
서비스 로봇을 위한 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 위치인식 시스템

최형윤* · 박진주* · 문용선*

Ubiquitous Sensor Network based Localization System for Public Guide Robot

Hyoung-youn Choi · Jin-joo Park · Young-sun Moon

이 논문은 2005년도 순천대학교 연구비를 지원받았음

요 약

서비스 로봇의 사회적 관심으로 인하여 서비스 로봇의 개발에 있어 많은 연구가 실시되고 있으나, 단일 플랫폼의 한계에 봉착해 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 유비쿼터스 네트워크와 연계한 유비쿼터스 기반 서비스 로봇이 대안으로 자리 잡고 있다. 이를 위하여 유비쿼터스 센서 네트워크를 통하여 주변 환경에 대한 상황인식 및 위치인식과 같은 기능을 위하여 RFID 및 초음파 센서를 이용한 시스템이 등장하여 실제 로봇에 적용되어 좋은 결과를 낳고 있다. 하지만 RFID의 경우 수동형 센서를 이용할 경우 거리에 따른 인식률의 제한이 따르며 초음파 센서의 경우 이를 구동하기 위하여 높은 전압을 요구하므로 저 전력 기반의 센서 네트워크에 응용하기에는 많은 한계가 따른다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크 기반 위치인식을 위하여 센서 네트워크 모듈을 구현하고 이를 기반으로 RSSI 위치인식 시스템을 구현하고자 한다. 이러한 RSSI 위치인식 시스템의 경우 각 센서 노드에서 들어오는 신호의 RSSI만을 측정하고 이에 따른 거리로 환산하여 위치를 산출함으로써 인하여 저 전력의 센서 네트워크를 그대로 활용할 수 있으며, Ad-Hoc 네트워크 설계시 거리에 따른 제한도 극복할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

With social interest, there has been a lot of research on the Service Robot, but now we are faced with the limitation of single platform. The alternative plan is the Ubiquitous-based Service Robot connected with a Ubiquitous network to overcome this limitation. Systems using RFID(Radio Frequency Identification) and supersonic waves appeared for functions such as recognition of surroundings through Ubiquitous Sensor Networks. This was applied to the real robot and we have got good results. However, this has several limitations to applying to low power-based Sensor Network. For example, if RFID uses a passive Sensor, the rate of recognition with the distance is limited. In case of supersonic waves, high power is required to drive them. Therefore, we intend to develop RSSI position recognition system on the basis of embodying a Sensor Network Module on this thesis. This RSSI position recognition system only measures RSSI of signals from each sensor node, then converts them into distances and calculates the position. As a result, we can still use low power-based Sensor Network and overcome the limitation according to distance as planning Ad-Hoc Network.

키워드

Ubiquitous, Sensor Network, RSSI, TinyOS, Zigbee, java

I. 서 론

컴퓨터 기술과 정보산업의 급격한 발달에 따라 인간과 기계의 간격이 좁아지고 있으며, 인간과 기계간의 상호관계의 대표적 장치인 로봇을 들 수 있다.

현재 로봇은 제조업에 주로 사용되었지만 가사, 복지, 의료, 엔터테인먼트 등 다양한 분야로 그 활용도가 높아지고 있다. 특히, 사람들과 공존하면서 일반인들이 쉽게 접해서 바로 사용해 볼 수 있는 서비스 로봇에 대한 사회적 관심이 고조되고 있다[1].

이러한 사회적 관심으로 인하여 최근 들어 미국, 일본 및 국내의 여러 기업, 연구소, 대학 등에서 지능형 서비스 로봇의 성공적인 개발을 위하여 로봇의 지능주행과 관련하여 활발한 연구가 진행되고 있으며, 로봇의 경로계획/장애물회피/Map Building & Localization 등의 연구 분야에서 결과가 많이 나오고 있다.

그러나 구현된 많은 연구 결과들이 단일 로봇 플랫폼에 의해 주변 환경을 인식하고 이를 기반으로 처리되도록 설계되어 있다. 또한 단일 로봇 플랫폼은 고속의 연산장치를 필요로 할 뿐만 아니라 구조적 복잡함을 내포하고 있어 구현이 어렵고, 실시간성의 보장이 어려움에 따라 실생활에 적용하기가 어렵다.

이를 위하여 유비쿼터스 환경을 이용하여 만든 로봇이 유비쿼터스 로봇이다. 유비쿼터스 로봇은 수행하여야 할 주변 환경인식 및 위치인식에 대한 정보처리를 직·간접적으로 수행할 수 있도록 함으로써 로봇의 유비쿼터스 기술적용이 서비스 로봇 개발의 한계를 극복하기 위한 대안으로 자리 잡고 있다[2].

특히 서비스 로봇의 개발에 있어 실시간 위치 인식은 대상을 찾아 서비스를 제공하기 위하여 사용자의 위치 및 로봇의 위치에 대한 정보 요구될 뿐만 아니라 주변 환경에 대한 센싱 정보 역시 중요시되기 때문에 이러한 유비쿼터스 네트워크를 통한 위치인식 및 다양한 센서의 활용을 통한 사람과 사물의 주변 상황인식기술이 중요시 되고 있다.

이러한 유비쿼터스 네트워크를 이용한 위치인식 시스템에는 RFID, 초음파등이 대표적으로 사용되고 있다. 하지만 RFID기반의 위치인식 시스템의 경우 대상인식에 대한 거리에 제한이 따르며, 초음파를 이용한 위치인식 시스템의 경우 초음파 센서 사용에 따른 고 전압을 요구하기 때문에 저 전력 기반의 센서 네트워크의 적용에는 무리 따르고 있다.

따라서 본 논문에서는 유비쿼터스 네트워크를 활용한 위치인식 시스템에서 사용 중인 RFID 및 초음파 센서의 이용 시 대상인식의 거리제한 및 고전압사용 등과 같은 문제점을 극복하기 위하여 RSSI기반의 위치인식 시스템을 개발하고 이를 로봇의 위치인식에 활용함으로써 서비스 로봇의 개발에 있어 그동안 실시되어 왔던 단일 플랫폼에 의한 정보처리로 인한 고속 구조적 복잡함에 따른 구현의 어려움과 실시간 인식에 대한 보장이 어려운 단점을 보완하고자 한다.

II. 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 위치인식 시스템

2.1. RSSI(신호강도) 기반 거리 정보 획득

RSSI(Received Signal Strength Indicator)는 수신된 신호의 강도를 나타내는 회로 또는 표시를 나타내는 것으로 그림 1은 2.4Ghz대역의 RF Transceiver인 CC2420의 RSSI 회로를 나타낸 것이다. 전송노드로부터 신호가 들어오면 AD컨버터를 통하여 디지털 신호로 변환한 후 이를 디지털 채널 필터링을 실시하고 RSSI 변환기를 통하여 RSSI값을 입력 받는다. 이러한 RSSI값은 8bit값을 가지고 레지스터에 저장되어지며 8주기에 대한 평균값을 가지고 구해진다.

이러한 RSSI는 수신단자에서 수신한 메시지의 신호세기를 측정함으로써 획득되며, 수신단자에서 다시 메시지를 송신하고자 할 때 입력받은 RSSI를 기준으로 메시지 수신측에 정확한 메시지를 송신하기 위하여 신호세기를 조절하기 위해 사용된다[3].

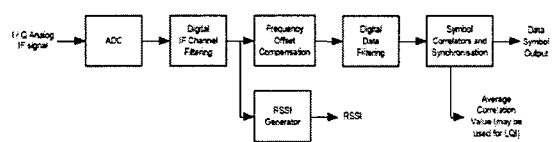


그림 1. 수신노드의 복조기 블록 다이어그램
Fig. 1. Demodulator Simplified Block Diagram

이러한 RSSI를 기반으로 거리정보를 획득하기 위하여 RF Transceiver의 출력 신호세기를 일정량으로 정의하고 이를 바탕으로 센서노드에 메시지를 송신하면 센서노드는 수신한 메시지의 RSSI를 메시지 구조에 맞게 정의하고 다시 송신한다. 그림 2는 이러한 RSSI강도를 거리 값에 따라 정량화 한 것이다.

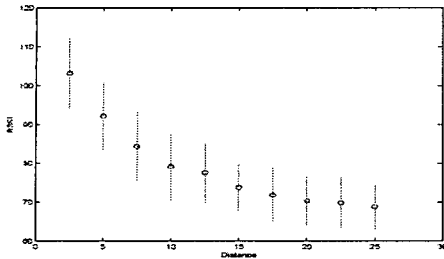


그림 2. 신호강도 대비 거리정보

Fig. 2 Deviation of the signal strengths for each distance

그림 2는 노드간 거리에 대하여 각 2.5m를 기준으로 RSSI를 계측하여 이에 대한 정략적 데이터를 산출한 것으로 이를 기반으로 노드로부터 들어오는 신호의 강도에 따른 거리 값을 산출 한다[4].

2.2. 삼각측량

삼각측량을 통한 거리 측정방식은 여러 개의 기준점 으로부터 RSSI를 받아드려 이를 신호 강도대비 거리 값으로 환산하여 거리를 측정하여 이를 수식 1을 통하여 물체의 좌표 값을 계산한다[5]. 2차원으로 물체의 위치를 계산 하려면 그림 2와 같이 동일 직선상에 있지 않은 세 점으로부터 거리를 측정한다. 3차원 위치를 계산하려면 동일 직 선상에 있지 않은 네 점으로부터 거리를 측정한다[6].

$$\begin{bmatrix} (x_r - x_1)^2 + (y_r - y_1)^2 \\ (x_r - x_2)^2 + (y_r - y_2)^2 \\ (x_r - x_3)^2 + (y_r - y_3)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1^2 \\ R_2^2 \\ R_3^2 \end{bmatrix} \text{-----}(수식1)$$

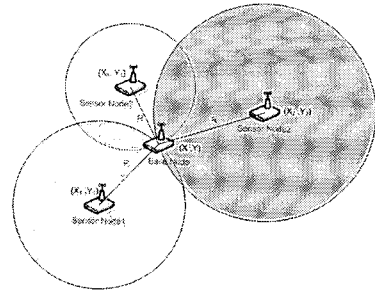


그림 3. 거리측정을 이용한 2차원 위치인식

Fig. 3. 2'nd dimension localization using distance calculation

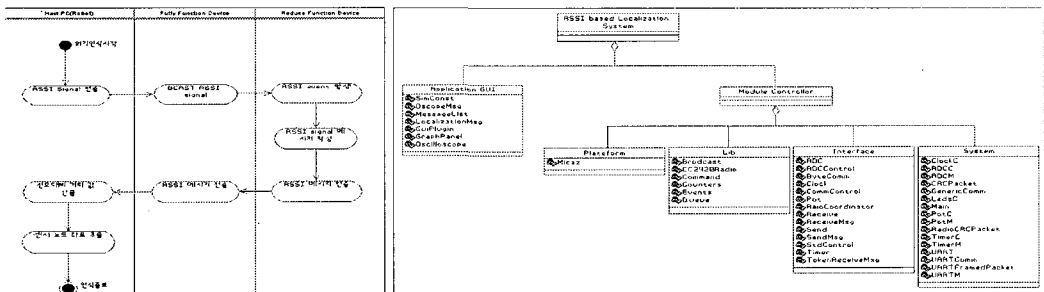
2.3. 환경인식 및 위치인식 시스템 동작 시나리오

센서노드를 통하여 획득된 센서 정보는 1.2초단위로 각 센서에 대하여 5개의 샘플링 데이터를 베이스 노드에 전송한다. 베이스 노드는 자신의 주변의 이러한 센싱 데이터를 받아 UART 통신을 통하여 상위 호스트 PC로 전송하고 호스트 PC에는 Java로 구현된 GUI를 통하여 이를 실시간으로 확인할 수 있다.

사용자는 이러한 Java GUI를 통하여 평시 주변 환경에 대한 모니터링을 할 수 있으며 베이스 노드의 현재 위치를 확인하기 위하여 위치확인 메시지를 전송한다.

호스트 PC에서 UART 통신을 통하여 베이스 노드에 위치인식 메시지 전송을 요청하면 베이스 노드는 이러한 메시지를 브로드캐스팅방식을 통하여 주변의 센서노드에 송신한다.

센서노드는 베이스노드로부터 위치인식메시지를 수신하면 수신한 메시지의 RSSI를 입력받아 자신의 메시지



(a)액티비티 다이어그램

(a) Activity Diagram

(b)클래스 다이어그램

(b) Class Diagram

그림 4. UML으로 표현된 시스템

Fig. 4 Representation of System using UML

구조의 데이터 저장 어드레스에 저장하고 이를 패킷으로 묶어 다시 베이스 노드 단자로 전송한다.

베이스노드는 이러한 위치인식 메시지를 받아 다시 호스트 PC에 전송하고 호스트 PC는 각 노드의 RSSI 강도를 받아 데이터베이스에 저장된 신호강도 대비 거리 값에 대한 정량적 데이터와 비교하여 센서 노드별 베이스 노드와의 거리를 산출한다.

센서 노드에서부터 베이스노드까지의 거리 값 및 각 센서노드의 좌표 값을 바탕으로 삼각측정법에 따라 베이스노드의 좌표를 산출한다.

산출된 베이스 노드의 좌표정보는 Java GUI를 통하여 호스트 PC에 각 센서노드에서 받은 RSSI강도 및 거리 값과 함께 출력된다.

그림 4의 (a)는 이러한 과정 중 위치인식과정을 UML의 Activity Diagram으로 나타낸 것이며, (b)는 센서 네트워크 모듈 컨트롤과 관련된 TinyOS내부 클래스 및 호스트 PC의 사용자 인터페이스 관련 클래스를 Class Diagram으로 나타낸 것이다.

III. 시스템 구성 및 구현

3.1. 시스템 구성

유비쿼터스 센서 네트워크 기반 위치인식 시스템을 위하여 그림 5와 같은 시스템을 구성하였다.

일정 공간에 배치될 4개의 센서 노드와 이들에 대한 센서 데이터 및 위치정보를 입력받을 베이스 노드로 구성하였다. 센서 네트워크 모듈은 Crobow사의 Micaz와 동일한 스펙을 갖는 2.4GHz대역의 Zigbee 통신 프로토콜을 사용하였으며, 51핀 외부 확장 커넥터를 통하여 주변 환경에 대한 정보를 수집할 센서 모듈을 부착하고 베이스노드로 주변 환경정보에 대한 정보를 전달하도록 한다.

호스트 PC는 이동노드에 대한 위치인식을 위하여 모바일 PC를 사용한다.

베이스 노드에는 호스트 PC와 UART통신을 위하여 Crobow사의 MIB 510 interface board를 설치하여 센서 노드에서 들어오는 정보를 수집할 수 있도록 구성된다.

호스트 PC를 통하여 전달된 데이터는 Java를 통해 사용자 인터페이스를 제공한다. 센서 값에 대한 모니터링과 위치 인식에 따른 좌표정보를 출력한다.

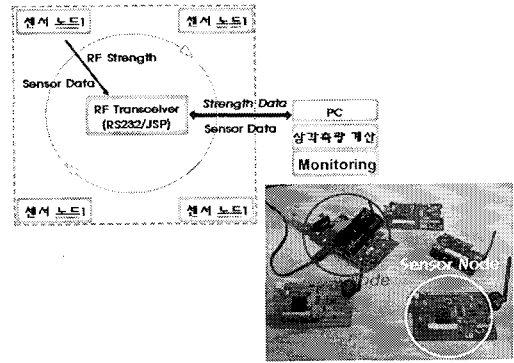


그림 5. 위치인식 시스템 구성
Fig. 5. Localization System configuration

3.2. 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈 구현

유비쿼터스 센서 네트워크 모듈은 크게 3가지 구성요소를 갖는다. 2.4GHz대역의 센서 네트워크 프로토콜인 Zigbee 통신을 지원하기 위한 RF Transceiver와 센서로부터 수집된 정보를 보관하거나 이들에 대한 Task Plan을 저장할 수 있는 메모리와 이들에 대한 정보처리를 담당하는 MCU(Micro Control Unit)으로 구성되어 있다.

RF Transceiver는 Chipcon사의 CC2420을 선정하였으며, MCU는 ATMEGA사의 ATmega128L을 External Memory는 ATMEGA사의 Flash memory인 AT45041DB를 사용하였다. 이는 CrossBow사의 Zigbee 무선 센서 모듈인 Micaz와 동일한 스펙이다.

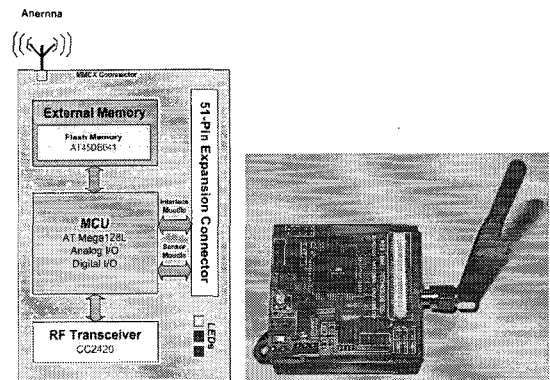


그림 6. 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈
Fig. 6. Ubiquitous Sensor Network module

전체 모듈의 구성은 그림 6과 같으며 51-핀 외부 확장 커넥터를 통하여 센서 및 인터페이스 보드와 연결된다.

LED는 Application 이벤트 발생에 따른 동작 유무를 확인하기 위하여 장착한다. 또한 전압 레귤레이터를 장착하여 센서 모듈의 구성을 위하여 6V전압을 별도 출력할 수 있도록 설계되었다.

이러한 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈은 기능에 따라 Fully Function device와 Reduced Function device로 분류되었으며 Fully Function device에는 자신의 소속 노드들로부터 전달되는 센서 정보에 대하여 호스트 PC 또는 로봇의 연산장치로 전송하는 역할을 수행하며 Reduced Function Device는 자신의 해당 필드의 센서 정보를 수집하여 상위의 Fully Function Device로 전송하는 역할을 수행한다.

3.3. RSSI 기반 위치 인식 알고리즘 개발

위치 인식 알고리즘의 개발에 앞서 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈의 제한된 메모리와 CPU 자원의 활용을 위하여 임베디드 OS인 TinyOS를 탑재한다. TinyOS는 저 전력 소비를 위하여 설계되었으며, 센서의 멀티 홉 라우팅 기술 제공으로 거리 제한이 있는 RF통신의 단점을 보완한 OS이다. 또한 Tiny OS 컴포넌트 모델은 소프트웨어적으로 하드웨어를 추상화하기 때문에 개발자들이 쉽게 모듈들을 조합해 하나의 애플리케이션을 만들 수 있다. 때문에 Tiny OS는 통합 및 교체 등이 용이한 객체 관점에서 기술되어진 OS라고 볼 수 있다.

이러한 TinyOS는 nesC (Network Embedded System C)로 작성되어 있으며 이를 이용하여 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈의 제어 알고리즘을 작성한다.

그림 7의 알고리즘은 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈 제어 알고리즘의 일부분으로 그림 7 (a)는 수신한 신호에

대하여 신호 강도를 그림 (b)의 메시지 구조에 따라 다시 송신측에 전달한다.

유비쿼터스 센서 네트워크 모듈에서 전달되는 RSSI 신호를 바탕으로 거리측정 및 좌표계산은 호스트 PC에서 실시하도록 한다.

호스트 PC의 전체 알고리즘은 Java로 구현되었으며 상시 RSSI신호를 받아 위치 추적 및 인식을 실시하지 않고 평시에는 주위 환경에 대한 센서 데이터만을 수집하고 사용자가 주변 노드 혹은 호스트 PC의 위치를 확인하고자 하면 별도의 RSSI 요청 메시지를 전송하도록 한다.

IV. 실험 및 고찰

실험을 위하여 그림 8과 같은 Test-bed환경을 구축하고 모바일 PC를 호스트로 이용함으로써 이동 간 좌표정보 획득에 대한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 센서 노드에 대하여 임의의 좌표를 지정하고 이를 호스트 PC의 데이터베이스에 저장하여 절대좌표축을 지정한다.

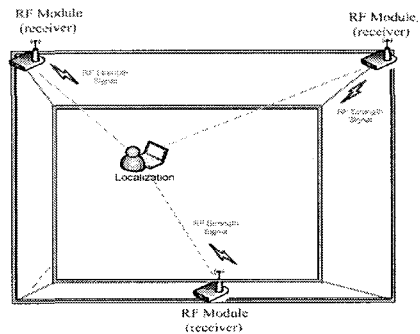


그림 8. 위치인식 테스트 베드 구현
Fig. 8. Localization Test-bed

호스트 PC의 Java로 구현된 GUI는 TinyOS의 Oscope app를 바탕으로 하였다. Oscope app는 센서노드로부터 수신한 센서 데이터를 그래픽으로 표현해 주는 역할을 수행한다.

```

event TOS_MsgPtr LocalMsg_receive(TOS_MsgPtr m) {
    struct oscoperesetmsg "Local";

    atOMIC {
        Local=(struct LocalizationMsg)*m_msg.data;
        Local->rssI = m->strength;
        Local->lqi = m->lqi;
        Local->channel = 1;
        Local->sourceNodeID = TOS_LOCAL_ADDRESS;
    }

    if (call LocalSend.send(TOS_UART_ADDR, sizeof
        (struct LocalizationMsg), &LocalMsg))
        call Leds.greenToggle();

    return m;
}
event result_t LocalSend_sendbone(TOS_MsgPtr zone,
    result_t success)
{
    return SUCCESS;
}

enum {
    BUFFER_SIZE = 30
};
struct oscopermsg
{
    uint16_t sourceNodeID;
    uint16_t lastSampleNumber;
    uint16_t channel;
    uint16_t data[BUFFER_SIZE];
};
struct LocalizationMsg
{
    uint16_t rssI;
    uint16_t lqi;
    uint16_t channel;
    uint16_t sourceNodeID;
};
enum {
    AN_OSCOPMSG = 10,
    AN_LOCALIZATIONMSG = 3,
};
    
```

(a) 메시지 전송 알고리즘 (b) 메시지 구조
(a) Message sending algorithm (b) Message Structure

그림 5. RSSI 정보 전송 알고리즘 부분
Fig. 7 RSSI data sending algorithm

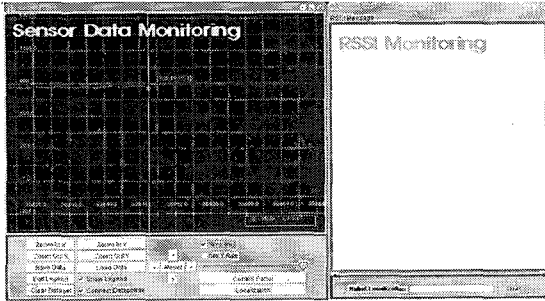


그림 9. 위치인식 및 환경인식 GUI
Fig. 9. Graph User Interface for Localization

그림 9와 같이 사용자가 현재 위치에 대하여 확인하기 위하여 위치인식 메시지 관련 GUI를 별도로 구현하였다. 메시지 리스트를 통하여 각 센서 노드에서 수신한 메시지를 출력하고 수신된 거리정보를 바탕으로 위치정보를 출력한다.

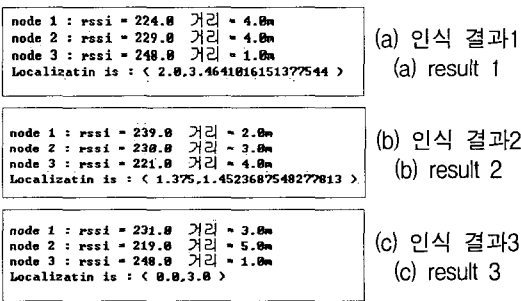


그림 10. RSSI 수치에 따른 위치인식 결과
Fig. 10. Localization result

노드 1과 노드 2는 Crosbow사의 Micaz를 사용하였으며 노드 3은 개발 보드를 사용하였다. 따라서 노드 1, 2의 RSSI 기준을 노드 3과 별도로 측정하여 작성하였다. 측정된 거리 값을 기준으로 Java를 통하여 입력받은 RSSI강도에 따른 거리 값으로 환산하여 좌표정보를 획득하였다. 거리 값은 1m 간격으로 총 5m로 각 m간격으로 RSSI 신호를 측정하여 이에 따른 거리 값을 구한 것이다. 이에 대한 결과는 그림 10와 같으며 그림 11은 좌표정보를 바탕으로 그래픽으로 나타낸 것이다.

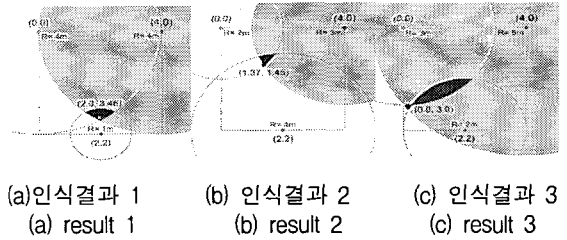


그림 11. 위치인식 그래프
Fig. 11. Localization Graph

실험 결과와 같이 RSSI신호의 세기에 따른 거리를 환산하여 이를 기반으로 임의의 노드에 대한 좌표정보를 확인하였다.

좌표정보의 경우 실제 좌표 값과 비교하였을 때 $\pm 30 \sim \pm 40\text{cm}$ 의 오차정도를 가지고 있었으며 이는 RSSI가 지속적으로 일정하게 입력되는 것이 아니라 주변 환경 및 장애물에 따른 간섭으로 인하여 발생한 것으로 이는 센서노드의 확장을 통하여 해결할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 네트워크를 활용한 위치인식 시스템에서 사용 중인 RFID 및 초음파 센서의 이용 시 대상인식의 거리제한 및 고전압사용 등과 같은 문제점을 극복하기 위하여 RSSI기반의 위치인식 시스템을 개발하고 이를 센서 네트워크에 적용하고자 하였다. 이를 위하여 2.4Ghz대역의 센서 네트워크 표준 프로토콜인 Zigbee 기반 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈을 구현하였다.

이를 바탕으로 주변 환경인식 및 위치인식을 위한 Test-bed를 구축하고 센서 노드로부터 수신된 RSSI 메시지를 바탕으로 신호강도대비 거리값을 추출하여 각 센서 노드와 호스트 PC간의 거리를 산출하였다. 산출된 거리 값을 바탕으로 삼각측정법을 통하여 호스트 PC의 위치를 산출하였다.

구현된 유비쿼터스 센서 네트워크 모듈에 대한 제어는 TinyOS기반의 NesC를 통하여 센서데이터 전송 및 RSSI 데이터 전송을 위한 메시지 구조 및 전송 알고리즘을 정의하였으며 Java를 통하여 베이스 노드와 시리얼 통신을 통한 제어 및 사용자 기반 인터페이스를 구현하였다.

이러한 RSSI기반의 위치 인식 시스템은 수신된 측의 전계강도를 기준으로 RF신호의 송신측의 전계강도 대비 거리 값을 기준으로 대상으로 부터의 거리를 추출하는 방법으로 초음파 센서기반의 위치 인식 시스템보다 정확도는 떨어지는 단점이 있으나 별도의 센서의 사용 없이 RF 신호 전송만을 통하여 인식이 가능하며 데이터 전송 패킷의 사용이 적으며, RF신호 전송만으로 거리정보를 측정함에 따라 센서 데이터의 제한을 최소화 할 수 있다.

또한 이를 로봇의 위치인식에 활용함으로써 유비쿼터스 서비스 로봇의 개발에 있어 그동안 실시되어 왔던 단일 플랫폼에 의한 정보처리로 인한 고속 구조적 복잡함에 따른 구현의 어려움과 실시간 인식에 대한 보장이 어려운 단점을 보완할 수 있을 것으로 분석된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산학협력 중심대학의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 권영도, Network 기반 공공도우미 로봇, 주간기술동향 통권 1180호
- [2] Kenichi OHARA, Kohtaro Ohba, Bong Keun Kim, Tamio Tanikawa, Shigeoki Hirai, System Design for "Ubiquitous Robotics" with Functions
- [3] CC2424 Data sheet, 34page
- [4] Mihail L. Sichitiu and Vaidyanathan Ramadurai, Localization of Wireless Sensor Network with a Mobile Beacon July 2003
- [5] Sung-Bu Kim*, Gi-Gun Nam*, In-Ock Lee** and Jang-Myung Lee*, Indoor Localization Scheme of a Mobile Robot Applying RFID Technology, The 2nd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence
- [6] Paul Hill and Arkady Zaslavsky, Improving Location Accuracy by Combining WLAN Positioning and Sensor Technology

저자소개

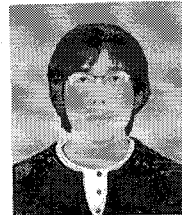
최 형 윤(Hyeong-Yoon Chio)



조선대학교 전자공학과 졸업
순천대학교 전자공학과 공학석사
현 동대학 공학박사과정수료

※관심분야: 로봇 커뮤니티케이션, 센서 네트워크

박 진 주(Jin-Joo Park)



순천대학교 전자공학과 졸업
현 동대학 석사과정

※관심분야: 로봇 위치인식, 센서 네트워크

문 용 선(Young-Sun Moon)



조선대학교 전자공학과 졸업
동대학 전자공학과 공학석사
동대학 전자공학과 공학박사
현 순천대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 로봇 정밀제어, 공장자동화 시스템