

영상 신호 처리를 이용한 풍향센서의 진북맞추기

A Technique for Alignment to True North Using Image Processing

이 정 완* 남 윤 수** 유 능 수***
Lee, Jeong-Wan Nam, Yoon-Su Yoo, Neung-Soo

Abstract

A technique for alignment to true north is presented, based on synchronized measurements of vision image by a camera and output voltage of wind direction sensor. The true wind direction is evaluated by means of image processing techniques with least square sense, and then evaluated true value is compared with measured output voltage of the sensor. The proposed technique is applied to real meteorological tower in Daekwanryung test site. In addition, some uncertainty analysis of this method is presented.

키워드 : 풍향 측정, 진북맞추기, 영상 신호 처리, 풍향센서 캘리브레이션
Keywords : *wind direction measurement, alignment to true north, image processing, wind direction sensor calibration*

1. 서론

풍력 자원의 정확한 측정은, 특정한 site의 풍력 자원에 대한 정확한 평가와 풍력 에너지 활용에 관한 올바른 연구를 위하여, 매우 중요하다. 그 중에서 풍향 센서의 오차는 site calibration시 기준위치와 풍력 발전기의 설치 위치 사이의 풍력 에너지의 보정 관계를 계산할 때 심각한 오차를 유발할 수 있다 [2,3,4,5].

일반적으로 풍향 센서의 측정된 값과 실제 풍향간의 오차는 크게 다음의 두가지 요인에 의하여

발생한다. 첫째 요인은 풍향센서 내부의 포텐쇼메터의 비선형성이나 불확실성에 의한 오차이고 둘째 요인은 풍향 계측 타워를 설치할 때 발생하는 진북 방향과의 어긋남에 의한 오차이다. 첫 번째 요인은 실험실 내에서의 센서 calibration을 통하여 허용하는 오차 범위 내에서 해결할 수 있는데 반하여, 두 번째의 요인은 풍향 계측 타워의 설치시 정확하게 진북 방향과 풍향센서의 북쪽 방향을 맞추어 설치해야만 해결할 수 있는 문제이다.

한편, 풍향 계측 타워의 설치할 때 풍향센서 북쪽 방향과 진북을 정확히 일치시키는 것은 경우에 따라 쉽지 않다. 특히 높이가 높은 풍향 계측 타워를 설치할 때는 그 어려움이 더욱 크다. 풍향 계측 타워의 설치, 먼저 땅에서 타워의 부분 요소들을 조립하여 하나의 긴 타워를 만든 다음, 크레인을 사용해서 땅으로부터 끌어올리는 과정을 통하여 이루어지는데, 땅에서 정확하게 진북을 맞추어 놓더라도 끌어 올리는 설치 과정에서 진북과의 어긋

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수, 공학박사
** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 부교수, 공학박사
*** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수, 공학박사

남이 발생하게 된다. 또한, 높은 풍황 계측타워의 경우 계측 타워 축의 비틀림이 발생 할 수 있으며, 이로 인하여 진북으로부터의 어긋남이 발생한다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 풍향센서의 진북 으로부터의 어긋남의 문제를 해결하기 위하여, 카메라를 통한 풍향 센서의 영상을 이용하여 풍향 센서의 실제 방향을 측정하고, 이와 동시에 센서의 출력 전압 값을 비교하여 진북 방향과 어긋남을 보정하였다. 영상 신호는 segmentation 기법을 사용하여 풍향센서의 날개 부분만을 분리하였으며, 이 분리된 영상신호에 최소 차차 자승법 (least square error method)을 적용하여 각도를 계산하였다. 제안된 방법에 대하여 실제 적용할 때 발생하는 성분 오차에 관한 불확실성 해석을 하였으며, 실제로 대관령 실증 연구 단지의 풍황 측정 타워에 적용하여 실험을 수행하고 그 타당성을 확인하였다.

2. 실험장치의 구성

카메라를 사용한 진북 맞추기 기법을 대관령 실 증 연구 단지에 적용한 전체적인 시스템 구성도는 그림 1과 같다.

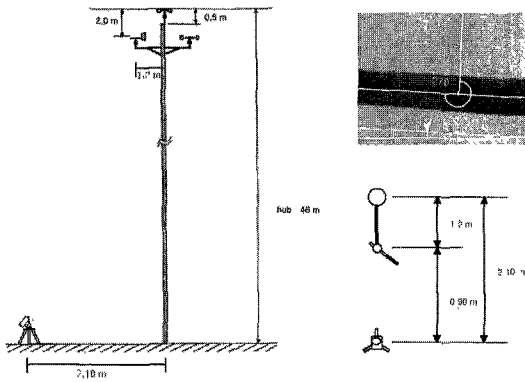


그림 1 실험장치의 구성

이 기법의 기본적인 원리는 어떤 특정한 시간에 풍향센서 날개의 회전 방향을 카메라를 통하여 측정하여 센서의 실제의 방향값, θ_{true} 를 계산하고 이와 동시에 센서의 출력 전압 값을 측정하여 센서의 측정 방향 값, $\theta_{measured}$ 를 구한 다음 θ_{true}

와 $\theta_{measured}$ 를 비교하여 진북과의 어긋난 정도를 구하는 것이다.

이상적으로, 카메라의 (x, y) 위치는 풍향계의 위치와 z 방향으로 일직선상에 놓여야 한다. 그러나, 실제 적용을 할 때 풍황 계측 타워에 부착된 다른 주변 장치들로 인한 장애물 때문에 이상적인 위치에서는 카메라가 피사체를 잡을 수 없는 문제가 발생하였다. 이러한 문제로 인하여 실제 적용에서는 카메라를 풍향센서의 수직 위치로부터 0.9 미터의 편차를 두고 설치하였다. 한편, 설치된 카메라의 z 방향으로의 진북에 대한 절대적인 회전 위치를 결정해야 하는 데, 이를 위하여 GPS를 사용하여 진북 방향을 측정하였으며, Fig. 1의 우측 상단부의 그림이 카메라의 진북에 대한 절대적인 회전 위치를 표시한 것이다. 실험에 사용된 카메라는 SONY 캠코더 겸용 디지털 카메라를 사용하였으며, 실험에서는 카메라의 최대 줌인 20배줌과 640 x 480 pixel 모드로 촬영하였다.

실험에 적용된 풍향 센서는 NRG #220P이며 센서의 사양은 Table 1과 같다. $\theta_{measured}$ 의 측정은 풍향 센서의 출력 전압을 Tektronics TS220 디지털 오실로스코프를 통하여 측정하였으며, 앞에서 언급한 카메라의 촬영 순간과 출력 전압의 측정의 동기는 디지털 오실로스코프의 RUN/STOP 기능을 사용하여 동기 시켰다.

표 1. NRG #220P 풍향 센서의 사양

Output Signal	DC voltage from a conductive plastic potentiometer
Resistance	10K Ohm (+/- 20%)
Deadband	8 degrees
Nonlinearity	1.0% maximum(0.5% typical)
Excitation Voltage	1 to 15VDC
Sensitivity	Approximately 1 m/s

3. 영상 신호 처리를 통한 θ_{true} 의 결정

영상 신호는 Fig. 2에 나타난 과정을 통하여 풍

향 센서 날개의 실제 각도, θ_{true} 이 계산되었다.

그림 2 (a)는 실험을 통해 얻은 원래의 영상의 한 예이다. 대관령 실증 연구단지의 풍향 계측 타워는 높이가 높기 때문에 카메라의 줌을 최대로 하였음에도 불구하고 센서의 날개 부분이 차지하는 영역은 전체 사진의 영역에서 봤을 때 작은 부분을 차지하고 있다. 전체적인 처리과정은, 먼저 원래의 영상을 풍향센서의 날개부분만으로 영상 처리기법을 통하여 분리 (segmentation)한다 그 다음, 분리된 영역만의 (x, y) 데이터 값을 기초로 최소 오차 자승법을 사용하여 1차 함수의 기울기를 구하고, 이를 바탕으로 진북으로부터의 각도를 결정한다 이 과정은 MATLAB Image processing Tool Box의 함수를 사용하여 처리하였다.

전체적인 처리는 다음과 같은 세부 단계를 통하여 이루어졌다. 첫 번째 단계에서는, 효율적인 segmentation을 위하여 원래의 영상을 풍향센서를 포함하는 적절한 영역으로 자른 다음, 센서의 원형 영역은 마스킹하여 제거 하였다 (그림 2(b)). 두 번째로 영상 신호를 threshold를 사용하여 흑과 백의 동적 범위를 더 넓혔다 (그림 2(c)). 세 번째 단계에서는, 영상의 경계 곡선을 (그림 2(d))을 구하고 이를 통하여 segment 들을 선정하였으며, 네 번째 단계에서는 선정된 segment 중에서 경계를 걸치는 segment를 제거하여 원하는 센서의 날개 부분에 대한 segment만을 선정하였다 (그림 2(e)). 그리고 마지막 단계에서는 segment된 값을 바탕으로 센서 날개의 기울기를 최소 오차 자승법으로 구했다 (그림 2(f)).



e) Segmented Image f) Least Square Straight Line

그림 2. Procedure of Image Data Analysis

4. 불확실성 해석

제안된 기법으로 측정하였을 때, 발생할 수 있는 불확실성에 대하여 해석하였다. 이 해석에서 고려한 불확실성의 요인은, 카메라의 설치 위치에 의한 오차에 의한 것과 카메라 분해능에 의한 것이다.

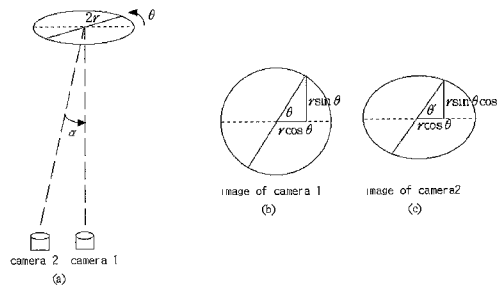
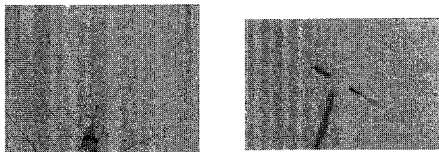
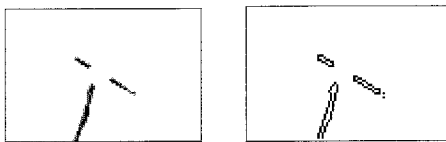


그림 3. 다른 위치의 카메라에 의한 영상



a) Original Image b) Masked and Cut Image



c) Rescaled Image d) Edge Selected Image

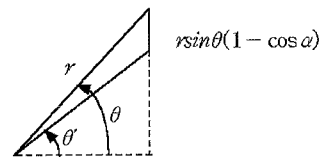


그림 4. 각도의 불확실성 양

4.1 카메라 설치 위치 오차에 의한 불확실성

이상적인 카메라 위치는 풍향계의 (x, y) 위치로부터 정확하게 수직방향에 놓이는 것이다. 그러나 풍향 계측 타워에는 다른 용도의 센서들이나

주변 장치들이 설치되어 있기 때문에 정확한 수직 방향의 위치에서 풍향계의 날개를 포착하지 못할 수 있다. 따라서 불가피하게 풍향 센서의 수직방향으로부터 벗어나게 카메라를 설치하고 측정하게 된다. 이러한 카메라 설치 위치에 의한 측정의 불확실성을 다음과 같이 해석하였다.

만약 이상적인 위치 (그림 3의 camera 1)에서 각도 θ 만큼 기울어진 길이 $2r$ 의 선분을 촬영했을 경우 영상은 그림 3(b)와 같고, 카메라의 위치가 이상적인 위치에서 a 만큼 변화한 위치 (그림 3의 camera 2)에서 촬영되는 영상은 그림 3 (c)와 같다 Fig. 4는 두 각도 θ 와 θ' 의 차를 기하학적으로 표시한 것이다. 이 각도의 차가 카메라 위치에 의한 불확실성의 양을 의미한다.

그림 4를 살펴보면 두 각도 θ 와 θ' 간의 차 e_1 은 다음과 같은 부등식 관계를 갖게 되고,

$$\begin{aligned} \sin(\theta - \theta') &\leq \frac{r \sin \theta (1 - \cos \alpha)}{r} \\ &= \sin \theta (1 - \cos \alpha), 0 \leq \theta \leq \pi/2 \end{aligned}$$

$$e_1 = \theta - \theta' \leq \sin^{-1}[\sin \theta (1 - \cos \alpha)], 0 \leq \theta \leq \pi/2 \quad (1)$$

카메라 위치에 의한 불확실성에 의한 최대오차에 해당하는 e_1 의 최대값은 θ 가 90도 일 때이며 그 값은 다음과 같다.

$$e_{1\max} \leq \sin^{-1}(1 - \cos \alpha), 0 \leq \alpha \leq \pi/2 \quad (2)$$

4.2 카메라 영상의 분해능에 의한 불확실성

카메라의 촬영 분해능의 정밀도에 따라, 얻을 수 있는 카메라의 센서 날개의 각도 정밀도가 결정된다. 즉, 카메라의 촬영 분해능의 한계는 θ_{true} 의 계산에 오차를 유발하는 불확실성으로 작용한다. 이 절에서는 이러한 불확실성에 대하여 해석하였다.

카메라로 풍향 센서의 날개를 촬영했을 때 날개의 길이가 차지하는 픽셀의 수가 N 개라 한다면, 촬영된 영상이 나타낼 수 있는 각도는 Fig. 5와 같다. Fig. 5를 자세히 살펴보면 $N \times N$ pixel 포맷의 카메라의 영상에 표현할 수 있는 각도의 분해능은

근사적으로 다음과 같게 되고,

$$\theta_{resolution} \approx \tan^{-1}\left(\frac{1}{N}\right) \quad (3)$$

이로부터, 카메라 분해능의 정도에 의한 불확실성 (e_2)의 최대 크기는 다음과 같다

$$e_{2\max} = \theta_{resolution} \approx \tan^{-1}\left(\frac{1}{N}\right) \quad (4)$$

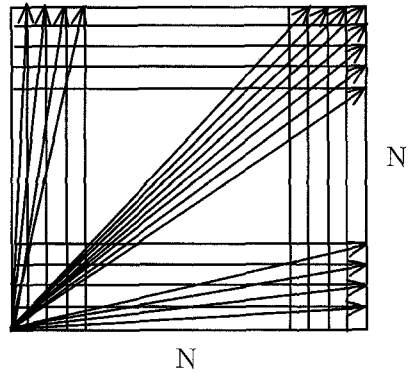


그림 5 $N \times N$ 픽셀 포맷 촬영시 가능한 각도

5. 실험 결과

제안된 기법을 대관령 풍력 실증 연구 단지의 풍향 계측 타워에 대하여 적용하였다. 대관령 풍력 실증 연구 단지에 설치된 풍향 측정 타워는 높이가 46 미터이며, 타워에는 5개의 풍속센서와 2개의 풍향센서, 온도센서, 압력센서, 복사열 센서가 설치되었다. 본 실험에서는 타워의 가장 꼭대기에 설치된 풍향센서에 대하여 적용하였다. 카메라의 위치는 풍향센서의 수직 위치로부터 0.9 미터 떨어진 지점에 설치되었으며, 사진 촬영은 640×380 픽셀의 포맷으로 총 38회의 시험을 하였다. 촬영된 영상 중 풍향 센서의 날개부분이 차지하는 영역은 43×43 pixel의 분해능으로 측정되었다. 3장의 해석 방법을 통하여 구한 측정의 불확실성의 양은 표 2와 같다. Table 2에서 보듯이 카메라 위치에 의한 불확실성은 거의 무시할 수 있는 수준이지만, 카메라 분해능에 의한 불확실성은 상대적으로 크다. 이 크기는 좀더 분해능이 좋은 카메라를 사용

하면 줄일 수 있다.

Table 2. 실험의 불확실성 결과

카메라 위치에 의한 불확실성, e_{1max}	0.011 degree
카메라 분해능에 의한 불확실성, e_{2max}	1.33 degrees

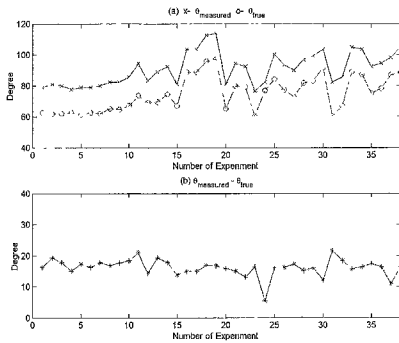


그림 6 θ_{true} 와 $\theta_{measured}$ 의 실험 결과

그림 6 (a)는 38회의 시험에 대하여 계산된 θ_{true} 값과 측정된 $\theta_{measured}$ 을 그린 그림이고, 그림 6 (b)는 $\theta_{measured} - \theta_{true}$ 의 값을 그린 그림이다 그림에서 보듯이 θ_{true} 값과 $\theta_{measured}$ 값 사이에 특정한 오프셋을 두고 잘 따라가는 것을 볼 수 있다. 표 3은 $\theta_{measured} - \theta_{true}$ 의 통계 처리 결과이다

표 3. 실험 결과에 대한 통계적 처리 결과

$\theta_{measured} - \theta_{true}$ 의 평균	16.14 degree
$\theta_{measured} - \theta_{true}$ 의 표준편차	2.129 degrees

한편, 측정할 때 풍향 센서의 출력전압에는 약 2.4 degrees 크기의 신호 잡음이 내재되어 있었다. 통계 결과중 표준편차의 주된 요인은 센서의 출력 전압에 포함된 신호잡음의 영향으로 생각된다. 통계적 처리 결과와 불확실성에 의한 오차 해석 결과를 고려하면, 전체적으로 설치된 풍향센서는, 68%의 신뢰수준 한계에서 진북으로부터 16.14 degrees \pm 3.46 degrees 어긋나 있음을 볼 수 있다. 만약 카메라의 분해능을 향상시키고 센서 출력 전압에 대한 신호 잡음의 문제를 필터링 기법을 통하여 해결한다면, 진북으로부터 어긋남에 대한 신뢰 수준에서의 오차 범위를 줄일 수 있을 것으로 추측된다.

6. 결론

본 논문에서는 카메라를 사용하여 풍황 계측 타워에 설치된 풍향 센서의 진북으로부터의 어긋난 정도를 구하는 기법을 제안하였고, 대관령 실증 연구 단지의 풍황 계측 타워에 적용하여 그 효율성을 확인하였다. 이와 더불어, 측정에서의 불확실성들에 대한 정량적 해석을 수행하였다. 본 논문의 연구 결과는 비교적 쉽게 풍향센서의 진북으로부터의 어긋난 정도를 구할 수 있기 때문에 실제 풍황 계측 타워에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 에너지관리공단의 풍력실증연구 지원연구비로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다

참고 문헌

- [1] "Measurement Systems, Application and Design", Ernest O. Doebelin, McGraw-Hill International Edition, 1989
- [2] "Field Calibration of Cup Anemometers", L. Kristensen, G. Jensen, A. Hansen, and P Kirkegaard, Riso National Laboratory, Denmark, 2001

- [3] "Wind Measurement, Issue 17.5.200", Ammonit, 2000
- [4] IEC61400-1, "Wind Turbine Generator Systems Part I, Safty Requirement", Second Edition, 1999
- [5] IEC61400-12, "Wind Turbine Generator Systems Part I2, Wind Turbine Power Performance Testing", First Edition, 1998