(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년09월27일
(11) 등록번호 10-1067597
(24) 등록일자 2011년09월19일

(51) Int. Cl.
H04L 12/28 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0027775
(22) 출원일자 2010년03월29일
심사청구일자 2010년03월29일
(56) 선행기술조사문헌
US20070242730 A1*
KR1020100032596 A
WO2009041967 A1
KR1020090096068 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
곽경섭
인천광역시 연수구 송도동 3-40 풍림 602-02
신빈
인천광역시 남구 용현동 253
(74) 대리인
특허법인무한

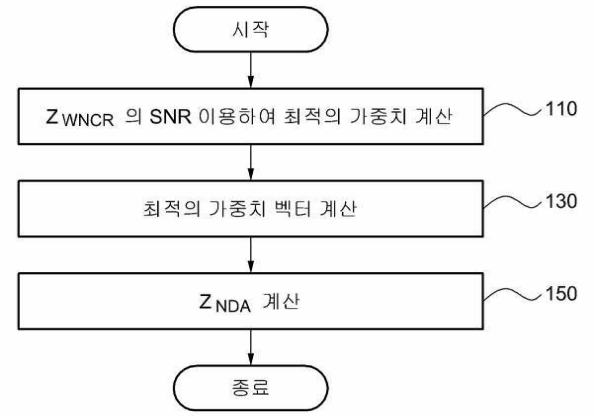
전체 청구항 수 : 총 4 항 심사관 : 정은선

(54) IR-UWB 시스템에서 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법

(57) 요 약

PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법이 개시된다. IR-UWB 시스템에서 Z_{WNCR}의 SNR을 계산하고, 계산된 Z_{WNCR}의 SNR 최대화되도록 SNR을 재계산고, 재계산된 SNR과 자기 상관 매트릭스를 이용하여 최적의 가중치를 계산할 수 있다. 그리고, 최적의 가중치를 이용하여 Z_{NDA}를 계산함으로써 시스템 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NIPA-2010-C1090-1011-0007
부처명 지식경제부 정보통신연구진흥원
연구관리전문기관
연구사업명 대학IT연구센터 육성지원사업
연구과제명 초광대역(UWB) 무선전송 및 시스템 응용기술
기여율
주관기관 인하대학교 산학협력단
연구기간 2010. 01. 01 ~ 2010. 12. 31

특허청구의 범위

청구항 1

PPM(Pulse Position Modulation) 신호의 에너지 샘플 매트릭스를 이용하여 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 계산하는 단계;

상기 PPM 신호의 자기 상관(autocorrelation) 매트릭스, 프레임 주기를 복수 개로 분할한 간격 길이, 및 대역폭을 이용하여 상기 계산된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 최대화하는 단계;

상기 최대화된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 촐스키 분해(Cholesky decomposition)하는 단계;

상기 PPM 신호의 자기 상관(autocorrelation) 매트릭스와 라그랑지 곱셈을 이용하여 상기 촐스키 분해된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 재계산하는 단계;

상기 PPM 신호의 자기 상관(autocorrelation) 매트릭스를 구성하는 고유값 및 유클리디언 놈을 이용하여 가중치를 계산하는 단계; 및

상계 가중치, 상기 PPM 신호의 에너지 샘플 매트릭스, 및 이전 신호의 에너지 샘플 매트릭스를 이용하여 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계

를 포함하고,

상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수 및 상기 가중치 심볼 결정통계변수는 가우시안 분포를 가지는 것을 특징으로 하는 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계는,

상기 가중치와 크루네커의 곱(Kroneker Product)을 이용하여 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 것을 특징으로 하는 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계는,

상기 재계산된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 이용하여 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 것을 특징으로 하는 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 가중치를 계산하는 단계는,

상기 PPM 신호의 자기 상관(autocorrelation) 매트릭스를 구성하는 고유값 및 유클리디언 놈(Euclidean Norm)에 기초하여 가중치 벡터를 계산하고,

상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계는,

상기 가중치 벡터를 이용하여 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 것을 특징으로 하는 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법이 개시된다. 특히, IR-UWB 시스템에서, 최적의 가중치를 제공하는 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법이 개시된다.

배 경 기 술

[0002] WNCR(Weighted Non-Coherent Receivers)은 시스템 구현에 용이하고, 비용 대비 효율이 좋기 때문에, IR-UWB 시스템에서 WNCR의 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 먼저, ED(weighted Energy Detection) 기법은 OOK(On-Off Keying) 변조를 사용하는 IR-UWB 시스템에서 이용된다. 이때, 최적의 가중치들(optimal weights)과 임계값(threshold)은 심볼 결정 시 편향 계수를 최대화함으로써 계산될 수 있다.

[0004] 두 번째로, 종래의 NCR(Non-Coherent Receivers) 기법은 채널 상태 정보(Channel State Information: CSI)와 잡음 전력 밀도를 이미 알고 있는 경우에만 에너지를 검출할 수 있다. 세 번째로, PSA(Pilot-Symbol Aided) 최적 가중치 추정 방법은 트레이닝 심볼을 전송함으로써, 데이터 전송률이 낮은 경우에는 가장 좋은 성능을 가진다. 그러나, PSA 최적 가중치 추정 방법은 채널 상태가 급변하는 경우에는 시스템 오버헤드가 증가하여 성능이 매우 저하된다.

[0005] 이에 따라, 시스템의 오버헤드를 감소시키면서 최적의 가중치를 계산할 수 있는 방안이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 Z_{WNCR}의 SNR을 최대화하여, 잡음을 미리 알지 못하는 경우에도 최적의 가중치를 계산하면서, 시스템의 오버헤드를 감소시킬 수 있는 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 최적 가중치 계산 방법은, 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 계산하는 단계, 상기 계산된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비가 최대화되도록 PPM(Pulse Position Modulation) 신호의 자기 상관(autocorrelation) 매트릭스를 이용하여 상기 계산된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 재계산하는 단계, 및 상기 재계산된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 이용하여 최적의 가중치를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 또한, 상계 계산된 최적의 가중치를 이용하여 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0009] 이때, 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계는, 상계 계산된 최적의 가중치와 크로네커의 곱(Kroneker Product)을 이용하여 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 재계산하는 단계는, 상기 자기상관(autocorrelation) 매트릭스와 라그랑지 곱셈을 이용하여 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 재계산할 수 있다. 그러면, 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계는, 상기 계산된 가중치 심볼 결정통계변수의 신호 대 잡음비를 이용하여 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 재계산하는 단계는, 상기 자기 상관(autocorrelation) 매트릭스의 고유값들 중에서 최대인 고유값을 이용하여 최적의 가중치 벡터를 계산할 수 있다. 그러면, 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산하는 단계는, 상기 계산된 가중치 벡터를 이용하여 상기 비데이터 보조 심볼 결정통계변수를 계산할 수 있다.

발명의 효과

[0012] PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법은, 가중치 심볼 결정통계변수의 SNR을 최대화하여 최적의 가중치를 계산함에 따라, 시스템 오버헤드를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 종래의 WNCR에서의 BER과 거의 유사한 성능을 제공할

수 있다.

[0013] 또한, 잡음을 미리 알지 않더라도, 최적의 가중치를 계산할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 NDA-WNCR을 이용하여 최적 가중치를 계산하는 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

도 2는 IEEE802.15.3a CM1 채널을 이용한 경우의 BER 성능을 도시한 도면이다.

도 3은 IEEE802.15.3a CM2 채널을 이용한 경우의 BER 성능을 도시한 도면이다.

도 4는 IR-UWB 시스템에서 PPM 신호 복조를 위한 NDA-WNCR 아키텍처를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] IR-UWB 시스템에서 수신되는 PPM 신호는 아래의 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0016] $$y(t)=\sum_{i=-\infty}^{\infty} c_i \sum_{j=0}^{N_f-1} \varpi_{mp}(t-iT_s-jT_f-d_iT_\Delta-\tau)+\nu(t)$$

[0017] 여기서 i는 심볼 인덱스, j는 프레임 인덱스, T_f는 프레임 주기, T_s는 심볼 주기이다. 이때, 심볼 각각은 N_f 개의 프레임들에 포함될 수 있다. 그리고, T_Δ는 PPM 타임 쉬프트, τ는 동기화된 송수신기 간의 타이밍 오프셋이다. 그리고, PPM 심볼들 d_i 는 d_i $\in\{0,1\}$ 조건을 만족하고, 시퀀스 c_i 는 c_i $\in\{0,1\}$ 조건을 만족하고, 시퀀스 c_i 는 신호의 스펙트럼을 완만하게 하기 위해 부호가 서로 반대인 임의의 코드를 가질 수 있다.

[0018] 수학식 1에서, $\varpi_{mp}(t)=\sqrt{E_b/N_f}\sum_{l=1}^{L_{mp}}\alpha_l\varpi_l(t-\tau_l)$ 는 다중 경로 펄스이다. 여기서, $\varpi_l(t)$ l번째 탭에서 수신된 UWB 펄스로, 단위 에너지(unit energy)를 가지며, Eb는 심볼 에너지, τ_l은 다중 경로 지연, α_l은 페이딩 계수이고, $\sum_{l=1}^{L_{mp}}\alpha_l^2=1$ 이 될 수 있다.

[0019] 이때, 선처리 필터(pre-filter)의 대역폭 W가 충분히 큰 경우, AWGN(Additive White Gaussian Noise)은 $\nu(t)$에 의해 계산될 수 있다. 여기서, AWGN은 영 평균(zero-mean)을 가지며, 전력 스펙트럼 밀도 $N_0/2$를 가지는 부가적인 백색 가우시안 잡음이다.

[0020] 이하에서는 설명의 편의를 위해 심볼 기호 i를 생략하여 설명하기로 한다.

[0021] WNCR을 설계함에 있어서, 프레임 주기 T_f는 복수 개의 간격들 2K로 분할되고, 복수개의 간격들은 동일한 길이 T_b를 가질 수 있다. 이때, j번째 프레임 내에서 수신된 신호의 에너지 샘플들은 아래의 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

[0022] $$y_{k,j}^{(m)}=\int_{(j-1/(m+1))T_f+(k-1)T_b}^{(j-1/(m+1))T_f+kT_b}|y(t)|^2dt,\ m\in\{0,1\}$$

[0023] 수학식 2에서, $k\in\{1,2,\cdots,K\}$, $j\in\{0,1,\cdots,N_f-1\}$ 이고, 수신된 신호의 에너지 샘플 매트릭스는 차

원을 $K \times N_f$ 가진다. 여기서, 수신된 신호의 에너지 샘플 매트릭스 $Y^{(m)}$은 $\mathbf{Y}^{(m)} = [\mathbf{y}_0^{(m)}, \mathbf{y}_1^{(m)}, \cdots, \mathbf{y}_{N_f-1}^{(m)}]$ 가 될 수 있다.

[0024] 이때, WNCR에서, 현재 심볼의 목표 가중치 벡터 $\boldsymbol{\omega}$가 $\boldsymbol{\omega} = [\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_K]^T$ 인 경우를 가정하면, 가중치 심볼 결정통계변수 Z_{WNCR}은 아래의 수학식 3을 이용하여 계산될 수 있다.

수학식 3

[0025]
$$Z_{\mathrm{WNCR}} = tr(\boldsymbol{\Omega}^T \mathbf{Y}^{(0)}) - tr(\boldsymbol{\Omega}^T \mathbf{Y}^{(1)}) = \sum_{j=0}^{N_f-1} \boldsymbol{\beta}^T (\mathbf{y}_j^{(0)} - \mathbf{y}_j^{(1)}) \gtrless 0 \begin{cases} \nearrow \hat{d} = 0, \\ \searrow \hat{d} = 1, \end{cases}$$

[0026] 수학식 3에서, $\boldsymbol{\Omega} = \boldsymbol{\beta} \otimes \mathbf{1}_{N_f}^T$ 는 크로네커의 곱셈(Kronecker product)을 이용하여 계산될 수 있다. 그리고, $1N_f$는 N_f의 첫 번째 열벡터, $\hat{d}$ 는 복조 심볼이다. 여기서, $\forall k, j, [\boldsymbol{\Omega}]_{kj} = 1$를 만족하는 경우, Z_{WNCR}은 비가중치 심볼 결정통계변수 Z_{CNCR}까지 감소될 수 있다.

[0027] 이때, 중심극한정리(CLT: Central Limit theorem)에 따르면, 시간과 대역폭의 곱이 커질수록 Z_{WNCR}은 가우시안 분포를 가질 수 있으며, 아래의 수학식 4 및 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

[0028]
$$Z_{\mathrm{WNCR}} \sim \begin{cases} \mathcal{N}\left(tr(\boldsymbol{\Omega}^T \boldsymbol{\Theta}), tr(\boldsymbol{\Omega}^T \mathbf{R} \boldsymbol{\Omega})\right), d = 0 \\ \mathcal{N}\left(-tr(\boldsymbol{\Omega}^T \boldsymbol{\Theta}), tr(\boldsymbol{\Omega}^T \mathbf{R} \boldsymbol{\Omega})\right), d = 1 \end{cases}$$

수학식 5

[0029]
$$\begin{cases} \boldsymbol{\Theta} = E[|\tilde{\mathbf{Y}}|] = E[|\mathbf{Y}^{(0)} - \mathbf{Y}^{(1)}|], \\ \mathbf{R} = E[(\tilde{\mathbf{Y}} - \boldsymbol{\Theta})(\tilde{\mathbf{Y}} - \boldsymbol{\Theta})^T], \end{cases}$$

[0030] 수학식 5에 따르면, Θ는 IR-UWB 신호의 에너지 샘플 매트릭스, R은 Z_{WNCR}의 공분산 매트릭스이다.

[0031] 이때, BER 최소화 기법(BER minimization criterion)을 이용하여, 아래의 수학식 6과 같이, 최적 가중치 $\boldsymbol{\Omega}_{\mathrm{WNCR}}^{(\mathrm{opt})}$를 계산할 수 있다.

수학식 6

[0032]
$$\boldsymbol{\Omega}_{\mathrm{WNCR}}^{(\mathrm{opt})} = \mathbf{R}^{-1} \boldsymbol{\Theta}$$

[0033] 수학식 6에서, Θ는 수학식 5를 이용하여 계산된 IR-UWB 신호의 에너지 샘플 매트릭스, R은 수학식 5를 이용하여 계산된 Z_{WNCR}의 분산 매트릭스이다.

[0034] 그러면, WNCR의 BER 성능은 아래의 수학식 7을 이용하여 계산될 수 있다.

수학식 7

[0035] $$P_{\mathrm{Err},1} = Q\left(\frac{tr\left((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{WNCR}}^{(\mathrm{opt})})^T\mathbf{\Theta}\right)}{\sqrt{tr\left((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{WNCR}}^{(\mathrm{opt})})^T\mathbf{R}\mathbf{\Omega}_{\mathrm{WNCR}}^{(\mathrm{opt})}\right)}}\right)$$

[0036] 수학식 7에서, $Q(x) = \int_x^{+\infty}\exp(-t^2/2)dt/\sqrt{2\pi}$ 이다.

[0037] 도 1은 NDA-WNCR을 이용하여 최적 가중치를 계산하는 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다. 이하에서, $Y^{(m)}$은 IR-UWB 시스템에서 PPM 신호를 포함하는 것을 가정한다.

[0038] 먼저, NDA-WNCR을 이용하는 경우, Z_{WNCR}의 SNR을 이용하여 최적의 가중치는 계산될 수 있다(110).

[0039] 일례로, Z_{WNCR}의 SNR을 최대화함에 따라 최적의 가중치 $\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})}$가 계산될 수 있다.

[0040] 보다 상세하게는, Z_{WNCR}의 SNR(Signal to Noise Ratio)은 아래의 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

[0041] $$\gamma(\mathbf{\Omega}) = \sqrt{\frac{T_bW}{2}}\frac{tr(\mathbf{\Omega}^T\mathbf{\Theta})}{\sqrt{tr(\mathbf{\Omega}^T\mathbf{\Sigma}_0\mathbf{\Omega})}}$$

[0042] 여기서, $\mathbf{\Sigma}_0 = N_0^2T_bW\mathbf{I}_K$이고, $\mathbf{I}_K$는 $K\times K$의 차원을 갖는 고유 매트릭스이다.

[0043] 수학식 8에서 Z_{WNCR}의 SNR $\gamma(\mathbf{\Omega})$을 최대화하면, Z_{WNCR}의 SNR은 아래의 수학식 9와 같이 다시 표현될 수 있다.

수학식 9

[0044] $$\Gamma(\mathbf{\Omega}) = \gamma^2(\mathbf{\Omega})$$

[0045] $$\Gamma(\mathbf{\Omega}) \triangleq \alpha_1\frac{tr(\mathbf{\Omega}^T\mathbf{R}_\theta\mathbf{\Omega})}{tr(\mathbf{\Omega}^T\mathbf{\Sigma}_0\mathbf{\Omega})},\quad \alpha_1 = \frac{T_bW}{2}$$

[0046] 여기서, $\mathbf{R}_\theta$는 자기 상관 매트릭스의 평균으로, $\mathbf{R}_\theta = E[(\mathbf{Y}^{(0)}-\mathbf{Y}^{(1)})(\mathbf{Y}^{(0)}-\mathbf{Y}^{(1)})^T]$가 될 수 있다.

[0047] 그러면, 최적의 가중치 $\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})}$는 아래의 수학식 10을 이용하여 계산될 수 있다.

수학식 10

[0048]
$$\begin{aligned}\boldsymbol{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})} &= \underset{tr(\boldsymbol{\Omega}^T\boldsymbol{\Omega})=N_f}{\operatorname{argmax}} \alpha_1 \frac{tr(\boldsymbol{\Omega}^T\mathbf{R}_\theta\boldsymbol{\Omega})}{tr(\boldsymbol{\Omega}^T\boldsymbol{\Sigma}_0\boldsymbol{\Omega})} \\ &= \underset{\boldsymbol{\beta}^T\boldsymbol{\beta}=1,\ \boldsymbol{\Omega}=\boldsymbol{\beta}\otimes\mathbf{1}_{N_f}^T}{\operatorname{argmax}} \alpha_1 N_f \frac{\boldsymbol{\beta}^T\breve{\mathbf{R}}_\theta\boldsymbol{\beta}}{\boldsymbol{\beta}^T\boldsymbol{\beta}} \\ &= \underset{\boldsymbol{\beta}^T\boldsymbol{\beta}=1,\ \boldsymbol{\Omega}=\boldsymbol{\beta}\otimes\mathbf{1}_{N_f}^T}{\operatorname{argmax}} \alpha_1\alpha_2 N_f \frac{\boldsymbol{\beta}^T\mathbf{R}_\theta\boldsymbol{\beta}}{\boldsymbol{\beta}^T\boldsymbol{\beta}}\end{aligned}$$

[0049] 수학식 10에서, $\breve{\mathbf{R}}_\theta=\mathbf{C}^{-1}\mathbf{R}_\theta\mathbf{C}^{-T}=\boldsymbol{\Sigma}_0^{-1}\mathbf{R}_\theta=(N_0^2T_bW)^{-1}\mathbf{R}_\theta=\alpha_2\mathbf{R}_\theta$, $\boldsymbol{\beta}=\mathbf{C}^T\boldsymbol{\omega}\mathbf{C}$는 $\boldsymbol{\Sigma}_0$의 촐스키 분해(Cholesky decomposition)를 적용한 결과이다. 일례로, $\boldsymbol{\Sigma}_0=\mathbf{C}\mathbf{C}^T$가 될 수 있다. 이때, $\boldsymbol{\Omega}'=c\boldsymbol{\Omega},\ \forall c\neq 0$인 경우, $\Gamma(\boldsymbol{\Omega})=\Gamma(\boldsymbol{\Omega}')$가 되므로, $tr(\boldsymbol{\Omega}^T\boldsymbol{\Omega})=N_f$ 가 될 수 있다.

[0050] 스칼라 라그랑지 곱셈(Scalar Lagrange Multiply)을 이용하는 경우, 수학식 9의 Z_{WNCR}의 SNR은 아래의 수학식 11과 같이 표현될 수 있다.

수학식 11

[0051]
$$\Gamma(\boldsymbol{\beta})=\boldsymbol{\beta}^T\mathbf{R}_\theta\boldsymbol{\beta}+\lambda_{\mathrm{Lag}}(\boldsymbol{\beta}^T\boldsymbol{\beta}-1)$$

[0052] 수학식 11에서 β 는 라그랑지 승수(Lagrange multiplier), $\lambda_{\mathrm{Lag}}\in\mathcal{R}$ 이고, $\partial\Gamma(\boldsymbol{\beta})/\partial\boldsymbol{\beta}=0$ 이다.

[0053] 이때, PPM 신호의 자기 상관 매트릭스의 평균 $\mathbf{R}_\theta$의 고유값들 중에서 최대인 고유값을 이용하여 최적의 가중치 벡터 $\boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}}$는 계산될 수 있다(130). 일례로, 최적의 가중치 벡터는 아래의 수학식 12를 이용하여 계산될 수 있다.

수학식 12

[0054]
$$\boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}}=eig_{\max}(\mathbf{R}_\theta)/||eig_{\max}(\mathbf{R}_\theta)||_2$$

[0055] 수학식 12에서, $||.||_2$는 유클리디언 놈(Euclidean Norm) 이다.

[0056] 그리고, 계산된 최적의 가중치 벡터 $\boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}}$를 이용하여 비데이터 보조 심볼 결정통계변수 Z_{NDA}는 계산될 수 있다(150).

[0057] 일례로, Z_{NDA}는 아래의 수학식 13을 이용하여 계산될 수 있다.

수학식 13

[0058]
$$Z_{\mathrm{NDA}} = tr((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{Y}^{(0)}) - tr((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{Y}^{(1)}) = \sum_{j=0}^{N_f-1} \boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}} (\mathbf{Y}^{(0)} - \mathbf{Y}^{(1)}) \gtrless 0 \begin{matrix} \nearrow \hat{d}=0, \\ \searrow \hat{d}=1, \end{matrix}$$

[0059] 여기서, $\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})} = \boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}} \otimes \mathbf{1}_{N_f}^T$ 이다. 즉, $\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})}$ 는 크루네커의 곱셈을 이용하여 계산될 수 있다. 그러면, 도 4와 같이, 계산된 Z_{NDA}와 기설정된 임계값(Threshold)을 이용하여 복조된 심볼 $\hat{d}_i$이 출력될 수 있다.

[0060] 이때, Z_{WNCR}과 마찬가지로 Z_{NDA}는 아래의 수학식 14와 같이 가우시안 분포를 가질 수 있다.

수학식 14

[0061]
$$Z_{\mathrm{NDA}} \sim \begin{cases} \mathcal{N}\left(tr((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{\Theta}), tr((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{R} \mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})}\right), & d=0 \\ \mathcal{N}\left(-tr((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{\Theta}), tr((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{R} \mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})}\right), & d=1 \end{cases}$$

[0062] 그러면, NDA-WNCR을 이용하는 경우, BER은 아래의 수학식 15를 이용하여 계산될 수 있다.

수학식 15

[0063]
$$P_{\mathrm{Err},2} = Q\left(\frac{tr\left((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{\Theta}\right)}{\sqrt{tr\left((\mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})})^T \mathbf{R} \mathbf{\Omega}_{\mathrm{NDA}}^{(\mathrm{opt})}\right)}}\right)$$

[0064] 한편, 최근에 수신된 심볼들에 기초하여 실제 시스템에서의 $\mathbf{R}_\theta$는 추정될 수 있다. 일례로, $\mathbf{R}_\theta$는 아래의 수학식 16을 이용하여 추정될 수 있다. 이때, 추정된 $\mathbf{R}_\theta$는 $\hat{\mathbf{R}}_\theta^{(i)}$로 표현할 수 있다.

수학식 16

[0065]
$$\hat{\mathbf{R}}_\theta^{(i)} = \frac{1}{N_f L} \sum_{i'=i-L+1}^{i} \sum_{j=0}^{N_f-1} (\mathbf{y}_{i',j}^{(0)} - \mathbf{y}_{i',j}^{(1)})(\mathbf{y}_{i',j}^{(0)} - \mathbf{y}_{i',j}^{(1)})^T \approx \eta \hat{\mathbf{R}}_\theta^{(i-1)} + \sum_{j=0}^{N_f-1} \frac{(\mathbf{y}_{i,j}^{(0)} - \mathbf{y}_{i,j}^{(1)})(\mathbf{y}_{i,j}^{(0)} - \mathbf{y}_{i,j}^{(1)})^T}{N_f},$$

[0066] 수학식 16에서, i는 현재 심볼의 인덱스, $\mathbf{y}_{i',j}^{(m)}$는 i'번째 심볼에 포함된 j번째 프레임에서의 에너지 샘플 벡터, L은 가장 최근에 수신된 심볼들의 개수, $\eta = N_f(L-1)/N_f L$ 이다.

[0067] 이때, 추정된 $\hat{\mathbf{R}}_\theta^{(i)}$와 특이값 분해(SVD)를 이용하여 최적이 가중치 벡터 $\boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}}$는 계산될 수 있다. 계산된 $\boldsymbol{\beta}_{\mathrm{opt}}$는

$\mathcal{O}(K^3)$에 비례할 수 있다. 이때, 복조 동작을 시작하기 이전에 최소 L개의 심볼들이 필요하며, L개의 심볼들은 시스템 동기화 동작을 통해 획득될 수 있다.

[0068] 도 2는 IEEE802.15.3a CM1 채널을 이용한 경우의 BER 성능을 도시한 도면이다.

[0069] 그리고, 도 3은 IEEE802.15.3a CM2 채널을 이용한 경우의 BER 성능을 도시한 도면이다.

[0070] 도 2 및 도 3은 펄스 폭이 1ns, 주기 T_f는 5ns, 대역폭 W는 5GHz, 분할 간격 T_b는 5ns, 프레임 N_f는 1, K는 12로 고정된 경우에 CNCR, WNCR, 및 NDA-WNCR의 BER 시뮬레이션 결과이다.

[0071] 도 2 및 도 3에 따르면, 채널 상태 정보를 이미 알고 있는 경우, NDA-WNCR의 BER 성능은 참조 심볼들의 개수가 증가할수록 WNCR의 BER에 거의 근접함을 알 수 있다. 이때, 참조 심볼들로는 최근에 수신된 심볼들이 이용될 수 있다.

[0072] 또한, NDA-WNCR의 BER 성능은 SNR의 증가할수록 WNCR의 BER에 거의 근접함을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해, 시스템의 오버헤드 없이 최적의 가중치 벡터가 계산되고, NDA-WNCR과 WNCR의 BER 성능이 거의 동일함을 확인할 수 있다.

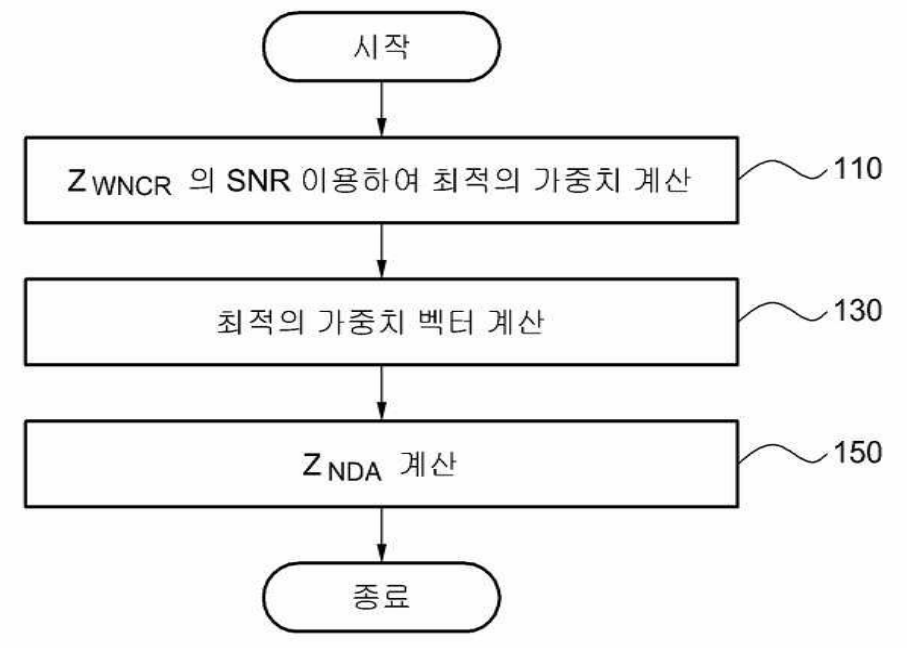
[0073] 또한, 본 발명의 실시예들에 따른 PPM 신호의 최적 가중치 계산 방법은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0074] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

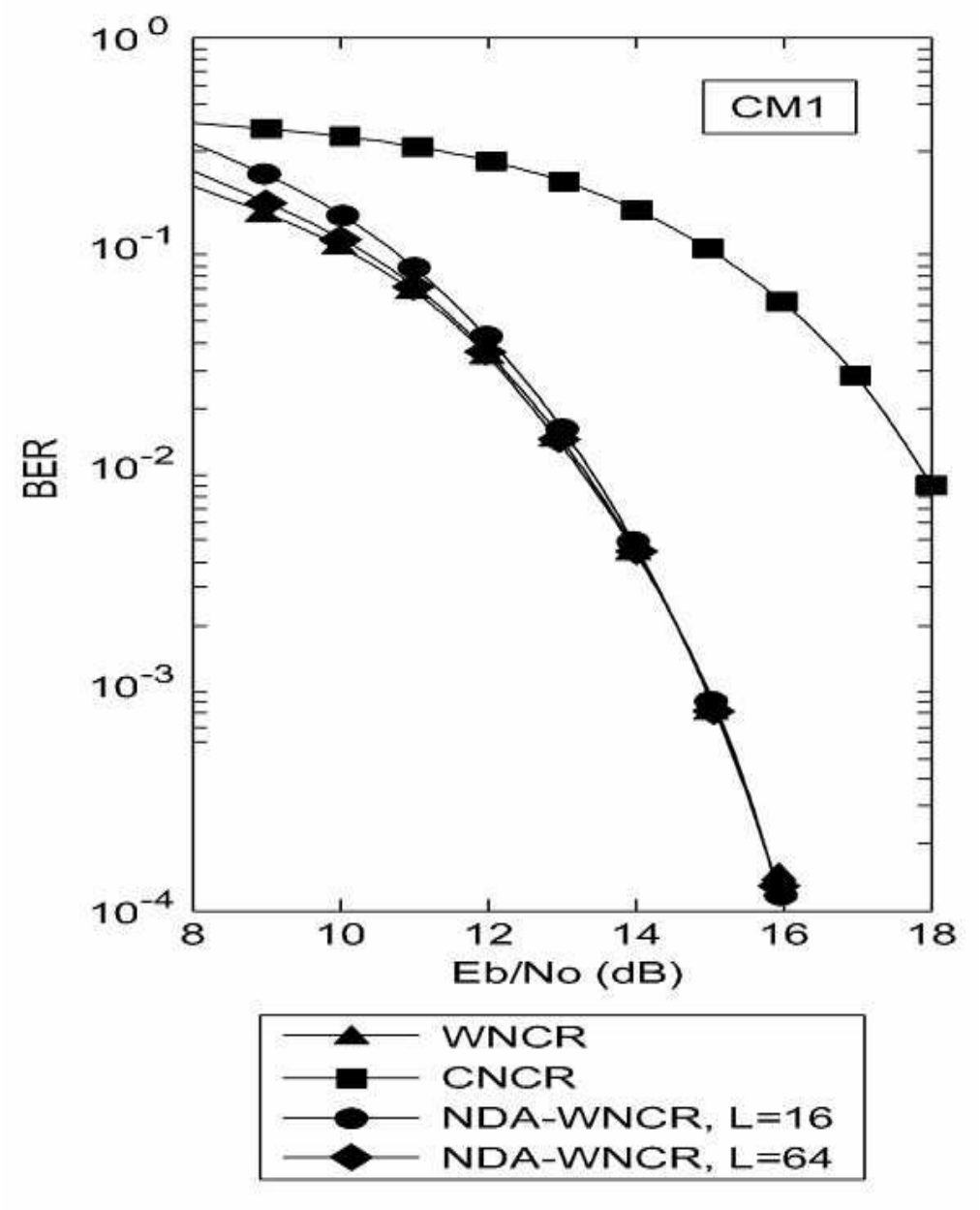
[0075] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

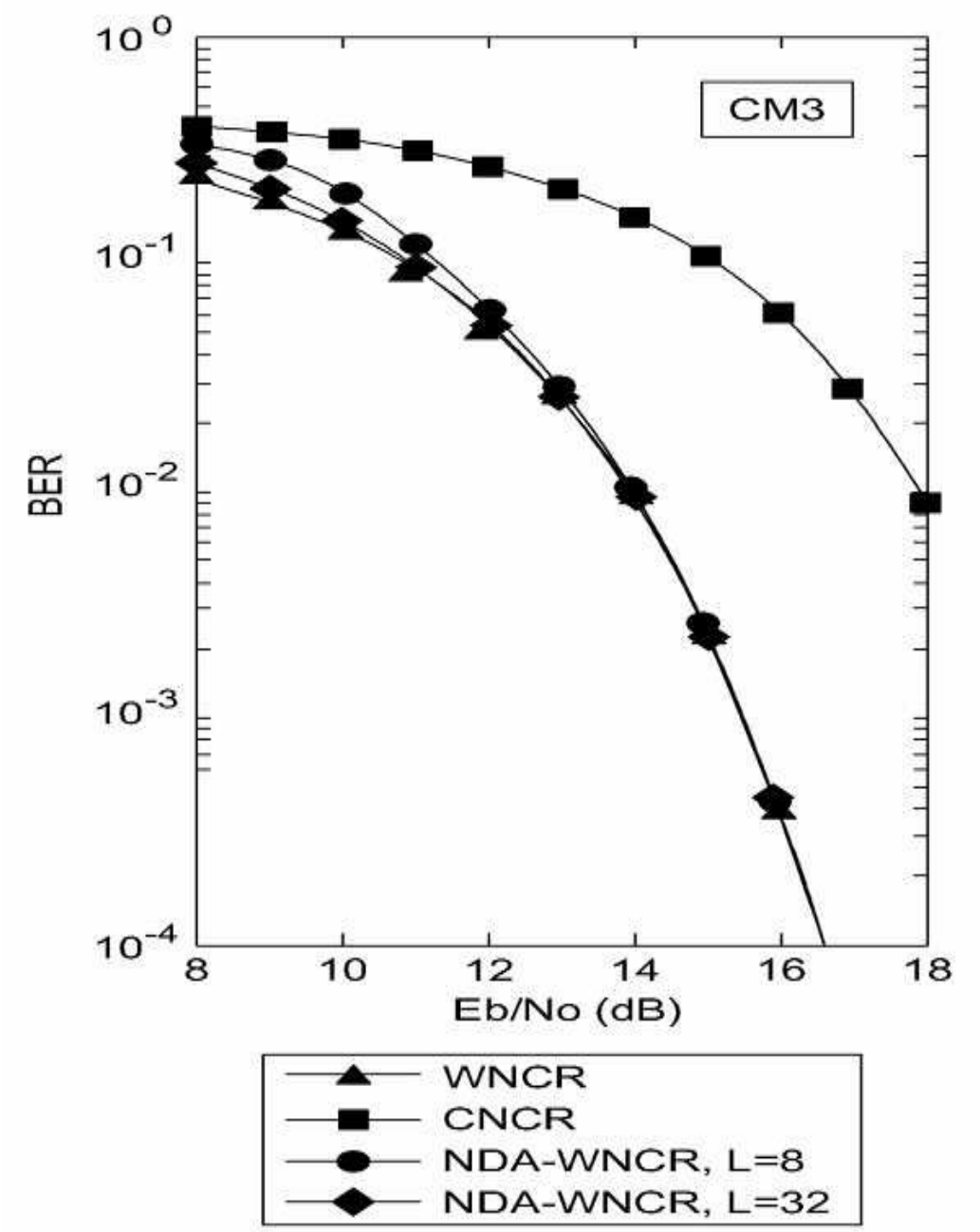
도면1


시작
Z_{WNCR} 의 SNR 이용하여 최적의 가중치 계산
110
최적의 가중치 벡터 계산
130
Z_{NDA} 계산
150
종료

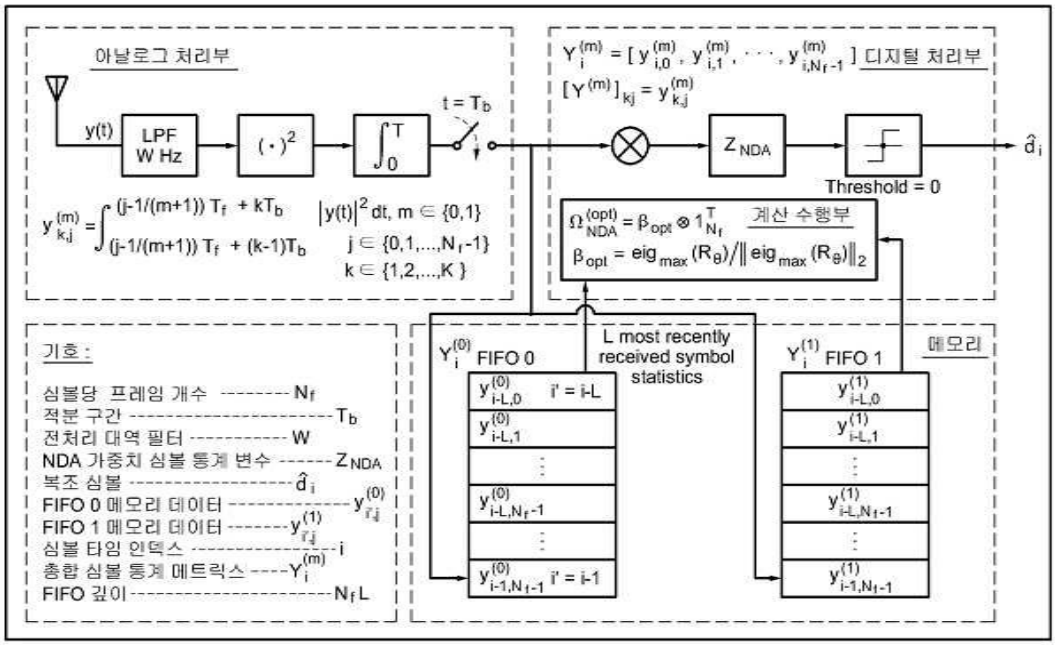
도면2



도면3



도면4


아날로그 처리부
y(t)
LPF
W Hz
$(\cdot)^2$
$\int_0^T$
t = T_b
$y_{k,j}^{(m)} = \int_{(j-1/(m+1))\,T_f + (k-1)T_b}^{(j-1/(m+1))\,T_f + kT_b} |y(t)|^2 dt$, m ∈ {0,1}
j ∈ {0,1,...,N_f-1}
k ∈ {1,2,...,K }
$Y_i^{(m)} = [\, y_{i,0}^{(m)}, y_{i,1}^{(m)}, \cdots, y_{i,N_f-1}^{(m)} \,]$ 디지털 처리부
$[Y^{(m)}]_{kj} = y_{k,j}^{(m)}$
Z_{NDA}
Threshold = 0
$\hat{d}_i$
$\Omega_{NDA}^{(opt)} = \beta_{opt} \otimes 1_{N_f}^T$
$\beta_{opt} = eig_{max}(R_\theta) / \| eig_{max}(R_\theta) \|_2$
계산 수행부
기호 :
심볼당 프레임 개수 ---------- N_f
적분 구간 ---------- T_b
전처리 대역 필터 ---------- W
NDA 가중치 심볼 통계 변수 ---------- Z_{NDA}
복조 심볼 ---------- $\hat{d}_i$
FIFO 0 메모리 데이터 ---------- $y_{i,j}^{(0)}$
FIFO 1 메모리 데이터 ---------- $y_{i,j}^{(1)}$
심볼 타임 인덱스 ---------- i
총합 심볼 통계 메트릭스 ---- $Y_i^{(m)}$
FIFO 깊이 ---------- $N_f L$
$Y_i^{(0)}$ FIFO 0
L most recently received symbol statistics
$Y_i^{(1)}$ FIFO 1
메모리
$y_{i-L,0}^{(0)}$ i' = i-L
$y_{i-L,1}^{(0)}$
$y_{i-L,N_f-1}^{(0)}$
$y_{i-1,N_f-1}^{(0)}$ i' = i-1
$y_{i-L,0}^{(1)}$
$y_{i-L,1}^{(1)}$
$y_{i-L,N_f-1}^{(1)}$
$y_{i-1,N_f-1}^{(1)}$