Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 4, August 2012, pp. 521-526
http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2012.22.4.521

Mamdani 퍼지추론을 이용한 화살의 탄착점 측정 시스템

Measuring System for Impact Point of Arrow using Mamdani Fuzzy Inference System

유정원 · 이한수 · 정영상 · 김성신†
Jungwon Yu, Hansoo Lee, Yeongsang Jeong and Sungshin Kim†

부산대학교 전자전기공학과

요 약

제조공정을 통해 생산된 화살의 성능은 화살의 이동궤적(궁사의 패러독스)과 탄착점의 집적도에 따라 좌우된다. 특히 동일한 환경에서 반복적으로 화살의 슈팅실험을 수행할 경우, 반복실험에서 얻어진 화살의 탄착점 집적도는 화살 성능 평가에서 중요한 객관적 지표가 된다. 그러나 화살의 탄착점에 대한 분석은 현재 상용화된 기술이 부족하며, 기존의 연구들은 화살의 성능에 영향을 미치는 제조공정 변수(화살깃, 화살촉, 화살의 곧기, 중량, 외경, 스파인)만을 최적화하려는 방향으로 기술력이 집중되어 있다. 본 논문에서는 화살의 주요성능지표인 화살의 탄착점 측정 자동화를 위해, Mamdani 퍼지 추론 시스템(Mamdani Fuzzy Inference System)과 도형의 닮음(Similarity of Polygon)을 이용한 화살의 탄착점 측정 시스템을 제안한다. 라인레이저(Line Laser)와 포토다이오드어레이(Photo Diode Array)를 이용하여 고속(약 275km/h)으로 이동하는 화살의 탄착점 데이터를 계측하고, 계측된 데이터를 퍼지 추론과 도형의 닮음을 이용하여 화살의 탄착점으로 사상(Mapping) 시킨다.

키워드 : Mamdani 퍼지 추론 시스템, 화살의 탄착점, 도형의 닮음

Abstract

The performance of arrow from a manufacturing process depends on arrow's trajectory(archer's paradox) and intensity of an impact points. Especially, when conducting a shooting experiment over and over in the same experiment condition, the intensity of impact point is an objective standard to judge the performance of the arrow. However, the analysis method for the impact point is not enough, a previous research of the arrow's performance has been focused on a skill to optimize a manufacturing variables(feathers of an arrow, barb of an arrow, arrow's shaft, weight, external diameter, spine). In this paper, We propose measurement system of arrow's impact point with Mamdani fuzzy inference system and similarity of polygon for automation of impact point's measurement. Measuring the impact point data of the arrow moving with a high speed(approximately 275km/h) by using line laser and photo diode array, then the measured data are mapped to arrow's impact point with fuzzy inference and similarity of polygon.

Key Words : Mamdani Fuzzy Inference System, Impact Point of Arrow, Similarity of Polygon

1. 서 론

제조공정을 통해 생산된 화살의 성능은 화살의 이동궤적(궁사의 패러독스)과 탄착점의 집적도에 따라 좌우된다[1-2]. 특히, 동일한 환경에서 그림 1의 노크(nock) 각도를 회전시키면서 반복적으로 화살의 슈팅실험을 수행할 경우, 반복실험에서 얻어진 화살의 탄착점 집적도는 화살 성능 평가에서 가장 중요한 객관적 지표가 된다.

접수일자: 2012년 4월 30일
심사(수정)일자: 2012년 4월 30일
게재확정일자 : 2012년 7월 20일
† 교신 저자
이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0026232)

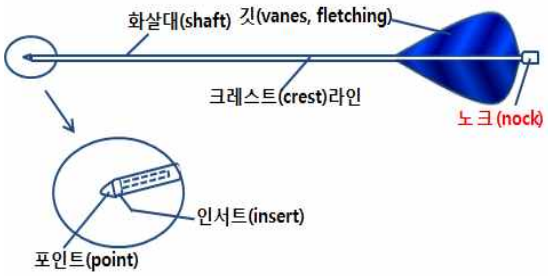


그림 1. 화살의 구조
Fig. 1. Structure of Arrow

화살의 이동궤적 및 탄착점 집적도에 영향을 미치는 화살의 제조공정 변수로는 화살깃, 화살촉, 화살의 곧기, 중량, 외경, 스파인(화살의 휘어짐 정도) 등이 있으며, 기존의 연구들은 화살의 제조공정 변수의 최적화에만 초점이 맞추어져 있다.

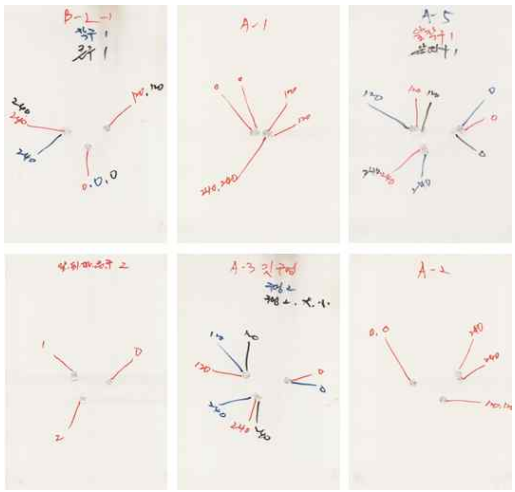


그림 2. 수기에 의한 탄착점 집적도 분석
Fig. 2. Analysis of Impact Point's Integration by Hand

그림 2와 같이, 현재는 화살의 탄착점 집적도를 분석하기 위해서 과녁에 슈팅용지를 부착한 후, 노크의 각도를 회전시키면서 반복슈팅실험을 수행하고 있다. 수기에 의한 탄착점 집적도 분석의 경우, 정확도가 떨어지고 주기적으로 과녁의 슈팅용지를 교체해주어야 하며, 각 탄착점간의 관계를 수치화하기 어렵다.

탄착점 측정을 위해서 기존에 제안방법은 크게, 레이저와 레이저 스캔 카메라를 이용한 방법[1-2], 2축 좌표측정을 위해 다중카메라를 이용한 방법[3] 등이 있다. 그러나 제안된 방법들은 별도의 왜곡된 영상보정과정을 거쳐야하는 단점이 있다. 본 논문에서는 화살의 탄착점 측정 자동화를 위해, 퍼지 추론과 도형의 닮음을 이용하여, 별도의 영상왜곡 보정과정이 필요 없는 화살의 탄착점 측정 방법을 제안한다. 라인레이저와 포토다이오드어레이를 이용하여 고속으로 이동하는 화살의 데이터를 계측하고, 계측된 데이터를 퍼지 추론과 도형의 닮음을 이용하여 화살의 탄착점으로 사상시킨다.

2. 도형의 닮음을 이용한 탄착점 측정

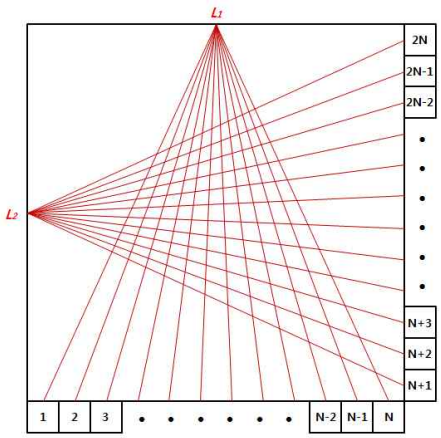


그림 3. 라인레이저와 포토다이오드의 배치
Fig. 3. Arrangement of Line Laser and Photo Diode

비접촉식 변위측정 센서로는 레이저, 마이크로웨이브 센서, 광학카메라 등이 있으나, 고속으로 이동하는 화살의 위치를 측정하기 위해서는 분해능이 우수하고, 빠른 응답속도를 가지는 레이저와 포토다이오드가 적합하다.

그림 3과 같이, 2개의 라인레이저가 프레임의 L_1, L_2지점에 각각 설치되고, 반대편 지점에는 각각 N개의 포토다이오드가 배치된다[6]. 포토다이오드는 빛에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 소자이므로, 라인레이저 빛의 강도는 포토다이오드 전압레벨로 변환된다. 화살이 프레임을 통과할 경우 임의의 지점에 있는 포토다이오드의 전압레벨변화를 계측할 수 있으며, 계측된 데이터를 이용한 화살의 탄착점 측정이 가능하다.

2.1 도형의 닮음

그림 4와 같이, 화살이 프레임을 통과하게 되면, 화살($\overline{CD}$)에 의해서 레이저 빛의 일부분이 가려지게 되므로, X축 포토다이오드어레이에 그림자($\overline{AB}$)가 생기게 된다. 빛은 광원(L_1)으로부터 직진하기 때문에, $\triangle ABL_1$ 과 $\triangle CDL_1$은 서로 닮음이다. 점 $M_{\overline{AB}}$를 $\overline{AB}$의 중점이라 정의한다면, $\overline{L_1 M_{\overline{AB}}}$은 $\overline{CD}$를 이등분하게 되고($\because \triangle ABL_1 \sim \triangle CDL_1$), 두 직선 $\overline{L_1 M_{\overline{AB}}}$와 $\overline{CD}$가 만나는 교점 $M_{\overline{CD}}$가 바로 화살의 탄착점이 된다. 단일 라인레이저로 도형의 닮음을 적용하여 화살의 탄착점을 구하기 위해서는 화살 직경(diameter), 즉 선분 $\overline{CD}$의 길이를 알아야만 한다. 그러나 본 논문에서는, 두 개의 라인레이저를 사용했기 때문에 화살 직경에 대한 정보는 필요하지 않다.

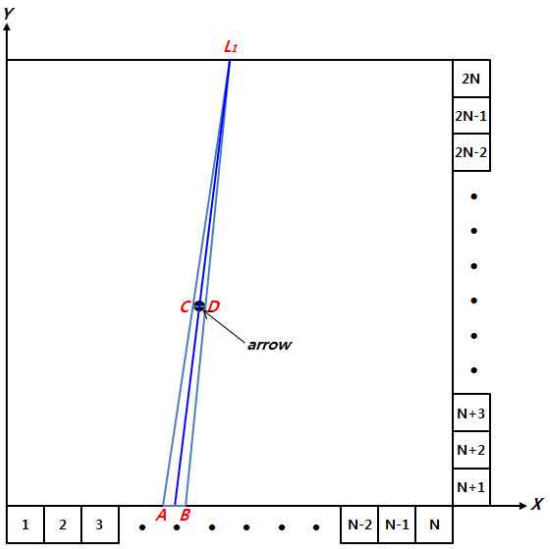


그림 4. 도형의 닮음
Fig. 4. Similarity of Polygon

나머지 라인레이저(L_2)에 대해서도 도형의 닮음을 적용하면, 그림 5과 같이 $\overline{L_2 M_y}$를 구할 수 있고, $\overline{L_1 M_x}$ ($=\overline{L_1 M_{\overline{AB}}}$)와 $\overline{L_2 M_y}$이 만나는 교점이 바로 화살의 탄착점이다. 도형의 닮음을 이용하여 화살의 탄착점을 구하기 위해서는 화살이 프레임을 통과할 때, 생기는 양축 그림자의 중점좌표 M_x, M_y가 필요하다.

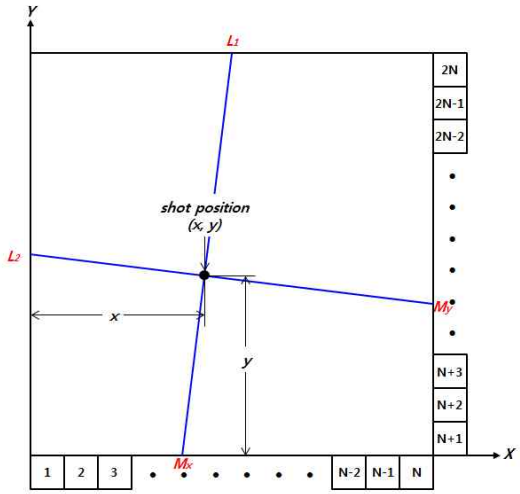


그림 5. 도형의 닮음을 이용한 화살의 탄착점 측정
Fig. 5. Measurement of Impact Point Using Similarity of Polygon

도형의 닮음을 이용한 화살의 탄착점 측정방법을 요약하면 다음과 같다.

Algorithm

Step 1 : Calculate the position of $M_{\overline{AB}}$. (Using Fuzzy Inference System)

Step 2 : Obtain the $\overline{L_1 M_{\overline{AB}}}$.

Step 3 : Calculate the $M_{\overline{CD}}$(Using $\overline{L_1 M_{\overline{AB}}}$ bisects the $\overline{AB}$ and bisects the $\overline{CD}$($\because \triangle ABL_1 \sim \triangle CDL_1$))

Step 4 : Apply the Step1 - Step3 to the other line laser setup point L_2.

3. 퍼지 추론 시스템

퍼지 추론 시스템(FIS)은 퍼지 집합 이론(Fuzzy Set Theory), 퍼지 룰(Fuzzy Rule), 퍼지 추론(Fuzzy Reasoning)을 기반으로 하고 있으며, 자동제어, 로보틱스, 패턴인식, 시계열 예측, 고장 진단 등에 널리 응용되고 있다[7-8]. FIS의 장점은 크게 두 가지로 정의할 수 있다. 첫 번째로 사람의 언어와 생각과 같이 추상적인 개념을 다룰 수 있다는 점이고, 두 번째가, 입력과 출력의 관계가 비선형이고, 입출력 관계의 물리적 의미를 알 수 없는 경우에도 모델링이 가능하다는 점이다.

3.1 퍼지 집합

전제 집합(Universe of Discourse) X에서의 퍼지 집합 A는 식 (1)과 같이 순서쌍(Ordered Fair)로 정의된다[9].

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\},\ 0 \le \mu_A(x) \le 1 \qquad (1)$$

$\mu_A(x)$를 퍼지 집합 A의 소속 함수(Membership Function)라고 하며, 소속 함수(MF)는 전체 집합 X의 원소들을 각각 소속 함수 값으로 매핑 시켜주는 역할을 한다. 퍼지 집합 A는 다음과 같이 간략하게 표현 할 수 있는데, 전체 집합 X의 원소가 연속적이면 식 (2)와 같이 표현되고, 불연속적이면 식 (3)과 같이 표현된다.

$$A = \int_X \mu_A(x)/x \qquad (2)$$

$$A = \sum_{x_i \in X} \mu_A(x_i)/x_i \qquad (3)$$

3.2 퍼지 룰

퍼지 룰의 일반화된 형태는 다음과 같다[10-11].

IF (a set of conditions are satisfied) **THEN** (a set of consequences can be inferred).

IF문을 전제(Premise)라고 하고, THEN문을 결론(Consequence)이라고 한다. IF-THEN 문의 전제와 결론에 퍼지 집합을 도입한 것이 퍼지 룰(or Fuzzy If-Then Rule)이다. 퍼지 추론 시스템에서는 추론을 수행하기위해 필요한 전문가적인 지식을 여러 개의 Fuzzy If-Then Rule로 표현한다. 두 개의 입력과 한 개의 출력을 가지는 시스템의 Fuzzy Rule의 예는 다음과 같다.

R_1 : if x is A_1 and y is B_1 then z is C_1,
R_2 : if x is A_2 and y is B_2 then z is C_2,
...
R_n : if x is A_n and y is B_n then z is C_n

3.3 Mamdani 퍼지 추론 시스템

본 논문에서는, 포토다이오드 어레이에서 계측되는 화살 그림자 중점좌표(M_x, M_y)를 구하기 위해서, 논리적 관계를 퍼지 집합을 이용하여 퍼지 룰로 나타내기가 TSK 방법보다 더 용이한, Mamdani 퍼지 추론 시스템을 사용하였다. Mamdani 퍼지 추론 시스템은 증기 엔진과 보일러 제어를 경험 많은 전문가 지식을 바탕으로 언어적 수행을 하기 위해 제안되었다[12]. 두 개의 입력과 한 개의 출력, 그리고 두 개의 Rule을 가지는 Mamdani 퍼지 추론 시스템의 예는 다음과 같다[13].

R_1 : if x is A_1 and y is B_1 then z is C_1,
R_2 : if x is A_2 and y is B_2 then z is C_2

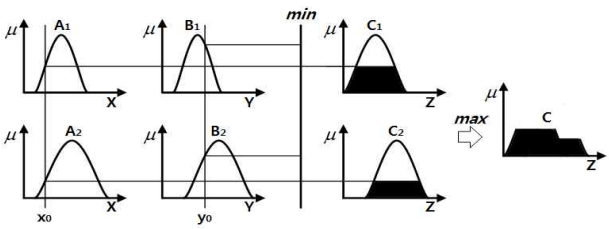


그림 6. Mamdani 퍼지 추론 시스템
Fig. 6. The Mamdani Fuzzy Inference System

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0),\ \alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \qquad (4)$$

$$\mu_C(z) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(z)] \qquad (5)$$

Mamdani 퍼지 추론 시스템에서의 최종적인 출력은 식 (4)와 (5)와 같이, Max-Min Composition에 의해서 얻어진다. 비 퍼지화(Defuzzification) 값을 구하기 위해서는, 식 (6)과 같이 최종적인 출력 소속 함수의 CoA(Center of Area)를 구한다.

$$z_{CoA} = \frac{\int_z \mu_C(z) z dz}{\int_z \mu_C(z) dz} \tag{6}$$

3.4 실제 사용된 추론 시스템

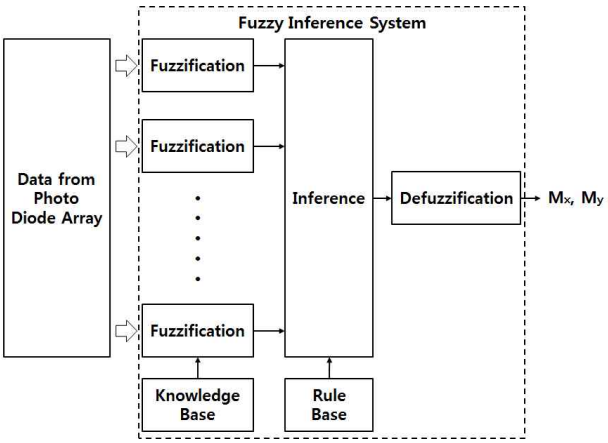
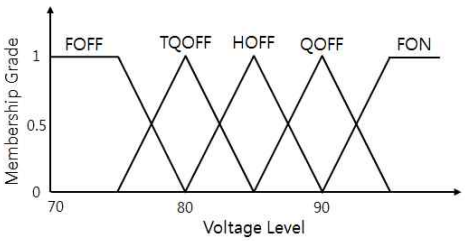
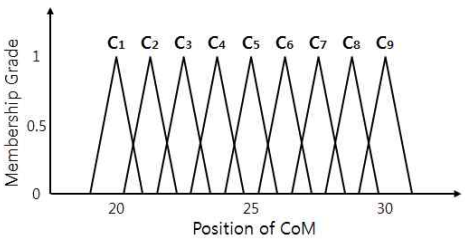


그림 7. 퍼지 추론 시스템의 구조
Fig. 7. Structure of Fuzzy Inference System



(a) 입력 소속 함수



(b) 출력 소속 함수

그림 8. 퍼지 추론 시스템의 소속 함수
Fig. 8. Membership Function of FIS

본 논문에서 사용된, 그림자 중점좌표(M_x, M_y)를 구하기 위한 Mamdani 퍼지 추론 시스템의 구조는 그림 7과 같다 [14-15]. 화살이 프레임의 유효 측정 영역(Effective Measurement Area)을 통과할 때, 최대로 가려지는 포토다이오드의 수는 4개이다. 각각의 다이오드로부터 계측되는 전압레벨 값은 그림 8.(a)의 휴리스틱(heuristic)하게 정의된 입력 소속 함수에 의해 퍼지화(Fuzzification) 과정을 거친다. 입력 소속 함수는 다음과 같이 정의된다.

(i) **FON** - Fully On
(ii) **QOFF** - Quarterly Off
(iii) **HOFF** - Half Off
(iv) **TQOFF** - Three Quarterly Off
(v) **FOFF** - Fully Off

각각의 입력은 퍼지화 과정을 거친 후, Rule Base에서 정의된 Fuzzy If-Then Rule에 의해서 추론과정 거치게 된다. Rule base에서 정의된 Fuzzy Rule은 다음과 같다.

R1 : **If** D1 is *FOFF* and D2 is *FOFF* and D3 is *FOFF* and D4 is *FOFF* **Then** output is C_5.
R2 : **If** D1 is *FOFF* and D2 is *FOFF* and D3 is *FOFF* and D4 is *TQOFF* **Then** output is C_4.
...
R17 : **If** D1 is *HOFF* and D2 is *FOFF* and D3 is *FOFF* and D4 is *FON* **Then** output is C_3.
R18 : **If** D1 is *QOFF* and D2 is *FOFF* and D3 is *FOFF* and D4 is *TQOFF* **Then** output is C_7.
...
R32 : **If** D1 is *FON* and D2 is *QOFF* and D3 is *FOFF* and D4 is *FON* **Then** output is C_8.
R33 : **If** D1 is *FON* and D2 is *FON* and D3 is *FOFF* and D4 is *FON* **Then** output is C_9.

포토다이오드에서 계측된 전압레벨 값을 퍼지 추론한 결과 값의 예시는 그림 9와 같다.

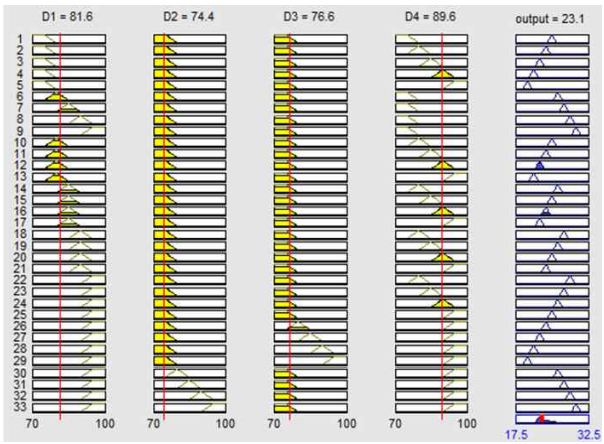


그림 9. 퍼지 추론에 의한 결과
Fig. 9. Result of Fuzzy Inference

4. 실험 결과

4.1 실험 환경

화살의 주요 성능 지표인 탄착점 집적도를 측정하기 위한 실험 환경은 그림 10 및 그림 11과 같다.

그림 10. 화살 발사대 및 슈팅 거리
Fig. 10. Arrow's Launcher and Shooting Distance

그림 11. 탄착점 측정용 프레임
Fig. 11. Frame for Measurement of Impact Point

그림 10과 같이 화살은 지면으로부터 약 1m 높이에서 발사대에 의해 발사되며, 발사대는 화살의 발사 각도를 조절할 수 있다. 발사대와 과녁 사이의 거리는 약 39m이고, 일반적인 화살의 속도는 약 275km/h이다. 그림 11의 프레임 가로, 세로 규격은 65cm x 65cm이고, 과녁으로부터 약 1m 거리에 설치된다.

4.2 화살의 성능분석

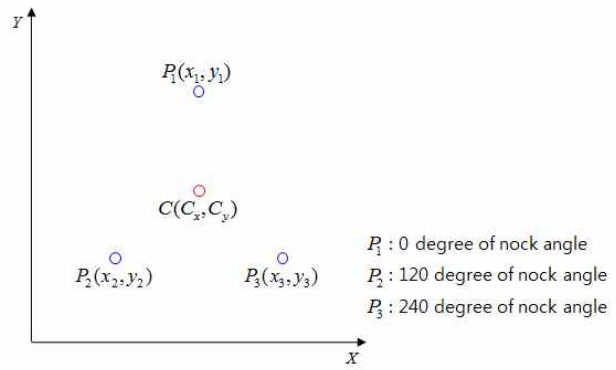


그림 12. 탄착점 집적도 분석
Fig. 12. Analysis of Impact Point's Intensity

제조공정을 거쳐 생산된 화살의 성능을 분석하기 위해서, 서로다른종류의 화살을 노크(nock) 각도를 120도씩 회전시키면서 3번씩 발사한 뒤, 각 화살의 탄착점 집적도를 비교한다. 그림 12와 같이, 동일한 화살의 노크 각도를 120도씩 회전시켜 슈팅실험을 수행하면, 3개의 서로 다른 탄착점 좌표(P_1, P_2, P_3)를 얻을 수 있다. 화살의 성능은 탄착점들의 상대적인 위치에 의해 좌우된다. 탄착점 좌표들의 중점 좌표 $C(C_x,C_y)$는 식(7)과 같고, 탄착군 집적도를 비교할 수 있는 성능 지표 J (Cost Function)는 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$P_i=(x_i,y_i)\ \text{(Impact Point of Arrow)}$$
$$C=(C_x,C_y)\ \text{(Center Point)}$$
$$C_x=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i,\ C_y=\frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n}y_i \quad (7)$$
$$J=\|P_1-C\|+\ldots+\|P_n-C\|=\sum_{i=1}^{n}\|P_i-C\| \quad (8)$$

4.3 실험 결과

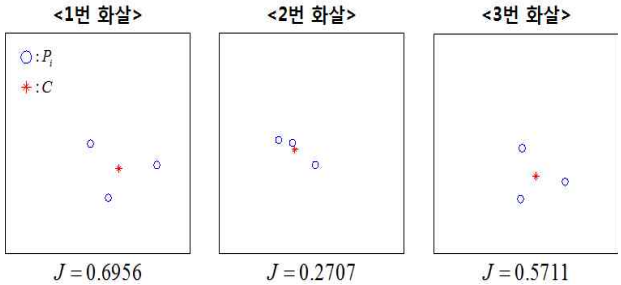


그림 13. 화살의 성능 분석
Fig. 13. Performance Analysis of Arrow

슈팅 실험에서 사용된 화살마다 제조공정변수가 서로 다르기 때문에, 노크의 각도를 120도씩 회전시키면서 얻어진 슈팅 실험 탄착점의 분포도가 화살마다 서로 다르다. 발사대에서 사용되는 활은 영점 조절이 가능하기 때문에 탄착점들의 중점 좌표(C)는 화살의 성능과는 무관하며, Cost Function 인 J의 크기가 작을수록 성능이 좋은 화살이다. 그림 13과 같이 2번 화살의 J (=0.2707)가 가장 작기 때문에, 2번 화살의 성능이 가장 우수하다.

5. 결 론

본 논문에서는 탄착점 분석을 자동화하기 위한 방법을 제안하였다. 포토다이오드어레이와 라인레이저를 이용하여 고속으로 이동하는 화살의 위치정보를 계측하고, 계측된 데이터를 퍼지추론과 도형을 닮음을 이용하여 화살의 탄착점으로 사상시켰다. 기존의 수기에 의한 분석은 정확도가 떨어지고 주기적으로 슈팅용지를 교체해야하며, 탄착점들의 관계를 수치화시키기가 힘들었다. 본 논문에서는 성능 지표 J(Cost Function)을 이용하여, 서로 다른 화살의 성능을 비교 하였다. 제안된 방법으로 인해, 탄착점들의 관계를 수치적으로 분석할 수 있으며, 분석된 결과를 화살 제조공정에 반영하여 성능이 더 우수한 화살을 제조할 수 있을 것이라고 기대한다. 향후 연구과제로는, 제안된 프레임을 여러 개 배치하여 화살의 또 다른 성능 지표인, 화살의 패러독스 현상(화살이 물고기가 헤엄치듯이 날아가는 현상)을 수치화 할 수 있는 방법을 개발하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] 백경동, 천성표, 김수대, 김성신, “레이저 스캔 카메라 보정을 위한 성능지수기반 다항식 모델,” *한국지능시스템학회 논문지*, 제21권, 제5호, pp. 555-563, 2011.

[2] 백경동, 천성표, 이인성, 김성신, “화살 탄착점 측정을 위한 레이저 스캔 카메라 파라미터 보정,” *한국생산제조시스템학회 논문집*, 제21권, 제1호, pp. 76-84, 2012.

[3] 이인성, 백경동, 김성신, “머신비전을 이용한 화살 탄착점 계측 자동화,” *한국생산제조시스템학회 춘계학술대회 논문집*, 2011.4, pp. 266-267.

[4] C. L. Smith, D. G. Li, “A Forensic Ballistics Projectile Location System,” *Security Technology, 1998. Proceedings., 32nd Annual 1998.*, pp. 184-189, 1998.

[5] S. -T. Lu, C. Chou, M. -C. Lee, Y. -P. Wu, "Electro-optical target system for position and speed measurement", *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings A*, vol. 140, no. 4, pp. 252-256, 1993.

[6] 유정원, 이한수, 정영상, 김성신, “퍼지 논리를 이용한 화살의 탄착점 측정 방법,” *한국지능시스템학회 춘계학술대회 논문집*, vol 22, no. 1, pp. 301-302, 2012.

[7] S. Guillaume, "Designing fuzzy inference systems from data: An interpretability-oriented review," *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, vol. 9, no. 3, pp. 426-443, 2001.

[8] J. -S. R. Jang, Chuen-Tsai Sun, "Neuro-fuzzy modeling and control," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 3, pp. 378-406, 1995.

[9] Lotfi A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes,", *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28-44, 1973.

[10] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990.

[11] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 2, pp. 419-435, 1990.

[12] E. H. Mamdani, S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 1975.

[13] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant,", vol. 121, no. 12, pp. 1585-1588, 1974.

[14] P. Manjunatha, A. K. Verma, A. Srividya, “Multi-Sensor Data Fusion in Cluster based Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic Method,” *Industrial and Information Systems, 2008. ICIIS 2008. IEEE.*, pp. 1-6, 2008.

[15] J. -S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system,", *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, 1993.

저 자 소 개

유정원(Jungwon Yu)
2011년 : 부산대학교 전자전기공학부(공학사)
2012년 ~ 현재 : 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : neuro fuzzy modeling and control
Phone : 010-2867-1825
E-mail : garden0312@pusan.ac.kr

이한수(Hansoo Lee)
2010년 : 부산대학교 전자전기공학부(공학사)
2011년 ~ 현재 : 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : Intelligent system, Data mining, Fuzzy
Phone : 010-6788-9372
E-mail : hansoo@pusan.ac.kr

정영상(Yeongsang Jeong)
2010년 : 경남대학교 정보통신공학과 공학사
2012년 : 경남대학교 첨단공학과 공학석사
2012년 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기공학과 박사과정

관심분야 : Digital signal Processing, Fuzzy, Recognition, Adaptive Noise Control, Soft Computing
Phone : 010-6722-6909
E-mail : dalpangi03@pusan.ac.kr

김성신(Sungshin Kim)
1986년 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
1996년 : Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학부(공학박사)
2012년 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기공학부 교수

관심분야 : 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및 진단
Phone : +82-51-510-2374
Fax : +82-51-513-0212
E-mail : sskim@pusan.ac.kr