



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년03월06일
(11) 등록번호 10-1712752
(24) 등록일자 2017년02월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03F 1/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H03F 1/3241 (2013.01)
H03F 1/3247 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0190225
(22) 출원일자 2015년12월30일
심사청구일자 2015년12월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150020165 A
논문1(2015.02월)
KR101102465 B1
JP2006303787 A

(73) 특허권자
한밭대학교 산학협력단
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
(72) 발명자
정의림
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
이광표
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이룸리온, 특허법인리온

전체 청구항 수 : 총 8 항

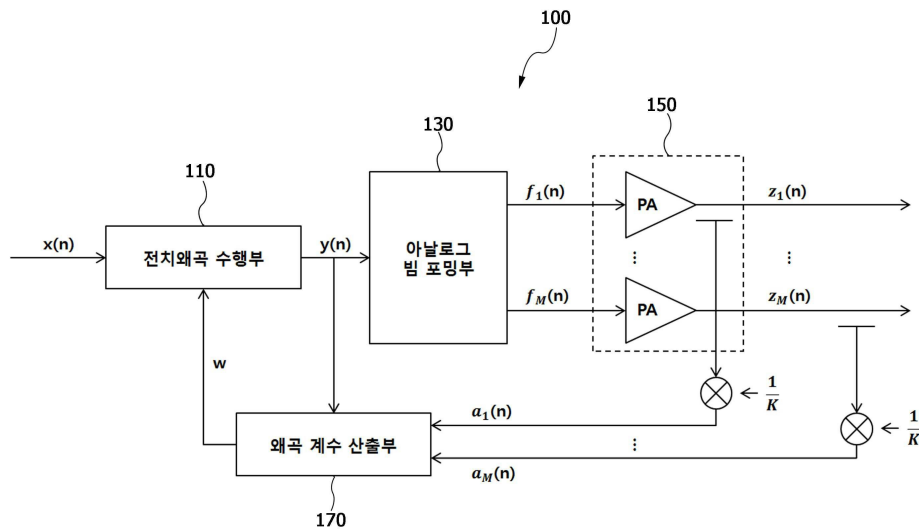
심사관 : 오성환

(54) 발명의 명칭 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 및 전치왜곡 방법

(57) 요약

전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 및 전치왜곡 방법이 제공된다. 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템은, 입력 신호에 디지털 방식의 전치왜곡을 수행하는 전치왜곡 수행부; 상기 전치왜곡 수행부에서 전치왜곡되어 비선형화된 입력 신호를 이용하여 아날로그 빔 포밍을 수행하는 아날로그 빔 포밍부; 상기 아날로그 빔 포밍 된 신호의 전력을 증폭시켜 선형화 된 출력 신호를 생성하는 복수개의 전력 증폭기를 포함하는 전력 증폭부; 및 상기 전력 증폭부의 피드백 신호와 상기 전치왜곡 수행부의 비선형화 된 입력 신호에 기반하여 상기 전치왜곡 수행부의 전치왜곡을 위한 왜곡 계수를 산출하되, 상기 왜곡 계수는 상기 전력 증폭부에 포함되는 모든 전력 증폭기의 오차의 제곱의 합을 최소화하도록 산출되는 왜곡 계수 산출부;를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
H03F 1/3258 (2013.01)

조성미

(72) 발명자
길행복

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
 과제고유번호 B0101-15-1309
 부처명 미래창조과학부
 연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
 연구사업명 방송통신산업기술개발
 연구과제명 안테나 노드 그룹핑 기반 무간섭 적응빔 접속기술 개발
 기 여 율 1/1
 주관기관 한국과학기술원
 연구기간 2015.03.01 ~ 2016.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

입력 신호에 디지털 방식의 전치왜곡을 수행하는 전치왜곡 수행부;

상기 전치왜곡 수행부에서 전치왜곡되어 비선형화된 입력 신호를 이용하여 아날로그 빔 포밍을 수행하는 아날로그 빔 포밍부;

상기 아날로그 빔 포밍 된 신호의 전력을 증폭시켜 선형화 된 출력 신호를 생성하는 복수개의 전력 증폭기를 포함하는 전력 증폭부; 및

상기 전치왜곡 수행부의 전치왜곡을 위한 왜곡 계수를 산출하되, 상기 왜곡 계수는 상기 전력 증폭부의 피드백 신호와 상기 전치왜곡 수행부의 비선형화 된 입력 신호에 기반하여 상기 전력 증폭부에 포함되는 모든 전력 증폭기의 비선형 특성을 최소화하도록 산출되는 왜곡 계수 산출부;를 포함하며,

상기 전력 증폭부에 포함되는 모든 전력 증폭기의 비선형 특성은 하기 식1에 의해 산출하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템.

식1

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |y(n) - e^{-j\phi_1} w^H a_1(n) + \dots + y(n) - e^{-j\phi_M} w^H a_M(n)|^2 \\ &= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |My(n) - w^H (e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n))|^2 \\ &= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |My(n) - w^H a(n)|^2 \end{aligned}$$

(여기서, λ : 전력 증폭부에 포함되는 모든 전력 증폭기의 비선형 특성, λ : 망각 인자, $y(n)$: 비선형화된 입력 신호, w : 왜곡 계수, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호)

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 왜곡 계수 산출부는, RLS(Recursive Least Squares) 및 LMS(Least Mean Square) 알고리즘 중 어느 하나에 의해 수행되는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 왜곡 계수 산출부는, 상기 RLS 알고리즘에 의해 수행되는 경우, 하기 식2에 의해 왜곡 계수(w)를 산출하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템.

식2

$$\begin{aligned} a_m(n) &= [a_m(n), a_m(n)|a_m(n)|^2, \dots, a_m(n)|a_m(n)|^{2(Q-1)}, \square_m(n-1), \dots, a_m(n) \\ &\quad - L_p)|a_m(n-L_p)|^{2(Q-1)}]^T \\ a(n) &= e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n) \end{aligned}$$

$$b = Pa(n)$$

$$c = b / (\lambda + a^H(n)b)$$

$$\xi(n) = My(n) - w^H a(n)$$

$$w = w + c \xi^*(n)$$

$$P = \lambda^{-1}P - \lambda^{-1}ca^H(n)P$$

(여기서, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호, w : $(La+1) \times Q$ 개의 왜곡 계수를 나타내는 벡터, λ : 망각 인자, P : $(La+1) \times Q$ 의 크기를 갖는 역 상관 행렬)

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 왜곡 계수 산출부는, 하기 식3를 이용하여 상기 w 및 P 를 초기화하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템.
식3

$$w = 0_{(L_p+1)}$$

$$P = \delta^{-1} I_{(L_p+1)}$$

청구항 5

- a) 입력 신호를 전치왜곡하여 비선형 신호를 출력하는 단계;
 - b) 상기 비선형 신호에 아날로그 빔 포밍을 수행하여 빔 포밍 신호를 송출하는 단계;
 - c) 상기 빔 포밍 신호를 증폭하여 복수개의 출력 신호를 송출하는 단계; 및
 - d) 상기 비선형 신호와 상기 복수개의 출력 신호의 피드백 신호를 이용하여 왜곡 계수를 산출하는 단계;
- 를 포함하며

상기 왜곡 계수는, 상기 복수개의 출력 신호의 피드백 신호와 상기 비선형 신호에 기반하여 모든 상기 복수개의 출력 신호의 비선형 특성을 최소화하도록 산출되어 상기 단계 a)에서 상기 입력 신호의 전치왜곡에 이용되며, 모든 상기 복수개의 출력 신호의 비선형 특성은 하기 식4에 의해 산출하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 전치왜곡 방법.

식4

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |y(n) - e^{-j\phi_1} w^H a_1(n) + \dots + y(n) - e^{-j\phi_M} w^H a_M(n)|^2 \\ &= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |My(n) - w^H (e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n))|^2 \\ &= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |My(n) - w^H a(n)|^2 \end{aligned}$$

(여기서, ξ : 전력 증폭부에 포함되는 모든 전력 증폭기의 비선형 특성, λ : 망각 인자, $y(n)$: 비선형화된 입력 신호, w : 왜곡 계수, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호)

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 단계 d)는, RLS(Recursive Least Squares) 및 LMS(Least Mean Square) 알고리즘 중 어느 하나에 의해 왜곡 계수를 산출하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 전치왜곡 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 단계 d)는, 상기 RLS 알고리즘에 의해 수행되는 경우, 하기 식5에 의해 왜곡 계수(w)를 산출하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 전치왜곡 방법.

식5

$$a_m(n) = [a_m(n), a_m(n)|a_m(n)|^2, \dots, a_m(n)|a_m(n)|^{2(Q-1)}, a_m(n-1), \dots, a_m(n-L_p)|a_m(n-L_p)|^{2(Q-1)}]^T$$

$$a(n) = e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n)$$

$$b = Pa(n)$$

$$c = b / (\lambda + a^H(n)b)$$

$$\xi(n) = My(n) - w^H a(n)$$

$$w = w + c \xi^*(n)$$

$$P = \lambda^{-1} P - \lambda^{-1} c a^H(n) P$$

(여기서, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호, w : $(L+1) \times Q$ 개의 왜곡 계수를 나타내는 벡터, λ : 망각 인자, P : $(L+1) \times Q$ 의 크기를 갖는 역 상관 행렬)

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 단계 d)는, 하기 식6를 이용하여 상기 w 및 P를 초기화하는 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 전치왜곡 방법.

식6

$$w = 0_{(L_p+1)}$$

$$P = \delta^{-1} I_{(L_p+1)}$$

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 및 전치왜곡 방법에 관한 것으로, 특히, 아날로그 빔 포밍 시스템을 사용하는 경우, 송출되는 출력 신호를 선형화 하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 통신 시스템에서 전력 증폭기는 신호를 송신하기 위한 필수적인 요소이다. 이러한 전력 증폭기는 대역 내 신호 왜곡을 야기하는 비선형 특성을 지니고 있어, 인접채널 내 간섭을 증가시키고 신호의 품질이 저하된다. 따라서, 전력 증폭기의 비선형 특성이 나타나는 포화 영역에서의 간섭 및 품질 저하를 방지하기 위해 전력 증폭기는 선형 특성으로 동작하는 낮은 전력에서 구동 된다. 이때, 포화 전력보다 낮은 전력으로 구동하게

되면, 전력 증폭기의 효율이 10~20% 정도 감소한다.

- [0003] 따라서, 전력 증폭기의 효율을 개선하기 위한 다양한 선형화 방식들이 제안되고 있으며, 이 중 디지털 전치왜곡 방식(DPD; digital pre-distortion)은 간단한 구조와 작은 수의 구성요소 및 저가의 구현 비용으로 전력 증폭기를 선형화하여 전력 효율을 개선하는 방식으로서 매우 효과적인 기술로 알려져 있다.
- [0004] 이러한 디지털 전치왜곡은 비선형 전력 증폭기의 역함수에 해당하는 디지털 전치왜곡 특성을 찾아서 디지털 단에 구현함으로써 비선형 전력 증폭기를 선형화하는 기술이다. 이때, 전치왜곡 특성을 찾기 위해서는 전력 증폭기에 입력하는 신호와 전력 증폭기의 출력 신호가 필요하다.
- [0005] 한편, 통신 시스템의 송신 모뎀에서 생성된 신호는 디지털 전치왜곡에 의해 전력 증폭기 특성의 역함수로 왜곡되고, 디지털-아날로그 변환기(DAC; digital to analog converter)를 통해 아날로그 신호로 변환된 후, 주파수 상향 변환기(upconverter)를 통해 RF(radio frequency) 주파수로 변환된 후 전력 증폭기를 통해 증폭된다.
- [0006] 이와 같이, 디지털 전치왜곡 특성이 전력 증폭기의 역함수인 경우, 전력 증폭기의 출력에서는 선형 증폭된 출력을 얻을 수 있다. 이때, 전력 증폭기 출력은 방향성 커플러(directional coupler)에 의해 전력의 일부가 피드백 되어 주파수 하향 변환기(downconverter)를 통해 다시 주파수를 기저 대역(base band)으로 낮춘다. 이후 아날로그-디지털 변환기(ADC; analog to digital converter)를 통해 디지털 신호로 변환된다.
- [0007] 한편, 전력 증폭기의 특성은 시간, 전력 및 온도에 따라 변하기 때문에 지속적으로 비선형 특성을 추적하면서 역함수를 찾아야 하고 이를 위해서는 전력 증폭기의 출력을 다시 피드백(feedback)하는 회로가 필요하다.
- [0008] 즉, 지속적으로 전력 증폭기의 역함수, 즉 전치왜곡 특성을 찾기 위해서는 송신 신호와 전력 증폭기의 출력 신호에 대한 피드백 신호가 필요하게 된다. 또한, 복잡한 계산을 수행하는 프로세서를 이용하여 송신 신호와 피드백 신호로부터 전치왜곡 특성을 찾아내는 계산을 수행해야 한다.
- [0009] 한편, 이러한 전치왜곡을 이용하여 복수개의 전력 증폭기의 비선형성의 영향을 완화시키기 위해 각각의 전력 증폭기에 대한 개별적인 전치왜곡 신호를 생성하는 방송국 및 셀룰러 기지국용 등의 무선 주파수 송신기가 한국공개특허 제2014-7006082호에 개시되고 있다.
- [0010] 하지만, 이러한 방송국 및 셀룰러 기지국용 등의 무선 주파수 송신기는 각각의 전력 증폭기에 대한 개별적인 전치왜곡 신호를 생성하기 때문에 다중 데이터 변환 장치의 개수 및 비용이 증가하는 문제점이 존재한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) KR 2014-7006082 A

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예는 각각의 전력 증폭기의 비선형 특성을 최소화하는 하나의 전치왜곡 신호를 생성함으로써 다중 데이터 변환 장치를 최소화하는 전치왜곡 아날로그 빔 시스템 및 전치왜곡 방법을 제공하고자 한다.
- [0013] 또, 본 발명의 일 실시예는 지속적으로 전력 증폭기의 피드백 신호를 감지함으로써 전력 증폭기의 비선형 특성이 변화하는 경우에도 변화한 비선형 특성에 대응하는 전치왜곡 신호를 생성하는 전치왜곡 아날로그 빔 시스템 및 전치왜곡 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 위와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 측면에 따르면, 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템이 제공된다. 상기 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템은, 입력 신호에 디지털 방식의 전치왜곡을 수행하는 전치왜곡 수행부; 상기 전치왜곡 수행부에서 전치왜곡되어 비선형화된 입력 신호를 이용하여 아날로그 빔 포밍을 수행하는 아날로그 빔 포밍부; 상기 아날로그 빔 포밍된 신호의 전력을 증폭시켜 선형화 된 출력 신호를 생성하는 복수개의 전

력 증폭기를 포함하는 전력 증폭부; 및 상기 전력 증폭부의 피드백 신호와 상기 전치왜곡 수행부의 비선형화 된 입력 신호에 기반하여 상기 전치왜곡 수행부의 전치왜곡을 위한 왜곡 계수를 산출하되, 상기 왜곡 계수는 상기 전력 증폭부에 포함되는 모든 전력 증폭기의 오차의 제곱의 합을 최소화하도록 산출되는 왜곡 계수 산출부;를 포함한다.

[0015] 상기 왜곡 계수 산출부는, RLS(Recursive Least Squares) 및 LMS(Least Mean Square) 알고리즘 중 어느 하나에 의해 수행될 수 있다.

[0016] 상기 왜곡 계수 산출부는, 상기 RLS 알고리즘에 의해 수행되는 경우, 하기 식1에 의해 왜곡 계수(w)를 산출할 수 있다.

[0017] 식 1

$$a_m(n) = [a_m(n), a_m(n)|a_m(n)|^2, \dots, a_m(n)|a_m(n)|^{2(Q-1)}, a_m(n-1), \dots, a_m(n-L_p)]^T$$

[0018]

$$a(n) = e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n)$$

[0019]

$$b = Pa(n)$$

[0020]

$$c = b / (\lambda + a^H(n)b)$$

[0021]

$$\xi(n) = My(n) - w^H a(n)$$

[0022]

$$w = w + c \xi^*(n)$$

[0023]

$$P = \lambda^{-1} P - \lambda^{-1} c a^H(n) P$$

[0024]

[0025] (여기서, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호, w: $(La+1) \times Q$ 개의 전치왜곡 계수를 나타내는 벡터, λ : 망 각 인자, P: $(La+1) \times Q$ 의 크기를 갖는 역 상관 행렬)

[0026] 상기 왜곡 계수 산출부는, 하기 식2를 이용하여 상기 w 및 P를 초기화할 수 있다.

[0027] 식 2

$$w = 0_{Q(L_p+1)}$$

[0028]

$$P = \delta^{-1} I_{Q(L_p+1)}$$

[0029]

[0030] 본 발명의 일 측면에 따르면, 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법이 제공된다. 상기 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법은, a) 입력 신호를 전치왜곡하여 비선형 신호를 출력하는 단계; b) 상기 비선형 신호에 아날로그 빔 포밍을 수행하여 빔 포밍 신호를 송출하는 단계; c) 상기 빔 포밍 신호를 증폭하여 복수개의 출력 신호를 송출하는 단계; 및 d) 상기 비선형 신호와 상기 복수개의 출력 신호의 피드백 신호를 이용하여 왜곡 계수를 산출하는 단계;를 포함하며, 상기 왜곡 계수는, 상기 모든 출력 신호의 오차의 제곱의 합을 최소화하도록 산출되어 상기 단계 a)에서 상기 입력 신호의 전치왜곡에 이용된다.

[0031] 상기 단계 d)는, RLS(Recursive Least Squares) 및 LMS(Least Mean Square) 알고리즘 중 어느 하나에 의해 왜곡 계수를 산출할 수 있다.

[0032] 상기 단계 d)는, 상기 RLS 알고리즘에 의해 수행되는 경우, 하기 식3에 의해 왜곡 계수(w)를 산출할 수 있다.

[0033] 식 3

$$a_m(n) = [a_m(n), a_m(n)|a_m(n)|^2, \dots, a_m(n)|a_m(n)|^{2(Q-1)}, a_m(n-1), \dots, a_m(n-L_p)]^T$$

[0034]

$$a(n) = e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n)$$

[0035]

[0036] $b = Pa(n)$

[0037] $c = b / (\lambda + a^H(n)b)$

[0038] $\xi(n) = My(n) - w^H a(n)$

[0039] $w = w + c \xi^*(n)$

[0040] $P = \lambda^{-1} P - \lambda^{-1} c a^H(n) P$

[0041] (여기서, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호, w : $(L_a+1) \times Q$ 개의 전치왜곡 계수를 나타내는 벡터, λ : 망각 인자, P : $(L_a+1) \times Q$ 의 크기를 갖는 역 상관 행렬)

[0042] 상기 단계 d)는, 하기 식 4를 이용하여 상기 w 및 P 를 초기화할 수 있다.

[0043] 식 4

[0044] $w = 0_{(L_p+1)}$

[0045] $P = \delta^{-1} I_{(L_p+1)}$

발명의 효과

[0046] 본 발명의 일 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 및 전치왜곡 방법은, 각각의 전력 증폭기의 비선형 특성을 최소화하는 하나의 전치왜곡 신호를 생성함으로써 기존 방식에 비해 제작 비용이 감소하는 효과가 있다.

[0047] 또, 본 발명의 일 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 및 전치왜곡 방법은, 각각의 전력 증폭기의 비선형 특성을 최소화하는 하나의 전치왜곡 신호를 생성함으로써 다중 데이터 변환 장치를 최소화하는 효과가 있다.

[0048] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템 및 전치왜곡 방법은, 지속적으로 전력 증폭기의 피드백 신호를 감지함으로써 전력 증폭기의 비선형 특성이 변화하는 경우에도 변화한 비선형 특성에 대응하는 전치왜곡 신호를 생성할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 블록도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법의 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.

[0051] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템(100)은, 전치왜곡 수행부(110), 아날로그 빔 포밍부(130), 전력 증폭부(150) 및 왜곡 계수 산출부(170)를 포함한다.

[0052] 전치왜곡 수행부(110)는, 입력 신호(x(n))를 왜곡시킨다. 전치왜곡 수행부(110)는 후술되는 전력 증폭부(150)의 출력을 선형화하기 위해 입력 신호(x(n))를 왜곡시켜 비선형 신호(y(n))를 송출한다. 이때, 비선형 신호(y(n))는 전치왜곡 수행부(110)의 특성에 따라 수학식 1의 함수로 표현될 수 있다.

[0053] 수학적 식 1

$$y(n) = \Psi(x(n)) = \sum_{l=0}^{L_a} \sum_{q=1}^Q w_{l,q}^* |x(n-l)|^{2(q-1)} x(n-l) = w^H x(n)$$

[0054] (이때, $\Psi(\cdot)$: 전치왜곡 수행부 특성 함수, w : 왜곡 계수)

[0056] 여기서, 왜곡 계수는 후술되는 왜곡 계수 산출부(170)에서 산출되는 왜곡 계수일 수 있다.

[0057] 아날로그 빔 포밍부(130)는 전치왜곡 수행부(110)로부터 비선형 신호($y(n)$)를 획득하여 기 설정된 복수개의 빔 포밍 신호를 송출한다. 이때, 아날로그 빔 포밍부(130)는 일 예로, 도 1에 도시된 바와 같이 M개의 빔 포밍 신호를 송출할 수 있으며, 각각의 빔 포밍 신호는 하기 수학적 식 2로 표현되는 $f_m(n)$ 으로 표현될 수 있다.

[0058] 수학적 식 2

$$f_m(n) = \exp(j\phi_m)y(n) = \exp(j\phi_m)\Psi(x(n))$$

[0060] (이때, ϕ_m : m번째 안테나 순환 위상)

[0061] 전력 증폭부(150)는 아날로그 빔 포밍부(130)에서 송출된 복수개의 빔 포밍 신호를 증폭하여 출력 신호($z_m(n)$)를 송출한다. 이때, 전력 증폭부(150)는 복수개의 전력 증폭기를 포함하며, 바람직하게는 전력 증폭부(150)는 아날로그 빔 포밍부(130)에서 송출되는 복수개의 빔 포밍 신호와 동일한 개수의 전력 증폭기를 포함할 수 있다. 하지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 전력 증폭부는 아날로그 빔 포밍부에서 송출되는 복수개의 빔 포밍 신호보다 많은 개수의 전력 증폭기를 포함할 수도 있다.

[0062] 한편, 전력 증폭부(150)에서 송출되는 출력 신호($z_m(n)$)는 전력 증폭기의 특성에 따라 수학적 식 3의 함수로 표현될 수 있다.

[0063] 수학적 식 3

$$z_m(n) = \phi_m(\exp(j\phi_m)y(n)) = \phi_m(\exp(j\phi_m)\Psi(x(n)))$$

[0065] (이때, $\phi_m(\cdot)$: m번째 전력 증폭기 특성 함수)

[0066] 왜곡 계수 산출부(170)는, 전력 증폭부(150)에서 송출된 출력 신호($z_m(n)$)의 피드백 신호($a_m(n)$)와 비선형 신호($y(n)$)를 이용하여 왜곡 계수(w)를 산출하여 산출된 왜곡 계수(w)를 전치왜곡 수행부(110)로 전송한다. 피드백 신호($a_m(n)$)는 전력 증폭부(150)에서 송출된 출력 신호($z_m(n)$)를 전력 증폭기 이득으로 나눈 값으로써 수학적 식 4와 같이 표현될 수 있다.

[0067] 수학적 식 4

$$a_m(n) = \frac{z_m(n)}{K} = \frac{\phi_m(e^{j\phi_m}y(n))}{K} = \sum_{l=0}^{L_a} \sum_{p=1}^P h_{l,p,m} |e^{j\phi_m}y(n-l)|^{2(p-1)} e^{j\phi_m}y(n-l)$$

$$= e^{j\phi_m} \sum_{l=0}^{L_a} \sum_{p=1}^P h_{l,p,m} |y(n-l)|^{2(p-1)} y(n-l)$$

[0070] (이때, K: 전력 증폭기 이득)

[0071] 왜곡 계수 산출부(170)에서 생성되는 왜곡 계수(w)는, 수학적 식 5와 같이 표현되는 전력 증폭부(150)에 포함된 모든 전력 증폭기의 오차의 제곱의 합(ϵ)을 최소화함으로써 전력 증폭부(150)에서 출력되는 모든 출력 신호($z_m(n)$)를 선형화 할 수 있는 비선형 신호($y(n)$)를 생성하는데 이용된다. 다시 말해, 왜곡 계수(w)는 전력 증폭부(150)에 포함되는 모든 전력 증폭기의 비선형 특성(ϵ)을 최소화 할 수 있는 역함수에 대응하는 특성을 나타낸다.

[0072] 수학적식 5

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |y(n) - e^{-j\phi_1} w^H a_1(n) + \dots + y(n) - e^{-j\phi_M} w^H a_M(n)|^2$$

[0073]

$$= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |My(n) - w^H (e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n))|^2$$

[0074]

$$= \sum_{n=1}^N \lambda^{N-n} |My(n) - w^H a(n)|^2$$

[0075]

[0076] 여기서, 왜곡 계수 산출부(170)는 RLS(Recursive Least Squares) 및 LMS(Least Mean Square) 알고리즘 중 어느 하나를 이용하여 왜곡 계수(w)를 산출할 수 있다. 일 예로, 왜곡 계수 산출부(170)는 수학적식 6으로 표현되는 RLS 알고리즘을 이용하여 왜곡 계수(w)를 산출할 수 있다.

[0077] 수학적식 6

$$a_m(n) = [a_m(n), a_m(n) |a_m(n)|^2, \dots, a_m(n) |a_m(n)|^{2(Q-1)}, a_m(n-1), \dots, a_m(n-L_p)] |a_m(n-L_p)|^{2(Q-1)}]^T$$

[0078]

$$a(n) = e^{-j\phi_1} a_1(n) + \dots + e^{-j\phi_M} a_M(n)$$

[0079]

$$b = Pa(n)$$

[0080]

$$c = b / (\lambda + a^H(n)b)$$

[0081]

$$\xi(n) = My(n) - w^H a(n)$$

[0082]

$$w = w + c \xi^*(n)$$

[0083]

$$P = \lambda^{-1} P - \lambda^{-1} c a^H(n) P$$

[0084]

[0085] (여기서, $a_m(n)$: m번째 전력 증폭기의 피드백 신호, w: (La+1)×Q개의 전치왜곡 계수를 나타내는 벡터, λ: 망각 인자, P: (La+1)×Q의 크기를 갖는 역 상관 행렬)

[0086] 이러한 왜곡 계수 산출부(170)는 위의 알고리즘에 한정되지 않으며, 임의의 적응형 알고리즘에 의해 수행될 수도 있고, 일 예로, 룩업 테이블(Look-up Table) 방식으로 수행될 수도 있다.

[0087] 한편, 도 2에는 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법의 순서도가 도시되어 있다. 이하에서는 발명의 편의상, 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 구성을 이용하여 전치왜곡 방법의 순서도를 설명하지만, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며 동일 또는 유사한 기능을 하는 다른 시스템 또는 장치 등을 이용할 수도 있다.

[0088] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법(200)은, 입력 신호를 전치왜곡하여 비선형 신호를 출력하는 단계(S210), 비선형 신호에 아날로그 빔 포밍을 수행하여 빔 포밍 신호를 송출하는 단계(S220), 빔 포밍 신호를 증폭하여 출력 신호를 송출하는 단계(S230), 및 비선형 신호와 피드백 신호를 이용하여 왜곡 계수를 산출하는 단계(S240)를 포함한다.

[0089] 본 발명의 일 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법(200)은, 먼저, 입력 신호를 전치왜곡하여 비선형 신호를 출력한다(단계 S210). 입력 신호(x(n))는 후술되는 출력 신호(z(n))를 선형화하기 위해 전치왜곡 수행부에서 전치왜곡을 통해 왜곡된 비선형 신호(y(n))로 출력된다. 이때, 비선형 신호(y(n))는 전치왜곡 수행부의 특성에 따라 상기 수학적식 1의 함수로 표현될 수 있다.

[0090] 다음으로, 비선형 신호에 아날로그 빔 포밍을 수행하여 빔 포밍 신호를 송출한다(단계 S220). 비선형 신호(y(n))는 아날로그 빔 포밍부에서 빔 포밍되어 빔 포밍 신호(f(n))로 송출된다. 이때, 빔 포밍 신호(f(n))는 아날로그 빔 포밍부에 기 설정된 복수개로 송출될 수 있으며, 이때, 각각의 빔 포밍 신호(f_m(n))는 상기 수학적식 2

로 표현될 수 있다.

- [0091] 다음으로, 빔 포밍 신호를 증폭하여 증폭된 출력 신호를 송출한다(단계 S230). 빔 포밍 신호($f_m(n)$)는, 전력 증폭부로 전송되어 전력 증폭부에 포함된 전력 증폭기에 의해 증폭된 출력 신호($z_m(n)$)로 변환되어 송출된다. 이때, 전력 증폭부는 바람직하게는 m 개의 빔 포밍 신호와 동일한 개수인 m 개의 전력 증폭기를 포함할 수 있다. 하지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 전력 증폭부는 아날로그 빔 포밍부에서 송출되는 복수개의 빔 포밍 신호보다 많은 개수의 전력 증폭기를 포함할 수도 있다.
- [0092] 한편, 증폭된 출력 신호($z_m(n)$)는, 전력 증폭부에 포함된 각각의 전력 증폭기의 특성에 따라 상기 수학식 3의 함수로 표현될 수 있다. 이때, 증폭된 출력 신호($z_m(n)$)는 단계 S210에서 전치왜곡된 비선형 신호를 이용하여 생성된다. 따라서, 전력 증폭기는 단계 S210에서 전치왜곡된 비선형 신호를 전력 증폭기의 특성에 따라 다시 비선형화 하여 증폭된 출력 신호($z_m(n)$)를 출력할 수 있다.
- [0093] 마지막으로, 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템은, 비선형 신호와 피드백 신호를 이용하여 왜곡 계수를 산출한다(단계 S240). 이때, 비선형 신호($y(n)$)는 단계 S210에서 획득될 수 있고, 피드백 신호($a_m(n)$)는 단계 S230의 증폭된 출력 신호($z_m(n)$)를 획득하여 전력 증폭기의 이득으로 나눔으로써 획득될 수 있다.
- [0094] 또 산출된 왜곡 계수(w)는 단계 S210에서 입력 신호를 전치왜곡하기 위한 계수로서 사용될 수 있고, 이를 위해 상기 수학식 5와 같이 표현되는 전력 증폭부에 포함된 모든 전력 증폭기의 오차의 제곱의 합을 최소화 하는 값 일 수 있다. 즉, 왜곡 계수(w)는 전력 증폭부에 포함되는 모든 비선형 특성을 최소화 할 수 있는 역함수에 대응하는 특성을 나타낸다.
- [0095] 이때, 왜곡 계수(w)는 RLS 및 LMS 알고리즘 중 어느 하나를 이용하여 산출될 수 있으며, 일 예로, 왜곡 계수(w)는 상기 수학식 6으로 표현되는 RLS 알고리즘을 통해 산출될 수 있다. 하지만, 본 발명의 왜곡 계수를 산출하는 방법은 위의 알고리즘에 한정되지 않으며, 임의의 적응형 알고리즘에 의해 수행될 수도 있고, 일 예로, 룩업 테이블(Look-up Table) 방식으로 수행될 수도 있다.
- [0096] 한편, 도 3에는 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템의 전치왜곡 방법의 모의 실험 결과가 나타나 있다.
- [0097] 이때, 도 3의 모의 실험을 위한 입력 신호로써 20MHz 대역폭을 가지는 LTE 다운 링크 신호를 사용하였다. 또, minicircuit ZKL-2R7+ 모델의 동일한 2개의 증폭기를 사용하였으며, 한 개의 증폭기에 1dB 감쇠를 주어 특성이 다른 2개의 증폭기 환경을 구축하였다. 즉, 도 3b의 결과를 나타내는 모의 실험의 증폭기는 도 3a의 결과를 나타내는 모의 실험의 증폭기에 비해 1dB 감쇠된 특성을 가지도록 설정되었다.
- [0098] 또한, 디지털 전치왜곡은 메모리가 없는 RLS 알고리즘으로 수행하였으며, 이 때 DPD 파라미터로 최대 다항식 차수는 5차항을 사용하였고 0.99의 망각 인자를 적용하였다.
- [0099] 도 3a와 도 3b는 실험에 사용한 두 개의 전력 증폭기 각각에 대한 스펙트럼이다. 도 3a는 전력 증폭기 1, 도 3b는 전력 증폭기 2의 디지털 전치왜곡 방법에 따른 성능차이를 비교한 것이다.
- [0100] 실험에 사용한 두 개의 전력 증폭기 그래프에서, x축은 주파수[MHz]를 나타내며, y축은 전력 스펙트럼(PSD: Power Spectrum Density)을 나타낸다. 또, (a)는 디지털 전치왜곡을 수행하지 않은 아날로그 빔 포밍 시스템의 전력 증폭기의 출력이며, (b)는 종래의 일반적인 디지털 전치왜곡을 수행한 아날로그 빔 포밍 시스템의 전력 증폭기의 출력이고, (c)는 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡을 수행한 아날로그 빔 포밍 시스템의 전력 증폭기의 출력이다.
- [0101] 이때, 도 3a 및 도 3b를 살펴보면, 먼저, 디지털 전치왜곡을 사용하지 않은 전력 증폭기의 출력에 비해 전치왜곡을 수행한 전력 증폭기의 출력이 보다 우수한 스펙트럼 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 한편, 디지털 전치왜곡을 수행한 전력 증폭기의 출력의 경우, 도 3a 및 도 3b에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡을 수행한 전력 증폭기의 출력과 종래의 일반적인 디지털 전치왜곡을 수행한 전력 증폭기의 출력의 성능이 거의 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.
- [0102] 결과적으로 본 발명의 실시예에 따른 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템은 하나의 왜곡 계수를 이용하면서도 종래의 경우와 대등한 전력 증폭기의 출력 스펙트럼 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

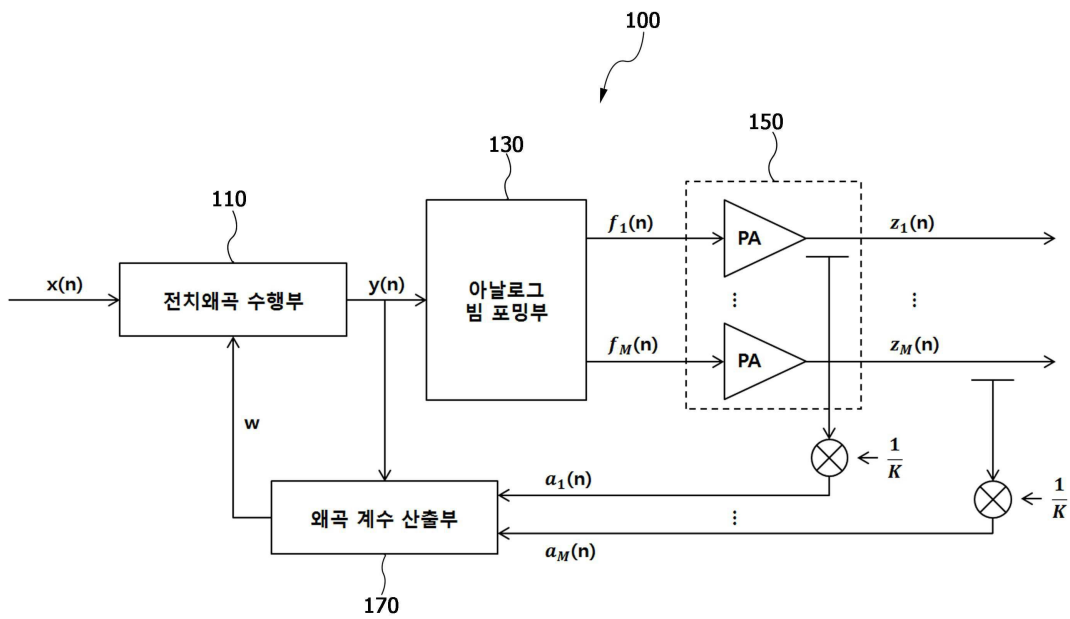
[0103] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명의 사상은 본 명세서에 제시되는 실시 예에 제한되지 아니하며, 본 발명의 사상을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에서, 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 추가 등에 의해서 다른 실시 예를 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명의 사상범위 내에 든다고 할 것이다.

부호의 설명

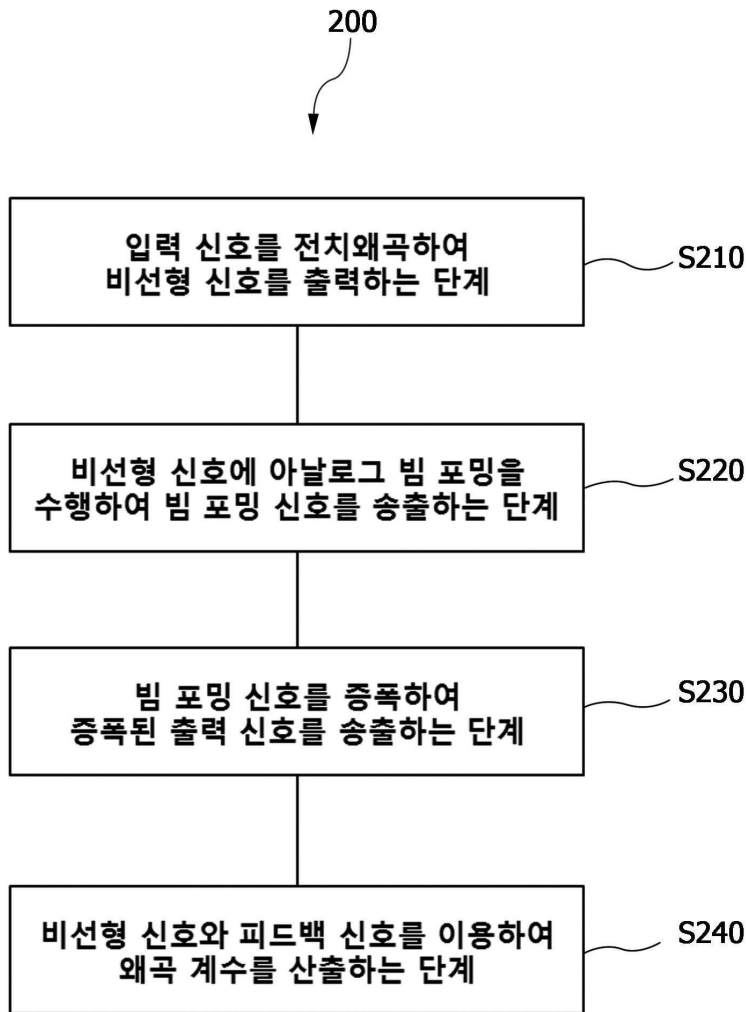
- [0104] 100: 전치왜곡 아날로그 빔 포밍 시스템
- 110: 전치왜곡 수행부
- 130: 아날로그 빔 포밍부
- 150: 전력 증폭부
- 170: 왜곡 계수 산출부

도면

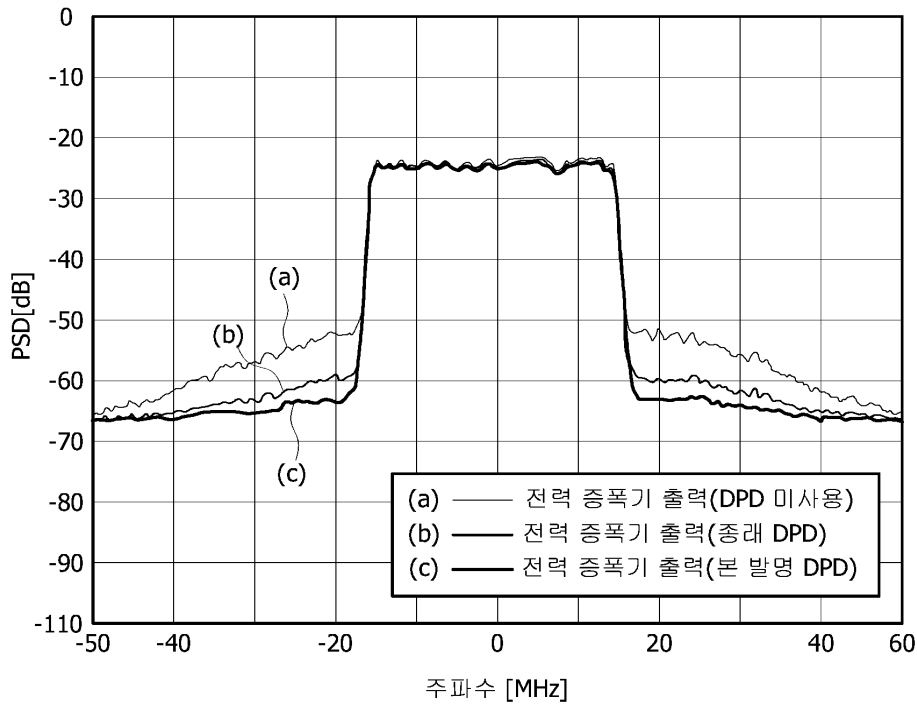
도면1



도면2



도면3a



도면3b

