

스캔라인 영상분할기법에 의한 정밀도 측정에 관한 연구

(Precision Measurement using Scan-line image Segmentation Method)

박정수* 윤재웅** 정원**
Jung-Su Park, Jae-Woong Youn, Won Jung

요약 본 연구에서는 영상분할기법을 이용한 스캔라인기법에 기초하여 영역 이미지의 새로운 에지 결합방식을 제시한다. 본 논문에서 제시한 기존 알고리즘은 3차원 영상을 2차원 영상으로 적용하는 과정에서 깊이 정보, 조명등의 영향으로 심한 잡음이 발생하여 이로인해 정밀측정에 많은 어려움이 있었다. 기존의 스캔라인기법은 광원에 의해 직선추출의 형상인식에서만 활용하였으나 이를 원호에 적용 정밀측정 하였다. 본 연구로 인한 오프라인(Off-line)의 검사방식을 온라인(On-line) 방식에서도 정밀측정이 가능함을 입증하였다.

Abstract In this paper, a new edge detection method for area images is presented based on the scan-line image segmentation technology. The existing algorithms are lack of precision in its detections due to the noise factors such as depth perception and illumination problems when processing the 3D image into a 2D image. The general process of applying the scan-line method is to extract straight line components to determine the shape of the object's. However, we implement this method to an arc curve for precise detections. the paper proved precise detections that from off line to on line

1. 서론

모든 업체의 생산관리 부문이 관심을 가지고있는 공장자동화의 목표는 CIM (Computer Integrated Manufacturing)으로서 이를 구축하기 위해서는 기업내의 개발, 설계, 제조, 품질보증, 판매의 각 부문이 유기적이고 또한 일원적으로 결합한 정보의 집중관리가 이루어져야 한다.[2]

공장자동화중 가공 조립기술은 현재 선진국의 발전 추세에서 보듯이 국내에서도 상당한 투자와 개발에 박차를 가하고 있고, 실제로 많은 발전을 가져왔다고 보아야 할 것이다. 그러나 공장자동화는 가공 조립 기술과 검사조정 기술, 그리고 네트워크링(networking) 기술의 결합이기 때문에 상대적으로 낙후된 검사조정 기술의 중요성이 더욱 인식되고 있다. 이러한 검사 조정 기술은 생산자동화의 인-

라인(in-line)화의 큰 장애 요인이었으며, 이 분야의 발전이 생산 자동화의 중요한 결정요소중 하나이다.[2]

공장자동화를 위한 자동생산시스템의 핵심 기술 중 하나는 영상처리를 이용한 정밀계측이라 할 수 있다. 본 연구에서는 일반기계부품 또는 자동차 부품 등과 같이, 그 치수가 크고, 조명 조건이 열악하여 검사 대상부분에 균일한 조명을 줄 수 없는 경우, 그리고 측정하고자 하는 형상이 완전한 2차원 구조가 아닌 경우, 영상의 잡음(noise)이 크고, 영상처리의 신뢰성이 떨어지는 경우 등에 대해, 보다 정밀하고 신뢰성 있는 정밀 영상처리 기법을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 영상전처리 과정

* 안동과학대학 산업정보과

** 대구대학교 자동산업기계공학과

인간에게 있어서 어떤 결합된 물체의 모양은 한번 보는 것만으로도 표면의 불규칙성을 감지할 수 있다. 사실, 모양이라는 것은 물체 상호간의 위치와 크기를 규정하여 형태의 특성을 인지하는 것이라고 할 수 있다. 본 연구는 스캔함에 따라 변경되는 뚜렷한 깊이와 방향의 기록에 의한 윤곽을 규정하는 것으로서 이는 일반적으로 알려진 기존의 기법들과 비교된다.

윤곽의 중요한 형태를 분석하기 위해 적합한 필터를 사용하여 노이즈제거에 관한 측정을 수행하는 것이 아주 중요하다. 각 스캔 S(i)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_i = z_0^i, z_1^i, z_2^i, z_3^i, \dots, z_{255}^i \quad (1)$$

이때 i 를 스캔으로 하고 j 는 y 축의 위치라고 할 때 일련의 깊이 값을 z(i,j)로 한다. y 축의 스캔 값은 모든 스캔에 대응되는 중앙값이다. 처음 다섯 번의 스캔을 다음과 같이 가정할 때,

$$S_0 = z_0^0, z_1^0, z_2^0, z_3^0, \dots, z_{255}^0 \quad (2)$$

$$S_1 = z_0^1, z_1^1, z_2^1, z_3^1, \dots, z_{255}^1 \quad (3)$$

$$S_2 = z_0^2, z_1^2, z_2^2, z_3^2, \dots, z_{255}^2 \quad (4)$$

$$S_3 = z_0^3, z_1^3, z_2^3, z_3^3, \dots, z_{255}^3 \quad (5)$$

$$S_4 = z_0^4, z_1^4, z_2^4, z_3^4, \dots, z_{255}^4 \quad (6)$$

그 결과로 나타나는 필터링 된 스캔은

$$S_f = z_0^f, z_1^f, z_2^f, z_3^f, \dots, z_{255}^f \quad (7)$$

인데 그 때의 z 값은

$$z_f = \text{median}(z_0^i, z_1^i, z_2^i, z_3^i, z_4^i) \quad (8)$$

이다. 이 방법은 어떤 뾰족한 모서리를 만나지 않을 때까지 반복 수행하는 모든 스캔의 의미 있는 형태를 된다고 할 경우이다. 필터의 성능은 처음 다섯 번의 스캔에 관한 중앙값인 가장 마지막으로 스캔한 것으로 나타나게 된다. 통상적으로 노이즈가 없는 신호를 발생시키는데 다섯 번의 스캔으로 충분하다.[8]

2.2 데이터 압축

결합 윤곽이 필터링으로 인하여 한번 추출되고 나면, 분할을 통하여 데이터 압축이 이루어진다. 이러한 포인트들이 윤곽을 통하여 변경된 중요한 방향에 놓여지게 된다.[5]

분할-결합 알고리즘으로 다수개의 간격으로 윤곽이 분할된다. 각 영역의 데이터를 통하여 동일선상에 있다는 것을 검증한다. 에러수준이 임계값을 초과할 경우 영역은 다시 분할된다. 이러한 실험을 모든 영역들이 일직선상으로 될 때까지 반복 수행된다. 근접 영역들이 만약 동일선상에 있고 그 조각을 더 이상 결합할 수 없는 경우에는 주변 영역들이 결합된다.[7]

$$E_p = \sum e^2 \quad (9)$$

간격에 있어서 근접선의 식은

$$e_i = z_i - (my_i + b) \quad (10)$$

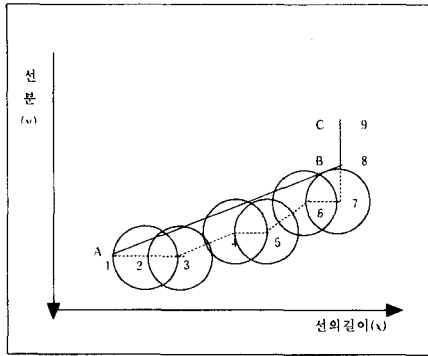
근접 원의 식은 다음과 같다.

$$\theta_i = (z^2 + x^2) - r^2 \quad (11)$$

여기서, m 과 b는 기울기이며 z_i 는 깊이이고 y는 선분의 절편이다. 이 방법은 두 번째 실행되는 방법보다 비교적 계산에 노력을 많이 들이지만 잘 수행이 된다. 스캔 전용 기술은 단 하나를 지나는 부분에 기반을 두고 계산한다. 이것은 사용자에게 의하여 정의된 e 값보다 더 많지않은 A 와 B 사이의 Hausdorff-Euclidean 거리와 같은 A점들의 집합의 다각형 근접 점 B를 탐색하는 것이다. $\|x(1) - x(2)\|$ 가 x(1)과 x(2) 사이의 에클리디안 거리일 경우 하우스도르프-유클리디안 거리 H(A, B)는 다음과 같이 정의된다.

$$H(A, B) = \max \left[\max_{x_1 \in B} \min_{x_2 \in A} \|x_1 - x_2\|, \max_{x_1 \in A} \min_{x_2 \in B} \|x_1 - x_2\| \right] \quad (12)$$

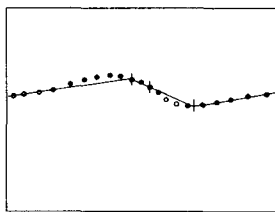
다시 말하면, 다각형 접근치는 <그림1>에서와 같이 각 데이터 포인트를 둘러싼 원의 각을 이루는 분할들, 원에 정접 하거나 통과하는 값들로 구성된다.



<그림1> 스캔 전용기술

이 알고리즘은 원점에서부터 시작되어 통상 제일 왼쪽 자료들의 값과 전술한 제약조건을 만족하지 않는 실제 포인트들과 원점과 세그먼트들이 결합되기까지의 윤곽을 추적하는 것으로 구성되어 있다. 분기점을 이 점으로 결정하고 새로운 점들을 다음 포인트로 채택한다. 이 과정을 오른쪽 자료 값에 도달할 때까지 반복한다.

이러한 기술은 분할-결합 방법보다 노이즈에 관한 자체 민감도 때문에 더욱 많은 분기점을 발생하게 할 수 있다. 사실 윤곽으로부터 격리된 값들은 불가피하게 분기점을 발생시키지만 분할-결합 기술로 이들을 제거할 수 있다. 이 기법이 부드러운 코너들을 감지하는 단 하나의 부분으로서 <그림2>에 나타난 것과 같이 지나가는 방향에 중심을 두기 때문이다.

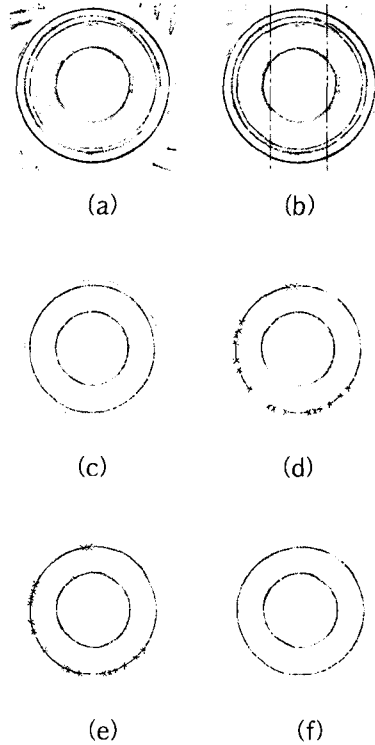


<그림2> 분할 효과

여기에서 공차를 선택하는 것이 매우 중요하다. 비록 제시된 조각들이 세그먼트를 많이 발생시키더라도 정밀 분할은 낮은 공차를 선택하는데 있다. 이러한 결점에도 불구하고, 스캔전용 분할기법을 활용하게 하는 것이다. 사실 일련의 네 번의 분할-결합 기법이 4배정도 빠르다는 것이 실험에서 나타났기에 실시간 적용에는 점점 추적기술로서 적합하다. 또한 낮은 공차와 좋은 정밀도를 얻을 수 있다. 대량의 세그먼트가 강인(robust)하고 적절한 분석절차에 의

해 종합적으로 수행된다.

<그림3>은 스캔라인의 분할과정으로써(a)는 선의 추출과정에 대한 기준이미지이며(b)는 메디안 필터링을 수행하여 1차 노이즈를 제거하였으며(c)는 영역분할(d)는 구문론적으로 선을 추출과정이며(e)는 합성하여 이진화를 실행 (f)는 선을 추출하여 최종 이미지 선의 해결방법이다.



<그림3> 스캔라인 분할 과정

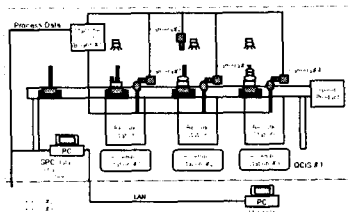
2.3 제조장치의 구성 및 적용

본 연구의 검사시스템 개발 환경은 <표 1>과 같다.

<표1>검사시스템

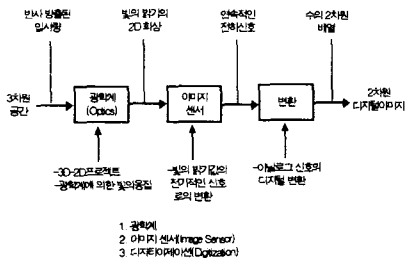
NO	모델명	규격	비고
1	컴퓨터	80686DX2 233MHZ	
2	비디오카드	1024x768	256 Graylevel VGA카드
3	컴파일러	B.C3.0 DSP	
4	보드	IVP-150	
5	라이브러리	IVP-150(Ver5.95A)	
6	카메라 크기	50mm	
7	초점거리	1.4	
8	고정형태	C형	

<그림4>은 실험대상인 검사시스템의 구성도이다.



<그림4> 토크 컨버터 직경
검사시스템

영상처리 과정의 일반적인 단계는 <그림5>와 같으며 단계별로 보면 3차원형상을 카메라에 의한 빛의 응집으로 이미지를 센싱하여 밝기값을 전기적인 전송방식인 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 2차원의 이미지를 추출하여 이미지를 획득하는 과정이다.



<그림5> 영상처리 과정의 일반적 단계

<그림6>는 임펠러의 측정부위의 상세도이다. 토

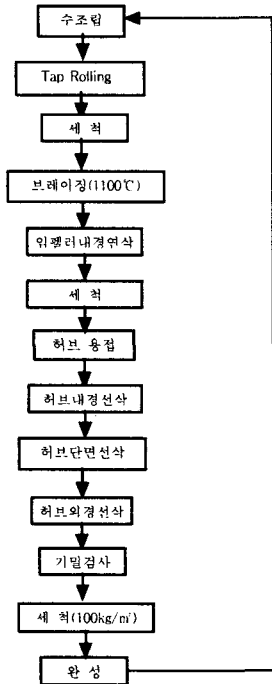
크 컨버터에 대해 간략히 나열하면 엔진의 동력을 변속기에 전달해 주는 유체 동역학적 동력전달장치로서 현재 모든 자동변속기에 적용되고 있는 매우 중요한 부품이다. 일명 펌프로 불리기도 한다. 오일 펌프와의 구분을 위해 임펠러라는 용어를 사용하기도 한다.



<그림6> 토크컨버터의 검사 부위 상세도

2.4 제조라인의 공정순서

<그림7>에서와 같이 토크컨버터의 제작공정으로서 용도를 간략히 설명하면 1차로 코아블레이드 (core blade)를 수 조립하여 코아블레이드를 셸 가이드 (shell guide)와 로링 (rolling)하여 고정시킨 후 이 물질을 제거하기 위해 공기세척을 실시한다. 공기 세척후 브레이징로 안으로 컨베이어에 의해 자동이송되어 1100℃에서 셸과 갭 (gap)사이를 자동 용접한다. 내경연삭으로 셸과 펌프드라이브와 결합되는 셸부분을 연삭한다. 내경연삭후 이물질을 제거하기 위해 저압으로 세척한다. 셸 내부에 펌프드라이브와 허브를 결합한 후 임펠러와 셸 단면 내경부위를 선삭한다. 임펠러 허브단면을 선삭한 후 임펠러 셸의 외경을 선삭한다. 마지막으로 허브 용접부의 기밀상태를 확인하고 완성된 이물질 및 칩 (chip)을 제거하기 위해 세척을 실시한다. 세척완료 후에는 외관검사와 정밀측정 검사를 실시한다.

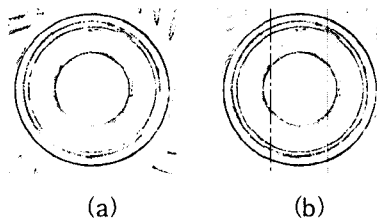


<그림7> 토크 컨버터 제작 공정도

2.5 측정결과분석

본 측정 결과에서 보면 기존 연산자의 이미지에 대한 연산자와 스캔라인 영상처리를 실시한 후 영역을 설정하여 스캐닝하여 임의의 원을 추정 설정 영역 밖의 노이즈를 강제로 제거한 후 분할후 합성하여 이진화를 형성한 다음 정밀 측정결과를 비교 분석하였다.

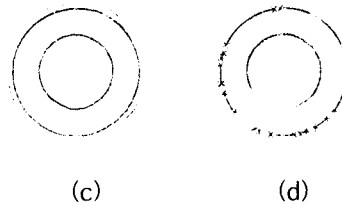
<그림8>(a)는 TM 9701의 비전 카메라의 이미지 세트에 포착한 기존이미지에 대한 3차원의 스캔라 카메라에서 얻은 이미지를 2차원을 적용하여 얻은 결과이다. 여기에서 나타난 이미지들은 전처리과정을 거치지 않은 결과를 나타내었다.



<그림8> 기존 이미지와 스캐닝 결과

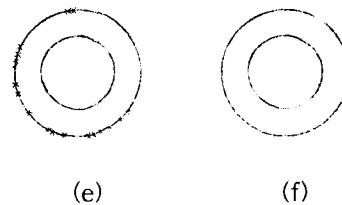
<그림8>(b)의 경사미분 연산자의 경우 외부에 임펠러의 형상 이미지가 그대로 나타나 있는 상태이며 임펠러 내경의 직경부위에도 선이 뚜렷하게 나타나 있다 여기서 보면 원호의 선들이 미약한 노이즈와 강한 노이즈가 동시에 존재함을 알 수 있다.

<그림9> (c)는 임의의 블록 이미지를 선정하여 블록내의 부분을 스캐닝하여 정확한 원의 직경을 계산한다. 또한 선정된 영역 이외의 노이즈에 대해서는 설정된 영역 밖의 이미지이므로 소프트웨어변경으로 강제 제거하였다.



<그림9> 이미지 분할 결과

<그림9>(c)의 연산자경우는 1차에서 기능 추출한 이미지에 대해 분석한 결과 약간의 노이즈가 주변에 남아 있는 것을 알 수 있었다. (d)는 에 대한 이미지를 측정하고자 하는 선에 대한 분할 결과이다.



<그림10> 분할후 이미지

<그림10>(e)는 분할후의 이미지로서 임의의 선을 프로그램의 필터링 방법에서 강제로 연결하여 원을 형성하였다. (f)에서 보면 기존의 이미지에서는 노이즈가 많이 발생하였으나 스캔라인 영상처리를 한 후에는 직경부위가 원을 형성하였다.

기존의 이미지보다 스캔라인에 의한 영상처리후의 결과가 노이즈에 강한 이미지로서 향상된 결과를 보여줌을 알 수 있다. 부드러운 이미지에 대한 에지 추출의 결과는 약간의 불확실한 에지 포인트를 포함하고 있었으나 전반적으로 아주 훌륭한 에지맵을 얻을 수 있었다. 기존의 이미지들과 대조적

으로, 이 이미지들에 내재한 강한 잡음 수준으로 인해 많은 유사 에지 포인트들이 나타났다. 이 경우, Vankatesh(1995)가 기술된 것과 같은 보다 정교한 임계값 방법이 에지 포인트를 그대로 두고 잘못된 에지 포인트를 제거하는 데는 효과적일 것이다. 일반적으로 필터링한 스캔라인기법의 이미지들이 가장 좋은 결과를 나타내었다. <그림5.9>에서 이미지 변환에 대한 측정 결과는 0.21분이었다. 픽셀이미지들에 대한 계산시간은 약 0.5초 정도 소요되었다. 에지의 좌표에 의한 결과는 다음과 같다. <표2>는 기존의 경사미분자에 대한 측정결과이다. 표에서 보면 에지의 임계값을 0.5로 정하였다 5x5의 크기로 선정하여 나타낸 픽셀의 좌표 값이다 10번의 테스트 결과에서 볼 때 5, 6번째에서 분할을 일으키나 에지 검출 방법의 최적 조건인 계단형 에지의 좌표 형태를 나타내어야 하나 점진적으로 변화하는 현상들이 계단형에는 거리가 먼 영역에서 나타나는 것을 볼 수 있다. <표3>은 매디안 필터링을 이용하여 노이즈를 제거한 후의 이미지이다. 경사미분 연산자의 경우 스캔라인 영상처리를 거친 이미지에 대해서는 계단형 에지에 가깝게 형성됨을 알 수 있으며 이는 기존이미지의 전처리과정으로 영역을 분할하여 노이즈를 제거하고 미약한 이미지에 대한 분할 과정을 거친 후 임의 영역에 대한 이진화로 인해 미약한 이미지를 제거한 후 측정된 결과이다.

<표2> 향상된 경사미분 연산자에 대한 에지 좌표

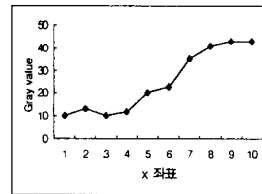
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Edge
10	11	10	10	15	25	40	41	40	40	0.5
10	10	10	12	15	25	40	41	40	40	0.5
10	10	10	10	15	25	40	41	40	40	0.5
10	10	11	12	16	25	40	41	40	40	1
10	10	10	11	15	25	40	41	40	40	0.5
10	10	11	11	16	25	40	41	40	40	0.5

<그림11>은 기존 연산자에 의한 측정결과와 스캔라인 방법으로 영상을 처리한 후의 향상된 에지에 대한 측정 결과이다.

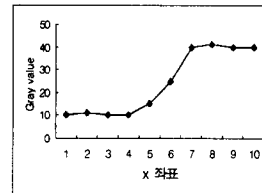
경사미분 연산자에 대한 <그림11>(a)의 이미지에서 보면 스캔라인처리를 하기 전에는 그레이레벨 값이 에지의 검출에는 상당히 벗어나는 현상을 나타내고 있으며 필터링후의 <그림11>(b)로 보면 부드러운 형상을 나타내며 사다리형에서 계단형으로 접근하는 것을 볼 수 있다. <그림11>(c)의 좌표에서 보면 에지의 형태가 이진화가 완전히 발생되어 선의 추출이 명확함을 알 수 있다.

<표2> 기존 경사미분 연산자에 대한 에지 좌표

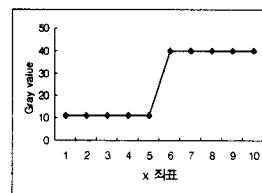
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Edge
10	13	10	12	20	22	40	41	43	43	0.5
10	13	10	12	15	23	40	41	43	43	0.5
10	13	10	10	15	23	40	41	43	43	0.5
10	13	11	12	16	23	40	41	43	43	0.5
10	13	10	11	15	23	40	41	43	43	1
10	13	11	11	15	23	40	41	43	43	0.5



(a) 기존 이미지



(b) 향상된 이미지

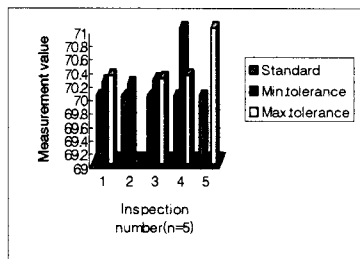


<그림11> 경사미분 연산자의 에지 정밀위치 검출 분석

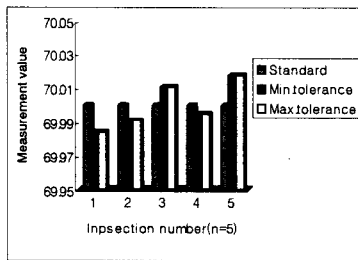
실험은 100회의 테스트결과 중 20회에 1회씩 샘플링을 실시하여 측정하였다.

<그림12>의 경사미분 연산자의 측정결과 분석에서 보면 전반적으로 필터링을 하지 않은 결과에서는 기준치에서 상회하는 결과를 보였으며 4, 5번째의 이미지는 강한 노이즈가 발생되어 크게 벗어날 수 있다.

<그림13>은 향상된 경사미분 연산자의 정밀측정 결과분석을 실시한 결과 공차의 기준이±0.08의 이내이며 공차내에 분포함을 알 수 있었다.



<그림12>기존경사미분연산자측정결과



<그림13>향상된 경사미분연산자측정결과

3. 결론

본 논문에서는 향상된 이미지 변환에서 스캔라인 접근기법을 바탕으로 한 새로운 에지 추출법을 제시했다. 특히, 기존 연구에 대한 자동차부품의 자동 변속기 토크컨버터의 직경부 측정에 적용하여 이미지를 향상시켜 고 정밀도의 에지를 검출하는 것이다. 그리고 기존의 문헌들이 가진 몇몇 공통적인 단점들을 극복하고 새로운 기법을 개발 하고자 하는 것이다.

본 연구에서 제시한 방법은 기존의 이미지로써는 정밀측정이 불가능하여 이를 메디안필터의 필터링 기법의 알고리즘을 적용

하여 필터링을 실시하고 영역분할 및 영상압축 그리고 에지의 합성과정을 거쳐 임의의 원을 추정 강한 노이즈와 미약한 노이즈를 제거한 다음 분할하여 이를 합성하고 정확한 원을 추출한 것이다 이 추출된 원을 이진화 하여 에지의 정밀측정 기법인 공간모멘트의 알고리즘을 이용하여 기존의 방법보다 향상된 기법을 제시하였다.

기존의 연산자에서는 노이즈가 많이 발생되었으나 스캔라인 영상처리후의 노이즈 부분에서는 90%의 높은 제거율을 나타 내었다.

토크컨버터의 직경부에 대한 정밀측정의 결과로 보면 기존의 이미지에서는 많은 노이즈의 발생에 따라 공차의 범위가 0.2mm~1.24mm의 영역에 분포하였으며 일부 원호라인의 단락으로 측정 불가능 항목도 발생되었으며, 스캔라인 영상처리후의 측정결과로 보면 미약한 이미지에 대해서는 기본공차의 범위 내에 분포되었으며 좋은 결과를 얻었다.

여기에서 개발된 스캔라인에 의한 영상 분할후의 이미지를 에지 검출기법을 활용하여 자동차의 자동 변속기의 부품인 토크컨버터에 적용하면 기존의 계이 방식에 획기적인 개선이 이루어질 뿐만 아니라 연속성이 가능하며 자동화 생산라인의 구축으로 생산성 및 운용 면에서 큰 효과를 가져올 수 있다고 하겠다.

표면 점의 네 방향으로의 근방들만을 사용하기 때문에 스캔라인기법이 지나는 내부적인 단점일수도 있으며 어떤 수정 기자재를 사용해서 이러한 측정의 정확성을 증가시킬 수 있을지 향후 연구가 필요하다. 두개의 평면이 아주 작은 각도를 가지고 결과적으로 에지의 크기 값이 작을 경우 유효성을 거두지 못할 수 있으며 스캔라인기법은 다 축도 분석에는 그리 적합하지 못하다. 이 모든 점들에 대해 향후 조사 및 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 강신우, 변재현., (2000) "3차원 측정기를 이용한 Airfoil Edge형상의 Fitting 방법에 관한 연구" 산업공학 회지 pp. 703~708
- [2] 정원, 신현명., (1998) "영상처리기법에 의한 실시간 엔진품질검사시스템", 대한 산업공학회지, 제24권 제3호,pp.397-406.
- [3] Flynn, P. J. & Jain, A. K.,(1994) Three - dimensional object recognition, in Hand -

book of Pattern Recognition and Image Processing: Computer Vision(T.Y, Young, Ed), pp. 497~541,Academic Press. San Diego.

[4] Fischler, M. A. & Boiles, (1986)
 "Perceptual organization and curve partitioning." IEEE Trans. Pattern Anal.Machine Intell, vol PAMI-8, no1 pp. 100~105,

[5] Pavlidis, T. & Horowitz, S. L., (1974)
 Segmentation of plane curves, IEEE Trans. Comput. 23, pp.860 ~ 870.

[6] Prewitt, J. M. S., (1970) "Object enhancement and extraction," in Picture Processing and Psychopictorics,Lipkin. B. S and Rosenfeld. A, eds.New York: Academic Press,

[7] Sklansky, J. & Gonzalez., (1980)
 "Fast polygonal approximation of digitized curves," pattern Recognition, vol.12, pp. 327~331

[8] Sicard, P. & Levine, M. D., (1988)
 "An approach to an expert welding robot," IEEE Trans. syst. Man Cybern., vol. 18. no. 2. Mar./Apr



정 원 (Jeong, Won)
 한양대학교 산업공학과 졸업
 미국Wayne state University
 에서 석사 및 박사학위취득
 The College of New Jersey
 에서 조교수 근무

현재 대구대학교 산업공학과 교수
 (관심분야:생산정보시스템, 품질시스템, 신뢰성공학)



박 경 수 (Park, Jeong-Soo)
 경일대학교 기계공학과 졸업
 대구대학교 산업정보대학원 산
 업공학전공(공학석사)
 대구대학교 대학원 산업공학과
 생산시스템전공(공학박사)

현재 안동과학대학 산업정보과 초빙교수
 (관심분야: 비전시스템, 생산자동화, MIS, 신뢰성)



윤 재 응 (Yoon, Jae-Woong)
 한양대학교 기계공학과 졸업
 한국과학기술원정밀기계전공(석사
 및 박사학위취득)
 현재 : 대구대학교
 자동차산업기계공학부 교수