

도로표면 상태 및 분류

The Conditions and Segmentation of Road Surface

한태환* · 류승기**

(Tae Hwan, Han* · Seung Ki, Ryu**)

명지신문대학 교수* · 한국건설기술연구원 책임연구원**

요약

입력신호인 도로표면의 화상 데이터는 낮 시간대의 아스팔트 포장 도로면을 촬영하여 도로표면 상태의 화상을 만들었고, 편광 및 웨이블릿 변환(Wavelet transform)으로 도로 표면을 5가지의 상태(건조, 습윤, 수막, 적설, 동결)로 인식할 수 있는 분류기준절차를 연구하였다. 표면 화상 인식 과정은 편광계수에 의한 젖은 땅으로 분류한 후, 다음으로 젖은 땅을 제외한 나머지는 웨이블릿 패킷 변환을 통해 시간-주파수 분석을 하였다. 또한 영상 템플릿을 이용하여 마른 땅과 빙판의 표준적인 주파수 특성을 분석하여, 마른 땅과 빙판을 구분하였다. 도로표면영상에서 마른 부분과 젖은 부분을 구분한 결과를 정리하였다.

1. 서론

도로 표면 상태는 날씨 변화에 따라 여러 상태로 변화하는 데 일반적으로 건조한 상태, 젖은 상태, 수분 층이 형성된 상태, 눈이 쌓인 상태, 빙판 등으로 구분할 수 있다. 이러한 도로 표면 상태의 변화에 대한 정보를 실시간으로 수집할 수 있다면, 교통 소통과 안전에 도움이 될 수 있다. 현재는 모든 도로에 대해서 표면을 알 수 있는 방법이 없으며, 다만 가시 카메라가 설치되어 있는 지점을 육안으로 확인하거나, 특정 지점에 기상관측 장비를 설치하여 도로 표면 상태를 관측하는 것이 일반적이다.

웨이블릿을 이용한 텍스처 인식은 3단계의 Discrete Wavelet Transform symlet-tab 10 filter를 이용하여 웨이블릿을 구현하고, 각 이미지의 블록에 대하여 여러 가지 특징을 추출하여 분류 성능을 평가하였으며, 평균과 표준 편차를 이용하여 텍스처를 분류하였다. 이 두 가지 성질을 합쳐 WSF(Wavelet Statistical Features)라고 한다[1]. 주파수 영역의 에너지를 분석하여 가장 큰 에너지를 가진 주파수 영역을 기준으로 분류하는 방법을 사용하므로, 전체 주파수 영역을 균등 분할하여 모든 주파수가 동일한 분해 수준(Decomposition level)을 가지게 하는 웨이블릿 패킷 변환[2]과 텍스처에 방향성이 있는 경우 서브 이미지 블록 간의 웨이블릿 특성을 비교하는 것으로 회전된 텍스처의 경우에 임의의 변환(Radon transform)을 이용하여 먼저 이미지의 회전을 보정한 다음 텍스처를 인식하는 방법[3] 및 웨이블릿을 이용하여 전체 텍스처를 인식하는 기술 외에 이미지를 텍스처의 형태에 따라 Segmentation하는 기술[4]이 있다. 본 연구에서는 카메라 영상과 웨이블릿 변환을 이용한 도로 표면 상태 분류와 평가를 하고자 한다.

2. 편광 효과 및 웨이블릿 변환

2.1 편광 효과

빛은 전기장과 자기장이 서로 수직을 유지하면서, 진행방향에 대해 횡으로 진동을 하면서 전파되는 것이다. 어느 한 방향으로 진행하는 빛에 대해 전기장이 진동하는 방향(편광방향)은 진행방향에 대해 수직인 평면 위에 아무 방향으로나 놓일 수 있어서 두 가지 성분으로 분리할 수 있다. 비편광은 비금속성 물체의 표면에서 반사될 때 편광 현상을 일으킬 수 있다. 편광이 일어나는 정도는 빛이 표면에 도달하는 각도와 표면을 구성하고 있는 소재에 의해 결정된다. 또한 편광은 굴절에 의해서도 일어날 수 있으며, 두 개의 서로 다른 물질들 사이의 계면에서 빛의 방향이 바뀌는 데, 이 경우 재료에 따라 굴절된 빛은 편광을 띠게 된다.

반사광의 강도를 I 라 한다면 반사광의 방향 성분 I_s (수직 방향 성분)와 I_p (수평 방향 성분)는 반사율 R_s 과 R_p 를 이용하여 다음의 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I_s &= R_s \cdot I \\ I_p &= R_p \cdot I \end{aligned} \quad (2.1)$$

이를 이용하면 편광 비율(H)를 다음의 식 (2.2)와 같이 정의할 수 있다.

$$H = I_s / I_p = R_s / R_p \quad (2.2)$$

마른 상태의 노면의 경우 $H=1$ 을 만족시키게 되고 젖어 있는 노면의 경우 $1 < H < \infty$ 를 만족시키게 된다. 따라서 편광 필터를 수직 방향으로 사용하여 촬영한 노면의 사진과 편광 필터를 수평 방향으로 사용하여 촬영한 노면의 사진을 비교하여 편광 비율(H)을 구하면 노면 표면이 젖어 있는 상태인지 마른 상태인지 구분할 수 있다. 그림 3은 마른 부분과 젖어 있는 부분이 섞여 있는 도로를 수평 편광 필터와 수직 편광 필터를 이용하여 각각 촬영한 후 편광 비율(H)을 구하여 나타낸 것이다. 편광 비율을 나타낸 그림을 보면 젖어 있는 부분은 편광 비율이 높으므로 밝게 나타나고 말라 있는 부분은 편광 비율이 1에 가깝기 때문에 상대적으로 크기가 작아 어둡게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

2.2 웨이블릿 변환

Wavelet은 Wave와 let의 합성어로 let은 작은 것을 의미하므로 즉, 작은 파동을 뜻한다. 웨이블릿 변환이란 데이터나 함수 또는 연산자를 다른 주파수 요소들로 분할하는 하나의 툴이며 각 요소들을 그의 스케일에 맞는 해상도와 함께 연구하는 것이다. 시간영역을 포함하는 하나의 신호의 웨이블릿 변환은 스케일 (또는 주파수)과 시간 두 변수에 달려있다. 웨이블릿은 시간-주파수영역의 국소화를 위한 하나의 툴을 제공한다. 또한 웨이블릿 변환은 푸리에(Fourier) 변환에 기반을 둔 기존의 신호처리 알고리즘에 비해 속도가 빠르기 때문에 최근 신호 및 영상처리 분야에 많이 응용되고 있다.

웨이블릿 변환은 잠깐 나타나는 고주파 현상을 과도 신호 (Transient in signal) 또는 함수의 특이점 (Singularity) 같은 것을 잘 들여다 볼 수 있다는 점에서 윈도우 된 푸리에 변환 보다 더 우수하다고 할 수 있다.

2.3 Haar 변환

Haar 변환은 분리가능하고 대칭이며 다음의 식 (2.3)과 같이 행렬형태로 나타낼 수 있다.

$$T = HFH \quad (2.3)$$

여기서, F 는 $N \times N$ 이미지 행렬이고 H 는 $N \times N$ 변환행렬이며 T 는 $N \times N$ 변환결과행렬이다. Haar 변환과 변환행렬 H 는 Haar 기저함수 $h_k(z)$ 를 갖는다. 가정과 정의의 절차에 따라서 정리하면 다음과 같다.

$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 에 대하여 $z \in [0, 1]$ 이고 $N = 2^n$ 으로 가정하고, $k = 2^p + q - 1$ 인 정수 k 를 정의 한다면, 이때 p 와 q 는 $0 \leq p \leq n-1$ 이 되고 $p = 0$ 이면 $q = 0$ 또는 1 이다. 만일 $q \neq 0$ 라면 $1 \leq q \leq 2^p$ 이다. 그러면 Haar 기저함수는 다음의 식 (2.4) 및 (2.5)와 같다. 또한 그림으로 그리게 되면 아래의 그림 4와 같이 그리게 된다.

$$h_0(z) = h_{00}(z) = \frac{1}{\sqrt{N}}, z \in [0, 1] \quad (2.4)$$

$$h_k(z) = h_{pq}(z) = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{cases} 2^{p/2}, & \frac{q-1}{2^p} \leq z \leq \frac{q-0.5}{2^p} \\ -2^{p/2}, & \frac{q-0.5}{2^p} \leq z \leq \frac{q}{2^p} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

Haar 변환에서의 2×2 변환행렬 H_2 와 4×4 변환행렬 H_4 및 변환행렬 H_8 은 각각 다음의 식 (2.6)과 같이 정의된다.

$$H_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$H_4 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ \sqrt{2} & -\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & -\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$H_8 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ 2 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 \end{bmatrix}$$

2.4. 웨이블릿 팩킷 (Wavelet Packets)

고속 웨이블릿 변환은 하나의 함수를 로그적으로 관계된 주파수대역들의 수열로 분해한다. 즉, 저주파 성분들은 좁은 대역으로, 반면에 고주파 성분들은 광대역으로 그룹을 이룬다. 고속 웨이블릿 변환은 함수를 더 유연성 있게 분해하도록 일반화 하였다[5]. Two-scale 필터뱅크에서는 분해를 이진 계보 (Binary tree)로 나타낼 수 있다. Root-node는 가장 높은 Scale 레벨의 근사 계수 (Approximation Coefficient)에 해당된다. Three-scale 해석 계보는 그림 1에 나타내었다.

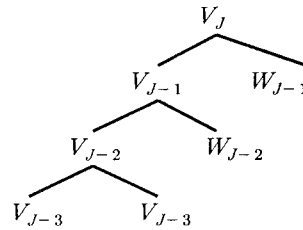


그림 1. Three FWT 필터뱅크의 Decomposition Space Tree

해석 계보는 웨이블릿 팩킷을 묘사하는 효율적인 메카니즘이다. 첫 번째 아래첨자는 고속 웨이블릿 변환 (FWT)의 부모 노드 (Parent node)의 Scale을 나타내고 아래첨자의 두 번째에 위치하는 글자는 부모 (Parent)로부터 노드에 이르는 통로를 부호화 하는 것이다.

3. 도로 표면 상태 감지 알고리즘 제안

본 연구에서 제안하는 도로 표면 상태 감지 알고리즘은 웨이블릿 변환과 편광 필터의 특성을 동시에 적용한다. 영상 취득 장치에서 얻어진 도로의 수직 편광 영상과 수평 편광 영상은 편광 계수를 계산하는데 이용되며, 동시에 수평 편광 영상은 웨이블릿 팩킷 변환기를 통과하여 웨이블릿 계수를 얻는데 쓰이고, 이 계수를 이용하여 도로 표면의 질감을 분류함으로써 아래의 표 1과 같이 도로표면 상태를 구분하며 그림 2와 같이 노면상태 판정절차를 제안한다.

표 1. 도로 표면 상태의 구분

상태명	노면의 상태	
건조(마른상태)	노면의 표면에 전혀 수분이 없는 상태	
습윤(젖은상태)	노면의 표면이 젖어 있는 상태	
수막(수분층)	노면의 표면에 수분 층이 형성되어 있는 상태	
적설 (쌓인눈)	신설	눈송이, 싸라기눈, 사베기 노면을 덮은 상태
	물눈	물이 포화된 눈의 상태
	압설	쌓인 눈이 밝혀서 굳어진 상태
동결 (빙판)	압설빙판	압설 표면이 한번 녹은 후에 얼은 상태 (1mm 이상의 수막이 얼은 빙판을 포함)
	빙막	노면상의 습윤 또는 얇은 수막이 얼은 상태

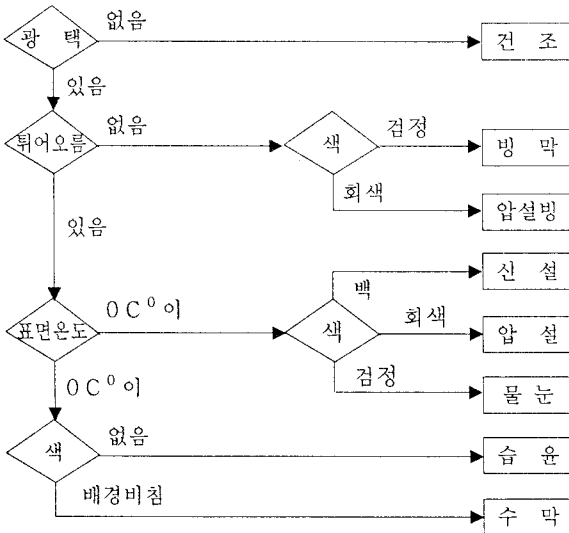
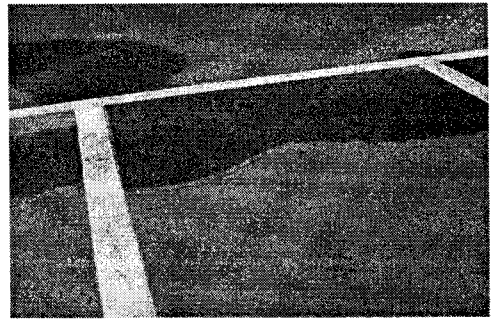


그림 2. 노면상태 판정 절차

3.1 입력 영상 취득

본 연구에서는 도로 표면 영상을 CCTV 또는 디지털 카메라의 연속 화상과 정지 화상을 취득하여, 사용하였다. 우선, 편광 필터를 이용하여 같은 장소에서 두 장의 서로 다른 편광 영상을 얻어내야 하므로, 카메라를 고정하여 촬영하였으며, 카메라 높이는 1.6m, 도로면과 촬영 시선의 각도는 30~45도를 유지하였다. 도로 표면에서 반사되어 촬영되는 외부 광선이 37도의 브루스터(Brewster) 각에 가깝도록 하여 편광 효과를 보이는 각도로 촬영하였다. 이때 카메라의 렌즈는 사람이 눈으로 보는 것과 유사한 시야를 갖는 35mm를 사용하였다. 모든 영상은 그레이 스케일로 변환하여 이용하였다.



(a) 수직편광 영상



(b) 수평편광 영상

그림3. 수직/수평 편광 영상

3.2 웨이블릿 패킷 변환

본 연구에서는 2단계, 3단계, 4단계의 웨이블릿 패킷 변환 결과를 비교 분석했다. 일반적으로 Daubechies 필터를 쓰는 것이 변환 성능이 높다고 알려져 있으나, 본 연구에서는 간단한 Haar 웨이블릿 필터를 이용해도 성능 차이가 거의 없었기 때문에 계산 효율을 위해 Haar 필터를 이용하였다.

그림 3은 웨이블릿 패킷 변환 전의 영상이다. 차선(백색) 부분은 비교적 뚜렷하여 대부분의 성분이 DC(Direct Current)에 모여 있고, 마른 부분은 상대적으로 고주파 영역이 많아 아스팔트의 질감이 나타나고 있다. 그 중간에 젖은 부분은 그 중간의 특성을 나타내고 있음을 관찰할 수 있다.

그림 4의 영상에서 관찰되는 것과 같이, 차선의 영역은



그림 4. 표면 질감 분류 결과의 영상

4. 결 론

본 연구는 낮 시간대의 아스팔트 도로 이미지를 분석하였으며, 도로 표면을 마른 땅, 젖은 땅, 수막, 빙판, 쌓인 눈의 다섯 가지로 분류하는 알고리즘을 제안하였다. 영상 취득 장치를 통해 얻은 영상으로부터 각 픽셀에 대해 수직 편광 성분에 대한 수평 편광 성분의 비율을 계산하여 편광 계수를 얻어 편광 계수가 1.3 이상인 부분은 젖은 땅으로 분류하도록 하였다. 젖은 땅을 제외한 나머지 부분에 대해서는 2차, 3차 및 4차 웨이블릿 패킷 변환을 통해 시간-주파수 분석을 수행하였으며, 대부분의 성분이 DC에 집중되어 있다는 성질을 이용하여 차선(흰색)인 영역을 분류하였으며 이것은 쌓인 눈의 색이 차선과 동일한 색임을 미루어 보아 같은 영역으로 분류 될 것으로 생각한다. 또한 촬영된 이미지로부터 추출한 영상 템플릿을 이용하여 마른 땅과 젖은 땅의 표준적인 주파수 특성을 구하여, 대상 영상이 어느 쪽에 가까운 특성을 보이는지를 판단하여 최종적으로 마른 표면과 젖은 표면을 구분해내도록 하였다. 실험을 통해 제안한 알고리즘이 다양한 영상을 대상으로 비교적 잘 동작함을 확인하였으며, 이는 영상만으로 도로 표면 상태를 감지할 수 있는 가능성을 보여준 것이라 할 수 있다.

본 연구에서 나타난 문제점 중 하나는 도로 상의 차선이 흰색일 경우에 쌓인 눈과의 비교가 문제가 되고, 다른 하나는 부정확한 젖은 표면의 구분 문제이다. 다만, 도로상태의 구분에 따른 노면 상태 관정절차를 제안하는 것에 만족해야겠다. 일부 실험 결과에서는 차선 부위가 젖은 땅, 또는 마른 땅 영역으로 잘못 판별하는 것으로 나타났다. 차선의 경우 상황에 따라 젖은 땅, 마른 땅 등과 거의 유사한 편광 및 주파수 특성을 지니기 때문에 제안된 알고리즘만으로는 정확하게 구분하기가 어렵다. 또 다른 실험 결과에서는 젖은 부분을 과도하게 감지하는 경향을 볼 수 있는데, 어두운 색을 띠는 젖은 도로 표면이나 물이 고여 있는 웅덩이가 있을 경우 편광 특성이 명확하게 나타나지 않아 이러한 문제가 발생하였다. 이를 해결하기 위하여, 젖은 도로 표면 감지를 위해 편광 계수 뿐 아니라 정밀한 주파수 분석을 동시에 이용하여 젖은 표면이 빙판으로 오 인식하는 것을 줄일 수 있을 것으로 본다.

본 연구에서는 아스팔트 포장 도로를 대상으로 낮 시간대에 실험하였으나, 콘크리트 포장 도로를 대상으로 한 연구와 날씨 변화에 따른 감지율 변화 대한 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다.

참고문헌

1. S. Arivazhagan, L. Ganesan, V. Angayarkanni(2005) Color Texture Classification using Wavelet Transform, Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, ICCIMA IEEE.
2. Moon-Cheun Lee, Chi-Man Pun(2000) Texture Classification Using Dominant Wavelet Packet Energy Features, Image Analysis and Interpretation, 2000. Proceedings. 4th IEEE Southwest Symposium.
3. Kourosh Jafari-Khouzani, Hamid Soltanian-Zadeh(2005) Radon Transform Orientation Estimation for Rotation Invariant Texture Analysis, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 27, NP. 6.
4. S. Arivazhagan, L. Ganesan, V. Angayarkanni(2003) Texture classification using wavelet transform, Pattern Recognition Letters 24.
5. Wavelet Methods for Time Series Analysis by Percival and Walden, Cambridge University Press, 2000