

Smoothing 기법을 이용한 속도신호의 노이즈제거 및 가속도 추정

Estimation of acceleration by noise rejection from velocity signals using Smoothing technique

이강원*, 김명룡**, 은정근** 홍용기***
K. W. Lee*, M. R. Kim**, J. G. Ohn**, Y. K. Hong***

ABSTRACT

The velocity of train which is measured from pulse generator attached to TM is used for displaying or control signal of inverter and so on. Measured signals increase and decrease step-by-step by pulse counting or monotonously by F/V conversion. But noises and signal distortions by measuring error like alias make it difficult to provide correct velocity information and estimate the acceleration. In this paper, we investigated the performance of Smoothing method for suppressing the noises in velocity signals. And the difference between Smoothed signal and origin velocity signals is inspected and the comparison with low pass filtering show applicable of Smoothing method for noise rejection and the estimation of signal. Finally, acceleration curves estimated from Smoothing method are compared with real accelerator signal attached to train.

1. 서론

움직이는 물체의 속도를 측정하는 방법으로는 외부에서 측정하는 방법(레이저를 이용한 속도측정법)과 직접 물체에 부착하여 측정하는 방법으로 크게 나누어 볼수 있다. 현재 전동차에서 속도를 측정하는 방법은 구동부 회전체에 직접 부착하여 속도를 측정하고 있으며, 주로 자기유도현상을 이용한 방식과 엔코더를 이용한 방식등이 사용되고 있다. 현재 도시철도 전동차에서 사용되는 속도측정방법은 두가지 방식이 모두 사용되고 있으나, 자기유도되어 측정된 전기펄스신호를 속도신호로 변환하는 경우 별도의 외부전원이 필요치 않다는 장점이 있으나 측정 속도대역에 따른 펄스의 진폭변화가 광범위하고 저속영역에서는 속도신호의 진폭이 너무 작아 속도측정이 곤란한 반면 저속영역의 속도측정이 용이하도록 펄스의 진폭을 일정하게 하기 위해서는 외부전원을 사용하여야 한다. 또한, 두가지 방식 모두 속도의 증감에 따른 펄스의 주파수변화를 이용하여 단위시간동안의 펄스수 계수 혹은 펄스 주기의 계산 방식등을 이용하여 속도를 측정한다. 본 논문에서는 차량의 감가속 성능 등 주행성능을 제측하기 위한 속도신호로서 외부전원에 의하여 일정 진폭의 펄스신호를 생성하는 속도신호를 사용하며, f/V 변환기에 의하여 펄스속도를 속도신호로 변환하도록 하였다. 또한, 원 속도신호에 대하여 smoothing 기법을 사용하여 노이즈의 제거 및 속도 시작점 및 정지점을 추정하였다. 또한 smoothing 기법으로 처리된 신호와 filtering 된 신호를 비교하여 smoothing 기법의 보완점을 살펴보고, 이러한 기법의 결과를 이용하여 가속도를 계산하였다.

-
- * 한국철도기술연구원 주임연구원, 비회원
 - ** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
 - *** 한국철도기술연구원 수석연구원, 정회원

2. 본론

2.1 Smoothing

실제적으로 물리계의 많은 신호파형들은 급격히 변하기 보다는 다소 평활하게 변하는 특성을 가지고 있다. 이에 반해 노이즈신호는 급격한 변화와 상당히 불규칙적인 변화를 가진 신호파형을 보여준다. 노이즈가 원 신호에 포함되어 있는 경우에 노이즈를 제거하기위한 시도의 하나로서 smoothing을 들 수 있다. smoothing 과정에서 신호파형 데이터중 근접한 데이터보다 높거나 낮은 데이터의 값은 감소되므로 과정을 거친 신호파형은 초기와는 다른 파형으로 변화한다. 이러한 과정을 평활화 과정이라하고, 실제 신호가 평활한 경우에는 이 과정에 의하여 크게 왜곡되지 않으며, 이의 노이즈는 매우 감소할 것이다.[1] 가장 간단한 smoothing algorithm은 rectangular 또는 unweighted sliding average smooth이다. 이것은 인접한 m 개 데이터의 평균치로 신호의 각 데이터를 대체하는 방법으로서 이때 m 은 smooth width라 불리우는 양의 정수이다. 예를 들어 3점의 데이터를 smoothing하기 위해서는 다음식과 같이 표현할수 있다.($m=3$)

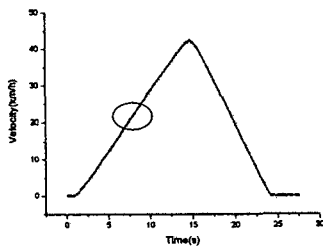
$$S_j = \frac{Y_{j-1} + Y_j + Y_{j+1}}{3} \quad (1)$$

S_j 는 평탄화된 신호의 j 번째 데이터값이 되고, Y_j 는 원신호의 j 번째 데이터값이다. 그리고 n 은 신호의 전체 데이터 개수이다. 유사한 평탄화 연산은 smooth 폭 m 으로 구성될 수 있다. 보통 m 은 기수이며, 랜덤노이즈의 감소는 \sqrt{m} 과 거의 같다. 또한 Smoothing은 단기적인 변동을 제거하여 장기추세를 쉽게 파악할수 있도록 해주므로, 예측값으로서 사용할수도 있다.

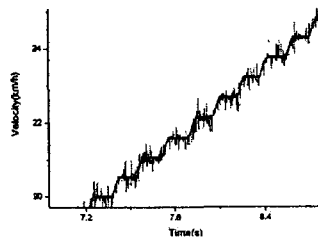
2.2 실험방법

측정시스템은 크게 전동차의 차축에 부착된 속도센서(반도체 자기저항)부와 속도신호를 측정하여 데이터를 저장 및 처리하는 계측시스템부로 나눌수 있으며, 사용된 속도센서는 잇수가 90개인 표준 평치차를 사용하였고, 치차회전수는 최소 20Hz이하, 최대 4,000Hz이상으로 상하한값을 지정하였으며, 또한 센서인가전압은 DC12V이며, 공극은 0.9mm이다. 계측시스템부(DEWE2010)는 연구원에서 자체개발한 성능시험용 계측시스템으로서 Analog/Digital신호를 실시간으로 측정하여 데이터저장 및 처리를 할수 있게 하며, 운영시스템은 window 2000을 사용하고 있는 휴대용 계측장비이다.

3. 결과 및 고찰



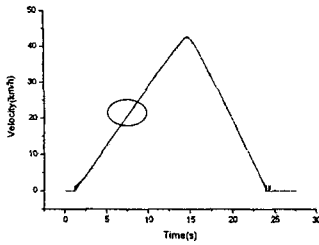
(a) 속도신호곡선



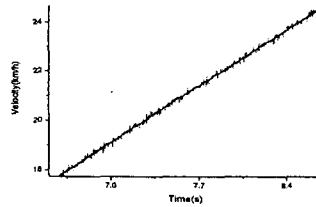
(b) 확대된 속도신호(20 ~ 25 km/h)

그림 1 인버터제어신호용 속도신호곡선

그림 1 (a)에 전동차에서 측정된 속도신호의 예를 나타내었다. 측정된 신호는 계측용의 속도신호가 아닌 인버터제어상태를 모니터링하기 위하여 속도에 해당하는 아날로그 값을 외부로 출력하는 신호이며 약 40km/h의 최고속도까지 증가하여 감소시켰을 경우의 측정된 신호이다. 그림 1 (b)는 속도가 20km/h에서 25km/h로 상승되는 부분을 확대하여 나타낸 그림으로서 단계적으로 증가하는 모습을 보여주며, 또한 노이즈가 상당히 존재하고 있다는 것을 알수 있다.



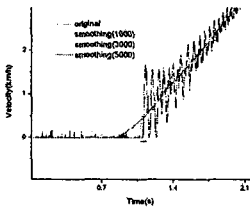
(a) 속도신호곡선



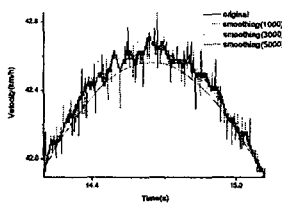
(b) 확대된 속도신호(20~25km/h)

그림 2 DEWE2010을 이용하여 계측된 속도신호곡선

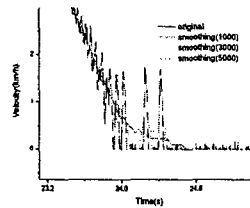
그림 2 (a)는 그림 1(a)의 속도를 측정함과 동시에 DEWE2010을 이용하여 측정된 속도신호로서 그림 1(a)와 매우 유사함을 알 수 있지만 그림 2(b)와 같이 20km/h에서 25km/h까지의 범위를 확대한 경우에는 그림 2(b)와는 달리 연속적인 속도변화가 측정되었음을 알 수 있다. 그러므로 실제속도측정을 하는 경우에는 인버터 제어신호용 속도신호보다는 직접 속도센서로부터 신호를 받는 DEWE2010의 측정신호가 연속적으로 측정되므로 보다 정확한 속도값을 줄 수 있다. 그러나 그림 2(a)에서 보는바와 같이 속도시작 및 정지시점에서 약간 큰 펄스신호가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 f/V 변환방식에 의한 속도측정에 기인하는 것으로 이러한 단점을 극복하고 노이즈를 제거하기 위하여 신호에 대하여 각각 1000, 3000, 5000개의 데이터에 대하여 smoothing 기법을 적용하였고, 각각의 결과그림을 그림 3에 나타내었다.



(a) 속도 초기



(b) 최고속도시



(c) 속도 정지시

그림 3 Smoothing 계산폭(1000, 3000, 5000)에 따른 결과

그림 3(a)는 속도시작되는 시점에서의 각 결과값들을 나타내었으며, 속도시작점은 1000, 3000, 5000개의 smoothing시 0.86, 0.96, 1.06(s)로서 나타났다. 그림 3(b)는 최고속도가 되는 지점의 전과 후부분에서의 결과값들을 나타내며, 최고속도는 각각의 smoothing에 대하여 $t=14.65(s)$ 에서 각각 42.65, 42.6, 42.56km/h를 나타낸다. 이러한 결과로부터 smoothing시 데이터값을 많이 취하면 취할수록 노이즈제거효과는 월등해지나 반대로 속도정보의 오차가 커지게 된다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 각각에 대한 오차(smoothing 결과와 원 속도신호와의 차이:그림4)의 표준편차(그림5)를 살펴봄으로써 보다 정확히 파악할 수 있다. 다음으로는 노이즈를 제거하는 방법으로서 저역통과필터(f_{3dB} : 1Hz, 3Hz, 5Hz)를 사용한 결과가 그림 6에 보여진다. 그림 6(a)의 속도초기부분에서의 필터링된 결과는 모두 초기점을 파악하기 힘들게 진동하는 파형으로 나타나지만, 그림 6(b)의 최고속도부분에서는 원신호와 매우 일치하는 파형(최고속도: 14.65(s)에서 각각 42.65, 42.64, 42.63(km/h))들을 나타내고 그림 6(c)에서는 속도초기부와 마찬가지로 진동하는 파형으로 나타난다.

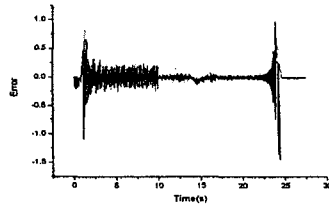
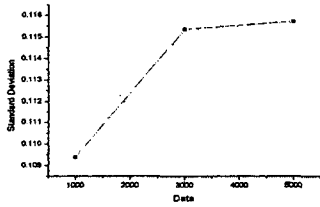
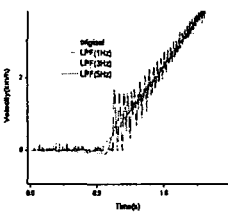
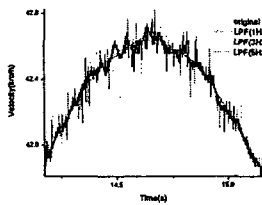


그림 4 Smoothing 오차의 표준편차 그림 5 오차(5000개의 smoothing 신호 - 원 신호)

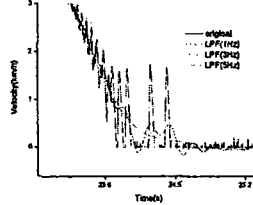
그림 8의 필터링($f_c=1\text{Hz}$)된 신호와 원신호와의 차이로 나타난 오차파형은 속도초기와 속도정지시에 이러한 결과를 잘 보여주고 있으며, 이러한 오차에 대한 표준편차는 그림 7과 같다. 이와 같이 smoothing 기법을 적용한 결과와 저역통과필터를 적용한 결과의 비교는 첫째로 최고속도에 대한 추정은 저역통과필터를 사용하며, 두 번째로 속도의 초기점에 대한 추정은 smoothing 기법의 사용이 적합하다는 것을 보여주므로 이러한 두가지의 선택적 사용은 정확한 속도신호값을 얻는데 있어 중요하다는 것을 알수 있다.



(a) 속도초기



(b) 최고속도시



(c) 속도 정지시

그림 6 Filtering($f_c=1\text{Hz}, 3\text{Hz}, 5\text{Hz}$)에 따른 결과

DEWE2010의 속도신호에 대한 샘플링 시간은 $10^{-4}(\text{s})$ 로서 약 27.6(s)동안 측정하게 되면, 데이터수가 총 276000개가 얻어지므로 데이터처리시간이 길어지게 되는 문제점이 있으며, 실제로 데이터를 smoothing 한후 가속도를 계산하는 경우 현재의 CPU속도에서는 수분에서 수십분이 소요되므로, 속도신호에 대한 적당한 샘플링 시간의 선택도 중요하다고 할수 있다. 본 논문에서는 데이터처리속도를 보다 빠르게 하기위하여 smoothing 된 신호들에 대하여 데이터샘플링시간을 50ms로 변경하여 가속도를 계산하였고 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

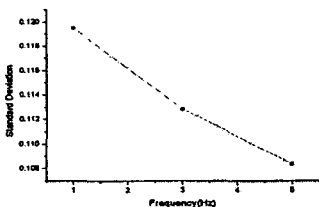


그림 7 Filtering 오차의 표준편차

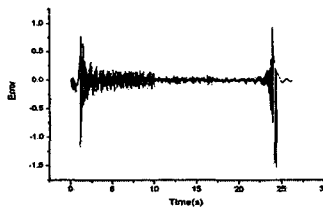
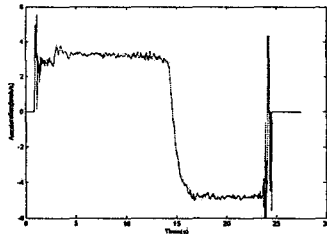


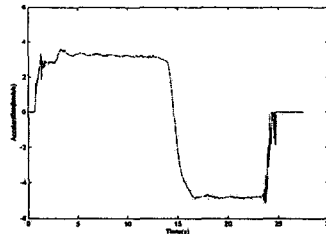
그림 8 오차(filtering(1Hz)-original)

이러한 추정값은 실제적인 가속도계를 이용한 결과값(그림 10)과 비교할 때 매우 유사한 파형을 보

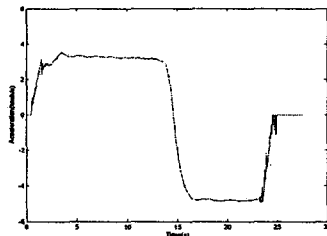
여준다는 것을 확인할수 있었으며, 그중 5000개의 데이터를 smoothing한 결과의 가속도신호파형이 가장 유사한 모습을 보여주었다. 그러므로 smoothing 하는 경우 데이터 개수의 선택도 매우 중요하다는 것을 알수 있다.



(a) smoothing(1000)



(a) smoothing(3000)



(c) smoothing(5000)

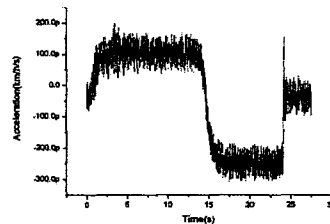


그림 8 가속도 계산결과

그림 9 전동차에 부착된 가속도계의 측정결과

4. 결론

전동차의 속도를 A/D 컨버터를 이용하여 측정하는 경우, 샘플링에 의한 오차, 양자화오에 의한 오차, 외부 노이즈에 의한 간섭등에 의하여 전동차의 원래 속도가 왜곡되는 경향이 있다. 본 논문에서 사용된 Smoothing 기법은 이러한 노이즈의 간섭을 배제하게 하고, 각 오차들에 대한 원래의 속도치에 대한 추정을 가능하게 한다. 이때 Smoothing 폭(1000, 3000, 5000)의 선택은 적합한 초기치의 선택에 있어 중요하다는 것을 보여주었으나, 상대적으로 최대속도치의 감소를 유발함을 확인하였다, 이와 별도로 저역필터(1Hz, 3Hz, 5Hz)를 적용한 경우, 초기속도치의 선택은 어렵지만 최고속도치의 근사정도가 Smoothing 기법의 경우보다는 높았다. 이러한 결과들을 토대로 가속도를 구하였고, 구해진 가속도는 계산의 편의성을 위하여 다운 샘플링되었고, 실제 전동차에 부착된 가속도계의 결과와 비교되어, 이론적 가속도형태와 매우 유사함을 확인하였다.

참고문헌

1. 김우철의 7인 공저, “통계학 개론” 영지문화사, 1992.