행한 결과를 초음파 센서에 의한 위치 인식 값으로 위치좌표와 방향각을 보정하지 않고 계속 수행한 결과이다. 이 방법은 많은 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다.

표 2에서 '로봇 자체 인식 방향각'은 이동 로봇의 내장된 회전 센서 값에 의해 계산된 방향각이다. '다음 목표점에 대한 방향각'은 경로 상의 다음 목표 지점에 도달하기 위해 진행해야

하는 방향각을 의미한다. '수정된 로봇 방향각'은 초음파 신호에 의해 인식된 실제 위치와 이동 로봇이 회전 센서 값에 의해 도달했다고 생각하는 위치와의 차를 이용하여 계산을 통해 추정된 이동 로봇의 실제 방향각을 의미한다. 표 2의 출발 위치에서 초음파 센서에 의해 인식된 위치는 (200, 1)이다. 이동 로봇의 NXT 브릭에 설정된 방향각은 90도이고 다음 목표지점 (100, 200)으로 수행하기 위해 움직여야 하는 방향각은 116.7도가 된다. 첫 번째 목표지점 (100, 200)으로 수행한 후 초음파 센서에 의해 인식된 위치는 (100, 192)이고 회전센서에 의해 인식된 방향각은 117.2 도이다. 로봇의 실제 위치와 회전 센서에 의한 추정 위치가 다르므로 앞에서 기술한 방법, 즉 극좌표로 표현된 현재의 방위각을 두 위치의 차에 의해 구하면 현재 이동 로봇의 추정 방향각인 수정된 방향각, 117.5도가 된다. 즉, 목표점 1에서 이동로봇의 방향각은 116.7도가 되어야 하지만 실제로는 117.5도 방향으로 움직인 것으로 추정된다. 현재 위치에서 다음 목표지점 (100, 400)으로 가기 위해 움직여야 하는 방향각은 실제 위치 좌표 (100, 192)와 목표좌표 (100, 400)에 의해 계산하면 90.1도가 된다. 초음파 센서에 의한 위치 인식 값으로 보정하지 않는 경

우주행이 계속될수록 많은 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

로봇이 정해진 공간에서 임의의 경로로 자율적이고 정교한 주행을 위해서는 자신의 절대위치를 알 수 있는 위치 인식 방법이 필수적이다. 이러한 기술은 무선 센서 네트워크 분야뿐만 아니라 향후 무선 센서 네트워크와 연동된 네트워크 로봇틱스 분야에서 핵심기술로 부각되고 있다. 이러한 이동로봇의 위치 인식을 위해 무선 센서 네트워크에 부가된 다양한 센서를 이용한 기술들이 연구되고 있으며, 그 중에 초음파 센서를 이용한 로봇의 위치인식 기술이 다양한 형태로 활발히 연구되고 있다.

본 연구에서는 무선 센서 네트워크와의 연동을 통해 다양한 센서를 이용하여 이동로봇의 위치를 인식할 수 있는 방법에 대해 살펴보고, 이 중 구조가 간단하고 성능이 비교적 정확하여 많이 사용되고 있는 초음파 신호를 이용한 이동로봇의 새로운 위치 인식 방법에 대해 소개하였다. 초음파 신호를 이용한 위치 인식 방법은 여러 가지 장점에도 불구하고 초음파 센서의 좁은 지향각과 직진성으로 노드간의 측정거리가 부정확하며 이로 인해 위치 인식률의 저하를 가져오는 문제가 있다. 이를 극복하기 위해 최근에는 RF 신호와의 신호 전달시간 차나 전방향 초음파 센서를 이용하는 방법들이 다양하게 연구되어졌다.

본 연구에서 초음파 센서를 이용하여 로봇의 위치를 정확하게 인식하기 위해 고정된 센서 네트워크 노드를 수신노드로 하고 이동로봇에 연동된 노드를 송신노드로 하여 송신노드를 360도 회전시켜 이동로봇의 위치를 측정하였다. 주행 시에는 이동로봇의 회전 센서를 이용하여 위치를 계산하고 경로 상의 목표 지점에 도착하였을 때 초음파 센서에 의한 위치 인식 값으로 회전 센서에 의한 위치 오차와 방향각 오차를 보정함으로써 정확한 주행이 가능하도록 하였다.

참고문헌

[1] S. I. Roumeliotis, G. A. Bekey, "Bayesian estimation and Kalman filtering: a unified framework for mobil robot localization," *Robotics and Automation, Proc. of ICRA. IEEE International Conference on*, vol. 3. pp. 2985-2992. Apr. 2000.

[2] 김홍준, 김병국, "모바일 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적이고 경제적인 소형 이동 로봇의 개발," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제3호, pp. 284-294, 2008.

[3] 윤숙현, 이재현, 정우용, 김은태, "퍼지 모델링과 유전자 알

고리즘을 이용한 무선 센서 네트워크에서 위치추정," 한국 지능시스템학회 논문지, 제18권 제4호, pp. 530-536, 2008.

[4] L. Girod and D. Estrin, "Range Estimation using Acoustic and Multimodal Sensing," *Proceedings of IROS 2001*, Maui, Hawaii, Oct. 2001.

[5] 이수성, 최문규, 박재현, 이장명, "RF/초음파센서와 이동특성에 기반한 고속 이동로봇의 위치추정기법," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제15권 제7호, pp. 734-741, 2009.

[6] 김현종, 강근택, 이원창, "무선 센서 네트워크와 퍼지모델을 이용한 이동로봇의 실내 위치인식과 주행," 한국지능시스템학회 논문지, 제18권 제2호, pp. 163-168, 2008.

[7] 이우식, 김남기, "무선 센서 네트워크에서 초음파를 이용한 전방향거리 측정," *한국인터넷방송통신·TV학회 논문지*, 제9권 제5호, pp. 85-91, 2009.

[8] 한백전자 기술연구소, HBE-Ubi-CC2431을 이용한 유비쿼터스 센서 네트워크, 한백전자, 2009.

[9] 김성복, 이상협, "수동 RFID 기반 이동로봇 위치 추정 및 효율적 노면 태그 배치," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제12호, pp. 1294-1301, 2008.

[10] G. Kantor and S. Singh, "Preliminary Results in Range-Only Localization and Mapping," *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, Washington, DC, May 2002*.

[11] 박종진, 천창희, "USN과 LEGO Mindstorms NXT를 이용한 이동로봇의 위치인식과 주행 시스템 개발," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제16권 제3호, pp. 215-221, 2010.

[12] Ching-Chih Tsai, "A localization system of a mobile robot by fusing dead-reckoning and ultrasonic measurements," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 47, issue 5, pp. 1399-1404, 1998.

[13] 최윤규, 최우수, 송재복, "지향각이 넓은 저가의 초음파센서를 이용한 이동로봇의 장애물 회피," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제15권 제11호, pp. 1102-1107, 2009.

[14] 조봉수, 조석빈, 양성오, 백광렬, 이동환, "이중 주파수와 코드를 이용한 초음파 위치 인식 시스템 구현," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제7호, pp. 647-655, 2008.

[15] 방석원, 정명진, "A Sensor Fusion Method on Local Homing Robot Navigation Using Omnidirectional Sensor-Based Model and Fuzzy Arithmetic," 제어·자동화·시스템공학학회 논문지, 제1권 제1호, pp. 43-49, 1995.

[16] J. M. Villadangos, J. Urena, M. Mazo, A. Hernandez, F. Alvarez,

J. J. Garcia, C. De Marziani, and D. Alonso, "Improvement of ultrasonic beacon-based local position system using multi-access techniques," *IEEE*, vol. 18, no. 2, pp. 187-192, 2008.

[17] 이정형, 정슬, "마그네틱 콤파스 기반의 전 방향 로봇의 방향각 제어," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제15권 제2호, pp. 132-138, 2008.

[18] 최병윤, 이용재, 조영완, 신경욱, 손승일, 이문기, NXT-G와 Java 언어를 이용한 레고 마인드스톰 NXT 프로그래밍, 도서출판 그린, 2009.

저자 약력



박종진

- 1989년 연세대 전기공학과 졸업.
- 1991년 동 대학원 석사, 1997년 동대학원 박사.
- 1997년~현재 청운대학교 인터넷학과 교수.
- 관심분야: 지능시스템 및 응용, 퍼지모델링, 임베디드 시스템, 센서 네트워크.



천창희

- 2009년 청운대 인터넷학과 졸업.
- 2009년 동 대학원 석사과정.
- 관심분야: 지능시스템, 임베디드 시스템, 자바 프로그래밍.



최규석

- 1982년 연세대 전기공학과 졸업.
- 1987년 동 대학원 석사.
- 1997년 동대학원 박사.
- 1987년~1990년 (주)데이콤 연구소에서 정보통신 관련 연구업무.
- 1991년~1996년 (주)SK텔레콤 중앙연구원에서 이동통신시스템 관련 연구업무.
- 1997년~현재 청운대학교 컴퓨터학과 교수.
- 관심분야: 지능시스템 및 응용, 데이터통신 및 이동통신, 인공지능, 지능형 교통시스템(ITS), IPTV, Mobile Computing 등