

능동회로에서의 노이즈 규명 및 MPM기법을 통한 저감

오경석, 이종복, 고일관, 허훈
고려대학교 제어계측공학과 대학원

Noise identification on active circuits and reduction using MPM technique

K. S. Oh, J. B. Lee, I. K. Ko, H. Heo
Department of Control & Instrumentation Engineering, Korea Univ.

Abstract - In the paper, the noise involved on the active circuit is identified using correlation function. In order to identify the unknown noise source location, signals from each points on the system are detected and the location is identified by a concept called Noise Source Surface. The fault diagnosis method is suggested for each element by identifying the noise source in active circuit using SVM.

Experiment is conducted to confirm the validity of the proposed method. Also a method to reduce and control the noise in the system signal by using Matrix Pencil Method is introduced.

1. 서 론

본 논문에서는 능동회로 각 부위에서 탐지되는 개별 신호들의 상관관계 정보를 이용한 N.S.S (Noise Source Surface) 개념을 이용하여 그 NOISE SOURCE의 위치를 규명하고 또 SVM 방법을 이용하여 능동회로의 출력 파형을 비정상상태와 정상상태로 구분하여 회로의 고장 진단법을 제안하고 규명된 노이즈를 Matrix Pencil Method를 통해 저감시키고 제어하는 방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 Sample 능동회로 구성

그림1. Sample Active Circuit (NPN transistor amplifier)

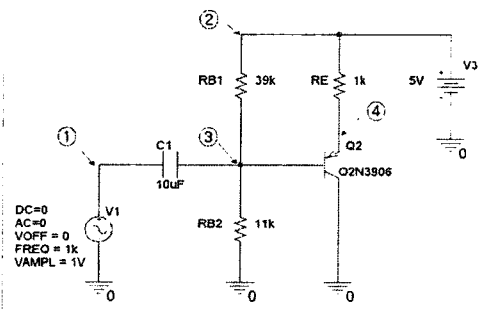


그림1의 간단한 능동 회로를 구성하였다. 능동회로에서의 임의의 위치에 노이즈가 감지됐을 때 그림1의 번호로 표시된 각 지점들의 전압 파형의 cross-correlation 결과로 어떻게 노이즈의 위치를 규명할 수 있는지 실험으로 증명하기 위해 임의에 한 지점의 랜덤 노이즈를 인가하고 N.N.S로 표현해 보았다.

2.2 노이즈 규명

그림1.에서 점으로 표시된 각각의 위치를 기준으로 4부위로 나누어 볼 때 세 번째 부위에 임의의 노이즈를 입력하여 실험을 실시하였다. 그림1의 번호로 표시된 각 지점들의 전압 파형 측정된 신호들 간의 상관관계를 알아보기 위하여 cross-correlation을 구한다.

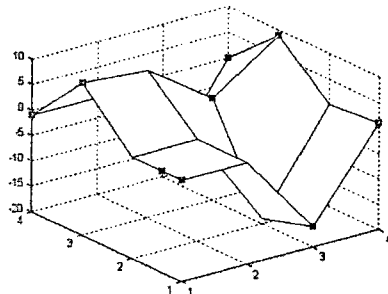
$$R_{r,r_1}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x_1(t)x_2(t-\tau)dt \quad (식1)$$

$R_{r,r_1}(\tau)$ 가 최대값이 될 때의 τ 를 이용하여 아래와 같은 도표와 그래프를 구성한다. 첫 실험으로 세 번째 부분에 의란이 인가된 경우에 각 부분에서의 응답을 이용하여 상관관계를 구한다.

표1. Time delay(τ) with correlation under the random noise on third part.

e_2 \ e_1	1	2	3	4
1	0	0	-16	1
2	0	0	-19	0
3	9	9	0	9
4	-1	-1	-19	0

그림2. Time delay(τ) under the random noise on third part ("Noise Source Surface" by Experiment)



위의 그림에서 볼 수 있듯이 랜덤 노이즈가 포함된 세 번째 부분의 τ 값은 이외의 부분에 대한 τ 값에 비하여 최대 또는 최소의 값을 보이고 있으므로, 이로부터 세 번째 부분에 노이즈가 섞인 것임을 확인 할 수 있다. 또한

각 도표에서 대각 항은 자기 상관관계를 갖게 되므로 지연이 나타나지 않는다. 그러므로 τ 는 0이 되는 것을 볼 수 있다. 표1에서 4번째 위치에서의 파형과 correlation된 파형에 약간의 시간지연이 있는 이유는 3번째 위치에서의 랜덤 노이즈가 4번째 파형에 영향을 준 것이다. 하지만 영향이 적기 때문에 3번째 위치에 노이즈가 생성됐다고 판단할 수 있다.

2.3 출력파형의 고장 진단 판별

SVM(Support Vector Machine)은 입력 자료를 구분(classification)하거나 함수근사에 적용되어 왔다. SVM은 패턴분리의 최적 Hyperplane을 구하는 QP(Quadratic programming)의 해를 구하는 것으로 귀결된다. 이러한 최적 분리면은 목시적 특이 공간(Feature Space)으로의 사상(mapping)을 통해 얻어지며, 사상된 다차원 공간에서 다시 입력공간의 구분(classification)을 얻게 된다. 이를 통해 입력공간에서 선형구분이 되어지지 않는 문제를 해결할 수 있다. 이러한 장점을 이용하여 출력파형의 정상상태와 비정상상태의 특징을 학습하여 고장이 발생했을 때를 진단하는 알고리즘을 제안하였다.

그림1의 sample 능동회로 출력파형의 출력전압, 출력파형의 주파수, 출력파형의 autocorrelation 최대값이 될 때의 시간을 한 벡터로 구성하여 400개의 비정상상태, 정상상태 데이터를 training data로 구성하여 C-SVM을 사용하여 classification 하였다.

출력파형의 autocorrelation 최대값이 될 때의 시간은 노이즈가 입력됐을 때와 파형이 변형을 일으킨 경우 시간값이 변하기 때문에 파형이 정상적인지 비정상적인지 판명할 수 있기 때문에 사용하였다.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m \xi_i \quad (식2)$$

$$s.t. \quad d_i(\langle w, x_i \rangle + b) \geq 1 - \xi_i; \quad \xi_i \geq 0, \quad i=1 \dots N$$

(식2)는 (식3)과 같은 쌍대문제에 해를 구하는 것과 동치이다. 쌍대문제는 다음과 같다.

$$\max \theta(a) = \sum_{i=1}^m a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j d_i d_j k(x_i, x_j)$$

$$s.t. \quad a \geq 0, \quad i=1, \dots, N \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^N a_i d_i = 0 \quad (식3)$$

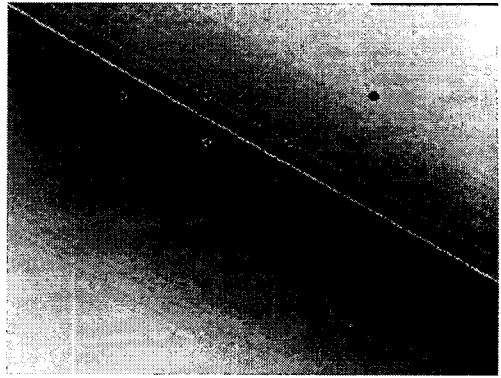
SVM의 결정함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \text{sgn}(\langle w, \Phi(x) \rangle + b) = \text{sgn}(\sum_{i=0}^m a_i d_i k(x_i, x) + b) \quad (식4)$$

모의실험에서는 linear kernel을 사용했고 C 파라미터는 1000으로 설정했다. 실험결과는 다음과 같다.

$\|w_0\|^2$: 0.017748
 Margin : 15.012691
 Sum alpha : 0.017748
 Support Vectors : 3 (1.5%)
 b0 = -17.5863

그림3. 최적 분리면에 의해 구분되어진 실험 데이터



2.4. 노이즈 저감

SVM에 의해 출력파형의 정상, 비정상상태를 구분하고 비정상상태일 경우 정상데이터와 오차가 클 때는 능동시스템회로의 고장이나 큰 오류로 판단하여 오류신호를 내보내고 만약 데이터가 비정상데이터일 때, 비정상데이터가 정상데이터에서 적은 오차를 보일 경우에는 랜덤 노이즈가 포함된 불안정한 출력파형으로 인식하여 노이즈를 저감시킨다. 이 규명된 출력파형의 노이즈를 저감시키는 방법으로 MPM(Matrix Pencil Method)을 제안하였다. MPM의 장점은 기존 필터와는 달리 Cut-off 주파수와 잡음 신호의 주파수 설정이 필요가 없고 노이즈에 정보에 관계없이 신호처리가 가능하다.

MPM은 특정주파수만 통과 시켜, 지배적인 주파수 정보를 얻는 방법이다.

2.4.1 System Dynamic

그림1의 출력파형을 노이즈가 포함된 다음과 같은 시스템으로 고려하자

$$y(t) = x(t) + \eta(t) \approx \sum_{i=1}^M R_i \exp(S_i t) + \eta(t) \quad (식5)$$

$y(t)$ Observed time response

$x(t)$ Signal

$\eta(t)$ Noise in the system

2.4.2 Matrix Pencil Method

위와 같은 시스템으로 고려된 출력파형을 다음과 같은 matrix를 구한다.

$$[y_1] = \begin{bmatrix} x(0) & x(1) & \dots & x(L-1) \\ x(1) & x(2) & \dots & x(L) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N-L-1) & x(N-L) & \dots & x(N-2) \end{bmatrix} \quad (식6)$$

$$[y_2] = \begin{bmatrix} x(1) & x(2) & \dots & x(L) \\ x(2) & x(3) & \dots & x(L+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N-L) & x(N-L+1) & \dots & x(N-1) \end{bmatrix} \quad (식7)$$

L (pencil parameter): 새롭게 구성될 배열의 크기를 나타내며 획득된 신호 크기의 1/2 또는 1/3의 크기로 정한다.

식(2)와 식(3)을 이용하여 다음과 같은 행렬을 구한다.

$$[Y] = \begin{bmatrix} y(0) & y(1) & \cdots & y(L-1) \\ y(1) & y(2) & \cdots & y(L) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y(N-L-1) & y(N-L) & \cdots & y(N-2) \end{bmatrix} \quad (\text{식8})$$

식(8)에 대해서 SVD(Singular Value Decomposition)을 취한다.

$$[Y] = [U][\Sigma][V]^H \quad (\text{식9})$$

$$[V] = [v_1, v_2, \dots, v_M, \dots, v_L] \quad (\text{식10})$$

식(10)에서 L개의 right-singular 행렬값 중에서 M개까지는 큰 값을 갖는다. M은 구하고자 하는 Dominant한 주파수 정보를 뜻한다(Matrix Parameter)

또한 식에서 M+1에서 L까지의 Right-Singular vector들은 크기가 작아 없어지게 된다.

그림4. 그림1 회로의 출력파형의 주파수 분석

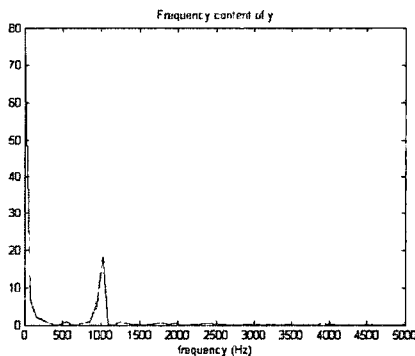
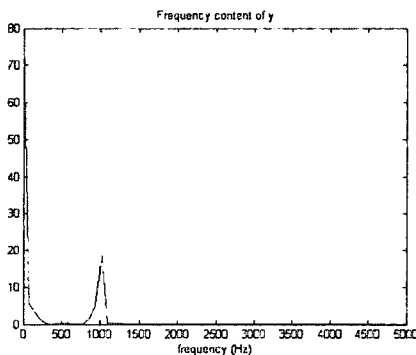


그림5. 출력파형을 Pencil Method한 후의 주파수 분석



1번 능동 회로에서의 출력파형을 MPM 기법을 사용하여 노이즈를 제거했다.

그림4,5를 보면 지배적인 M개는 남겨두고, 나머지 신호들은 정보를 잃게 되어 상대적으로 낮은 신호 레벨을 갖는 잡음이 제거가 된 것을 볼 수 있다.

그림6. 노이즈가 포함된 그림1의 회로의 출력파형

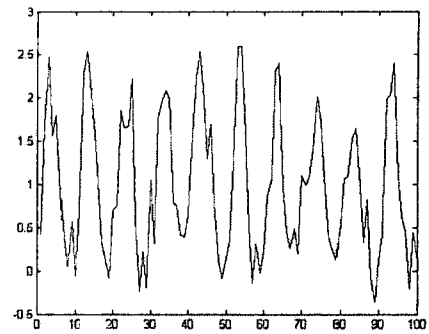
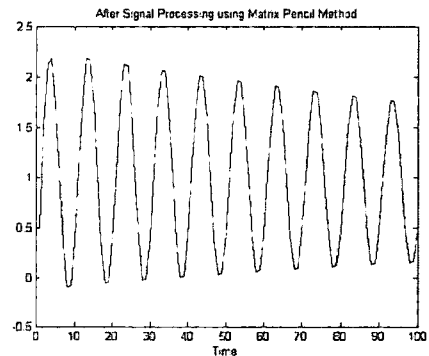


그림7. MPM실행 결과 노이즈가 제거된 출력파형



3. 결 론

본 논문은 간단한 능동 회로에서 Noise Source Surface 개념을 적용시켜 노이즈의 위치를 규명하였다. 그러나 각 point의 파형이 파형 간에 상관성이 적을 경우에는 노이즈 규명이 어렵다. 복잡한 능동회로에서는 심층적인 연구가 필요하다. 또 C-SVM을 통해 파형의 상태를 표현할 수 있는 전압, 주파수, cross-correlation 최대값의 시간을 data로 사용하여 파형의 정상상태와 비정상상태를 구분하는 고장 진단 방법을 제안하였다. 그리고 탐지된 노이즈를 MPM방법을 통해 저감하는 기법을 사용하여 average 방법보다 시간을 단축할 수 있고 특정주파수만 통과 시킬 수는 장점을 가지고 있고 기존의 필터보다 저감성능이 좋은 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] K.W. Ko, Y.S. Oh, Q.Y. Jung, H. Heo, "abnormal Diagnostics of Vibration system using SVM.", Journal of Sound and Vibration, pp, 932~937, 2003.
- [2] Q. Y. Jung, Y. S. Oh, S. J. Min, K. S. Oh, H. Heo, "Vibration Control of Flexible Dynamic System Exposed to Unknown Random Disturbance and Identification of the Random Disturbance" Journal of Sound and Vibration, pp,228~232, 2004.
- [3] Manabu Kitamura, A Model Order Estimation in the Matrix Pencil Method for the Transient Response of a Microwave Circuit Discontinuity, IEICE TRANS. ELECTRON, VOL. E82-C, NO.11 NOVEMBER 1999.