

지상무인로봇의 경로계획을 위한 가동맵 생성 방법

A Method of Generating Trafficability Analysis Map for UGV Navigation

장혜민*
Chang, Hye Min

요 旨

지상무인로봇의 성공적 운용을 위해서는 작전지역에 대한 가동성 분석, 위협도 분석 등의 사전분석 결과를 반영하여 최적의 경로계획을 수행하여야 한다. 그 중에서도 가동성 분석 결과는 차량의 안전 보장과 관련성이 높으며, 특히 비포장로, 초지 등 야지 주행시 차량의 안전에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 지형정보는 가동성 분석을 위한 특정 관심영역의 데이터 추출과 비용산출 과정에서 중추적인 역할을 한다. 본 논문에서는 새로운 기반 데이터로서 토지피복도의 활용성을 분석하고, 이를 기반으로 지상무인로봇의 주행을 위한 가동맵 생성방안을 제시한다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 토지피복도의 단독 활용방법과 타 지형정보체계와의 혼합 활용방법이 기존 방법과 비교해 가동성 표현과 최적 경로계획에 있어 개선 효과를 보임을 확인한다.

핵심용어 : 토지피복도, 가동성 분석, 지상무인차량, 전역경로계획

Abstract

For the successful operation of unmanned ground vehicles(UGVs), optimal path planning should be considered with trafficability analysis, threat analysis, and so on. From among these, trafficability analysis is immensely important for safeness of UGVs especially in the case of driving the off-road such as unpaved road, grassland, and open fields. Geographical information has a pivotal role in extracting data and measuring cost for specified regions of interest. In this paper, we review possibilities to apply Land Cover Map(LCM) as a new, fundamental source and propose a new generation method of trafficability analysis map for optimal path planning of UGV. The simulation results show that the proposed method significantly improve the previous method by applying LCM either alone or in combination with the other GIS.

Keywords : Land Cover Map, Trafficability Analysis, Unmanned Ground Vehicle, Global Path Planning

1. 서 론

무인체계가 전장에서 실효성을 거두기 위해서는 지휘통제차량에서 지휘관의 지휘 하에 다수의 이기종 로봇을 효과적으로 운영하고 제어하기 위한 임무통제 기술 확보가 필수적이며, 이와 관련하여 임무통제 관련 수행절차 및 운용개념 정립을 포함하는 임무통제 기술 확보를 위한 일련의 연구가 수행 중에 있다(Giesbrecht, 2004, Lee et al., 2010b; Lee et al., 2013). 임무수행 절차는 임무환경 분석, 임무계획, 임무실행 및 수정, 임무평가 단계의 4단계로 구성되며, 이 중 임무환경 분석 단계에서는 작전지역에 대한 가동성 분석, 통신가시선 분석, 위협 분석 등을 수행한다. 이러한 분석과정에서

산출된 비용은 다음 단계인 임무계획 단계에서의 무인 차량의 경로계획 최적화를 위한 근거 데이터로서 활용 된다.

가동성 분석은 사전분석단계에서 보유 지형정보체계를 활용하여 작전지역의 노면의 주행가능성 및 주행용이성을 분석하는 것으로 분석의 정확도 및 신뢰도는 임무/경로계획 최적화를 위해 중요하게 작용한다. 특히, 일반 포장 도로 이외의 비포장도로와 야지를 포함하는 지역에 대한 원격 주행 및 자율 주행 임무가 요구되는 경우, 무인차량의 안전성 보장 뿐 아니라 아군의 임무 달성을 위해 가동성 분석 결과의 정확도 및 신뢰성 보장이 필수적이다. 따라서 보유 지형정보데이터를 최대한 활용하여 분석의 정확도 및 신뢰도를 향상시켜야 하

며, 이를 위해 원천데이터의 종류에 따라 요구되는 데이터를 추출하고 적절히 활용할 수 있어야 한다. 기존 유사연구로서 디지털지형정보인 FDB의 지형지물 속성 정보를 활용한 주행성 분석연구(Lee, 2010a)와 주행속도, 위험 등을 고려한 입무지향적 전역경로계획 연구(Lee, 2010b)가 있다.

본 논문에서는 일반도로와 비포장도로, 그리고 야지를 대상으로 가동성 분석을 수행하기 위한 용도로 토지피복도를 활용한 가동맵 생성 방법을 제안한다. 이를 위해 우선 원천데이터로서의 FDB와 토지피복도 데이터 분석을 바탕으로 데이터 추출 및 속성별 가중치 부여를 수행하고, 격자단위의 비용을 산출한 후, 토지피복도와 FDB 각각으로부터 생성된 가동맵을 최종적으로 융합한다. 마지막으로 생성된 가동맵을 활용하여 경로계획을 수행하여 제안된 방법의 활용가능성을 확인한다.

2. 활용 데이터 분석

가동성 분석을 위해서는 주행가능성 및 주행용이성과 관련하여 분류체계 적합성과 제공 데이터의 신뢰성, 정확성이 요구수준을 충족할 수 있어야 한다. 주행 관련 데이터 추출을 위하여 활용 가능한 데이터로서 위성/항공 영상 등 다양한 원천데이터와 디지털지형정보(FDB), 토지피복도(Land Cover Map), 표고데이터(DTED) 등과 같은 기 구축된 지형정보체계가 있다. 여기서는 기존 연구에 활용된 FDB와 본 논문에서 제안하는 토지피복도를 중심으로 지상무인로봇을 위한 시스템 적용 관점에서 적합성 및 활용성을 분석하고자 한다.

2.1 디지털 지형정보(FDB)

FDB는 도형 및 속성정보가 포함된 디지털지형정보로서 미국 NGA(National Geospatial -intelligence Agency)에서 9.11 테러(2001)이후 각 기관별 상이한 지도체계를 통합 운용하기 위해 개발된 차세대 Shape 형태의 지형정보체계이다. FDB는 미 NGA의 지형지물 및 속성자료의 표준코드목록인 FACC(Feature and Attribute Coding Catalogue)를 기반으로 하여 지형지물과 속성자료에 대한 공통코드를 표준화 또는 부호화 방식으로 제공한다(NIMA, 2003). 따라서 FDB 활용시 표준화된 공통코드 활용을 통한 한미 간 자료공유가 가능하다는 점이 대표적인 특징이다. 현재 육군에서도 국내 지형지물에 대한 FACC 코드체계를 기반으로 FDB를 구축 및 활용 중에 있고, 지속적인 갱신작업을 수행하고 있다.

가동성 분석을 위한 활용성 관점에서 FDB의 체계화된 레이어 및 속성정보체계는 지형지물에 대한 상세한 수준의 정보 추출 및 활용이 가능하다는 장점을 갖는다. 기존 연구에서는 FDB의 레이어와 해당 레이어의 속성값을 분석하여 주행관련 우선순위에 따라 세분화된 적절한 비용수치를 부여하여 가동맵을 생성함으로써, 주행 우선순위에 따라 최적화된 경로계획이 가능하였다. 예를 들어 도로 데이터의 속성값인 도로 유형(고속/일반도로)과 차선수를 참조하여 고속도로와 대로에 대하여 비용을 낮게 부여할 경우, 경로계획시 전체 비용을 최소화함으로써 고속도로 및 대로 우선의 경로탐색이 가능하였다.

2.2 토지피복도

토지피복도는 원격탐사 영상의 대표적 활용예로서, 인공위성이 촬영한 영상을 이용하여 지표면의 물리적 상황을 분류하여 표현한 지도이다. 지표면의 현재 상태를 가감 없이 나타내어 다른 어떤 자료보다 상세한 표면 정보를 표현함이 큰 특징이다. 우리나라 환경부에서는 1998년부터 남한지역 대상의 토지피복도를 구축하여, 2009년 이후에는 공간해상도 1m급의 순수 국산 위성인 아리랑2호 영상을 활용하여 분류정확도 95% 이상의 데이터를 제작하고 있으며, 지속적인 갱신 사업을 수행하고 있다(Ministry of Environment, 2014). 또한 이러한 구축결과를 인터넷서비스를 통하여 제공하고 있으며, 기관 및 대학을 대상으로 점차 그 활용범위 확대를 위한 노력을 기울이고 있다.

토지피복도의 분류체계는 크게 대분류(30m급), 중분류(5m급), 소분류(1m급)로 나뉘며 각각 7개, 22개, 41개 항목으로 나뉜다. FDB의 경우 디지털 지도 제작/전시 시에 필요한 각종 지형지물 객체를 레이어/속성 분류체계에 포함하고 있어 세분화된 방대한 체계를 이루는 것과 대조적으로, 토지피복도는 지형의 재질, 배수조건을 기준으로 한 분류체계를 구성하고 있어 주행환경, 속도에 결정적 영향 요인을 분석하기 위한 도심 및 야지를 포함하는 가동성 분석 목적으로 활용시 적합성이 상당히 높은 분류체계를 갖고 있다. 제공 데이터의 신뢰도 관점에서는 지형정보시스템 구축시기와 제작에 사용된 원천데이터의 촬영시기 등의 복합적 요인으로 인하여 단순히 해상도 기준의 직접적인 비교는 어렵지만, 기존에 활용한 1:50000 FDB의 해상도를 통상적으로 15~30m급으로 환산하므로, 5m급인 중분류 및 1m급인 세분류의 토지피복도 활용시 충분한 정확도 개선이 가능할 것으로 판단할 수 있다.

2.3 활용 방안

무인차량의 주행을 위해서는 포장로 이외에도 비포장로, 건설 중인 도로, 나지, 밭, 논, 산림지대 등에 대한 가동성 분석이 필요하다. FDB의 경우 단위영역에 대하여 복수개의 레이어와 속성값을 갖는 것이 가능하지만, 단위영역 내 지형지물 정보가 미구축되어 해당영역의 가동맵 생성이 불가능한 경우도 있음을 확인하였다. 특히 Fig. 1과 같이 초지, 밭이 포함된 야지의 경우 데이터 공백현상이 두드러지는 경향이 있다. 이로 인해 실제 주행이 가능한 지역일지라도, 이러한 데이터 공백영역의 경우 사전 분석이 불가하다.

이러한 문제를 보완하기 위한 방법으로 직접탐사 또는 직접탐사가 어려운 지역일 경우 원격탐사를 통해 필요영역의 정확한 데이터를 추출하는 방법이 있다. 하지만, 직접탐사 및 원격탐사 영상으로부터 직접 데이터 추출, 처리 과정을 통하여 지형분류 데이터를 구축하고 검증할 경우 이를 위한 고도의 처리기술이 요구될 뿐 아니라 막대한 비용과 노고에 대한 부담이 뒤따른다. 또 다른 방법으로는 관심영역의 요구 데이터를 추출하는 대신, 데이터가 없는 영역에 대해 미확인 영역으로 별도 식별하여, 주행 불가 영역과 구분 가능한 적

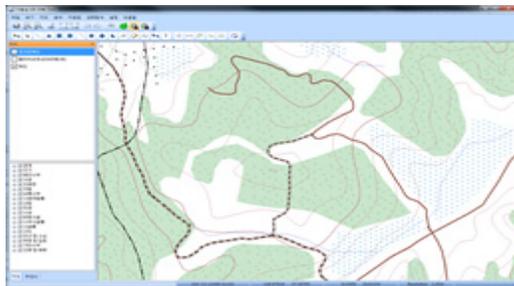


Figure 1. An Example of Displayed Image using FDB layers and attributes

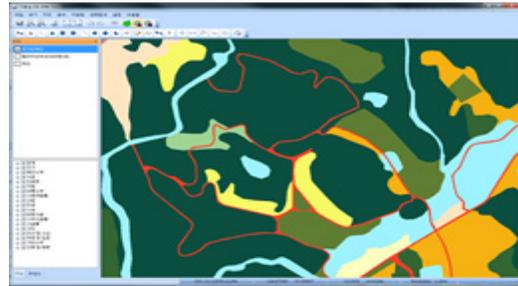


Figure 2. An Example of Displayed Image using Land Cover Map

정 비용수치를 부여하는 방법이 있다.

본 연구에서는 지형정보 데이터 추출시 발생하는 데이터 공백 문제를 보완하기 위한 방법으로, 전자와 같이 정확한 데이터 추출이 가능하면서도 비용과 기간 측면에서 합리적인 대안으로서, 민간기관에서 기 구축된 토지피복도를 활용하는 방법을 제안하고자 한다. 토지 피복도는 지리좌표상의 지표면의 재질 및 속성에 따른 지역 공백 없는 분류코드를 제공함으로써, 요구 지역의 데이터를 Fig. 2에서와 같이 항상 획득가능하다는 장점을 갖는다. 더불어, 토지피복도는 고해상도 위성영상(1m~2.5m급)을 기반으로 구축된 검증된 데이터로서 현 시스템에 적용시 정확도 측면에서 현저한 개선 효과를 경제적이면서도 손쉽게 실현할 수 있다.

3. 가동맵 생성 방법

본 논문은 가동성 분석과 관련하여 토지피복도의 활용 가능성을 확인하기 위하여, 단독 활용 방안과 타 지형정보체계 데이터와 융합하여 활용하는 방법을 제안한다. Fig. 3은 가동성 분석을 위한 데이터 추출과 데이터 분류체계별 할당 비용에 따른 단위격자 내 비용 산

Table 1. An Example of Data Extraction and Cost Allocation Using the middle-class LCM

Level 1	Level 2	Cost
Urban and dry area(100)	Transportation(150)	0.2
Barren land(600)	Natural barren land(610)	0.4
	Other barren land(620)	0.4
Pasture(400)	Natural pasture(410)	0.6
	Artificial pasture(420)	0.6
	Other pasture(430)	0.6
Agricultural area(200)	Field(220)	0.8
	Other arable land(250)	0.8
Forest area(300)	Broadleaf tree forest(310)	0.9
	Needle leaf tree forest(320)	0.9
	Mixed stand forest(330)	0.9

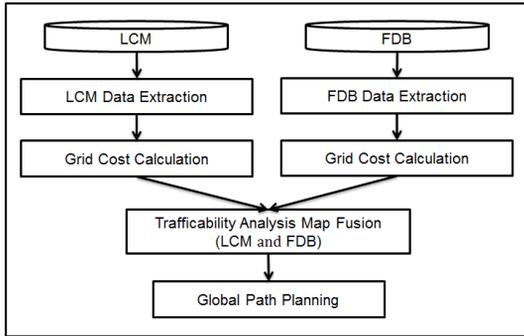


Figure 3. The Proposed Process of Creating Trafficability Analysis Map

출, 그리고 LCM과 FDB와 같이 서로 다른 데이터를 활용하여 생성된 가동맵 간의 융합, 최종적으로 가동맵 생성결과를 이용하여 경로계획을 수행하는 전체 과정을 보여준다.

3.1 주행관련 데이터 추출

주행관련 데이터 추출을 위해서는 주행가능으로 판단되는 분류항목을 식별하고, 주행 용이성을 고려하여 분류항목 각각에 대하여 비용을 할당하여야 한다. 분류체계 선별의 기준은 주행가능 영역을 포함하는 분류카테고리이며, 비용 할당은 0과 1사이의 값으로서 0에 가까울수록 주행이 용이함을 의미한다. Table 1은 가동성 분석을 위해 토지피복 데이터(중분류)로부터 주행가능으로 판단되는 분류항목을 식별하고, 주행 용이성을 고려하여 분류항목 각각에 대하여 비용을 할당한 예시를 보여준다. 본 연구에서는 활용성 확인을 위한 예시로서, 포장도로, 비포장지역(기타나지) 및 나지, 초지, 농경지의 순으로 직관적으로 부여하였으며, 적용할 차량의 특성에 따라 변경 적용 가능하다.

3.2 격자단위 비용 산출

다음으로 격자 기반의 경로계획을 위해서는 단위노

드의 총 비용 $c(n)$ 을 계산하여야 하는데, 현재 노드 n 의 단위격자 내에 존재하는 지형정보체계로부터 추출된 모든(m 개) 분류항목의 비용의 총합을 의미한다. $c(n)$ 은 Eq. (1)과 같으며,

$$c(n) = \frac{\sum_{k=1}^m A_k C_k}{\sum_{k=1}^m A_k} \tag{1}$$

여기서, A_k 는 단위격자 내에 k 번째 분류항목이 차지하는 영역의 크기이며, C_k 는 각 분류항목에 할당된 비용 값을 의미한다.

3.3 이종 분류체계 기반의 가동맵 생성결과 융합

실제로 토지피복도만을 단독 활용할 경우, 모든 영역에 대해 비교적 높은 해상도의 데이터를 제공하고 있어 경로계획은 가능하지만, 넓은 영역에 걸쳐 동일 분류값을 갖게 되는 경우, 속성데이터의 불충분으로 인해 세밀한 경로계획이 불가능하게 된다. 반면, 타 지형정보체계의 대표적 예로서는 FDB만을 활용할 경우 속성정보를 통한 세분화된 분류가 가능하지만, 현재의 구축상태로서는 요구영역 데이터의 가용성 측면에서 완전하다고 보기 힘들다.

이종의 체계 간의 부족한 데이터에 대한 상호보완을 위해 두 자료 간의 융합을 통하여 새로운 가동맵을 생성하려면, 서로 다른 정보체계 간의 매핑 및 비용 산출 문제를 먼저 해결하여야 한다. Table 2는 토지피복도의 분류코드 150과 FDB의 분류코드 간의 매핑 예시를 보여주며, 토지피복도의 일원화된 도로분류를 세분화하기 위하여 FDB 속성을 활용하여 매핑한 예이다. 도로와 마찬가지로 나지, 초지, 논, 밭 등에 대해서도 매핑 가능하다. Eq. (2)은 서로 다른 분류체계 간의 단위격자 상의 총 비용수치 $CT(n)$ 를 구하는 식으로서, 토지피복도의 단위격자 노드 상의 비용수치 $CLCM(n)$ 과 타

Table 2. An Example of Mapping LCM Code 150 with FACC Code of FDB

LCM Code	FACC Code & Attributes					Description
	Code	TUC	LTN	EXS	RST	
150 (Transportation)	AP030 (Road)	2	≥4	28	1	Broad Highway/Operational/Paved
		2	<4	28	1	Highway/Operational/Paved
		7	≥4	28	1	Through Route/Operational/Paved
		7	<4	28	1	Through Route/Operational/Paved
		4	≥4	28	1	Broad Road/Operational/Paved
		4	<4	28	1	Road/Operational/Paved
(Omitted)						

지형정보체계의 비용수치인 $C_{Other}(n)$ 의 융합을 통하여 계산된다.

$$C_T(n) = C_{LCM}(n) + M \cdot (1-\alpha)(C_{Other}(n) - C_{LCM}(n)) \quad (2)$$

여기서, α 는 각 분류체계의 비용 반영비율 조정을 위한 0~1사이의 가중치 상수이며, M 은 해당노드상의 토지피복도와 타 지형정보체계의 분류체계가 일치하는 경우에만 1의 값을 갖는 마스크 변수로서 그 외에는 0의 값을 갖는다. $C_{Other}(n)$ 을 구하기 위한 FDB의 레이어/속성 추출, 비용산출 과정은 가장 최근의 유사연구(Park et al., 2013)에서 기술하고 있다.

이중의 분류체계를 갖는 데이터를 단순한 합산으로 통합할 경우 자료 불일치로 인하여 각 분류체계의 장점 및 단점까지 취합하게 되므로, 본 연구에서는 토지피복도의 비용을 기반으로 하여 타 지형정보체계의 비용은 분류체계가 일치시에만 합산하도록 하였다. 또한, 데이터 차원의 융합이 아닌 래스터(raster)화 된 가동맵 생성결과인 총 비용 간의 융합을 통하여 적은 계산량으로 효율적으로 각 정보체계의 장점을 취할 수 있다.

3.4 경로계획

앞에서 산출된 가동성 분석 결과인 LCM단독활용시의 비용 $c(n)$ 과 타 지형정보체계와의 융합활용시의 비용 $C_T(n)$ 은 경로계획 단계에서 활용 가능하며, 본 연구에서는 대표적인 경로탐색 방법 중 하나인 A* 알고리즘(Hart et al., 1968)을 통하여 가동맵의 활용 예를 제시한다. A* 알고리즘은 비용함수 $f(n)=g(n)+h(n)$ 으로 정의되고, 여기서 $g(n)$ 은 출발지로부터 현재노드 n 까지의 경로에 대한 비용, $h(n)$ 은 현재의 노드로부터 목적지까지의 경로에 대한 경험적 추정비용을 의미한다.

$$g(n) = g(n-1) + C_T(n) \quad (3)$$

$$h(n) = d_{P_n - P_y} \times C_\mu \quad (4)$$

Eq. (3), (4)와 같이 표현되는 $g(n)$ 과 $h(n)$ 에서 현재노드의 비용 $c(n)$ 또는 $C_T(n)$ 과 전체노드의 평균비용인 C_μ 의 대입함으로써, 총 비용함수 $f(n)$ 을 최소화하는 최적 경로를 탐색 가능하다.

4. 시뮬레이션 및 검증

제안한 방법인 기반데이터로서 토지피복도를 활용한 가동맵 생성방법의 활용가능성을 확인하기 위하여, 가

동맵 생성과 경로계획 및 지도도시 기능을 시뮬레이션할 수 있는 프로그램을 c언어로 구현하였다. Fig. 4는 구현된 프로그램에 의해 원천데이터인 FDB, 중분류의 LCM, 위성영상(아리랑2호)의 대상지역을 화면에 전시한 결과(Fig. 4(a)~(c))와 가동맵 생성 및 경로계획 수행결과(Fig. 4(d)~ (f))이다. 각각 FDB 단독 활용시(d)와 제안된 방법인 LCM 단독 활용시(e) 및 LCM과 FDB 가동맵 융합시(f)의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 가동맵 생성결과는 가동성이 높을수록 밝은 색으로 표현하고 있으며, 낮은 비용을 부여한 도로 부분이 가장 밝게 표시됨을 확인 가능하다. 여기서 격자크기는 중분류 토지피복도의 해상도(5m)를 고려하여 3m로 설정하였고, 이 수치는 사용자 입력을 통해 조절가능하다. Fig. 4(d)~(f)의 우측 그림은 화살표 부분의 비용을 확대도시한 그림이다. (f)의 융합을 위한 α 는 0~1사이의 값으로 조정가능하며, 여기서는 전시 효과를 높이기 위해 0.2를 부여하였다. 즉, LCM와 FDB는 중복정보에 대하여 2:8의 비율로 융합되며, 중복되지 않는 정보에 대해서는 LCM 값을 유지한다. 생성된 가동맵을 활용한 경로 생성 결과는 설정된 출발지(적색점)과 목적지(청색점) 사이를 연결하는 붉은 선으로 도시되고 있다.

우선, 가동성 표현 범위 측면에서 (d)~(f)를 비교해보면, (d)는 가동영역으로서 도로영역과 산림지대를 표현하고 있으며, (e)는 도로영역과 산림지대 뿐 아니라 초지, 논, 나지를 표현하고 있다. (a)의 FDB 도시결과를 (b)와 비교해보면 초지, 논, 나지에 대한 데이터가 산림으로 도시되고 있거나, 표시되지 않음을 확인 가능하다. (f)는 (d)와 (e)의 융합결과로서 LCM와 동일하게 도로영역과 산림지대, 초지, 논, 나지에 대한 가동영역을 공백영역 없이 표현하고 있다. 즉, LCM이 보다 많은 가동성 관련 데이터를 제공함에 따라, (e)와 (f)가 (d)보다 넓은 주행 가능 영역을 표현하고 있음을 확인 가능하다. 결과적으로 (d)는 데이터 부족으로 경로계획이 불가능하나, (e)와 (f)는 FDB가 보유하지 못한 데이터를 활용하여 경로계획이 가능함을 확인 가능하다. 추가적으로 이러한 가동성 표현 범위의 확대는 경로계획시 하나의 경로가 실시간적 붕괴 또는 위험 등에 의하여 차단되더라도, 대체경로를 제공 가능함을 의미한다.

다음으로 가동성의 세분화된 표현 관점에서볼 때, (d)는 1등도로(4차선이상)와 밀집지역관통도로, 거리도로 등으로 구분하여 표현하고 있다. (d)의 화살표 부분에 존재하는 두 개의 도로가 0.0(1등도로), 0.1(거리도로)로 구분되어 표시됨을 우측그림을 통해 확인 가능하다. 반면, (e)는 도로영역을 세부구분 없이 일관되게 부여된 cost 0.2로 표시하고 있다. (f)는 FDB와 중첩되는

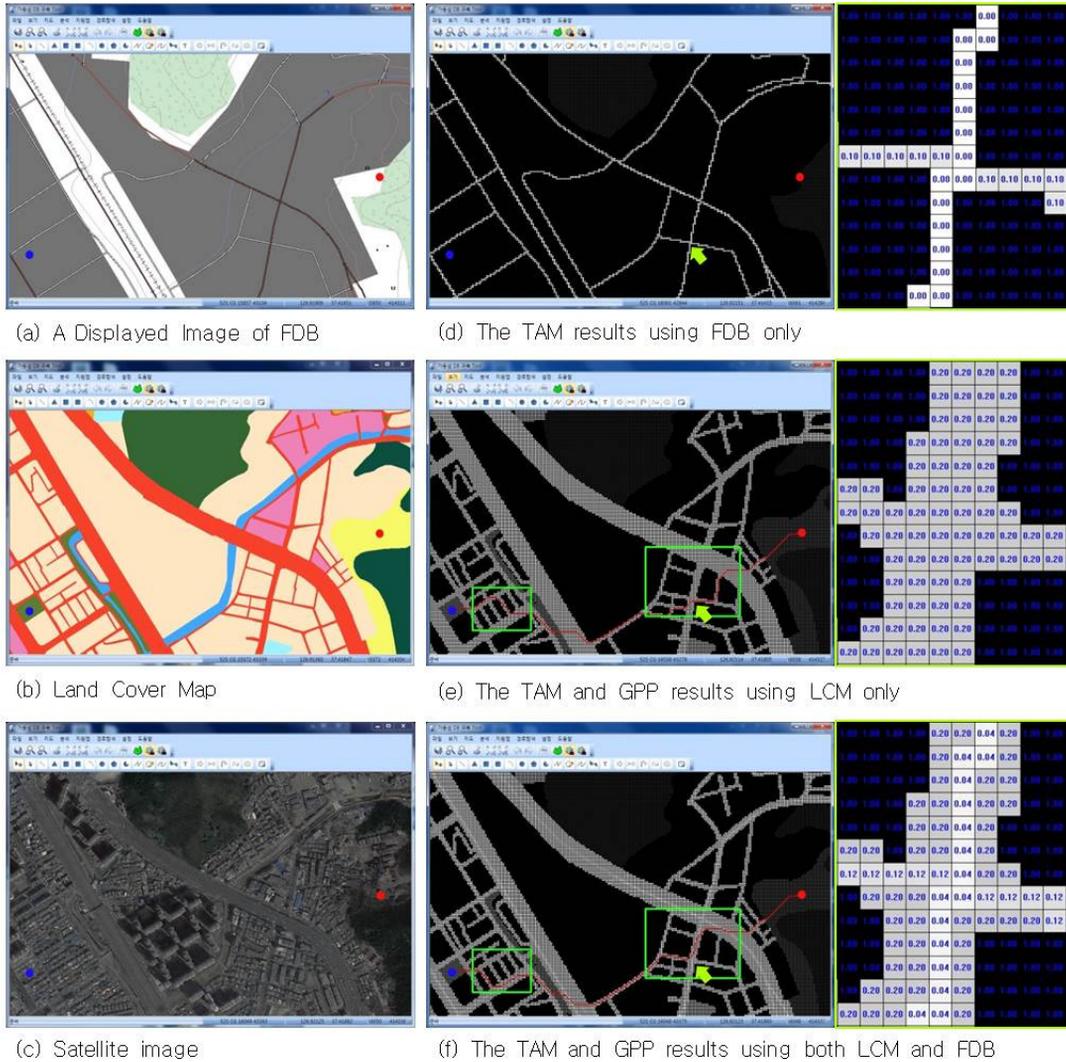


Figure 4. Generating TAM(Trafficability Analysis Map) and GPP(Global Path Planning) Results of the Three Cases

영역에 대해 (d)의 세분화된 속성정보가 융합되어 표현되고 있다. 결과적으로 경로계획시 상대적으로 낮은 비용을 부여한 1등도로와 관통도로, 거리도로를 지나도록 경로가 생성됨에 따라, 시각표시 영역에서 (e)와 (f)가 뚜렷한 차이를 보임을 확인 가능하다. 제시된 실험결과는 사용자가 고속도로/대로/포장지대 우선의 경로계획을 하도록 비용을 부여함에 따른 것으로, 비용 조절에 따라 야지 우선 등의 사용자 의도에 최적화된 경로계획이 가능하다.

4. 결론

본 논문에서는 지상무인로봇의 경로계획에 요구되는

가동맵 분석방법을 제안하였다. 이를 위해 새로운 기반 데이터로서 지표면의 재질특성을 표현하는 토지피복도의 활용가능성을 분류체계 특성에 따른 활용 데이터의 적합성과 요구 데이터의 가용성 및 정확성 측면에서 분석하고, 이를 기반으로 지상무인로봇의 주행을 위한 가동맵 생성방법으로서 토지피복도의 단독 활용방법과 타 지형정보체계와의 혼합 활용방법을 제안하였다.

일반도로 뿐 아니라 비포장도로, 야지에서의 노면의 주행가능성, 주행용이성의 분석을 목적으로 하는 가동성 분석을 위해서는 기존의 FDB만을 활용한 방법에 비해 LCM를 기반데이터로 활용할 경우 요구영역 데이터에 대한 공백없는 데이터를 제공함으로써 가동맵 생성에 대한 가용성이 보장될 뿐 아니라, 보다 넓은 범위

에 대한 가동성 표현이 가능하다. 또한, LCM을 기반으로 타 지형정보체계와 융합하여 활용할 경우, 세밀한 비용 부여로 인하여 운용자의 의도에 최적화된 경로생성이 가능하다. 시뮬레이션을 통해 LCM을 기반으로 FDB의 부분합산시 서로 다른 분류체계 간의 상호보완 효과를 보임을 확인하였다. 실제 무인체계에서 토지피복도를 FDB와 융합하여 경로 계획에 활용시 기반 데이터로서의 높은 효용성이 예상되며, 향후 FDB 이외의 지형정보와의 융합 연구 및 보다 다양한 지역에 대한 실험을 통하여 지속적인 보완이 이루어져야 할 것이다.

References

1. Giesbrecht, J., 2004, Global path planning for unmanned ground vehicle, DRDC Suffield TM 2004-272.
2. Hart, P.E., Nils J.N. and Bertram R., 1968, A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. Systems Science and Cybernetics, IEEE Transactions on, IEEE, vol. 4, no, 2 pp. 100-107.
3. Lee, H.J, Lee, Y.I., Joo, S.H. and Lee, M.C., 2010a, Traversability analysis for global path planning using digitalized geographic information, Agency for Defense Development Report, ADD.
4. Lee, H.J., Lee, Y.I. and Lee, M.C., 2010b, Mission oriented global path generation for unmanned combat vehicle based on the mission type and multiple grid maps, Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, KIMST, vol. 13, no. 2, pp. 171-179.
5. Lee, H.J., Park, W.I., Chang, H.M., Baek, I.C. and Kim, D.J., 2013. An optimal allocation model of multi-robots for cooperation control, Proceeding of the 2013 Korea Institute of Military Science and Technology, KIMST, pp. 1753-1754.
6. Ministry of Environment(Korea), 2014, Environmental geographic information system, <http://egis.me.go.kr>.
7. NIMA, 2003, National Imagery and Mapping Agency(NIMA) profile of the Digital Geographic Information Exchange Standard(DIGEST) Feature and Attribute Coding Catalogue(FACC), Geospatial Intelligence Capstone Document, NIMA USA.
8. Park, W.I., Kim, D.J. and Lee, Ho-Joo, 2013, Terrain trafficability analysis for autonomous navigation: A GIS-based approach, International Journal of Control, Automation, and System(IJCAS), ICROS & KIEE, vol. 11, no. 2, pp.354-361.