

## 이동로봇을 위한 스테레오 정합 기법을 이용한 3차원 도시환경복원

**하정호\***, 강정원, 김시중, 안승욱, 정명진  
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

### 3D Reconstruction in Urban environments using Stereo Matching algorithm for a Mobile Robot

Jeong Hyo Ha\*, Jungwon Kang, Sijong Kim, Seunguk Ahn and Myung Jin Chung  
Department of Electrical Engineering KAIST\*

**Abstract** - 세계적으로 많은 연구원들이 3차원 모델링에 대하여 연구하고 있다. 특히 무인자동차의 주행을 위한 센서시스템, 경로생성, 3차원 월드모델링 방법 등에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 이 논문은 스테레오 카메라를 이용한 3차원 도시환경복원을 위한 방법을 제안한다. 전체적인 시스템은 다중센서(스테레오 카메라, DGPS, IMU), PC, 이동로봇(전기차)으로 구성하였다. 스테레오 카메라를 통해 들어오는 이미지는 스테레오 정합기법을 이용하여 지역좌표계의 3차원 점군을 획득하는데 이용되며, DGPS와 IMU를 통해 얻은 정보는 이동로봇의 위치를 추정하는데 이용된다. 지역좌표계의 3차원 점군과 이동로봇의 위치를 융합하면 세계좌표계의 3차원 점군을 얻을 수 있으며, 이를 이용하여 도시환경을 복원을 시행하였다. 또한 스테레오 정합기법을 통해 얻어지는 점군의 중복복원을 회피하기 위하여 임시추적을 이용한다. 임시추적을 통해 동일한 점으로 판단되는 경우 중복복원을 방지하는 알고리즘을 제안한다. 실험결과는 3차원 도시환경 복원을 수행하여 점군으로 표현하였다.



**<그림 1> 센서 시스템**  
상단은 실험에 사용한 이동로봇(전기차), IMU, DGPS이며, 하단은 스테레오 카메라이다

### 1. 서 론

무인차량과 같은 이동로봇이 주행, 경로생성, 장애물 회피 등 주어진 임무를 수행하기 위해서는 주변 환경에 대한 정보를 효과적으로 이용할 수 있어야 한다. 이러한 정보들을 로봇이 인지하고, 활용할 수 있는 모델로 가공해 주는 과정이 필요하다. 이것은 주변 환경에 대한 3차원 환경복원을 통해 구현할 수 있으며, 세계적으로 많은 연구자들에 의해 연구되고 있다[1][2].

3차원 환경복원은 크게 두 가지의 기준으로 분류할 수 있다. 첫 번째는 정보획득에 사용하는 센서에 의한 분류이다. 대표적인 센서로 카메라와 레이저 스캐너가 있으며, 단일 센서 혹은 다중 센서의 융합을 통해 주변 환경에 대한 정보를 얻을 수 있다. 두 번째 기준은 획득한 정보를 3차원으로 표현하는 방식이다. 로봇의 목표와 환경에 맞추어 여러 방법들이 개발되어왔으며, 대표적인 방법에는 점유격자(Occupancy grid), 고도지도(Elevation map), 점군(Point cloud), 복셀(Voxel) 등이 있다.

본 논문에서는 2대의 카메라와 DGPS(Differential Global Positioning System)센서, IMU(Inertial Measurement Unit)센서를 융합하여 스테레오 정합기법을 이용한 점군을 생성하였다. 또한 스테레오 정합기법을 이용하여 도시 환경을 복원하는 알고리즘을 제안하며, 중복복원을 회피하기 위한 방법을 소개한다.

### 2. 본 론

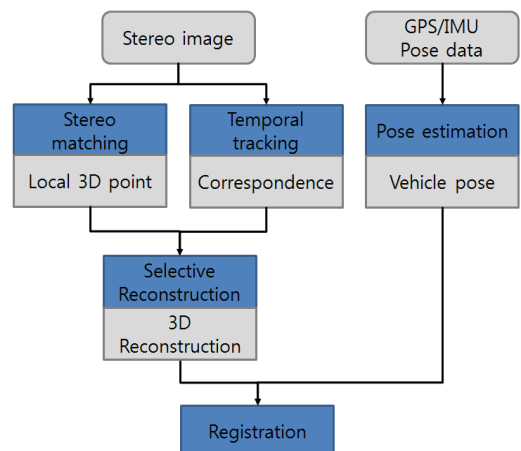
#### 2.1 센서 시스템

영상정보를 기반으로 하여 로봇의 주변 환경을 복원하기 위해 제안하는 센서 시스템은 <그림 1>과 같다. 실험차량 뉴제를 이용하였으며, 이동로봇의 진행방향에 대한 주변 환경복원을 위해 2대의 카메라를 차량의 전방을 향해 설치하였다.

이동로봇의 위치를 추정하기 위해 DGPS와 IMU를 이용하였다. 스테레오 카메라를 통해 얻어진 지역좌표계의 3차원 점군을 세계좌표계의 3차원 공간으로 변환하기 위해서는 이동로봇의 위치(Position)정보와 회전(Rotation)정보가 필요하다. 위치정보는 DGPS센서를 통해 [x, y, z]좌표를 얻었으며, 회전정보는 IMU센서를 통해 [roll, pitch, yaw]의 정보를 측정하였다. 각 센서의 업데이트 속도는 스테레오 카메라, DGPS, IMU가 순서대로 30Hz, 1Hz, 50Hz로 모두 업데이트 속도가 다르다. 모든 센서는 동기화 되어 사용되었으며, 동기화의 방법은 가장 빠르고 간단한 선형보간법(Linear interpolation)을 이용하였다.

#### 2.2 도시환경복원 시스템

2.1에서 다른 센서를 통해 얻어진 정보를 이용하여 이동로봇의 주변 환경을 복원하는 시스템은 <그림 2>와 같다. 두 개의 카메라로부터 얻은 스테레오 이미지는 스테레오 정합 기법을 이용하여 3차원 좌표를 얻게 된다. 시간의 흐름에 따른 연속된 이미지에 대하여 추적(Tracking)기법을 이용하여 동일한 좌표들을 찾아 중복복원을 회피하는 과정을 수행한다. 앞의 과정을 통해 얻어진 지역좌표계의 3차원 좌표들은 2.1에서 설명한 DGPS와 IMU를 통해 추정한 위치정보와 융합하여 세계좌표계의 3차원 좌표를 얻을 수 있다.



**<그림 2> 도시환경복원 알고리즘의 블록도**  
회색은 센서에서 얻은 정보 혹은 프로그램으로 얻어진 정보를 나타내며, 파란색 독립된 하나의 알고리즘이다

### 2.2.1 스테레오 정합

본 논문이 카메라를 이용한 스테레오 정합기법을 사용한 목적은 레이저 스캐너를 이용한 3차원 환경복원보다 더 조밀한 3차원 복원을 하기 위함이다. 따라서 고해상도 스테레오 정합(Dense stereo matching)을 이용하였다. 최대한 실시간처리에 가깝게 구현하기 위하여 SAD(Sum of Absolute Difference)를 이용하여 구현하였으며, WTA(Winner take all) 방법을 이용하여 변위지도(Disparity map)를 계산하였다[3].

### 2.2.2 중복복원 회피

연속된 이미지에 대하여 스테레오 정합을 시행하면, 복원된 지점이 또 다시 복원되는 중복복원 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 중복복원을 회피하기 위한 방법을 고안하였다.

연속된 이미지의 모든 점들에 대하여 추적(Tracking)을 시행하여 동일한 점으로 판단되는 경우 복원대상에서 제외하는 방법을 이용하였다. 임시추적(Temporal tracking)의 알고리즘은 다음과 같은 특성을 가져야 한다. 스테레오 정합이 이미지의 모든 점을 복원하기 때문에, 추적에 사용하는 알고리즘도 이미지의 모든 점에 대하여 실행 가능해야 한다. 빠르고 간단하면서도 기대할 만한 정확도의 결과를 얻을 수 있어야 한다. 이러한 특징을 가지는 알고리즘으로 광류 알고리즘(Optical flow)를 선정하여 구현하였다.

### 2.3 실험 결과

실험에 사용한 장비는 PC(Intel Quadcore 2.8GHz), 카메라(Firefly MV Camera, FOV는 69°), DGPS(HUACE DGPS B20, CEP는 1m), IMU(MTi, 오차 1°), 전기차(City EV e-ZONE)등을 이용하였으며 세부적인 설정은 <표 1>과 같다. 실험은 카이스트 교내에서 <그림 3>의 상단 사진의 빨간색 선과 같은 약 2.1km 구간에서 시행하였으며, <그림 3>의 하단 사진과 같은 결과를 얻었다. <그림 4>는 도시환경복원 결과의 일부구간을 확대하여 나타난 사진이다. 실험결과, 조밀한 3차원 도시환경복원을 할 수 있었다.



<그림 3> 실험환경(상)과 실험결과(하)

<표 1> 실험설정

설정	설정
차량	주행속도 : 평균 30km/h 실험구간 : 약 2.1km
카메라	업데이트 : 30Hz 전체표본 : 좌측 11,632장, 우측 11,632장
DGPS	업데이트 : 1Hz
IMU	업데이트 : 50Hz

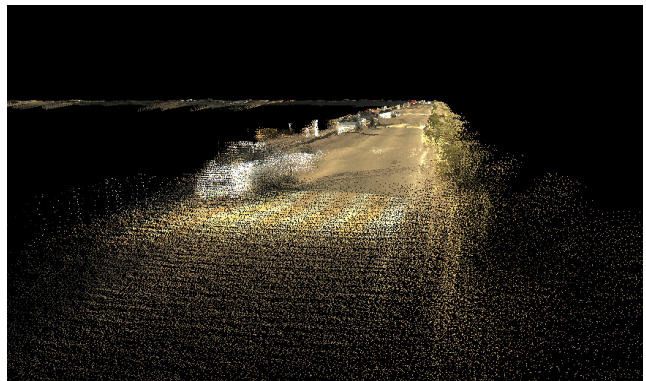
## 3. 결 론

본 논문에서는 이동로봇의 주변 환경을 인식을 위한 센서 시스템을 제안하였으며, 얻어진 정보를 이용하여 3차원 점군을 생성하는 시스템을 소개하였다. 제안된 센서 시스템은 스테레오 카메라, DGPS, IMU를 이용하였으며, 스테레오 카메라로부터 얻은 3차원 정보와 DGPS, IMU를 통해 얻은 위치정보를 융합하여 3차원 점군을 생성하였다. 또한 3차원 점군의 정확도를 감소시키는 중복복원을 회피하기 위한 시스템을 제안하였다.

실험결과 영상기반의 장점인 풍부한 정보를 이용하여 3차원 도시환경복원을 수행할 수 있었고, 3차원 점군을 바탕으로 이동로봇이 주변 환경을 효과적으로 인식하여 주행, 경로생성, 장애물 회피 등 주어진 임무수행에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

### Acknowledgements

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 지능로봇을 위한 3D 센싱 및 비전 기반 사람/물체 인식 기술 개발 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C7000-1001-0007)



<그림 4> 실험결과

### [참 고 문 헌]

- [1] Jon Bohren, Tully Foote, Jim Keller, Alex Kushleyev, Daniel Lee, Alex Sewart, Paul Vernaza, "Little Ben: The Ben Franklin Racing Team's Entry in the 2007 DARPA Urban Challenge", Springer Tracts in Advanced Robotics, Vol 56, pp.231-255, 2009.
- [2] Andreas Geiger and Martin Roser and Raquel Urtasun, "Efficient Large-Scale Stereo Matching", Asian Conference on Computer Vision 2010, pp.25-38.
- [3] W van der Mark and Gavrila D. M, "Real-time dense stereo for intelligent vehicles", IEEE Transactions on intelligent transportation systems, Vol 7, No 1, pp.38-50, 2006.