김일성종합대학학보 JOURNAL OF **KIM IL SUNG** UNIVERSITY
(자연과학) (NATURAL SCIENCE)
주체106(2017)년 제63권 제7호 Vol. 63 No. 7 JUCHE106(2017).

압축수감에 기초한 진동신호의 잡음제거방법

김수정, 조명진

회전기계에 발생한 고장을 사전에 찾아내여 처리하는것은 매우 중요한 문제로 나선다.

회전기계고장진단의 가장 중요한 공정인 진동신호분석에서 잡음제거는 선차적으로 해결하여야 할 문제이다.

전통적인 신호잡음제거방법에는 특이값분해, 수학적형태의 려파, 경험모드분해와 웨블레트잡음제거 등이 있다.[1]

론문에서는 압축수감리론[2]에 기초한 진동신호의 잡음제거방법을 제기하였다.

해당 신호의 특성을 반영한 사전행렬을 구성하고 측정한 진동신호를 압축변환한 다음 정합추적알고리듬으로 재구성하여 잡음제거를 실현하였으며 제기한 방법의 효과성을 수값실험으로 검증하였다.

1. 압축수감리론

압축수감리론은 화상잡음제거와 음성증폭 등 여러 분야에서 리용된다.

압축수감은 측정신호를 압축표본화하여 원신호의 압축신호를 얻고 압축신호를 적당한 회복알고리듬을 리용하여 본래의 신호로 재구성하는 두 단계로 나누어 진행된다.

측정신호 $x \in \boldsymbol{R}^N$ 은 다음의 관계식에 의하여 차원수가 축소된 압축신호 $y \in \boldsymbol{R}^M$ 으로 표본화될수 있다.

$$y = \Phi x \tag{1}$$

여기서 $\Phi \in \boldsymbol{R}^{M \times N} (M < N)$ 은 압축행렬이다.

선형대수리론에 의하면 방정식 (1)은 무한개의 풀이를 가지며 $M < N$ 일 때 압축신호 y 로부터 원신호 x 를 유일하게 회복할수 없다.

그러나 만일 x 가 성김성을 가진다면 다시말하여 x 를 구성하는 결수들속에 비령원소의 수가 적다면 y 로부터 x 를 근사하게 회복할수 있다.

신호는 일반적으로 성김성을 가지지 않지만 특이한 방법(실례로 직교변환)에 의해 성글게 표현할수 있다.

몇개의 직교토대 $\{\psi_i\}_{i=1}^N$ (여기서 ψ_i 는 N차원렬벡토르이다.)을 리용하여 $x \in \boldsymbol{R}^N$ 을 다음과 같이 표시할수 있다.

$$x = \sum_{i=1}^{N} \theta_i \psi_i \,, \quad \theta_i = \langle x, \ \psi_i \rangle = \psi_i^{\mathrm{T}} x \tag{2}$$

식 (2)를 행렬형태로 표시하면 다음과 같다.

$$x = \Psi \Theta \tag{3}$$

여기서 $\Psi=[\psi_1, \psi_2, \cdots, \psi_N]\in \boldsymbol{R}^{N\times N}$ 은 사전행렬이며 $\Theta=[\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_N]^{\mathrm{T}}$ 는 결수벡토르이다.

Θ 가 Ψ 에 의하여 k 개로 성글어졌다면 Θ 에는 k 개의 비령원소들이 있고 $k<<N$ 이다.

식 (1)에 식 (3)을 대입하고 $A=\Phi\Psi$ 로 표시하면 $y=\Phi\Psi\Theta=A\Theta$ 이다. Θ 가 성글다면 이 방정식의 미지수는 매우 적어지며 y 로부터 Θ 를 근사하게 회복할수 있다.

론문에서는 잡음제거를 위한 신호회복알고리듬으로 정합추적(Matching Pursuit-MP)알고리듬을 선정하였다.

MP알고리듬은 압축신호 y, 행렬 A, 성김도 k 로부터 $y\approx A\theta$ 를 만족시키는 비령개수가 k 개인 결수벡토르 Θ 를 구하기 위한 알고리듬으로서 다음과 같은 단계로 구성된다.

걸음 1 입력자료로서 압축신호 y, 행렬 A, 성김도 k 를 설정한다.

걸음 2 초기값을 $t=1$, $r_0=y$, $\Lambda_0=\phi$ 으로 설정한다.

걸음 3 $r_t\approx A_{\lambda_t}\theta_{\lambda_t}$ 로 최량근사화할수 있는 첨수 λ_t 와 결수 θ_{λ_t} 를 찾는다.

걸음 4 잔량 $r_{t+1}=r_t-A_{\lambda_t}\theta_{\lambda_t}$ 를 계산한 다음 $t=t+1$ 로 놓는다.

걸음 5 $t\le k$ 이면 걸음 3으로 이행한다.

걸음 6 Θ 를 출력한다.

2. 압축수감에 기초한 진동신호잡음제거알고리듬

회전기계들의 상태검사를 위한 가장 중요한 지표는 설비의 진동자료이다.

진동측정과정에 수감부설치상태와 작업환경 등의 원인에 의하여 신호에는 일반적으로 잡음이 포함되게 된다. 따라서 측정된 진동신호를 분석하기에 앞서 측정신호속에 섞인 잡음을 제거하여야 한다.

일반적인 진동신호는 성글지 않지만 리산코시누스변환(DCT)행렬과 같은 특수한 사전행렬에 의하여 성글게 표현될수 있다. 신호 x 는

$$x=1.2\sin(2\pi f_1 t)+0.8\sin(2\pi f_2 t)+0.5\sin(2\pi f_3 t)+0.2\sin(2\pi f_4 t), \tag{4}$$
$$(f_1=2\text{Hz},\ f_2=100\text{Hz},\ f_3=300\text{Hz},\ f_4=800\text{Hz})$$

에 의하여 계산되고 10kHz로 표본화한 잡음이 없는 리상적인 신호와 가우스우연신호는 각각 그림 1의 ㄱ), ㄴ)와 같고 이 신호들의 DCT변환결과는 각각 그림 ㄷ), ㄹ)와 같다.

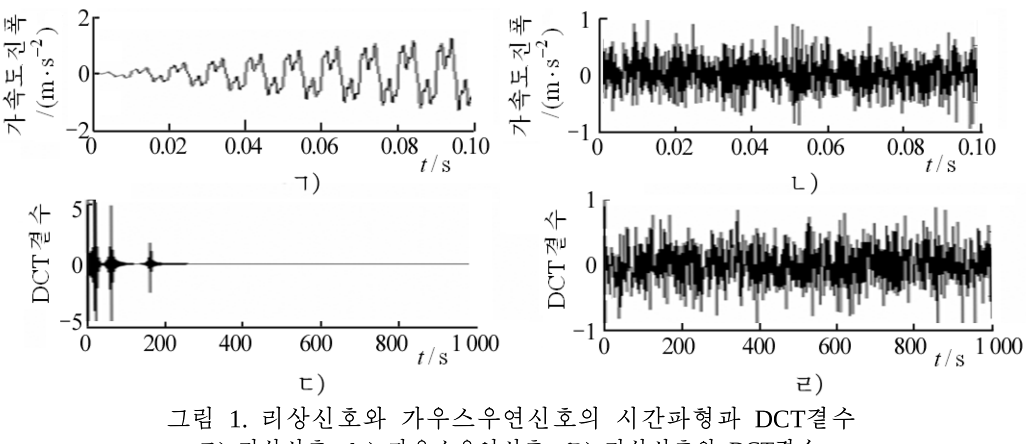

그림 1. 리상신호와 가우스우연신호의 시간파형과 DCT결수
ㄱ) 리상신호, ㄴ) 가우스우연신호, ㄷ) 리상신호의 DCT결수,
ㄹ) 가우스우연신호의 DCT결수

그림 1의 ㄷ), ㄹ)에서 보는바와 같이 리상신호는 DCT후에 성글게 표시되며 가우스우연신호는 그렇지 않다는것을 알수 있다.

리상신호와 잡음신호를 $x\in \boldsymbol{R}^N$, $n\in \boldsymbol{R}^N$ 으로 표시하면 잡음제거에 필요한 원신호를 $xn=(x+n)\in \boldsymbol{R}^N$ 으로 표시할수 있다. 압축행렬 $\Phi\in \boldsymbol{R}^{M\times N}(M<N)$ 에 의하여 원신호 xn 을 압축하면 압축신호 $y\in \boldsymbol{R}^M$ 을 얻을수 있다.

$$y=\Phi\cdot xn=\Phi\cdot(x+n) \tag{5}$$

사전행렬을 $\Psi\in \boldsymbol{R}^{N\times N}$ 으로 표시하면 다음의 식들이 성립된다.

$$x=\Psi\Theta_x,\quad n=\Psi\Theta_n \tag{6}$$

여기서 Θ_x 와 Θ_n 은 사전행렬 Ψ 에서 리상신호와 잡음신호의 결수들이다.

식 (6)을 식 (5)에 대입하면 $y=\Phi\cdot\Psi(\Theta_x+\Theta_n)$ 을 얻을수 있다.

측정값 y 는 잡음이 없는 진동신호와 잡음신호의 정보를 포함한다.

우에서 보는바와 같이 DCT행렬을 사전행렬로 리용할 때 결수 Θ_x 는 성글며 결수 Θ_n 은 성글게 될수 없다.

Θ_x 와 Θ_n 의 성김도를 각각 k_x, k_n 으로 표시하면 $k_x << k_n < N$ 을 만족시킨다.

압축수감의 신호회복조건에 의하여 y 로부터 Θ_x 를 재구성하는것은 가능하지만 k_n 이 대단히 크기때문에 Θ_n 을 재구성하는것은 불가능하다.

잡음제거알고리듬은 아래와 같은 단계를 거쳐 진행된다.

단계 1 $\Phi\in \boldsymbol{R}^{M\times N}(M<N)$ 을 정규분포하는 우연행렬로 구성한다.

단계 2 $\Psi\in \boldsymbol{R}^{N\times N}$ 을 DCT행렬로 구성한다.

단계 3 원신호에 압축행렬 Φ 를 곱하여 압축신호 $y\in \boldsymbol{R}^M$ 을 얻는다.

단계 4 k를 적당히 선정하고 MP알고리듬을 리용하여 성긴결수벡토르 Θ 를 얻는다.

단계 5 $x'=\Psi\Theta$ 가 잡음이 제거된 신호이다.

3. 수 값 모 의

식 (4)에 의하여 계산되는 0～0.1s사이의 신호를 리용하여 모의실험을 진행하였다.

깨끗한 신호 $x\in \boldsymbol{R}^N$ $(N=1\ 000)$ 은 그림 2의 ㄱ)와 같고 우연잡음 $n\in \boldsymbol{R}^N$ 이 x 에 더해진 신호는 ㄴ)와 같으며 성김도 k를 10, 압축차원수 M을 600으로 설정하였을 때 원신호 $xn\in \boldsymbol{R}^N$ 의 잡음제거결과는 ㄷ)와 같다.

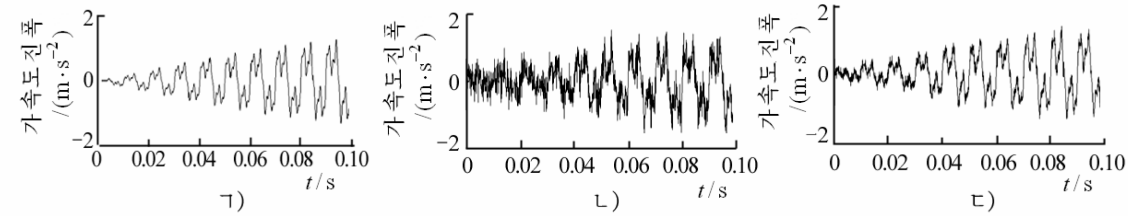

그림 2. 성김분해방법에 의한 신호잡음제거결과
ㄱ) 리상신호, ㄴ) 잡음이 섞인 신호, ㄷ) 잡음이 제거된 신호($k=10$, $M=600$ 일 때)

그림 2에서 보는바와 같이 론문에서 제기한 방법으로 잡음이 제거된 신호는 원신호에 비하여 리상신호와 더 근사하다.

그림 2의 ㄴ)에서 보여준 원신호의 SN비는 4.78dB이지만 ㄷ)에서 보여준 잡음제거된 신호의 SN비는 13.24dB이다.

잡음제거전과 잡음제거후의 SN비값의 비교로부터 론문에서 제기한 잡음제거방법이 진동신호의 SN비를 증가시키는 효과적인 방법이라는것을 알수 있다.

맺 는 말

론문에서는 압축수감리론을 진동신호처리에 응용하여 새로운 잡음제거방법을 제기하고 모의신호와 현장신호를 가지고 효과성을 검증하였다. 수값실험결과는 이 방법이 신호의 SN비를 높이는데 유용하게 쓰일수 있다는것을 보여준다.

앞으로 압축차원수 M과 성김도 k의 합리적인 결정방법을 해결하여 실용적인 려파방법을 완성하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] A. Xiang-bi et al.; Journal of Academy of Armored Force Engineering, 27, 2, 29, 2013.

[2] D. L. Donoho; IEEE Transactions on Information Theory, 52, 4, 1289, 2006.

주체106(2017)년 3월 5일 원고접수

A Denoising Method for Vibration Signals based on Compressed Sensing

Kim Su Jong, Jo Myong Jin

We suggest the denoising method by applying the compressed sensing theory to vibration signal process and verify the effectiveness with simulation and field signals. The test result shows that this method can be usefully used to raise the SNR of signal.

Key words: signal denoising, compressed sensing, vibration signal