

Lattice Filter를 이용한 선형 AR 모델의 스펙트럼 분석기법에 의한 동특성 해석
 An Identification of Dynamic Characteristics by Spectral Analysis Technique of
 Linear Autoregressive Model Using Lattice Filter

이 태 연* 신 준* 오 재 응**
 Lee Tae Yeon Shin Joon Oh Jae Eung

ABSTRACT

This paper presents a least-square algorithms of lattice structures and their use for adaptive prediction of time series generated from the dynamic system. As the view point of adaptive prediction, a new method of identification of dynamic characteristics by means of estimating the parameters of linear auto regressive model is proposed.

The fast convergence of adaptive lattice algorithms is seen to be due to the orthogonalization and decoupling properties of the lattice. The superiority of the least-square lattice is verified by computer simulation, then predictor coefficients are computed from the linear sequential time data. For the application to the dynamic characteristic analysis of unknown system, the transfer function of ideal system represented in frquency domain and the estimated one obtained by predicted coefficients are compared.

Using the proposed method, the damping ratio and the natural frequency of a dynamic structure subjected to random excitations can be estimated. It is expected that this method will be widely applicable to other technical dynamic problem in which estimation of damping ratio and fundamental vibration modes are required.

1. 서 론

안정적인 통계확률 과정의 파워 스펙트럼은 가진계의 함축적인 정보를 편리하게 전달하며 식별하기 어려

운 주기성이나 밀집한 스펙트럼상의 피크를 잘 나타나게 하므로써 매우 서술적인 통계정보이며 시계열(time series) 데이터를 분류하고 식별하는데 효율적으로 이용할 수 있다.

*正會員 : 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

**正會員 : 한양대학교 자동차공학과

따라서 스펙트럼 해석 방법은 기계의 고장진단과 파손 예측, 공정 분석과 모니터링 및 제품의 품질관리와

같은 분야에 있어서 중요한 과제로 연구되어 왔다.

최근 가진을 받는 대형 구조물의 동적 응답 특성을 측정하고, 고려되어야 할 기계적 모델의 적절한 파라메타 값을 결정하기 위해 그 구조물의 고유진동수와 감쇠특성을 평가하고 조사하는데 대한 중요성이 점차 증가하고 있다. 지금까지 제안된 진동 모우드를 식별하는 방법 중 대표적인 것으로는 공진응답곡선 (resonance response curve)을 이용하거나 충격응답 (impulse response) 특성을 이용하는 방법들이 있으나 이러한 방법들은 실험 조건의 선정과 진동공구의 사용에 있어서 관측자의 주관적 판단 여부에 따라 구해진 동특성이 상당히 넓게 분포되어 있을 수 있어 그 값을 실제적인 응용에 이용하기 어려울 때가 있다.

최근 컴퓨터를 이용한 시계열 데이터 분석에 있어서 입출력간의 상관관계를 이용한 분석 방법이나 스펙트럼 분석 방법에 의해 동특성을 규명할 수 있게 되었다. 이러한 방법 중 아주 고전적인 방법으로서 Blackman-Tukey법이나 Periodogram법¹⁾과 같은 방법은 많은 데이터를 요구하거나 그러한 많은 데이터에 대한 pseudo-ensemble 평균까지도 필요로 하며 또한 이에 따른 주파수 분해능의 한계성과 스펙트럼의 왜곡이 나타나는 off-line 해석 방법들이 대부분의 경우에 여전히 이용되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 기계의 고장진단이나 모니터링 및 품질관리분야에 대한 실시간 응용에 부적절하며 이러한 실시간 모니터링 및 제어분야에서는 비정상적인 스펙트럼이 발생했을 때 가능한 빨리 적용해야 하는 실시간 결정기구(real-time decision making mechanism)를 지원해야 하고 비교적 짧은 데이터 레코드에 대해 작용이 가능해야 하는 정확한 스펙트럼 식별방법이 필요하다. 이와같은 필연적인 요구로 인하여 AR(autoregressive)이나 MA(moving-average) 및 ARMA(autoregressive moving-average) 스펙트럼 식별 방법과 같은 파라메타 식별에 의한 진동모우드를 분석하는 진보적인 방법이 최근에 소개되었으며 이러한 방법 중의 하나가 1970년대 중반부터 활발하게 연구가 진행되고 있는, 시계열의 모우드 특성을 적용 Lattice 필터를 이용하여 스펙트

럼을 해석하는 방법²⁾으로서 이러한 Lattice 필터는 순방향 예측오차 및 역방향 예측오차가 Gram-Schmidt 방법에 의해 순환적으로 계산되기 때문에 예측오차가 서로 직교하여 각 단이 서로 독립적이므로 각 단별로 최적화가 가능하다. 또한 Lattice 필터에 의해 발생한 이들 직교함수는 진동 모우드에 대한 정보를 갖는다. 따라서 N차 Lattice Filter는 1차에서 N차까지의 필터의 모든 정보를 갖고 있으며 필터의 차수를 증가시킬 경우 여분의 단만 붙이면 되기 때문에 제어 및 고장진단에 대한 실시간 적용이 가능하다.^{3~5)}

본 연구에서는 Lattice Filter를 이용한 동적 구조물의 능동 제어를 위한 전 단계의 연구로서 AR 시계열의 파라메타 식별에 의한 스펙트럼 해석을 컴퓨터 시뮬레이션으로서 수행하였다. 이 연구의 수행을 위해 먼저 recursive least square lattice 알고리즘을 소개하고 본 알고리즘을 이용하여 식별한 AR 파라메타의 수렴성에 대해 고찰하였다. 또한 이들 파라메타를 이용하여 AR시계열 모델의 스펙트럼 해석을 수행하였으며 본 연구에서 개발한 Lattice Filter 방법으로 능동 진동 제어 및 능동 소음 제어등의 실제 문제에 대한 적용 가능성을 제시하고자 하였다.

2. Lattice Filter 이론

2.1 Lattice Filter 파라메타의 직교성

Lattice Filter는 그 알고리즘 상이 직교성으로 인해 차수의 증가가 자유롭고 수리적인 안정성이 보장되며 라운드 오프 오차에 대한 특성이 좋은 점등 여러가지 장점들 때문에 적응 신호처리 및 적응 제어 분야에 널리 응용되어 왔다.⁶⁾ Lattice Filter의 이론으로써 계(system)의 적절한 차수를 선정함과 동시에 모우드형(Mode shape)을 결정할 수 있다. 대부분의 경우에 있어서 계의 차수가 먼저 결정되어야 하며, 모델의 차수를 결정한 다음 Lattice Filter를 이용하여 Autoregressive형 모델의 파라메타(parameter)를 식별한다.

본 연구의 기본 개념은 시스템의 동특성 변화에 대

한 출력이 구조물의 고유 모드(natural mode)에 대한 모든 정보를 수반하며 따라서 시스템의 동적 거동을 특성 짓기 위하여 Gram-Schmidt법에 의해, 출력으로 부터 도출된 일련의 직교 함수(orthonormal function)을 발생시켜 출력과 이들 직교함수들과의 선형 관계로서 계의 동특성을 표현한다는 것이다.⁷⁾

Lattice Filter는 가장 최근의 측정 샘플을 이용하여 측정 데이터에 대한 정규직교기저함수(orthonormal basis function)를 구하기 위한 시간 순환 알고리즘의 구현에 편리하다.

2.2 시계열 분석을 위한 AR 모델

AR 모델의 스펙트럼 해석 방법은 전자 통신 과정(speech process)이나, 지질학적인 토양 구조 분석에 자주 이용되는 deconvolution 개념에 기초한 것으로 Winer의 예측 필터링 이론으로 부터 발전한 것이다. 이러한 예측 필터링을 구조물의 동특성 해석에 적용함으로써 "예측기 시스템"의 동특성을 나타내는 파워 스펙트럼 밀도(power spectrum density)를 갖는 랜덤 신호를 임의적으로 발생할 수 있으며, 식별 시계열 모델의 파라미터로써 고해상도의 스펙트럼 해석을 수행할 수 있다.

Lattice Filter에 의한 스펙트럼 해석은 전체적인 데이터의 수가 그리 크지않는 경우에 있어서도 AR모델에 대한 최적한 차수를 선정한다면 관심있는 주파수 영역을 포함하는 안정한 스펙트럼을 구하는데 있어서 탁월한 장점을 갖는다.

1차원 시계열의 autoregressive 모델은 Fig.1과 같으며 그 수식은 다음과 같다.

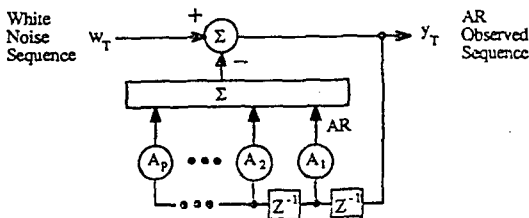


Fig. 1. Time series model of pth order AR filter

$$y(t) = \sum_{i=1}^N a_i y(t-i) + w(t) \quad (1)$$

여기서

$y(t)$: 시간 t에서의 시계열 데이터

a_i : autoregressive 계수

$w(t)$: 백색잡음 특성을 갖는 미지의 랜덤입력

이 식을 다음과 같이 변환하면

$$w(t) = y(t) - a_1 y(t-1) - a_2 y(t-2) - \dots - a_N y(t-N) \quad (2)$$

여기서 일련의 autoregressive 계수 $[1, a_1, a_2, \dots, a_N]$ 으로써 랜덤 입력 시계열을 예측하는 예측기 시스템의 전달함수를 구성할 수 있다. 식(1)을 차분방정식으로 간주하고 $z = e^{sT}$ 를 도입함으로써 z변환을 수행하면 다음 식(3)과 같은 z평면내의 관계식으로 표현할 수 있다.

$$Y(z) = \sum_{i=1}^N a_i Y(z) z^{-i} + W(z) \quad (3)$$

이 식에서 $Y(z)$ 와 $W(z)$ 는 각각 $y(t)$ 와 $w(t)$ 항으로 부터의 z변환을 나타낸다. 그러면 다음과 같이 이 예측기 시스템의 전달함수를 식(4)와 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$G(z^{-1}) = \frac{Y(z)}{W(z)} = \frac{1}{1 - \sum a_i z^{-i}} \quad (4)$$

2.3 Lattice filter 예측 오차의 순환식

N차 AR시계열 모델에 대한 식(1)을 다음과 같이 식(2)와 같이 나타내면

$$y_k = a_1 y_{k-1} + \dots + a_N y_{k-N} + w_k \quad (5)$$

y_k : 출력 data sequence ($k=0, 1, 2, \dots$)

식(5)를 시계열(time series) $\{y_k\}$ 의 순방향예측기(forward prediction)라 한다. 식(5)에서 N차 AR모델의 i번째 계수 a_i 를 정의함으로써 Yule-Walker 방정식에 의해 즉, 식(5)에 $y_{k-1}, y_{k-2}, \dots, y_{k-N}$ 을 곱하고 기대값을 취함으로써 정적 과정에 대한 AR파라미터를 다음과 같이 구할 수 있다.⁸⁾

$$a_1^1 = R_1 / R_0 \quad (6)$$

여기서 $R_i = E[y_k y_{k-i}]$

$$\begin{matrix} a_1^2 & R_0 & R_1^{-1} & R_1 \\ a_2^2 & R_1 & R_0 & R_0 \end{matrix} \quad (7)$$

일반적으로 식(6)과 식(7)로부터 식(1)을 구할 수 있으며 여기서 $j+1$ 차의 AR 모델의 a_i 의 추정값 \hat{a}_i^{j+1} 은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{a}_i^{j+1} = \hat{a}_i^j - K_{j+1} \hat{a}_{j+1-i}^j \quad (8)$$

$i=1, 2, \dots, j$
 $j=0, 1, \dots, N$
여기서 $a_0^j = -1$

그리고

$$\hat{a}_{j+1}^{j+1} = \frac{[R_{j+1} - \sum_{i=1}^j \hat{a}_i^j R_{j+k-i}]}{[R_0 - \sum_{i=1}^j \hat{a}_i^j R_i]} \quad (9)$$

K_j^j : 반사(PARCOR; partial correlation)계수

반사(PARCOR)계수는 출력 data sequence y_k 가 정적이라는 가정을 전제로 하며 많은 필터링 및 적응 제어 문제에 있어서 강력한 이론적 요소인 자기상관행렬(autocorrelation matrices) R_i 는 Toeplitz형이다. 여기서 순방향 예측오차(forward prediction)를 다음과 같이 정의한다.

$$e_{N-k} = e_k^N \cong y_k - \sum_{i=1}^N a_i^N y_{k-i} \quad (10)$$

또한 이와 유사하게 역방향 예측 오차(backward prediction)를 다음과 같이 정의한다.

$$r_{N-k} = r_k^N \cong y_{k-N} - \sum_{i=1}^N b_i^N y_{k-N+i} \quad (11)$$

여기서 b_i^N : 주어진 데이터 $y_k \dots y_{k+N+1}$ 에 대한 y_{k-N} 의 역방향 예측기 계수

그리고 p 차의 AR모델에 대한 반사계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$K_{p+1}^c = \frac{\Delta_{p+1}}{R_p^c} \quad (12)$$

$$K_{k+1}^r = \frac{\Delta_{p+1}}{R_{p+1}^r} \quad (13)$$

여기서 K^c 와 K^r 은 각각 순방향 반사계수와 역방향 반사계수를 나타낸다.

순방향 예측오차의 자기상관함수(autocorrelation function)는 다음과 같이 표현된다.

$$R_{p+1}^c = E[e_{p,k}^2] \quad (14a)$$

그리고, 역방향 예측오차의 자기상관함수(autocorrelation function)는 다음과 같다.

$$R_{p+1}^r = E[r_{p,k}^2] \quad (14b)$$

순방향과 역방향 오차의 상호상관함수(crosscorrelation function)은

$$\Delta_{p+1} = E[e_{p,k} r_{p,k-1}] \quad (15)$$

이들 관계로부터 순방향 예측 오차와 역방향 예측 오차의 순환식을 구하면 다음과 같다.⁹⁾

$$e_{p+1,k} = e_{p,k} - K_{p+1}^r r_{p,k-1} \quad (16)$$

$$r_{p+1,k} = r_{p,k+1} - K_{p+1}^c e_{p,k} \quad (17)$$

이들 수식 관계를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같으며 Lattice Filter라는 명칭은 이러한 구조에서 연유된 것이다.

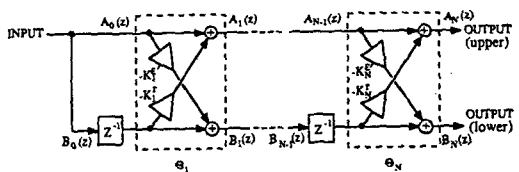


Fig. 2. Lattice implementation of a least square prediction error filter

Lattice 알고리즘의 계산 수행 과정은 다음과 같다. 먼저, 첫째 단위의 반사계수는

$$K_1^c = K_1^r = \frac{E[e_{p,k} r_{p,k-1}]}{E[e_{p,k}^2]} \quad (18)$$

연속적으로 식(16)과 식(17)을 이용하여 $|e_p|$, $|r_p|$ 를 구한다. 모델의 차수 $P=1, 2, \dots$ 에 대한 K_{p+1}^c , K_{p+1}^r 를 유도하면 다음과 같다.

$$K_{p+1}^c = \frac{E[e_{p,k} r_{p,k-1}]}{E[e_{p,k}^2]} \quad (19a)$$

$$K_{p+1}^r = \frac{E[e_{p,k} r_{p,k-1}]}{E[r_{p,k}^2]} \quad (19b)$$

여기서, $e_{0,k} = r_{0,k} = y_k$

이것을 식(16)과 식(17)에 대입하면 오차식의 순환식의 유도를 할 수 있다. 정적인 입력과정에 대하여 $K_p^c = K_p^r = K(\infty)$ 이다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

3.1 Lattice Parameter의 추정 및 수렴성 고찰

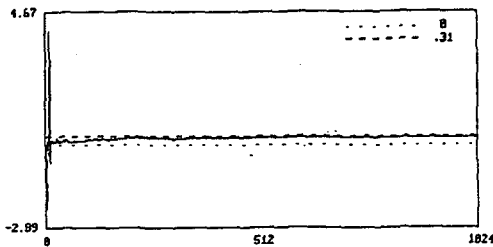
앞에서 설명한 Lattice Filter의 적응 알고리즘

(LSL)의 성능을 평가하기 위해 다음 식(20)과 같은 $1/A(z)$ 의 4차 autoregressive filter를 고려하여 파라미터 추정에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

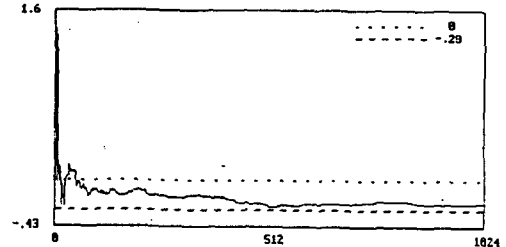
$$A(z) = 1 + 0.31z^{-1} - 0.28z^{-2} + 0.42z^{-3} + 0.56z^{-4} \quad (20)$$

윗 식에서의 $A_1=0.31, A_2=-0.28, A_3=0.42, A_4=0.56$ 은 임의로 가정한 AR모델의 파라미터이고 앞에서 설명한 Least Square Lattice 방법으로 수행하여 추정된 파라미터 A_1, A_2, A_3, A_4 의 궤적을 시간 t에 대해 나타난 것을 Fig. 3에 나타내었다.

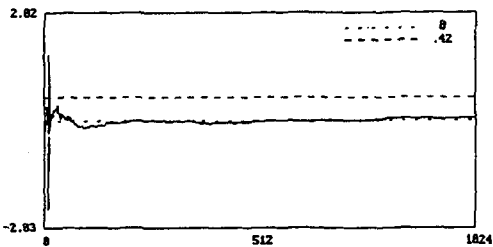
그림으로 부터 알 수 있듯이 본 알고리즘이 실제의 파라미터 값을 잘 추정해 갔음을 알 수 있다.



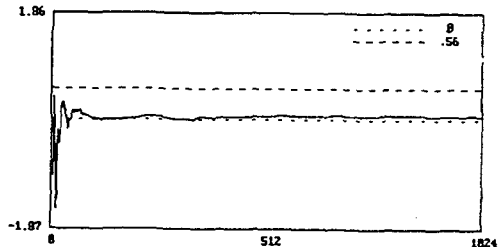
(a) for A1



(b) for A2



(c) for A3



(d) for A4

Fig. 3. Trajectory of AR parameters with the LSL algorithm

3.2 Lattice Filter를 이용한 System의 동특성 해석

p차의 AR모델을 다음과 같이 나타내면

$$y_T = -A_1 y_{T-1} - A_2 y_{T-2} - \dots - A_p y_{T-p} \quad (21)$$

식(21)은 다음과 같은 형태로 변형할 수 있다.

$$y_T(1 + A_1 B + A_2 B^2 + \dots + A_p B^p) = 0 \quad (22)$$

여기서 B : 지연(backshift) 연산자

$$y_{T-1} = B y_T$$

(22)식에서 AR모델의 계수는 다음과 같이 인수분해하여 나타낼 수 있다.

$$(1 + A_1 B + A_2 B^2 + \dots + A_p B^p) = (1 - \lambda_1 B)(1 - \lambda_2 B) \dots (1 - \lambda_p B)$$

$$= \prod_{i=1}^p (1 - \lambda_i B) \quad (23)$$

여기서

$\lambda_i (i=1, 2, \dots, p)$: p차 차분방정식의 특성근

식(23)은 다음과 같은 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda^p + A_1 \lambda^{p-1} + A_2 \lambda^{p-2} + \dots + A_p = 0 \quad (24)$$

앞에서 설명한 LSL 알고리즘으로 부터 AR계수를 추정한 후 그 계수를 식(24)에 대입하여 AR모델의 특성근을 구한다. 그리고 계산된 특성근으로부터 다음과 같이 AR모델의 특성근에 복소 공역근 λ, λ^* 각각에 상응하는 진동계의 모우드 파라미터, 즉 고유진동수 ω_n 과 ζ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\omega_{nj} = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{\frac{[\ln(\lambda_j \lambda_j^*)]^2}{4} + [\cos^{-1}(\frac{\lambda_j + \lambda_j^*}{2\sqrt{\lambda_j \lambda_j^*}})]^2} \quad (25)$$

$$\zeta_j = \sqrt{\frac{[\ln(\lambda_j \lambda_j^*)]^2}{[\ln(\lambda_j \lambda_j^*)]^2 + 4 [\cos^{-1}(\frac{\lambda_j + \lambda_j^*}{2\sqrt{\lambda_j \lambda_j^*}})]^2}} \quad (26)$$

여기서, λ_j, λ_j^* : 복소공역근

Δt : 샘플링 시간

j : 모우드 차수

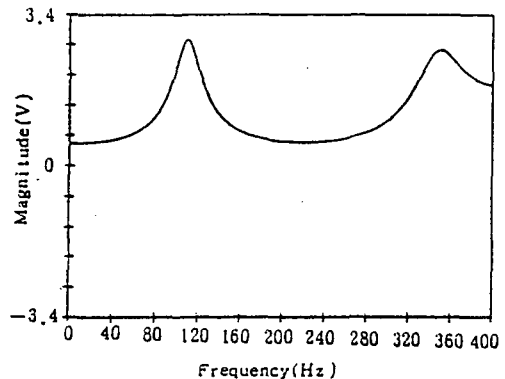
모우드 상에서 AR(all-pole) 필터의 z변환을 수행

함으로써 AR과정의 파워 스펙트럼을 다음과 같이 얻을 수 있다.

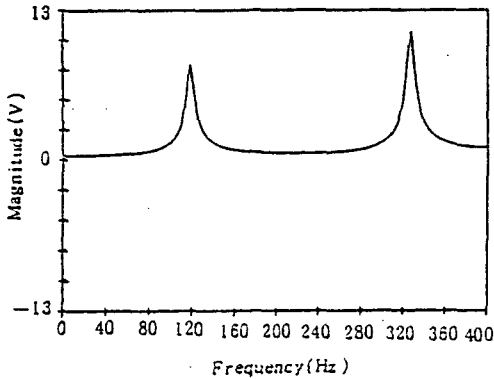
$$\begin{aligned} S_x(\omega) &= \frac{\sigma_\omega^2}{|A_p(z)|^2} \Big|_{z=e^{j\omega}} \\ &= \frac{\sigma_\omega^2}{|1 + \sum_{k=1}^p a_k \exp(-j\omega k)|^2} \\ &= \frac{\sigma_\omega^2}{|1 + \sum_{k=1}^p a_k \exp(-j2\pi f k T)|^2} \end{aligned} \quad (27)$$

여기서, σ : 백색잡음의 분산

시계열의 4차 AR 모델에 대해 앞에서 주어진 파라미터로서 구한 파워 스펙트럼은 Fig. 4와 같으며 그림과 같이 두 개의 피크와 하나의 null을 갖는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 sin 120Hz에 대해 본 연구에서 제안한 방법과 FFT 알고리즘으로 구한 스펙트럼을 비교한 것이다. 이상의 결과로부터 제안한 Lattice 필터 알고리즘이 최적한 순환회수 N을 선정한다면 관심있는 주파수 영역을 포함한 안정한 스펙트럼 곡선형태를 구하는데 있어 탁월한 장점을 가짐을 알 수 있다.



(a) Estimated parameter for $a_1 = 0.31, a_2 = -0.28, a_3 = 0.42, a_4 = 0.56$



(b) Estimated parameter for
 $a_1 = 0.44, a_2 = -0.22, a_3 = 0.42, a_4 = 0.89$

Fig. 4. Frequency response function estimated by LSL method

다음은 기계적인 구조모델의 동특성을 구하는 문제를 검토해 보기로 한다. 앞의 2장에서 설명한 선형 예측기 시스템의 전달함수를 나타내는 식(4)와 질량계의 주파수 응답함수간의 상응관계를 그림으로 나타내면 Fig.6과 같다. Fig.6의 윗부분 그림에서 전달함수 $G(z^{-1})$ 에 대한 위에서 설명한 관계를 도식적으로 나타내었으며 아래부분 그림에서 랜덤 가진을 받는 선형 집중 질량계에 대한 동적 구조 응답관계를 비교하여 나타내었다. 동적 시스템 주파수응답함수 $H(s)$ 에 상응하는 예측기 시스템에 대한 함수 $G(z^{-1})$ 를 가정하면 $G(z^{-1})$ 을 $H(s)$ 와 같게 놓음으로써 미지의 동적시스템의 고유진동수와 감쇠비를 Fig.6에 나타난 상관

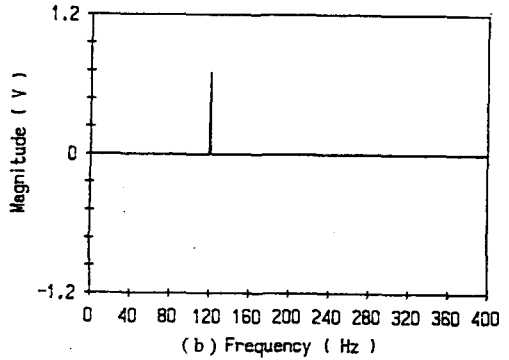
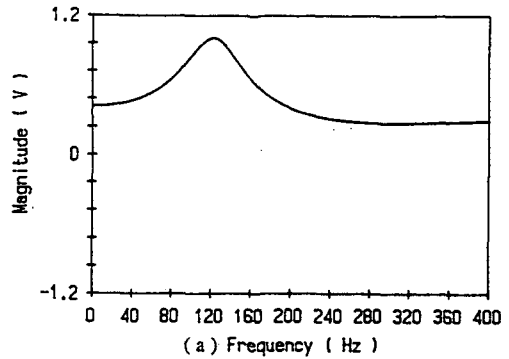
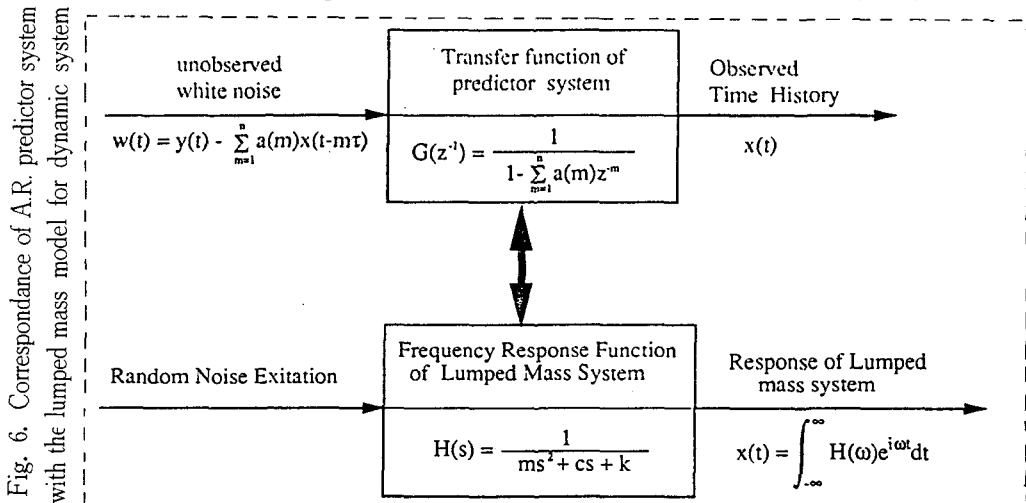


Fig. 5. Comparison of frequency response function of LSL method and FFT method
 (a) result of AR lattice filter method
 (b) result of FFT method

관계를 이용하여 편리하게 구할 수 있다.



앞에서 설명한 관계를 이용하여 간단한 구조모델의 동특성을 구하는 문제를 고려해 보기로 한다.

Fig. 7와 같이 기초에서 랜덤 가진 \dot{y} 를 받는 1자유도 계 시스템을 고려해보면 어느 순간 t 에서의 이 구조물의 상대적 변위 $x(t)-y(t)$ 는 운동방정식의 해를 구함으로써 쉽게 계산할 수 있다. 다음에 응답 시계열 $x(t)-y(t)$ 를 계산한 다음 $y(t)$ 와 $x(t)-y(t)$ 에 관한 상관관계의 계산을 수행함으로써 일련의 최적한 AR계수 $a(m)$ [$m=1,2,\dots,N$]을 구할 수 있다.

$$1 - \sum_{m=1}^N a(m) z^{-m} = 0 \quad (28)$$

위 식(28)에 상응하는 특성방정식의 근을 구한 다음 이들 근으로부터 고유진동수와 감쇠비를 계산할 수 있다.

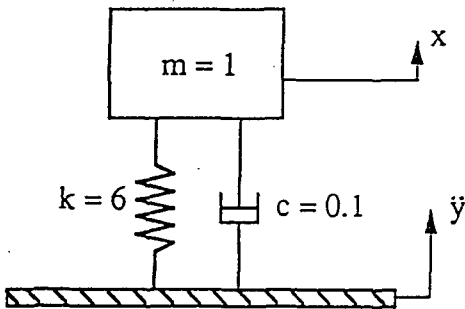


Fig. 7. Lumped mass model of single degree of freedom system

Table 1. The modal parameters of single degree-of-freedom system

	Identified	Theoretical
Damped natural frequency ω_d	2.4475	2.4489
Damping ratio ζ	0.0195	0.0204

Table. 1에 본 연구에서의 방법으로 구한 이들 값과 이론적인 값들을 비교하여 나타내었으며 이표로부터 이론적으로 구한 결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

본 연구에서 제시한 Lattice 알고리즘의 AR모델로써 고유진동수 및 감쇠비를 결정하는 방법은 실제적인 구조 시스템의 보다 복잡한 기계적인 모델에 적용할 수 있는 편리한 방법이 될 것이다.

4. 결 론

적용 신호 처리 분야에 있어서 각광을 받는 Lattice 필터로써 온라인(on-line)으로 동적 구조물의 고유진동수와 감쇠비를 구할수 있는 AR(autoregressive) 방법을 제안하였다.

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 본 연구의 결과는 Noise를 포함한 시스템의 출력에 대한 파라메타를 식별하여 온라인으로 시스템의 스펙트럼을 해석하는 유용한 방법을 제공한다.

(2) 유한 요소법등의 다른 동특성 해석법과 비교할 때 유한요소법이 해석적인 방법에 의존하는데 따른 문제점을 보완하여 실제구조물에 가장 적합한 동특성 해석 방법을 제시할 수 있다.

(3) Lattice필터에 의해 온라인으로 계의 동특성을 규명하여 시스템의 안정도를 보장하는 최적한 진동의 제어를 수행하는 실시간 제어 설계가 가능하다.

본 연구의 결과를 이용하여, 구조물의 주위 환경이나 구조상의 제약 또는 예기치 못하는 요인에 의해 구조물의 동특성이 변화함에 따른 적응식별 및 적응제어 방법의 실현에 대한 연구가 앞으로의 과제이다.

REFERENCE

- 1) S.Lawrence Marple, Jr., Digital Spectral Analysis with Applications, Prentice-Hall Inc., New Jersey, pp.131-153, 1987
- 2) B.Friedlander, "Lattice Methods for Spectral Estimation", Proceedings of IEEE, Vol.70, No.9, pp.990-1017, Sep.1982

- 3) B.Friedlander, "Recursive Lattice Forms for Spectral Estimation", IEEE Trans. on ASSP, Vol.ASSP-30, No.6, pp.920-930, Dec.1982
- 4) B.Picinbono, "Some Properties of Lattice Autoregressive Filters", IEEE Trans on ASSP, Vol.ASSP-34, No.2, pp.342-349, April, 1986
- 5) Michael L.Honing and D.G.Messerschmitt, "Convergence Properties of Adaptive Digital Lattice Filter", IEEE Trans. on ASSP, Vol.ASSP-29, No.3, pp.642-653, Jun. 1981
- 6) B.Fridlander, "Lattice Filters for Adaptive Processing", Proceedins of IEEE, Vol.70, No.8, pp.829-867, Aug. 1982
- 7) N.Sundararajan, R.C.Mongomery and J.P.Williams, "Adaptive Identification and Control of Structural Dynamics Systems Using Recursive Lattice Filters", NASA Technical Paper 2371, 1985
- 8) Daniel Graupe, Time Series Analysis ; Identificaiton and Adaptive Filtering, 1988
- 9) M.L.Honing and D.G.Messerschmitt, Adaptive Filters—Structures, Algorithms and Applications, Klumwer Academic Pub., Boston, pp.144-199, 1984

신규가입자명단

회원번호	신청구분	성 명	소 속
30187	정 회 원	김 재 훈	여수수산대학교
30188	정 회 원	윤 한 익	부산동의대학교
30189	정 회 원	안 광 주	부산동의대학교
30190	정 회 원	최 재 강	부산동명전문대학
30191	정 회 원	김 유 창	충남전문대학
30192	정 회 원	임 기 찬	경원전문대학