

새로운 그레이 레벨 코너점 검출 방법

정회원 나재형*, 오해석**

New Gray Level Corner Point Detection Method

Jae-Hyung Na*, Hae-Seok Oh** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 정확한 코너점 검출을 위하여 새로운 그레이 레벨 코너점 검출 방법을 제안한다. 새로운 코너 검출자는 코너 영역을 윈도우 크기에 따라서 동심원으로 계층을 나누어 각각의 계층에서의 코너의 각도를 구하여 코너점을 검출하도록 하였다. 또한 계층적 구조를 가지고 처리함으로써 기존의 그레이레벨 코너 검출자보다 더 빠른 처리 속도를 얻을 수 있도록 하였다.

Key Words : gradient, corner detection, gray level, window

ABSTRACT

In this paper, we introduce a new gray level corner detection method to recognize corner points accurately. The new corner detector divides the corner region into many homocentric circles according to the window size, and calculates the corner response and angle of corner area about each layer to get an accurate corner point. The new corner detector has a hierarchical structure so it can detect corner point more quickly than general gray level corner detector

I. 서론

현재 코너점 검출은 윤곽선 검출과 더불어 영상 처리에서 중요한 기술로서 다루어지며 지난 20여 년 동안 많은 연구가 있어왔다. 코너점은 영상에서 두 개 이상의 윤곽선의 교차점이나 각의 변화가 급격한 꼭선을 말하는데, 코너점 정보는 머신 비전에서 물체 인식이나 동작 분석, 장면전환 검출, 스테레오 매칭 등 다양한 부분에서 응용되고 있다.

본 연구에서는 노이즈에 강건하게 코너점을 검출하면서도 실시간으로 처리할 수 있도록 빠른 처리 속도를 가지는 새로운 코너점 검출자를 제안하였다. 코너 검출자의 성능 평가를 위해 합성된 영상뿐만 아니라 다양한 실영상에 대하여 코너점 검출 결과를 비교하였다. 실 테스트 영상으로는 CCD 카메라로부터 획득한 웨이퍼 영상을 이용하였다. 웨이퍼 영상은 여러 칩(chip)들로 이루어져 있는데 각각의

칩들은 직사각형의 형태를 취하고 있어서 코너 검출자의 성능평가에 적당하다. 또한 웨이퍼의 칩 위치를 검출하는 공정은 새로운 반도체 기술인 WSCSP(Wafer Scale Chip Scale Packaging)에 필수적인 과정으로서, 현재까지 수동으로 처리되던 작업을 코너점 검출자를 이용하여 웨이퍼의 다이 위치를 인식 인식함으로써 공정의 자동화를 이룰 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 관하여 설명하고 3장에서는 새로운 그레이 레벨 코너점 검출 방법을 설명한다. 4장에서는 실험 및 평가를 하고 마지막으로 5장에서 결론을 내리도록 한다.

II. 관련 연구

영상에서 코너(Corner)란 두 개 이상의 윤곽선의

* 숭실대학교 컴퓨터학과 멀티미디어 연구실(Phonex72@yahoo.co.kr), ** 경원대학교 소프트웨어대학 교수 (oh@kyungwon.ac.kr)
 논문번호 : 040082-0213, 접수일자 : 2004년 2월 13일

교차점이나 각의 변화가 급격한 곡선을 말한다. 이 코너점(Corner point)은 오브젝트의 모양정보를 가지고 있기 때문에 물체의 코너점을 찾는 것은 오브젝트 검출, 매칭에 있어서 매우 중요시된다. [1][2] 기존의 코너 검출 알고리즘은 크게 템플레이트 기반 코너 검출 방법과 기하학 기반 코너 검출 방법으로 나눌 수 있다. [3]

1. 템플레이트 기반 코너 검출 방법

템플레이트 기반 코너 검출방법은 몇 개의 코너 템플레이트를 가지고 있어서 각 템플레이트와 획득한 그레이 레벨 영상의 서브 윈도우와의 유사성을 측정하여 코너점 여부를 판별하게 된다. 보통 각각의 마스크는 만큼 회전시켜서 8개의 마스크를 구한 다음 각각의 마스크와 서브 윈도우를 비교하여 코너점인지를 판별하게 된다. 이 기법은 계산 시간이 많이 걸리며 코너의 방향성을 정확히 검출하기 어렵다는 단점이 있다. [4][5]

2. 기하학 정보 기반 코너 검출 기법

기하학 정보 기반 코너 검출 기법은 현재 많은 어플리케이션에서 사용되고 있는데 코너의 기하학적 차이를 검출하여 코너점인지를 판별하게 된다. 기하학 정보를 이용하는 방법은 윤곽선 기반 검출법, 토폴로지기반 코너 검출법, 그레이레벨 코너 검출법으로 나눌 수 있다. 윤곽선 기반 코너 검출 방법은 코너를 두 개 이상의 윤곽선이 교차하는 부분으로 인식하는 방법으로 체인코드(Chain code)를 이용한 방법과 Kitchen and Rosenfeld 코너 검출자, Wang and Brady 코너 검출자 등이 있다. [6] Kitchen and Rosenfeld 코너 검출자는 1,2차 미분을 이용하여 영상에 대한 곡률을 구한 다음 이에 따라 코너점 여부를 판단한다.

체인 코드를 이용한 코너 검출법은 가장 많이 연구된 기법 중 하나로서, Rosenfeld and Johnston (1973)은 입력된 벡터의 경사도를 구하여 코너점을 검출하는 방법을 제안하였으며, Beus 과 Tiu(1987)는 역방향으로의 경사도를 고려한 코너 검출자를 제안했다. IPAN99 연산자는 Rosenfeld and Johnston을 개선한 방법으로서 2단계 패스를 이용하여 코너점을 검출하였다. [8]

토폴로지를 이용한 코너 검출 방법은 영상의 위상 기하학적 특징 점을 찾음으로써 코너를 검출하는 방법으로 Beudet(1978), Deriche(1993)등이 제안하였다. 그레이레벨 코너 검출자는 영상의 윤곽선을

구하지 않고 바로 코너점을 구하는 방법으로 현재 많은 연구가 이루어지고 있는 방법으로서 Smith와 Brady가 제안한 SUSAN 연산자가 대표적이다. [5][9][10]

III. 새로운 그레이레벨 코너점 검출 방법

현재 많은 어플리케이션에서 실시간으로 처리하기 위하여 그레이레벨에서 바로 코너점을 검출하는 연산자들을 적용되고 있는데, 그레이레벨 코너 검출자들은 마스크 크기가 커질수록 처리속도가 현저히 늦어지는 단점이 있다. [5] 따라서 본 연구에서는 마스크 크기와 무관하게 빠른 처리속도를 얻고, 잘못된 검출을 줄이기 위하여 계층적 구조를 가지고 처리하는 경사도 새로운 그레이레벨 코너 검출자(New Gray Level Corner Detector, NGLCD)를 제안한다.

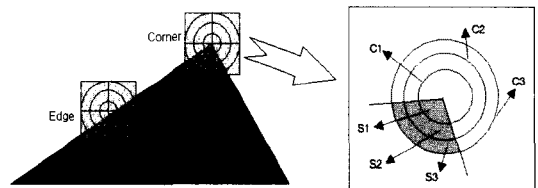


그림 1. 코너점 모델

그림 1은 NGLCD의 계층적 구조를 설명하고 있다. 전체 영상을 중심점이 같은 C_1, C_2, C_3 로 나누고, 각각의 동심원에서의 코너 영역을 S_1, S_2, S_3 라 한다면 코너점에서는 다음과 같은 수식이 만족됨을 알 수 있다.

$$\frac{S_i}{C_i} = \frac{\theta}{360} < 0.5 \tag{1}$$

여기서 C_1, C_2, C_3 는 적용하는 윈도우의 크기에 따라서 동심원의 개수가 결정된다. C_1, C_2, C_3 는 계층적 구조를 이루고 있으며 중심점에 가장 가까운 C_1 에서부터 계산된다. 이때 C_i 가 식 1을 만족하지 못하면 윈도우의 중심점은 코너점이 아니므로 계산은 C_i 에서 더 이상 진행되지 않고 멈춘다. 따라서 전체 윈도우 영역에 대하여 계산이 수행되지 않으므로 마스크의 크기가 커지더라도 빠른 처리 속도를 얻을 수 있다. 일반적으로 잡영상에 강건한 처리

를 위해서는 윈도우의 크기가 상대적으로 커져야 한다. 기존의 그레이레벨 코너 검출자의 경우 마스크 크기가 커지면 처리속도가 현저히 떨어지기 때문에 마스크 크기를 제한하여 처리한다. [5] 그러나 NGLCD는 계층적으로 마스크를 적용함으로써 빠른 수행 속도를 얻을 수 있다. 식 1은 매우 효율적으로 작용하나 코너점과 노이즈를 구별할 수 없는 단점이 있다. 따라서 식 1의 조건과 함께 식 2와 같이 각각의 동심원에서의 방향성을 고려하여 주어진 픽셀의 코너성 여부를 최종적으로 판단하도록 한다.

$$|\theta_{i-1} - \theta_i| \leq t_d \quad (2)$$

이때 방향성 임계 값 t_d 는 각 계층에 있는 코너 후보 점들의 직진 성을 판단하는 임계치로서 i 가 무한대에 가까워지면 t_d 는 0에 근사하게 된다. i 번째 동심원에서의 방향성 θ_i 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\theta_i = \text{ArcTan}\left(\frac{C_x - S_{ix}}{C_y - S_{iy}}\right) \quad (3)$$

여기서 C_x, C_y 는 각각 동심원의 중심 픽셀의 x, y 좌표를 나타내며, S_{ix}, S_{iy} 는 각각의 무게 중심의 x, y 좌표를 나타낸다.

i 번째 동심원의 각 픽셀이 중심 픽셀과 같은 값을 가지는지 판별하기 위하여 다음과 같은 수식을 이용한다.

$$C_i(P_i, P_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(P_i) - I(P_0) < t_b \\ 0 & \text{if } I(P_i) - I(P_0) \geq t_b \end{cases} \quad (4)$$

이때 P_0 는 윈도우 중심픽셀의 밝기 값이며, P_i 는 윈도우 안에 있는 임의의 픽셀에서의 밝기 값을 나타낸다. t_b 는 각각의 픽셀이 같은 영역에 포함될 최대 변량 값과 무시할 노이즈의 값을 결정하게 된다. 위 식은 매우 간단한 식으로서 그림 2에서 a와 같은 형태를 갖게 되는데 이는 임계 값 주변에서 급격한 변화를 일으키는 단점이 있다. 따라서 예 좀더 강건하게 픽셀의 코너성 값을 얻기 위하여 다음과 같은 수식을 사용한다. [5]

$$C_i(P_i, P_0) = e^{-\frac{(I(P_i) - I(P_0))^6}{t_b}} \quad (5)$$

위 식은 그림 2에서 b와 같은 그래프로 나타내며 일반적인 a형태를 갖는 이진함수에 비하여 임계치에 대하여 좀더 안정적인 결과를 나타낸다. 이는 구형시 LUT(Look Up Table)를 이용하여 빠른 처리 속도를 얻을 수 있다.

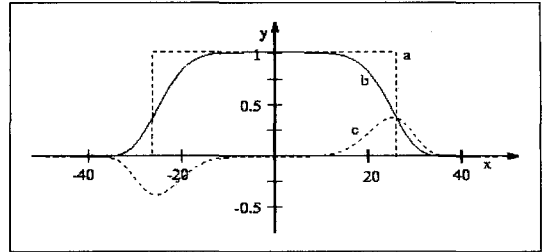


그림 2. 유사성 결정 함수

실험 결과에 의하면 임계 값 t_b 는 대부분의 영상에서 25가 적당하다고 보고 되어 있다. [5] 그러나 실영상에서는 매질에 따라 조명에 의한 반사 정도가 다르므로 고정된 임계 값을 적용했을 때 좋은 결과를 얻기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 히스토그램을 분석하여 표준 편차를 구한 후 이 값을 가중치로 하여 t_b 를 적용하였다. t_b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_b = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - m)^2}, \quad m = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{N} \quad (6)$$

윈도우의 각 점에 대한 코너성 정도를 나타내는 R 은 다음과 같이 구해진다.

$$R = \sqrt{\sum_{i=0}^n C_i(P_i, P_0)}, \quad (n = \text{WINDOW SIZE}) \quad (7)$$

R 은 윈도우의 모든 픽셀에 대하여 계산되며 국소 최대 값을 가지는 픽셀을 코너점으로 검출하게 된다.

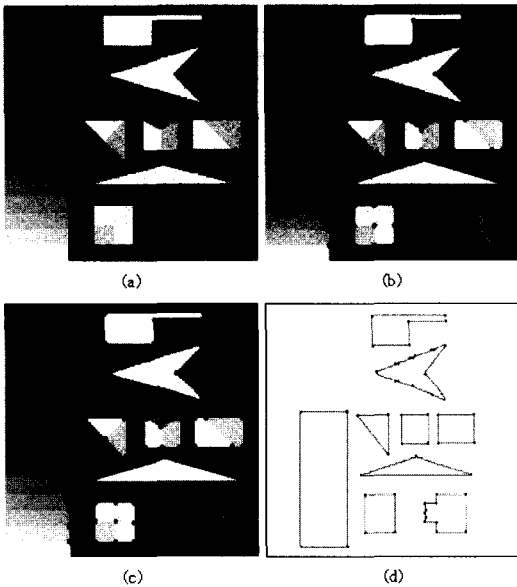
IV. 실험 및 평가

본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위한 실험은 펜티엄 III 550MHz 칩이 장착된 PC에서 수행하였다. 운영체제로는 Windows 2000을 사용하였고 컴파일러로는 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 테스트 영상으로는 합성된 영상과 실영상 모

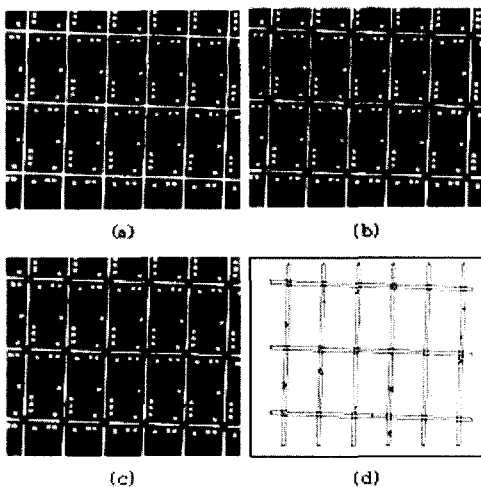
두를 이용하였다. 합성 영상은 일반적으로 코너점 검출 테스트를 위하여 사용하는 영상을 이용하였으며, 실영상은 6인치와 8인치 크기의 웨이퍼를 CCD 카메라를 이용하여 획득하였다. 성능 평가는 대표적인 그레이레벨 코너 검출자인 SUSAN 코너 검출자와 윤곽선 기반 코너점 검출 알고리즘의 하나인 IPAN99와 비교 하였다. 그림 3은 합성된 영상에 대한 코너점 검출 결과를 보여준다. 제안한 NGLCD와 SUSAN은 모두 코너점을 잘 검출하였

으나 IPAN99는 윤곽선을 정확히 검출하지 못함으로써 좋지 않은 결과를 보였다.

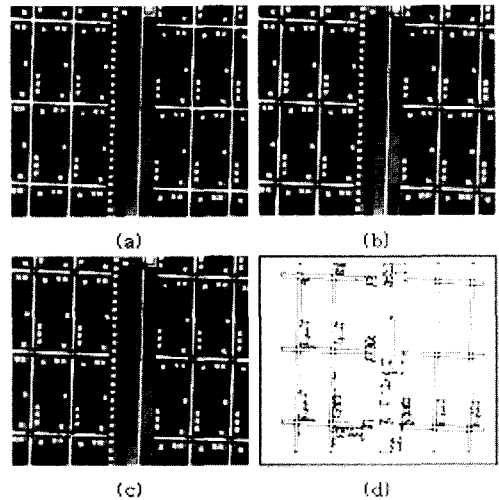
그림 4와 그림 5는 각각 다이 패턴으로만 이루어진 영상과, 다이 사이에 다른 패턴이 들어가 있는 영상에 대한 코너점 검출 결과이다. 그림 4의 경우 모든 검출자들이 비교적 좋은 결과를 보여 주었으나 그림 5와 같이 복잡한 패턴이 포함된 경우에 IPAN99는 정확한 에지를 구하지 못함으로써 검출 결과가 나뻐를 알 수 있었다. 모든 경우에서



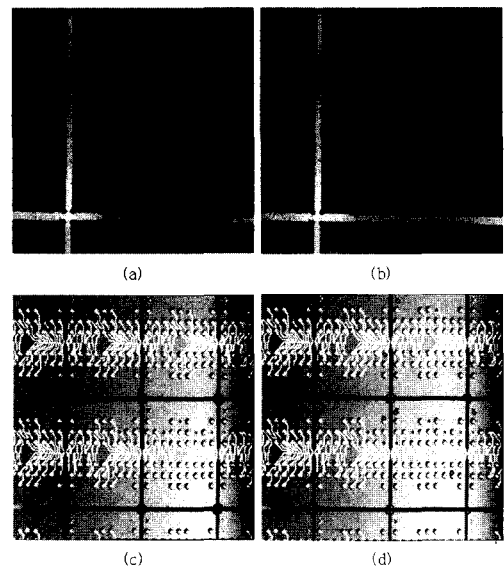
(a) 입력영상, (b) NGLCD, (c) SUSAN, (d) IPAN99
그림 3. 합성 영상에 대한 코너점 검출 결과



(a) 입력영상, (b) NGLCD, (c) SUSAN, (d) IPAN99
그림 4. 단순 웨이퍼 영상에서의 코너점 검출 결과



(a) 입력영상, (b) NGLCD, (c) SUSAN, (d) IPAN99
그림 5. 복잡 웨이퍼 영상에서의 코너점 검출 결과

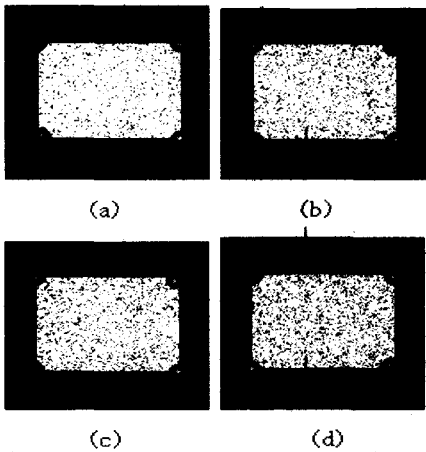


(a) SUSAN, (b) NGLCD, (c) NGLCD, (d) SUSAN
그림 6. 유사 코너점을 포함한 영상에서의 코너점 검출 결과

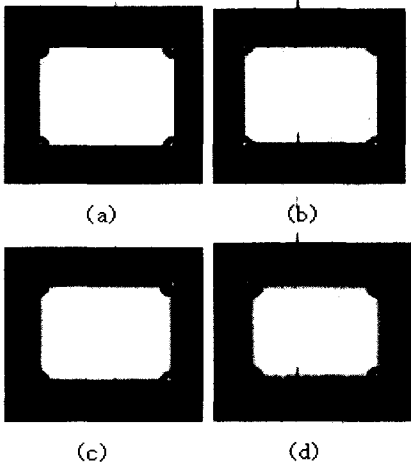
SUSAN은 코너점을 잘 검출하였으나 NGLCD 보다 처리시간이 더 걸렸다.

그림 6은 소 스트리트가 매우 크며 굵기가 변하는 경우와 다이 안에 유사 코너점 패턴이 있는 경우에 대한 코너점 추출 결과이다. 상대적으로 좋은 결과를 보인 SUSAN 검출자도 그림 6의 (d)를 보면 오 검출이 많은데 이는 코너점의 기울기를 고려하지 않았기 때문이다. (a), (b)와 같이 소 스트리트가 매우 큰 경우나, (c), (d)와 같이 다이 내부에 복잡한 패턴이 포함된 경우에도 제안한 방법이 다이 위치를 잘 검출함을 알 수 있다.

그림 7은 노이즈가 첨가된 영상에 대한 코너점 검출 결과를 보여준다. (a), (b), (c), (d)는 각각 랜



(a) noise 40% (b) noise 50% (c) noise 60% (d) noise 70%
 그림 7. Random noise가 추가된 영상에서의 코너점 검출 결과

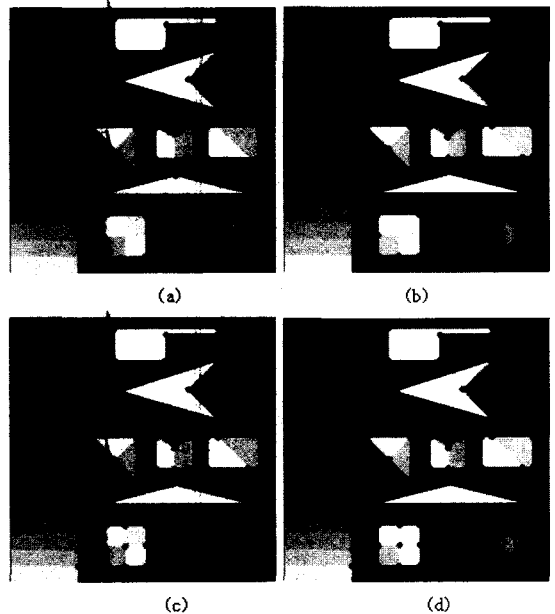


(a) radius=0 (b) radius=1 (c) radius=2 (d) radius=3
 그림 8. 가우시안 블러링 된 영상에서의 코너점 검출 결과

덤 노이즈가 40%, 50%, 60%, 70% 첨가된 영상에 대한 코너점 검출 결과인데 모든 경우에 있어서 코너점을 정확히 검출했음을 알 수 있다. 이는 NGLCD가 식 2에서와 같이 각 계층에서 코너영역의 코너각을 구한 후 각 계층 사이의 코너각 차이가 임계치 이하인 경우만 코너점으로 검출하는데 잡영상의 경우 i 번째 윈도우에서는 코너각과 $i+1$ 번째 윈도우의 코너각의 차이가 임계치 이상으로 매우 크게 나오므로 코너점으로 인식되지 않는다. 따라서 NGLCD는 잡영상에 강건하게 코너점을 검출할 수 있다.

그림 8은 가우시안 블러링 된 영상에서의 코너점 검출 결과를 보여준다. 그림에서 보여주는 바와 같이 블러링이 심하게 된 영상에서는 많은 코너점들이 검출되는데 이는 지역 최대 값을 구함으로써 해결될 수 있다. 그러나 (d)와 같이 정확한 코너점보다 더 안에서 강한 코너성이 계산되므로 정확한 코너점의 위치를 구하는 것이 불가능 하게 되는 단점이 있다.

그림 9는 중심 값과의 유사성을 결정하는 임계치의 변화에 따른 코너점 검출 결과를 보여주고 있다. (a)에서와 같이 임계치가 너무 큰 경우에는 영상의 우측 하단에 있는 박스의 경우 배경과 상대적으로 밝기차가 적은 좌측 부분의 코너점을 검출하지 못



(a) 임계치=50 (b) 임계치=40 (c) 임계치=15 (d) 임계치=5
 그림 9. 임계치에 따른 코너점 검출 결과

하는 것을 볼 수 있다. 그리고 임계치가 너무 작으면 (d)의 경우와 같이 점차적인 밝기 변화를 보이고 있는 모든 부분을 코너점으로 검출하는 오류를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 1은 NGLCD와 SUSAN 코너 검출자의 실험 결과이다.

표 1. 코너점 검출 결과

영상	검출자	정확도 (%)	오차율 (%)	처리속도 (ms)
그림 6 (a) (b)	NGLCD	100.0	0.0	360
	SUSAN360	50.0	50.0	840
그림 6 (c) (d)	NGLCD840	92.3	7.6	450
	SUSAN450	74.0	25.9	880

정확도는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{정확히 검출한 코너점} / \text{총 검출한 코너점} \quad (8)$$

오차율은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{잘못 검출한 코너점} / \text{총 검출한 코너점} \quad (9)$$

실험 결과로서 제안한 기술기 기반 그레이레벨 코너 검출 방법이 기존 방법에 비해 다양한 영상에서 코너점 위치를 검출하는데 더 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있었다. 특히 기존의 그레이레벨 코너 검출자에 비하여 더 좋은 처리 속도를 보여주었다. 그러나 코너점이 분명하지 않거나, 코너 부분이 변질 효과에 의해서 곡선화 된 경우에는 사람의 눈으로는 코너점 여부를 판별할 수 있었으나, 정확한 코너점 검출에 어려움을 보였다. 그 이유는 그레이 레벨 코너 검출자는 윈도우의 중심점과 입력 점들의 유사성을 계산하는 과정이 요구되는데, 이때 정확한 밝기 값을 임계치로 적용하지 못했기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 영상의 지역 정보에 따라 적응적으로 임계치를 적용하는 기법이 연구되어야 할 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 입력 영상을 윈도우 크기에 따라 여러 계층으로 나눈 후 각 계층에서의 기술기 정보를 이용하여 코너점을 검출하는 새로운 코너점 검출 방법을 제안하였다. 제안한 코너점 검출방법은

전처리 없이 그레이 레벨에서 바로 수행됨으로써 빠른 처리속도를 얻을 수 있었다. 또한 각 계층에서 기술기 값을 구하여 그 차를 구함으로써 노이즈를 코너점과 구별할 수 있었다. 구현과 실험을 통해서 제안한 방법이 실 웨이퍼 영상에서 코너점 위치를 잘 검출함을 보였으며 이는 WSCSP 공정의 자동화에 적용할 수 있으리라 생각된다. 향후 연구에서는 코너점이 분명하지 않거나, 곡선화 된 경우에도 조명 값에 강건한 코너점 검출이 가능하도록 연구할 것이다.

참고 문헌

- [1] S.Smith and J.Barady, "A new approach to low-level image processing", *International Journal of Computer Vision*, 23(1), pp.5-78, 1997.
- [2] C.Harris and M.Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector", in *Proc. 4th Alvey Vision Conference*, pp.189-192, 1988.
- [3] 정정훈, 정윤용, 홍현기, 조청운, 백준기, 최중수, "스테레오 비전을 위한 다해상도 코너 검출", *대한전자공학회 하계종합학술대회*, 2002년 6월.
- [4] Z.Zheng, H.Wang and K.Teoh, "Analysis of gray level corner detection", *Pattern Recognition Letters*, vol.20, pp.149-162, 1999.
- [5] SM Smith and M Brady, "SUSAN - a new approach to low level image processing", *International Journal of Computer Vision*, vol.23(1), 45-78, 1997.
- [6] F.Arrebola, P.Camacho, A.Bandera, and F.Sandoval. "Corner detection and curve representation by circular histograms of contour chain code", *Electronics letters*, 35(13), pp.1065-1067, 1999.
- [7] A.Resenfeld and E.Johnston, "Angle detection on digital curves", *IEEE Trans. Computers*, 22, pp.875-878, 1973.
- [8] P. L. Rosin, "Techniques for assessing polygonal approximations of curve", *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, 19(6), pp.659 - 666, 1997.
- [9] F.Arrebola, A.Bandera, P.Camacho, and

F.Sandoval. "Corner detection by local histograms of contour chain code", *Electronics Letters*, 33(21), pp.769-1771, 1997.

[10] F.Mokhtarian and F.Mohanna, "Enhancing the curvature scale space corner detector", *In Proc 12th Scandinavian Conference on Image Analysis*, pp.145-152, 2001.

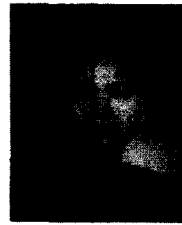
[11] H.Wang and M.Brady, "Real time corer detection algorithm for motion estimation", *Image and Vision Computing*, vol.13 *Image and Vision Computing*, vol.13:9, pp.695-703, 1995.

[12] F.Mokhtarian and R.Suomela, "Robust image corner detection through curvature scale space", *IEEE Trans on Patern Analysis and Machine Intelligence*, 20(12), pp.1376-1381, 1998.

[13] J.D. Hobby, "Using Shape and Layout Information to Find Signatures, Text, and Graphics", *Computer Vision and Image Understanding* 80, pp.88-110, 2000.

나 재 형 (Jae-Hyung-Na)

정회원



1996년 숭실대학교 컴퓨터학과 졸업(공학사)

1998년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사)

현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정

<관심 분야> 영상처리, 머신비전,

멀티미디어 검색

오 해 석 (Hae-Seok-Oh)

정회원



1975년 서울대학교

응용수학과 졸업(이학사)

1981년 서울대학교

계산통계학과(이학석사)

1989년 서울대학교

계산통계학과(이학박사)

1982년 ~ 2003년 숭실대학교

정보과학대학 교수

1990년 ~ 1991년 일본 동경대학교 객원교수

2000년 ~ 2001년 스탠포드대학교 객원교수

2003년 ~ 현재 강원대학교 소프트웨어대학 교수

<관심 분야> 멀티미디어, 데이터베이스, 영상처리,

정보보호, 멀티미디어 암호, 암호학, 유무선 PKI