

## 무인차량의 자율주행을 위한 지역경로계획 매니저

### Local Path Planning Manager for Autonomous Navigation of UGV

이영일\*      이호주\*      박용운\*  
Young-il Lee      Ho-Joo Lee      YongWoon Park

#### Abstract

The Mission environment of UGV(Unmanned Ground Vehicle) has a complexity and variety, and the status of system and sensor is dependent on the environment factors such as operation time, the weather and road type. It is necessary for UGV to cope adaptively with the various mission types, operation modes and operation environment as human operators do. To satisfy this necessity, we present an autonomy manager based on the autonomous architecture. In this paper, we design a path planning software architecture and LPP manager by using open autonomous architecture which is previously designed by ADD. Field test is conducted with UGV in order to verify the performance of LPP Manager based on the Autonomous Architecture with scenarios.

Keywords : Autonomous Navigation, LPP(Local Path Planning), Autonomy Manager, LPP Manager, Autonomous Architecture

#### 1. 서론

근래에 들어 행성탐사, 재난 극복, 인명구조, 험지 및 야지에서의 감시/정찰 임무를 수행하는 군사 로봇 및 서비스 로봇의 활용성이 부각되고 있다. 이는 극한 환경에서 이루어지는 3D 작업에 대한 기피현상과 인명중시 풍토에 맞물려 무인로봇에 대한 기대감과 필요성은 더욱 빠르게 부각되어지고 있다. 지상에서 운용되는 무인차량(Unmanned Ground Vehicle)이 인간을 대신하여 주어진 임무를 합리적으로 완수하기 위해서는 인식(Perception), 판단(Cognition) 그리고 행동(Action)과

같은 기본적인며 계층적인 능력이 요구된다<sup>[1]</sup>. 무인차량의 임무 환경은 획일화되지 않는 복잡성과 다양성을 지니며 무인차량의 센서 및 시스템의 상태 또한 시간, 날씨, 주행 장소와 같은 환경적인 요소에 의존성을 가진다. 이와 같이 다양한 임무유형, 운영모드 그리고 환경에서 무인차량이 인간의 임무수행 능력처럼 유연하고 적응적으로 대처하고 운용되기 위해서는 자율주행을 위한 자율 매니저(Autonomy Manager)가 요구된다. 자율 매니저는 무인차량의 S/W에 대한 관리자로서 시스템이 수행할 임무 및 운용환경과 더불어 다양한 시스템 운용 정보를 기반으로 각 구성 컴포넌트인 월드 모델, 경로계획 그리고 주행/자세제어에 대한 하부 매니저를 통합적으로 관리하는 역할을 수행한다.

본 논문에서는 ADD에서 기설계한 개방형 자율 아키텍처<sup>[2,3]</sup>를 활용하여 경로계획 소프트웨어 아키텍처

† 2010년 7월 23일 접수~2010년 11월 19일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이호주(hojoolee@yahoo.com)



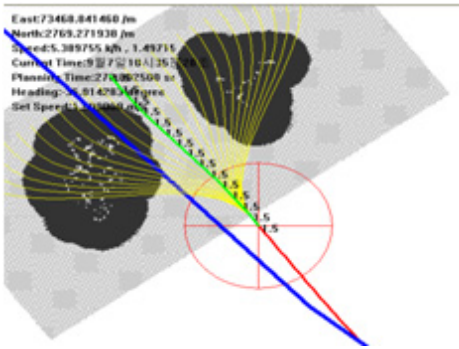


Fig. 2. RANGER 알고리즘

where,  $s$  : 무인차량 진행방향의 좌표,  $d_T$  : 후보경로 간 끝점 간격(진행방향의 수직방향),  $s_T$  : 무인차량 진행방향의 후보경로 길이

나. A\* 알고리즘 기반 LPP

A\* 알고리즘은 가장 널리 알려진 휴리스틱 탐색기법으로 ‘언제나 최적의 경로를 산출한다’는 허용성 (Admissibility)이 검증된 알고리즘이다<sup>[10]</sup>. 다시 말해 A\* 알고리즘을 활용한 LPP는 주어진 목표점까지의 최적의 경로생성을 보장한다는 의미이다. 하지만, 시작점에서 목표점까지의 탐색공간이 넓어질수록 과도한 CPU 타임과 메모리를 요구한다는 문제점이 있다. A\* 알고리즘 기반 LPP는 탐색공간에 제약이 가해지지 않으면서, 비교적 노면의 상태가 양호한 야지인 Soft Terrain에서의 지역경로계획에 적합하다. A\* 알고리즘은 기본적으로 많이 알려져 있기 때문에 본 논문에서는 알고리즘 자체를 언급하지 않는다.

다. MA\* 알고리즘 기반 LPP

앞 절에서 언급한 두 알고리즘은 지형감지센서의 입력으로부터 추출한 높이장애물로 구성된 장애물지도를 활용한다. 따라서 다양한 경사도와 거칠기를 보유한 노면인 Rough Terrain에서 두 알고리즘을 활용하기에는 적합하지 않다. 이런 야지에서 무인차량이 주행하기 위해서는 높이장애물 정보뿐만 아니라 지형의 공간적 특성인 경사도와 거칠기 정보를 활용한 주행성분석이 선행되어야 한다. Fig. 1의 DVGM 컴포넌트가 이러한 역할을 수행하며, 결과물인 DVGM의 특정 격자에는 무인차량이 주행 가능한 속도를 방향별로 추정하여 저장하고 있다. Modified A\* 알고리즘은 DVGM 기반에서 휴리스틱 탐색기법을 수행할 수 있도록 기존의 A\* 알

고리즘을 보완한 알고리즘으로 식 (2)와 같은 주행시간 기반의 평가함수를 가진다.

$$f(n) = g(n) + h(n) \tag{2}$$

$$g(n) = g(n-1) + \frac{d(i-1,i)}{v_{i-1}} \tag{3}$$

$$h(n) = \frac{d_{\min}(i, goal)}{\bar{v}} \tag{4}$$

where,  $v_i$  : Grid i의 주행속도,  $d(i,i+1)$  : 두 격자간의 이동거리,  $d_{\min}(i,i+1)$  : 두 격자간의 추정 최소거리,  $\bar{v}$  : 특정격자 i에서 목표점까지의 평균속도

3. 지역경로계획 자율 매니저

무인차량은 여러 형태의 지형환경에서 다양한 임무를 수행할 수 있어야 하는데, 이를 위해서는 주어진 임무의 유형/모드, 위험도 정도, 환경적 요소 그리고 무인차량의 상태정보에 적응적으로 대응 가능한 자율 매니저를 필요로 한다. 특히, 본 논문에서 제안하는 지역경로계획 구성 컴포넌트들은 Fig. 3에 보이는 LPP 자율 매니저를 활용하여 이러한 요소에 의해 영향 받는 지역경로산출의 성향 및 정책을 결정한다. LPP 자율 매니저의 핵심은 LPP 모듈을 구성하는 네 가지 컴포넌트인 DVGM, RANGER, A\* 그리고 MA\* 컴포넌트들간에 이루어지는 ‘평가’ 및 ‘수정’에 있다. ‘평가’란 단위 컴포넌트에서 수집한 무인차량이 처한 현재의 상태나 환경에 대한 분석적 정보를 의미하며 이는 자율 매니저에게 보고된다. ‘수정’은 타 컴포넌트에서 보고 받은 평가정보를 기반으로 해당 매니저가 의사결정을

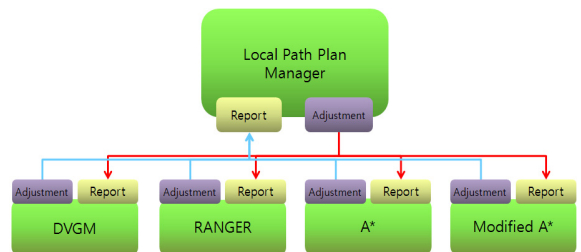


Fig. 3. LPP 자율 매니저

수행한 후 동일단계 혹은 하위단계에 있는 다른 컴포넌트의 운용모드 및 설정에 대한 실시간 제어를 의미한다. 본 장에서는 현재 수행중인 임무모드, 특정 컴포넌트의 운용모드, 상태정보 그리고 환경적 요소에 대한 ‘평가’ 및 ‘수정’ 정보를 송/수신하기 위한 데이터 구조와 메시지를 정의한다.

가. 공통적인 매니징 요소

지역경로계획 모듈을 구성하는 모든 컴포넌트들이 공통적으로 LPP 자율 매니저와 주고받는 평가 및 설정정보를 위한 데이터 구조가 Table 1에 보인다. 예를 들어, 무인차량의 주행환경이 포장도로에서 야지로 변경될 경우 LPP 자율 매니저는 ‘G\_Road\_Type’ 필드를 통해 해당 정보에 대한 ‘평가’ 보고를 받게 되고 ‘G\_Banks’ 필드를 통해 야지에 적합한 LPP 알고리즘을 선택하여 ‘수정’을 수행하게 된다.

Table 1. 공통적인 평가 및 설정 구조체

Field	Type	Description
G_EV_MD	enum8_t	LPP Manager 활성화 여부
G_Banks	enum8_t	LPP 알고리즘 Banks
G_Navi_Mode	enum8_t	항법 상태 정보
G_Road_Type	enum8_t	주행 도로에 관한 정보
G_Fixed_Vel	u_scaled16_t	고정속도 주행모드 활성화
G_WP_Tracking	enum8_t	GPP경로점 갱신 정책 설정
G_Coordinates	enum8_t	좌표계(상대/절대) 설정
G_Obst_Height	u_int16_t	장애물 검출 높이값 설정

나. DVGM 컴포넌트와의 매니징 요소

DVGM 컴포넌트는 Modified A\* 컴포넌트에서 활용되는 방향별 주행성속도지도와 RANGER 및 A\* 컴포넌트에서 활용되는 장애물지도를 생성하는 역할을 한다. 이러한 지도생성의 성향 및 정책 결정을 위해 LPP 자율 매니저와 주고받는 평가 및 설정정보의 데이터 구조가 Table 2에 보인다. 예를 들어, 임무계획 및 전역경로계획에서 설정된 임무의 수행모드가 새롭게 변경되어 해당 ‘평가’ 정보가 LPP 자율 매니저에게 보고되면, 자율 매니저는 새로운 임무모드에 맞게 DVGM 컴포넌트의 운용모드를 ‘D\_OP\_Mode’ 필드를 통해 적절하게 ‘수정’ 하게 된다.

Table 2. DVGM을 위한 평가 및 설정 구조체

Field	Type	Description
D_OP_Mode	enum8_t	DVGM의 운용모드 설정
D_Obst_Mode	enum8_t	CA or Obstacle Zone 설정
D_Max_Slope	u_int8_t	최대 등판각도 설정
D_Max_RollOver	u_int8_t	Roll Stability 유지 최대각
D_NumofFNG	u_int8_t	퍼지추론의 FNG 격자 크기
D_NumofTBD	u_int8_t	장애물검출 시 TBD 개수
D_Detect_Zone	u_int8_t	장애물검출 시 검색 범위
D_Numof_ObstGrid	u_int8_t	G_Obst_Height를 초과하는 격자 개수

다. RANGER 컴포넌트와의 매니징 요소

RANGER 컴포넌트는 포장 도로 및 Cross Country에서의 실시간 지역경로계획에 적합한 알고리즘으로, World Model 데이터의 상태나 항법정보의 상태 또는 장애물의 분포빈도에 따라 생성되는 후보경로의 형태가 결정되는 특징을 가진다. Table 3에는 RANGER 컴포넌트가 LPP 자율 매니저와 주고받는 평가 및 설정정보를 위한 데이터 구조가 보인다. 예를 들어, LPP 자율 매니저가 ‘R\_OP\_Mode’ 필드를 통해 RANGER 컴포넌트의 운용모드가 ‘안전우선’에서 ‘속도우선’로 전환되었음을 보고받게 되면, 자율 매니저는 ‘R\_NumofCycle’, ‘R\_NumofCP’, ‘R\_Resolution\_St’,

Table 3. RANGER를 위한 평가 및 설정 구조체

Field	Type	Description
R_OP_Mode	enum8_t	RANGER의 운용모드 설정
R_Resol_BM	u_scaled16_t	Binary Map의 해상도
R_NumofCycle	u_int8_t	후보경로 생성 Cycle 회수
R_NumofCP	u_int16_t	생성되는 후보경로 개수
R_Resolution_St	u_int16_t	진행방향의 후보경로 길이
R_LookDistance	scaled32_t	GPP경로점 갱신 거리 설정
R_Freq_Exec	u_int32_t	RANGER 실행 주기
R_Resolution_Dt	u_scaled32_t	후보경로간 끝점 간격
R_Bypass	u_int8_t	BYPASS Mode 설정

‘R\_Resolution\_Dt’, 그리고 ‘R\_Freq\_Exe’ 필드를 통해 생성되는 후보경로의 반복횟수, 개수, 길이, 끝점 간격과 알고리즘의 실행 주기를 ‘속도우선’ 운용모드에 맞게 적응적으로 제어하게 된다.

라. A\* 컴포넌트와의 매니징 요소

A\* 컴포넌트는 격자기반의 장애물지도를 활용하는 트리 탐색기법인 A\* 알고리즘을 무인차량의 지역경로 계획에 적용한다. 격자지도를 활용하는 지역경로계획 알고리즘들의 성능은 격자의 해상도에 상당부분 의존성을 가지게 된다. 다시 말해, 격자 크기인 ΔG가 클수록 빠른 계산시간과 적은 메모리 요구량을 보장하지만, 좁은 통로 영역이나 다수의 장애물이 존재하는 영역에서의 섬세한 지역경로계획이 어려워진다는 단점을 가진다. 또한, 격자기반의 A\* 알고리즘을 무인차량에 탑재 가능한 실질적인 지역경로계획 기법으로 활용하기 위해서는 몇 가지 해결해야 할 문제점들이 존재한다<sup>[1]</sup>. 이러한 문제의 해결을 위해서는 다수의 관련 컴포넌트들에 대한 ‘평가’ 정보를 기반으로 적응

적인 ‘수정’이 요구되게 된다. 이러한 EV-MD를 위해 A\* 컴포넌트가 LPP 자율 매니저와 주고받는 평가 및 설정정보의 데이터 구조가 Table 4에 보인다.

마. MA\* 컴포넌트와의 매니징 요소

MA\* 컴포넌트는 DVGM 컴포넌트에서 생성한 방향별 주행성속도지도를 활용하여 지역경로계획을 수행할 수 있도록 변형된 A\* 알고리즘을 채용한다. MA\* 컴포넌트 역시 A\* 컴포넌트와 마찬가지로 격자지도 기반의 지역경로계획 알고리즘으로서 앞 절에서 언급한 동일한 문제점들을 가지게 되며, 이를 해결하기 위해 LPP 자율 매니저와 주고받는 평가 및 설정정보의 데이터 구조가 Table 5에 보인다.

Table 4. A\* 컴포넌트를 위한 평가 및 설정 구조체

Field	Type	Description
A_OP_Mode	enum8_t	AStar 운용모드 설정
A_Bypass	u_int8_t	BYPASS Mode 설정
A_Resol_BM	u_scaled16_t	Binary Map의 해상도
A_LookDistance	u_scaled32_t	GPP경로점 갱신 거리 설정
A_Virtual_Obst	u_int8_t	장애물확장 격자 개수
A_Smoothing	u_int16_t	경로 Smoothing Size 설정
A_Smoothing_Resolution	u_int16_t	Smoothing 포인트 간 해상도
A_Tendency_SP	u_scaled16_t	Tendency check 시작지점
A_Threshold_Tendency	int16_t	Tendency check를 위한 New Goal 선정 offset
A_Penalty_WF	u_scaled16_t	Penalty Weighting Factor
A_Threshold_GoalSelection	int16_t	penalty weight 적용을 면제 받는 좌우격자 개수차이
A_Fail_Count	u_int16_t	알고리즘 Fail 횟수
A_Fail_Resol	u_scaled16_t	Fail시 BM의 해상도

Table 5. MA\* 컴포넌트를 위한 평가 및 설정 구조체

Field	Type	Description
MA_Resol_BM	u_scaled16_t	DVGM의 해상도
MA_LookDistance	u_scaled32_t	GPP경로점 갱신 거리 설정
MA_Virtual_Obst	u_int8_t	장애물확장 격자 개수
MA_Smoothing	u_int16_t	경로 Smoothing Size 설정
MA_Smoothing_Resolution	u_int16_t	Smoothing 포인트 간 해상도
MA_Tendency_SP	u_scaled16_t	Tendency check 시작지점
MA_Threshold_Tendency	int16_t	Tendency check를 위한 New Goal 선정 offset
MA_Penalty_WF	u_scaled16_t	Penalty Weighting Factor
MA_Threshold_GoalSelection	int16_t	penalty weight 적용을 면제 받는 좌우격자 개수차이

바. 자율 매니징을 위한 운용 메시지

앞 절에서 언급한 평가 및 설정 구조체들을 통해 LPP 자율 매니저가 지역경로계획 구성 컴포넌트들과 정보를 주고받기 위해서는 Table 6에 보이는 다양한 메시지가 요구된다. 개별 컴포넌트에서 운용되는 메시지는 운용 데이터의 특성 및 목적에 따라 서로 다른 방법으로 송수신되는데, 본 논문에서는 Call Method, Signal Method 그리고 Event Method와 같은 세 종류로 식별하였다. Call Method란 비주기로 운용되며 수신측에서 정상적인 수신확인 및 응답이 있을 때까지 송신측에서 기다리는 형태의 방식을 의미하며, Signal

Method는 비주기로 운용되며 단방향으로 데이터를 송신하는 구조를 가지는 방식이다. 마지막으로 Event Method는 사전에 정의된 이벤트가 발생하면 비주기로 보고하도록 데이터를 송수신하는 방식을 의미한다.

Table 6. LPP 자율 매니저에서 운용되는 메시지

Message	Type	Description
Set_General_Mngmnt	Signal	공통적 매니징 요소 설정
Set_DVGM_Mngmnt	Signal	DVGM 매니징 요소 설정
Set_RANGER_Mngmnt	Signal	RANGER 매니징 요소 설정
Set_AStar_Mngmnt	Signal	A* 매니징 요소 설정 메시지
Set_MASStar_Mngmnt	Signal	MA* 매니징 요소 설정
Get_General_Mngmnt	Call	공통적 매니징 요소 확인
Get_DVGM_Mngmnt	Call	DVGM 매니징 요소 확인
Get_RANGER_Mngmnt	Call	RANGER 매니징 요소 확인
Get_AStar_Mngmnt	Call	A* 매니징 요소 확인 메시지
Get_MASStar_Mngmnt	Call	MA* 매니징 요소 확인
Report_AStar_Fail	Event	A* 연산 실패 보고 메시지
Report_MASStar_Fail	Event	MA* 연산 실패 보고 메시지
Emergency_Vel_Down	Signal	무인차량 비상(감속)
Emergency_Stop	Signal	무인차량 비상(비상 정지)
Request_AStar_Resol	Event	A*의 초기해상도로 복구요청
Request_MA_Resol	Event	MA*의 초기해상도 복구요청
Report_Goal_Change	Event	새롭게 추종하는 Goal 보고
Broadcast_New_Goal	Signal	New Goal에 대한 정보 공유

#### 4. 시험 결과 및 분석

##### 가. 시험환경 및 시나리오

본 논문에서 제안한 자율 아키텍처 기반 LPP 자율 매니저의 성능검증을 위해 무인자율차량을 이용한 시험을 수행한다. 시험환경은 Fig. 4에 보이는 것처럼 비교적 노면의 상태가 양호한 야지인 Soft Terrain이며, 시험 시나리오는 Table 7과 같다. Soft Terrain에 여러 개의 인공장애물을 V자 형태로 배치한 후 폭이

넓은 입구 밖의 시작점에서 장애물 반대편에 위치한 목표점까지 무인차량을 자율주행 시키며 제안한 LPP 자율 매니저의 성능을 검증한다. V자 형태 통로의 출구 넓이는 무인차량의 폭보다 조금 넓은 대략 3m정도이다. 시나리오 s1에서는 자율 매니저를 활성화시키지 않은 상태에서 자율주행을 수행하며, 시나리오 s2에서는 자율 매니저를 활성화시켜 자율주행을 수행한다.



Fig. 4. 시험 환경 및 장애물 배치

Table 7. LPP 자율 매니저 검증을 위한 시나리오

#	Situation	Banks	ΔG	V Type Corridor	
s1	Manager Inactiv.	MA*	1.1m	In	more 10m
				Out	about 3m
s2	Manager Activ.	MA*	1.1m	In	more 10m
				Out	about 3m

##### 나. 시나리오 s1에 대한 자율주행 결과 분석

본 절에서는 LPP 자율 매니저를 비활성화 시킨 시나리오 s1에 대한 자율주행 결과를 분석한다. s1의 지역경로계획에 사용된 알고리즘은 Modified A\*이며, 활용된 지도는 DVGM으로 초기 격자해상도는 1.1m이다. 무인차량이 자율주행을 시작하여 V자 형태의 통로에 진입한 후, 대략 5m 정도 주행 중 Fig. 5에서처럼 알고리즘이 연산을 실패하여 ‘Report\_MASStar\_Fail’ Event Method가 발생하였다. 이 메시지는 ‘Emergency\_Stop’ Signal Method를 발생시켜 Fig. 6에 보이듯 무인차량이 비상정지를 수행하여 주행이 멈추었다. 격자기반의 지역경로계획 알고리즘은 월드모델에서 탐지한 장애물의 크기를 실제보다 특정거리만큼 확장하여 사용하는

데, 이는 무인차량의 운동성으로 인해 회전을 위한 최소 차량길이 반만큼의 여유 공간이 요구되기 때문이다<sup>[1]</sup>. 이러한 이유로 차량이 실제 주행할 수 있는 넓이의 통로도 장애물확장으로 인해 Fig. 5에서처럼 통과할 수 없게 되어 무인차량의 자율주행이 실패하게 되는 문제점이 발생하였다.

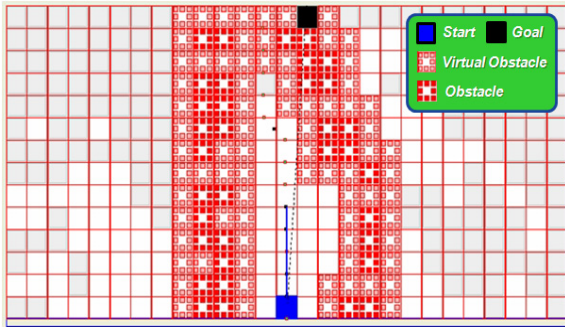


Fig. 5. 시나리오 s1 자율주행 중 발생한 비상정지



Fig. 6. 시나리오 s1에 대한 자율주행 결과

다. 시나리오 s2에 대한 자율주행 결과 분석

본 절에서는 LPP 자율 매니저를 활성화시킨 시나리오 s2에 대한 자율주행 결과를 분석한다. s2의 지역경로계획에 사용된 알고리즘은 MA\*이며, 활용된 지도는 DVGM으로 초기 격자해상도는 1.1m이다. 시나리오 s1의 자율주행과 동일하게 통로진입 후 대략 5m 정도 주행 중 Fig. 7의 ①과 같이 장애물확장으로 인해 통로가 막혀 ‘Report\_MASStar\_Fail’ Event Method가 LPP 자율 매니저에게 보고된다. 자율 매니저는 A\* 컴포넌트에게는 알고리즘 활성화에 대한 ‘수정’을 그리고 DVGM 컴포넌트에게는 새로운 격자해상도에 대한 ‘수정’을 지시한다. A\* 컴포넌트는 DVGM 컴포넌트가

제공해주는  $\Delta G$  0.6m의 Binary Map를 기반으로 Fig. 7의 ②에서처럼 지역경로계획을 수행한다. 무인차량이 폭이 좁아지는 출구 방향으로 더욱 진행할수록 Fig. 7의 ③에서처럼  $\Delta G$  0.6m의 해상도에서도 통로가 막혀 ‘Report\_AStar\_Fail’ 메시지가 발생하여 LPP 자율 매니저에게 보고된다. LPP 자율 매니저는 A\* 컴포넌트와 DVGM 컴포넌트에게 새로운 해상도인  $\Delta G$  0.4m에 대한 ‘수정’을 지시한다. A\* 컴포넌트는 DVGM 컴포넌트가 제공해주는  $\Delta G$  0.4m의 Binary Map를 기반으로 Fig. 7의 ④에서처럼 지역경로계획을 수행하게 되며, 장애물의 밀도가 특정 임계치보다 작아지면 LPP 자율 매니저는 Fig. 7의 ⑤와 ⑥에서처럼 DVGM 컴포넌트의 격자 해상도를 0.6m와 1.1m로 차츰 복귀시키면서 지역경로계획을 수행함을 확인할 수 있다. Fig. 8은 무인차량이 V자 모양의 좁은 통로를 최종적으로 탈출하여 자율 주행한 결과를 보여준다.

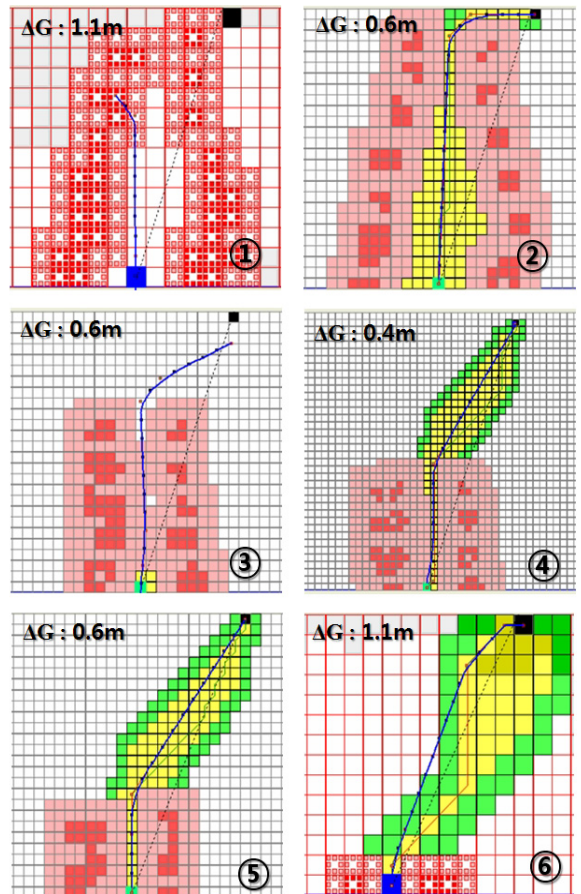


Fig. 7. 시나리오 s2에서의 LPP 자율 매니저



Fig. 8. 시나리오 s2에 대한 자율주행 결과

## 5. 결론

본 논문에서는 ADD에서 기설계한 개방형 자율 아키텍처를 활용하여 경로계획 소프트웨어 아키텍처를 설계하였으며, 또한 이에 기반을 둔 지역경로계획 매니저를 제안하였다. 지역경로계획 모듈을 구성하는 네 가지 컴포넌트인 DVGM, RANGER, A\* 그리고 MA\* 컴포넌트로부터 적절한 평가정보를 제공받아 특정 컴포넌트의 성향 및 정책을 실시간으로 변경가능토록 설계하여 지역경로계획 모듈의 적응적인 운용을 가능토록 하였다. 이를 위해 현재 수행중인 임무모드, 특정 컴포넌트의 운용모드, 상태정보 그리고 환경적 요소에 대한 평가 및 수정 정보를 송/수신하기 위한 데이터구조와 메시지를 정의하였다.

제안한 자율 아키텍처 기반 지역경로계획 매니저의 성능은 비교적 노면의 상태가 양호한 야지에 설치된 V자 모양의 좁은 통로에서 실시한 자율주행 시험을 통해 검증하였으며, LPP 자율 매니저가 활성화된 상태에서는 매니저와 구성 컴포넌트들 간의 적응적인 ‘평가’ 및 ‘수정’을 통해 비상정지나 충돌 없이 좁은 통로를 자율 주행함을 확인할 수 있었다.

## References

- [1] 이영일, 이호주, 고정호, “무인차량의 주행성능을 고려한 장애물 격자지도 기반의 지역경로계획”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 13, No. 2, April, 2010.
- [2] 박용운, 강태하, 강신천, 류철형, 지태영, 고정호, “개방형 아키텍처 기반의 자율주행기술 구현”, 국방정보 및 제어 학술대회, pp. 176~178, 2006.
- [3] 박용운, 김준, 류철형, 최덕선, 지태영, 이승연, “JAUS 기반의 국방지상로봇 개발”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 875~878, 2005.
- [4] J. Giesbrecht, J. Collier, G. Broten, S. Monckton, and D. Mackay, “A Navigation and Decision Making Architecture for Unmanned Ground Vehicles”, DRDC Suffield TM 2007-300, 2007.
- [5] A. Howard, H. Seraji and E. Tunstel, “A Rule-based Fuzzy Traversability Index for Mobile Robot Navigation”, Proc. of the 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2001.
- [6] H. Seraji and B. Bon, “Multi-range Traversability Indices for Terrain-Based Navigation”, Proc. of the 2002 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2674~2681, 2002.
- [7] 이영일, 이호주, 지태영, “무인차량의 주행성분석을 위한 방향별 속도지도 생성”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 12, No. 5, pp. 549~556, Oct., 2009.
- [8] Sanjiv Singh and Bruce Digney, “Autonomous Cross-Country Navigation using Stereo Vision”, CMU-RI-TR-99-03, 1999.
- [9] A. Kelly, “An Intelligent, Predictive Control, Approach to the High-Speed Cross-Country Autonomous Navigation Problem”, The Robotics Institute Carnegie Mellon University, Sept, 1995.
- [10] Nilsson, N. J., Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co., 1980.