

구간제어기법을 이용한 전기 자동차의 정속주행용 속도제어기의 설계

Design of Cruise Control System using Piece-wised Control for Electric Vehicle

이용준 · 유영재[†]

Yongjun Lee, Youngjae Ryoo[†]

목포대학교 제어로봇공학과

[†] Department of Control Engineering and Robotics, Mokpo National University

요 약

본 논문에서는 전기 자동차의 정속 주행을 위하여 구간제어기법을 이용한 속도제어기의 설계방안을 제안한다. 전기자동차의 정속주행은 주요한 성능요소중의 하나이다. 정속주행을 위해서는 이상적으로 선형적 특성을 가진 구동 모터가 필요하다. 하지만 실용화된 모터는 비선형적인 구간이 존재하며 이를 보상하기 위해 페루프 제어를 통해 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 비선형적인 특성이 매우 큰 구동모터는 페루프 제어만으로 적합한 성능을 얻기 어렵기 때문에 구간제어기법을 적용하여 성능을 향상시켰다. 제안한 방법을 실험하기 위하여 비선형 특성이 큰 구동모터를 장착한 전기자동차를 구성하고 제안한 방법을 적용하여 실험하였다. 실험 결과 페루프 제어보다 제안한 구간제어기법이 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

키워드 : 정속주행, 속도제어, 전기자동차

Abstract

In this paper, a design scheme of a cruise control system for an electric vehicle using piece-wised PD control is proposed. Cruise control of electric vehicles is one of the major performance elements. Drive motors having linear characteristics ideally is required in order to achieve the cruise driving. But practical motors have nonlinear characteristics and the performance of the motors can be improved by the closed-loop control to compensate it. In this paper, we improved the performance of by applying piece-wised PD control because the driving motors having nonlinear characteristics are difficult to obtain adequate performance only using closed-loop control. In order to test the proposed method, the experiments were carried out by applying the proposed method after setting up an electric vehicle equipped with a driving motors having large nonlinear characteristics. The experiment results of the proposed piece-wised PD control shows better performance than that of closed-loop control.

Key Words : Cruise control, Electric vehicle, Piece-wised control, Driving motor

1. 서 론

최근 자동차의 무인주행기술이 빠르게 발전하면서 유무인 전기자동차 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 기술 발전을 제외하고도 유가상승과 에너지고갈, 공해문제

가 심각해지면서 관련 업종에서는 전기자동차에 대한 연구와 개발이 활발히 이루어지고 있다. 특히, 화석 연료의 에너지 문제가 전 세계적으로 심각한 경제적 문제를 야기하고 있으며 기후변화 협약 등과 같은 에너지 소비 감축 방안으로 인하여 더욱더 친환경적인 전기자동차 개발이 중요해지고 있다.[1-2]

전기자동차는 석유계 연료의 연소에너지로 주행하는 일반자동차와는 달리 주로 전지의 전원을 이용하여 모터를 구동시켜 동력을 얻는 자동차로 재충전이 가능한 전지, 구동용 모터, 모터 제어기, 감속기 등의 부품으로 구성된다. 전기 자동차는 엔진 대신 모터를 사용함으로써 소음이 적고 유지보수가 용이하며 환경 친화적이라는 장점이 있으나 주행성능이 열위하고 주행거리가 짧은 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 전기자동차의 정속주행 제어방법 등을 이용한 에너지 효율을 높이는 방법이 필요하다.[3-7]

접수일자: 2013년 1월 10일

심사(수정)일자: 2013년 7월 24일

게재확정일자 : 2013년 7월 30일

[†] Corresponding author

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea(NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation.

전기자동차는 구동용 모터를 제어하여 주행이 가능하다. 제어기 설계를 위해 구동용 모터의 특성곡선을 구하고 제어 가능한 속도범위의 선형적인 특성을 구동 모터 제어기에 적용하여 전기자동차의 속도제어를 한다. 하지만 실용화된 모터는 비선형적인 동작특성 구간이 존재하며, 구동모터의 동작 특성에 비선형적인 구간이 존재할 경우 정밀제어 오차가 발생하는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 구간제어기법을 이용하여 구동 모터의 정속주행 기법을 제안한다. 구간제어기법은 구동용 모터의 동작 특성 곡선을 분석하여 선형적인 특성을 보이는 구간별로 제어를 하는 방법이다. 제안하는 방법을 실험하기 위하여 비선형적인 특성이 매우 큰 모터를 장착한 전기자동차를 구성하고 실험을 진행하였다.

논문의 구성은 제 2장에서 실험을 위한 전기자동차의 구성에 대해 알아보고, 제 3장에서는 전기자동차의 주행 제어기를 설계 및 개발하였다. 제 4장에서는 속도제어 알고리즘을 적용하여 제어기를 개발하고 실험을 진행하였고, 제 5장에서 본 논문에 대한 결론을 내리고자 한다.

2. 전기자동차의 개발

2.1 실험용 전기자동차의 구조

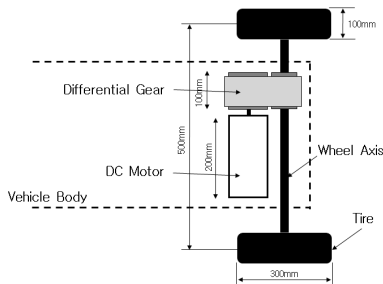


그림 1. 전기자동차의 구동 시스템 구조
Fig. 1. Structure of Driving System.

제안한 방법을 실험하기 위하여 그림 1과 같이 전기 자동차의 구동부를 구성하였다. 실험용 전기자동차의 구동부는 DC모터, 차동기어, 전자브레이크가 조립되어 있는 트랜스액슬 세트를 사용하였다. 모터는 24V 320W이고 비선형 특성이 큰 모터를 사용하였다.

2.2 구동장치 구성

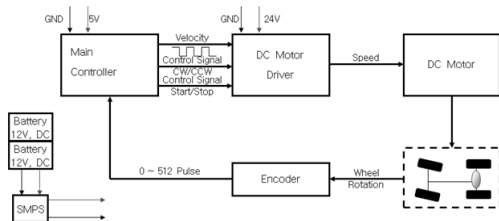


그림 2. 전기자동차 구동장치 블록도
Fig. 2. Block Diagram of Driving Control System.

차량의 주행을 제어하기 위하여 마이크로프로세서를 이용하여 주행제어기를 설계하였다. 주행을 위한 구동모터는 DC 모터를 이용하였고 DC 모터 드라이버를 사용하여 제어하였다.

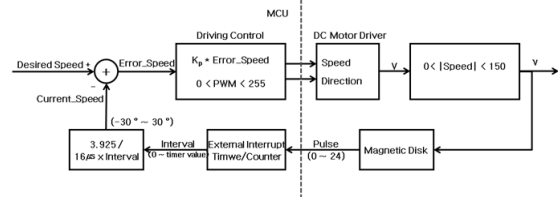


그림 3. 페루프 제어 블록도
Fig. 3. Closed-Loop Driving Control Block Chart.

주행제어기에서 발생하는 신호는 차량의 주행속도를 결정하는 PWM 신호와 주行的 START/STOP 신호, 주행 방향을 결정하는 CW/CCW신호로 나누어지고 DC 모터 드라이버에 입력된다. 전기자동차의 주행속도 측정을 위하여 마그네틱 디스크를 설계 개발하여 구동부 바퀴 휠에 부착하여 주행 속도를 계측하였다.

2.3 속도제어시스템

본 논문에서 개발된 전기자동차의 경우 구동부 공간이 협소하여 엔코더를 장착하는데 어려움이 있었다. 이를 극복하기 위하여 그림 4와 같이 마그네틱 디스크를 설계 및 개발하였다.

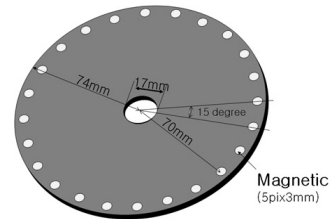


그림 4. 마그네틱 디스크
Fig. 4. Magnetic Disk.

마그네틱 디스크는 구동용 바퀴 안쪽 프레임에 장착하여 속도를 측정하기 위하여 사용한다. 장착하고자 하는 차량의 바퀴 휠의 크기에 따라 디스크의 크기를 조절할 수 있고 부착된 자석의 개수를 결정할 수 있다. 얇은 판으로 제작되어 협소한 공간에도 쉽게 장착이 가능하다. 바퀴에 마그네틱 디스크를 부착하고 차량의 바디에 홀센서를 부착하는데, 홀센서의 위치는 자석이 수직방향으로 홀센서 바로 위를 지나가도록 한다.

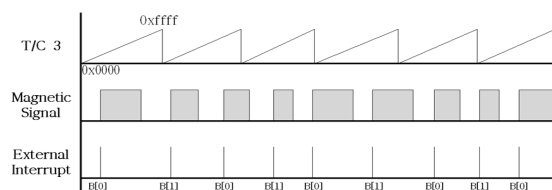


그림 5. 마그네틱 디스크를 이용한 속도 측정.
Fig. 5. Speed Sensing Using Magnetic Disk.

바퀴가 회전함에 따라 마그네틱 디스크로 함께 회전하게 되고 자석이 홀센서 위를 지날 때 마다 신호가 발생한다. 이때 발생하는 신호를 메인제어기로 입력하게 된다. 메인제어기는 입력되는 신호를 이용하여 차량의 주행속도를 계측할 수 있다.

마그네틱 디스크를 이용할 경우 엔코더를 이용할 때 보다 출력 펄스의 개수가 적기 때문에 단위시간당 펄스의 개수를 이용한 계산법을 이용하는 알고리즘을 이용하기에는 정확도가 떨어지는 문제점이 발생하였다. 이를 극복하기 위해 단위시간당 펄스의 개수를 이용하는 방법 대신 출력신호 발생의 시간차를 이용하여 주행속도를 계측하는 방법을 이용하였다. 첫 번째 신호에서 다음 신호 발생할 때까지의 시간을 계측하고 그때 바퀴의 이동거리를 이용하면 차량의 주행속도를 계산 할 수 있다.

마그네틱 디스크를 이용하여 속도추정을 하기 위해 MCU(ATMega128)의 Timer/Count 기능을 이용하였다. 메인 제어기의 MCU ATMega128 내부에 있는 Timer/Counter3는 항상 0x0000에서 0xffff까지 업카운터로만 동작하게 한다. 차량이 주행을 하게 되면 바퀴와 함께 마그네틱 디스크가 회전을 하게 되고 디스크에 부착된 자석이 홀 센서를 지날 때 마다 신호가 발생하게 된다. 이 신호는 MCU의 외부 인터럽트에 연결되어 있어 인터럽트를 발생시킨다. 첫 번째 인터럽트가 발생하게 되면 그때의 T/C의 count 값을 B[0]에 저장한다. 두 번째 인터럽트가 발생하게 되면 T/C의 count 값을 B[1]에 저장한다. B[0]와 B[1]의 차이를 구하면 바퀴가 15° 회전 했을 때 걸리는 시간을 구할 수 있다. 또한 바퀴의 반지름을 이용하여 15° 회전 했을 때의 이동거리를 알 수 있다. 바퀴의 반지름이 15Cm 일 경우 이동거리 L 은 3.925Cm 이다. T/C의 1 pulse의 시간은 MCU의 입력 클럭이 16MHz 일 때 64μs가 되도록 설정하였다.

이를 이용하여 속도를 구하게 되면,

짝수 번째 인터럽트 발생 시

$$V_{robot} = \frac{3.925Cm}{64\mu s \times (B[1] - B[0])} \quad (1)$$

홀수 번째 인터럽트 발생 시

$$V_{robot} = \frac{3.925Cm}{64\mu s \times (B[0] - B[1])} \quad (2)$$

이다.

3. 전기자동차의 속도 특성

3.1 주행모터의 특성

전기자동차의 주행제어기 설계를 위해 DC 모터의 동작 실험을 실시하였다. DC 모터의 동작 특성 곡선을 구하기 위하여 PWM을 0에서 10단위로 증가시키며 모터를 동작시키고 주행바퀴의 회전속도를 계측하였다. 계측된 속도값을 분석하여 DC 모터의 특성 곡선을 구하였다. DC 모터가 동작하기 위한 최소 PWM 값과 속도제어를 위한 비례상수 값 k_p 를 결정하였다.

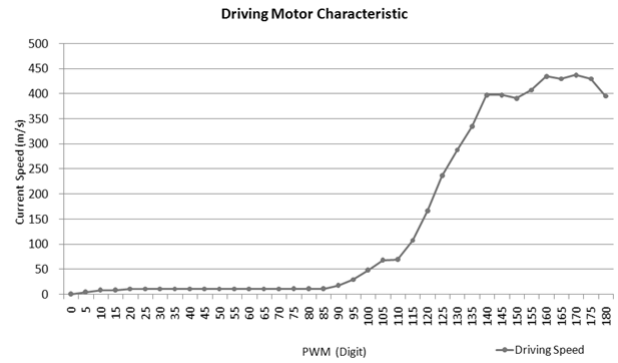


그림 6. DC 모터의 동작 특성 곡선.
Fig. 6. Characteristics of DC Motor.

그림 6은 구동부 DC 모터의 동작 특성 곡선이다. PWM 값에 의한 DC 모터의 동작 특성을 확인하기 위하여 PWM 값을 0에서부터 5단위로 증가시키며 동작 실험을 실시하였다. PWM값은 0부터 255의 범위를 가지며 PWM 값이 90이하일 경우 주행바퀴의 회전이 없음을 확인할 수 있다. PWM 값이 90을 초과 하면서 주행바퀴가 회전하기 시작하고 PWM 값이 120을 초과하면서부터 급격히 속도가 증가하였다. 또한 PWM 값이 150이상으로 증가할 경우 속도 증가폭이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 개루프(open-loop) 제어 특성

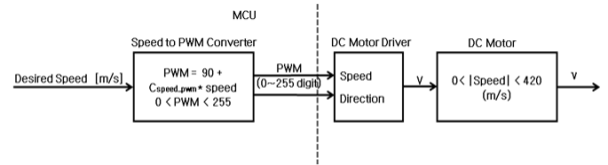


그림 7. 개루프 제어 블록도.
Fig. 7. Open-Loop Driving Control Block Chart.

전기자동차의 주행 속도 제어를 위해 Open-Loop 제어 실험을 실시하였다. Desired Velocity 값을 순차적으로 10단위로 증가시키고 주행속도 값을 측정하여 비교하였다. 그림 7은 Open-Loop 제어 프로그램의 블록도이다.

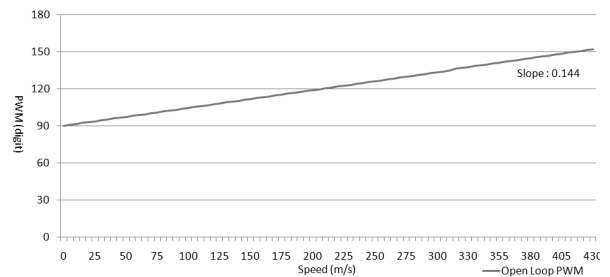


그림 8. DC 모터의 동작 특성 곡선.
Fig. 8. Slope of Open-Loop Control S-PC.

입력 속도값을 PWM 값으로 변환하기 위하여

S-PC(Speed to PWM Converter) 변환 상수를 구하였다. S-PC 값은 그림 6의 DC모터 동작 특성 곡선을 이용하여 계산하였다. PWM 값이 90에서 150까지 증가하는 동안 속도는 0m/s에서 420m/s까지 증가하였다. 이를 이용하여 속도가 0m/s에서 420m/s까지 증가하는 동안 PWM값이 증가하는 그래프를 구하였다. 그림 3의 그래프에서 속도변화에 따른 PWM 증가 그래프의 기울기를 구하여 Open-Loop 제어의 S-PC 값으로 사용하였다. 또한 PWM 값이 90이상일 경우 바퀴의 회전이 이루어지므로 OFFSET 값으로 90을 설정하였다. 그림 9는 Open-loop 제어 실험 결과이다.

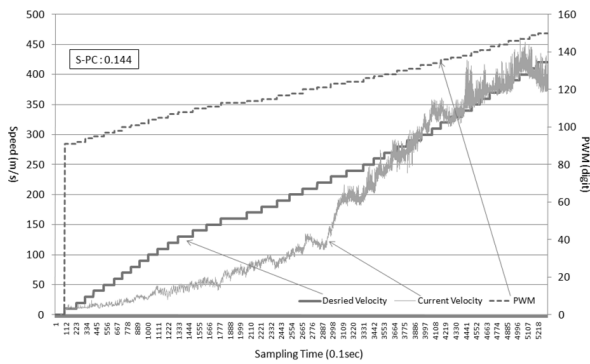


그림 9. 개루프 제어 실험 결과.
Fig. 9. Result of Open-Loop Control.

4. 제어기 설계 및 실험

Open-Loop Control 실험에서 확인된 오차를 보정하기 위하여 현재의 주행 속도값을 피드백 받아 입력에 보정하는 Closed-Loop Control 실험을 실시하였다.

4.1 페루프(closed-loop) 비례제어 실험

Desired Velocity 값을 순차적으로 10단위로 증가시키고 계속되는 주행속도 값과 비교하여 그래프로 표현하였다. 그림 10은 Closed-Loop 제어 프로그램의 블록도이다. 입력된 주행 속도에 Magnetic Disk를 이용하여 현재 주행속도와의 오차를 더하여 S-PC를 이용해 PWM 값을 생성하였다.

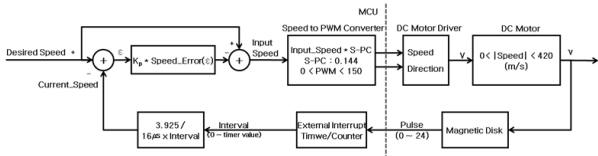


그림 10. 페루프 제어 블록도.
Fig. 10. Closed-Loop Driving Control Block Chart.

입력된 Desired_Velocity 와 현재의 속도값 Current_Velocity 의 차이를 구하고 이를 다시 Desired_Velocity에 더한 이후에 S-PC 를 이용하여 PWM값으로 변환하고 OFFSET 값 90을 더하여 주행

제어 PWM 값을 생성하였다.

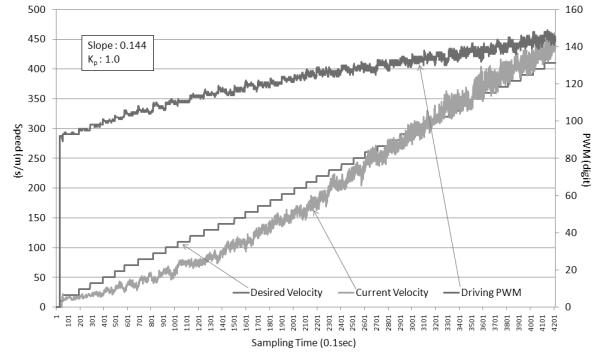


그림 11. 페루프 제어 실험 결과.
Fig. 11. Result of Closed-Loop Control.

Closed-Loop 제어 방법이 Open-Loop 제어 방법보다 속도 목표치에 더욱 가깝게 추종함을 확인 할 수 있었다. 오차를 피드백하여 보정하였지만 일부 속도 구간에서 입력된 주행속도에 도달하지 못하는 것을 확인하였다.

4.2 구간제어기 설계

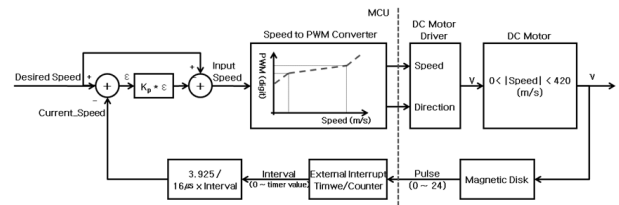


그림 12. 구간 제어 블록도.
Fig. 12. Piece-wise Control Block Chart.

Closed-Loop Control 실험에서 오차를 보정하여 현재의 주행 속도값을 목표치에 더욱 가깝게 제어하였다. 하지만 입력 속도값을 PWM으로 변환하는데 이용한 S-PC값의 특성으로 인해 목표치에 완전하게 도달하지 못하고 오차가 발생하였다.

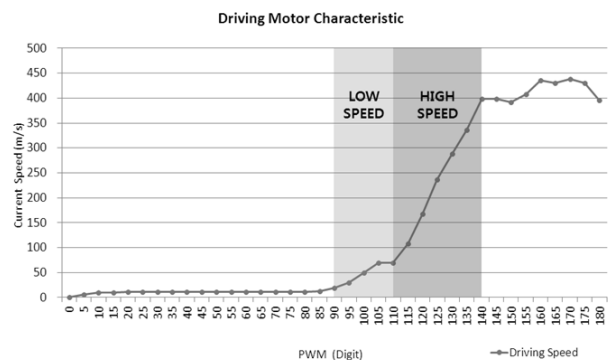


그림 13. 분할 속도 구간.
Fig. 13. Piece-wise speed control area.

이를 보정하기 위하여 모터특성곡선에서 선형적인 특성을 보이는 구간을 나누었다. 구간별 기울기를 반영하여 입력속도의 크기에 따라 S-PC 값을 다르게 적용하는 구간제어 방법을 이용하여 제어기를 설계하였다. 그림 13은 구간제어기법을 적용하기 위한 모터 특성곡선의 분할된 제어 구간을 나타내고 있다. 크게 저속구간과 고속구간으로 구분하여 제어기에 반영하였다.

4.3 구간제어 실험

그림 14는 구간제어기법을 적용한 실험 결과이다. Open-Loop Control 실험 결과와 Piece-Wised Control 실험결과 그래프를 비교하였을 때, 목표치에 더 가깝게 속도 추종이 이루어짐을 확인하였다.

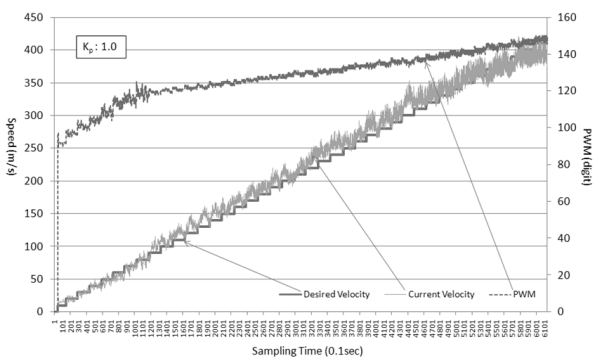


그림 14. 구간 제어 실험 결과.

Fig. 14. Result of Piece-wised Control.

5. 결론

본 논문에서는 구간제어기법을 이용한 전기자동차의 정속주행용 속도제어기의 설계를 제안하였다. 제안하는 속도제어기의 실험을 위해서 전기자동차를 제작하였다. 구동부 주행모터 특성 실험 및 해석을 바탕으로 속도제어 시스템을 설계하였다. 주행모터의 동작 특성 실험결과를 바탕으로 구간 제어기를 설계한 후 실험을 실시하였다. 구간제어기법을 이용한 제어가 목표치에 더 가깝게 속도를 추종함을 확인하였다.

References

[1] Kwang-ho Choi, *Low-speed electric vehicles for driving High-efficiency, high-density development of the controller module*, Department of Electrical Engineering, Graduate School of Chonnam National University, worthy scholar thesis for a degree, 2012

[2] Daeyeong Lim, *Robotic Vehicle Using Guidance System Based on Magnetic Marker*, Department of Control System Engineering Graduate School of Mokpo National University, doctor thesis for a degree, 2008

[3] Hyungjin Do, *Design of Centrifugal Belt Pulley for Continuously Variable Transmission(CVT) of Electric Vehicle*, Department of Control and Instrumentation Engineering, Graduate School of Industry, Pukyong National University, worthy scholar thesis for a degree, 2012

[4] Dong-Hoon Ban, Jong-Oh Park and Young-Do Lim, "Speed Control for Electric Motorcycle Using Fuzzy Controller", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 3, pp. 361-366, 2012

[5] Se-Han Lee and Sang-Yong Rhee, "A Controller Based on Velocity Estimator for a Wheeled Inverted Pendulum Running on the Inclined Road", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 21, No. 3, pp. 283-289, 2011

[6] Haksun Kim, *A Study on the Steering System of An Electric Vehicle Having Independent Power Source*, Institute of e-Vehicle Technology University of Ulsan, worthy scholar thesis for a degree, 2010

[7] Seong-cheol Choi and Jong-hwa Lee, "Fuel Economy Improvement Cruise Control Algorithm using Distance and Altitude Data of GPS in Expressway", *Transactions of KSAE*, Vol. 19, No. 6, pp.68-75, 2011

저 자 소 개



이용준(Yong-jun Lee)

2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과 졸업. 2010년 동 대학원 석사
2010년~현재 : 동 대학원 전기공학과 제어시스템전공 박사과정

관심분야 : 지능로봇, 자율주행차량
Phone : +82-10-4149-0910
E-mail : yongjun@mokpo.ac.kr



유영재(Young J. Ryoo)

본 논문지 제21권, 제4호 참조
2000년~현재 : 목포대학교 제어로봇공학과 교수
2010년~2012년 : 미국 버지니아텍 교환 교수

관심분야 : 지능형 로봇, 미래형 차량, 로봇형 차량
Phone : +82-61-450-2754
E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr