KICSP 한국 융합신호처리학회

한국융합신호처리학회논문지 Vol. 19, No. 4 : 186~191 December. 2018

디지털 필터를 이용한 가속도 센서 출력의 잡음 제거

천봉원, 김남호*

부경대학교 공과대학 제어계측공학과

Noise Removal of Acceleration Sensor Output using Digital Filter

Bong-Won Cheon, Nam-Ho Kim*

Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University

요 약 정보화 시대의 사회로 발전하며 4차 산업혁명의 영향이 커짐에 따라 수많은 전자장비와 센서들이 산업 현장에서 사용되고 있다. 그에 따라 데이터 전송 과정에서 발생하는 신호처리의 중요성이 증가되었으며, 여러 가지 원인으로 발생하는 잡음의 제거와 센서 출력 안정화에 대한 기술이 요구되고 있다. 본 논문에서는 가속도 센서의 출력을 안정화하며 잡음 성분을 효과적으로 제거하기 위한 디지털 필터 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 출력의 안정화를 위해 우선 가우시안 계수를 적용하여 기준치를 구하였다. 그리고 센서 출력의 특성을 보존하기 위하여 분산에 따른 가중치를 기준치에 가감하여 최종 출력을 구한다. 제안한 알고리즘의 평가를 위해 기존의 방법들과 비교하였으며, 출력 특성을 통해 성능을 확인하였다.

• 주제어 : 가속도 센서, 잡음, 신호처리, 디지털 필터, 안정화

Abstract As influence of the 4th industry is growing with development of information society more electronic devices and sensor are used in the field. As this is the case, importance of signal processing during data transfer is rising Furthermore, the need for technology to remove noise caused by various reasons and to stabilize sensor output is growing as well. This research suggests digital filter algorithm that efficiently remove noise by stabilizing output of accelerating sensor. The standard value of this algorithm is calculated by applying Gaussian coefficient. To maintain its feature, final output is obtained by subtracting weight depending on variance from standard value For its evaluation, it is compared with other protocols and its function is checked through output features.

• Key Words : Accelerometer sensor, Noise, Signal processing, Digital filter, Stabilization

Received 15 December 2018, **Revised** 26 December 2018, **Accepted** 28 December 2018

* **Corresponding Author** Nam-Ho Kim, Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University, Busan 48513, Korea
E-mail: nhk@pknu.ac.kr

Ⅰ. 서론

정보화 시대의 사회는 다양한 전자통신장비를 통해 신호와 정보를 주고받으며 발전하고 있다. 특히 4차 산업혁명의 중요한 요소로 자리 잡고 있는 스마트 팩토리 및 농장에서는 수많은 센서로부터 오는 신호를 처리하여 자동화가 되고 있다[1-2]. 하지만 데이터 송수신 및 처리 과정에서 여러 가지 원인으로 잡음이 발생하며 장비의 정확성과 신뢰성에 영향을 미치고 있다. 이에 따라 잡음을 제거하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다[3-4].

이 가운데 AWGN(additive white gaussian noise)은 거의 모든 주파수 대역의 전자장비에서 발생하며, 센서의 AWGN을 제거하기 위한 다양한 기법들이 제안되었다. 대표적으로 적응 가중치 평균 필터(AWMF : adaptive weight mean filter)[5]와 알파 트림드 평균 필터(A-TMF : alpha- trimmed mean filter)[6], 위너 필터(WF : wiener filter)[7]등이 있다.

본 논문에서는 가속도 센서의 출력에서 발생하는 잡음의 영향을 완화하기 위한 디지털 필터를 구현하였다. 제안한 알고리즘은 가속도 센서의 출력에 가우시안 계수를 적용하여 출력을 안정화하였으며, 원신호의 특성을 보존하기 위하여 입력 신호의 특성에 따라 가중치를 가감하여 최종 출력을 구하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 기존 방법들과 비교하였으며, 센서 출력의 안정화와 잡음 제거 성능을 검토하였다.

Ⅱ. 관련 이론

2.1 가속도센서

그림 1은 가속도 센서로, 물체의 가속도 물리량을 측정하는 장치이다. 가속도 센서는 각 축에 걸리는 중력 가속도를 전압의 형태로 변환하여 출력하며, 3축 센서는 각 축에 걸리는 중력가속도의 크기를 반환한다[8].

가속도 센서는 가속도 검출 방식에 따라서 피에조 저항식, 정전용량식, 열분포 검출식, 자기센서 방식 등으로 분류될 수 있으며, 이 가운데 휴대용 전자기기에는 낮은 중력 가속도의 검지가 필요함으로 피에조 저항식과 정전용량식을 주로 사용하고 있다[9].

가속도 센서는 주로 기기의 방향을 검출하여 자세를 제어하는 기술이 필요한 로봇이나 드론, 스마트폰

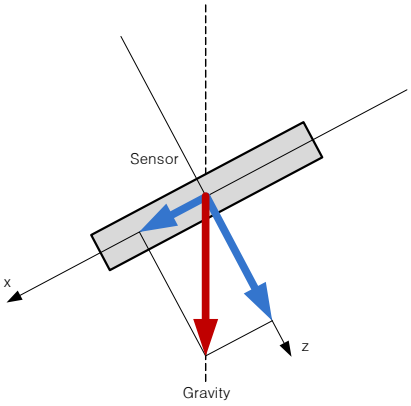

Fig. 1. Acceleration sensor

에 사용될 뿐 만 아니라, 자동차의 에어백과 같이 자동차가 충돌과 같은 큰 충격이 발생할 경우 순간적으로 충격을 감지하는 기능을 지니고 있어 충격 검출용으로도 사용되고 있다[10].

가속도 센서는 움직임이 없는 고정된 상태에서 신뢰할 수 있는 각도가 계산되며, 누적 오차에 의한 잘못된 출력이 없으나, 노이즈 및 외력에 대해 매우 민감한 단점을 지니고 있다. 때문에 디지털 필터를 통해 가속도 센서의 출력을 안정화시키는 과정이 필요하다[11].

2.2 디지털 필터

디지털 필터는 신호처리 과정에서 특정 신호를 줄이거나 강조하기 위해 사용되며, 수학적 동작을 수행하는 장치이다.

디지털 필터는 일반적으로 신호를 샘플링하는 ADC(analog-to-digital converter)와 마이크로프로세서, 그리고 필터 계수와 데이터 저장에 이용되는 주변 부품으로 이루어져있으며, 마지막으로 DAC(digital-to-analog converter)를 통해 아날로그 출력 신호로 만들어진다[12].

디지털 필터는 마이크로프로세서에서 돌아가는 소프트웨어는 수학적 연산을 통해 구현되며, 아날로그 필터에서 불가능하거나 구현하기 어려운 설계영역에서 많이 이용되고 있다[13].

Ⅲ. 제안한 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 필터링을 위해 입력된 데이터를 순서대로 N개 저장하였으며, 저장된

데이터에 가우시안 계수를 적용하여 기준치를 설정한다. 이후 저장된 데이터의 분산을 입력 신호에 적용하여 가중치를 선정한다.

가중치는 신호의 분산에 따라 크기가 달라지며, 분산이 큰 경우 신호의 변화가 큰 부분이라 판단하여 입력 신호의 중요도를 높게 설정하여 기준치의 비중을 낮추며, 반대의 경우 신호의 변화가 크지 않은 부분이라 판단하여 기준치의 비중을 높여 출력을 안정화한다.

제안한 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

Step 1. 잡음에 훼손된 센서의 출력을 받아 데이터를 저장한다. 필터에 입력된 데이터는 필터링을 위해 순서대로 N개씩 저장하며, $1 \le n \le N$의 범위를 가지는 집합 $S_i(n)$의 형태로 나타낸다.

본 논문에서는 $N=9$의 값을 가지며, i는 센서 출력이 들어온 순서로, i번째에 들어온 입력 신호는 $S_i(1)$에, $i-k$번째에 들어온 신호는 $S_i(1+k)$에 저장된다. 이 때, $1+k=n$으로, k의 값은 $0 \le k \le N-1$의 범위를 가진다.

Step 2. 센서 출력의 안정화를 위해 센서 출력의 집합 $S_i(n)$에 가우시안 분포를 적용한다.

식 (1)은 가우시안 분포의 수학적 표현이다.

$$g_i(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{1}$$

식 (1)에서 σ의 값은 표준편차이며, μ는 $S_i(n)$에서 n값의 평균을 의미한다. 가우시안 분포를 기준으로 적용한 센서 출력의 기준치 R_i를 구하는 과정의 수학적 표현은 식 (2)와 같다.

$$R_i = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} S_i(n) g_i(n) \tag{2}$$

Step 3. 신호의 특성 보존을 위해 입력 신호에 가중치를 가하여 기준치에 가감하기 위해 입력 신호의 분산 θ_i를 구한다. 우선 입력 신호들의 평균을 구하기 위해 $S_i(n)$의 평균 A_i를 구하며, A_i를 구하는 과정은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$A_i = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} S_i(n) \tag{3}$$

식 (3)에서 구한 입력 신호의 평균치를 이용하여 θ_i를 구한다[14].

$$\theta_i = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} S_i(n)^2 - {A_i}^2 \tag{4}$$

여기서 $\theta_{i,j}$는 입력 신호의 변화율에 따라 값이 변화하며, 신호의 변화폭이 큰 경우 센서의 출력이 변화하는 것으로 추정하여 입력 신호의 가중치를 크게 설정하며, 반대로 낮은 경우 신호의 잡음 성분이라 판단하여 기준치의 출력을 높게 설정한다. 가중치 ω는 계수 a와 θ_i의 관계식으로 정해지며 $\omega = \left(1-a^2/\theta_i\right)$로 표현할 수 있다.

Step. 4 앞서 구한 센서 출력의 기준치와 가중치가 적용된 입력 신호를 가감하여 출력을 구한다. 필터 출력의의 수학적 표현식은 식 (5)와 같다.

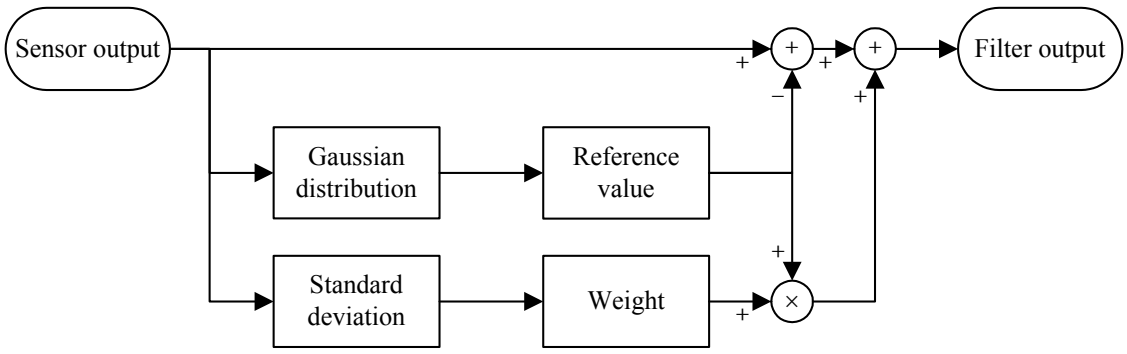

Fig. 2. Block diagram of proposed filter algorithm

$$O_i = R_i + \omega\left(S_i(1) - R_i\right) \quad (5)$$

그림 2는 제안한 알고리즘의 블록 다이어그램이다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 결과

실험에 사용된 ADXL 335는 ±3g의 측정 범위와 감도는 300mV/g, 출력 최대 주파수 응답 대역폭이 1.6kHz를 가지며, 센서의 출력을 고려하여 5kHz의 샘플링 주파수, 12bit로 데이터를 취득하여 필터링을 진행하였다.

그림 3은 시뮬레이션에서 사용된 ADXL335 가속도 센서의 출력을 측정한 파형이다. 가속도 센서의 출력은 잡음 성분에 의해 많은 부분이 훼손된 상태이며, 출력 성분이 큰 영향을 받은 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 센서 출력을 기존 방법과 제안한 알고리즘으로 필터링한 결과이며, (a)는 가속도 센서의 출력을 적응 가중치 평균필터로, (b)는 알파 트림드 평균

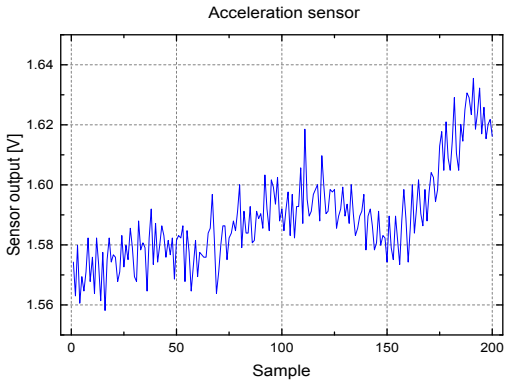

Fig. 3. Acceleration sensor output

필터로, (c)는 위너 필터로, (d)는 $\sigma = 2.8$, $a = 10$인 제안한 알고리즘으로 처리한 결과이다.

그림 4의 (a)에서 적응 가중치 평균 필터로 처리한 결과 필터 출력의 잡음 성분을 대부분 제거하였으나, 센서 출력의 특성이 다소 훼손된 모습을 확인할 수 있었다.

그림 4의 (b)와 같이 알파 트림드 평균 필터로 처리한 결과 적응 가중치 평균 필터에 비해 우수한 잡음

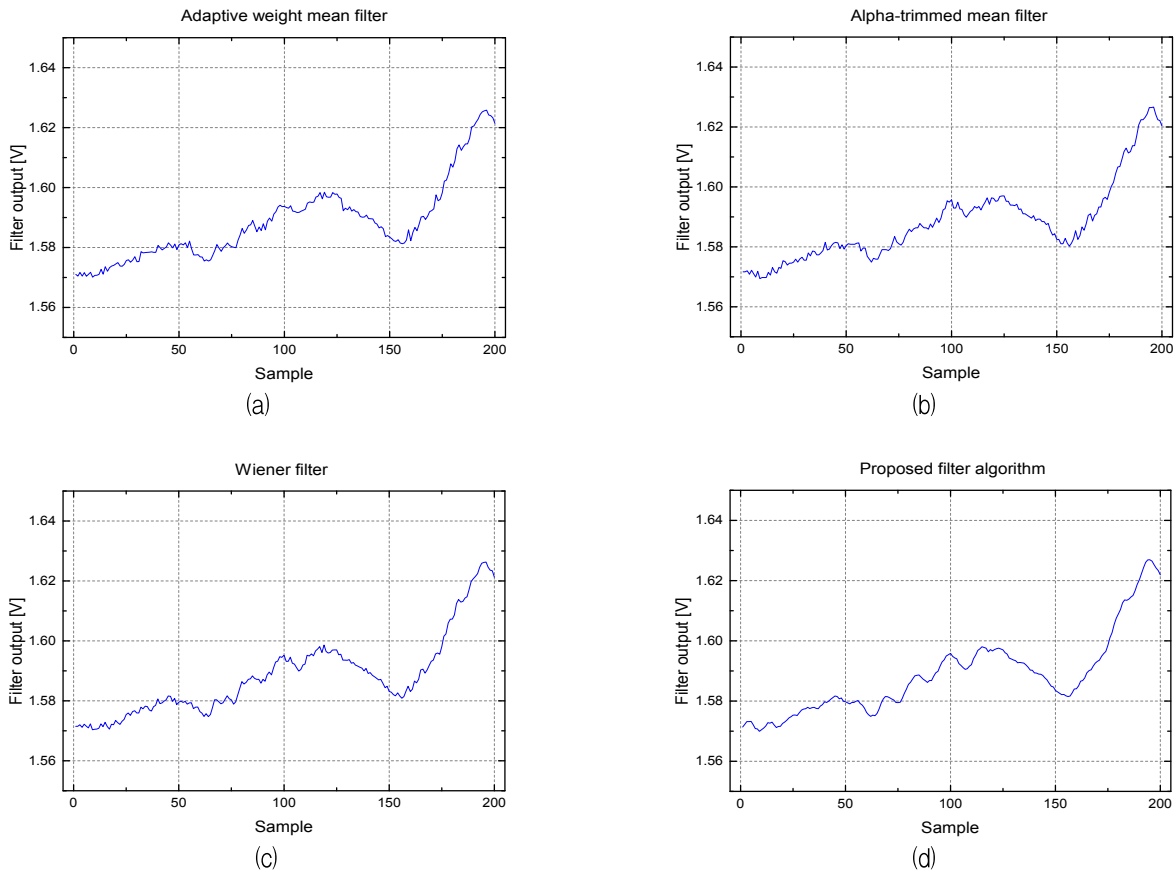

Fig. 4. Filter output (a) Adaptive weight mean filter (b) Alpha-trimmed mean filter (c) Wienner filter (d) Proposed filter algorithm

제거 성능을 보였지만, 센서의 출력 특성에 영향을 미쳐 정밀한 출력을 내는데 한계를 보였다.

위너 필터로 처리한 그림 4의 (c)의 경우 적응 가중치 평균 필터와 알파 트림드 평균 필터에 비해 센서의 출력 특성이 보존된 모습을 확인할 수 있었으나, 잡음 성분이 완벽하게 제거되지 못한 모습을 볼 수 있었다.

제안한 알고리즘으로 처리한 결과 대부분의 잡음 분이 제거된 모습을 확인할 수 있었으며, 기존 방법들에 비해 센서의 출력 특성이 우수하게 보존되었음을 그림 4의 (d)와 같이 확인할 수 있었다.

Ⅴ. 결론

본 논문은 가속도 센서의 출력에 포함된 잡음을 제거하여 안정화시키며 센서의 출력 특성을 보존하는 디지털 필터 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 가우시안 계수를 통해 센서 출력을 안정화 하였으며, 센서 신호의 분산을 통해 입력 신호에 가중치를 적용하여 필터 출력 가감하여 최종 출력을 구하였다.

시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘은 기존 방법과 비교하여 우수한 잡음 제거 성능을 보였으며 센서의 출력 특성을 보존하였음을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 센서의 잡음을 제거하여 출력 안정화 및 특성 보존에 우수한 성능을 나타내었다. 제안한 알고리즘은 센서의 잡음 제거가 요구되는 다양한 분야에서 효과적으로 사용되리라 사료된다.

REFERENCES

[1] H. Y. Deng, Q. X. Zhu, and X. L. Song, “A Nonlinear Diffusion for Salt and Pepper Noise Removal,” in *2016 13th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing*, Chengdu : China, 2016, pp. 231-234.

[2] S. I. Kwon, and N. H. Kim, “A Study on Composite Filter using Edge Information of Local Mask in AWGN Environments,” *Journal of the Korea Institute of Convergence Signal Processing*, vol. 17, no. 2, pp. 71~76, Dec. 2016.

[3] S. Muthukumar, P. Pasupathi, S. Deepa, and N. Krishnan, “An Efficient Color Image Denoising Method for Gaussian and Impulsive Noises with Blur Removal,” in *2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, Coimbatore : India, 2010, pp. 1-4.

[4] S. I. Kwon, and N. H. Kim, “A Study on Noise Removal using Modified Edge Detection in AWGN Environments,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 7, pp. 1342-1348, Sep. 2017.

[5] M. S. Darus, S. N. Sulaiman, I. S. Isa, Z. Hussain, N. M. Tahir, and N. A. M. Isa, “Modified Hybrid Median Filter for Removal of Low Density Random-Valued Impulse Noise in Images,” in *2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, Batu Ferringhi : Malaysia, 2016, pp. 528-533.

[6] X. Long, and N. H. Kim, “An Image Restoration using Nonlinear Filter in Mixed Noise Environment,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 10, pp. 2447-2453, Oct. 2013.

[7] N. Arazm, A. Sahab and M. F. Kazemi, “Noise Reduction of SEM Images using Adaptive Wiener Filter,” in *2017 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence*, Phuket : Thailand, 2017, pp. 50-55.

[8] J. M. Park and K. R. Park, “A Study on Smart Phone Real-Time Motion Analysis System using Acceleration and Gyro Sensors,” in *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, Pyeongtaek : Korea, 2013, pp. 63-65.

[9] K. W. Park and H. C. Kim, “Design and Fabrication of 4-beam Silicon-Micro Piezoresistive Accelerometer for TPMS Application,” *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea - Semiconductor and Devices*, vol. 49, no. 2, pp. 1-8, Feb. 2012.

[10] K. W. Rhee, H. S. Kang, K. J. You and H. C. Shin, “Robot Navigation Control Using EMG and Acceleration Sensor,” *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control*, vol. 48, no. 4, pp. 108-113, Sep. 2011.

[11] J. K. Lee, “Kalman Filter for Estimation of Sensor Acceleration Using Six - axis Inertial Sensor,” *Journal*

of Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, vol. 39, no. 2, pp. 179-185, Feb. 2015.

[12] M. Bogdan and M. Panu, "LabVIEW modeling and simulation, of the digital filters," in *2015 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Oradea : Romania, 2015, pp. 1-4.

[13] D. H. Kim, H. J. Shin and Y. T. Yoo, "A Study on the Digital Filter and Wavelet Transform of Monitoring for Laser Welding," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 30, no. 1, pp. 67-76, Jen. 2013.

[14] S. I. Kwon, and N. H. Kim, "A Study on Modified Average Filter using Standard Deviation of Local Mask in AWGN Environments," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 840-846, Apr. 2016.

저자 소개

천 봉 원 (Bong-Won Cheon)

2018년 2월 부경대학교
제어계측공학과(공학사)
2018년 3월~현재 부경대학교 대학원
제어계측공학과 석사과정
관심분야 : 영상처리

김 남 호 (Nam-Ho Kim)

1992년 3월~현재 : 부경대학교
공과대학 제어계측공학과 교수
관심분야 : 영상처리, 통신시스템,
적응필터와 웨이브렛을
이용한 잡음제거 및
신호복원