

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2011년 6월 3일 (03.06.2011)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2011/065764 A2

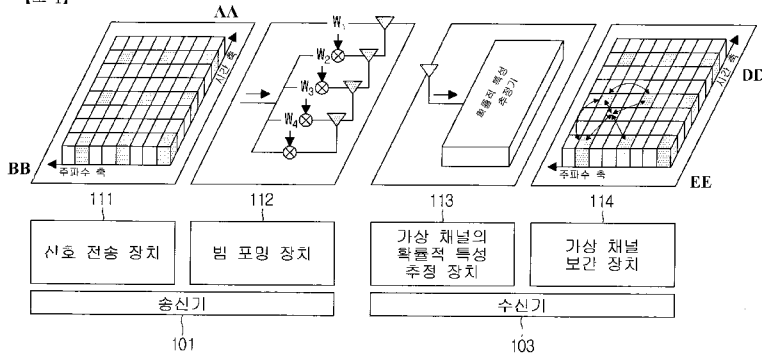
- (51) 국제특허분류: H04B 7/26 (2006.01) H04B 1/76 (2006.01)
H04L 27/26 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2010/008401
- (22) 국제출원일: 2010년 11월 25일 (25.11.2010)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2009-0114509 2009년 11월 25일 (25.11.2009) KR
- (71) 출원인 (US을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 서울대학교 산학협력단 (SNU R&DB FOUNDATION) [KR/KR]; 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742 Seoul (KR).
- (72) 발명자: 권
- (75) 발명자/출원인 (US에 한하여): 이용환 (LEE, Yong-Hwan) [KR/KR]; 서울특별시 서초구 잠원동 신반포 한신 20차 아파트 339-807, 137-030 Seoul (KR). 박한준 (PARK, Han-Jun) [KR/KR]; 서울특별시 강서구 공항동 674-10, 157-240 Seoul (KR). 이권욱 (LEE, Keon-Wook) [KR/KR]; 서울특별시 구로구 구로3동 한라빌 리언스 오피스텔 1212호, 152-053 Seoul (KR).
- (74) 대리인: 특허법인 명문 (MYUNG MOON IP & LAW FIRM); 서울특별시 강남구 역삼동 642-9 송촌빌딩 8층, 135-080 Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR ESTIMATING CHANNEL USING DEDICATED PILOT SIGNAL IN OFDM-BASED WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

(54) 발명의 명칭 : OFDM 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용한 채널추정 방법 및 장치

【도 1】



AA, DD ... Time axis

BB, EE ... Frequency axis

CC ... Statistical property estimator

101 ... Transmitter

103 ... Receiver

111 ... Signal transmission unit

112 ... Beamforming unit

113 ... Unit for estimating statistical property of virtual channel

114 ... Virtual channel interpolation unit

(57) Abstract: The present invention relates to a method and an apparatus for estimating a channel using a dedicated pilot signal in an OFDM-based wireless communication system using a transmission beamforming technique and a multi-antenna transmission technique. In the present invention, a receiver determines an optimum dedicated pilot pattern by estimating the statistical property of a virtual channel generated from an effect of the transmission beamforming technique using a statistical property of a common pilot channel, and estimates a channel using an AMMSE interpolation technique from the dedicated pilot signal as the optimum pattern transmitted from a transmitter. The present invention can minimize channel estimation errors by using the statistical property of the virtual channel generated through the beamforming to overcome the inefficiency found in conventional channel estimation techniques which use the dedicated pilot signal, can maximize a throughput of a system by adaptively determining an optimum dedicated pilot pattern according to the environment through a relationship analysis between a pilot signaling

overhead and a channel estimation error, and can obtain large gains in the incorrect channel estimation environment by lowering a Signal-to-Interference plus Noise power Ratio (SINR).

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]

WO 2011/065764 A2

**공개:**

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

본 발명은, 송신 빔포밍(transmit beamforming) 기법과 같이 다중 안테나 송신 기법을 사용하는 OFDM 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿(dedicated pilot) 신호를 이용하는 채널 추정 방법 및 장치에 관한 것으로서, 수신기가 공통 파일럿(common pilot) 채널의 확률적 특성(statistical property)을 이용하여 송신 빔포밍 기법의 효과로 발생하는 가상 채널(virtual channel)의 확률적 특성을 추정하여 최적 전용 파일럿 패턴(pattern)을 결정하고, 송신기에서 최적 패턴으로 전송한 전용 파일럿 신호로부터 AMMSE 보간 기법을 이용하여 채널을 추정한다. 본 발명은 종래의 전용 파일럿 신호를 이용한 채널 추정 기술의 비효율성을 극복하기 위해서 빔포밍에 의해 발생된 가상 채널의 확률적 특성을 이용함으로써 채널의 추정 오류를 최소화하고 파일럿 전송 오버헤드(pilot signaling overhead)와 채널 추정 오류의 관계 분석을 통하여 최적의 전용 파일럿 패턴을 환경에 따라 적응적으로 결정하여 시스템의 전송률(throughput)을 최대화할 수 있으며, 특히 신호 대 간섭 및 잡음 전력 비율(signal-to-interference plus noise power ratio; 이하 SINR)이 낮아 채널 추정이 부정확한 환경에서 큰 이득을 얻을 수 있게 한다.

【명세서】**【발명의 명칭】**

OFDM 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용한 채널추정 방법 및 장치

【기술분야】

본 발명은 다중 안테나 송신 기법을 사용하는 직교주파수 분할다중(OFDM) 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용한 채널추정 방법 및 장치에 관한 것이다.

【배경기술】

다중입력 다중출력(multiple input multiple output: 이하 MIMO) 구조의 직교주파수 분할다중(orthogonal frequency division multiplexing: 이하 OFDM) 무선통신 시스템은 공간 다중화(spatial multiplexing) 기법을 사용하여 채널용량 증가 및 다이버시티(diversity) 기법을 통한 데이터 전송의 신뢰성 향상을 달성할 수 있다. 상기 MIMO OFDM 기반 무선통신 시스템의 성능을 극대화하기 위해서는 수신기에서 채널을 정확하게 추정하는 것이 중요하며, MIMO OFDM 기반 무선통신 시스템의 하향링크에서는 각각의 송신 안테나 별로 직교 자원에 할당되는 공통 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하는 방식(common pilot symbol aided channel estimation)이 널리 사용되고 있다. 그러나 상기 공통 파일럿 신호는 송신 안테나 수에 대응하는 직교 자원을 필요로 하기 때문에, 파일럿 전송 오버헤드가 크다는 단점을 갖는다. 따라서 단일 안테나 시스템과 동일한 파일럿 전송 오버헤드를 유

지할 경우 파일럿 밀도가 감소하게 되어, 신호 대 간섭 및 잡음 전력 비율(signal to interference and noise power ratio: 이하 SINR)이 낮은 환경에서 채널추정 성능이 떨어져 평균 자승 오차(mean square error: 이하 MSE)가 커지는 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 IEEE 802.16m과 3GPP LTE 등의 4세대 무선통신 시스템에서는 전용 파일럿 신호의 사용을 고려하고 있다. 송신 빔포밍 기법이 적용된 시스템에서는 송신 안테나 별 채널과 빔 가중치(beam weight) 벡터가 결합하여 가상의 가상 채널을 발생하며, 송신 빔포밍 기법이 적용된 데이터는 상기 가상 채널을 통하여 수신기에 전달된다. 이때 전용 파일럿 신호는 상기 가상 채널에서의 채널 추정 및 데이터 검출을 위해 데이터와 같은 빔 가중치가 적용된 파일럿 신호로 정의된다. 상기 전용 파일럿 신호는 상기 가상 채널 수에 대응하여 자원이 할당되어 파일럿 전송 오버헤드가 감소하며, 또한 빔포밍 이득에 따른 전력 향상 효과를 얻을 수 있어 다중 셀 경계와 같이 SINR이 낮은 환경에서 매우 효과적이다.

그러나, 상기 가상 채널은 그 확률적 특성이 기존의 개별 안테나 채널의 확률적 특성과 다르다는 특징이 있는 반면, 상기 전용 파일럿 신호는 송신 빔포밍 기법이 적용된 특정 사용자만을 대상으로 전송되는 신호이기 때문에 신호전송을 위해 할당되는 자원영역이 매우 작아, 수신된 전용 파일럿 신호로부터 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것이 매우 어렵다. 종래의 기술은 이와 같은 제약으로 인해 가상 채널의 확률적 특성을 고려하지 않는 선형 보간 기법(linear interpolation: 이하 LI)과 같은 기법을 주로 사용하고 있으나, LI 기법은 간섭 및

잡음에 취약하고 SINR이 낮은 셀 경계 환경에서 사용하기에 부적합하며, 또한 수신기의 채널 환경에 적합한 최적의 파일럿 패턴을 결정하지 못하여 사용자 환경에 따라 파일럿 전송 오버헤드를 최소화하지 못한다는 문제점이 있다.

즉, IEEE 802.16m과 3GPP LTE 등의 4세대 무선통신 시스템에서 고려되는 전용 파일럿 신호는 빔포밍 이득에 의한 파일럿 전력 향상 및 파일럿 전송 오버헤드 감소 등의 장점을 가지기 때문에 SINR이 낮은 환경에서 매우 효과적이거나, 상기 전용 파일럿 신호는 특정 빔포밍 사용자만을 대상으로 하여 신호 전송을 위한 자원이 매우 제한적이기 때문에 빔포밍에 의해 발생하는 가상 채널의 확률적 특성을 추정하기가 매우 어렵다는 문제점이 있다. 또한 이와 같은 상기 전용 파일럿 신호의 특징은 가상 채널의 확률적 특성을 활용하는 최적화된 채널 추정 방법의 사용에 제약을 두어 SINR이 낮은 환경에서의 채널 추정 성능을 감소시킨다는 문제점도 있다.

【발명의 상세한 설명】

【기술적 과제】

본 발명에서는 상기한 바와 같은 전용 파일럿 신호의 한계를 극복하기 위해 공통 파일럿신호를 통해 추정된 공통 파일럿 채널의 확률적 특성을 이용하여 상기 다중 안테나 송신 빔포밍에 의해 발생한 가상 채널의 확률적 특성을 추정하고, 추정된 가상 채널의 확률적 특성을 이용하여 시스템 전송률을 최대로 하기 위한 최적의 전용 파일럿 패턴을 결정하며, 상기 최적 전용 파일럿 패턴으로부터 상기 가상 채널을 추정하는 방법 및 장치를 제안한다. 이로써 SINR이 낮은 환경

에서 전용 파일럿 신호를 사용하여 파일럿 전력 향상 및 파일럿 전송 오버헤드 감소의 이득을 얻는 동시에 가상 채널의 확률적 특성을 이용하는 최적 채널 추정 기법을 적용하여 채널 추정 성능을 대폭 향상시킬 수 있다.

【기술적 해결 방법】

상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명에 따른 다중 안테나 송신 빔포밍 기법을 사용하는 OFDM 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용하는 채널추정 방법 및 장치는, 공통 파일럿 신호로부터 추정된 공통 파일럿 채널의 확률적 특성을 이용하여 빔포밍을 사용하여 발생하는 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 방법 및 추정부와, 상기 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 방법 및 추정부로부터 추정된 가상 채널의 확률적 특성을 이용하여 최적 전용 파일럿 신호의 패턴을 결정하는 방법 및 결정부와, 상기 전용 파일럿 신호의 패턴을 결정하는 방법 및 결정부로부터 전송된 전용 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하는 방법 및 추정부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

【유리한 효과】

본 발명은 다중 안테나를 사용하여 송신 빔포밍 기법을 사용하는 무선통신 시스템에서, 공통 파일럿 채널의 확률적 특성을 이용하여 빔포밍에 의해 생성되는 가상 채널의 확률적 특성을 추정하고, 추정된 가상 채널의 확률적 특성을 이용하여 최적 전용 파일럿 패턴 결정하고, 이를 통해 추정된 가상 채널 값을 토대로 어파인 최소 평균 자승 오차(affine minimum mean square error : 이하 AMMSE)

보간 기법을 이용하여 채널을 추정한다. 특히 본 발명은 공통 파일럿 채널의 상관함수에 빔포밍 기법에 따른 영향을 고려한 가상 채널의 상관함수를 추정하고, 그 결과를 토대로 가상 채널의 평균 채널 이득을 보정한 AMMSE 보간 기법을 적용함으로써, 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선 통신 시스템에서 전용 파일럿을 효과적으로 이용할 수 있는 방안을 제시한다. 또한 본 발명은 시스템 전송률을 기준으로 최적 전용 파일럿 패턴을 도출하여, 전용 파일럿의 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 동시에 고려한 관점에서 채널 추정 성능을 극대화시킬 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무선 통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용한 적응적 채널 추정을 위한 송신기와 수신기의 개략적인 구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신 시스템에서 가상 채널의 확률적 특성 추정 방법을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 3은 도 1의 가상 채널의 확률적 특성 추정 장치에 포함되는 상관 함수 추정부의 구성을 보다 상세히 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신 시스템에서 최적 전용 파일럿 패턴을 결정하는 방법을 나타낸 도면이다.

도 5는 도 1의 가상 채널의 확률적 특성 추정 장치에 포함되는 최적 전용 파일럿 패턴 결정부의 구성을 보다 상세히 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신

시스템에서 가상 채널에 대한 AMMSE 보간 기법을 나타낸 도면이다.

도 7은 도 1의 가상 채널 보간 장치(132)의 일례로서의 가상 채널에 대한 AMMSE 보간부의 상세 구성을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신 시스템에서 전체적인 수신기의 구조를 나타낸 도면이다.

【발명의 실시를 위한 최선의 형태】

이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

이하에서는, 본 발명의 실시 예에 따른 동기 빔포밍(coherent beamforming: 이하 CBF) 및 고유 빔포밍(eigen-beamforming: 이하 EBF)과 같은 다중 안테나 송신 기법을 사용하는 OFDM 기반 무선통신 시스템에서 공통 파일럿 채널의 확률적 특성을 이용하여 상기 다중 안테나 송신 기법에 의해 발생된 가상 채널의 확률적 특성을 추정하고, 추정된 가상 채널의 확률적 특성을 이용하여 시스템 전송률을 최대화 하기 위한 최적의 전용 파일럿 패턴을 결정하며, 상기 최적 전용 파일럿 패턴으로부터 상기 가상 채널을 추정하는 방법 및 장치를 상세히 설명한다.

이하 전용 파일럿 신호를 사용하는 N_t 개의 송신 안테나로 구성된 MIMO OFDM 기반 무선통신 시스템을 고려한다. 상기 무선통신 시스템에서 n -번째

OFDM 심볼(symbol) 및 k -번째 부반송파(subcarrier)에 할당된 전용 파일럿 신호를 $P_d(n, k)$ 라고 하자. 상기 무선통신 시스템에서 N_T 개의 다중 송신 안테나를 사용하여 $(N_T \times 1)$ -차원 빔 가중치 벡터 $\mathbf{w}(n, k)$ 로 신호를 빔포밍하여 송신한다고 가정하면, 수신된 파일럿 신호는 <수학식 1> 과 같다.

【수학식 1】

$$Y(n, k) = \mathbf{H}(n, k) \mathbf{w}(n, k) P_d(n, k) + N(n, k)$$

여기서 $\mathbf{H}(n, k)$ 는 각 원소가 평균이 0이고 분산이 σ_H^2 인 독립 동일 분포 (independent and identically distributed: 이하 i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤변수(complex Gaussian random variable)로 이루어진 $(1 \times N_T)$ 차원 채널벡터를 의미하며, $N(n, k)$ 는 분산이 σ_N^2 인 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise: 이하 AWGN)이다. 이때 $\mathbf{H}(n, k)$ 의 각 원소는 공통 파일럿 채널을 의미하며, 빔포밍에 의한 상기 가상 채널은 <수학식 2> 로 표현된다.

【수학식 2】

$$H_w(n, k) = \mathbf{H}(n, k) \mathbf{w}(n, k)$$

상기 채널 벡터 $\mathbf{H}(n, k)$ 의 i -번째 원소를 $H_i(n, k)$ 라고 하고, 채널이 광의적인 정상과정(wide sense stationary process)이라고 가정하면, 공통 파일럿 채널의 상관함수(correlation function)는 <수학식 3> 과 같이 정의된다.

【수학식 3】

$$r_H(\Delta n, \Delta k) = E \{ H_i(n + \Delta n, k + \Delta k) H_i^*(n, k) \} \text{ for } i = 1, \dots, N_T$$

여기서 Δn 과 Δk 는 각각 시간 축의 OFDM 심볼 간격과 주파수 축의 부반

송파 간격이며, $E\{\}$ 는 평균(expectation) 연산자를 의미하고, 윗첨자 * 는 복소 켤레(complex conjugate) 연산자를 의미한다. 상기 공통 파일럿 채널의 상관함수와 유사하게 가상 채널의 상관함수를 <수학식 4> 와 같이 정의할 수 있다.

【수학식 4】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = E\{H_w(n + \Delta n, k + \Delta k)H_w^*(n, k)\}$$

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 무선 통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용한 적응적 채널 추정을 위한 송신기와 수신기를 개략적인 구성을 나타낸 도면이다.

송신기(101)는 데이터 신호 및 고유의 패턴을 가진 전용 파일럿 신호를 전송하는 신호 전송 장치(111)와, 상기 데이터와 전용 파일럿 신호에 빔 가중치를 적용한 신호를 생성하는 빔 포밍 장치(112)를 포함하며, 빔 가중치를 적용한 데이터와 고유의 패턴을 가진 전용 파일럿 신호가 N_t 개의 송신 안테나를 통해 전송된다.

수신기(103)는 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 확률적 특성 추정 장치(131)와, 추정된 상기 가상 채널의 확률적 특성을 토대로 채널 보간 기법을 적용하여 전체 자원영역의 가상 채널을 추정하는 가상 채널 보간 장치(132)를 포함한다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신 시스템에서 가상 채널의 확률적 특성 추정 방법을 나타낸 도면이다.

201단계에서 수신기는 공통 파일럿 신호 및 전용 파일럿 신호를 수신한다. 수신된 공통 파일럿 신호를 이용하여 203단계에서 상기 <수학식 3> 과 같이 공통 파일럿 채널의 상관함수를 추정한다. 205단계에서는 상기 203단계에서 추정된 공통 파일럿 채널의 상관함수로부터 상기 가상 채널의 상관함수를 추정한다.

상기 가상 채널의 상관함수 추정 방법은 송신 빔포밍 기법에 따라 달라지며, 본 발명의 실시 예에 따른 CBF 기법을 사용한 경우, 가상 채널의 상관함수는 <수학식 5> 의 변환식에 따라 구할 수 있다.

【수학식 5】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2) \left(\frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)} \right)^2 \left(1 - |\rho|^2 + N_T^2 \left(\frac{\Gamma(N_T)}{\Gamma(N_T + 1/2)} \right)^4 |\rho| \right)^{1/2} + \sigma_E^2 \rho^2$$

여기서 σ_E^2 는 빔 가중치 벡터의 오차를 의미하며, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수(gamma function)이다. 또한 ρ 는 공통 파일럿 채널의 정규 상관함수(normalized correlation function)를 나타내며 <수학식 6> 과 같다.

【수학식 6】

$$\rho = \frac{r_H(\Delta n, \Delta k)}{\sigma_H^2}$$

다른 일례로 EBF 기법을 사용하는 경우, 가상 채널의 상관함수는 <수학식 7> 의 변환식을 사용하여 계산될 수 있다.

【수학식 7】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = \rho \lambda_{\max}$$

여기서 $\lambda_{\max}$ 는 공간 상관도(spatial correlation)가 존재하는 채널에서 공간 상관 행렬

을 고유 값 분해(eigenvalue decomposition)하였을 때 얻을 수 있는 최대 고유 값(eigenvalue)을 의미하며, 상기 공간 상관 행렬은 <수학식 8> 과 같이 정의된다.

【수학식 8】

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{H}^H(n, k)\mathbf{H}(n, k)\}$$

도 3은 도 1의 가상 채널의 확률적 특성 추정 장치에 포함되는 상관 함수 추정부의 구성을 보다 상세히 나타낸 도면이다.

상기 상관함수 추정부(300)는 파일럿 신호 수신부(301), 공통 파일럿 채널 상관함수 추정부(303), 변환식 선택부(305), 가상 채널 상관함수 추정부(307)로 구성되어 있다.

송신기로부터 전송된 공통 파일럿 신호 및 전용 파일럿 신호는 파일럿 신호 수신부(301)에서 수신되며, 공통 파일럿 채널 상관함수 추정부(303)는 수신된 공통 파일럿 신호를 이용하여 공통 파일럿 채널의 상관함수를 추정한다.

변환식 선택부(305)에서는 사용된 빔포밍 기법이 CBF 기법인 경우 상기 <수학식 5> 를 선택하고, EBF 기법인 경우 상기 <수학식 7> 을 선택하여 가상 채널 상관함수 추정부(307)로 전달한다.

가상 채널 상관함수 추정부(307)에서는 상기 변환식 선택부(305)로부터 전달받은 변환식을 상기 공통 파일럿 채널 상관함수 추정부(303)에서 추정된 공통 파일럿 채널의 상관함수에 적용하여, 상기 가상 채널의 상관함수를 추정한다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신 시스템에서 최적 전용 파일럿 패턴을 결정하는 방법을 나타낸 도면이다.

먼저 401단계에서는 초기 패턴을 <수학식 9> 와 같이 결정한다.

【수학식 9】

$$(d_i, d_f) = (d_{i,0}, d_{f,0})$$

여기서 d_i 는 전용 파일럿의 시간 축에서의 OFDM 심볼 간격(interval)이고, d_f 는 전용 파일럿의 주파수 축에서의 부반송파 간격이다.

403단계에서는 도 2의 상기 205단계에서 추정된 가상 채널의 상관함수를 이용하여 전용 파일럿 패턴이 $(d_i + \Delta d_i, d_f)$ 인 경우와 $(d_i, d_f + \Delta d_f)$ 인 경우의 평균 MSE를 비교하고, 보다 작은 MSE를 갖는 전용 파일럿 패턴을 선택한다. 여기서 Δd_i 와 Δd_f 는 각각 시간 축 및 주파수 축의 파일럿 간격 변화의 단위로, 고정된 상수 값이다. 일반적으로 초기 패턴 $(d_{i,0}, d_{f,0})$ 과 변화 간격 Δd_i 와 Δd_f 는 OFDM 및 부반송파의 최소간격인 1로 정할 수 있다.

상기 403단계는 초기 패턴에서 시간 축 간격 또는 주파수 축 간격을 증가시킬 때, 파일럿 신호의 밀도 감소량 대비 MSE 증가량을 작게 하는 경우를 선택한다. 특히 상기 403단계가 반복 수행될 경우, 도출되는 전용 파일럿 패턴은 점차 파일럿 밀도 대비 평균 MSE가 최소가 되는 패턴으로 수렴하게 된다.

수신기가 시간 축으로 N_i 개의 탭과 주파수 축으로 N_f 개의 탭을 갖는 필터를 사용하여 가상 채널을 추정한다고 가정할 때, 상기 403단계에서 <수학식 10> 과 같이 정의되는 자원영역에서 상기 평균 MSE를 계산한다.

【수학식 10】

$$S = \{ (n'', k'') \mid n' \leq n'' \leq n' + (N_i - 1)d_i, k' \leq k'' \leq k' + (N_f - 1)d_f \}$$

여기서 n' 과 k' 는 각각 전용 파일럿이 수신된 OFDM 심볼과 부반송파 위치이고, n'' 과 k'' 는 채널추정의 대상이 되는 OFDM 심볼과 부반송파 위치이다. 또한 (d_t, d_f) 는 송신되는 전용 파일럿 패턴을 나타낸다.

상기 <수학식 10> 과 같이 정의되는 자원영역 s 에서의 평균 MSE는 <수학식 11> 과 같이 계산된다.

【수학식 11】

$$\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f) = \sum_{n''=n'}^{n'+(N_f-1)d_t} \sum_{k''=k'}^{k'+(N_f-1)d_f} \sigma_{MSE}^2(n'', k'', d_t, d_f)$$

여기서 $\sigma_{MSE}^2(n'', k'', d_t, d_f)$ 는 AMMSE 방식의 보간 기법을 이용하여 n'' -번째 OFDM 심볼과 k'' -번째 부반송파 위치의 데이터 채널을 추정할 때의 MSE를 의미하며 <수학식 12> 과 같다.

【수학식 12】

$$\sigma_{MSE}^2(n'', k'', d_t, d_f) = \sigma_{H_w}^2 - \theta^T(n'', k'', d_t, d_f) \Phi^{-1}(d_t, d_f) \theta^*(n'', k'', d_t, d_f)$$

여기서 $\sigma_{H_w}^2$ 는 가상 채널의 분산을 의미하며, CBF 기법 또는 EBF 기법이 사용된 경우, 가상 채널의 분산은 각각 <수학식 13> 및 <수학식 14> 와 같이 계산할 수 있다.

【수학식 13】

$$\sigma_{H_w; CBF}^2 = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2) \left(N_T - \left(\frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)} \right)^2 \right) + \sigma_E^2$$

【수학식 14】

$$\sigma_{H_w; EBF}^2 = \lambda_{\max}$$

또한 $\theta(n'', k'', d_i, d_f)$ 는 교차 공분산 벡터(cross covariance vector)로 <수학식 15> 와 같이 정의되고, $\Phi(d_i, d_f)$ 는 자기 공분산 행렬(auto covariance matrix)로 <수학식 16> 와 같이 정의된다.

【수학식 15】

$$\theta(n'', k'', d_i, d_f) = E\left\{\hat{\mathbf{H}}_{iap}(d_i, d_f) \cdot (H_w(n'', k'') - m_w)^*\right\}$$

【수학식 16】

$$\Phi(d_i, d_f) = E\left\{\hat{\mathbf{H}}_{iap}(d_i, d_f) \cdot \hat{\mathbf{H}}_{iap}^H(d_i, d_f)\right\}$$

여기서 $\hat{\mathbf{H}}_{iap}(d_i, d_f)$ 는 $(N_i \cdot N_f \times 1)$ 차원 벡터로서 상기 자원영역 S 에서 데이터 채널을 추정하기 위한 가상 채널의 측정값들(measurements)을 의미하며, 상기 $\hat{\mathbf{H}}_{iap}(d_i, d_f)$ 의 $i=1, \dots, N_i \cdot N_f$ 번째 원소 $[\hat{\mathbf{H}}_{iap}(d_i, d_f)]_i$ 는 <수학식 17> 과 같이 정의된다.

【수학식 17】

$$[\hat{\mathbf{H}}_{iap}(d_i, d_f)]_i = \frac{Y\left(n' + d_i \cdot \left(i - N_i \cdot \left\lceil \frac{i}{N_i} \right\rceil - 1\right), k' + d_f \cdot \left\lceil \frac{i}{N_i} \right\rceil - 1\right)}{P_d\left(n' + d_i \cdot \left(i - N_i \cdot \left\lceil \frac{i}{N_i} \right\rceil - 1\right), k' + d_f \cdot \left\lceil \frac{i}{N_i} \right\rceil - 1\right)} - m_w$$

여기서 $\lceil N \rceil$ 는 N 보다 크거나 같은 최소 정수를 의미하며, m_w 는 가상 채널의 평균 채널 이득(channel gain)을 의미한다. CBF 기법 또는 EBF 기법이 사용된 경우, 가상 채널의 평균 채널 이득은 각각 <수학식 18> 및 <수학식 19> 와 같이 계산할 수 있다.

【수학식 18】

$$m_{H_w; \text{CBF}} = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2)^{1/2} \frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)}$$

【수학식 19】

$$m_{H_w;EBF} = 0$$

상술된 과정에서 계산된 $(d_i + \Delta d_i, d_f)$ 와 $(d_i, d_f + \Delta d_f)$ 의 두 가지 파일럿 패턴에 대한 평균 MSE를 비교하여, 이 중 작은 MSE를 갖는 패턴을 $(d_{i,new}, d_{f,new})$ 로 정의하며 <수학식 20> 과 같이 선택한다.

【수학식 20】

$$(d_{i,new}, d_{f,new}) = \begin{cases} (d_i + \Delta d_i, d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i + \Delta d_i, d_f) \leq \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f + \Delta d_f) \\ (d_i, d_f + \Delta d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i + \Delta d_i, d_f) > \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f + \Delta d_f) \end{cases}$$

405단계에서는 기존 전용 파일럿 패턴 (d_i, d_f) 을 사용할 때의 시스템 전송률과 상기 403단계에서 선택된 전용 파일럿 패턴 $(d_{i,new}, d_{f,new})$ 을 사용할 때의 시스템 전송률을 <수학식 21> 에 따라 비교하여, 전송률이 향상되면 기존 전용 파일럿 패턴을 선택된 전용 파일럿 패턴으로 갱신(update)한 뒤 403단계로 돌아가고, 전송률이 향상되지 않으면 기존 전용 파일럿 패턴을 최적 패턴 $(d_{i,opt}, d_{f,opt})$ 으로 결정한 뒤 407단계로 전달한다.

【수학식 21】

$$\begin{aligned} i) & (d_i, d_f) \leftarrow (d_{i,new}, d_{f,new}) \quad \text{if } T(d_{i,new}, d_{f,new}) > T(d_i, d_f) \\ ii) & (d_{i,opt}, d_{f,opt}) \leftarrow (d_i, d_f) \quad \text{if } T(d_{i,new}, d_{f,new}) \leq T(d_i, d_f) \end{aligned}$$

여기서 $T(d_i, d_f)$ 는 전용 파일럿의 전송 오버헤드와 MSE를 고려한 시스템 전송률로 <수학식 22> 과 같이 정의된다.

【수학식 22】

$$T(d_i, d_f) = \left(1 - \frac{1}{d_i d_f}\right) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{(m_{H_w}^2 + \sigma_{H_w}^2) - \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f)}{\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f) + 1/\gamma}\right)$$

여기서 γ 는 평균 SNR 값을 의미한다.

407단계에서는 상기 403단계와 상기 405단계를 반복하여 최종적으로 결정된 최적 전용 파일럿 패턴 $(d_{i,opt}, d_{f,opt})$ 을 송신기로 전송한다.

도 5는 도 1의 가상 채널의 확률적 특성 추정 장치에 포함되는 최적 전용 파일럿 패턴 결정부의 구성을 보다 상세히 나타낸 도면이다.

상기 최적 전용 파일럿 패턴 결정부(500)는 초기 패턴 결정부(501), MSE 비교부(503), 시스템 전송률 비교부(505), 최종 패턴 반환부(507)로 구성된다.

초기 전용 파일럿 패턴은 초기 패턴 결정부(501)에서 상기 <수학식 9>와 같이 결정되며, MSE 비교부(503)에서는 상기 <수학식 20>에 따라 시간 축으로 한 단위 증가시킨 패턴과 주파수 축으로 한 단위 증가시킨 패턴 중 보다 작은 MSE를 갖는 순차적 파일럿 패턴을 선택한다.

시스템 전송률 비교부(505)에서는 상기 <수학식 21>과 같이 이전 파일럿 패턴을 사용했을 때의 시스템 전송률과 상기 순차적 파일럿 패턴을 사용했을 때의 시스템 전송률을 비교하여, 시스템 전송률이 증가하면 이전 파일럿 패턴을 상기 순차적 파일럿 패턴으로 경신한 뒤 경신된 파일럿 패턴을 MSE 비교부(503)로 전달하여 이전 과정을 반복 수행한다. 만약 시스템 전송률이 증가하지 않으면, 이전 파일럿 패턴을 최적 전용 파일럿 패턴으로 결정하고, 최종 패턴 반환부(507)에서 상기 최적 전용 파일럿 패턴을 송신기로 전송한다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신

시스템에서 가상 채널에 대한 AMMSE 보간 기법을 나타낸 도면이다.

우선 601단계에서 수신된 전용 파일럿 신호에 대해 최소 자승법(least square: 이하 LS)을 이용하여 가상 채널 값을 상기 <수학식 17> 와 같이 추정한다.

603단계에서는 도 2의 205단계에서 추정된 가상 채널의 확률적 특성 및 도 4의 407단계에서 결정된 최적 전용 파일럿 패턴을 이용하여 교차 공분산 벡터와 자기 공분산 행렬을 계산한다.

상기 603단계에서 n' -번째 OFDM 심볼과 k' -번째 부반송파 위치에서 전용 파일럿 신호가 전송되고, 전용 파일럿이 도 4의 407단계에서 결정된 최적 전용 파일럿 패턴 $(d_{t,opt}, d_{f,opt})$ 을 갖는다고 가정하자. 이때 상기 <수학식 10>에 따라 s 로 정의되는 자원영역 내에서 상기 가상 채널을 추정하기 위한 교차 공분산 벡터 및 자기 공분산 행렬은 <수학식 23> 및 <수학식 24> 과 같이 계산될 수 있다.

【수학식 23】

$$\theta(n'', k'', d_{t,opt}, d_{f,opt}) = E \left\{ \hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt}) \cdot (H_w(n'', k'') - m_w)^* \right\}$$

【수학식 24】

$$\Phi(d_{t,opt}, d_{f,opt}) = E \left\{ \hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt}) \cdot \hat{\mathbf{H}}_{tap}^H(d_{t,opt}, d_{f,opt}) \right\}$$

605단계에서는 계산된 교차 공분산 벡터와 자기 공분산 행렬을 이용하여 MSE를 최소로 하는 AMMSE 보간 필터의 탭 계수를 <수학식 25>에 따라 결정한다.

【수학식 25】

$$\mathbf{W} = \theta^T(n'', k'', d_{t,opt}, d_{f,opt}) \Phi^{-1}(d_{t,opt}, d_{f,opt})$$

상기 605단계에서 결정된 탭 계수를 토대로 607단계에서는 상기 가상 채널의 확률적 특성에 적합한 AMMSE 보간 기법을 적용하기 위하여 <수학식 26>에 따라 상기 자원영역 s 에 포함되는 가상 채널을 추정한다.

【수학식 26】

$$\hat{H}_w(n'', k'') = \mathbf{W}\hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt}) + m_{H_w}$$

도 7은 도 1의 가상 채널 보간 장치(132)의 일례로서의 가상 채널에 대한 AMMSE 보간부의 상세 구성을 나타낸 도면이다.

상기 가상 채널 AMMSE 보간부(700)는 LS 추정부(701), 공분산 계산부(703), AMMSE 탭 계수 계산부(705), AMMSE 보간부(707)로 구성된다. 수신된 각각의 전용 파일럿 신호는 LS 추정부(701)에서 상기 <수학식 17>과 같이 LS 기법에 따른 가상 채널 값을 추정하기 위해 사용된다.

공분산 계산부(703)에서는 상기 205단계에서 추정된 가상 채널의 확률적 특성과 상기 407단계에서 결정된 최적 전용 파일럿 패턴을 토대로 AMMSE 보간 기법에서 사용되는 교차 공분산 벡터와 자기 공분산 행렬을 상기 <수학식 23> 및 상기 <수학식 24>과 같이 계산한다.

AMMSE 탭 계수 계산부(705)에서는 상기 공분산 계산부(703)의 결과를 이용하여, 상기 <수학식 25>과 같이 AMMSE 보간 필터의 최적 탭 계수를 결정한다. AMMSE 보간부(707)는 상기 AMMSE 탭 계수 계산부(705)에서 결정된 AMMSE 보간 필터의 최적 탭 계수를 이용하여 상기 <수학식 26>와 같이 가상 채널을 보간한다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 송신 빔포밍 기법이 적용된 무선통신 시스템에서 전체적인 수신기의 구조를 나타낸 도면이다.

수신기는 도 3의 상관함수 추정부(300) 및 도 5의 최적 전용 파일럿 패턴 결정부(500)를 포함하는 가상채널의 확률적 특성 추정 장치 및 도 7의 AMMSE 보간 장치(700)를 포함하여 이루어진다.

초기에 공통 파일럿 신호가 파일럿 신호 수신부(301)에서 수신되며, 수신된 공통 파일럿 신호는 공통 파일럿 채널 상관함수 추정부(303)에서 공통 파일럿 채널의 상관함수를 추정하기 위해 사용된다.

변환식 선택부(305)는 빔포밍 기법에 따라 일례로 상기 <수학식 5> 및 상기 <수학식 7> 과 같은 변환식을 선택하여, 가상 채널 상관함수 추정부(307)로 전달한다.

가상 채널 상관함수 추정부(307)는 전달받은 변환식을 상기 공통 파일럿 채널 상관함수 추정부(303)에서 추정된 공통 파일럿 채널의 상관함수에 적용하여 가상 채널의 상관함수를 추정한다.

한편, 초기 패턴 결정부(501)에서는 전용 파일럿을 위한 초기 패턴을 상기 <수학식 9> 와 같이 결정하고, MSE 비교부(503)는 상기 가상 채널 상관함수 추정부(307)에서 추정된 가상 채널의 상관함수를 이용하여 상기 초기 파일럿 패턴을 파일럿 밀도 대비 MSE가 최소가 되는 방향으로 상기 <수학식 20> 와 같이 변화시킨다.

시스템 전송률 비교부(505)는 상기 MSE 비교부(503)와 연계하여 파일럿

부하를 고려한 시스템 전송률을 최대화하는 파일럿 패턴을 상기 〈수학식 21〉과 같이 결정하며, 최종 패턴 결정부(507)는 상술된 과정에서 도출된 최종 전용 파일럿 패턴을 송신기로 변환한다. 송신기에서는 변환받은 최적 전용 파일럿 패턴을 적용하여 전용 파일럿을 전송하며, 수신기의 LS 추정부(701)에서 수신된 전용 파일럿 신호에 LS 기법을 적용하여 상기 가상 채널 값을 상기 〈수학식 17〉과 같이 추정한다.

공분산 계산부(703)에서는 상기 가상 채널 상관함수 추정부(307)에서 추정된 가상 채널의 상관함수와 상기 최종 패턴 결정부(507)에서 결정된 최적 전용 파일럿 패턴을 이용하여 교차 공분산 벡터 및 자기 공분산 행렬을 상기 〈수학식 23〉 및 상기 〈수학식 24〉와 같이 계산한다.

AMMSE 탭 계수 계산부(705)는 상기 공분산 계산부(703)의 계산 결과를 토대로 AMMSE 보간 필터 탭 계수를 상기 〈수학식 25〉과 같이 계산하며, AMMSE 보간부(707)에서는 상기 LS 추정부(701)에서 얻어진 가상 채널의 추정 값을 AMMSE 보간 필터에 적용하여 상기 〈수학식 26〉과 같이 빔포밍에 의해 발생된 가상 채널을 추정한다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

다중 안테나 송신 빔포밍 기법을 사용하는 OFDM 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용하는 채널추정 방법에 있어서,

공통 파일럿 신호로부터 추정된 공통 파일럿 채널의 확률적 특성을 이용하여 빔포밍을 사용하여 발생하는 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 제 1 단계;

추정된 상기 가상 채널의 확률적 특성을 이용하여 최적 전용 파일럿 신호의 패턴을 결정하는 제 2 단계; 및

상기 최적 전용 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하는 제 3 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 제 1 단계는,

다중 안테나 송신 기법에 따라 공통 파일럿 채널의 추정 값으로부터 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것을 특징으로 하는 방법.

【청구항 3】

제 2항에 있어서,

CBF 송신 기법을 사용하는 경우 하기 <수학식 5> 과 같은 변환식을 이용하여 상기 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것을 특징으로 하는 방법.

【수학식 5】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2) \left(\frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)} \right)^2 \left(1 - |\rho|^2 + N_T^2 \left(\frac{\Gamma(N_T)}{\Gamma(N_T + 1/2)} \right)^4 |\rho| \right)^{1/2} + \sigma_E^2 \rho^2$$

여기서 σ_E^2 는 빔 가중치 벡터의 오차를 의미하며, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수(gamma function)이다. 또한 ρ 는 공통 파일럿 채널의 정규 상관함수(normalized correlation function)를 나타낸다.

【청구항 4】

제 2항에 있어서, EBF 송신 기법을 사용하는 경우 하기 <수학식 7>의 변환식을 이용하여 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것을 특징으로 하는 방법.

【수학식 7】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = \rho \lambda_{\max}$$

여기서 $\lambda_{\max}$ 는 공간 상관도(spatial correlation)가 존재하는 채널에서, 공간 상관 행렬을 고유 값 분해(eigenvalue decomposition)하였을 때 얻을 수 있는 최대 고유 값(eigenvalue)을 의미한다.

【청구항 5】

제 1항에 있어서,

상기 제 2 단계는,

파일럿 신호 밀도 대비 MSE를 최소화하는 과정과 파일럿 신호 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 고려하여 시스템 전송률을 최대화하는 과정을 반복적으로 수행하여 최적 전용 파일럿 패턴을 도출하고, 이를 송신기로 보내는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

【청구항 6】

제 5항에 있어서, 상기 파일럿 밀도 대비 MSE를 최소화하는 과정에 있어서,

시간 간격 또는 주파수 간격이 한 단위 증가된 두 가지 전용 파일럿 패턴 중 MSE를 작게 하는 패턴을 하기 <수학식 20> 과 같이 선택하는 것을 특징으로 하는 방법.

【수학식 20】

$$(d_{i,new}, d_{f,new}) = \begin{cases} (d_i + \Delta d_i, d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i + \Delta d_i, d_f) \leq \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f + \Delta d_f) \\ (d_i, d_f + \Delta d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i + \Delta d_i, d_f) > \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f + \Delta d_f) \end{cases}$$

여기서 $\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i + \Delta d_i, d_f)$ 및 $\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f + \Delta d_f)$ 는 각각 $(d_i + \Delta d_i, d_f)$ 및 $(d_i, d_f + \Delta d_f)$ 을 전용 파일럿 패턴으로 갖는 경우의 AMMSE 보간 기법에 따른 MSE이다.

【청구항 7】

제 5항에 있어서, 상기 파일럿 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 고려하여 시스템 전송률을 최대화하는 과정에 있어서,

상기 파일럿 밀도 대비 MSE 최소화 과정에서 도출된 전용 파일럿 신호 패턴에 대해 하기 <수학식 21> 및 <수학식 22> 과 같이 갱신하는 것을 특징으로 하는 방법.

【수학식 21】

$$\begin{aligned} i) \quad (d_i, d_f) &\leftarrow (d_{i,new}, d_{f,new}) & \text{if } T(d_{i,new}, d_{f,new}) > T(d_i, d_f) \\ ii) \quad (d_{i,opt}, d_{f,opt}) &\leftarrow (d_i, d_f) & \text{if } T(d_{i,new}, d_{f,new}) \leq T(d_i, d_f) \end{aligned}$$

【수학식 22】

$$T(d_i, d_f) = \left(1 - \frac{1}{d_i d_f}\right) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{(m_{H_w}^2 + \sigma_{H_w}^2) - \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f)}{\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f) + 1/\gamma}\right)$$

여기서 γ 는 평균 SNR 값을 의미하며, $\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_i, d_f)$ 는 (d_i, d_f) 을 전용 파일럿 패턴으로 갖는 경우의 AMMSE 보간 기법에 따른 MSE이다. m_{H_w} 는 가상 채널의 평균 채널 이득을 의미하며, 일례로 CBF 기법 및 EBF 기법이 사용된 경우 각각 하기 <수학식 13> 및 하기 <수학식 14> 과 같이 계산할 수 있다.

【수학식 13】

$$\sigma_{H_w; CBF}^2 = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2) \left(N_T - \left(\frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)} \right)^2 \right) + \sigma_E^2$$

【수학식 14】

$$\sigma_{H_w; EBF}^2 = \lambda_{\max}$$

$\sigma_{H_w}^2$ 는 가상 채널의 분산을 의미하며, 일례로 CBF 기법 및 EBF 기법이 사용된 경우 각각 하기 <수학식 18> 및 하기 <수학식 19> 과 같이 계산할 수 있다.

【수학식 18】

$$m_{H_w; CBF} = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2)^{1/2} \frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)}$$

【수학식 19】

$$m_{H_w; EBF} = 0$$

【청구항 8】

제 5항에 있어서, 상기 파일럿 밀도 대비 MSE를 최소화하는 과정과 파일럿 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 고려하여 시스템 전송률을 최대화하는 과

정을 반복적으로 수행하여 최적 전용 파일럿 패턴을 도출하는 과정에 있어서,

하기 <수학식 27> 와 같은 순차적인 반복과정을 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

【수학식 27】

$$\begin{aligned}
 i) \quad & (d_t, d_f) = (d_{t,0}, d_{f,0}) \\
 ii) \quad & (d_{t,new}, d_{f,new}) = \begin{cases} (d_t + \Delta d_t, d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f) \leq \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f) \\ (d_t, d_f + \Delta d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f) > \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f) \end{cases} \\
 iii) \quad & \begin{aligned} & (d_t, d_f) \leftarrow (d_{t,new}, d_{f,new}) \quad \text{if } T(d_{t,new}, d_{f,new}) > T(d_t, d_f) \quad \text{Return to Step ii)} \\ & (d_{t,opt}, d_{f,opt}) \leftarrow (d_t, d_f) \quad \text{if } T(d_{t,new}, d_{f,new}) \leq T(d_t, d_f) \quad \text{Finalization} \end{aligned}
 \end{aligned}$$

여기서 $(d_{t,0}, d_{f,0})$ 는 순차적인 반복과정을 시작하는 초기 전용 파일럿 패턴이고, $(d_{t,new}, d_{f,new})$ 는 파일럿 밀도 대비 MSE를 최소화하는 방향으로 확장된 전용 파일럿 패턴이며, $(d_{t,opt}, d_{f,opt})$ 는 최종적으로 결정되는 최적 전용 파일럿 패턴을 의미한다.

【청구항 9】

제 5항에 있어서, 상기 최적 전용 파일럿 패턴을 송신기로 보내는 과정에 있어서,,

상기 최적 전용 파일럿 패턴 결정부에서 결정된 최적 전용 파일럿 신호의 패턴을 송신기에 보고하여 송신기가 수신된 상기 전용 파일럿 패턴에 따라 전용 파일럿 신호를 전송하는 것을 특징으로 하는 방법.

【청구항 10】

제 1항에 있어서,

상기 제 3 단계는,

수신된 전용 파일럿 신호를 이용하여 빔포밍에 의해 발생된 가상 채널을 추정하고, 추정된 가상 채널 값에 AMMSE 보간 기법을 적용하여 전 대역의 채널 값을 추정하는 것을 특징으로 하는 방법.

【청구항 11】

제 10항에 있어서, 상기 AMMSE 보간 기법을 적용하여 전 대역의 채널 값을 추정하는 과정에 있어서,

하기 < 수학적 식 26 > 과 같이 상기 가상 채널의 평균 이득을 보정하는 AMMSE 보간 기법을 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

【수학적 식 26】

$$\hat{H}_w(n'', k'') = \mathbf{W} \hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt}) + m_{H_w}$$

여기서 $\mathbf{w}$ 는 AMMSE 보간 필터의 탭 계수를 나타내고, $\hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt})$ 는 상기 수신된 전용 파일럿 신호로부터 추정된 가상 채널 값이며, m_{H_w} 는 상기 가상 채널의 평균 채널 이득을 의미한다.

【청구항 12】

다중 안테나 송신 빔포밍 기법을 사용하는 OFDM 기반 무선통신 시스템에서 전용 파일럿 신호를 이용하는 채널 추정 장치에 있어서,

공통 파일럿 신호로부터 추정된 공통 파일럿 채널의 확률적 특성을 이용하여 빔포밍을 사용하여 발생하는 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 가상채널의 확률적 특성 추정부;

추정된 상기 가상 채널의 확률적 특성을 이용하여 최적 전용 파일럿 신호

의 패턴을 결정하는 최적 전용 파일럿 신호 패턴 결정부; 및

상기 최적 전용 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하는 가상 채널 보간부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

【청구항 13】

제 12항에 있어서,

상기 가상 채널의 확률적 특성 추정부는,

다중 안테나 송신 기법에 따라 공통 파일럿 채널의 추정 값으로부터 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것을 특징으로 하는 장치.

【청구항 14】

제 13항에 있어서,

CBF 송신 기법을 사용하는 경우 하기 <수학식 5> 과 같은 변환식을 이용하여 상기 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것을 특징으로 하는 장치.

【수학식 5】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2) \left(\frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)} \right)^2 \left(1 - |\rho|^2 + N_T^2 \left(\frac{\Gamma(N_T)}{\Gamma(N_T + 1/2)} \right)^4 |\rho| \right)^{1/2} + \sigma_E^2 \rho^2$$

여기서 σ_E^2 는 빔 가중치 벡터의 오차를 의미하며, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수(gamma function)이다. 또한 ρ 는 공통 파일럿 채널의 정규 상관함수(normalized correlation function) 를 나타낸다.

【청구항 15】

제 13항에 있어서,

EBF 송신 기법을 사용하는 경우 하기 <수학식 7>의 변환식을 이용하여 가상 채널의 확률적 특성을 추정하는 것을 특징으로 하는 장치.

【수학식 7】

$$r_{H_w}(\Delta n, \Delta k) = \rho \lambda_{\max}$$

여기서 $\lambda_{\max}$ 는 공간 상관도(spatial correlation)가 존재하는 채널에서, 공간 상관 행렬을 고유 값 분해(eigenvalue decomposition)하였을 때 얻을 수 있는 최대 고유 값(eigenvalue)을 의미한다.

【청구항 16】

제 12 항에 있어서,

상기 최적 전용 파일럿 신호 패턴 결정부는,

파일럿 신호 밀도 대비 MSE를 최소화하는 과정과 파일럿 신호 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 고려하여 시스템 전송률을 최대화하는 과정을 반복적으로 수행하여 최적 전용 파일럿 패턴을 도출하고, 이를 송신기로 보내는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

【청구항 17】

제 16항에 있어서, 상기 파일럿 밀도 대비 MSE를 최소화하는 과정에 있어서,

시간 간격 또는 주파수 간격이 한 단위 증가된 두 가지 전용 파일럿 패턴 중 MSE를 작게 하는 패턴을 하기 <수학식 20>과 같이 선택하는 것을 특징으로 하는 장치.

【수학식 29】

$$(d_{t,new}, d_{f,new}) = \begin{cases} (d_t + \Delta d_t, d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f) \leq \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f) \\ (d_t, d_f + \Delta d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f) > \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f) \end{cases}$$

여기서 $\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f)$ 및 $\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f)$ 는 각각 $(d_t + \Delta d_t, d_f)$ 및 $(d_t, d_f + \Delta d_f)$ 을 전용 파일럿 패턴으로 갖는 경우의 AMMSE 보간 기법에 따른 MSE이다.

【청구항 18】

제 16항에 있어서, 상기 파일럿 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 고려하여 시스템 전송률을 최대화하는 과정에 있어서,

상기 파일럿 밀도 대비 MSE 최소화 과정에서 도출된 전용 파일럿 신호 패턴에 대해 하기 <수학식 21> 및 <수학식 22> 과 같이 갱신하는 것을 특징으로 하는 장치.

【수학식 21】

$$\begin{aligned} i) \quad (d_t, d_f) &\leftarrow (d_{t,new}, d_{f,new}) & \text{if } T(d_{t,new}, d_{f,new}) > T(d_t, d_f) \\ ii) \quad (d_{t,opt}, d_{f,opt}) &\leftarrow (d_t, d_f) & \text{if } T(d_{t,new}, d_{f,new}) \leq T(d_t, d_f) \end{aligned}$$

【수학식 22】

$$T(d_t, d_f) = \left(1 - \frac{1}{d_t d_f}\right) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{(m_{H_w}^2 + \sigma_{H_w}^2) - \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f)}{\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f) + 1/\gamma}\right)$$

여기서 γ 는 평균 SNR 값을 의미하며, $\bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f)$ 는 (d_t, d_f) 을 전용 파일럿 패턴으로 갖는 경우의 AMMSE 보간 기법에 따른 MSE이다. m_{H_w} 는 가상 채널의 평균 채널 이득을 의미하며, 일례로 CBF 기법 및 EBF 기법이 사용된 경우 각각 하기 <수학식 13> 및 하기 <수학식 14> 과 같이 계산할 수 있다.

【수학식 13】

$$\sigma_{H_w; \text{CBF}}^2 = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2) \left(N_T - \left(\frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)} \right)^2 \right) + \sigma_E^2$$

【수학식 14】

$$\sigma_{H_w; \text{EBF}}^2 = \lambda_{\max}$$

$\sigma_{H_w}^2$ 는 가상 채널의 분산을 의미하며, 일례로 CBF 기법 및 EBF 기법이 사용된 경우 각각 하기 <수학식 18> 및 하기 <수학식 19> 과 같이 계산할 수 있다.

【수학식 18】

$$m_{H_w; \text{CBF}} = (\sigma_H^2 - \sigma_E^2)^{1/2} \frac{\Gamma(N_T + 1/2)}{\Gamma(N_T)}$$

【수학식 19】

$$m_{H_w; \text{EBF}} = 0$$

【청구항 19】

제 16항에 있어서, 상기 파일럿 밀도 대비 MSE를 최소화하는 과정과 파일럿 전송 오버헤드와 채널 추정 MSE를 고려하여 시스템 전송률을 최대화하는 과정을 반복적으로 수행하여 최적 전용 파일럿 패턴을 도출하는 과정에 있어서,

하기 <수학식 27> 와 같은 순차적인 반복과정을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

【수학식 27】

$$\begin{aligned}
& i) (d_t, d_f) = (d_{t,0}, d_{f,0}) \\
& ii) (d_{t,new}, d_{f,new}) = \begin{cases} (d_t + \Delta d_t, d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f) \leq \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f) \\ (d_t, d_f + \Delta d_f) & \text{if } \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t + \Delta d_t, d_f) > \bar{\sigma}_{MSE}^2(d_t, d_f + \Delta d_f) \end{cases} \\
& iii) \begin{aligned} & (d_t, d_f) \leftarrow (d_{t,new}, d_{f,new}) \quad \text{if } T(d_{t,new}, d_{f,new}) > T(d_t, d_f) \quad \text{Return to Step ii)} \\ & (d_{t,opt}, d_{f,opt}) \leftarrow (d_t, d_f) \quad \text{if } T(d_{t,new}, d_{f,new}) \leq T(d_t, d_f) \quad \text{Finalization} \end{aligned}
\end{aligned}$$

여기서 $(d_{t,0}, d_{f,0})$ 는 순차적인 반복과정을 시작하는 초기 전용 파일럿 패턴이고, $(d_{t,new}, d_{f,new})$ 는 파일럿 밀도 대비 MSE를 최소화하는 방향으로 확장된 전용 파일럿 패턴이며, $(d_{t,opt}, d_{f,opt})$ 는 최종적으로 결정되는 최적 전용 파일럿 패턴을 의미한다.

【청구항 20】

제 16항에 있어서, 상기 최적 전용 파일럿 패턴을 송신기로 보내는 과정에 있어서,,

상기 최적 전용 파일럿 패턴 결정부에서 결정된 최적 전용 파일럿 신호의 패턴을 송신기에 보고하여 송신기가 수신된 상기 전용 파일럿 패턴에 따라 전용 파일럿 신호를 전송하는 것을 특징으로 하는 장치.

【청구항 21】

제 12 항에 있어서,

상기 가상 채널 보간부는,

수신된 전용 파일럿 신호를 이용하여 빔포밍에 의해 발생된 가상 채널을 추정하고, 추정된 가상 채널 값에 AMMSE 보간 기법을 적용하여 전 대역의 채널 값을 추정하는 것을 특징으로 하는 장치.

【청구항 22】

제 21항에 있어서, 상기 AMMSE 보간 기법을 적용하여 전 대역의 채널 값을 추정하는 과정에 있어서,

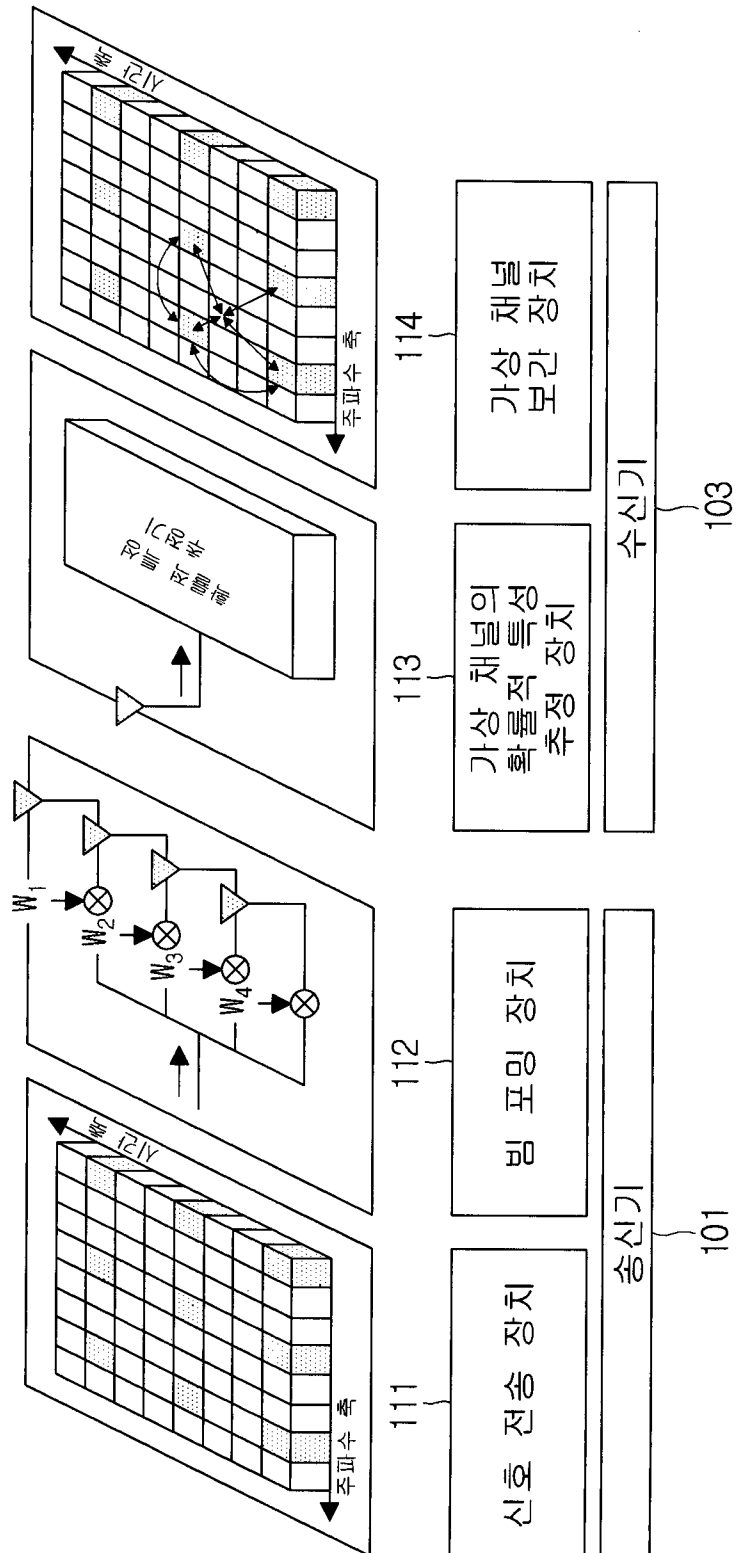
하기 < 수학식 26 > 과 같이 상기 가상 채널의 평균 이득을 보정하는 AMMSE 보간 기법을 사용하는 것을 특징으로 하는 장치.

【수학식 26】

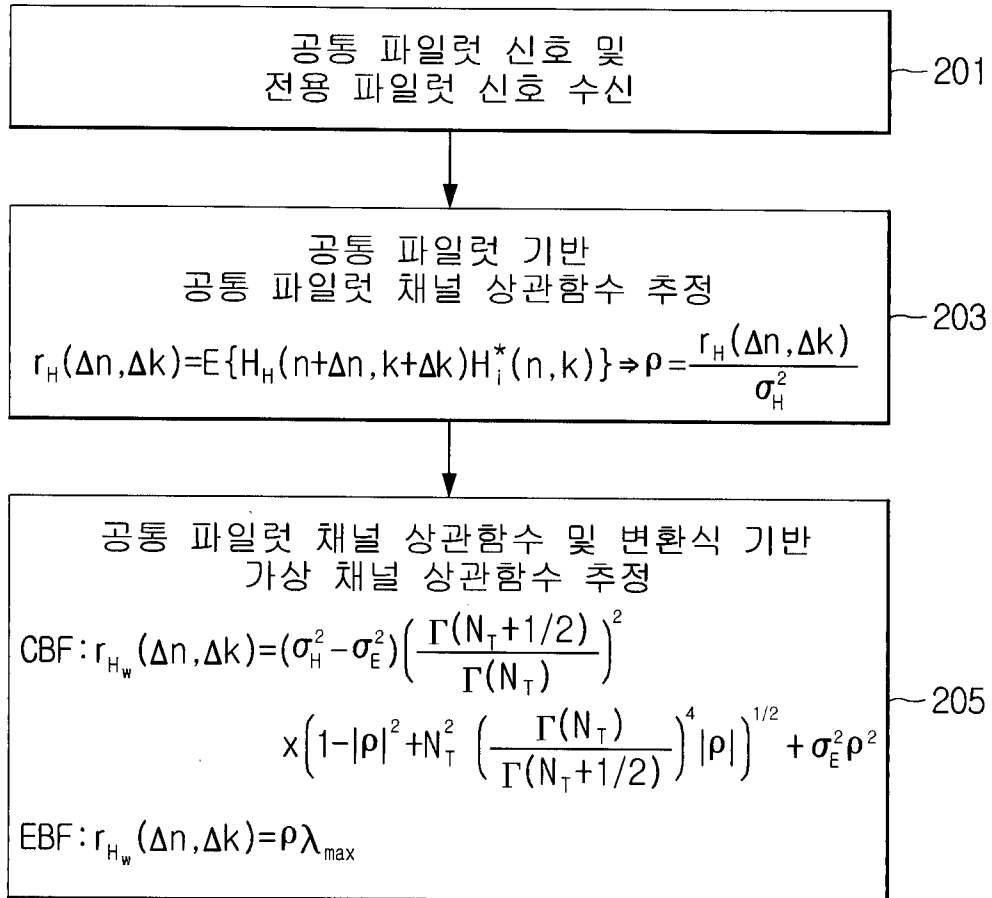
$$\hat{H}_w(n'', k'') = \mathbf{W} \hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt}) + m_{H_w}$$

여기서 $\mathbf{W}$ 는 AMMSE 보간 필터의 탭 계수를 나타내고, $\hat{\mathbf{H}}_{tap}(d_{t,opt}, d_{f,opt})$ 는 상기 수신된 전용 파일럿 신호로부터 추정된 가상 채널 값이며, m_{H_w} 는 상기 가상 채널의 평균 채널 이득을 의미한다.

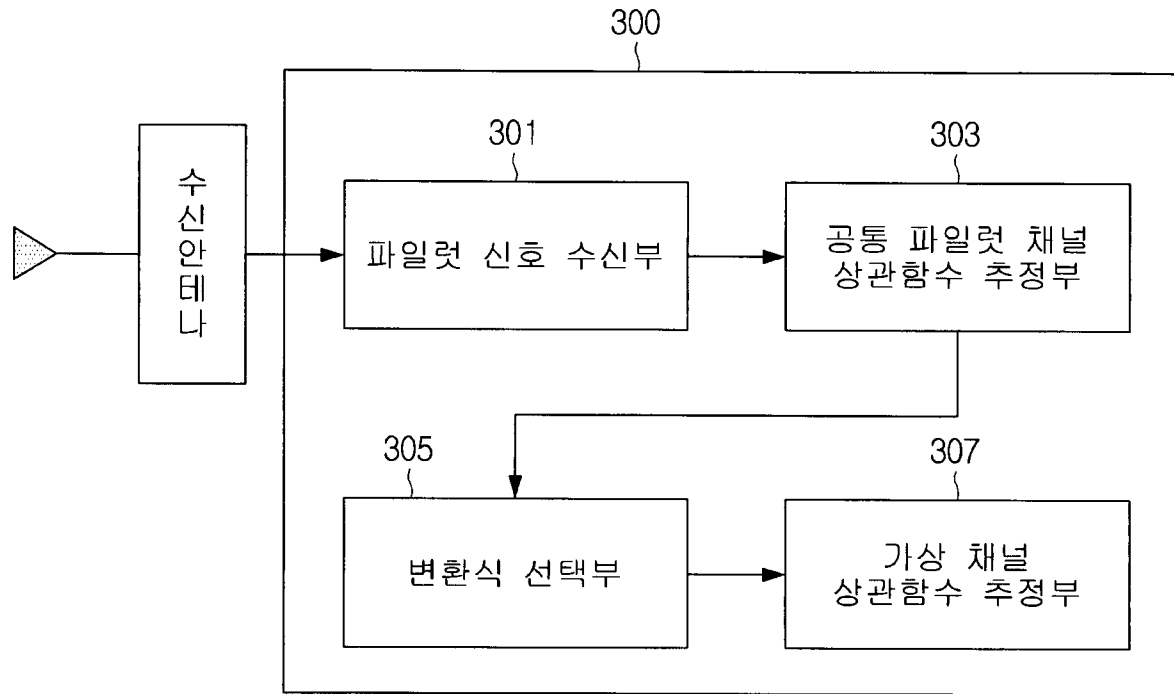
【도 1】



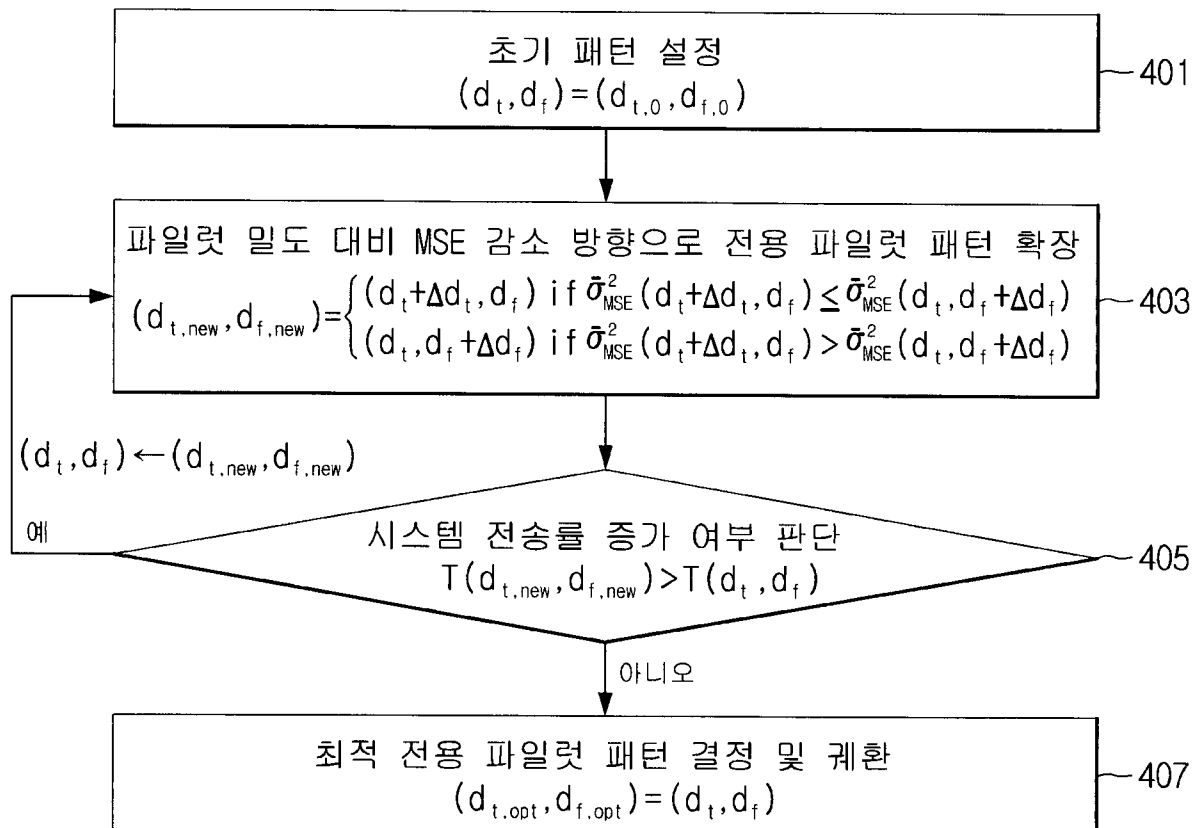
【도 2】



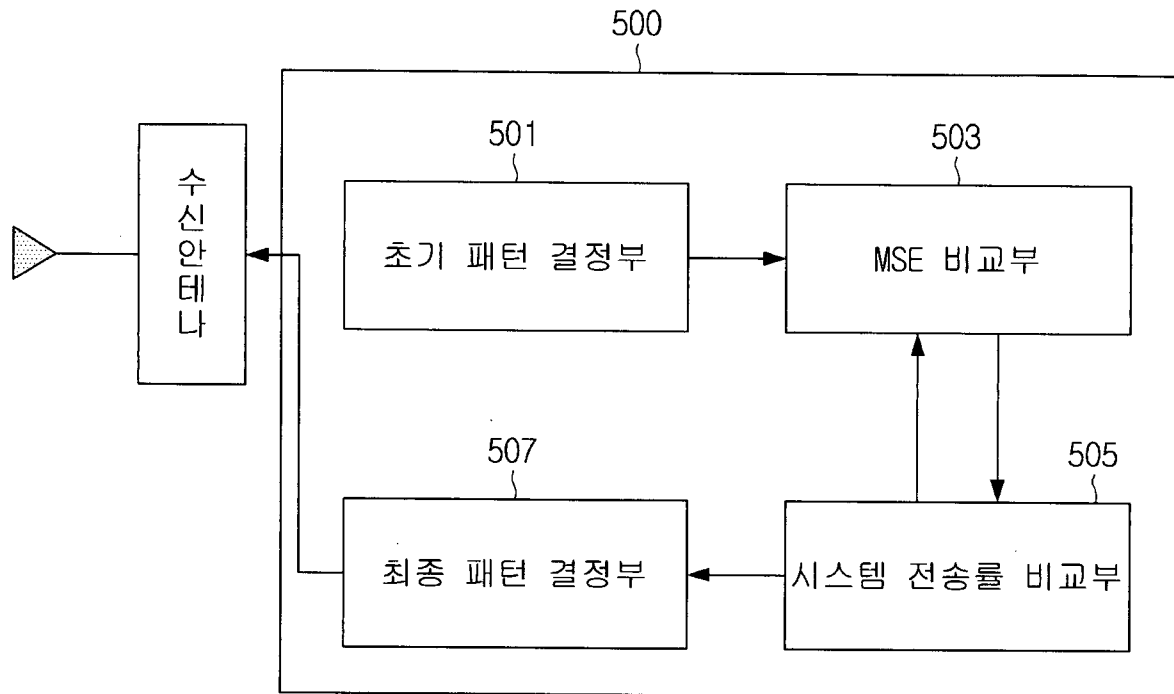
【도 3】



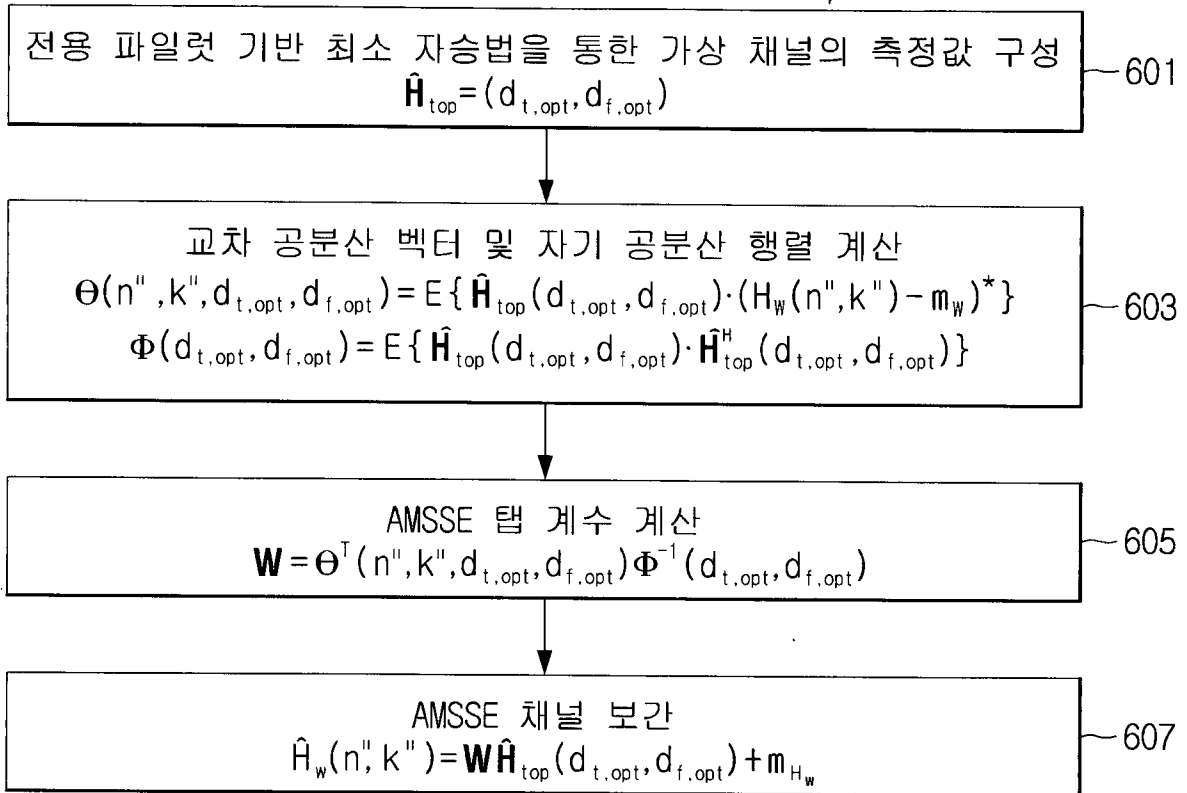
【도 4】



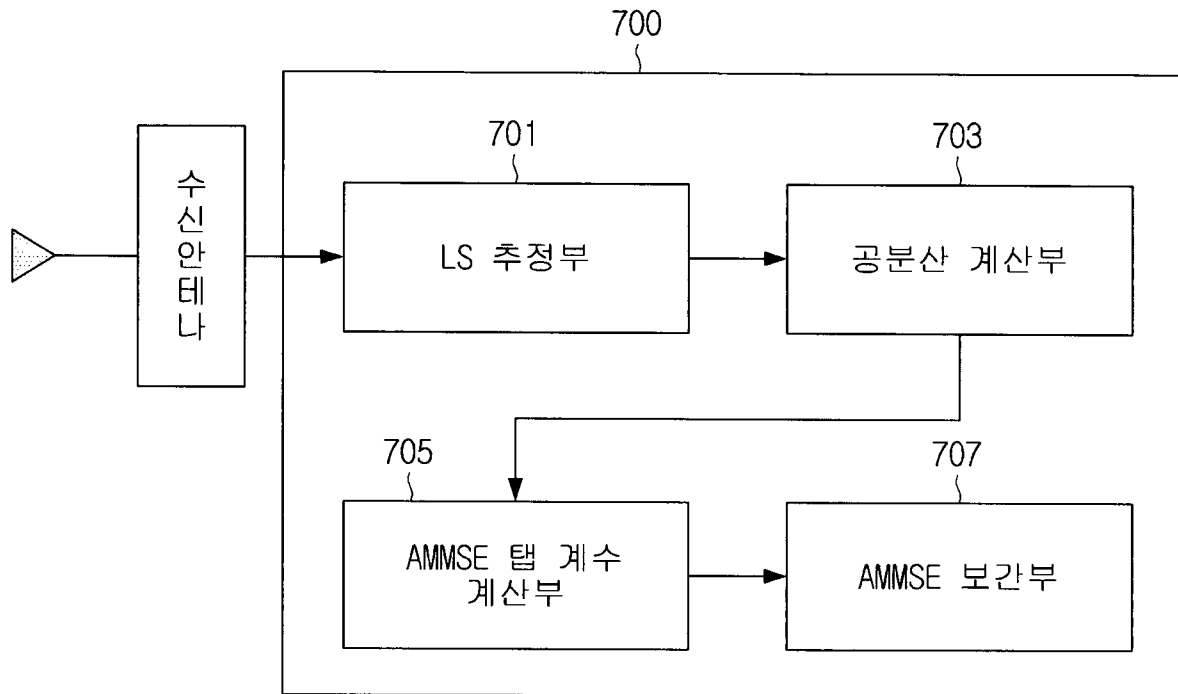
【도 5】



【도 6】



【도 7】



【도 8】

