

논문 2014-09-34

안드로이드 스마트폰과 이동 로봇의 자세 동기화를 위한 제어 시스템

(A Control System for Synchronizing Attitude between an Android Smartphone and a Mobile Robot)

김민지, 배설봉, 신동협, 주문갑*

(Min J. Kim, Seol B. Bae, Dong H. Shin, Moon G. Joo)

Abstract : In this paper, we propose a control system for synchronizing attitude between an Android smartphone and a mobile robot. The control system is comprised of a smartphone and a mobile robot. The smartphone transports its attitude to the mobile robot and receives the attitude of mobile robot through bluetooth communication. Further, the smartphone displays the mobile robot on the screen by using embedded camera, which can be used as a pseudo augmented reality. Comparing the received attitude data from smartphone, the mobile robot measures its attitude by an AHRS(attitude heading reference system) and controls its attitude. Experiments show that the synchronization performance of the proposed system is maintained in the error range of 1° .

Keywords : Android smartphone, Mobile robot, Synchronization, AHRS

1. 서론

IT 기술의 발전으로 이동 로봇은 다양한 산업 분야를 넘어 일상생활에 이르기 까지 그 효용성이 점차 확대되고 있다[1, 2]. 이는 이동 로봇이 인간을 대신하여 임무를 수행해, 보다 안전하고 정확한 작업이 가능하기 때문이다[3].

한편 스마트폰은 PC와 동등한 스펙을 보유하여 예전에는 PC에서만 가능했던 동작을 대신 수행할 수 있을 정도로 발전했다[4]. 또한 스마트폰은 다양

*Corresponding Author(gabi@pknu.ac.kr)

Received: 27 Feb. 2014, Revised: 28 Apr. 2014.

Accepted: 28 May 2014.

M.J. Kim, S.B. Bae, M.G. Joo: Pukyong National University

D.H. Shin: SL Corporation

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2013R1A1A4A010059)

한 디바이스를 내장하고 있어, 별도의 센서나 통신 모듈을 구입하지 않아도 되는 이점이 있어 최근에는 스마트폰을 사용하여 이동 로봇을 제어하는 연구가 증가하고 있는 추세이다[5-8]. 스마트폰에서 명령 버튼을 사용하여 이동 로봇의 속도와 방향을 제어하는 방법과 스마트폰의 중력 센서를 사용하여 이동 로봇의 핸들 역할을 하는 방법이 있다[9-11]. 이러한 연구들은 스마트폰에 내장되어 있는 센서와 통신 모듈 등의 디바이스를 사용하여 이동 로봇을 제어하는 장점이 있다. 본 논문은 이러한 장점을 통해 스마트폰이 이동 로봇을 제어하는 제어 시스템을 다룬다.

본 논문에서 제안한 제어 시스템은 이동 로봇의 자세와 스마트폰의 자세간의 동기화를 목적으로 한다. 스마트폰은 이동 로봇에게 자세를 명령하고 이동 로봇은 명령에 따라 자세를 동기화 하게 된다.

기존에는 스마트폰의 yaw(heading) 데이터를 측정하여 기준 값을 넘는 경우에 로봇에게 단지 오른쪽 또는 왼쪽이라는 자세 명령을 전달하는 방식이 있었다[12]. 이때, 이동 로봇은 자세 명령에 따른 동작을 수행하지만, yaw 데이터의 변화량과 관계없

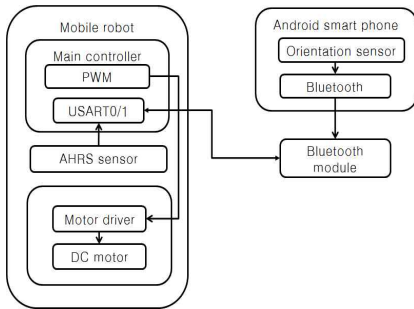


그림 1. 제어 시스템 구성 다이어그램
Fig. 1 Diagram of the control system

이 일정한 속도로 동작한다. 또한 스마트폰과 이동 로봇이 양방향으로 통신하지 않고 스마트폰이 이동 로봇에게 단방향으로 명령을 전달한다. 이로 인해 스마트폰이 이동 로봇의 자세를 피드백 받지 못해 이동 로봇의 정밀한 제어가 불가능하다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 이동 로봇에 AHRS 센서를 부착하여 이동 로봇의 자세를 피드백 받는다. 이동 로봇은 방향 제어를 사용해 스마트폰의 자세와 이동 로봇 자세의 yaw 데이터 차이에 따라 이동 로봇의 동작 속도를 제어하여 보다 정밀하게 자세를 동기화한다.

논문의 구성은 2장에서 제어 시스템의 구성을 기술한다. 3장에서는 스마트폰과 이동 로봇의 동기화 실험에 대하여 기술하며, 4장에서 결론으로 논문을 맺는다.

II. 제어 시스템 개발

1. 시스템 구성

제안된 시스템은 그림 1과 같이 이동 로봇을 제어하는 안드로이드 스마트폰과 이동 로봇으로 구성된다.

이동 로봇은 스마트폰의 자세 데이터를 bluetooth 모듈을 통해 수신한 후, 수신한 스마트폰의 자세와 자신의 자세를 비교한다. 이동 로봇의 자세는 AHRS 센서를 사용하여 roll, pitch, yaw의 값으로 알 수 있다.

이동 로봇의 방향 제어의 결과는 PWM (pulse width modulation) 신호로 변환되어 모터 드라이버에 입력된다.

2. 안드로이드 스마트폰 어플리케이션 개발

안드로이드 스마트폰 어플리케이션은 이동 로봇

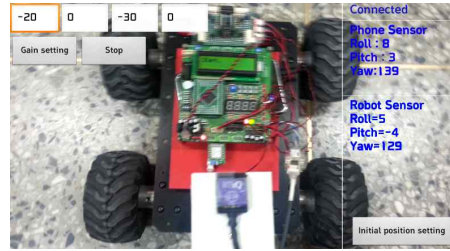


그림 2. 어플리케이션의 화면
Fig. 2 Screen of application

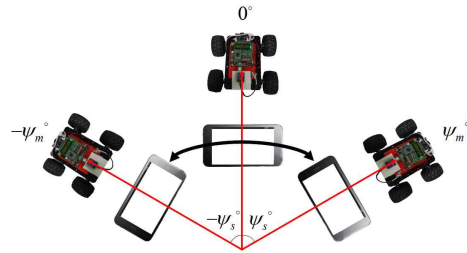


그림 3. 스마트폰의 yaw 데이터 변화에 따른 이동 로봇의 동작

Fig. 3 The mobile robot's movement by changing smartphone's yaw data

의 컨트롤러 역할을 한다. 그림 2는 스마트폰의 어플리케이션 화면이다.

사용자는 어플리케이션 화면의 왼쪽 상단에서 제어기의 이득 값을 조정 할 수 있다. 사용자는 'Gain setting' 버튼을 사용하여 입력된 이동 로봇의 제어기 이득 값을 실시간으로 조정할 수 있다. 'Stop' 버튼은 제어기의 이득 값을 0으로 설정하여 이동 로봇을 정지시킨다.

스마트폰의 오른쪽 상단에는 사용자의 편의성을 위해 여러 가지 정보를 출력한다. 'Connected'는 이동 로봇과 스마트폰의 bluetooth 통신 연결 상태를 나타낸다. 'Phone Sensor'는 스마트폰의 방향 센서 데이터인 roll, pitch, yaw를 출력한다. 'Robot Sensor'는 수신된 이동 로봇의 AHRS 센서 데이터를 출력한다. 오른쪽 하단의 'Initial position setting' 버튼은 스마트폰의 방향 센서를 이동 로봇의 AHRS 센서와 동일한 방향으로 초기화한다. AHRS 센서와 방향 센서는 자기장에 민감하여 실험 환경에 따라 센서 데이터가 상이할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 초기에 스마트폰의 방향 센서를 이동 로봇의 AHRS 센서와 동일하게 초기화시키는 'Initial position setting' 버튼이 필요하다.

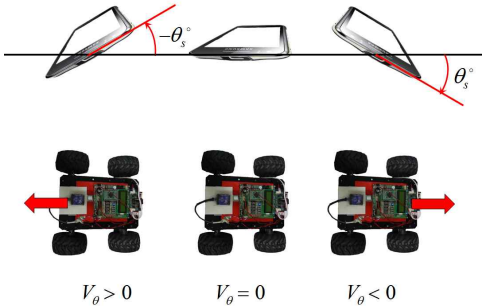


그림 4. 스마트폰의 pitch 데이터 변화에 따른 이동 로봇의 동작

Fig. 4 The mobile robot's movement by changing smartphone's pitch data

그림 3은 스마트폰의 yaw 데이터 변화에 따른 이동 로봇의 동작을 나타낸다. 이동 로봇은 스마트폰의 yaw 데이터와 동일한 yaw 데이터로 동기화하여 동작한다. 이동 로봇의 회전 방향과 회전 반경은 스마트폰의 yaw 데이터 ψ_s ° 값에 따라 제어된다.

그림 4는 스마트폰의 pitch 데이터 변화에 따른 이동 로봇의 동작을 나타낸다. 스마트폰의 pitch 데이터가 0° 일 때, 이동 로봇은 정지한다. 스마트폰을 앞으로 기울이면 기울인 각도에 비례하여 전진 속도가 달라진다. 스마트폰을 반대로 기울이면 후진 속도가 달라진다. V_θ 는 스마트폰의 pitch 값의 변화에 따른 속도 값으로 식 (1)과 같다. 이동 로봇의 속도 V_θ 는 스마트폰 pitch 데이터 θ_s °의 크기에 따라 식 (1)과 같이 제어된다.

$$\begin{aligned} V_\theta(k) &= K_{\theta_p} \theta_s(k) + K_{\theta_d} \dot{\theta}_s(k) \\ \dot{\theta}_s(k) &= (\theta_s(k) - \theta_s(k-1)) / T \end{aligned} \quad (1)$$

스마트폰은 사용자가 이동 로봇을 제어할 때 이동 로봇의 정보와 스마트폰의 정보를 표시하고, 스마트폰의 후면 카메라를 통해 비친 이동 로봇의 동작을 확인할 수 있다. 이는 유사 증강 현실로서 사용자의 시선 분산을 방지하는 효과가 있다[12].

3. 이동 로봇 개발

자동차와 배는 이동 로봇의 부류로 스마트폰에 의해 제어된다. 본 논문에서 개발한 스마트폰 어플리케이션은 자동차 또는 배와 같은 이동 로봇을 범용으로 제어할 수 있다. 이를 확인하기 위해 이동



그림 5. 배의 외형
Fig. 5 Appearance of boat

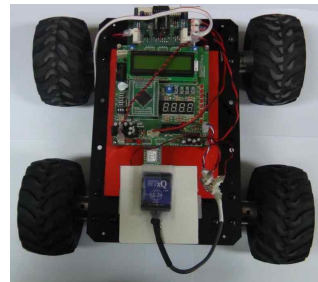


그림 6. 자동차의 외형
Fig. 6 Appearance of car

로봇의 부류인 자동차와 배를 개발하였다.

배는 수상에서 제어되는 이동 로봇으로 그림 5와 같다.

자동차는 지상에서 제어되는 이동 로봇으로 그림 6과 같다. 이동 로봇의 프로세서는 'Atmel'사의 ATmega128을 사용하였고, AHRS는 'Ruva tech'의 RTxQ를 사용하였다. RTxQ의 출력주기는 5Hz이고 통신 속도는 115200bps이다.

4. 방향 제어를 통한 자세의 동기화

일반적으로 PID 제어기의 D값은 시스템의 과도 응답 특성을 개선할 수 있으나 노이즈에 취약하게 되고, I 제어기는 정상 상태 오차를 개선할 수 있으나 응답 시간을 길게 만든다. 본 논문에서는 과도 응답 특성을 줄이기 위하여 노이즈 필터링을 거쳐 PD 제어를 사용하며, 그 결과, 정상 상태 오차가 약 1°로 미소하기 때문에 main controller의 연산 속도를 고려하여 I 값은 사용하지 않는다.

이동 로봇의 방향 제어기는 PD 제어기로 구성되어 스마트폰과 이동 로봇의 자세를 동기화 한다. 방향 제어기는 yaw 데이터 기반으로 이동 로봇의 방

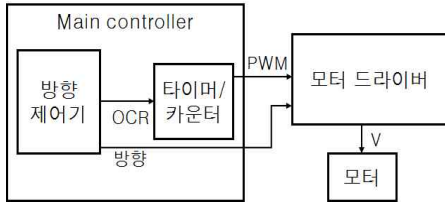


그림 7. 방향 제어기의 결과에 따른 모터 구동 과정

Fig. 7 Process of motor operation by result of the direction control

향을 제어한다. 스마트폰의 yaw 데이터를 방향 제어기의 목표 값으로 설정하고, 이동 로봇의 yaw 데이터를 측정값으로 설정한다. 방향 제어기의 결과 V_{ψ} 는 식 (2)과 같다.

$$V_{\psi}(k) = K_{\psi_p}(\psi_s(k) - \psi_m(k)) + K_{\psi_d}(\dot{\psi}_s(k) - \dot{\psi}_m(k)) \quad (2)$$

$$\dot{\psi}_s(k) = (\psi_s(k) - \psi_s(k-1))/T$$

$$\dot{\psi}_m(k) = (\psi_m(k) - \psi_m(k-1))/T$$

K_{ψ_p} 와 K_{ψ_d} 는 방향 제어기의 이득 값이다. ψ_s 와 ψ_m 는 각각 스마트폰과 이동 로봇의 현재 yaw 데이터이고, $\dot{\psi}_s$ 와 $\dot{\psi}_m$ 는 ψ_s 와 ψ_m 의 미분 값이다. 식 (3)와 식 (4)는 양 모터의 OCR (output compare register) 값이다.

$$V_{left} = V_{\theta} - V_{\psi} \quad (3)$$

$$V_{right} = V_{\theta} + V_{\psi} \quad (4)$$

V_{left} 는 왼쪽 모터의 OCR 값이고 V_{right} 는 오른쪽 모터의 OCR 값이다. V_{left} 와 V_{right} 는 OCR 값을 가짐으로서 양 모터의 PWM을 생성할 때 사용된다.

그림 7은 방향 제어기의 결과에 따른 모터 구동 과정을 나타낸다. 방향 제어기의 결과는 OCR 값을 기반으로 타이머/카운터에서 PWM 신호를 생성한다. 생성된 PWM 신호는 모터 드라이버에 인가되어 duty ratio에 따른 전압 V 로 출력된다.

III. 실험

1. 방향 제어기

그림 8은 방향 제어기의 결과 V_{ψ} 에 의해 구한 오른쪽 모터 V_{right} 와 왼쪽 모터 V_{left} 의 OCR을 나

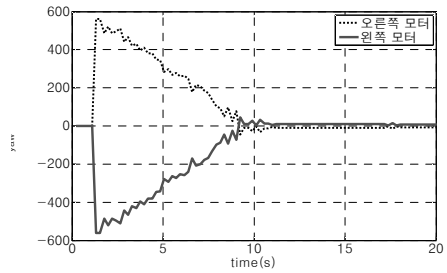


그림 8. 방향 제어기 결과

Fig. 8 Result of the direction control

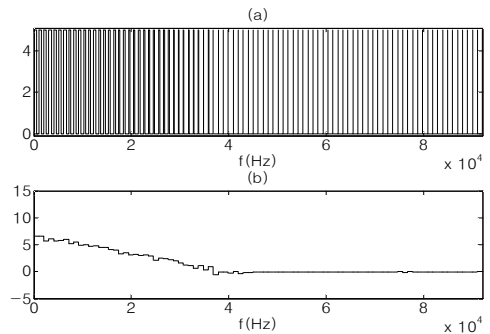


그림 9. PWM과 모터 입력 전압

Fig. 9 PWM and motor input voltage

표 1. 방향제어기의 이득 값

Table 1. Gain values of the direction control

	K_{ψ_p}	K_{ψ_d}	K_{θ_p}	K_{θ_d}
이득 값	-5	-2	-4	-1

타낸다. 그림 9(a)는 그림 8의 방향 제어기 결과에 따라 생성된 PWM 신호이다. 그림 9(b)는 모터에 인가되는 전압이다. 그림 9(a)의 PWM 펄스폭이 시간이 지남에 따라 점점 줄어들는다. 또한 그림 9(b)의 모터 입력 전압이 점점 감소한다. 이는 그림 8의 방향 제어기 결과가 점점 감소하기 때문이다. 따라서 이동 로봇이 스마트폰의 자세와 점점 동기화함을 알 수 있다. 본 실험에서 $T=0.2$ 초이고 이득 값은 표 1과 같다.

2. 이동 로봇의 자세 동기화 실험

구현한 스마트폰 어플리케이션을 사용하여 이동 로봇의 방향 제어기의 성능을 검증하기 위해 2가지 실험을 수행하였다. 스마트폰과 이동 로봇의 초기 자세가 상이할 경우 이동 로봇이 스마트폰의 자세

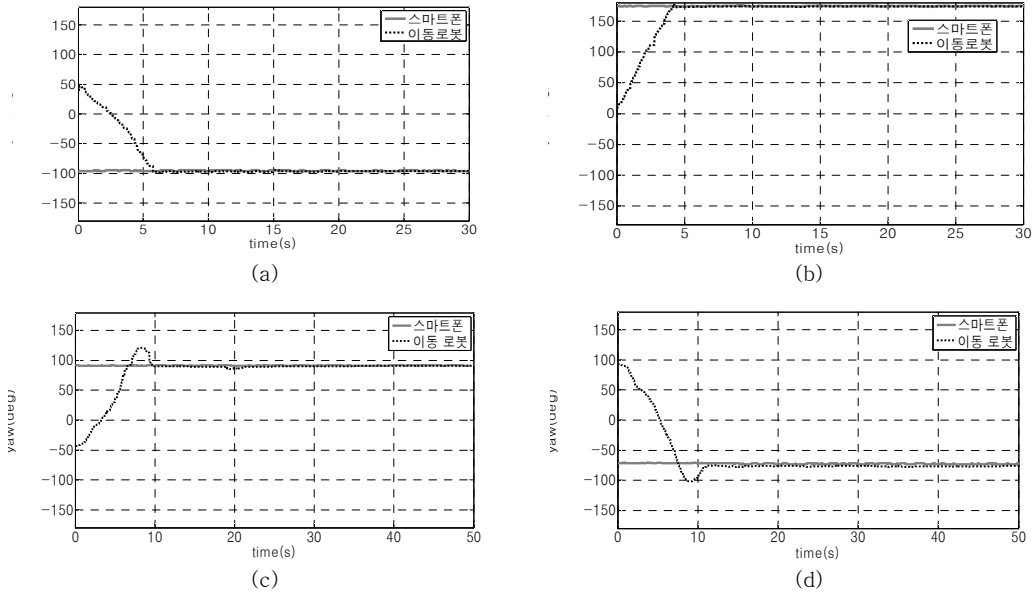


그림 10. 서로 다른 자세에서 스마트폰이 일정한 자세를 유지할 시, 스마트폰과 이동 로봇의 yaw 데이터
 Fig. 10 Yaw data of the mobile robot and smartphone for regulation with different initial attitude.

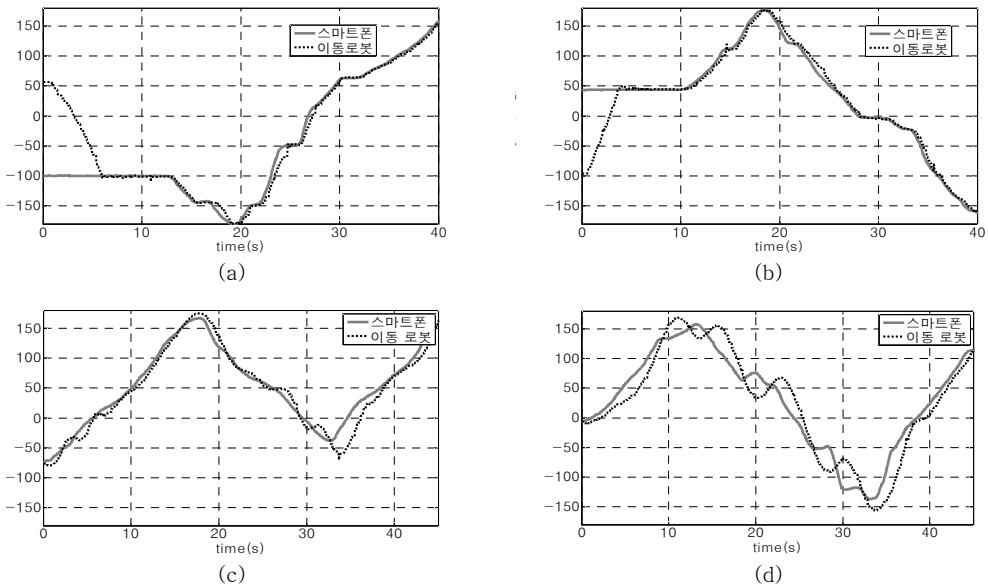


그림 11. 스마트폰이 다양한 자세로 동작할 시, 스마트폰과 이동 로봇의 yaw 데이터
 Fig. 11 Yaw data of the mobile robot and smartphone for tracking smartphone's attitude

를 정확하고 안정하게 동기화하는지 확인하였다. 또한 스마트폰이 다양한 자세로 동작할 경우 스마

트폰의 자세를 이동 로봇이 즉각적으로 동기화 하는지 확인하였다.

그림 10은 스마트폰과 이동 로봇의 초기 자세가 상이한 상태이고, 스마트폰이 일정한 자세를 유지할 경우의 실험 결과 그래프이다. 그림 10(a)와 그림 10(b)는 자동차의 실험 결과이고 그림 10(c)와 그림 10(d)는 배의 실험 결과이다. 배는 수상에서 동작하기 때문에 물살의 영향으로 오버슈트가 발생한다. 자동차는 배보다 빠르고 안정하게 자세를 동기화 한다. 이는 자동차가 배와 다르게 지상에서 동작하여, 수상에서 동작하는 배와 달리 방해 요소가 없기 때문이다. 실험 그래프에 따라 일정 시간이 지나면, 이동 로봇의 자세는 스마트폰의 초기 자세인 ψ_s 을 목적으로 ψ_m 가 1° 내로 유지됨을 알 수 있다.

그림 11은 스마트폰이 다양한 자세로 동작 하는 경우의 실험 결과 그래프이다. 그림 11(a)와 그림 11(b)는 자동차의 실험 결과이고 그림 11(c)와 그림 11(d)는 배의 실험 결과이다. 배는 물살의 영향 때문에 스마트폰의 다양한 자세를 즉각적으로 동기화 하지 못하지만, 스마트폰의 자세 변화에 따라 배의 자세 역시 비슷한 자세로 동기화 하려는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 안드로이드 스마트폰의 자세와 이동 로봇의 자세를 동기화하기 위한 제어 시스템을 제안하였다. 이동 로봇은 방향 제어를 통해 스마트폰의 yaw 데이터를 목표로 자신의 자세를 동기화 한다.

스마트폰이 일정한 자세를 유지하는 경우와 스마트폰이 다양한 자세로 동작하는 경우의 두 가지 실험을 통하여 스마트폰의 자세와 이동 로봇의 자세가 동기화됨을 확인하였다. 이동 로봇 중 배는 자동차와 달리 수상에서 동작하여 물살의 영향을 받아 오버슈트가 발생한다. 하지만 일정 시간이 지나면 이동 로봇의 yaw 데이터가 스마트폰의 yaw 데이터를 목표로 1° 내로 동작하는 것을 확인하였다.

본 연구에서 스마트폰은 이동 로봇의 AHRS 센서 데이터와 스마트폰의 방향 센서 데이터를 화면에 표시할 뿐만 아니라, 후면 카메라를 사용하여 조종하고 있는 이동 로봇의 자세를 화면에 표시한다.

추후에 이동 로봇에 카메라를 추가해 영상 데이터를 스마트폰으로 전송하여 이동 로봇의 시점으로

주변을 탐지할 수 있도록 할 예정이다.

References

- [1] I.S. Moon, W.K. Hong, J.T. Ryu, "Design of Ultrasonic Sensor Based Obstacle Recognition Mobile Robot," IEMEK J. Embed. Sys., Vol. 6, No. 5, pp. 327-333, 2011 (in Korean).
- [2] D.H. Kim, S.H. Jo, Y.M. Yang, "On the Design of an Efficient Mobile Robot Framework by Using Collaborative Sensor Fusion," IEMEK J. Embed. Sys., Vol. 6, No. 3, pp. 124-131, 2011 (in Korean).
- [3] H.J. Yeo, M.H. Sung, "Fuzzy Control for the Obstacle Avoidance of Remote Control Mobile Robot," The Institute of Electronics Engineers of Korea-SC, Vol. 48-SC, No. 1, pp. 47-54, 2011 (in Korean).
- [4] M.J. Kim, B.Y. Chang, M.G. Joo, "Development of Smart pH Reader Based on Android Smart Phone," IEMEK J. Embed. Sys., Vol. 8, No. 4, pp. 227-233, 2013 (in Korean).
- [5] S.B. Byun, Y.H. Lee, "Design of a Fast Switch for Efficient Data Transmission on Mobile Device," Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 1-9, 2013 (in Korean).
- [6] H.B. Song, J.S. Cho, I.K. Hwang, "The Implementation of Electric Heating System Controlled by Smartphone," Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 10, No. 11, pp. 1-8, 2012 (in Korean).
- [7] H.M. Jung, D.H. Kim, "Development of a Racing Game for Mobile Robots using Multiple Smartphones," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 19, No. 10, pp. 861-866, 2013 (in Korean).
- [8] S.G. Kang, S.S. So, B.H. Kim, S.B. Eun, "A Unified App Architecture for Plug & Play of Smart Phone USB Sensor's," IEMEK J. Embed. Sys., Vol. 8, No. 1, pp. 1-9, 2013 (in Korean).
- [9] J. Cai, J. Wu, M. Wu, M. Huo, "A bluetooth toy car control realization by android

equipment,” Proceedings of IEEE International Conference on TMEE, pp. 2429-2432, 2011.

- [10] S. Yoo, M. So, H. Kim, “RC Car control using smartphone application,” Proceedings of Summer Conference on Korean Institute of Information Technology, pp. 450-453, 2012 (In Korean).
- [11] S.S. Kwak, Y.H. Seo, T.K. Yang, “Remote Control of Mobile Robot base on Smart Phone Environment and its Application,” Proceedings of ICROS, pp. 431-435, 2010 (in Korean).
- [12] M.J. Kim, S.B. Bae, D.H. Shin, W.K. Baek, M.G. Joo, “Control of mobile robot based on Android smart phone,” Proceedings of IEMEK Fall Conference, pp. 17-19, 2014 (in Korean).

저 자 소 개

김민지



2014년 부경대학교 정보통신공학과 공학사.
 현재 동 대학원 석사과정.
 관심분야: 임베디드 소프트웨어 및 지능 제어

Email: kaymayjay@pknu.ac.kr

배설봉



2013년 부경대학교 전자정보통신공학과 공학사.
 현재 동 대학원 석사과정.
 관심분야: 지능 제어 및 임베디드 시스템

Email: bsb362@pknu.ac.kr

신동협



2012년 부경대학교 전자정보통신공학과 공학사.
 2014년 동 대학원 석사.
 현재 SL Corporation 사시사업부 사시전자팀 연구원.

관심분야: 지능제어 및 임베디드 시스템

Email: squallkor@pknu.ac.kr

주문갑



1992년 포항공대 전자전기공학과 공학사.
 1994년 포항공대 정보통신공학과 석사.
 2001년 포항공대 전자컴퓨터공학부 박사.

현재 부경대학교 정보통신공학과 부교수.

관심분야: 지능 제어 및 공장자동화

Email: gabi@pknu.ac.kr