계층적 각-거리 그래프를 이용한 물체 면적 측정을 위한 영상처리 알고리듬

김웅기*, 나성웅**, 이정원*
*한국원자력연구소 건식공정핵연료기술개발부
**충남대학교 전자공학과
e-mail:wkkim@kaeri.re.kr

Image Processing Algorithm for Area Measurement of an Object by the Hierarchical Angle-Distance Graphs

Woong-Ki Kim*, Sung-Woong Ra**, Jung-Won Lee*
*Dept of Dry Process Nuclear Fuel Technology Development, Korea Atomic Energy Research Institute
**Dept of Electronics Engineering, Chung-nam National University

요 약

일정한 형태의 물체를 분석하기 위해 사용되는 각-거리 그래프를 이용하여 임의의 물체의 경계선 내부 영역의 면적을 측정하는 영상처리 알고리듬을 제안한다. 물체의 경계선 내부의 한 점을 중심으로 1차 각-거리 그래프를 생성하고 이 그래프로부터 거리 값이 급격히 변화하는 위치를 추출하여 1 차 그래프에서 접근하지 못한 영역을 인식하여 새 영역에서의 한 점을 중심으로 2 차 각-거리 그래프를 생성한다. 이와 같이 계층적으로 구성된 각-거리 그래프 그룹에 대해 거리의 제곱을 각도 방향으로 적분하여 물체의 경계선 내부 영역의 면적을 측정한다.

1. 서론

디지털 영상처리 분야에서 목적물의 형태를 인식하거나 크기를 측정하는 기술은 일반 산업 및 의료용 패턴 인식, 검사, 그리고 로봇 비젼 분야 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. 특히 크기를 측정하는 기술은 농산물의 분류, 분말야금 분야에서 결정립의 크기 측정, 의료 영상에서 장기나 이상조직 크기 측정, 비파괴 검사 분야에서의 결함 크기 측정 등 매우 광범위하게 적용되고 있다.

디지털 영상처리 분야에서 현재 사용되는 물체의 면적 측정 방법으로는 경계선 내부에 존재하는 화소(pixel : picture element)를 판별하고 판별된 화소의 수를 계산하여 면적을 측정하는 방법으로 컴퓨터 단층 영상의 면적 및 체적 측정에 활용되고 있다.[1] 이 방법은 화소가 물체 영역에 속하는지를 판단해야 하며 노이즈에 약한 단점이 있고 한 평면에 같은 질감을 가진 2 개 이상의 물체가 존재하는 경우 화소의 밝기 값이 유사해 구별이 곤란하여 인위적인 분할 과정을 거쳐야 측정이 가능하다. 또 다른 방법으로 화면을 분할하여 면적을 계산하는 방법이 있다.[2] 이 방법은 화면을 점차적으로 세분화시켜 각 세분화된 영역의 면적을 측정하여 전체 영역에 대해 누적함으로써 계산 속도를 향상시킬 수 있으나 이 방법의 경우에도 한 평면에 같은 질감을 가진 2 개 이상의 물체가 존재하는 경우 구별이 곤란하다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 체계적인 각-거리 그래프 그룹을 생성하고 그래프로부터 거리 제곱을 각도 방향으로 적분하여 물체의 면적을 측정하는 방법을 제안한다. 영상처리 분야에서 일정한 형태의 물체를 분석하기 위해 응용되는 각-거리 그래프[3]를 확장하여 물체의 경계선 내부 영역의 면적을 측정할 경우 노이즈에 의한 영향을 최소화시킬 수 있으며 물체가 다수 존재하여도 독립적으로 각 물체의 면적을 측정할 수 있다.

2. 각-거리 그래프와 면적 측정

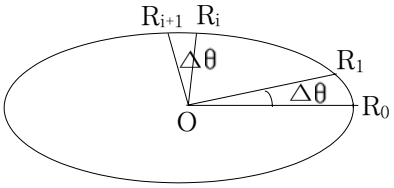


그림 1. 각-거리 생성

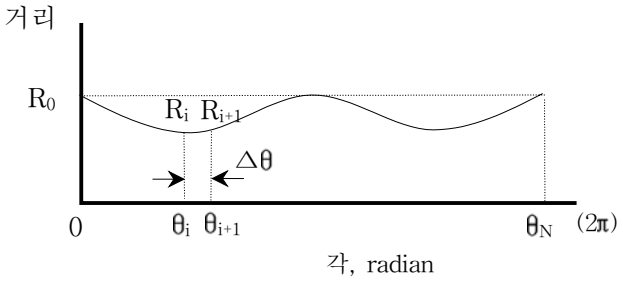


그림 2. 각-거리 그래프

그림 1 및 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 각-거리 그래프는 2차원 평면상에서 경계선 영역 내부의 한 점을 중심으로 2π radian(360도) 회전시키면서 중심점으로부터 경계선까지의 거리를 측정하여 얻어지는 회전각 대 거리 그래프를 나타낸다. 각-거리 그래프는 물체가 회전하거나 확대 및 축소되면 각-거리 그래프상에서 회전축 방향으로 천이하거나 거리 방향으로 확대 및 축소되지만 본래의 속성은 유지되는 특성을 가지고 있어 특정한 물체의 인식에 활용될 수 있다.[3] 이 그래프를 이용하면 수학적으로 면적을 계산할 수 있다. 즉, 360도를 N으로 균등하게 나누고 이 때의 미소 각 △θ를 radian으로 표현하면, $\theta = 2\pi/N$ 이다. 이 때 이웃한 거리 값이 각각 R_i, R_{i+1} 이고, 그 사이 각을 △θ라 하면 이 부분의 면적 s_i는 근사적으로

$$s_i = \frac{1}{2} R_i R_{i+1} sin\theta \qquad \text{(식 1)}$$

이다. 이 N개의 부분 면적을 모두 합한 전체 면적을 S_N라 하면,

$$S_N = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{2} R_i R_{i+1} sin\theta \qquad \text{(식 2)}$$

이다. 한편 N이 충분히 큰 경우에는, $R_i \fallingdotseq R_{i+1}$, $sin\theta \fallingdotseq \theta$ 이므로 (식 3)과 같이 쓸 수 있다.

$$S_N \fallingdotseq \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{2} R_i^2 \theta \qquad \text{(식 3)}$$

이 식은 (식 2)에 비해 매우 간단하며 sine 함수를 실행하지 않으므로 계산속도가 매우 빠르다. 물체의 형상이 극단적으로 비정상적인 경우를 제외하고는 근사해 S_N을 이용하여 물체의 면적을 측정한다.

3. 제안된 계층적 각-거리 그래프와 면적 측정

물체의 모양이 단순하여 중심점으로부터 경계선까지 모두 접근이 가능한 경우에는 물체의 전체 면적을 쉽게 계산할 수 있지만 그림 3과 같이 물체의 모양이 복잡하여 중심점으로부터 경계선까지 직선적으로 접근이 불가능한 경우에는 접근이 불가능한 부분에 대한 고려가 필요하다.

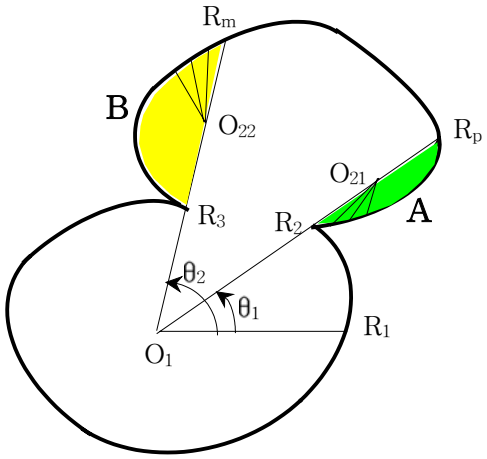


그림 3. 임의의 물체의 영상

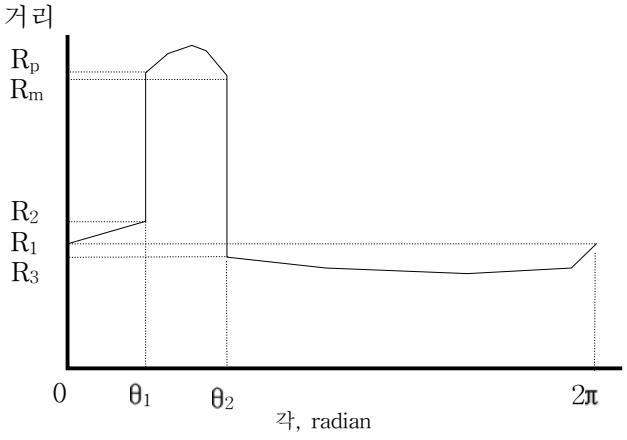


그림 4. 경계선 영상에 대한 1차 각-거리 그래프

그림 3에서 경계선 영역 내부의 한 점을 O_1을 중심으로 각-거리 그래프를 그림 4와 같이 생성할 수 있다. 대부분의 영역에서 거리 값은 완만하게 증가하거나 감소하지만 θ_1과 θ_2 지점에서는 거리 값이 급격히 변화하였다.

θ_1 지점에서는 R_2에서 R_p로 급격히 증가하였다. 이 지점과 접한 A 부분이 O_1 점에서는 직선적으로 접근이 불가능한 지점임을 알 수 있다. 여기서, R_1은 각도 0도에서의 O_1과 경계선 사이의 거리를 나타내며, R_2는 각도 θ_1에 대해서 O_1과 경계선 사이의 거리 중 작은 값을, R_p는 큰 값을 나타낸다. A 부분에 대해 새로운 중심점 O_{21}을 지정하고 O_{21}을 중심으로 각-거리 그래프를 생성할 수 있다. 이 때 O_{21}은 R_2와 R_p의 중간 값으로 정한다. 이 그래프를 첫 번째 2차 각-거리 그래프라 하며 이 2차 각-거리 그래프는 2π 전 방향에 대해 구할 필요는 없으며 거리 값이 증가하는 지점이므로 A 부분의 각-거리 그래프는 각 $\theta_1+\pi$부터 $\theta_1+2\pi$ 까지 π 범위에서만 구하면 된다.

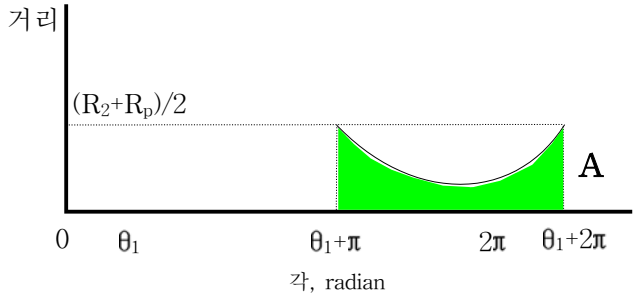


그림 5. 2차 첫 번째 각-거리 그래프

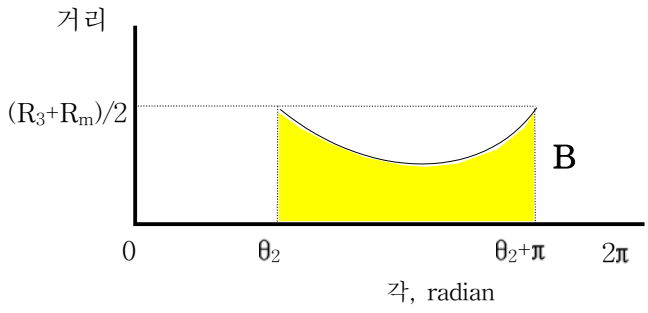


그림 6. 2차 두 번째 각-거리 그래프

θ_2 지점에서는 R_m에서 R_3으로 급격히 감소하였다. 이 지점과 접한 B 부분이 O_1 점에서는 직선적으로 접근이 불가능한 지점이다. R_3는 각도 θ_2에 대해서 O_1과 경계선 사이의 거리 중 작은 값을, R_m은 큰 값을 나타낸다. B 부분에 대해 새로운 중심점 O_{22}를 지정하고 O_{22}를 중심으로 각-거리 그래프를 생성할 수 있다. 이 때 O_{22}는 R_3과 R_m의 중간 값으로 정할 수 있다. 이 그래프를 두 번째 2차 각-거리 그래프라 하며 각 θ_2부터 $\theta_2+\pi$ 까지 π 범위에서만 구하면 된다.

따라서 그림 3과 같은 물체의 면적은 1차 각-거리 그래프와 2차 각-거리 그래프에서 각각의 면적을 구하고 이를 합하여 측정이 가능하다.

보다 복잡한 형태의 물체에서는 2차 3차 등의 각-거리 그래프가 계층적으로 생성된다. 즉 1차 각-거리 그래프를 생성하고 이 1차 각-거리 그래프로부터 로부터 거리 값이 급격히 변한 지점의 각도 값을 검색하고 거리 값이 감소 또는 증가하였는지를 판단하여 2차 각-거리 그래프를 생성한다. 계속하여 각각의 2차 각-거리 그래프에서 1차 때와 마찬가지로 거리 값이 급격히 변한 지점의 각도 값을 검색하고 거리 값이 감소 또는 증가하였는지를 판단하여 3차 각-거리 그래프를 생성한다. 이와 같은 과정을 계속하여 4차, 5차, ・・・, n차 등의 각-거리 그래프가 생성되며 이와 같이 구한 각각의 각 거리 그래프로부터 면적을 계산하고 이 값을 모두 합하면 전체 면적이 된다. 이를 체계적으로 나타내면 그림 7과 같다.

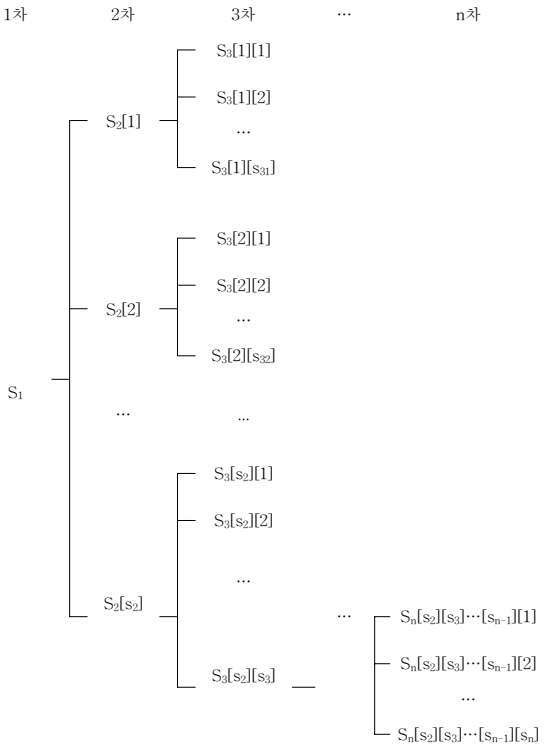


그림 7. 체계적 각-거리 그래프에서 부분 면적 구성

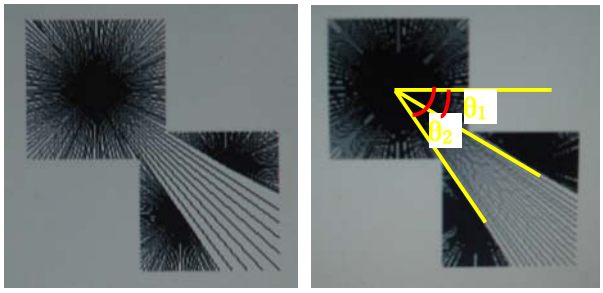
여기서 S_1은 1차 각-거리 그래프에 의해 계산된 면적이며 1차 각-거리 그래프로부터 급격히 거리 값이 변하는 지점이 s_2 개라 하면 s_2 개의 2차 각-거리 그래프가 생성되고 이로부터 각각의 부분 면적을 계산할 수 있다. 이와 같이, s_{n-1} 번째 n-1 차 각-거리 그래프에서 급격히 거리 값이 변하는 지점이 s_n 개라 하면 s_n 개의 n차 각-거리 그래프가 생성되고 각각의 부분 면적을 계산할 수 있다. 부분 면적을 합하면 전체면적 S를 (식 4)와 같이 구할 수 있다.

$$S = S_1 + \sum_{i_2=1}^{s_2} S_2[i_2] + \sum_{i_3=1}^{s_{31}} S_3[1][i_3] + \sum_{i_3=1}^{s_{32}} S_3[2][i_3] + \ldots + \sum_{i_3=1}^{s_3} S_3[s_2][i_3] + \ldots + \sum_{i_n=1}^{s_n} S_n[s_2][s_3]\ldots[s_{n-1}][i_n] \quad (식\ 4)$$

4. 실험 및 결과

두 개의 정사각형이 겹친 형태의 물체를 표현하는 영상데이터를 생성하고 제안된 알고리듬으로 각-거리 그래프를 생성하였다. N은 128~512 범위이다.

1차 각-거리 그래프에서 거리 값이 급격히 변하는 2 개의 지점을 발견할 수 있다. 첫 번째 지점 θ_1에서는 값이 증가하였으며 두 번째 지점 θ_2에서는 값이 감소하였다. 따라서 첫 번째 지점에서는 각 $\theta_1+\pi$부터 $\theta_1+2\pi$ 까지 범위에서 2차 각-거리 그래프를 생성하고, 두 번째 지점에서는 θ_2부터 $\theta_2+\pi$ 까지 범위에서 2차 각-거리 그래프를 생성한다. 그림 8은 1차 및 2차 각-거리 정보로 표현된 물체를 보여준다. 1차 및 2차 각-거리 그래프를 이용하여 각각의 면적을 계산하고 더하면 전체 면적을 구할 수 있다. N=256에 대해 측정한 결과 측정오차는 0.42%를 나타냈다.



(a) N=128 (b) N=256

그림 8. 임의의 물체와 각-거리 표현

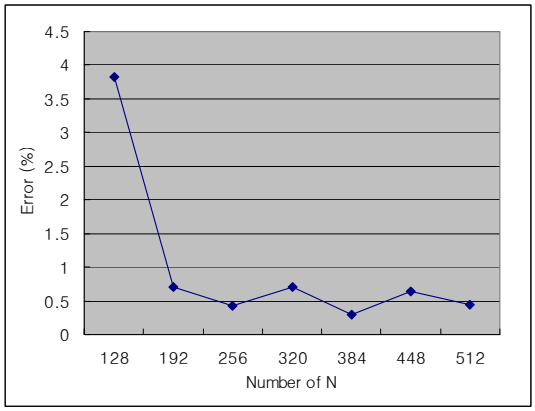


그림 9. 측정 오차

N을 증가시키면 오차가 감소하여 측정 정확도를 제고할 수 있다. N=192 이상에서 측정 오차는 1% 이내로 나타났으며 N=256 이상에서는 오차가 더 이상 크게 감소하지 않았다.

5. 결론

임의의 물체에 대해 계층적 각-거리 그래프를 생성하고 각각의 그래프로부터 부분 면적을 계산하고 이를 합하여 물체의 면적을 계산한 결과 N=256인 경우 0.42%의 측정 오차를 나타냈다.

제안된 알고리듬을 응용할 경우 경계선 내부의 면적을 쉽게 계산할 수 있으며 경계선에 불연속한 경우나 노이즈의 영향을 최소화할 수 있어 다양한 물체의 면적 측정기술 자동화에 기여할 수 있어 일반 산업 분야 및 CT 영상에서의 단면(slice)의 패턴 면적 측정, 핵연료의 조직 검사 등에도 적용되어 검사의 신뢰성을 향상시킬 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] A. Carrington and A.D. McLachlan "Introduction to Resonance" Chapman and Hall, London, 1967.

[2] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods "Digital image processing" Addison Wesley, pp.461-465, 1992.

[3] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods "Digital image processing" Addison Wesley, pp.488-490, 1992.