

Fast Computation of the Radius of a Bounding Circle in a Binary Image

柳 光 錫[†] · 金 會 律^{*}

(Kwang-seok Ryoo · Whoi-yul Kim)

Abstract - With the expansion of Internet, a variety of image databases are widely used and it is needed to select the part of an image what he wants. In contents-based image retrieval system, Zernike moment and ART Descriptors are used for shape descriptors in MPEG-7. This paper presents a fast computation method to determine the radius of a bounding circle that encloses an object in a binary image. With conventional methods, the whole area of the image should be scanned first and the distance from every pixel to the center point be computed. The proposed 4-directional scan method and fast circle-drawing algorithm is utilized to minimize the scanning area and reduce the number of operations for computing the distance. Experimental results show that proposed method saves the computation time to determine the radius of a bounding circle efficiently.

Key Words : Bounding Circle, Binary Image, Shape Descriptor, Content-Based Image Retrieval

1. 서 론

인터넷의 발달과 저장장치의 극대화에 따라, 대용량 영상 데이터베이스의 사용이 일반화 되고 있으나, 이를 관리하고 특히 원하는 영상을 손쉽게 검색하는 것이 더욱 어려워지고 있다. 이를 위해 MPEG-7 분야에서는 주어진 영상으로부터 모양, 색상, 질감 등의 특징을 추출하여 영상을 기술하고, 이를 기준으로 하여 영상들 간의 유사도를 판별하여 비슷한 영상을 검색할 수 있도록 하여주고 있다.

특히 모양을 기반으로 한 영상검색에 있어서, 최근 MPEG-7 분야에서는 영상의 모양을 영역 기반으로 기술하는 방법으로써 Zernike 모멘트와 ART가 제안되었다 [1][2][3]. 그러나 저니키 모멘트는 정의식이 복잡하기 때문에 연산 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Mukundan은 경계선 적분(contour integration) 방법과 사각형 원형 적분 방법(square to circular transformation)을 제안 하였으며 [4], Belkasim은 저니키 방식 다항식을 확장하여 일부 중복된 연산을 일부 제거함으로써 연산 속도를 향상을 이루었다 [5]. 그 이외에 Prata, Kintner, Chong 은 1차원 저니키 실수 방식 다항식의 재귀적 관계를 유도하여 계승 연산을 줄이는 방법을 제안 하였다 [6][7][8].

그러나 이러한 다양한 연구는 주어진 입력 영상을 원점을

중심으로 하는 단위 원 크기로 정규화를 하고 난 이후에 저니키 계수를 적은 연산량으로 구하는 방법에만 집중이 되어 있어, 실제 영상의 중심에서 영상을 포함하는 외접원을 구하는 단계는 기존의 모멘트를 이용한 방법이 전형적으로 사용되어와 실제 저니키 모멘트 계수를 구하는 전처리 과정의 연산량 감소에 대한 연구는 기하학적 모멘트를 이용하여 원점을 찾은 후, 전 픽셀에 대하여 전체적으로 스캐닝을 하면서 외접원을 구하는 방법이 사용되었다.

이들 방법은 기저함수가 원형으로 정의되어있기 때문에 입력 영상을 포함하는 외접원을 정의하여야 한다. 일반적으로 geometric moment를 이용하여 패턴의 중심점을 찾아낸 후 중심점으로부터 가장 멀리 있는 픽셀까지의 거리를 반지름으로 하는 외접원을 정의하여 사용할 경우 영상 표현 능력이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 이를 bounding circle이라고 정의하고 bounding circle의 반지름을 빠르게 구하는 방법을 제안한다.

Bounding circle을 구하는 직관적인 방법은 영상의 전체 영역을 스캔하면서 만나는 object 픽셀과 중심점과의 거리 중에서 최장 거리를 선택하면 된다. 그러나 이 방법은 영상 전체 영역을 스캔해야 하고 모든 object 픽셀에서 Euclidean 거리를 구하기 때문에 대용량의 데이터를 처리하는 시스템에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 object를 4방향으로 병렬 스캔하고, 마름모꼴 영역을 생성하여 스캔 영역을 줄이고 동시에 Euclidean 거리를 구하는 연산 횟수를 최소화함으로써 bounding circle의 반지름을 빠르게 계산하는 알고리즘을 제시한다. 전체적인 알고리즘의 흐름은 우선 geometric moment를 이용하여 패턴의 중심 좌표를 구하여 이를 중심으로 영상을 4분할하고, 분할된 4개의 영역을 병렬적으로 스캔한다. 스캔 도중 object 픽셀을 만나면 중심점과의 거리를 구하고, 4개의 영

[†] 교신저자, 正 會 員 : 동서울대학 디지털방송미디어과 전임강사

E-mail : ksryoo@dsc.ac.kr

^{*} 正 會 員 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수

接受日字 : 2005年 3月 1日

最終完了 : 2005年 5月 17日

역에서 구한 거리 중 최대값을 이용하여 원을 생성하고 이 원의 외부만을 스캔하여 스캔 영역을 줄인다. 또한, object의 경계에서만 Euclidean 거리를 구하므로 Euclidean 거리를 구하는 연산의 횟수를 최소화 하였다.

2. 바운딩 서클의 빠른 계산 알고리즘

2.1 중심점 찾기

Bounding circle을 구하기 위해서 우선 패턴 중심점의 좌표를 알아야 한다. 일반적으로 패턴의 중심점은 geometric moment를 이용하여 구한다. Geometric moment는 다음과 같이 정의된다 [10][11].

$$m_{pq} = \sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

여기서 p 와 q 는 모멘트의 차수를 의미하고, h 와 w 는 각각 영상의 높이와 폭을, $f(x,y)$ 는 이진 입력 영상을 나타낸다. 패턴의 중심점 좌표 $C(\bar{x}, \bar{y})$ 는 1차 모멘트와 2차 모멘트를 이용하여 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

중심점 (\bar{x}, \bar{y}) 에서 픽셀 (x,y) 사이의 Euclidean 거리 d_{xy} 는 다음 공식으로 구할 수 있다.

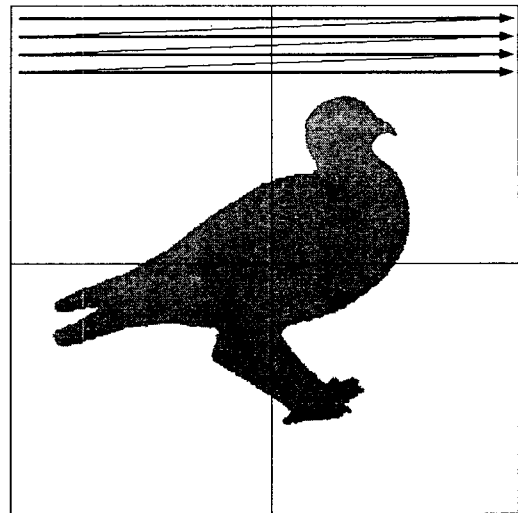
$$d_{xy} = \sqrt{(x-\bar{x})^2 + (y-\bar{y})^2} \quad (3)$$

2.2 제안된 계산 방법

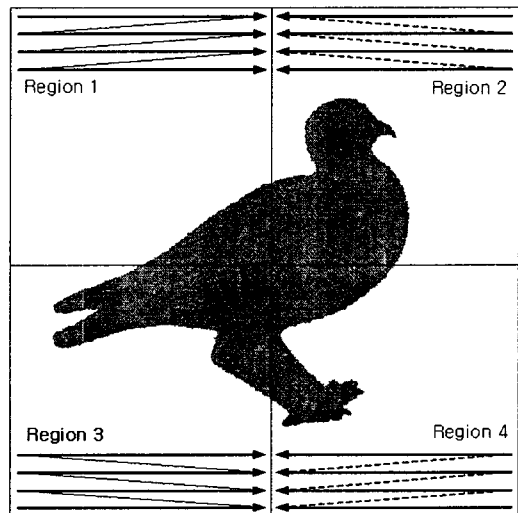
기존의 방법에서는, bounding circle을 계산하기 위해 영상 전체를 스캔하고(raster scan) object에 해당하는 모든 픽셀에 대해 object 중심점까지의 거리를 구하여 그 중 최대값을 bounding circle의 반지름으로 결정한다. 그러나, object 중심점에서 가장 멀리 있는 픽셀은 언제나 object의 경계에 존재하므로 경계가 아닌 object픽셀에 대해서는 Euclidean 거리를 구할 필요가 없다. 제안하는 알고리즘에서는 스캔 영역을 줄이기 위해, 영상을 중심점을 기준으로 4 영역으로 분할하고, 4개의 모서리에서 중심점을 향하는 방향으로 영상을 스캔한다. 그림 1의 (a)와 (b)는 기존 방법과 제안된 방법의 스캔 방향을 나타낸다.

스캔을 하는 도중 object 픽셀을 만나면 해당 픽셀과 중심점과의 거리를 r 로 설정하고 다음 라인을 스캔한다. 다음 라인부터는 중심점과 Euclidean 거리를 구할 object 픽셀을 찾기 위해 현재의 r 을 반지름으로 하는 원의 외부만 스캔하면 된다. 그림 2에 4방향 스캔을 사용할 경우의 스캔영역을 나타내었다. 예를 들면, 영역 1에서의 각 y 에 대한 x 의 스캔 영역은 다음과 같다.

$$0 \leq x \leq \bar{x} - \sqrt{r^2 - (y-\bar{y})^2} \quad (4)$$



(a) 기존 방법



(b) 제안한 방법

그림 1. 4 방향 스캔

Fig. 1. 4-directional scan

이렇게 해서 다시 object 픽셀을 만나면 중심점과의 거리를 계산하여 이것이 r 보다 크면 r 을 갱신하고 위의 과정을 반복한다. 이러한 과정을 y 가 \bar{y} 가 될 때까지 반복하면, 최종 r 이 패턴 bounding circle의 반지름이 된다. 이 과정을 4개의 영역에서 병렬적으로 수행한다.

그림 3은 제안하는 알고리즘의 예를 보여준다. 이미지를 4방향으로 스캔하면서 맨 처음 만나는 object 픽셀을 A 라고 하자. A 점과 중심점과의 거리 r_A 를 반지름으로 하는 원 C_A 을 생성하여 이후 이미지 스캔에서는 C_A 외곽의 영역만을 스캔한다. 이후 스캔에서 다시 object 픽셀()을 만나면, 중심점과의 거리 r_B 를 구하여 새로운 원(C_B)을 생성한다. 이후 나머지 영역을 모두 스캔하면 r_B 가 bounding circle의 반지름이 된다.

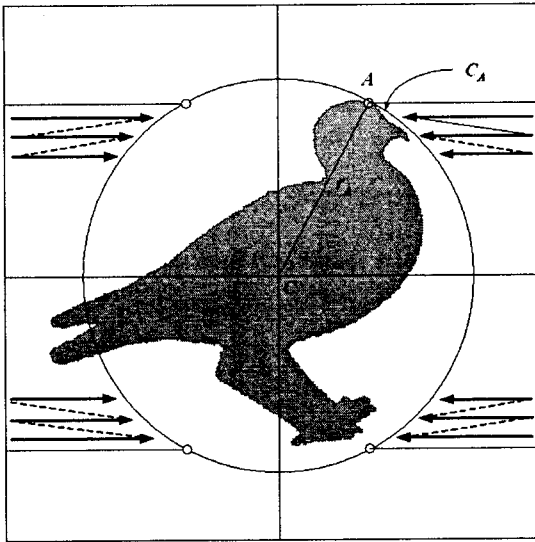


그림 2. 원을 사용할 때의 스캔영역
Fig. 2. Scan area for the circle is used

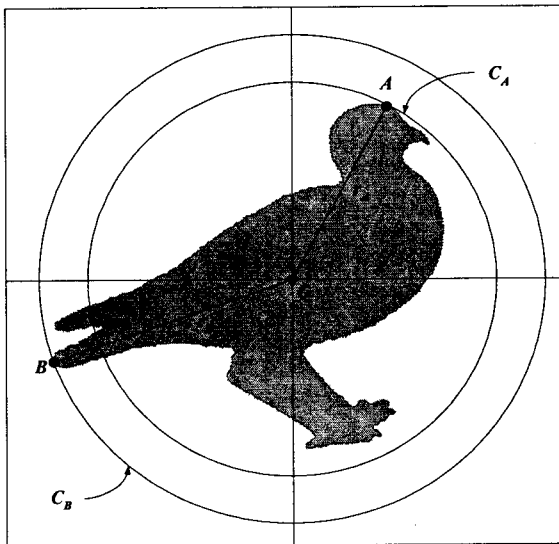


그림 3. 제안하는 알고리즘의 예
Fig. 3. Example of proposed algorithm

결과적으로 제안하는 방법은 원을 생성하여 스캔 영역을 줄임으로써 object 픽셀과 중심점과의 Euclidean distance를 구하는 연산 횟수 또한 줄어들기 때문에 상당한 속도 향상의 효과를 얻을 수 있다.

3. 실험 결과 및 분석

알고리즘의 성능을 관찰하기 위해, MPEG-7 에서 사용하

는 이진 영상 데이터 셋을 이용하여, 기존의 방법과 제안된 방법을 이용하여 분석을 하였다[12]. 실험에 사용된 데이터 셋은 같은 모양을 취하고 있으나 크기가 다른 그룹, 같은 모양과 크기를 가지지만 회전된 방향이 다른 그룹, 유사한 모양과 크기를 가진 그룹, 움직이는 물고기와 같은 다양한 형태의 그룹, 그리고 affine 변환으로 가변된 그룹 등, 5개의 그룹으로 구성되어 있다. 각 그룹 당 영상의 개수는 표 1과 같으며, 각 그룹 당 대표적인 영상의 예는 표 2와 같다.

실험조건은 Pentium IV 1.4G 512MB의 메인 메모리 환경의 PC 환경에서 수행되었고, 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였다

실험은 각 영상에 대해 (1)기존의 방법 (2)경계 픽셀에서만 반지름을 구한 것 (3)제안하는 방법의 세가지 방법으로 각 100회 bounding circle의 반지름을 구한 뒤 그 결과와 연산 시간을 비교하였다. 표 3은 연산 시간의 차이를 보여주고 표 4는 Euclidean 거리를 구한 횟수를 나타낸다. 실험 결과에서 보듯, 연산 속도는 이미지의 형태와 크기에 따라 차이가 있지만 평균적으로 기존의 방법에 비해서는 320배, 경계 픽셀에서만 구한 경우에 대해서도 5배 정도 속도가 향상됨을 확인 할 수 있었다.

표 1. CE1, CE2 데이터 셋의 특징
Table 1. Characteristics of CE1 and CE2 data set

데이터 셋 이름	이미지 개수	데이터 셋의 특징
CE1	a1	모양은 같지만 크기가 다른 여러 종류의 이미지들의 집합
	a2	같은 모양과 크기를 가지지만 여러 각도로 회전된 여러 종류의 이미지들의 집합
	b	유사한 모양과 크기를 가진 여러 종류의 이미지들의 집합
	c	움직이는 도미의 이진영상과 다른 다양한 형태의 물고기 영상들
CE2	3,621	affine 변환으로 변형된 이미지들의 집합

표 2. 실험에 사용된 이진 영상 데이터 셋의 예시
Table 2. Examples of Binary image for experiment

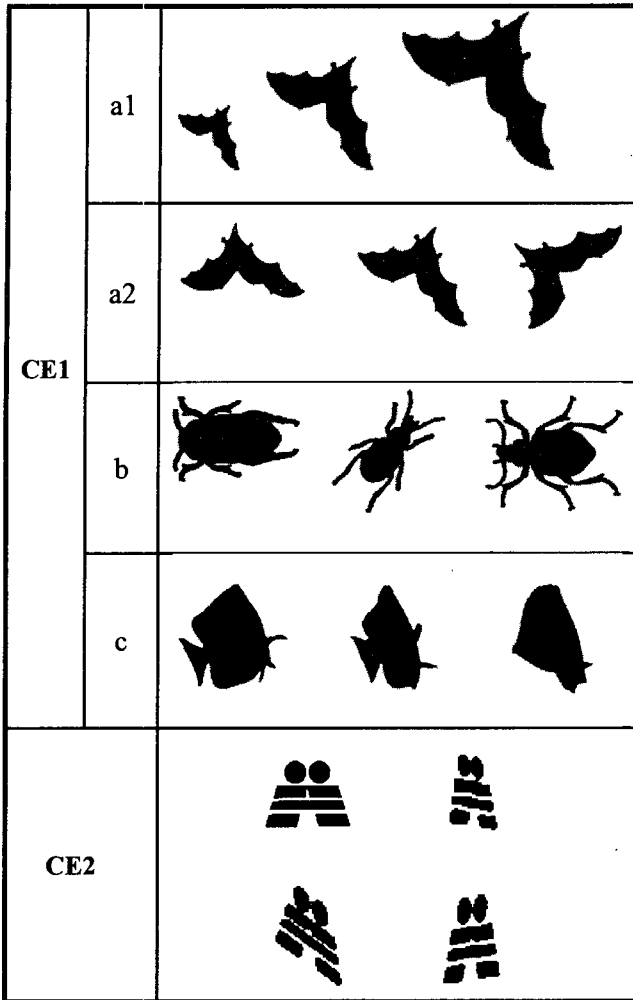


표 3. 제안하는 알고리즘과 기존 방법과의 속도비교(ms)
Table 3. Time comparison of traditional & proposed method.

사용된 알고리즘 데이터 셋		기존방법 (모든 객체 픽셀)	기존 방법 (경계 픽셀)	제안된 방법
CE1	a1	98.6593	1.04348	0.10926
	a2	121.7902	1.94914	0.48713
	b	89.5656	1.34984	0.12683
	c	30.8013	0.55245	0.14418
CE2		12.3303	0.52719	0.23604
평균수행시간		70.6294	1.08442	0.22069

표 4. 각 방법에서 Euclidian 거리를 구하는 연산의 횟수 (times)

Table 4. Comparison of operation count for traditional & proposed method.

사용된 알고리즘 데이터 셋		기존 방법 (모든 객체 픽셀)	기존 방법 (경계 픽셀)	제안하는 방법
CE1	a1	50228.27	387.14	20.62
	a2	57864.38	598.62	28.67
	b	45858.79	543.79	25.99
	c	15732.70	219.17	31.84
CE2		6260.19	175.31	15.90
평균 연산 횟수		35188.87	384.81	24.60

4. 결 론

본 논문에서는 이진 영상의 바운딩 서클 값을 빨리 계산하기 위한 새로운 방법을 제안하였다.

Bounding circle 파라메타 값은 내용기반 영상 검색분야에서 모양기술자로 사용되는 Zernike 모멘트 또는 ART 등의 파라메타 값을 영상의 모양 기술자에서 영상을 효과적으로 표현하기 위해 선행하여 구해야 하는 최소 외접원으로서, 이를 먼저 선행 계산을 해야, 이후 모양기술자의 파라메타 값의 추출이 가능하다. 그러나, 이 값은 기존의 방법으로는 많은 계산 시간을 필요로 하는 단점이 있어 왔다.

제안된 방법은 4방향 병렬 영상 스캔 방법과 마름모꼴 영역을 정의하여 스캔 영역을 줄임으로써 bounding circle의 반지름을 빠르게 계산하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 펜티엄급 PC환경에서 Visual C++ 6.0 툴을 사용하여, 기존의 방법과 제안된 방법을 비교 검토하였다.

제안된 알고리즘은 MPEG 7 모양기술자 정의 시 사용된 영상 데이터베이스 7,161 개의 영상을 이용하여 실험, 분석하여, 기존의 방식과 동일한 결과를 추출하면서도 속도는 약 200~800배 빠른 성능을 나타냄을 정량적으로 증명하였다.

참 고 문 헌

[1] A. Khotanzard and Y.H. Hong, " Invariant image recognition by Zernike moments," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol.12, no. 5, pp. 489-497, May 1990.
[2] W. Y. Kim and Y. S. Kim, " A new region based shape descriptor : The ART(Angular Radial

- Transform) Descriptor," ISO/ICE MPEG 99/M5742, Maui, Dec. 1999.
- [3] A. Vailaya, Yu Zhong and A. K. Jain, "Shape based Retrieval : A case study with trademark image databases," *Proc. Of IEEE Int. Conf. On Pattern Recognition*, no. 9, vol. 31, pp. 1369-1390, 1998.
- [4] R. Mukundan and K. R. Ramakrishnan, "Fast computation of Legendre and Zernikie moments," *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 9, pp. 1433-1441, 1995
- [5] S. O. Belkasim, "Efficient algorithm for fast computation of Zernikie moments," *IEEE 39th Midwest symposium on Circuits and Systems*, vol. 3, pp. 1401-1404, 1996.
- [6] A. Prata, W. V. T. Rusche, "Algorithm for computation of Zernikie polynomials expansion coefficient," *Applied Optics*, vol. 28, pp. 749-754, 1989
- [7] E. C. Kintner, "On the mathematical properties of the Zernikie polynomials," *Optica Acta*, vol. 23, no. 8, pp. 679-680, 1976.
- [8] C. W. Chong, P. Raveendran and R. Mukundan, " A comparative analysis of algorithms for fast computation of Zernikie moment," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 3, pp. 731-742, 2003
- [9] 황선규, 김희율, "기저 함수의 대칭성을 이용한 저니키 모멘트의 효율적인 계산 방법," 정보과학회논문지, 제 31권, 제 5호, pp.563-569, 2004년 5월
- [10] James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes, "Computer Graphics: Principles and Practice, Second Edition in C," Addison Wesley, 1996
- [11] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, "Digital Image processing," Chater 8, Addison Wesley, ISBN 0-201-50803-6, 1992
- [12] MPEG 7 Requirement Group, "Distribution of MPEG 7 content set," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N2468, Atlantic City, October 1998.

저 자 소 개



유 광 석(柳 光 錫)

1963년 10월 25일생. 1986년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1990년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학석사), 1998년 한양대학교 전자공학과 박사과정수료, 1990년~1995년 한국전기통신공사 정보통신본부 전임연구원, 2002년~현재, 동서울대학 디지털방송미디어과 전임강사
 Tel : (031)720-2174
 Fax : (031)720-2294
 E-mail : ksryoo@dsc.ac.kr



김 희 율(金 會 律)

1956년 5월 27일생. 1980년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1983년 Pennsylvania State Univ. 전기공학과 졸업(공학석사), 1988년 Purdue Univ. 전기공학과 졸업(공학박사), 1988년~1994년 Univ. of Texas 조교수, 1994년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 정교수
 Tel : (02)2220-0351
 Fax : (02)2292-6316
 E-mail : wykim@hanyang.ac.kr