

SLAM으로 작성한 지도 품질의 상대적/정량적 비교를 위한 방법 제안

A New Method for Relative/Quantitative Comparison of Map Built by SLAM

권 태 범[†], 장 우 석¹

Kwon Tae-Bum[†], Chang Woo-Sok¹

Abstract By a SLAM (simultaneous localization and mapping) method, we get a map of an environment for autonomous navigation of a robot. In this case, we want to know how accurate the map is. Or we want to know which map is more accurate when different maps can be obtained by different SLAM methods. So, several methods for map comparison have been studied, but they have their own drawbacks. In this paper, we propose a new method which compares the accuracy or error of maps relatively and quantitatively. This method sets many corresponding points on both reference map and SLAM map, and computes the translational and rotational values of all corresponding points using least-squares solution. Analyzing the standard deviations of all translational and rotational values, we can know the error of two maps. This method can consider both local and global errors while other methods can deal with one of them, and this is verified by a series of simulations and real world experiments.

Keywords: SLAM, Map comparison

1. 서 론

로봇의 자율주행을 위해서는 지도작성, 위치추정, 경로 생성, 장애물회피 등의 여러 기술이 필요하다. 이 중 지도 작성을 위해서는 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술이 필요한데, 이는 자율주행을 위하여 필요한 여러 기술 중 가장 어려우면서도 중요한 기술이다. 다양한 방법이 연구되었고, 대표적인 방법으로는 EKF, particle filter, graph optimization 기반 방법 등이 있다^[1-5]. 각 방법에 따른 장단점이 존재하기 때문에 적용 분야에 적합한 방법을 사용하는 것이 필요하다.

SLAM 개발 시 중요한 부분 중 하나가 SLAM의 성능을 평가하는 것이다. SLAM의 성능은 지도 작성 시간, 지도와 환경의 일치 수준 등으로 평가할 수 있는데, 본 연구에서

는 지도와 환경의 일치 수준, 즉 지도의 품질을 평가하는 것에 관심이 있다. 이는 개발한 SLAM 알고리즘으로 환경에 대한 지도를 작성한 후 지도와 환경이 얼마나 유사한지를 정량적으로 평가하려고 할 때 필요하다. 혹은 서로 다른 기법, 혹은 동일한 기법의 서로 다른 구현 간의 성능을 상대적으로 비교하려 할 때에도 필요하다. 이와 유사한 연구는 많이 수행되지 않았고, 제안된 방법들도 각기 장단점을 가지고 있다.

기존 방법은 크게 절대위치만 비교하는 방법과 위치 간의 상대적인 관계를 비교하는 두 가지로 나눌 수 있다. 전자는 절대좌표계 기준의 위치를 직접 비교하는 방법으로 쉽다는 장점이 있는 반면에 오차가 누적되어 비교가 되는 단점이 있다. 후자는 방법은 복잡하지만 오차가 누적되는 문제가 발생하지 않는다. 단, 이 방법의 경우 로봇 관점에서만 비교를 수행하기 때문에 사람이 보기에 부정확한 지도도 정확하다고 판단될 수 있는 단점이 있다.

본 연구에서는 사람 관점과 자율주행 관점을 모두 고려

Received : May 28, 2014; Reviewed : Jun. 30, 2014; Accepted : Oct. 2, 2014

[†] Corresponding author: Creative Innovation Center, CTO, LG Electronics (smart.kwon@lge.com)

¹ Creative Innovation Center, CTO, LG Electronics (woosok.chang@lge.com)

하여 SLAM으로 작성한 지도 간의 상대적인 비교가 가능한 방법을 제안하였고, 제안한 방법의 유용성을 실험을 통하여 보였다. 2장에서는 SLAM 성능을 비교하는 방법에 관한 유사 연구를 자세히 설명하였고, 3장에서는 다루는 문제를 분석하고 요구조건을 정의하였다. 4장에서는 요구조건을 만족시킬 수 있는 새로운 방법을 제안하였고, 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다. 5장에서는 실제 환경에서 SLAM으로 작성한 지도를 사용하여 제안한 방법을 검증하였고, 마지막으로 6장에서는 본 연구에 대한 결론을 정리하였다.

2. 관련 연구 분석

야외 환경에서 3D 센서로 측정된 정보를 4가지 서로 다른 SLAM 방법으로 처리하여 작성한 지도들의 정확도를 절대좌표계 상에서 비교하는 방법이 제안되었다^[6]. 비교를 위한 기준경로는 지적도전산출력자료 (ALK, Automatisierte Liegenschaftskarte)를 이용하여 추출하였고, 이 경로와 SLAM 중 추정된 위치를 하나의 절대좌표계로 맞추어 차이를 비교하였다. 이 방법의 경우 하나의 절대좌표계에서의 위치 차이를 비교하는 방법이기 때문에 Fig. 1(a)와 같이 위치 3에서 국부적으로 발생한 오차가 위치 4, 5, 6, 7의 다른 부분에 오차를 누적 시킨다는 단점이 있다. SLAM으로 작성한 지도는 결국 로봇의 자율주행에 활용되는 것이기 때문에 Fig. 1(a)와 같은 경우 사람에게서는 불완전하게 보이지만 로봇의 자율주행에는 전혀 문제 될 것이 없을 수 있다. 또한 국부 오차가 발생한 부분 전후로 나누어 보면(1-2-3-8-9-10, 3-4-5-6-7-8) 국부적으로는 지도 작성이 잘 되었음에도 4,5,6,7부분의 위치 오차가 큰 것을 Fig. 1(c)에서 확인할 수 있다. 또한 Fig. 1(b)와 같이 국부적으로는 오차가 지속적으로 발생하였지만, 효과가 서로 상쇄되어 Fig. 1(c)와 같이 전체적으로 오차가 크게 발생하지 않은 경우에는 SLAM이 잘 수행된 것으로 판단할 수 있다. 이는 동일한 절대좌표계 기준의 위치를 하나씩만 직접 비교하였기 때문에 발생하는 문제이다.

실내 환경에서 유사한 개념을 사용하여 3가지 서로 다른 SLAM 기법으로 작성한 지도를 비교하는 방법도 제안되었다^[7]. 기준이 되는 지도(reference map)와 SLAM으로

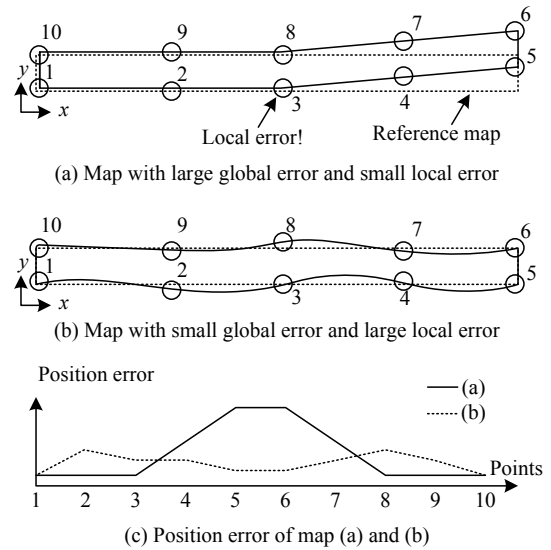


Fig. 1. Drawbacks of comparison of only absolute positions

작성한 지도를 픽셀 단위로 비교하는 방법을 사용하고 있는데, 이를 위해서는 지도의 방향, 크기를 서로 동일하게 맞추는 것이 중요하다. 이를 위해서 Fourier descriptors를 사용하여 최적의 위치, 방향으로 기준 지도와 SLAM으로 작성한 지도를 맞추는 방법을 사용하였다. 위치, 방향을 맞춘 후 픽셀 간의 일치 여부를 비교하여 SLAM으로 작성한 지도의 정확도를 판단하였다. 이 방법의 경우 Fig. 1(a)와 같은 상황에서는 [6]에서 제안한 방법과 동일하게 순간적인 국부 오차가 다른 부분에 지속적인 영향을 주는 문제를 가지고 있다. 또한 픽셀 단위로 정확히 작성된 기준 지도가 필요한데, 가구, 파티션 등으로 구성된 실제 환경에서는 이런 기준 지도를 얻기 어려운 문제가 있다. [7]에서의 실험도 벽으로만 구성된 깨끗한 환경에서 수행한 것임을 확인할 수 있다.

절대좌표계 기준의 위치를 비교하는 방법의 단점을 해결하기 위하여 센서 정보를 획득한 위치의 상대적인 관계를 비교하는 방법이 제안되었다^[8]. 이 방법에서는 수집한 센서 데이터를 분석하여 동일한 센서 데이터를 획득한 지점을 사람이 판단하여 정의한다. 이 정보와 SLAM 수행 중 추정된 위치를 비교하는 방법으로 동일한 지점을 로봇이 어떻게 인식하였는지를 분석하는 방법을 제안하였고, 다양한 환경에서 3개 SLAM 방법으로 작성한 지도를 비교하였다. 이 방법의 경우 절대좌표계 기준 위치를 비교하는

것이 아니기 때문에 국부적인 오차가 전체로 전파되는 현상이 발생하지 않는다는 장점이 있다. 예를 들어, Fig. 2(a)와 같은 환경에서 복도를 여러 번 돌면서 Fig. 2(b)와 같이 지도가 작성된 경우 이 방법으로 분석하면 전체 SLAM 과정에서 항상 오차가 작게 발생하였던 것으로 분석될 수 있다. 이 방법에서 오차가 크게 발생하였다고 판단되는 경우는 Fig. 2(c)와 같이 동일한 부분을 재방문 하였을 때 동일한 부분이라는 것을 판단하는 loop-closing 같은 상황에서 지도 불일치가 클 경우 등이다. 이 방법에서는 절대좌표계 기준의 위치를 전혀 고려하지 않기 때문에 사람이 보기에 환경과 다르게 작성된 지도도 정확히 작성된 것으로 판단될 수 있다. 또한 이 방법의 경우 SLAM 결과로 생성된 지도를 비교하는 것이 아니라 SLAM 과정 중의 로봇 위치를 비교하는 것이기 때문에 SLAM에 사용한 센서 데이터가 반드시 필요하고, 많은 수의 상대적인 관계를 사람이 정의해야 하는 단점이 있다[8] 연구에서는 1000~5000 개 수준)

이 외에도 시뮬레이터에서 센서의 오차를 조절하며 작성한 지도와 실제 환경에서 작성한 지도를 비교하는 연구가 있었다⁹⁾. 이 연구에서는 SLAM 수행 중 로봇의 위치를 정확한 위치(Ground Truth)와 비교하는 방법을 사용하였는데, 이는 절대좌표계 기준의 위치를 비교하는 방법과 개념이 동일하다. 서로 다른 SLAM 방법으로 작성한 지도를

비교하는 연구도 있었지만, 이 또한 SLAM 수행 중 로봇의 위치를 정확한 위치(Ground Truth)와 비교하는 방법을 사용하였다¹⁰⁾.

3. 문제 분석 및 요구조건 정의

SLAM으로 작성한 지도를 비교하는 경우 여러 가지 어려움이 있다. 우선, SLAM 기법 별 특성 혹은 동일한 기법의 구현 수준 차이로 인하여 지도의 품질 차이가 발생할 수 있다. 예를 들어, 국부적으로는 오차가 지속적으로 발생하더라도 FastSLAM, GraphSLAM 등의 기법을 사용하면 Fig. 1(b)와 같이 국부적으로는 오차가 심하지만 전역적으로는 환경과 유사한 지도를 얻을 수 있다. 이에 더하여 scan matching 등의 기법으로 국부오차를 최대한 보정하면 더 정확한 지도를 얻을 수 있지만, scan matching이 실패하는 경우에는 Fig. 1(a)와 같이 대부분의 부분에서 국부적으로는 센서 데이터가 정밀하게 정렬되어 있지만 전역적으로는 부정확해 보이는 지도가 작성될 수 있다. 특히 정밀도가 부족한 센서를 사용하는 경우나 환경에 센싱이 어려운 장애물이 많은 경우에 이런 문제가 발생하기 쉽다. 이와 같이 품질 차이가 존재하는 지도를 어떤 관점에서 비교할 것인지 정의하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 다음 요구조건을 만족하는 지도 비교 방법을 제안한다.

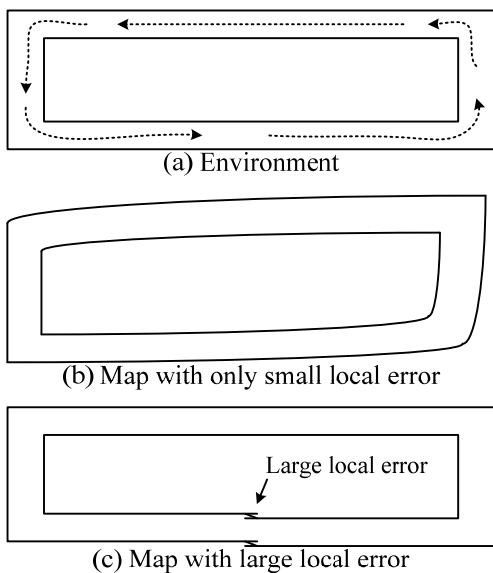


Fig. 2. Drawbacks of comparison of only relative positions

1. 주어진 기준지도와 SLAM으로 작성한 지도의 오차를 측정할 수 있어야 한다. 두 지도의 좌표계가 다른 경우에도 비교가 가능해야 한다.
2. 전역오차가 고려되어야 한다. 즉, 전체적인 형상이 실제 환경과 유사해야 한다. 국부오차가 작은 크기로 지속 발생하여 전역오차가 커진 경우 지도가 부정확했음을 판단할 수 있어야 한다. ([8]에서 제안한 상대 관계 비교 방법의 단점 해결)
3. 국부오차가 고려되어야 한다. 즉, 부분적인 형상이 실제 환경과 유사해야 한다. 국부오차가 임의로 발생하였지만, 서로 상쇄되어 전역오차가 작게 보이는 경우 지도가 부정확했음을 판단할 수 있어야 한다. ([6], [7]에서 제안한 절대 위치 비교 방법의 단점 해결)

이때, 환경에 대한 CAD 정보 혹은 실측을 통하여 비교할 특정 위치에 대한 정확한 좌표를 얻을 수 있는 조건을 가정한다. SLAM 성능을 평가하거나 지도를 비교하기 위한 실험을 하는 경우라면 대부분 이 가정이 성립하는 조건일 것이다.

4. 요구조건을 만족시키는 지도 비교 방법 제안 및 시뮬레이션 실험

본 연구에서 제안한 방법은 다음 단계로 수행된다.

1. 지도에서 계측 가능한 부분에 비교점을 선정한다.
2. 선정된 비교점에 대하여 기준지도와 SLAM 지도에서 각 좌표계 기준의 위치를 측정한다. 위치측정은 CAD 도면을 통해서 할 수도 있고, 실제 환경을 측량할 수도 있다. SLAM 성능 비교를 위한 실험을 하는 경우 이 작업이 가능하다고 가정한다.
3. 전체 비교점 중 3개 비교점을 선정한다. 기준지도의 비교점 위치와 SLAM 지도의 비교점 위치를 이용하여 최소자승법으로 둘 사이의 상대적인 관계를 구한다. 계산에는 다음 식을 사용한다^[11].

$$\begin{aligned} \omega &= \arctan \frac{S_{xy'} - S_{yx'}}{S_{xx'} + S_{yy'}} \\ T_x &= \bar{x}' - (\bar{x} \cos \omega - \bar{y} \sin \omega) \\ T_y &= \bar{y}' - (\bar{x} \sin \omega + \bar{y} \cos \omega) \\ T &= \sqrt{T_x^2 + T_y^2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i & \bar{y} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 y_i \\ \bar{x}' &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x'_i & \bar{y}' &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 y'_i \\ S_{xx'} &= \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})(x'_i - \bar{x}') \\ S_{yy'} &= \sum_{i=1}^3 (y_i - \bar{y})(y'_i - \bar{y}') \\ S_{xy'} &= \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})(y'_i - \bar{y}') \\ S_{yx'} &= \sum_{i=1}^3 (y_i - \bar{y})(x'_i - \bar{x}') \end{aligned} \quad (2)$$

이때, (x_i, y_i) 는 기준지도에서 선택한 비교점의 위치이고, 이와 쌍을 이루는 SLAM 지도에서의 비교점 위치가 (x'_i, y'_i) 이다. 이를 통하여 두 지도의 동일한 비교점 3개가 가장 작은 오차로 일치하기 위한 수평이동량 T 와 회전량 ω 를 구할 수 있다.

4. 모든 비교점에 대하여 3개씩의 비교점을 선정하여 3의 과정을 반복하며 모든 T 와 ω 의 표준편차 σ_T 와 σ_ω 를 계산한다.

제안한 값 σ_T 와 σ_ω 의 의미는 다음과 같다.

- 값이 작을수록 SLAM으로 작성한 지도의 오차가 작다. 이유는 SLAM으로 작성한 지도와 실제 환경이 동일하다면 3개 점을 선정하여 계산한 상대적인 관계인 수평이동량 T 와 회전량 ω 가 어떤 3개 점을 선정해도 같을 것이다. 따라서 모든 3개 점 집합으로 계산한 값의 표준편차는 0이 될 것이다(요구조건 1).
- 두 지도 사이에 수평이동, 회전이 있지만 전체 형상이 동일한 경우라면 표준편차는 마찬가지로 0이 될 것이다(요구조건 1). 만약 단계 4에서 모든 T 와 ω 의 표준편차가 아닌 평균을 사용한다면 전체 형상이 동일한 상황에서 수평이동, 회전이 있는 경우 평균은 0이 아닌 큰 값이 될 것이고, 지도가 부정확하다고 판단 될 것이다.
- 두 지도가 일치하지 않는다면 σ_T 와 σ_ω 는 커진다. 비교점마다 서로 다른 크기, 방향의 오차를 가지고 있다면, 이들 중 3개씩 선정하여 계산한 T 와 ω 는 각기 다른 값을 가지게 될 것이다. 이때 서로 거리가 먼 3개의 비교점을 가지고 계산한 T 와 ω 는 전역오차를 반영하게 되고(요구조건 2), 서로 거리가 가까운 3개 비교점으로 계산한 T 와 ω 는 국부오차를 반영하게 된다(요구조건 3).

Fig. 3은 시뮬레이션을 위한 지도이다. 코너, 벽의 정중앙 등 의미 있는 부분에 10개의 비교점을 선정하였고, 각 위치는 Fig. 3 CAD map에 원으로 표시하였다. SLAM map 1의 경우 시작 각도만 돌아갔을 뿐 지도는 정확히 작성된 경우이다. 이 지도의 좌표계 기준으로 얻은 위치는 SLAM map 1에 원으로 표시하였고, 이를 절대 위치 비교와 같은 방법으로 CAD map에서 얻은 위치와 직접 비교하면 오차

가 매우 큰 지도, 즉 지도가 매우 부정확하게 작성된 것으로 판단될 것이다. 하지만 본 연구에서 제안한 방법으로 계산한 σ_r 와 σ_w 는 0.355mm, 0.006°로 오차가 매우 작음을 알 수 있다(요구조건 1 만족). 이에 비하여 SLAM map 2는 전체 형상(ㄱ모양)은 유사하지만 국부적으로 오차가 일정 수준 이내에서 발생한 경우이고, SLAM map 3은 국부적으로는 오차가 크지 않지만 전체 형상(휘어진 ㄱ모양)은 일부 어긋난 경우이다. 두 경우 제안한 방법으로 계산한 σ_r 와 σ_w 는 (156.392mm, 2.876°), (57.425mm, 2.123°)이고, SLAM map 1에 비하여 값이 많이 커진 것을 확인할 수 있다. (요구조건 2,3 만족)

동일한 환경이라도 비교점을 달리 선택하였을 경우 σ_r 와 σ_w 는 달라지게 된다. 예를 들어 Fig. 3 시뮬레이션 환경에서 비교점을 각 모서리에 위치한 1, 3, 4, 6, 8, 9로 선택하면 SLAM map 1, 2, 3의 (σ_r , σ_w)은 각각 (0.235mm, 0.004°), (103.768mm, 1.270°), (63.168mm, 2.117°)로 계산된다. SLAM map 1의 σ_r , σ_w 가 매우 작은 값이 나온 것은 첫 실험 결과

와 동일하지만, SLAM map 2와 SLAM map 3의 σ_r 은 상대적인 크기 차이가 줄어들었고, σ_w 은 상대적인 크기 차이가 반대로 계산되었다($\sigma_{\alpha, map 2} < \sigma_{\alpha, map 3}$). 이는 비교점을 조밀하게 선정한 경우가 그렇지 않은 경우보다 국부적으로 발생한 오차가 더 많이 반영되기 때문이다. 즉, SLAM map 2에서 국부적으로 발생한 오차로 인하여 벽이 구불구불한 것인데, 비교점을 조밀하게 선정 할수록 이런 오차가 더 많이 반영된다. 단, 실제 환경에서는 비교점을 충분히 조밀하게 선정하는 것이 불가능한 경우가 존재한다. 예를 들어, 환경에 대한 CAD 데이터가 존재하지 않거나, 존재하더라도 불규칙한 형상의 가구 등이 배치되어 있어 CAD 데이터에서 비교점 위치를 추출할 수 있는 부분이 몇 군데 안 되는 경우 등이다. 이런 경우에는 외곽선을 따라가면서 위치 측정이 가능한 부분 중에서 최대한 균등하게 비교점을 선정하는 방법이 사용될 수 있다.

5. 실제 환경에서의 실험

제안한 방법으로 계산한 σ_r 와 σ_w 를 비교하면 지도 간의 상대적인 비교를 정량적으로 수행할 수 있다. Fig. 4는 실제 사무실 환경에서 FastSLAM으로 작성한 지도이다. 로봇은 LG전자의 청소로봇 RoboKing을 사용하였고, 센서는 Neato 사 청소로봇에 장착된 저가 레이저스캐너를 사용하였다^[12,13]. Fig. 4(a)는 환경에 대한 도면이다. 책상, 책꽂이 등의 가구가 복잡하게 배치되어 있으므로 건물의 CAD 도면을 활용하기 어려운 상황이다. 대신 의미 있는 부분에 10개의 비교점을 선정한 후 실측을 통하여 10개 비교점에 대한 위치를 얻었다. SLAM 성능을 테스트하는 대부분의 연구에서 이와 같은 방법으로 특정 부분에 대한 정확한 위치를 측정하는 것은 어렵지 않을 것이다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 제안한 방법에서는 비교점 위치를 얻는 좌표계와 지도의 좌표계가 동일할 필요는 없다.

Fig. 4(b)는 지도가 잘 작성된 경우이다. 단, 원점 위치는 Fig. 4(a)와 다르다. 이 경우 제안한 방법으로 계산한 σ_r 와 σ_w 는 92.024mm, 0.691°이다. Fig. 4(c)의 경우는 30도 정도 비스듬하게 지도를 작성한 경우이고, 제안한 방법으로 계산한 σ_r 와 σ_w 는 109.023mm, 1.077°이다. 사람이 판단하기에는 이 지도도 정확히 작성된 지도이며, Fig. 4(b)의 σ_r 와 σ_w 와

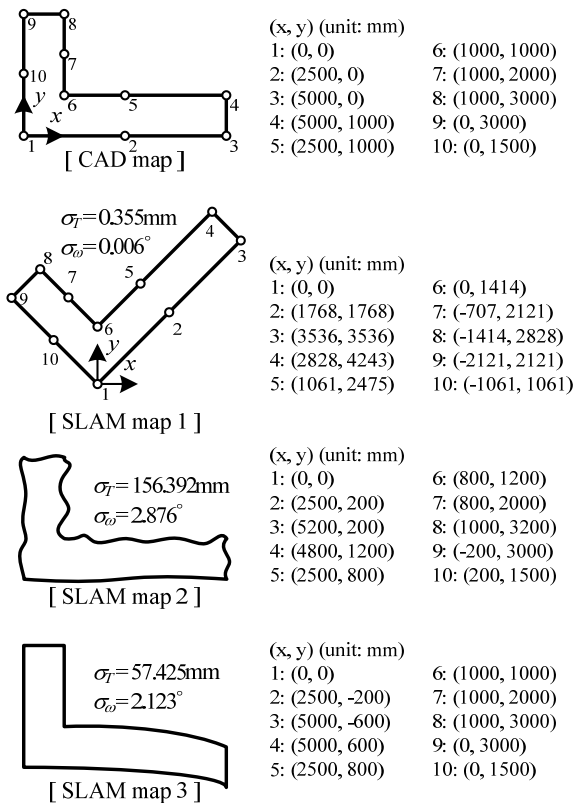


Fig. 3. Simulation results

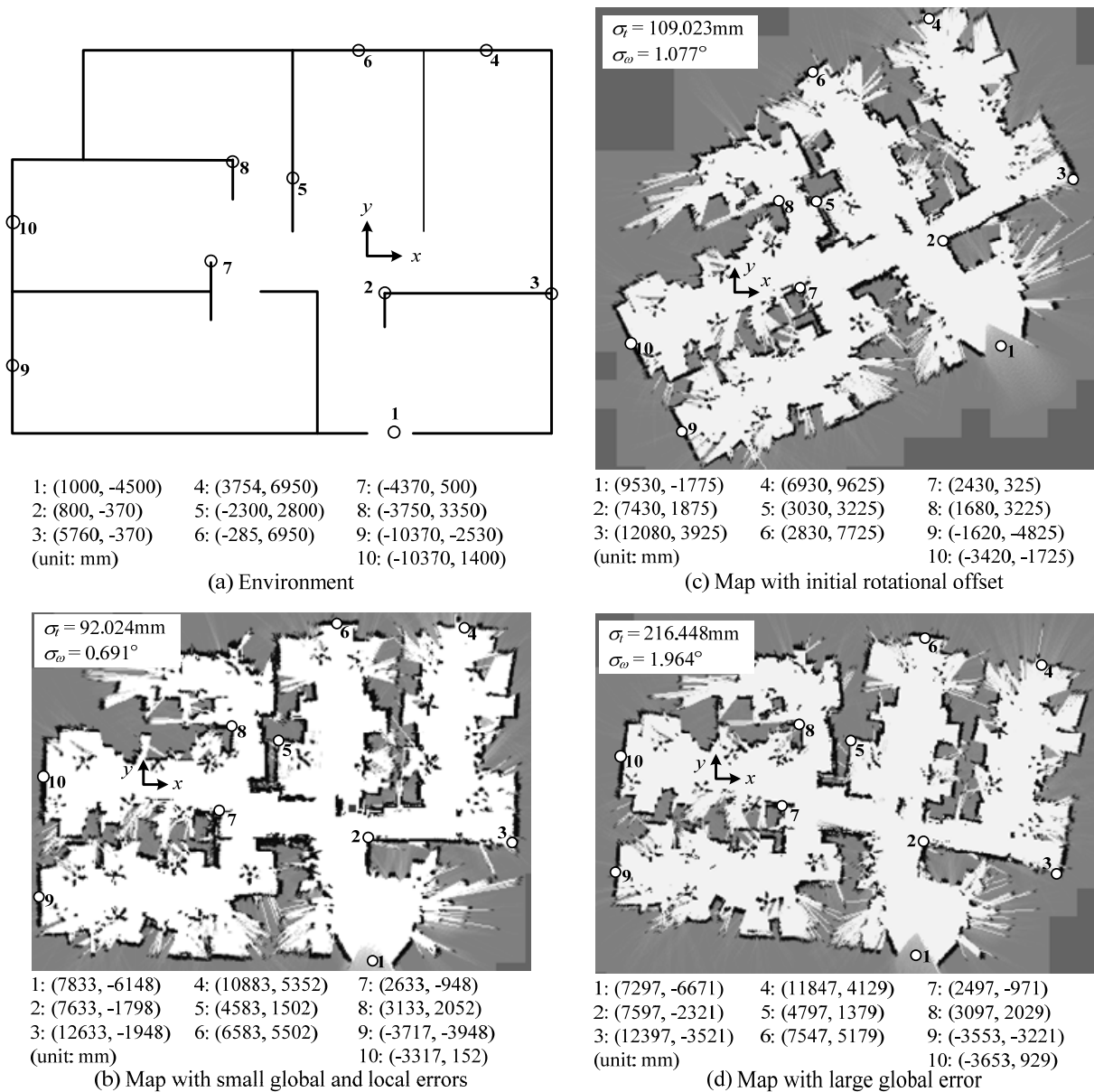


Fig. 4. Experimental results in a real environment

차이가 크지 않은 것으로 이를 알 수 있다. 반면 Fig. 4(d)의 경우에는 σ_r 와 σ_θ 가 216.448mm, 1.964°이다. 이 지도에서는 (1,2,3,4,5,6) 비교점이 있는 부분과 (7,8,9,10) 비교점이 있는 부분이 각각은 정확하지만 연결된 부분 기준으로 각도가 약간 틀어진 것을 확인할 수 있다. 부분으로 나눠 보았을 때는 정확하지만 전체를 보았을 때는 부정확한 특성이 본 연구에서 제안한 방법으로 계산한 σ_r 와 σ_θ 에는 반영이 된다. 또한 계산한 σ_r 와 σ_θ 를 비교해 보면 지도 간의

상대적인 비교가 정략적으로 가능하다. 예를 들어 Fig. 4(d)의 지도는 Fig. 4(b)의 지도에 비하여 σ_r 와 σ_θ 가 2.35배, 2.84배 크므로 그만큼 부정확하다고 말할 수 있다. 또한 Fig. 4(c)의 지도에 비하여 σ_r 와 σ_θ 가 1.99배, 1.82배 크므로 그만큼 부정확하다고 말할 수 있다.

6. 결론 및 고찰

본 연구에서는 SLAM으로 작성한 지도의 상대적인 비

교를 정량적으로 수행하기 위한 방법을 제안하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 실험 환경과 SLAM으로 작성한 지도의 오차를 정량적으로 계산할 수 있다. 계산 결과를 비교하면 지도 간의 상대적인 비교가 가능하다.
- 전역오차를 고려할 수 있다. 기존 방법이 동일한 전역 좌표계 상의 위치를 단순 비교한 것에 비하여, 제안한 방법은 좌표계가 다르더라도 동일한 결과를 얻을 수 있다.
- 국부오차를 고려할 수 있다. 기존 방법이 센서 값을 비교하여 SLAM 과정 중의 국부오차를 계산하는 것이 비하여 제안한 방법은 SLAM 결과인 지도를 활용하여 국부오차를 계산한다.

제안한 방법의 경우 지도만 주어지면 SLAM 방법, 사용한 센서 등에 상관 없이 지도 비교가 가능하다. 따라서 동일한 알고리즘을 사용하면서 센서를 다르게 사용할 때 SLAM 성능을 비교하거나, 개발하는 SLAM 알고리즘과 오픈소스 SLAM 알고리즘을 비교하는 용도로도 활용이 가능하다. 예를 들어, Fig. 5(a)는 ROS(Robot Operating System)를 사용하여 작성한 지도이고^[14], Fig. 5(b)는 동일한 센서 데이터를 사용하여 개발 중인 SLAM으로 작성한 지도이다. Fig. 5(c)는 SLAM에 실패한 경우이다. 본 논문에서 제안한 방법으로 비교점 16개를 사용하여 계산하면 Fig. 5(b)가 Fig. 5(a)에 비하여 σ_r 는 1.16배 σ_ω 는 1.09배임을 계산할 수 있고, 이에 근거하여 개발 중인 SLAM 기법이 ROS의 SLAM 기법보다 품질이 약간 낮은 지도를 생성하고 있다는 판단을 내릴 수 있다.

본 연구의 중요한 한계는 3가지가 있다. 첫째, 비교점을 선정하는 명확한 방법을 제시하기 어렵다는 점이다. 이는 이미 4장에서 언급한 내용이다. 둘째, 계산한 σ_r 와 σ_ω 의 절대값을 가지고 지도 품질에 대한 수준을 설명하기 어렵다는 점이다. 예를 들어, Fig. 4의 공간에서 계산한 σ_r 는 220mm 이내 수준인 반면, Fig. 5의 공간에서는 수 천 mm 수준이다. 이는 Fig. 4 공간은 약 16m*12m 크기인 반면, Fig. 5 공간은 약 75m*30m 크기이기 때문이다. 따라서 제안한 방법은 동일한 환경에서 작성한 두 개 이상의 지도를 상

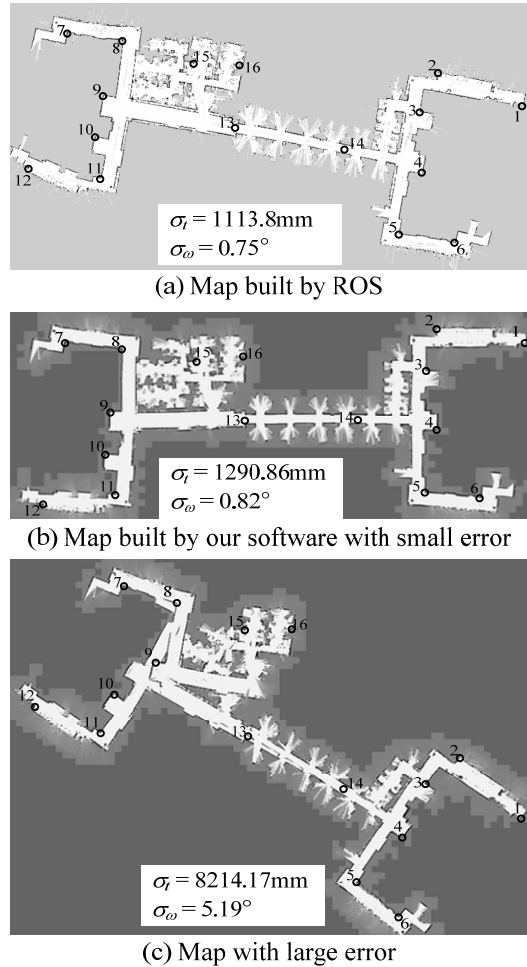


Fig. 5. Example of comparison between maps built by different SLAM methods

대적/정량적으로 비교하는 용도로만 사용이 가능하다. 이에 대한 보완으로 환경의 크기를 고려한 무차원 값을 계산하여 상대적 비교뿐만 아니라 절대적 비교도 가능한 방법을 연구 중에 있다. 셋째, 두 가지 값 σ_r 와 σ_ω 를 계산하지만, 서로 간의 관계를 설명하기 어렵다는 점이다. 예를 들어, 두 지도를 비교할 때 한 지도는 σ_r 가 작고, 다른 지도는 σ_ω 가 작을 때 두 지도 중 어느 지도가 더 우수하지 말하기 어렵다. 이에 대한 보완으로도 σ_r 와 σ_ω 를 동시에 고려하는 무차원 값을 생성하는 방법을 연구 중에 있다.

References

[1] G. Zhang, and I. H. Suh, "Loop Closure in a Line-Based

- SLAM”, Journal of Korea Robotics Society, vol. 7, issue 2, pp. 120-128, June, 2012.
- [2] C. Nam, J. Kang and N. L. Doh, “A New Observation Model to Improve the Consistency of EKF-SLAM Algorithm in Large-scale Environments”, Journal of Korea Robotics Society, vol. 7, issue 1, pp. 29-34, March, 2012.
- [3] M. Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H. Durrant-Whyte, and M. Csoba, “A solution to the simultaneous localization and mapping (slam) problem”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17, issue 3, pp. 229-241, June, 2001.
- [4] G. Grisetti, C. Stachniss, and W. Burgard, “Improving grid-based SLAM with Rao-Blackwellized particle filters by adaptive proposals and selective resampling”, Proceedings of IEEE ICRA 2005, pp. 2432-2437, April, 2005.
- [5] F. Lu, and E. Miliot, “Globally consistent range scan alignment for environment mapping”, Journal of Autonomous Robots, vol. 4, issue 4, pp. 333-349, Oct., 1997.
- [6] O. Wulf, A. Nuchter, J. Hertzberg, and B. Wagner, “Benchmarking urban six-degree-of-freedom simultaneous localization and mapping”, Journal of Field Robotics, vol. 25, issue 3, pp. 148-163, March, 2008.
- [7] R. Iyegkettem, and K. Hirasawa, “A comparison of SLAM implementations for indoor mobile robots”, Proceedings of IEEE/RSJ IROS 2007, pp. 1479-1484, Oct. 2007.
- [8] R. Kummerle, B. Steder, C. Dornhege, M. Ruhnke, G. Grisetti, C. Stachniss, and A. Kleiner, “On measuring the accuracy of SLAM algorithms”, Autonomous Robots, vol. 27, issue 4, pp. 387-407, Nov., 2009.
- [9] B. Balaguer, S. Carpin, and S. Balakirsky, “Toward quantitative comparisons of robot algorithms: Experiences with SLAM in simulation and real world systems”, in IROS 2007 workshop, Oct., 2007.
- [10] F. Amigoni, S. Gasparini, and M. Gini, “Good experimental methodologies for robotic mapping: A proposal”, Proceedings of IEEE ICRA 2007, pp. 4176-4181, April, 2007.
- [11] F. Lu, and E. Miliot, “Robot pose estimation in unknown environments by matching 2D range scans”, Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 18, issue 3, pp. 249-275, March, 1997.
- [12] <http://www.neatorobotics.com/robot-vacuum/xv/>, 2014. 09. 13
- [13] K. Konolige, J. Augenbraun, N. Donaldson, C. Fiebig, and P. Shah, “A Low-Cost Laser Distance Sensor”, Proceedings of IEEE ICRA 2008, pp. 3002-3008, May, 2008.
- [14] <http://wiki.ros.org/gmapping>, 2013.12.09



권태범

2002 고려대학교 기계공학과
(공학사)
2009 고려대학교 기계공학과
(공학박사)
2010 한국과학기술연구원
(KIST) 포닥연구원

2011~현재 LG전자 연구원

관심분야 : 이동로봇 자율주행, 인공지능



장우석

1990 서울대학교 전기공학과
(공학사)
2003 MIT 전기공학과
(공학박사)
2009~현재 LG전자 연구위원

관심분야 : 시스템 제어 및 로봇