

Dual compasses를 이용한 스프레더의 자세 제어

Spreader Pose Control Using Dual-electric Compasses

한순신, 정희석, 이장명

SunSin Han, HeeSeok Jeong and JangMyung Lee

부산대학교 지능로봇실험실, <http://robotics.ee.pusan.ac.kr>

Abstract - A spreader pose control system using dual-electric compasses has been implemented by measuring the skew angle of the spreader with dual-electric compasses. In the conventional spreader pose measurement, CCD cameras, laser sensors or tilt sensors are mostly used. However those sensors are not only sensitive to the weather and disturbances but also expensive to build the system. To overcome the shortcomings, an inexpensive and efficient system to control the spreader pose has been implemented using the dual-magnetic compasses. Since the spreader iron-structures are noise sources to the magnetic compass, it is not considered to use the magnetic compass to measure the orientation of the spreader. An algorithm to eliminate the interferences of metal structures to the dual compasses has been developed in this paper. The 10:1 reduction model of a spreader control system is implemented and the control performance is demonstrated to show the effectiveness of the dual-magnetic compasses proposed in this research.

Key Words : Magnetic compass, Dual-compass, Electronic compass, Spreader, Skew-angle

1. Introduction

세계 주요 항만들은 인력에 의한 하역방식에서 벗어나 자동화 항만을 개발하고 있다. 특히, 크레인 작업은 선박의 정박시간에 결정적인 영향을 미친다. 컨테이너를 정확하게 적재 혹은 양하하기 위해서는 스프레더의 자세 측정이 매우 중요하다. 현재 운용되고 있는 자동화 항만의 스프레더 자세 측정 방법은 CCD카메라, 레이저 및 기울기 센서를 이용하는 방법이 주를 이룬다[1,2]. 하지만, CCD카메라는 프로그램 수행에 많은 시간이 필요하고 기후 변화에 취약하다. 레이저 센서는 고가이며 정밀한 skew-angle의 측정시 사각이 존재한다. 본 논문에서는 스프레더와 같은 철 구조물로 인한 자기장의 변화에 강인한 dual-compass를 개발하고 스프레더의 정밀한 자세제어 방법을 제안한다[3]. 2절 및 3절에서는 컴퍼스의 기본원리를 4절에서는 본 논문에서 제안하는 dual compass의 원리를 5절에서는 실험결과를 분석하고 6절에서 결론을 맺으며 향후 연구 방향을 제시한다.

2. Compass calibration

Compass는 지구자기장 vector를 측정하여 절대방위를 지시한다. 그러나 외부 외란과 compass 자체 오차로 인하여 기본적으로 3가지의 보정을 필요로 하며 다음과 같다.

2.1 zero-offset 보정

Compass의 출력 offset은 소자 자체의 offset과 신호의 증폭에 의해 발생한다. 대한 보정은 다음과 같이 행해진다.

$$V_{offset} = (V_{x,y,max} - V_{x,y,min})/2 \quad (1)$$

이 값은 외란이 존재하지 않고 소자의 오차가 없을 경우 0이 되어야 한다(그림 1 참조).

저자 소개

- * 한순신 :釜山大學 電子學科 碩士課程
- ** 정희석 :釜山大學 電子學科 博士課程
- *** 이장명 :釜山大學 電子學科 助教授 · 工博

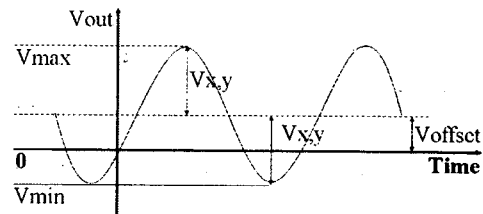


그림 1. 출력 오프셋 보정

2.2 소자출력 감도차이 보정

소자의 감도에 의한 편차와 증폭기의 대한 편차로 발생하 는 오차를 Scale factor를 사용하여 다음과 같이 구해진다.

$$S_r = \frac{V_{y,max} - V_{y,min}}{V_{x,max} - V_{x,min}} \quad (2)$$

2.3 비 직교 오차 보정

센서 자체 오차로 최대 2°의 오차가 발생할 수 있다. V_y 는 $V_{max} \cdot \sin(\alpha + \beta)$ 이고, V_x 가 $V_{max} \cdot \cos\alpha$ 이다. V_y 와 V_x 부터 α 와 β 를 구하면, 보정된 y 축 방향 출력은 다음과 같이 구해진다.

$$V_{y,corrected} = \frac{V_y}{\cos\beta} - V_x \cdot \tan\beta \quad (3)$$

3. Interference Compensation

Compass를 스프레더에 사용하면 스프레더 자체가 자성체 이므로 스프레더의 외란에 의하여 정확한 방위각을 측정할 수 없다. 그러나 One-turn rotation 기법과 180°의 위상차로 설치된 dual-compass를 사용함으로써 인하여 이를 극복할 수 있음을 보여준다.

3.1 Dual compass calibration

Dual-compass를 스프레더에 장착 후 360°회전을 하게 되면 compass의 출력은 그림 3과 같이 나타난다. 이를 보정

하여 원의 중심을 좌표축의 중심으로 이동시키고 같은 크기로 맞추어주어야 한다.

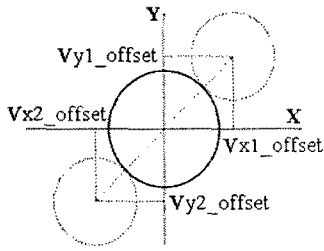


그림 3. 철 구조물에 의한 자화원 변화

두 compass의 출력 크기의 동일화를 위한 scale vector는 식(4)을 이용하여 구할 수 있다.

$$V_r = |V_{max} - V_{offset}| \quad (4a)$$

$$V_{sf} = \frac{V_{1r}}{V_{2r}} \quad (4b)$$

보정된 최종 출력은 다음과 같다.

$$V_{x1corrected} = (V_{y1} - V_{y1offset}) \cdot Sv_{y1} \quad (5a)$$

$$V_{y1corrected} = (V_{y1} - V_{y1offset}) \cdot Sv_{y1} \quad (5b)$$

$$V_{x2corrected} = (V_{x2} - V_{x2offset}) \cdot V_{2sf} \quad (5c)$$

$$V_{y2corrected} = (V_{y1} - V_{y2offset}) \cdot Sv_{y2} \cdot V_{2sf} \quad (5d)$$

위의 과정으로 스프레더 외란에 의해 이동된 compass의 자화원을 1회전 보정법을 통해 중심으로 이동시킬 수 있다.

3.2 Compensation of high frequency noises

Compass가 skew angle을 측정함에 있어 스프레더 이외에 컨테이너 및 AGV와 같은 외란 요소들이 작용할 수 있다.

이 장에서는 이와 같은 동적 외란에 대하여 predictive calibration algorithm과 compass1과 compass2의 변화량을 이용한 보정을 제안한다. 그림 4는 동적 외란의 자기 간섭과 형태를 나타내었다. 그림 4에서 θ_n 는 compass의 angle과 reference의 angle을 나타내고 $V_{r,n}$ 는 자화원의 크기를 나타낸다. Reference magnetism circle은 1회전 보정에 의한 자화원이며, 안쪽 및 바깥에 있는 원은 센서의 흔들림과 외부의 간섭자기를 구분하기 위한 thresh holding value(ϵ)을 나타낸다. 아래에 외부의 동적인 간섭자기장을 구분하기 조건을 나타내었다.

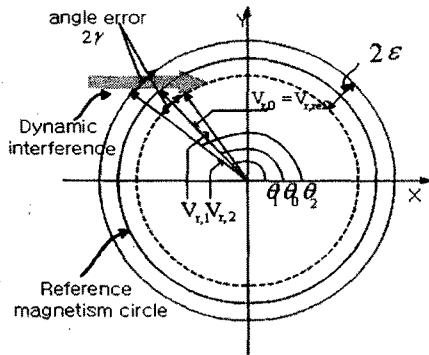


그림 4. 동적 외란에 대한 자화원 모델링

$$\text{if } |V_n - \widehat{V}_n| > \epsilon, V_n = \widehat{V}_n \quad (6a)$$

$$|m_1| \neq |m_2| \quad (6b)$$

식 (6a)에서 V_n 는 현재 측정된 값을 나타내고 \widehat{V}_n 는 예측된 값을 나타낸다. 스프레더가 thresh holding value보다 더 크게 회전을 하는 경우 스프레더의 회전을 외란 요소로 간주하게 된다. 이에 대하여 compass1과 compass2의 기울기 변화를 감지하여 외부 외란에 대한 정확한 판정할 수 있다. 예측값과 기울기 변화에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있으며, ΔV_k 는 데이터들의 차이값을 나타낸다.

$$\widehat{V}_n = V_{n-1} + \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta V_k \quad (7a)$$

$$m = \frac{V_{y,n} - V_{y,n-1}}{V_{x,n} - V_{x,n-1}} \quad (7b)$$

식에서 n은 누적된 데이터의 크기를 나타낸다. 식(7)의 값을 식(6)에 대입하여 동적 외란의 유/무를 결정하여 현재 측정값 또는 예측값을 사용하게 된다.

3.3 Compensation of low frequency noise

이전의 compass는 외부 간섭 자기장, 특히, 장시간 영향 미치는 외부 간섭 자기장에 대한 보정 방법이 없었다. 이 장에서는 dual compass를 이용하여 이런 외란에 대한 보정 방법을 제시하겠다. 다음 그림 10은 단일 외부 간섭 자기장에 대한 compass1, compass2의 출력 변화를 나타낸 것이다.

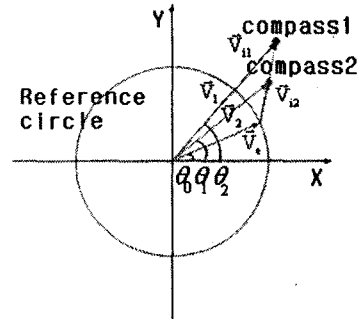


그림 5. 외부 간섭 자기장에 대한 출력 변화.

\vec{V}_c 는 지구 자기장에 대한 출력을 나타내고 \vec{V}_1, \vec{V}_2 는 compass1과 2의 출력을 나타낸다. 그리고 $\vec{V}_{11}, \vec{V}_{12}$ 는 외부 간섭 자기장의 영향을 나타낸다. 외부 간섭 자기장에 대한 영향은 compass1과 2의 거리에 의해서 크기가 다르게 나타난다. 기준 자화원의 크기를 구하는 방정식은 식 (8)과 같다.

$$X_c^2 + Y_c^2 = R^2 \quad (8)$$

그림 5에 나타난 compass1과 2를 연결하는 두 점을 지나 는 직선을 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y - Y_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} (X - X_1) \quad (9)$$

식 (9)를 식 (8)에 대입하여 X, Y를 구하고 이를 식 (10)에 대입하여 방위각을 구한다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y_c}{X_c} \quad (10)$$

4. Experiments and Results

실험 장치는 스프레더의 10:1의 크기로 제작하였다. 또한 실험 장치의 하단부에 모터를 설치하여 실험 장치의 회전을 통한 인코더 값을 읽어 모터의 회전각과 compass의 출력 대한 오차를 확인 하였다.

5.1 Error compensation

compass의 성능에 대한 실험으로 외란에 대한 보정전의 상태와 보정후의 상태를 그림 6과 같이 자화원을 통하여 확인하였다.

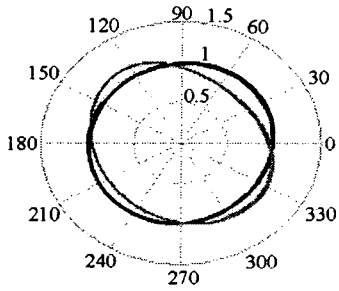


그림 6(a). Dual-compass 출력 (보정 전).

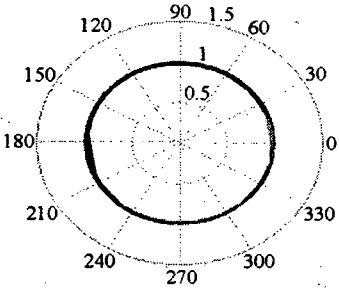


그림 6(b). Dual-compass 출력(보정 후).

그림 6. Dual-compass 출력

두 개의 자화원이 서로 다른 방향으로의 타원으로 나타나는 것은 180° 위상차를 가진 compass에 외란이 더해지거나 혹은 감소되어 나타나기 때문이다.

5.2 Skew angle measurement

이번 실험에서는 compass를 스프레더에 장착한 후 15° 의 회전을 통한 skew angle 측정값과 오차값을 나타낸다.

그림 7(a)에서 검정 그래프는 compass의 측정각을 나타내고 회색 그래프는 모터 encoder에 의한 회전각을 나타낸다.

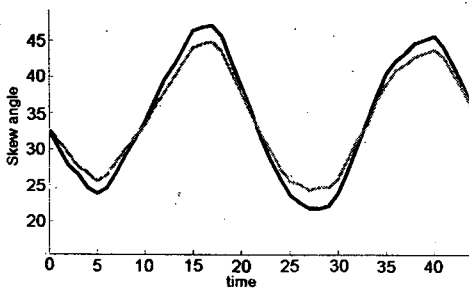


그림 7(a). single compass skew-angle 측정.

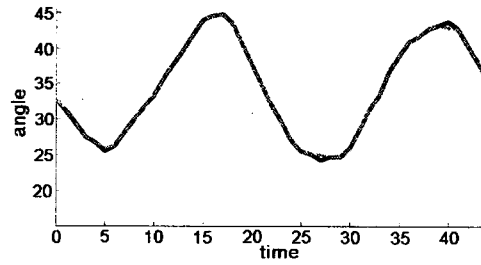


그림 7(b). dual compass skew-angle 측정.

5.3 Interference compensation for moving objects

스프레더 주위에 AGV 이동 혹은 컨테이너에 접근에 하는 경우 외란을 일으킬 수 있다. 이에 대하여 single compass와 dual compass를 비교하여 나타내었다.

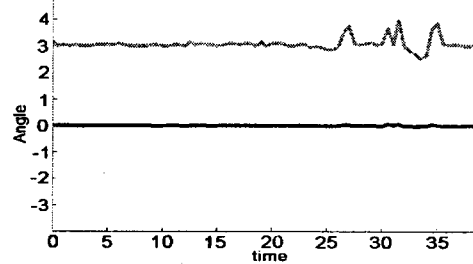


Fig. 8. 동적 외란에 대한 skew-angle.

상위 그래프가 single compass이고 하위는 dual compass이다. compass가 스프레더에 설치되면 외란으로 인하여 3° 의 오차를 가진다. 이후 스프레더에 주변으로 외란이 가해졌을 경우 예측값을 이용하여 동적 외란에 대하여도 안정함을 확인하였다.

6. Conclusions

본 논문에서는 dual compass를 이용하여 실시간으로 외부 간섭 자기장을 제거하는 기법을 고안하였다. dual compass를 skew-angle 측정에 활용하여 Loading/unloading 작업시 어려운 문제로 남아있던 skew angle을 제어하였다. 기존의 방법과 비교하여 compass를 이용한 방법은 저가이며 기후의 영향을 받지 않는 시스템으로 평가되어 그 활용도가 높을 것으로 판단된다. 실제 스프레더를 조절하는 모터와 연동하여 정밀도를 높이고 미세한 히스테리시스 현상의 보정을 향후 과제로 남겨두고 있다.

참고 문헌

- [1] John R.Holmquist, "Laser Guided Loading System," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 38, no. 3, pp. 752~757, May, 2002.
- [2] Hirofumi Yoshikawa, Satoshi Hiromitsu Hoshina, Noriaki Mitata and Masato Kobayashi, "Development of Hoisting Load Position Sensor for Container Handling Cranes," Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 38, no. 3, pp. 67 ~ 72, June, 2001.
- [3] Kyung-Moon Lee, Yang-Hwan Kim, Jae-Mu Yun and Jang-Myung Lee, "Magnetic-interference-free dual-electric compass," Sensors and Actuators A120, pp. 441~450, Jan, 2005.