

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H04B 7/005 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년10월30일 10-0640432 2006년10월24일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자	10-2002-0061478 2002년10월09일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	10-2004-0032370 2004년04월17일
------------------------	--------------------------------	------------------------	--------------------------------

(73) 특허권자	삼성전자주식회사 경기도 수원시 영통구 매탄동 416
(72) 발명자	박성진 경기도수원시팔달구영통동1000-18번지202호
(74) 대리인	이건주

심사관 : 장진환

(54) 통신신호의 위상오차를 최소화하는 위상복조방법

요약

본 발명은 통신신호의 위상오차를 최소화하는 위상복조방법에 관한 것으로, 특히 $F_k(x) = \sum_{k=0}^{K-1} g_k x^k$ 로 표기되는 임의의 디지털 위상 복조 알고리즘을 이용한 소정 횟수의 샘플링을 통하여 위상 변조된 통신신호를 복조하는 위상복조방법에 있어서, 상기 디지털 위상 복조 알고리즘에 위상오차 최소화를 위한 한 번의 샘플링을 추가하여 위상변조된 통신신호를 복조하는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 의하면, 최소한의 샘플링과 최소한의 계산으로 위상 변조된 통신신호의 복조 과정에서 잡음이 위상 공간으로 전파됨으로 인해 발생하는 위상오차를 최소화할 수 있다.

대표도

도 4a

색인어

위상복조, 위상오차, 잡음, 샘플링

명세서

도면의 간단한 설명

도 1a는 종래의 3-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 컨스텔레이션을 나타내는 도면,

도 1b는 종래의 3-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 위상 오차 분포를 나타내는 도면,

도 2a는 종래의 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 컨스텔레이션을 나타내는 도면,

도 2b는 종래의 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 위상 오차 분포를 나타내는 도면,

도 3은 신호에 더해진 잡음이 위상 평면으로 전파되었을 때 위상의 크기 및 위상 편차를 나타내는 도면,

도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 컨스텔레이션을 나타내는 도면.

도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 위상 오차 분포를 나타내는 도면.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 위상 변조된 통신신호를 복조하는 위상복조방법에 관한 것으로, 특히 잡음으로 인한 위상오차를 최소화하는 위상복조방법에 관한 것이다.

일반적으로, 통신에서 위상 변복조를 사용하는 경우 정해진 주파수의 사인파(sinusoidal wave)의 위상을 정해진 위상 간격으로 변화시키며 발신하다. 전송 단계에서는 반송파(carrier wave)에 통신신호가 실리고 다른 신호와 간섭을 일으키기도 하며 잡음이 더해지기도 하는 등 발신된 사인파의 파형을 왜곡시킬 수 있는 여러 가지 현상이 일어난다. 이렇게 하여 수신단에 도착한 신호는 다시 주파수가 원래대로 하향 조정되고 신호의 대역에 맞게 필터링 되어 원래의 신호로 복조 된다. 흔히 변복조 과정의 물리적 특성을 기술할 때는 이러한 과정들을 단순화하여 단지 원래의 신호에 독립적인 가우시안 잡음(Gaussian Noise)이 더해지는 것으로 근사한다. 일단 잡음을 고려하지 않으면 수신된 파형은 하기 수학식 1과 같이 일반적인 형태로 표현할 수 있다.

$$\text{수학식 1} \\ w(\varphi) = \sum_m \alpha_m e^{im(\varphi+\varphi_0)}$$

디지털 위상 복조를 할 경우 복조된 신호는 니퀴스트(Nyquist) 정리에 따라서 신호 주파수의 최소 2배 이상의 주파수로 샘플링된다. 샘플링 간격을 δ 의 위상 간격으로 표현하면 k 번째 샘플링 된 값은 하기 수학식 2와 같다.

$$\text{수학식 2} \\ w_k = \sum_m \alpha_m e^{im\varphi_0} e^{imk\delta}$$

상기와 같이 샘플링 된 신호로부터 I 와 Q 라 불리는 값을 복조해 내는 것이 위상 복조의 과정이다. 이 과정은 하기 수학식 3과 같이 일반적으로 표현할 수 있다.

수학식 3

$$S = \sum_{k=0}^{K-1} c_k w_k$$

$$c_k \equiv a_k + ib_k$$

$$\therefore S = \sum_{k=0}^{K-1} (a_k + ib_k) w_k$$

$$I = \text{real}\{S\}$$

$$Q = \text{imag}\{S\}$$

위상 복조 알고리즘의 특성은 복합 위상(complex phasor) S 에 쓰인 계수 즉, c_k 에 의해 결정된다.

도 1a는 종래의 3-샘플(3-point) 알고리즘을 적용한 경우의 컨스텔레이션(constellation)을 나타내는 도면이고, 도 1b는 종래의 3-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 위상 오차 분포를 나타내는 도면이다. 도 2a는 종래의 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 컨스텔레이션을 나타내는 도면이고, 도 2b는 종래의 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우의 위상 오차 분포를 나타내는 도면이다.

도 1a와 도 2a를 참조하면, 0°축과 90°축을 기준으로 보았을 때, 3-샘플(point) 알고리즘을 적용한 도 1a의 경우, α, β 가 거의 90°에 가까울 정도로 오차가 크며 그 분포가 광범위함을 알 수 있다. 4-샘플(point) 알고리즘을 적용한 도 2a의 경우 γ, δ 가 상기 α, β 에 비해 크게 감소한다.

또한, 도 1b와 도 2b에 도시된 바와 같이, 4-샘플 알고리즘을 적용한 경우가 3-샘플 알고리즘을 적용한 경우에 비해 오차 분포가 크게 감소함을 알 수 있다.

이와 같이 디지털 위상복조의 경우 샘플링 수가 많을수록 정확한 위상을 구할 수 있고 잡음에 강함을 알 수 있다.

그러나, 심볼 레이트(symbol rate)가 아주 큰 경우 샘플링 수를 무제한으로 늘일 수는 없다. 또한 위상 계산을 위한 계산용 프로세서에 부담이 갈 수도 있다.

따라서, 최소한의 샘플링과 최소한의 계산으로 정확한 위상을 구해내는 최적화된 알고리즘이 요구된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명의 목적은 위상 변조된 통신신호의 복조 과정에서 잡음이 위상 공간으로 전파됨으로 인해 발생하는 위상오차를 최소화하는 위상복조방법을 제공하는데 있다.

본 발명의 다른 목적은 최소한의 샘플링과 최소한의 계산으로 정확한 위상을 구하는 통신신호의 위상오차를 최소화하는 위상복조방법을 제공하는데 있다.

본 발명의 또 다른 목적은 여타의 위상복조 알고리즘에도 쉽게 적용되어 신호 처리만을 변경함으로써 위상복조과정을 개선할 수 있는 위상복조방법을 제공하는데 있다.

$$F_k(x) = \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k$$

상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은 $F_k(x) = \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k$ 로 표기되는 임의의 디지털 위상 복조 알고리즘을 이용한 소정 횟수의 샘플링을 통하여 위상 변조된 통신신호를 복조하는 위상복조방법에 있어서, 상기 디지털 위상 복조 알고리즘에 위상 오차 최소화를 위한 한 번의 샘플링을 추가하여 위상변조된 통신신호를 복조하며, 상기 k 는 샘플링 횟수이고, 상기 c_k 는 복소수 개념의 상수를 의미하는 것을 특징으로 한다.

바람직하게는, 상기 디지털 위상 복조 알고리즘에 위상오차 최소화를 위한 한 번의 샘플링을 추가하는 과정은

$$\begin{aligned}
 F'_{K+1}(x) &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k (\lambda - x) \\
 &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k \lambda x^k - \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^{k+1} \\
 &= c_0 \lambda + \sum_{k=1}^{K-1} c_k \lambda x^k - \sum_{k=1}^{K-1} c_{k-1} x^k - c_{K-1} x^K \\
 &= c_0 \lambda - c_{K-1} x^K + \sum_{k=1}^{K-1} (c_k \lambda - c_{k-1}) x^k \\
 &\equiv \sum_{k=0}^K d_k x^k
 \end{aligned}$$

에 의하여 이루어지며, 상기 k는 샘플링 횟수이고, 상기 c_k 와 d_k 는 복소수 개념의 상수이고, 상기 $\lambda - x$ 는 추가된 한번의 샘플링을 의미하는 것을 특징으로 한다.

더욱 바람직하게는, 상기 위상오차 최소화는

$$\begin{aligned}
 \gamma^2 &= \left| \sum_{k=0}^K d_k^2 \right| \\
 &= c_0^2 \lambda^2 + c_{K-1}^2 + \sum_{k=1}^{K-1} (c_k^2 \lambda^2 + c_{k-1}^2 - 2c_{k-1} c_k \lambda) \\
 &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 \lambda^2 - 2 \sum_{k=1}^{K-1} c_{k-1} c_k \lambda + \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 = 0
 \end{aligned}$$

에 의하여 이루어지며, 상기 k는 샘플링 횟수이고, 상기 c_k 와 d_k 는 복소수 개념의 상수이고, 상기 $\lambda - x$ 는 추가된 한 번의 샘플링을 의미하는 것을 특징으로 한다.

발명의 구성 및 작용

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도 3 및 도 4a와 도 4b를 참조하여 상세히 설명한다. 도면에서 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 참조번호 및 부호로 나타내고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

본 발명은 상술한 수학적 식 3에서 c_k 를 정하는 과정에서 물리적인 잡음이 신호의 위상 공간 (I, Q 공간)으로 전파될 때 위상의 오차를 최소화하는 방법을 제안하고자 한다. 통신에서 신호 파형에 평균값이 0이고 표준 편차가 σ 인 가우시안 노이즈 (Gaussian noise)가 더해졌다면 하기 수학적 식 4와 같이 샘플링된 신호에 영향을 미친다.

를 만족시키는 λ 값에 의해 결정되며, 상기 k는 샘플링 횟수이고, 상기 c_k 와 d_k 는 복소수 개념의 상수이고, 상기 γ 는 위상 오차를 의미함을 특징으로 한다.

또한 복합 위상(complex phasor) δ 로 하기 수학적 식 5와 같이 전파된다.

수학적 식 5

$$\begin{aligned}
 S' &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k w_k \\
 &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k w_k + \sum_{k=0}^{K-1} c_k \Delta w_k \\
 &= S + \Delta S
 \end{aligned}$$

위상 공간에서 복합 위상(complex phasor) S 의 오차는 다시 크기 오차($\langle |\Delta S|^2 \rangle$)와 각도 오차($\langle |\Delta \phi|^2 \rangle$)로 표현된다.

도 3은 신호에 더해진 잡음이 위상 평면으로 전파되었을 때 위상의 크기 및 위상 편차를 나타낸 도면으로, 위상 공간으로 전파된 잡음이 복합 위상(complex phasor)을 퍼지게 만들어 위상 오차를 유발하는 것을 표현한 것이다.

이러한 복합 위상의 크기와 위상 오차를 수식으로 표현하면 하기 수학적 식 6과 같다. 위상 오차의 경우에는 위상 오차가 작다고 가정하여 테일러 전개한 후 1차항까지 취하여 계산한 것이다.

수학적 식 6

$$\begin{aligned} \langle \Delta S \rangle &= 0 \\ \langle |\Delta S|^2 \rangle &= \sum_{k=0}^{K-1} |c_k|^2 \sigma^2 \\ &= \rho^2 \sigma^2 \\ \langle |\Delta \phi|^2 \rangle &\cong \frac{\sigma^2}{|S|^2} \{ \rho^2 - \gamma^2 \cos[2(\phi - \theta)] \}, (|\Delta \phi| \ll 1) \\ \rho^2 &= \sum_{k=0}^{K-1} |c_k|^2 \\ \gamma^2 &= \left| \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 \right| \\ \theta &= \frac{1}{2} \arg \left(\sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 \right) \end{aligned}$$

상기 수학적 식 6에서 복합 위상(complex phasor)의 오차를 최소화할 수 있는 c_k 를 찾아내고자 한다. 위상 변복조에서는 크기 오차는 중요하지 않고 단지 위상 오차만을 최소화하면 된다. 위상 오차 안에 신호의 위상 ϕ 값이 들어있는 것을 생각하면 위상 오차 $\langle |\Delta \phi|^2 \rangle$ 의 값은 최대 $\frac{\sigma^2}{|S|^2} [\rho^2 + \gamma^2]$ 에서 최소 $\frac{\sigma^2}{|S|^2} [\rho^2 - \gamma^2]$ 사이에 있게 됨을 알 수 있다. 그러므로 위상 오차를 최소화하려면 γ^2 를 최소화하면 된다.

따라서, 위상변조된 통신신호를 복조하는 위상복조 알고리즘에 있어서, 위상 오차를 최소화하기 위해서는 첫째, 위상 복조 알고리즘이 정확한 위상을 복조해 내야하며 둘째, 동시에 $\gamma^2 = 0$ 이어야 한다. 우선 위상 복조 알고리즘이 정확한 위상을 복조해 내는 원리를 알기 위해 복합 위상 S 를 하기 수학적 식 7과 같이 기술한다.

수학적 식 7

$$\begin{aligned} S &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k w_k \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k \sum_m \alpha_m e^{im\phi_0} e^{imk\delta} \\ &= \sum_m \alpha_m e^{im\phi_0} \sum_{k=0}^{K-1} c_k e^{imk\delta} \\ &= \sum_m \alpha_m e^{im\phi_0} F_K(e^{im\delta}) \\ F_K(x) &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k \end{aligned}$$

상기 수학적 식 7에서 S 의 위상이 ϕ_0 가 되어야 함을 고려하면 $F_K(e^{im\delta})$ 는

$m \neq 1$ 일 때 0이고 $m=1$ 일 때 1이 되어야 한다. 그러므로 $F_k(x)$ 는 $e^{im\delta}, (m \neq 1)$ 를 해로 갖는 특성 다항식이 된다. 여기에 $F_k(x)$ 가 다른 어떤 해를 갖고 있더라도 위상 복조에는 지장이 없음을 알 수 있다. 그러므로 임의의 위상 복조 알고리즘이 있을 때, 즉 $F_k(x)$ 가 정해져있을 때, 여기에 $\lambda - x, (\lambda \neq e^{i\delta})$ 를 곱하더라도 상관없다.

따라서, 임의의 위상 복조 특성 다항식에 어떤 해를 하나 추가하여 위상 오차를 줄이는 것이다. 물론 특성 다항식에 해가 추가되면 특성 다항식의 차수가 증가하고, 따라서 K 가 증가하므로 샘플링 지점이 하나 증가하게 된다. 샘플링이 증가하면 위상 오차가 주는 것이 일견 당연하지만 실제로 샘플링이 증가하더라도 잘못된 위상 복조 알고리즘을 쓰게 되면 오히려 위상 오차가 커질 수도 있다. 하지만 본 발명에 따라 위상 복조 알고리즘을 만들면 항상 위상 오차를 최소화할 수 있다.

먼저, 하기 수학식 8과 같이 임의의 위상 복조 특성 다항식에 하나의 해를 추가한다.

수학식 8

$$\begin{aligned}
 F_{K+1}(x) &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k (\lambda - x) \\
 &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k \lambda x^k - \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^{k+1} \\
 &= c_0 \lambda + \sum_{k=1}^{K-1} c_k \lambda x^k - \sum_{k=1}^{K-1} c_{k-1} x^k - c_{K-1} x^K \\
 &= c_0 \lambda - c_{K-1} x^K + \sum_{k=1}^{K-1} (c_k \lambda - c_{k-1}) x^k \\
 &\equiv \sum_{k=0}^K d_k x^k
 \end{aligned}$$

또한, 위상 오차를 최소화하기 위해서는 하기 수학식 9를 만족해야 한다.

수학식 9

$$\begin{aligned}
 \gamma^2 &= \left| \sum_{k=0}^K d_k^2 \right| \\
 &= c_0^2 \lambda^2 + c_{K-1}^2 + \sum_{k=1}^{K-1} (c_k^2 \lambda^2 + c_{k-1}^2 - 2c_{k-1} c_k \lambda) \\
 &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 \lambda^2 - 2 \sum_{k=1}^{K-1} c_{k-1} c_k \lambda + \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 = 0
 \end{aligned}$$

상기 수학식 7에서 S 의 위상이 φ_0 가 되어야 함을 고려하면 $F_k(e^{im\delta})$ 는 $m \neq 1$ 일 때 0이고 $m=1$ 일 때 1이 되어야 한다. 그러므로 $F_k(x)$ 는 $e^{im\delta}, (m \neq 1)$ 를 해로 갖는 특성 다항식이 된다. 여기에 $F_k(x)$ 가 다른 어떤 해를 갖고 있더라도 위상 복조에는 지장이 없음을 알 수 있다. 그러므로 임의의 위상 복조 알고리즘이 있을 때, 즉 $F_k(x)$ 가 정해져있을 때, 여기에 $\lambda - x, (\lambda \neq e^{i\delta})$ 를 곱하더라도 상관없다.

삭제

따라서, 임의의 위상 복조 특성 다항식에 어떤 해를 하나 추가하여 위상 오차를 줄이는 것이다. 물론 특성 다항식에 해가 추가되면 특성 다항식의 차수가 증가하고, 따라서 K 가 증가하므로 샘플링 지점이 하나 증가하게 된다. 샘플링이 증가하면 위상 오차가 줄어드는 것이 일견 당연하지만 실제로 샘플링이 증가하더라도 잘못된 위상 복조 알고리즘을 쓰게 되면 오히려 위상 오차가 커질 수도 있다. 하지만 본 발명에 따라 위상 복조 알고리즘을 만들면 항상 위상 오차를 최소화할 수 있다.

먼저, 3번(3-point)의 샘플링을 통해 위상을 복구하는 종래의 알고리즘을 적용한 경우와, 두 번째로 4번(4-point)의 샘플링을 이용하는 종래의 다른 알고리즘을 적용한 경우의 a_k , b_k 값 및 위상 편차 최고치 및 최저치를 각각 알 수 있다. 그리고 본 발명에 따라 첫 번째 알고리즘에 한 번의 샘플링을 추가하여(4-point) 위상 오차를 최소화할 수 있도록 한 알고리즘을 적용한 경우의 a_k , b_k 값 및 위상 편차 최고치 및 최저치를 알 수 있다.

상기 종래의 다른 방법인 두 번째와 본 발명에 의한 세 번째의 알고리즘은 같은 횟수 즉 4번의 샘플링을 하고 있으므로 직접적인 비교가 가능하며 비교를 통해 제시된 알고리즘의 효과를 확인할 수 있다.

표 1.

	3-샘플 알고리즘	4-샘플 알고리즘	3-샘플 + 1-샘플 추가 알고리즘
	0, $\pi/3$, $2\pi/3$	0, $\pi/3$, $2\pi/3$,	0, $\pi/3$, $2\pi/3$,
a_k	1, -1.5, 0.5	1, -1, -1, 1	1, -0.75, -1.198, 0.9478
b_k	0, 0.8660, -0.8660	0, 1.732, -1.732, 0	0, 1.528, -1.209, -0.3188
위상편차 [rad]	0.02540(최고치) 0.04678(최저치)	0.01386(최고치) 0.02023(최저치)	0.01342

한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

발명의 효과

상술한 바와 같이 본 발명은 임의의 디지털 위상 복조 알고리즘에 위상오차 최소화를 위한 한 번의 샘플링을 추가하여 위상변조된 통신신호를 복조함으로써 최소한의 샘플링과 최소한의 계산으로 위상 변조된 통신신호의 복조 과정에서 잡음이 위상 공간으로 전파됨으로 인해 발생하는 위상오차를 최소화할 수 있다.

또한, 본 발명은 여타의 위상복조 알고리즘에도 쉽게 적용되어 신호 처리만을 변경함으로써 위상복조과정을 크게 개선할 수 있다.

먼저, 3번(3-point)의 샘플링을 통해 위상을 복구하는 종래의 알고리즘을 적용한 경우와, 두 번째로 4번(4-point)의 샘플링을 이용하는 종래의 다른 알고리즘을 적용한 경우의 a_k , b_k 값 및 위상 편차 최고치 및 최저치를 각각 알 수 있다. 그리고 본 발명에 따라 3번(3-point)의 샘플링을 통해 위상을 복구하는 종래의 첫 번째 알고리즘에 한 번의 샘플링을 추가하여 (4-point) 위상 오차를 최소화할 수 있도록 한 알고리즘을 적용한 경우의 a_k , b_k 값 및 위상 편차 최고치 및 최저치를 알 수 있다.

	3-샘플 알고리즘	4-샘플 알고리즘	3-샘플 + 1-샘플 추가 알고리즘
샘플링지점	0, $\pi/3$, $2\pi/3$	0, $\pi/3$, $2\pi/3$, π	0, $\pi/3$, $2\pi/3$, π
a_k	1, -1.5, 0.5	1, -1, -1, 1	1, -0.75, -1.198, 0.9478
b_k	0, 0.8660, -0.8660	0, 1.732, -1.732, 0	0, 1.528, -1.209, -0.3188
위상편차 [rad]	0.02540(최고치) 0.04678(최저치)	0.01386(최고치) 0.02023(최저치)	0.01342

(57) 청구의 범위

청구항 1.

디지털 위상 복조 알고리즘을 이용하여 기 설정된 횟수의 샘플링을 통해 위상 변조된 통신신호를 복조하는 위상복조방법에 있어서,

하기 수학식 10으로 표기되는 임의의 디지털 위상 복조 알고리즘에 한 번의 샘플링을 추가하는 과정과;

하기 수학식 10에 한 번의 샘플링이 추가된 디지털 위상복조 알고리즘을 이용하여 위상 변조된 통신신호를 복조하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 통신신호의 위상오차를 최소화하는 위상복조방법.

[수학식 10]

$$F_k(x) = \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k$$

여기서, 상기 k는 샘플링 횟수이고, 상기 c_k 는 복소수 개념의 상수를 의미함.

청구항 2.

제 1 항에 있어서, 상기 디지털 위상 복조 알고리즘에 위상오차 최소화를 위한 한 번의 샘플링을 추가하는 과정은

하기 수학식 11에 의하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 통신신호의 위상오차를 최소화하는 위상복조방법.

[수학식 11]

$$\begin{aligned} F'_{K+1}(x) &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^k (\lambda - x) \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k \lambda x^k - \sum_{k=0}^{K-1} c_k x^{k+1} \\ &= c_0 \lambda + \sum_{k=1}^{K-1} c_k \lambda x^k - \sum_{k=1}^{K-1} c_{k-1} x^k - c_{K-1} x^K \\ &= c_0 \lambda - c_{K-1} x^K + \sum_{k=1}^{K-1} (c_k \lambda - c_{k-1}) x^k \\ &\equiv \sum_{k=0}^K d_k x^k \end{aligned}$$

여기서, 상기 k는 샘플링 횟수이고, 상기 c_k 와 d_k 는 복소수 개념의 상수이고, 상기 $\lambda - x$ 는 추가된 한 번의 샘플링을 의미함.

청구항 3.

제 2 항에 있어서, 상기 위상오차 최소화는

하기 수학식 12를 만족시키는 λ 값에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 통신신호의 위상오차를 최소화하는 위상복조방법.

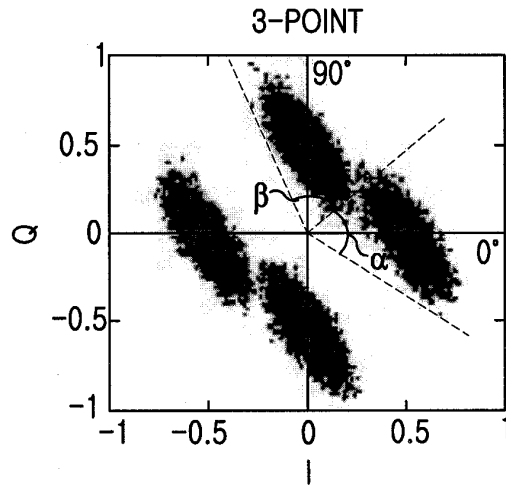
[수학식 12]

$$\begin{aligned} \gamma^2 &= \left| \sum_{k=0}^K d_k^2 \right| \\ &= c_0^2 \lambda^2 + c_{K-1}^2 + \sum_{k=1}^{K-1} (c_k^2 \lambda^2 + c_{k-1}^2 - 2c_{k-1} c_k \lambda) \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 \lambda^2 - 2 \sum_{k=1}^{K-1} c_{k-1} c_k \lambda + \sum_{k=0}^{K-1} c_k^2 = 0 \end{aligned}$$

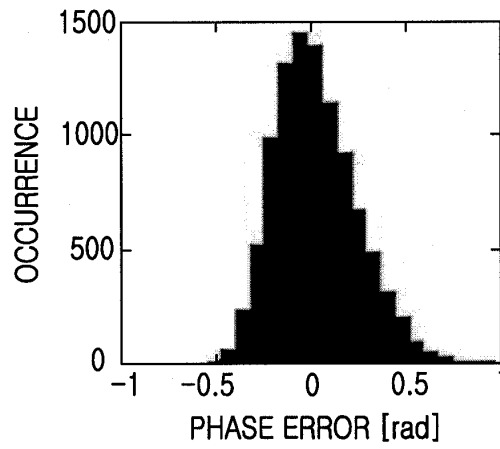
여기서, 상기 k 는 샘플링 횟수이고, 상기 ck 와 dk 는 복소수 개념의 상수이고, 상기 γ 는 위상 오차를 의미함.

도면

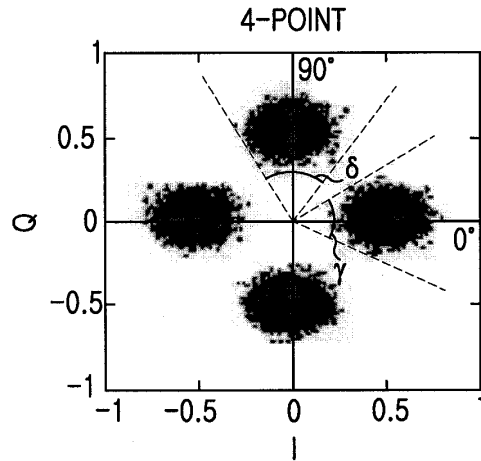
도면1a



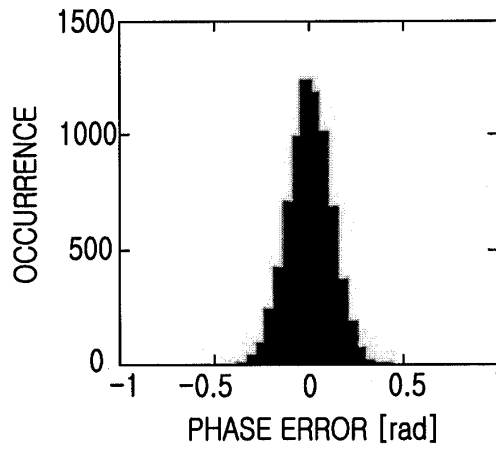
도면1b



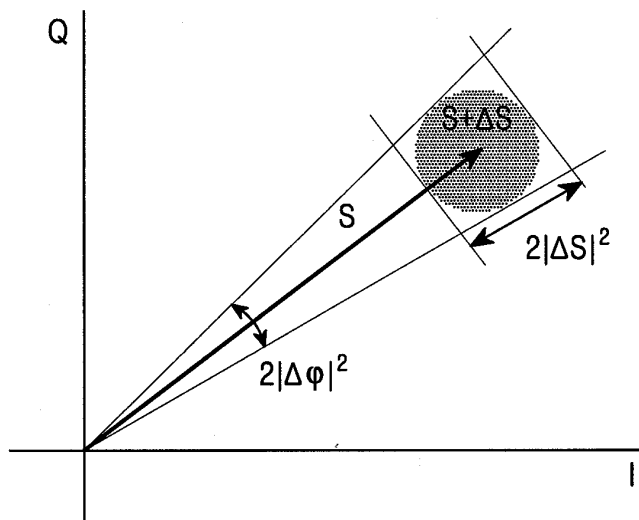
도면2a



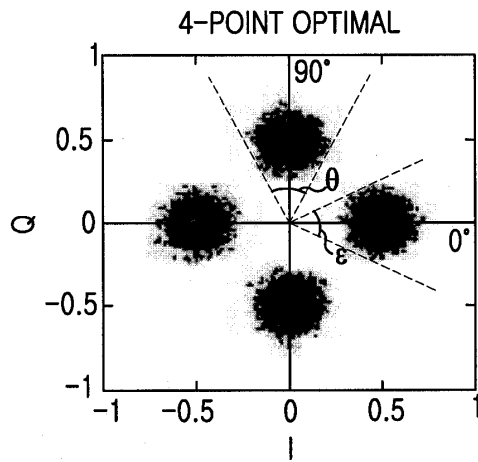
도면2b



도면3



도면4a



도면4b

