

무인차량의 자율주행을 위한 영상기반 지형분류 연구 동향

무인차량의 야지 자율주행에 있어서 지형 및 환경 인식기술은 다양한 지형/지물에 대한 인식, 분류 및 융합을 통하여 최종적인 자율주행 및 임무 목적용 인식 맵을 제작하기 위한 기술이다.

■ 성기열*, 윤주홍*, 유 준**
(*국방과학연구소, **충남대학교)

1. 서론

20세기에 들어 실용화 단계에 접어든 산업용 로봇은 컴퓨터 프로그램에 의해 제어되지만, 기동(mobile) 개념이 포함되지 않은 고정된 플랫폼에 장착되어 주로 공장자동화 등의 용도로 사용되었다. 최근에는 전자, 정보, 통신의 비약적인 발달로 외부 환경에 대한 인식과 판단 기능을 가지고 자율적으로 동작하는 지능형 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 응용 분야는 환경감시, 재해복구, 탐색 및 구조 활동, 행성탐사와 같은 민간분야 뿐만 아니라 감시/정찰, 지뢰제거 및 전투임무 등과 같은 군사적 운용에도 적용이 가능하다. 특히 영상센서를 비롯한 각종 센서의 개발과 컴퓨터의 등장으로 무인차량에 대한 관심이 커지면서 상용 차량에 대한 무인화 연구로부터 최근에는 이를 군사용으로 개발하고자 하는 시도가 늘고 있다. 무인차량을 운용하기 위해서는 원격제어 기술뿐만 아니라 자율주행 기술이 필수적으로 요구된다. 일반 도로 환경에서는 자율주행을 위하여 장애물 정보와 도로의 차선 정보 등을 추출하여 사용하게 되면 제한된 자율주행을 구현할 수 있지만, 야지 환경에서 운용되는 군사용 무인차량의 경우 자율주행을 하기 위해서 지

형의 정보를 탐지하는 기술이 필수적이라 할 수 있다. 이와 같이 야지 자율 로봇 시스템에서 해결해야 할 가장 큰 기술적 과제는 주변 환경의 감지와 감지된 정보를 어떻게 사용하여 통제할 것인가 하는 능력이 될 것이다.

본고에서는 군사용 목적의 무인로봇에 적용될 자율주행기술의 발전추세와 무인차량의 야지자율주행에 필요한 여러 가지 기술 중 특히 영상 기반의 지형분류 기법을 중심으로 연구동향 및 향후 발전방향에 대해 개설하고자한다.

2. 자율주행기술 발전 추세

미국은 전투의 효율성 증대와 전투병의 인명손실 최소화를 목적으로 군사용 로봇 개발에 집중적인 투자를 하고 있다. 최근 수년간 많은 관심이 집중되고 있는 야지 환경에서 자율주행이 가능한 로봇의 개발을 위해 미 국방부는 여러 기관을 통하여 이 분야의 기술발전을 주도하고 있으며, 미 의회는 2015년까지 지상 전투차량의 1/3을 무인화 한다는 목표를 설정한 상태이다.

자율화 기술의 단계를 표 1과 같이 1단계에서부터 10단계로 구분할 경우, 현재 미국은 4단계 기술이 요구되는 감시 정찰/경

계 목적의 MDARS-E를 양산 배치 준비 중에 있으며, 6단계의 기술이 요구되는 MULE(Multi-function Utility Logistics & Equipment)이라는 다기능 로봇을 체계개발하고 있는 실정이다. 국내의 경우 국방과학연구소가 민군겸용과제인 “네트워크 기반의 다목적 견마로봇 기술” 연구를 통하여 자율화기술 4단계(기동점 주행)를 확보하고 있는 상태이며, “다중센서기반 자율주행기술” 연구를 통하여 6단계(제한 자율 주행) 기술을 확보하기 위해 연구 중에 있다[1].

자율주행기술은 비정형화된 다양한 지형의 환경에서 임무용 차량 혹은 로봇을 스스로 주행하게 하는 기술로 모든 임무를 스스로 수행하는 개념이 아니라 어느 정도 계획된 사전 임무에 대해서 스스로 주행하는 포괄적 개념의 기술이다. 이는 무인로봇의 가장 근본적인 기술일 뿐만 아니라 차량의 소형/경량화를 통한 고효율화를 달성하는 핵심적인 기술이라고 할 수 있다. 모든 무인차량에 공통 혹은 부분적인 모듈화 적용을 목적으로 자율주행기술을 개발하기 위해서는 기본적으로 환경 감지(sensing), 인식(recognition), 위치추정(localization), 경로계획(path planning), 장애물 회피 및 경로추적 등의 기술을 통합하는 시스템적인 접근이 필요하다. 특히 센서기술, 영상/신호처리기술, 제어 및 동역학기술을 포함하는 시스템 통합기술이 필요하다.

2.1 미국의 연구 동향

미국의 경우 국방부의 DEMO I, II, III 프로그램과 DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency)의 Grand Challenge 대회 등을 통하여 자율주행기술의 발전을 주도하고 있다. DARPA가 주최하는 무인자동차 경주 대회인 그랜드 챌린지는 2004년

도에 1회 대회가 개최되었으며, 모하비사막에서 총 142마일의 야지를 주행하도록 되어 있으나, 모든 참가 차량이 7마일 이내에 실패하였다. 그러나 1년 후 개최된 2005년도의 2회 대회에서는 5개 팀이 총 132마일을 완주하는 성과를 나타내었으며, Stanford 대학팀의 스탠리(Stanley)차량이 우승하였다[2]. 2007년도의 3회 대회는 Urban Challenge로 기존의 그랜드 챌린지와는 달리 교통신호 시스템과 모의 트래픽이 존재하는 총 60마일의 도심지 코스를 경기 직전에 주어지는 몇 가지 미션을 수행하면서 6시간 이내에 완주하는 무인자동차 대회로 개최되었다. 대회 결과는 11개의 본선 참가팀 중에서 6개 팀이 완주하였으며, 이 중에서 3개 팀이 6시간 이내에 완주하였다. Urban Challenge에서 우승팀은 Carnegie Mellon 대학팀의 Boss 차량(그림 1)으로 10여개의 라이더 및 레이더를 핵심 센서로 활용하였다.

Demo III 프로그램[4]은 야지의 험한 지형에서 소형 지상 차량에 대한 자율주행기술의 개발에 중점을 둔 과제이다. 실험용 무인차량(XUV; experimental unmanned vehicle)은 포장도로에서 40mph, 주간의 비포장도로에서 20mph, 야간 또는 악천후 조건에서의 비포장도로에서는 10mph의 속도로 자율주행이 가능해야 한다. XUV에는 자율주행을 위한 센서로 라이더, 레이더, 컬러 및 적외선 카메라 등이 장착되어 있다(그림 2). DEMO III 시스템의 영상기반 지형인지 분야에 대한 기술은 Jet Propulsion Laboratory(JPL)에서 개발하고 있으며, JPL에서 개발한 지형인지 정보는 월드모델링 시스템을 구성하기 위해 레이더 및 레이저와 같은 거리측정 센서의 정보와 통합된다. DEMO III 적용을 위한 JPL의 영상기반 지형인지 시스템은 스테레오 삼각측량으로

표 1. 자율화 기술 단계(1)

단계	자율화 수준	단계 구분
1	가시권 제어	원격제어 단계
2	비가시권 제어	
3	경로 주행	반자율 단계
4	기동점 주행	
5	목표점 주행	
6	제한자율 주행	자율 단계
7	완전자율 주행	
8	협력작전	협동 및 협력 단계
9	협동작전	
10	완전자율	



그림 1. CMU & GM's Boss(3)

CMU의 Tartan Racing 팀이 GM사의 협찬으로 제작한 차량으로 최대속도는 30mph이고, 5개의 레이더와 4종 11개의 LIDAR가 자율주행을 위한 센서로 장착되어 있음.

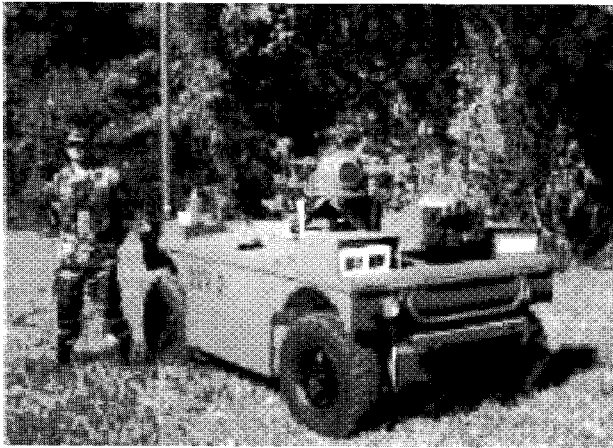


그림 2. The XUV DEMO III (5)

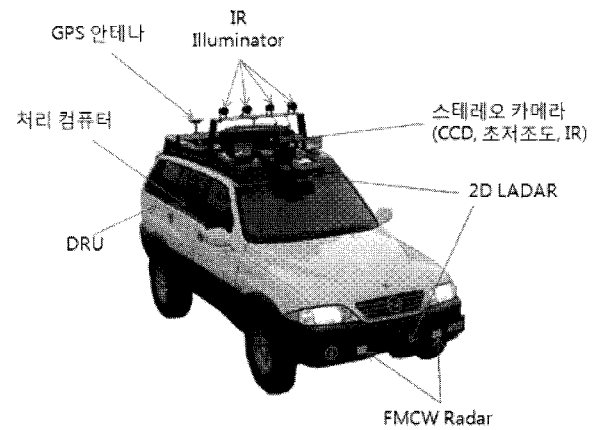


그림 4. 월드모델링 실험차량(6)



그림 3. The JPL HMMWV(5)
HMMWV(High Mobility Multi-Wheeled Vehicle)

계산된 거리영상에 대한 형태적 분석으로 장애물을 탐지하고, 컬러 영상에 대한 패턴 인식 기법을 이용한 지표면 분류결과를 거리정보에 정합하였다. 실제로 JPL에서 영상기반의 지형인지 시스템을 개발하기 위해 컬러 및 열상 스테레오 카메라를 장착한 그림 3과 같은 시험차량을 사용하였다[5].

2.2 국내의 연구 동향

국내에서도 군사용 로봇과 관련한 핵심기술의 확보를 위한 연구개발을 수행 중에 있다. 국방부-정통부 협력과제인 “네트워킹 기반의 다목적 견마로봇 기술” 연구는 주관기관인 국방과학연구소 외 전자통신연구원 등 17개 기관/업체가 참여하는 대표적인 국내 로봇 연구개발 사업으로 자율화 기술 4단계(기동

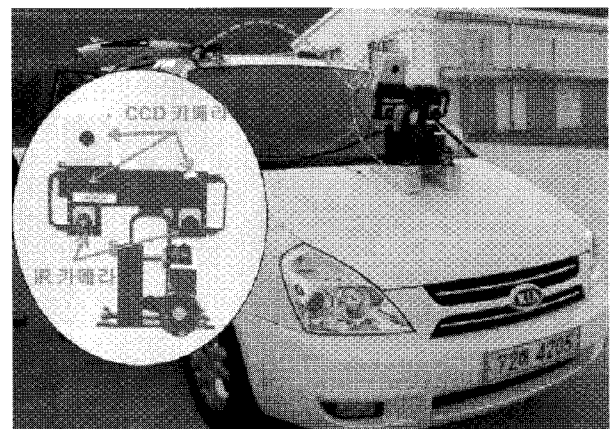


그림 5. 지형인지 실험차량

점 주행)를 확보하고 있는 상태이다. 또한 “다중센서기반 자율주행기술” 연구는 지상 무인전투체계에 공통적으로 적용될 6단계(제한 자율 주행) 기술을 확보하기 위해 지형감지센서 별 월드모델링, CCD/IR 영상기반 지형분류, 다중센서 융합 월드모델링, 시·공간 통합 월드모델링 및 자율주행경로계획 기법 등을 연구 중에 있다. 또한 KAIST를 중심으로 국방무인화기술 특화연구센터를 설립하여 군사용 로봇과 관련된 기초 기술 연구 기반을 마련하였다.

국방과학연구소에서 다중센서 월드모델링 및 영상기반 지형분류 기법의 개발을 위해 구축한 실험차량 시스템을 그림 4, 5에 나타내었다. 월드모델링 실험차량에는 지형감지를 위한 스테레오 영상 센서로서 CCD(Bumblebee), 초저조도 및 IR 카메라와 2개의 2D 라이다(SICK LMS291) 및 2개의 FMCW 레이더가 장착되어 있다. 또한 실험차량의 위치 및 자세 확인을 위한 DGPS, DRU, Digital compass 센서가 장착되며, 내부에는 센서별 월드모

델링 처리 및 통합을 위한 8대의 컴퓨터를 설치하였다[6]. 지형 인지 실험차량은 영상기반 지형분류 알고리즘 개발 및 성능시험에 활용할 목적으로 상용차량을 활용하였으며, 다양한 환경의 야지지형영상 DB 획득을 위해 CCD/IR 카메라, 실시간 영상 저장장치, 환경 센서 등이 장착되어 있다.

3. 야지자율주행을 위한 지형/환경 인식 기술

무인차량의 자율주행 관점에서 보면 야지 환경에서의 자율주행은 실내 혹은 도심지 환경에서의 자율주행 보다는 더 복잡하다는 것을 알 수 있다. 도심지 환경에서는 주변의 지면을 평탄하다고 가정함으로써, 장애물 감지와 충돌 회피를 위한 행동 전략이 단순화 될 수 있다. 실제로 2007년 Urban Challenge 대회에서 완주한 차량들은 대부분 영상센서에 의한 지형정보의 추출 보다는 다수의 라이다 또는 레이더 센서를 이용한 장애물 정보와 도로의 차선 정보만을 추출하여 자율주행을 구현하였다. 하지만 야지환경에서 효과적인 자율주행을 위해서는 기하학적인 관점의 장애물 감지 외에 지표면 분류와 같은 지형정보의 추출이 추가적으로 요구된다.

야지자율주행을 위한 지형/환경 인식 기술은 다양한 지형/지물을 인식하여 목적에 맞도록 분류하고, 융합하여 최종 자율주행 및 임무 목적용 인식맵을 제작하기 위한 기술로서 CCD, IR 등의 다중대역 영상센서, 다중레이저, RF 센서 기반의 인식 정보를 다중밴드 인식융합 혹은 인식 후 분류된 결과의 융합을 통하여 최종 자율주행의 의사결정을 지원하는데 활용된다.

무인차량의 야지자율주행을 위한 대표적인 지형인식시스템 개발사례로는 미국의 PerceptOR(Perception for Off Road Robotics) 프로그램을 들 수 있다. DARPA와 미 육군의 공동 투자에 의해 수행되는 PerceptOR 프로그램은 미 육군의 미래전투체계(FCS; future combat system) 프로그램의 핵심기술과제 중의 하나로서 FCS의 운용을 위해 필요한 자율주행 기술 수준을 높일 수 있는

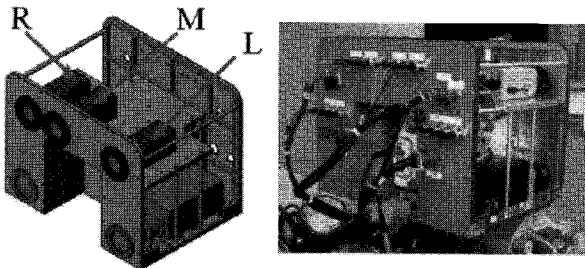


그림 6. PerceptOR 수동센서장치(7)

인지시스템을 개발하는 과제이다. 로봇 차량의 주행제어, 월드 모델 및 경로 계획, 라이다 및 레이더 센서를 이용한 능동 인지 시스템, 수동형 영상센서를 이용한 수동 인지시스템 등을 개발하여 Raptor로 명명된 로봇 차량에 적용하여 자율주행 평가를 하였다. 특히 영상 기반의 수동 인지시스템은 JPL에서 개발을 담당하였다. JPL의 주·야간 야지자율주행을 위한 수동 인지시스템 개발 결과[7]에 따르면, 수동 인지시스템은 그림 6과 같이 3가지 스테레오 기준선 제공을 위한 3개의 컬러 CCD 카메라와 2개의 MWIR 카메라가 장착된 수동센서 장치와 인지 프로세서 보드(VSS4)가 장착된 MBCU(Mobility Behavior Control Unit)를 적용하여 주·야간 지형분류가 가능토록 구성하였다. 수동 인지시스템이 적용된 로봇 차량 Raptor는 그림 7과 같다.

JPL의 수동 인지시스템은 컬러 CCD 및 MWIR 스테레오 영상을 처리하여 지형 고도, 장애물 및 분류 계층을 포함한 수동 인지 지형지도를 생성한다. 지형지도는 거리 영상, 컬러 및 열상 분류 영상, 돌출 및 침강 장애 영상, 수목 위험 영상 등을 사용하여 20cm×20cm의 구분된 셀로 최대 지표높이, 지형분류 유형, 장애물 유형, 신뢰도 등을 표현한다. 그림 8은 수동 인지 지형지도의 단계를 표현한 것이다. a는 흑백으로 나타낸 원 영상이며, b는 스테레오에 의한 거리영상으로 붉은색에서 푸른색으로 갈수록 센서로부터 먼 곳을 나타내며, c는 30미터 이내의 거리에 대한 높이, 지형분류, 장애유형 및 신뢰성 정보를 20cm×20cm의 셀로 표현한 것이다. c에서 갈색은 최대 지표 높이, 파란색은 상부 장애물의 최소 높이, 녹색은 돌출 장애물, 붉은색은 주행이

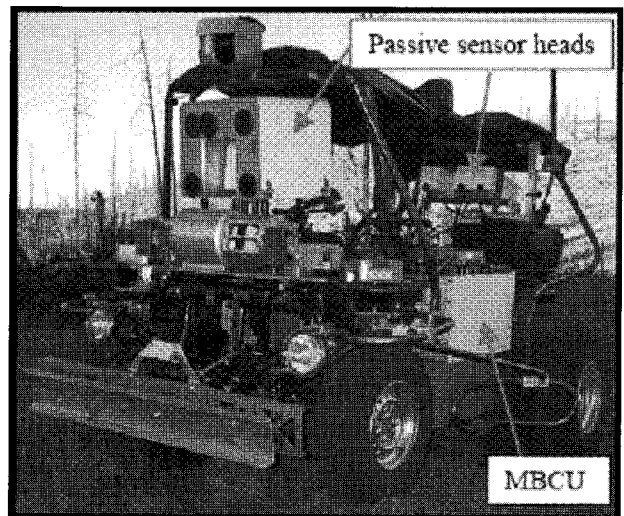


그림 7. 로봇 차량 Raptor의 구성(7)
기동특성제어장치(MBCU: Mobility Behavior Control Unit)

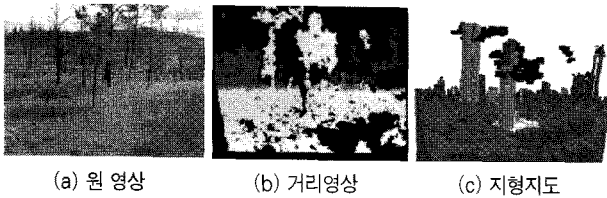


그림 8. 수동 인자시스템의 지형지도 생성 단계

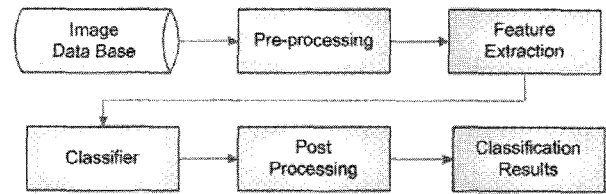


그림 9. 일반적인 패턴인식 수행 절차

불가능한 나무의 존재를 나타낸다.

4. 영상기반 지형분류 연구 동향

무인차량의 야지자율주행을 위한 지형인지 기술은 스테레오 비전 또는 LADAR를 이용한 지형 및 장애물 인지와 CCD 또는 IR 영상기반의 지표면 인식/분류로 구분된다. 특히 야지 환경에서 서로 다른 지형 특성에 대해 차량의 안정성을 확보할 수 있는 최적 속도를 결정하거나, 최적의 주행 경로를 설정하는데 지형 분류가 중요한 요소로 작용한다. 즉, 무인차량이 현재 주행 중인 지형에 대한 정보(자갈길, 진흙길, 포장로 등)를 알 수 있으면 무인차량은 안전성을 고려하여 현재 지형에 대한 최적의 주행속도를 결정할 수 있으며, 무인차량 전방의 경로 상에 주행 가능한 긴 풀이 존재하는 경우 장애물 탐지 결과만 이용한다면 장애물로 판정되어 불가피하게 경로를 변경해야 하지만, 지형 분류기법을 통해 분류된 지표면 정보를 활용할 수 있다면 주행 경로의 변경 없이 효과적인 임무수행이 가능할 것이다.

CCD나 IR과 같은 영상 센서는 수동적인 특성을 가지고 있어 전략적으로 유용하며, 소형, 경량의 시스템을 구성할 수 있다. 특히, 컬러 영상은 컬러 및 질감과 같은 많은 정보를 포함하므로 컬러 CCD 센서를 이용한 영상기반의 지형분류 기법에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 장에서는 야지자율주행을 위한 지형인지 기술 중에서 특히 영상기반의 지표면 분류 기술에 대한 보다 세부적인 내용을 다루고자 한다.

일반적으로 영상신호를 이용한 대부분의 패턴인식 시스템은 그림 9와 같이 입력 영상의 획득, 전처리, 특징추출, 분류기, 후처리 등의 과정을 거쳐 인식/분류 결과를 산출한다. 지형분류 알고리즘의 경우에도 이와 같은 절차를 따르며, 지형분류에 효과적인 특징을 추출하고, 최적의 분류기를 적용하는 기법에 대한 연구가 수행되고 있다. CCD 센서를 이용한 영상기반의 지형분류에 사용되는 대표적인 특징으로는 색상특징이나 질감특징이 있으며, 이들 특징을 이용한 지형분류 기법에 대한 최근 연구사례들에 대해 소개한다.

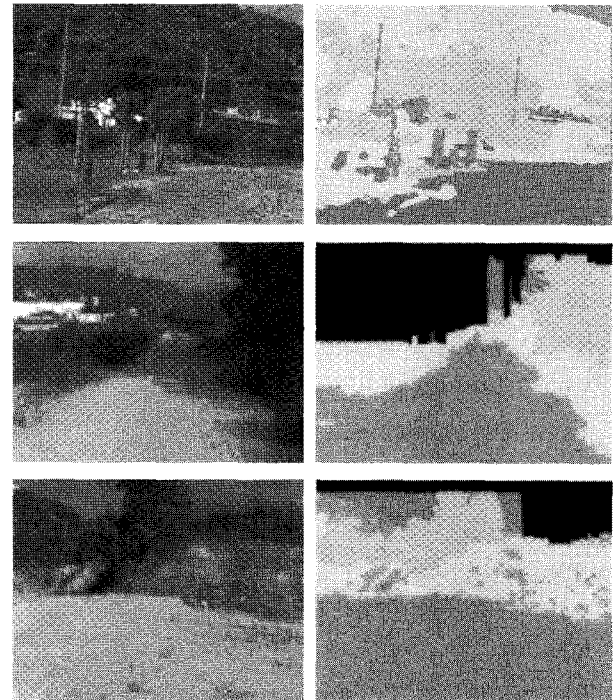


그림 10. 색상기반 지형분류 영상 (R. Manduchi)[8]

지형유형별 색상코드: 갈색-흙/바위, 노란색-마른풀, 녹색-녹색풀, 붉은색-outlier

R. Manduchi[8]와 P. Bellutta[9] 등은 흙/바위, 녹색 풀 및 마른 풀 등의 지형 클래스에 대해 색상특징을 이용한 지형분류 기법을 소개하였다. 조명 변화에 대한 영향을 보상하기 위해 다양한 환경 조건하에서 학습 데이터를 획득한 후, 각각의 지형 클래스별로 가우시안 혼합모델(GMM; Gaussian mixture model)을 생성하고, 최우도기법(ML; maximum likelihood)을 이용하여 지형분류를 수행하였다(그림 10). 시험을 통하여 영상기반의 지형분류에서 색상 정보가 매우 효과적인 특징으로 이용될 수 있음을 입증하였다.

색상특징을 이용한 지형분류의 또 다른 기법은 P. Jansen 등 [10]에 의해 소개되었는데, 그들은 유사한 환경 조건하에서 획득된 영상들은 색 공간에서의 픽셀 분포 또한 유사하다는 가정

을 하였다. 이들도 가우시안 혼합모델에 기반한 최우도기법 분류기를 적용하였으며, 환경 조건의 변화에 대한 영향을 줄이기 위해 유사한 환경상태를 갖는 학습용 영상 집합을 식별하고, 각각의 영상 집합에 대해 독립적으로 지형 클래스별 색상 모델을 생성하였다. 입력 영상에 대해 유사한 환경상태의 가우시안 혼합모델을 이용하여 하늘, 숲, 잔디, 모래, 자갈 등으로 지형 클래스를 분류하였으며, 서로 다른 환경 조건들이 존재하는 영상에 대해 개선된 지형분류 결과를 얻었다(그림 11).

그러나 야외 환경에서 영상의 색상특징만을 이용한 지형분류는 기후, 조명 및 대기 조건과 같은 환경 요인으로 인해 어려운 문제로 알려져 있으며, 실제로 R. Manduchi와 P. Bellutta의 지형분류 결과에서 색상특징의 구분이 뚜렷하지 않은 클래스나 클래스들 사이의 경계영역 및 그림자 영역 등에서는 정확하게 분류되지 않는 것으로 나타났다.

한편, R. Castano 등[11]은 질감특징을 이용한 지형분류 기법을 소개하였는데, 질감특징의 추출을 위해 Gabor 필터뱅크를 사용하였으며, 두 가지 다른 형태의 분류기를 구현하여 각각의 성능을 평가하였다. 첫 번째 분류기는 질감특징의 확률분포 함수에 대한 가우시안 혼합모델을 생성하고, 최우도기법 분류기를 적



그림 11. 색상기반 지형분류 영상 (P. Jansen)(10)

지형유형별 색상코드: 파란색-하늘, 짙은녹색-숲, 녹색-잔디, 노란색-모래, 회색-자갈

용하였다. 두 번째 분류기는 영상의 국부적인 영역의 marginal 히스토그램 특징과 학습된 클래스별 히스토그램의 평균에 대한 최소 거리 분류기를 적용하였다. 그러나 영상에서 크기와 방향에 따라 변화하는 질감특징을 추출하기 위해서는 필터의 개수가 증가되어야 하며, 특징 추출시의 연산량이 증가되어 수행시간이 길어지는 단점이 있다. 영상의 색상 및 질감특징을 이용한 지형분류에서의 단점을 극복하기 위해서 표준 광원 조건에서의 학습을 통한 클래스별 색상의 통계적 사전지식 습득 및 대기 조건의 추정에 따른 색상 복원 등의 방법을 연구 중이다.

국내에서도 국방과학연구소를 비롯한 국방무인화 특화센터 등의 기관에서 무인차량의 자율주행에 적용을 위한 영상기반 지형분류 연구를 수행 중에 있다. 국방과학연구소에서는 다중센서 기반의 자율주행 기술 과제의 일부분으로 영상센서를 이용한 지형인지 시스템을 개발하고 있으며, 지형분류 기법 개발을 위한 시스템 설계 내용 및 다양한 특징벡터와 분류기 조합이 가능한 알고리즘 구조를 제안하였다[12]. 이 연구에서는 그림 12와 같이 컬러 CCD 영상으로부터 웨이블릿 변환 특징이나 색상 특징을 추출하고, 추출된 특징벡터에 대해 분류기로서 신경망, SVM(Support Vector Machine), 또는 가우시안 혼합모델 기반의 최우도기법 분류기를 선택하도록 하였다. 분류 대상 지형을 흙, 자갈, 포장로, 잔디, 나무, 하늘의 6가지 클래스로 선정하고,

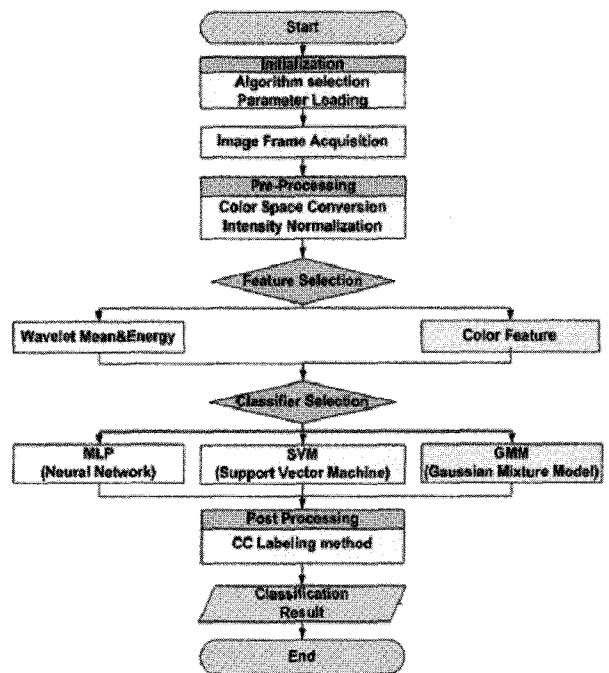


그림 12. 지형인지 알고리즘 구조(12)

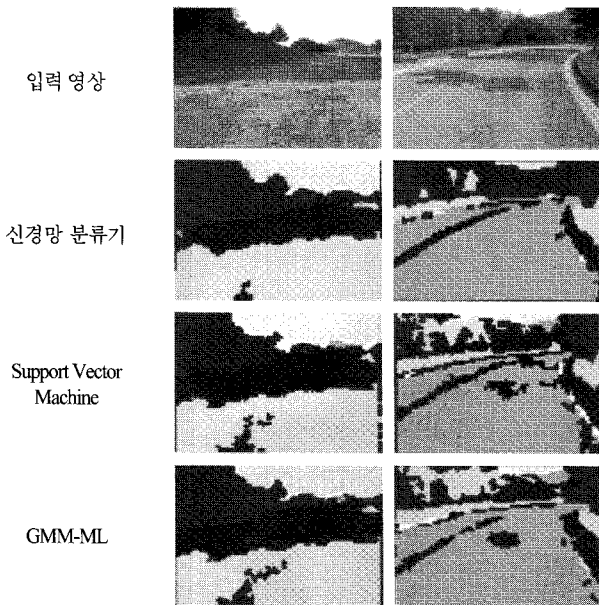


그림 13. 분류결과 영상의 예(12).

지형유형별 색상코드: 갈색-흙길, 노란색-자갈, 녹색-잔디, 파란색-숲/나무, 회색-포장로, 하늘색-하늘

각각의 분류기를 적용한 경우에 대한 분류결과 영상을 그림 13에 나타내었다. 또한 색상 특징만을 사용한 경우에 대한 단점을 극복하기 위해 컬러 CCD 영상으로부터 웨이블릿 변환을 통해 추출된 특징과 지형클래스별 공간분포 특징을 추가하여 신경망 분류기를 적용한 연구[13]와 SVM(Support Vector Machine) 분류기를 적용한 연구[14]도 소개되었다.

국방무인화 특화센터에서는 환경변화에 강한 야지 지형 인식을 위해 영상으로부터 추출된 정보들을 계층적으로 사용하여 무인차량의 주행에 적합한 영역을 결정하는 방법을 제안하였다[15]. 이를 위해 우선 스테레오 카메라를 사용한 3D geometry 정보를 추출하여 영상내의 주 평면을 검출하고, 색상 정보를 이용하여 유사한 영역들을 통합하여 유사도에 따라 평면 지형을 결정한다. 최종적으로 결정된 평면 지형에 대해 텍스톤 기반의 재질을 구분하여 기 학습된 결과와 비교를 통해 주행에 가장 적합한 영역을 결정한다.

5. 결론

무인차량의 야지 자율주행에 있어서 지형 및 환경 인식기술은 다양한 지형/지물에 대한 인식, 분류 및 융합을 통하여 최종적인 자율주행 및 임무 목적용 인식 맵을 제작하기 위한 기술

이다. 본고에서는 영상기반의 지형분류 기법에 대한 전반적인 연구동향을 소개하였는데, 향후 무인차량에 적용을 위해서 분류 유형의 단계적 확장과 다양한 야외 환경 조건에 대한 추가적인 실험을 통한 신뢰성의 확보가 필요하며, 보다 강한 알고리즘 개발을 위하여 열상 카메라와 같은 센서의 추가로 특징 융합 알고리즘의 개발에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한 현재의 CCD, IR과 같은 단일 영상센서 기반의 인식에서 초분광센서를 포함한 다중대역 영상센서로의 확장과 레이저, 레이더 등의 다중 센서에 대한 인식 정보 및 분류 결과를 시스템적으로 통합함으로써 자율주행기술이 완성될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 국방로봇 종합발전방향, 국방과학연구소, 2007.12
- [2] <http://www.grandchallenge.org/>
- [3] <http://www.tartanracing.org/>
- [4] C.M. Shoemaker and J.A. Bornstein, "The Demo III UGV Program: A Testbed for Autonomous Navigation Research", *Proc. of the IEEE Int'l Symposium on Intelligent Control, Gaithersburg, MD, Sep. 1998.*
- [5] P. Vellutta, R. Manduchi, L. Matthies, K. Owens, and A. Rankin, "Terrain Perception for DEMO III", *Intelligent Vehicles Conference, 2000.*
- [6] 심성대, 김정환, 김준, 지태영, "무인차량의 자율주행을 위한 월드모델링 기법", 한국군사과학기술학회, 종합학술대회, 2008년.
- [7] A.L. Rankin, C.R. Bergh, S.B. Goldberg, and P. Bellutta, A. Huertas, L.H. Matthies, "Passive perception system for day/night autonomous off-road navigation", *SPIE Conf. of Autonomous Vehicles, 2005.*
- [8] R. Manduchi, A. Castano, A. Talukder, and L. Matthies, "Obstacle Detection and Terrain Classification for Autonomous Off-Road Navigation", *Autonomous Robot 18, pp.81-102, Springer Science, 2005.*
- [9] P. Bellutta, R. Manduchi, L. Matthies, K. Owens, and A. Rankin, "Terrain Perception for Demo III", *Intelligent Vehicles Conference, 2000.*
- [10] P. Jansen, Wannes van der Mark, Johan C. van den Heuvel, and Frans C.A. Groen, "Colour based Off-Road Environment and

Terrain type classification", *Proc. of the 8th Int'l IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems*, Vienna, Austria, September 13-16, 2005.

- [11] R. Castano, R. Manduchi, and J. Fox, "Classification Experiments on Real-World Texture", *Workshop on Empirical Evaluation in computer Vision*, Kauai, HI, Dec. 2001.
- [12] 김도중, 성기열, 곽동민, 고정호, "무인차량 탑재형 지형분류 알고리즘 및 개발 시스템 설계", 제 4회 국방정보 및 제어기술 학술대회, 2008.7.
- [13] G.Y. Sung, D.M. Kwak, D.J. Kim, and J. Lyou, "Terrain Cover Classification Based on Wavelet Feature Extraction", *Int'l Conf. on Control, Automation and Systems*, Seoul, Korea, Oct. 14-17, 2008.
- [14] 성기열, 박준성, 유준, "Support Vector Machine 기반 지형분류 기법", 전자공학회논문지, 제45권 SC편, 제6호, 2008. 11.
- [15] 최동걸, 주한별, 복윤수, 황영배, 권인소, "환경 변화에 강인한 계층적 야지 지형 인식", 제3회 군사용 로봇 워크샵, 2008.10.

◎ 저자약력



성기열

- 1989년, 경북대학교 전기공학과 졸업
- 1991년, 동 대학원 석사
- 2009년, 충남대학교 대학원, 박사과정 수료
- 1991년~현재 국방과학연구소, 선임 연구원
- 관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터 비전 및 패턴인식



윤주홍

- 1984년, 아주대학교 기계공학과 졸업
- 1986년, 한국과학기술원 기계공학과 공학석사
- 1986년~현재 국방과학연구소, 책임 연구원
- 관심분야 : 지상무기 사격통제, 전장인식 및 무인화시스템



유준

- 1978년, 서울대학교 전자공학과 졸업
- 1980년, 1984년 한국과학기술원 전기전자공학과(공학석사, 공학박사)
- 1984년 9월~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
- 1989년 2월~1990년 2월 미취건 주립대학교 객원 교수
- 1993년 12월~1994년 2월 독일 후라우호퍼 생산공학 및 자동화(IPA) 연구소 방문연구원
- 1997년 2월~1998년 2월 캘리포니아 주립대학교(데이비스) 객원 교수
- 관심분야 : 산업공정제어, 센서신호처리, IT 기반 로봇, 항법시스템