



최적화 기법을 사용한 실내 이동 로봇의 위치 인식

An Optimization Approach for Localization of an Indoor Mobile Robot

한준희* · 고낙용†

Jun Hee Han and Nak Yong Ko†

*조선대학교 대학원 제어계측공학과, †조선대학교 전자공학과

*Dept. Control and Inst. Eng., Chosun Univ., † Dept. Electronic Eng., Chosun Univ.

요약

본 논문은 실내 주행 로봇의 위치 추정을 위해 최적화 기법을 적용한 방법에 대해 기술한다. 주행 로봇의 위치 추정에 사용되는 베이저안 필터 방법의 경우는 측정값과 환경 요소에 대한 불확실성을 고려하기 위해 사용하는 조절 파라미터에 따라 추정 성능이 달라진다. 또한 로봇동작 및 센서 측정 모델의 비선형성에 의하여 성능이 저하될 수 있다. 최적화 기법은 조절 파라미터가 적고 모델의 비선형성의 영향을 적게 받는다. 본 연구에서는 최적화 기법의 위치 추정 활용성을 보이기 위해 최적화 방법에 의한 추정 성능과 EKF 방법에 의한 추정 성능을 비교한다. 사용한 측정 센서는 초음파 위성 시스템(USAT, Ultrasonic Satellites system)으로서 4개의 비컨으로부터 로봇까지의 거리를 측정한다. 측정값의 비정상 오차를 제거하기 위하여 마할라노비스 거리(Mahalanobis Distance)를 이용한다. 최적화 기법은 거리 측정값을 사용하여 목적함수를 설계하고 반복 계산을 통해 위치의 최적 값을 찾는다. 반복 수행을 위한 초기 위치를 베이저안 필터 방법을 통하여 적절히 설정함으로써 제안된 방법은 위치 추정 성능을 향상시키고 실행 시간을 단축시킬 수 있다.

키워드 : 이동로봇 위치추정, 최적화 기법, 확장 칼만 필터, 초음파 위성 시스템, 비정상 오차 제거

Abstract

This paper proposes a method that utilizes optimization approach for localization of an indoor mobile robot. Bayesian filters which have been widely used for localization of a mobile robot use many control parameters to take the uncertainties in measurement and environment into account. The estimation performance depends on the selection of these parameter values. Also, the performance of the Bayesian filters deteriorate as the non-linearity of the motion and measurement increases. On the other hand, the optimization approach uses fewer control parameters and is less influenced by the non-linearity than the Bayesian methods. This paper compares the localization performance of the proposed method with the performance of the extended Kalman filter to verify the feasibility of the proposed method. Measurements of ranges from beacons of ultrasonic satellite to the robot are used for localization. Mahalanobis distance is used for detection and rejection of outlier in the measurements. The optimization method sets performance index as a function of the measured range values, and finds the optimized estimation of the location through iteration. The method can improve the localization performance and reduce the computation time in corporation with Bayesian filter which provides proper initial location for the iteration.

Key Words : Mobile robot localization, Optimization technique, Extended Kalman Filter, Ultrasonic Satellites system, Outlier rejection

Received: Apr. 1, 2016
Revised : Apr. 10, 2016
Accepted: Aug. 10, 2016
† Corresponding authors
nyko@chosun.ac.kr

이 논문은 2016학년도 조선대학교 학술 연구비의 지원을 받아 연구되었음(This study was supported by research fund from Chosun University, 2016)
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

로봇의 자율주행은 위치추정[1], 경로계획[2], 지도 작성, 경로추적, 제어, 의사결정 기술들이 하나로 융합되어 구현된다. 로봇의 자율주행을 위해 필요한 위치추정 기술의 적용 범위는 실외환경과 실내환경으로 구분할 수 있다[3]. 실외환경에서 위치를 인식하는 방법은 GPS정보[4], 비전센서(Vision sensor)[5] 및 레이저 거리 측정 센서(LRF, Laser Range Finder)[6]를 이용하여 환경 정보와 로봇의 위치를 인식하는 방법이 있다. 실내환경에서는 GPS의 수신이 불가능하기 때문에 실내 이동 로봇은 자기수용성(Proprioceptive) 정보의 Lidar, Camera 등의 외수용성 정보를 또는 IMU등을 사용하여 로봇의 위치를 인식[7]한다.

실내 · 외 환경에서 이상적인 로봇의 위치를 구하기 위해서는 로봇의 위치 오차를 최소화하는 방법이 필수적이다. 위치 오차를 최소화하여 로봇의 위치에 대한 최적 값을 찾기 위해서 여러 가지 상태추정 알고리즘을 적용한다. 로봇의 위치를 인식하기 위한 상태 추정 방법은 로봇의 이동 특성을 고려하는 베이저안 필터(Bayesian filter) 방법 중에서 확장 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)[8],

무향 칼만 필터(UKF, Unscented Kalman Filter)[9], 파티클 필터(PF, Particle Filter)[10][11]들이 대표적이다. 또한 즉각적인 위치 추정에는 최소자승법(Least squares method), 삼각측량법(Triangulation method)들을 이용방법들을 사용한다. 베이시안 상태 추정 알고리즘은 일반적으로 추정 성능이 우수하며 사용하는 센서 측정 정보들에 대한 불확실성을 정도에 따라 조절할 수 있는 장점이 있다. 하지만 조절해야하는 변수들이 많고 제어하기 어려운 단점이 있다.

이러한 상태 추정 방법 이외에도 로봇의 위치를 인식하기 위하여 최적화 기법을 사용한 연구가 진행되었다. 무선 센서 네트워크를 사용한 연구[12]에서는 위치한 센서 노드에서 로봇까지의 거리 정보를 사용하여 로봇의 위치를 최적화 시키는 방법을 사용한다.

로봇의 위치를 인식하기 위해 사용하는 최적화 기법의 장점은 다른 상태 추정 알고리즘보다 구현이 쉽고 단일 측정 센서만을 이용하여 로봇의 위치 인식이 가능하다. 적용한 최적화 기법은 사용하는 센서 측정값에 대해 목적 함수를 생성해야 하며 각각의 측정값에 대한 정보를 바탕으로 로봇의 위치의 최적 값을 찾는다. 최적화 기법을 적용하기 위해서는 목적 함수에 대하여 최적 값을 찾아가는 수렴 시간과 극대/극소, 변곡점 문제를 해결해야 한다.

본 논문은 최적화 기법을 적용하고 레이저 거리 측정(LRF, Laser Range Finder)값을 사용하여 로봇의 위치를 추정하는 방법에 대해 기술하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장은 본문에서 사용 될 변수들에 대한 표기법들을 정리하여 나타낸다. 제 3장은 이동로봇의 위치를 추정하기 위해 사용한 최적화 기법에 대하여 기술하였다. 제 4장은 마할라노비스 거리를 알고리즘에 적용하여 비정상 오차를 제거하는 방법에 대해 소개한다. 제 5장의 실험 및 결과에서는 최적화 기법을 적용한 위치추정 결과를 나타내고 성능을 검증하기 위해 기존 이동로봇의 위치 추정 방법으로 사용하는 확장 칼만 필터를 적용한 위치추정 결과와 비교한다. 제 5장의 결론은 최적화 기법에 대한 연구 결과를 정리하고 향후 연구에 대해 기술하였다.

2. 표기법

최적화 기법을 설명하기 위해 사용할 기호는 다음과 같다.

$x(t)$	시간 t 에서의 상태변수; $x_t = (x_{t,x}, x_{t,y})$
B_i	i 번째 비컨 위치; $B_i = (B_{i,x}, B_{i,y})$
$\hat{z}_{t,i}$	i 번째 비컨에서 로봇까지 계산된 값
$z_{t,i}$	i 번째 비컨에서 로봇까지 센서에 의해 측정된 거리 값
$\nabla f(x_t)$	상태변수 이동방향을 결정하기 위한 일차미분

$H_f(x_t)$	목적함수 $f(x_t)$ 의 극대/극소 구분을 위한 헤이시안 행렬 이차미분
T_{r_d}	신뢰영역에 대한 목적함수 $f(x_t)$ 탐색 범위
T_{r_i}	신뢰영역 탐색 범위를 제한하기 위한 허용치

3. 최적화 기법

최적화 기법을 이동로봇의 위치 추정에 적용하는 원리는 임의의 로봇의 초기 상태변수 $x_t = (x_{t,x}, x_{t,y})^T$ 에서 출발하여 목적함수 $f(x_t)$ 가 감소하는 방향으로 이동한다. 여기서 $x_{t,x}, x_{t,y}$ 는 로봇의 위치좌표 x, y 를 의미한다.

목적함수 $f(x_t)$ 를 생성하기 위하여 비컨($B_i, i = (1, \dots, 4)$) 위치에서 로봇까지의 거리 ($\hat{z}_{t,i}, (i = 1, \dots, 4)$)들을 식 (1)과 같이 계산한다.

$$\hat{z}_{t,i} = \sqrt{(x_{t,x} - B_{i,x})^2 + (x_{t,y} - B_{i,y})^2}, \quad (i = 1 \dots 4) \quad (1)$$

식 (1)의 계산된 측정값을 이용하여 목적함수 $f(x_t)$ 를 생성할 수 있으며 식 (2)와 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$f_i = z_{t,i} - \hat{z}_{t,i}, \quad (i = 1 \dots 4) \quad (2)$$

$$f(x_t, y_t) = \sum_{i=1}^4 (f_i)^2 \quad (3)$$

다변수 스칼라 함수에서 최적화는 다음 식 (4)에서 Saddle-free Newton방법[13]으로 정리된다.

$$x_{t+1} = x_t - |H_f(x_t)|^{-1} \nabla f(x_t) \quad (4)$$

$$\nabla f(x_t) = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right)^T \quad (5)$$

식(4)에서 $\nabla f(x_t)$ 는 일차미분으로서 최적화를 위한 상태변수의 이동방향을 나타낸다. 식 (4)에서 $|H_f(x_t)|^{-1}$ 은 목적함수 $f(x_t)$ 가 감소하는 방향으로 유도하기 위하여 절대값을 사용한다. 다 변수 스칼라 함수의 이차미분인 헤시안 행렬(Hessian Matrix) $H_f(x_t)$ 을 식 (6)과 같이 구한다.

$$H_f(x_t) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

식 (4)의 $|\sqrt{H_f(x_i)}|$ 는 $\lambda_n(n=1,2)$ 의 대각화를 통해 가역행렬(Invertible matrix)와 대각행렬(Diagonal matrix)로 분리되며 고유 값 $\lambda_n(n=1,2)$ 을 구하고 고유 값 λ_n 에 절대 값을 적용하여 식 (7)으로 구한다.

$$|H_f(x_i)| = P \cdot \begin{pmatrix} |\lambda_1| & 0 \\ 0 & |\lambda_2| \end{pmatrix} \cdot P^T \quad (7)$$

식 (7)의 결과를 이용하여 역행렬을 구하여 식 (4)의 $|H_f(x_i)|^{-1}$ 를 구한다.

이차미분을 통한 최적화는 변곡점($f'' = 0$)문제를 해결하고 함수의 변화를 이차함수로 근사(approximation)하여 최적화를 한다. 실제 목적함수 $f(x_i)$ 는 근사화한 이차함수가 아니기 때문에 발산할 수 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 신뢰 영역(Trust Region)[14] 방법을 사용한다.

신뢰 영역 방법은 구하고자 하는 최적 값에 대하여 목적함수 $f(x_i)$ 의 탐색 범위를 결정된 신뢰 영역안으로 제한한다. 다음 식 (8)은 신뢰 영역의 크기를 수식으로 나타낸다.

$$Tr_d = \sqrt{(x_{t,x} - x_{t-1,x})^2 + (x_{t,y} - x_{t-1,y})^2} \quad (8)$$

식 (8)의 Tr_d 는 목적함수 $f(x_i)$ 의 탐색 범위를 나타내며 탐색범위의 허용치 Tr_i 를 벗어나지 않았을 경우 지속적으로 목적함수 $f(x_i)$ 에서 최적 값(local minimum)을 찾으며 Tr_d 가 Tr_i 를 벗어날 경우 식 (9)와 같이 근사하여 최적화 한다.

$$x_{t+1} = x_t + \left(\frac{Tr_i}{Tr_d} \cdot (x_{t+1} - x_t)\right) \quad (9)$$

4. 비정상 오차 제거 방법

식 (4)에서 로봇 위치의 최적 값(local minimum)은 여러 번의 반복을 수행을 통해 계산하여 나타낸다. 본 논문에서 위치추정을 위한 최적화 방법은 초음파 위성 시스템(USAT, Ultrasonic Satellites system)[15]으로 부터 거리 측정값 $z_{t,i}$ 를 사용한다. 거리 측정값 $z_{t,i}$, ($i = 1, \dots, 4$)는 비정상적으로 출력 될 때 비컨위치에서 로봇의 위치까지 계산된 거리값 d_i , ($i = 1, \dots, 4$)와의 오차가 크게 나타난다. 최적 값(local minimum)을 찾기 위해 사용하는 최적화 기법은 거리 측정값과 계산된 거리 값이 오차가 클 경우 변곡점 근처에서 발산하는 문제와 극대/극소를 구분하지 못하여 잘못된 위치에서 수렴하는 현상이 일어날 수 있다. 따라서 비정상적으로 동작하는 측정값을 제외한 나머지를 이용하여 최적 값을 찾도록 해야 한다.

비정상 오차를 검출하기 위해 마할라노비스 거리(MD, Mahalanobis Distance)는 식 (10)과 같이 나타낸다. σ_r^2 은 측정값에 대한 오차의 분산정도를 나타낸다.

$$MD_{t,i} = \frac{\sqrt{z_{t,i} - d_i}}{\sigma_r}, (i = 1, \dots, 4) \quad (10)$$

비정상적인 측정값에 대해 고려한 임계 값 γ 이 마할라노비스 거리 $MD_{t,i}$, ($i = 1, \dots, 4$)보다 큰 경우 비정상 오차를 갖는 측정값으로 판단한다.

비정상 오차를 갖는 측정값은 최적화를 실행할 때 제외 되며 다음 표 1과 같이 알고리즘에 의해 목적함수를 생성한다.

표 1. 비정상 오차 제거 알고리즘
Table 1. Algorithm for outlier rejection

1.	Algorithm outlier_rejection ($z_{t,i}, d_i, f(x_t), f_i$)
2.	$MD_i = \frac{\sqrt{z_{t,i} - d_i}}{\sigma_r}, (i = 1, \dots, 4)$
3.	for $i=1:4$
4.	if $MD_i < \gamma$
5.	$z_{t,i} = 0$
6.	if $z_{t,i} = 0$
7.	continue
8.	else
9.	$f(x_i) = f(x_t) + (f_i)^2$
10.	end
11.	end
12.	endfor

검출된 비정상 오차를 갖는 측정값은 $z_t = 0$ 이 되고 0이 되는 측정값을 제외하여 나머지 측정값에 대해 목적함수를 생성한다.

5. 실험 및 결과

실험은 이동로봇의 직진속도 측정값과 회전속도 측정값, 초음파 위성 시스템(USAT, Ultrasonic Satellites system)을 사용하여 비컨 ($B1, B2, B3, B4$)의 위치로부터 로봇까지의 계산된 측정값을 사용한다. 지도 작성 방법은 레이저 거리 측정 센서(LRF, Laser Range Finder)를 사용하여 ICP(Iterative Closet Point)를 이용한 스캔 매칭(Scan Matching)[16]을 통해 10cm간격의 격자로 전역지도(Global map)를 표현하였다.

그림 1은 기존 위치 추정 방법인 확장 칼만 필터를 적용한 위치 추정 결과를 나타내고 그림 2는 최적화 기법을 이용한 위치 추정 결과를 나타낸다. 최적화 기법을 이용한 위치 추정에서는 이전

시각의 로봇위치를 초기 값으로 설정하여 다섯 번의 최적화 작업을 반복 수행한다. 로봇의 실제 주행 궤적은 국부지도(Local map)에 대한 상대 위치로 표현하였으며 여섯 개의 지점(Way point)을 설정하여 파란색 점선과 같이 나타낸다. 빨간색 실선은 각 방법에서 사용한 추정 위치를 표현하였다.

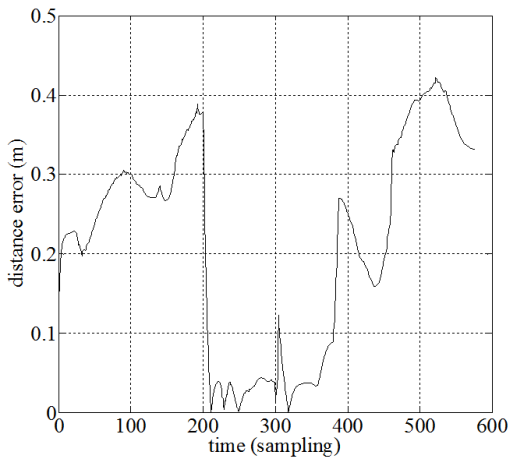
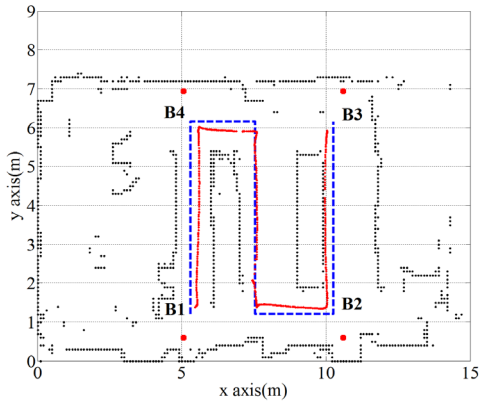


그림 1. 확장 칼만 필터를 이용한 위치추정 결과
Fig. 1. Result of localization using the EKF

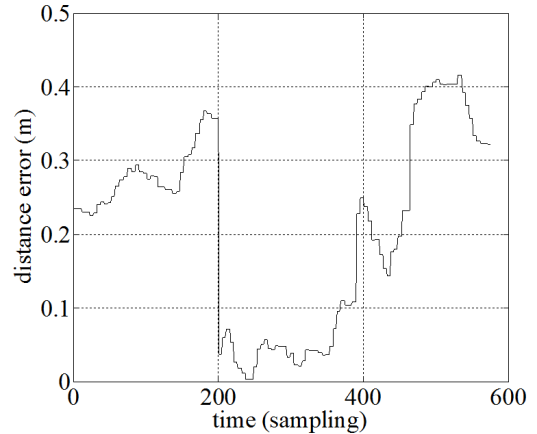
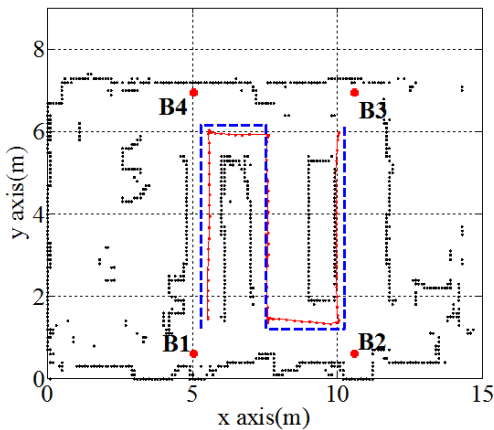


그림 2. 최적화 기법을 이용한 위치추정 결과
Fig. 2. Result of localization using the Optimization

표 2는 그림1과 그림2의 실험에서 로봇의 실제 주행 궤적과 로봇이 추정된 위치 사이의 거리 차를 통계적으로 나타내었다.

표 2. 위치추정 결과의 통계적 해석
Table 2. Statistical analysis of the estimation

	EKF	Optimization
E(error)	0,2142	0,2117
σ (error)	0,1326	0,1307
Max.	0,4219	0,4157
RMSE	0,2519	0,2487

표 3은 최적화 기법을 적용한 위치추정 방법과 확장 칼만 필터를 적용한 위치추정 방법에서 비정상 오차를 검출한 빈도수를 나타낸다.

표 3. 비정상 오차 빈도수
Table 3. The frequency of outlier

	EKF	Optimization
r_1 (575)	16	16
r_2 (575)	16	16
r_3 (575)	16	21
r_4 (575)	16	21

r_1, \dots, r_4 의 측정값 개수는 각각 575번 출력되었으며 확장 칼만 필터에서는 비정상 오차가 각각 16번 검출되었으며 최적화 기법을 적용한 위치추정 방법에서는 r_1, r_2 가 각각 16번, r_3, r_4 는 각각 21번 검출되었음을 알 수 있다.

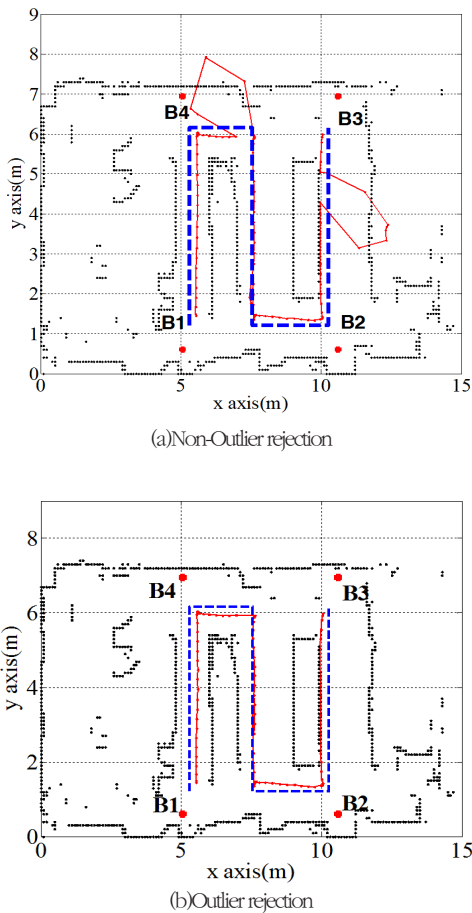


그림 3. 비정상 오차 제거 방법의 위치추정 결과
Fig. 3. Result of localization using the Outlier rejection

그림3은 비정상 오차를 제거하지 않은 추정결과(a)와 비정상 오차를 제거한 방법(b)을 비교한 결과이다. (a)의 비정상 오차 구간은 잡음이 많은 비정상 오차 측정값을 실제 위치로 판단하여 로봇의 위치를 추정한다.

다음 표4는 그림3의 추정 결과를 통계적으로 나타낸다.

표 4. 위치추정 결과의 통계적 해석
Table 4. Statistical analysis of the estimation

	Non-Outlier rejection	Outlier rejection
E(error)	0.2325	0.2117
σ (error)	0.2273	0.1307
Max.	2.0011	0.4157
RMSE	0.3250	0.2487

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 실내 주행 로봇의 위치 인식을 위하여 최적화 기법을

적용한 방법의 효용성을 검증하였다.

최적 값(local minimum)을 찾기 위해 설계된 목적함수는 로봇의 위치에서부터 비컨(B1, B2, B3, B4)까지 거리를 실제로 측정된 값과 계산된 값을 이용하여 구성하였다. 최적화 기법을 적용한 위치추정 성능평가를 위한 성능지표는 상대 위치로 지정한 로봇의 실제 주행 궤적과 최적화 기법 및 확장 칼만 필터 방법에 의한 로봇의 추정위치의 오차를 이용하여 평균(E(error)), 표준편차(σ (error)), 최대오차거리(Max.), 표준 오차(RMSE, Root Mean Squares Error)로 나타내었다.

베이저안 필터 방법은 로봇의 위치를 추정하기 위해 사용하는 측정값과 여러 가지 환경 변수에 의한 불확실성을 조절하기 위해 조절 파라미터를 알맞게 선택해야 하는 어려움이 있었다. 최적화 기법은 베이저안 필터 방법보다 알고리즘 설계 방법이 비교적 간단하였으며 조절 파라미터가 단순화 되는 이점을 보였다.

본 논문에서 사용한 최적화 기법은 위치에 대한 최적값을 빠르게 찾기 위해 Saddle-free Newton방법과 신뢰영역(Trust Region)을 사용하였으며 비정상적으로 동작하는 측정값을 제거하여 최적화 알고리즘의 성능을 향상 시켰다. 또한 최적화 기법은 로봇 위치에 대한 최적 값(local minimum)을 찾기 위하여 반복 회수를 20회로 정하여 위치의 최적 값을 계산하였다.

위치추정 성능 평가는 통계적인 방법에 의해 이루어 졌으며 최적화 기법을 적용한 위치추정 결과와 확장 칼만 필터 방법을 적용한 위치추정 결과를 비교하여 최적화 방법도 이동 로봇의 위치 추정에 사용 가능함을 검증하였다.

본 연구에서는 설계하기 쉬운 최적화 기법을 사용하여 로봇의 위치를 추정하였으나 향후 최적화 기법이 갖는 연산 량이 많은 문제점을 해결하여 최적화 기법의 고속화 구현을 목표로 한다.

References

- [1] B. S. Choi, J. W. Lee, J. J. Lee, K. T. Park, "A Hierarchical Algorithm for Indoor Mobile Robot Localization Using RFID Sensor Fusion", *Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2226-2235, 2011.
- [2] Y. Zhang, D. W. Gong, J. H. Zhang, "Robot path planning in uncertain environment using multi-objective particle swarm optimization", *Nerocomputig*, vol. 103, pp. 172-185, 2013.
- [3] W. P. Yu, S. L. Choi, J. Y. Lee, S. H. Park, "Robot Navigation Technology an Its Standardization Trends", *전자통신동향분석*, vol. 26, no. 6, 2011.
- [4] Y. H. Ji, J. H. Bae, J. B. Song, J. K. Ryu, J. H. Baek, "Outdoor

Localization through GPS Data and Matching of Lane Markers for a Mobile Robot”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 6, pp. 594-600, 2012.

[5] E. S. Park, C. H. Yu, J. W. Choi, “Development of a Lateral Control System for Autonomous Vehicles Using Data Fusion of Vision and IMU Sensors with Field Tests”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 179-186, 2015.

[6] V. Nguyen, A. Martinelli, N. Tomatis, R. Siegwart, “A Comparison of Line Extraction Algorithms using 2D Laser Rangefinder for Indoor Mobile Robotics”, *Intelligent Robots and System*, pp. 1929-1934, 2005.

[7] J. Y. Choi, S. G. Kim, “Study on the Localization Improvement of the Dead Reckoning using the INS Calibrated by the Fusion Sensor Network Information”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 18, no. 8, pp. 744-749, 2012.

[8] J. M. Kim, Y. T. Kim, S. S. Kim, “An Accurate Localization for Mobile Robot Using Extended Kalman Filter and Sensor Fusion”, *IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 2928 - 2933, 2008.

[9] Gabriel Hartmann, Fay Huang, Reinhard Klette, “Landmark Initialization for Unscented Kalman Filter Sensor Fusion in Monocular Camera Localization”, *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 1-10, 2013.

[10] T. G. Kim, N. Y. Ko, S. W. Noh, “Simultaneous Estimation of Landmark Location and Robot Pose Using Particle Filter Method”, *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 3, pp. 353-360, 2012.

[11] Hyunhak Cho, Jungmin Kim, Joocheol Do, Sungshin Kim, “Improvement of Positioning Accuracy of Laser Navigation System using Particle Filter”, *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 6, pp. 755-760, 2011.

[12] C. Li, Y. Shen, L. Liu, Q. Cao, “An Optimization Algorithm for Wireless Sensor Networks Localization Using Multipler Method”, *Computational Science and Optimization*, vol. 2, pp. 337-341, 2010.

[13] Y. N. Dauphin, R. Pascanu, C. Gulcehre, K. Cho, S. Ganguli, Y. Bengio, “Identifying and attacking the saddle point problem in high-dimensional non-convex optimization”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2014.

[14] M. M. A. Abdelaziz, H.E. Farag, E. F. El-Saadany, Y. A. R. I. Mohamed, “A Novel and Generalized Three-Phase Power Flow Algorithm for Islanded Microgrids Using a Newton

Trust Region Method”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, vol. 28, no. 1, pp. 190-201, 2013.

[15] N. Y. Ko, T. G. Kim, D. J. Seo, Y. T. Seo, “Localization of Mobile Based Robot Using Ultrasonic Satellite”, *Proceedings of KIIS Spring Conference*, vol. 19, no. 1, pp. 199-202, 2009.

[16] S. W. Noh, T. G. Kim, N. Y. Ko, “Map Building Using ICP Algorithm based a Robot Position Prediction”, *Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 8, no. 4, pp. 575-582, 2013.

저 자 소 개



한준희(Jun Hee Han)

2014년 : 조선대학교 제어계측로봇공학과 공학사
 2014년~2016년 : 조선대학교 대학원 제어계측공학과석사
 2016년~현재 : 대한상공회의소 인천인력개발원 컴퓨터제어시스템과 교수

관심분야 : 지상로봇, 수중로봇, 위치추정
 Phone : +82-10-2047-2364
 E-mail : han_junhee@naver.com



고낙용(Nak Yong Ko)

1985년 : 서울대학교 제어계측공학과 공학사
 1987년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과 공학석사
 1993년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과 공학박사

1997년~1998년, 2004년~2005년 : Carnegie Mellon Univ., Robotics Institute, visiting research scientist
 1992년~현재 : 조선대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 지상로봇과 수중로봇의 자율주행
 Phone : +82-62-230-7108
 E-mail : nyko@chosun.ac.kr