



Noise-Insensitive Wavelet Transformation-based Harris Corner Detection Algorithm

Nam-Oh Kang¹, Jae-Ho Kim²

¹*ResearchLink*

²*Department of Information Technology Engineering, Gangneung-Wonju National University*

ABSTRACT

The massive amounts of data and the irregularity of images are big obstacles in constructing image-based applications. To solve the problems, feature points of images are widely used. The extraction of robust feature points from images is one of the fundamental operations required in image processing. Corners in images represent a lot of important information. Hence, extracting corners accurately is significant to image processing as well as reducing much of the calculations. Harris corner detection algorithm, among many corner detection algorithms, is well known for extracting robust corners. It is used to improve feature description algorithms such as Scale-invariant feature transform(SIFT) and Speeded Up Robust Feature(SURF). It is also employed in the development of various image processing applications such as object segmentation, object tracking, image recognition, and image registration etc. Therefore, a lot of research has been conducted to improve the Harris corner detection algorithm. In this paper, we proposed a noise-insensitive wavelet-based Harris corner detection algorithm which can extract more resilient corners and more rapidly than the Harris corner detection algorithm, by combining Wavelet transformation and Harris corner detection algorithm and making them complementary. Experiments were performed using Lena image and they showed that the proposed technique produces more robust salient points and more rapidly than Harris corner detection algorithm does.

© 2014 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Wavelet transforms, Harris corner detection algorithm, Feature points, Scale-invariant feature transform (SIFT), Object segmentation, Object tracking, Image recognition

ARTICLE INFO: Received 21 October 2014, Revised 12 December 2014, Accepted 12 December 2014.

*Corresponding author is with the Department of Information Technology Engineering, Gangneung-Wonju National University, 150 Namwon-ro Heungup-myon,

Wonju, 220-711, KOREA.

E-mail address: kimjaeho@gwnu.ac.kr

1. 서론

영상 획득 장치가 저변으로 확대됨에 따라 영상의 양은 급속히 증가하고 있으며, 획득된 영상을 효과적으로 활용하려는 요구 또한 다양한 분야에서 점차 높아지고 있다. 하지만 텍스트 데이터와 달리 영상 데이터가 가진 비정규적 특성은 영상 관련 응용의 구축에 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

초기 영상 처리 응용에서는 색깔, 히스토그램, 텍스처 등 영상의 전역적 특징을 활용하여 응용 시스템을 구축하였다. 영상의 전역적 특징은 추출하기 쉽다는 장점이 있지만 서로 다른 영상 데이터가 비슷한 전역 특성을 가질 수도 있다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 영상의 지역적인 특징의 추출에 대한 연구가 다양하게 진행되었다[1].

영상이 지니는 지역적 특징들은 영상내의 영역에서의 특징을 잘 나타내어 주므로 영상의 검색, 객체 추적, 영상의 인식과 같은 다양한 영상 응용 분야에 중요하게 이용된다. 영상의 지역적 특징들은 영상에서 이웃한 영역과 차이를 보이는 부분이다. 이는 영상에서의 코너(corner), 교차점, 예지, 혹은 작은 영상 영역일 수 있으며 이를 추출하기 위해 일반적으로 영상 데이터의 차분을 활용한다[2].

영상의 지역적 특징들 중 코너는 중요한 특징점으로, 영상 내에서 급한 커브를 보이는 점이나 서로 다른 명암의 교차점을 의미한다. 다양한 영상의 특징들 중 코너는 영상의 밝기의 변화나 영상의 회전에 영향을 받지 않는다. 코너의 추출은 영상의 데이터 손실 없이 영상의 데이터 처리를 최소화 시킬 수 있다는 장점이 있다. 따라서 영상의 코너 추출은 영상 검색, 영상 매칭, 움직임 추적, 입체 영상, 영상 표현 등 다양한 분야에 이용되는 기본 연산이다[3].

본 논문에서는 영상의 웨이블릿 계수 값을 바탕으로 Harris 코너 검출 기법을 개선, 잡음에 강인한 코너를 빠르게 산출하는 방법을 제안한다. 또한, Harris

코너 추출 기법과 비교를 통해서 본 논문의 기법이 속도와 강인성에서 보다 나음을 보이도록 하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 통하여 기존의 Harris 코너 특징점의 개선 방향 및 응용 분야를 살펴보고 3장에서는 영상의 웨이블릿 변환을 이용한 개선된 Harris 코너 특징점 추출 기법을 설명한다. 4장에서는 기존의 Harris 코너 특징점 추출 기법과 본 논문에서 제안하는 특징점 추출 기법과의 성능을 실험 및 비교 평가했다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 코너 감지기법

영상의 특징들 중 코너는 많은 중요한 정보를 담고 있다. 코너를 정확하게 추출하는 것은 영상 처리에서 매우 중요하며 이는 많은 연산을 줄여준다.[4][5] 영상의 코너 추출 기법으로는 SUSAN과 Harris 코너 검출 기법이 널리 이용되고 있다.

코너 추출 기법은 영상의 다양한 변화에도 강인한 특징을 보이는 점들을 추출하는데 초점이 맞추어져 있다. 이제까지 다양한 특징점 추출 기법들이 소개되었지만, 특히 Harris 코너(Corner) 감지 기법[6]은 영상에서의 객체가 가진 코너를 특징점으로 추출함으로써, 다양한 영상 응용에 활용된다.

L. Zou et al.은 Harris 코너 검출 기법과 SUSAN 코너 검출 기법의 성능 비교를 통해서, Harris 코너 검출 기법이 코너의 검출 안정성, 잡음에 강인성 및 검출 속도 면에서 SUSAN 코너 검출 기법보다 월등히 나음을 보였다[3].

P. Azad et al.은 SIFT 알고리즘의 특징점 추출 부분을 Harris 코너 검출 기법으로 대체함으로써, 영상의 객체 인식을 빠르고 효율적으로 할 수 있는 SIFT 기술자의 생성 기법을 소개하였다[7].

N. Kang et al.은 웨이블릿 변환된 영상의 각 밴드 별 웨이블릿 계수를 이용하여 Harris 코너 검출기법에서 이용하는 구조적 tensor를 계산, 방향성 있는 특징점을 산출하는 방법을 소개하였다[8]. 하지만 이는 잡음에 취약하다는 문제점이 있다.

이상에서 보듯이 Harris 코너 감지 기법이 가진 강점을 활용하여 특징점 추출의 효율성을 높이려는 접근이 많이 시도되었다.

2.1 Harris 코너 감지 기법

Harris 코너(Corner) 감지 기법은 주어진 영상 데이터에서 각 픽셀과 주위 픽셀간의 변화량을 측정, 주어진 문턱 값 이상의 변화를 보이는 위치를 특징점으로 추출하는 기법이다. 이의 변화량 측정 공식은 다음과 같다.[6]

$$c(x,y) = \sum_w (I(x,y) - I(x+\Delta x,y+\Delta y))^2 \quad (1)$$

I : 영상,

w : 변화량을 측정할 영역,

x,y : 영상의 좌표,

$c(x,y)$: x, y 좌표에서의 변화량

3. 웨이블릿 변환을 이용한 개선된

Harris 코너 감지 기법

Harris 코너 감지 기법은 일반 표준영상에서 객체들의 코너들로부터 강력한 특징점을 추출한다. 하지만 코너를 탐색하기 위한 변화량 감지 영역이 커지면 연산량이 증가함으로 인해 속도가 느려진다. 그리고 잡음이 영상에 첨가될 경우 계산된 특징점 또한 크게 영향을 받는다는 단점이 있다.

본 논문에서는 웨이블릿 변환과 Harris 코너 감지 기법을 상보적으로 연결함으로써 잡음에 강한 특징

점을 빠르게 산출하는 방법을 소개한다. 특히 JPEG2000[9]과 같이 이미 영상이 DWT변환을 수행한 경우, 각 부 밴드를 이용할 수 있으므로 제안된 기법을 보다 효과적으로 적용할 수 있다.

3.1 특징점 후보 산출

특징점 산출은 2D 웨이블릿 변환된 영상의 LL 밴드에 Harris 코너 감지 기법을 적용하여 특징점의 후보들을 산출한다.

2D 웨이블릿 변환된 영상은 <그림 1>과 같이 웨이블릿 계수로 구성된 네 개의 부 밴드로 나뉜다.

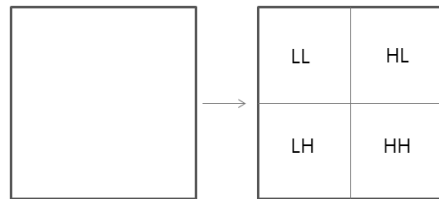


그림 1. 2D-Wavelet 변환
Figure 1. 2D-Wavelet transformation

일반적으로 영상에서 잡음의 제거는 영상에 저주파 필터를 이용하여 수행한다. 하지만 2D 웨이블릿 변환에서 LL밴드는 잡음이 제거된 저주파 신호를 포함하고 있으므로 이를 이용하여 특징점을 추출하면 잡음에 강인한 특징점을 추출하는 것이 가능하다.

뿐만 아니라, LL 밴드는 전체 영상의 1/4 정도 밖에 되지 않으므로 특징점을 찾는 데 있어서도 큰 속도 향상이 가능하다.

3.2 특징점 선택

LL 밴드에서 산출된 후보 특징점 중 높은 변화 민감도를 보이는 점을 기준으로 특징점을 선택한다. 특징점의 변화 민감도는 HL, LH, HH 밴드의 웨이블릿

계수를 바탕으로 산출한 Harris 코너 반응 계수를 이용해서 구한다. 이를 구하기 위한 구조적 텐서는 다음과 같이 정의된다.

$$S_w = \begin{bmatrix} I_{HL}^2 & I_{HH}I_{HH} \\ I_{HH}I_{HH} & I_{LH}^2 \end{bmatrix}$$

여기서 I_{HL}, I_{LH}, I_{HH} 는 각 밴드별 웨이블릿 계수 값이며, 웨이블릿 계수값을 이용한 Harris 코너 반응 계수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_h(x,y) = \det(S_w)/tr(S_w) \quad (2)$$

추출된 특징점 후보들은 Harris 코너 반응 계수에 따라서 정렬되고, 특징점으로 선택된다.

3.2 특징점 보정

이전 절에서 보듯이 추출된 특징점은 2D 웨이블릿 영상의 부 밴드를 이용하여 산출했다. 이들 부 밴드는 실제 영상보다 넓이와 높이가 각각 1/2씩 축소된 형태이다. 따라서 부 밴드를 기준으로 추출된 특징점 위치는 <그림 2>에서와 같이 실영상의 위치점으로 다시 계산 되어야 한다.

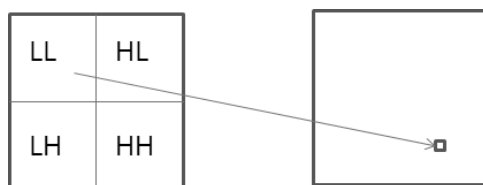


그림 2. 2D-Wavelet변환의 위치 보정
Figure 2. Position adjustment of 2D-Wavelet transformation

각 부 밴드의 한 점(x,y)은 실제 영상에서는 2x2의 블록에 해당하며 좌표점으로는 (2x-1, 2y-1), (2x-1, 2y), (2x, 2y-1), 그리고 (2x, 2y)에 해당한다.

따라서 실제 영상에서 이들 점을 중심으로 주위와의 밝기 변화량을 계산, 최고로 큰 변화량을 보이는 점을 특징점으로 선정한다. 이를 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$v(x,y) = \sum_{t=-1}^1 |I(x,y) - I(x+t,y+t)|^2 \quad (3)$$

4. 실험 및 평가

실험에서는 두 가지를 확인한다. 첫 번째는 검출된 특징점의 잡음에 대한 강인성이고 두 번째는 특징점 검출 속도이다. 검출된 특징점의 강인성을 비교하기 위해서 원본 영상에서 추출한 특징점과 잡음이 첨가된 영상에서 추출된 특징점간에 평균 거리 차이를 비교했다. 그리고 특징점 검출의 속도는 프로그램의 수행시간을 측정하여서 비교했다.

실험에 사용한 영상은 lena 영상을 이용했다. 잡음에 대한 강인성을 측정하기 위해 분산(variance) 값이 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05의 가우시안 잡음이 가미된 lena 영상을 추가로 생성했다. 다음은 원본 영상 및 분산 0.01, 0.03, 0.05의 가우시안 잡음이 가미된 영상에서 Harris 코너 특징점과 웨이블릿 기반 Harris 코너 특징점간의 결과이다.



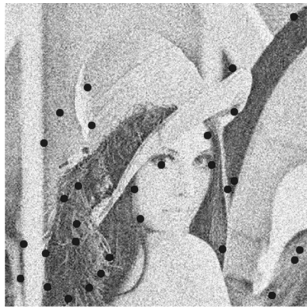
Harris 코너 검출 (원본)



Harris 코너 검출 (variance = 0.01)



웨이블릿 기반 Harris 코너 검출 (variance=0.01)



Harris 코너 검출 (variance = 0.03)



웨이블릿 기반 Harris 코너 검출 (variance=0.03)



Harris 코너 검출 (variance = 0.05)



웨이블릿 기반 Harris 코너 검출 (variance=0.05)



웨이블릿 기반 Harris 코너 검출 (원본 영상)

위의 실험 영상에서 보듯이 잡음이 강해질수록 Harris 코너 기법의 검출된 특징점이 점차 원본과 차이를 크게 보임을 알 수 있다. 반면 웨이블릿 기반 Harris 코너 기법의 경우 잡음에 보다 강한 특징점이 검출됨을 알 수 있다. 이를 명확히 판별하기 위해 원본 영상에서의 특징점과 잡음이 가미된 영상에서의 특징점간의 평균 거리를 측정했다. <그림

3>에서 보듯이 웨이블릿 기반 Harris 코너 기법이 검출한 특징점의 경우 잡음의 강도에 비해 낮은 거리 차이를 보이고 있다.

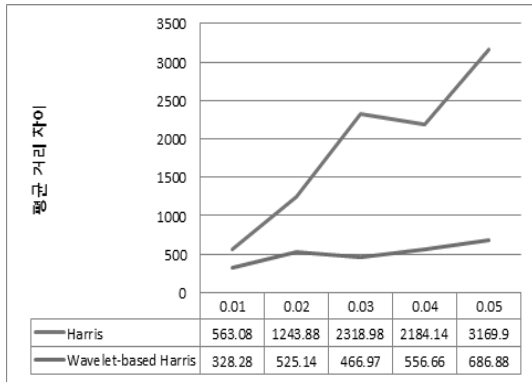


그림 3. 잡음에 따른 특징점 평균 거리 차이
Figure 3. Feature points difference average for noise

특징점 검출 속도에서도 Harris 코너 검출 기법의 경우 특징점을 추출하는데 평균 3.35초가 걸린 반면 웨이블릿 기반 Harris 코너 검출 기법의 경우 평균 0.83초만이 소요되어, 4배 이상 빠른 성능을 보였다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

실험을 통해 보듯이 웨이블릿 기반 Harris 코너 검출 기법이 Harris 코너 검출 기법 보다 잡음에 강인한 특징점을 더 빠르게 검출함을 보여주고 있다. 이는 웨이블릿 변환을 통해 잡음이 제거되고, 축소된 저주파 영상을 대상으로 특징점을 검색하므로 보다 빠른 특징점의 검색이 가능했기 때문이다.

제안된 기법의 성능 향상을 위해 향후 다음의 연구를 추가로 수행할 예정이다. 첫째 여러 단계의 2D 웨이블릿 변환에서 각 부 밴드들 간 특징점들의 상관관계를 파악하고, 이를 이용하여 보다 강건한 특징점 추출 방법을 연구한다. 둘째 SIFT나 SURF와 같은 특징점 기술자(descriptor) 알고리즘과의 상

보적 연결을 진행한다. 이는 빠르고 강인한 특징점 기술자의 추출을 가능하게 하며, 영상 세그먼테이션, 객체 추적, 영상 검색등과 같은 응용에 제안된 방법의 적용을 가능하게 할 것이다.

References

- [1] N. Sebe, Q. Tian, E. Louprias, M.S. Lew, and T.S. Huang, *Evaluation of salient point techniques*, Image and Vision Computing, Vol. 21, Issues 13-14, pp. 1087-1095, 2003.
- [2] T. Tuytelaars, and K. Mikolajczyk, *Local invariant feature detectors: A survey*, computer graphics and vision, Vol. 3, No. 3, pp. 177-280, 2007.
- [3] J. Chen, L. Zou, J. Zhang, and L. Dou, *The comparison and application of corner detection algorithms*, Journal of Multimedia, Vol. 4, No. 6, pp 435-441, 2009.
- [4] A. Noble, *Finding corners*, Image and Vision Computing Journal. 6(2): pp. 121-128, 1988.
- [5] J. Shi, and C. Tomasi. *Good features to track*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600, 1994.
- [6] C. Harris, M. Stephens, *A combined corner and edge detector*, Proceedings of the 4th Alvery Vision Conference, pp. 147-151, 1988.
- [7] P. Azad, T. Asfour, and R. Dillmann, *Combining harris interest points and the SIFT descriptor for fast scale-invariant object recognition*, Intelligent Robots and Systems, 2009, IEEE/RSJ International Conference, pp. 4275-4280, 2009.
- [8] Nam-Oh Kang, Jae-Ho Kim, Sa-Joon Park, *Technique of extracting salient points based on direction by using wavelet transformation*, Journal of KKITS, Vol 8, No 6, pp. 57-62, 2013.

[9] ISO/IEC, 15444-1, Information technology - JPEG2000, image coding system. 2000.

[10] C. Schmidt, and R. Mohr, *Local grayvalue invariants for image retrieval*, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 19, pp. 530-535, 1997.

[11] P. R. Beaudet, *Rotationally invariant image operators*, In Proc. 4th International joint Conf. on Pattern Recognition, pp. 597-583, 1978.

[12] L. Kitchen, and A. Rosenfeld, *Gray level corner detection*, Pattern Recognition Letters, pp. 95-102, 1982.

[13] Q. Tian, N. Sebe, E. Loupias, T.S. Huang, and M.S. Lew, *Image retrieval using wavelet-based salient points*, Journal of Electronic Imaging, pp. 835-849, 2001.

노이즈에 강한 웨이블릿 변환 기반 Harris 코너 감지 알고리즘

강남오¹, 김재호²

¹리써치링크

²강릉원주대학교 정보기술공학과

요 약

영상이 가진 방대한 양의 데이터와 비정규성은 영상 기반 응용을 구축하는데 큰 걸림돌이다. 이를 해결하기 위해, 영상의 특징점들이 넓게 이용되고 있다. 영상으로부터 강인한 특징점의 추출은 영상 처리 분야에서 요구하는 주요 연산중 하나이다. 영상의 특징점들 중 코너는 많은 중요한 정보를 담고 있다. 따라서 코너를 정확하게 추출하는 것은 영상 처리에서 매우 중요하며 이는 많은 연산 양을 줄여준다. 코너 추출 기법들 중 Harris 코너 추출 기법은 특히 강인한 코너점을 추출하는 것으로 잘 알려져 있으며 이를 이용하여 SIFT와 SURF 같은 특징점 기술자 알고리즘을 향상시키거나 객체 추출, 객체 추적, 영상 인식 그리고 영상 정합 등과 같은 다양한 응용에 사용된다. 따

라서, Harris 코너 추출 기법을 향상시키려는 많은 연구가 수행되었다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환과 Harris 코너 추출 기법을 상보적으로 연결함으로써 잡음에 강인한 특징점을 빠르게 추출 할 수 있는 웨이블릿 기반의 Harris 코너 추출 기법을 제안한다. 제안된 기법을 검증하기 위해 lena 형상을 이용해서 실험을 수행했다. 실험은 제안된 기법이 Harris 코너 추출 기법보다 더 강인한 특징점을 빠르게 추출함을 보여준다.



Nam Oh Kang received the bachelor's degree, the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Computer Science and Engineering from Chung-Ang University in 1997, 2000, and 2006, respectively.

He has worked for ResearchLink since 2011 and He has been an adjunct assistant professor in the School of Computer Information at YeungJin College since 2014. His current research interests include image processing, signal processing, machine learning.

E-mail address: namohkang@gmail.com



Jae Ho Kim received the bachelor's degree, the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Computer Science and Engineering from Chung-Ang University in 1988,

1990, and 2004, respectively. He has been a professor in the Department of Information Technology Engineering at Gangneung-Wonju National University since 1997. His current research interests include image processing, machine learning, semantic web. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: kimjaeho@gwnu.ac.kr