

논문 2014-09-19

공연무대를 이용한 엔터테인먼트 로봇의 위치추정 방법

(Position Estimation Method of Entertainment Robot in Performance Stage)

강 철 응, 고 석 준*

(Chul U. Kang, Seok J. Ko)

Abstract : In this paper, we propose a position estimation method of an entertainment robot in a performance stage. A position information is needed to produce contents of an entertainment robot performance. First, the performance stage is realized by a CD (cadmium sulfide) sensor matrix with a constant distance. Then the proposed position estimation uses ON/OFF information of a CD sensor in a performance stage. We confirmed that the position of the robot is detected with an maximum 4cm in position evaluation experiments. The robot was traveling to the final target position in the walking experiment with 75cm and 120cm path plan. Ultimately, the effectiveness of the proposed estimation is assessed by experimental results of a robot in performance stage. Also, in the proposed system installed by a robot performance contents, there is no necessity to mount a position estimation device on a robot; therefore an advantage of our system is that an entertainment robot commercialized by robot vendor can be utilized in our performance stage directly.

Keywords : Performance stage, Entertainment robot, Position estimation, Robot performance contents, Sensor space

1. 서론

보행이 가능한 다관절 엔터테인먼트 로봇이 다양한 벤더로부터 개발되어 상용화되면서부터 로봇 공연 창작물에 대한 관심이 집중되고 있고 발표되고 있다. 멀티 로봇을 이용한 댄스 퍼포먼스를 실현하는 로봇 공연 콘텐츠는 청소년들의 과학적인 호기심을 자극한다는 면에서 언론매체를 통하여 집중적으로 조명되기도 하고 있다. 그러나 이와 같은 로봇 공연은 고정된 위치에서 인간의 모션을 모방하는 수준이다. 로봇 공연이 창작물로서의 가치를 높이기 위해서는 로봇의 위치인식 혹은 위치추정 기능을 실현하여 모션뿐만 아니라 이동 및 보행 등의

공연요소를 적극적으로 로봇 공연 콘텐츠에 활용할 필요가 있다.

로봇의 위치인식 및 위치추정은 공연환경으로부터 위치정보를 습득하여 인식할 수 있어야 한다[1]. 위치정보의 수집에 엔코더, 자이로센, 적외선센서, 비전센서, GPS[2-4] 등이 적극적으로 활용되고 있다. 최근에는 센서네트워크 개념이 도입된 '지능공간' 혹은 '스마트 공간'을 구현하는 RFID 태그를 이용한 위치정보 수집 방법이 개발되고 있다[5-7]. 또한, 많은 건물과 공공시설에 WLAN 인프라가 되어있는 점을 활용하여 실내의 위치측위에 WLAN를 이용하는 방법에 대해서도 활발히 연구되고 있다[8, 9]. 이러한 센서정보를 이용하여 위치인식 혹은 위치추정 기능을 엔터테인먼트 로봇에서 실현하고자 할 때, 엔터테인먼트 로봇이 가진 공간적인 제약 때문에 활용이 사실상 불가능하다. 본 연구실에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 엔터테인먼트 로봇 공연 콘텐츠 제작에 필요한 위치정보를 추출하기 위한 CDS를 활용한 공연무대를 개발하여 보고하였다[10, 11]. 공연무대에는 일정한 간격을

*Corresponding Author (sjko@jeju.ac.kr)

Received: 20 Jan. 2014, Revised: 6 Feb. 2014, Accepted: 6 Feb. 2014.

C.U. Kang, S.J. Ko: Jeju National University

* 본 논문은 2013학년도 제주대학교 학술진흥연구 구비 지원사업에서 지원하여 연구하였음.

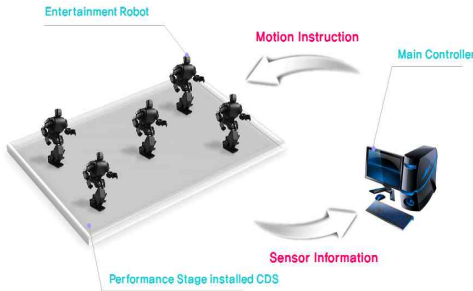


그림 1. 공연무대 및 시스템 구성
Fig 1 Performance Stage and System Configuration

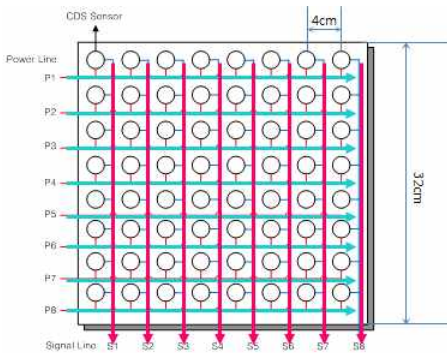


그림 2. 무대모듈 구성
Fig. 2 Construction of Stage Module installed CDS

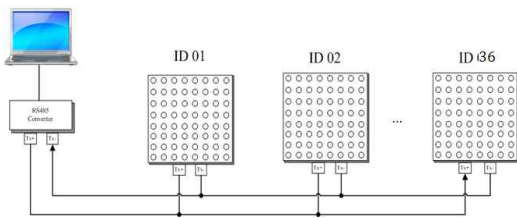


그림 3. 공연무대 구성
Fig. 3 Construction of Performance Stage with RS 485

유지한 위치에 CDS를 배치하여 광 환경 정보를 실시간으로 수집할 수 있도록 설계되어 있다. 센서에서 수집되는 공연무대 표면에 대한 광 환경정보는 본 연구실에서 개발한 환경적응형 필터 알고리즘을 이용하여 2진 정보로 가공된다. 본 논문에서는 $1.92 \times 1.92m^2$ 공연무대로부터 수집한 2진 정보를

이용하여 산출되는 위치정보를 바탕으로 보행 중인 로봇의 위치를 평가하는 방법을 개발하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II 장에서는 공연무대의 구성과 시스템의 구성을 소개하며, 제 III장에서는 위치추정 기술에 대한 방법을 제시하였다. 제 IV장 로봇 공연 콘텐츠 제작에 활용할 엔터테인먼트 로봇을 이용한 보행 실험결과로부터 본 논문에서 제시한 위치추정 평가방법이 유효성을 확인하였다. 마지막으로 제 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 공연무대 및 시스템 구성

1. 시스템 구성

로봇 공연 콘텐츠를 창작하기 위한 시스템은 그림 1과 같이 공연무대, 컨트롤러, 로봇으로 구성되어 있다. 공연무대에 배치된 센서정보는 ON/OFF 2진 정보로 가공되어 메인 컨트롤러 전송된다. 메인 컨트롤러에서는 센서정보를 이용하여 각각의 로봇에 대한 위치정보를 산출하고 계획된 로봇의 보행 경로와 비교하여 이동과 모션에 대한 명령만을 로봇에 전송한다. 로봇은 사전에 설계된 모션동작을 수행하며 이동한다. 공연무대와 메인 컨트롤러와의 데이터 전송은 1대 다 통신이 가능한 RS 485 통신을 이용하였고, 메인 컨트롤러와 로봇과의 데이터 전송은 블루투스 통신 ver. 1.1.7을 이용하였다.

이와 같은 시스템 구성은 로봇의 위치추정 기능 실현을 위한 그 어떠한 장치도 로봇에 탑재하지 않아도 된다. 따라서 탑재능력이나 공간에 대한 제약을 가지고 있는 로봇부터더 상용화된 로봇을 구조의 변경 없이 직접 공연 콘텐츠 제작에 활용할 수 있다.

2. 공연무대

로봇의 위치정보를 수집하기 공연무대는 무대모듈을 조합하여 $1.92 \times 1.92m^2$ 로 구성하였다. 무대모듈은 그림 2와 같이 가로세로 4cm 간격을 유지한 위치에 무대모듈의 광 환경정보를 수집하는 CDS를 배치하여 $0.32 \times 0.32m^2$ 크기로 가지도록 설계하였다. 1개의 무대모듈에는 8×8 개의 CDS가 배치된다. 무대모듈 당 64개의 CDS로부터 수집되는 광 환경정보는 참고문헌 [10, 11]에서 보고한 신호 전처리 방법을 통하여 ON/OFF 2진 정보로 가공된다. 즉 각각의 CDS는 광 환경에 노출될 경우 ON, 광 환경에 차단된 경우 OFF로 가공된다. 따라서 1개 무대모듈 총 64개의 CDS에 대한 정보는 8byte 크기를

- Main Controller(Request)

Address	Function	END
1byte	1byte	1byte

- Stage Module(Response)

Address	Function	END
1byte	1byte 8byte string	1byte

그림 4. 공연무대와 메인 컨트롤러와의 통신 프로토콜

Fig. 4 Communication Protocol between Main Controller and Performance Stage

갖는 정보로 가공된다. 1.92×1.92m² 크기의 공연무대는 그림 3과 같이 총 36개의 무대모듈이 RS 485 통신 프로토콜을 이용하여 메인 컨트롤러와 데이터 송수신한다.

그림 4는 다수의 무대모듈과 메인 컨트롤러와의 데이터 송수신 프로토콜이다. 메인 컨트롤러의 송신 요구가 있을 경우 해당 ID를 가진 무대모듈은 8byte로 가공된 CDS 상태정보를 메인 컨트롤러로 전송한다. 메인 컨트롤러의 송신요구 구조는 무대모듈의 ID를 포함하여 3byte로 설계하였다. 메인 컨트롤러의 송신요구 함수는 연결상태를 점검하는 함수(0x00), 2진 CDS 상태정보를 요구하는 함수(0x01), CDS A/D 변환정보를 요구하는 함수를 가지고 있다. 무대모듈은 메인 컨트롤러의 송신요구 함수에 따라 통신상태정보(1byte), CDS 2진 정보(8byte), CDS A/D변환정보(string)를 메인 컨트롤러로 송신한다.

III. 위치추정

위치추정은 센서의 상태정보를 바탕으로 센서정보 맵핑 및 위치산출, 이동경로 계획 단계를 걸쳐 이동할 방향을 결정하는 알고리즘으로 구성되어 있다.

1. 센서정보 맵핑 및 위치산출

무대모듈로부터 수집한 CDS의 2진 상태정보는 그림 5(a)와 같이 메인 컨트롤러의 공연무대 맵에 맵핑된다. 로봇의 발바닥에 의해 CDS가 완전히 가려진 경우 O(OFF)으로, 그 이외의 경우는 1(ON)로 맵에 맵핑된다. 공연무대의 맵 정보에서 라벨링 알고리즘을 이용하여 그림 5(a)와 같이 공연무대 맵의 셀 위치정보를 그룹화한다. 최초 1회에 한해서만 공

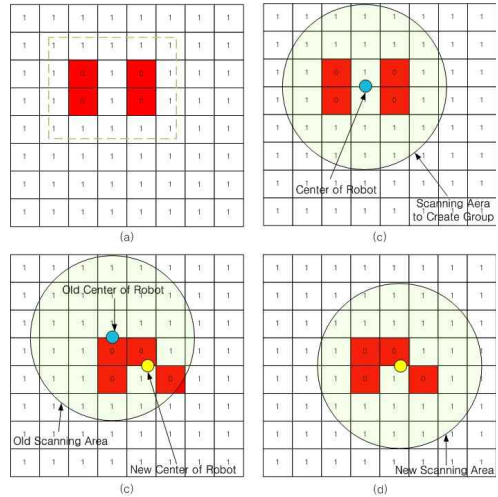


그림 5. 센서 정보의 맵핑 및 도심 산출

Fig. 5 Mapping of Sensor Information and Center Outcome of Robot

연무대의 맵 전체 셀 영역(48×48)을 스캔한다. 그룹에 포함된 셀의 위치정보를 이용하여 그림 5(b)의 도심(x_g, y_g)은

$$x_g = \sum_{i=0}^n \frac{x_{gi}}{n}, y_g = \sum_{i=0}^n \frac{y_{gi}}{n} = 0 \quad (1)$$

이다. 여기서 g 는 그룹 인덱스, i 는 그룹에 포함된 데이터 인덱스이다. 최초 도심이 결정되면 그룹의 이동을 추정하기 위하여 그림 5(b)와 같이 도심을 중심으로 반경 12cm 셀 영역을 스캔하여 그림 5(c)와 같이 공연무대의 셀 위치정보를 새롭게 그룹화한다. 그림 5(d)는 새롭게 결정된 로봇의 도심을 보여주고 있다. 본 연구에서 이용한 로봇을 리모콘을 이용하여 수동으로 보행시켰을 때 평균속도는 34cm/s 이내로 측정되었다. 1.92×1.92m² 공연무대 전체의 CDS(48×48) 2진 정보(288byte)를 수집하는데 필요한 샘플링 시간은 평균 56ms 이내, 그룹화, 도심 산출, 경로결정에 필요한 시간은 2ms 이내, 로봇으로 명령전달을 전달하는데 필요한 1ms 이내로, 로봇의 위치추정을 위해 필요한 1 샘플링 시간은 최대 59ms이다. 따라서 1 샘플링 시간동안 로봇은 도심을 중심으로 2.01cm 이내의 위치에 존재하게 됨으로 그룹화를 위해 스캔하는 공연무대의 셀 영역을 도심을 중심으로 반경 12cm로 결정하여도 그룹화에 실패하는 경우가 발생하지 않았다.

본 논문에서 제시한 로봇의 도심산출 방법에 대한 유효성을 검증하기 위하여 공연무대 위에 로봇

표 1. 실측 위치 및 산출 위치(단위 : cm)
Table 1. Real Position and Outcome Position

Real Position		Outcome Position		Position Error	
x	y	x	y	x	y
18	28	16	32	2	-4
29.5	100.5	28	100	1.5	0.5
23.5	168.5	24	168	-0.5	0.5
87.5	28	88	28	-0.5	0
86	94.5	88	92	-2	2.5
92	165	92	164	0	1
151	35.5	148	36	3	-0.5
143	104	140	104	3	0
161	168	160	168	1	0
53	61.5	56	60	-3	0.5
59.5	1339	60	136	-0.5	3
131.5	55.5	132	60	-0.5	-0.5

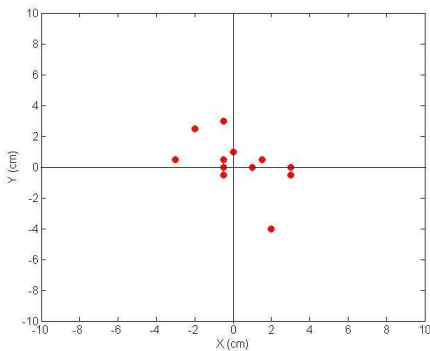


그림 6. 실측 위치와 산출 위치와의 위치예러
Fig. 6 Position Error of Real Position and Outcome Position

을 배치한 후 실측한 위치정보와 위에서 제시한 방법에 의해 산출한 위치정보를 비교하여 그 결과를 표 1과 그림 6에 나타내었다. 아래의 결과들은 공연무대를 대표하는 위치로 모서리 4곳, 각 변의 중심 4곳, 중심으로부터 랜덤하게 선정 4곳에서 측정이 이루어졌다.

표 1과 그림 6에 나타난 것처럼 실측결과와 산출결과의 거리오차가 최대 4cm 이내로 산출되는 것으로 보아 본 논문에서 제시 위치산출 방법이 유효성을 확인할 수 있었다.

2. 이동경로 계획

이동경로 계획에서는 목표위치와 현재위치와의 비교하여 로봇이 목표위치까지 보행할 수 있도록

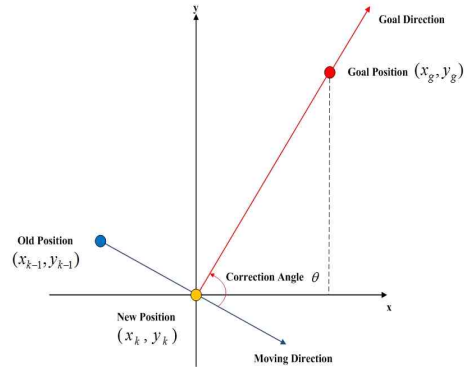


그림 7. 공연무대 좌표계에서 로봇의 보행방향과 목표방향

Fig. 7 Moving Direction and Goal Direction on Coordinate System of Performance Stage

보행방향을 결정한다. 그림 7은 로봇의 보행방향을 결정하는 방법과, 목표방향을 결정하는 방법을 보여주고 있다. 현재위치가 (x_k, y_k) 이고, 직전위치가 (x_{k-1}, y_{k-1}) 일 때, 로봇의 보행 방향은

$$\frac{(x - x_k)}{(y - y_k)} - \frac{(x_k - x_{k-1})}{(y_k - y_{k-1})} = 0 \tag{2}$$

이다. 또한 현재위치가 (x_k, y_k) 이고 목표위치가 (x_g, y_g) 일 때, 로봇의 목표방향은

$$\frac{(x - x_g)}{(y - y_g)} - \frac{(x_g - x_k)}{(y_g - y_k)} = 0 \tag{3}$$

이다. 보행방향과 목표방향에 의해 결정되는 보정방향은 식 (2), (3)으로부터

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\left(\frac{(y_k - y_{k-1})}{(x_k - x_{k-1})} - \frac{(y_g - y_k)}{(x_g - x_k)} \right)}{\left(1 - \frac{(y_k - y_{k-1})}{(x_k - x_{k-1})} \frac{(y_g - y_k)}{(x_g - x_k)} \right)} \right) \tag{4}$$

로 결정된다.

본 논문에서 제시한 로봇의 보정방향 결정방법에 대한 유효성을 검증하기 위하여 그림 8 (a), (b)와 같이 각각 75cm, 120cm 주행길이를 갖는 보행경로를 계획하고 보행 중인 로봇의 위치를 추적하여 그 결과를 나타내었다. 로봇이 계획된 경로를 이탈하는 경우, 로봇은 목표방향으로 보행방향을 보정하면서 최종목표까지 계획된 보행임무를 완수하는 것을 확인할 수 있었다.

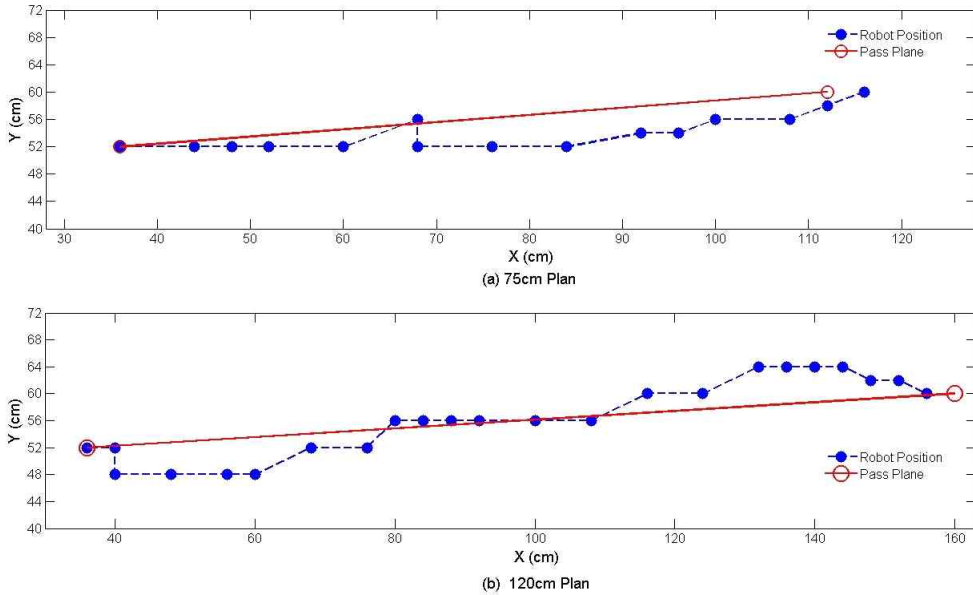


그림 8. 경로계획 및 위치추적

Fig. 8 Pass Plan and Robot Position while Walking

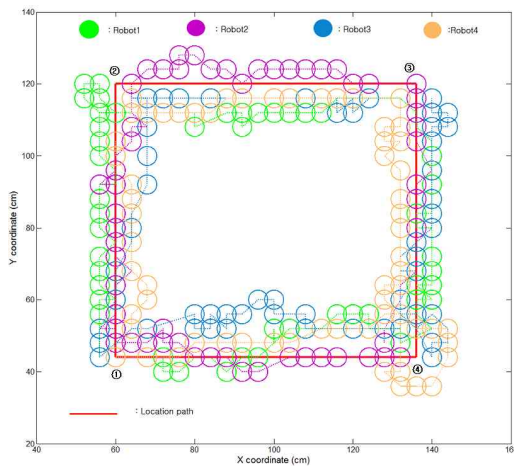


그림 9. 멀티 로봇 환경에서의 경로계획과 위치 추적
Fig. 9 Pass Plan and Robot position on Performance Stage with Multi Robot

IV. 멀티 로봇 보행실험

엔터테인먼트 로봇을 활용한 로봇 공연 콘텐츠는 대부분 다수대의 로봇이 동일한 공연환경에서 각각 주어진 모션을 수행하는 임무를 가지고 있다. 멀티 로봇환경에서도 본 논문에서 제시한 위치추정

알고리즘의 유효성을 평가하기 위하여 그림 9와 같이 경로를 계획하여 보행실험 중 각각의 로봇의 위치를 추적하여 나타내었다. 로봇 1은 1→2→3→4→1, 로봇 2는 2→3→4→1→2, 로봇 3은 3→4→1→2→3, 로봇 4는 4→1→2→3→4의 경로를 따라 보행하도록 경로계획을 수립하였다. 멀티 로봇환경에서도 계획된 경로를 이탈한 경우, 목표방향으로 보행방향을 보정하면서 최종목표까지 계획된 보행 임무를 완수하는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 위치정보 수집에 필요한 센서를 공연무대에 배치하는 방식을 채택하여 로봇에 탑재하는 장치요소를 제거함으로써 로봇벤더가 상용한 엔터테인먼트 보행로봇을 직접 활용하여 위치추정 기능을 실현할 수 있었다. 또한 공연무대에서의 위치산출 및 이동경로 계획 알고리즘을 개발하였고, 보행실험을 통하여 멀티 로봇환경에서 위치추정이 가능한 것을 확인하였다. 추후 멀티 로봇을 이용한 로봇공연 콘텐츠 제작에 본 논문에서 제안한 위치추정 기술을 적용하여 모션 모방수준의 로봇 공연 콘텐츠를 고도화할 계획이다.

본 논문에서 위치추정에 대한 평가를 최종위치

에 도달하였는가 여부만을 평가하였는데, 멀티 로봇 공연 콘텐츠 개발에서 로봇간의 위치 동기화를 위한 시분할 경로계획 알고리즘 개발이 필요하다.

References

- [1] K. Pahlavan, X. Li, J. Makela, "Indoor geolocation science and technology," IEEE Communications Magazine, pp.112-118, 2002.
- [2] K. Komoriya, E. Oyama, "Position estimation of a mobile robot using optical fiber gyroscope," Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp.143-149, 1994.
- [3] S. Lee, J.B. Song, "Robust mobile robot localization using optical flow sensors and encoders," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, No. 26, pp.1039-1044, 2004.
- [4] Y.S. Ro, K.S. Park, "A study of Optimal Position Estimation for Mobile Robots," Journal of Engineering Research, Vol. 26, No. 1, pp.243-257, 1995 (in Korean).
- [5] J.H. Lee, M. Hashimoto, "Controlling Mobile Robots in Distributed Intelligent Sensor Network," IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 5, pp.890-902, 2003.
- [6] K. Morioka, J.H. Lee, H. Hashimoto, "Human-Following Mobile Robot in a Distributed intelligent Sensor Network," IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 51, No. 1, pp.229-237, 2003.
- [7] K. Kodaka, H. Niwa, Y. Sakamoto, M. Otake, Y. Kanemori, S. Sugano, "Pose Estimation of a Mobile Robot on a Lattice of RFID Tags," Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1385-1390, 2008.
- [8] S.H. Fan, T.N. Lin, "Accurate WLAN indoor localization based on RSS, Fluctuations Modeling," Proceedings of IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, pp.27-30, 2009.
- [9] J.W. Song, S.J. Hur, Y.W. Park, K.Y. Yoo, "Database Investigation Algorithm for High-Accuracy Based Indoor Positioning," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 7, No. 2, pp.85-94, 2012 (in Korean).
- [10] S.S. Lim, S.J. Ko, J.H. Lim, C.U. Kang, "Sensor Data Filtering Algorithm for Efficient Local Positioning System," Software engineering research management and applications, Vol. 430, pp.185-194, 2012.
- [11] S.J. Ko, S.S. Lim, C.U. Kang, "Experiments on the Sensor Space Based Location Estimation System under KS Specified Illumination Intensity Environment," Proceedings of International Conferences on ASEA and DRBC, Vol. 340, pp.225-232, 2012.

저 자 소 개

강철웅



1996년, 일본 나가사키 대학 석사.

1999년, 일본 나가사키 대학 공학박사.

1999년, 일본 나가사키 대학 문부교관.

현재, 제주대학교 메카트로닉스공학전공 교수.
관심분야: 임베디드 하드웨어, 메카트로닉스, 전기전자공학, 의공학.

Email: cukang@jejunu.ac.kr

고석준



1996년, 성균관대 전자과 학사.

1998년, 성균관대 전자과 석사.

2001년, 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 공학박사.

현재, 제주대학교 부교수.
관심분야: 임베디드 소프트웨어, 디지털 신호처리, 무선통신, 레이더.

Email: sjko@jejunu.ac.kr