

논문 2007-44SC-3-6

# 개방형 아키텍처 기반의 자율주행 기술 구현

## (Implementation of Autonomous Navigation based on the Open Architecture)

박용운\*, 지태영\*, 강신천\*, 류철형\*, 고정호\*

(Yong Woon Park, Tae-Young Jee, Sin Cheon Kang, Chul-Hyung Ryu, and Jung-Ho Ko)

### 요약

군사용으로 개발 중인 다양한 로봇은 연구 목적이나 필요성 측면에서 많은 공감대를 형성하고 있지만 치열한 전장에서 본격적으로 병사를 대신하여 전투를 효과적으로 수행할 수 있을까 하는 질문에는 회의적인 반응을 보이고 있다. 그 이유는 자율 기술의 난이도 때문일 것이다. 전장에서 본격적으로 다양한 로봇을 임무에 따라서 활용하는 미래 유·무인 복합 전장 환경에서는 다양한 유·무인 개체 간에 정보를 공유하고 기능을 모듈화하여 전장의 다양한 임무를 세분화된 기능들로 유연하게 재구성하여 종합 기능을 달성하게 된다. 또한 다양한 개체간의 공통적인 아키텍처와 표준화된 미들웨어를 사용함으로써 미래에 추가되는 새로운 자율 기술 등을 진화적으로 활용할 수 있다. 본 논문에서는 국방과학연구소에서 개발한 XAV(eXperimental Autonomous Vehicle)에 적용한 아키텍처와 이의 구현을 위한 미들웨어, 그리고 최종 구현한 자율 성능에 대한 내용을 소개한다.

### Abstract

There has been skeptical aspects for the robot to be effective in combat fields even though consensus of operational needs and some technological advancements. One of fundamental problems is difficulties in the autonomous technology applicable. This technology is not sufficient to be applied for heavy combat operation, therefore, developer first make open architecture, then, application is implemented on the condition that new functions or technologies will be developed later. It is also required to partition all the functions with common segments which are general to all platforms in order to operate together in the fields and to reduce the load of development to each platform respectively. In addition, common middleware based on the reference architecture is also developed to accommodate new technology evolution. This paper introduces the architecture and middleware applied in XAV(eXperimental Autonomous Vehicle) developed in ADD. In addition, the performance of autonomous navigation and system design characteristics are introduced briefly.

**Keywords :** 자율주행, 개방형 아키텍처, 미들웨어

## I. 서론

지능로봇이 국가 성장동력 분야에 포함되어 많은 연구개발이 이루어지고 있지만 아직은 본격적인 시장의 반응을 받지 못하고 있다. 특히 서비스 로봇은 많은 기업체에서 다양한 플랫폼을 준비하여 개발 중에 있다. 아직은 본격적으로 시장 창출이 되지 않는 이유는 가

격의 문제도 있지만 지능수준이 낮아서 사람들의 기대에 충분히 부응하지 못하고 있는 부분일 것이다. 군사용 로봇은 미국을 선두로 하여 많은 연구가 이루어지고 있고 최근 이라크 및 아프간 전쟁에서 활용한 사례를 포함하여 본격적인 활용이 이루어지고 있다. 그러나 모든 기술을 준비하여 개발 중인 것은 아니고 미래에 계속적으로 기술이 개발될 것이라는 것을 가정하고 개방적으로 새로운 기술을 수용하는 방법으로 연구개발을 진행 중에 있다. 그러나 단일 플랫폼을 개발하여 독립적으로 로봇을 운용하는 개념에서는 다른 로봇이나 지휘통제를 담당하는 유인체계 등과의 상관관계를 고려하

\* 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

접수일자: 2006년8월10일, 수정완료일: 2007년4월20일

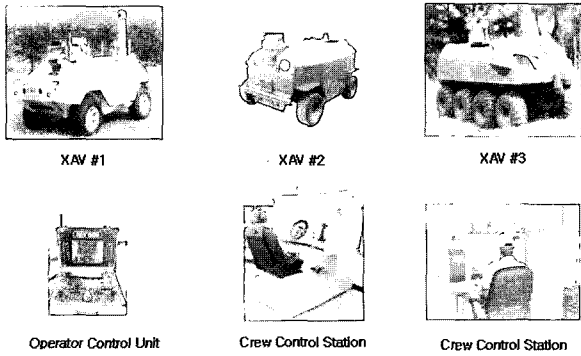


그림 1. 자율차량 및 제어장치 개발품 형상  
Fig. 1. Configuration of XAVs and control stations.

지 않고 진행할 수 있지만 다양한 로봇들이 상호 정보를 공유할 뿐 아니라 연동되어 운용되고 또한 병사들이 임의의 로봇을 선택하여 배속하고 운용자를 변경하는 등 다양한 상호 운용성을 확보하기 위해서는 운용자의 도메인 공간을 정의하여야 하고, 또한 운용자의 입출력 요소를 포함한 도메인 매개변수와 미래의 기술개발에 대한 진화를 고려하여야 하며, 나아가서는 다양한 로봇 간의 공통 운용성을 확보하기 위한 계층적 기능요소를 공통모듈화 부분으로 정의하여 개발함으로써 개방적 운용과 기술적 진화를 대비할 수 있으며 따라서 개발자의 연구개발 노력을 최소화할 수 있다.

미국도 이러한 개념을 기반으로 자율분야의 기술은 완전히 확보하지 않은 상태에서도 미래전투체계 (FCS: Future Combat System)를 개발 중에 있다. 국방과학연구소에서는 국방 분야의 로봇적용을 활성화하기 위한 준비로 핵심기술 분야에 대한 연구를 진행 중에 있다. 우선 국방로봇의 활용을 기술 차원의 선행연구를 2005년 초부터 1년 5개월간 추진하였다. 본 연구의 주요 핵심 연구 분야는 미래의 다양한 기술의 진화를 고려한 개방형 아키텍처기반의 자율주행기술 가능성을 확인하는 것으로 실험시스템을 구축하여 개방형 아키텍처를 기반으로 컴포넌트기반의 다양한 application을 구현하였다. 특히 개방형 아키텍처를 수용하는 미들웨어를 개발하여 OCU(Operator Control Unit)를 포함한 범용 컴퓨터에 적용하였고 3종의 XAV 자율차량에 적용하여 개방성 및 제어성을 포함한 다중 운용의 신뢰성을 확보하였다<sup>[1,2]</sup>. 개발된 3종의 차량은 그림 1과 같다.

그림 1에서 XAV 1호는 외형적으로 감시정찰을 포함하는 경전투개념을 구체화하는 개념이고, XAV 2호는 자율주행연구용이며, XAV 3호는 야지에서 기동성을 개선하고 1-2호에서 적용한 아크만 방식의 조향에서 스

키드방식의 구동 메카니즘의 변경에도 유연하고 추상화된 범용 기능의 자율 컴포넌트 성능을 확인하는 개념도 포함되었다.

## II. 본 론

먼저 다양한 종류의 무인차량을 다양한 운용자가 유연한 선택을 통하여 로봇을 통제한다는 가정과 단위로봇에서 추상화를 통하여 개방형 기능으로 정의한 컴포넌트를 포함하는 개념 으로 가장 유사하게 접근하여 장차 국방로봇에 공통으로 활용하기 위해 개발하고 있는 미국의 JAUS (Joint Architecture for Unmanned System)를 참고모델로 표시하면 아래 그림 2와 같다. 즉 단위로봇을 하나의 시스템으로 간주하는 것이 아니라 다양한 로봇이 운용되는 도메인을 하나의 시스템으로 간주하여 각 로봇을 부체계(subsystem)로 정의하고 부체계는 여러 개의 노드로 구성된 개념을 포함하고 있다. 각각의 노드는 기본적으로 Node Manager, Communicator 및 다양한 컴포넌트로 구성되는 개념이다. 그림 1의 XAVs와 OCU는 그림 2의 Reference Architecture를 기반으로 설계 및 구현되었으며 한 개의 노드에 범용으로 활용되는 Node Manager가 개발되어 OCU를 포함한 모든 노드에 적용되었다.

한편 본 아키텍처를 구현하는데 가장 핵심이 되는 분야는 각 노드-노드, 노드-컴포넌트, 컴포넌트-컴포넌트 간 통신을 관리하는 범용의 Node Manager를 개발하는 것이었다. 노드 매니저는 또한 다양한 통신 인터페이스를 관장하여 Application단에서는 각종 디바이스가 보이지 않도록 설계되어 하드웨어적인 인터페이스의 의존성을 배제하도록 설계되었다. 이와 같은 구조로 설계된 이유는 국방로봇의 하드웨어에 의존적인 설계 및 다양

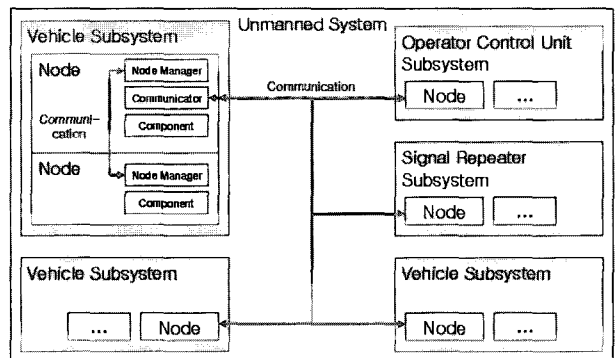


그림 2. XAV에 적용한 참고 아키텍처  
Fig. 2. Reference architecture applied to the XAV.

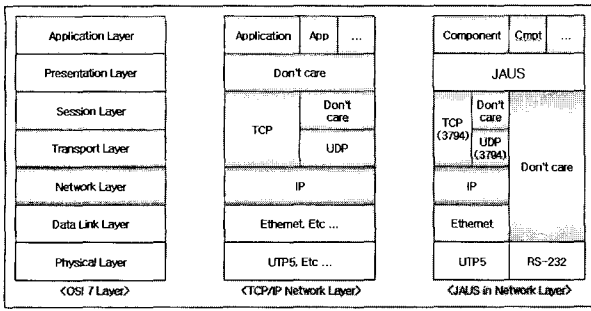


그림 3. JAUS의 개방형 인터페이스 위상  
Fig. 3. Open interface layers in the JAUS.

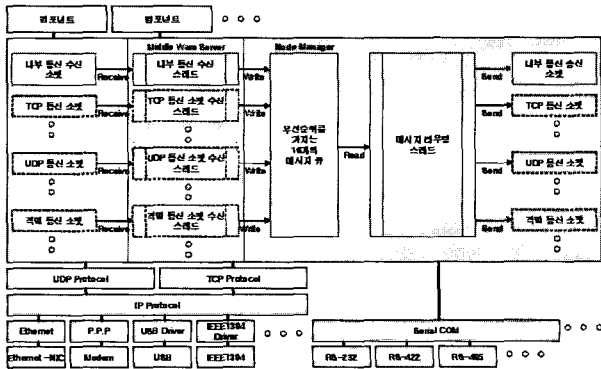


그림 4. 노드 매니저 개념도  
Fig. 4. Concept diagram for a node manager.

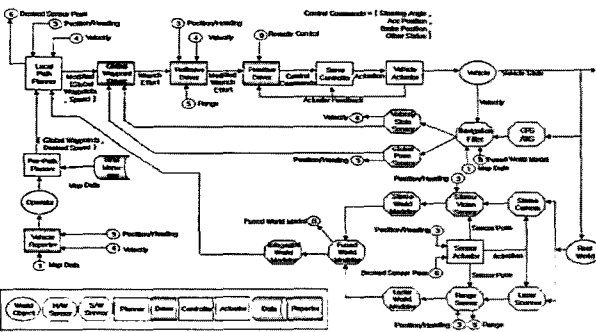


그림 5. 자율주행 기능 흐름도  
Fig. 5. Functional diagram of an autonomous navigation.

한 도메인의 운용성 진화에 독립적이고, 향후 새로운 인터페이스나 기술의 발전을 충분히 반영하기 위함이며, OSI 7 layer와 비교하면 그림 3과 같다.

JAUS는 OSI 7 layer를 기본으로 보면 Presentation Layer에 속하는 개념으로 하부계층의 데이터링크나 MAC 계층위에 존재하는 일종의 메시지 규약을 기반으로 하는 개념이다. 기능적인 인터페이스 개념은 그림 4와 같고 핵심이 되는 분야는 다양한 통신들을 노드-컴포넌트-커뮤니케이터간 유연한 전달을 구현하는 미들웨어 분야가 된다.

한편 무인체계를 위한 모듈화된 기능적 컴포넌트를

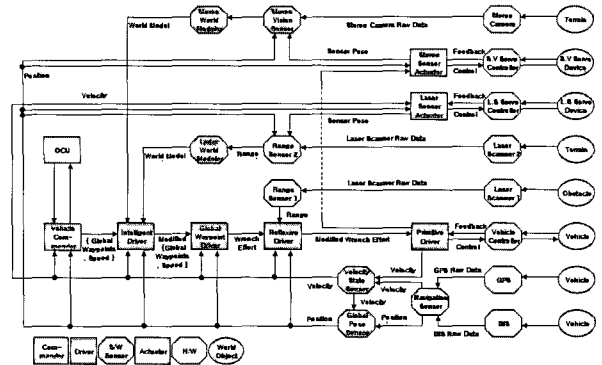


그림 6. 컴포넌트 제어 흐름도  
Fig. 6. Control flow diagram between components.

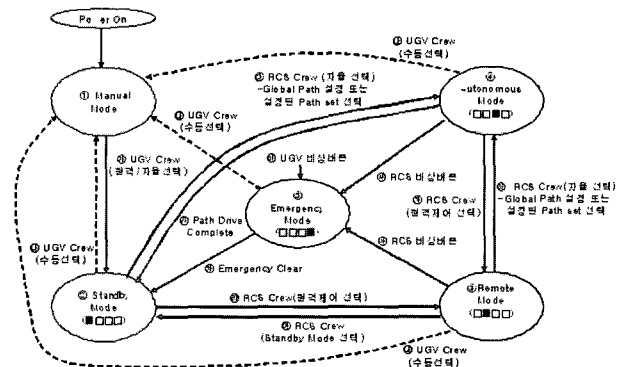


그림 7. 상태 천이도  
Fig. 7. State diagram.

구성 하는 기능적인 구조는 그림 5와 같다. 본 기능도는 자율주행과 관련되는 부분으로 소프트웨어 관점에서 컴포넌트 제어 다이어그램으로 표시하면 그림 6과 같이 외부의 지휘통제와 인터페이스 되는 Commander, 각종 차량의 기동을 관장하는 Driver, 소프트웨어 센서, Actuator부분, Hardware 및 World Object로 구분된다. 예를 들어 Driver 부분은 다양한 종류의 기동을 지원하기 위하여 추상화된 개념으로 정의된 범용의 컴포넌트로 최종 차량의 제어기에 운동명령을 가하는 Primitive Driver, 위기상황에서 긴급 장애물 등을 회피하고 정규적인 Path Planner의 기능을 탈취하는 Reflective Driver부분, 그리고 그림 5의 예제에서만 적용된 것으로 항법의 정해진 Global 위치점을 통과하도록 제어하는 Global Waypoint Driver와 XAV 자체적으로 구현되어 차량의 동특성 및 지형특성을 고려하여 명령하는 Intelligent Driver 등이 구성되어 전체 자율주행을 관장하게 된다<sup>[3,4]</sup>.

한편 무인주행을 위한 시스템 관점의 모든 운동요소에 대한 조합수를 고려하고, 상태에 따른 천이를 고려한 상태천이도는 그림 7과 같이 원격제어, 자율주행, 수

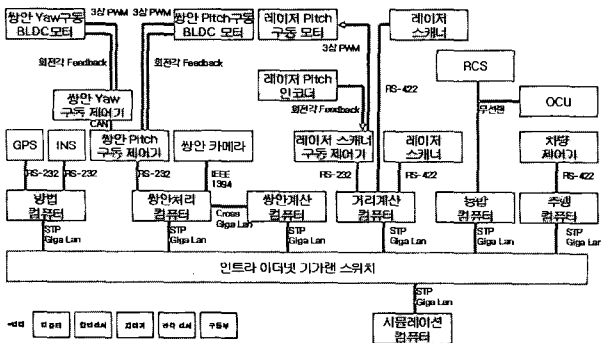


그림 8. 하드웨어 구성도  
Fig. 8. Block diagram of the hardware.

동주행 및 비상정지 모드로 구분되고 임의 모드에서 안전을 위한 비상정지 모드로 천이가 가능하도록 설계되어 있다. 향후 근접장애물 회피를 고려하여 천이하는 부모드를 고려하고 또한 전투지역으로 이동시에 활용되는 종속주행모드가 추가되어 좀 더 일반적인 기동요소 집합으로도 구성 가능할 것이다.

한편 자율주행을 위한 센서의 구성에는 차량 하단에 장착되어 긴급장애물을 탐지하여 대처하는 거리측정센서와 상부에 부착하여 다소간의 원거리 물체에 대한 월드모델링을 구현하는 거리측정 및 쌍안센서 등이 핵심적인 지형감지센서로 작동하고 항법은 MEMS 기반의 INS 및 DGPS 그리고 Compass가 활용되고 전체적으로 융합되어 항법이 구현된다. 한편 전체 계산에 활용된 컴퓨터의 구성 및 인터페이스는 그림 8과 같이 색상별로 기능을 구분할 수 있다. 본 연구에서는 최소한의 센서와 컴퓨터를 이용하여 구현한 내용으로 향후 속도나 센서 종류가 증가되고 실시간 주행성(Traversability) 분석을 포함한 많은 지능적인 계산요소가 추가되어야 자율성능이 개선될 것으로 판단된다.

본 연구에서 확인한 기본 성능은 사람이나 전투차량을 따라서 기동하는 종속주행, 비가시선 기반의 원격제어 그리고 임의의 기동점을 기반으로 자율주행하는 4단계 레벨의 성능이 관련 인사를 상대로 기술데모 I (2005.11월, 국방과학연구소 창원 기동시험장) 및 기술 데모 II (2006년 6월, 육군 계룡대)를 통하여 확인되었다. 특히 차량 3종의 모든 범용 컴퓨터 및 OCU에 적용한 노드 매니저는 자율주행을 위해서 필요한 메시지를 기본으로 포함하고 다양한 실시간의 2차원 정보가 공유되어 자율주행을 위한 적절한 계산량의 분산을 지원하고 다양한 하드웨어 인터페이스를 Application 작성자에 쉐어링하여 미래의 기술개발에 대한 개방형 기술삽입 (Technology Insertion)을 지원하는 등 개방형 미들웨

어의 대표적인 기능이 확인되고 입증되었다.

### III. 결 론

본 연구에서는 군사용으로 활용 가능한 다양한 로봇의 개발에 앞서 다수 로봇을 활용하여 전투하고 운용하는 등의 도메인 요소(지휘통제/전술정보 등)에 대한 변화와 기술적인 진화를 수용하고 또한 개발자의 하드웨어 의존성을 탈피하게 하는 개방형 아키텍처를 기반의 자율주행기술을 XAV 실험차량의 데모를 통하여 확인하였다. 비록 다양한 상호운용을 위한 표준 등의 기능이 반영되어 개발되지는 않았지만 기능적으로 추상화된 다양한 컴포넌트가 자율주행 및 원격제어 기능을 위하여 구현되었다. 향후 다양한 Application이 개발될 경우 수용 가능한 개방형 아키텍처를 적용하였을 뿐 아니라 모든 노드에 범용으로 적용 가능한 미들웨어가 개발되어 적용되었다. 이를 기반으로 난이도가 높은 자율주행의 수준을 임의의 기동점을 기반으로 주행하는 수준(자율 4 레벨 : 반자율)으로 개발하였으며 특히 무인차량 시스템의 통합적인 설계 및 전투 운용성을 확인하는 다양한 기능 등이 구현되어 확인되었다. 향후 지속적인 자율기술의 연구개발을 통하여 6-7레벨(제한속도 혹은 완전자율주행) 수준으로 기술을 개발하여야 하는 것이 미래 전투에 본격적으로 활용 가능한 무인차량 개발의 핵심이 될 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 박용운 외 5인, "XAV 시스템의 자율주행", 국방로봇기술시범 및 워크샵, 2006년 6월
- [2] 박용운 외 4명, "야지자율주행을 위한 무인차량 시스템 구현", 지상무기체계발전세미나, 2005년 11월
- [3] T. S. Choe, Y. W. Park, J. Kim, T. Y. Jee, C. H. Ryu, "A Novel Approach of Global Path Planning for UGV," *Proceedings of SPIE* Vol. 6230, Unmanned Systems Technology VIII, pp. 816-823, April 2006.
- [4] 최덕선 외 3인, "DEM과 장애물 지도를 이용한 거리변환 경로계획", 정보 및 제어학술대회, pp. 92-94, 2005년 10월

저 자 소 개



**박 용 운**  
 1982년~현재 국방과학연구소  
 책임 연구원  
 1994년 University of Utah  
 기계공학과 박사 졸업.  
 <주관심분야 : 경로계획, 아키텍처,  
 미들웨어, 영상합법>



**류 철 형**  
 1990년~현재 국방과학연구소  
 선임연구원  
 2005년 충남대학교 전자공학과  
 박사 졸업  
 <주관심분야 : 무인시스템, 원격통제,  
 자율주행 알고리즘, 영상합법>



**지 태 영**  
 1992년~현재 국방과학연구소  
 선임 연구원  
 2006년 고려대학교 제어계측  
 공학과 박사 졸업.  
 <주관심분야 : 개방형 아키텍처,  
 미들웨어, 자율주행 구현>



**고 정 호**  
 1978년~현재 국방과학연구소  
 책임연구원  
 1992년 한국과학기술원 전기 및  
 전자공학과 박사 졸업  
 <주관심분야 : 구동제어, 전력변환,  
 자율제어, 무인시스템>



**강 신 천**  
 1991년~현재 국방과학연구소  
 선임 연구원  
 2005년 Texas A&M University  
 기계공학과 박사 졸업.  
 <주관심분야 : 자율시스템, 최적  
 및 비선형 제어, 통합주행제어>