

영상처리기법을 이용한 소화기 조준감사 자동화에 관한 연구

A Study on the Bore-Sighting Automation for Small Arms Using
the Image Processing

여운주*
Yeo, Woon-Joo

ABSTRACT

This paper is launched to get an exact bore-sighting value in the process of assembling for a dual-barrel weapon. Image processing method with a CCD(Charged Coupled Device) camera is chosen for the error reduction of bore-sighting. The results of this method by using a CCD camera and the testing target method are described in this paper. After the performance of the dual-barrel weapon and that of the fire-control system in the dual barrel weapon system is confirmed, the bore-sighting which is a part of the process in the system assembly is accomplished. In this process, the position of the barrel is identified by using the testing target method that is an existing bore-sighting method. Then, the fixing line of the fire-control system is checked by a day-optical part. The precision of the bore-sighting is required within several mils, however the manual method using the naked eyes makes it worse. Therefore, a CCD camera is installed in the eyepieces. Next, we can get an image of the sighting and the center coordinate values of the laser-pointer from each barrel by image processing method. A required bore-sighting value is calculated from the eccentricity of the center coordinate. Finally, It can be applied to adopt this result in the assembling process of the dual-barrel weapon.

주요기술용어(주제어) : Bore-Sighting(조준감사), Image Processing(영상처리), System Assembly(체계조립), Dual-Barrel Weapon(이중총열소화기)

1. 머리말

최근 고도 전자전의 추세에 따라 개인 전투장비체계에서도 다양한 기능을 요구하게 되면서 많은 변화가 일어나고 있다. 특히 기존 일반 소총과는 차별화

되어 은폐, 엄폐한 적에게 치명적인 타격을 가할 수 있는 공중폭발탄을 운용하는 이중총열 소화기는 지능화되고 있는 현대전에서 필수불가결한 무기체계라 할 수 있다.

개인에게 지급되는 제한된 탄약의 효율적인 활용을 위하여, 보다 정확한 조준감사를 실시할 필요성이 제기된다. 기존에 사용해오던 다양한 조준감사 방법들을 활용하여 조준감사값을 유도할 경우 보어스코프를 통해 본 조준점을 특정인의 판단에 기대하여 측정하

† 2006년 7월 28일 접수~2006년 9월 7일 게재승인

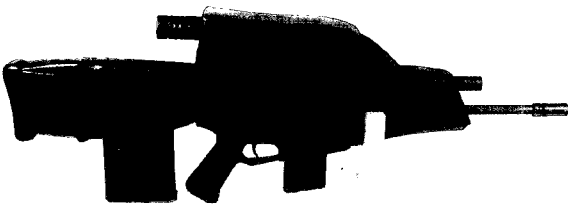
* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : jooclub@add.re.kr

기 때문에 한 사람이 반복하여 측정하더라도 감사값의 오차가 크게 발생하였다. 이에 따라 조준시 발생하는 고정차선의 정렬에 대한 오차와 레이저 조준점의 중점 획득에 관련된 오차를 크게 줄일 수 있도록 보어스코프 대신 CCD 카메라를 장착하여 영상을 획득한 후 영상처리를 통해 영상의 픽셀단위로 감사값을 자동으로 변환시켜 준다. 이를 통해 기존의 조준값과 비교하여 시험을 실시하여 개선된 것을 확인하고, 이를 이중총열 소화기 개발에 활용하도록 하는데 목적을 두고 있다.

2. 연구배경

그림 1과 같은 이중총열 소화기는 복합형화기와 사격통제장치를 피카니티 레일 방식으로 체계조립을 실시한다. 최초 물리적으로 체계조립을 실시할 때 현재의 기술적인 한계로 피카니티 레일을 기준으로 사격통제장치의 주간 광축과 각 총열의 평행도의 기준을 8mil로 선정하여 실험을 실시하였다. 8mil의 오차는 정밀도를 요구하는 이중총열 소화기의 성능에 치명적인 영향을 줄 수 있으며 이를 보정하여 평행을 유지하고자 조준감사를 실시한다. 다만 절대 평행의 구현이 불가능하므로 오차 1mil을 평행으로 간주하여 조준감사 결과 후 이를 유지해야 한다.



[그림 1] 이중총열 소화기 형상

이중총열 소화기에 적용하기 위한 기존의 조준감사법을 검토한 결과 3가지 방법이 모두 적합하지 않음을 표 1과 같이 확인하였다. 첫째, 원거리 조준감사법은 소화기 유효사거리 이상의 측정거리가 요구되므로 불가능하다. 둘째, 시험표적 조준감사법은 조준감사경으로 조준감사시 개인적인 오차가 크게 발생한다. 마

지막으로 표준각도법은 소화기 총열 형상 및 공간을 고려할 때 시수상한의 설치가 어렵기 때문에 적용하기 어렵다.

결과적으로 이중총열 소화기에 적용하기 위한 새로운 조준감사법의 개발이 요구되었다.

[표 1] 기존의 조준감사법

방법	내용	적용성
원거리 조준감사법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원거리의 공통점에서 조준기의 광축과 총열축을 교차하게 배열 ○ 공통점의 거리가 멀수록 정확함 	부적합
시험표적 조준감사법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시험표적지에 조준기의 광축과 총열축 평행하게 배열 ○ 광축간의 시차(Parallax)는 보정되지 않음 	부적합
표준각도법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 포구 위에 지정된 점에서 방위각 및 고각 측정 ○ 표준 수평각 및 수직각과 비교 	부적합

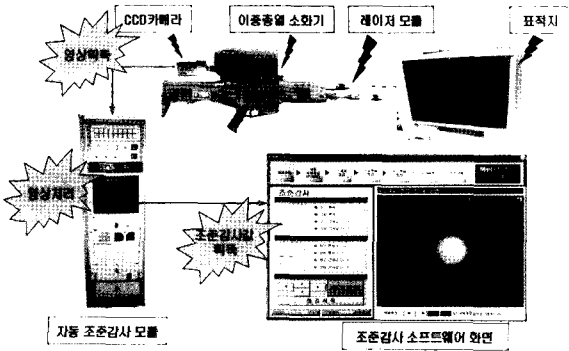
3. 조준감사 준비 사항

가. 하드웨어 관련사항

그림 2와 같이 사격통제장치에 연결하는 어댑터를 사용하여 사통 주간광학경으로 보이는 영상을 획득할 수 있는 CCD 카메라는 영상검출의 정확성을 위하여 흑백 2가지 색을 출력하며 표적지에 표시되는 보어사이트용 레이저 모듈을 장착하였다. 또한 영상의 노이즈를 최소화 하고 레이저 식별의 신뢰성을 높이기 위하여 표적지는 검은색을 사용하여 식별을 용이하게 하였다.

나. 소프트웨어 관련사항

National Instrument사의 Labview 7.1과 Vision Assistant 7.0를 활용하여 영상처리 함수들을 구성하고 적용시켰다.



[그림 2] 조준감사 개략도

벨링(Labeling)을 하여 구분한다. 마지막으로 구분된 각각의 레이저 조준점의 중심을 구하는 함수를 구현하여 중심값을 구한 후 정상적인 총열 중심으로부터의 거리를 계산하여 조준감사 값을 도출하게 된다.

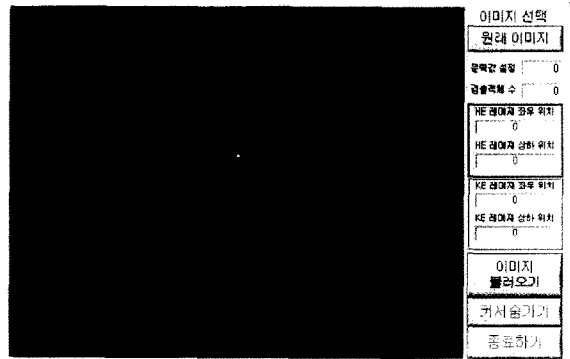
나. 영상 캡처

두 개의 총열에 장착된 레이저 모듈을 동작시킨 후 CCD 카메라를 통해 획득한 영상을 캡처한다. 화면 중심부에 상하로 두개의 레이저 조준점이 보이고 화면 전반적으로 흰색의 반점형식의 노이즈들이 섞여 있음을 볼 수 있다. 캡처한 파일은 그림 4와 같이 640×480의 비트맵 파일로 변환 시킨다.

4. 조준감사 영상처리 절차

가. 영상처리 순서도

그림 3과 같이 CCD 카메라를 사용하여 사격통제 장치의 주간광학경을 통해 보이는 두 총열의 중심을 표시하는 레이저 모듈의 영상을 획득한 후 이를 640×480 크기의 비트맵 파일로 변환하여 저장한다. 최초에 저장되는 파일에는 선명하게 보이는 레이저 조준점 이외에도 외부의 광에 의한 노이즈들이 화면 전역에 걸쳐 분포하게 된다. 이를 제거하기 위하여 영상 평활화(Smoothing)작업을 거친다. 평활화 이후 레이저 조준점과 표적지를 명확하게 구분하기 위하여 각각을 1과 0으로 변화시키는 이진화(Binary-coded)하여 화면을 2가지 색으로 구분한다. 앞서 평활화 작업을 거쳤음에도 불구하고 이진화를 통해 남아 있는 노이즈는 침식(Erosion)과 팽창(Dilation) 기법을 사용하여 제거함으로써 순수한 레이저 조준점만을 남기게 된다. 총열 두 개를 하나의 색으로 인식하고 있는 영상에 각각 다른 총열로 인식시키기 위하여 영상 라



[그림 4] 영상 캡처 화면

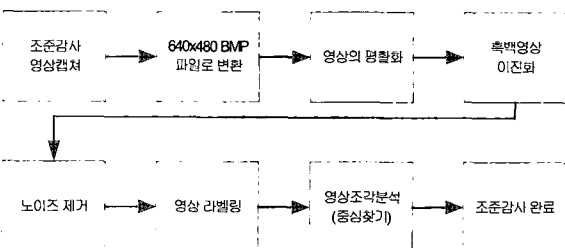
다. 평활화(Smoothing)

비트맵 파일로 저장된 영상화면에 뿌연먼지처럼 영상 전역에 노이즈가 분포되어 있으며, 이들 노이즈의 농도와 그 주위의 농도가 급격한 차이를 보이게 된다. 이런 노이즈의 성질을 이용하여 노이즈를 제거하는 방법을 평활화(Smoothing)이라 하며, 이 영상에서는 식 (1)의 이동평균법을 사용하여, 노이즈를 제거하게 된다.

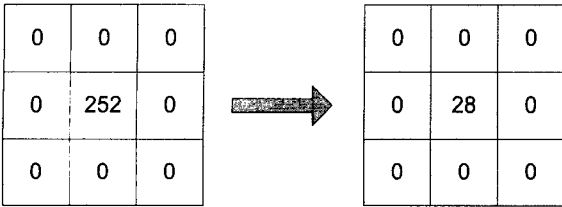
이동평균법은 주변의 3×3 화소의 평균치를 해당화소의 값으로 치환하는 방법이며 그림 5와 같다.

$$Value = \left\{ \sum_{i=0}^{i=2} \sum_{j=0}^{j=2} a_{ij} \right\} / 9 \quad (1)$$

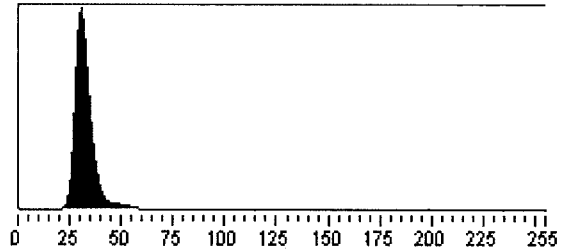
이 과정을 통하여 농도가 짙은 밝은 노이즈를 전



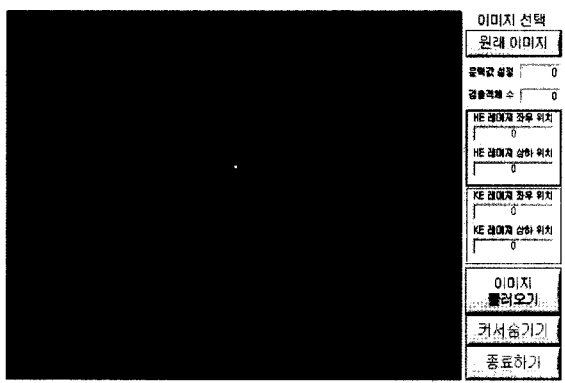
[그림 3] 레이저의 표적지 조준



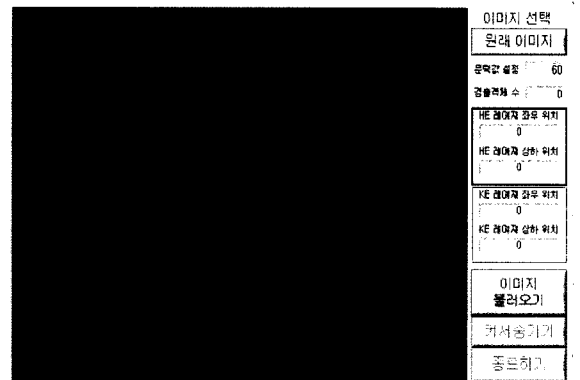
[그림 5] 이동평균법 개요



[그림 7] 영상 히스토그램



[그림 6] 평활화 후 영상



[그림 8] 이진화 후 영상

체적으로 농도를 낮추어 어둡게 함으로써 이진화 과정에서 문턱값(Threshold)을 하향시키게 되어 이진화를 용이하게 한다. 따라서 평활화 후에는 그림 6과 같이 평활화 이전에 비하여 경계선이 퍼져 보이게 된다.

라. 이진화(Binary-Coded)

레이저 조준점과 표적지의 영역을 확실하게 구분하기 위해 문턱값(threshold)을 찾아 0과 1(255)로 변환하는 작업을 거치게 되는데 이를 이진화라 한다.

그림 7은 흑백으로 저장된 영상의 히스토그램으로 0~255 까지의 농도값의 분포를 표시한 것으로 0에 가까울수록 어두운 영상을 나타낸다. 히스토그램에서 알 수 있듯이 획득한 영상의 대부분은 25~60 사이에 농도 분포가 많은 것을 알 수 있으며, 60 이하의 농도값이 표적지라는 것과 60 이상으로 분포된 농도가 레이저 조준점임을 알 수 있다. 이 히스토그램을 근거로 문턱값을 60으로 하여 이진화할 경우 그림 8과 같이 변환된다.

이 결과 오른쪽 하단부에 남아있는 노이즈가 확인

히 구분되며 문턱값을 레이저 조준점이 크게 손상되지 않는 범위에서 조절하여 잔여 노이즈를 최소화 시킨다.

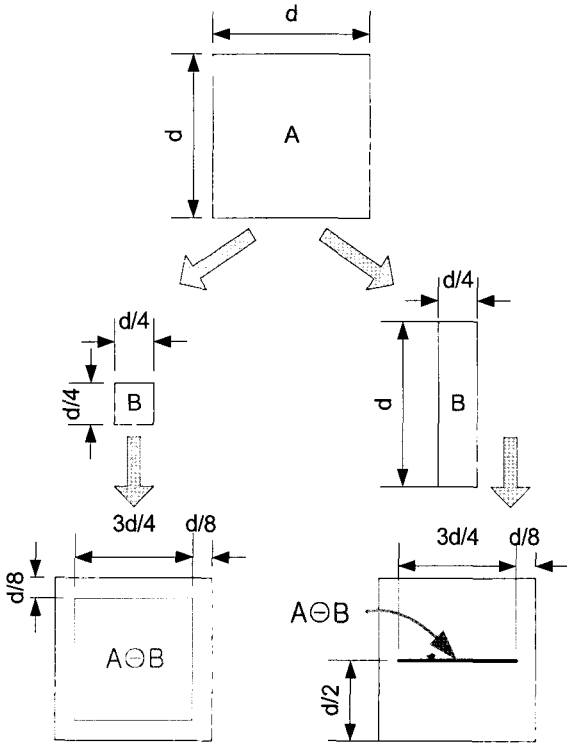
마. 노이즈 제거(Noise Reduction)

1) 침식(Erosion)

이진화 이후 남아 있는 노이즈를 제거하기 위하여 침식 기법을 활용하는데 원리는 식 (2)와 같다.

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \tag{2}$$

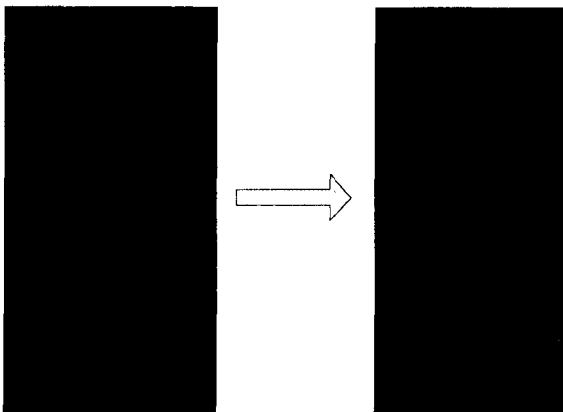
그림 9와 같이 제거하려는 노이즈 A가 있다고 가정할 때 B의 픽셀단위를 A에 대해 침식시키는 예로서 A의 면적이 B에서 정의된 크기만큼 삭제되는 것을 알 수 있다. 따라서 레이저 조준점보다는 작고 영상에 남아있는 노이즈보다는 큰 픽셀단위를 설정하여 침식시키면 레이저 조준점을 제외한 나머지 노이즈는 제거할 수 있다.



[그림 9] 침식의 이해

2) 공백채우기(Filling holes)

이진화 과정에서 레이저 조준점 내부에 그림 10과 같이 공백이 발생할 수 있는데 픽셀단위를 스캔하면서 내부 공간이 빈 것을 확인한 후 공백을 채우고 차후 중심을 구하는 과정의 정확성을 높이게 된다.



[그림 10] 공백 채우기

3) 팽창(Dilation)

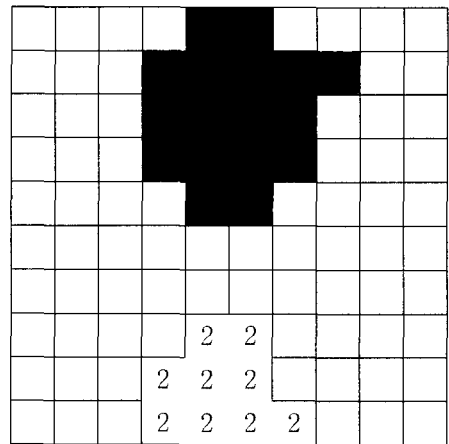
팽창은 침식과는 반대 개념으로 B와 A가 적어도 한 개 요소에 의해 겹쳐지도록 모두 Z만큼 전치 (Displacement)된 집합으로 표현되며 식 (3)과 같다.

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (3)$$

따라서 노이즈 제거를 위해 침식으로 축소되었던 레이저 조준점을 복원시키기 위하여 팽창을 사용한다.

바. 라벨링(Labeling)

각 레이저 조준점의 중점을 구하기 위하여 이진화 되어 두 개의 레이저 조준점 모두를 하나의 종류 (255)로 인식한 데이터를 구분 짓는 작업을 라벨링이라고 하며, 본 조준감사에서 라벨링 할 때는 경계영역(Boundary Area)이 없기 때문에 쉽게 라벨링 할 수 있다. 640×480의 각 픽셀을 스캔하면서 처음 255로 인식하는 픽셀의 주변 픽셀을 모두 한 종류로 라벨링한다.



[그림 11] 라벨링 결과(예시)

사. 중심 찾기

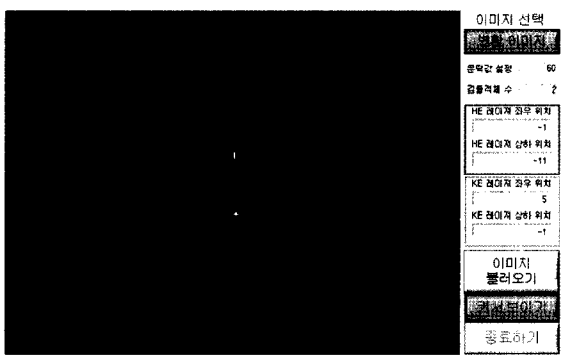
각 레이저 조준점의 중점을 구하기 위하여 왼쪽 최상의 픽셀 (0,0)을 원점으로 하여 동일하게 라벨링 되어 있는 그룹의 중심을 식 4와 같이 구하게 된다. 이 값은 조준감사값이 아닌 화면상의 좌표값이므로 사전에 입력해 놓은 총열의 중심점으로부터의 거리를 픽

셀단위로 계산하여 조준감사값을 도출한다.

결과는 그림 12와 같이 화면상에 중심점을 표시하고 조준감사값을 전시하여 사격통제장치의 조준감사값 입력에 사용하면 된다.

$$\text{If } label = 1, \begin{cases} X = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \\ Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \end{cases} \quad (4)$$

- x_i = 픽셀의 x 좌표,
- y_i = 픽셀의 y 좌표,
- X = 조준점중심의 x 좌표,
- Y = 조준점중심의 y 좌표,
- m, n = 라벨이 1인 픽셀의 수
(라벨이 2일때도 동일함)



[그림 12] 레이저 조준점 표시 및 조준감사값 전시

5. 시험 결과

시험은 100회를 반복하여 계산된 조준감사값의 표준편차의 정도를 표 2와 같이 분석하고 기존의 수동 조준감사와의 성능을 비교해 보았다.

- 가. 영상처리를 이용한 조준감사 결과
조준감사 절차대로 100회 반복하여 획득한 조준감

사값의 표준편차는 상당히 낮기 때문에 재현성이 입증되어 영상처리를 이용한 조준감사 방법의 신뢰성이 확보되었다.

나. 수동 조준감사 결과

수동으로 조준감사시 동일인이 반복하여 수행하더라도 개인차에 따라 발생하는 오차는 크게 나타나며, 이 때의 표준편차가 영상처리를 한 조준감사에 비하여 월등하게 크게 나타나서 신뢰성이 낮음을 보여 준다.

[표 2] 시험결과 표준편차값(mil)

방법	공중폭발탄		운동에너지탄	
	상하 감사값	좌우 감사값	상하 감사값	좌우 감사값
영상처리를 이용한 조준감사	0.96	0.94	0.64	0.64
수동 조준감사	10.8	9.55	10.04	8.86

6. 맺음말

기존 방식인 수동 조준감사의 경우 소화기에 적용하기에는 기준치 이상의 오차가 발생하기 때문에 신뢰성 확보를 위해 이미 여러 방식으로 도입된 영상처리기법을 이용한 조준감사는 큰 혜택을 가져왔다.

수동 조준감사 실시 시에 표적지 설치, 총열 고정점 확인, 레이저 조준점 표시 등 부수적인 일로 인해 시간이 많이 소비되고 2명 이상의 인원이 필요하였다. 이에 반해 영상처리기법을 이용한 조준감사는 시험자 혼자서 조준감사기의 전시기를 통하여 표적지 및 총열 고정점을 확인하고 소프트웨어를 실행시킴으로써 1초 이내에 조준감사값을 구할 수 있다.

시험결과에서 나타났듯이 표준편차를 크게는 열배 이상 줄임으로써 이전에 제작하였던 체계조립점검장비의 조준감사 방식인 수동조작 방식과는 차이를 분명하게 확인함으로써 이중총열 소화기 조립시 조준감

사에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다.

결과적으로 정밀타격을 목표로 하는 이중총열 소화기의 조준감사에 적합한 방법으로 판단되며 향후 다른 무기체계에도 적용한다면 더욱 신뢰성 있는 방안이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 여운주, 채제욱, 최의중, “이중총열 소화기 체계 조립점검장비 예비시제 개발”, 국방과학연구소, GSDC-519-050748, pp.79~89, 2005. 8.
- [2] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing 2nd. Ed.”, Prentice Hall, pp. 124~126, 2002.
- [3] Robert J. Schalkoff, “Digital Image Processing and Computer Vision”, John Wiley & Sons, pp.243~244, 1989.
- [4] I. Pitas, “Digital Image Processing Algorithms and Applications”, John Wiley & Sons, pp.352~354, 2000.
- [5] Christopher G. Relf, “Image Acquisition and Processing with LabVIEW”, CRC Press, pp. 102~105, 2004.