

스테레오 카메라를 장착한 주행 로봇의 야외 탐사

윤석준[†] · 박성기* · 김수현** · 곽윤근**

Terrain Exploration Using a Mobile Robot with Stereo Cameras

Sukjune Yoon, Sung-Kee Park, Soo Hyun Kim and Yoon Keun Kwak

Key Words : Mobile Robot(주행 로봇), Exploration(탐사)Path planning (경로 계획), Real-time stereo(실시간 스테레오)

Abstract

In this paper, new exploration mobile robot is presented. This mobile robot, called Robhaz-6W, is able to overcome hazardous terrains, recognize three dimensional terrain information and generate a path toward the destination by itself. We develop the passive four bar linkage mechanism adoptable to such terrain without any active control and the real time stereo vision system for obstacle avoidance, a remote control and a path planning method. And the geometrical information is transmitted to the operator in the remote site via wireless LAN equipment. And finally, experimental results for the passive mechanism, the real time stereo vision system, the path planning are reported, which show the versatility of the proposed mobile robot system to carry out some tasks.

1. 서 론

인간이 직접 수행하기 위험한 작업의 경우, 인간을 대신하여 환경에 구애 받지 않고 이동하며 작업을 수행할 수 있는 로봇을 개발은 절실히 요구되고 있다. 이러한 무인 로봇은 적지의 정찰 및 주변 지형 정보의 획득을 인명의 피해 없이 효율적으로 수행할 수 있으며, 지진 화재 테러와 같은 재난 시에도 긴급 투입이 되어 인명 구조 및 위험 탐지를 수행 할 수 있기 때문에 그 중요성이 더욱 부각이 되고 있다. 이러한 로봇을 개발하기 위해서는 장애물이 존재하는 지형에서 장애물을 극복하여 주행할 수 있는 이동 기구부 개발과 주변 환경을 스스로 인식하고 할 수 있는 시스템의 개발이 필수적이다[1-2]. 본 연구는 6 개의 바퀴로 구성이 되어 험지에서 효율적으로 주행이 가능한

Robhaz-6W 에 스테레오 카메라 시스템을 장착하여 로봇 전방의 장애물을 회피하고 미지의 영역을 탐사하여 원격지의 조종자에게 3 차원 지형 정보를 전송해준다. 여기에 1.1 절의 내용을 입력한다.

2. 시스템의 구성

2.1 Robhaz-6W

본 연구에서는 Robhaz-6W (Robot for hazardous - 6 Wheel)을 이동 기구부로 사용을 하였다[3]. Robhaz-6W 의 이동 기구부는 4 절 링크 구조로 구성이 되어있다. 그러므로 1 자유도를 가지며 지형에 적응을 하며 주행하므로 험지 및 계단 등판이 가능하다.

Robhaz-6W 은 구동부, 4 절 링크, 몸체 3 부분으로 구성이 되어있다. 구동부는 50Watt 의 모터와 160:1 의 하모닉기어(Harmonic Gear)로 구성된 Wheel-in Motor 로 이루어져 있다. 그리고 4 절 링크부는 1 자유도를 가지며 3 개의 바퀴 링크로 연결하고 있으며, 몸체에는 Robhaz-6W 을 제어하고 원격지와 통신을 하는 SBC(Single Board Computer), 배터리 모터 앰프로 구성이 되어있다. Robhaz-6W

[†] 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : inca4004@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3252 FAX : (042)869-5201

* 한국과학기술연구원 지능로봇센터

** 한국과학기술원 기계공학과

에 사용된 제품과 사양은 표 1 과 같고, Robhaz-6W 의 기구학적 설계 값은 아래의 그림 1 과 표 2 에 나타나 있다.여기에 2.1 절의 내용을 입력한다.

Table 1 Part-List of Rohaz-6W

	Vendor	Specification
Motor	Maxon Motor	50W Flat Motor
Motor Amplifier	Maxon Motor	50V/5A
Encoder	USDigital	500 pulse
Harmonic Gear	Harmonic Drive	160:1
CAN Modulke	AD Link	CAN 2.0

Table 2 Design Values of Robhaz-6W

Parameters	Values	
Dimensions(mm)	L_1 (mm)	455
	L_2 (mm)	50
	L_3 (mm)	160
	L_4 (mm)	110
	L_5 (mm)	40
	L_6 (mm)	285
	L_7 (mm)	440
	L_8 (mm)	10
	L_9 (mm)	12
	L_{10} (mm)	40
Mass(Kg)	Robot Body(kg)	10
	Wheels and Batteries(kg)	20
		3
	Total	36

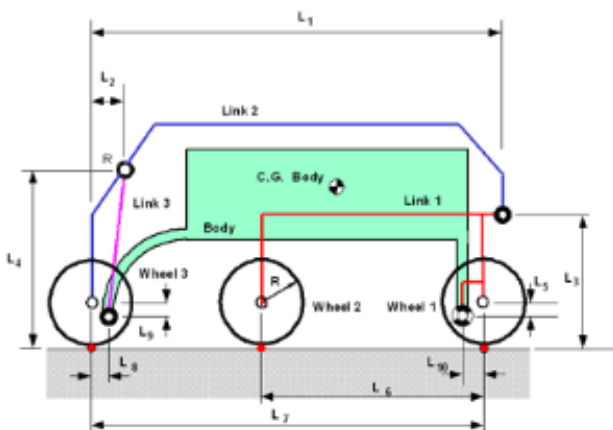


Fig. 1 Design of Robhaz-6W

2.2 Stereo Vision System

미지의 영역을 탐사하기 위해서는 주변의 지형 정보 인식이 필수적이다. 본 연구에서는 이를 위하여 스테레오 비전 카메라를 이용하였다. 야외에서 사용이 되기 때문에 조명에 대하여 둔감한 WDR(Wide Dynamic Range)를 사용하였으며, 빛의 양에 따라 조리개를 조절하는 기능이 있는 렌즈를 사용하였다. 사용된 제품과 사양은 표 3 에 나타나있다. 그림 2 에는 Robhaz-6W 에 카메라를 장착한 개념도를 나타낸다. 그림 2 에서 보여지는 것과 같이 Robhaz-6W 의 전방 2m 영역의 영상을 획득을 한다.

Table 2 Part List of a Stereo Camera System

Part	Vendor	Type
CCD Camera	Panasonic	Wide Dynamic Range
Auto Lens	Panasonic	Auto Iris / f= 4.5mm
Frame Grabber	Matrox	pc104+/ NTSC

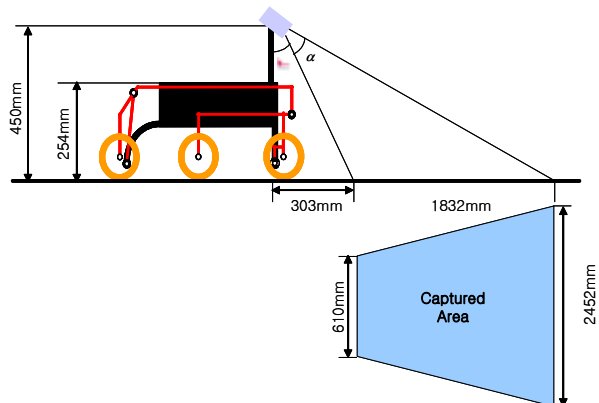


Fig. 2 The Schematic Diagram of Robhaz-6W with Stereo Cameras

카메라를 사용하기 위해서는 카메라의 보정 (Calibration) 및 정규화(Rectification) 작업이 필요하다. 본 연구에서는 Zhang, Z. [4]에 의해서 제안된 평면패턴을 이용한 보정 방법을 이용하여 스테레오 카메라의 특성을 추출하였다. 두 대의 스테레오 카메라의 보정 결과는 식(1)-(2)와 같다.

$$K_{Left} = \begin{bmatrix} 601.7 & 0 & 312.6 \\ 0 & 594.2 & 247.6 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[R|T]_{Left} = \begin{bmatrix} 0.9998 & 0.0153 & -0.0003 & -36.4 \\ 0.0077 & -0.5154 & -0.8570 & 46.4 \\ -0.0133 & 0.8568 & -0.5154 & 754.8 \end{bmatrix}$$

$$K_{Right} = \begin{bmatrix} 606.4 & 0 & 321.1 \\ 0 & 596.5 & 246.3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[R|T]_{Right} = \begin{bmatrix} 0.9999 & 0.0109 & -0.0010 & -113.7 \\ -0.0028 & -0.5203 & -0.8540 & 45.3 \\ -0.0144 & 0.8539 & -0.5202 & 750.9 \end{bmatrix}$$

위의 방법을 이용하여 카메라의 특성을 추출한 후 두 대의 카메라의 정규화 작업은 Fusiello, A *et al.*[5]에 의해서 제안된 방법을 이용하였다. 식 (3)-(4)는 그 결과를 나타낸다.

$$T_{Left} = \begin{bmatrix} -9.697e-1 & 2.343e-2 & -4.775e1 \\ -1.022e-3 & -1.000 & 7.559e-1 \\ 9.102e-5 & -2.200e-6 & -1.0264 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_{Right} = \begin{bmatrix} -9.625e-1 & 3.691e-2 & -4.438e1 \\ -1.1828e-1 & -9.939e-1 & -1.928 \\ 8.835e-5 & 6.259e-6 & -1.029 \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3 Full System

전체적인 시스템은 그림 4에 나타난 것과 같다. 원격지에서 Robhaz-6W에게 무선 랜(Wireless LAN)을 이용하여 원하는 목적지를 전달해주며, Robhaz-6W은 스테레오 카메라로부터 얻어지는 지형정보를 이용하여 수신된 목적지로 이동을 한다. 그리고 Robhaz-6W은 원격지의 조종자에게 Robhaz-6W 전방의 상태와 지형 정보를 원격지의 조종자에게 전송을 하여준다.

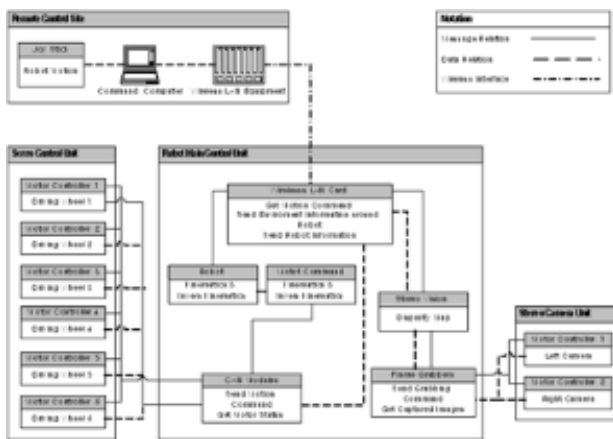


Fig. 3 The Diagram of the Full System

모든 프로그램은 Microsoft사의 Visual C++ 6.0에서 작성이 되었으며, 운영체제는 Microsoft사의 Windows XP이다. 정보의 손실을 막기 위하여 TCP/IP 통신 프로토콜

(Protocol)이 사용되었다. Robhaz-6W에 사용된 CPU는 Intel사의 Pentium IV 2.2GHz이며, SBC는 사용된 프로세서를 지원하는 IEI사의 NOVA-8890을 사용하였다. 각 6개의 모터는 CAN(Controller Area Network)를 통하여 제어된다.

3. 3차원 지형복원

그림 5은 Robhaz-6W을 야외의 환경에서 실험을 나타낸다.



Fig. 4 Experiments of Robhaz-6W

그림 6의 (a),(b),(c) 그리고 (d)는 Robhaz-6이 이동을 하면서 얻은 두 연속되는 영상이다. 그리고 그림 6의 (e), (f)는 첫 번째 위치와 두 번째 위치에서의 각각 3차원 복원 영상을 나타낸다.



(a) 1st Rectified Left Image (b) 1st Rectified Right Image



(c) 2nd Rectified Left Image (d) 2nd Rectified Right Image

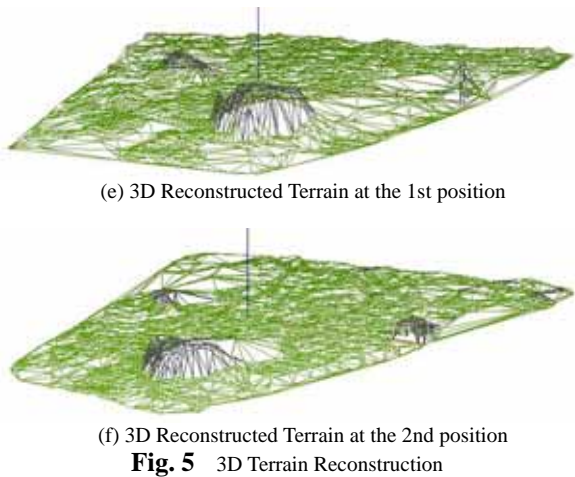


Fig. 6 (a)는 Fig. 5 에서 얻는 복원된 3 지형 정보를 ICP 방법을 이용하여 하나의 3 차원 정보를 융합한 것을 나타낸다. ICP 를 이용하여 두 3 차원 정보의 융합을 할 때 생기는 오차는 Fig. 6 (b)와 같다. Fig. 6 (b)에 나타난 것처럼 8 번 정도의 반복되는 계산을 하면 오차가 더 이상 줄어들지 않는 것을 알 수가 있으며, 이 결과를 기초로 하여 ICP 과정 중에 최대 계산 회수는 8로 제한을 하였다.

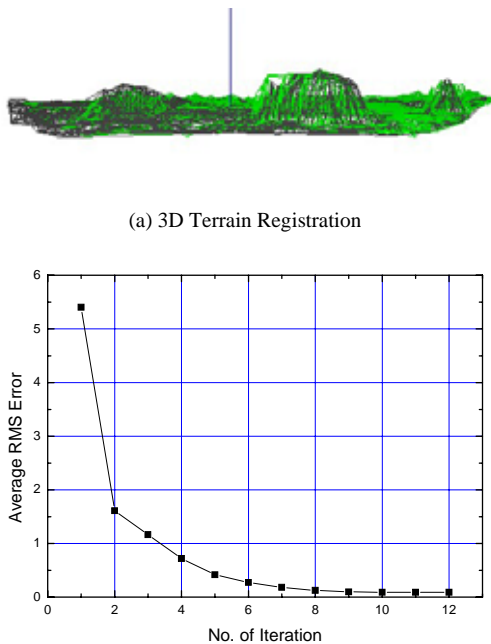


Fig. 6 ICP Registration n

Fig. 6 (a)의 결과를 Weighted Averaging Merging 방법을 통하여 최종적인 3 차원 정보의 융합하였다. 식(5)는 Weighted Averaging Merging 의 수식적으로 나타내며, Fig. 7 은 두 3 차원 지형 정보를 융합한 결과를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 r_a &= \min(x_a, y_a) \\
 r_b &= \min(x_b, y_b) \\
 z_3(i, j) &= \frac{(r_a \cdot z_1(i, j) + r_b \cdot z_2(i, j))}{r_a + r_b}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

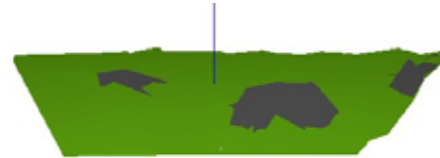


Fig. 7 Weighted Averaging Merging

4. 경로 계획

Robhaz-6W 의 경로의 계획은 Fig. 8 에 나타난 것과 같이 Robhaz-6W 전방 1m 호의 위치 존재하는 점 중에서 Robhaz-6W 이 극복할 수 없는 장애물이 존재하지 않는 위치 중에서 최종 목적지의 방향과 가장 유사한 점을 선택하여 그 점으로 주행 경로를 설정한다.

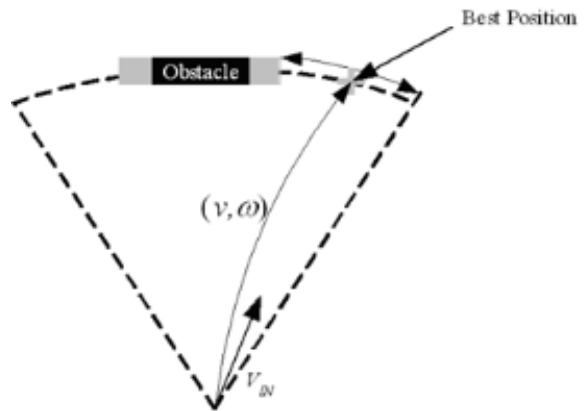


Fig. 8 Path Planning

호에서 존재하는 점 중에서 이동하고자 하는 점의 위치는 다음과 같이 찾는다.

1. 1m 전방의 호에서 우선 장애물의 위치를 파악하고 호에 장애물을 표시한다.
2. Robhaz-6W의 폭을 고려하여 주행이 불가능한 지형을 호에 표시를 해준다.
3. 주행이 가능한 부분의 점 중에서 현재 위치에서 최종 목적지까지의 벡터에 가장 가까운 점

을 찾는다.

4. 3번의 과정에서 그 점에의 좌표 값을 구하여 Robhaz-6W의 구동 속도를 결정해준다.
5. 3번의 과정에서 주행이 용이한 부분의 좌표가 호에 존재 하지 않으면, 현재 위치에서 최종 목적지까지의 벡터 방향을 기준으로 1/4회전을 한다.

위의 방법을 이용하여 두 지형에 대하여 시뮬레이션 을의 수행하였다. 사용된 지형은 370x370의 격자로 구성이 되어 있으며, 격자의 크기는 10cm로 하였다. 주행 로봇의 주행 속도는 10cm/sec이며 주행 로봇의 크기는 고려하지 않았다. Fig. 9에서 흰색으로 나타난 부분은 Robhaz-6W의 주행이 가능한 부분이며, 회색으로 나타난 부분은 Robhaz-6W으로 주행이 불가능한 지형이다.

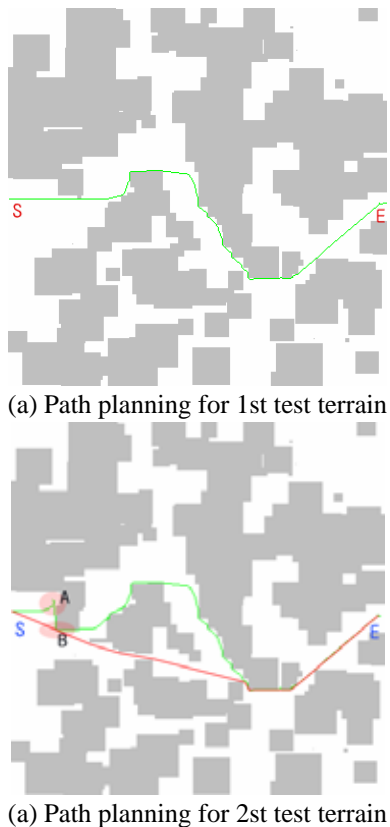


Fig. 9 Path Planning Simulation

Fig. 9에서 녹색 선은 생성된 경로이며, 붉은색 선은 지형정보를 고려하여 얻은 최적의 경로이다. 위의 Fig. 9 (a)의 결과를 보면 출발지에서 목적지까지 최적의 경로를 설정하는 것을 관찰 할 수가 있다. 그러나 Fig. 9 (b)에 나타난 결과를 보면 최적의 경로를 생성하지 못하는 것을 볼 수가 있다. Fig. 9 (b)에 나타난 것처럼 제한된 방법에 의해서 생성된 정보는 전체적인 지형 정보가 없

기 때문에 지역 최적 값(Local Minimum)으로 수렴하는 것을 관찰 할 수가 있다. 그러나 위의 결과에 나타난 것과 같이 최종의 목적지로 도달하는 것을 알 수가 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 험로를 주행 할 수 있는 주행 로봇 Robhaz-6W에 스테레오 카메라를 장착하여 주변 환경을 인식하여 미지 영역 탐사를 가능하게 하였다. 미지의 영역을 탐사하면서 얻은 3차원 정보는 무선랜을 통하여 원격지의 조종에게 전송이 된다. 본 연구의 결과는 적지 정찰과 재난 시의 인명 구조와 같이 미지의 영역을 탐사 시에 유용하게 사용될 수가 있다. 향후 ICP와 Weighted Merging 방법을 이용하여 3차원 정보를 융합할 때 발생하는 누적 오차에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- (1) Hayati, S., Volpe, R., Backes, P., Balaram, J., Welch, R., Ivlev, R., Tharp, G., Peters, S., Ohm, T., Petras, R., Laubach, S., 1997, "The Rocky 7 rover: a Mars Sciencecraft prototype", *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol 3, pp. 2458 ~ 2464
- (2) Estier, T., Crausaz, Y., Merminod, B., Lauria, M., Piguat, R. and Siegwart, R., 2000, "An Innovative Space Rover with Extended Climbing Abilities. In Proceedings of Space & Robotics", *the Fourth International Conference and Exposition on Robotics in Challenging Environments*, New Mexico.
- (3) Woo, C. K., Cho., C. H., Kang, S. C., Shin, K. C., Kim, M. S., Kim S. H., and Kwak, Y. K., 2002, "A New Mobile Robot Capable of Climbing the Stairs Using a Passive Linkage Mechanism," *Proc. of 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Istanbul, Turkey.
- (4) Zhang, Z., 1998, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *Technical Report MSR-TR-98-71*, Microsoft Research Microsoft Corporation, One Microsoft Way Redmon
- (5) Fusiello, A., Trucco, E., Verri, A., 2000, "A compact algorithm for rectification of stereo pairs," *Machine Vision and Applications*, vol 12, pp.16-22.
- (6) Yoon, S. Park, S. K., Kang, S. C., Kim, M. S., Kwak, Y. K., 2003, "Real Time Stereo Correspondence with Occlusion Using Sum of Absolute Difference," *FIRA World Congress*, Wien.
- (7) Kanade, T. and Okutomi, M., 1994, "A stereo matching algorithm with an adaptive window: Theory and experiment," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, pp. 920-932.
- (8) Rusinkiewicz, S., Levoy, M., 2001, "Efficient

variants of the ICP algorithm,” *Proc. of Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, Quebec, pp.145 – 152

- (9) Dorai, C., Wang, G., Jain, A.K., Mercer, C., 1998, “Registration and integration of multiple object views for 3D model construction,” , vol. 20, no. 1, pp.83-89.