

무인지상차량의 전역경로계획을 위한 지형정보 분석 시스템

A Terrain Analysis System for Global Path Planning of Unmanned Ground Vehicle

박원익* 이호주* 김도종*
Won-Ik Park Ho-Joo Lee Do-Jong Kim

ABSTRACT

In this paper, we proposed a system that efficiently provides support maps which includes the grid based terrain analysis information. To do this, we use the FDB which is defined as a GIS database that contains features with attributes attached to the features. The FDB is composed of a number of features and feature classes. In order to create support maps, it is necessary to classify feature classes that are associated with each support map and to search them in a grid map. The proposed system use a ontology model to classify semantically feature classes and the quad-tree data structure to find them in a grid map quickly. Therefore, our system is expected to be utilized for global path planning of UGV. In this paper, we show the possibility through an experimental implementation.

Keywords : Unmanned Ground Vehicle(무인지상차량), Autonomous Navigation(자율주행), Global Path Planning(전역경로계획)

1. 서론

과학기술의 급속한 발전으로 인간을 대신하여 전투를 수행하는 무인전투체계의 출현이 조만간 현실화 될 가능성이 높다. 이러한 무인 전투체계는 인명손실을 최소화 하면서 작전목적을 달성케 하여 그 활용도가 크다. 더구나 무인전투체계는 유인체계 대비 경제적이고 작전의 지속성을 보장 할 수 있다는 장점을 지녔으며, 각종 첨단기술이 망라된 복합시스템으로 부가가치가 매우 큰 것으로서 타 분야의 기술을 선도하고 기존

의 로봇산업을 견인할 수 있을 것으로 기대되는 무기체계이다. 실제 아프간전과 이라크전 시 무인공격기와 무인정찰기를 이용한 성공적인 작전수행으로 그 가능성이 입증됨에 따라 지상과 해상 무인전투체계를 포함한 무인전투체계에 대한 군사 선진국들의 치열한 개발 경쟁이 진행 중에 있다. 특히 한국은 세계유일의 분단 국가로 남북한이 대치하고 있는 휴전 상황에서 무인전투체계에 대한 필요성이 더욱더 크다고 볼 수 있다.

이러한 무인전투체계의 효과적인 운용을 위해서는 무엇보다 지휘통제의 주체가 되는 지휘통제차량에서 군사적 운용개념이 적용된 로봇통제 방법이 중요하다. 특히 무인지상차량의 자율주행 운용을 위해서는 넓은 작전지역을 대상으로 하는 전역경로계획(GPP : Global Path Planning)과 비교적 좁은 작전지역을 대상으로 센

† 2013년 6월 28일 접수~2013년 9월 13일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 박원익(wpark@add.re.kr)

서 및 항법장치를 이용하여 실시간 경로 최적화를 수행하는 지역경로계획(LPP : Local Path Planning)으로 구분되는 경로계획기술이 필요하다^[1]. 전역경로계획 수립 시 다양한 지형정보의 특성을 분석한 지도를 활용하면 최적화된 전역경로계획이 가능하다. 예를 들면, 주행성을 나타내는 속도맵, 적 위협 정도를 나타내는 위협도맵, 원격통제장치와의 통신 가능성을 나타내는 통신맵등이 있다.

본 논문에서는 위와 같은 지형정보의 특성을 분석한 지도를 ‘지원맵’이라 정의하고 효과적인 격자기반 지원맵 생성 시스템을 제안한다. 지원맵 생성을 위한 원천 지형정보 데이터는 FDB(Feature DataBase)를 이용한다. FDB는 도형 및 속성정보 기반의 디지털화된 지형정보로서 지형지물 코드, 속성코드, 속성값으로 구성되는 FACC(Feature and Attribute Coding Catalogue) 코드체계를 따른다^[2]. FACC 코드체계는 NATO와 미국방성이 제안한 데이터 교환 표준인 DIGEST(Digital Geographic Exchange Standard)의 park 4의 부록 A (Feature codes)와 B(Attribute and Value codes)에 기술되어 있다. 이러한 FDB를 활용하여 지형분석 정보를 제공하는 기존 연구로는 디지털지형정보 기반의 실시간 자율격자지도 생성에 대한 연구^[3] 및 FDB 기반의 경로계획용 속도맵 생성^[4] 연구 등이 있다.

본 논문에서는 디지털 지형정보인 FDB를 온톨로지 기반의 지형정보 모델로 확장하여 지원맵 정확도를 높이는 방법^[5]과 쿼드트리를 활용하여 지원맵 생성 시

응답시간을 최소화 하는 방법^[6]을 이용한 지원맵 생성 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 지형정보 분석 시스템의 구조에 대한 설명을 하고 3장에서는 제안한 시스템의 실험적 구현 결과를 보인다. 마지막으로 4장에서는 결론을 기술한다.

2. 지형정보 분석 시스템

지휘통제차량의 운영스테이션(OCS)에 탑재되는 지형분석 시스템의 전체 구조는 Fig. 1과 같이 Service Broker, GPP Generator, Terrain Analysis Engine으로 구성된다. Service Broker는 사용자의 서비스 요청 및 결과를 처리하는 역할을 하고 Terrain Analysis Engine은 요청한 서비스명과 관련된 지형정보 및 리소스정보를 분석하여 지원맵을 제공해주는 역할을 한다. 마지막으로, GPP Generator는 Path Planning Engine을 통해 획득된 지원맵을 정보를 이용하여 전역경로계획을 수행한다.

본 논문에서는 Terrain Analysis Engine을 중심으로 설명한다.

가. Terrain Analysis Engine

Fig. 2는 Terrain Analysis Engine의 구성도이며 이를 기반으로 하는 동작 시나리오의 예는 다음 단계를 따른다.

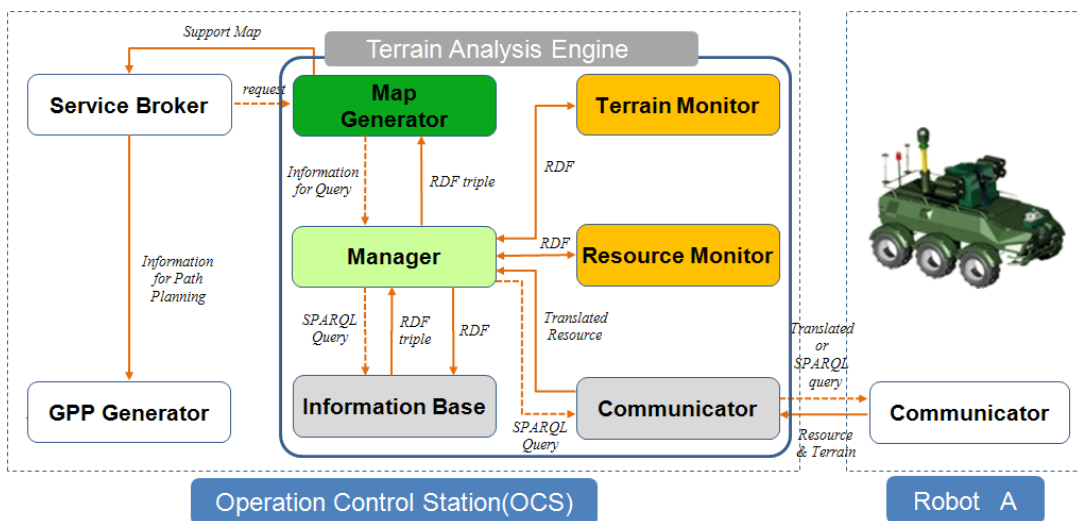


Fig. 1. Terrain Analysis System

STEP 1 :

Service Broker로부터 서비스가 요청되기 전에 Terrain Monitor와 Resource Monitor에서 지원맵 생성에 필요한 정보들을 Information Base에 RDF(Resource Description Framework) 형식으로 저장한다.

STEP 2 :

Service Broker로부터 서비스명(예를 들면, “velocity map”)이 전달된다.

STEP 3 :

Map Generator의 Requestor 모듈은 Ontology Schema로부터 서비스 요청을 맵핑하기 위해 필요한 정보를 Manager에게 전달한다.

STEP 4 :

Manager의 SPARQL Generator 모듈은 Information Base에 저장된 RDF를 검색하기 위해 SPARQL(SPARQL Protocol and RDF Query Language) 질의를 생성한다.

STEP 5 :

Information Base의 Information Base Engine 모듈은 해당 질의에 해당하는 결과를 저장된 온톨로지 모델을 이용하여 추론한다.

STEP 6 :

Map Generator의 Requestor 모듈은 Manager를 통해 추론된 질의 결과를 받는다. 그리고 질의 결과(예를들어, 레이어 및 속성에 대한 RDF triple(subject, predicate, object)는 Rule-Based Reasoner 모듈의 입력(fact)으로 주어진다. 다른 입력 값인 rule은 Information Base에 저장된 값을 이용한다.

STEP 7 :

Map Generator의 Hot-grid explorer 모듈은 실제 격자 지도상에서 STEP 6에서 획득한 질의 결과와 일치하는 레이어 및 속성을 포함하는 격자를 탐색한다.

STEP 8 :

Map Generator의 Rule-Based Reasoner 모듈은 Hot-grid explorer로부터 선택된 격자에 포함된 레이어 및 속성과 관련된 룰과 정보(fact)를 이용하여 서비스에 따른 지형분석값(레벨 1~9)과 교차점을 포함하는 격자의

위치를 추론한다.

STEP 9 :

Support Map Generator 모듈은 STEP 8에서 획득한 지형분석값 및 교차점을 격자 기반으로 가시화한 맵을 생성한다.

STEP 10 :

생성된 Support Map은 Service Broker 모듈에 전달된다.

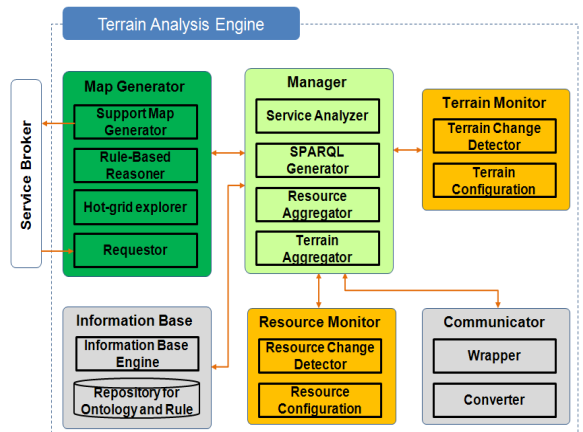


Fig. 2. Terrain Analysis Engine

나. Map Generator

Map Generator는 Fig. 3에서 보듯이 Service Broker로부터 서비스명을 입력받아 해당 지원맵을 생성하는 역할을 하며 Requestor, Hot-grid explorer, Rule-Based Reasoner, Support Map Generator 모듈로 구성된다.

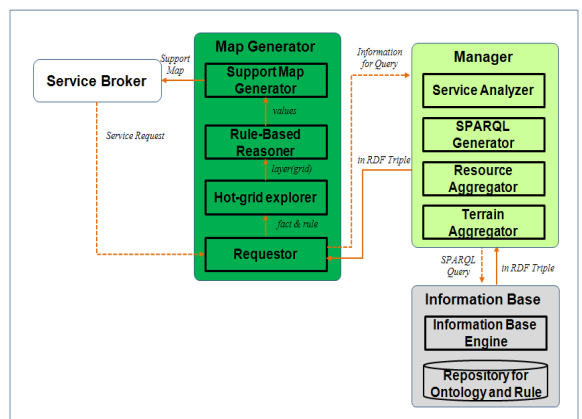


Fig. 3. Map Generator

1) Requestor

Requestor 모듈은 사용자의 서비스 요청을 입력 받아 질의를 위한 정보를 Manager에게 전달하고 질의 결과인 RDF Triple 정보를 리턴 받는 인터페이스를 정의하는 모듈이다. 또한 RDF Triple과 정의된 룰을 조합하여 Rule-Based Reasoner 모듈에서 사용하는 룰 기반 추론 엔진인 JESS의 입력값 .jess 파일을 생성하는 역할을 담당한다.

2) Hot-grid explorer

Table 1. Meaning layers for generating grid maps

Layer	Data Included
AL105	Settlement
AP010	Cart Track
AP020	Interchange
AP030	Road
AP050	Trail Line
AQ040	Bridge/Overpass
AQ064	Causeway
AQ135	Vehicle Stopping Area/Rest Area
AQ140	Vehicle Storage/parking Area
EB010	Grassland
EB020	Scrub/Brush/Bush
BH077	Hummock
BH095	Marsh Swamp Area
BH135	Rice Field Area
BH150	Salt Pan Area
BH160	Sebkha Area
BH210	In land Shore Line
BI020	Dam Weir Area
EC010	Bamboo/Cane
EC020	Oasis
EC030	Trees Area
EC040	Cleared Way/Cut Line/Firebreak
DA010	Ground Surface Element
DB180	Mountain or Hill
EA055	Hops Area

Hot-grid explorer 모듈은 실제 격자 지도상에서 서비스 타입에 따라 분석이 필요한 레이어 및 속성을 포함하는 격자를 탐색한다. 모든 격자가 아닌 분석이 필요한 격자만을 쿼드 트리를 활용하여 탐색하는 Hot-grid explorer 모듈은 격자 수 증가에 따른 분석 비용 증가 문제를 효과적으로 해결한다. 이때 분석이 필요한 레이어 및 속성은 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 2. Meaning attributes for generating grid maps

Attributes	Attributes
ACC	Accuracy Category
BAC	Borough Accupancy Category
EXC	Existence Category
FTC	Farming Type Category
LC1	Road Class Type 1
LC2	Road Class Type 2
LOC	Location Category
LTN	Track/Lane Number
RST	Road Surface Type
SGC	Slope/Gradient Category
SLT	Shoreline Type Category
SMC	Surface Material Category
SRD	Surface Roughness Description
TUC	Transportations Type
WD1	Minimum Traveled Way Width
WTC	Weather Type Category
VEG	Vegetation characteristics

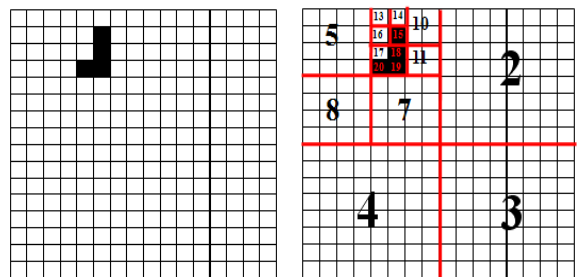


Fig. 4. An example of 16 × 16 Grid

예를 들면 Fig. 4의 16 × 16 격자에서 분석이 필요한 격자의 집합, S = {(2,6), (3,6), (4,5), (4,6)}와 같을 때 분석비용 횡수 비교는 Table 3과 같다. Table 3에서 보듯이 Quad-tree 기반 격자를 활용하면 분석비용 계산 횡수가 1/10 수준으로 줄어드는 것을 볼 수 있으며 이를 통해 격자 수 증가에 따른 분석비용 증가 문제의 해결이 가능하다.

Table 3. Regular grid vs. Quad-tree

Regular grid	Quad-tree
16 × 16 = 256(회)	4(1,2,3,4) + 4(5,6,7,8) + 4(9,10,11,12) + 4(13,14,15,16) + 4(17,18,19,20) + 4 = 24(회)

3) Rule-Based Reasoner

Rule-Based Reasoner 모듈에서 사용되는 JESS 엔진은 Sun Microsystems에서 제작한 룰 기반의 전문가 시스템 저작 도구이다⁷⁾. JESS는 본래 CLIPS 전문가 시스템 저작 도구에서 유래되었고, Ontology와 Rule을 기반으로 추론한다. 본 논문에서는 JESS를 사용하여 정의한 Ontology와 Rule들을 입력으로하여 서비스에 따른 추론 결과를 제공한다. JESS는 Java 기반으로 구현되어 있으므로 응용에 독립적으로 동작한다는 특성을 갖는다. JESS의 입력은 JESS function, *.clp, *.jess, *.xml로 작성된 정보(fact)와 룰(rule)의 조합이다. 그리고 출력은 해당 격자의 분석 비용이다. 이를 위한 JESS 엔진에서 제공하는 함수들은 Default template Fact에 대한 type을 정의하는 deftemplate(), 사용자 룰을 기술하는 defrule(), Default Facts()에 정의한 Instance를 기술하는 deffacts(), Fact를 추가/제거하는 assert()/retract() 등이 대표적이다. 이러한 룰 기반 추론은 조건이 제시되고 조건이 만족하는 경우 결과를 도출할 수 있도록 구성된다. 따라서 룰 기반 추론은 서비스에 따른 지형분석 추론을 위해서는 서비스에 맞는 다양한 룰을 기술해야 한다.

4) Support Map Generator

Support Map Generator 모듈은 Rule-Based Reasoner로부터 추론된 격자의 지형분석 값을 RGB 값으로 전환하여 가시화한 지원맵을 생성하거나 지형분석 값을 Service Broker에게 전달하는 역할을 한다. Fig. 5는 지형의 주행성 분석을 한 속도비용 예를 보인다.

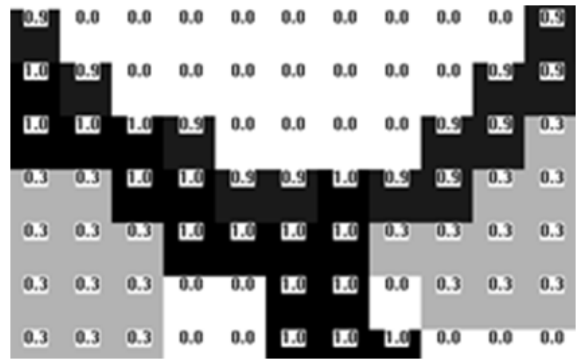


Fig. 5 Traverse cost(grid size : 50m)

다. Resource & Terrain Monitor

로봇의 가용한 리소스를 자동 구성하는 역할을 하는 Resource Monitor 모듈은 Fig. 6에서 보듯이 Resource Change Detector를 통해 동적으로 변화하는 리소스의 변화를 주기적으로 탐지한다. 탐지된 변경정보를 Resource Configuration은 RDF 형식으로 변환되어 Manager를 통해 Information Base에 업데이트 된다. 또한, Terrain Monitor 모듈은 지형정보 변화를 Terrain Change Detector를 통해 탐지하는 기능을 제공한다. 탐지된 지형정보는 Terrain Configuration을 통해 RDF 형식으로 변환되고 Manager를 통해 Information Base에 업데이트 된다.

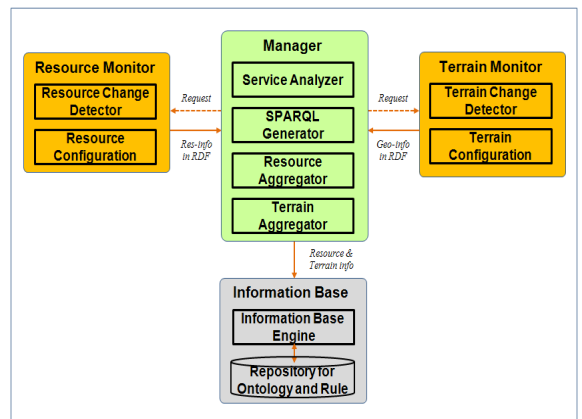


Fig. 6. Resource & Terrain Monitor

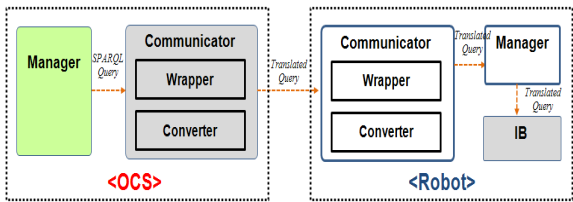
라. Communicator

Communicator는 로봇으로부터 획득 가능한 가용한 리소스 정보 및 지형정보에 대한 요청/응답 결과를 처리하는 역할을 수행한다. Communicator의 Converter 모

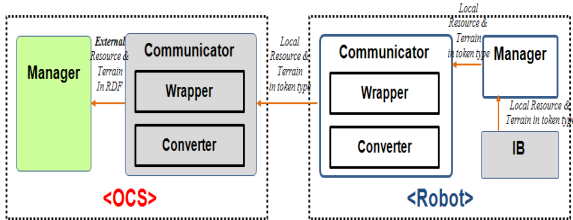
들은 SPARQL을 지원하지 못하는 로봇과의 상호교환을 원활히 수행하여 확장성을 높이는 역할을 한다. 즉, Converter 모듈에서는 SPARQL 질의를 자체적으로 정의한 질의 포맷으로 변환하는 역할과 반대로 자체 쿼리 형태를 SPARQL 질의 형태로 변환하는 역할을 한다. 또한, SPARQL 질의에 대한 결과인 RDF 형태를 자체 정의한 토큰 타입의 데이터 형태로 변환시켜주는 역할과 정의한 토큰 타입의 데이터 형태에서 RDF 형태로 변환하는 역할을 수행한다. 자체 정의한 데이터 포맷은 기본적으로 RDF Triple에서 제공하는 정보의 내용을 모두 포함한다.

Communicator의 Wrapper 모듈은 Converter로부터 전달 받은 리소스/지형정보를 현재 시스템의 로컬 정보를 기반으로 재구성하는 작업을 수행한다.

Fig. 7은 운영스테이션에서 SQPAQL을 지원하지 못하는 로봇에 대한 가용한 리소스 정보를 요청하고 그에 응답하는 과정을 보인 흐름도이다.



(a) request from OCS to Robot

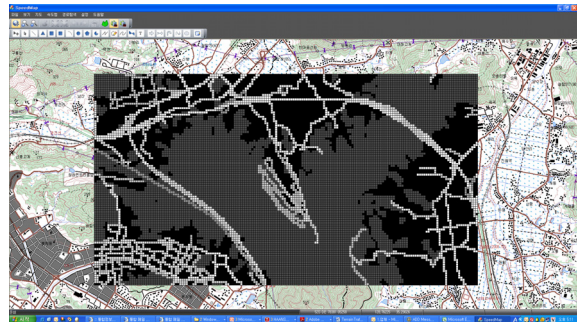


(b) response from Robot to OCS

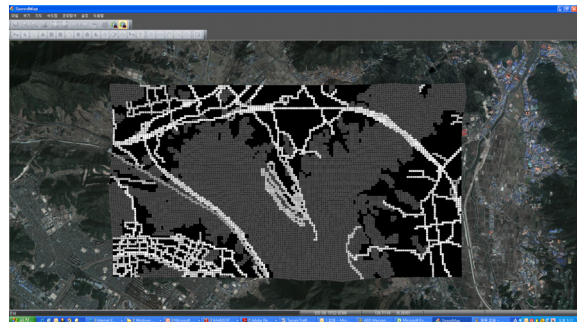
Fig. 7. Communicator

3. 구현 결과

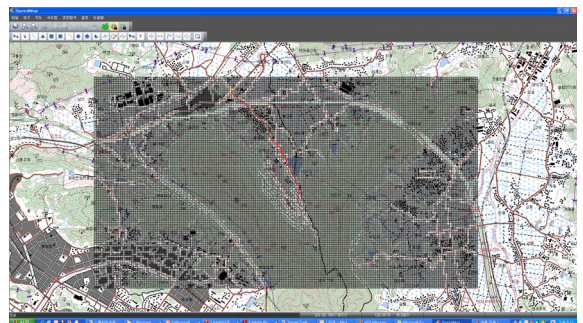
본 논문에서는 전역경로계획 시 활용 가능한 지형분석정보를 효과적으로 생성하는 시스템을 제안하였다. 본 장에서는 제안 시스템을 활용하여 생성된 지형분석정보 결과 및 최종 GPP 가시화 화면을 제시하여 그 효용성을 확인한다.



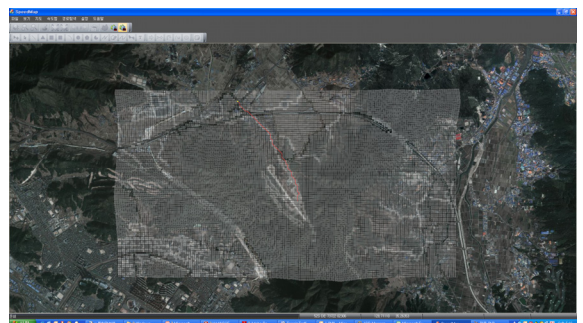
(a) Terrain analysis on 2D situation map



(b) Terrain analysis on 3D situation map



(c) GPP on 2D situation map



(d) GPP on 3D situation map

Fig. 8. Terrain analysis and GPP on situation map

Fig. 8 속도맵 가시화 예에서 보듯이 각 격자에 대하여 색이 밝을수록 속도 내기에 좋은 지형정보를 나타낸다. 제안 시스템에서는 지형정보에 대한 속도 비용을 9개의 레벨로 나누어 그 결과를 색상별로 나타낸다. 이때 지형정보에 대한 속도 비용은 Table 1 및 Table 2에서 설명한 레이어와 속성을 고려하여 정의된다^[8].

4. 결론

본 논문에서는 FDB 기반 온톨로지 지형정보 모델을 활용하여 전역경로 생성 시 활용되는 지형분석 정보를 효과적으로 생성하는 방법과 쿼드트리 자료구를 활용하여 지형분석하는 방법을 실제 시스템에 적용하여 그 결과를 보임으로써 그 효용성을 검증하였으며 이를 통해 무인지상차량이 자율주행을 수행함에 있어 보다 정확한 전역경로계획 제공이 가능함을 보였다.

향후에는 전역경로계획을 수행함에 있어서 또 다른 중요 결정요소 중 하나인 무인로봇의 다양한 임무를 반영한 전역경로계획이 가능하도록 제안 시스템을 확장할 예정이다.

References

- [1] Kramer, T. A., Laird, R. T., Dinh, M., Barngrover, C. M., Cruickshanks, J. R. and Gilbreath, G. A., SPIE Unmanned Systems Technology VIII 2006.
- [2] Nantional Imagery and Mapping Agency Profile of the Dgital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST), Geospatial Intelligence Capstone Document, NIMA USA, 2003.
- [3] 이호주, 이영일, 박용운, “디지털지형정보 기반의 실시간 자율주행 격자지도 생성 연구”, 한국군사과학기술학회지 제14권 제4호, pp. 539~547, 2011년 8월.
- [4] 이호주, 이영일, 지태영, 이명천, 박용운, 이현민, 오창목, “FDB 기반의 경로계획용 속도맵 생성”, 한국군사과학기술학회 학술대회, pp. 1972~1975, 2009.
- [5] 박원익, 김도중, 황광택, 장혜민, 이호주, “Quad-tree를 활용한 FDB 기반 속도비용 추출 기법”, 정보 및 제어 학술대회, pp. 439~441, 2012.
- [6] 박원익, 김도중, 황광택, 장혜민, 이호주, “온톨로지를 활용한 FDB 기반 지형정보 모델 구축”, 정보 및 제어 학술대회, pp. 510~511, 2012.
- [7] JESS, <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess>
- [8] Won-Ik Park, Do-Jong Kim, and Ho-Joo Lee, “Terrain Trafficability Analysis for Autonomous Navigation : A GIS-based Approach”, International Journal of Control, Automation, and Systems 11(2), pp. 354~361, 2013.