Journal of Korea Multimedia Society Vol. 7, No. 4, April 2004(pp. 579-591)

단순한 도면으로부터 선분 확장을 이용한 아크 분할 기법 개발

정 성 태†

요 약

본 논문에서는 직선과 곡선으로 구성된 단순한 도면으로부터 곡선을 검출한 다음에 곡선을 원형 아크로 분할하는 방법을 제안한다. 본 논문의 방법에서는 먼저 선의 중심점을 찾은 다음에 연결된 중심점을 추적하여 선분을 검출한다. 그 다음에는 선분의 양 끝에서 선분의 방향을 이용하여 이웃한 선분을 검출하여 선분을 확장해 나간다. 선분을 확장한 다음에는 직선을 제거하고 곡선만 남긴 다음에 재귀적 분할 방법을 이용하여 곡선을 아크들의 집합으로 분할한다. 본 논문에서는 기존의 벡터화 소프트웨어와 벡터 기반 아크 분할 방법과 비교 실험을 수행하였다. 실험 결과에 의하면 본 논문에서 제안된 방법이 기존의 방법에 비하여 교차점을 가지는 곡선에 대하여 보다 정확하게 아크로 분할하였다.

Development of an Arc Segmentation Technique Based on Line Segment Expansion from Simple Drawing

Sung-Tae Jung†

ABSTRACT

This paper presents a new arc segmentation method which extracts curves from simple drawing consisted of straight lines and curves and segments them into circular arcs. First, it finds center points and finds line segments and curve segments by tracing connected center points. Next, it expands the segment by searching neighbor segment at the two endpoints. Next, it removes straight lines and segments the extracted curves into circular arcs by using the recursive subdivision method. The proposed method has been compared with previous vectorization software and vector based arc segmentation method. Experimental results show that the proposed method produces more correct results for the curves which contain intersection with other lines or curves.

Key words: Arc Segmentation(곡선 분할), Drawing Recognition(도면 인식)

1. 서 론

컴퓨터 비전 기술의 발전에 따라 도면의 인식에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 도면은 일반적으로 복잡한 자연 영상에 비하여 단순한 형태의 직선과 곡선으로 구성된 영상으로 인공적인 의미를 내포하고 있다. 도면은 용도 및 특징에 따라 전자 회로도, 논리 회로도, 전기 회로도, 기계 설계도, 건축 설계도, 공정도, 부품도, 도로망도, 지적도 및 지형도 등 여러 가지 형식으로 광범위한 분야에서 이용되고 있다. 근래에 들어서는 복잡하고 다양한 도면의 효율적인 설계 및 유지, 보수를 위하여 CAD(Computer Aided Design) 시스템이 보편화되고 있는 추세이다. 그러나 CAD 시스템 사용 이전에 수작업으로 생성된 도

※ 교신저자(Corresponding Author) : 정성태, 주소 : 전라북도 익산시 신용동 344-2(570-749), 전화 : 063)850-6886, FAX : 063)856-8009, E-mail : stjung@wonkwang.ac.kr
접수일 : 2003년 7월 28일, 완료일 : 2003년 10월 6일
† 종신회원, 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수
※ 이 논문은 2003년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨

면들은 모두 종이 형태로 존재하고 있다. 따라서 CAD 시스템의 효율적인 사용을 위해서 기존의 중요한 도면들을 CAD 시스템에 입력해야 하는데, 이를 수작업으로 하는 것은 많은 노력과 시간을 요하는 일이므로 도면 인식을 통하여 자동으로 CAD 시스템에 입력하는 방법이 요구 되어 왔다. 이를 위해 도면으로부터 직선과 곡선을 하는 벡터화 방법들이 제안되었다. 그러나 이들은 전체 도면의 벡터화에 중점을 두고 있으므로 정확한 곡선을 추출하기 보다는 곡선을 여러 개의 직선의 집합으로 근사화 하는 경우가 대부분이다.

본 논문에서는 정확한 곡선 정보를 필요로 하는 응용을 위하여 도면으로부터 원형 아크를 분할하는 방법을 제안한다. 일반적으로 곡선에 대한 수식은 매우 복잡하여 곡선 전체에 대한 수식을 구하는 것은 어려우므로 곡선을 원형 아크의 집합으로 표현하는 방법이 많이 사용되고 있다.

기존의 아크 분할 방법 중에서 초기의 방법들[1,2]은 허프(Hough) 변환을 사용하였다. 허프 변환은 x 축과 y 축으로 이루어진 2 차원 공간의 영상을 어떤 다른 매개 변수의 공간으로 변환하여 기하학적 도형을 표현하는데 쓰이는 방법이다. 즉, 2 차원 영상을 직선을 나타내는 매개변수 공간으로 변환하여 영상에 존재하는 직선을 검출하거나, 원을 나타내는 매개변수 공간으로 변환하여 영상에 존재하는 원을 검출하는 방법이다. 그러나 허프 변환에 의한 방법은 많은 계산량을 요구하는 문제를 가지고 있다.

참고 문헌[3,4]에서는 세선화(thinning) 과정을 통하여 선들을 두께가 1인 픽셀 리스트로 변환한 다음 이를 아크의 집합으로 분할하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 독립된 곡선의 픽셀 리스트의 경우에는 아크들의 집합으로 잘 분할하지만 선들이 서로 교차하여 구성된 복잡한 픽셀 리스트의 경우에는 세선화 과정의 문제로 인하여 아크 분할에 오류가 발생한다.

참고문헌[5-7]에서는 벡터 기반 아크 분할 방법들이 제안되었다. 이 방법들에서는 먼저 참고 문헌[8]과 같은 벡터화 과정을 통하여 곡선을 직선 선분의 집합으로 벡터화한다. 그 다음에 이웃한 직선 선분들 관계를 분석하여 직선 선분으로부터 아크를 추출하므로 수행속도가 빠르다. 그러나 곡선을 직선 선분의 집합으로 근사화시키고 직선 선분으로부터 아크를 검출하므로 검출된 아크의 정확도가 떨어질 수 있다는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 정확한 아크 검출을 위하여 픽셀 정보로부터 직접 아크를 검출하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 먼저 픽셀 값으로부터 선의 중심점을 찾은 다음에 연결된 중심점을 추적하여 선분을 검출한다. 그 다음에는 선분의 양 끝에서 선분의 방향을 이용하여 이웃한 선분을 검출하여 선분을 확장해 나간다. 선분을 확장한 다음에는 직선을 제거하고 곡선만 남긴 다음에 참고문헌[3]의 재귀적 분할 방법을 이용하여 곡선을 아크들의 집합으로 분할한다. 본 논문에서는 기존의 벡터화 소프트웨어와 벡터 기반 아크 분할 방법과 비교 실험을 수행하였다. 실험 결과에 의하면 본 논문에서 제안된 방법이 기존의 방법에 비하여 교차점을 가지는 곡선에 대하여 보다 정확하게 아크로 분할하였다.

2. 아크 분할

본 논문의 아크 분할 과정은 그림 1과 같다. 먼저 256 명암도를 갖는 흑백 영상으로 스캔된 도면을 읽어 들인다. 본 논문에서는 도면의 배경색이 흰색이고 선 색이 검정색인 것으로 가정한다. 도면을 읽어 들인 다음에는 임계치보다 큰 값을 갖는 픽셀들의 값을 배경색으로 변환하고 고립된 픽셀들을 제거함으로써 잡음을 제거한다. 잡음을 제거한 다음에는 선의 수직 두께와 수평 두께를 이용하여 선의 중심점들을 검출한다. 본 논문의 중심점 검출 방법에서는 선이 교차하는 지역에서 중심점을 검출하지 않는다. 중심점을 검출한 다음에는 연결된 중심점을 추적하여 선분을 검출한다. 선이 교차하는 곳에서는 중심점이 검출되지 않으므로 검출된 선분들은 선이 교차하는 곳에서 서로 단절된다. 따라서 선분을 검출한 다음에는 선분의 끝점에서 탐침선을 이용하여 연결된 선분이 있는지 탐색한다. 연결된 선분이 있으면 두 선분을 합병하고 계속해서 연결된 선분을 탐색한다. 연결된 선분을 모두 찾은 다음에는 선이 굽은 정도를 측정하여 선분이 직선인지 곡선인지를 판별한다. 발견된 곡선에 대해서는 재귀적 방법으로 곡선을 두 개의 곡선으로 분할해가면서 일치되는 원형 아크를 찾아나간다. 곡선의 길이가 분할할 수 없을 정도로 작아지거나 발견한 원형 아크가 곡선과 거의 일치하면 더 이상의 분할을 멈춘다.

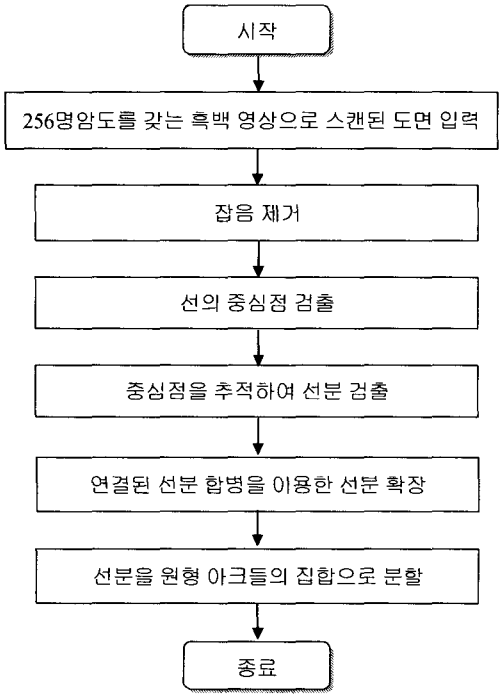
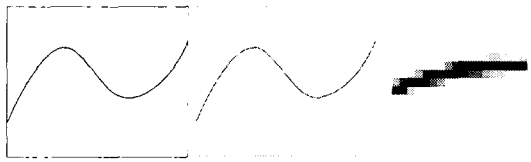


그림 1. 제안된 방법의 순서도

2.1 잡음 제거

본 논문에서는 256 명암도를 갖도록 스캔된 도면으로부터 아크를 분할한다. 배경이 흰색(명암값 = 255)이고 선의 색이 검정색(명암값=0)인 그림 2 (a)의 도면을 256 명암도를 갖도록 스캔한 예가 그림 2 (b)에 나타나 있다. 그림을 보면 흰색과 검정색 두 색만 있는 것처럼 보이지만 그림 2 (c)와 같이 스캔된 도면을 확대해서 각 픽셀의 값을 살펴보면 다양한 명암값이 존재하는 것을 알 수 있다.

선 주변의 배경에서는 배경색이 아니고 배경색에 유사한 명암도를 갖는 픽셀들이 많이 존재하게 된다. 이들은 잡음으로 간주하여 제거해주어야 한다. 그림 3(a)에는 그림 2 (b)의 도면에서 배경색이 아닌 모든 픽셀들의 값을 검정색으로 변환한 결과가 나타나 있다. 본 논문에서는 배경임에도 불구하고 배경색이 아닌 명암값을 갖는 픽셀들은 알고리즘 1과 같이 임계치를 이용하여 제거한다. 그림 3 (b)에는 임계치를 230 (=256×0.9)이상의 값을 모두 배경색으로 처리한 결과가 나타나 있다. 임계치를 이용하여 잡음을 제거한 다음에는 픽셀 주위의 8개 픽셀이 모두 배경색인 고립된 픽셀을 찾아서 제거한다.

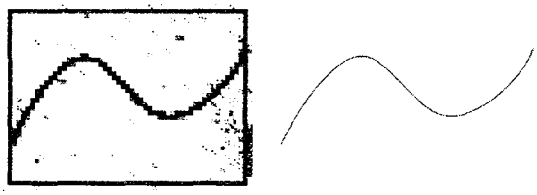


(a) 원래 도면 (b) 스캔된 도면 (c) 확대된 선

그림 2. 곡선 예

알고리즘 1. 잡음 제거

```
removeNoise(image)
{
    for each pixel P of image{
        if (P > threshold)
            P = background
        if (P 주위의 8개 픽셀 모두 배경색이면)
            P = background
    }
}
```



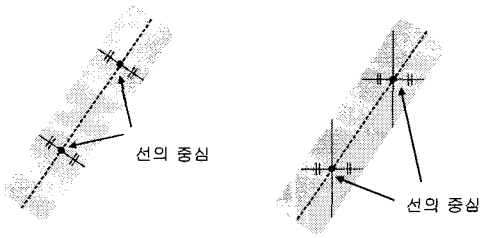
(a) 잡음 (b) 잡음이 제거된 도면

그림 3. 잡음 제거

기존의 많은 벡터화 방법이나 아크 분할 방법에서는 256 명암도를 사용하지 않고 임계치를 이용하여 두 가지 명암도를 갖는 이진화된 도면을 사용하였는데, 본 논문에서는 선의 중심 위치를 사용하므로 보다 정확한 선의 중심을 찾기 위하여 256 명암도를 사용하였다. 그림 2 (c)에 나타나 있듯이 선의 중심에 가까울수록 명암 값이 더 작으므로 이를 이용하여 보다 정확한 중심 위치를 구할 수 있는 것이다.

2.2 선의 중심 검출

두 번째 단계에서는 선분을 검출한다. 여기에서 선분은 다른 선과 교차하지 않는 직선의 일부 또는 곡선의 일부를 의미한다. 직선의 일부를 직선 선분이라 부르고 곡선의 일부를 곡선 선분이라 부르기로 한다. 정확한 선의 중심은 그림 4 (a)와 같이 선의



(a) 정확한 선의 중심 (b) 근사화된 선의 중심

그림 4. 선의 중심

진행 방향에 수직인 선을 그었을 경우에 선의 양변으로부터 같은 거리에 위치한다. 그러나 이와 같은 정확한 중심을 찾는 것은 많은 계산량을 필요로 하므로 본 논문에서는 그림 4 (b)와 같이 선 내부에서 수평선과 수직선을 교차하도록 그었을 경우에 수평선과 수직선의 길이를 비교하여 길이가 짧은 수평 또는 수직선의 중심을 선의 중심으로 근사화하였다.

수평 또는 수직선의 중심을 이용하여 선의 중심을 구하는 과정이 알고리즘 2에 나타나 있다.

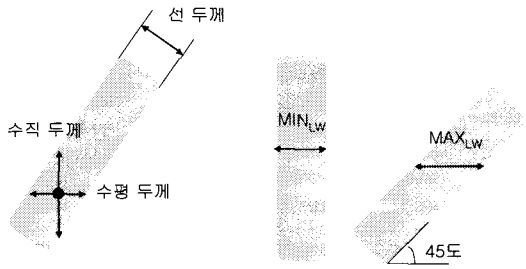
알고리즘 2. 선의 중심점 검출

```
find_medial_point(image, medial_point)
{
   // xrun(P) : 픽셀 P에서의 수평 두께
   // yrun(P) : 픽셀 P에서의 수직 두께
   // find_horizontal_center(P) : 픽셀 P를 지나는 수평선의
   //                             중심 픽셀 위치 계산
   // find_vertical_center(P) : 픽셀 P를 지나는 수직선의
   //                           중심 픽셀 위치 계산
   // MIN_LW, MAX_LW : 수평 또는 수직 두께의 최소
   //                  임계값과 최대 임계값
   // medial_point[P] = TRUE : 픽셀 P가 중심점 임
   //                 = FALSE : 픽셀 P가 중심점이 아님

   for each pixel P of image
      medial_point[P] = FALSE
   for each pixel P of image
      if (xrun(P) >= MIN_LW AND yrun(P) >= MIN_LW AND
         (xrun(P) <= MAX_LW OR yrun(P) <= MAX_LW) {
            if (xrun(P) < yrun(P)    // 수직 방향의 선
               X = find_horizontal_center(P)
            else                     // 수평 방향의 선
               X = find_vertical_center(P)
            medial_point[X] = TRUE
         }
}
```

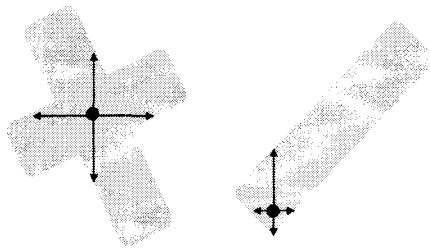
알고리즘 2에서는 각 픽셀에 대한 수평 두께와 수직 두께를 이용하고 있다. 그림 5 (a)와 같이 선 내부의 점에서 수직선과 수평선을 그었을 경우에 각 선의 길이가 그 점에서의 수직 두께와 수평 두께가 된다. 올바른 선의 중심 검출을 위해서는 수평 두께와 수직 두께가 제한 조건을 만족하는 영역에서만 선의 중심을 검출해야 한다. 이를 위해 알고리즘 2에서는 두 가지의 임계값 MIN_{LW}와 MAX_{LW}를 사용하였다. MIN_{LW}는 최소 임계값으로서 그림 5(b)와 같이 수평선이거나 수직선일 경우에 수직 두께나 수평 두께가 최소가 되므로 이때의 두께로 정의된다. MAX_{LW}는 선이 45도로 기울었을 경우에 수평 두께나 수직 두께가 최대가 되므로 이때의 두께로 정의된다.

수평 두께와 수직 두께 모두 임계값 MAX_{LW} 보다 큰 영역은 선이 교차하는 영역으로 간주하여 선의 중심을 검출하지 않도록 하였다. 수평 두께와 수직 두께 모두 MAX_{LW} 보다 큰 영역의 예가 그림 6 (a)에 나타나 있다. 선이 교차하는 영역에서는 교차하는 각각의 선을 분리해야만 선의 중심을 알 수 있으므로 현재 단계에서는 선의 중심을 찾을 수 없는 것이다. 또한 수평 두께나 수직 두께중의 하나가 임계값



(a) 수직/수평 두께 (b) 임계값

그림 5. 선의 두께

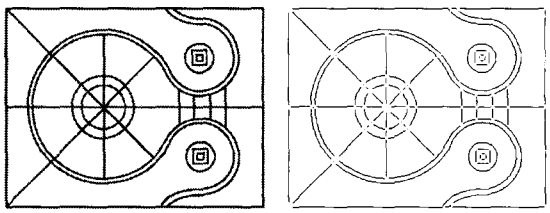


(a) 선의 교차 영역 (b) 선의 끝 영역

그림 6. 선의 중심이 정의되지 않는 장소 예

MIN_{LW} 보다 작은 경우에도 선의 중심을 검출하지 않았다. 이런 경우는 그림 6 (b)와 같이 선의 끝 영역에서 발생한다.

그림 7 (a)의 스캔된 도면에 대하여 알고리즘 2를 적용한 결과가 그림 7 (b)에 나타나 있다. 이 도면에서 임계값으로는 MIN_{LW} = 3과 MAX_{LW} = 5가 적용되었다.



(a) 스캔된 도면 (b) 검출된 중간점 결과

그림 7. 중간점 검출 예

2.3 선분 검출

선의 중심점을 구한 다음에는 연결된 중심점을 추적하여 선분을 검출한다. 알고리즘 3에는 중심점 추적 과정이 나타나 있다.

알고리즘 3에서는 단순화된 중심점 추적을 위하여 가로 방향과 세로 방향으로 분리하여 추적한다. 중심점 추적을 위해서는 먼저 시작 중간점을 발견한다. 이미지를 위에서 아래로 왼쪽에서 오른쪽으로 스캔하면서 처리되지 않은 새로운 중간점을 시작 중간점으로 선택한다. 그림 8에 나타나 있는 곡선의 경우에는 좌측 상단의 중간점이 시작점으로 선택된다.

시작점을 발견한 다음에는 그림 9와 같이 시작점에서의 수직 두께와 수평 두께를 비교하여 추적할 방향을 결정한다. 그림 9와 같이 수직 두께가 수평 두께보다 작은 경우에는 가로 방향으로 중심점을 추적한다. 반대로 수직 두께가 수평 두께보다 큰 경우에는 세로 방향으로 중심점을 추적한다. 수직 두께와 수평 두께가 같은 경우에는 가로 방향과 세로 방향 모두 가능한데, 본 시스템에서는 가로 방향으로 추적하도록 하였다.

추적 방향을 결정한 다음에는 해당 방향으로 인접한 중심점을 추적한다. 인접한 중심점이 위치해야 할 영역이 그림 10에 나타나 있다. 이 그림은 확대된 그림으로서 각 사각형이 도면에서 하나의 픽셀을 나타낸다. 가로 방향의 선분을 추적하는 경우에는 그림

알고리즘 3. 선의 중심점 추적

```
find_line_and_curve_segments(image)
{
  for each pixel P of image
     processed[P] = FALSE

  위에서 아래로, 좌에서 우로 image 각 픽셀 P에 대하여
  {
    if (medial_point[P]=TRUE and processed[P]=FALSE)
    {
       V = {P}  // 선분 후보 픽셀 집합
       X = P
       processed[X] = TRUE
       if (xrun(P) >= yrun(P) {
         while (X의 우측 이웃에 처리되지 않은 수평 방향
                 중간점 M이 한개 있으면)
         {
            X = M
            V = V U {X}
            processed[X] = TRUE
         }
         X = P
         while (X의 좌측 이웃에 처리되지 않은 수평 방향
                 중간점 M이 한개 있으면)
         {
            X = M
            V = V U {X}
            processed[X] = TRUE
         }
       }
       else {
         while (X의 아래쪽 이웃에 처리되지 않은 수직방향
                 중간점 M이 한개 있으면)
         {
           X = M
           V = V U {X}
           processed[X] = TRUE
         }
       }
       if (V의 픽셀 수 > MAX_LINE_WIDTH * 2) {
          V를 선분으로 저장
       }
    }
  }
}
```

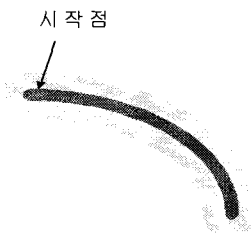


그림 8. 시작 중간점 발견

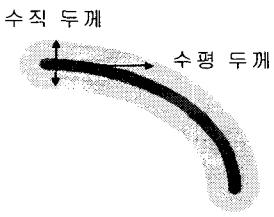
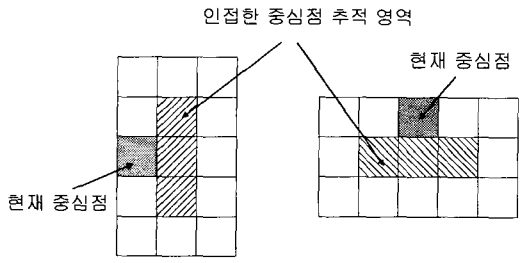


그림 9. 중심점 추적 방향 결정



(a) 가로 방향 추적 (b) 세로 방향 추적

그림 10. 인접한 중심점 추적 영역

10 (a)와 같이 현재 중심점의 바로 오른쪽 픽셀이나 그 위 또는 아래 픽셀에 중심점이 위치해야 한다. 세로 방향의 선분을 추적하는 경우에는 그림 10 (b)와 같이 현재 중심점의 바로 아래 픽셀이나 그 왼쪽 또는 오른쪽 픽셀에 중심점이 위치해야 한다.

그림 10과 같이 설정된 인접한 중심점 추적 영역에 중심점이 없거나 두 개 이상인 경우에는 중심점 추적이 종료되고 현재까지 추적된 중심점들이 선분으로 결정된다. 또한 추적 영역에 중심점이 있는 경우라도 그 점에서의 수직 두께와 수평 두께를 비교하여 현재의 추적 방향에 모순되는 경우에는 추적을 종료한다. 즉, 가로 방향의 선분을 추적하고 있는데, 인접한 중심점에서의 수직 두께가 수평 두께보다 큰 경우에는 추적을 종료한다. 그리고 세로 방향의 선분을 추적하고 있는데, 인접한 중심점에서의 수평 두께가 수직 두께 보다 큰 경우에는 추적을 종료한다. 이러한 경우는 선분의 방향이 변하는 위치에서 발생한다. 그림 8의 곡선의 경우에는 그림 11과 같이 선분이 검출된다.

세로 방향 선분은 가장 위에 위치한 중간점이 시작점으로 선택되므로 항상 아래 방향으로만 추적을 하면 된다. 가로 방향 선분의 경우에는 그림 12와 이 선분의 중간에 있는 점이 시작점으로 선택될 수 있

그림 11. 가로 방향 선분 검출 예

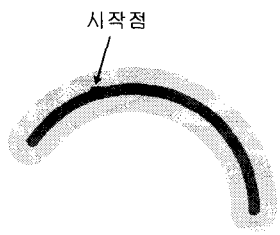


그림 12. 선분의 중간에서 시작점이 위치하는 예

다. 이러한 경우에는 추적을 좌측과 우측 두 방향으로 하였다.

검출된 선분의 길이가 아주 짧은 경우에는 선분으로서의 신뢰도가 떨어지고 다음 단계인 선분 확장 단계의 복잡도도 증가하므로 최대 선두께의 2배보다 작은 길이를 갖는 선분은 버리도록 하였다. 그림 7의 스캔된 도면에 대하여 앞에서 설명한 방법에 의하여 선분을 검출한 결과가 그림 13에 나타나 있다. 그림에서 선분을 구분할 수 있도록 선분의 양 끝점에 표시를 하였다.

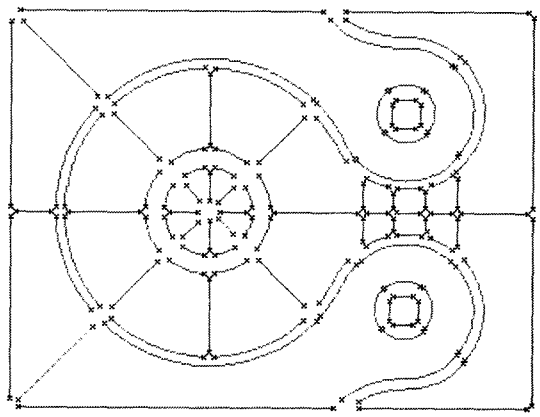


그림 13. 그림 7의 도면에 대한 선분 검출 결과

2.4 선분 확장

선분 확장 단계에서는 알고리즘 4와 같이 선분의 양 끝점에서 더 이상 합병이 일어나지 않을 때까지 계속해서 find_connected_segment() 함수를 호출하여 선분을 확장한다.

알고리즘 4. 선분 확장 알고리즘

```
extend_segments() {
  for each segment S
    merged[S] = FALSE;
  for each segment S
    if (merged[S] = FALSE) {
      start_extended = TRUE
      end_extended = TRUE
      while (start_extended=TRUE or end_extended=TRUE) {
        if (start_extended = TRUE)
          start_extended = find_connected_segment(S, start)
        if (end_extended = TRUE)
          end_extended = find_connected_segment(S, end)
      }
    }
  for each segment S
    find_a_cirle(S)
}

find_connected_segment(segment, endpoint) {
  segment의 endpoint에서 끝으로부터
    첫 번째 중간점의 실수 좌표 (x1, y1)을 계산한다
    세 번째 중간점의 실수 좌표 (x3, y3)을 계산한다
  첫 번째 중간점과 세 번째 중간점에 대하여 {
    중심점을 기준으로 양 방향으로 픽셀값의 평균 Ia와 Ib를 계산
    k = ( | Ia - Ib | / 255) * 0.5
    if (direction(segment, endpoint) = HORIZONTAL)
      y 좌표를 k만큼 수정
    else
      x 좌표를 k만큼 수정
  }
  max_cont_seg = -1
  max_continuity = -1
  alpha = arctan((y1-y3)/(x1-x3))
  for (angle=alpha-theta; angle < alpha+theta; angle=angle+inc)
  {
    compute_circular_probe_point(angle, r, SRC, DST);
    SRC와 DST를 잇는 직선위의 각 픽셀 P에 대하여 {
      if (P != background) {
        if (seg(P) = VALID)
          continuity = compute_continuity(segment, seg(P))
          if (continuity > max_continuity) {
            max_contiuity = continuity
            max_cont_seg = seg(P)
          }
      }
      else stop loop
    }
  }
  if (max_cont_seg >= 0) {
    merge_segments(segment, max_cont_seg)
    merged[max_count_seg] = TRUE
    return TRUE
  }
  else return FALSE
}
```

find_connected_segment() 함수에서는 먼저 그림 14와 같이 선의 진행 각도 α를 구한 다음에 그 각도를 중심각으로 하여 양방향으로 일정 각도 θ 만큼의 영역을 탐색 영역으로 설정한다.

선의 끝에서부터 순서대로 세 개의 중심점을 (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)라 할 때 선의 진행 각도 α는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha = \arctan(\frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3}) \qquad \text{식(1)}$$

식(1)에서 $(y_1 - y_3)/(x_1 - x_3)$는 점 (x_2, y_2)에서의 접선의 기울기를 근사화한 값이다. 점 (x_2, y_2)에서의 정확한 접선의 기울기는 직선의 방정식이나 곡선의 방정식이 주어지는 경우에 (x_2, y_2)에서의 미분 값으로 구할 수 있다. 그러나 스캔된 도면에서 선에 대한 방정식이 주어지지 않으므로 미분을 근사화하는 방법을 사용한 것이다. 식 (1)에서 $\arctan(\frac{b}{a})$ 함수는 tan() 함수의 역함수로서 원점에서 좌표 (a, b) 까지의 선과 x 축이 이루는 각도를 계산한다. 이 각도는 -180도에서 180 사이의 값을 가지는데, 양수 각도는 x 축과 시계 반대 방향을 이루는 각이며, 음수 각도는 시계 방향의 각이다.

식 (1)에서 $(y_1 - y_3)/(x_1 - x_3)$은 미분 값을 근사화하는 것으로서 어느 정도의 오차를 내포하게 된다. 또한, 선분 검출 단계에서 구한 중심점의 좌표는 정수 값을 갖는데, 식 (1)에서 정수 좌표를 사용하면 이로 인한 오차가 추가적으로 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 픽셀의 명암도를 이용하여 보다 정확한 중심점의 위치를 사용하였다. 그림 15 (a)에는 선분의 확대된 모습이 나타나 있고 그림 15 (b)에는 각 픽셀에 대한 명암 값이 나타나 있다. 왼쪽 맨 아래 픽셀의 좌표가 (0,0)이라할 때 좌측 하단에 있는

그림 14. 선분 확장을 위한 탐색 영역 설정

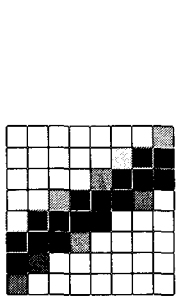
선분의 끝 부분에 대해서 선분 검출 단계에서는 중심점의 좌표를 $(x_1, y_1)=(0,1)$, $(x_2, y_2)=(1,2)$, $(x_3, y_3)=(2,3)$으로 검출한다. 이 좌표를 사용하면 식 (1)에서 각도는 $\alpha = \arctan(\frac{-2}{-2}) = -135$도가 된다. 그러나 픽셀의 명암 값을 살펴보면 (x_1, y_1)은 (0,1) 보다 약간 위에 위치하고 (x_3, y_3)는 (2,3) 보다 약간 아래에 위치하여 정확한 각도는 -135도보다 작아진다는 것을 알 수 있다.

find_connected_segment() 함수에서는 오차를 줄이기 위하여 먼저 선의 중심 좌표를 실수값을 갖도록 다시 계산한다. 이와 같이 하는 이유는 선의 두께가 짝수인 경우에 정수 좌표로는 중심 위치를 정확하게 표현할 수 없기 때문이다. 그 다음에는 중심점을 기준으로 양쪽에 대하여 각각의 명암 값 평균을 구한 다음에 양쪽의 값에 비례하도록 하여 중심점의 위치를 이동시켰다. 중심점의 양쪽의 픽셀 값의 평균값이 I_a와 I_b라 할 때에 이동 크기는 식 (2)와 같이 계산하였다. 식 (2)에 의하여 이동 크기를 구한 다음에는 명암 값이 작은 쪽으로 이 이동 크기만큼 중심점의 위치를 이동시킨다. 식 (2)에서 $\frac{1}{2}$을 곱한 이유는 최대 변동 폭을 0.5 이내로 제한하기 위해서이다.

$$k = \frac{|I_a - I_b|}{255} \times \frac{1}{2} \qquad \text{식(2)}$$

그림 15 (b)에서 (x_1, y_1)의 경우에는 $I_a=56$이고 $I_b=154$이므로 식 (2)에 의하여 이동 크기는 0.19이다. 따라서 새로운 중심점의 위치는 (0, 1.19)가 된다. (x_3, y_3)의 경우에는 $I_a=189$이고 $I_b=75$이므로 식 (2)에 의하여 이동 크기는 0.22가 되어서 새로운 중심점의 위치는 (2, 2.78)이 된다. 새로운 중심점을 식 (1)에 대입하면 $\alpha = -142$가 된다.

선의 진행 방향 α를 구한 다음에는 검사 영역 내에서 현재의 선분과 연결된 다른 선분들을 발견하고 그 중에서 두 선분을 이었을 경우에 가장 기울기가 완만하게 변화하는 선분을 선택하여 합병한다. 현재의 선분과 연결된 선분을 찾기 위해서는 그림 16과 같이 검사 영역 내에서 일정 각도 간격으로 배열된 탐침선을 사용하였다. 각각의 탐침선에 대하여 선의 끝점에서 탐침선을 따라가면서 다른 선분을 만나는지를 검사한다. 진행 도중에 선 영역 밖으로 벗어나서 배경을 만나게 되면 그 탐침선에 대해서는 연결된 선분이 존재하지 않는 것으로 판단하고 다음 탐침선



							181
					228	100	24
				179	48	18	81
		189	97	24	48	154	
	105	18	8	108			
56	18	75	181				
16	130						
154							

(a) 확대 장면 (b) 각 픽셀의 명암값

그림 15. 선의 일부를 확대한 모습

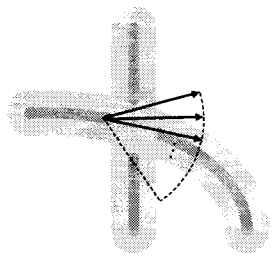


그림 16. 탐침선을 이용한 연결된 선분 검사

에 대한 검사로 넘어간다.

탐침선을 설정하기 위해서 compute_circular_probe_point() 함수를 호출하여 주어진 각도에 따라 탐침선의 끝점의 좌표를 구한다. compute_circular_probe_point() 함수에서는 식 (3)과 같이 탐침선의 끝점의 좌표를 구한다. 여기에서 (src_x, src_y)는 선분의 끝점 좌표이고 r은 탐침선의 길이이며 $\angle$은 현재의 탐침선의 각도이다.

$$dst_x = src_x + r \times \cos(\angle) \qquad \text{식(3)}$$
$$dst_y = src_y + r \times \sin(\angle)$$

식 (3)과 같이 탐침선의 끝 점 (dst_x, dst_y)를 구한 다음에는 (src_x, src_y)와 (dst_x, dst_y)를 잇는 직선의 방정식을 구하고 중간점의 좌표들을 계산하면서 (src_x, src_y)로부터 (dst_x, dst_y)로 선분을 추적해간다. 선분을 추적하면서 다른 선분을 만나면 두 선분을 이었을 경우의 연속도를 계산한다. 연결된 선분이 여러 개인 경우에 그 중에서 현재 선분과 연속도가 가장 높은 선분과 합병하였다. 두 선분의 합병은 그림 17과 같이 두 선분의 중심점을 직선으로 연결하여 하나의 선분으로 만든다.

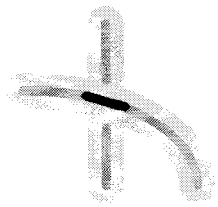


그림 17. 두 선분의 합병

2.5 선분 분할

본 논문에서 사용한 선분 분할 과정이 알고리즘 5에 나타나있다. 이 알고리즘에서는 곡선의 분할을 수행하고자 하므로 전단계에서 검출된 선분 중에서 곡선 선분만을 남기고 직선 선분은 제거한다. 그 다음에는 각 선분에 대하여 재귀적 함수인 segment() 함수를 호출하여 이용하여 곡선 선분을 원형 아크의 집합으로 분할한다.

직선 선분과 곡선 선분을 구별하기 위해서 선분의 중심점에서의 기울기 변화와 함께 그림 18과 같이 선분의 양 끝점을 잇는 직선과 선분의 중심점사이의 거리 정보를 이용하였다. 선분이 정확한 직선 선분이라면 선분의 각 중심점으로부터 직선으로의 거리의 합이 0이 된다.

그림 18과 같이 선분의 끝점이 (sx, sy)와 (dx, dy)이고 선분 상의 한 점이 (x, y)라고 할 때에 (sx, sy)와 (dx, dy)를 잇는 직선과 점 (x, y)와의 거리는 식 (4)와 같다. 검출된 선분의 모든 점에 대하여 식 (4)와 같이 거리를 구한 다음에 그 합이 작은 경우에는 직선으로 간주하였다.

$$d = \frac{|a \times x + b \times y + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}},$$

$$a = \frac{dy - sy}{dx - sx}, b = -1, c = sy - a \times sx \qquad \text{식 (4)}$$

그림 13에서 검출된 선분에 대하여 선분을 확장하고 곡선을 검출한 결과가 그림 19에 나타나 있다.

곡선을 원형 아크들의 집합으로 분할하는 segment() 함수는 참고 문헌[3]의 알고리즘을 수정한 것이다. segment() 함수에서는 먼저 determine_ circle() 함수를 호출하여 그림 20과 같이 세그먼트의 양 끝점을 지나는 원형 아크를 찾는다. 곡선의 양 끝점을 잇는 아크는 무수히 많이 존재할 수 있는데, 여기에서는 양 끝점을 잇는 직선의 중간점에서 법선을 그었

알고리즘 5. 곡선 분할 알고리즘

```
split_segments()
{
  for each segment S {
    for each pixel P on S
    {
      P의 양쪽에 있는 픽셀들을 이용하여 P에서의
            접선의 기울기 계산
       S의 양 끝점을 잇는 직선과 P사이의 거리 계산
    }
    if (S의 양 끝점을 잇는 직선과 S의 픽셀 사이의
       거리의 평균 < TH_d or S의 연속된 픽셀들에서
       접선의 기울기 변화 > TH_s )
            선분 리스트에서 S를 제거
  }

  for each segment S
     segment(start(S), end(S), error)

}

segment(start, end, error)
{
     determine_circle(start,end,max_dev,error1,split_pos);
     if ( length(start,, end) <= 3 or max_dev < 3) {
          error = error1
          return
     }
     else{
          segment(start,, split_pos, error2);
          segment(split_pos, end, error3);
          if (error2 < error3)
             max_error = error2;
          else
             max_error = error3;
          if (max_error < error1) {
             error = max_error;
             입력된 세그먼트를 두개의 세그먼트로 분할
          }
          else{
             error = error1;
             현재의 세그먼트를 분할하지 않고 그대로 유지
          }
     }
}
```

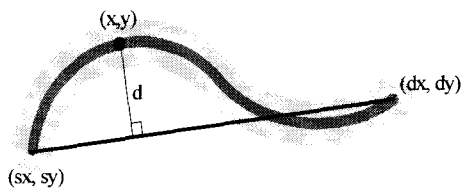


그림 18. 점과 직선사이의 거리

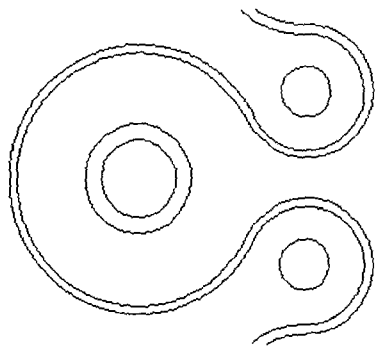


그림 19. 곡선 검출 결과

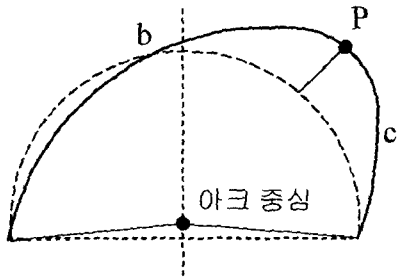


그림 20. 곡선 분할 예

을 경우에 그 법선 위에 아크의 중심이 존재하는 것으로 가정한다. 아크 중심이 법선 위에 있다고 가정하더라도 아크 중심의 위치에 따라 여러 개의 아크가 존재할 수 있는데, 그 중에서 곡선의 점들과의 오차가 가장 작게 되는 아크를 사용한다. 곡선의 점들과 아크의 오차를 계산할 때에, 참고문헌[3]에서는 세선화 과정으로 검출된 두께가 1인 곡선을 사용하였다. 본 논문에서는 오차 계산의 정확성을 높이기 위하여 중심점 검출에 의해 구해진 중심점 대신에 중심점 검출 전의 원래의 픽셀 값을 사용하여 오차 계산을 수행하였다.

determine_circle() 함수에서는 원형 아크와 중심점 사이의 거리의 최대값 max_dev도 구한다. 그리고 아크로부터 가장 멀리 벗어나 있는 곡선 상의 점을 분할 기점 split_pos로 설정한다. 그림 20에서는 점 P로부터 곡선의 양 끝점을 잇는 아크로의 거리가 최대가 된다. 원형 아크를 발견한 다음에는 세그먼트의 길이가 3픽셀이하이거나 max_dev 값이 3보다 작으면 더 이상 세그먼트를 분할하지 않았다. 그렇지 않은 경우에는 split_pos 위치에서 세그먼트를 두개로 분할하여 두 세그먼트 각각에 대하여 segment() 함수를 호출하였다. 분할된 두 세그먼트의 오차 중에서 큰 값이 현재의 세그먼트의 오차보다 작으면 현재의 세그먼트를 두 개의 세그먼트로 분할하는 것이 좋다는 것을 의미하므로 분할을 실시한다. 그렇지 않으면 현재의 세그먼트를 분리하지 않고 그대로 유지한다.

그림 21에는 그림 19와 같이 검출된 곡선에 대하여 분할된 아크들이 나타나 있다.

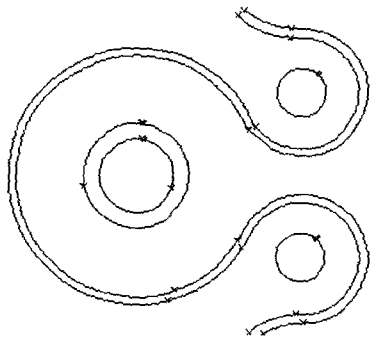


그림 21. 아크 검출 결과

3. 실험 결과

본 논문에서 제안된 곡선 분할 방법은 PC의 윈도우즈 운영체제 환경하에서 Visual C++을 사용하여 구현되었다. 구현된 방법과 기존 방법의 성능을 비교하기 위하여 상업용으로 판매되고 있는 벡터화 소프트웨어 RasterVect[9]와 ProVec[10]을 사용하였다. 또한 Rosin[3]에 의해 개발된 아크분할 방법과 기존의 벡터화 기반 곡선 분할 프로그램인 MDUS[5]를 사용하였다. 기존의 시스템들은 모두 공개 소프트웨어로 제공되는 프로그램을 사용하여 실행했다. MDUS를 제외한 다른 프로그램은 PC의 윈도우즈 환경에서 실행하였고 MDUS는 워크스테이션의 UNIX 운영체제에서 환경에서 실행하였다. 그림 22에는 단순한 곡선을 포함하는 도면에 대한 실험 결과가 나타나 있다. 그림 22 (a)의 도면은 4개의 아크를 포함하고 있는데, 본 논문의 방법을 비롯하여 모든 방법들에서 4개의 아크를 잘 검출하였다.

그림 23에는 그림 2 (b)의 도면에 대한 아크 검출 결과가 나타나 있다. 이 도면에서의 곡선은 단순한 아크가 아니고 여러 개의 아크가 복합적으로 구성된 것으로서 프로그램마다 검출된 아크의 결과가 약간

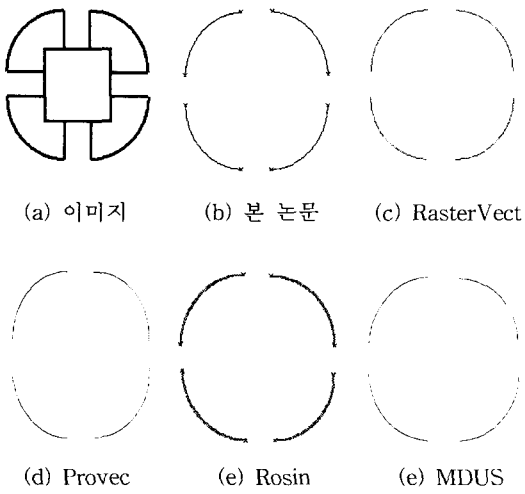


그림 22. 단순한 곡선에 대한 아크 검출 결과

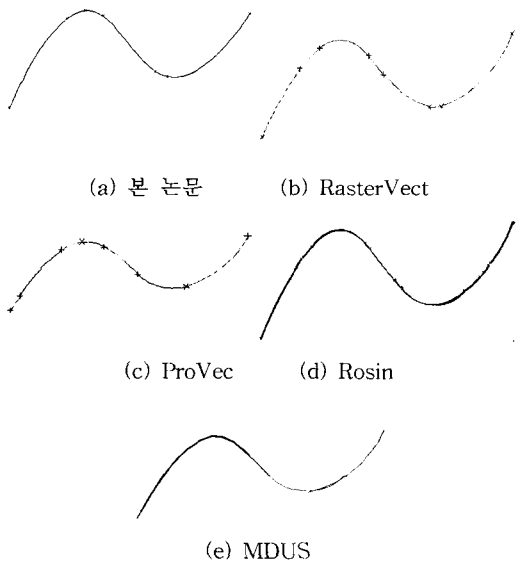
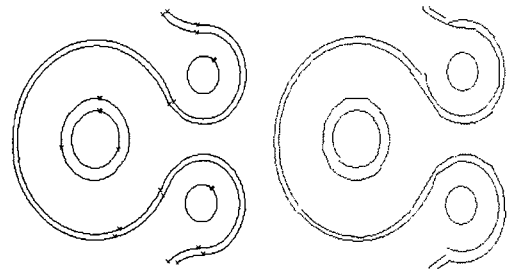


그림 23. 복잡한 곡선에 대한 아크 검출 결과

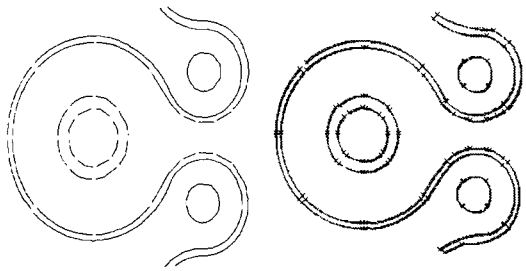
씩 달랐고 MDUS의 경우에는 아크가 겹쳐서 검출되었다. 이 도면도 그림 22의 도면과 마찬가지로 곡선과 교차하는 다른 선이 없어서 MDUS 이외의 방법들은 약간씩의 오차는 있지만 별 문제없이 아크를 분할하고 있는 것으로 평가된다. 아크 분할 결과는 아크의 중심, 아크의 반지름, 아크의 시작 위치와 끝 위치로 구성된다. 이러한 분할 결과가 화면에 그려질 때에는 아크를 그리는 알고리즘의 차이에 따라 눈에 보이는 결과가 달라질 수 있다. 본 논문에 제시된 아크 분할 결과 그림들은 각각의 프로그램의 결과를 캡쳐한 것인데, 아크가 부드럽게 보이거나 거칠게 보이는 것은 프로그램에 따라 아크를 그리는 방법이 서로 다르고 또한 서로 다른 크기로 그려진 그림을 확대/축소하여 같은 크기로 맞추었기 때문이다. 만약에 모든 프로그램의 아크 검출 결과를 모두 동일한 프로그램에서 출력한다면 그림의 질은 동일하게 보일 것이다.

그림 24에는 곡선에 교차하는 선들이 존재하는 보다 복잡한 도면에 대한 곡선 분할 결과가 나타나있다. RasterVect의 경우에는 교차점을 통과하는 아크를 잘 검출하고 있으나 아크의 일부분에 대해서는 아크로 인식하지 못하고 직선으로 인식되었다. ProVec의 경우에는 교차점이 없는 아크는 잘 인식되었지만 교차점에서 아크가 단절되는 결과를 보여주고 있다. Rosin[3]의 방법에서는 세선화 과정을 통하여 선을 두께가 1인 선으로 변환한 다음에 아크를 추출하는데, 세선화 과정의 문제로 인하여 교차점에서 선이 단절되는 문제를 가지고 있음을 알 수 있다. MDUS는 곡선을 먼저 직선의 집합으로 근사화한 다음에 직선들의 집합을 아크로 맵핑하는 방법을 사용한다. 이 방법에서는 도면을 직선의 집합으로 근사화할 때에 교차점을 잘 통과하는 방법을 고안하여 사용하고 있어서 교차점에 대한 처리를 잘 하고 있지만 직선으로 근사화할 때에 누적된 오차로 인하여 일부 아크들이 부정확하게 검출되었다. 이와 같이 교차점을 가지는 경우에는 기존의 방법들이 정확한 아크를 검출하는데 문제점을 보이고 있는 반면에 본 논문의 방법은 교차점을 가지는 도면에 대해서도 아크를 잘 검출하는 것으로 평가된다.

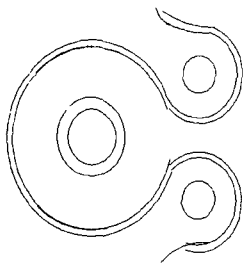
본 실험에 사용된 도면들은 직선과 곡선만으로 구성된 비교적 단순한 도면들이다. 이러한 도면의 경우에 본 논문의 방법은 교차점을 통과하는 곡선을 효과적으로 검출하고 검출된 곡선에 대하여 아크를 분할할 수 있었다. 기존의 방법들은 정확한 아크 검출보다는 아크와 직선을 모두 검출하여 기존의 도면을 벡터화하는 데에 중점을 두고 있어서 아크가 단절되는 것을 문제 삼지 않았다. 이에 비하여 본 논문의 방법은 직선은 검출하지 않고 단지 아크만 기존의 방법보다 정확하게 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 이러한 차이점은 실험 결과에 잘 나타나 있다. 기존의 방법들은 아크와 직선을 모두 검출하였지만



(a) 본 논문 (b) RasterVect



(c) ProVec (d) Rosin



(e) MDUS

그림 24. 교차점을 가지는 곡선에 대한 아크 분할 결과

실험 결과로 보인 그림에서는 본 논문의 방법과 비교를 위하여 직선들을 모두 제거하고 결과를 표시하였다. 이에 반하여 본 논문의 방법은 직선은 검출하지 않는다.

4. 결 론

본 논문에서는 직선과 곡선으로 구성된 도면에서 곡선을 검출한 다음 곡선을 아크로 분할하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 먼저 선분을 검출하고 선분의 양 끝점에서 선분의 방향에 따라 선분을 검출하고 확장하는 방법을 사용함으로써 교차점을 효과적으로 통과하는 방법을 제안하였다. 실험결과에 따르면 본 논문에서 제안된 방법은 기존의 방법에 비하여 교차점을 잘 처리할 수 있었으며 아크 분할이 보다 정확하였다. 그러나, 직선이나 곡선이외에 복잡한 패턴을 포함하는 면이 존재하거나 곡선이 문자나 기호 등과 아주 복잡한 형태로 교차한다든지 하는 경우에는 기존의 방법 뿐 만 아니라 본 논문의 방법도 아크를 정확하게 검출하지 못할 수 있다. 향후 이러한 문제를 극복할 수 있도록 하기 위하여 통계적 방법이나 지능형 아크 분할 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다. 또한 본 논문에서는 아크 검출 결과를 사람의 눈으로 판별하는 방법을 사용했는데, 아크 검출 결과를 보다 객관적으로 비교할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] D.H. Hallard, "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes", Patter Recognition, Vol. 13, No. 2, pp. 111-122, 1981.

[2] J. Illingworth and J. Kittler, "A survey of the Hough transform," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. 44, pp. 87-116, 1988.

[3] P.L. Rosin and G.A.W. West, "Segmentation of edges into arcs and lines", Image and Vision Computing, Vol. 7, pp. 109-114, 1989.

[4] P.L. Rosin and G.A.W. West, "Non-parametric Segmentation of Curves into Various Representations", IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence, Vol. 17, No. 12, Dec. 1995.

[5] D. Dori, "Vector-Based Arc Segmentation in the Machine Drawing Understanding System Environment", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 11, pp. 1057-1068, Nov. 1995.

[6] D. Dori and L. Wenyin, "Arc Segmentation from Complex Line Environments - A Vector-Based Stepwise Recovery Algorithm", Proceedings of the Fourth International Conference on Document Analysis and Recognition,

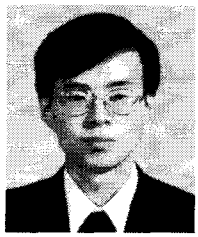
Vol. 1, pp. 76 -80, Aug. 1997.

[7] L. Wenyin, "Incremental Arc Segmentation Algorithm and Its Evaluation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 20, No. 4, pp. 424-431, Apr. 1998.

[8] W. Liu and D. Dori, "Sparse Pixel Tracking: A Fast Vectorization Algorithm Applied to Engineering Drawings", Proceeding of International Conference on Pattern Recognition, Vol. 3, pp. 808-812, 1996.

[9] http://www.rastervect.com.

[10] http://www.skmconsulting.com/spatial/products/index.cfm.



정 성 태

1987년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업

1989년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사학위 취득

1994년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사학위 취득

1994년 9월~1995년 2월 한국전자통신연구소 박사후연수연구원

1999년 1월~1999년 12월 미국 Univ. of Utah 과학재단 지원 해외 Post-Doc.

1995년 3월~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

관심분야 : 휴먼 컴퓨터 인터페이스, 영상 처리, VLSI 설계