

논문 2008-45SC-6-8

Support Vector Machine 기반 지형분류 기법

(Terrain Cover Classification Technique Based on Support Vector Machine)

성기열*, 박준성*, 유준**

(Gi-Yeul Sung, Joon-Sung Park, and Joon Lyou)

요약

야외 환경에서 무인차량의 자율주행에 있어서 효과적인 기동제어를 위해서는 장애물 탐지나 지형의 기하학적인 형상 정보 외에 탐지된 장애물 및 지형 표면에 대한 재질 유형의 인식 및 분류 또한 중요한 요소이다. 영상 기반의 지표면 분류 알고리듬은 입력 영상에 대한 전처리, 특징추출, 분류 및 후처리의 절차로 수행된다. 본 논문에서는 컬러 CCD 카메라로부터 획득된 야외 지형영상에 대해 색상 및 질감 정보를 이용한 지형분류 기법을 제시한다. 전처리 단계에서 색공간 변환을 수행하고, 색상과 질감 정보를 이용하기 위해 웨이블릿 변환 특징을 사용하였으며, 분류기로서는 SVM(support vector machine)을 적용하였다. 야외 환경에서 획득된 실영상에 대한 실험을 통하여 제시된 알고리듬의 분류 성능을 평가하였으며, 제시된 알고리듬에 의한 효과적인 야외 지형분류의 가능성을 확인하였다.

Abstract

For effective mobility control of UGV(unmanned ground vehicle), the terrain cover classification is an important component as well as terrain geometry recognition and obstacle detection. The vision based terrain cover classification algorithm consists of pre-processing, feature extraction, classification and post-processing. In this paper, we present a method to classify terrain covers based on the color and texture information. The color space conversion is performed for the pre-processing, the wavelet transform is applied for feature extraction, and the SVM(support vector machine) is applied for the classifier. Experimental results show that the proposed algorithm has a promising classification performance.

Keywords: terrain cover classification, wavelet transform, SVM(Support Vector Machine),
UGV(Unmanned Ground Vehicle)

I. 서 론

야외 환경에서 자율주행이 가능한 무인차량에 대한 연구가 많은 관심의 대상이 되고 있다. 무인차량의 야외 자율주행에 있어서 효과적인 기동을 위해서는 주변 지형 및 장애물에 대한 정보와 함께 무인차량이 주행하게 될 지표면에 대한 특성 정보를 통합하여 구성하는 것이 필요하다.^[1~2] 지형 형상 및 장애물 탐지를 위해서

는 스테레오 비전, LADAR 등과 같은 센서를 이용한 거리 정보가 주로 사용되지만,^[3~4] 지표면에 대한 특성을 식별 및 분류하기 위해서는 수동 센서를 이용한 영상 정보가 필요하며, 영상기반의 인식 및 분류기법에 대한 연구가 필수적이다.

야외 환경에서 영상기반의 지표면 분류를 위해 컬러 카메라로부터 색상 특징을 이용한 지형분류 방법들이 제시되었으나,^[5~6] 야외에서의 색상 특징을 이용한 지형분류는 기후나 조명 및 대기조건과 같은 환경변화로 인해 어려운 문제로 알려져 왔다. 색상기반 분류의 단점을 극복하기 위해 Gabor 필터 뱅크로부터 추출된 질감 특징을 이용한 방법^[7]이나, 색상 및 질감 특징을 이용한 분할의 융합 방법^[8]이 제시되었다.

* 정회원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)

** 평생회원-교신저자, 충남대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University)

접수일자: 2008년10월20일, 수정완료일: 2008년10월22일

본 논문에서는 야지 영상에 대한 색상 및 질감 정보를 기반으로 지형 분류를 하기 위해 입력영상에 대한 다채널 웨이블릿 변환을 통해 추출된 웨이블릿 평균 및 에너지 특징을 이용한 SVM(Support Vector Machine) 기반의 지형분류 방법을 제시한다.

일반적으로 영상 기반의 지형분류 알고리듬은 입력 영상에 대한 전처리, 특징추출, 분류기적용 및 후처리의 절차로 수행된다. 본 논문에서는 영상센서로부터 입력된 영상신호의 색 좌표 변환의 전처리를 수행하고, 웨이블릿 변환을 통해 부 대역별 계수들의 평균과 에너지를 특징벡터로 추출하며, 분류기로는 SVM을 적용한 지형분류 기법에 대한 연구내용을 소개한다. 논문의 구성은 II장에서는 알고리듬 수행 단계별 주요 내용을 설명하고, III장에서는 야외에서 획득한 영상에 대한 실험을 통하여 제시한 알고리듬의 성능을 확인하고, IV장에서 결론과 성능 향상을 위한 추가적인 연구방향을 제시한다.

II. 본 론

본 논문에서 제안하는 야외 영상에 대한 지형분류 알고리듬은 SVM 분류기 적용을 위한 오프라인 학습단계와 지형영상 입력으로 시작되는 수행(running)단계로 구분되며, 그림 1의 순서도와 같이 입력 영상에 대한 전처리, 웨이블릿 변환 및 특징 추출, SVM을 이용한

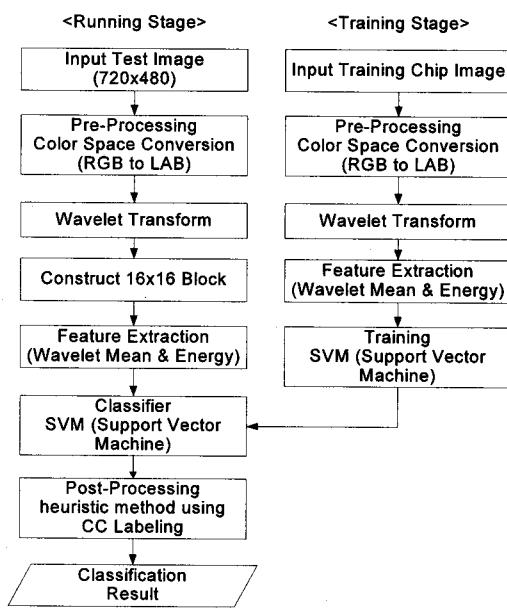


그림 1. 알고리듬 수행 순서도

Fig. 1. Flow chart of the proposed algorithm.

학습 및 분류, 결과에 대한 후처리의 절차로 수행된다.

1. 전처리

전처리 단계에서는 컬러 CCD 카메라로부터 획득된 RGB 컬러 영상을 CIE-Lab^[9] 색 공간으로 변환하는 기능을 수행한다. CIE-Lab 색공간은 명도축을 나타내는 L, 빨강/초록의 보색축인 a, 노랑/파랑의 보색축인 b로 색 좌표를 표현하며, 출력장치에 독립적으로 색 공간을 표현할 수 있는 특징이 있다.

2. 웨이블릿 변환 및 특징추출

특징 추출을 위하여 전처리 단계에서 변환된 Lab 3 채널의 영상에 대하여 각각 Daub4^[10] 웨이블릿을 적용하였다. 그림 2는 L 채널 영상에 대한 2단계 웨이블릿 적용 결과로서 HL은 수평방향 에지 성분을 나타내며, LH는 수직방향 에지 성분, HH는 대각방향 에지 성분을 포함한다. 영상에 대한 특징은 2단계 웨이블릿 변환 후 각 대역별 평균과 웨이블릿 에너지 값을 사용하는데, 웨이블릿 변환 후 k 번째 부 대역 계수들에 대한 절대평균(B_k^{mean}) 및 웨이블릿 에너지(B_k^{Energy})는 각각 식 (1), (2)를 이용하여 구할 수 있다^[11].

$$B_k^{Mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |c_i^k|, \quad i \in B_k \quad (1)$$

$$B_k^{Energy} = \frac{100}{E_{total}} \sum_{i=0}^{N-1} (c_i^k)^2, \quad E_{total} = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{i=0}^{N-1} (c_i^k)^2 \quad (2)$$

여기서, N은 부대역의 웨이블릿 계수의 총 개수이며, c_i^k 는 k 번째 부대역의 i 번째 계수이며, K는 부대역의 총 개수이다. E_{total} 은 총 에너지를 나타낸다.

7개 부 대역 중 잡음 특성을 많이 포함하고 있는 B_3 와 B_6 부 대역을 제외한 나머지 5개 부 대역에 대한 Lab 채널 별 15개의 웨이블릿 에너지와 B_0, B_4, B_5 대역에 대한 채널 별 9개의 웨이블릿 평균값을 추출하여

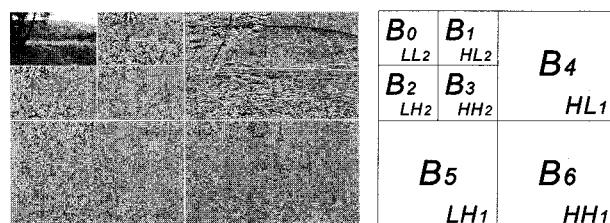


그림 2. 2단계 이산 웨이블릿 변환 이미지

Fig. 2. Image of 2-level discrete wavelet transform.

24차원의 특징벡터를 추출하였다. 이 중에서 B_0 대역의 평균은 색상정보를 포함하는 대역으로 높은 값을 가지는 DC 성분이 SVM 분류기 학습에 미치는 영향을 줄이기 위해 0.1의 가중치를 곱하여 적용하였다. 식 (3)과 같이 각 채널 당 5개의 웨이블릿 에너지와 3개의 웨이블릿 평균을 특징으로 사용하여 추출된 24차원의 특징 벡터는 식 (4)와 같다.

$$F_{Ch} = \{ 0.1B_0^{Mean}, B_4^{Mean}, B_5^{Mean}, B_0^{Energy}, B_1^{Energy}, B_2^{Energy}, B_4^{Energy}, B_5^{Energy} \} \quad (3)$$

$$F = trans\{F_L \ F_a \ F_b\} \quad (4)$$

3. SVM 분류기

Support Vector Machine(SVM)는 Vladimir Vapnik과 AT&T Bell 연구소의 팀이 개발한 2 class 분류 방법이며, 이를 활용한 SVM 분류기는 통계적 학습 이론에 기반을 둔 것으로서, 그림 3과 같이 특징 공간(Feature space)에서 주어진 class 간의 마진을 최대로 하는 최적 분류 초평면(OSH : Optimal Separating Hyper-planes)을 구하는 것이다.^[12]

이 때 최적의 초평면은 다음의 최적화 문제의 해로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Q(w) &= \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \text{subject to: } y_i(w^T x_i + b) &\geq 1 \text{ for } i=1, \dots, m \end{aligned}$$

하지만 SVM은 구조적으로 이진 분류기라는 단점을 가지고 있어서 다중 클래스 분류가 요구되는 응용 분야에 적용이 쉽지 않다. 따라서 이를 해결하기 위해 이진 분류기인 SVM을 일대일(One-Against-One), 일대다

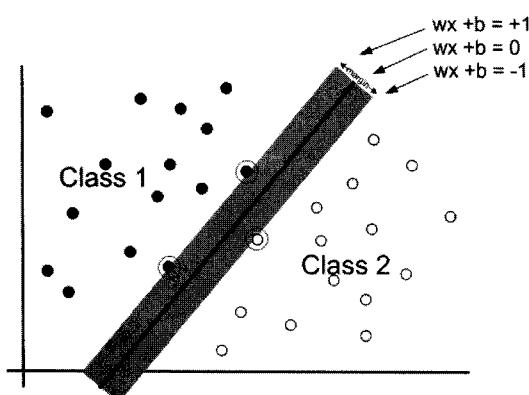


그림 3. 최적 분류 초평면

Fig. 3. OSH : Optimal Separating Hyper-planes.

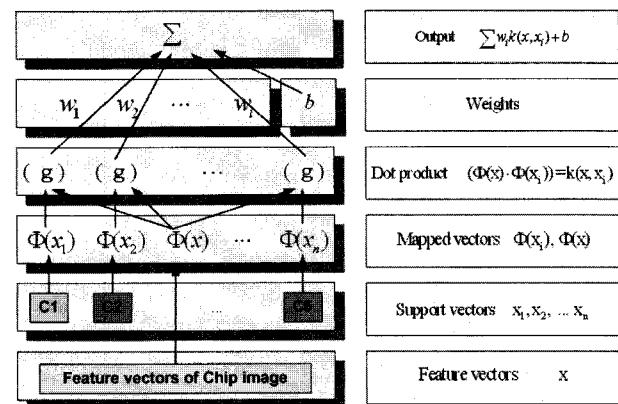


그림 4. 일대일 SVM 학습 및 분류 과정

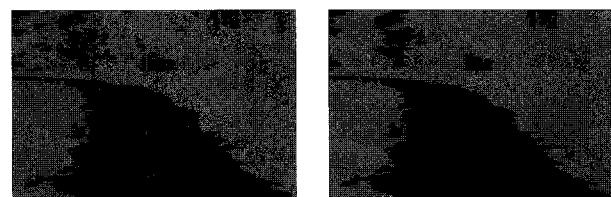
Fig. 4. Training and Running process of SVM using one-against-one.

(One-Against-All), 또는 DAG(Directed Acyclic Graph) 등과 같이 다수의 SVM들을 조합하여 학습시키는 방법들을 활용하고 있다^[13]. 그리고 초평면이 비선형인 경우에는 Kernel 트릭을 사용하여 특징 공간에서 선형 분리가 가능하도록 한다.

본 논문에서는 웨이블릿을 통하여 추출한 특징들을 일대일 SVM을 적용하여 학습시켰으며, 학습을 위한 툴로는 LibSVM^[14]을 사용하였다. 전체 학습 및 분류 과정은 그림 4와 같다.

4. 후처리

분류기를 통한 지형분류 결과는 씨드 확산법을 적용한 그레이 레벨 영상에 대한 레이블링 및 Blob 제거 방법을 이용하여 후처리를 한다. 그레이 레벨 영상 레이블링 알고리듬은 기본적으로는 2진 영상의 레이블링 알고리듬을 확장시킨 것으로 씨드 확산법을 이용한 4방향 연결성분 레이블링이다.^[15] 그레이 레벨 영상에 대한 레이블링을 통한 고립영역의 크기를 기준으로 주변영역의 클래스 정보를 이용하여 Blob 제거를 수행한다. 그림 5(a)는 지형분류 결과 영상을 나타내며, (b)는 후처리 적용된 영상을 나타낸다.



(a) before processing

(b) after processing

그림 5. 분류결과 영상에 대한 후처리 적용 결과

Fig. 5. Result of post-processing by image labeling and blob removing.

III. 실험 결과

실험을 위한 영상은 SONY사의 XC-555 컬러 CCD 카메라로부터 30Frame/sec의 NTSC 출력을 실시간 무손실 저장장치를 이용하여 획득하였으며, 야외 지형에 대해 획득된 임의의 720×480 영상 프레임에서 분류 대상 유형별로 16×16 크기의 학습용 칩을 200개씩 추출하였다. 720×480 해상도를 가지는 10장의 영상 프레임에 대해 실험을 수행하였으며, 분류 유형은 흙, 자갈, 포장로, 잔디, 수풀 및 하늘의 6종을 대상으로 하였다. 학습 단계에서는 획득된 야외 지형영상의 임의의 프레임에서 추출한 유형별 칩 영상에 대해 색공간 변환과 웨이블릿 평균 및 에너지 특징을 추출하여 SVM에서의 학습을

입력 영상	수작업 영상	분류결과	후처리 적용	분류율(%)
				82.74
				82.89
				73.11
				73.79
				82.51
				86.97
				72.45
				51.10
				63.15
				72.97

그림 6. 실험 결과 (분류 유형별 색상 코드 : 흙-갈색, 자갈-노란색, 포장로-회색, 잔디-녹색, 수풀-파란색, 하늘-하늘색)

Fig. 6. Experimental results (color code : soil-dark brown, gravel-yellow, pavement-gray, grass-green, foliage-dark blue, sky-sky blue).

통해 학습결과 파라메터를 생성하였으며, poly-nomial 2차 커널 함수를 사용하여 학습한 결과 138개의 support 벡터가 추출되었다.

수행단계에서는 입력되는 영상 프레임에 대해 학습 단계에서와 마찬가지로 전처리, 웨이블릿 변환을 수행하고, 16×16 픽셀 크기의 블록을 구성한다. 각 블록에 대한 웨이블릿 평균과 에너지 특징을 추출하고, SVM 분류기로 입력하여 6가지 유형으로 분류하였다. SVM 분류기로부터 분류된 결과영상은 씨드 확산 레이블링 및 blob 제거 알고리듬을 적용하여 후처리하였다.

분류결과의 정량화를 위해 수작업으로 분류한 영상을 이용하였다. 10장의 시험용 영상에 대한 분류결과 평균 분류율은 약 71.42%이고, 후처리를 적용한 경우의 평균 분류율은 약 74.17%로 증가하였다. 그림 6은 실험 결과로서 시험용 입력영상, 분류결과 및 후처리 적용 영상, 분류성능 확인을 위한 수작업 분류 영상을 나타낸다.

IV. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 무인차량의 야지 자율주행 기술에 적용을 위한 웨이블릿 특징과 SVM을 이용한 지형분류 기법을 제안하였으며, 분류 성능에 대한 정량적인 평가를 위해 실제 야지에서 획득한 시험 영상을 이용하여 Matlab 기반의 실험결과를 제시하였고, 제한적 조건의 야외 환경에서 효과적인 분류가 가능함을 확인하였다.

향후 실제 무인차량의 기동제어 시스템에 적용을 위해서 분류 유형의 단계적 확장과 무인차량의 기동 관점에서 보다 효과적인 분류 특징 추출이 필요하며, 다양한 야외 환경 조건을 고려한 추가적인 실험을 통하여 신뢰성의 확보 및 장기한 알고리듬 개발을 위한 특징 융합 알고리듬의 개발에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] R. Manduchi, A. Castano, A. Talukder, L. Matthies, "Obstacle Detection and Terrain Classification for Autonomous Off-Road Navigation", *Autonomous Robot 18*, pp.81-102, Springer Science, 2005.
- [2] P. Bellutta, R. Manduchi, L. Matthies, K. Owens, A. Rankin, "Terrain Perception for Demo III", *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle's Symposium*, pp.326-331, Dearborn, MI, USA,

Oct.4-5, 2000.

- [3] L. Matthies, A. Kelly, T. Litwin, and G. Tharp, "Obstacle Detection for Unmanned Ground Vehicles: A Progress Report", *Robotics Research* 7, Springer-Verlag, 1996.
- [4] L. Matthies, T. Litwin, K. Owens, A. Rankin, K. Murphy, D. Coombs, J. Gilsinn, T. Hong, S. Legowik, M. Nashman, and B. Yoshimi, "Performance evaluation of UGV obstacle detection with CCD/FLIR stereo vision and LADAR" *IEEE ISIC/CIRA/ISAS Joint Conference*, 1998.
- [5] Paul Jansen, Wannes van der Mark, Johan C. van den Heuvel, Frans C.A. Groen, "Colour based Off-Road Environment and Terrain type Classification", *Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.61-66, Vienna, Austria, Sep.13-16, 2005.
- [6] Roberto Manduchi, "Learning Outdoor Color Classification", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28. No. 11, pp.1713-1723, Nov.2006.
- [7] Rebecca Castano, Roberto Manduchi, Justin Fox, "Classification Experiments on Real-World Texture", *Workshop on Empirical Evaluation in Computer Vision*, Kauai, HI, Dec. 2001.
- [8] Roberto Manduchi, "Bayesian Fusion of Color and Texture Segmentations", *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp.956-962, Kerkyra, Sep. 1999.
- [9] Commission Internationale de L'Eclairage(CIE), *Official Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, and Metric Color Terms*, Pub. No. 15, Supp. Num. 2 (E-1.3.1), 1976.
- [10] Ingrid Daubechies, *Ten Lectures on Wavelets*, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- [11] M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, J. M. Poggi, "Wavelet Toolbox User's Guide", MathWork Inc.
- [12] V. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [13] C.W. Hsu and C.J. Lin, "A comparison of methods for multi-class support vector machines", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 13, pp.415-425, 2002.
- [14] C.-C. Chang and C.-J. Lin, *LIBSVM : a library for support vector machines*, 2001, software available at
<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
- [15] Y. Shima, T. Murakami, M. Koga, "A high

speed algorithm for propagation-type labeling based on block sorting of runs in binary images", *Proceedings of 10th International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 1, pp.665-665, 1990.

저자 소개



성 기 열(정회원)

1989년 경북대학교 전기공학과
학사 졸업.

1991년 경북대학교 전기공학과
석사 졸업.

1991년 2월~현재 국방과학연구소
연구원.

<주관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 패턴인식>



박 준 성(정회원)

1991년 충남대학교 전자공학과
학사 졸업.

1993년 충남대학교 전자공학과
석사 졸업.

1993년 3월~현재 국방과학연구소
연구원.

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상추적, 패턴인식>



유 준 (평생회원)

1978년 서울대학교 전자공학과
(공학사)

1980년, 1984년 한국과학기술원
전기전자공학과
(공학석사, 공학박사)

1984년 9월~현재 충남대학교
전기정보통신공학부 교수.

1989년 2월~1990년 2월 미쉬건 주립대학교 객원
교수.

1993년 12월~1994년 2월 독일 후라운호퍼 생산
공학 및 자동화(IPA) 연구소 방문연구원.

1997년 2월~1998년 2월 캘리포니아 주립대학교
(데이비스) 객원교수.

<주관심분야 : 산업공정제어, 센서신호처리, IT 기
반 로봇, 항법시스템>