

엔터테인먼트용 로봇차량의 제작과 균형 제어

Implementation and Balancing Control of a Robotic Vehicle for Entertainment

김 현 욱, 조 성 택, 정 슬*

(Hyun Wook Kim¹, Seong-Taek Cho², and Seul Jung^{2,*})

¹LIG NEX 1 Korea

²Mechatronics Engineering Department, Chungnam National University

Abstract: This paper presents the driving and balancing control of an entertainment robot vehicle that can carry two persons. The entertainment robot vehicle is built with the purpose of carrying passengers with two wheels. It has two driving modes: a balancing mode with two wheels and a driving mode with three wheels. Three cases of different modes are verified by experimental studies. Firstly, a driving mode is tested with two passengers to check the functionality of the vehicle. Secondly, the balancing control performance is tested. Lastly, the balancing control performance under the disturbance is tested.

Keywords: robotic vehicle, balancing control, two-wheel robot

I. 서론

최근에 전기자동차에 대한 관심이 많아지고 실용화가 되면서 사람을 태울 수 있는 이동로봇에 대한 연구도 활발하다. 전기자동차와 이동로봇은 그 특성이나 구조가 같으므로 점점 구별이 없어지고 하나로 합쳐지는 추세이다. 전기자동차의 경우 소형차가 주를 이루고 있으며 이동로봇의 경우 사람이 탈 수 있는 운송체 시스템의 개념이 강하게 요구되고 있다.

운송용 이동로봇의 경우 두 바퀴 구동 역진자형 이동로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-11]. 작은 크기의 두 바퀴 로봇에서부터 사람이 타고 다닐 수 있는 크기까지 다양한 형태의 로봇이 제안되었다[1-3]. 그 중에서 사람이 탈 수 있는 가장 대표적인 로봇이 세그웨이(Segway)이다. 좁은 공간이나 실내에서 주행이 원활하므로 현재 상용화되어 공항경비, 레저스포츠 등 여러 분야에서 활용되고 있다[2]. 최근에는 세그웨이를 개조하여 두 사람이 탑승가능하며, 세그웨이보다 더 먼 거리를 이동할 용도로 제작하고 있는 단거리 수송용 차량 PUMA란 로봇을 개발하고 있다[12].

기본적으로 이동로봇이 역할을 제대로 하기 위해서는 세 가지 기술이 확보되어 있어야 한다. 자기위치인식, 경로계획 그리고 제어이다. 여기에서도 가장 중요한 것이 localization,

즉 자기위치를 인식하는 기술이다. 대부분의 이동로봇에 대한 연구가 이 분야에 치중할 정도로 중요하며 자율주행의 가장 기초되는 기술로 구현하기가 매우 어렵다. 그 다음에 경로를 계획하여 로봇이 추종하게 한다. 하지만 자율주행이 아니고 자동차처럼 사람이 운전을 하는 이동로봇의 경우에는 제어가 가장 중요한 기술이 된다. 특히 두 바퀴로 구동되는 이동로봇의 경우에는 더욱 그러하다.

이전 연구에서 역진자 형태의 막대를 두 바퀴로 세우는 구조에서 시작하여 점차 사람을 태우는 구조로 발전하면서 무게중심점이 가운데 놓여있지 않게 되므로 균형제어가 어려워졌다.

저가용 센서를 사용하여 필터링을 거쳐 균형 각을 유추해 내기도 하고[4], 모델링을 통해 제어를 하기도 하고[5,6], 신경회로망을 사용하여 제어를 하였다[7,8]. 퍼지 제어를 사용해 두 바퀴 이동로봇의 균형을 제어하기도 하였다[11].

선행연구에서 개발한 두 바퀴 구동 이동로봇에 대한 기술을 사용하여 두 사람이 탑승할 수 있는 두 바퀴 구동 엔터테인먼트 로봇 차량을 개발하였다. 처음에 차량 로봇 설계를 통한 시뮬레이션을 수행하였다[13]. 또한 실제 차량 로봇을 제작하여 제어 실험을 수행하였다[14-20].

본 논문에서는 엔터테인먼트 용 이동수단 형 이동로봇(ATB: AmuseTransBot)을 설계 제작하고 주행 및 균형 제어를 구현하여 보았다. 본 로봇의 작동성을 확인하기 위해 선형제어를 통해 균형을 유지하고 주행하는 실험을 실내에서 수행하였다. 외란에 대한 강건성을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

II. 엔터테인먼트용 차량 로봇

1. 2인용 엔터테인먼트 로봇차량 설계

엔터테인먼트 로봇차량(ATB)의 목적은 사람을 태우고 근거리를 이동하거나 이동하면서 즐거움을 주는 두 바퀴

* Corresponding Author

Manuscript received December 20, 2013 / revised May 8, 2014 / accepted May 13, 2014

김현욱: LIG Nex 1(khw1042@naver.com)

조성택, 정슬: 충남대학교 메카트로닉스공학과

(savagegard_n@mate.com/jungs@cnu.ac.kr)

※ 본 논문의 일부는 2013 ICROS 대전충청지부 학술대회에서 발표되었음.

※ 본 논문은 2013년도 연구재단 일반연구지원사업의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

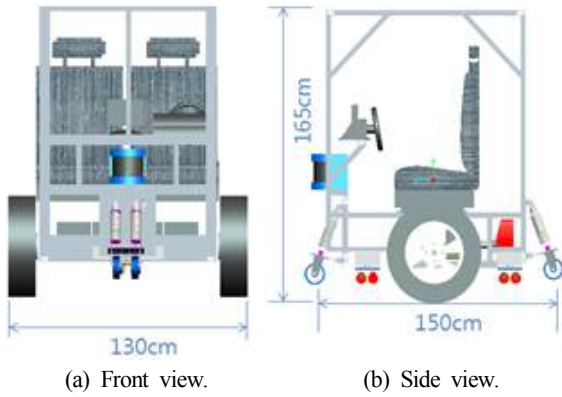


그림 1. 엔터테인먼트 로봇차량 구조.
Fig. 1. Entertainment robot vehicle structure.

구동 이동로봇이다. ATB는 두 개의 구동바퀴와 두 개의 리프트용 보조바퀴, 두 개의 서스펜션으로 구성된다.

그림 1은 로봇차량의 제원을 나타낸다. 높이는 1.65m, 폭이 1.5m, 길이는 1.5m이고 무게는 약 200Kg이다. 그림 1(b)를 보면, 로봇차량의 맨 앞과 맨 뒤에 있는 것이 서스펜션, 가운데 있는 것이 구동바퀴, 서스펜션과 구동바퀴 사이에 있는 것이 리프트용 보조바퀴이다. 그림 1(b)는 가변구조의 리프트용 보조바퀴가 올라간 상태를 나타내는 것으로 구동바퀴를 중심으로 앞뒤로 튕겨 탑승자로 하여금 재미를 느낄 수 있도록 설계하였다. 리프트용 보조바퀴가 아래로 내려가면 지면과 4접점이 유지되어 안정하게 운전할 수 있다.

2. 엔터테인먼트 로봇차량 제작

그림 2는 실제로 구현한 로봇차량의 사진이다. 두 사람이 탈 수 있도록 제작되었고 두 바퀴로 구동할 수 있도록 설계하였다. 방향조절은 핸들로 하고 속도조절은 발판의 페달로 제어한다.

두 바퀴 구동의 경우에 무게중심점의 위치가 중요한데 탑승자의 몸무게, 앉는 자세에 따라 ATB의 무게중심이 정확하게 차축에 놓이지 않게 되는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 그림 3에서 보면 무게추가 모터에 의해 구동되는 무게중심점 조절장치를 설계하였다. 차량의 가운데

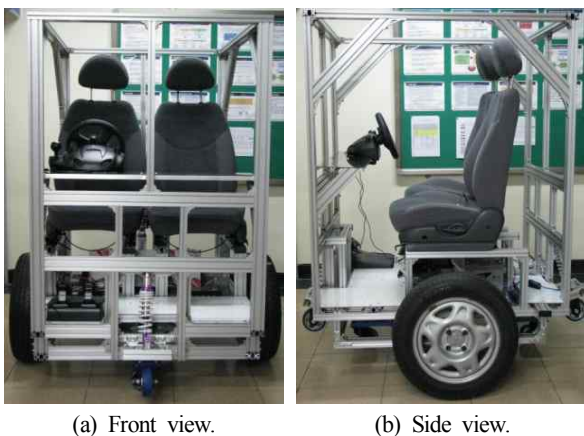


그림 2. 엔터테인먼트 로봇차량.
Fig. 2. Entertainment robot vehicle.

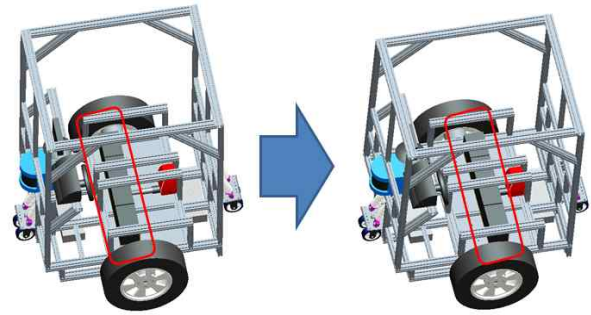


그림 3. 엔터테인먼트 로봇차량의 무게중심 조절장치.
Fig. 3. COG control device of an entertainment robot vehicle.

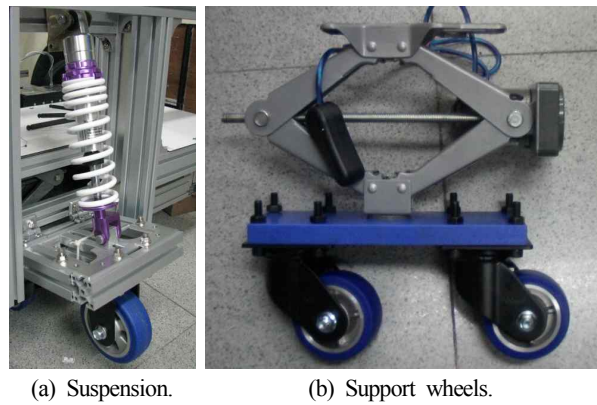


그림 4. 보조바퀴.
Fig. 4. Support wheels.

부분에는 무게 중심을 조절하는 장치가 구현되어 있어 사람의 무게에 따른 질량을 앞으로 움직여 무게중심을 유지한다. 무게중심을 기계적으로 조절함으로써 균형제어가 상대적으로 쉬워진다. 선행연구에서는 무게중심점의 위치가 가운데 놓이지 않을 경우에 오프셋을 주어 제어하였다[16].

그림 4는 앞과 뒤에 장착된 보조바퀴를 나타낸다. 그림 4(a)는 서스펜션용 보조바퀴를 나타내고 그림 4(b)는 운전 모드 전환용 보조바퀴를 나타낸다. 서스펜션용 보조바퀴는 운전자에게 운전 중 흥미를 주기위한 것이다. 운전 모드 전환용 보조바퀴는 전동책으로 구성되어 있어 차체를 지지하며 바퀴를 위아래로 움직일 수 있다.

3. 엔터테인먼트 로봇차량의 하드웨어 구현

그림 5는 전체 하드웨어의 구성을 보여준다. 주제어기로 DSP를 사용하고 ATmega128을 보조제어기로 사용하였다. 페달과 핸들을 통해 로봇의 기준값을 생성하고 그것을 컴퓨터가 DSP28335와 시리얼 통신을 통해 데이터를 전송하면 DSP에서 센서값들을 처리하여 SPI통신을 통해 모터를 구동한다. 그리고 2바퀴 주행 모드로 갈 것인지 4바퀴 주행 모드로 갈 것인지를 탑승자가 판단하여 모드를 바꾸면 책모터와 모터가 구동하여 탑승자가 원하는 모드로 이동하게 된다. 균형을 유지하기 위한 각도 검출 센서로는 자이로와 틸트 센서를 융합하여 사용하였다. 균형각도를 정확하게 검출하기 위해서 융합알고리즘으로 보상필터를 사용하여 각 센서의 단점을 보완하였다[4].

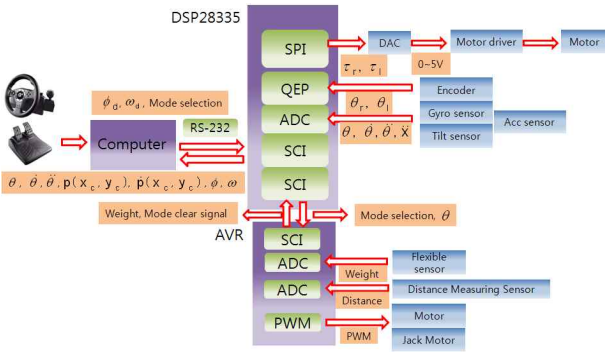


그림 5. AmuseTransBOT의 하드웨어 시스템 구성.
Fig. 5. Hardware system structure of AmuseTransBOT.

III. 제어

로봇차량의 제어는 기본적으로 PD와 PID제어기를 사용했다. 그림 6은 로봇차량을 구동시키기 위한 제어블록도를 나타낸다.

균형각 제어에는 PD제어를 사용하고 위치나 헤딩각 제어에는 PID제어기를 사용하였다. 각 바퀴에 주어지는 토크의 제어입력 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tau_R &= K_{p\theta}(\theta_d - \theta) + K_{d\theta}(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \\ &\quad + K_{p\phi}(\phi_d - \phi) + K_{d\phi}(\omega_d - \omega) + K_{i\phi} \int_0^t (\phi_d - \phi) dt \\ &\quad + K_{pp}(p_d - p) + K_{dp}(v_d - v) + K_{ip} \int_0^t (p_d - p) dt \\ \tau_L &= K_{p\theta}(\theta_d - \theta) + K_{d\theta}(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \\ &\quad - K_{p\phi}(\phi_d - \phi) - K_{d\phi}(\omega_d - \omega) - K_{i\phi} \int_0^t (\phi_d - \phi) dt \\ &\quad + K_{pp}(p_d - p) + K_{dp}(v_d - v) + K_{ip} \int_0^t (p_d - p) dt \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 θ 는 균형각도이고 ϕ 는 헤딩각, ω 는 헤딩각속도, p 는 위치, v 는 속도, K_{ij} 는 제어기 이득값이다. 실제 실험에서는 PD제어를 사용하였다. 제어기 값은 실험적으로 구한 값들이다. 제어기 이득값은 표 1에 나타나 있다.

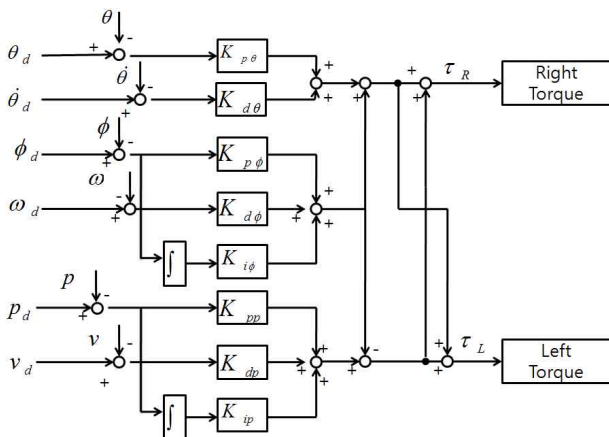


그림 6. 엔터테인먼트 로봇차량의 제어 블록선도.
Fig. 6. Control block diagram.

표 1. 제어기 이득값.

Table 1. Controller gains.

Gain	Values
Angle P gain	-325
Angle D gain	-48
Angle I gain	0
Position P gain	-8
Position D gain	-10
Position I gain	0
Heading P gain	3500
Heading D gain	350
Heading I gain	0

IV. 실험

1. 일반모드 실내주행

먼저 탑승자 두 명이 탑승하고 실내에서 운전하는 것을 실험하였다. 그림 7은 실내주행 동영상을 캡처한 사진이다. 좁은 공간에서 회전을 할 수 있음을 보여준다.

2. 밸런싱 모드실험

다음 실험은 두 바퀴로 균형을 유지하는 실험을 수행한 결과이다. 두 바퀴의 장점인 좁은 공간에서의 회전을 실험하였다. 그림 8은 사용자가 무선으로 제자리에서 로봇의 회전움직임을 제어하고 있다.

그림 8의 처음 두 그림은 제자리에서 균형을 유지하는 실험이다. 실험에서 보면 제자리에서 회전하고 있음을 알 수 있다.

3. 외란실험

다음 실험으로는 외란에 대한 균형제어를 실험하였다. ATB가 균형을 유지하는 동안에 의도적으로 바퀴를 발로 차서 균형에 대한 외란을 주었다. 그림 9에는 실제 외란 실험이 나타나 있다. 실제로 발로 두 번 외란을 주었다. 발로 외란을 주었지만 ATB는 균형을 잘 유지하는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 밸런싱 모드에서 외란을 주는 실험의 결과의 그래프이다. 그림 10(a)는 각도, (b)는 위치, (c)는 헤딩 각도의 그래프이다. 그림 10(a)에서 AmuseTransBOT에 외란을

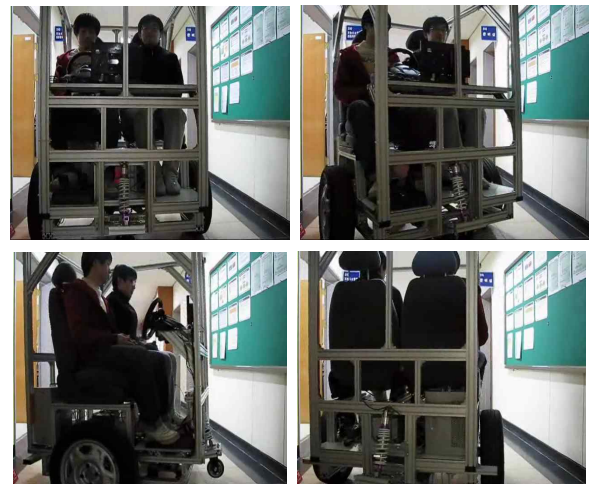


그림 7. 실내주행실험.

Fig. 7. Indoor driving.

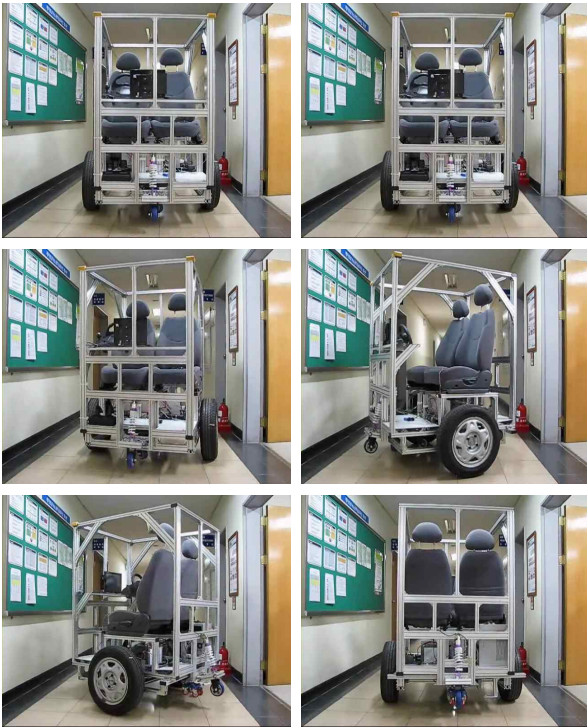
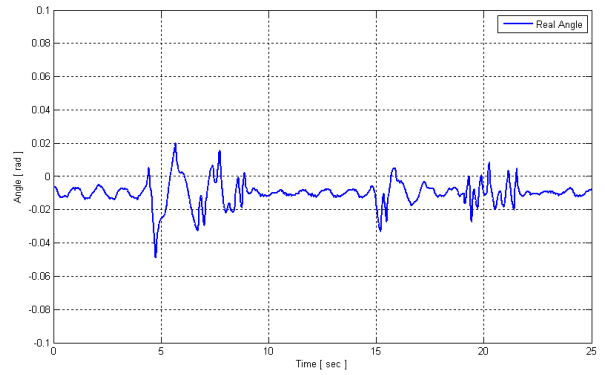
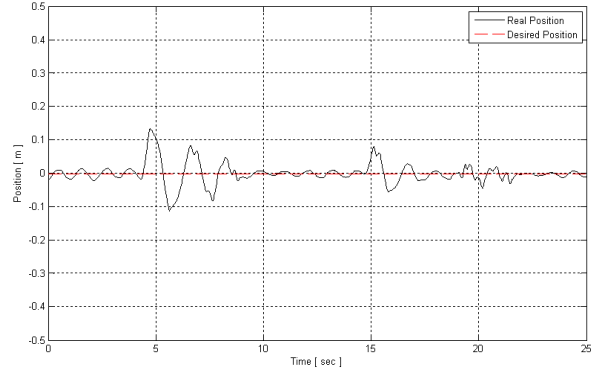


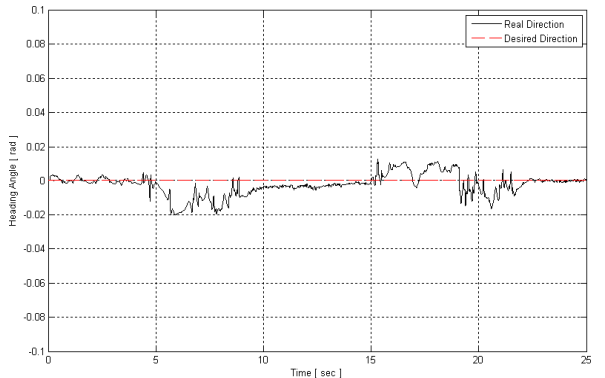
그림 8. 균형유지 및 회전실험.
Fig. 8. Balancing and rotation control.



(a) Balancing angle.



(b) Position.



(c) Heading angle.

그림 10. 외란에 대한 밸런싱 모드의 결과.

Fig. 10. Balancing control performance by disturbance.

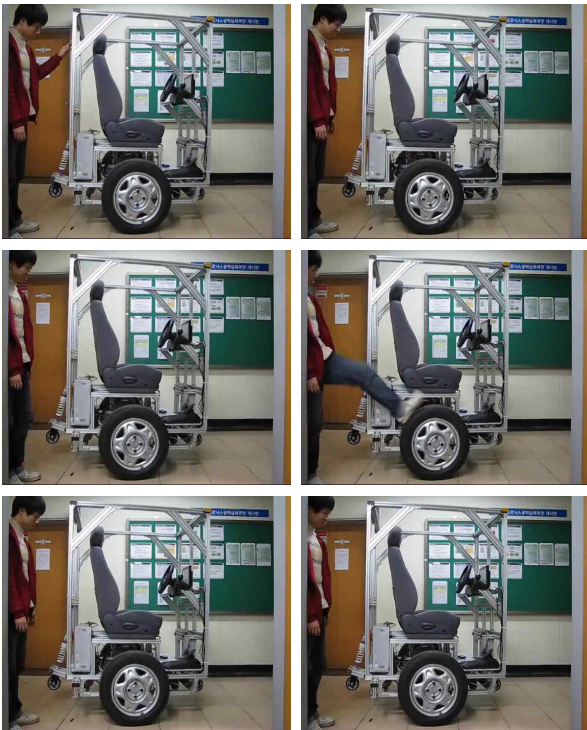


그림 9. 외란에 의한 균형제어 실험.
Fig. 9. Balancing control experiment by disturbance.

주었을 때 각도가 흔들렸다 다시 수렴해서 제어 되는 것을 알 수 있었다. 그림 10(c)에서 헤딩 각도 그래프가 많이 흔들리는 것은 5초와 15초에서 오른쪽 바퀴를 세게 쳤기 때문이다. 하지만 다시 0으로 수렴하는 것을 볼 수 있었다.

V. 결론

본 논문은 엔터테인먼트를 위한 로봇차량의 설계, 구현, 제작 및 제어에 관한 것으로 로봇의 하드웨어, 소프트웨어, 제어기, 실험결과를 소개했다. 탑승자가 없이 균형제어를 잘 유지하는 것을 확인하였고 두 명이 탑승한 상태에서 수동으로 운전가능성을 확인하였다. 좁은 공간에서 회전할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 바퀴에 외란을 주었을 경우에도 안정적으로 균형을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

추후에는 앞뒤로 바운스를 할 수 있도록 차량을 개조하고 자율주행을 성취하기 위해 다양한 센서를 부착하여 실험할 예정이다. 자율주행의 완성도를 높이기 위해서는 GPS 뿐만 아니라 INS 센서 그리고 영상을 융합하여 경로를 산출해 내고 제어를 하는 것이 추후과제이다.

REFERENCES

- [1] F. Grasser, A. Darrigo, S. Colombi, and A. Rufer, "JOE: A mobile, inverted pendulum," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 49, no. 1, pp. 107-114, 2002.
- [2] <http://www.segway.com>
- [3] H. J. Lee and S. Jung, "Development of two wheeled car-like mobile robot using balancing mechanism: BalBOT VII," *Journal of Korean Robotics Society (in korean)*, vol. 4, no. 4, pp. 289-297, 2009.
- [4] H. J. Lee and S. Jung, "Balancing and navigation control of a mobile inverted pendulum robot using sensor fusion of low cost sensors," *Mechatronics*, vol. 22, no. 1, pp. 95-105, 2012.
- [5] K. Pathak, J. Franch, and S. Agrawal, "Velocity and position control of a wheeled inverted pendulum by partial feedback linearization," *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 21, pp. 505-513, 2005.
- [6] S. H. Jeong and T. Takayuki "Wheeled inverted pendulum type assistant robot: design concept and mobile control," *IEEE IROS*, pp. 1932-1937, 2007.
- [7] R. Inamura, T. Takei, and S. Yuta, "Sensor drift compensation and control of a wheeled inverted pendulum mobile robot," *IEEE Workshop on Advanced Motion Control*, pp. 137-142, 2008.
- [8] S. S. Kim and S. Jung, "Control experiment of a wheel-driven mobile inverted pendulum using neural network," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 297-303, 2008.
- [9] C. C. Tsai, H. C. Huang, and S. C. Lin, "Adaptive neural network control of self-balancing two-wheeled scooter," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 4, pp. 1420-1428, 2010.
- [10] C. H. Huang, W. J. Wang, and C. H. Chiu, "Design and implementation of fuzzy control on a two-wheel inverted pendulum," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 7, pp. 2988-3001, 2011.
- [11] H. W. Kim and S. Jung, "Fuzzy logic application to a two-wheel mobile robot for balancing control performance," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 12, no. 2, pp. 154-161, 2012.
- [12] <http://www.segway.com/puma/>
- [13] H. W. Kim and S. Jung, "Design and analysis of a robotic vehicle for entertainment using balancing mechanism," *URAI*, pp. 855-857, 2012.
- [14] H. W. Kim and S. Jung, "Design and balancing control of a robotic transportation vehicle for amusement," *AVEC*, 2012
- [15] H. W. Kim and S. Jung, "Development and control of a personal robotic vehicle for amusement," *ICHIT*, pp. 574-581, 2012.
- [16] H. W. Kim and S. Jung, "Experimental studies of controller design for a car-like balancing robot with a variable mass," *Journal of Korea Institute of Intelligent Systems (in korean)*, vol. 20, no. 4, pp. 469-475, 2010.
- [17] H. J. Lee, H. W. Kim, and S. Jung, "Development of a mobile inverted pendulum robot system as a personal transportation vehicle with two driving modes :TransBOT," *World Automation Congress (WAC)*, pp. 1-5, 2010.
- [18] H. S. Kim, H. S. Song, and S. Jung, "Design and control of a wheel-chair robot for handicapped or elderly persons," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 7, pp. 668-673, 2011.
- [19] P. K. Kim, J. H. Park, M. S. Ha, and S. Jung, "Implementation and balancing control of one wheel robot, GYROBO," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 6, pp. 501-507, 2013.
- [20] H. W. Kim, S. T. Cho, and S. Jung, "Driving and balancing control of an entertainment robot vehicle: AmuseTransBot," *Proc. of 2013 ICROS Chungchung Regional Conference (in Korean)*, pp. 95-98, Dec. 2013.



김 현 옥

2009년 충남대 메카트로닉스공학과 졸업. 2011년 동 대학원 메카트로닉스공학과 지능로봇 전공 석사졸업. 현재 LIG Nex 1 연구원. 관심분야는 지능이론, 지능 로봇 제어, 밸런싱 로봇의 차량 응용.



조 성 택

2006년 경희대 토목공학과 졸업. 2014년 충남대 메카트로닉스공학과 지능로봇 전공 석사졸업. 현재 KIST 인턴 연구원. 관심분야는 지능 로봇 제어, 모터제어, 밸런싱 로봇의 차량 응용.



정 슬

1988년 미국 웨인 주립대 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업. 1991년 미국 캘리포니아대 데이비스 전기 및 컴퓨터 공학과 석사. 동 대학 박사. 1997년~현재 충남대학교 메카트로닉스 공학과 교수. 관심분야는 지능제어 및 지능로봇 시스템, 장애우를 위한 보행 및 휠체어 로봇 설계 및 개발, 가정용 서비스 로봇 개발, 유무인 수송체 시스템, 로봇교육.