

윤곽선 기반의 이격거리 영상해석 기법

A Miss Distance Image Analysis Technique Based On Object Contour

박 원우*, 최 주호*, 유 준**

*국방과학연구소 **충남대학교 전자공학과

Abstracts

This paper presents an image analysis method for measurement correction using the object contour based analysis, which measure the shape features of the imitation missile object. The image analysis is divided into object's tilting angle analysis and corner points detection. The tilting angle is calculated by edge extracting the region-of-interest image and by Radon transform it. The corner points are obtained by contour tracking of binary image and its curvature data processing and analysis. The ability of this presented method is simulated and evaluated by the results of accuracy testing.

keywords image analysis, Radon transform, contour, curvature

1. 서 론

대 함대함(anti-seaskimmer) 무기 체계의 시험 평가에 있어서 전자 근접신관의 성능평가요소 중 이격거리(Miss Distance:MD)는 매우 중요한 계측항목 중 하나이며 일반적으로 이격거리는 모의 미사일을 기준물체(reference object)로 나타낸 3차원 공간좌표로 정의 및 표현된다. 기존의 이격거리 계측 방법으로는 촬영된 비디오 카메라의 영상으로부터 획득된(frame grabbing) 정지영상 이미지로부터 운용자가 좌표점을 수동 인식하는 방식이 취해져 왔는데, 이 방식은 물체인식이 육안판독으로 이루어지는 이유로 운용자의 상태 등 여러 가지 요인에 따라 객관성을 보장하기 어렵고 그 계측정확도가 낮은 문제점이 제기되어

왔다.

또한 기준물체인 모의 미사일에 영상인식을 용이하게 해주는 형광성 마크나 형광도료는 수백 m/sec 이상의 고속 탄자의 근접신관 작동 시, 전자기와 반사특성에 영향을 미치게 되므로 마크의 부착이나 도색작업이 곤란함으로 인한 시험규격에 정해진 본래의 기준물체 사용에 따른 영상인식의 어려움도 해결해야 할 문제이다.

근접신관의 폭발 시 얻어지는 폭발영상은 그림과 같이 근접신관의 폭발화염과 기준물체 그리고 배경영상으로 나뉘어지는데, 배경영상과 기준물체는 비교적 고정 불변한 영상요소인데 반해 폭발화염은 그 크기 및 위치가 매 라운드(round)마다 변화하는 영상요소임을 알 수 있다.

근접신관의 폭발영상으로부터 정확한 이격거리를 얻기 위해서는 신관의 폭발점 인식과 거리 단

위 스케일링(scaling) 및 보정(tilt correction)을 위한 기준물체의 각도(tilting angle) 인식, 그리고 기준물체의 모서리점(corner points) 인식이 이루어져야 한다.

본 논문에서 제안한 머신비전(machine vision)용 CCTV 비디오 카메라 영상을 이용한 영상해석 및 보정기법은 기준물체에 관심영역(region-of-interest:ROI)을 설정한 후 에지검출(edge detection) 및 윤곽선 트래킹(contour tracking)의 두가지 상이한 영상처리 기술로 에지영상(edge image)과 윤곽선 데이터(contour array)를 추출한 후 radon transform을 통하여 기준물체의 기울기 검출하고, running arc length를 따라 윤곽선 어레이의 곡률(curvature)을 계산하여 이로부터 모서리점을 검출하게 된다.

2. 영상전처리(Image pre-processing)

영상의 획득시 흔히 발생하는 광량, 태양광 반사 등의 기상조건과 폭발순간의 CCD 카메라의 자동이득 조절에 따른 전체영상의 휘도(brightness) 변화등으로 인하여 계측영상의 선명도(contrast)가 떨어지게 되는데 이를 개선하기 위하여 전처리 과정으로 histogram specification을 거치며 비디오 영상의 프레임 그래빙(frame grabbing) 및 디지털 영상화(digitization) 과정에서 발생하는 비월 주사선(interlacing line)은 영상인식 시에 수직방향으로의 주기성 고주파 잡음으로 작용하게되며 이를 제거하기 위한 전처리로 de-interlacing을 거친다. 또한 윤곽정보 연산을 용이하게 하기위한 전처리로 윤곽선 강조를 위해 마지막으로 unsharp masking을 거친다. 주요전처리 과정의 절차는 다음 그림 1과 같으며 전처리 이전 영상과 이후의 영상을 그림 2와 그림 3

에 각각 보였다.

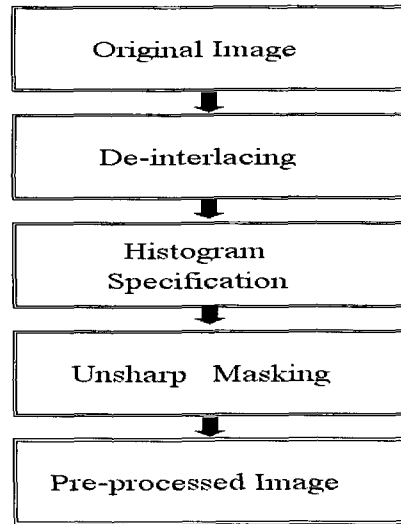


그림 1. 영상 전처리 절차도
Fig. 1. Image pre-processing sequences

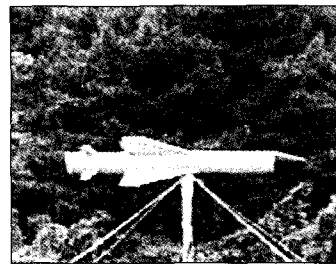


그림 2. 원래의 기준 물체
Fig. 2. Original ref. image

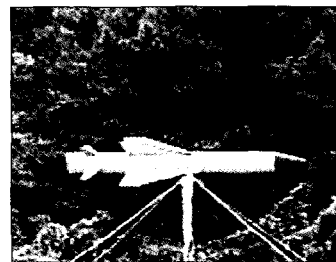


그림 3. 전처리 된 기준물체
Fig. 3. Pre-processed ref. image

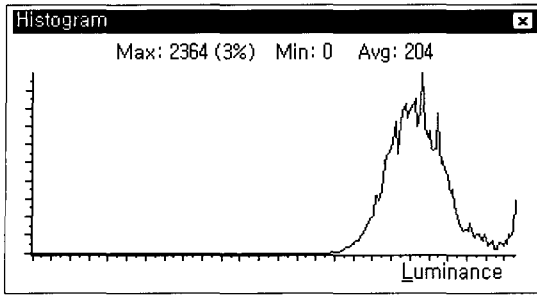


그림 4. 초기 영상의 밝기값 히스토그램
Fig. 4. Brightness histogram of original image

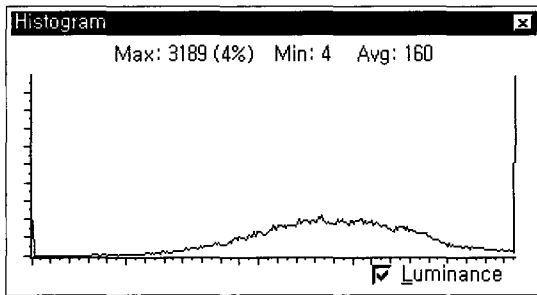


그림 5. 전처리된 영상의 밝기값 히스토그램
Fig. 5. Brightness histogram of processed image

3. 영상 해석

전처리를 거친 영상은 영상해석을 거쳐 얻어진 파라미터를 바탕으로 영상보정이 이루어지게 되는데 영상해석 기법으로는 기준물체에 관심영역(region-of-interest : ROI)을 설정한 후 에지검출(edge detection) 및 윤곽선 트래킹(contour tracking)의 두가지 상이한 영상처리 기술로 에지영상(edge image)과 윤곽선 데이터(contour array)를 추출한 후 radon transform을 통하여 기준물체의 기울기를 검출하고, running arc length를 따라 윤곽선 어레이의 곡률(curvature)을 계산하여 이로부터 모서리점을 검출하는 방식을 제안하였다.

3.1 물체의 기울기 인식

근접신관의 신관 작동은 기준물체인 모의 미사일의 금속표면에 전자기적으로 작용하여 작동한다 따라서 폭발점의 좌표는 기준물체의 기하학적 데이터를 기준으로 하여 결정되어야 하는데, 신관의 근접폭발 시험이 진행됨에 따라 기준물체는 그 각도 및 자세가 조금씩 변화하게 된다. 이는 기준물체의 기울기를 알아내어 보정해 주어야 하며, 또한 영상획득시의 카메라의 광학적인 영상축을 중심으로한 기울기도 보정의 대상이 된다.

Radon transform은 컴퓨터 비전(computer vision)의 영역에서 MRI, CT-scan 단층촬영 영상의 영상 재구성(tomography)등에 널리 쓰이며, 영상 내 직선정보 등의 검출 방법으로 자주 이용되는 Hough transform 연산과 밀접한 관계를 갖는 변환으로 변환하고자하는 영상공간의 화소에 대해 순차적으로 변환식 식(1)에 의해 Radon space 로의 대응 및 누적시킨 후 최대값으로 규준화(normalization)하여 영상공간내 직선의 길

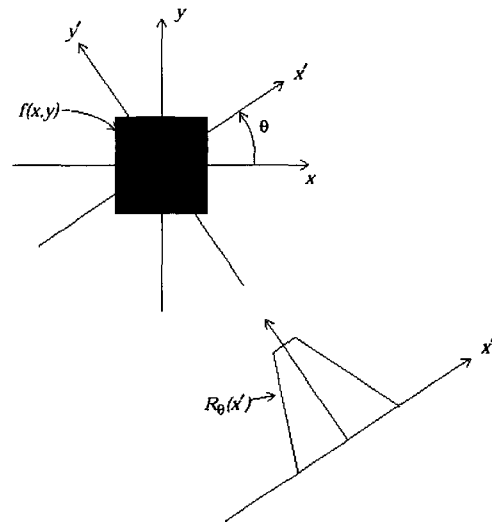


그림 6. Radon transform 개념도
Fig. 6. Concept of Radon transform

이, 방향 등의 직선정보의 검출이 가능하다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (69)$$

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy'$$

Radon transform은 영상영역 내에서 영상화소 행렬에 대해 raster scanning 방향으로의 일련의 투영(projection)의 과정으로 행해지는데 투영하고자하는 방향을 θ 라고 할 때, 영상화소 행렬 $f(x,y)$ 의 Radon transform은 식(1)과 같이 y' 에 평행한 $f(x,y)$ 의 선적분(line integral)의 형태로 표현된다.



그림 7. 에지라인 검출결과
Fig. 7. Result of edge detection



그림 8. 기울기 인식 결과에
Fig. 8. Result of tilt recognition

기울기의 검출은 전처리를 거친 기준물체 영상에 Sobel 연산을 통하여 윤곽선을 검출한 뒤, radon transform을 통해 얻어진 radon space를 첨두값의 판별을 쉽게하기 위하여 제곱연산에 의한 비선형 강조한 후, 영상 내 최장 직선 성분의 기울기에 해당하는 최대값을 추출하여 검출한다. 그림 7은 기준물체 영상에 대해 edge를 검출한 영상결과의 예를 보인것이며 그림 9는 Radon transform의 결과인 Radon space를 pseudo-color

mapping image로 보인 예이며, 그림 10은 같은 데이터를 3차원 그래프로 보인 예이다.

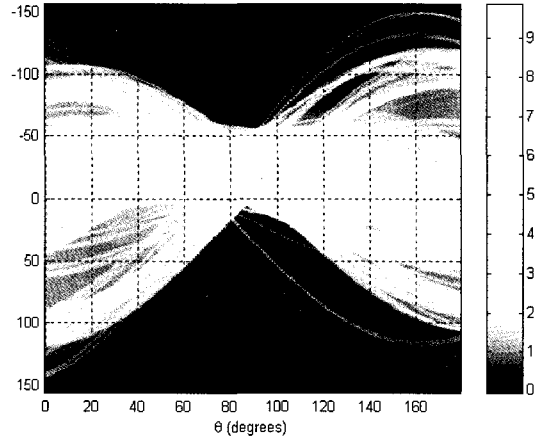


그림 9. Radon transform 결과의 pseudo-color image
Fig. 9. pseudo-color image of Radon transform

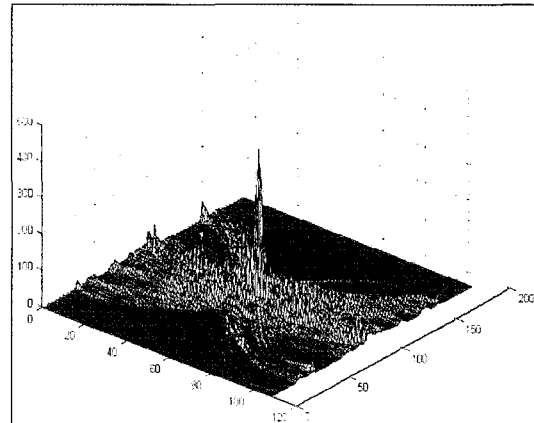


그림 10. Radon transform 결과의 3차원 부분확대 그래프
Fig. 10. Partial 3D graph of Radon transform result

3.2 경계선 트래킹(Contour Tracking)

영상영역의 윤곽선(boundary)은 물체에 대해 많은 정보를 제공하는 영상특징으로 윤곽선의 검출은 중요한 영상처리의 하나이다. 그러나 형태학적 convolution 연산에 의한 edge image는 윤곽

선 기반 영상해석에 적합하지 못하며, 폐곡선(closed curve) 형태의 윤곽선 트래킹(boundary tracking)이 필요하다. 이 폐곡선은 경계선(contour)이라 불리며 '순서화된 윤곽선상의 점들'로 표현될 수 있는데 이는 boundary list 에 저장되며 Freeman chain code^[1] 등으로 표현 가능하다.

영상처리에서 경계선 검출시 고려해야할 사항으로 화소 인접 조건으로 4-neighborhood 방식과 8-neighborhood 방식이 있는데^[2] 본 연구에서는 8-neighborhood 방식을 택하였다.

경계선 검출을 위해선 우선 검출을 용이하게 하기 위하여 기준물체 영상의 이진화(binanzation)의 전처리과정을 거치는데 배경영상과 물체영상의 밝기값(brightness) 분포로부터 임계치(thresholding value)를 결정하는 histogram mode법^[3]을 적용하였다.

경계선 검출의 절차는 다음과 같다.

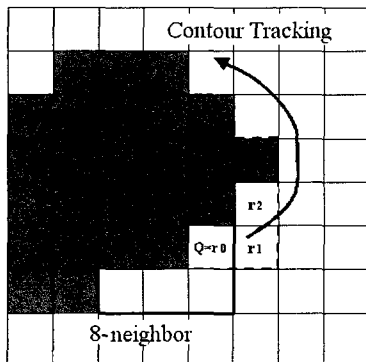


그림 11. Contour tracking 개념도
Fig. 11 Concept of contour tracking

경계선을 검출하려는 물체의 영역내부를 Region 이라 할 때,

1. 시작점 초기화 : $P_{init} = (m_0, n_0), P_{init} \in Region$

2. Bin Boundary list 정의 : $P_i = (m_i, n_i)$
3. P_{init} 를 $P_i = (m_i, n_i)$ 의 꼭대기 위치로
4. $P = P_{init}$ 로 지정
5. P_{init} 의 8개의 이웃들로부터 8- Neighbors 이면서 외부점인 최초점 Q 를 찾음
 $Q \in N_8(P_{init})$ 이고 $Q \notin region$
6. $Q_{init} = Q$ 로 지정
7. F 를 중심으로 하는 새로운 8- Neighbors $r_i (0 \leq i \leq 7)$ 를

다음 조건에 따라 지정

$$r_i \in N_8(P_{init})$$

$$r_0 = Q$$

$$r_0, r_1, \dots, r_7 \text{ 은 반시계 방향}$$

8. 다음 조건을 만족하는 j 를 지정

$$r_0, \dots, r_{j-1} \notin region$$

$$r_j \in region$$

9. $P = r_j$ 로, $Q = r_{j-1}$ 로 지정
10. F 를 Boundary list 에 추가
11. 만일 $P = P_{init}$ 이고 $Q_{init} \in r_0, \dots, r_{j-1}$ 이면 tracing 완료
12. 7번으로 회귀

결과로서 순서화된 경계선 데이터 리스트가 얻어진다.

영상인식의 대상이 되는 폭발영상에서, 기준물체는 배경보다 밝거나 혹은 어둡게 표현되고, 기준물체의 크기는 일정범위 내에 종속되게 되므로 경계선 트래킹의 전 단계로 관심영역(region of interest:ROI)내의 배경영역과 물체영역을 영상분할(image segmentation) 해주는 과정이 필요한데, ROI 영상의 밝기값 히스토그램을 전개한 후 히스토그램의 골짜기 즉, 두 구역(class)간의 지역 최소점(local minimum)에 해당하는 부분의

밝기값을 문턱치(thresholding value)로 결정하는 histogram mode 법이 많이 사용되고있다^[8]. 히스토그램 모드법 중 본 논문에서는 두 개의 클래스간 분산(inter class variance)과 전분산(total variance)의 비(ratio)를 최대로 하는 값을 문턱치 k로 선정하는, 영상 히스토그램에서 얻어지는 정보만을 이용하여 일의적으로 문턱치를 결정할 수 있는 판별분석법(deterministic analysis method : DAM)을 사용하였다. 대상물과 배경의 두 클래스로 이진화 할 경우 문턱치의 적합성을 측정하는 평가량으로 구역분리도(classifying degree) $\eta(k)$ 를 식(3)과 같이 정의 하였다.

$$\eta(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_T^2} \quad (3)$$

$$\sigma_B^2(k_{TH}) = \frac{(\mu_T \cdot w(k) - \mu(k))^2}{w(k) \cdot (1 - w(k))} \quad (4)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 P_i \quad (5)$$

식(3)에서 $\sigma_B^2(k)$ 는 문턱치를 k 레벨로 했을 때의 구역간 분산(interclass variance)으로 식(4)와 같이 주어지며, σ_T^2 는 전분산(total variance)으로 식(5)와 같이 주어진다. 여기서 ROI 영상내의 전체화소수를 N, 전체 레벨수를 L, 영역내 I 레벨의 수를 n_i , 영역내에서 i 레벨이 발생할 확률을 P_i , 전체 레벨 평균값을 μ_T , 그리고 k 레벨까지의 확률합을 $w(k)$, k 레벨까지의 기대값의 합을 $\mu(k)$ 라고할 때 각각의 식은 식(6) 과같이 표현된다.

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad , \quad \mu_T = \sum_{i=1}^L i \cdot p_i \quad (6)$$

$$w(k) = \sum_{i=1}^k p_i \quad , \quad \mu(k) = \sum_{i=1}^k i \cdot p_i$$

그림 12에 쌍봉구조 밝기값 히스토그램, 그림 13에 실제로 계산된 구역 분리도 그래프의 예를 보였다.

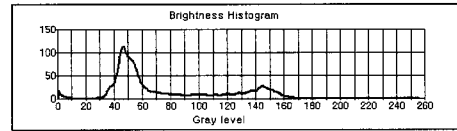


그림 12. Bi-mode 밝기값 히스토그램
Fig. 12. Bi-modal brightness histogram

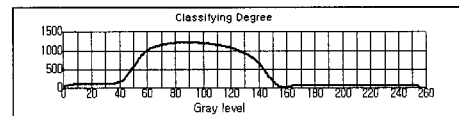


그림 13. 구역 분리도 그래프의 예
Fig. 13. Classifying degree graph

실제 계산에 있어 최적의 문턱치 k_{TH} 를 구하기 위해서는 구역분리도의 분모가 일정하기 때문에 최대의 구역간 분산을 나타내는 레벨 k를 문턱치로 결정하였다. 그림 14는 histogram mode 법에 의해 전처리된 ROI 이진영상을, 그림



그림 14. 전처리된 ROI 이진 영상
Fig. 14. pre-processed ROI image

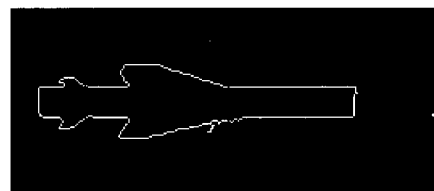


그림 15. Contour tracking 결과
Fig. 15. Contour tracking results

15는 경계선 트래킹 결과를 보였다.

3.3 경계선 정보 기반 영상해석

많은 영상해석 문제에 있어서 궁극적인 목적은 대상이 되는 물체의 특정한 기하학적 정보를 알아내는 것인데, 대표적인 것으로 물체의 면적(area), 둘레길이(perimeter), 모서리점(corner points), best-fit ellipse 등이 그것이다. 모서리점을 결정하는 방법으로는 영상의 윤곽선 근처의 iso-intensity를 따라 곡률(curvature)이 큰 점을 찾아내는 Kitchen-Rosenfeld 방법^[7] 등이 있으나, 본 연구에서는 경계선 리스트 상에서 경계선상에서의 화소길이인 running arc length를 따라 곡률(curvature) $k(s)$ 를 구한 후 곡률의 첨두치에 해당하는 점을 모서리점으로 결정하는 방법을 이용 하였다.

영상영역의 경계선 리스트(boundary list)는 연속계(continuous domain)에서의 파라메타 곡선(parametric curve) $\{x(s),y(s)\}$ 으로 표현될수 있는데, 여기서 s 는 시작점을 $\{x(0),y(0)\}$ 로 하는 running arc length 이다. 그림 16에 윤곽선 기반 모서리점 검출 절차를, 그림 17에 arc run-length 의 개념을 보였다.

$$|k(s)|^2 \equiv \left(\frac{d^2y}{ds^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2x}{ds^2} \right)^2 \quad (7)$$

$$|k(s)| \cong \left| \frac{\Delta^2 y}{\Delta s^2} \right| + \left| \frac{\Delta^2 x}{\Delta s^2} \right| \quad (8)$$

경계선의 곡률은 경계선의 파라미터 곡선 $\{x(s),y(s)\}$ 의 대해 이차 미분(second derivation)으로 식(7)과 같이 나타내어 지는데^[7] 실제로는 영상의 화소특성에 따라 경계선의 데이터가 이산 구조를 가지므로 미분 대신 차분(differenciation)의 계산으로 구현되며 일차차분 후에 거시적인 모서리점만을 검출하기 위하여 경계선 상의 고주파 잡음 제거를 위한 저주파 필터링을 거친다.

저주파 필터링은 단순한 moving averaging filtering을 취하였고 이차차분된 후에 식(8)에 따라 곡률 $|k(s)|$ 를 계산하여 그 첨두치로 모서리점을 결정한다.

그림 18은 그림 15로부터 얻어진 contour list를 running arc length를 따라 도시한 그래프이고 그림 19는 윤곽선의 x 좌표 데이터의 1차차분 결과를 보인것이며 그림 20은 윤곽선 x 좌표 데이터의 저주파 필터링 결과를, 그림 21 은 윤곽선 x 좌표 데이터 2차차분 결과를, 그림 25는 윤곽기반 윤곽선 검출결과를 차례로 나타냈다.

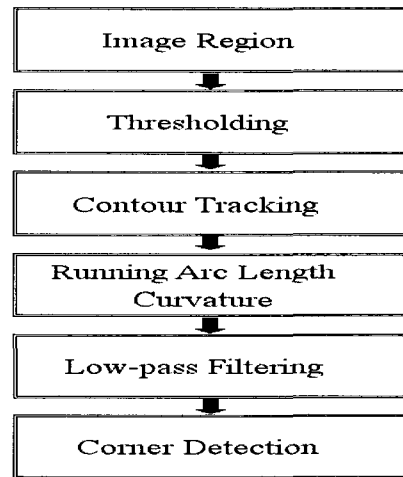


그림 16. 윤곽선기반 corner점 검출 절차
Fig. 16. Corner detection sequences

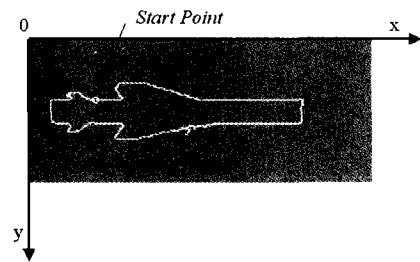


그림 17. Running arc length 개념도
Fig. 17. Running arc length concepts

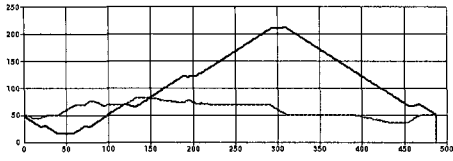


그림 18. Running arc length를 따르는 contour tracking list
Fig. 18. Contour tracking list through running arc length

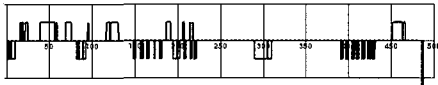


그림 19. 윤곽선 x좌표 데이터의 1차차분 결과
Fig. 19. 1st differentiation result of x contour data

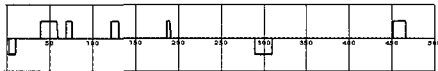


그림 20. 윤곽선 x 좌표 데이터의 저주파 필터링 결과
Fig. 20. Low pass filtering results of x contour data



그림 21. 윤곽선 x 좌표 데이터 2차차분 결과
Fig. 21. 2nd differentiation result of x contour data

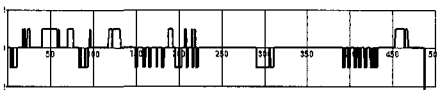


그림 22. 윤곽선 y좌표 데이터의 1차 차분 결과
Fig. 22. 1st differentiation result of y contour data

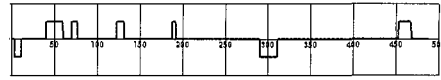


그림 23. 윤곽선 y 좌표 데이터의 저주파 필터링 결과
Fig. 23. Low pass filtering results of y contour data

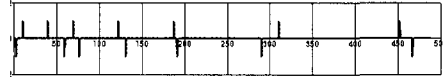


그림 24. 윤곽선 y 좌표 데이터 2차차분 결과
Fig. 24. 2nd differentiation result of y contour data

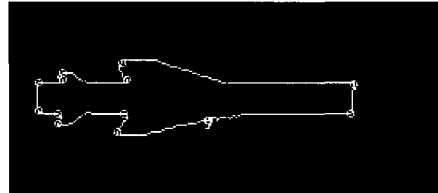


그림 25. 윤곽기반 윤곽선 검출결과
Fig. 25. Contour line detection result

영상공간의 임의의 좌표 x, y 를 각각 실수부와 허수부로 갖는 복소평면에 대응시키면 경계선은 주기적이고 연속적인 성질을 가진 복소함수로 표현가능하며 경계선의 둘레길이(perimeter)를 P 라고 하면 다음의 식이 성립함을 알 수 있다.

$$Point(x, y) \Leftrightarrow z = x + jy, \quad j = \sqrt{-1} \quad (9)$$

$$z(s) = z(s + P) \quad (10)$$

이 주기함수를 푸우리에 급수(Fourier Series)로 전개하면 식(11)과 같다.

$$z(s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z_k \cdot \exp\left(\frac{2\pi i k s}{P}\right)$$

$$Z_k = \frac{1}{P} \int_{x=0}^P z(s) \exp\left(-\frac{2\pi i k s}{P}\right) ds \quad (11)$$

$$k = \dots, -2, -1, 0, 1$$

여기서 Z_k 는 $1/P$ 배의 주파수를 갖는 주기함수의 복소 진폭(complex amplitude)인데, 이때의 복소 하모닉 요소를 Fourier Descriptors(FD)라 하며, 경계선의 FD로부터의 다음과 같은 영상영역의 여러 가지 기하학적 정보를 얻을 수 있다.^[1] 영역의 면적(Area)은

$$Area = \pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} k |Z_k|^2 \quad (12)$$

디지털 영상에 대한 실제의 계산식은 다음과 같다.

$$Area = \pi \sum_{k=-K_{max}}^{K_{max}} k |Z_k|^2 \quad (13)$$

영역의 둘레(perimeter)

$$P^2 = 4\pi^2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} k^2 |Z_k|^2 \quad (14)$$

$$P^2 = 4\pi^2 \sum_{k=-K_{max}}^{K_{max}} k^2 |Z_k|^2 \quad (15)$$

영역의 중심위치(Position center)

$$Center = Z_0 \quad (16)$$

폭발 영상에 대해서 폭발화염의 경계선 리스트를 위에서 기술한 것과 동일한 방식으로 구한후 폭발화염의 면적, 위치, 둘레를 산출하여 이격거리 검출에 필요한 폭발화염에 관한 파라미터를

얻는다.

4. 실험 및 검토

실험에서는 영상획득 장비로 machine vision 용 color CCTV 카메라와 portable U-matic VCR을 사용하였고, 정지영상 캡처 장비로 PC 기반 DT3155 frame grabber를 사용하였다. 그리고 영상처리 및 해석 환경으로 IBM PC/Pentium Pro-200, WindowsNT4.0 O/S 에서 MATLAB5.0 과 Image Toolbox로 프로토타입 영상처리 프로그램을, VisualBASIC5.0 랭기지에서 NI의 CWAnalysis DSP Library를 사용하여 visual GUI 기반 영상해석 알고리즘을 프로그램으로 구현하였다.

영상은 640x480 크기의 화소, 256(8 bit gray) 레벨로 생성, 처리 및 저장하였다.

표 1에서 실험 결과로 얻어진 자료 예를 보였

표 16. 근접신관의 이격거리 좌표 결과 예
Table 1. MD coordinates of VT fuse example

Rnd No.	tilting angle (deg)	corner tail 좌표 (↑, ↓)		corner head 좌표 (↑, ↓)		nose 좌표 (pels)		폭발점 좌표	
		x	y	x	y	x	y	x(m)	y(m)
1	0.23	15.1	339.7	322.2	327.1	351	342	0.35	1.87
		15.0	373.8	321.2	357.0				
2	-0.46	14.7	340.1	323.1	327.3	351	340	2.02	1.70
		14.8	373.6	320.9	357.1				
3	0.00	15.2	342.9	322.1	327.0	351	341	0.70	1.50
		15.0	374.1	321.1	356.9				
4	0.11	13.8	340.1	321.9	326.9	351	341	0.25	1.49
		13.9	372.8	322.0	327.2				
5	0.00	14.5	339.4	322.1	327.0	351	341	0.72	1.42
		14.8	373.0	321.2	357.1				

다. 제안된 영상해석 및 인식 알고리즘의 정확도 측정을 위하여 1차로 기준물체인 모의 미사일 자체의 특징점을 대상으로 실측좌표와 측정좌표의

차이를 검토하였으며(표2), 2차로 기준물체의 주변에 격자판을 부착하여 정확도 테스트를 실시하였다.

그림 26에서 이제까지 얻어진 파라미터로부터 기준물체에 따라 보정된 좌표계의 폭발 영상에의 매핑결과의 예를 보였으며, 보정을 거친 폭발점 계측 결과 좌표계를 그림 27에 보였다.

표 17. 1차 정확도 분석표

Table 2. 1st accuracy analysis table

Points	실측좌표[m]		계산좌표[m]		절대오차[m]	
	x	y	x	y	x	y
t_up	-5.00	0.19	-4.98	0.18	0.02	0.01
t_down	-5.00	-0.20	-5.01	-0.20	0.01	0.00
h_up	-0.50	-0.20	-0.48	-0.21	0.02	0.01
h_down	-0.50	-0.21	-0.49	-0.23	0.01	0.02

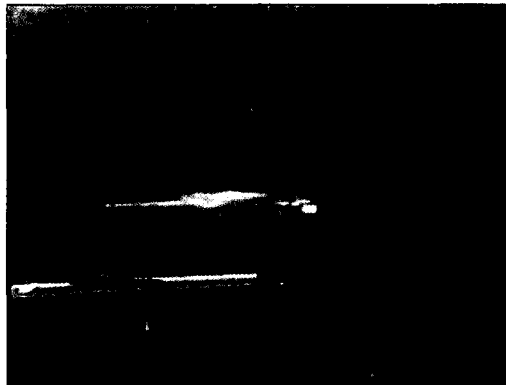


그림 26. 기준물체의 각도보정 결과 영상예
Fig. 26. Tilt correction result image of reference

5. 결론

본 논문에서는 CCTV 비디오 카메라와 PC video 시스템을 이용하여 근접신관의 이격거리의 계측 정확도를 높이기 위한 영상처리 및 영상 해석 알고리즘 및 프로그램을 제안 및 구현하였다. 우선, 획득된 영상의 개선을 위한 전처리를 가하였고 기준물체의 각도 및 스케일 보정을 위하여 Radon transform을 이용한 각도 검출방법을 제안하였고 기준물체의 boundary tracking 및 곡률 침두치로 모서리점을 인식하는 방법을 제안하였다. 마지막으로 폭발점의 형상특징 인식을 위해 contour의 Fourier descriptor를 산출하였다. 제안된 방식의 정확도 판정을 위하여 모의실험을 통하여 그 정확성을 $\pm 1.5\text{cm}$ 로 검증하였다.

앞으로 정확한 폭발영상 획득을 위하여 400frame/sec 이상의 고속 카메라를 이용한 영상 획득연구가 진행중이며 더 나은 정확도 향상이 기대된다.

참고 문헌

[1] Ferdinnd van der Heijden, Image based mearurement systems, John Wiley & Sons, 1994.
[2] W. K. Pratt, Digital Image Processing, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

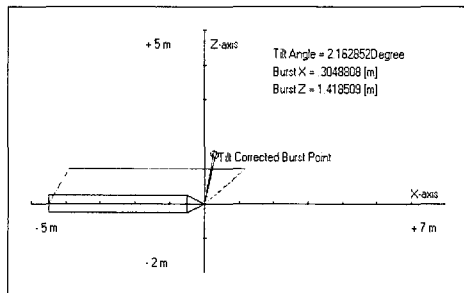


그림 27. 기준물체의 기울기 및 좌표보정 결과
Fig. 27. Results of coordinate correction & tilt correction

논문 / 시험평가 부문

- [3] I. Pitas, Digital Image Processing Algorithms, Prentice Hall, 1993.
- [4] Kryzak, Adams, ED. Computer Vision and Shape Recognition, 1991.
- [5] Dhuda, Hart, Computer vision and Image processing, Willy, 1993.
- [6] Aggawal, J.K, Computer Method in Image Analysis, IEEE Press, 1977.
- [7] Kitchen, L. and A. Rosenfeld, Gray-Level Corner Detection, Pattern Recognition Letters, 95-102, December, 1982.
- [8] Galbiati, louis, "Machine Vision and Digital Image Processing", Prentice Hall Fundamentals, 1990.
- [9] Aggawal, J.K, "Computer Method in Image Analysis", IEEE Press, 1997.