

## 적외선기반 구역정보와 관성항법장치정보를 이용한 센서 네트워크 환경에서의 물체위치 추정

### Object Localization in Sensor Network using the Infrared Light based Sector and Inertial Measurement Unit Information

이 민 영, 이 수 용\*  
(Min Young Lee<sup>1</sup> and Sooyong Lee<sup>1</sup>)  
<sup>1</sup>Hongik University

**Abstract:** This paper presents the use of the inertial measurement unit information and the infrared sector information for getting the position of an object. Travel distance is usually calculated from the double integration of the accelerometer output with respect to time; however, the accumulated errors due to the drift are inevitable. The orientation change of the accelerometer also causes error because the gravity is added to the measured acceleration. Unless three axis orientations are completely identified, the accelerometer alone does not provide correct acceleration for estimating the travel distance. We propose a way of minimizing the error due to the change of the orientation. In order to reduce the accumulated error, the infrared sector information is fused with the inertial measurement unit information. Infrared sector information has highly deterministic characteristics, different from RFID. By putting several infrared emitters on the ceiling, the floor is divided into many different sectors and each sector is set to have a unique identification. Infrared light based sector information tells the sector the object is in, but the size of the uncertainty is too large if only the sector information is used. This paper presents an algorithm which combines both the inertial measurement unit information and the sector information so that the size of the uncertainty becomes smaller. It also introduces a framework which can be used with other types of the artificial landmarks. The characteristics of the developed infrared light based sector and the proposed algorithm are verified from the experiments.

**Keywords:** localization, sector, inertial measurement unit

#### I. 서론

센서 네트워크 내에서의 물체의 위치 인식은 보안, 재고관리, 운송등 다양한 목적으로 그 중요성이 커지고 있다. 센서 네트워크 기술의 발달로 다양한 IT인프라를 갖춘 환경이 증가하므로 이를 활용한 위치 인식기술의 발달이 더욱 빠른 속도로 이루어지고 있다. 무선 센서 네트워크 내에서의 물체 추적의 정확성을 높이고 클러스터 헤드의 저장 공간을 최소화하기 위해 각 물체와 두 개의 PST (Probabilistic Suffix Tree)와의 거리를 함수로 정의하고 움직임 양상이 유사한 물체끼리 그룹을 나누어 대표적인 PST를 선택하여 경로를 예측하는 방법에 관한 연구가 [1]에서 소개되었다. 무선랜 기반 위치추정은 방향각 정보를 포함하지 않으며 인체에 의한 신호 차단 현상이 발생하여 정확도에 제한이 있다. [2]는 무선랜 신호를 받지 못하는 상황에서 지자기센서의 방향각정보를 활용하여 위치추정 정확도를 높이는 알고리즘에 대해 소개하였다. 초음파신호를 이용한 위치추정은 세라믹 초음파 변환기의 제한된 대역폭으로 인하여 초음파 발생장치와의 거리를 정확하게 측정하기 어려운 단점이 있으며 초음파 발생빈도가 낮으면 정확한 위치추정을 할 수 없다는 단점이 있다.

[3]은 초음파변환기의 제한된 대역폭 문제를 해결하기 위해 펄스 압축 기술을 사용하여 정확한 거리측정을 가능하게 하였다. 또한 초음파발생장치에 직교시퀀스를 사용하여 초음파 신호의 발생빈도를 높였다. 하지만 높은 컴퓨팅파워를 가지는 하드웨어를 필요로 하는 단점이 존재한다. [4]는 무선 센서 네트워크에서 물체를 추적할 때 발생하는 전력소비와 감시품질간의 상충관계를 분석하는 방법에 대해 소개하고 전력소비를 최소화하면서 높은 수준의 감시품질을 제공하는 sleep-awake 프로토콜을 제안하였다. [5]는 다른 센서들과의 상호작용 없이 능동적으로 센서의 위치가 부여되는 이중 네트워크에서 사용할 수 있는 높은 보안 수준을 가지는 위치추정 알고리즘을 개발하였다. 다수의 위치입력기를 센서가 감지하면 그 위치입력기가 설치된 위치와 위치입력기의 출력영역을 이용하여 센서의 위치가 존재할 수 있는 영역을 그리드 표를 이용하여 표시하는 방법이다. [6,7]은 dead-reckoning으로 이동로봇의 위치를 추정할 때 발생하는 불확실성의 감소를 위하여 적외선 LED와 포토트랜지스터로 구성된 IRID를 사용하였다. 컨트롤러가 인식한 IRID의 변화로부터 위치의 불확실성영역을 줄여나가는 방법이다.

한편 IMU (Inertial Measurement Unit) 정보만을 이용한 위치추정은 낮은 주파수의 편류 오차 성분을 가지고 GPS 정보는 주행도중 건물 등에 의한 신호의 반사로 인하여 높은 주파수의 오차를 가진다. [8]에서는 자동차의 위치추정을 위하여 칼만 필터를 통과한 IMU 정보와 GPS 정보를 사용하는 방법에 관하여 설명하였다. GPS 정보를 이용하여 편류 문제를 가지

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 9. 10., 수정: 2010. 10. 7., 채택확정: 2010. 12. 1.

이민영, 이수용: 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

(tmclavis@gmail.com/sooyong@hongik.ac.kr)

\* 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0007794).

는 IMU 정보를 지속적으로 보정시킨다. [9]는 우주항공기의 위치를 추정하기 위한 GPS/INS 필터를 소개하였다. [10]은 GPS기반의 위치추정시스템과 dead-reckoning 시스템의 결합 방법에 관하여 소개하였다. 또한 지도 정보와 결합하여 위치 추정의 정확도를 더욱 높였다. [11]은 Differential GPS와 차륜 속도센서 그리고 광섬유 자이로의 정보를 칼만 필터에 적용시켜 위치추정의 정확도를 높였다. [12]는 GPS와 MEMS 관성센서를 결합한 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 관성항법장치를 이용하여 물체의 이동거리를 추정할 때 발생하는 가속도 센서의 편류문제와 사용 중 가속도 센서의 축 정렬이 초기 설치 시와 달라질 경우, 각 축 방향 측정값에 운동 가속도와 새로운 중력방향 가속도 성분이 동시에 측정됨에 따른 오차를 수정하는 방법을 제안하였다.

또한 위치추정의 불확실성을 줄이기 위하여 적외선을 이용한 구역정보 활용을 소개한다. 위치를 결정 지을 수 있는 신호를 얻기 위하여 라디오 주파수 신호를 이용하는 대신에 적외선 빛을 사용하였다. 다음 장에서는 관성항법장치 기반 위치추정에 대하여 서술하였으며, III 장에서는 적외선기반 구역 정보를 관성항법장치정보와 융합하는 방법에 대한 설명과 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 결론을 기술하였다.

## II. 관성항법장치 기반 위치추정

### 1. 주행로봇/보행자 위치추정을 위한 기존연구

위치추정은 주행로봇에서 가장 중요한 기능 중 하나이며, 이에 대한 연구는 지난 수십 년 동안 매우 활발히 연구되었고, 다양한 해법이 소개되었다. 일반적으로 경로를 실행하는 중간과정의 위치추정은 dead-reckoning을 사용하고 있다. Dead-reckoning은 바퀴에 장착된 엔코더를 사용하여 드라이브 휠의 위치추정이 가능할 때 종종 사용된다. 그러나 기구학적 모델의 변수들, 바퀴의 미끄러짐, 혹은 거친 평면 등으로 발생한 오차로 인해 부정확한 위치추정이 발생할 수 있다. 이러한 dead-reckoning으로 인한 오차를 줄이기 위하여 거리센서, 비전 카메라, 자연적/인위적인 표식, 실내 GPS등을 이용한 이동로봇의 위치추정 작업들이 이루어져 왔다.

반면 보행자의 위치추정은 주행로봇과 달리 엔코더를 사용할 수 없으므로, 주행로봇과는 다른 접근 방법이 필요하다. 보행자의 위치추정에는 주로 가속도 센서와 각속도 센서, 지자기 센서가 결합된 관성항법장치를 사용하는 방법이 연구되어 왔다. 관성항법장치는 속도와 위치를 추정하는 보조장치로 널리 사용되고 있으나, 관성항법장치부터 추정하는 위치정보에는 센서값의 편류에 의한 적분 누적오차가 포함되는 문제가 있다. 또한 가속도 센서의 경우 편류문제와 더불어 장착위치와 각도에 따라 각 축 방향의 운동가속도와 중력가속도 성분이 동시에 측정되는 문제가 있다. 특히 관성항법장치를 사용 중에 설치위치가 초기 축 정렬 위치와 틀러질 경우 이에 따른 오차는 더욱 커지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 지난 수십 년 동안 다양한 연구가 진행되었다. 항공, 해양 등 특수 분야에서 사용하기 위해 매우 정확하고 정교한 관성항법장치가 개발되었으나, 이는 GPS와 같은 보조장치가 필요하며, 매우 고가이고, 휴대하기에는 크기와 무게가 적당하지 않으므로 물체의 위치추정에는 부적절하다.

### 2. 관성항법장치정보 처리

본 논문에서는 3축 가속도 센서(LIS3LV02DQ, ST社), 1축 각속도 센서(ADIS16100, Analog Device社), 지자기 센서(HMC6352, Honeywell社)를 사용한 관성항법장치를 제작하였다. 가속도 센서를 이용하여 이동거리와 지자기 센서를 이용하여 방향각을 추정하였으며, 이들 정보를 바탕으로 물체의 위치를 추정하였다.

일반적으로 가속도 센서는 각 축의 운동방향 가속도와 중력방향 가속도가 결합된 정보를 출력한다. 초기 정지상태에서의 정보를 이용하여, 초기 설치상태와 축 정렬 동일한 경우에는 중력 방향 가속도 성분을 비교적 손쉽게 제거할 수 있으나, 이동 중에 가속도 센서의 설치 위치가 초기 축 정렬과 달라질 경우, 각 축의 운동가속도에 새로운 중력방향 가속도 성분이 추가된 형태로 출력되며, 이러한 오차는 두 번 적분하여 이동거리를 추정하는 과정에서  $m^2$ 배로 누적된다. 이를 해결하기 위하여 3축 가속도 센서를 사용하여 관성항법장치의 3축의 회전 방향을 추정하고 이 정보를 이용하여 중력가속도 성분을 제거하는 방법에 대한 연구가 주로 진행되었다[13-15]. 그러나 이러한 방법은 추가로 센서를 부착하여야 하는 번거로움이 있으므로, 본 논문에서는 중력가속도 성분 제거를 위하여 가속도 센서만을 이용하는 알고리즘을 고안하였다. 물론 각속도계로부터 회전각을 추정하는 일반적인 관성항법장치와는 달리 가속도계만을 사용하는 방법므로 제한 조건을 갖는다. 즉, 회전하며 직선 운동하는 경우에는 3축 가속도계 값만으로 3차원 공간상의 6개의 독립변수 값을 추정할 수 없으므로, 변위값의 변화가 없는 정지상태에서 관성항법장치가 회전하는 제한된 경우에는 가속도계만을 사용하여 중력 가속도값을 측정하여 이로부터 회전각을 추정하는 것이다. 먼저 초기 정지 상태의 가속도값을 이용하여 각 축에 작용하는 초기 중력방향 가속도값을 구한 후, 이 offset값을 제거한다. 세 축의 현재 가속도값과 직전 10개 값의 표준편차가 동시에 0.04 이하이면, 일시 정지상태라고 판단하고, 이를 Zero Velocity Update 정보로 사용한다. Zero Velocity Update는 사용자가 움직이지 않는다고 판단될 때 가속도값을 0으로 하는 것이 아니라, 속도값을 0으로 함으로써 가속도값의 오차로 인한 속도의 누적 오차를 제거하는 보다 효율적인 방법이다. 일시 정지상태가 1초 이상 지속되면, 정지상태로 판단하고, 이때 각 축에 작용하고 있는 가속도값을 새로운 중력방향 가속도로 판단하고 제거한다. 정지상태를 판별하기 위하여 본 연구에서 사용한 판별 기준 값들인 표준편차 0.04, 정지상태판별시간 1초등은 모두 예시 값이며 사용 환경과 수행작업, 사용자의 특성 등에 따라 적정한 값을 선택해야 한다. 고역통과필터를 관성항법장치 출력값인 가속도값에 적용한 것이 아니라 속도값에 적용한 이유는 Zero Velocity Update와 같은 이유로 편류오차 및 중력가속도값으로 인한 오류수정이 속도 추정 단계에서 이루어지기 때문이다.

관성항법장치 사용 중 초기 설치상태와 축 정렬이 유지된다고 하더라도, 센서 시스템의 전기적/기계적 잡음에 의해 오차가 발생하며, 이러한 오차는 가속도값에서 이동거리를 추정하는 과정에서  $m^2$ 배로 누적되는 편류오차 요소로 작용하기 때문에 이러한 잡음 성분을 제거하는 것은 가속도 센서와 같이 적분이 필요한 센서를 이용하는 시스템에서 필수적이다.

보행자의 위치추정을 위한 관성항법장치의 경우는 가속도 센서의 편류 오차를 줄이기 위해 각속도 센서, 자자기 센서, FSR (Force Sensing Resistor) 등의 다른 센서를 보행자에 부착하여 보행자의 발이 지면에 붙거나 떨어지는 순간 또는 붙어 있는 상태를 판별하고, 이를 통해 Zero Velocity Update 하는 방법이 널리 연구되고 있다. 그러나 이러한 방법은 물체가 보행자가 아닌 주행기구에 실려 이동하는 경우에는 적용할 수 없다. 본 논문에서는 가속도 센서 정보만을 이용하여 편류오차를 제거하기 위해 고역통과필터와 Zero Velocity Update 를 융합한 형태의 보상기를 제안하였다. 고역통과필터의 차단주파수는 일반적인 보행자의 보행속도를 고려하여 0.5Hz로 설계하였다. 차단 주파수값에 따라 편류 오차값 제거성과 과 지속 움직임의 측정 민감도가 서로 반대되는 방향으로 변화되므로 이를 고려하여 그 값을 결정한다. 본 연구에서는 다양한 보행속도로 실험을 하였으며 0.5Hz 차단 주파수값으로 편류 오차값을 충분히 제거할 수 있었다.

중력방향 가속도 성분을 제거한 가속도를 1회 적분하여 속도를 계산하고, 고역통과필터를 적용한 후, 본 논문에서 제안한 가속도 센서 보정 알고리즘으로부터 얻은 Zero Velocity Update 정보와 결합하였다. 이 속도정보를 이용하여 이동거리를 추정한다.

### III. 적외선기반 구역정보 융합

#### 1. 적외선기반 구역

기존의 유사연구들에서는 건물 내부의 이용자들의 위치를 추적하기 위한 무선 RF 네트워크 기반 시스템을 구성하여, 다수의 송신기 위치의 신호정보를 사용하여 경험적으로 결정되는 신호세기 정보와 이론적으로 계산된 신호세기 정보를 모두 이용하여 사용자의 위치를 삼각 측량하였다. 또는 적외선 마커와 머리부착스테레오 카메라를 조합하여 사용자의 위치를 측정하고, 방향센서를 이용해 사용자의 진행방향을 측정하는 3차원적인 위치와 방향 추적 시스템을 제안하였으며, 다수의 센서 사용으로 인한 오차를 줄이기 위하여 extended Kalman filter를 사용하였다. 또는 RFID 태그나 IrDA 마커로부터 ID (Identification)를 받아 사용자의 위치를 구체화하는 연구도 소개되었다. 이 논문에서는 위치추정을 위한 새로운 인공적인 적외선 구역 방법을 소개한다.

RFID는 이동로봇의 위치추정을 위한 인공적인 표식으로 널리 연구되어왔다. RFID는 64비트, 또는 96비트의 정보를 가지므로 가능한 ID의 개수는 거의 무한대에 가깝다는 장점을 갖는다. 그러나 전파 신호의 특성으로 인하여, 신호의 강도와 신호의 구분이 매우 stochastic하므로 RFID 데이터에만 의존하여 위치를 추정하는 것은 이전의 dead-reckoning보다 오히려 위치추정결과가 더 부정확하게 나오기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 새로운 인공표식으로 적외선을 사용하였다. 적외선 빛은 36kHz로 변조되므로 수신부인 포토트랜지스터는 형광등 빛, 태양빛에 대하여 적은 간섭을 받는다. 각각의 LED는 빛의 펄스열(pulse train)로 구성된 고유한 ID를 방출한다.

그림 1은 적외선기반 구역의 개념을 보여준다. 4개의 적외선 LED가 천장에 설치되어 있으며 각각의 LED는 고유의 ID를 전달한다. 포토트랜지스터를 장착한 수신부가 적외선송신

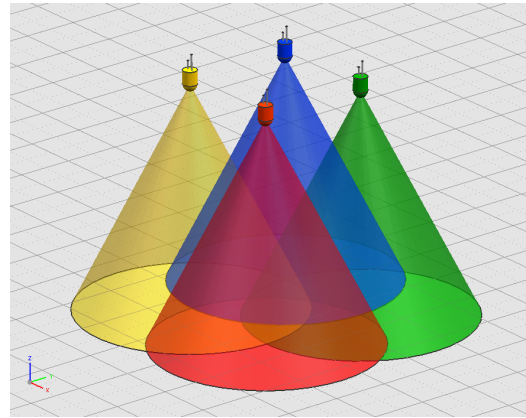


그림 1. 4개의 적외선 송신부.

Fig. 1. Four LEDs for the sector generation.

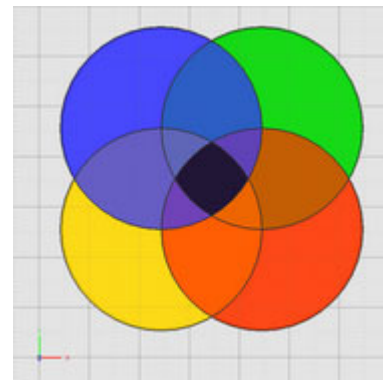


그림 2. 4개의 적외선 송신부로 구성된 적외선 구역.

Fig. 2. Infrared light based sectors with four LEDs.

부 아래에 위치할 때 해당 ID를 받아들인다. 바닥은 ID정보에 의하여 총 14개의 다른 구역으로 나누어진다. 구체적으로 그림 7과 같이 하나의 ID만 받을 수 있는 4개의 구역, 2개의 ID를 받을 수 있는 4개의 구역, 3개의 ID를 받을 수 있는 4개의 구역, 모든 ID를 받을 수 있는 중앙 구역, 그리고 ID를 받을 수 없는 주변 구역으로 구성된다. 중앙제어기는 적외선 송신부를 높은 속도로 순차적으로 작동시키므로 두개 이상의 신호가 서로 간섭하는 경우는 없다.

관성항법장치만을 사용한 위치추정의 경우 불가피한 오차의 누적에 따라 위치추정의 불확실성이 너무 커지기 전에

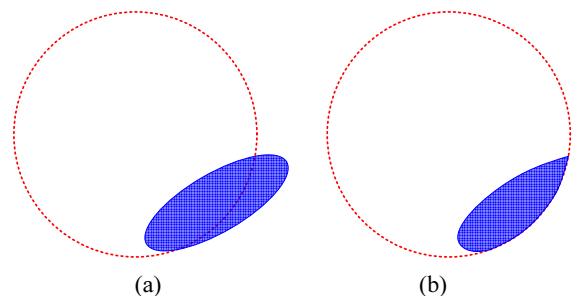


그림 3. (a) 수신부의 존재 가능한 위치분포 (b) 구역정보와의 결합.

Fig. 3. (a) Sector and a possible location (b) Modified possible location.

reset시켜 불확실성이 무한정 커지지 않도록 해야 한다. 본문은 적외선 구역정보를 사용하여 불확실성을 낮춘다. 그림 3은 간단한 예를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 만약 수신부가 확정적(deterministic)인 적외선 빛을 받아 구역정보로부터 수신부가 원의 내부에 있음이 확실하다면 불확실성은 단 하나의 구역정보만을 사용하여도 감소된다.

특히 구역정보를 이용함에 있어서 매우 유용한 정보는 수신부가 다른 영역으로 이동하며 두 영역간의 경계를 가로질러가는 경우의 ID의 변화이다. 그러한 경우, ID가 바뀌는 순간에 물체의 위치는 ID영역의 경계를 나타내는 호 위에 있을 것이다. 이 정보를 이용하면, 같은 영역 안에서 이동하면서 증가하던 불확실성 영역을 ID가 바뀌는 순간에 큰 폭으로 감소시킬 수 있다. 즉, 수신부가 동일한 ID를 받으면서 이동하면 이동거리가 늘어남에 따라 불확실성도 증가하지만 ID 정보가 전혀 없는 경우만큼 빠르게 증가하지는 않는다. 이후 수신부가 다른 ID를 받기 시작함에 따라 불확실성은 이웃한 영역 안에 속하게 된다. 이 때 앞서 언급한 바와 같이 이 방법의 가장 큰 장점인 수신부가 받는 ID 영역이 바뀌는 순간에 불확실성이 현저히 줄어드는 것으로 예상할 수 있다. 수신부가 계속해서 다른 영역으로 움직일수록 불확실성은 더욱 작아지며 최종적인 목표는 오차를 reset하는 것이다. 그러나 하나의 ID만을 받으며 같은 영역 안을 계속 움직이고 있는 경우에도 불확실성은 발산하지 않고 오히려 한정된 구역 면적에 의해 감소하며, ID영역의 경계에 가깝게 움직일수록 불확실성 영역은 더욱 감소한다.

구체적인 정보 융합 방법 서술을 위하여 다음 그림과 같은 예를 사용한다. 하나의 적외선 송신부만을 사용하여 환경 전역을 적외선 신호를 받을 수 있는 원형의 B구역과 신호를 받을 수 없는 그 이외의 지역 A로 나눈다. 물체는 시간  $t_1$ 에 A구역에서 움직이기 시작하였으며 B구역을 거쳐 다시 A구역으로 이동한다. 이산시스템이므로 매 샘플링시간마다 현재의 위치를 IMU 정보를 사용하며 추정하며 동시에 수신한 적외선 정보를 기반으로 현재의 구역을 판별한다. IMU 정보 기반 추정 궤적을 녹색 선으로 표시하였으며 적외선 수신으로 얻은 구역정보 A또는 B를 매 샘플링시간마다 녹색 사각형과 황색 원으로 각각 표시하였다.

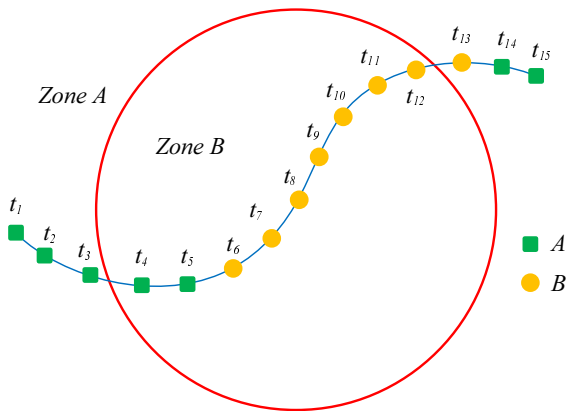


그림 4. IMU 정보 기반 위치 추정 결과 및 구역 정보.  
Fig. 4. Estimated position based on IMU information and the zone information.

위 그림에서 시간이  $t_4, t_5$ 일 때 추정 위치는 B구역에 속하나 적외선 정보는 A 구역에 속하였음을 나타내며 마찬가지로 시간이  $t_{13}$ 일 때 추정 위치는 B구역을 벗어나 다시 A구역으로 진입하였지만 적외선 정보는 B구역에 속하였음을 나타낸다. 실험을 통하여 검증하였듯이 적외선 정보를 사용한 구역 구분은 높은 신뢰도의 확정적인 정보로 판단하므로  $t_4, t_5, t_{13}$ 시간의 위치추정 결과에 오차가 포함되어 있다고 판단할 수 있다. 실제로는  $t_6 \sim t_{12}$ 사이의 위치추정 결과뿐만 아니라 알려진 초기 위치를 제외한 모든 추정치가 오차를 포함한다고 판단하므로 이를 보정하여 위치추정 정확도를 높여야 한다. 이를 보정하는 방법중의 하나가 구역전이 순간의 정보를 기준으로 삼는 것이다. 구역전이는 하나의 구역에서 다른 구역으로 이동하는 것을 의미하며 모든 시스템의 제어는 연속 시스템이 아니라 이산시스템으로 구성되나 샘플링시간이 충분히 작다고 가정한다. 따라서 본 연구에서 구역전이 순간은 기존의 구역과 다른 정보를 받는 처음 순간으로 정의하며 위의 경우  $t_6$ 와  $t_{14}$ 이 구역전이 순간에 해당한다. 이 두 순간에 추정위치의 원주 상에 있어야 하며 각각 각각 원의 내부방향, 외부방향이어야 한다. 구역 전이 순간 위치들 및 그 이외의 추정 위치들을 보정하여 다음과 같은 보정결과를 얻는 것이 목표이다. 그림 5에서 점선으로 표시한 것은 모두 IMU 정보 기반의 초기 추정 결과이다.

구역전이 순간의 위치 보정을 서술하기 위하여 다음과 같은 매개변수들을 정의한다.

이산시스템에서  $i$ 번째 샘플링타임에서 위치는 2차원상의 위치  $(x_i, y_i)$ 와 방향  $\theta_i$ 로 표현된다. 이때

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta_i = \sum_{j=1}^i \Delta\theta_j \quad (1)$$

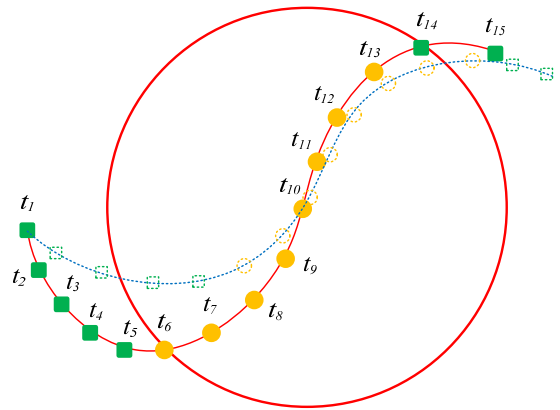


그림 5. 보정된 위치 추정 결과.  
Fig. 5. Compensated estimated position.

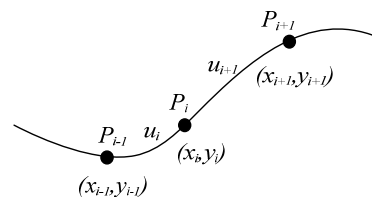


그림 6. 위치 매개 변수.  
Fig. 6. Configuration parameters.

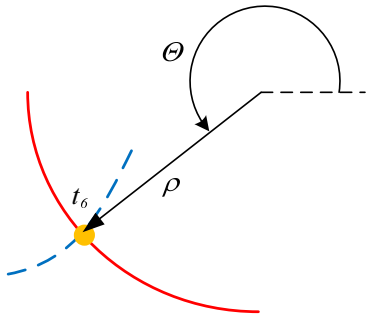


그림 7. 전이순간 위치 매개 변수.  
Fig. 7. Configuration parameters at sector transition.

$$\Delta\theta_j = \tan^{-1} \left( \frac{y_j - y_{j-1}}{x_j - x_{j-1}} \right) \quad (2)$$

로 정의한다. 또한  $u_i$ 는 궤적을 따라  $P_{i-1}$ 와  $P_i$ 사이의 이동 거리이다. 구역전이 순간의 위치를 찾는 것은 원주상의 한점의 위치를 찾는 것이며 이를 확률적으로 표현하기 위하여 그림 7에서와 같은 매개변수를 사용한다.

구역의 크기를 표현하는 반지름  $\rho$ 는 실험에 의하여 측정되는 상수값이며  $\theta$ 의 값에 따라 전이순간의 위치가 결정된다. 따라서  $\theta$ 의 값을 확률분포에 따라 변화시켜가는 것이 전이순간의 위치를 찾는 과정이다.  $\theta$  값은 초기 IMU 정보 기반 위치추정시 얻은 방향을 대푯값으로 정규분포를 따른다고 가정한다. 첫 째 전이 순간의 위치가 결정되면 그 이후의 추정 위치들은 다음과 같은 과정을 통하여 보정된다.

초기 전이순간 위치보정;

1. 전이 순간의 위치  $(x_i, y_i)$ 를 정규분포 확률을 따라 결정

구역 내부 점 계산;

2. 방향 변화 값  $\Delta\theta_i$ 을 정규분포 확률을 따라 결정
3. 두 위치 사이의 이동거리  $u_{i+1}$ 을 정규분포 확률에 따라 결정
4. 다음 점 위치  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  계산
5. 모든 내부 점들의 위치가 구역 내부?
6. 내부이면 다음 점 계산
7. 내부가 아닌 경우에는 방향 변화 값, 이동거리 값에 섭동 부여 2. 반복

다음 전이순간 위치 확인;

8. 다음 전이순간의 계산 된 위치가 구역 경계 원주상 존재? 그렇지 않으면 다른 섭동 값 부여 2. 반복

수렴 확인;

9. 해가 일정 반복 횟수 내 존재 하지 않는 경우 1. 반복

섭동값은 각 매개변수의 특성에 따라 그 분포가 결정된다. 각도의 변화량은 각속도계와 지자기센서값을 종합하여 결정하므로 높은 신뢰도를 부여하여 작은 크기 섭동값을 부여한다. 이동거리는 이동거리가 클수록 누적된 오차값이 큰 것이 일반적이므로 이동거리에 비례하는 섭동값을 부여한다.

2. 적외선구역 센서 네트워크

적외선 기반 구역방법의 가장 중요한 특징은 수신부의 위치에 따라 매우 확정적으로 ID를 받는 것이 가능하다는 것이다. 적외선구역 센서 네트워크는 적외선송신부와 제어기로 구성된 다수의 모듈들과 이를 관리하는 하나의 중앙 제어기로 이루어진다. 940nm의 파장을 갖는 적외선 LED가 사용되며 RC-5 Phillips 프로토콜에 따라 정보를 보낸다. 이 프로토콜에 따르면 14bit로 구성된 하나의 정보를 보내는 시간은 24.9msec이다. 중앙 제어기의 역할은 각 모듈에서 정보를 보내는 시작 시점을 관리한다. 영역 교집합이 존재하는 인접한 구역을 담당하는 다수의 모듈에서 동시에 적외선 신호를 보내는 경우 수신부에서 정상적인 데이터를 받을 수 없으므로 영역 교집합이 존재하지 않는 구역의 모듈은 모두 동시에 신호를 보낸 후 교집합이 존재하는 모듈들을 각각 순차적으로 신호를 보내도록 명령을 내린다. 예를 들어 그림 8과 같이 3개의 구역들이 일렬로 구성된 경우 다음과 같은 순서대로 진행된다.

B & D → C → B & D → C → ...

그림 9와 같은 경우는 교집합 영역이 없는 구역들이 존재하지 않으므로 순차적으로 진행한다.

B → C → D → B → C → D → ...

하나의 node는 적외선 LED 및 구역 정보를 RC-5 프로토콜에 따라 적외선 펄스를 발생하여 LED를 구동하는 PIC microcontroller로 구성된다. 여러 확인을 위한 Manchester coded 펄스가 36KHz carrier주파수로 변조되어 보내주며 전체 14bit중 5bit의 address, 6bit의 data가 포함되므로 충분한 수의 node를 구성할 수 있다. 중앙제어기는 AVR ATmega128이 사용되며 각 node와는 유선통신으로 신호 전송 개시 명령을 보

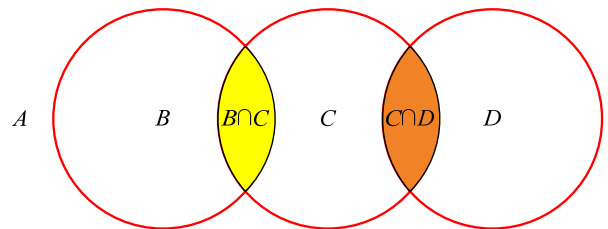


그림 8. 일렬로 배치된 3개의 구역.  
Fig. 8. Three sectors in series.

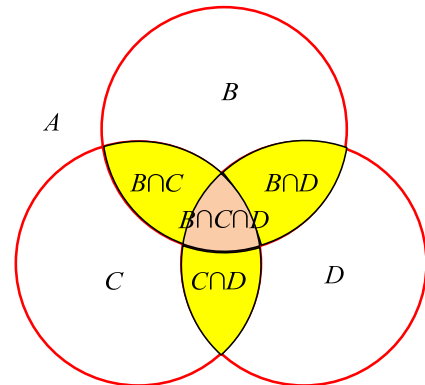


그림 9. 정삼각형 형태로 배치된 3개의 구역.  
Fig. 9. Three sectors in triangle configuration.





그림 10. 적외선 송신 노드.  
Fig. 10. IR transmission node.

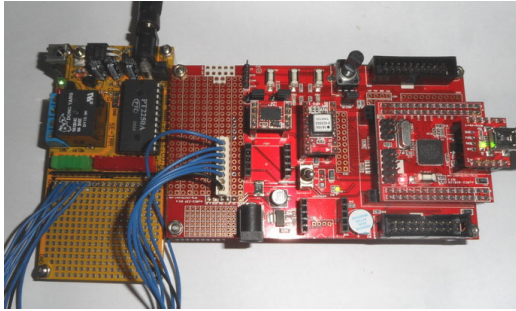


그림 11. 포토트랜지스터를 장착한 수광부 및 관성항법장치.  
Fig. 11. Inertial measurement unit with a photo transistor to receive the IR light.

낸다.

그림 11은 포토트랜지스터를 장착한 관성항법장치이다. 2.2에서 설명한 센서들 및 ATmega128 microcontroller로 이루어진 관성항법장치에 적외선 수신부 및 적외선 정보 demodulator/decoder chip이 연결되어 구성된다.

적외선기반 구역 정보의 측정은 반복적으로 수행되었으며 다음 그림은 하나의 적외선 송신부만 작동하며 고유 ID를 갖는 영역을 측정하여 그 경계를 표시한 실험결과이다. 사용 환경에 따라 각 LED로부터 측정되는 영역이 비록 완벽한 원형은 아니라도 각각의 ID에 해당하는 영역을 정확히 결정지을 수 있는 것을 검증하였다.

적외선 구역정보 송신부의 배치는 여러가지 제한조건내에서 최대한의 효과를 얻는 것을 목표로 한다. 송신부 하나가 담당하는 영역은 실험을 통하여 원형임을 검증하였고, 적외선 LED의 특성값 및 부착 높이에 따라 그 크기가 결정된다.

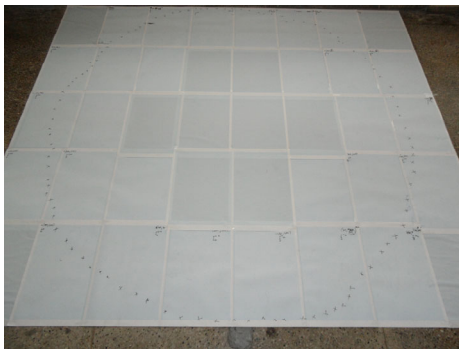


그림 12. 하나의 적외선 LED를 사용한 경우의 구역 경계 실험결과.  
Fig. 12. Border of a sector with one IR LED.

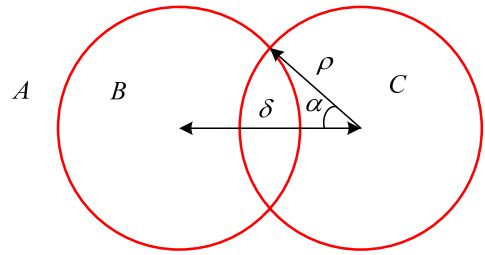


그림 13. 송신부 두 개를 사용한 경우의 설치변수.  
Fig. 13. Design parameters for two transmitters.

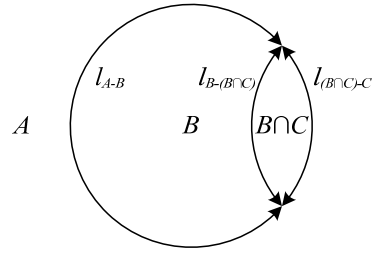


그림 14. 원 호의 길이 정의.  
Fig. 14. Definition of arc length.

센서 네트워크를 구성하기 위해서는 최소 2개 이상의 송신부를 배치하며 이때 송신부간의 거리 및 배열 형상이 설계변수이다. 가장 간단한 일렬 배치의 경우 먼저 2개의 송신부를 사용하면 다음 그림과 같다.

반지름  $\rho$ 는 실험을 통하여 측정한 상수 값이며 두 송신부 사이의 거리  $\delta$ 는 설계변수이다. 두 원의 중심을 연결한 선과 원의 중심으로부터 두 원의 교점을 연결한 선 사이의 각도  $\alpha$ 는  $\delta$ 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\cos \alpha = \frac{\delta}{2\rho} \tag{3}$$

배치 설계시 고려해야하는 점들은 두가지이며, 먼저 고유의 전이를 나타내는 원호의 길이가 길수록 유리하다. 즉, 그림 14에서 구역 A-B사이의 전이가 발생하는 원호의 길이  $l_{A-B}$ , 구역 B-(B∩C) 전이 구역 길이  $l_{B-(B\cap C)}$ , 그리고 (B∩C)-C 전이 구역 길이  $l_{(B\cap C)-C}$ 가 모두 최대화 되는 것을 목적으로 한다. 왜냐하면 전이 구역이 발생하는 시점이 가장 많은 정보를 주는 때이며 이 구역이 길수록 전이가 발생할 확률이 높기 때문이다.

각 값들은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$l_{A-B} + l_{(B\cap C)-C} = 2\pi\rho \tag{4}$$

$$l_{B-(B\cap C)} = l_{(B\cap C)-C} = 2\rho\alpha = 2\rho\cos^{-1}\left(\frac{\delta}{2\rho}\right) \tag{5}$$

위의 식에 의하면 이 목적함수를 최대화하는  $\delta$  값은 0, 즉 두 송신부가 겹칠 때이다. 따라서 다음 그림에 나타난 두 번째 목적함수 값을 함께 고려한다.

고유 구역 값을 갖는 구역들의 면적 값들 중의 최솟값을 최대로 만드는 것이 두번째 목적이다. 이에 관련된 식으로 아래 그림에서 노란색 B∩C 구역의 면적  $S_{B\cap C}$ 는 다음 식으로

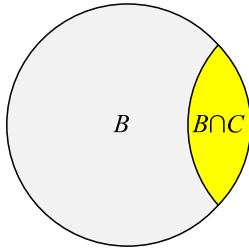


그림 15. 두 인접 구역의 넓이.  
Fig. 15. Area of two neighbor sectors.

로 표현된다.

$$S_{B \cap C} = 2\alpha\rho^2 - \delta\sqrt{\rho^2 - \frac{\delta^2}{4}} \quad (6)$$

따라서 다음 식과 같이 단일 매개변수  $\delta$ 의 값을 최적화한다.

$$S_{B \cap C} = 2\cos^{-1}\left(\frac{\delta}{2\rho}\right)\rho^2 - \delta\sqrt{\rho^2 - \frac{\delta^2}{4}} \quad (7)$$

이러한 최적화 설계방법을 확장하여 다수의 송신부를 설치하는 경우에도 적용할 수 있다.

3. 실험결과

관성항법장치정보와 적외선 기반 구역 정보를 융합한 위치추정방법의 정확도를 측정하기 위하여 그림 16과 같이 엔코더가 장착된 카트에 수신부를 설치하고 이를 움직이며 실험하였다. 수신부의 실제위치는 엔코더정보를 사용하여 계산한 값을 기준으로 하였다. 물론 카트 바퀴의 미끄러짐, 카트의 기구학적 오차등으로 인한 기준위치의 부정확성이 존재할 수 있으나 짧은 거리를 움직이는 경우는 이를 무시할 수 있다고 가정하였다.

하나의 적외선 송신부를 사용하였으므로 전체환경은 구역 정보를 받을 수 있는 원형의 내부 구역과 정보를 받을 수 없는 그 이외의 구역으로 나누어진다. 구역 정보를 받지 못하는 위치에서 출발하여 원형 구역을 거쳐 다시 구역 정보를 받지 못하는 구역으로 곡선을 따라 움직이며 실험을 수행하였다. 그림 17은 관성항법장치만을 사용하여 위치를 추정하는 실험결과이다. 그림에서 빨간색은 카트에 장착된 엔코더



그림 16. 카트를 사용한 실험 장면.  
Fig. 16. Experiments with the proposed system mounted on a cart.

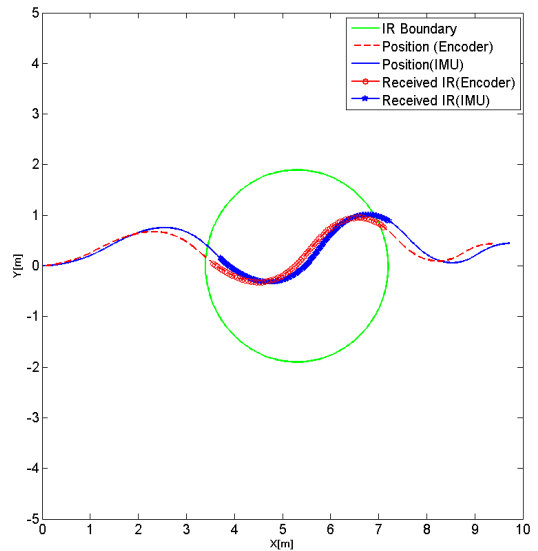


그림 17. 관성항법장치 정보를 사용한 위치 추정 실험 결과.  
Fig. 17. Localization results using the IMU information.

정보를 사용한 기준위치를 나타내며 파란색 궤적은 관성항법장치 정보를 사용한 위치추정결과이다. 녹색원은 구역정보를 받을 수 있는 경계를 나타내며 궤적상의 원은 구역정보를 받은 경우의 위치를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 실제 위치와 관성항법장치정보를 사용한 추정위치사이에는 차이가 있으며 이는 주로 가속도 센서의 누적오차 때문이다. 가장 중요한 점은 파란색궤적에서 구역 정보를 받은 위치들이 정확히 구역원내에 존재하는 않는 것이다. 즉, 위치추정 오차가 존재하기 때문이며 적외선 기반 구역 분할이 확정적이라면, 구역정보를 받을 수 있는 (원으로 표시된) 위치들이 모두 녹색원안에 존재하여야만 한다.

이러한 특성을 활용하여 추정 궤적을 수정하면 다음 그림과 같다.

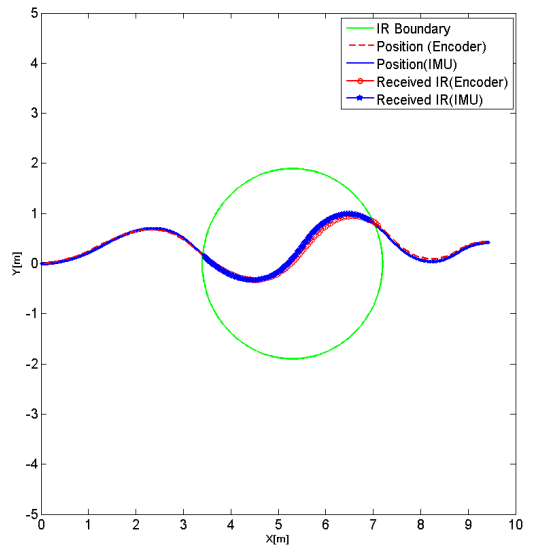


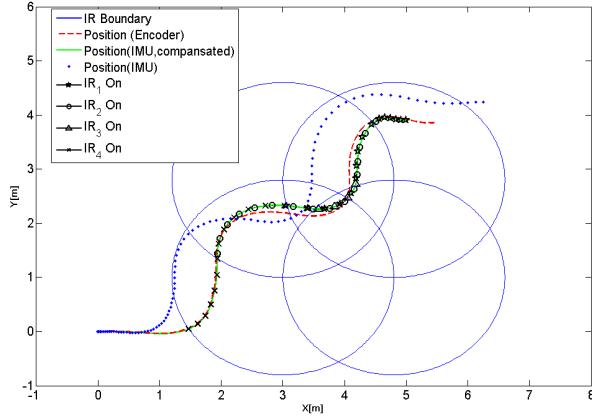
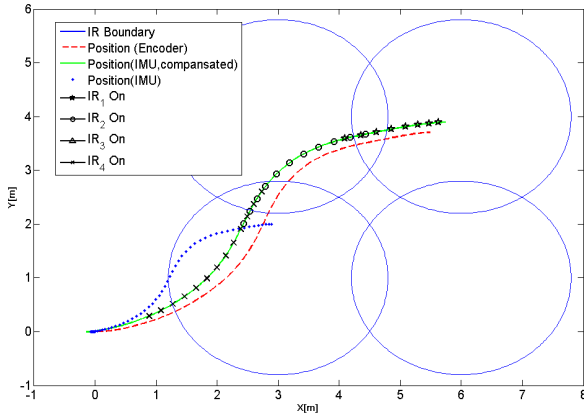
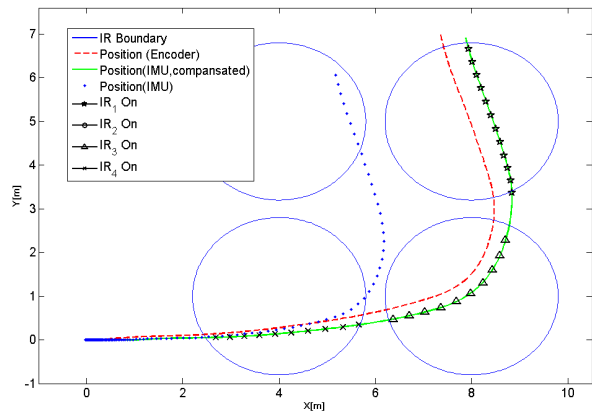
그림 18. 관성항법장치 정보와 적외선 기반 구역정보를 사용한 위치 추정 실험 결과.

Fig. 18. Localization results using the IMU and the infrared light based sector information.

표 1. 위치추정 실험 결과 오차 값.

Table 1. Localization error.

	IMU 정보기반	IRID 보정
$\delta=2\text{m}$	$\mathcal{E}=0.31$	$\mathcal{E}=0.03$
$\delta=3\text{m}$	$\mathcal{E}=3.03$	$\mathcal{E}=0.12$
$\delta=4\text{m}$	$\mathcal{E}=1.50$	$\mathcal{E}=0.13$

그림 19. 위치 추정 실험결과 ( $\delta=2\text{m}$ ).Fig. 19. Case 1: Localization results ( $\delta=2\text{m}$ ).그림 20. 위치 추정 실험결과 ( $\delta=3\text{m}$ ).Fig. 20. Localization results ( $\delta=3\text{m}$ ).그림 21. 위치 추정 실험결과 ( $\delta=4\text{m}$ ).Fig. 21. Localization results ( $\delta=4\text{m}$ ).

더욱 많은 송신부를 사용하여 많은 구역이 존재하면 관성 항법장치만을 사용한 경우보다 불확실성이 감소하여 위치추정 정확도가 향상된다. 총 4개의 송신부를 사용하여 마찬가지로 실험하였으며 또한 송신부의 배치를 달리하며 그 결과를 비교하였다. 실험환경은 3.1의 그림 1에 나타난 것과 같은 정사각형 배치를 이루며 배치 설계 변수는 두 원사이의 거리를 나타내는  $\delta$ 이다. 실험적으로 측정된 구역 원의 반경  $\rho$ 의 값은 1.82m이며,  $\delta$ 의 값이 각각 2m, 3m, 4m인 경우에 대하여 실험하였다. 실험 결과는 이동 궤적 및 속도에 따라 다르나 상대적인 비교를 위하여 각 경우에 대하여 다음 식을 사용하여 정량적 오차값을 구하였다. 앞서 언급하였듯이 encoder 정보를 이용하여 추정된 위치를 참값으로 가정하였다.

$$\mathcal{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( (x_e[i] - x_r[i])^2 + (y_e[i] - y_r[i])^2 \right) \quad (8)$$

즉 매 샘플링타임마다 추정 점과 실제 점 사이의 거리의 제곱 합을 전체데이터 수로 나누었으며 방향 추정에 대한 오차는 포함하지 않았다. 이때 거리의 단위는 m를 사용하였다. 이식을 사용하여 구한 각 경우의 오차값을 표 1에 정리하였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 기존의 관성항법장치를 사용한 위치추정시 발생하는 가속도 센서의 중력방향 가속도와 적분편류오차를 제거하는 방법과 적외선기반 구역 정보를 이용한 위치추정 방법을 제시하였다. 이 방법은 단순한 장치를 이용하여 기존의 방법보다 불확실성의 증가를 감소시킬 수 있으며, 불확실성이 발산하기 전에 reset할 수 있다는 장점을 지닌다. 실험을 통하여 제시한 알고리즘이 실제 물체의 위치를 추정하는데에 효과적이라는 것을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] C.-C. Hung and W.-C. Peng, "Clustering object moving patterns for prediction-based object tracking sensor networks," *Proc. of ACM Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*, pp. 1633-1636, 2009.
- [2] T. King et al., "COMPASS: A probabilistic indoor positioning system based on 802.11 and digital compasses," *Proc. of the 1st international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation & characterization (WiNTECH)*, pp. 34-40, Sep. 2006.
- [3] H. Piontek, M. Seyffler, and J. Kaiser, "Improving the accuracy of ultrasound-based localisation systems," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 11, no. 6, pp. 439-449, 2007.
- [4] C. Gui and P. Mohapatra, "Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks," *Proc. of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 129-143, 2004.
- [5] L. Lazos and R. Poovendran, "SeRLoc: Robust localization for wireless sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 73-100, Aug. 2005.
- [6] S. Lee and J. Song, "Use of coded infrared light as artificial landmarks for mobile robot localization," *Proc. of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and*



Systems, pp. 1731-1736, Oct. 2007.

[7] 배정연, 이수용, 송재복, "IRID를 이용한 이동로봇의 위치추정," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, vol. 13, no. 9, pp. 903-909, Sep. 2007.

[8] S. Sukkarieh, E. M. Nebot, and H. Durrant-Whyte, "A high integrity IMU/GPS navigation loop for autonomous land vehicle applications," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 15, no. 3, pp. 572-578, Jun. 1999.

[9] T. Upadhyay, S. Cotterill, and A. W. Deaton, "Autonomous GPS/INS navigation experiment for space transfer vehicle," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 29, no. 3, pp. 772-285, Jul. 1993.

[10] W.-W. Kao, "Integration of GPS and dead-reckoning navigation systems," *Proc. Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, SAE, pp. 635-643, Oct. 1991.

[11] K. Kobayashi, F. Munekata, and K. Watanabe, "Accurate navigation via differential GPS and vehicle local sensors," *IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 9-16, Oct. 1994.

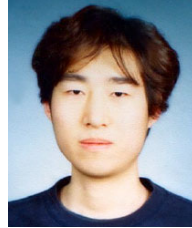
[12] A. Brown and Y. Lu, "Performance test results on an integrated GPS/MEMS inertial navigation," *Proc. of ION GNSS 2004*, pp. 825-832, 2004.

[13] D. A. Grejner-Brzezinska, C. Toth, S. Moafipoor, and Y. Jwa, "Multi-sensor personal navigator supported by human motion dynamics model," *3rd IAG / 12th FIG Symposium*, May 2006.

[14] L. Ojeda and J. Borenstein, "Non-GPS navigation for security

personnel and first responders," *Journal of Navigation*, vol. 60, no. 3, pp. 391-407, Sep. 2007.

[15] S. Beauregard, "A helmet-mounted pedestrian dead reckoning system," *3rd International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC 2006)*, VDE Verlag, pp. 79-89, Mar. 2006.



**이 민 영**

2010년 홍익대학교 기계시스템디자인 공학과 졸업. 2010년~현재 홍익대학교 대학원 기계공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 위치추정.



**이 수 용**

1989년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1991년 서울대학교 기계공학과(공학석사). 1996년 MIT 기계공학과(공학박사). 1996년~1999년 한국과학기술연구원 선임연구원. 2000년~2003년 Texas A&M대학 기계공학과 조교수, 2003년~현재 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 부교수. 관심분야는 Robotics.