

비선형 확산 기법을 이용한 항공 영상에서의 강인한 직선 특징 추출 기법

장주용*, 박인규*, 이경무**, 이상욱*

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부, ** 홍익대학교 전자전기공학과

Robust Extraction of Linear Feature in Aerial Image Using Nonlinear Diffusion

Ju Yong Jang*, In Kyu Park*, Kyoung Mu Lee**, Sang Uk Lee*

* School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

** Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Hong-Ik University

Email: jangbon@diehard.snu.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 항공 영상에서 직선 성분을 강건하게 추출하기 위한 새로운 영상 필터링 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 지상 구조물의 추출에 유용한 직선 특징을 이루는 에지와 비직선 특징을 이루는 에지의 대비도를 증가시키기 위하여 비선형, 비등방 확산 기법 [2]을 영상에 적응적으로 적용한다. 이를 위하여 확산 매개변수를 제안하는 새로운 직선성 척도로 설정하고 영상의 각 점에서의 직선성 값에 따라 적응적으로 확산을 시킴으로써 확산 과정에서 직선 특징을 잘 보존하고 비직선 특징을 효과적으로 제거한다. 본 논문에서는 직선성 척도로서 에지 체인위의 점들의 방향성 엔트로피를 제안하고 다양한 영상에 대한 실험을 통해서 엔트로피 척도가 영상에서의 직선 특징을 추출하는데 효율적임을 보인다.

1. 서론

항공 영상에서의 지상 구조물 인식은 컴퓨터 비전 분야에서 주요한 응용 분야로서 활발히 연구되어 왔다. 지상 구조물은 형태상 직선 정보를 많이 포함하고 있으므로 에지 검출에 이어서 추출된 직선 특징이 인식 과정에서 많이 이용되고 있다 [6]. 따라서 강건하고 신뢰성 높은 에지 검출은 인식을 위한 필수 요소로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

일반적으로 에지 추출 과정은 영상의 밝기 정보를 특정한 필터에 통과시키고 그 결과의 국부 최대값을 구한 후, 특정한 문턱값을 적용해서 에지에 해당하는 점을 구하게 된다. Canny 에지 검출기의 경우 영상을 가우시안의 1 차 미분 커널에 해당하는 필터에 통과시키게 되는데 [1], 이 방법의 경우 영상이 백색 잡음을 가지고 있을 경우 매우 효과적이라고 입증되어 있다. Canny의 방법은 잡음을 제거하기 위해 영상을 가우시안 필터에 통과시키고, 통과된 영상의 밝기 변화를 계산하여 국부 최대값을 찾고, 문턱값을 적용시킴으로써 에지를 찾는 방법이라고 볼 수 있다.

영상을 가우시안 필터에 통과시키는 과정은 열역학에서의 확산 과정과 동일하다는 것이 알려졌다, Witkin 은 가우시안 필터의 분산을 변화시킴으로써 스케일 공간 (scale-space)에서 영상의 다중 해상도 표현을 구현하는 방법을 제안하였다 [3]. 또한 Perona 는 스케일 공간에서 저해상도 영상 특징의 왜곡을 막기 위하여 영상의 각 점마다 동일한 정도의 확산을 하는 것이 아니라, 영상의 밝기 변화에 따라 다른 정도의 확산을 하는 방법을 제안하였다 [2]. 이러한 비선형 확산에 관련하여 많은 알고리즘이 개발되었는데 Nitzberg 는 영상의 각 점을 비대칭의 가우시안 필터에 적응적으로 통과시키는 방법을 제안했다 [4]. 이 방법은 비등방 형태를 지닌 가우시안 커널을 사용함으로써 비등방 확산을 강조한 기법이라고 할 수 있다. 또한 Alvarez 는 곡률 기반 곡선 확산 방법을 도입하였다 [5].

본 논문에서는 에지 검출시 항공 영상에서의 지상 구조물을 이루는 에지의 강화와 그렇지 않은 에지의 억제를 통하여 지상 구조물 모델링과 인식에 효과적인 전처리 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 비선형 확산기법을 응용하여 직선성이 강한 에지와 그렇지 않은 에지에서의 확산을 비선형, 비등방으로 구현함으로써 직선 특징이 아닌 에지들을 억제하는 필터의 역할을 수행한다. 이를 위하여 에지의 직선성을 측정하는 유효한 척도를 제안하고 이 척도를 비선형 확산 정도를 결정하는 변수로 사용함으로써 직선 특징이 효과적으로 보존되는 다중해상도 모델을 구현할 수 있다. 제안하는 직선성의 척도는 에지 검출시 부가적으로 추출되는 정보인 그래디언트 (gradient)의 방향성을 이용하여 에지의 연속선의 방향성 엔트로피를 측정하고 이 값의 크고 작음을 직선성의 작고 큰 척도로 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 비선형 비등방 확산의 대표적 기법인 Perona 의 기법을 간단히 소개한다. 제 3 장에서는 비등방 확산의 매개 변수를 결정하기 위한 새로운 직선성 척도를 제안한다. 제 4 장에서는 항공 영상에 대한 실험 결과를 제시하고 제 5 장에서는 결론을 서술한다.

2. 비선형 비등방 확산 기법

Perona 에 의하여 제안된 비선형 비등방 확산 방정식은 다음의 편미분 방정식으로 표현된다. [2].

$$I_t = \text{div}(c(x, y, t)\nabla I) \quad (1)$$

일반적인 선형 확산의 경우 $c(x, y, t)$ 가 상수가 되어 $I_t = c\Delta I$ 가 된다. Perona 는 확산 계수 c 를 입력 영상의 밝기 변화 정도에 의존하도록 구성하였다. 즉, E 가 입력 영상의 밝기 변화 정도라고 한다면, g 라는 특정한 비선형 함수를 구성하여 $c = g(E)$ 로 결정하였다. 입력 영상의 밝기 변화 정도를 나타내는 E 는 영상의 그래디언트 벡터의 크기를 사용하였다. 따라서 확산 계수 c 는 다음과 같다.

$$c(x, y, t) = g(\|\nabla I(x, y, t)\|) \quad (2)$$

이때 $g()$ 함수는 그림 1 과 같이 구성하여 영상의 밝기 변화가 작은 곳은 확산이 크게 일어나도록 만들고, 밝기 변화가 큰 곳은 확산이 작게 일어

나도록 만든다. 실제로 Perona 가 사용한 $g()$ 함수는 다음과 같다.

$$g(\|\nabla I\|) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\|\nabla I\|}{K}\right)^2} \quad (3)$$

여기서 K 는 일종의 문턱값이 된다. 즉 밝기 변화가 K 보다 작다면 그 점에서는 일반적인 확산이 일어나고, K 보다 크다면 역 확산이 일어나서 밝기의 변화가 더 선명해지는 효과가 일어나게 된다.

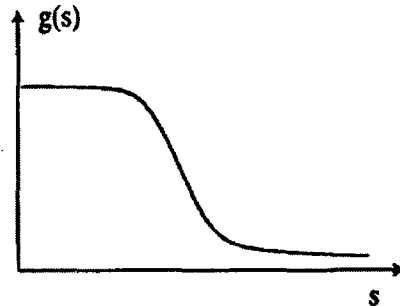


그림 1: $g()$ 함수의 바람직한 개형

3. 제안하는 직선성 척도

제안하는 직선성의 척도는 검출된 에지의 직선성을 측정하여 정의된다. 따라서 에지 검출기를 사용해서 에지 체인을 찾아낸 후 에지 체인의 각 점에 영상의 밝기의 그래디언트 벡터를 대응시킨다. 이때, 그래디언트 벡터의 방향은 밝기의 변화가 가장 큰 방향으로서 에지 방향과 수직이 될 것이므로 찾아낸 에지 체인이 직선성이 강하다면, 에지 체인 위의 각 점에 대응하는 그래디언트 벡터의 방향은 균일하게 될 것임을 알 수 있다. 따라서 실제 에지 위의 각 점의 직선성을 정의하기 위해, 영상의 밝기의 그래디언트 벡터의 방향을 이산화한다. 본 논문에서는 이를 24 방향으로 이산화 하였다. 그리고, 각 에지 체인 위의 점들에 대해서, 이산화한 그래디언트 벡터 방향에 대한 엔트로피를 측정한다. 이렇게 측정된 엔트로피는 에지 체인 위의 각각의 점들에 대응되게 되고, 엔트로피가 클수록 그래디언트 벡터의 방향이 무질서해져서 직선성이 작음을 뜻하고, 엔트로피가 작을수록 그 반대로 직선성이 큼을 뜻하게 된다.

예를 들어 점 P 가 에지 체인 위의 한 점이라고 하자. 점 P_1, P_2, \dots, P_n 이 점 P 에 인접한, 모두 에지 체인 위의 n 개의 점이라고 하자. 이제 그 그래디언트 벡터의 방향을 24 방향으로 이산화 해

서 점 p_i 에 대응하는 이산화된 방향 d_i 를 결정할 수 있다. 그리고, n 개의 방향 d_1, d_2, \dots, d_n 에 대한 엔트로피 E 를 구할 수 있다. 이산화된 그래디언트 벡터의 방향을 1, 2, 3, ..., 24라고 하자. r_i 를 d_1, d_2, \dots, d_n 중 그 값이 i 인 것의 개수라고 하자. 이 경우 엔트로피 E 는 다음과 같이 정의된다.

$$E = -\sum_{i=1}^{24} p_i \log(p_i) = -\sum_{i=1}^{24} \frac{r_i}{n} \log\left(\frac{r_i}{n}\right) \quad (4)$$

위에서 정의한 에지 체인의 엔트로피 값이 직선성을 나타낸다는 것을 알아보기 위해서 다음의 그림 2-a와 같은 모양의 도형에 대해 엔트로피를 측정해 보았다. 그림 2-b는 그림 2-a에서 얻어낸 에지에 대해서 에지 위의 각 점에서의 엔트로피를 구해서 0에서 255 사이의 값으로 변환한 값을 영상의 밝기로 나타낸 것이다. 밝기값이 클수록 엔트로피 값이 낮음을 뜻한다. 즉, 밝기값이 클수록 직선성이 높다고 할 수 있는데 그림 2-b에서는 사각형의 직선성이 원의 직선성보다 높다는 직관적으로 옳은 결과를 확인할 수 있다.

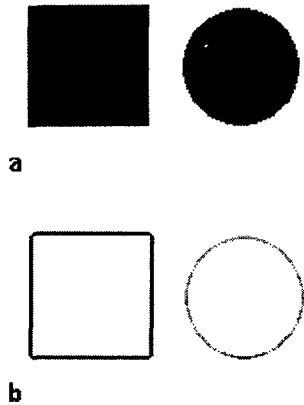


그림 2: 사각형과 원에서의 직선성 척도

엔트로피는 직선성과 반대되는 개념이므로 제안하는 직선성 척도는 엔트로피의 가능한 최대값에서 직선성을 구하는 점에서의 엔트로피 값을 뺀 후, 0에서 255 사이의 값으로 변환한 값을 직선성 척도로 사용한다. 그런데 최대 엔트로피의 경우 이산화된 방향의 가지수가 24이므로 $\log 24$ 가 되고, 결국 직선성 척도 L 은 다음과 같다.

$$L = \frac{\log 24 - E}{\log 24} \times 255 \quad (5)$$

위의 직선성 척도가 식 (2)에서의 그래디언트

트 벡터의 크기 대신에 $g()$ 의 입력이 되어 비선형 확산 계수를 결정하게 된다.

4. 실험 결과

4.1 합성 영상에서의 실험 결과

우선 제안된 직선성 척도에 기반한 비선형 확산 기법의 성능을 측정하기 위해서 그림 3-a와 같이 직사각형과 원으로 구성된 합성 영상에 대한 실험을 수행하였다. 그림 3-b와 그림 3-c는 제안된 확산 알고리즘을 각각 20번, 40번 반복한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 알고리즘을 반복적으로 적용할 때 직선성 척도가 작은 원의 경우 상대적으로 직선성 척도가 큰 사각형의 경우보다 더 크게 확산이 이루어 졌음을 알 수가 있다.

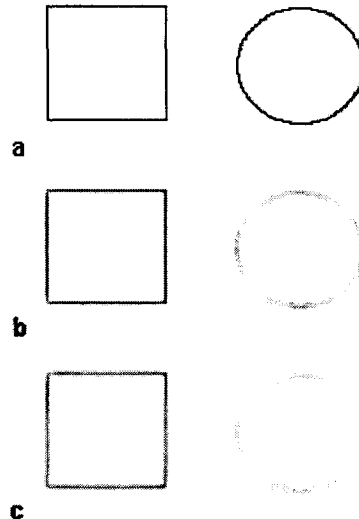


그림 3: 사각형과 원에서의 제안된 확산 기법

4.2 항공 영상에서의 실험 결과

다음으로 제안된 비선형 확산 기법이 실제 항공 영상에서도 잘 동작하는지 알아보기 위해서 다음의 그림 4-a의 영상에 적용해 보았다.

4-a의 영상의 경우 직선성이 강한 에지로 이루어진 지상 구조물과 직선성이 크게 나타나지 않는 물체들 간의 대비가 잘 나타난다. 그림 4-b, c, d의 경우 제안된 알고리즘에 따라서 각각 5, 10, 20회 반복적으로 적용한 결과이다. 알고리즘이 반복됨에 따라서 직선성이 약한 물체의 에지가 직선성이 강한 지상 구조물보다 더 빨리 감소됨을 볼 수 있다.



그림 4: 항공 영상에 대한 실험 결과 (a) 입력 항공영상 (b-d) 제안하는 알고리즘 (e) [1]의 결과

제안하는 기법이 기존의 에지 검출기와 비교하여 직선 특징을 더 잘 보존한다는 것을 보이기 위해서 Canny의 에지 검출기와의 비교를 수행했다. 그림 4-e에 Canny 에지 검출기를 적용해서 얻은 에지 영상을 도시하였다. 비직선 특징이 강한 나무 부분에서의 에지가 비슷하게 얻어진 그림 4-c와 비교해 볼 때 직선 에지가 현저하게 감소한 것을 볼 수 있다. 뿐만 아니라 알고리즘을 더 적용해서 확산이 많이 일어난 그림 4-d와 비교해 보아도 직선 에지의 검출이 부족한 것을 관찰할 수 있다. 이는 영상의 아랫 부분의 강부분의 직선 에지에서 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 항공 영상에 있어서의 정합에 필요한 직선 특성의 에지를 강건하게 추출하기 위한 방법을 제안하였다. 비선형 비등방 확산 기법의 계수를 직선성이라는 새로운 척도에 따라서 적응적으로 조절하는 기법을 사용하였다. 여러 가지 합성 영상과 항공 영상에 적용시켜 본 결과 영상에서의 비직선 특징을 효과적으로 억제할 수 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, pp. 679-698, 1986.
- [2] P. Perona and J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-12, pp. 629-639, 1990.
- [3] J. Babaud, A. Witkin, M. Baudin, and R. Duda, "Uniqueness of the gaussian kernel for scale-space filtering," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, Jan. 1986.
- [4] M. Nitzberg, T. Shiota, "Nonlinear image filtering with edge and corner enhancement," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 14, no 8, pp. 826-833, Aug. 1992.
- [5] L. Alvarez, P. L. Lions, and J. M. Morel, Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion. II, *SIAM J. Numer. Anal.* 29(3), 1992, 845-866.
- [6] R. Mohan and R. Nevatia, "Using perceptual organization to extract 3-D structures," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 11, no. 11, pp. 1121-1139, November 1989.