

무인지상차량의 자율주행 기능수준 도출 방법 - 국방로봇을 중심으로 -

김 율 희*, 최 용 훈°, 김 진 오*

How to Derive the Autonomous Driving Function Level of Unmanned Ground Vehicles - Focusing on Defense Robots -

Yull-Hui Kim*, Yong-Hoon Choi°, Jin-Oh Kim*

요 약

본 논문은 국방로봇의 하나인 무인지상차량이 자율주행 시 요구되는 기능수준을 도출하기 위한 방법에 대한 연구이다. 기존의 무기체계는 운용환경에 크게 영향을 받지 않는 반면 국방로봇은 동일한 플랫폼이라 할지라도 운용 환경 변화에 따라 다른 성능이 표출된다. 만약 운용제대에 따라 무기체계인 국방로봇의 성능이 각각 다르게 발현 된다면 임무수행의 결과는 달라질 것이다. 그러므로 소요군은 국방로봇에 요구하는 기능의 수준을 명확히 도출해야 최적의 국방로봇을 연구개발 할 수 있다. 본 논문에서는 국방로봇의 주요 기능 중 하나인 자율주행을 중심으로 하여 무인지상차량의 요구기능수준을 도출하는 방법을 제시하였다. 소요군 내 각 운용제대로 무인지상차량이 자율주행 시 요구되는 기능의 수준을 평가 할 수 있는 문항과 운용자의 개입정도에 따른 자율주행 기능의 요구수준을 나타내었으며, 더불어 여러 운용환경에 따른 변수 중에서 지상 환경에 대한 수준을 제시하였다.

Key Words : Defense Robot, Requirement, Autonomous driving

ABSTRACT

This paper is a study on the method to derive the functional level required for autonomous unmanned ground vehicle, one of the defense robots. Conventional weapon systems are not significantly affected by the operating environment, while defense robots exhibit different performance depending on the operating environment, even if they are on the same platform. If the performance of defense robot is different depending on operational environment, results of mission performance will be vary significantly. Therefore, it is necessary to clarify the level of function required by the military in order to research and develop most optimal defense robots. In this thesis, we propose a method to derive the required function level of unmanned ground vehicles, focusing on autonomous driving, one of the most vital functions of defense robots. Our results showed that the autonomous driving function depending intervention levels and evaluated functional sensitivity for autonomous driving of the unmanned vehicle using climate and topography as variables.

※ 본 연구는 방위사업청 “국방로봇 운용을 위한 법/제도 개정 및 인증제도 연구” 과제와 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2016R1D1A1B03934507).

※ 2016년도 광운대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행되었음.

• First Author : Institute of Defense Acquisition Program, Ph. D. program, KwangWoon University, yuls@kw.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : KwangWoon University's Division of Robotics, yhchoi@kw.ac.kr, 종신회원

* KwangWoon University's Division of Robotics, jokim@kw.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2016-12-375, Received November 11, 2016; Revised December 5, 2016; Accepted January 12, 2017

I. 서론

국방 선진국들은 첨단 과학기술을 바탕으로 하여 최소의 병력 희생과 위험 감소를 목적으로 국방로봇 개발에 집중하고 있다. 국방 분야에서 로봇은 인간의 한계를 극복하고 전장의 위험성을 제거하며 전투효과를 극대화하는 역할을 수행할 것이다.

2016년 다보스포럼에서는 로봇이 이끄는 4차 산업혁명이 과거 3차례 산업혁명과 비교가 되지 않을 정도로 빠르고 광범위할 것이라는 전망을 내놓았다.^[1] 이렇듯 미래전쟁에서 로봇이 빅뱅을 일으키는 최상의 무기체계임은 기정사실화 되고 있다.

그렇지만, 우리군은 국방로봇의 전력화가 절실함에도 불구하고 국방로봇의 필요성에 대한 구체적인 공감대를 제시하지 못하고 있다. 2016년 정부의 로봇예산이 1,523억 원이었음을 감안해 볼 때 2016년 국방예산 중 무인항공기를 제외하고 무기체계 예산으로 책정된 로봇예산은 없었다. 책정 예산의 규모를 보건데 국방 분야에서 로봇 소요제기에 어려움을 겪고 있음을 유추해 볼 수 있다.

로봇은 운용환경에 따라 표출기능이 다르게 구현된다. 동일기능을 가진 로봇이라 할지라도 구현되는 성능은 운용하는 환경에 따라 많은 편차가 있을 수 있다. 도로가 발달해 있는 도시지역에서 운행하는 자율주행 무인차량의 성능과 도로가 발달하지 않은 산악지역에서 운행하는 자율주행 무인차량의 성능은 다르게 나타날 수밖에 없다. 특히 국방로봇의 경우 민간의 운용환경과 달리 예측 불가능한 다양한 환경에서 운용해야 한다. 또한 동일한 임무에 대해서도 산악 지역이나 해안가 지역 등에서의 필요로 하는 작업(Task)의 구현은 다를 수 있다. 그러므로 운용환경과 운용자가 개입에 따른 작업구현은 국방로봇이 최적의 성능을 표출하기 위해 고려해야 할 요인 중 하나이다.

국방로봇이 최적의 운용성능을 발휘하기 위해서는 소요제기 단계에서부터 구체적인 운용환경과 운용자의 작업수행을 위해 필요로 하는 수준의 로봇의 기능에 대한 구체적이고 정량화된 적시가 필요하다. 본고는 이런 취지에서 군이 필요로 하는 로봇을 요구하기 위한 정량화된 기준을 구현하기 위한 설계방법을 제시하는데 그 목적을 두고 연구하였으며, 국방로봇의 자율주행 기능을 중심으로 요구기능 도출방법론을 연구하였다.

II. 본론

2.1 국방로봇의 정의와 소요

2.1.1 국방로봇의 정의

2007년 국방과학연구소는 ‘국방지상로봇 종합발전방향’ 발간 책자에서 국방로봇을 ‘대칭 및 비대칭 전투 환경에서 위험(Dangerous)하고, 어렵고(Difficult), 지루(Dull)한 임무를 수행함에 있어서 병사 또는 유인시스템의 대행과 획기적인 능력을 위한 전투 및 비전투 시스템’이라고 정의하였다.

2013년 방위사업청과 국방과학연구소는 ‘기존 지능형 로봇이 가지는 이동성과 지능을 포함하고, 병사 수행임무나 기존에 불가능했던 새로운 임무를 무인자율 혹은 원격제어를 통해 수행하는 군사용 무인로봇 장비’라고 정의하고 있다.^[2]

즉 국방로봇은 군사용 차량, 함정 및 함선, 군사용 항공기 등 탈것의 종류에 사람이 탑승하지 않은 상태에서 운용되는 지능형 무인기(Unmanned Vehicle)와 군사적 용도의 지능형 로봇(Robot)을 포괄하는 개념이라 할 수 있다.^[3]

또한 국방로봇은 타 무기체계와 달리 임무수행이 운용목적에 포함된다. 즉 무기체계의 운용목적은 군의 전술적 임무수행을 위한 도구로 활용되기 위함이나, 국방로봇의 주 운용목적은 기존의 병사가 수행하던 전술적 임무 또는 새로운 임무를 일부 혹은 전부 수행하기 위함이다. 따라서 국방로봇에게 있어 임무수행은 매우 중요한 개념 중에 하나이다.

위의 국방로봇의 개념을 종합해 보면, ‘군사적 운용을 위해 임무를 부여받아 운용되는 지능형 무인기(Unmanned Vehicle)와 지능형 로봇(Robot)’이라 할 수 있다.

2.1.2 국방로봇의 소요

로봇의 필요성을 충분히 검토하지 않고 로봇의 도입을 결정했다면 로봇 활용 시 생각만큼의 기대효과를 얻기 힘들 수 있다. 로봇의 도입 시 ‘어떻게 구현할 것인가’를 연구하는 로봇 디자인은 많은 비용과 시간 등의 노력이 요구되는 작업이다. 또한 로봇 디자인에서 어떻게 구현될 것 인가의 문제는 로봇의 필요성과 매우 밀접하다.

로봇의 필요성은 사회적 요구가 시발점이 된다. 사회적 요구는 크게 3가지로 나누어 볼 수 있는데, 첫째 국가나 정부기관이 만들어내는 선도-사회적 요구, 둘째 수요자가 강하게 바라는 현재-사회적 요구, 셋째

수요자에게 필요하지만 수요자가 필요한 줄 모르고 있는 잠재-사회적 요구이다. 이 중에 선도-사회적 요구와 잠재-사회적 요구의 로봇 디자인은 오랜 경험과 능력을 갖춘 전문가 집단을 필요로 한다. 한편 현재-사회적 요구는 로봇전문가와 수요자가 모여 함께 분석하고 디자인을 한다.^[4]

국방로봇 또한 사회적 요구를 반영하기 위해서는 방위사업 전반에 로봇 전문가 집단의 깊숙한 참여가 필요하다. 그러나 민간 전문가의 참여가 제한되어 있는 국방 분야의 특수성 때문에 전문가 집단이 개입되어 군과 함께 국방로봇의 수요를 제기하는 것은 매우 어려운 일이다. 그렇기 때문에 로봇의 특수성을 고려하지 못한 채 수요군이 요구기능을 제기하는 경우 수요군의 필요에 부합하는 기능 도출에 한계가 있을 수 있다. 따라서 로봇에 대해 전문적 지식과 관계없이 수요군이 필요로 하는 로봇의 기능을 요구하는 방안이 마련되어야 한다. 이를 위해서는 무엇보다 수요군은 병사 등 운용자의 요구사항을 정확히 파악하고 이를 정량화하여 제시하여야 한다. 운용자가 어떤 작업, 어떤 환경 등의 원인으로 인해 로봇을 필요로 한다면, 그 원인이 로봇에 대한 요구사항이 된다. 수요군은 이

러한 요구사항을 국방로봇의 수요를 제기하기 전에 구체적이고 명확하게 제시하여야 한다.

2.2 자율주행 관련 연구

2014년 미국자동차기술협회(SAE)는 자율주행자동차의 규격인 J3016을 발표하였다. 미국자동차기술협회(SAE)의 표준은 강제성이 없으나 미국 뿐 아니라 세계 여러 나라에서도 통용되고 있으며, 국제표준기구(ISO)에서는 이 표준을 국제표준으로 검토하고 있다. J3016은 위의 미 도로교통안전국이 정의한 Level 4 분류 방식에서 최종 Level 4를 둘로 나눠 세분화한 것으로, Level 0부터 Level 5까지 총 Level 6로 분류하였다. 이 분류는 기존의 분류와 달리 운전을 크게 작동작업(조향조정, 감속 및 가속, 차량 및 도로 감시), 기술적인 작업(이벤트에 대한 대응, 차선변경 결정, 신호사용, 회전 등), 전략적인 작업(경로결정, 목적지 및 경유지 결정 등)으로 분류하고 이중 작동작업과 기술적인 작업을 동적인 운전작업(Dynamic driving task)으로 아래 표 1과 같이 분류하였다.^[5]

미 육군 과학위원회(ASB)는 무인지상차량을 기준으로 자율주행에 필요한 요소를 관찰 및 인지, 판단,

표 1. 자율주행자동차 표준 J3016
Table 1. Autonomous vehicle standard J3016

SAE level (name)	Narrative Definition	Execution of steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (Driving modes)
Human driver monitors the driving environment					
0 (No Automation)	the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	N/A
1 (Driver Assistance)	the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	Human driver & system	Human driver	Human driver	Some driving mode
2 (Partial Automation)	the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/ deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	System	Human driver	Human driver	Some driving mode
Automated driving system ("system") monitors the driving environment					
3 (Conditional Automation)	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene	System	System	Human driver	Some driving mode
4 (High Automation)	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene	System	System	System	Some driving mode
5 (Full Automation)	the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human drive	System	System	System	All driving mode

표 2. 미 육군 무인지상차량 자율수준
Table 2. US Army Unmanned Ground Vehicle Autonomy Level

Level	Description	Observation Perception / Situation Awareness	Decision Making	Capability	Example
1	Remote Control	Remote camera images viewed by operator	None	Remote operation in relatively simple stationary environments	Basic teleoperation
2	Remote Control w/vehicle State Knowledge	Local pose, dash-board sensors, and depth image display for operator	Basic health and vehicle state reporting	Remote operation in relatively complex stationary environments	Teleoperate with operator knowledge of geometry of environment
3	Pre-Planned mission or retro-traverse	INS/GPS waypoints, collision avoidance	ANS commanded steering based on planned path	Basic path following with operator help	Pre-planned path, retro-traverse, or operator waypoint selection
4	On-board processing of sensory images	Perception of simple surfaces and shapes	Negotiation of simple environment	Robust leader follower with operator help	Follow foot soldiers on road march or easy cross-country
5	Simple obstacle detection and avoidance	Local perception and map database	Real-time path planning based on hazard estimation	Basic cross country semi-autonomous navigation	Cross country with frequent operator intervention
6	Complex obstacle detection and avoidance, terrain analysis	Perception and world model representation of local environment	Planning and negotiation of complex terrain and objects	Cross country with obstacle negotiation with some operator help	Cross country in complex terrain with limited intervention
7	Moving object detection and tracking, on-road and off-road autonomous driving	Local Sensor fusion with a priori maps of road network, representation of moving objects	Robust planning and negotiation of Complex Terrain, Environmental Conditions, hazards and objects	Cross country with obstacle negotiation with some operator help	Cross country in complex terrain with full mobility speed with limited intervention
8	Cooperative operations, convoy, intersections, on-coming traffic	Real-time fusion of data from external sources, broad knowledge of rules of the road	Advanced based on shared data from other similar vehicles	Rapid effective execution of on-road driving tasks with minimal operator input	On-road operations under normal road conditions with little supervision
9	Collaborative operation, traffic signs and signals, near human levels of driving skill	Perception in bad weather and difficult environmental conditions	Collaborative reasoning for cooperative tactical behaviors	Accomplish complex collaborative missions with some operator oversight	Effective combat mission accomplishment with little supervision
10	Full autonomy with human levels of performance or better	Data fusion from all participating battlefield assets	Total independence to plan and implement to meet defined objectives	Accomplish complex collaborative missions with no operator intervention	Fully autonomous combat missions accomplished with results equal to or better than with human soldiers

능력 3가지로 구분하고 Level 1 원격제어부터 Level 10의 완전자율까지 총 Level 10으로 나누어 작동예시와 함께 아래의 표 2와 같이 제시하였다.

또한 미국표준기술연구소(NIST)는 무인체계의 자

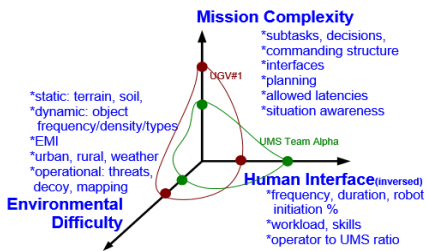


그림 1. 무인체계의 자율수준 상세 모델
Fig. 1. ALFUS Detailed Model

율성 연구에서 다음의 세 가지 주요 지표틀 도출하였다. 임무의 복잡성, 환경장애, 사람의 개입정도를 지표로 하여 무인체계의 자율수준 평가안인 Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS)을 다음의 그림 1과 같이 제시하였다. 그러나 미국표준기술연구소(NIST)의 방법론은 임무의 복잡성, 환경장애, 사람의 개입 정도의 지표를 구성하는 다양한 평가요소들에 대해 정성적인 평가로 그 수준을 도출하였기 때문에, 다분히 주관적 견해가 포함될 가능성이 높으며 정확하고 객관적인 요구수준을 도출하기 어렵다.^[6]

우리가 흔히 말하는 자율주행자동차는 운전자가 탑승하면서 ICT의 도움으로 운전을 안전하고 편리하게 하는 자동차를 의미한다.^[7]

즉, 민간분야에서 연구하는 자율주행 기능의 차량

은 인간의 탑승을 전제로 자동화되어 스스로 작동하는 것으로, 탑승자의 편리성, 안전성, 탑승감이 자율주행 기능의 주된 고려 요소이다. 반면 자율주행 기능을 가진 국방로봇인 무인지상차량의 경우 자동차 형상을 갖추고는 있지만 탑승자의 주행을 보조하거나 탑승자를 수송하는 것을 주요 운용목적으로 하고 있지 않다. 국방로봇의 주요 운용목적 중 하나는 아군에게 일어나는 살상위험을 대신하는 것이기 때문에 국방로봇에 구현되는 자율주행 기능은 운전자 또는 운용자가 탑승하지 않은 상태를 말한다. 또한 민간의 자율주행차량에서 활용되는 자율주행 기능은 도로를 운행하는데 필요한 기능으로 구성되어 있으나, 국방에서의 자율주행 기능은 도로는 물론 험지나 야지 등을 운행하는데 필요한 기능으로 구성되어야 한다. 따라서 민간과 국방 분야에서의 자율주행의 기능은 운용환경 측면에서 많은 차이가 있다. 이처럼 민간의 자율주행 기능 수준에서 중점적으로 고려하는 기준과 군에서 고려하는 기준은 운용목적과 운용환경 측면에서 상이하므로 이를 고려한 군의 요구기능수준 도출방법이 필요하다.

2.3 국방로봇 요구기능수준 도출방법

국방로봇은 병사들의 살상을 줄이고, 병사를 능률적으로 운용하기 위해 활용된다. 이를 위해 국방로봇은 병사의 임무 일부 또는 전부를 위임받는다. 따라서 임무수행에 따른 필요기능이 적절한 수준에서 구현되어야 한다.

또한 국방로봇의 성능을 결정하는 가장 큰 기준은 임무수행 중 운용자가 로봇의 작업에 자기 결정권한을 어느 정도 위임해주는냐의 문제이다. 국방로봇이 각기 다른 운용환경에서 유사한 임무수행 결과를 도출하려면 수행해야 하는 작업은 다를 수밖에 없으며, 작업이 다르면 운용자의 개입 정도도 다를 수밖에 없다.

이에 따라 국방로봇의 소요를 제시하기 위해서는 기존의 연구와 달리 국방로봇에 필요한 주요 기능의 구현 정도와 그에 따른 운용자 개입의 정도, 운용환경에 민감한 로봇의 특수성을 고려한 환경수준을 통합하여 정량적 평가를 해야 한다. 첫째, 로봇의 요구기능의 기준을 정량화해야 한다. 이를 위해서는 소요군별 국방로봇의 기능에 대한 요구기준과 평가항목이 제시되어야 한다. 둘째, 운용자 개입수준을 단계별로 구분하고 정량화 하는 방법이 필요하다. 셋째, 국방로봇 운용을 위한 환경수준 등 그 밖의 운용변수에 대한 기준을 마련하고 이를 정량화해야 한다.

따라서 본 연구에서는 국방로봇의 주요 기능 중 하나인 자율주행 기능에 대해 요구사항과 환경수준을

정량화하는 도출방법을 다음과 같이 제시하였다. 또한 환경요인 이외 고려해야 할 다른 요인이 발생될 경우 이를 정량화하여 추가로 도출할 수 있다.

2.3.1 요구기능 기준

로봇에 대한 전문적인 지식 없이도 군이 필요로 하는 국방로봇의 소요를 제시할 수 있도록 요구기능 기준을 로봇의 외부 3요소와 내부 5요소의 구성요소로 나누고 각 구성요소별로 소요군에 필요한 기능을 도출할 수 있도록 구성하였다. 또한 요구기능 기준을 평가할 수 있도록 소요군은 서술형 평가문항을 작성하고 이에 배점을 두어 운용제대별 요구기능을 정량화할 수 있게 하였다.

(1) 로봇의 외부 3요소

로봇의 외부 3요소란 환경, 모션, 인간을 말한다. 환경은 로봇이 작업을 수행하기 위한 주변 요소로서, 운용자 등이 로봇을 운용하기 위해 조성하는 구조화된 환경과 통제 불가능한 비 구조화된 환경이 있다. 환경요소는 국방로봇에게는 변수로 작용하기 때문에 별도로 기준을 제시하였다.

모션은 조작(Manipulability) 과 이동(Mobility) 을 포함한다. 조작은 대상을 A에서 B로 옮기는 것이고, 이동은 자신이 A로부터 B로 움직이는 것이며 모션의 결과로 나타나는 성과를 작업이라고 한다. 인간은 로봇을 운용하는 주체로써 전문가 또는 비전문가로 구분된다.

(2) 로봇의 내부 5요소

로봇의 내부 5요소는 인터페이스, 메커니즘, 컨트롤, 센싱, 에너지로 나누어 볼 수 있다.

인터페이스는 로봇이 인간과 상호 작용을 할 수 있도록 하는 물리적·가상적 매개체로 입력장치와 출력장치가 있으며, 컴퓨터의 입·출력장치와 유사하다.

컨트롤은 사람의 뇌에 해당되는 로봇의 핵심 요소로서 PCA에 해당된다. 로봇기술의 3요소인 PCA는 1989년 카네기멜른대학교에서 정의한 것으로 감지(Perception), 인지(Cognition), 행동(Action)을 말한다. 인간의 감각기관, 즉 오감에 해당되는 부분인 Perception, 인지에 해당되는 부분은 Cognition 그리고 팔다리와 같은 운동부는 Action에 해당한다. 컨트롤은 인터페이스, 그리고 에너지를 모두 관리하고 운영한다. 하위 시스템으로 모터의 제어, 센서 정보의 수집이 해당되고, tkd위 시스템으로는 로봇 시스템의 전반적인 제어를 포함하고 있다. 컨트롤의 목표는 인

지된 환경을 제대로 인식시키고(P), 인간의 인식과 판단을 로봇의 인식과 판단으로 전환시키며(C), 사람이 원하는 힘과 운동을 메커니즘에 나타나는 힘과 운동(A)과 일치시키는 것이다. 메커니즘은 모터의 운동에 에너지를 받아서 원하는 운동과 힘을 만들어 내는 역할을 한다. 로봇을 구성하는 액츄에이터에는 여러 개의 모터가 사용되는데, 이들은 기계적 요소 즉 기어를 포함하는 감속기, 풀리와 벨트, 링크 기구 등에 의해 기구학적 및 동력학적으로 연결되어 있다. 여러 개의 모터 회전이 결과적으로 로봇의 끝부분이 도달할 수 있는 포인터(Reachable Point)의 합이 되는 하나의 공간을 구성하게 된다. 센싱은 로봇 내부에 내장 센싱과 외부 센싱으로 구분된다. 그러므로 환경 인식을 위한 센서, 로봇의 운동을 위한 센서, 작업관련 센서 등의 다양한 센서가 필요하다. 에너지는 이동성이 있는 로봇에게는 충전배터리를 통한 에너지 보급이 필요하다. 따라서 배터리는 급속이 가능하고, 오랜 시간동안 작동 가능한 고출력, 고용량이어야 한다. 이를 표현하면 다음의 그림 2과 같다.^[8]

소요군은 위의 그림 2에서 환경요소를 제외한 7가지 로봇의 구성요소에 따라 국방로봇에 필요한 기능과 그에 따르는 평가문항을 자체적으로 구성하여 요구기능 기준을 제시해야 한다. 또한 소요군별 평가문항 작성과 운용제대의 평가를 통해 산출된 점수로 기능요구사항을 정량화 할 수 있다. 지상에서 운용되는 국방로봇이 전장에서 임무를 수행하려면 자율주행기능의 구현은 필수적이다. 따라서 지상임무수행을 위한 무인지상차량의 자율주행 요구기능 기준에 대한 평가 문항의 예시는 다음 표 3과 같다.

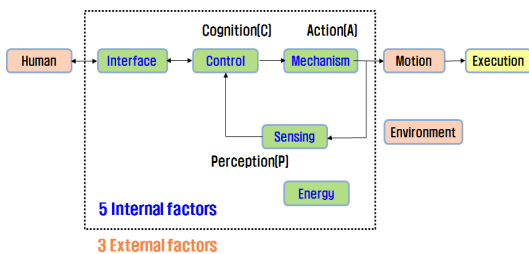


그림 2. 로봇의 구성요소
Fig. 2. Core factors of robot

2.3.2 운용자의 개입에 따른 요구기능수준

국방로봇은 환경변화에 대하여 스스로 인식하고, 상황판단을 하여 운용자인 병사와 상호작용을 통해 전장에서 아군의 전투효과를 높이는 무기체계라 할 수 있다. 따라서 국방로봇에 있어 임무수행을 위한 운

표 3. 무인지상차량의 요구기능 기준: 자율주행
Table 3. Required function criteria of unmanned ground vehicles: Autonomous driving

* For convenience, converted to a perfect score of 100

Required function criteria			Score
Factor	Required function	Evaluation Form	
Motion	Mobility	Go to maximum speed without operator intervention can do it?	
Human	proficiency	Inexperienced operator to control easily operate?	
Interface	mission control	Within 3 seconds to a stop under the command of the operator?	
Control	control algorithm	Does the vehicle recognize obstacles 1m in height before the collision without operator intervention ?	
Mechanism	brake	The speed limit, without operator intervention during movement of the braking? (within 50m braking distance)	
Sensing	vision system	Brightness: 5, Saturation: 5.7-6.3 Can the vehicle be recognized as green?	
Energy	charge	Is it possible to at least 10 hours of operation during a single charge?	
Total			100

용자의 개입 정도는 국방로봇의 필요성을 가늠할 수 있는 중요한 요소 중 하나이다. 그러나 기존의 소요군 요구사항에는 임무수행에 따른 운용자의 개입 수준이 표현되지 않거나 아주 적은 부분 정성적으로 표현되어 있다. 때문에 로봇의 기능 구현수준을 가늠 할 수 없으며, 또한 정성적인 표현은 보는 이에 따라 주관적인 해석을 할 여지가 있다. 따라서 요구기능 기준의 평가점수를 운용자의 개입비율로 나타내었으며, 이를 운용자의 개입에 따른 요구기능수준으로 나타내었다. 아래의 표 4는 운용자 개입에 따른 요구기능 수준을

표 4. 운용자 개입에 따른 요구기능수준
Table 4. Level of required function criteria to operator intervention

Level	Operator intervention ratio	Required function criteria Score
1	100~90%	0-10 points
2	90-80%	10-20 points
3	80-70%	20-30 points
4	70-60%	30-40 points
5	60-50%	40-50 points
6	50-40%	50-60 points
7	40-30%	60-70 points
8	30-20%	70-80 points
9	20-10%	80-90 points
10	10-0%	90-100 points

제시한 것이다.

2.3.3 환경수준

국방로봇은 환경에 많은 영향을 받는다. 같은 기능이라 할지라도 운용환경에 따라 다른 성능이 나타날 수 있다. 즉 운용환경과 운용자의 개입에 따라 고유기능이 저마다 다른 성능으로 표출될 수 있다. 예를 들어 유인차량의 경우 도시지역과 산악지역에서 필요로 하는 고유기능과 그에 따른 표출성능은 큰 차이가 없다. 그러나 도로가 잘 구비된 도시지역에서 운용되는 무인지상차량과 아지와 협지가 많은 산악지역에서 운용되는 무인지상차량은 운용환경에 따라 운용자의 개입이 달라질 수밖에 없으며, 그에 따른 기능의 구현수준은 각각의 지역에서 다르게 표출될 수 있다. 그러므로 운용환경에 따른 국방로봇의 운용성능의 고려는

매우 중요하다. 이를 비교하기 위해 무인지상차량이 운용되는 지상의 환경을 기준으로 기상 및 기후 환경과 지리 및 지형 환경의 수준 정량화가 필요하며, 본 논문에서는 표 5와 같이 환경수준을 제시하였다.

2.4 산출방법

국방로봇의 임무는 로봇이 수행하는 기능의 조합에 의해 구현이 가능하다. 자율주행 기능, 자율감시 기능 등 여러 가지 다양한 기능을 통해 임무가 프로세싱 된다. 각 기능들은 임무와 운용환경 등에 따라 성능이 달리 표출된다. 소요군은 국방로봇의 임무수행을 위한 각각의 요구기능과 기능별 비중을 아래의 그림 3과 같이 요구할 수 있다. 그림 3은 무인지상차량의 부여 임무에 따른 주요 요구기능이며, 자율주행 기능은 모든 임무에 공통으로 적용되는 기능이다.

소요군은 앞의 표 3과 같이 국방로봇의 주요 요구 기능을 대상으로 점수를 산출한다. 소요군별 국방로봇이 필요로 하는 요구기능에 대한 평가문항에 대해 점수를 합산한 후, 그 점수에 해당하는 표 4의 운용자 개입수준을 도출한다. 또한 표 5를 활용하여, 소요군의 운용지역별 환경수준에 따른 점수를 산출한다.

예를 들어 감시정찰임무를 수행할 무인지상차량의 자율주행 기능이 요구기준에 따라 평가 한 점수가 47 점이라면 운용자 개입에 따른 요구기능 수준은 5단계라 할 수 있으며 환경기준 중 기후/기상 환경의 점수가 25점이라면 기후/기상 수준은 3단계이며, 지리/지형 환경의 점수가 32점이라면 지리/지형 수준은 4단계이다.

표 5. 환경수준(지상)
Table 5. Environmental standard(Ground)

Level	Score	Climate / Weather conditions (example)	Geography/Terrain conditions (example)
1	0-10	Ordinary temperature, clear weather, wind speed of 10m/s or less.	The ground is flat and there are no obstacles.
2	10-20	High/low temperature, clear weather, wind speed less than 10 m/s.	The ground is flat and there are small obstacles. (e. g trees, rocks.)
3	20-30	Ordinary temperature, weak rain rate level, wind speed less than 10m/s.	The ground is flat and there are obstacles that can not be blocked. (e. g river, structures)
4	30-40	Low temperature, weak snow, wind speed less than 10m/s.	The ground is flat and there are many obstacles to be blocked from view.
5	40-50	High/low temperature, clear weather, winds below 20m/s.	The ground is bumpy and there are no obstacles to obscure vision.
6	50-60	Ordinary temperature, cold a shower of rain with thunder and lightning, wind speed below 20m/s.	The ground is bumpy and there are many obstacles to obscuring human's vision.
7	60-70	Low temperature, snow/hail or hail, wind speeds of 20m/s or less.	There is a slope on the ground and there are many obstacles that obscure vision.
8	70-80	High/low temperature, clear weather, wind speeds of 20m/s or more.	The human eye can not grasp the visual field. (e. g cave, under ground)
9	80-90	Ordinary temperature, rain at the level of showers with thunder storms, wind speeds of 20m/s or more	The slope of the ground is higher. Difficult to human activities. (e. g polar regions, volcano)
10	90-100	Low temperature, large snowflakes or hail, strong wind above 20m/s	Special geographic and geographical situation. (e. g contaminated area, quake zone)

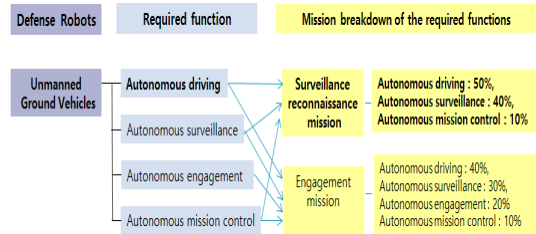


그림 3. 무인지상차량의 임무별 주요 기능
Fig. 3. Main functions of unmanned ground vehicles by mission

2.5 산출수식

본 논문에서는 요구기능수준과 환경수준을 모두 고려한 자율수준을 도출한다. 각 소요군별 요구기능 수준과 환경요인이 국방로봇 운용에 미치는 영향을 다룰 수 있으므로, 가중치를 고려해야 한다.

차후 국방로봇의 본격적인 소요와 획득이 시작되면 각 운용제대에서 활용될 국방로봇에 적합한 가중치 산출이 가능하므로 본 연구에서는 각 가중치에 대한 수식만 제시 하였다.

첫째, 요구기능수준 r_1 을 수식(1)과 같이 계산한다.

$$r_1 = \mathbf{x}^T \mathbf{w}_1 = \sum_{i=1}^n x_i w_{1i}. \quad (1)$$

여기서, 벡터 \mathbf{x} 와 \mathbf{w}_1 은 각각 요구기능수준 벡터와 요구기능수준 가중치 벡터이다. 벡터 \mathbf{x} 와 \mathbf{w}_1 을 각각 수식 (2)와 (3)으로 나타내었다.

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\mathbf{w}_1 = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ \vdots \\ w_{1n} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

여기서, x_1, x_2, x_3 는 각각 무인지상차량의 자율주행 기능수준, 자율감시 기능수준, 자율임무통제 기능수준이며, 요구 기능수준의 개수는 n 개다. 또한, w_{11}, w_{12}, w_{13} 는 각각 x_1, x_2, x_3 의 가중치이다.

둘째, 환경수준에 따른 자율수준 r_2 를 수식 (4)와 같이 도출할 수 있다.

$$r_2 = \mathbf{y}^T \mathbf{w}_2 = \sum_{i=1}^n y_i w_{2i}. \quad (4)$$

여기서, 벡터 \mathbf{y} 와 \mathbf{w}_2 는 각각 환경수준 벡터와 환경수준 가중치 벡터이다. 벡터 \mathbf{y} 와 \mathbf{w}_2 을 각각 수식 (5)와 (6)으로 나타내었다.

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\mathbf{w}_2 = \begin{bmatrix} w_{21} \\ w_{22} \\ \vdots \\ w_{2n} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

여기서, y_1, y_2, y_3 는 각각 기상/기후 수준, 지리/지형 수준, 기타 수준이며, 모든 환경 수준의 개수는 n 개다. 또한, w_{21}, w_{22}, w_{23} 는 각각 y_1, y_2, y_3 의 가중치이다.

셋째, 요구기능수준과 환경수준을 모두 고려한 자율수준은 수식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \mathbf{r}^T \mathbf{w}_3 = \sum_{i=1}^2 r_i w_{3i}. \quad (7)$$

여기서, 벡터 \mathbf{r} 과 \mathbf{w}_3 은 각각 수식 (8)과 (9)로 표현하며, 벡터 \mathbf{r} 의 엘리먼트 r_1, r_2 는 각각 앞서 도출한 요구기능수준과 환경수준이다.

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\mathbf{w}_3 = \begin{bmatrix} w_{31} \\ w_{32} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

수식 (9)에서, w_{31}, w_{32} 는 각각 r_1, r_2 의 가중치이다. 여기서, r_1, r_2 는 각각 앞서 도출한 요구기능수준과 환경수준이다.

III. 결 론

본 도출방법론에서는 소요군의 요구사항을 정량적으로 나타 낼 수 있도록 요구기능 기준과 환경기준을 고려한 통합된 요구수준을 산출하였으며, 이를 위해 산출식을 제시하였다. 또한 본 연구는 소요군의 요구 기능을 임무에 따라 정량화할 수 있기 때문에 추후 소요결정을 위한 판단의 근거자료로 활용이 가능할 것이다. 추후 연구는 실제 운용될 국방로봇에 이를 적용할 수 있는 적절한 평가 수행을 통해 검증기준과 검증기준의 측정 방법 등에 대한 보완이 필요하다. 더불어 소요군이 요구기능 기준 문항을 보다 쉽게 작성하기 위해 기존의 무기체계를 대상으로 하는 기술발전추세와 기술동향을 조사하는 등 국방과학기술조사서에서 제시하는 기술수준⁹⁾과는 별도로 국방로봇의 기능 및

역할분담에 대한 로봇생태계 중심의 기준 MAP 연구가 추가로 필요하다.

References

- [1] P.-S. Kim, "Technology and development trends related to human-friendly emotional robots" *J. KICS*, vol. 33, no. 8, p. 19, Jul. 2016.
- [2] Defense Acquisition Program Administration, *Defense unmanned robot technology: Defense unmanned robot technology development strategy*, Visual Infra. Corp., pp. 13-16. 2013.
- [3] Y. Choi, "Advanced advanced military capability building : Unmanned weapon system construction and operation strategy," *National Security research series*, vol. 2 no. 2, p. 251, Mar. 2014.
- [4] J.-O. Kim, 'Social demand' raises the robot industry(2015), Retrieved Nov. 14, 2016 from http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2015070802102351607001
- [5] SAE, *Automated driving level of driving automation are defined in new SAE International Standard J3016* (2014), Retrieved Nov. 10, 2016, from http://www.sae.org/servlets/pressRoom?OBJE CT_TYPE=PressReleases&PAGE=showRelease&RELEASE_ID=2715
- [6] NIST, *Autonomy Levels For Unmanned Systems* (2010), Retrieved Dec. 21, 2016, from <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/isd/ks/ALFUS-BG.pdf>. pp
- [7] B. Lee, "Trends and prospects of autonomous vehicle technology development at home and abroad," *J. KICS*, vol. 33, no. 4, p. 20, Jul. 2016.
- [8] Eom, Hong Seob "A design methodology of Infantry platoon using combat robots based on the combat effectiveness" *Kwangwoon University Graduate School, doctoral thesis*, pp. pp.28-31, 2016
- [9] H. S. Kim and K. J. Park, "A study on the defense IT survey and the acquisition method of IT technology" in *Proc. KICS Winter Conf.*, p. 495, Pyoungchang, Korea, Jan. 2014.

김 율 희 (Yull-Hui Kim)



2011년 3월 : 방위사업청 주무관
 2014년 2월 : 광운대학교 대학원 방위사업학과 공학석사
 2012년 3월~현재 : 광운대학교 방위사업연구소 연구원
 2014년 8월~현재 : 광운대학교 대학원 방위사업학과 박사과정 수료

<관심분야> 국방로봇, 방위사업

최 용 훈 (Yong-Hoon Choi)



1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
 1997년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 석사
 2001년 2월 : 연세대학교 전기전자 공학 박사
 2002년 3월까지 : (미)메릴랜드

주립대 Postdoctoral Research Associate
 2005년 8월 : LG 정보통신사업부 네트워크 연구소 책임연구원
 2005년 9월~현재 : 광운대학교 로봇학부 교수
 <관심분야> 통신네트워크, 국방로봇

김 진 오 (Jin-Oh Kim)



1983년 2월 : 서울대학교 기계공학과 졸업
 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 기계공학 석사
 1992년 8월 : Carnegie Mellon Univ. 로보틱스 박사
 1993년 12월 : 일본 SECOM 로봇그룹 연구원

1998년 9월 : 삼성전자 로봇사업부장
 1999년 3월~현재 : 광운대학교 로봇학부 교수
 <관심분야> 로봇공학, 국방로봇, 로봇설계