

X-Putt : 초음파 센서 기반의 골프 퍼팅 훈련 시스템 설계와 구현

안재곤* 나대영** 임영태*** 전홍석**

X-Putt : A Golf Putting Training System based on Ultrasonic sensors

JaeGon Ahn* DaeYoung Na** YoungTae Lim*** HeungSeok Jeon**

요약

본 논문에서는 골프 퍼팅 훈련 시스템인 X-Putt를 제안한다. X-Putt는 3차원 공간상의 퍼터의 위치와 각도를 실시간으로 추적함으로써 퍼팅 스트로크를 분석한다. 이를 위하여, X-Putt는 기존의 측위 시스템이 가지는 측정 오차를 개선하여 보다 정밀한 초음파 기반의 실시간 위치 측정 시스템을 적용한다. 성능 평가 결과에 의하면, X-Putt는 3차원 공간상에서 퍼터의 위치를 $\pm 0.9\text{cm}$ 측정 오차 범위 내에서 정밀하게 측정하였다. 또한 페이스 각도는 $\pm 1.5^\circ$ 의 오차 범위를 보여준다. 추가적으로, 사용자가 X-Putt를 이용하여 손쉽게 퍼팅 훈련을 하고, 피드백 결과를 확인할 수 있도록 직관적인 인터페이스의 사용자 응용 프로그램을 구현하였다

▶ Keyword : 골프 퍼팅 훈련 시스템, 초음파 센서, 3차원 궤적 추적, IT 융합

Abstract

In this paper, we propose a new golf putting training system which we call "X-Putt". X-Putt analyzes putting strokes by measuring putter face angle and path. To do this, we improved the sonar-based localization scheme used by previous localization techniques. As a result, X-Putt can measure putter's location within the error range, $\pm 0.9\text{cm}$ and putter face angle within $\pm 1.5^\circ$. Additionally, we built an user application that has an easy-to-use interface for analyzing the strokes after training.

▶ Keyword : Golf putting training system, Ultrasonic sensor, Object trajectory, IT Convergence

• 제1저자 : 안재곤 • 교신저자 : 임영태

• 투고일 : 2010.06.17, 심사일 : 2011.03.22, 게재확정일 : 2011.04.23.

* 건국대학교 첨단응용과학과(Dept. of Advanced Applied Science, Konkuk University)

** 건국대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science, Konkuk University)

*** 건국대학교 스포츠과학부 골프지도전공(Dept. of Sports Science, Konkuk University)

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2009년도 산학연공동기술개발사업(No:00038912)의 연구수행으로 인한 결과물입니다.

I. 서론

퍼팅은 경기 중 전체 스윙 횟수의 40~50%를 차지하는 중요한 스트로크이다[1,2]. 퍼팅은 경기의 승패에 지대한 영향을 미치므로, 퍼팅 훈련은 골퍼의 경기력 향상을 위하여 매우 중요하다. 이러한 이유로, 많은 퍼팅 관련 훈련 도구가 시중에 출시되어 있다[3].

그러나 현재까지 국내에서 출시된 퍼팅 훈련 도구는 과학적이고 체계적인 퍼팅 스트로크를 위한 분석이 결여되어 있다. 예를 들면, 대부분의 퍼팅 훈련 도구가 단순히 인조잔디 매트에 홀이 설치된 간단한 도구여서, 골퍼가 퍼팅 스트로크를 한 후 퍼팅에 대한 피드백을 받기 어려운 단점이 있다.

이러한 기존 퍼팅 훈련 도구의 한계로 인하여, 골퍼는 퍼팅을 과학적인 훈련에 의해서 체득하기 보다는 감각적으로 습득하는 경향이 있다[4]. 하지만, 퍼팅이 경기를 좌우하는 만큼, 퍼팅의 과학적인 분석이 필요하다. 퍼팅 스트로크의 과학적인 분석을 위해서는 프런트 스윙과 백 스윙의 균형과 속도, 그리고 골프공이 임팩트 되는 순간의 페이스의 각도와 헤드의 임팩트 지점 등의 요소가 필요하다[5]. 이러한 퍼팅 스트로크의 요소들은 3차원 공간상에서의 퍼터의 위치를 실시간으로 측정하여 퍼터의 궤적을 추적함으로써 획득이 가능하다.

3차원 공간상의 퍼터의 궤적을 추적하기 위해서는 실시간으로 퍼터의 위치를 측정하는 기법이 필요하며, 이에 적용될 수 있는 다양한 측위 기법들이 존재한다[6-14]. 그러나 이러한 측위 기법들은 퍼팅 동작이 이루어지는 상대적으로 좁은 공간에서 퍼터의 움직임을 정밀하게 측위 하기에 적합하지 않은 수 cm~수 m의 측정 오차를 포함하고 있다. 퍼터의 위치를 측정하기 위해서는 보다 정밀한 위치 측위 기법이 필요하다. 이러한 이유로, 3차원 공간상에서 보다 정밀하게 퍼터의 위치를 파악하여 실시간으로 궤적을 추적하기 위하여 초음파를 이용한 실시간 위치 측정 시스템을 설계하였고, 이를 퍼팅 훈련 도구에 적용하였다.

본 논문에서 제안하는 퍼팅 훈련 도구를 X-Putt라고 명명한다. X-Putt는 초음파 기반의 3차원 위치 측정 기법을 탑재한 퍼팅 훈련 시스템이다. X-Putt의 하드웨어 구성은 3개의 초음파 송신부로 구성된 Triplet과 3개의 초음파 수신부로 구성된 Base Station로 이루어진다. X-Putt는 Base Station과 Triplet에 각각 장착되는 초음파 송수신부 센서를 통하여 3차원 공간에서의 퍼터의 좌표 및 궤적을 실시간으로 추적한다. 추적된 좌표 및 궤적을 통해 퍼팅 시의 페이스 각도, 프런트 스윙과 백스윙의 균형, 그리고 퍼터 페이스의 임

팩트 각도 및 지점을 실시간으로 분석하여 골퍼에게 피드백을 제공함으로써, 퍼팅 기술의 향상을 도모한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 현재까지 널리 알려진 3차원 위치 측정 기법의 장단점을 통해서 가장 적합한 위치 측정 기법에 대해서 알아본다. 3절에서는 X-Putt에 적용된 초음파 기반 위치 측정 시스템의 세부사항을 기술한다. 4절에서는 제안한 위치 측정 시스템을 탑재한 X-Putt의 하드웨어 및 소프트웨어의 설계와 구현을 각각 설명한다. 5절에서는 X-Putt에 탑재한 위치 측정 시스템의 평가를 통해 X-Putt의 성능을 검증한다. 마지막으로, 6절에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 배경

3차원 공간에서 물체의 궤적을 추적하기 위해서 실시간으로 물체의 위치를 측정하는 기법이 필요하다. 위치 측정 기법(Localization)은 3차원 공간상의 물체의 궤적을 추적하기 위한 기반이 되는 기술로서, 로보틱스, 유비쿼터스 네트워크, 및 여러 위치 기반 서비스(Location-Based Service)에서 그 중요성이 부각되고 있다.

위치 측정 기법은 측위 방식에 따라 Cell ID 방식과 삼각측량법(Triangulation)으로 크게 구분할 수 있다. Cell ID 기법은 찾고자 하는 대상이 고정된 센서가 감지하는 영역 범위 안에 있을 때, 이를 인식하여 위치를 찾는 방법이다. 그리고 삼각측량법이란 그림 1과 같이 미리 알려진 세 점의 고정된 위치로부터 측정하고자 하는 대상까지의 거리를 이용하여 찾고자 하는 대상의 위치를 찾는 방법이다.

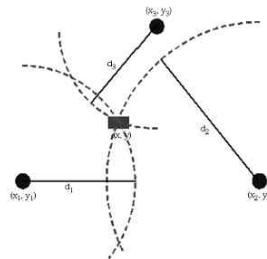


그림 1. 삼각측량법의 원리

Cell ID 기법은 사전에 위치를 알고 있는 장치가 단지 영역을 감지하는 센서로 한정되므로 경제적이고 구현이 쉽다. 그러나 센서가 감지하는 영역에서의 정확한 위치를 측정하지 않으므로 광범위한 위치 인식이 가능하다. 반면에, 삼각측량

범은 사전에 위치를 알고 있는 장치가 최소 3개 이상으로, 시스템이 다소 복잡해지나 정확한 위치 인식이 가능하다. 즉, Cell ID 기법은 Coarse-grained하며, 삼각측량법은 Fine-grained한 기법이다[6].

위치 측위 기술은 또한 사용되는 신호에 따라 표 1과 같이 크게 RF(Radio Frequency), 적외선, 그리고 초음파 기반의 측위 기술이 있다[7-9].

표 1. 신호에 따른 위치 측위 기술

	RF	적외선	초음파
대표적 기법	Radar[10]	Active Badge[11]	Active Bat[12]
측위 방식	삼각측량법	Cell ID	삼각측량법
정밀도	1~3m	Cell 크기에 따라	5~20cm
장점	- 많은 AP 인프라	- 시스템 구성이 간단하며 저렴	- 상대적으로 정확한 위치 측정
단점	- RF의 빠른 속도에 따라 상대적으로 오차가 큼	- 직사광선에서 사용 불가	- 초음파간의 간섭 발생

RF기반의 측위 기술은 전파 신호의 강도의 세기가 거리와 반비례하다는 원리를 이용한다. 대표적인 RF 기반의 측위 기술로는 마이크로소프트사의 RADAR[10]가 있다. RF 기반 기술은 현재 많이 보급 된 무선 AP 인프라를 사용할 수 있다는 장점이 있으나, RF 신호의 속도가 매우 빠르기 때문에 수 m의 오차가 발생하는 단점이 있다. 적외선 기반의 측위 기술은 미리 설치된 적외선 센서의 ID를 적외선 탐지기가 인식하여 위치를 측정한다. 대표적으로 AT&T의 Active Badge[11]가 있다. 이 기법은 비교적 시스템의 구성이 간단하나, 오차범위가 적외선 센서가 설치된 공간에 따라 유동적이며, 직사광선이 발생하는 실외공간에서 사용이 불가능하다. 마지막으로, 초음파 기반의 위치 측위 기술은 오차가 수 cm로 다른 신호 기반의 위치 측위 시스템보다 정확한 위치 측정이 가능하다. 그러나 초음파의 간섭 및 회절문제 등으로 인하여 구현이 어렵다는 단점이 있다. 대표적으로 AT&T의 Active Bat[12]이 이에 속한다.

전체적으로, 삼각측량법은 Cell ID 방식과는 달리 좌표 단위의 비교적 정밀한 위치 측정을 할 수 있으며, 초음파 센서는 RF 또는 적외선 센서보다 정교한 위치 측정이 가능하다. 그러므로 정밀한 위치 측정 시스템[12-14]은 측위 방식으로 삼각측량법을 채택하고, 센서로 초음파 센서를 이용한다.

그러나 초음파 센서 기반의 삼각측량법을 기반으로 하는 퍼팅 훈련도구를 제작하기 위해서는 두 가지 문제가 있다. 첫째, 기존 시스템은 정밀도는 수 cm의 오차를 포함한다. 정밀도의 기준은 위치 측정 기술이 응용되는 분야에 따라 다르나, 적어도 수 cm의 오차는 퍼팅 훈련 도구에 적합하지 않다. 퍼팅 훈련 도구의 제작을 위해서는 오차의 단위를 수 mm단위로 줄여야 한다. 둘째, 퍼팅의 분석을 위해서는 실시간 퍼터의 위치의 인식뿐만 아니라, 3차원 상의 각도를 측정하여야 한다. 기존 시스템은 3차원 공간에서 대상 물체의 회전각을 측정하지 않는다. 그러므로 기존의 시스템을 그대로 퍼팅 훈련 도구에 적용할 수 없다. 새로운 위치 측위 기법은 3차원 공간 상의 각도를 측정할 수 있어야 한다.

III. 초음파 기반 3차원 공간상의 위치 및 각도 측정 시스템

1. 초음파 센서의 선택과 거리의 측정

초음파 센서는 가청주파수 밖의 음파가 물체에 반사되어 돌아오는 시간(TOF: Time Of Flight)을 토대로 거리를 계산하는 센서이다. 초음파 센서는 지향각에 따라서 일반각, 고지향각, 그리고 광지향각 센서로 구분된다. 일반각은 약 60°, 고지향각은 15°, 광지향각은 150°의 측정범위를 가진다.

우리는 송수신부가 분리된 광지향각 초음파 센서인 HG-M40 시리즈 초음파 센서[15]를 사용하였다. 광지향각 초음파 센서의 150° 측정범위는 퍼터의 스윙을 충분히 감지할 수 있는 범위이다. 그림 2에서 보듯이, 퍼터에 장착된 초음파 송신부 센서가 Base Station에 장착된 초음파 수신부 센서로부터 0.5m 떨어진 거리에서의 측정 범위가 약 3.6m이고, 1m 떨어진 거리에서 약 7.4m를 측정할 수 있으므로, 퍼팅 스토로크의 크기와 상관없이 송신부의 신호를 수신부가 항상 수신할 수 있기 때문이다.

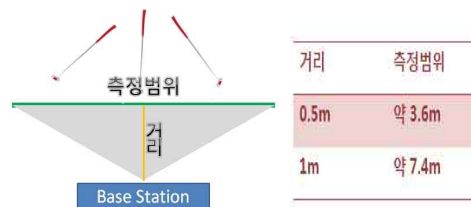


그림 2. 광지향각 초음파 센서의 측정범위

우리가 선택한 초음파 센서는 송신부에서 발생한 음파가 반사 없이 수신부에서 탐지된다. 이 센서는 센서 간의 간격이 10cm보다 가까운 거리에서 측정이 어려웠다. 이러한 점을 고려하여 약 340m/s로 알려진 초음파의 속도를 416.77m/s로 재설정하고, 계산된 거리에 10cm를 더하는 방식을 채택하였다. 이 방식을 적용하여 초음파 센서 간의 거리를 구하는 공식은 식 (1)과 같다. 식 (1)의 n 은 송신부가 신호를 발신한 후 수신부에서 감지될 때까지의 16μs마다 증가한 카운트의 횟수이다. d 는 n 에 비례하여 mm로 환산한 거리 값이다.

$$d(\text{mm}) = (n - 8) \times 16\mu\text{s} \times 416.77\text{m/s} + 10\text{cm} \dots\dots\dots (1)$$

2. 초음파 거리 측정 오류의 보정을 위한 시스템 모델 설계와 Kalman 필터의 적용

3차원 상에서의 퍼터의 각도와 좌표의 측정은 초음파 센서를 이용하여 측정된 거리를 기반으로 계산하므로, 측정된 거리 값이 정확해야 한다. 그러나 초음파의 회절, 반사 등에 의한 측정 오류가 발생한다. 또한 그림 3과 같이 각도에 따른 초음파의 전달 속도가 규칙적이지 않으므로 오류가 발생한다.

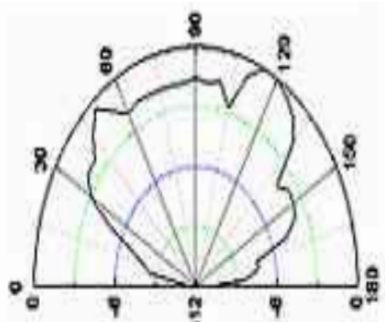


그림 3. 각도에 따라 다른 초음파의 불규칙성

오류를 포함하고 있는 초음파 거리 데이터(Raw Data)의 오류를 제거하기 위하여 Kalman 필터를 이용하여 실시간으로 값을 보정하였다. Kalman 필터를 적용하기 위한 시스템 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Ax_k + Q \dots\dots\dots (2) \\ z_k &= Hx_k + R \end{aligned}$$

식 (2)의 x 는 상태 변수로서 시스템에서 관심 있는 값이다. x 는 식 (1)로 계산된 거리를 나타내며, $x = d$ 이다. k 는 실시간 시스템에서의 시간이며, 이 시스템에서 k 는 16ms마다 갱신된다. A 는 상태전이행렬인데, 이 시스템에서는 최근

에 측정된 거리 값을 새로운 상태 예측 값으로 사용하므로, $x_{k+1} = x_k$ 이다. 그러므로 A 는 단위행렬 I 이고 시스템 오류 행렬 Q 는 영행렬이다. z_k 는 식 (1)로 측정될 실제 거리 값의 예측 값으로 역시 최근 측정값에 기반을 두기 때문에 H 는 1이다. 여기서 초음파 거리의 최대 측정 오류를 시스템이 잘 반영할 수 있도록 측정 오류 행렬 R 은 0.00666로 설정하였다. 그 이유는 초음파 수신부가 16μs간격으로 초음파의 수신을 확인하므로, 발생할 수 있는 이론상의 초음파 최대 측정 오차가 약 0.666cm(16μs×416.77m/s)이기 때문이다. 각 행렬에 의하여 얻어진 시스템 모델은 최종적으로 Kalman 필터 알고리즘[16]에 적용되었다.

그림 4는 실제 거리 30cm를 초음파 송수신부 센서를 이용하여 측정할 때, 원 데이터(raw data) 값과 Kalman 필터에 의해 보정된 측정값을 보여준다. 원 데이터의 경우 약 ±1.5cm의 오차를 포함하고 있었으나, Kalman 필터에 의해 보정된 값은 최종적으로 ±0.2cm로 오차를 줄일 수 있었다. 측정 초기, Kalman 필터는 거리에 대한 아무런 초기 정보가 없기 때문에 오차가 발생하나, 약 50회의 측정을 거친 이후에는 정확한 측정이 가능하다. 그러므로 초음파 센서의 동작 초기에 센서에 대한 Calibration이 필요하다. 본 시스템은 600회의 Calibration을 수행한다.

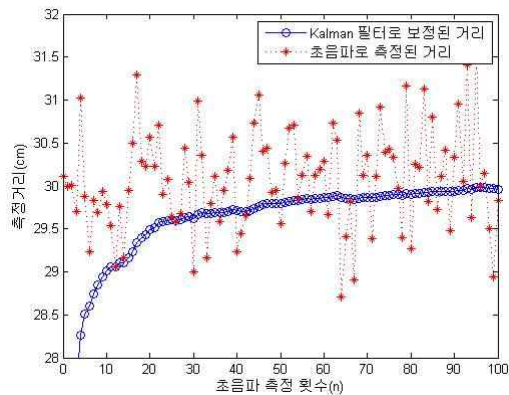


그림 4. Kalman 필터를 이용한 초음파 거리 측정 오류 보정 (센서 간격 30cm)

3. 3차원 공간상의 대상의 좌표 측정

우리는 3차원 상에서의 한 점의 좌표를 측정하기 위하여 삼각측량법을 채택하였다.

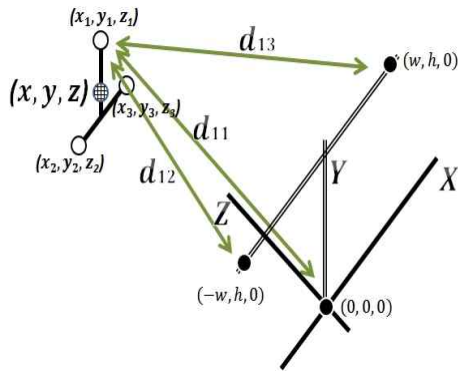


그림 5. 3차원 공간에서의 한 점의 좌표 측정

찾고자 하는 대상은 그림 5의 격자점 (x, y, z) 이다. 좌표 축 X, Y, Z 상에 고정 된 세 개의 검은 점은 위치가 사전에 알려진 초음파 수신부이며, 각 검은 점은 $(0, 0, 0)$, $(-w, h, 0)$, 그리고 $(w, h, 0)$ 의 위치에 배치한다²⁾. 세 개의 흰 점은 초음파 송신부 센서이다. 하나의 송신부에서 세 개의 수신부까지의 거리 d_1, d_2 , 그리고 d_3 는 식 (1)에 의해 측정하며, 식(3, 4, 5)를 이용하여 하나의 점 (x_1, y_1, z_1) 을 계산한다.

$$x_1 = \frac{d_1^2 - d_3^2}{4 \times w} \dots\dots\dots (3)$$

$$y_1 = \frac{d_1^2 - \frac{d_2^2}{2} - \frac{d_3^2}{2} + h^2 + w^2}{2 \times h} \dots\dots\dots (4)$$

$$z_1 = \sqrt{d_1^2 - x_1^2 + y_1^2} \dots\dots\dots (5)$$

이러한 방법으로, 나머지 두 개의 초음파 송신부에 대해서도 3차원상의 좌표 (x_2, y_2, z_2) 와 (x_3, y_3, z_3) 를 측정하여 세 개의 지점을 평균값(Low-pass Filter)으로 융합하였고, 최종적으로 대상의 좌표 (x, y, z) 로 수렴하였다.

4. 3차원 공간상의 대상의 각도 측정

3차원 상의 각도는 각 축에 따라 Yaw, Roll, Pitch각이

존재한다. 퍼터의 경우 퍼터의 헤드가 3차원 공간상의 X 축에 직교하므로 Yaw각이 필요하다. 이 Yaw각을 측정하기 위해, 그림 6과 같이 두 개의 초음파 송신부와 하나의 초음파 수신부를 통한 거리 a, b 를 사용하였다.

대상의 Yaw각을 정확히 측정하기 위해서는 측정 대상이 그림 6의 Z 축 선상에 있어야 한다. 그러나 Z 축 선상에 퍼터를 위치시키는 것은 사용자의 감각에 의존하므로 매우 어려운 일이다.

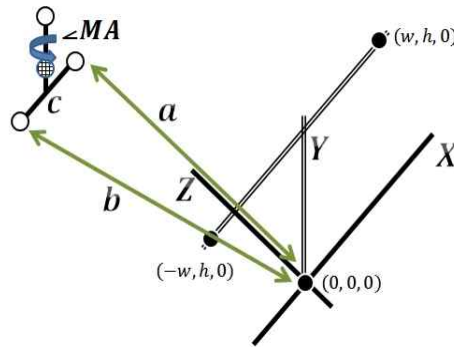


그림 6. 대상의 각도 측정

이러한 이유로, 근사각을 이용하여 실제의 각을 추정하는 방식을 사용하였다. 근사각 $\angle A$ 는 초음파 센서로 측정된 거리 a, b 와 이미 알려진 거리 c 를 제 2 코사인 법칙에 적용하여 식 (6)과 같이 계산하였다.

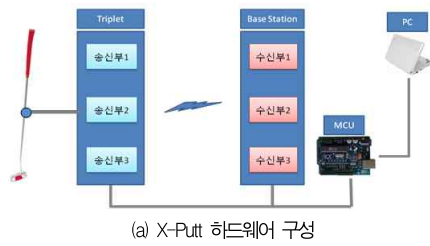
$$\angle A = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \dots\dots\dots (6)$$

근사각 $\angle A$ 로 실제의 각을 추정하기 위하여 시스템 초기 단계에서 각도의 Calibration이 필요하다. 식 (7)의 $\angle \bar{A} - \pi/2$ 는 Calibration 값이다. 여기서 $\angle \bar{A}$ 는 시스템 초기 단계에서 근사각 $\angle A$ 를 600회 측정하여 얻은 평균값이다. Calibration 값은 $\angle \bar{A}$ 와 90° 의 차이 값이다.

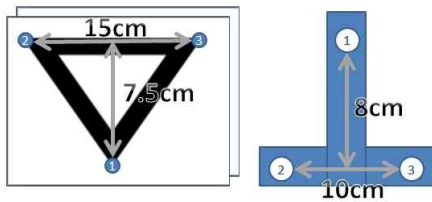
이후, 실시간으로 측정되는 근사각 $\angle A$ 를 Calibration 값으로 보정하여 식 (7)과 같이 측정각 $\angle MA$ 를 계산하였다.

$$\angle MA = \angle A - \left(\angle \bar{A} - \frac{\pi}{2}\right) \dots\dots\dots (7)$$

2) 본 시스템에서의 넓이(w)와 높이(h)는 15cm와 7.5cm 그림 7 참조.



(a) X-Putt 하드웨어 구성



(b) Base Station와 Triplet의 초음파 센서 배치

그림 7. X-Putt의 하드웨어 구성 및 초음파 센서 배치

IV. X-Putt의 설계 및 구현

1. 시스템 개요

X-Putt는 초음파를 기반으로 하는 3차원 위치 측정 기법을 탑재한 실시간 골프 퍼팅 훈련 도구이다. X-Putt의 하드웨어는 크게 Triplet, Base Station, 그리고 PC로 구성된다. 그림 7 (a)는 X-Putt의 하드웨어 구성을 나타낸다.

Triplet은 퍼터에 장착될 장비이며 송신부 초음파 센서 3개가 부착된다. Base Station은 지상에 설치되며 수신부 초음파 센서 3개가 부착된다. Base Station은 MCU(Micro Control Unit)를 포함한다. MCU는 Triplet과 Base Station에 부착된 초음파 센서를 제어하며, 초음파 센서로 측정된 거리 정보를 Serial 통신을 이용하여 PC로 전송한다. PC는 전송된 초음파 센서 간의 거리 정보를 처리하여 퍼터의 궤적을 추적하며, 최종적으로 사용자에게 퍼팅에 대한 피드백을 제공한다.

2. Base Station과 Triplet의 초음파 센서 배치

Base Station은 초음파 수신부 센서가 장착되는 부분으로 1번 센서를 가운데 배치하고, 역삼각형 모양으로 2번, 3번 센서를 배열하였다. Triplet은 퍼터에 장착되는 부분으로 송신부 초음파 센서가 장착되며, 1번을 퍼터의 샤프트와 동일선

상에 배치하고, 2, 3번 센서를 삼각형 모양으로 대칭하게 배치하였다.

Base Station에서 1번 센서는 Triplet의 2, 3번 센서와 각도를 측정하기 위한 기준점이 되므로, Base Station의 가운데 부분에 배치하였다. 각도 측정에 적합한 Triplet의 2, 3번 센서의 간격은 2, 3번 센서의 사이가 10cm이다. 이때, 최대 오차범위 $\pm 1.5^\circ$ 로 가장 정확하여 그림 7 (b) 오른쪽과 같이 배열하였다.

Base Station의 센서 간격은 초음파의 발진 특성에 따른 거리 측정 오류와 삼각측량법의 견고성을 고려하여 설계하였다. 수신부 센서 간의 간격이 지나치게 작으면, 초음파의 발진 특성에 의한 오류는 감소하지만, 작은 측정 오차가 삼각측량법에 의한 좌표 측정에 크게 영향을 미치므로 견고하지 않다. 반대로 수신부 센서 간의 간격이 크면, 초음파의 발진 특성에 의한 오류가 수신부 간격에 비례하여 증가하므로 결국은 삼각측량법에 의한 좌표 측정 정확도에 영향을 미친다. 우리는 상하좌우 매 1.5cm 간격으로 역삼각형 형태의 센서 배열 실험을 수행하였다. 그 결과 1번과 2, 3번 센서의 높이의 차이가 7.5cm이고 2번과 3번 센서의 넓이가 15cm일 때, 최대 오차범위 $\pm 0.9cm$ 로 오류가 가장 작아 그림 7 (b) 왼쪽과 같이 센서를 배열하였다.

3. MCU(Micro Control Unit)

우리는 이 시스템의 MCU를 위하여 Arduino 보드를 사용하였다. Arduino 보드는 오픈소스 하드웨어 플랫폼을 기반으로 ATmega328을 탑재하고 있으며 Processing언어에 기반한 개발 환경을 제공한다[17].

MCU 소프트웨어는 송신부와 수신부 초음파 센서를 제어한다. MCU 소프트웨어는 폴링 방식에 의해 한 번에 한 송신부 초음파 센서만 초음파를 발생하도록 한다. 동시에 16 μ s마다 타이머를 동작하여 초음파 수신부의 수신을 감시하며, 초음파 센서들의 동작을 동기화한다. MCU 소프트웨어의 최종 출력은 각 송신부 초음파 센서로부터의 수신부 초음파까지의 거리 계산에 기반이 되는 타이머 Tick의 횟수이며, 이는 PC로 Serial 통신을 통해 전송된다.

4. 사용자 응용 소프트웨어

사용자 응용 소프트웨어는 PC에서 동작하며, Java언어로 작성되었다. 이는 MCU로부터 전달받은 초음파 거리 정보를 퍼팅 피드백을 위한 정보들로 가공한다.

사용자 응용 소프트웨어는 사용자가 Base Station을 설치하고 퍼터에 Triplet을 장착한 후, MCU와 PC 사이의

Serial 통신이 이상이 없을 때 동작한다. 사용자 응용 소프트웨어는 사용자가 퍼팅 훈련을 시작하면, 향후 사용자 개입 없이 동작한다. 그리하여 사용자가 퍼팅 훈련에만 집중할 수 있도록 하였다.

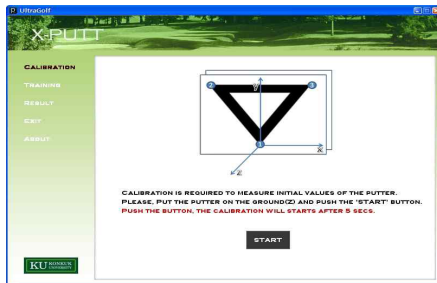


그림 8. 사용자 응용 소프트웨어 상태 다이어그램

사용자 응용 소프트웨어의 동작은 사용자가 시스템을 사용하는 상태에 따라 그림 8과 같이 Calibration, Training, Result 모드 순으로 진행된다. 그림 9는 시스템의 상태에 따른 사용자 응용 소프트웨어의 동작을 보여준다. 그림 9 (a)는



(a) Calibration 수행 장면



(b) Calibration 모드



(c) Training 모드



(d) Result 모드

그림 9. 사용자 응용 소프트웨어의 동작

사용자가 Triplet을 퍼터에 장착한 후, Base Station을 마주보고 Calibration을 진행하는 장면이다. Calibration 모드는 현재 퍼터의 한 점을 기준으로 하는 좌표축을 생성하여 퍼터 궤적 추적의 기반을 마련한다. Training 모드에서는 5회의 퍼팅 연습의 기회가 주어진다. 사용자가 5회의 퍼팅을 마치면 시스템은 Result 모드로 자동 변환된다. Result 모드에서 사용자는 그림 9 (d)와 같은 퍼팅 분석 결과를 확인할 수 있다. 사용자는 Result 모드에서 퍼팅의 대한 피드백을 각 스트로크 별로 확인하거나 종합하여 확인할 수 있다. 사용자 응용 소프트웨어는 내부적으로 그림 10과 같은 클래스를 포함한다. 클래스는 화면 처리를 위한 View 클래스와 데이터 처리를 위한 Document 클래스로 나뉜다. View 클래스에는 MainScreen, CalibrationMode, TrainingMode, 그리고 ResultMode 클래스가 존재한다. 이 클래스들은 사용자 인터페이스를 담당한다. Document 클래스로는 MCU에서 실시간으로 전송된 초음파 측정 거리 데이터를 파싱하는 PacketParser 클래스, 이를 토대로 대상의 좌표와 각도를 계산하는 RealTimeCoordAndAngleCalculator 클래스, 그리고 사용자에게 제공할 피드백 정보를 가공하는 ShotLoggerAndAnalyzer 클래스 등이 있다.

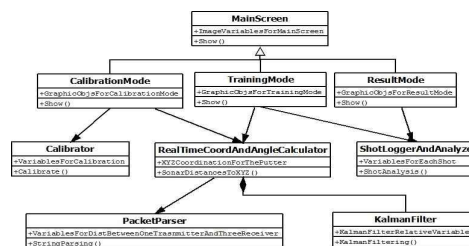


그림 10. 사용자 응용 소프트웨어 클래스 다이어그램

V. 성능 평가

3차원 공간상에서 대상 좌표의 정확도를 측정하기 위하여 Calibration을 통해 고정된 X, Y, Z축을 그림 11과 같이 설정하였다. 실험은 각 좌표축에서 0, 10, 20, 그리고 30에 해당하는 좌표에서 다른 두 축의 좌표를 0으로 고정시키고 대상의 위치 값을 20회 씩 측정하였다.

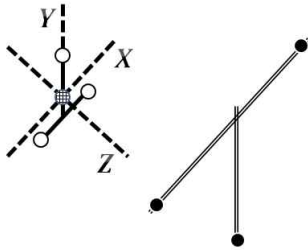
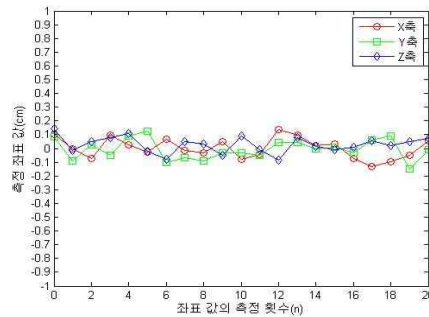


그림 11. 3차원 공간상의 X, Y, Z좌표 축 설정 (단위:cm)

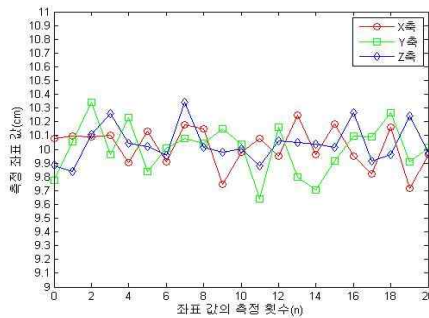
그림 12는 위치 측정 실험을 그래프로 나타낸 결과이다. 그림 12 (a)는 실제 측정하는 대상이 원점에 있을 때이며, (b)는 실제 대상이 (10,0,0), (0,10,0), (0,0,10) 좌표에 위치할 때이다. 그리고 (c)와 (d)는 실제 대상이 각각 (20,0,0), (0,20,0), (0,0,20)일 때와 (30,0,0), (0,30,0), (0,0,30)일 때의 결과이다.

위치 측정값의 오차는 측정하고자 하는 대상이 원점에서 멀어지면 멀어질수록 커진다. 그림 12 (a)와 같이 대상이 좌표축 원점에 위치할 때 시스템의 최대 측정 오차는 ±0.2cm이다. 그러나 그림 12 (b)(c)(d)와 같이 대상이 각 좌표축 원점에서 10cm, 20cm, 30cm로 멀어질 때의 최대 측정 오차는 ±0.4cm, ±0.6cm, ±0.9cm로 점점 증가한다.

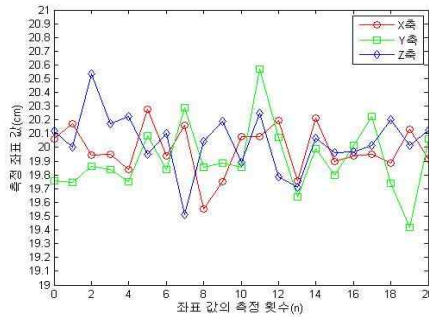
퍼팅 동작을 경험적으로 분석한 결과, 보통 퍼터의 움직임은 원점을 기준으로 X축이 약 ±30cm, Y축이 약 ±10cm, 그리고 Z축이 약 ±5cm이다. 그러므로 원점에서 대상이 각 축을 따라 30cm 범위 안에 분포할 경우, 최대 ±0.9cm의 오차를 보이는 그림 12 (d)의 실험결과는 X-Putt에 적용된 위치 측정 시스템이 퍼팅 훈련 도구의 구현을 위해 적합한 성능을 가지고 있음을 보여준다.



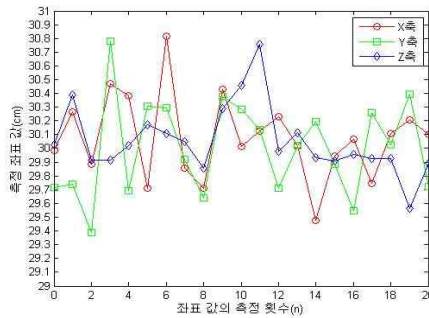
(a) 실제 원점에서의 좌표 측정



(b) 실제 (10,0,0), (0,10,0), (0,0,10)일 때, 좌표 측정



(c) 실제 (20,0,0), (0,20,0), (0,0,20)일 때, 좌표 측정



(d) 실제 (30,0,0), (0,30,0), (0,0,30)일 때, 좌표 측정

그림 12. 3차원 공간상의 X축, Y축, Z축에서 대상 좌표 측정

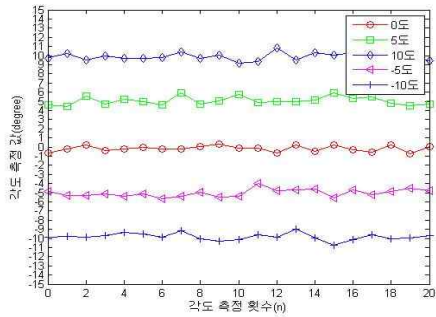


그림 13. 퍼터의 각도 측정

우리는 또한 3차원 상 측정 대상의 각도(Yaw각)를 측정하였다. 실험에 대한 각도의 범위는 골퍼가 퍼팅 시 퍼터 페이스의 각도가 경험적으로 10° 를 넘지 않음을 참조하여 설정하였다. 각도의 측정 실험은 퍼터를 좌표축 상의 원점에 위치한 후 -10° 에서 10° 까지 5° 간격으로 퍼터의 페이스를 비틀며 측정하였다. 그림 13은 이에 대한 실험결과를 보여준다. 실험결과는 어느 각도에서나 최대 오차 $\pm 1.5^\circ$ 의 정확성을 보여준다.

VI. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 골퍼의 퍼팅 능력의 향상을 위하여 퍼팅 스트로크의 과학적 분석을 도입한 실시간 훈련 시스템인 X-Putt를 제안하였다. X-Putt는 기존의 측위 시스템이 가지는 수 cm의 측정 오차를 최대 $\pm 0.9\text{cm}$ 로 개선한 초음파 기반의 위치 측정 기법을 적용한다. X-Putt는 이를 기반으로 실시간으로 퍼팅 스트로크를 분석한다. 우리는 퍼팅 분석 결과를 사용자에게 원활히 전달하기 위하여 직관적인 인터페이스를 가지는 소프트웨어를 설계하고 구현하였다.

X-Putt는 다양한 퍼팅 환경에서의 초보자, 숙련자, 그리고 골프 선수 그룹간의 비교분석을 위한 도구로 사용될 것이다. 즉, 사용자 그룹 간에서 어떠한 요소가 퍼팅 능력에 영향을 미치는가에 대한 분석을 진행 할 것이다.

향후, X-Putt의 성능 향상을 위하여 두 가지 사항을 개선할 것이다. 첫째, 현재 퍼터에 장착되는 Triplet이 Base Station에 유선으로 연결되어 퍼팅 연습에 방해가 될 수 있는 요소가 있다. 이를 개선하기 위하여 무선 기반의 센서 동기화 기법을 연구 할 것이다. 둘째, 사용자가 X-Putt를 사용하기 위해서는 노트북 컴퓨터가 필요하다. 이는 X-Putt를 이 용함에 있어 제약 조건이 될 수 있다. 이를 해결하기 위하여,

현재 스마트폰이 대중화되고 있는 추세에 따라 PC에서 동작하는 사용자 응용 소프트웨어를 스마트폰 응용 소프트웨어로 제작하여 X-Putt의 사용성을 확장할 것이다.

참고문헌

- [1] R. G. Gwyn, and C. E. Patch, "Comparing two putting styles for putting accuracy", *Perceptual and Motor Skills*, vol. 76, no. 2, pp. 387-390, 1993.
- [2] D. Delay, V. Nougier, J. P. Orliaguet, and Y. Coello, "Moment Control Golf Putting", *Human Movement Science*, vol. 16, no. 5, pp. 597-619, 1997.
- [3] C. B. Seo, "Leisure Industry Year Guide 2010", KoLe, 2010.
- [4] H. J. Lee, "No Three Putt", DongHwa, 2003.
- [5] Tahara Hiroshi, "Miracle Putt", Korea.com, 2007.
- [6] H. S. Ahn, J. Y. Lee, W. P. Yu, K. S. Han, "Indoor Localization Technique for Intelligent Robotic Space", *ETRI*, vol. 22, no. 2, pp. 48-67, 2007.
- [7] Y. S. Cho, S. Y. Cho, B. D. Kim, S. H. Lee, J. C. Kim, W. S. Choi, "Technical Trend of Indoor/Outdoor Seamless Positioning", *ETRI*, vol. 22, no. 3, pp. 20-28, 2007.
- [8] S. Bhatti, and J. Xu, "Survey of Target Tracking Protocols Using Wireless Sensor Network," In *proceedings of International Conference on Wireless and Mobile Communications*, pp. 110-115, 2009.
- [9] G. Mao, B. Fidan, and B. D. O. Anderson, "Wireless Sensor Network Localization Techniques", *Computer Networks*, vol. 51, no. 10, pp. 2529-2553, 2007.
- [10] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System", In *Proceedings of IEEE Infocom conference on Computer Commun*, vol. 2, pp. 775-784, 2000.
- [11] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge Location System", *ACM Transaction on Information Systems*, vol. 10, no. 1,

pp 91-102, 1992.

[12] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggle, A. Ward, and A. Hopper, "Implementing a Sentient Computing System", IEEE Computer Magazine, vol. 34, no. 8, pp.50-56, 2001.

[13] iGS-U, <http://www.ninety.co.kr/>

[14] D. H. Lee, S. Y. Lee, K. S. Yoon, M. H. Lee, "USAT(Ultrasonic Satellite System) for the Autonomous Mobile Robots Localization", Journal of Institute of Control, Robotics, and Systems, vol 13, no. 10, pp. 956-961, 2007.

[15] Ultrasonic Sensor, <http://www.hagisonic.com/>

[16] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", In SIGGRAPH 2001, Course 8, 2001.

[17] Arduino, <http://www.arduino.cc/>



임영태
 1999: Ball State University MS.
 2002: University of Illinois at Urbana-Champaign Ph.D.
 2003 - 현재: 건국대학교 스포츠과학부 골프지도전공 교수.
 관심분야: 운동역학, 골프역학
 Email : ytlim@kku.ac.kr



진흥석
 2001: 홍익대학교 전자계산학과 공학박사.
 2007 - 2008 : University of IOWA 컴퓨터과학과 객원 교수.
 2002 - 현재 : 건국대학교 컴퓨터공학과 교수.
 관심분야: 임베디드 시스템, 로보틱스
 Email : hsjeon@kku.ac.kr

저자소개



안재곤
 2009: 건국대학교 컴퓨터응용과학부 공학사.
 2011: 건국대학교 첨단응용과학과 이학석사.
 관심분야: 로보틱스, 센서 응용, SLAM
 Email : pang2zero@kku.ac.kr



나대영
 2006: 건국대학교 컴퓨터응용과학부 공학사.
 2010: 건국대학교 첨단응용과학과 이학석사.
 현재: 건국대학교 컴퓨터공학과 박사과정.
 관심분야: 로보틱스, 센서 응용, SLAM
 Email : sorinara@kku.ac.kr