

다 개체 로봇의 위치인식을 위한 비컨 컬러 코드 스케줄링

Beacon Color Code Scheduling for the Localization of Multiple Robots

박재현, 이장명*
(Jaehyun Park and Jangmyung Lee)

Abstract: This paper proposes a beacon color code scheduling algorithm for the localization of multiple robots in a multi-block workspace. With the developments of intelligent robotics and ubiquitous technology, service robots are applicable for the wide area such as airports and train stations where multiple indoor GPS systems are required for the localization of the mobile robots. Indoor localization schemes using ultrasonic sensors have been widely studied due to its cheap price and high accuracy. However, ultrasonic sensors have some shortages of short transmission range and interferences with other ultrasonic signals. In order to use multiple robots in wide workspace concurrently, it is necessary to resolve the interference problem among the multiple robots in the localization process. This paper proposes an indoor localization system for concurrent multiple robots localization in a wide service area which is divided into multi-block for the reliable sensor operation. The beacon color code scheduling algorithm is developed to avoid the signal interferences and to achieve efficient localization with high accuracy and short sampling time. The performance of the proposed localization system is verified through the simulations and the real experiments.

Keywords: multiple robots localization, multi-block workspace, concurrent localization, beacon color code scheduling algorithm

I. 서론

로봇 산업과 유비쿼터스 산업이 발달함에 따라 다양한 환경에서 사람을 대신해 작업을 수행 할 수 있는 능력을 지닌 로봇 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 로봇이 다양한 작업환경에서 사용자의 명령을 수행하기 위해서는 자신의 현재 위치와 목표물의 위치를 알아야만 명령에 대한 이동이나 작업을 수행할 수 있을 것이다. 이처럼 위치인식은 로봇 분야에서 가장 기본적이고 중요한 문제로 인식되고 있다.

로봇의 위치인식을 위해 GPS, 비전, 레이저, 초음파 센서 등의 거리정보나 시각정보를 이용하는 다양한 방법들이 연구되고 있다. 가장 널리 알려진 GPS는 실외 위치인식용으로 주로 사용되고 있으나 실내 위치인식이 불가능 하고[1], 비전 센서는 주위 환경에 민감하고 해상도와 카메라의 수에 따른 연산 량이 증가하는 단점을 가지고 있다[2]. 레이저 센서는 높은 정확도를 가졌으나 비싼 가격이 큰 단점으로 지적된다 [3]. 본 논문에서 사용한 초음파 센서는 신호 간섭[4]과 감쇠 현상[5]으로 인해 오차가 커지는 단점이 있지만 제어의 용이성, 신뢰성 및 경제적 측면에서 장점을 가져 실내 위치인식 시스템으로 널리 사용되고 있다[6,7]. 초음파를 사용한 위치인식 시스템의 경우 넓은 공간의 위치인식을 위해 다 수개의 비컨을 사용한 위치인식법을 주로 사용하고 있다[8,9]. 이런 위치인식 시스템을 다 개체 로봇에 적용할 경우 초음파 간섭 현상으로 인해 각각의 로봇 위치인식이 어려워지고, 각 로봇의 비컨 호출 순서에 대한 문제가 발생하게 된다[12].

본 논문에서는 초음파 위치인식 시스템을 기반으로 광역 구간에서 다 개체 로봇의 위치인식을 위한 효율적인 광역구

간 구분과 비컨 호출 중재를 위해 로봇을 Master/Slave로 나눠 위치인식을 하게 하고, 비컨 스케줄 알고리즘을 적용해 초음파 간섭 현상 없이 효율적으로 비컨을 호출할 수 있는 위치인식 시스템을 소개하고자 한다. 먼저 II 장에서는 실내 위치인식 시스템(iGS)에 대해 간단히 설명을 하고, III 장에서는 workspace와 block 분할에 대해 정의한다. IV 장에서는 비컨 스케줄링 알고리즘과 block 인식 알고리즘에 대해 설명하고, V 장에서 실험을 통해 광역구간에서 다 개체 로봇의 위치인식을 검증한다. 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 실내 위치인식 시스템(iGS)

iGS는 ㈜나인티시스템과 부산대학교 지능로봇 연구실이 공동 제작한 실내 위치인식 시스템이다. iGS는 그림 1과 같이 벽면이나 천장에 부착되는 비컨과 로봇에 부착되는 localizer로 구성된다. Localizer에서 RF 통신을 사용해 각각의 ID를 지닌 비컨을 호출하게 되고, 호출된 비컨으로부터 송출된 초음파를 수신한 localizer가 초음파의 비행시간(TOF: Time of Flight)을 이용하여 localizer와 비컨 간의 거리를 계산한다 [10]. 세 개의 비컨으로부터 세 개의 거리 데이터가 구해지면 삼변측량을 통해 localizer가 부착된 로봇의 최종위치를 결정한다[11].

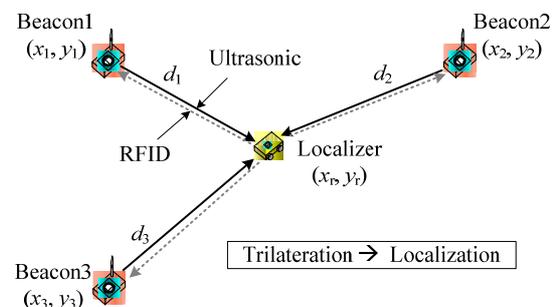


그림 1. 실내 위치인식 시스템(iGS).

Fig. 1. Indoor GPS system.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 12. 15., 수정: 2010. 1. 8., 채택확정: 2010. 2. 8.

박재현, 이장명: 부산대학교 전자전기공학과
(jae-hyun@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 (부산대학교 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술 연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음.

III. 광역 구간에서의 위치인식

1. Multi-block workspace

초음파는 거리의 자승에 반비례하여 감소하는 특성으로 인해 원거리 영역을 커버하기가 힘들다[5]. 초음파 위치인식 시스템을 광역구간에서 적용할 경우 주변 음파 간섭과 감쇠 특성으로 인해 위치 측정시 큰 오차가 발생하게 되어 로봇의 위치인식에 공간적 제약을 주게 된다. 이를 보완하기 위해 적절한 크기의 분할된 공간에 비컨을 설치해 광역 구간을 커버하는 방법이 주로 사용되고 있다[8,9]. 본 논문에서는 광역 구간 위치인식을 위해 그림 2와 같이 초음파 비컨을 위치인식 가능 간격(detectable range interval)으로 천장과 벽에 설치해 multi-block을 구성하였다.

2. Workspace와 block 정의

초음파 위치인식 시스템을 광역구간에 적용할 경우 다수 개의 비컨이 특정 영역에 설치되어 multi-block을 이루게 되고, 로봇은 자신이 어느 block에 위치하는지 알아야 자신이 속한 block의 비컨 정보를 사용할 수 있게 된다. 본 논문에서는 로봇의 현재 위치 구분을 위해 workspace-ID와 block-ID를 정의하였다. Workspace는 벽과 같이 확실한 경계로 구분이 가능한 공간으로 workspace-ID를 사용해 구분을 한다. 넓은 workspace의 경우 다시 몇 개의 block으로 나뉘게 되고, workspace-ID에는 workspace에 속한 block의 ID 정보를 가진다. 이 때 서로 다른 workspace 간에는 서로 간섭하는 비컨이 존재하지 않아야 한다. Block-ID는 각 block마다 존재하고, 소속된 비컨 ID 정보를 가진다. 기본적으로 하나의 block은 4개의 비컨으로 구성된 것으로 가정한다. 로봇은 workspace와 block의 위치좌표를 통해 새로운 workspace와 block을 인식하고, 새로운 block으로 이동할 시 block-ID 정보를 업데이트 하게 된다. 그림 2는 workspace와 block의 예를 나타낸 것으로 우선 세 개의 방(벽으로 나뉜)에 대해 workspace A, B, C로 나눠 지정한다. Workspace A, C는 한 block으로 방을 커버 할 수 없는 넓은 공간으로 가정할 경우, 다시 여러 개의 block으로 나누어 multi-block 환경을 구축이 가능하다. Workspace-ID와 block-ID는 비컨 설치시 정해지게 된다.

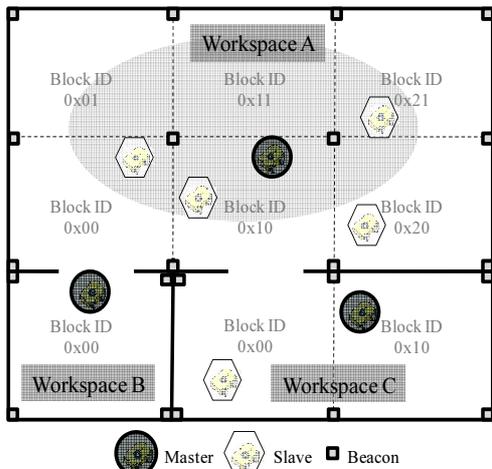


그림 2. Multi-block Workspace에서 Workspace-ID와 Block-ID 정의.

Fig. 2. Workspace-ID and block-ID for multi-block workspaces.

IV. 광역구간에서 다 개체 로봇 위치인식 기법

1. Problems 정의

기존의 iGS를 사용한 다 개체 로봇 위치인식의 경우 다음과 같은 문제가 발생하게 된다. 만약 하나의 block에 두 대 이상의 로봇이 존재하게 될 경우, 각각의 로봇들은 자신의 위치를 추정하기 위해 비컨들을 각각 호출하게 될 것이다(여기서는 서로 다른 비컨을 호출 했을 경우로 가정한다). 이 과정에서 각각 호출된 비컨들은 초음파를 송출하게 되고, 이때, 각 초음파 신호들의 중첩과 간섭현상으로 인해 신호의 왜곡이 발생한다. 또한 거리에 따른 초음파의 도달시간이 다르기 때문에 제일 처음 도착한 신호의 문턱 값만을 인식하고 나머지 값은 반사파로 인식해, 자신이 호출한 비컨의 초음파 신호가 어느 것인지 알 수 없게 된다. 따라서 로봇은 자신이 호출한 비컨과의 거리를 정확하게 측정하지 못하게 되어 자신의 올바른 위치를 측정할 수 없게 된다.

이런 문제점을 해결하기 위해서는 각각의 비컨과 로봇간의 동기화가 필요하다. 동기화 방법에는 크게 비컨 동기화와 로봇 동기화의 두 가지로 나눌 수 있다. 비컨 동기화는 한번에 하나의 비컨만 초음파를 송출하게 하여 비컨 간의 초음파 신호 송출 순서를 정하는 방법이다. 로봇 동기화는 한번에 하나의 로봇 위치를 측정할 수 있게 로봇간 위치인식 순서를 설정하거나 비컨을 호출하기 위한 순서를 동기화 하는 방법 등이 있다. 이런 순차적인 로봇 위치인식 방법은 소수의 로봇의 위치 측정에는 위치 정확도와 주기 면에서 우수한 성능을 발휘하지만 로봇 개수가 증가할수록 각각의 로봇 위치 측정을 위한 시간이 늘어나는 단점을 가지고 있다[12].

2. Master/Slave 로봇

본 논문에서는 다 개체 로봇 위치인식의 문제점을 바탕으로 이를 해결 하기 위해 Master와 Slave로 로봇을 나눠 위치인식 하는 방법을 제안한다. 본 방법은 위치인식이 필요한 여러 대의 로봇들 중에서 오직 한 대의 로봇만을 Master로 지정하고 나머지 로봇들은 Slave로 지정하여 위치인식 하는 것이다. 그림 2는 광역구간에서 Master와 Slave로 로봇들을 구분해 놓은 것을 나타낸 것으로 하나의 workspace에는 오직 하나의 Master 로봇만이 존재해야 하고, Master로 지정된 로봇만이 비컨을 호출할 수 있다. Slave 로봇은 비컨을 호출 할 수는 없지만 Master 로봇의 비컨 호출 동기화 신호를 동시에 수신함으로써 비컨과의 거리를 측정이 가능하게 된다. 그림 3은 다 개체 로봇의 위치인식 타이밍 도를 나타낸 것이다.

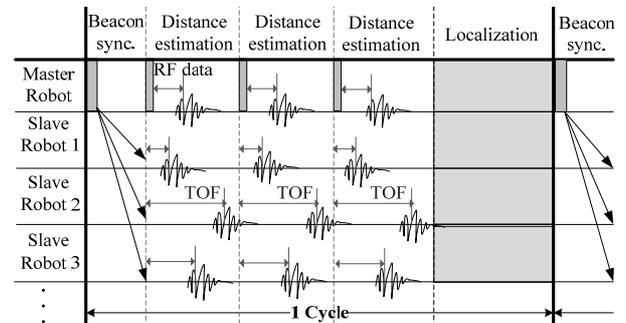


그림 3. 다 개체 로봇 위치인식 타이밍.

Fig. 3. Timing chart of multiple robots localization.

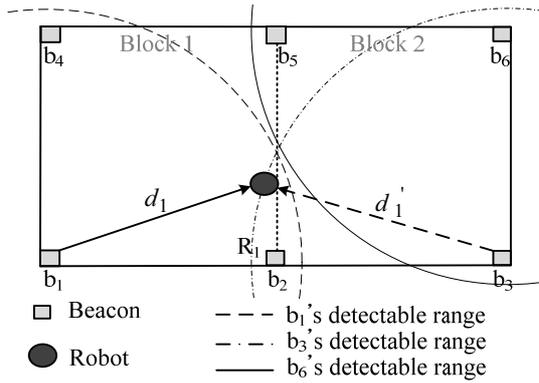


그림 6. 비컨 간 간섭이 존재해도 동시 호출이 가능한 경우.
Fig. 6. Situation of concurrent call with interferences from beacons.

코드를 순차적으로 호출하게 된다. A 컬러 코드를 호출할 때는 b_1, b_7 비컨을 동시에 호출하여 두 비컨이 동일하게 초음파를 방출하게 하고, B는 b_2, b_8, b_9 비컨을 동시에 호출하게 한다. 그림 5의 컬러 코드 스케줄링을 기반으로 Location-Aware 스케줄링이나 Mobility-Conscious 스케줄링으로 확장하여 사용할 수도 있다[14]. 본 논문에서는 기본적인 컬러 코드 스케줄링을 기반으로 사용하였다.

비컨 컬러 코드 스케줄링 알고리즘은 Master 로봇이 수행하고 수행한 스케줄 정보는 같은 workspace 내의 Slave 로봇과 비컨 스케줄을 공유한다. Master 로봇이 새로운 workspace로 진입한 경우나 사용자로부터 비컨 정보(새로운 비컨 혹은 비컨 위치좌표 변경)가 변경되었다는 정보를 받게 될 경우 새로운 비컨 정보를 가지고 비컨 컬러 코드 스케줄링 알고리즘을 재수행한다.

3.2 새로운 비컨 컬러 코드 스케줄링

기존의 컬러 코드 스케줄링에서 비컨 간 간섭이 존재하게 될 경우 그 두 비컨은 동시 호출이 불가능하게 된다. 하지만 초음파 신호의 문턱 값을 이용하는 위치인식 시스템의 경우 먼저 도착하는 초음파 신호만 인식하기 때문에 항상 가까운 비컨의 초음파 신호를 먼저 받게 된다. 이를 비컨이 일정한 간격으로 설치된 multi-block 환경으로 확장해서 생각하면, 비컨이 속한 block외의 다른 block에 속하는 비컨의 간섭 범위가 겹쳐도 동시 호출할 수 있는 경우가 존재하게 된다. 그림 6은 그 예를 나타낸 것으로, 6개의 비컨이 위치인식 가능 간격으로 설치되어 2개의 block을 구성하고 있다. Block 1에 소속된 b_1 비컨은 block 2에 위치한 b_3 비컨과 좁은 영역의 간섭범위를 가지게 되고, b_6 비컨과는 간섭범위가 겹치지 않게 된다. 이중 간섭범위가 겹치는 b_1 비컨과 b_3 비컨이 동시에 호출할 경우, 두 비컨의 간섭 범위에 존재하는 R_1 로봇은 항상 가까운 b_1 의 초음파 신호를 먼저 받게 된다. 따라서 두 비컨의 간섭범위는 겹치지만 동시 호출이 가능해 지게 된다. 예를 토대로 새로운 conflict graph를 작성하는 알고리즘을 그림 7에 나타내었다.

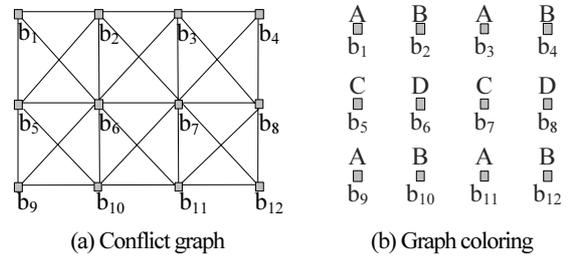
Input 값은 비컨의 위치 좌표와 간섭 범위로 정의되는 $C(b_i)$ 이고, $C(b_i)$ 를 사용해 다른 비컨들과의 간섭 범위가 겹치고 (line 3) 같은 block에 위치한 비컨일 경우(line 4), 두 비컨 사이를 변으로 연결하고(line 5) 그렇지 않을 경우 연결하지 않는다(line 7, 10). 모든 비컨에 대해 작업을 완료하면 conflict graph

```

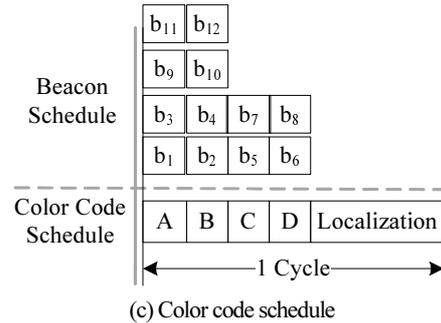
Input : Coverage of each beacon  $C(b_i) (1 \leq i \leq N_b)$ 
Output : conflict graph  $CG(V_b, E)$ 
1. For each beacon  $i = 0, \dots, N_b$ 
2.   For beacon  $i+1, \dots, N_b$ 
3.     If  $((C(b_i) \cap C(b_{i+1})) > 0)$ 
4.       If (beacon ID( $b_{i+1}$ )  $\in$  Block( $b_i$ ))
5.          $CG[i][i+1] = 1;$  // Interference
6.       else
7.          $CG[i][i+1] = 0;$  // Non-interference
8.       End if
9.     else
10.       $CG[i][i+1] = 0;$  // Non-interference
11.    End if
12.  End for
13. End for
    
```

그림 7. 새로운 conflict graph 알고리즘.

Fig. 7. New conflict graph algorithm.



(a) Conflict graph (b) Graph coloring



(c) Color code schedule

그림 8. 새로운 비컨 컬러 코드 스케줄링.

Fig. 8. New beacon color code scheduling.

$CG(V_b, E)$ 를 반환한다. 그림 4의 비컨 위치와 비컨 간섭 범위를 기반으로 그림 8에 간섭을 허용하는 새로운 비컨 컬러 코드 스케줄링 과정을 나타내었다. 그림 5(c)의 스케줄보다 새로운 비컨 컬러 코드 스케줄링 알고리즘을 적용한 경우가 컬러 코드가 2개 적게 사용되기 때문에 보다 빠른 위치인식 샘플 주기를 가지게 된다. 또한 6개의 block을 사용한 위치인식이 한 block을 사용한 위치인식과 거의 비슷한 샘플링 주기를 가질 수 있게 된다.

4. Block 인식

Multi-block 환경에서 로봇이 block1에서 block2로 이동할 경우, block1의 비컨 정보를 block2의 비컨 정보로 업데이트를 해야 block2에서의 위치인식이 가능해진다. 기존의 block 인식 기법[9]을 사용한 비컨 스케줄 호출은 block 경계 이동 그림 9와 같이 잘못된 위치를 측정하는 문제점이 발생한다.

그림 9의 컬러 코드 B와 D의 경우 서로 간섭 범위가 겹치

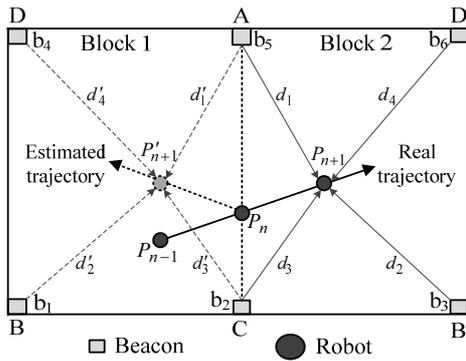


그림 9. 블록 인식 실패로 인한 이동로봇의 잘못된 위치인식.
Fig. 9. Error location estimation of mobile robot due to fault of block recognition.

지만 그림 8의 알고리즘에 따라 서로 동시 호출이 가능한 것으로 가정한다. 로봇이 block1의 P_{n-1} 에 있을 때에는 B 컬러 코드 비컨을 호출 하면 b_1 비컨의 초음파 신호만을 받게 되고, 블록 경계 P_n 로 가게 되면 b_1 과 b_3 비컨으로부터 초음파 신호를 거의 동일하게 받게 된다. 하지만 로봇이 block1→block2 ($P_n \rightarrow P_{n+1}$)로 이동시, P_{n+1} 지점에서 동시에 호출된 b_1 과 b_3 비컨 중 로봇은 b_3 비컨의 초음파 신호를 먼저 받게 된다. 하지만 로봇은 block2를 인식하지 못하였기 때문에 block1의 비컨 위치 좌표와 P_{n+1} 에서 측정된 거리 값, d_i , ($i = 1, 2, 3, 4$)를 block1의 동일한 컬러코드를 가진 비컨들에 적용한 거리 값, d'_i , ($i = 1, 2, 3, 4$)를 이용하여 위치인식을 수행하게 된다. 따라서 그림 8에서처럼 P_{n+1} 을 인식하지 못하고 P'_{n+1} 의 잘못된 위치를 인식하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 block 경계지역에서 과거 위치 정보와 이동로봇의 이동 특성을 통해 얻은 예측 위치 값을 사용한 새로운 block 인식 알고리즘을 제안한다.

4.1 로봇 위치 좌표 예측

이론적으로 2개의 과거 위치좌표 $P_{n-1} = [x_{n-1} \ y_{n-1}]^T$, $P_n = [x_n \ y_n]^T$ 만 알고 있으면 이동로봇의 초기 및 현재 방향 각, θ_{n-1} , θ_n 을 구할 수 있고, 이동로봇 기구학을 이용하여 이동로봇의 순간 각변화량 $\Delta\theta$ 와 회전 반경 R 을 구할 수 있다[15]. 이동로봇의 이동연속특성(motion-continuity property)에 따라, 시간 n 번째, 좌표 $P_n = [x_n \ y_n \ \theta_n]^T$ 에서 얻은 이 값을 이용해 시간 $n+1$ 에서 예측된 이동로봇의 위치 좌표 $\hat{P}_{n+1} = [x_{n+1} \ y_{n+1} \ \theta_{n+1}]^T$ 은 다음과 같이 표현 가능하다[15].

$$\hat{x}_{n+1} = x_n + R \{ \sin(\theta_n + \Delta\theta) - \sin(\theta_n) \} \quad (1a)$$

$$\hat{y}_{n+1} = y_n + R \{ \cos(\theta_n + \Delta\theta) - \cos(\theta_n) \} \quad (1b)$$

$$\hat{\theta}_{n+1} = \theta_n + \Delta\theta. \quad (1c)$$

4.2 예측 좌표를 이용한 block 인식 알고리즘

로봇이 block1→2의 경계선 좌표 부근(± 10 cm, iGS 최대 오차 및 로봇 최대 속도 고려)에 접근하게 되면 로봇은 각 block의 비컨 정보를 이용하여 두 개의 새로운 로봇 위치 좌표 P_{block1} , P_{block2} 를 구하게 되고, 이전 두 개의 좌표로부터

예측된 좌표 값 \hat{P}_{n+1} 과 측정된 로봇 좌표 값 P_{block1} , P_{block2} 의 위치 차이가 가장 작은 값을 새로운 위치좌표 P_{n+1} 로 지정한다. 구해진 새로운 위치 좌표 값이 block2에 위치하게 되면 block2를 현재 block으로 지정해 정보를 업데이트 하고, 그렇지 않을 경우 기존의 block1의 비컨 정보를 그대로 사용한다. 만약 로봇이 그림 4의 비컨 b_6 지점을 통과하게 될 때에는 4개의 block으로부터 구해진 비컨 좌표 4개와 예측된 좌표를 비교해 새로운 block을 인식할 수 있게 된다.

V. 실험 및 결과

1. 실험환경

실험에 사용된 iGS는 Localizer와 비컨으로 구성되는데 Localizer의 시스템 제어를 위해 TI사의 TMS320C2406A, RF 신호 제어를 위해 Microhip사의 rfPIC12F675F, 초음파 수신을 위해 Nippon Ceramic 사의 AT40-10P(40kHz)를 사용하였고, 비컨의 시스템 제어를 위해 TI사의 MSP403F1101A, 초음파 송신을 위해 AR40-10P(40kHz) 사용하였다. 로봇 간의 동기화 및 통신을 위해 아이엔테크사의 Knote-B 모듈을 사용하여 네트워크를 구축하여 사용하였다. 이동로봇은 Maxon사의 인코더가 내장된 DC 모터를 사용하였고, 제어를 위해 Microchip사의 dsPIC30F4012를 사용하였다. 그림 10에 실험에 사용된 iGS(a-b)와 zigbee 모듈(c), 이동로봇(d)을 나타내었다.

실험의 간편화를 위하여 로봇들이 하나의 workspace내에 존재하고, 이 workspace는 multi-block으로 구성된 것으로 가정하였다. Multi-block 환경에서 알고리즘 검증을 위해 그림 11와 같이 3000mm x 3000mm 공간에 비컨 9개를 사용하여 4block을 구성하였고 1대의 Master 로봇과 2대의 Slave 로봇, 총 3대의 이동로봇을 사용하였다. 설치된 비컨 중 중간에 위치한 비컨 b_5 을 제외한 다른 비컨들은 간섭범위를 최소화 시키기 위하여 지향 각을 최대한 낮춰 설치하였고, 비컨 설치 간격은 1500mm, 간섭 범위는 1600mm로 설정하였다. 실험 데이터는 이동로봇에 달린 인코더의 이동 궤적과 iGS의 이동 궤적을 서로 비교하였다.



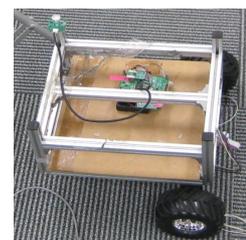
(a) The Localizer and receiver



(b) Beacon



(c) Zigbee Module



(d) Mobile robot

그림 10. 실험 장비.
Fig. 10. Experiment equipment.

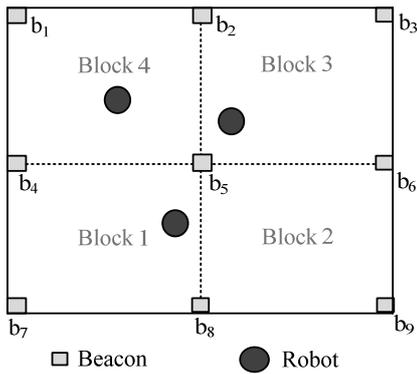


그림 11. 실험 환경.
Fig. 11. Experiment environment.

2. 시뮬레이션

실험에 앞서 비컨 스케줄링 알고리즘의 효율성을 알아보기 위해 round-robin 방식과 컬러 코드 스케줄, 새로운 컬러 코드 스케줄의 위치인식 최대 sampling frequency를 분석하였다. 비교 방식은 block의 수에 따른 Master 로봇의 위치 인식 sampling frequency를 측정하였다. 비컨 거리간격과 간섭범위는 실험환경과 동일하게 하였고, 거리 측정은 40ms, 삼변측량은 80ms가 걸리는 것으로 가정하였다. 비컨 호출 시간은 거리 측정과 삼변측량에 비해 매우 작은 값이므로 무시하였다.

표 1은 시뮬레이션 결과로 표에서 가로축은 block의 형태를 나타내고, 세로축은 비컨 호출 방법을 나타낸다. Round-robin 방식의 경우 block의 크기가 커지는 만큼 비컨의 개수가 늘어나게 되어 그에 비례하게 sampling frequency가 늘어나는 것을 알 수 있다. 기존의 컬러 코드 스케줄은 비컨의 개수에 따라 서서히 sampling frequency가 증가하나 새로운 비컨 컬러 코드 스케줄은 항상 동일한 sampling frequency를 갖는 강인성을 보여주고 있는 것을 확인할 수 있다.

3. 비컨 컬러 코드 스케줄링 알고리즘과 block 인식 알고리즘 실험

먼저 Master 로봇 한대를 사용하여 비컨 컬러 코드 스케줄링과 block 인식 알고리즘 실험을 하였다. 그림 12는 Master 로봇이 비컨 스케줄링 알고리즘에 따라 비컨을 호출하면서 block1 → block2로 이동하는 궤적을 나타낸 것이다. Block 인식 알고리즘을 사용하지 않을 경우(+ 표시), 로봇이 block1과 2 경계에서 block2를 인식하지 못하고 실제 경로와 다른 경로를 추정하는 걸 알 수 있다. 하지만 block 인식 알고리즘을 사용하게 될 경우(O 표시), 예측된 좌표를 통해 block2를 인식하게 되고 실제 로봇 경로와 동일한 경로를 추정할 수 있게 된다.

표 1. Block 크기에 따른 위치인식 sampling frequency 분석.
Table 1. Evaluation of localization sampling frequency according to block size, (Hz).

| | 1x1 | 1x2 | 2x2 | 2x3 | 3x3 | 4x4 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Round-robin | 0.24 | 0.24 | 0.44 | 0.56 | 0.72 | 1.08 |
| Color code schedule | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.28 | 0.32 | 0.32 |
| New color code schedule | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |

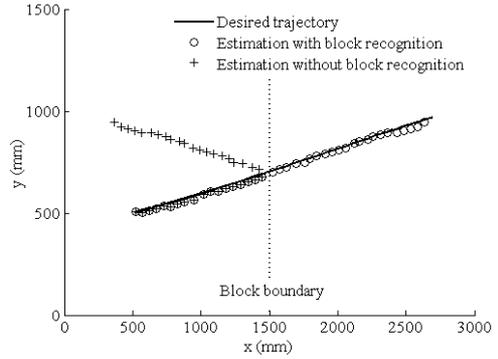


그림 12. 광역 구간에서의 block 인식 알고리즘 실험.
Fig. 12. Experiment on the block recognition algorithm in a multi-block workspace.

4. Multi-block 구간에서의 다 개체 로봇 localization

Multi-block 구간에서의 다 개체로봇의 실험을 위해 그림 11의 실험 환경에서 Master 로봇 1대와 Slave 로봇 2대를 사용하였다. 그림 13에 multi-block으로 구성된 하나의 workspace에서 동시 구동한 세 로봇의 이동 궤적, 그림 14에 각 로봇에 대한 추정된 위치 오차를, 표 2에 각 로봇 별 평균 위치추정 오차와 최대 오차, 세 로봇 평균 오차를 나타내었다.

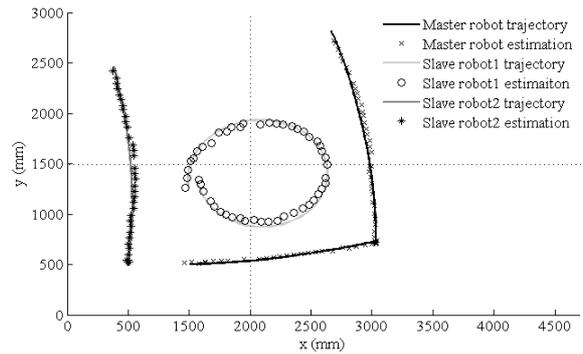


그림 13. Multi-block에서의 다 개체 로봇의 이동 궤적.
Fig. 13. Trajectory of multiple robots in a multi-block workspace.

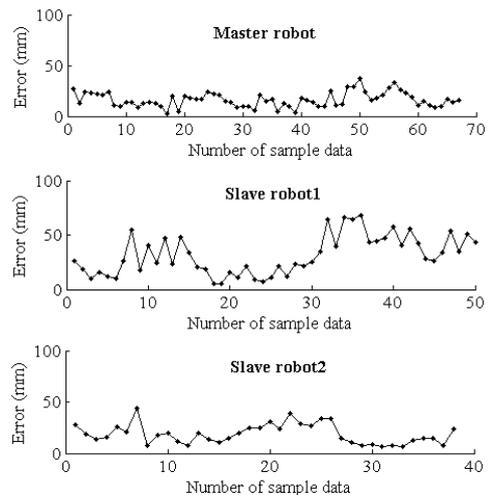


그림 14. 광역 구간에서의 다 개체 로봇의 위치 오차.
Fig. 14. Estimated position error according to the number of sample data.

표 2. Multi-block 구간에서 다 개체 로봇의 위치 오차 평가.
Table 2. Evaluation of estimated position error for multiple robots in a multi-block workspace, (mm).

| | Master robot | Slave robot1 | Slave robot2 | Total error |
|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Mean error | 16.27 | 31.43 | 18.66 | 22.12 |
| Max. error | 36.78 | 67.62 | 44.07 | 67.62 |

Master 로봇은 block1 → block2 → block3으로 주행하였고, Slave robot1은 block1 → block4로 직선 주행을, Slave robot2는 block1 → block4 → block3 → block2 → block1로 원 주행을 하였다. 세 로봇의 평균 위치오차는 22.12mm, 최대 위치오차는 67.62mm로 multi-block 구간에서 다 개체의 로봇을 위치인식 하는데 있어서 비컨 컬러 코드 스케줄링 알고리즘과 block 인식 알고리즘을 사용함으로써 기존의 iGS의 허용오차인 ±50mm를 만족하는 안정적인 위치 오차가 가능함을 확인 하였다.

VI. 결론

조음과 위치인식 시스템은 저비용, 고정밀도, 제어의 용이성 등으로 실내 위치인식에 많이 사용되고 있지만 음파의 감쇠현상과 간섭현상으로 인해 광역 구간에서 다 개체의 로봇의 위치인식에 적용하기에는 어려움이 많았다. 본 논문에서는 광역 구간에서의 적용을 위해 다수개의 비컨으로 이루어진 multi-block과 workspace로 분할된 실내 센서공간과 로봇간의 비컨 호출 중재를 위한 비컨 컬러 코드 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 또한 Master, Slave 개념의 도입을 통하여 다수의 로봇이 동시에 위치인식을 할 수 있도록 하였으며, 각 로봇이 이동하면서 block 경계를 넘어가는 경우를 인식하기 위하여 이동로봇의 이동 특성 기반의 block 인식 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 효용성은 multi-block 환경에서 다 개체 로봇의 위치인식 실험을 통하여 입증되었다. 본 연구의 결과로 넓고 다양한 실내 공간에서 개체가 증가하더라도 위치 추정이 강인하게 되어 위치기반 서비스(LBS: Localization Based Service)의 보급이 안정적으로 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] J. Huang and H.-S. Tan, "A low-order DGPS-based vehicle positioning system under urban environment," *Mechatronics, IEE/ASME Transactions on*, vol. 11, issue 5, pp. 567-575, Oct. 2006.
- [2] J. Wolf, W. Burgard, and H. Burkhardt, "Robust vision-based localization by combining an image retrieval system with monte carlo localization," *Robotics, IEEE Transaction on*, vol. 21, issue 2, pp. 208-216, 2005.
- [3] U. Larsson, J. Forsberg, and A. Wernersson, "Mobile robot localization: integrating measurements from a time-of-flight laser," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 43, no. 3, pp. 422-431, Jun. 1996.
- [4] H. Premans and V. Campenhout, "High resolution sensor based on tri-aural perception," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 9, no. 1, pp. 36-48, Feb. 1993.
- [5] Zimmerman, "Experimental development of an indoor GPS based sensing system for robotic applications," *Navigation*, vol. 43, no. 4, pp. 375-395, 1996-1997.
- [6] C. C. Tsai, "A localization system of a mobile robot by fusing dead-reckoning and ultrasonic," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 47, pp. 1399-1404, Oct. 1998.
- [7] W. Qinhe and H. Hashimoto, "Fast localization of multi-targets in the intelligent space," *Proc. of Annual Conf. SICE. 2007*, pp. 264-269, Sep. 2007.
- [8] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system," *Proc. of ACM MobiCom*, pp. 32-43, Aug. 2000.
- [9] 서대근, 조성호, 이장명, "iGS를 이용한 모바일 로봇의 실내위치 추정 알고리즘," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제3호, pp. 242-247, Mar. 2008.
- [10] B. Barshan, "Fast processing techniques for accurate ultrasonic range measurements," *IOP J. Meas. Sci. Technology*, vol. 11, pp. 45-50, Jan. 2000.
- [11] S. S. Ghidary, T. Tani, T. Takamori, and M. Hattori, "A new HRPS (Home Robot Positioning System) using IR switched multi ultrasonic sensors," *Systems, Man, and Cybernetics, IEEE SMC '99 Conference Proc. of*, vol. 4, pp. 737-741, Oct. 1999.
- [12] S. Yi, J. Yi, and H. Cha, "Tracking multiple mobile objects using IEEE 802.15.4-based ultrasonic sensor devices," *Proc. of the 22th ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2007)*, Seoul, Korea, Mar. 2007.
- [13] M. Y. Nam, Al-Sabbagh, J. E. Kim, M. K. Yoon, C. G. Lee, and E. Y. Ha, "A real-time ubiquitous system for assisted living : combined scheduling of sensing and communication for real-time tracking," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 57, no. 6, Jun. 2008.
- [14] H. Li, P. Shenoy, and K. Ramamritham, "Scheduling communication in real-time sensor applications," *Proc. of 10th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symp.*, pp. 10-18, May 2004.
- [15] S. S. Han, H. S. Lim, and J. M. Lee, "An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, pp. 1-8, Dec. 2007.
- [16] D. J. A. Welsh and M. B. Powell, "An upper bound for the chromatic number of a graph and its application to timetabling problems," *Computer Journal*, vol. 10, pp. 85-86, 1967.



박재현

2008년 동의대학교 컴퓨터공학과 졸업.
2008년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석 박사 통합 과정 재학중.
관심분야는 지능로봇 제어, localization, navigation, 센서 네트워크.



이장명

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.

ization.