

국방분야에서 다중 무인지상무기체계의 협력적 결함 진단 및 치료에 관한 연구

김영균, 유석진, 안효철, 김영수
현대기아자동차 그룹 현대로템(주) 기술연구소

e-mail:ygkim@hyundai-rottem.co.kr

A Study on Cooperative Self-Diagnosis, Self-Healing of Multiple Unmanned Ground Vehicles in Defense

Young-Gyun Kim, Yu Suk Jin, Hyo-Chul Ahn, Young-Soo Kim
R&D Center of Hyundai Rotem Company, Hyundai-Kia Motors Group

요 약

국방분야의 무인지상무기체계(Unmanned Ground Vehicles)는 소프트웨어 결함 발생시 유인무기체계와 달리 응급 조치를 수행할 수 있는 사람이 탑승하지 않기 때문에 임무 수행에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 무인지상무기체계에 탑재되는 내장형 SW의 신뢰성 있는 임무 수행을 위한 방법을 필요로 한다. 본 연구에서는 무선 Ad-hoc 네트워크로 연결된 UGV의 SW 결함을 원격으로 진단하고, 치료하기 위한 방법에 대해 연구하였다. 국방분야의 무인무기체계에 탑재된 내장형 SW의 신뢰성을 높이기 위해 적용가능하다.

1. 서론

국방 분야의 무인무기체계(Unmanned Systems)의 소프트웨어 결함 발생은 많은 인적, 재산적 피해를 야기할 수 있다. 본 연구에서는 고속의 무선 에드혹 네트워크(Wireless Ad-hoc Network)로 제어되는 무인지상무기체계(UGV; Unmanned Ground Vehicles)의 소프트웨어 결함을 진단(Self-Diagnosis)하고, 결함 유형에 따라 결함을 치료(Self-Healing)하는 방법에 대해 연구하였다.

국방분야의 무기체계는 시스템의 정상작동 여부를 실시간으로 테스트하기 위한 BIT(Built-In Testing) 기능을 가지고 있다. 그러나, BIT는 사람이 탑승하여 점검을 위한 조작을 하고, 점검 결과에 따라 수작업으로 시스템의 이상 유형에 따라 조치를 수행하게 되는 수동적인 방법이다.

그러나, 무인무기체계는 사람이 탑승하지 않는 관계로 BIT를 수작업으로 수행하고, 결함 유형에 따라 수작업으로 조치를 취할 수 없게 된다. 또한 운영되고 있는 무인무기체계의 수량이 많아지면, 수작업으로 결함을 진단하고, 치료하는 것은 많은 시간을 필요로 하고, 비효율적이다. 이러한 특성을 갖는 무인무기체계에 있어서 결함의 자동 진단 및 진단 결과에 따라 자동으로 결함을 치료하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 기존의 국방 분야의 유인무기체계에서의 BIT 기능의 문제점을 무인무기체계에서 자동으로 수행하기 위한 방법에 대해 연구를 수행하였다.

2. 관련연구

최근 미국의 국방 분야에서 무인무기체계(Unmanned

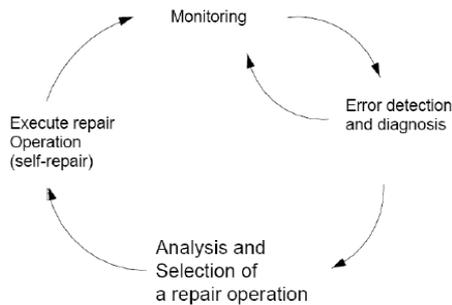
Systems)가 임무를 달성하는데 중요한 역할을 수행할 수 있음을 증명함에 따라 향후 무인무기체계의 수요는 지상, 해상 및 공중에서 지속적으로 증가할 예정이다[1]. 이러한 무인무기체계 시스템에 있어서 신뢰성 있는 임무 수행은 매우 중요하다. NIST의 Huang은 Self-Diagnosis를 센서들로부터 측정 정보를 획득하고 유효 데이터임을 검증하며, 다른 프로세스들과 지능적인 장치들에게 결과를 전송할 수 있는 능력이라고 정의하였다. 또한 Self-Healing은 하위구조와 하드웨어, 소프트웨어 측면을 포함하여 시스템의 수리를 자동 또는 반자동으로 수행할 수 있는 능력으로 정의 하였다[3].

<표 1> Problem space model elements

Fault model:	Fault duration Fault manifestation Fault source Granularity Fault profile expectations
System response:	Fault Detection Degradation Fault response Fault recovery Time constants Assurance
System completeness:	Architectural completeness Designer knowledge System self-knowledge System evolution
Design context:	Abstraction level Component homogeneity Behavioral predetermination User involvement in healing System linearity System scope

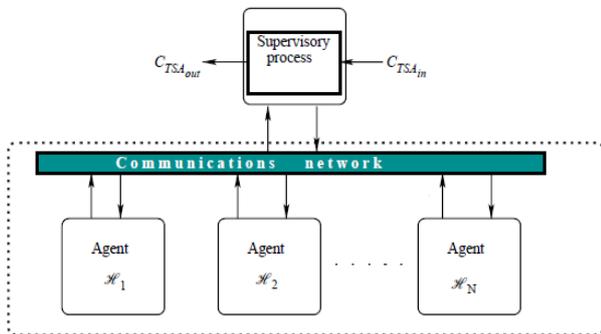
카네기 멜론 대학(CMU)의 Philip Koopman은 표1과 같이 Self-Healing 시스템에서 문제 공간의 구성요소로 Fault model, System response, System completeness, Design context 로 분류하여 연구를 수행하였다[2].

Sharee S. Laster는 Self-Healing을 시스템의 오작동 (Malfunctions)을 발견, 진단 및 조치를 수행할 수 있는 시스템의 능력으로 정의하고 그림 1과 같이 Self-Healing 시스템 프로세스로 Autonomic Computing에 대해 연구하였다[4].



(그림 1) Self-Healing 시스템 프로세스

K. Fregene는 그림 2와 같이 다중에이전트(Multiagent)를 이용하여 UGV들간의 협력적인 제어에 관한 연구를 수행하였다[5].



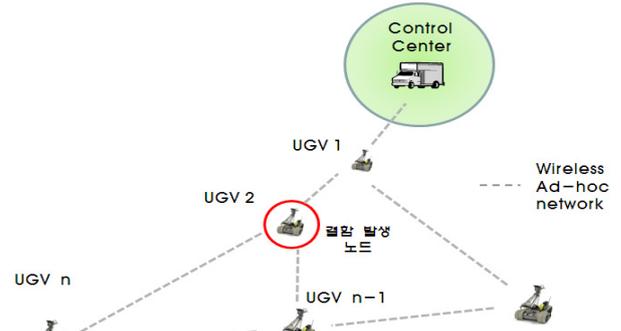
(그림 2) 다중 에이전트 시스템

3. 제안한 결함 진단 및 치료 시스템

3.1 시스템의 구성

본 연구에서 제안한 시스템은 그림 3과 같이 구성되어 있다. 그림 3에서 UGV는 무선 Ad-hoc 네트워크를 통해 Control Center에 접속되고, Control Center는 무선으로 원격에서 UGV의 임무를 통제한다. 각 UGV는 GPS를 내장하고 있어서 자신의 위치를 Control Center 및 인접한 UGV에 통보한다고 가정한다. 그림 3은 여러 대의 UGV가 역할을 나누어 넓은 지역을 빠르게 임무를 수행하는 경우를 나타낸다. UGV와 Control Center, UGV와 UGV간에는 고속의 무선 에드혹 네트워크를 통해 통제되고, 필요한 데이터를 송수신한다. 그림 3의 UGV 2에서 소프트웨어 결함이 발생하여 임무를 정상적으로 수행할 수 없는 경우, Control Center에서 에드혹 네트워크를 통해 UGV 2의 결함을 원격으로 제거하고 정상적인 임무 수행이 가

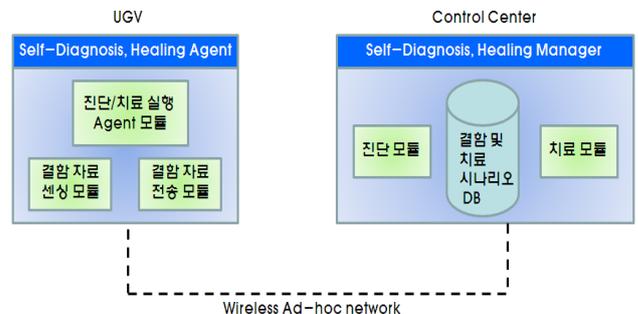
능하도록 한다.



(그림 3) 다중 무인지상무기체계의 임무 수행

장애물에 의한 통신 장애 등의 이유로, 이러한 방법으로 UGV 2의 결함 치료가 불가능한 경우, 가장 인접한 UGV를 이동시켜 통신이 가능하도록 에드혹 네트워크를 형성하여 UGV 2의 결함을 치료하고 정상적인 임무 수행이 가능하도록 한다. 제안한 시스템은 결함을 진단한 결과에 따라 결함 유형을 결정하고, 결함 유형에 따라 사전에 정의된 결함 치료 시나리오에 따라 결함 치료를 수행한다.

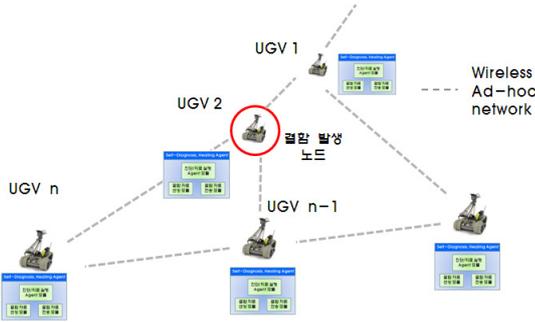
그림 3과 4와 같이 Control Center의 서버에는 Self-Diagnosis, Self-Healing Manager가 수행되고, 각각의 UGV에는 Self-Diagnosis, Self-Healing Agent가 수행된다. UGV에서 수행되는 Agent는 주기적으로 결함 자료 센싱 모듈을 통해 UGV 내의 각 장치에서 수행중인 임무 수행 SW 모듈들의 정상 작동 유무와 수행 중 자료를 수집하여 Control Center에 에드혹 네트워크를 통해 전송한다.



(그림 3) UGV의 결함 진단/치료 시스템

Self-Diagnosis, Self-Healing Manager는 결함 및 치료 시나리오 DB를 사용하여 UGV로부터 수집된 데이터를 분석하여 UGV 내의 각 장치별 SW 모듈의 정상 수행 유무와 결함 유형을 식별한다. 임의의 UGV로부터 수신한 자료를 분석한 결과 UGV의 SW 모듈에 결함이 발견되면, 분석된 결함 유형별 설정된 치료 시나리오에 따라 치료모듈을 통해 치료를 수행하는 Agent를 UGV로 전송한다. UGV의 진단/치료 실행 Agent 모듈은 수신된 치료 Agent를 실행하여 UGV내의 이상 SW 모듈의 결함을 치료한다. Control Center의 Self-Diagnosis, Self-Healing Manager는 진단모듈이 분석한 결함 유형에 따라 치료 Agent를

UGV에 파견한다.



(그림 4) 각 UGV에서 수행중인 Agent

표 2와 같이 사전에 정의된 결함 및 치료 시나리오 DB를 사용하여 UGV내의 장치 제어기별 내장된 SW 모듈의 결함 유형에 따라 사전 정의된 치료 시나리오를 수행하는 치료 Agent를 파견하여 결함 치료를 수행한다.

<표 2> 결함 유형별 치료 시나리오 및 치료 Agent

SW 모듈	결함 유형	치료 시나리오	치료 Agent
제어기 1, SW 모듈 1	실행 코드 변형	1. 실행 코드 전송 2. 실행 코드 재설치 3. 재설치된 실행코드 실행	Agent 1
...	...	...	Agent 2
제어기 N, SW 모듈 N	아워 버전 설치	1. 현재 버전 제거 2. 상위 버전 전송 3. 상위 버전 설치 4. 새 버전 실행	...
센서 1, SW 모듈 1	...	...	...
...	...	...	Agent N-1
센서 N, SW 모듈 N	...	...	Agent N

본 연구에서 제안한 결함 진단 및 치료 시스템의 장점은 복잡한 결함 진단 및 치료 SW와 DB를 Control Center에서 수행하고, UGV에 내장하지 않아도 되기 때문에 UGV의 임무 수행 SW가 단순화 되는 장점이 있다.

3.2 결함 진단 및 치료 시간 분석

제안한 방법에서의 결함 진단 및 결함 치료에 소요되는 시간을 인접한 UGV를 사용하지 않고 결함을 치료하는 경우 Case I과 인접한 UGV를 사용하여 결함을 치료하는 경우 Case II로 나누어 분석하였다.

[Case I] 결함 진단에 소요된 총소요 시간 $T_{diagnosis}$ 은, 진단에 소요된 통신시간을 $T_{communication_diagnosis}$ 라고 하고, 실제 결함 진단에 소요된 시간을 $T_{execution_diagnosis}$ 이라 하면,

$$T_{diagnosis} = T_{communication_diagnosis} + T_{execution_diagnosis}$$

N개의 노드로 구성된 에드혹 네트워크의 통신 경로를 사용하여 통신이 이루어질 때, 노드간 P bytes를 전송하는데 소요되는 평균 통신 소요시간을 D라 하면, 총 통신 소요시간은

$$T_{delay} = (N-1) \times D,$$

따라서 진단에 소요된 총 소요시간은

$$T_{diagnosis} = (N-1) \times D + T_{execution_diagnosis}$$

결함 치료에 소요되는 시간 $T_{healing}$ 은, 치료에 소요된 통신 시간을 $T_{communication_healing}$, 치료를 수행하는데 소요된 시간을 $T_{execution_healing}$ 라 하면,

$$T_{healing} = T_{communication_healing} + T_{execution_healing}$$

결함 진단 및 치료까지 소요되는 총 시간은

$$T_{total} = T_{diagnosis} + T_{healing}$$

[Case II] 인접한 노드의 UGV가 이동하여 에드혹 네트워크를 형성하여 통신하는 경우, 인접한 노드의 UGV가 결함이 발생한 UGV로 이동하는 시간을 T_{move} 라하면, 결함 진단 및 치료에 소요되는 총 소요시간은

$$T_{total} = T_{move} + T_{diagnosis} + T_{healing} + D$$

4. 결론

향후 국방 분야에서 무인무기체계의 수요는 지속적으로 증가할 것이다. 그러나, 신뢰성 있는 임무 수행을 보장하기 위한 방법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 무인무기체계중 하나인 UGV의 신뢰성 있는 임무 수행을 보장하기 위한 방법 중 하나로써 Control Center 및 인접한 UGV를 사용하여 결함 발견 및 치료를 수행하는 협력적인 Self-Diagnosis, Self-Healing에 관해 연구하였다. Ad-hoc 네트워크를 통해 원격 진단 및 치료를 수행하도록 함으로써, UGV에 진단 및 치료에 필요한 모든 실행코드와 DB를 내장하지 않아도 되는 장점이 있다.

제안한 시스템은 국방 분야의 무인지상무기체계의 신뢰성 있는 임무수행을 위해 적용가능하며, 향후에 결함 유형별 치료 시나리오 DB 구축에 관한 상세한 연구가 수행되어야 한다.

참고문헌

[1] DoD, Unmanned Systems Integrated Roadmap(FY2009-2034), pp. 1, 2009
 [2] Philip Koopman, "Elements of the Self-Healing System Problem Space", Workshop on Architecting Dependable Systems/WADS03, May 2003
 [3] Hui-Min Huang, Autonomy Levels for Unmanned Systems(ALFUS) Framework, Volume I, Version 1.1, pp. 17, September 2004
 [4] Sharee S. Laster, "Autonomic Computing: Towards a Self-Healing System", Proceeding of the Spring 2007 American Society for Engineering Education Illinois-Indiana Section Conference, 2007
 [5] K. Fregene, "A Class of intelligent agents for coordinated control of outdoor terrain mapping UGVs", Engineering Applications of Artificial Intelligence 18, pp. 513-531, 2005