

# USN과 LEGO Mindstorms NXT를 이용한 이동로봇의 위치 인식과 주행 시스템 개발

## Development of Location Estimation and Navigation System of Mobile Robots Using USN and LEGO Mindstorms NXT

박종진\*, 천창희  
(Jongjin Park and Chang Hi Chun)

**Abstract:** This paper introduces development of location estimation and navigation system of mobile robots using USN and LEGO Mindstorms NXT. Developed system includes location estimation, location and navigation information display and navigation control parts. It used ZigBee based USN which was built with CC2431 chip to locate blind node and implemented fuzzy model to improve ability of calculation of distances from reference nodes and location of mobile robots. This paper proposed combination method of location estimation using USN and encoder which is built in motors of mobile robots. Experimental results showed proposed method is superior to the method which used USN only in location estimation and navigating robots. Developed system can locate current position of mobile robots and monitor information from sensor nodes like temperature, humidity and send control signal to mobile robot to move.

**Keywords:** USN, LEGO mindstorms NXT, mobile robot, location estimation, navigation

### I. 서론

근래에 들어 로봇 기술은 기존의 산업 분야 외에 방범·방재, 서비스 등 다양한 비산업 분야로의 연구·적용이 활발해지고 있다. 이러한 연구에는 인간 로봇 상호작용, 동적 환경에서의 위치 인식 및 주행 그리고 조작(manipulation) 등이 포함되어 있으며, 최근에는 여기에 더하여 무선통신 및 센서 하드웨어 기술의 급속한 발달로 통신 분야와 로봇 기술의 융합에 의한 네트워크 로봇틱스 분야의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 네트워크 로봇틱스는 단일 로봇 자체에서 이루어지는 프로세싱을 저비용, 저전력의 무선 센서 네트워크와의 통합을 통해 분산, 처리하는 방향으로 나아가고 있다. 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 가능해지게 되었다.

USN을 이용한 네트워크 이동로봇은 센서 네트워크의 정보를 이용하여 정해진 공간에서 임의의 경로로 자율적으로 주행하기 위해서 실내에서의 위치 인식 및 보정과 이를 기반으로 하는 주행 시스템의 개발이 필요하다. 로봇이 자신의 위치를 추정하는 방법으로는 로봇의 바퀴에 회전수를 측정하는 회전 센서(encoder)를 장착하여 초기 위치로부터 자신의 위치를 추정하거나 가속도 센서와 자이로 센서 등의 가속도 정보를 2차 적분하여 자신의 위치를 추정하는 방법 등이 사용되어 왔다. 이러한 방법은 센서의 측정 오차와 미끄러짐 등에 의해 오차가 누적되어 장시간 주행 시 심각한 문제가 발생된다[1,2].

최근에는 이동로봇의 위치 인식을 위해 초음파, 적외선, RF, GPS 등을 이용한 방법이 다양하게 연구되고 있다. 또한 센서 네트워크에서의 노드의 위치인식 기술을 이동로봇과 통합하여 로봇의 위치를 추정하려는 노력들이 이루어져 왔다. 그 중에는 실내에서 전력 소비가 적고 사용이 편리한 근거리 무선 네트워크 기술인 ZigBee를 이용한 방법도 있다. 이러한 위치 인식 기술 중 대표적인 것은 두 노드 간에 수신된 신호의 세기(RSSI: Received Signal Strength Indicator)를 이용한 방법 또는 초음파 신호나 RF 전파 속도를 이용한 전파도달 시간(TOA: Time of Arrival) 등의 거리 기반 측정법이 있다. 이 방법은 회로내부 손실이나 경로 손실 등 주위 환경에 민감하게 반응하여 오차를 가지게 되므로 이를 보완하는 기법이 필요하다. 주어진 거리 정보를 가지고 이동로봇의 위치 측정에 사용되는 알고리즘으로는 K-nearest Neighbor 알고리즘, 삼각측량법, learning vector quantization 알고리즘, 근접기법 등이 있다[3].

일단 센서 노드 정보를 통해 이동 로봇의 위치를 파악하게 되면 이를 기반으로 원하는 지점으로 이동하거나 필요한 동작을 행하는 자율 주행 시스템의 개발이 가능하다. 실내에서의 이동로봇의 주행 시스템에는 마코프 위치 추정(markov localization)과 천장 모자이크 기술 등에 의한 Minerva의 주행시스템, Care-O-Bot-II의 경로 계획 주행 알고리즘, RoboX의 확률적인 위치추정기와 동적 윈도우(dynamic window) 방법 등이 혼합된 경로 계획기로 구성된 주행시스템 등이 있다[4].

본 논문에서는 측정된 RSSI 값을 가지고 이동로봇의 위치를 인식하기 위해, 삼각측량법에 기반 한 위치 인식 엔진(location engine)을 가지는 TI사의 CC2431 칩을 장착한 센서 네트워크를 사용하고, 외부 환경 등에 의해 발생하는 측정 거리의 오차를 수정하기 위해 RSSI 값과 두 노드 간의

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 13., 수정: 2009. 12. 15., 채택확정: 2009. 12. 30.

박종진, 천창희: 청운대학교 인터넷학과

(jjpark@chungwoon.ac.kr/cchijjang@chungwoon.ac.kr)

거리에 대한 퍼지 모델을 사용하여 거리 측정의 정확도를 향상하였다. 또한 개선된 거리 측정 방법에도 불구하고 측정된 RSSI 값의 손실과 그에 따른 위치 정보의 부정확성을 보완하기 위해 이동로봇의 모터에 내장된 회전 센서 값을 이용하여 로봇의 위치를 추정하고 이를 USN에 의한 추정 위치와 비교하여 보정함으로써 위치 인식의 정확도를 높였다. 이러한 정확한 이동 로봇의 위치 인식을 기반으로 센서 네트워크의 각종 환경 정보(조도, 온도, 적외선 센서값)에 따른 각종 동작을 수행하기 위해 이동로봇이 지정된 노드나 위치로 접근하기 위한 자율 주행시스템을 구현하였다. 이를 위해 최근에 교육용 등으로 많이 사용되는 LEGO사의 Mindstorms NXT를 이용하여 이동로봇 시스템을 구현하였고 이를 무선 센서 네트워크와 연동하여 사용하였다. LEGO Mindstorms NXT는 다양한 블록을 가지고 창의적인 로봇을 설계할 수 있고 각종 센서와 기어를 통해 환경정보 습득과 동작이 가능한 이동로봇을 쉽게 구현하거나 새로운 형태로 변형할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에는 본 논문에서 사용하는 USN 기반 자율 이동로봇 시스템에 대해 서술하고, III 장에는 이동로봇의 위치 인식 및 주행 시스템에 대해 서술하며, IV 장에는 실험 및 결과고찰이 주어진다. 마지막으로 V 장에는 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.

**II. USN 기반 자율 이동로봇 시스템**

**1. LEGO Mindstorms NXT를 이용한 이동로봇**

본 논문에서 이동로봇의 위치 인식과 주행 시스템 개발을 위해 사용한 로봇은 LEGO사의 Mindstorms NXT를 이용하여 구현하였다. LEGO Mindstorms NXT는 과학기술, 공학 및 수학의 습득을 용이하게 해주는 교육용 제품으로 공학기술에 레고 조립 시스템 능력을 결합하여 고안, 조립, 프로그래밍, 로봇 시스템 테스트를 실행해 볼 수 있도록 개발되어 직립 보행, 자율 이동로봇 등 다양하고 복잡한 로봇을 쉽게 구현할 수 있다. 이것은 기본적으로 32bit ARM7 마이크로프로세서가 장착된 NXT 브릭(brick), 8bit 인터랙티브 서보 모터(interactive servo motor), 음향, 초음파 및 다양한 센서로 구성되고 블루투스 커뮤니케이션, 멀티 다운로드 기능들을 가진다. 중앙 제어부인 NXT 브릭은 입력포트 4개와 출력포트 3개를 통해 각종 센서 입력값과 제어신호를 주고 받으며, 인터랙티브 서보 모터는 속도와 거리를 측정하는 회전센서가 내장되어 1도 단위의 정확한 모터 제어가 가능하고 각종 기어와 연결 블록으로 이루어진 동작부에 실제적인 제어를 행하는 부분이다. 표 1은 LEGO Mindstorms NXT의 명세를 나타내고, 그림 1은 본 논문에서 사용하기 위해 LEGO Mindstorms NXT를 이용하여 구현한 이동로봇의 외형이다. 로봇의 크기는 가로, 세로, 높이가 21×18.5×15.4(Cm<sup>3</sup>)이다. 로봇에 장착된 초음파 센서나 빛 센서는 향후 장애물 회피나 특정 경로로의 라인 트레이싱 등에 사용될 수 있다.

구현된 로봇의 제어를 위한 프로그램은 Mindstorms NXT를 위해 개발된 JAVA 프로그래밍 기법인 iCommand 방식을 사용하여 작성하였다. 이 방식은 개별적인 iCommand 코

표 1. LEGO Mindstorms NXT의 명세.

Table 1. Specification of LEGO Mindstorms NXT.

NXT 브릭	32Bit ARM7 MCU(50MHz), 4개의 입력 포트, 3개의 출력 포트, Atmel 8Bit AVR MCU(8MHz),
센서	터치센서, 빛 센서, 회전 센서(모터내장), 소리 센서, 초음파 센서
모터	3개/세트(서보모터)
S/W	leJOS NXJ (icommand API)
메모리	64kb SRAM, 256kb Flash Memory

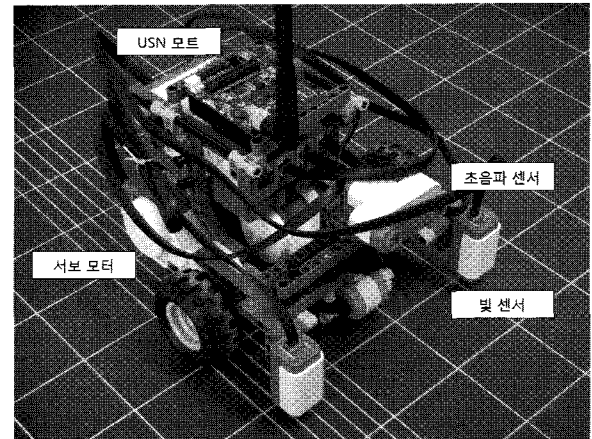


그림 1. 자율 이동로봇 시스템의 외형.

Fig. 1. Appearance of the autonomous robot system.

드를 무선으로 NXT에 전송하여 NXT 브릭을 제어하는 방식으로 블루투스 무선 통신을 사용한다.

구현된 이동로봇은 USN과 연동되어 모트에 탑재된 위치 인식 엔진에 의해 얻어진 자신의 위치를 호스트 컴퓨터에서 블루투스 통신을 통해 받고 자율 또는 수동으로 원하는 위치로 이동하게 된다. 사용된 USN은 위치 인식 엔진을 가지는 TI사의 CC2431 칩으로 구현된 한맥전자의 HBE-Ubi-CC2431으로 이동로봇의 위치는 각 모트에서 전달되는 RSSI 값을 사용하여 각 모트간의 거리를 측정하고, 이 정보를 가지고 삼각측량법에 의해 구한다.

CC2431은 2.4Ghz RF 기능을 가지는 8051 기반의 칩으로 UART 및 SPI 통신 기능을 제공하고 IEEE 802.15.4 PHY 표준을 기반으로 만들어졌다. 또한 자체적인 USB 제어기 2개를 내장하고 있어, 별도의 장비없이 다운로드가 가능하다. 센서는 온/습도 센서와 빛 감지 센서가 있어 온도, 습도, 조도를 감지할 수 있다. 이러한 센서정보를 이용하여 화재 및 침입자 발생 여부, 실내 환경 감시 및 제어가 가능하다.

**III. 이동로봇의 위치 인식 및 주행 시스템**

그림 2는 본 연구에서 개발된 이동로봇의 위치 인식 및 주행 시스템의 개요를 나타낸다. 시스템은 크게 위치 인식부, 위치 정보 및 주행 화면 표시부, 주행 제어부의 세 부분으로 나뉜다. 위치 인식부는 USN의 각 모트로 구성된 노드로부터 측정된 RSSI 값, 이동로봇과 연동된 이동 노드

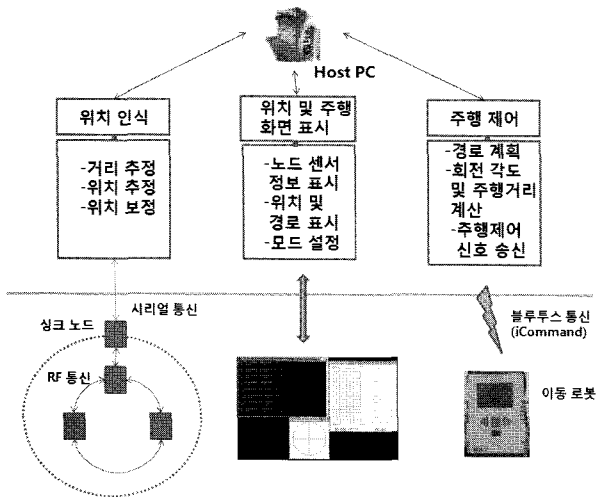


그림 2. 위치 인식 및 주행 시스템 구성도  
 Fig. 2. Configuration of the location estimation and navigation system.

(blind node)의 위치 값, 센서 정보 등을 컴퓨터와 연결된 싱크 노드(sink node)를 통해 시리얼 통신으로 전달받아 위치 값을 퍼지 모델에 의해 보정한 후 화면 표시부로 넘겨준다. 위치 정보 및 주행 화면 표시부는 USN 각 노드의 센서 정보와 보정된 위치 정보를 표시하고 이 값들을 주행 제어부에 전달한다. 또한 이동 로봇의 주행 모드를 자동(auto)이나 수동(manual)로 설정하거나 이동할 위치의 좌표를 직접 지정할 수 있다. 주행 제어부는 이동로봇의 모터에 내장된 회전 센서 값으로 로봇의 처음 위치로부터의 움직임 궤적을 계산하여 현재 위치 좌표를 계산하고 이 값을 USN에 의한 위치 좌표와 비교하여 보정한다. 이동 로봇의 주행은 수동 모드와 자동 모드로 이루어진다. 수동 모드인 경우 마우스의 움직임에 따라 이동로봇의 움직임을 제어하는 신호를 로봇으로 보내고, 자동 모드의 경우 각 센서 정보 값으로 즉, 온도나 적외선 센서 값의 변화에 의해 화재나 침입자 발생 등의 상황을 판단하여 해당 위치로의 자율 이동을 수행하도록 제어 신호를 송신한다. 이 때 이동로봇의 회전 각도와 이동 거리는 현재 좌표와 이동 위치의 좌표에 의해 계산되어 로봇에 전달된다.

1. 위치 인식 알고리즘

이동로봇의 위치 인식은 자율 주행에 있어 가장 중요한 문제 중 하나이다. 위치 인식을 위해 위치가 알려진 고정 노드(reference node)와 위치가 알려지지 않은 이동 노드(blind node)간의 위치 측정 알고리즘은 크게 거리 기반 방법과 거리 독립 방법으로 나뉜다. 거리 기반 방법은 RSSI 값을 이용하거나 초음파 신호 또는 RF 전파 속도를 이용한 전파 도달 시간(TOA) 방법 등이 있고 거리 독립 방법에는 두 노드 간의 절대적인 거리를 기반으로 하지 않고 연결성이나 홉-카운트(hop-count) 정보 등을 가지고 위치를 측정하는 방법 등이 있다[5].

본 논문에서는 이동로봇의 위치 인식을 위해 실내에서 전력 소비가 적고 사용이 편리한 근거리 무선 네트워크 기술인 ZigBee를 통해 두 노드 간의 수신된 신호의 세기인

RSSI를 이용한 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 회로 내부 손실이나 경로 손실 등 주위 환경에 민감하게 반응하여 오차를 가지게 되므로 이를 보완하는 기법이 필요하다.

무선 신호 전달 특성 모델 중 식 (1)의 Two-path 모델을 이용한 거리 계산 방식은 안테나의 길이와 지면의 손실만을 고려하여 거리를 계산하므로 주변 환경에 따른 변화에 따라 정확한 거리를 계산할 수 없다. 따라서 CC2431를 개발한 TI 사는 RSSI를 이용하여 거리를 구할 때 식 (2)를 사용하도록 권하고 있다[6].

$$d = \frac{C}{4\pi f} 10^{L/20} [m] \tag{1}$$

여기서, L: 수신된 신호의 LOSS[dBm],

d: 거리[m],

C: 무선 신호의 전파속도[m/sec],

f: 주파수[Hz].

$$RSSI = -(10 \times n \times \log_{10} d + P) \tag{2}$$

여기서, n: 전송지수,

d: 거리,

P: 송신 노드로부터 1미터 거리에서 수신한

RSSI 값의 -1을 곱한 값.

그러나 식 (2)에 의한 방법도 환경의 변화와 P, n 값의 설정에 따라 크게 변하므로 본 논문에서는 RSSI 값과 두 노드 간의 거리에 대한 퍼지 모델을 구하여 좀 더 정확한 거리를 계산하였다. 사용된 퍼지 모델은 TSK (Takagi-Sugeno-Kang) 퍼지모델로 각 퍼지 규칙의 전반부는 일반적인 퍼지집합으로 후반부는 입력 변수의 선형식으로 이루어진 형태이다. 얻어진 거리 정보를 이용하여 이동 노드의 위치는 삼각측량법을 사용하여 구한다[3].

2. 주행 시스템

USN 노드에서 넘어온 이동로봇의 위치는 퍼지모델을 이용한 거리측정 값의 정확도 향상에도 불구하고 환경에 따라 RSSI 값 자체에 포함된 오차로 인해 정확하지 않다. 이는 이동로봇의 주행에 치명적인 영향을 미친다.

2.1 로봇의 운동방정식

본 논문에서는 어떤 외부 환경의 영상정보나 기하학적 지도를 사용하지 않고 앞에서 USN을 통해 추정된 이동로봇의 위치의 보정을 위해 모터에 내장된 회전 센서 값으로 로봇의 처음 위치로부터의 움직임 궤적을 계산하여 현재 위치 좌표를 계산하고 이 값을 USN에 의한 위치 좌표와 비교하여 그 차가 일정 크기의 범위를 벗어나는 경우 보정한다. Mindstorms NXT의 서보 모터에는 포토커플(photo-couple)을 이용한 회전 센서가 내장되어 있으며 분해능은 1° 이고 1°의 작동 오차를 가진다. 회전 센서 값은 모터의 회전 방향과 회전 각도에 따라 실시간으로 증가하거나 감소하며, 임의로 값을 초기화시키거나 입력된 값을 읽을 수 있다. 회전 센서가 초기화된 이후에는 바퀴의 회전에 따라 회전 센서 값이 실시간으로 바뀌어 저장되므로 초기화된 이후의 바퀴의 회전량을 알 수 있다.

구현된 이동 로봇은 5.6×2.6(지름×폭) cm 크기의 바퀴

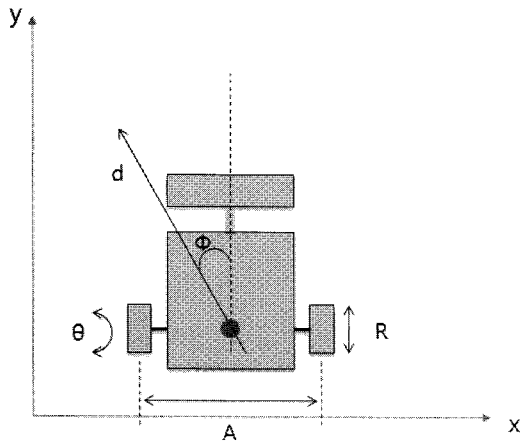


그림 3. 이동 로봇의 기구학.  
Fig. 3. Kinematics of mobile robot.

표 2. 이동 로봇의 기구학 파라미터.

Table 2. Kinematics parameters of mobile robot.

기호	의미
d	이동로봇의 이동거리
Φ	이동 로봇의 방향각
R	바퀴 지름
Θ	바퀴의 회전 각도
A	회전 반지름(두 바퀴사이의 거리)

(tire)를 사용하였다. 관측 시각 t에 바퀴의 회전에 따른 회전 센서의 회전각, Δθ(°)와 이동 거리, Δd(cm)의 관계는 식 (3)과 같다.

$$\Delta d = \pi \times R \times \Delta \theta / 360$$

$$d(t+1) = d(t) + \Delta d \tag{3}$$

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \Delta \theta$$

여기서, R은 로봇 바퀴의 지름이다.

그림 3은 이동로봇의 기구학과 좌표계의 관계를 보여준다. 표 2는 각 파라미터의 의미를 나타낸다.

로봇의 이동에 따른 위치 좌표는 다음 식 (4)로 정의한다.

$$P(t) = [x(t), y(t), \Phi(t)]^T \tag{4}$$

여기서, x(t)와 y(t)는 관측시각 t에서 나타나는 로봇의 좌표이고, Φ(t)는 로봇의 방향각으로 로봇의 전방이 절대 좌표계의 x축과 이루는 각도이다[7].

로봇의 이동에 따른 위치와 방향의 변화는 회전이 있는 경우와 회전이 없는 경우에 대해 각각 다음 식 (5)-(10)에 의해 구한다. 로봇의 회전을 좌표 값의 계산을 단순하게 하기 위해 한쪽 바퀴를 고정시키고 다른 쪽 바퀴만을 구동하는 스윙 턴(swing turn)으로 동작하게 하였다.

- 회전 운동이 있는 경우

$$\Delta x = \frac{A}{2} (1 - \cos \Delta \Phi) \tag{5}$$

$$\Delta y = \frac{A}{2} \sin \Delta \Phi \tag{6}$$

$$\Delta \Phi = R \times \Delta \theta / (2 \times A) \tag{7}$$

- 회전 운동이 없는 경우(직진의 경우)

$$\Delta x = d \times \cos (90 - \Delta \Phi) \tag{8}$$

$$\Delta y = d \times \sin (90 - \Delta \Phi) \tag{9}$$

$$\Delta \Phi = 0 \tag{10}$$

따라서 절대 좌표계 내에서 로봇의 이동에 따른 로봇의 위치와 방향각은 다음 식 (11)에 의해 추정된다.

$$x(t+1) = x(t) + \Delta x,$$

$$y(t+1) = y(t) + \Delta y,$$

$$\Phi(t+1) = \Phi(t) + \Delta \Phi \tag{11}$$

식 (11)에 의해 추정된 이동 로봇의 위치는 명령어 실행 시 아주 작은 시간 간격동안 더 움직이거나 관성이나 마찰력 같은 물리적 특성으로 인해 바로 정지하지 않고 밀립 등으로 오차가 발생한다. 특히, 로봇이 빠르게 움직이거나 무게가 무거운 경우는 더 많이 밀리게 된다[2,8].

본 논문에서 USN에 의한 위치 좌표의 부정확성을 보정하기 위해 특정 위치에서 USN에 의한 좌표 값과 회전 센서를 이용한 식 (11)의 좌표 값의 차를 비교하여 그 절대값이 정해진 범위를 벗어나면 회전 센서에 의한 좌표값을 이동로봇의 위치 좌표로 사용하고 USN의 고정 노드에 가까이 가면 USN에 의한 위치 좌표가 더 정확하므로 로봇의 위치 좌표를 갱신하는 방법을 사용하였다.

### 2.2 자율 주행 알고리즘

주행 모드가 자동으로 설정되면 정해진 상황 판단에 따라 이동로봇이 특정 위치로 주행하도록 주행제어부가 제어 신호를 송신한다. 그림 4는 이 신호에 따라 이동 로봇이 진행해야 할 방향과 거리에 대한 도식을 보여준다.

이 때, 이동로봇의 중심이 이동해야 할 위치와 이루는 각도차인 방향각, Φ'(t)와 이동 거리, D는 식 (12)와 (13)에 의해 구해진다.

$$\Phi'(t) = \tan^{-1} \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \tag{12}$$

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{13}$$

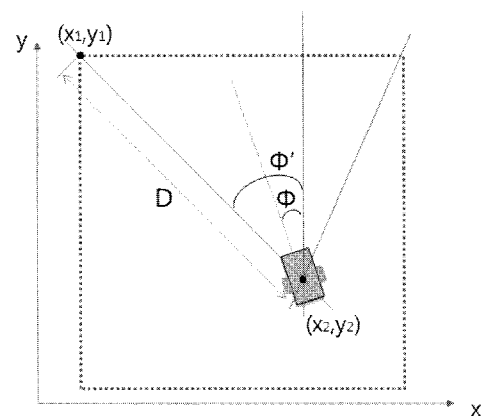


그림 4. 이동로봇의 주행 도식.  
Fig. 4. avigation diagram of mobile robot.

그러면 실제적으로 로봇이 회전해야하는 각도는 다음 식 (14)와 같다.

$$\Delta\phi = \phi'(t) - \phi(t) \quad (14)$$

따라서 식 (13)과 (14) 그리고 식 (3)과 (7)에 의해 이동 로봇에 인가되어야 할 회전 센서 값을 구할 수 있다.

**IV. 실험 및 결과 고찰**

실험을 위해 실험실 내에 2x4(m<sup>2</sup>)의 공간을 만들고 고정 노드와 이동 노드의 간격을 0.5 m 간격으로 이동하며 RSSI 값을 20개씩 측정하였다. 센서 네트워크의 노드에서는 1초마다 RSSI 값과 위치 정보를 전송한다. 이 값들을 가지고 앞에서 기술한 거리 측정 방법으로 고정 노드와 이동 노드 간의 거리를 구하였다. 거리 측정에 사용되는 퍼지 모델은 MATLAB 프로그램을 이용하여 구하였다. 위치 인식과 주

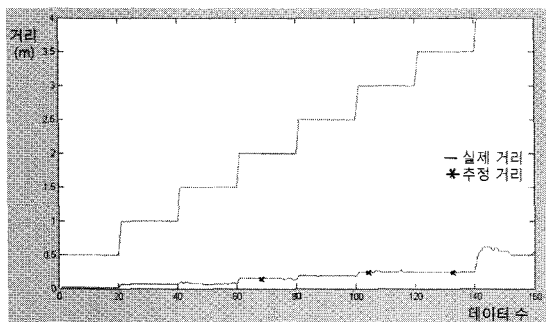


그림 5. 식 (1)의 거리 계산 결과.  
Fig. 5. Results of calculation of distance using eq. (1).

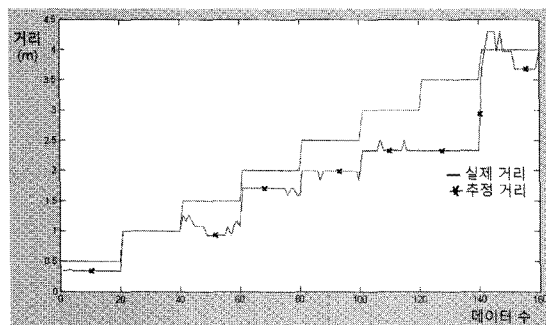


그림 6. 식 (2)의 거리 계산 결과.  
Fig. 6. Results of calculation of distance using eq. (2).

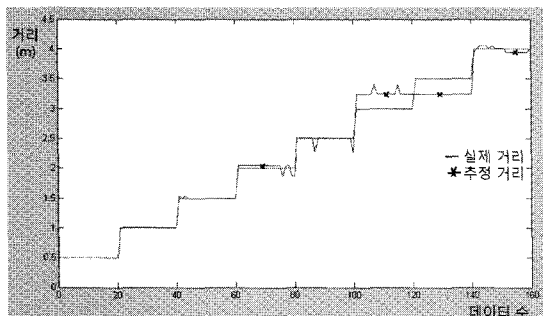


그림 7. 퍼지 모델의 거리 계산 결과.  
Fig. 7. Results of calculation of distance using fuzzy model.

표 3. 최소자승오차와 최대오차 값.

Table 3. RMS errors and maximum errors.

	식 (1)	식 (2)	퍼지 모델
RMS 오차	247.51	55.69	13.58
최대 오차(Cm)	350	123	40

행을 위해서는 각 끝점(0,0), (2,0), (2,4), (0,4)에 4개의 노드를 설치하고 1, 2, 3, 4번으로 번호를 붙여 실험하였다.

그림 5, 그림 6 그리고 그림 7은 각각 기존의 방법과 퍼지 모델에 의한 거리 계산 결과를 보여준다. 표 3은 각 방법의 최소자승오차(root mean square error)와 최대 오차를 나타낸다. Two-path 모델을 이용한 거리 계산 방식은 많은 오차가 발생함으로 볼 수 있다. 퍼지 모델에 의한 거리 측정 결과가 가장 우수하며 정확하게 거리를 측정하는 것을 볼 수 있다. 식 (2)에 의한 거리 계산에서 P와 n은 실험을 통해 각각 57과 3으로 정하였다.

그림 8은 구현된 위치 인식 및 주행 시스템의 화면을 보여준다. 화면에는 온도, 온도, 습도 등 각종 센서 값이 출력되고 이동로봇의 위치가 표시되며 주행 모드를 수동(메뉴얼)으로 설정하면 무선으로 로봇을 움직일 수 있는 로봇 제어기 창이 나타난다. 로봇 제어기 화면의 십자 부분을 마우스로 끌어서(drag) 상하좌우로 움직이면 원하는 위치로 로봇을 움직일 수 있다. 자동 모드인 경우 각 센서 정보 값으로 상황을 판단하여 미리 정해진 동작을 수행하기 위해 해당 위치로 자율적으로 이동한다. 이동로봇의 회전센서 값은 0.2초마다 호스트 PC로 전송되어 이동로봇의 위치와 방향각이 계산된다.

먼저 로봇이 수동 모드에서 마우스 움직임을 따라 이동하는 가를 실험하기 위해 정해진 궤적을 따라 마우스를 움직였다. 그림 9와 10은 그 결과를 보여준다. 실선은 마우스의 움직임을 나타내고 원으로 표시된 것은 PC로 전달된 이동로봇의 위치 좌표를 나타낸 것이다. 실험 결과 이동로봇은 좌표 (2, 4)에 위치한 3번 모드에서 출발하여 마우스의 움직임을 따라 같은 방향과 위치로 움직임을 볼 수 있다.

로봇의 위치 인식과 주행에 있어 USN의 위치 정보만을 이용한 경우와 내장된 회전 센서 값으로 보정하는 제안된 방법을 이용하는 경우를 비교하기 위해 수동 모드로 로봇

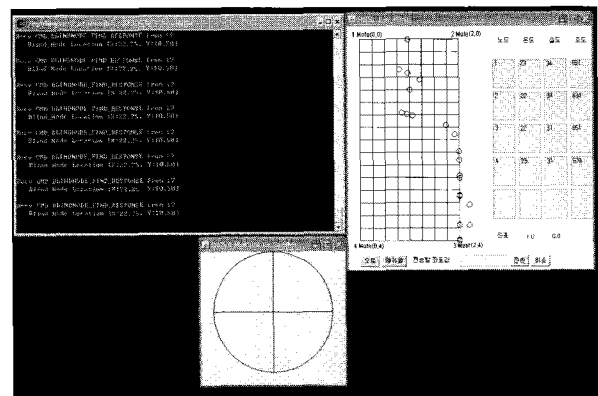


그림 8. 위치 인식 및 주행 시스템의 화면.  
Fig. 8. Developed location estimation and navigation system.

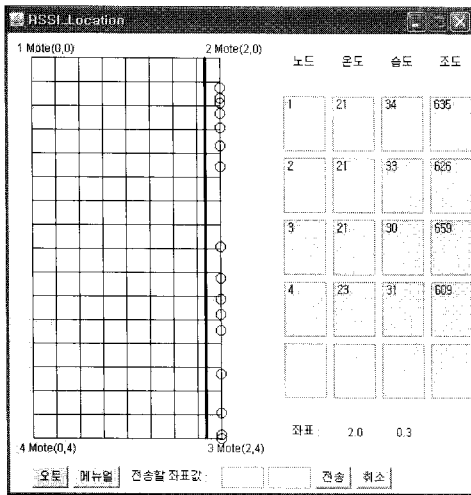


그림 9. 이동로봇의 주행 화면(수동 모드).  
 Fig. 9. Navigation screen of mobile robot(manual mode).

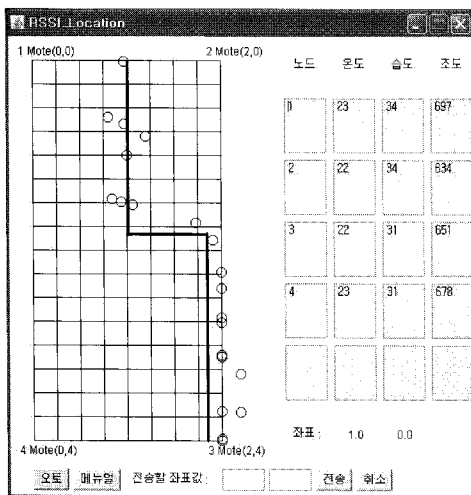


그림 10. 이동로봇의 주행 화면(수동 모드).  
 Fig. 10. Navigation screen of mobile robot(manual mode).

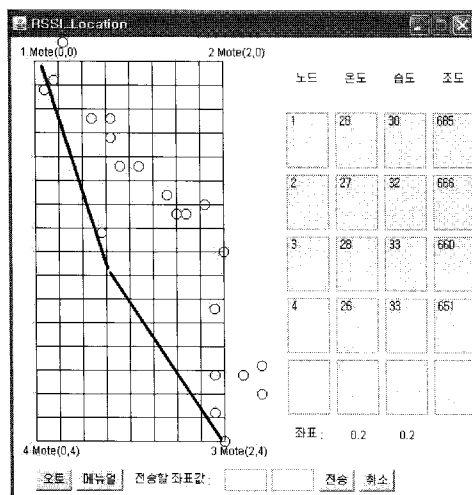


그림 11. 이동로봇의 주행 화면(USN 위치 정보만 사용).  
 Fig. 11. Navigation screen of mobile robot(using USN information only).

을 움직였다. 그림 11과 12는 각각 USN에 의한 정보만을 이용한 경우의 결과와 USN에 의한 위치 정보를 회전 센서 값에 의한 위치 정보로 보정된 경우의 주행 결과를 보여준다. 그림 11에서 마우스를 따라 로봇을 이동시킬 때 실제 이동 위치 좌표와 USN에 의한 위치 좌표의 값이 이동로봇이 모드가 있는 3번, 1번 노드에 가까운 경우를 제외하고는 많은 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 거리 측정이나 위치 인식 알고리즘의 문제라기보다 고정 노드에서 이동 노드로 전달되는 RSSI 값이 부정확하기 때문에 관측된다. 고정 노드에 가까우면 정확한 위치가 인식되는 것은 RSSI 값의 감쇠가 가장 적고 삼각측량법에 의한 계산 시 그 값에 가장 큰 영향을 받기 때문인 것으로 보인다.

그림 12는 본 논문에서 제안된 방법을 사용하는 경우 주행 궤적과 위치 좌표가 거의 일치하는 것을 보여준다.

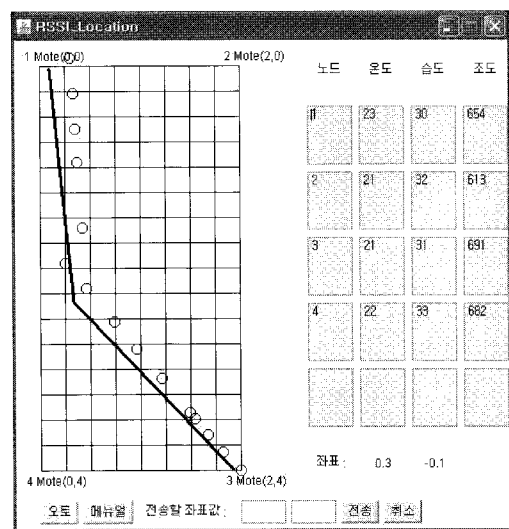


그림 12. 이동로봇의 주행 화면(USN 위치 정보와 회전센서에 의한 위치 정보 사용).  
 Fig. 12. Navigation screen of mobile robot(using USN and encoder information).

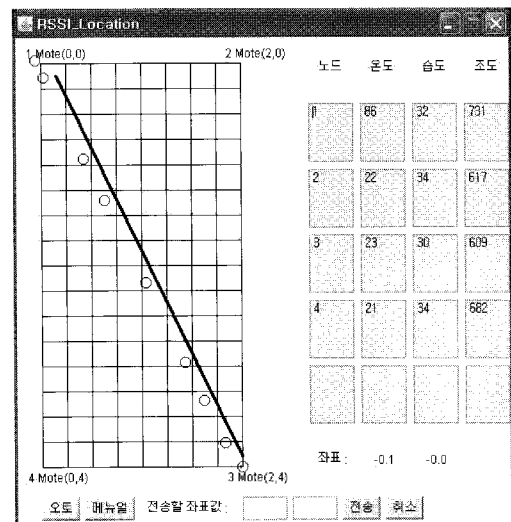


그림 13. 이동로봇의 주행 화면(자동 모드).  
 Fig. 13. Navigation screen of mobile robot(Auto mode).

그림 13은 주행모드를 자동으로 설정하고 노드 1번에서 모니터링된 온도센서 값에 의해 화재가 발생했다고 판단하였을 때의 주행 결과를 보여준다.

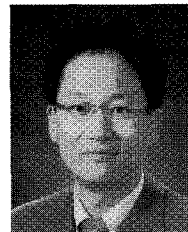
#### V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 위치 인식 엔진을 탑재한 ZigBee 기반 유비쿼터스 센서 네트워크와 LEGO Mindstorms NXT로 구현된 이동로봇의 위치 인식과 이를 기반으로 자율 주행시스템을 개발하였다. 로봇 위치 인식의 정확성을 높이기 위해 실험 입·출력 데이터를 가지고 퍼지 모델을 구하였고 이를 통해 외부 환경 등에 의한 손실에 의해 발생하는 측정거리의 오차를 수정하였다. 또한, RSSI 값의 부정확으로 인한 위치 인식의 오류를 보정하기 위해 이동로봇에 내장된 회전 센서를 이용하여 이동로봇의 좌표를 구하고 이를 위치 좌표의 보정에 사용하여 위치 인식의 정확성을 개선하였다. 제안된 방법이 USN에 의해 추정된 위치 정보만을 사용하는 경우보다 정확하게 이동로봇의 위치를 추정하고 이에 따른 주행이 가능함을 보였다. 개발된 주행시스템을 통해 수동으로 주행하거나 USN 노드로부터 수신한 각종 센서 정보를 화면에 표시하고 모니터링된 이 값들을 기반으로 상황 판단을 통해 특정 위치로의 자율 주행이 가능하였다.

향후 연구로는 로봇에 장착된 초음파 센서나 빛 센서를 이용하여 장애물 회피나 특정 경로로의 추적 주행 등의 기능이 추가된 지능형 네트워크 자율이동 로봇의 개발이며, 더 나아가 USN 환경에서 여러 대의 자율이동 로봇이 동시에 운행되는 다중 네트워크 로봇시스템의 설계 및 구현이다.

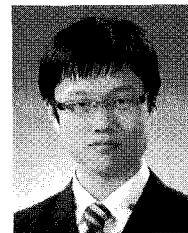
#### 참고문헌

- [1] S. I. Roumeliotis and 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] 진태석, 이민중, 탁한호, 이인용, 이준탁, "실시간 다중 이동물체 추적에 의한 이동로봇의 위치개선," 한국지능시스템학회 논문지, 제18권 제2호, pp. 187-192, 2008.
- [3] 김현중, 강근택, 이원창, "무선 센서 네트워크와 퍼지 모델을 이용한 이동로봇의 실내 위치인식과 주행," 한국지능시스템학회 논문지, 제18권 제2호, pp. 163-168, 2008.
- [4] 김건희, 정우진, 김문상, "실내용 서비스 로봇을 위한 거리 센서 기반의 통합 자율 주행 시스템 개발," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제10권 제9호, pp. 785-798, 2004.
- [5] 윤숙현, 이재현, 정우용, 김은태, "퍼지 모델링과 유전자 알고리즘을 이용한 무선 센서 네트워크에서 위치 추정," 한국지능시스템학회 논문지, 제18권 제4호, pp. 530-536, 2008.
- [6] 한백전자 기술연구소, HBE-Ubi-CC2431을 이용한 유비쿼터스 센서 네트워크, 한백전자, 2009.
- [7] 고낙용, 서동진, 문용선, "방향각 및 거리 정보에 의한 이동 로봇의 실시간 목표물 추종 방법," 한국지능시스템학회 논문지, 제18권 제5호, pp. 624-631, 2008.
- [8] 최명윤, 이용재, 조영완, 신경욱, 손승일, 이문기, NXT-G와 Java 언어를 이용한 레고 마인드스톰 NXT 프로그래밍, 도서출판 그린, 2009.



박 종 진

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



천 창 희

2009년 청운대 인터넷학과 졸업. 2009년 동 대학원 석사과정. 관심분야는 지능시스템, 임베디드 시스템, 자바 프로그래밍.