

논문 2008-45SC-6-2

자율주행 성능분석을 위한 가상환경 및 센서 모델링 기법 연구

(Research of Virtual Environment and Sensor Modeling
for Performance Assessment of Autonomous Navigation System)

안명길*, 이석재*, 박용운*, 고정호*

(Myung Kil Ahn, Seok Jae Lee, Yong Woon Park, and Jung Ho Ko)

요약

무인차량의 자율주행성능을 예측하고 분석하기 위해서는 실 환경에서 다양한 주행시험을 수행하여야 한다. 하지만, 무인체계의 특성상 시험안전성과 재현성, 다양한 시험환경의 인위적 제공의 어려움 등 많은 제약이 있다. 따라서, 본 논문에서는 실 차량에 적용전에 자율주행성능을 분석하기 위한 가상시험환경을 구축하고 감지센서신호를 모의하는 기법을 제안하였다. 또한, 제안된 기법의 타당성을 보이기 위해 새롭게 개발된 자율주행 알고리즘에 대한 가상환경 및 센서 모델을 이용한 시뮬레이션을 수행한 결과 그 타당성을 입증하였다.

Abstract

This paper describes virtual environment and sensor modeling to analyze and verify the performance of autonomous navigation system. Virtual synthetic environment is constructed with 6 subgroups which cover from virtual environment construction to virtual sensor modeling of real systems. This research is applied to validate and assess performance of concerned algorithms and complex functions for autonomous navigation system based on virtual environment.

Keywords : Autonomous Navigation System, Modeling & Simulation, Unmanned Ground Vehicle

I. 서 론

무인차율주행 시스템 및 단위 기술은 인식계층, 판단계층 및 작동계층으로 구분되며, 각각의 계층은 운용 목적 및 기능에 따라 다양한 컴포넌트로 구체화된다. 인식계층은 전장 환경을 감지 및 인식할 수 있는 감지 센서 및 인식/처리 분야로서 다른 계층의 판단 및 동작을 가능하도록 하는 정보를 제공한다. 지형과 장애물에 대한 정보를 분석하여 로봇이 주행하는데 필요한 데이터를 제공하고, 자율주행을 위한 다양한 맵 제작, 실시간 형상지도 구현 및 실시간 매칭 등을 위한 신호처리 및 인식 융합/분류 기술 등이 광범위하게 연구되고 있다. 판단계층은 인식계층에서 산출된 다양한 정보를 활용하여 자율주행을 위한 주요 판단을 담당하는 계층으

로서, 비실시간, 준실시간, 실시간으로 구분된 계층적 경로계획을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 작동계층은 상위계층에서의 주행 및 조향 명령을 전달받아 무인차량의 통합적인 제어를 담당하는 계층이다.

각 계층은 그림 1과 같이 개념적으로 지형감지 및 인지, 정보 융합, 경로계획, 통합주행제어로 구분될 수 있

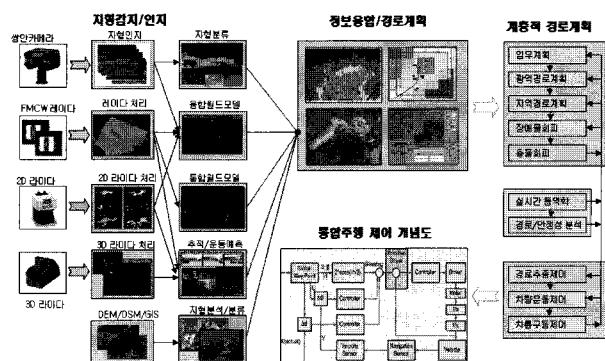


그림 1. 무인차율주행 개념도

Fig. 1. Concept of autonomous navigation.

* 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

접수일자: 2008년10월20일, 수정완료일: 2008년10월22일

다. 다양한 센서들을 통해 획득된 정보를 기반으로 지형감지 및 인지를 수행하고, 정보들을 융합하여 월드모델링을 비롯한 경로계획에 필요한 다양한 맵을 산출한다. 이를 기반으로 경로계획 자율 알고리즘들을 통한 계층적 경로계획을 수행하고, 통합 주행 제어를 통해 무인차량주행을 실행한다.

무인차량의 자율주행성능을 예측하고 분석하기 위해서는 실 환경에서 다양한 주행시험을 수행하여야 한다. 하지만 무인체계의 특성상 시험안전성과 재현성, 다양한 시험환경의 인위적 제공의 어려움 등 많은 제약이 있다. 따라서, 본 논문에서는 실 차량에 적용전에 자율주행 성능을 분석하기 위한 가상시험환경을 구축하고 감지센서 신호를 모의하는 기법을 제안하였다. 또한, 제안된 기법의 타당성을 보이기 위해 새롭게 개발된 자율주행 알고리즘에 대한 가상환경 및 센서 모델을 이용한 시뮬레이션을 수행한 결과 그 타당성을 입증하였다.

II. 자율주행 성능분석을 위한 가상환경구축

자율주행 성능분석을 위한 가상환경은 개방형 아키텍처를 활용한 분산 네트워크 기반의 가상 모델링 환경 및 실시간 시뮬레이션 환경으로 구축되었으며, 그림 2와 같이 6개의 서브 그룹으로 구성된다.

가상 환경 생성 그룹에서는 무인차량이 가상의 임무를 수행할 수 있도록 운용 시나리오 및 임무를 생성하고, 이를 기반으로 가상의 지형 공간 및 고정/이동 장애물, 지형/환경 속성을 난이도별 동적 구성이 가능하도록 하며, 무인차량의 동특성을 기반으로 한 동역학 모델을 통해 실 동특성을 제공한다.

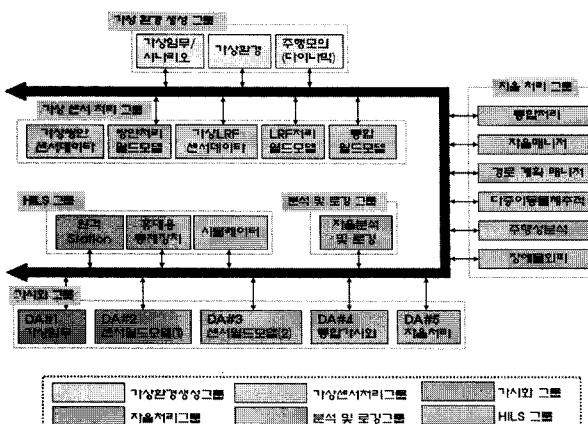


그림 2. 자율주행 성능분석을 위한 가상환경 구성도
Fig. 2. Virtual environment for performance validation of autonomous navigation system.

가상 센서 처리 그룹은 무인차량에 실제 탑재되는 LRF(Laser Range Finder)와 CCD(Charge Coupled Device) 쌍안 카메라의 센서 동작을 모의하고 단위 World Modeling 및 3차원 통합 World Modeling을 구축한다. 자율 처리 그룹에서는 각 자율 알고리즘에 대한 인터페이스를 정의하고 상호 연동 체계를 구축하여 알고리즘 분석 및 성능 검증을 수행한다.

분석 및 로깅그룹에서는 가상환경상의 전송메시지 및 주요 데이터에 대한 저장 및 조회가 가능하도록 한다. 가시화 모듈을 통해 가상 운용 환경을 실시간 3D 그래픽으로 실제감 있게 재생하며, HILS(Hardware In the Loop System)모듈을 통해 원격 스테이션, 휴대용 통제장치, 시뮬레이터 등의 실제 하드웨어를 통한 제어가 가능하도록 연동을 지원한다.

무인차량에 적용 전 사전에 자율주행성능을 예측하고 자율 알고리즘을 입증하기 위해서는 다양하고 동적인 가상 환경 구축이 필수적이다. 본 연구에서는 이를 위해 그림 3과 같이 동적 가상 운용 환경 생성/편집 툴을 구축하여 난이도별 지형 및 환경, 장애물 시나리오를 구성하고 다양한 난이도의 환경 조건에서 자율 기술의 사전 시험 및 성능 입증을 수행하였다. 툴을 통해 실제 지형을 로딩하거나 운용자가 원하는 가상환경의 구축이 가능하며, 특정 지형의 속성 및 고도 등의 지정이 가능하다.

경로계획 알고리즘의 성능 분석을 위해 배치되는 장애물은 고정 장애물과 이동 장애물로 구분되며, 속성별 생성 및 편집, 배치가 가능하도록 하고, 이동 장애물의



그림 3. 가상운용환경 생성/편집 툴
Fig. 3. Tool for virtual environment.

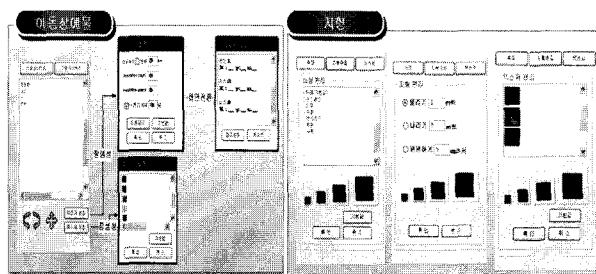


그림 4. 운용자 인터페이스 예제

Fig. 4. The example of Graphic User Interface.

경우 이동속도, 이동경로, 특정 이벤트의 지정이 가능하며 그림 4와 같은 운용자 인터페이스를 제공한다. 또한 지형의 속성 및 고도 등의 특성을 운용자가 지정하여, 지형 속성에 따른 지면 마찰계수를 예측하여 속도기반의 경로계획을 수행하고, 지형 고도에 따른 무인차량의 주행 가능 여부 등을 산출하여 경로계획에 반영할 수 있다.

무인차량이 장애물을 회피해서 목적한 지점까지 자율 주행을 하기 위해서는 센서를 통한 인식과 획득된 정보를 기반으로 단위 및 통합 월드 모델링을 구축하고 이를 활용한 경로계획이 가장 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 가상환경을 기반으로 가상 LRF, 쌍안 CCD 센서 모델링 및 시뮬레이션을 통해 각 센서의 동작 원리를 모의하고, 단위 및 통합 월드모델링을 구축한다.

LRF 센서 시뮬레이션의 경우, LRF의 실 동작을 모의하여 가상 환경에서 측정된 거리 데이터를 생성하고, 센서의 특성을 반영하여 FOV(Field of View)와 각도 분해능의 선택이 가능하도록 하였다. 그림 5는 10cm 그리드급 LRF 월드모델링을 수행한 내역이다.

CCD 쌍안 카메라 센서 모의 과정은 가상으로 획득된 좌, 우 두 영상이 동일한 시간으로 전달되면 최적의 스테레오 정합을 위한 전처리 과정을 거치게 된다.

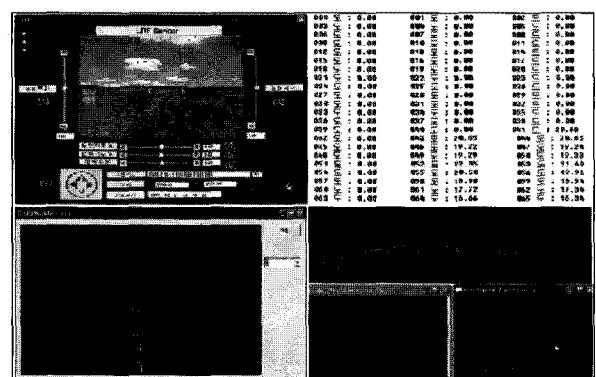


그림 5. LRF 가상모의 및 월드모델링

Fig. 5. LRF World Modeling.

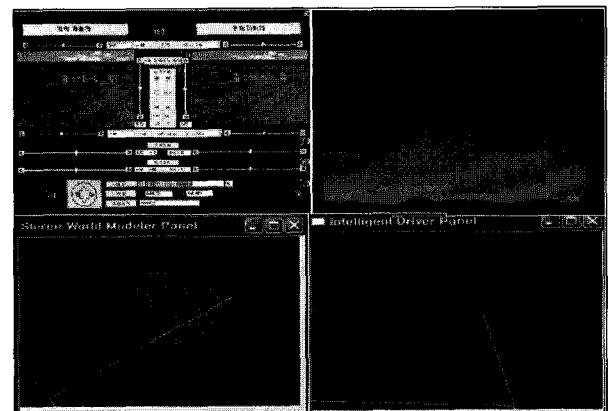


그림 6. 쌍안 CCD 가상모의 및 월드모델링

Fig. 6. CCD World Modeling.

전처리 과정으로는 좌·우 카메라 간의 기하학적인 관계를 추정하여 기준좌표를 동일화시키는 Calibration 과정, 두 카메라간의 에피폴라 라인(Epipolar Line)과 카메라 렌즈에서 발생하는 왜곡을 보정하는 영상보정(Image Rectification) 과정, 좌·우 카메라의 광량 차이를 최소화 하도록 평균 및 분산과 같은 요소의 균형을 맞추는 영상 밸런싱(Image Balancing) 과정으로 구성된다. 이와 같은 영상전처리과정을 거친 영상들은 대응점의 문제를 쉽게 풀기 위해서 렉티피케이션(rectification) 과정을 거친 후 스테레오 매칭을 진행하게 된다. 스테레오 매칭을 위한 대응점을 찾기 위해서 영상 전체를 검색하는 것은 계산량이 엄청나고 속도가 느리므로 실시간 처리를 요하는 로봇 시스템에서는 상당히 비효율적이다. 따라서 검색 범위를 줄이기 위한 방법으로 2대의 카메라를 사람의 눈과 같이 옆으로 평행하게 배치하여 대응하는 두 점의 y좌표를 같게 하는 렉티피케이션(rectification) 작업을 수행한 후 영상간의 스테레오 매칭(Stereo Matching) 과정이 진행되는데 기준 영상의 임의의 점이 비교 영상의 어느 점에 대응하는지를 찾는 과정 즉 두 영상의 변위 차(픽셀차이)를 비교하여 디스파리티(disparity) 맵을 생성한다. 변위차를 구하기 위한 매칭 알고리즘으로는 계산량이 작아 실시간 처리가 가능한 아래와 같은 SAD(Sum of Absolute Difference) 알고리즘을 적용한다.

$$f = \min_{d=d_{\min}}^{d_{\max}} \sum_{i=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} \sum_{j=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} |I_R(x+i, y+j) - I_L(x+i+d, y+j)| \quad (1)$$

두 영상에서의 대응하는 점들 간의 픽셀거리를 나타내는 디스파리티 맵을 생성하고 이 정보를 기반으로 물체와 센서간의 거리를 계산한다. 3D 가상모델을 기반으

로 획률적인 모델을 포함하고 상호 위치등록으로 수집 및 변환 가공된 공간 데이터 샘플링을 통해 그림 6과 같이 CCD 월드 모델링 과정을 수행하였다. 각 센서에서 획득된 데이터와 관련 정보를 활용하여 각 센서별 단위 월드 모델링을 수행하고, 이를 통해 각각의 단위 센서로부터 획득한 월드모델을 시간적인 측면에서 프레임단위로 융합하는 개념의 융합 월드모델링을 수행한다. 최종적으로 자율주행 시 전체 지형정보를 활용하기 위하여 프레임단위로 융합된 월드모델을 시공간적으로 통합하는 통합 월드모델링을 수행하였다.

생성된 월드 모델링 데이터를 이용하여 경로계획을 수행하게 되는데, 그림 7과 같이 비 실시간, 준 실시간, 실시간의 계층으로 나누어진다.

임무나 상황에 따라 최상위에서 내려지는 명령이나 계획은 비 실시간으로 수행되며 임무계획 및 전역경로 계획으로 구분된다. 준 실시간 수행하는 지역경로계획은 센서 획득 기반의 월드모델링 정보를 활용하여 안정성 확보의 회피기동을 수행하는 장애물 회피와 경로추적 기능이 포함된다. 실시간으로 수행되는 계층인 충돌 회피는 위험상황 혹은 긴급 충돌 상황에서 이동물체를 회피하여, 우선적으로 차량의 안전을 보장하기 위한 것으로 많은 이동 물체를 추적하여 판단하는 개념이 포함된다.

전역경로계획은 출발점, 도착점, 필요에 따라 경로점을 지정하여 지형경사를 고려한 전역 경로점을 생성하게 된다. 지역경로계획은 전역 경로 상에 존재하지 않는 지형 지물 및 장애물들이 나타날 경우 센서를 통해

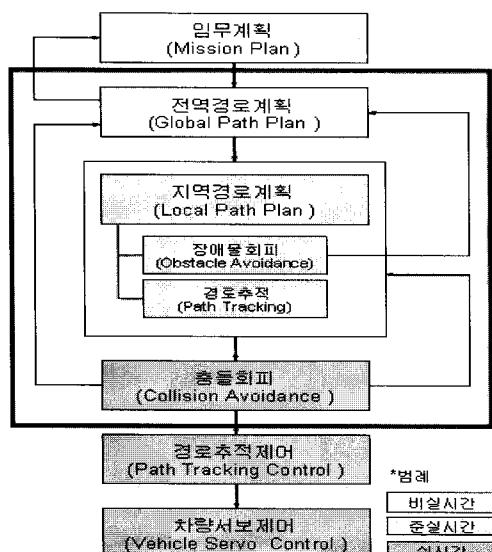


그림 7. 경로 계획 흐름도
Fig. 7. The Flow of path planning.

탐지된 장애물을 회피하면서 전역경로에 수렴하는 방향으로 주행한다.

장애물 회피(Obstacle Avoidance)의 경우 이동 물체의 회피를 위해 구동이 되며, 차량 근접 전방 10m이내 이동 및 고정 장애물의 진급회피를 위해 충돌회피(Collision Avoidance)가 구동이 된다. 장애물 회피(Obstacle Avoidance)는 CCD 쌍안 카메라를 통해 측정된 실 데이터 및 로봇 주행 상태를 활용하여 이동 장애물을 추적하고, 회피하기 위한 조향 각도 및 속도를 계산한다. 충돌 회피(Collision Avoidance)는 LRF에서 측정된 실 거리 데이터 및 로봇 주행 상태를 활용하여 긴급으로 출현한 고정 및 이동 장애물을 회피하기 위한 조향 각도 및 속도를 계산한다.

III. 시뮬레이션 및 결과

구축된 가상환경 및 운용자 GUI(Graphic User Interface)화면, 가상센서 모의, 차량차량의 다이나믹을 시뮬레이션하고 가시화한 화면은 그림 8과 같다.

평지를 기반으로 고정 장애물로는 원통, 울타리 형태의 긴 장애물, 나무 등을 배치하고, 이동 장애물로는 사람 및 차량 등을 배치한 가상 환경을 구축하여 시뮬래



그림 8. 가상환경 구축 및 가시화
Fig. 8. The example of virtual environment.

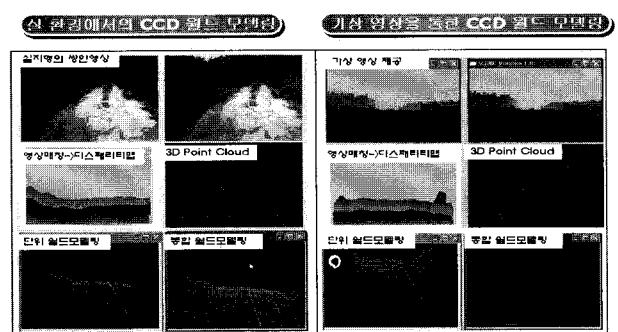


그림 9. 실 환경 및 가상영상 월드 모델링
Fig. 9. The example of world modeling.

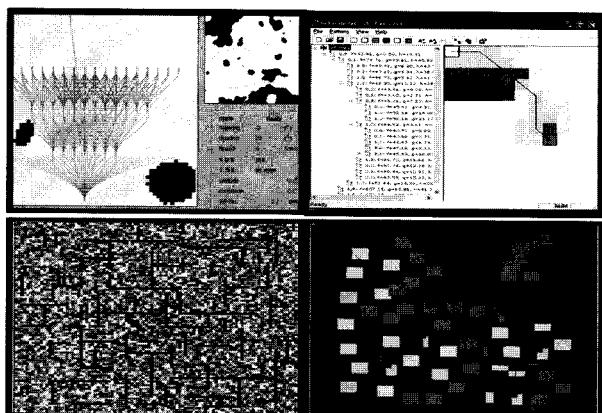


그림 10. 경로계획 알고리즘 성능분석 및 입증
Fig. 10. Performance verification of path planning.

이션을 수행하였다. 그림 9, 10과 같이 가상 쌍안 CCD 카메라 센서 모의를 수행하여, 실 지형을 월드모델링 결과와 동일함을 확인할 수 있었으며, 구축된 가상환경 및 센서 모델을 기반으로 경로계획 알고리즘의 적용 및 분석 시뮬레이션을 통하여 자율주행 성능분석 및 입증을 수행하였다.

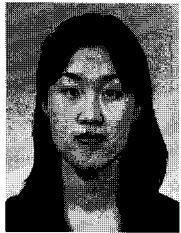
IV. 결 론

본 연구는 자율주행 성능분석을 위한 가상환경 및 센서 모델링 기법을 연구한 것으로 가상환경의 기능적 구성, 자율 차량에 탑재되는 센서 데이터 처리에 대한 모델링, 경로계획 등을 고찰하고 이에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 기법을 통해 제약사항을 해소하고 자율주행 알고리즘에 대한 성능분석 및 입증을 수행하고 그 타당성을 검증하였다.

참 고 문 현

- [1] 이호주, 박용운, 이영일, 안명길, “임무계획 및 전 역경로계획을 고려한 무인전투차량의 지휘통제” 제3회 군사용로봇 워크샵, 65~68쪽, 2008.
- [2] 이영일, 최덕선, 안명길, 이대경, “무인차량의 지역 경로설정을 위한 퍼지 기반의 방향별 속도지도 생성”, 군사과학기술학회 종합학술대회, 1047~1050쪽, 2008.
- [3] 이호주, 박용운, 이영일, 안명길, “이동시간 및 위험도를 고려한 무인전투차량의 전역경로계획 연구” 군사과학기술학회 종합학술대회, 1027~1030쪽, 2008.
- [4] 김준, “CCD/IR 영상 기반의 3D 월드모델링과 클러스터링의 통합을 통한 주행영역 추출 성능 개선” 군사과학기술학술지, 제11권, 4호, 107~115쪽,
- 2008.8
- [5] 심성대, 김정환, 김준, 지태영, “무인차량의 자율주행을 위한 월드모델링 기법,” 군사과학기술학술대회, 한국, 2008.
- [6] 안명길, 김준, 최덕선, 박용운, 고정호, “자율 시스템 M&S를 위한 환경 구축”, 군사과학기술학술대회, 해양대학교, 한국, 2007.
- [7] 김준, 박용운, 류철형, 안명길, “견마로봇의 NMAC 설계 및 구현”, 군사과학기술학술대회, 1065~1068쪽, 해양대학교, 한국, 2007.
- [8] 최덕선, 지태영, 박용운, “Real-Time Collision Avoidance Algorithm based on Potential Field Method”, 군사과학기술학회, 해양대학교, 한국, 2007.
- [9] 박용운, 류철형, 강신천, 최덕선, “다목적 견마로봇 개발 현황”, 한국로봇공학회지, Vol 4. No.2 pp.27~35, 2007.
- [10] Myung Kil Ahn, Yong Woon Park, Tae Young Jee, “Component based open middleware architecture for autonomous navigation system”, SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, 미국, 2007.
- [11] 박용운, 강태하, “국방로봇과 자율화 기술의 발전 전망”, 대한기계학회 기계저널, Vol 46, No.5 pp.44~49, 2006.
- [12] 박용운, 강태하, 강신천, 류철형, 지태영, 고정호, “개방형 아키텍처기반의 자율주행 기술 구현”, 제2회 국방정보 및 제어학술대회, 2006.
- [13] 송찬호, 김석봉, “획득프로세스 혁신을 위한 모의기 반획득 (SBA) 체계 발전 방안”, 국방과학연구소, 2006.
- [14] Steven M. Lavalle, “Planning Algorithms”, Cambridge University Press, p.924, 2006.
- [15] T.S.Choe, Yong W.Park, J.Kim, Tae Y. Jee, C.H.Ryu, “A Novel Approach of Global Path Planning for UGV”, Proceedings of SPIE Vol.6230, p.816~823, Unmanned System Technology, Orlando, 미국, 2006.
- [16] 최덕선, 김준, 류철형, 박용운, “DEM과 장애물 지도를 이용한 거리변환 경로계획”, 정보 및 제어 학술대회, 2005.
- [17] Bernard P.Ziegler, Herbert Praehofer, Tag Gon Kim, “Theory of Modeling and Simulation”, Academic Press, p.499, 2000.

저 자 소 개



안 명 길(정회원)
2006년 ~ 현재 국방과학연구소
선임 연구원
2003년 서강대학교 컴퓨터 학과
석사 졸업.
<주관심분야 : 모델링, 시뮬레이션, 경로계획, 아키텍처>



이 석 재(정회원)
1992년 ~ 현재 국방과학연구소
선임연구원
2008년 충남대학교 전자공학과
박사 졸업
<주관심분야 : 자율시스템, 다중
이동물체 추적알고리즘, 지능제
어>



박 용 운(정회원)
1982년 ~ 현재 국방과학연구소
책임 연구원
1994년 University of Utah
기계공학과 박사 졸업
<주관심분야 : 자율시스템, 아키
텍처, 경로계획, 미들웨어, 통합항
법>



고 정 호(정회원)
1978년 ~ 현재 국방과학연구소
책임 연구원
1992년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 박사 졸업
<주관심분야 : 구동제어, 전력변
환, 자율제어, 무인시스템>