

휠로더 붐각도 검출을 위한 신호전처리 시스템 설계

김영빈 · 류광렬*

목원대학교

Boom Angle Detection Signal Pre-processing System Design for Wheel Loader

Young Bin Kim · Conan K.R.Ryu*

Mokwon University

E-mail : conan@mwu.ac.kr

요 약

휠로더는 붐과 버킷을 제어하여 굴삭 및 덤프 작업을 수행한다. 휠로더 장비 운전은 반복 작업이 많고, 작업환경이 열악하지만 오직 사람에 의한 수작업으로 진행되고 있다. 최근 전장품에서도 무인 자동화 시스템을 적용하려는 요구가 점차 증가하고 있다. 휠로더의 자동화 시스템은 안정된 제어를 위해 정확한 각도 검출을 검출이 필수적이다. 본 논문은 노이즈에 강인 하면서 정밀 각도 제어를 위한 신호처리 시스템을 제안한다. 제안 시스템을 구현하여 휠로더 붐각도 시스템에 적용한 결과 약 0.1도 각도 변화 검출이 가능하였다.

ABSTRACT

Wheel loader performs digging and dumping tasks using boom and bucket. The operation of the wheel loader equipment has a lot of repetitive tasks and the working environment is poor, but only by hand by man. Recently, demands for applying unmanned automated systems are increasing more and more in electrical components. For automated systems, accurate angle detection is indispensable for stable control. This paper proposes a signal processing system for precise angular control with noise robust features. As a result of implementing the proposed system and applying it to the wheel loader boom angle system, it was possible to detect an angle change of about 0.1 degree.

키워드

Boom Angle, Angle Detection, Signal Pre-processing, Filter Design

1. 서 론

휠로더는 붐과 버킷을 제어하여 작업물의 디깅과 덤프 작업을 수행한다. 토목공사 현장에서는 자재를 이동하거나 지면을 다지는 중요작업을 수행하는 건설장비이다. 휠로더를 조종하는 운전자는 거친 작업환경에서 반복 작업, 소음과 진동으로 작업 피로와 위험에 항상 노출되어 있다. 반복된 작업을 자동화하거나 위험한 굴삭 작업을 무인화하여 원격으로 조종할 수 있는 기술을 도입하려는 연구가 증가하고 있다. 열악한 작업환경, 다양한

돌발 상황이 발생할 수 있는 현장에서 신속하고 정확한 작업을 위해서는 작업장치의 정밀 제어 기술이 필수적이다. 휠로더는 붐과 버킷의 정확한 각도 검출이 작업장치의 제어의 기본이다.[1-3]

본 논문은 작업장치의 정밀한 위치 검출을 위한 각도 센서 신호전처리 시스템을 설계 한다. 신호전처리 시스템은 장비에서 발생하는 노이즈와 센서 신호를 분리하기 위한 필터 설계[4-5], 제어시스템을 프로세서를 보호를 위한 전압변환 회로를 설계하여 구성한다. 작업장치에 설치한 센서의 편차를 제거하고, 안정된 각도 검출을 위해 센서 보정 과정을 수행한다. 센서 보정은 아날로그 센서값에 대해 일정한 각도를 얻기 위한 방법으로 사용하는 센서 상하한값에 대한 기준을 설정하는 과정이

*corresponding author

다.[6] 실험에서는 신호전처리 시스템을 구현하여 휠로더 붐/버킷의 작업장치에 적합성을 평가 한다.

II. 센서 신호전처리

2.1 붐 각도센서

휠로더에서 사용하는 붐 각도센서는 암이나 링크 부분에 부착하여 관절의 이동 각도를 감지 한다. 센서는 암의 움직임 또는 각도에 대한 위치에 따라 출력 전압이 변화한다. 센서의 출력 전압은 최소 0볼트에서 최대 5v까지 출력한다. 제어기는 센서 출력 전압을 디지털로 변환하여 각도로 변환하여 위치 정보를 추출하게 된다. 그림*은 붐각도 센서의 등가회로이다. 센서는 가변저항으로 표현하며, 3핀 커넥터로 연결한다. A는 센서로 입력하는 전압이고, C는 센서의 각도에 따라 저항값이 변화하여 출력 전압이 변화한다. B는 GND 신호이다. 그림1은 센서의 외관과 함께 커넥터 핀 연결 그림이다.

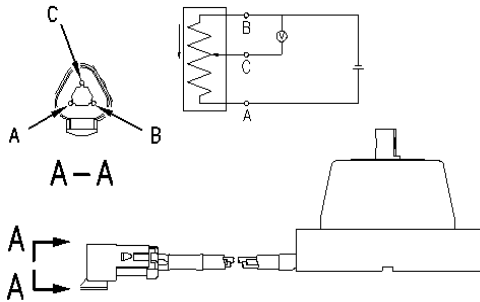


그림 1. 붐각도센서(A.등가회로, B.센서외관)

2.2 필터 설계

센서 출력 전압에 포함되어 있는 노이즈 제거를 위해 필터를 설계하여 신호처리 입력부에 적용한다. 저역통과 필터는 컷오프 주파수 보다 낮은 주파수는 통과시키고 그보다 높은 주파수는 차단한다. RC 저역통과 필터의 차단주파수는 식(1)을 이용하여 설계 한다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ ----- (1)}$$

RC 필터는 그림2와 같이 구성하고, R=100옴, C=1nF를 사용하여 필터를 설계 하였다. 이 필터는 1.6Mhz 이하의 주파수만을 통과하도록 임의 설정 하였다.

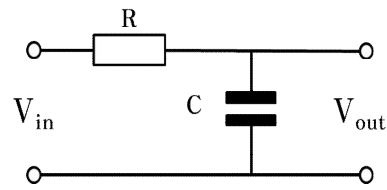


그림 2. RC 필터

2.3 센서 각도 보정

붐각도에 대한 센서의 전압 출력은 휠로더 장비마다 일정하지 않다. 센서 부착에 따른 오차, 센서 자체의 출력 특성에 따른 편차 등 여러 가지 이유로 오차를 갖고 있다. 따라서 센서를 휠로더에 조립 후 특정 각도에 대해 센서 출력전압에 대응하는 센서 각도보정 작업을 수행해야 한다. 센서 각도보정은 최소 및 최대 각도인 2개위치의 센서 전압을 획득하여 수행 한다. 그림3은 센서 보정과정을 작업 순서도를 보이고 있다. 보정 작업에서 붐 최대 및 최소 위치 대한 센서 출력값을 저장한다. 저장한 위치 값은 이후 오차보정에서 사용하게 된다.

보정시작
붐 최대 위치 이동
위치 저장
붐 최소 위치 이동
위치 저장
보정 종료

그림 3. 센서 보정

III. 오차보정

센서의 오차 보정에서 획득한 실측값은 최소자승법을 이용하여 커브피팅을 한다. 최소자승법은 변량 x_i 를 변경하여 그에 따른 계측값 y_i 와 함수값 $f(x_i)$ 의 오차 제곱의 합이 최소가 되는 함수 $f(x)$ 를 구하는 것이다. 수식으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$e = \sum_{i=1}^n \{y_i - f(x_i)\}^2 \text{ ----- (2)}$$

그림4에서 표시된 점들은 측정값 (x_i, y_i) 이고 직선 $(x_i, f(x_i))$ 는 최소자승법을 사용하여 구한

측정값들의 분포를 나타내는 일차함수이다. 이 함수는 (측정값 - 함수값)²의 총합(오차의 총합)이 최소가 되는 직선이다.

식(2) $f(x_i)$ 를 1차 함수로 정의하면 $f(x_i) = a \cdot x_i + b$ 가 되고 오차제곱의 합이 최소가 되는 계수 a, b 를 구하면 된다.

e 가 최소가 되는 1차 함수의 계수 a, b 를 구하기 위해 식 (2)를 식(3)로 표현한다.

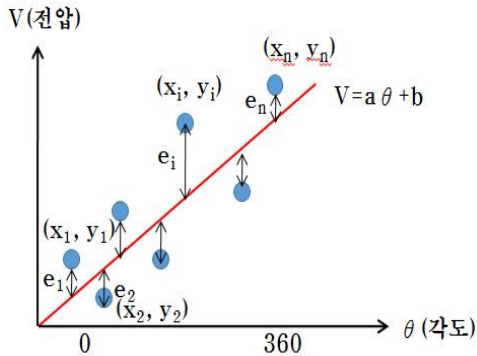


그림 4.최소자승법을 이용한 오차보정

식(3)를 계수 a 와 b 에 대해서 편미분 하면 각각 (4)와 (5)이 된다.

$$e^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial e^2}{\partial a} = -2 \sum y_i + 2b \sum x_i + 2aN = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial e^2}{\partial b} = -2 \sum x_i y_i + 2a \sum x_i + 2b \sum x_i^2 = 0 \quad (5)$$

식 (4), (5)을 만족하는 a, b 를 계산하면 계수 a, b 는 다음과 같다

$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \quad (6)$$

$$b = \frac{n\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \quad (7)$$

IV. 실험 및 고찰

봄각도 검출 실험을 위해 센서와 MCU를 이용한 제어시스템을 설계 하였다. 그림5는 설계한 신호처리시스템의 블록도이다. 시스템은 센서, 저역통과 필터, 전압변환회로 MCU로 구성하였다.

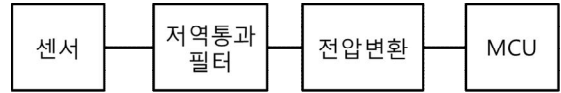


그림 5. 신호처리시스템 블록도

센서 출력은 필터 입력측에 연결되어 있는데, 저역통과 필터를 사용하여 신호에 포함된 고주파 노이즈를 제거하였다. 그림6은 저항과 캐패시터를 이용하여 설계한 저역통과 필터이다. 임의적으로 1.5Mhz 이하의 저주파 신호를 입력하도록 R,C의 시정수는 100옴과 1nF을 사용하여 설계하였다.

그림7은 저역통과 필터의 주파수 응답 시뮬레이션 그래프이다. 그림에서 가로축은 주파수, 세로축은 진폭으로 -3dB 에 해당하는 (A) 지점이 컷오프 주파수에 해당한다.

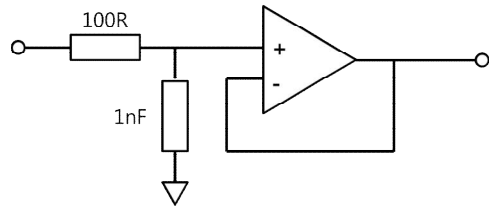


그림 6. 저역통과 필터

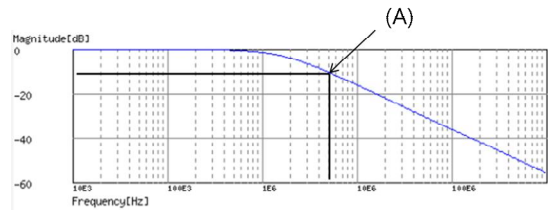


그림 7. 저역통과 필터 주파수 응답특성

그림8은 opAmp와 저항을 이용한 전압변환 회로이다. opAmp의 입력 V_{in} 은 출력측 저항 $R1, R2$ 에 의해 최대 5V는 3V 전압으로 변환한다. 필터링한 센서 신호는 최대 5V 전압레벨을 갖는다. 구현 시스템의 MCU의 ADC 입력은 3.3V 전압레벨을 갖고 있으므로 과전압에 의한 MCU의 입력측 파괴를 막기 위해 전압레벨을 3.3V 이하로 변환해야 한다.

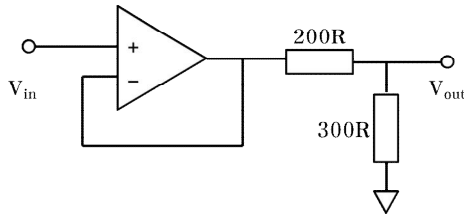


그림 8. 전압변환 회로

그림9은 센서 출력이 0~5V 일 때 설계시스템을 이용하여 검출한 각도값의 결과를 그래프로 보인 것이다. 그림의 가로축은 센서 출력 데이터의 인덱스 이고 왼쪽 세로축이 ADC 변환 값이다. 오른쪽 세로축은 ADC 변환값을 각도로 변환한 결과를 보이고 있다. ADC값 9일때 각도는 -89.0도 이고, ADC값이 1850일 때 각도는 0도, ADC값이 3700일 때 91.3도로 나타났다. 휠로더의 일반적인 붐 이동 각도는 약 -45~45도 로서 설계 시스템은 붐 각도의 동작 범위를 수용하고 있다. AD 변환값의 변이 차이가 4~5일때 0.1도 각도 변화를 보였고, 이 결과는 설계 목표인 0.1도 각도 변화 해상도를 만족함을 확인 할수 있다

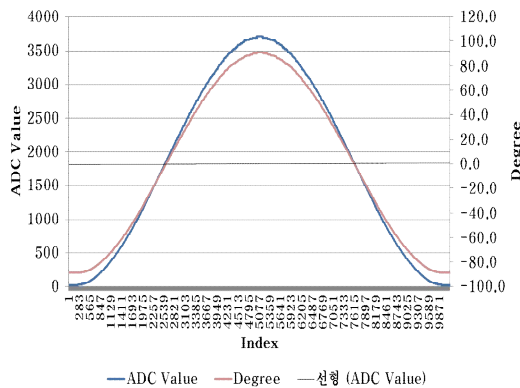


그림 9 ADC 값과 검출각도

IV. 결 론

본 논문은 휠로더 붐각도 검출을 위한 신호처리 시스템 설계이다. 설계 시스템은 고주파 노이즈 제거를 위해 저역통과필터를 설계하였고, 센서의 출력을 MCU 처리에 필요한 전압변환 회로를 적용하여 AD 변환 하였다. 센서의 특성 및 센서 부착에 따른 오차를 제거하기위해 오차 보정을 하였다. 설계 시스템을 이용하여 각도 검출결과 0.1도 해상도의 각도 검출이 가능하였다.

References

- [1] TIPA(Korea Technology and Information Promotion Agency for SMEs) [Internet]. Available : <http://smroadmap.smtech.go.kr/0301>.
- [2] K. S. Oh, H. G. Kim, P. Y. Kim, J. H. Seo, K. S. Yi “Simulation Study of Path Planning and Tracking for Autonomous Wheel Loader,” *The Journal of KSME*, pp. 36-37, April. 2014.
- [3] HYUNDAI CONSTRUCTION EQUIPMENT [Internet]. Available : <https://www.hyundai.eu/products/construction-equipment/wheel-loaders/hl955-wheel-loader>.
- [4] R. Boylestad, L. Nashelsky, *Electronic Devces and Circuit Theory*, 4th ed. New Jersey, NJ: Prentice-Hall, pp.658-660, 1987.
- [5] OKAWA Electric Design [Internet]. Available : <http://sim.okawa-denshi.jp/en/Fkeisan.htm>.
- [6] Y. B. Kim, K. R. Ryu, “FPGA Design and Realization for Scanning Image Enhancement using LUT Shading Correction Algorithm”, *The Journal of KIICE*, Vol. 16, No. 8, pp. 1759-1764, Aug. 2012.