



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0063216
(43) 공개일자 2012년06월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 9/30 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0124296

(22) 출원일자 2010년12월07일

심사청구일자 2010년12월07일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

이진용

서울특별시 영등포구 63로 45, 여의도시범아파트 16동 53호 (여의도동)

김영록

서울특별시 마포구 상암산로1길 57, 월드컵아파트 612동 301호 (상암동)

(74) 대리인

남정길

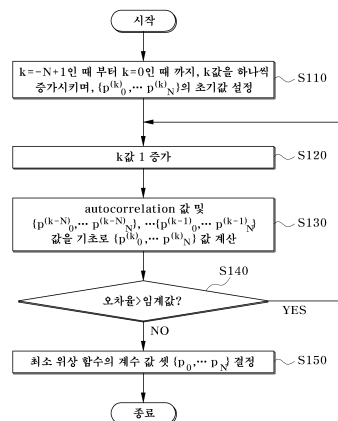
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 최소위상함수 및 최대위상함수의 계수를 결정하는 방법

(57) 요약

개시된 기술은 최소위상함수 및 최대위상함수의 계수를 결정하는 방법에 관한 것이다. 실시예들 중에서, 위상함수의 계수를 결정하는 방법은, (a) N차(이때, N은 자연수)인 위상함수의 계수 셋(coefficient set: $\{p_0, \dots, p_N\}$, 이때, p_0 는 상기 위상함수의 0차의 계수, p_N 은 상기 위상함수의 N차의 계수)의 적어도 하나의 초기 값을 설정하는 단계; (b) 자기상관(autocorrelation) 값과 상기 계수 셋의 관계에 따라, 상기 초기 값 또는 적어도 하나의 이전의 반복(previous iteration)에서 산출된 상기 계수 셋의 적어도 하나의 이전 값을 기초로, 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값을 산출하는 단계; 및 (c) 상기 (b) 단계에서 산출된 상기 계수 셋의 값의 오차율이 미리 설정된 임계 값보다 작아질 때까지 상기 (b) 단계를 반복하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

- (a) N차(이때, N은 자연수)인 위상 함수의 계수 셋(coefficient set: $\{p_0, \dots, p_N\}$, 이때, p_0 는 상기 위상 함수의 0차의 계수, p_N 은 상기 위상 함수의 N차의 계수)의 적어도 하나의 초기 값을 설정하는 단계;
- (b) 자기상관(autocorrelation) 값과 상기 계수 셋의 관계에 따라, 상기 초기 값 또는 적어도 하나의 이전의 반복(previous iteration)에서 산출된 상기 계수 셋의 적어도 하나의 이전 값을 기초로, 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값을 산출하는 단계; 및
- (c) 상기 (b) 단계에서 산출된 상기 계수 셋의 값의 오차율이 미리 설정된 임계 값보다 작아질 때까지 상기 (b) 단계를 반복하는 단계를 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 오차율이 상기 임계 값보다 작아지면, 마지막 반복에서 산출된 상기 계수 셋의 p_n (이때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수)의 값을 최소 위상 함수의 계수 p_n 의 값으로 결정하는 단계를 더 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 자기상관 값과 상기 계수 셋의 관계는,

$$r_n = \sum_{m=0}^{N-n} p_m^* p_{m+n}$$

(이 때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수, r_n 은 자기상관 계수, N 은 상기 위상 함수의 차수, p_m^* 은 p_m 의 공액 복소수, p_m 및 p_{m+n} 은 각각 상기 위상 함수의 m 차 및 $m+n$ 차의 계수임)와 같이 표현되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값은,

$$p_n^{(k)} = \frac{r_n - \sum_{m=1}^{N-n} p_m^{(k-m)*} p_{m+n}^{(k-m)}}{p_0^{(k)}}$$

(이때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수, k 는 현재의 반복 횟수, $p_n^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_n 의 값, $p_m^{(k-m)}$ 는 $k-m$ 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값, $p_0^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_0 의 값, r_n 은 자기상관 계수를 의미함)에 따라 산출되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계는, 자기상관 값과 상기 계수 셋의 관계에 따라,

- (b1) 상기 초기 값 또는 상기 적어도 하나의 이전 값을 기초로, 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 산출하는 단계; 및
- (b2) 상기 초기 값 또는 상기 적어도 하나의 이전 값, 및 상기 산출된 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 기초로 현재의 반복에서의 p_1 내지 p_N 의 값을 산출하는 단계를 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 현재의 반복에서의 p_0 의 값은,

$$p_0^{(k)} = \sqrt{r_0 - \sum_{m=1}^N |p_m^{(k-m)}|^2} \quad (\text{이때, } k \text{는 현재의 반복 횟수, } p_m^{(k-m)} \text{는 } k-m \text{번째 반복에서 산출된 } p_m \text{의 값,}$$

$p_0^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_0 의 값, r_n 은 자기상관 계수를 의미함)에 따라 산출되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값은,

$$p_0^{(k)} = \sqrt{r_0 - \sum_{m=1}^N |p_m^{(k-1)}|^2} \quad (\text{이때, } k \text{는 현재의 반복 횟수, } p_0^{(k)} \text{는 } k \text{번째 반복에서 산출된 } p_0 \text{의}$$

값, $p_m^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값)에 따라 산출되고,

p_1 내지 p_N 은, p_N 부터 p_1 까지 내림차순으로,

$$p_n^{(k)} = \frac{r_n - \sum_{m=1}^n p_m^{(k-1)*} p_{m+n}^{(k)} - \sum_{m=n+1}^{N-n} p_m^{(k)*} p_{m+n}^{(k)}}{p_0^{(k)}} \quad (\text{이때, } n \text{은 } 1 \leq n \leq N \text{인 정수, } p_n^{(k)} \text{는 } k \text{번째 반복에서 산}$$

출된 p_n 의 값, $p_{m+n}^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_{m+n} 의 값, $p_m^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값, r_n 은 자기상관 계수를 의미함)에 따라 산출되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값은,

$$p_0^{(k)} = \sqrt{r_0 - \sum_{m=1}^N |p_m^{(k-1)}|^2} \quad (\text{이때, } k \text{는 현재의 반복 횟수, } p_0^{(k)} \text{는 } k \text{번째 반복에서 산출된 } p_0 \text{의}$$

값, $p_m^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값)에 따라 산출되고,

$$p_n^{(k)} = \frac{r_n - \sum_{m=1}^{N-n} p_m^{(k-1)*} p_{m+n}^{(k-1)}}{p_0^{(k)}} \quad (\text{이때, } n \text{은 } 1 \leq n \leq N \text{인 정수, } p_n^{(k)} \text{는 } k \text{번째 반복에서 산출된}$$

p_n 의 값, $p_{m+n}^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_{m+n} 의 값, $p_m^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값, r_n 은 자기상관 계수를 의미함)에 따라 산출되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 초기 값은,

$p_n^{(k)} = 0$ (이때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수, k 는 $-N \leq k \leq -1$ 인 정수, $p_n^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_n 의 값)으로 설정하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 오차율은,

$$e(k) = \frac{\sum_{n=0}^N |r_n - \hat{r}_n^{(k)}|^2}{\sum_{n=0}^N |r_n|^2}$$

(이때, $e(k)$ 는 현재의 반복, 즉, k 번째 반복에서의 오차율, r_n 은 자기상관 함수

의 계수, $\hat{r}_n^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_n 값들에 의하여 산출되는 자기상관 함수의 계수를 의미함)에 따라 산출되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 오차율은,

$$e(k) = \frac{|p_0^{(k-1)} - p_0^{(k)}|^2}{|p_0^{(k)}|^2}$$

(이때, $e(k)$ 는 현재의 반복, 즉, k 번째 반복에서의 오차율, $p_0^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반

복에서 산출된 p_0 의 값 $p_0^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_0 의 값을 의미함)에 따라 산출되는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 오차율이 상기 임계 값보다 작아지면, 마지막 반복에서 산출된 상기 계수 셋의 p_{N-n} (이때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수)의 값을 최대 위상 함수의 계수 p_n 의 값으로 결정하는 단계를 더 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법.

청구항 13

(a) N 차(이때, N 은 자연수)인 위상 함수의 계수 셋(coefficient set: $\{p_0, \dots, p_N\}$, 이때, p_0 는 상기 위상 함수의 0차의 계수, p_N 은 상기 위상 함수의 N 차의 계수)의 적어도 하나의 초기 값을 설정하는 단계;

(b) 자기상관(autocorrelation) 값과 상기 계수 셋의 관계에 따라, 상기 초기 값 또는 적어도 하나의 이전의 반복(previous iteration)에서 산출된 상기 계수 셋의 적어도 하나의 이전 값을 기초로, 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값을 산출하는 단계; 및

(c) 상기 (b) 단계에서 산출된 상기 계수 셋의 값의 오차율이 미리 설정된 임계 값보다 작아질 때까지 상기 (b) 단계를 반복하는 단계를 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법을 컴퓨터 상에서 실행시키기 위한 프로그램을 수록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

명세서

기술분야

개시된 기술은 최소위상함수 및 최대위상함수의 계수를 결정하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 최소 위상 시스템(Minimum Phase System)은 Z영역에서 시스템의 모든 극점(Pole)과 영점(Zero)이 단위 원(unit circle)안에 존재하는 시스템으로 안정된 인과 계(Stable, Causal System)에 해당한다. 최소 위상 시스템은 그렇지 않은 시스템에 비하여 응답 특성이 우수하다는 장점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0003] 개시된 기술이 이루고자 하는 기술적 과제는 최소위상함수 및 최대위상함수의 계수를 결정하는 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0004] 상기의 기술적 과제를 이루기 위하여 개시된 기술의 제1 측면은 (a) N차(이때, N은 자연수)인 위상 함수의 계수 셋(coefficient set: $\{p_0, \dots, p_N\}$, 이때, p_0 는 상기 위상 함수의 0차의 계수, p_N 은 상기 위상 함수의 N차의 계수)의 적어도 하나의 초기 값을 설정하는 단계; (b) 자기상관(autocorrelation) 값과 상기 계수 셋의 관계에 따라, 상기 초기 값 또는 적어도 하나의 이전의 반복(previous iteration)에서 산출된 상기 계수 셋의 적어도 하나의 이전 값을 기초로, 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값을 산출하는 단계; 및 (c) 상기 (b) 단계에서 산출된 상기 계수 셋의 값의 오차율이 미리 설정된 임계 값보다 작아질 때까지 상기 (b) 단계를 반복하는 단계를 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법을 제공한다.
- [0005] 상기의 기술적 과제를 이루기 위하여 개시된 기술의 제2 측면은 (a) N차(이때, N은 자연수)인 위상 함수의 계수 셋(coefficient set: $\{p_0, \dots, p_N\}$, 이때, p_0 는 상기 위상 함수의 0차의 계수, p_N 은 상기 위상 함수의 N차의 계수)의 적어도 하나의 초기 값을 설정하는 단계; (b) 자기상관(autocorrelation) 값과 상기 계수 셋의 관계에 따라, 상기 초기 값 또는 적어도 하나의 이전의 반복(previous iteration)에서 산출된 상기 계수 셋의 적어도 하나의 이전 값을 기초로, 현재의 반복(current iteration)에서의 상기 계수 셋의 값을 산출하는 단계; 및 (c) 상기 (b) 단계에서 산출된 상기 계수 셋의 값의 오차율이 미리 설정된 임계 값보다 작아질 때까지 상기 (b) 단계를 반복하는 단계를 포함하는 위상 함수의 계수를 결정하는 방법을 컴퓨터 상에서 실행시키기 위한 프로그램을 수록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.

발명의 효과

- [0006] 개시된 기술의 실시 예들은 다음의 장점들을 포함하는 효과를 가질 수 있다. 다만, 개시된 기술의 실시 예들이 이를 전부 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0007] 개시된 기술의 일 실시예에 따르면, 종래의 방법에 비하여 매우 적은 연산량으로 최소위상 함수 또는 최대위상 함수의 계수를 결정할 수 있다는 장점이 있다. 예컨대, 개시된 기술의 일 실시예에 따른 계수 결정 방법은 자기상관계수 값으로부터 최소위상 함수 또는 최대위상 함수의 계수를 직접 계산함으로써 빠르고 효율적으로 최소위상 시스템 또는 최대위상 시스템을 구성할 수 있도록 한다. 또한, 개시된 기술에 따르면, 반복 연산을 통해 오차를 보정하여 결과값을 정확하게 근사할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0008] 도 1은 개시된 기술의 일 실시 예에 따른 최소 위상 함수의 계수들을 결정하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 2는 개시된 기술의 일 실시예에 따른 현재의 반복에서의 p_n 의 값을 산출하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 3은 일 실시예에 따라 도 2의 $p_n^{(k)}$ 값을 산출하는 방법을 구체적으로 설명하기 위한 순서도이다.

도 4는 개시된 기술의 일 실시예에 따라, 계수 셋의 값을 반복하여 산출할 때의 반복 횟수에 따른 오차율을 나타낸 그래프이다.

도 5는 개시된 기술의 일 실시예에 따른 계수 셋 산출방법(Proposed algorithm) 및 종래의 방법(Root finding, Fourier transform)에 따라 계수 셋의 값을 산출하는 경우, 요구되는 연산의 복잡도를 나타내는 표이다.

도 6은 개시된 기술의 일 실시예에 따라 계수 셋의 값을 반복하여 산출할 때와, 종래의 방법에 따라 계수 셋의 값을 산출할 때의 연산의 복잡도를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 개시된 기술에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0010] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [0011] “제1”, “제2” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0012] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “연결되어” 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “직접 연결되어” 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 “~사이”와 “바로 ~사이” 또는 “~에 이웃하는”과 “~에 직접 이웃하는” 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0013] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, “포함하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0014] 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0015] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 개시된 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.
- [0016] 주어진 자기상관(autocorrelation) 값을 만족하는 최소 위상 시스템(minimum phase system)을 설계하는 방법으로, 다양한 알고리즘이 제안되어 있다. 일례로, 혼합 위상 시스템(mixed phase system)을 먼저 설계한 후, 단위 원 밖에 위치하는 영점(zeros)을 그 공액 복소수의 역수들(conjugate reciprocals)로 변환함으로써 최소 위상 시스템을 설계하는 방법이 있다. 그러나 이러한 방법은 혼합 위상 함수의 근(root)의 값을 모두 구해야 한다는 점에서 연산 과정이 매우 복잡하다는 단점이 있다. 다른 일례로, 푸리에 변환(fourier transform)을 이용하여 최소 위상 시스템을 설계하는 방법이 있으나, 마찬가지로 연산 과정이 매우 복잡하다는 단점이 있다. 본 명세서에서는 재귀적인(recursive) 연산을 통하여, 근(root)을 구하는 복잡한 과정 없이, 주어진 자기상관 값에서 직접적으로 최소 위상 시스템을 설계하는 방법을 제안한다.
- [0017] 설계하고자 하는 시스템의 임펄스(impulse) 응답을 $h_n(n=0,1,\dots,N)$ 이라고 한다면, 그 응답 함수의 z -변환(z -transformation) 함수 $H(z)$ 는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$H(z) = \sum_{n=0}^N h_n z^{-n} = h_0 \prod_{m=1}^N (1 - \alpha_m z^{-1})$$

[0018]

[0019] 여기서, N 은 시스템의 차수(order)로, Zero의 수가 N임을 나타내며, α_m ($m=1, \dots, N$)은 $H(z)$ 함수의 근을 나타낸다. α_m 은 단위 원 안에 위치할 수도 있으며, 단위 원 밖에 위치할 수도 있다. α_m 이 단위 원 안에만 존재하는 경우, $H(z)$ 는 최소 위상 함수가 되고, α_m 이 단위 원 밖에만 존재하는 경우, $H(z)$ 는 최대 위상 함수가 되며, α_m 이 단위 원 안과 밖에 모두 존재하는 경우, $H(z)$ 는 혼합 위상 함수가 된다.

[0020] $H(z)$ 의 특성 함수(characteristic function)인 R_{HH} 는 $2N$ 개의 근을 가지며, 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned} R_{HH}(z) &= H(z) H^*\left(\frac{1}{z}\right) \\ &= |h_0|^2 \prod_{m=1}^N (1 - \alpha_m z^{-1})(1 - \alpha_m^* z) \\ &= \sum_{k=-N}^N r_k z^{-k} \end{aligned}$$

[0021]

[0022] 여기서, r_k 은 자기상관 계수이며, 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$r_k = \sum_{n=0}^{N-k} h_n^* h_{n+k}$$

[0023]

[0024] 이 때, $r_{-k} = r_k^*$ 의 관계에 있다. R_{HH} 의 근의 값은 $H(z)$ 의 근의 값과 그에 대한 단위 원에 대칭인 값 모두를 포함하는 특성을 갖는다. 특성 함수 R_{HH} 의 $2N$ 개의 근은 $\{\alpha_m, \tilde{\alpha}_m\}$ 로 나타낼 수 있으며, 여기서 $\tilde{\alpha}_m = 1/\alpha_m^*$ 로, α_m 의 conjugate reciprocal 이다. 특성 함수의 근 $\{\alpha_m, \tilde{\alpha}_m\}$ 는 단위 원을 기준으로 서로 대칭의 위치에 있으며, 하나는 단위 원 내부에, 다른 하나는 단위 원 외부에 위치한다. 이러한 특성 함수의 근 $\{\alpha_m, \tilde{\alpha}_m\}$ 중 단위 원 내부에 위치하는 값들을 근으로 하는 다항식은 최소 위상 함수가 된다.

[0025] 다항식의 m 번째 근을 $\{\alpha_m, \tilde{\alpha}_m\}$ 중 어느 하나로 가지는 다항식은, m 이 1부터 N 까지의 정수 값을 가질 때, L 개 ($L=2^N$)가 존재할 수 있다. 또한, 수학식 2에 기재된 바와 같이, 이러한 2^N 개의 다항식은 동일한 특성함수를 가진다.

[0026] 2^N 개의 다항식 중 i 번째 다항식을 $P_i(z)$ 이라고 하면, $P_i(z)$ 는 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$P_i(z) = \sum_{n=0}^N p_{i,n} z^{-n} = p_{i,0} \prod_{m=1}^N (1 - \beta_{i,m} z^{-1}) \quad \text{for } i = 0, \dots, L-1$$

[0027]

[0028] $P_i(z)$ 의 m 번째 근인 $\beta_{i,m}$ 는 α_m 및 $\tilde{\alpha}_m$ 중 어느 하나의 값을 가진다. $P_i(z)$ 의 특성 함수(characteristic function) R_{HH} 는 수학식 2와 마찬가지로 수학식 5와 같이 표현되고, 자기상관 계수 r_k 은 수학식 3과 마찬가지로 수학식 6과 같이 표현된다.

수학식 5

$$R_{HH}(z) = |p_{i,0}|^2 \prod_{m=1}^N (1 - \beta_{i,m} z^{-1})(1 - \beta_{i,m}^* z)$$

[0029]

수학식 6

$$r_k = \sum_{n=0}^{N-k} p_{i,n+k} p_{i,n}^* \quad \text{for } i = 0, \dots, L-1$$

[0030]

[0031] 이 때, $\tilde{p}_i$ 은 수학식 7과 같이 정의되며, $p_{i,N}$ 은 $P_i(z)$ 의 N 차의 계수이고, $p_{i,0}$ 은 $P_i(z)$ 의 0차의 계수이므로, $\tilde{p}_i$ 은 수학식 8과 같이 계산될 수 있다.

수학식 7

$$\tilde{p}_i \equiv \left| \frac{p_{i,N}}{p_{i,0}} \right|$$

[0032]

수학식 8

$$\tilde{p}_i = \prod_{n=1}^N (|\beta_{i,n}|)$$

[0033]

[0034] 단위 원 상에 근을 가지지 않는다고 가정하고, $\tilde{p}_i$ 의 크기 순서에 따라 index i 를 붙인다면, $\tilde{p}_i$ 들은 수학식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

$$\tilde{p}_0 < \tilde{p}_1 \leq \dots \leq \tilde{p}_{L-2} < \tilde{p}_{L-1}, \quad L = 2^N$$

[0035]

[0036] 수학적 식 8을 참고로, 가장 작은 $\tilde{p}_i$ 값을 가지는 $P_i(z)$ 는 단위 원 내부에 위치하는 근 $\beta_{i,m}$ 들을 가지며, 가장 큰 $\tilde{p}_i$ 값을 가지는 $P_i(z)$ 는 단위 원 외부에 위치하는 근 $\beta_{i,m}$ 들을 가진다. 즉, $P_0(z)$ 는 가장 작은 $\tilde{p}_i$ 값을 가지는 함수로서 최소 위상함수가 되고, $P_{L-1}(z)$ 는 가장 큰 $\tilde{p}_i$ 값을 가지는 함수로서 최대 위상함수가 된다. 본 명세서에서는 함수 R_{III} 의 계수 r_k 와 p_n^* , p_{n+k} 간의 관계로부터 재귀적인 반복을 통하여 $P_0(z)$ 의 계수를 결정한다.

[0037] 도 1은 개시된 기술의 일 실시 예에 따른 최소 위상 함수의 계수들을 결정하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다. 도 1에서 설명하는 방법에 따라 최소 위상함수의 계수를 결정하는 장치(이하, 계수결정장치)는, 자기상관 값과 최소위상 함수의 계수들 간의 관계를 기초로, 최소 위상 함수의 계수들 $p_0, \dots, p_N$ (이하, 계수 셋)의 값을 재귀적으로 추정한다.

[0038] S110 단계에서, 계수결정장치는 최소 위상 함수의 계수 셋, $\{p_0, \dots, p_N\}$ 의 적어도 하나의 초기 값을 설정한다. 일 실시 예에 따르면, 현재의 반복(k번째 반복)에서의 계수 셋의 값은 k-1번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값 내지 k-N번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값을 기초로 산출된다. 이러한 경우, S110 단계에서, 계수결정장치는 k가 1일 때의 계수 셋의 값을 산출하는데 필요한 -N+1번째 반복에서의 계수 셋의 값부터 0번째 반복에서의 계수 셋의 값까지 초기 값을 설정한다. 반복 횟수는 0 이하가 될 수 없지만, k가 $1 \leq k \leq N$ 인 경우를 위하여 -N+1번째 반복에서의 계수 셋의 값부터 0번째 반복에서의 계수 셋의 값을 개념적으로 정의하여 초기 값을 설정한다. 다른 일 실시예에 따르면, k번째 반복에서의 계수 셋의 값은 k-1번째의 계수 셋의 값만을 기초로 산출될 수도 있다. 그러나, k번째 반복에서의 계수 셋의 값을 구하기 위하여 사용되는 이전의 값의 범위(즉, 몇 번째 이전의 계수 셋의 값까지 사용할 것인지)는 이에 한정되는 것은 아니며, 시스템의 성능 및 효율을 고려하여 적절하게 설정될 수 있다. 예컨대, 계수결정장치가 k번째 반복에서의 계수 셋의 값을 구하기 위하여 k-1번째 반복 내지 k-N번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값을 사용하는 경우에는 k-1번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값만을 사용하는 경우보다 안정성이 향상된다는 장점이 있는 반면 보다 많은 반복 횟수와 저장 공간을 필요로 한다.

[0039] 일 실시예에 따라, 계수결정장치는, 수학적 식 10과 같이 -N+1번째 반복에서의 계수 셋의 값부터 0번째 반복에서의 계수 셋의 값까지 초기 값을 0으로 설정할 수 있다.

수학적 식 10

$$p_n^{(k)} = 0$$

[0041] 이때, 윗 첨자 (k)는 k번째 반복에서 산출된 값을 나타낸다. 한편, 계수 셋의 초기값들이 이에 한정되는 것은 아니며, 다른 초기 값을 가지더라도 k번째 반복에서 산출되는 계수 셋의 값은 최소 위상 함수의 계수들의 값으로 수렴할 수 있다.

[0042] 초기화된 적어도 하나의 계수 셋의 값은 다음에서 설명하는 S120단계 내지 S140 단계를 반복하며, 최소위상함수의 계수들의 값에 근접해 간다. 구체적으로, 계수결정장치는 오차율이 임계 값 이하가 될 때까지, k값을 하나씩 증가시키며 S130 단계를 반복한다. S130 단계에서, 계수결정장치는 수학적 식 11과 같이 표현되는 자기상관 (autocorrelation) 값과 계수 셋의 값 간의 관계를 이용하여 k번째 반복(즉, 현재의 반복)에서의 계수 셋의 값을 산출한다. 계수결정장치는 자기상관계수 및 k-1번째 반복에서 산출된 계수들의 값 내지 k-N번째 반복에

서 산출된 계수들의 값으로부터, k번째 반복에서의 계수 값 $p_n^{(k)}$ (이때, n은 0에서부터 N까지의 정수)을 산출할 수 있다. S130 단계를 반복할수록 산출되는 $p_n^{(k)}$ 은 최소위상함수의 계수들의 값에 수렴하게 되는데, 오차율이 미리 설정된 임계 값 이하가 되면 반복을 중단한다. 이때, 오차율이 임계 값 이하가 되는 마지막 반복에서의 $p_n^{(k)}$ 값이 본 실시 예에서 산출되는 최소 위상 함수의 계수들이 된다. 이하, 일 실시예에 따른 최

소 위상 함수의 계수를 구하는 방법을 자세히 설명한다.

[0043] S120 단계에서, 계수결정장치는 k값을 하나씩 증가시키며 S130 단계를 반복하는데, S130 단계에서 계수결정장치는 자기상관 값과 계수 셋의 값과의 관계에 따라, S110 단계에서 설정된 초기 값 또는 적어도 하나의 이전의 반복에서 산출된 계수 셋의 적어도 하나의 이전 값을 기초로 현재의 반복에서의 계수 셋의 값을 산출한다. 일 실시예에 따라, 계수결정장치는 k-1번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값 내지 k-N번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값을 기초로 k번째 반복에서의 계수 셋의 값을 산출한다. 일례로, k가 1인 경우, 계수결정장치는 적어도 하나의 초기 값을 기초로 현재의 반복에서의 계수 셋의 값을 산출한다. 다른 일례로, k가 1보다 크고, N보다 작거나 같은 경우에는, 계수결정장치는 적어도 하나의 초기 값과 적어도 하나의 이전 값을 기초로 현재의 반복에서의 계수 셋의 값을 산출한다. 또 다른 일례로, k가 N보다 큰 경우에는, 계수결정장치는 적어도 하나의 이전 값을 기초로 현재의 반복에서의 계수 값을 산출한다.

[0044] 자기상관 값과 계수 셋의 값과의 관계는, 수학식 6으로부터 수학식 11과 같이 표현될 수 있다.

수학식 11

$$r_n = \sum_{m=0}^{N-n} p_m^* p_{m+n}$$

[0045]

[0046] 이 때, r_n 은 자기상관 계수, N은 최소 위상 함수의 차수, p_m^* 은 p_m 의 공액 복소수이다. 이러한 관계를 기초로, 이미 알고 있는 값인 r_n 으로부터 p_n 을 산출해 낼 수 있다. 본 명세서에서는 수학식 11을 기초로 p_n 을 산출하는 세가지 알고리즘을 예를 들어 설명한다. 그러나 p_n 을 산출하는 알고리즘은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0047] 개시된 기술의 일 실시예에 따른 첫번째 계수 산출 알고리즘은 다음과 같다. 첫번째 알고리즘에 의하면, k번째 반복에서의 p_n 은 수학식 12에 의하여 산출된다. 수학식 12는 수학식 11을 기초로 도출되었으며, p_0 는 실수이므로, p_0^* 의 값은 p_0 의 값과 같다.

수학식 12

$$p_n^{(k)} = \frac{r_n - \sum_{m=1}^{N-n} p_m^{(k-m)*} p_{m+n}^{(k-m)}}{p_0^{(k)}}$$

[0048]

[0049] 이 때, $p_n^{(k)}$ 는 k번째 반복에서 산출된 p_n 의 값, $p_m^{(k-m)}$ 는 k-m번째 반복에서 산출된 p_m 의 값, m은 1부터 N-n까지의 정수, $p_0^{(k)}$ 는 k번째 반복에서 산출된 p_0 의 값이다. 일 실시예에 따라, $p_n^{(k)}$ 을 산출하는 방법을 도 2를 참조하여 설명한다.

[0050] 도 2는 개시된 기술의 일 실시예에 따른 현재의 반복에서의 p_n 의 값을 산출하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다. S210 단계에서, 계수결정장치는 적어도 하나의 초기 값 또는 적어도 하나의 이전 값을 기초로 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 산출한다. 상술한 바와 같이, 현재의 반복에서의 p_0 (즉, $p_0^{(k)}$)는, 수학식 12에 의하여 산출될 수 있으며, 이를 $p_0^{(k)}$ 에 관하여 정리하면 수학식 13과 같이 표현될 수 있다.

수학식 13

$$p_0^{(k)} = \sqrt{r_0 - \sum_{m=1}^N |p_m^{(k-m)}|^2}$$

[0051]

[0052]

S220 단계에서, 계수결정장치는 적어도 하나의 초기 값 또는 적어도 하나의 이전 값, 및 S210 단계에서 산출된 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 기초로 현재의 반복에서의 p_1 내지 p_N 의 값을 산출한다. 예컨대, 계수결정장치는 n 값이 1인 경우부터, n 값이 N 이 될 때 까지, 수학식 12를 이용하여 $p_n^{(k)}$ 값을 반복하여 산출한다.

[0053]

도 3은 일 실시예에 따라 도 2의 $p_n^{(k)}$ 값을 산출하는 방법을 구체적으로 설명하기 위한 순서도이다. 이하, N 값이 3인 경우를 예를 들어 설명하도록 한다.

[0054]

S310 단계에서, 우선, 계수결정장치는 $k-m$ 번(이때 m 은 1부터 N 까지의 정수 값을 가짐)째 반복에서 산출된 p_m 값들을 기초로 k 번째 반복에서의 p_0 값을 산출한다. N 값에 3을 대입하면, 수학식 13은 수학식 14와 같이 표현된다.

수학식 14

$$p_0^{(k)} = \sqrt{r_0 - (|p_1^{(k-1)}|^2 + |p_2^{(k-2)}|^2 + |p_3^{(k-3)}|^2)}$$

[0055]

[0056]

다음의 p_n 값을 산출하기 위하여, 계수결정장치는 n 값을 1만큼 증가하고(S320), $k-m$ 번(이때 m 은 1부터 $N-1$ 까지의 정수 값을 가짐)째 반복에서 산출된 $p_m^{(k-m)}$ 값들을 기초로 k 번째 반복에서의 p_n 을 산출한다(S330). n 값에 1을 대입하면, 수학식 12는 수학식 15와 같이 표현될 수 있다.

수학식 15

$$p_1^{(k)} = \frac{r_1 - (p_1^{(k-1)*} p_2^{(k-1)} + p_2^{(k-2)*} p_3^{(k-2)})}{p_0^{(k)}}$$

[0057]

[0058]

이후, 계수결정장치는 n 값이 N 이 될 때까지 S330 단계를 반복하여 수행하여, $p_n^{(k)}$ 의 값을 산출한다(S340). n 값이 $N(=3)$ 보다 작으므로, 다시 S320 단계로 돌아가 n 값을 1 증가하고, S330 단계에서 수학식 12에 $n=2$ 를 대입하면, 수학식 16과 같이 $p_2^{(k)}$ 의 값이 산출된다.

수학식 16

$$p_2^{(k)} = \frac{r_2 - p_1^{(k-1)*} p_3^{(k-1)}}{p_0^{(k)}}$$

[0059]

[0060]

n 값이 $N(=3)$ 보다 작으므로, 다시 S320 단계로 돌아가 n 값을 1 증가하고, S330 단계에서 수학식 12에 $n=3$ 를

대입하면, $p_3^{(k)}$ 의 값은 수학식 17과 같이 산출된다.

수학식 17

$$p_3^{(k)} = \frac{r_3}{p_0^{(k)}}$$

[0061]

이후, n 값이 $N(=3)$ 이 되었으므로 반복을 종료한다. 이와 같은 방법으로 계수산출장치는 현재의 반복에서의 계수 셋의 값들($p_0^{(k)}, \dots, p_N^{(k)}$)을 산출할 수 있다.

[0062]

개시된 기술의 다른 일 실시예에 따른 두번째 계수 산출 알고리즘은 다음과 같다. 이하, 첫번째 알고리즘과 차이가 있는 부분을 중심으로 두번째 알고리즘을 설명하고, 동일한 설명은 생략한다. 두번째 알고리즘에 의하면, k 번째 반복에서의 p_n 은 수학식 18 내지 수학식 19에 의하여 산출된다. 수학식 18 내지 수학식 19는 수학식 12와 마찬가지로 수학식 11을 기초로 도출되었다.

[0063]

수학식 18

$$p_0^{(k)} = \sqrt{r_0 - \sum_{m=1}^N |p_m^{(k-1)}|^2}$$

[0064]

이때, k 는 현재의 반복 횟수, $p_0^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_0 의 값, $p_m^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값이다.

[0065]

수학식 19

$$p_n^{(k)} = \frac{r_n - \sum_{m=1}^{N-n} p_m^{(k-1)*} p_{m+n}^{(k-1)}}{p_0^{(k)}}$$

[0066]

이때, n 은 $1 \leq n \leq N$ 인 정수, $p_n^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_n 의 값, $p_{m+n}^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_{m+n} 의 값, $p_m^{(k-1)}$ 는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값이다.

[0067]

도 2를 참조하여 설명하면, S210 단계에서, 계수결정장치는 적어도 하나의 초기 값 또는 적어도 하나의 이전 값을 기초로 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 산출한다. 보다 구체적으로, 계수결정장치는 초기 값 또는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값을 기초로 k 번째 반복에서의 p_0 의 값을 산출한다. 현재의 반복에서의 p_0 (즉, k 번째 반복에서 p_0 의 값, $p_0^{(k)}$)는, 상기 수학식 18에 의하여 산출될 수 있다.

[0068]

현재의 반복에서의 p_0 의 값이 산출되면, S220 단계에서, 계수결정장치는 적어도 하나의 초기 값 또는 적어도 하나의 이전 값, 및 S210 단계에서 산출된 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 기초로 현재의 반복에서의 p_1 내지 p_N 의 값을 산출한다. 보다 구체적으로, 계수결정장치는 초기 값 또는 $k-1$ 번째 반복에서 산출된 계수 셋의 값,

[0069]

및 S210 단계에서 산출된 현재의 반복에서의 p_0 의 값을 기초로 현재의 반복에서의 p_1 내지 p_N 의 값을 산출한다. 예컨대, 계수결정장치는 n 값이 1인 경우부터, n 값이 N 이 될 때 까지, 수학식 19에 따라 $p_n^{(k)}$ 값을 반복하여 산출할 수 있다.

[0070] 개시된 기술의 또 다른 일 실시예에 따른 세번째 계수 산출 알고리즘은 다음과 같다. 이하, 첫번째 알고리즘 또는 두번째 알고리즘과 차이가 있는 부분을 중심으로 세번째 알고리즘을 설명하고, 동일한 설명은 생략한다. 두번째 알고리즘과 세번째 알고리즘은 현재의 반복에서의 p_1 내지 p_N 의 값을 산출하는 방법에서 차이가 있으며, 현재의 반복에서의 p_0 를 산출하는 방법은 동일하다. 즉, 현재의 반복에서의 p_0 (k 번째 반복에서 p_0 의 값, $p_0^{(k)}$)는, 두번째 알고리즘과 동일하게 상기 수학식 18에 의하여 산출될 수 있다(S210).

[0071] 현재의 반복에서의 p_0 의 값이 산출되면, 계수결정장치는 수학식 20에 따라, 현재의 반복에서의 p_1 내지 p_N 의 값을 산출한다(S220). 예컨대, 계수결정장치는 n 값이 N 인 경우부터 n 값이 1이 될 때 까지 내림차순으로, 수학식 20에 따라 $p_n^{(k)}$ 값을 반복하여 산출할 수 있다.

수학식 20

$$p_n^{(k)} = \frac{r_n - \sum_{m=1}^n p_m^{(k-1)*} p_{m+n}^{(k)} - \sum_{m=n+1}^{N-n} p_m^{(k)*} p_{m+n}^{(k)}}{p_0^{(k)}}$$

[0072]

[0073] 이때, n 은 $1 \leq n \leq N$ 인 정수, $p_n^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_n 의 값, $p_{m+n}^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_{m+n} 의 값, $p_m^{(k)}$ 는 k 번째 반복에서 산출된 p_m 의 값이다. 본 실시예에서는 $p_n^{(k)}$ 값을 산출하는데 동일한 반복에서의 계수 값들($p_{m+n}^{(k)}$, $p_m^{(k)}$)이 사용된다는 점에서 두번째 알고리즘과 차이가 있다.

[0074] 첫번째 알고리즘과 비교하여, 두번째 알고리즘은 보다 적은 반복 횟수로 계수 값을 산출할 수 있다는 장점이 있으나, 수학식 18의 제곱 근 안의 값이 음수가 되는 경우가 발생할 수 있어 다소 불안정하다는 단점이 있다. 두번째 알고리즘과 비교하여, 세번째 알고리즘은 계수 값이 결정되는 반복 횟수가 감소하고, 수학식 18의 제곱 근 안의 값이 음수가 되는 경우가 적게 발생한다는 장점이 있다.

[0075] 다시, 도 1을 참조하면, S140 단계에서, 계수결정장치는 S130 단계에서 산출된 p_n 값들의 오차율이 미리 설정된 임계 값보다 작아질 때까지 S120 단계 및 S130 단계들을 반복한다. 오차율 $e(k)$ 는 일례로, 자기상관 값을 기준으로 수학식 21과 같이 산출될 수 있다.

수학식 21

$$e(k) = \frac{\sum_{n=0}^N |r_n - \hat{r}_n^{(k)}|^2}{\sum_{n=0}^N |r_n|^2}$$

[0076]

[0077] 이때, $\hat{r}_n^{(k)}$ 는 k번째 반복에서 산출된 p_n 값들에 의하여 산출되는 자기상관 함수의 계수이다. 한편 수학적 식 21과 같은 방식의 오차율 계산은 $\hat{r}_n^{(k)}$ 를 매번 계산해야 한다는 부담이 있기 때문에, 다른 일 실시예에 따라, 이를 간소화한 오차율 계산식인 수학적 식 22가 사용될 수도 있다.

수학적 식 22

$$e(k) = \frac{|p_0^{(k-1)} - p_0^{(k)}|^2}{|p_0^{(k)}|^2}$$

[0078]

[0079] 여기서, $p_0^{(k)}$ 는 k번째 반복에서 산출된 p_0 값이고, $p_0^{(k-1)}$ 은 k-1번째 반복에서 산출된 p_0 값이다.

[0080] S150 단계에서, 계수결정장치는 S140 단계에서 산출된 오차율이 임계 값보다 작아지면, 마지막 반복에서 산출된 계수 셋의 p_n (이때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수) 값을 최소 위상 함수의 계수 p_n 의 값으로 결정한다.

[0081] 도 4는 개시된 기술의 일 실시예에 따라, 계수 셋의 값을 반복하여 산출할 때의 반복 횟수에 따른 오차율을 나타낸 그래프이다. 도 4의 그래프에서는 N 이 6인 경우와, N 이 20인 경우에 대하여 수학적 식 21에 따른 오차율과 수학적 식 22에 따른 오차율을 표시하였다. 도 4를 참고하면, N 값이 6인 경우, 대략 20회의 반복 횟수로 대략 -60dB의 오류를, N 값이 20인 경우에도 약 30회의 반복 횟수로 대략 -60dB의 오류를 나타내는 것을 볼 수 있다. 따라서, 개시된 기술의 일 실시예에 따르면, 위상 함수의 근을 구하는 절차 없이도 빠르게 최소위상함수의 계수 셋의 값을 결정할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 도 4를 참고하면, 간소화된 오차율 계산식인 수학적 식 22에 따라 산출된 오차율이 수학적 식 21에 따라 산출된 자기상관 오차율과 거의 유사한 패턴을 보이며 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서, 일 실시예에 따라, S140 단계에서 계산의 복잡도를 낮추기 위하여, 복잡한 계산식인 자기상관 오차율(수학적 식 21) 대신 간소화된 오차율 계산식(수학적 식 22)을 사용할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0082] 도 5는 개시된 기술의 일 실시예에 따른 계수 셋 산출방법(Proposed algorithm) 및 종래의 방법(Root finding, Fourier transform)에 따라 계수 셋의 값을 산출하는 경우, 요구되는 연산의 복잡도를 나타내는 표이다. 도 5를 참조하면, 한번의 반복 당 요구되는 COPs는 Proposed algorithm의 경우 $2N^2+12N+10$, Root finding의 경우 $3N^3+2N^2+10N$, Fourier transform의 경우 $7N^2+14N+7$ 이다. 도 5를 살펴보면, Proposed algorithm이 다른 방법에 비하여 연산의 복잡도가 낮음을 확인할 수 있다.

[0083] 도 6은 개시된 기술의 일 실시예에 따라 계수 셋의 값을 반복하여 산출할 때와, 종래의 방법에 따라 계수 셋의 값을 산출할 때의 연산의 복잡도를 비교한 그래프이다. 도 6을 살펴보면, Proposed algorithm의 경우, 종래의 방법(Root finding, Fourier transform)에 비하여 연산의 복잡도(total number of complex operations: COPs 수)가 현저하게 낮음을 확인할 수 있다. 도 6을 참조하면, N 이 20일 때 각 방법에서의 COPs 수는, Proposed algorithm의 경우 1,050에 불과한 데 반하여, Root finding의 경우 25,000, Fourier transform의 경우 3,588로서, 각각 23배, 3배 더 많은 COPs가 요구됨을 확인할 수 있다.

[0084] 한편, 상술한 실시예에 따른 결과를 이용하여 최대 위상 함수의 계수를 손쉽게 구할 수 있다. 최대 위상 함수의 계수들은 최소 위상 함수의 계수들의 순서를 거꾸로 함으로써 얻어질 수 있다. 예컨대, 계수결정장치는 S150 단계와 달리, 마지막 반복에서 산출된 계수 셋의 p_{N-n} (이때, n 은 $0 \leq n \leq N$ 인 정수) 값을 최대 위상 함수의 계수 p_n 의 값으로 결정할 수 있다.

[0085] 개시된 기술의 일 실시예에 따른 방식은 최소위상함수(또는 최대위상함수)의 계수를 직접 계산함으로써 종래의 방법에 비하여 훨씬 적은 연산량으로 최소위상 시스템(또는 최대위상 시스템)을 구성할 수 있도록 한다. 또한, 개시된 기술에 따르면, 반복 연산을 통해 오차를 보정하여 보다 정확한 계수 값으로 근사할 수 있다.

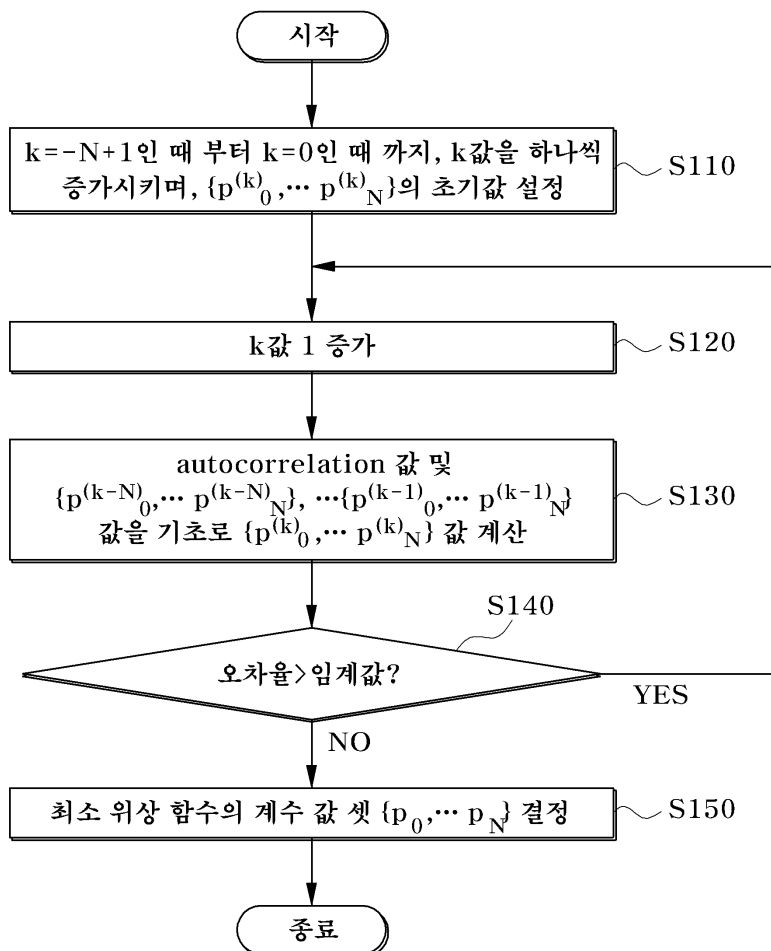
[0086] 도 1 내지 도3에서 설명한 방법은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

[0087] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

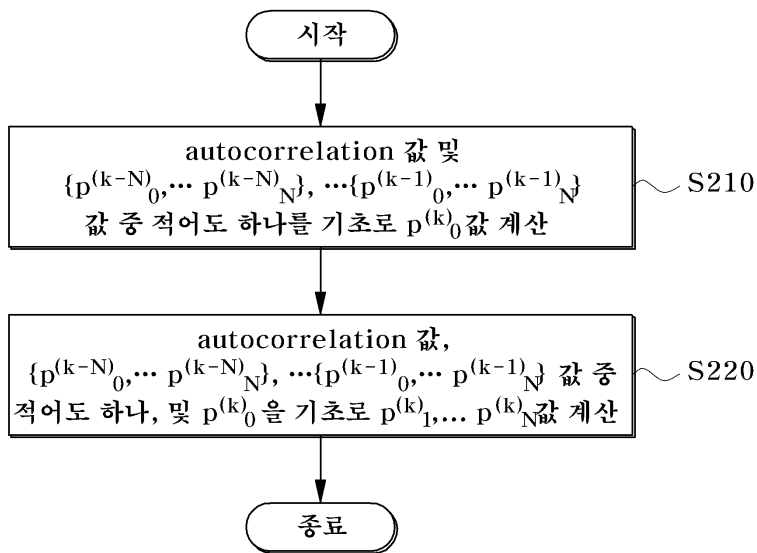
[0088] 이러한 개시된 기술인 방법 및 장치는 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 개시된 기술의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

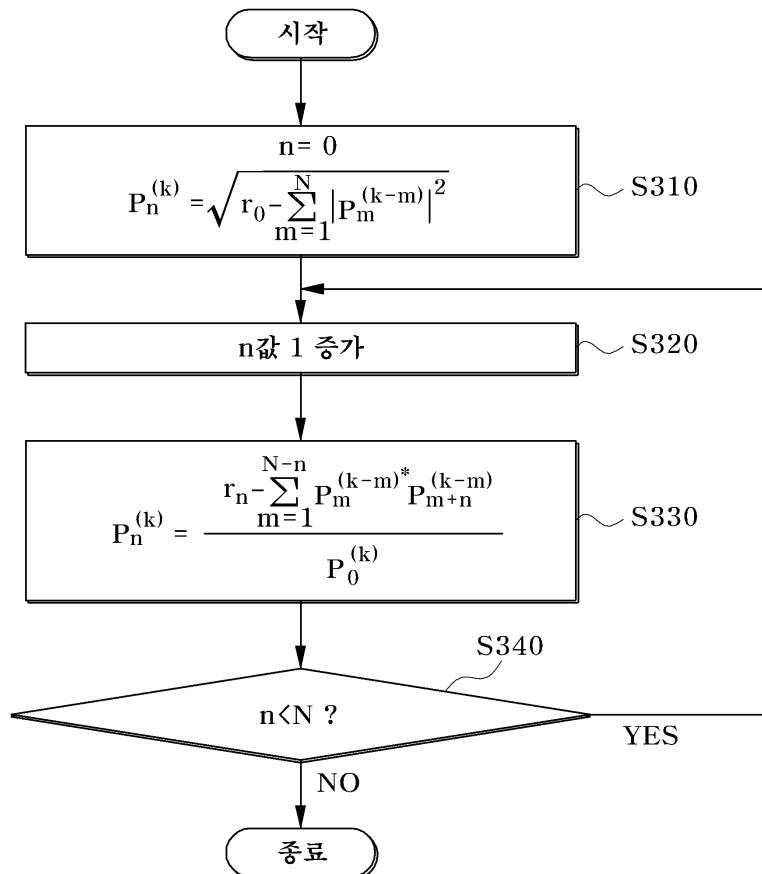
도면1



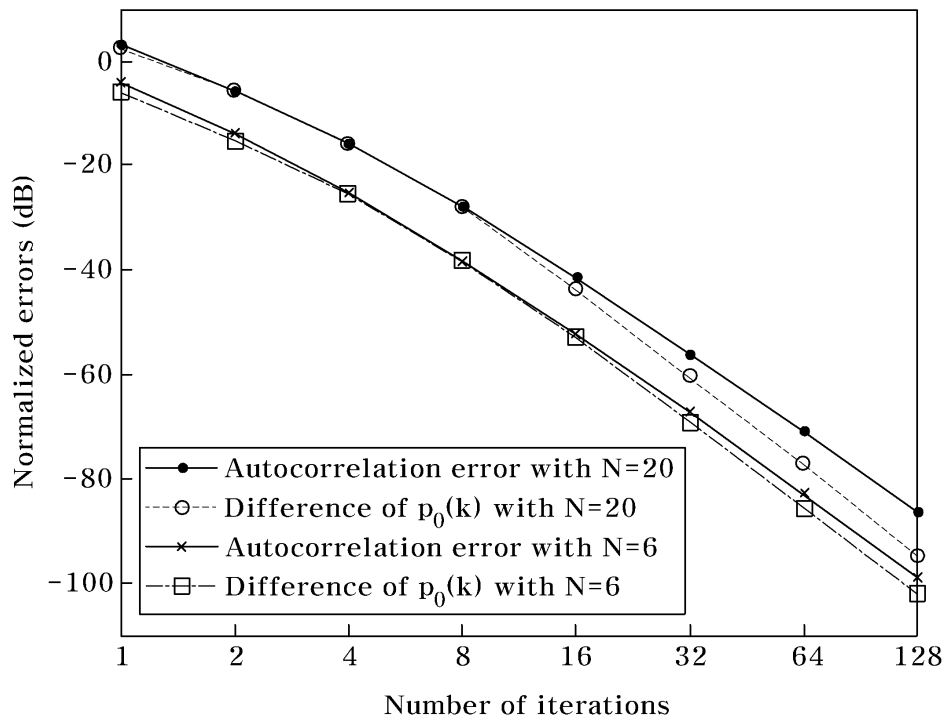
도면2



도면3



도면4



도면5

Operation type	Root finding	Fourier transform	Proposed
Addition	$2N^2$	$2(N+1)^2$	$\frac{1}{2}(N^2+N)$
Multiplication	N^3	$2N^2 + 5N + 2$	$\frac{1}{2}(N^2+N)$
Division	N	0	N
SQRT	0	0	1
Total COPs	$3N^3 + 2N^2 + 10N$	$7N^2 + 14N + 7$	$2N^2 + 12N + 10$

도면6

