

광역에서의 다중로봇 위치인식 기법

Localization of Multiple Robots in a Wide Area

양 태 경, 최 원 연, 이 장 명*

(Taekyung Yang, Wonyeon Choi, and Jangmyung Lee)

Abstract: The multiple block localization method in a wide area for multiple robots using iGS is proposed in this paper. The iGS is developed for the indoor global localization using ultrasonic and RF sensors. To measure the distance between a mobile robot and a beacon, the tag on the mobile robot wakes up one beacon to send out the ultrasonic signal and measures the traveling time from the beacon to the mobile robot. As the number of robots is increased, the sampling time of localization also becomes longer. Note that only one robot can localize its own position calling beacons one by one during each of the sampling interval. This is a severe constraint for the localization of multiple robots in a wide area. This paper proposes an efficient localization algorithm for the multiple robots in a wide area which can be divided into multiple blocks. For a given block, a master beacon is designated to synchronize robots. By the access of the synchronization signal, each beacon in the selected group sends out an ultrasonic signal. When the robots in the block receive the ultrasonic signal, they can calculate their own locations based on the distances to the beacons, which are obtained by the multiplication of flight time and velocity of the ultrasonic signal. The efficiency of the algorithm is verified through the real experiments.

Keywords: multiple robots, multiple blocks, localization, synchronization, beacon

I. 서론

모바일 로봇의 보급이 증가함에 따라 공공 서비스 및 가정용으로 활용되기 위하여 실내와 실외에서의 절대 위치 인식의 중요성이 커지고 있다[1]. 로봇이 이동하거나 위치하고 있는 지점을 파악하는 것이 모든 시스템에 있어 기본적인 최우선적인 문제이기 때문이다.

위치인식 시스템은 다양한 센서가 사용되어 연구되고 있다. 초기에는 엔코더, 자이로, 전자나침반 등의 센서를 이용하여 상대적인 위치를 파악하는 연구가 진행되었으나 주행거리가 길어질 경우 미끄러짐, 적분에 의한 누적 오차 문제, 외부환경에 민감한 문제가 발생되었다[2-4]. 2000년대 이후에는 상대 위치측정의 문제점을 해결할 수 있는 절대 위치측정 기술이 대두되고 있다. DGPS를 이용한 위치측정 연구[5]가 활발히 이루어졌지만 건물 안이나 터널과 같이 신호를 받을 수 없는 실내에서는 측정이 불가능하여 로봇에 대한 적용은 저조한 편이다. 최근 자이로 센서와의 융합을 통하여 내비게이션 시스템에서 dead-reckoning 기법으로 GPS의 단점을 보완하는 제품이 개발되어 상용화되어 있으나, 로봇에 적용하기에는 오차가 크다는 단점이 있다[6,7]. GPS를 대체하여 IR, laser, vision, 무선네트워크, 초음파 등을 이용한 위치 인식 기술이 연구되고 있다. 적외선[8]은 외부 빛에 의한 노이즈가 많고, 레이저[9]는 360도 회전을 하면서 반사체에 반사되는 신호를 감지하여 정밀한 위치측정을 하나 가격이 비싼 단점이 있으며 비전 센서[10]는 조명과 해상도에 따라 처리 조건 변화 및 데이터 처리량이 많아진다. 무선네트워크 기반의 Zigbee[11], UWB[12] 등은 50cm 이내의 오차를 가지지만 반복 정밀도(repeatability)에서 오차가 매우 크다는 단점이 있다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 10., 수정: 2009. 12. 9., 채택확정: 2009. 12. 15.

양태경, 최원연, 이장명: 부산대학교 전자전기공학과

(yanpga@pusan.ac.kr/choi1425wy@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

초음파 센서는 신호 감쇠가 커 장거리 신호 전송이 어렵고 반사파 등의 노이즈로 신호간섭이 받기 쉬운 단점이 있으나, 가격이 비교적 저렴하여 경제성을 갖추고 있고 시스템 적용이 용이할 뿐만 아니라 거리 측정 정밀도가 우수하여 active bat, cricket, iGS 등 다양한 위치인식 시스템에 사용되고 있다 [13-15].

본 논문에서는 iGS를 응용하여 로봇 하나만의 위치인식에서 벗어나 보다 넓은 영역에서 다수의 로봇을 효율적으로 위치인식하는 기법을 제안한다. 로봇의 수가 증가함에 따라 발생할 수 있는 샘플링 타임 증가 문제를 해결하고, 이동로봇의 위치 오차발생을 줄이기 위한 비컨 그룹화 알고리즘을 소개한다. II 장에서는 RF와 초음파를 이용한 실내위치인식시스템인 iGS에 대하여 소개하며, III 장에서는 블록확장을 위한 로봇 동기화와 비컨 그룹화 알고리즘을 설명한다. IV 장에서는 제안한 알고리즘의 타당성을 실험을 통하여 검증하며 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. iGS 시스템

1. 시스템 구성

본 연구를 위하여 부산대학교 지능로봇연구실과 ㈜나인티 시스템이 공동 제작한 실내외 위치추정 시스템인 iGS (indoor global-localization system)를 사용하였다. 그림 1과 같이 iGS는 격자구조 공간에 최소 3개의 비컨이 위치하고 1개의 localizer는 모바일 로봇의 상단에 설치되어 localizer의 RF 송신부에 의해 특정 ID를 가진 비컨이 호출하게 되고 호출된 비컨으로부터 송출된 초음파를 localizer의 수신부로 수신함으로써 초음파의 비행시간(time of flight)을 이용하여 각 비컨과 localizer 사이의 계산된 거리, r 를 이용해 삼변측량(trilateration)의 방법으로 모바일 로봇의 절대 위치를 추정하는 시스템이다.

그림 2는 iGS 시스템 내부의 비컨과 localizer간 운영구조를 나타낸 것이다. Localizer에서 특정 비컨을 호출하는 ID를 RF

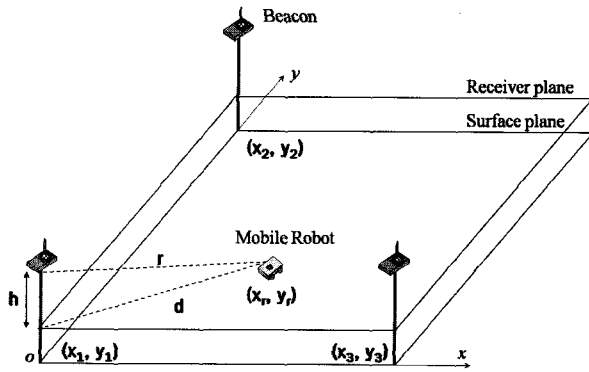


그림 1. iGS 개념도.
Fig. 1. Fundamental concept of iGS.

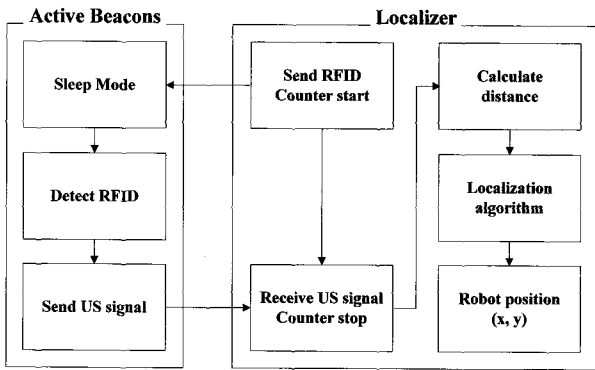


그림 2. iGS의 운영구조.
Fig. 2. iGS block diagram.

통신으로 송신하게 됨과 동시에 카운터를 시작하고 sleep mode에서 대기하고 있던 각 비컨은 RFID를 수신하여 자신의 ID과 같다고 판단이 되면 초음파 신호를 발신하게 되며 localizer가 초음파 신호를 수신할 때까지의 카운터 값을 이용하여 거리를 계산한다.

2. 동작원리 및 위치측정

초음파의 비행시간(TOF)를 측정하기 위해서는 특정 비컨이 호출된 시점으로부터 음파를 송신한 시점까지의 매질 및 비행 속도가 고려되어야 하며 비행시간을 통하여 localizer와 비컨 간의 거리를 구할 수 있다. 비컨을 호출하는 RF신호의 시간은 초음파의 속도에 비해 빠르므로 무시하며, 다음 식으로부터 비컨과 localizer간의 거리값, r 을 계산할 수 있다.

$$r[m] = v \times t_{TOF} \tag{1}$$

$$v[m/sec] = 331.5 + 0.6 \times T \tag{2}$$

$$t_{TOF} = n \times t_c \tag{3}$$

v 는 음파의 전파속도, t_{TOF} 는 초음파 신호의 비행시간, $T[^\circ C]$ 는 섭씨 실내온도, n 은 타이머 카운터, t_c 는 카운터 주기를 나타낸다. 음파는 온도의 영향을 받으므로 실내 온도를 고려하여 줌으로써 정확한 거리값을 계산할 수 있으며, 다음 식에 의하여 비컨과 localizer간의 평면 거리, d 를 구할 수 있다[그림 1].

$$d = \sqrt{r^2 - h^2} \tag{4}$$

h 는 로봇에 설치된 localizer로부터 비컨까지의 높이를 나타내며, 그림 1에서와 같이 원점 o 를 기준으로 하는 세 비컨의 절대 좌표를 각각 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 라 하고 비컨과 localizer간의 거리를 각각 d_1 , d_2 , d_3 라 하면 모바일 로봇의 절대 위치 좌표, (x_r, y_r) 는 삼변측량에 의하여 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (x_r - x_1)^2 + (y_r - y_1)^2 \\ (x_r - x_2)^2 + (y_r - y_2)^2 \\ (x_r - x_3)^2 + (y_r - y_3)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 \\ d_2^2 \\ d_3^2 \end{bmatrix} \tag{5}$$

위의 방정식을 연립하여 정리하면, 식 (6)과 같이 로봇의 좌표값을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \end{bmatrix} = P^{-1}Q \tag{6}$$

위 식에서

$$P = \begin{bmatrix} 2 \cdot (x_2 - x_1) & 2 \cdot (y_2 - y_1) \\ 2 \cdot (x_3 - x_2) & 2 \cdot (y_3 - y_2) \end{bmatrix},$$

$$Q = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \\ d_2^2 - d_3^2 + x_3^2 - x_2^2 + y_3^2 - y_2^2 \end{bmatrix}$$

이다.

III. 블록확장 알고리즘

1. 로봇 동기화(synchronization)

실내의 위치인식 시스템(iGS)을 사용한 위치측정 시 로봇에 장착된 태그에서 비컨까지의 거리 측정이 일대일 방식으로 이루어지므로, 로봇의 수가 증가하거나 블록이 확장되는 경우 샘플링 주기가 늘어나기 때문에 로봇의 위치 오차에 미치는 영향이 커지게 된다. 이를 해결하기 위해 로봇 동기화를 이용하여 샘플링 타임을 획기적으로 줄일 수 있는 방안을 제안한다.

기존의 시스템에서는 3-4개의 비컨이 하나의 블록을 구성하게 되고 단일 로봇의 위치 인식을 하게 된다. 하지만 다수의 로봇이 존재하는 공간에서는 각기 다른 로봇에 의해 호출된 비컨의 초음파 신호가 상호 간섭을 일으켜 비행시간(TOF) 측정에 치명적인 오차를 발생시킬 수 있으며 스케줄링(scheduling)에 의하여 차례대로 위치인식을 할 수 있는 방법도 있으나 로봇의 위치인식 주기가 길어짐으로 공간 내에서 이동하는 물체의 위치인식에 제약이 따른다. 로봇들의 동기화를 통하여 신뢰성 있는 거리 데이터 정보를 획득하여 다수의 이동로봇에 적용이 가능하도록 한다. 로봇 동기화 방식이란 로봇이 어느 비컨이 초음파를 송출하는지를 구분하기 위해서 사용되는 방식이며 동기화에 의하여 다수의 로봇이 동시에 하나의 비컨으로부터 나오는 초음파 신호를 수신하고 거리값을 계산할 수 있다.

동기화에는 Zigbee의 mesh topology가 사용된다. 마스터 비컨에 설치되는 coordinator를 통하여 로봇에게 특정 비컨 ID를 알려줌과 동시에 마스터 비컨은 해당 비컨을 호출하여 초음파 신호를 송출하게 하며, router를 통하여 비컨 ID를 받은 localizer는 초음파 신호 수신 대기 및 카운터를 시작한다. 마

스터 비컨은 Zigbee를 사용하여 로봇 동기화 신호를 내보내어 비컨 ID를 로봇에 알려주고, RFID를 통하여 해당 비컨을 호출하여 초음파 신호를 송출하게 하는 역할을 하게 된다. 그림 3와 같이 coordinator에서 다수의 router를 동시에 호출할 수 있는 broadcasting 방식을 기존 시스템에 도입함으로써 시스템 내부의 로봇이 비컨 ID 구분을 할 수 있게 되고, unicasting을 통해 외부 PC에서 각 로봇의 위치정보 파악이 가능해져 전체적인 시스템 관찰이 가능하다. 표 1에서는 호출되는 특정 그룹 구분을 위하여 데이터 패킷을 정의하였다. 데이터 패킷을 통하여 로봇은 초음파를 수신하기에 앞서 어느 비컨으로부터 오는 초음파 신호인지를 구분할 수 있게 된다. 예를 들어 그룹 2가 호출될 시 마스터 비컨은 로봇에게 [02 12 03]의 데이터를 전송함으로써 로봇이 비컨 그룹을 구

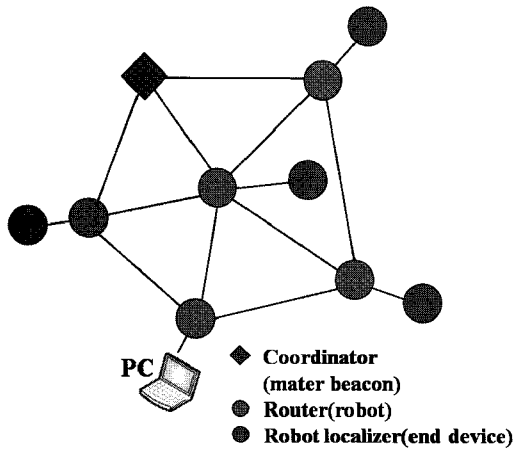


그림 3. 메쉬를 사용한 동기화.
Fig. 3. Synchronization using mesh topology.

표 1. 데이터 패킷.

Table 1. Data packet.

Beacon ID	Start	Data	End
Group 1	02	11	03
Group 2	02	12	03
Group 3	02	13	03
Group 4	02	14	03
Localization data	02	FF ... FF (11 bytes)	03

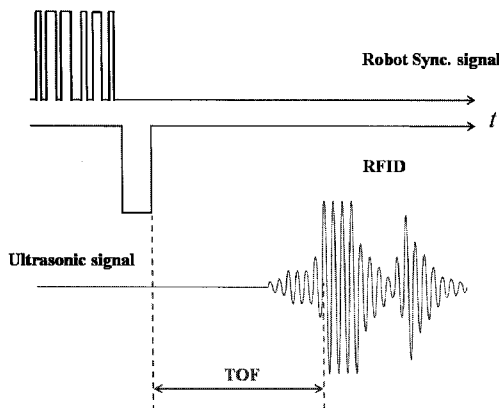


그림 4. 초음파의 비행시간.
Fig. 4. Time of flight.

분할 수 있게 하였다. 각 로봇에서 계산된 위치 정보를 외부 PC에서 확인할 수 있도록 하여 시스템의 효율성을 높였다. 삼변측량에 의해 계산된 로봇의 좌표값은 11bytes의 데이터를 통하여 사용자 측으로 알려줄 수 있다. 그림 4에서는 로봇 동기화 신호 직후 특정 비컨을 호출하는 RFID 신호가 송출되고 음파의 송신 시점과 localizer의 수신 시점의 시간차이로 식 (1)과 같이 초음파의 전달 속도와 TOF의 곱으로 거리값이 구해짐을 알 수 있다. 로봇 동기화를 통하여 각 로봇들은 비컨 ID를 구분할 수 있으며 block내부의 모든 로봇이 비컨과의 거리값을 동시에 계산할 수 있는 장점을 가지게 된다.

2. 비컨 그룹화 알고리즘

기존 iGS 시스템에서는 초음파 센서의 특성상 음파전달에 있어 신호가 감쇠되는 현상으로 5m×5m 구간을 구성하는데 그쳤으나 블록 확장을 위하여 본 논문에서는 비컨 그룹화 알고리즘을 소개한다. 비컨 그룹화 알고리즘이란 비컨에 동일한 아이디를 부여함으로써 간섭을 최소화하면서 마스터 비컨에 의해 호출될 시 동시에 초음파 신호를 송출할 수 있게 해주는 방법이다. 비컨 ID를 그룹화함으로써 호출되는 비컨의 수를 극대화하여 대기상태에 있는 비컨의 수를 최소화함과 동시에 동기화된 로봇에 효율적인 초음파 신호를 송출할 수 있게 된다.

그림 5에서는 비컨 그룹화 알고리즘의 예로 9개의 비컨으로 4개의 블록을 구성하고 6개의 로봇을 배치하였다. 중앙에 위치한 비컨을 마스터 비컨 및 그룹 1로 지정하고 상하에 위치한 비컨을 그룹 2로 지정하며 각 모서리에 위치한 4개의 비컨은 그룹 3으로 지정하고 나머지 비컨은 그룹 4로 설정한다. 같은 그룹으로 설정된 비컨은 동일한 ID를 가지며 마스터 비컨에 의하여 해당 ID 호출 시 동시에 초음파 신호를 발신한다.

모든 신호는 마스터 비컨에 의하여 제어되며 그룹 1에서 그룹 4까지 차례대로 호출되어 시계방향 또는 반시계방향으로 각각 송신되며 구분을 위하여 로봇의 위치인식에 있어서 최초로 위치한 블록에 대한 정보파악이 필요하나, 최초 위치인식 이후에는 블록간의 이동이나 로봇의 출입에도 강인한 위치인식을 할 수 있는 장점이 있다. 그림 6와 같이 최초 마스터 비컨이 로봇을 그룹 1로 동기화 시킴과 동시에 그룹 1에 해당하는 ID를 호출하게 되고 각 로봇은 카운터를 통해 그룹 1의 비컨에서 나오는 초음파 신호를 받아 거리값을 계

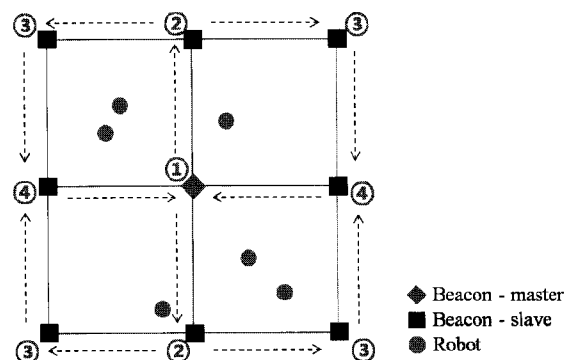


그림 5. 다중로봇 위치인식.
Fig. 5. Multiple robots localization in multi blocks.

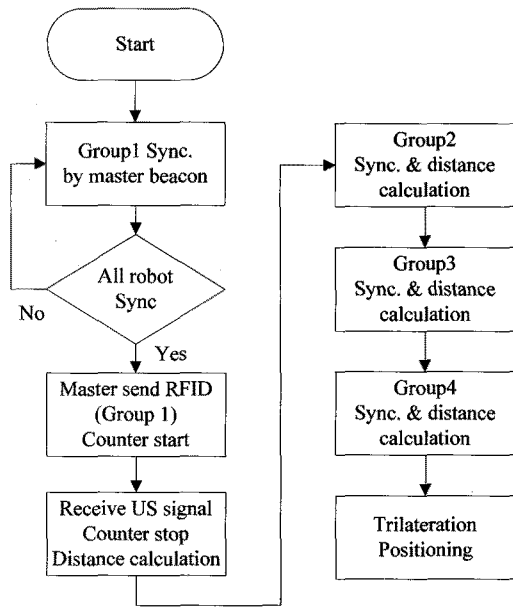


그림 6. 비컨 그룹화 순서도.
Fig. 6. Flowchart of grouping algorithm.

산한다. 다음으로 마스터 비컨은 그룹 2로 로봇을 동기화 시키고 그룹 2에 해당하는 비컨 ID를 호출하여 로봇과 그룹 2의 비컨 사이의 거리값을 측정하게 되고 그룹 3과 4의 경우도 같은 방법으로 신호를 송출하게 되며 동기화된 로봇은 비컨의 그룹을 구분하여 거리값을 수신함으로써 삼변측량을 통해 위치좌표를 파악하게 된다. 로봇의 동기화와 비컨 그룹화 알고리즘을 통하여 기존 로봇이 증가함에 따라 생길 수 있는 샘플링 타임의 증가, 초음파 신호의 혼선 등을 해결할 수 있다.

3. 영역 확장 및 동일그룹 비컨간 간섭 회피 알고리즘

보다 넓은 영역으로 확장하고자 하는 경우 전체 영역에 하나의 마스터 비컨을 두어 전 영역을 제어할 수 있다. 그림 7과 같이 비컨이 배치되어 있는 경우 그룹 1인 비컨을 4개 배치할 수 있고 나머지 그룹은 비컨 그룹화 알고리즘을 통하여 그림 5와 동일한 방법으로 각각 배치할 수 있고 하나의 마스터 비컨이 설치되어 로봇 동기화 및 비컨 호출을 제어한

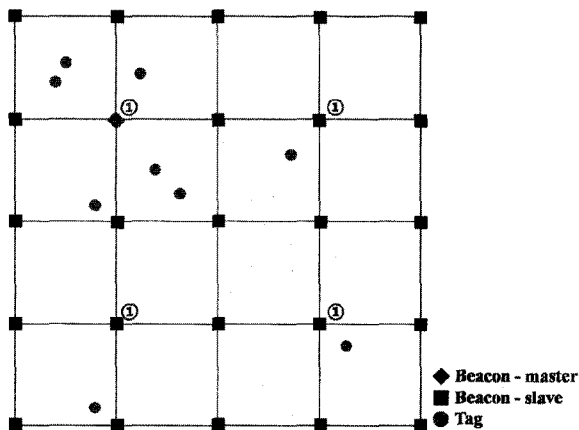


그림 7. 광역에서의 위치인식.
Fig. 7. Localization in a wide area.

다. 동기화에 사용된 Zigbee 모듈은 100m 이상까지 통신이 가능하기 때문에 전 영역의 동기를 맞출 수 있으며 더 큰 영역의 확장 시에는 두 개 이상의 마스터 비컨이 필요하며 마스터 비컨 간의 동기화가 필요하다.

동일 그룹에 속해 있는 비컨은 동일 시점에 신호를 송출하므로 비컨 간의 간섭이 없어야 한다. 그림 8에서는 마스터 비컨에 의해 동시에 호출되어 초음파 신호를 송출하는 그룹 1의 초음파 신호 영역을 볼 수 있다. 초음파의 신호의 감쇠 현상을 고려하여 점선으로 그려진 원 내부로 신호가 전파될 수 있는 최적 구간이라고 설정하였을 때 그룹 안에 속한 4개의 비컨에서 나오는 초음파 신호값이 상호 간섭없이 전파가 가능해진다. 그룹 1 다음으로 호출되는 그룹 2의 경우에서도 그림 9와 같이 비컨 간에 일정한 거리를 유지하고 있으므로 그룹 내부에서 생길 수 있는 신호 간섭을 없앨 수 있다. 그

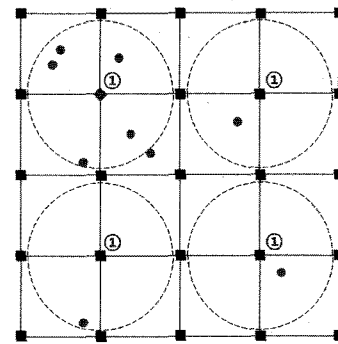


그림 8. 그룹 1 초음파 영역.
Fig. 8. Signal range of Group 1 beacons.

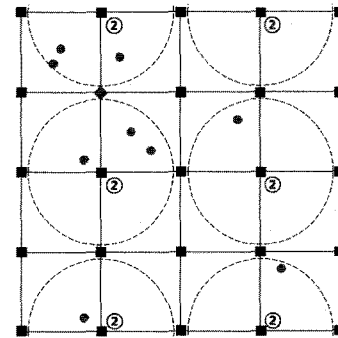


그림 9. 그룹 2 초음파 영역.
Fig. 9. Signal range of Group 2 beacons.

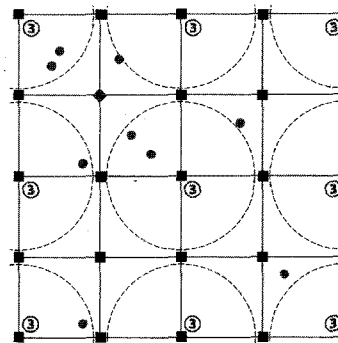


그림 10. 그룹 3 초음파 영역.
Fig. 10. Signal range of Group 3 beacons.

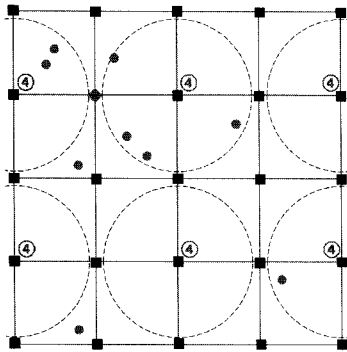


그림 11. 그룹 4 초음파 영역.

Fig. 11. Signal range of Group 4 beacons.

림 10과 그림 11에서는 각각 그룹 3과 그룹 4의 비컨에서 나오는 초음파 신호 영역을 보여주고 있다. 초음파 신호구간이 같은 그룹 내에서 중첩되는 경우도 있으나 블록 구간 크기가 일정하고 먼저 들어오는 초음파 신호를 처리하기 때문에 그룹간 간섭은 발생하지 않는다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험환경

로봇 동기화와 비컨 그룹화 알고리즘을 검증하기 위하여 사용된 iGS, Zigbee를 그림 12에서 나타내었다. iGS는 433Mhz 대역의 RF신호로 비컨을 호출하고 초음파를 수신하는 localizer와 RF신호를 수신하여 초음파를 송신하는 beacon으로 구성되어 있으며, 로봇 동기화를 위하여 Zigbee 모듈이 localizer와 마스터 비컨에 추가적으로 장착된다. Localizer의 연산과 제어를 위해 TI(社) TMS320LF2406A, RF 송신부의 microchip(社) rfPIC12F675F, 초음파 수신부의 Nippon ceramic(社) AR40-10R(40kHz)를 사용하였고, beacon의 제어를 위해 TI(社) MSP430F1101A, 초음파 송신에는 Nippon ceramic(社) AT40-10R(40kHz)를 사용하여 저전력 시스템으로 구성하였고, Zigbee 모듈로는 아이엔테크(社)의 Kmote-B를 사용하여 coordinator와 router를 구성하였다. Kmote-B의 경우 하나의 coordinator를 통한 3개의 router 동기화에 있어 40ms의 주기로 데이터 패킷을 전송할 경우 안정적으로 동기화 됨을 확인할 수 있었다.

2. 블록확장 알고리즘에 의한 광역 위치인식

블록확장 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 격자구조 (1500mm×1500mm)를 하나의 블록으로 설정하고 9개의 비컨으로 구성된 전체 4개 블록에서 3개의 로봇이 동시에 움직일 때의 위치좌표를 획득하였고, 로봇 모터의 인코더 정보를 통하여 얻은 이동로봇의 궤적 데이터와의 비교 및 분석을 하였다. 그림 13에서는 x축과 y축을 기준으로 각 블록이 나뉘어지며 비컨 그룹 1은 (0, 0)에 설치되고 비컨 그룹 2는 (0, 1500), (0, -1500), 비컨 그룹 3은 (1500, 1500), (-1500, 1500), (-1500, -1500), (1500, -1500), 비컨 그룹 4는 (1500, 0), (-1500, 0)에 각각 설치되며 높이는 1150이다[단위: mm]. 그림 14에서는 iGS 시스템으로부터 획득한 좌표값을 표시하였다. 로봇은 원 운동, 대각선 이동, 직진 이동으로 설정하였으며 속도는 약 20cm/s정도의 저속으로 이동하였다. 블록 간의 이동 시에도 최초 위치한 블록정보 파악이 되어 있고 블록의 좌표값만을

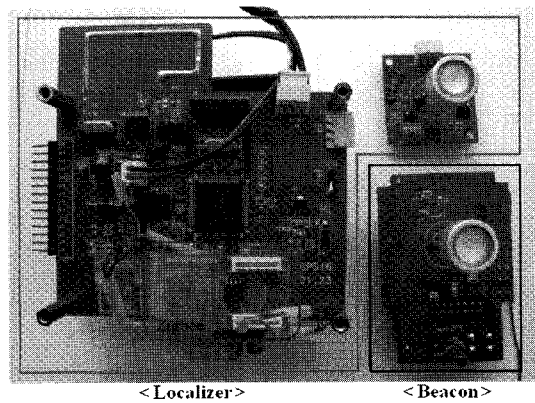


그림 12. iGS 구성과 Zigbee 모듈.

Fig. 12. Experimental system.



그림 13. 실험환경.

Fig. 13. Test environment.

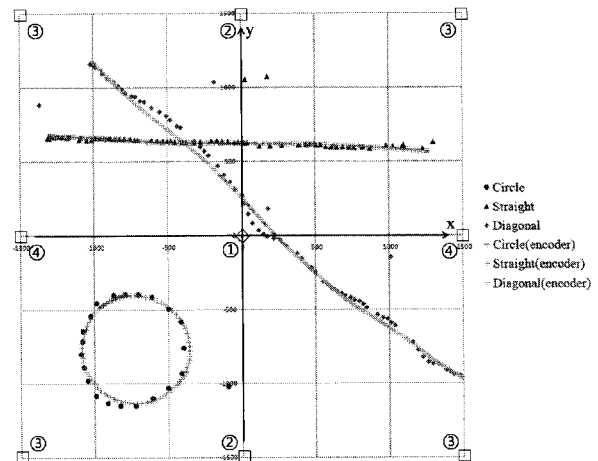


그림 14. 영역 확장 공간에서의 위치추정.

Fig. 14. Localization in a wide area.

고려하여 주기 때문에 효율적인 위치 좌표를 나타낼 수 있으며 로봇의 동기화로 인하여 다수의 로봇이 동시에 위치인식을 함에도 초음파 간섭현상 없이 안정적으로 위치 추정이 가능하였다. 대각선 이동의 경우 블록간의 이동 시에 약간의 왜곡현상이 생기고 한 블록에 위치한 로봇에 비해 오차가 증가하는 현상을 볼 수 있었다. 이것은 비컨 배치로 인해 생긴

표 2. 샘플링 타임 비교[ms].

Table 2. Sampling time of position estimation[ms].

Scan Type	Conventional system round-robin	Proposed system grouping
1st robot	240	240
2nd robot	480	240
3rd robot	720	240

문제으로써 이상적인 정사각형으로 배치함으로써 해결될 수 있다.

표 2에서는 기존의 시스템에서 로봇의 수가 증가함에 따라 샘플링 타임이 늘어나게 되지만 제안된 시스템 내에서는 로봇 개수의 증가에 강한 점을 확인할 수 있다. 하나의 비컨과 로봇과의 거리를 측정하기 위해 걸리는 시간이 약 40ms이므로 격자구간 내에서 4개의 비컨 각각으로부터의 거리정보를 얻기 위해서는 약 160ms의 시간이 소요되며 거리 데이터 값으로 삼변측량에 의해 좌표값 계산을 위해서 다시 80ms의 시간이 소요되므로 최종적으로 하나의 로봇의 위치를 추정하기 위해서는 약 240ms의 샘플링 타임이 필요하다. 하지만 블록 영역이 확장되거나 로봇의 수가 증가할 경우 첫 번째 로봇의 위치추정 시간 동안 다른 로봇은 대기 상태에 있으므로 샘플링 타임이 늘어나는 동시에 위치오차 또한 커지게 된다. 제안된 시스템 내부에서는 한번의 샘플링 타임 내에 블록 안에 존재하는 모든 로봇이 각 비컨으로부터 거리 데이터 값을 획득할 수 있기 때문에 로봇의 수 증가에 강인하게 대처할 수 있게 된다.

3. 위치오차의 평가 및 노이즈 필터링

초음파를 이용하는 현재 시스템에서는 반사파를 직접파로 오인하여 생기는 오차가 발생되어 잘못된 거리 데이터 값으로 삼변측량이 이루어 진다면 부정확한 위치 좌표를 추정하게 되므로 이에 대한 보완책이 필요하다. 과거의 세 개의 좌표값으로 최소자승법을 이용하여 이동 궤적을 예상할 수 있고 최소자승법에 의한 궤적과 비교하여 100mm 이상의 오차 값을 가지는 데이터에 대해서는 필터링하였다.

그림 15에서는 원운동을 하고 있는 로봇, 그림 16에서는

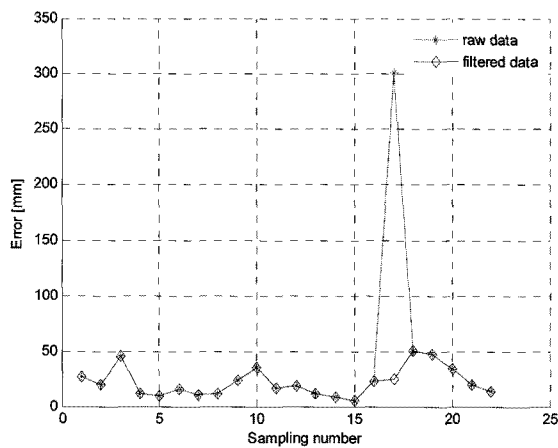


그림 15. 원운동 로봇의 위치오차.

Fig. 15. Localization error of circular movement.

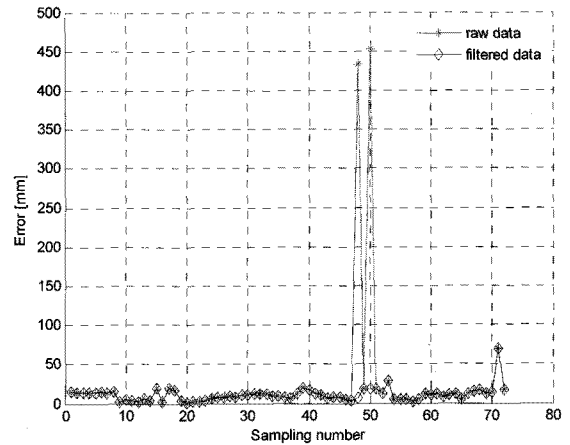


그림 16. 직선 이동로봇의 위치오차.

Fig. 16. Localization error of straight movement.

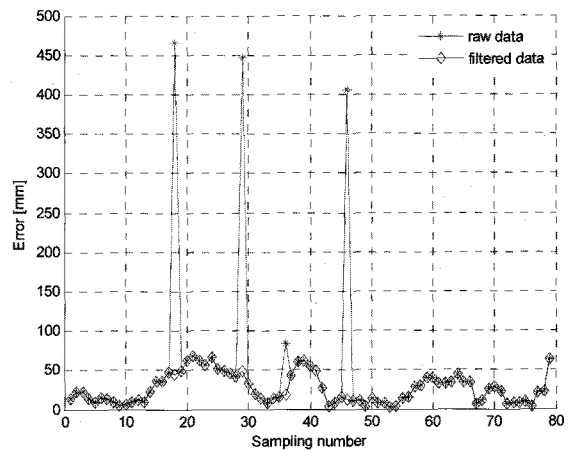


그림 17. 대각선 이동로봇의 위치오차.

Fig. 17. Localization error of diagonal.

직선운동을 하고 있는 로봇 그리고 그림 17에서는 대각선으로 이동하고 있는 로봇의 위치오차를 각각 나타내었다. 세 로봇의 경우 모두 5% 이하의 오차율을 가지는 것을 확인할 수 있었고 노이즈 필터링을 거친 후 보다 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있었다. *는 실제 데이터이며 ◇는 필터 이후의 값을 나타낸다. 이로써 확장된 영역에서의 비컨 그룹화를 통하여 비컨 호출을 최적화하고 로봇 동기화를 통하여 동시에 위치추정이 가능한 본 알고리즘의 적용이 타당함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문은 로봇의 위치추정에 있어 영역이 확장되는 광역에서 다수의 로봇이 보다 효율적으로 위치인식할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 시스템에서는 블록 내부에 하나의 로봇만이 존재하여 비컨과의 일대일 통신으로 거리측량 및 위치추정이 가능하고, 초음파의 특성상 거리가 멀어질수록 신호 감쇄 현상과 반사파의 영향으로 인한 단일 블럭의 위치인식으로 한계가 있으며 시스템 내부에 로봇의 수가 늘어날 경우 간섭회피를 위하여 순차적으로 위치정보를 획득해야 때문에 대기상태에 있는 나머지 로봇의 위치인식이 는

러지며 오차가 커질 수 밖에 없다. 이러한 점을 보완하기 위하여 블록확장 알고리즘을 통하여 비컨 간의 간섭을 회피하는 동시에 영역 확장을 하여 광역에서의 위치인식을 가능하게 하였고, 로봇 동기화와 비컨 그룹화를 통하여 영역 내의 모든 로봇이 거리 데이터를 동시에 수신함으로써 시간 단축 및 위치오차를 최소화하여 신뢰성 있는 데이터 값을 획득할 수 있다는 것을 실험을 통하여 증명하였다. 로봇의 활용도가 더욱 커짐에 따라 공간 내에서 다수의 로봇이 광역에서 활동하는 환경에서 본 알고리즘 및 연구 결과가 적용이 된 시스템이 위치인식 부문에 있어 유용할 것이라 생각된다.

참고문헌

[1] M. Heidari, N. A. Alsindi, and K. Pahlavan, "UDP identification and error mitigation in toa-based indoor localization systems using neural network architecture," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 8, no. 7, pp. 3597-3607, Jul. 2009.

[2] S. Han, B. Choi, and J. Lee, "A precise curved motion planning for a differential driving mobile robot," *Mechatronics*, vol. 18, no. 9, pp. 486-494, Nov. 2008.

[3] J. Yun, J. Ko, and J. Lee, "An inexpensive and accurate absolute position sensor for driving assistance," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, no. 4, pp. 864-873, Apr. 2008.

[4] S. Han, I. Kang, and J. Lee, "Implementation of spreader pose control using dual-electric compasses," *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 69-70, Jan. 2009.

[5] 최효식, 황진아, 이장명, "유비쿼터스 모바일 로봇의 강인한 위치 추정 기법," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제11호, pp. 1139-1145, Nov. 2008.

[6] X. He, Y. Chen, and J. Liu, "Development of a low-cost integrated GPS/IMU system," *IEEE AES Magazine*, vol. 13, no. 12, pp. 7-10, Dec. 1998.

[7] 임상성, 조성준, "저가형 혼합항법시스템의 오차보정," 한국항행학회 논문지, 제7권 제2호, pp. 156-161, Dec. 2003.

[8] T. S. Li, S. Chang, and W. Tong, "Fuzzy target tracking control of autonomous mobile robots by using infrared sensors," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 491-501, Aug. 2004.

[9] 김선호, 박건국, 박경택, 안중환, "회전 레이저 슬릿 빔을 이용한 AGV 이동위치 검출," 한국정밀공학회지, 제18권 제12호, pp. 137-144, Dec. 2001.

[10] C. Siagian and L. Itti, "Biologically inspired mobile robot vision localization," *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 25, no. 4, pp. 861-873, Aug. 2009.

[11] 소신섭, 은성배, "ZigBee 태그기반 아파트 위치인식시스

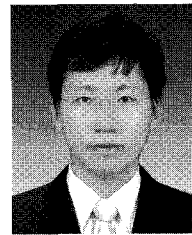
템 설계 및 구현," 전자공학회 논문지, 제44권 TC 제10호, pp. 13-19, Oct. 2007.

[12] D. B. Jourdan, D. Dardari, and M. Z. Win, "Position error bound for UWB localization in dense cluttered environments," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 44, no. 2, pp. 613-628, Apr. 2008.

[13] S. Baek, E. Choi, J. Huh, and K. Roh, "Sensor information management mechanism for context-aware service in ubiquitous home," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 53, no. 4, pp. 1393-1400, Nov. 2007.

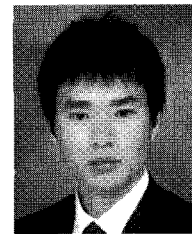
[14] 서영동, 송문규, "RF와 초음파 사이의 TDOA에 기반한 실내 측위시스템," 한국통신학회 논문지, 제34권 제6C호, pp. 611-618, Jun. 2009.

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



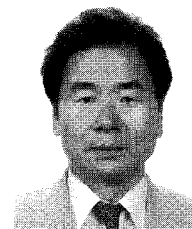
양 태 경

2008년 부산대학교 전자전기통신공학과 졸업. 2008년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학중. 관심 분야는 Localization, 지능로봇제어, 센서융합.



최 원 연

2009년 인제대학교 전자정보통신공학부 졸업. 2009년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Localization, 지능로봇제어, 센서융합.



이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 석사. 1990년 USC 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자전기공학부 정교수. 관심분야는 지능로봇 시스템 설계 및 제어, 마이크로 프로세서 응용, 센서융합, Navigation/Localization.