

적응 에지 세그먼트 기반 Randomized Hough Transform을 이용한 타원 검출

The Ellipse Detection using Adaptive Edge Segmentation Based Randomized Hough Transform

한광수, 한영준, 한현수

서울시 동작구 숭실대학교 전자공학과
E-mail: {kshahn, young, hahn} @ssu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 입력 영상의 에지를 단일 세그먼트로 구성하고 같은 타원에 속하는 에지 세그먼트를 병합하여 타원검출의 속도와 정확도를 향상시키는 방법을 제안한다. 먼저 분기점은 이용한 라벨링 기법과 코너 패턴 정합 기법으로 연속된 화소들의 집합인 에지 세그먼트를 만든다. 구성된 에지 세그먼트와 Randomized Hough Transform에 의해 타원을 추정하여 병합하고 타원을 결정한다. 위 과정으로부터 얻어진 병합된 에지 세그먼트 집합 하나가 타원 하나를 구성하므로 입력 영상 내의 전체 타원의 개수를 정확하게 추정할 수 있다. 또한 전체 에지 화소들로 타원을 검출하는 기존 방법과 달리 분리된 에지 세그먼트 단위로 타원 변수를 결정하기 때문에 전체 수행시간을 크게 줄일 수 있다.

Key Words : Edge Segment, Randomized Hough Transform, Ellipse Detection, Occluded Ellipse

1. 서 론

영상 내의 에지 정보를 가지고 타원을 검출하는 방법은 영상에서 물체의 특징 정보를 얻는 다거나 다양한 물체가 놓인 영상에서 원형 물체를 검출하는데 사용할 수 있다. 실제 산업 현장에서 사용되는 볼트, 링, 자동차 타이어와 같이 많은 산업용 부품들이 원형 형태를 갖고 있어 영상처리에서 타원의 검출은 매우 중요하다. Hough Transform의 변형 방법들이 타원을 빠르고 정확하게 검출하기 위해 주로 사용되고 있다.

Hough transform의 기본적인 알고리즘들로는 Standard Hough Transform (SHT) [1]과 Probabilistic Hough Transform (PHT) [2]이 있다. 입력 영상에서 검출하고자 하는 타원을 찾기 위해 SHT는 모든 화소를 5차원 공간에 저장하여 타원 변수를 추정하며, PHT는 확률적 모델로 화소를 선택하여 타원을 검출한다. 이 두 알고리즘은 타원 검출을 위해서 5차원의 누적 배열이 필요하므로 큰 저장 공간과 긴 수행 시간을 필요하며 검출하고자 하는 타원의 개수를 정확히 추정하지 못한다.

Lei Xu가 제안한 Randomized Hough

Transform (RHT) [3]는 타원 검출을 위해 두 과정으로 나누어 수행한다. 먼저 임의의 세 점의 중점과 접선의 중점으로 타원의 원점을 추정하고 간소화된 타원 방정식으로부터 나머지 세 개의 변수를 결정하는 방법을 사용하고 있다. 기존의 Hough transform에서 타원 검출을 위해 사용되는 5차원 공간을 타원의 원점에 해당하는 2차원 공간과 나머지 변수들에 해당하는 3차원 공간으로 나눔으로써 저장 공간을 다소 감소시킨다. 그리고 검출하고자 하는 대상 화소를 선택할 때 임의의 화소를 선택하는 방법을 사용하여 계산 시간을 상당히 줄일 수 있었다. 하지만 영상에서 타원을 결정하기 위해 전체 화소 수에 비례하는 수행시간을 가지며 타원의 수를 정확하게 추정하지 못하는 문제점이 있다.

이들 문제를 해결하기 위해 본 논문은 입력 영상을 에지 세그먼트로 그룹화하고 같은 타원에 속하는 에지 세그먼트 간의 병합하는 방법을 사용한다. 먼저 입력 영상으로부터 에지 영상을 구하고 한 화소 단위로 세선화를 수행한다. 타원 변수의 결정은 크게 두 단계로 나눠 진행된다. 첫 번째 단계는 하나의 타원에만 귀속되고 한쪽 방향성만 갖는 연속된 화소들의 집합

인 에지 세그먼트로의 그룹화 과정이다. 분기점과 코너 패턴을 이용하여 하나의 타원에만 속하는 선분인 에지 세그먼트를 구성한다. 두 번째 단계는 에지 세그먼트끼리 병합하기 위하여 RHT를 이용하여 타원 변수를 추정하고 추정된 타원 변수를 타원 결정 부등식으로 에지 세그먼트 사이의 병합 여부를 판단한다. 위 과정을 수행함으로써 얻어진 병합된 에지 세그먼트의 개수를 통해 입력 영상 내의 전체 타원의 개수를 정확하게 추정할 수 있으므로 기존 RHT의 문제점을 획기적으로 개선시킬 수 있다. 또한 전체 에지 화소들로 RHT를 수행하지 않고 분리된 에지 세그먼트 단위로 타원 변수를 결정하기 때문에 전체 수행시간을 크게 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 타원 검출 알고리즘에 대해 기술하고 3장에서는 실험 및 결과를 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 서술한다.

2. 본 론

본 논문에서 제안하는 적응 에지 세그먼트 기반 Randomized Hough Transform을 이용한 타원 검출 기법에 대한 구성도는 그림 1과 같다. 기존 Hough Transform의 문제인 수행시간을 줄이고 타원의 개수를 정확하게 추정하기 위하여 적응 에지 세그먼트를 이용한 타원 검출 방법을 제안한다.

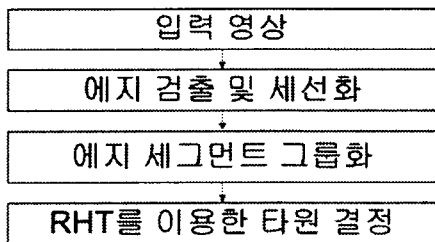


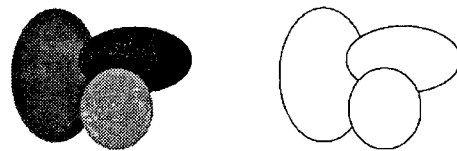
그림 1. 전체 시스템 구성도

타원 검출을 위하여 입력 영상에서 에지 성분을 검출하고 세선화 과정을 수행한다. 이 에지는 분기점과 코너 패턴을 이용하여 선분 단위의 에지 세그먼트로 그룹화 된다. 그룹화된 에지 세그먼트 중 임의의 두 개를 선택하여 RHT를 적용하고 병합을 판단한다. 이 방법을 반복하여 병합된 에지 세그먼트의 집합으로 타원을 추정하게 된다.

2.1 에지 검출 및 세선화

본 논문에서는 상대적으로 정확한 에지 검출을 위해 Canny 에지 검출기를 사용한다.

Canny 에지 검출기는 가우시안 필터를 사용하여 잡음을 제거하고 각 화소의 1차 미분 취하여 구한 에지 강도와 방향 값으로 국부 최댓값을 에지점으로 추정하고 두 개의 임계값을 이용해 낮은 임계값으로 검출한 에지점 중에서 높은 임계값으로 검출한 에지점과 연결된 에지점들로 최종 에지를 얻어낸다. 이 에지를 에지 세그먼트 그룹화에 적절한 에지로 만들기 위해 세선화 과정을 수행한다. 세선화는 한 에지점을 중심으로 위쪽이나 아래쪽에 있는 화소 중 하나와 왼쪽이나 오른쪽에 있는 화소 중 하나에 에지점이 존재할 경우에 이 에지점을 제거하는 방법이다. 그림 2(a)의 입력 영상에 대하여 에지 검출과 세선화를 적용한 영상이 그림 2(b)에 보인다.



(a) 입력 영상 (b) 세선화된 에지 영상
그림 2. 입력 영상 및 전처리 결과 영상

2.2 에지 세그먼트 그룹화

본 절에서는 하나의 타원에만 속하는 선분인 에지 세그먼트를 구성하는 방법이 설명된다. 에지 세그먼트는 앞에서 언급한 바와 같이 두 가지 성질을 만족하는 연속된 에지 화소의 집합이다. 첫 번째 성질은 시작점과 끝점이 하나씩만 존재하는 선분이어야 하고 두 번째는 하나의 타원에만 속하는 성질이다.

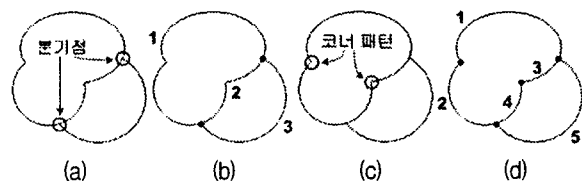


그림 3. 에지 세그먼트 그룹화의 예: (a) 분기점 검출 (b) 분기점에 의한 에지 세그먼트 결과 (c) 코너 패턴 검출 (d) 코너 패턴에 의한 에지 세그먼트 결과

첫 번째 성질을 만족하는 선분을 구성하기 위해서는 그림 3(a)와 같이 에지 영상에서 분기점을 찾아야 한다. 분기점은 에지점들 중에서 8연결 이웃화소의 3방향 이상 에지점이 존재하는 경우이다. 분기점을 이용하여 에지를 그룹화하면 그림 3(b)와 같이 시작점과 끝점이 하나인 선분으로 에지 세그먼트 1, 2, 3이 구성된다. 하지만 에지 세그먼트 1, 2의 경우는 두 개의 타원에 속하는 선분의 합으로 이루어져 있기

때문에 두 번째 성질을 만족하지 못한다. 두 번째 성질을 만족하는 에지 세그먼트를 구성하기 위하여 코너 패턴 검출을 수행한다. 코너 패턴은 에지점을 중심으로 5x5 마스크에 의해 정의된다. 이 코너 패턴을 첫 번째 성질을 적용한 에지 세그먼트에 적용하여 코너 패턴을 찾아내고 그 점을 중심으로 에지 세그먼트를 분리하면 두 번째 성질도 만족하는 완벽한 에지 세그먼트를 구성할 수 있다. 그림 3(c)에 검출된 코너 패턴이 보이고 그림 3(d)에 두 성질을 모두 만족하는 에지 세그먼트가 나타난다.

2.3 타원 결정

본 절에서는 완벽히 분할된 에지 세그먼트를 같은 타원에 존재하는 에지 세그먼트끼리 병합하기 위한 작업이 이루어진다. 임의의 에지 세그먼트 두 개를 선택하여 RHT[3]를 이용하여 타원 변수들을 추정한다. 선택된 두 에지 세그먼트와 추정타원 사이의 타원 정합 비율을 계산하여 병합여부를 판단한다. 타원정합비율(Ellipse Matching Rate, EMR)을 구하는 방법은 선택된 두 세그먼트에 포함된 에지점과 추정 타원사이의 거리가 일정범위 내에 존재하는 에지점의 개수를 두 세그먼트의 전체 에지점의 개수로 나누어 결정한다.

예를 들어, 그림 4를 보면 선택된 에지 세그먼트 1, 2 사이에 RHT를 적용하여 타원을 추정한다면 세그먼트 1 모든 에지점은 추정타원에 포함되겠지만 세그먼트 2의 일부 에지점의 경우는 추정타원과 상당히 멀리 떨어져 있으므로 EMR이 낮게 계산된다. 하지만 그림 4의 세그먼트 1과 3의 경우 RHT를 적용하여 타원을 추정한다면 세그먼트 1과 3 모두 추정된 타원에 포함되기 때문에 두 에지 세그먼트는 병합이 가능하게 된다. 나머지 모든 에지 세그먼트에 RHT를 적용하여 모든 타원이 결정된 결과가 그림 4에 나타난다. 에지 세그먼트는 각각 세그먼트 1과 3의 집합, 세그먼트 2와 4의 집합, 세그먼트 5의 집합으로 병합되어 영상에서 세 개의 세그먼트 집합을 이루었고 즉 이것은 영상에 세 개의 타원이 존재함을 뜻한다.

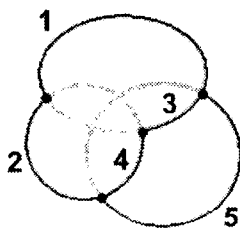


그림 4. 제안하는 방법의 타원 결정 결과

3. 실험 및 결과

본 장에서는 기존의 HT 중 SHT [1] 과 제안하는 방법의 타원 검출 수행 시간 및 정확성에 대한 성능 비교와 타원 개수 추정에 대하여 다루어진다. 그림 5가 실험에 사용된 영상이다.

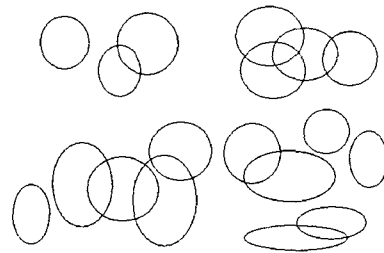


그림 5. 임의로 만들어진 타원에 대한 실험 영상

표 1은 SHT와 제안하는 방법을 그림 5에 적용한 수행시간과 정확도, 타원의 개수를 비교한 결과를 명시한다. SHT를 이용한 타원 검출은 모든 비교 분야에 대해서 제안하는 방법과 현격한 차이를 보여준다. SHT의 경우 영상 내의 타원의 개수가 많아짐에 따라 수행시간이 현격히 늘어나고 정확도는 현격히 감소한다. 하지만 제안하는 방법의 경우는 영상 내의 타원의 개수가 증가해도 수행시간이나 정확도가 비교적 빠르고 높게 나타난다. 또한 타원의 개수 추정 면에서 확실한 차이를 나타낸다. SHT는 일정 개수 이상 누적된 타원 변수로 타원의 개수를 추정하거나 사용자가 타원의 개수를 임의로 정하여야 하지만 제안하는 방법에서는 병합된 에지 세그먼트 집합의 개수로 타원을 추정하므로 표 1의 마지막 행에 나타난 것 같이 타원의 개수를 정확히 추정함을 알 수 있다.

표 1. SHT와 제안하는 방법의 성능 비교

| | 수행시간 (초) | | 정합 백분율 | | 타원의 개수 | |
|---|----------|-------|--------|--------|--------|----|
| | SHT | 제안 | SHT | 제안 | SHT | 제안 |
| 1 | 82 | 10.03 | 51.72% | 98.32% | 7.68 | 3 |
| 2 | 149 | 12.82 | 50.16% | 99.42% | 12.32 | 4 |
| 3 | 209 | 13.98 | 39.38% | 98.75% | 21.03 | 5 |
| 4 | 315 | 15.68 | 28.98% | 99.52% | 18.67 | 6 |

그림 6은 각 입력 영상에 대한 SHT와 제안하는 방법의 결과 영상이다. 앞에서 설명한 바와 같이 결과 영상을 보면 타원 검출 정확도를 파악할 수 있다. SHT에서는 검출된 타원의 개수

가 입력 영상에 타원의 개수보다 많이 찾아지고 중복되거나 잘못된 타원이 검출되는 문제점을 갖고 있다. 하지만 제안하는 방법은 하나의 타원 에지에서 하나의 타원만 정확하게 검출하기 때문에 타원의 개수 추정에 우수한 성능을 나타낸다.

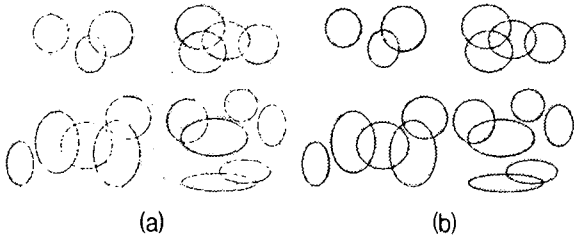


그림 6. SHT와 제안하는 방법의 결과 영상 비교: (a) SHT를 그림 5에 적용한 결과 영상 (b) 제안하는 방법을 그림 5에 적용한 결과 영상

그림 7은 겹쳐진 타원의 경우에 대한 실험 영상이다. 겹쳐진 타원의 경우 에지가 가려진 상태이기 때문에 그림 8(a)의 SHT 결과에서 보이는 것 같이 정확한 타원을 검출하기 어렵다. 하지만 그림 8(b)의 제안하는 방법은 에지 세그먼트 구성에 의해 타원을 검출하기 때문에 가려지지 않은 타원뿐 아니라 가려진 타원에서도 정확하게 타원을 검출할 수 있었다.

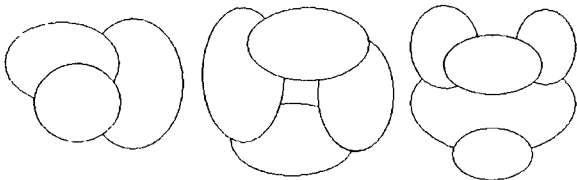
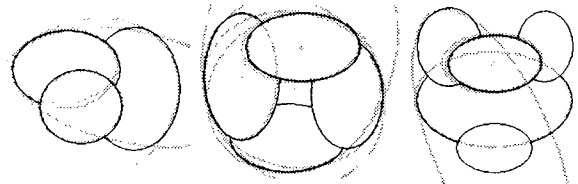


그림 7. 임의로 겹쳐진 타원에 대한 실험 영상

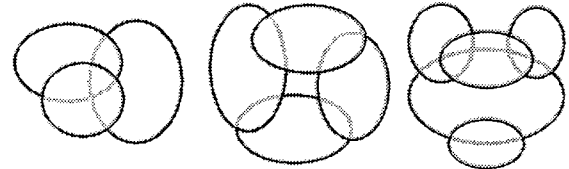
4. 결론

본 논문에서는 적응 에지 세그먼트 기반 Randomized Hough Transform을 이용한 타원 검출 방법을 제안 하였다. 본 논문은 기존의 Hough Transform을 이용한 타원 검출 방법 중 Standard Hough Transform과 성능을 비교 하였다. 제안하는 방법은 기존의 RHT에서 모든 에지점을 임의로 선택하여 타원을 추정 한 것과 다르게 연속된 에지점의 모임을 하나의 에지 세그먼트로 정의하였다. 전체 에지를 세그먼트 단위로 분할한 후 세그먼트 사이의 RHT를 이용한 타원 추정으로 세그먼트간의

병합을 통해 하나의 타원을 이루는 집합을 형성한다. 이로서 정확한 타원을 검출할 수 있었 으며 타원 검출에 필요한 반복 수행시간도 크게 개선할 수 있었다. 또한 SHT뿐만 아니라 대부분의 HT을 이용한 타원 검출에서의 문제점인 타원의 개수 추정을 정확하게 해결할 수 있었다.



(a) SHT를 그림 7에 적용한 결과 영상



(b) 제안하는 방법을 그림 7에 적용한 결과 영상
그림 8. SHT와 제안하는 방법을 겹쳐진 타원에 적용한 결과 영상

참 고 문 헌

- [1] P.V.C. Hough, "Method and Means for Recognizing Complex Patterns," U.S. Patent 3069654, Dec. 18 1962.
- [2] N. Kiryati, Y. Eldar, and A. M. Bruckstein, "A probabilistic Hough transform," Pattern Recognition, vol. 24, no. 4, pp303-316, 1991
- [3] Lei Xu, Erkki Oja, and Pekka kultanena, "A new curve detection method: Randomized Hough Transform (RHT)," Pattern Recognition Letters, vol. 11, no. 5, pp. 331-338, May. 1990.
- [4] Cheng, Z. Liu, Y., "Efficient technique for ellipse detection using restricted randomized Hough transform," Image Processing and Pattern Recognition, vol. 2, pp. 714-718, Apr. 2004.
- [5] Yonghong Xie, Qiang Ji, "A new efficient ellipse detection method," International Conference on Pattern Recognition, vol. 2, pp. 957 - 960, Aug. 2002.