(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년05월26일
(11) 등록번호 10-2402686
(24) 등록일자 2022년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 19/24 (2010.01) *H04B 1/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 19/24 (2013.01)
H04B 1/1027 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0026512
(22) 출원일자 2021년02월26일
심사청구일자 2021년02월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020200067844 A
KR1020170000806 A
KR1020190083294 A

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
원종훈
경기도 광명시 소하로 38, 210동 104호(소하동, 휴먼시아2단지아파트)
송영진
인천광역시 미추홀구 소성로 16, 905호(용현동, 인하아리스타)
(74) 대리인
양성보

전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 노영철

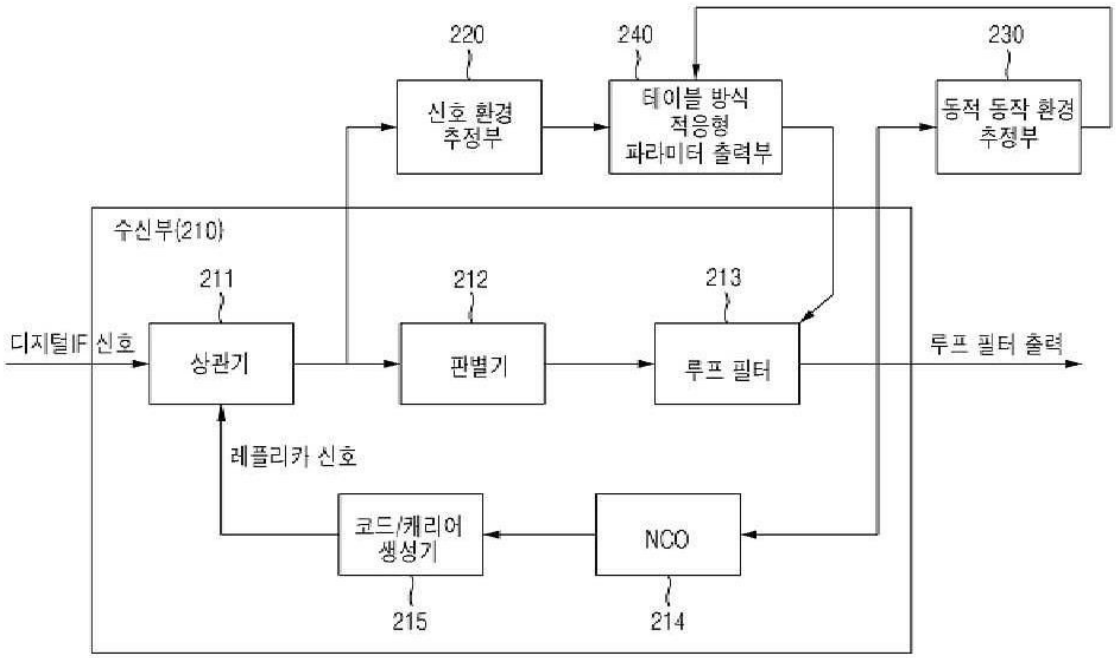
(54) 발명의 명칭 **GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적기**

(57) 요 약

GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 장치는 상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하고, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와

(뒷면에 계속)

대 표 도



NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 수신부, 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 신호 환경 추정부, 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 동적 동작 환경 추정부 및 수신부가 동작 환경에 적응하기 위해 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 포함한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115815
과제번호	2020R1A2C2013091
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구
연구과제명	[Ezbaro] 미래 한국형 위성항법시스템을 이용하는 커넥티드 무인이동체 개발을 위한 민군겸용 가상환경 시뮬레이터 기술
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하고, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 수신부;

수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 신호 환경 추정부;

수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 동적 동작 환경 추정부; 및

수신부가 동작 환경에 적응하기 위해 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부

를 포함하는 적응형 디지털 위상 추적 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

테이블 방식 적응형 파라미터 출력부는,

수신부의 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들을 입력 받는 파라미터 입력기;

파라미터 입력기를 통해 입력 받은 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블이 저장된 테이블 저장기; 및

테이블 저장기에 저장된 테이블을 이용하여 상기 추정된 파라미터들에 대한 최소값을 나타내는 노이즈 대역을 결정하고, 수신부가 동적 동작 환경에 적응하도록 상기 결정된 노이즈 대역을 수신부의 루프 필터로 출력하는 노이즈 대역 출력기

를 포함하는 적응형 디지털 위상 추적 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

신호 환경 추정부는,

수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 하기 식을 이용하여 현재 동작 환경 중 신호의 1Hz 범위에 대한 신호와 노이즈의 세기의 비율 C/N_0를 추정하고,

$$C/N_0 = \frac{1}{T} \times SNR = \frac{1}{T} \times \frac{P_S}{P_N}$$

여기서, T는 적산 시간 (Pre-detction Integration Time, PIT), SNR은 신호와 노이즈의 세기의 비율을 나타내는

적응형 디지털 위상 추적 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

동적 동작 환경 추정부는,

수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경 중 가속도에 대한 정보를 이용하여 하기 식을 통해 수신부의 저크 동적 스트레스(jerk dynamic stress) R'''를 추정하고,

$$R''' = \frac{\ddot{\phi}(t_2) - \ddot{\phi}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

여기서, $\ddot{\phi}$는 도플러 비율(Doppler rate), t_1 및 t_2는 각각 $\ddot{\phi}$의 변화량을 관찰할 때의 관찰 시작 시간(s)와 관찰 종료 시간(s)을 나타내는

적응형 디지털 위상 추적 장치.

청구항 5

상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하는 수신부가, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 단계;

신호 환경 추정부를 통해 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 단계;

동적 동작 환경 추정부를 통해 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 단계; 및

테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 통해 수신부가 동작 환경에 적응하도록 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 단계

를 포함하는 적응형 디지털 위상 추적 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 통해 수신부가 동작 환경에 적응하도록 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 단계는 -테이블 방식 적응형 파라미터 출력부는 파라미터 입력기, 테이블 저장기 및 노이즈 대역 출력기를 포함함-,

파라미터 입력기가 수신부의 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들을 입력 받는 단계; 및

노이즈 대역 출력기가 파라미터 입력기를 통해 입력 받은 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블이 저장된 테이블 저장기로부터의 테이블을 이용하여 상기 추정된 파라미터들에 대한 최소값을 나타내는 노이즈 대역을 결정하고, 수신부가 동적 동작 환경에 적응하도록 상기 결정된 노이즈 대역을 수신부의 루프 필터로 출력하는 단계

를 포함하는 적응형 디지털 위상 추적 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

신호 환경 추정부를 통해 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 단계는,

수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 하기 식을 이용하여 현재 동작 환경 중 신호의 1Hz 범위에 대한 신호와 노이즈의 세기의 비율 C/N_0를 추정하고,

$$C/N_0 = \frac{1}{T} \times SNR = \frac{1}{T} \times \frac{P_S}{P_N}$$

여기서, T는 적산 시간 (Pre-detction Integration Time, PIT), SNR은 신호와 노이즈의 세기의 비율을 나타내는

적응형 디지털 위상 추적 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

동적 동작 환경 추정부를 통해 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 단계는,

수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경 중 가속도에 대한 정보를 이용하여 하기 식을 통해 수신부의 저크 동적 스트레스(jerk dynamic stress) R''' 를 추정하고,

$$R''' = \frac{\ddot{\phi}(t_2) - \ddot{\phi}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

여기서, $\ddot{\phi}$ 는 도플러 비율(Doppler rate), t_1 및 t_2는 각각 $\ddot{\phi}$ 의 변화량을 관찰할 때의 관찰 시작 시간(s)와 관찰 종료 시간(s)을 나타내는

적응형 디지털 위상 추적 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 GNSS(Global Navigation Satellite System) 수신기의 DPLL(Digital Phase-Locked Loop)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] GNSS 수신기의 정확하고 안정적인 동작을 위해서 노이즈 대역(noise bandwidth), 적산 시간(Pre-detction Integration Time: PIT) 등의 파라미터를 수신기의 동작 환경에 적합하게 선택해야 한다. 이러한 파라미터의 선택 과정은 일반적으로 경험적인 튜닝 형태로 이뤄지므로 번거롭고 비효율적이라는 문제점이 있다. 또한 수신기 설계 단계에서 정한 파라미터는 상수(constant)로 불변이므로, 다양한 신호 수신 환경 및 동적 동작 환경에 대응하여 파라미터를 최적의 성능을 갖는 형태로 가변하는 적응형 DPLL이 필요하다. 이때 계산식을 사용하지 않고 미리 계산된 값을 테이블에 저장하고, 이를 사용함으로써 부가적이고 복잡한 계산 과정으로 인한 계산 효율성 저하를 억제하면서 GNSS 수신기의 동작 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 필요로 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 한국 공개특허 제10-20190046613호(2019.05.07)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 수신기의 DPLL(Digital Phase-Locked Loop)에 있어서, DPLL의 최적 성능을 위한 노이즈 대역폭을 경험적인 튜닝 과정을 통해 선택하지 않고, 수신기 스스로 동작 환경에 대해 적응하여 안정적으로 동작할 수 있도록 하는 GNSS 수신기를 위한 테이블

방식 적응형 디지털 위상 추적 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 장치는 상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하고, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 수신부, 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 신호 환경 추정부, 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 동적 동작 환경 추정부 및 수신부가 동작 환경에 적응하기 위해 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 포함한다.

[0006] 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부는 수신부의 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들을 입력 받는 파라미터 입력기, 파라미터 입력기를 통해 입력 받은 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블이 저장된 테이블 저장기 및 테이블 저장기에 저장된 테이블을 이용하여 상기 추정된 파라미터들에 대한 최소값을 나타내는 노이즈 대역을 결정하고, 수신부가 동적 동작 환경에 적응하도록 상기 결정된 노이즈 대역을 수신부의 루프 필터로 출력하는 노이즈 대역 출력기를 포함한다.

[0007] 신호 환경 추정부는 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 하기 식을 이용하여 현재 동작 환경 중 신호의 1Hz 범위에 대한 신호와 노이즈의 세기의 비율 C/N_0를 추정하고,

[0008]
$$C/N_0 = \frac{1}{T} \times SNR = \frac{1}{T} \times \frac{P_S}{P_N}$$

[0009] 여기서, T는 적산 시간 (Pre-detction Integration Time, PIT), SNR은 신호와 노이즈의 세기의 비율을 나타낸다.

[0010] 동적 동작 환경 추정부는 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경 중 가속도에 대한 정보를 이용하여 하기식을 통해 수신부의 저크 동적 스트레스(jerk dynamic stress) R'''를 추정하고,

[0011]
$$R''' = \frac{\ddot{\phi}(t_2) - \ddot{\phi}(t_1)}{t_2 - t_1}$$

[0012] 여기서, $\ddot{\phi}$는 도플러 비율(Doppler rate), t_1 및 t_2는 각각 $\ddot{\phi}$의 변화량을 관찰할 때의 관찰 시작 시간(s)와 관찰 종료 시간(s)을 나타낸다.

[0013] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 방법은 상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하는 수신부가, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 단계, 신호 환경 추정부를 통해 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 단계, 동적 동작 환경 추정부를 통해 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 단계 및 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 통해 수신부가 동작 환경에 적응하도록 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 실시예들에 따른 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 방법 및 장치를 통해 DPLL의 최적 성능을 위한 노이즈 대역폭을 경험적인 튜닝 과정을 통해 선택하지 않고, 수신기 스스로 동작 환경

에 대해 적응하여 노이즈 대역을 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정함으로써 GNSS 수신기의 설계 과정에서 시간을 절약하고 효율성을 높일 수 있으며, 이와 같이 결정된 노이즈 대역은 일정한 값이 아닌 동작 환경에 적합하게 적응하므로 GNSS 수신기의 안정성과 정확성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수신부의 구성을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부의 구성을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명은 GNSS 수신기의 DPLL에 관한 기술로, 보다 상세하게는 GNSS 수신기의 캐리어 추적 루프(carrier tracking loop)에서 자주 사용되는 DPLL의 노이즈 대역(noise bandwidth)을 설계자가 별도의 튜닝 과정을 통해 선택하지 않고, 수신기 스스로 동작 환경에 맞게 적절한 노이즈 대역을 선택함으로써 안정적으로 동작하는 수신기에 관한 것이다.

[0017] 본 발명에서 제안하는 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위성 추적기는 기존의 GNSS 트래킹 루프(tracking loop)와 동일한 상관기(Correlator), 판별기(Discriminator), 루프 필터(Loop Filter), NCO(Numerically Controlled Oscillator), 코드/캐리어 생성기(Code / Carrier Generator)를 포함하는 수신부, 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 신호 환경 추정부, 수신부의 동적인 환경을 추정하는 동적 동작 환경 추정부, 추정한 파라미터들에 대한 적절한 노이즈 대역(noise bandwidth)을 제공하여 수신부가 동적 동작 환경에 적응할 수 있도록 하는 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 포함한다. 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부는 신호 환경 모니터링, 동적 동작 환경 모니터링을 통해 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부로부터 파라미터를 입력받는 파라미터 입력기, 룩업 테이블이 저장된 테이블 저장기 및 노이즈 대역을 결정하는 노이즈 대역 출력기를 포함한다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수신부의 구성을 나타내는 도면이다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 수신부는 도 1에 도시된 바와 같이, 일반적인 GNSS 수신기의 트래킹 루프(tracking loop)의 구조이며, 상관기(Correlator)(110), 판별기(Discriminator)(120), 루프 필터(Loop Filter)(130), NCO(Numerically Controlled Oscillator)(140), 코드/캐리어 생성기(Code / Carrier Generator)(150)를 포함한다.

[0021] 상관기(110)는 수신한 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 수신부 내부에서 생성되는 레플리카(replica) 신호를 상관한다.

[0022] 판별기(120)는 상관기(110)의 출력을 이용하여 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이(code delay), 도플러 주파수(doppler frequency), 캐리어 위상(carrier phase)의 차이를 계산한다.

[0023] 루프 필터(130)는 판별기(120)의 출력을 필터링하여 노이즈 성분을 제거하고, 루프 필터의 차수에 따라서 신호 성분의 미분 형태의 값들을 추정한다.

[0024] NCO(140)와 코드/캐리어 생성기(150)는 상기 과정에서 계산된 코드 딜레이(code delay), 도플러 주파수(doppler frequency), 캐리어 위상(carrier phase)의 차이를 이용하여 새로운 레플리카 신호를 생성한다.

[0025] 일반적으로 GNSS 수신기의 DPLL에서 측정 에서(measurement error)를 유발하는 요소는 진동 유도 발진기 위상 노이즈(vibration-induced oscillator phase noise), 앨런 편차 발진기 위상 노이즈(Allan deviation oscillator phase noise) 및 기준 발진기 가속 스트레스 에러(reference oscillator acceleration stress error) 등 여러 가지가 존재하지만, 그 중 결정적인 영향을 끼치는 열 잡음(thermal noise) 및 동적 스트레스 에러(dynamic stress error)를 이용하여 DPLL의 측정 에러를 모델링하면 다음과 같다:

[0026] $$\sigma_{DPLL} = \sigma_t + \frac{\theta_e}{3} \leq 15^\circ$$ 식1

[0027] σ_{DPLL}은 DPLL의 1-시그마 측정 에러(sigma measurement error)이고, σ_t는 1-시그마 열 잡음(sigma thermal noise), θ_e는 동적 스트레스 에러이다. 이러한 1-시그마 측정 에러는 항법 메시지의 반전이 존재하는 데이터 채널의 경우 15° 를 넘지 않아야 하고, 파일럿 채널의 경우 30° 를 넘지 않아야 한다. 본 발명의 실시예에서는 항법 메시지의 반전이 존재하는 데이터 채널에 대한 DPLL을 대상으로 한다.

[0028] DPLL의 1-시그마 열 잡음을 수식적으로 표현하면 다음과 같다:

[0029] $$\sigma_t = \frac{360}{2\pi}\sqrt{\frac{B_n}{C/N_0}\left(1+\frac{1}{2TC/N_0}\right)}$$ 식2

[0030] 위 수식에서 B_n은 DPLL의 노이즈 대역(noise bandwidth)[Hz], C/N_0은 1-Hz 대역폭에 대한 캐리어와 노이즈의 세기의 비율 [Hz]이며, T는 DPLL의 PIT [s]이다.

[0031] GNSS 수신기의 DPLL의 차수를 3차로 선택하면 속도와 가속도에 의한 동적 스트레스에 영향을 받지 않고 트래킹이 가능하다. 하지만 가가속도 성분에 해당하는 저크 동적 스트레스(jerk dynamic stress)에는 영향을 받으므로 이러한 저크 동적 스트레스에 의한 DPLL의 측정 에러를 모델링하면 다음과 같다.

[0032] $$\theta_e = \frac{R'''}{\omega_0^3}$$ 식3

[0033] R'''은 최대 송수신선이 직결된 저크 동적 스트레스(maximum line-of-sight jerk dynamic stress)의 크기로 [deg/s^3]의 단위를 갖고, ω_0는 DPLL의 고유 주파수(natural frequency) [Hz]로 일반적으로 $\omega_0 = \frac{B_n}{0.7845}$의 관계를 가지므로 위의 식3을 B_n을 이용하여 다시 표현하면 다음과 같다:

[0034] $$\theta_e = 0.4828\frac{R'''}{B_n^3}$$ 식4

[0035] 식2와 식4를 식1에 대입하면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다:

[0036] $$\sigma_{DPLL} = \frac{360}{2\pi}\sqrt{\frac{B_n}{C/N_0}\left(1+\frac{1}{2TC/N_0}\right)} + 0.4828\frac{R'''}{B_n^3} \leq 15^\circ$$ 식5

[0037] 위 수식에서 C/N_0, T, R'''을 모두 결정하고 나면 부등식을 만족하는 노이즈 대역 B_n의 범위를 결정할 수 있다.

[0038] 이때 임계값으로 설정된 15° 는 DPLL이 락(lock)을 잃지 않고 정상적으로 동작하기 위한 한계값이므로 수신기 동작 측면에서 정확성을 위해서 임계값에 여유를 줄 수 있다. 본 발명에서는 이러한 위상 마진을 0° , 5° , 10° 로 설정한 테이블을 제공하며, 이는 각각 표 1 내지 표 4, 표 5 내지 표 8, 표 9 내지 표 12와 같다(발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 마지막 단락에 첨부).

[0039] 위상 마진을 0° 로 설정하면 제한된 임계값인 15° 를 그대로 사용한다는 의미이고, 신호의 세기가 약하거나 동적 스트레스가 심한 환경에서도 동작할 수 있지만 상대적으로 정확도가 감소할 수 있다. 반면에 위상 마진을 10° 로 설정하면 제한된 임계값보다 더욱 타이트한(tight) 5° 의 임계값을 사용한다는 의미이므로 정확도가 증가할 수 있지만, 신호의 세기가 약하거나 동적 스트레스가 심해지면 동작이 불가능해질 수 있다. 이러한 관계는 표 1 내지 표 12를 통해 확인할 수 있으며, 표에 '-'로 표시되어 있는 부분은 해당 설정으로는 동작이 불가능함을 의미한다. 표 9 내지 표 12를 통해 10° 의 타이트한 위상 마진을 갖기 위해서는 수신기가 대략 38 [dB-Hz] 이상의 C/N_0 구간에서만 동작해야 하는 것을 확인할 수 있다. 각 위상 마진에 대한 테이블은 각각 1ms, 2ms, 5ms, 10ms의 PIT로 세분화될 수 있다.

[0041] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[0042] 제안하는 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 장치는

[0043] 수신부(210), 신호 환경 추정부(220), 동적 동작 환경 추정부(230) 및 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부(240)를 포함한다.

[0044] 수신부(210)는 상관기(211), 판별기(212), 루프 필터(213), NCO(Numerically Controlled Oscillator)(214) 및 코드/캐리어 생성기(215)를 포함하고, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부(210) 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기(211)를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기(212)를 통해 계산한 후, 루프 필터(213)를 통해 필터링 한다.

[0045] 더욱 상세하게는, 상관기(211)는 수신한 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 수신부 내부에서 생성되는 레플리카(replica) 신호를 상관한다.

[0046] 판별기(212)는 상관기(211)의 출력을 이용하여 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이(code delay), 도플러 주파수(doppler frequency), 캐리어 위상(carrier phase)의 차이를 계산한다.

[0047] 루프 필터(213)는 판별기(212)의 출력을 필터링하여 노이즈 성분을 제거하고, 루프 필터의 차수에 따라서 신호 성분의 미분 형태의 값들을 추정한다.

[0048] NCO(214)와 코드/캐리어 생성기(215)는 상기 과정에서 계산된 코드 딜레이(code delay), 도플러 주파수(Doppler frequency), 캐리어 위상(carrier phase)의 차이를 이용하여 새로운 레플리카 신호를 생성한다.

[0049] 신호 환경 추정부(220)는 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정한다.

[0050] 동적 동작 환경 추정부(230)는 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정한다.

[0051] 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부(240)는 수신부가 동작 환경에 적응하기 위해 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공한다.

[0052] 본 발명의 실시예에 따르면, 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따라 최적의 적응형 파라미터를 결정하기 위한 예시로서 노이즈 대역을 결정할 수 있다. 최적의 노이즈 대역을 결정하기 위해, 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블이 미리 저장될 수 있다. 여기서, 노이즈 대역은 일 실시예일뿐 최적의 적응형 파라미터를 결정하기 위해 다양한 룩업 테이블이 저장될 수 있고, 이러한 룩업 테이블을 이용하여 다양한 최적의 적응형 파라미터를 결정할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부(240)에 대하여 도 3을 참조하여 더욱 상세히 설명한다.

[0053] 신호 환경 추정부(220)는 상관기(211)의 출력을 이용하여 C/N_0를 추정한다. C/N_0를 추정하는 과정은 다음과 같다:

[0054]
$$P_{SN} = \left(\frac{1}{K}\sum^{K} I_P\right)^2 + \left(\frac{1}{K}\sum^{K} Q_P\right)^2 \quad \text{식6}$$

[0055] P_{SN}은 신호와 노이즈가 더해진 신호의 세기이며, K는 C/N_0 추정에 사용하는 상관기 샘플의 개수, I_N과 Q_N은 각각 상관기(211)의 출력 중 인페이즈 프롬프트(inphase prompt) 성분과 퀴드러쳐 프롬프트(quadrature prompt) 성분이다.

[0056]
$$P_N = \left(\frac{1}{K}\sum^{K} I_N\right)^2 + \left(\frac{1}{K}\sum^{K} Q_N\right)^2 \quad \text{식7}$$

[0057] 노이즈의 크기는 식6과 유사한 구조를 가진 식7을 이용하여 추정할 수 있다. P_N은 노이즈의 세기이며, I_N과 Q_N은 각각 상관기(211)의 출력 중 인페이즈 노이즈 성분과 쿼드러쳐 노이즈 성분이다.

[0058] 식6을 이용하여 추정한 P_{SN}은 신호와 노이즈가 더해진 세기이므로 신호만의 세기를 다음과 같이 구할 수 있다:

[0059] $$P_S = P_{SN} - P_N \qquad \text{식8}$$

[0060] P_N는 신호 자체만의 세기이다. 최종적으로 다음과 같은 수식을 통해 C/N_0를 구할 수 있다:

[0061] $$C/N_0 = \frac{1}{T} \times SNR = \frac{1}{T} \times \frac{P_S}{P_N} \qquad \text{식9}$$

[0062] C/N_0는 추정해낸 1 [Hz] 범위에 대한 신호와 노이즈의 세기의 비율 [Hz] 이며, T는 PIT [s]이며, SNR은 신호와 노이즈의 세기의 비율이다.

[0063] 동적 동작 환경 추정부(230)는 루프 필터(213)의 출력을 이용하여 수신부(210)의 동적 동작 환경을 추정한다. 예를 들어, 3차 DPLL의 결과물로 얻을 수 있는 상태 벡터(state vector)는 다음과 같다:

[0064] $$X = \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} \qquad \text{식10}$$

[0065] ϕ, $\dot{\phi}$ 및 $\ddot{\phi}$는 각각 수신한 신호의 캐리어 위상(carrier phase) [deg], 도플러 주파수(Doppler frequency) [deg/s], 도플러 비율(Doppler rate) [deg/s^2] 성분에 대한 추정치이다. 이 중 $\ddot{\phi}$는 수신부의 동적 동작 환경 중 가속도에 대한 정보를 가지고 있다. 그러므로 이러한 $\ddot{\phi}$의 시간에 대한 변화량을 관찰하면 가속도의 변화량인 저크(jerk)에 대한 추정이 가능하다. 이는 수식적으로 다음과 같이 표현될 수 있다:

[0066] $$R''' = \frac{\ddot{\phi}(t_2) - \ddot{\phi}(t_1)}{t_2 - t_1} \qquad \text{식11}$$

[0067] R'''는 수신기의 저크 동적 스트레스(jerk dynamic stress)에 대한 추정치 [deg/s^3]이며, t_1과 t_2는 각각 $\ddot{\phi}$의 변화량을 관찰할 때의 관찰 시작 시간 [s]와 관찰 종료 시간 [s]이다.

[0068] 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부(240)는 신호 환경 추정부(220)와 동적 동작 환경 추정부(230)로부터 입력받은 C/N_0와 R'''에 대한 적합한 노이즈 대역(noise bandwidth) 값을 테이블을 통해서 찾은 후, 이를 루프 필터(213)에 제공해준다. 이렇게 제공된 노이즈 대역 값은 루프 필터(213)에 입력되고 트래킹 루프의 다음 반복에서 사용된다.

[0069] 본 발명에서 제안하는 신호 환경 추정부(220)와 동적 동작 환경 추정부(230), 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부(240) 및 루프 필터(213)의 피드백 과정을 통해서 수신부(210)는 실시간으로 동적 동작 환경에서 적응하면서 안정적이고 정확하게 동작할 수 있다.

[0071] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부의 구성을 나타내는 도면이다.

[0072] 제안하는 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부는 파라미터 입력기(330), 테이블 저장기(340) 및 노이즈 대역 출력기(350)를 포함한다.

[0073] 파라미터 입력기(330)는 수신부의 신호 환경 추정부의 출력인 C/N_0을 모니터링(310)하고, 동적 동작 환경 추정부의 출력인 R'''을 모니터링(320)하여 수신부의 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들을 입력 받는다.

[0074] 파라미터 입력기(330)는 수신부 최초 동작 시점에 사용자에게 입력 받은 파라미터인 PIT와 위상 마진을 저장해

뒀다가 신호 환경 추정부의 출력인 C/N_0와 동적 동작 환경 추정부의 출력인 R'''을 함께 테이블 저장기(340)에 전달한다.

[0075] 테이블 저장기(340)는 파라미터 입력기를 통해 입력 받은 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블이 저장될 수 있다. 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블은 표 1 내지 표 12에 제공되어 있다. 여기서, 노이즈 대역은 일 실시예일뿐 최적의 적응형 파라미터를 결정하기 위해 다양한 룩업 테이블이 저장될 수 있고, 이러한 룩업 테이블을 이용하여 다양한 최적의 적응형 파라미터를 결정할 수 있다.

[0076] 노이즈 대역 출력기(350)는 테이블 저장기(340)에 저장된 테이블을 이용하여 상기 추정된 파라미터들에 대한 최소값을 나타내는 노이즈 대역을 결정하고, 수신부가 동적 동작 환경에 적응하도록 상기 결정된 노이즈 대역을 수신부의 루프 필터로 출력한다. 수신부의 루프 필터는 노이즈 대역을 입력 받아 수신부가 동적 동작 환경에 적응하는데 사용한다. 본 발명의 실시예에 따르면, 3차 DPLL 뿐만 아니라 차수가 다른 DPLL, FLL(Frequency-Locked Loop), 또는 DLL(Delay-Locked Loop)로 확장되어 적용될 수 있다.

[0078] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0079] 제안하는 GNSS 수신기를 위한 테이블 방식 적응형 디지털 위상 추적 방법은 상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하는 수신부가, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 단계(410), 신호 환경 추정부를 통해 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 단계(420), 동적 동작 환경 추정부를 통해 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 단계(430) 및 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 통해 수신부가 동작 환경에 적응하도록 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공하는 단계(440)를 포함한다.

[0080] 단계(410)에서, 상관기, 판별기, 루프 필터, NCO(Numerically Controlled Oscillator) 및 코드/캐리어 생성기를 포함하는 수신부가, 수신된 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 상기 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력한다.

[0081] 더욱 상세하게는, 상관기는 수신한 디지털 IF(Intermediate Frequency) 신호와 수신부 내부에서 생성되는 레플리카(replica) 신호를 상관한다.

[0082] 판별기는 상관기의 출력을 이용하여 디지털 IF 신호와 레플리카 신호 사이의 코드 딜레이(code delay), 도플러 주파수(doppler frequency), 캐리어 위상(carrier phase)의 차이를 계산한다.

[0083] 루프 필터는 판별기의 출력을 필터링하여 노이즈 성분을 제거하고, 루프 필터의 차수에 따라서 신호 성분의 미분 형태의 값들을 추정한다.

[0084] NCO와 코드/캐리어 생성기는 상기 과정에서 계산된 코드 딜레이(code delay), 도플러 주파수(Doppler frequency), 캐리어 위상(carrier phase)의 차이를 이용하여 새로운 레플리카 신호를 생성한다.

[0085] 단계(420)에서, 신호 환경 추정부를 통해 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정한다.

[0086] 단계(430)에서, 동적 동작 환경 추정부를 통해 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정한다.

[0087] 단계(440)에서, 테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 통해 수신부가 동작 환경에 적응하도록 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부의 루프 필터에 제공한다.

[0088] 본 발명의 실시예에 따르면, 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따라 최적의 적응형 파라미터를 결정하기 위한 예시로서 노이즈 대역을 결정할 수 있다. 최적의 노이즈 대역을 결정하

기 위해, 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 대한 노이즈 대역을 나타내는 테이블이 미리 저장될 수 있다. 여기서, 노이즈 대역은 일 실시예일뿐 최적의 적응형 파라미터를 결정하기 위해 다양한 룩업 테이블이 저장될 수 있고, 이러한 룩업 테이블을 이용하여 다양한 최적의 적응형 파라미터를 결정할 수 있다.

[0090] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0091] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0092] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 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.

[0093] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0094] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

[0096] 표 1

0°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 1ms)

Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																				
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	8.01	7.73	7.53	7.39	7.28	7.19	7.11	7.05	7.01	6.96	6.93	6.90	6.87	6.85	6.83	6.81	6.80	6.78	6.77	6.76	6.75
2.0	8.93	8.59	8.36	8.18	8.05	7.94	7.86	7.79	7.73	7.68	7.64	7.61	7.58	7.55	7.53	7.51	7.49	7.47	7.46	7.45	7.44
2.5	9.74	9.34	9.06	8.86	8.71	8.59	8.49	8.41	8.35	8.29	8.24	8.20	8.17	8.14	8.11	8.09	8.07	8.06	8.04	8.03	8.02
3.0	10.46	9.99	9.68	9.46	9.28	9.15	9.04	8.96	8.88	8.82	8.77	8.73	8.69	8.66	8.63	8.61	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52
3.5	11.12	10.59	10.24	9.99	9.80	9.66	9.54	9.45	9.37	9.30	9.25	9.20	9.16	9.12	9.09	9.06	9.04	9.02	9.00	8.99	8.97
4.0	11.73	11.14	10.76	10.48	10.28	10.12	9.99	9.89	9.81	9.74	9.68	9.63	9.58	9.54	9.51	9.48	9.46	9.43	9.42	9.40	9.38
4.5	12.30	11.65	11.24	10.94	10.72	10.55	10.41	10.30	10.21	10.14	10.07	10.02	9.97	9.93	9.90	9.87	9.84	9.82	9.80	9.78	9.76
5.0	12.84	12.13	11.68	11.36	11.13	10.95	10.80	10.69	10.59	10.51	10.44	10.38	10.34	10.29	10.26	10.22	10.20	10.17	10.15	10.13	10.11
5.5	13.35	12.59	12.10	11.76	11.51	11.32	11.17	11.04	10.94	10.86	10.79	10.73	10.68	10.63	10.59	10.56	10.53	10.50	10.48	10.46	10.44
6.0	13.85	13.02	12.50	12.14	11.88	11.67	11.51	11.38	11.28	11.19	11.11	11.05	11.00	10.95	10.91	10.87	10.84	10.81	10.79	10.77	10.75
6.5	14.32	13.43	12.88	12.50	12.22	12.01	11.84	11.70	11.59	11.50	11.42	11.36	11.30	11.25	11.21	11.17	11.14	11.11	11.09	11.06	11.04
7.0	14.78	13.83	13.24	12.84	12.55	12.33	12.15	12.01	11.89	11.80	11.71	11.65	11.59	11.54	11.49	11.45	11.42	11.39	11.36	11.34	11.32
7.5	15.22	14.21	13.59	13.17	12.86	12.63	12.45	12.30	12.18	12.08	11.99	11.92	11.86	11.81	11.76	11.72	11.69	11.66	11.63	11.61	11.59
8.0	15.66	14.57	13.92	13.49	13.17	12.92	12.73	12.58	12.45	12.35	12.26	12.19	12.13	12.07	12.02	11.98	11.95	11.91	11.89	11.86	11.84
8.5	16.08	14.93	14.25	13.79	13.46	13.20	13.01	12.85	12.72	12.61	12.52	12.44	12.38	12.32	12.27	12.23	12.19	12.16	12.13	12.11	12.09
9.0	16.49	15.27	14.56	14.08	13.74	13.48	13.27	13.11	12.97	12.86	12.77	12.69	12.62	12.56	12.51	12.47	12.43	12.40	12.37	12.34	12.32
9.5	16.89	15.60	14.86	14.36	14.01	13.74	13.52	13.36	13.22	13.10	13.01	12.92	12.86	12.80	12.74	12.70	12.66	12.62	12.59	12.57	12.55
10.0	17.29	15.93	15.15	14.64	14.27	13.99	13.77	13.60	13.45	13.34	13.24	13.15	13.08	13.02	12.97	12.92	12.88	12.85	12.81	12.79	12.76

[0097]

[0098] 표 2

0°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 2ms)

Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																				
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	7.83	7.62	7.46	7.34	7.24	7.17	7.10	7.05	7.00	6.96	6.93	6.90	6.87	6.85	6.83	6.81	6.80	6.78	6.77	6.76	6.75
2.0	8.71	8.46	8.27	8.13	8.01	7.92	7.84	7.78	7.72	7.68	7.64	7.60	7.57	7.55	7.53	7.51	7.49	7.47	7.46	7.45	7.44
2.5	9.48	9.18	8.96	8.79	8.66	8.56	8.47	8.40	8.34	8.28	8.24	8.20	8.17	8.14	8.11	8.09	8.07	8.06	8.04	8.03	8.02
3.0	10.16	9.82	9.57	9.38	9.24	9.12	9.02	8.94	8.87	8.82	8.77	8.72	8.69	8.66	8.63	8.60	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52
3.5	10.77	10.39	10.12	9.91	9.75	9.62	9.52	9.43	9.36	9.29	9.24	9.19	9.15	9.12	9.09	9.06	9.04	9.02	9.00	8.99	8.97
4.0	11.34	10.92	10.62	10.40	10.22	10.08	9.97	9.87	9.80	9.73	9.67	9.62	9.58	9.54	9.51	9.48	9.46	9.43	9.42	9.40	9.38
4.5	11.87	11.41	11.09	10.85	10.66	10.51	10.39	10.29	10.20	10.13	10.07	10.01	9.97	9.93	9.90	9.87	9.84	9.82	9.80	9.78	9.76
5.0	12.37	11.88	11.53	11.27	11.06	10.90	10.77	10.67	10.58	10.50	10.44	10.38	10.33	10.29	10.25	10.22	10.19	10.17	10.15	10.13	10.11
5.5	12.85	12.31	11.94	11.66	11.45	11.28	11.14	11.02	10.93	10.85	10.78	10.72	10.67	10.63	10.59	10.56	10.53	10.50	10.48	10.46	10.44
6.0	13.30	12.72	12.32	12.03	11.81	11.63	11.48	11.36	11.26	11.18	11.11	11.05	10.99	10.95	10.91	10.87	10.84	10.81	10.79	10.77	10.75
6.5	13.73	13.11	12.69	12.38	12.15	11.96	11.81	11.68	11.58	11.49	11.41	11.35	11.30	11.25	11.21	11.17	11.14	11.11	11.08	11.06	11.04
7.0	14.14	13.49	13.05	12.72	12.47	12.28	12.12	11.99	11.88	11.79	11.71	11.64	11.58	11.53	11.49	11.45	11.42	11.39	11.36	11.34	11.32
7.5	14.54	13.85	13.38	13.04	12.78	12.58	12.41	12.28	12.16	12.07	11.99	11.92	11.86	11.81	11.76	11.72	11.69	11.66	11.63	11.61	11.59
8.0	14.93	14.20	13.71	13.35	13.08	12.87	12.70	12.55	12.44	12.34	12.25	12.18	12.12	12.07	12.02	11.98	11.95	11.91	11.89	11.86	11.84
8.5	15.30	14.53	14.02	13.65	13.37	13.15	12.97	12.82	12.70	12.60	12.51	12.44	12.37	12.32	12.27	12.23	12.19	12.16	12.13	12.11	12.08
9.0	15.67	14.86	14.32	13.94	13.64	13.41	13.23	13.08	12.95	12.85	12.76	12.68	12.62	12.56	12.51	12.47	12.43	12.40	12.37	12.34	12.32
9.5	16.02	15.17	14.61	14.21	13.91	13.67	13.48	13.33	13.20	13.09	13.00	12.92	12.85	12.79	12.74	12.70	12.66	12.62	12.59	12.57	12.54
10.0	16.37	15.48	14.90	14.48	14.17	13.92	13.73	13.57	13.43	13.32	13.23	13.15	13.08	13.02	12.96	12.92	12.88	12.84	12.81	12.79	12.76

[0099]

[0100] 표 3

[0101]

0°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 5ms)																					
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																				
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	7.72	7.55	7.42	7.31	7.23	7.15	7.09	7.04	6.99	6.96	6.92	6.89	6.87	6.85	6.83	6.81	6.80	6.78	6.77	6.76	6.75
2.0	8.58	8.38	8.22	8.09	7.99	7.90	7.83	7.77	7.72	7.67	7.63	7.60	7.57	7.55	7.52	7.51	7.49	7.47	7.46	7.45	7.44
2.5	9.33	9.09	8.90	8.76	8.64	8.54	8.46	8.39	8.33	8.28	8.24	8.20	8.17	8.14	8.11	8.09	8.07	8.05	8.04	8.03	8.02
3.0	9.98	9.71	9.50	9.34	9.21	9.10	9.01	8.93	8.87	8.81	8.76	8.72	8.69	8.66	8.63	8.60	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52
3.5	10.58	10.28	10.05	9.87	9.72	9.60	9.50	9.42	9.35	9.29	9.24	9.19	9.15	9.12	9.09	9.06	9.04	9.02	9.00	8.99	8.97
4.0	11.13	10.79	10.54	10.35	10.19	10.06	9.95	9.86	9.79	9.72	9.67	9.62	9.58	9.54	9.51	9.48	9.46	9.43	9.42	9.40	9.38
4.5	11.64	11.28	11.00	10.79	10.62	10.48	10.37	10.27	10.19	10.12	10.06	10.01	9.97	9.93	9.89	9.86	9.84	9.82	9.80	9.78	9.76
5.0	12.12	11.72	11.43	11.21	11.03	10.88	10.76	10.66	10.57	10.50	10.43	10.38	10.33	10.29	10.25	10.22	10.19	10.17	10.15	10.13	10.11
5.5	12.57	12.15	11.84	11.60	11.40	11.25	11.12	11.01	10.92	10.84	10.78	10.72	10.67	10.63	10.59	10.56	10.53	10.50	10.48	10.46	10.44
6.0	13.00	12.55	12.22	11.96	11.76	11.60	11.46	11.35	11.25	11.17	11.10	11.04	10.99	10.94	10.91	10.87	10.84	10.81	10.79	10.77	10.75
6.5	13.41	12.93	12.58	12.31	12.10	11.93	11.79	11.67	11.57	11.48	11.41	11.35	11.29	11.25	11.20	11.17	11.14	11.11	11.08	11.06	11.04
7.0	13.80	13.30	12.93	12.65	12.42	12.24	12.10	11.97	11.87	11.78	11.70	11.64	11.58	11.53	11.49	11.45	11.42	11.39	11.36	11.34	11.32
7.5	14.18	13.65	13.26	12.97	12.73	12.54	12.39	12.26	12.15	12.06	11.98	11.91	11.86	11.80	11.76	11.72	11.69	11.66	11.63	11.61	11.59
8.0	14.55	13.99	13.58	13.27	13.03	12.83	12.67	12.54	12.43	12.33	12.25	12.18	12.12	12.07	12.02	11.98	11.94	11.91	11.89	11.86	11.84
8.5	14.90	14.31	13.89	13.57	13.31	13.11	12.94	12.81	12.69	12.59	12.51	12.43	12.37	12.32	12.27	12.23	12.19	12.16	12.13	12.11	12.08
9.0	15.24	14.63	14.18	13.85	13.59	13.38	13.21	13.06	12.94	12.84	12.75	12.68	12.61	12.56	12.51	12.47	12.43	12.40	12.37	12.34	12.32
9.5	15.58	14.93	14.47	14.12	13.85	13.64	13.46	13.31	13.19	13.08	12.99	12.92	12.85	12.79	12.74	12.70	12.66	12.62	12.59	12.57	12.54
10.0	15.90	15.23	14.75	14.39	14.11	13.89	13.70	13.55	13.42	13.31	13.22	13.14	13.07	13.02	12.96	12.92	12.88	12.84	12.81	12.79	12.76

[0102] 표 4

0°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 10ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	7.69	7.53	7.40	7.30	7.22	7.15	7.09	7.04	6.99	6.96	6.92	6.89	6.87	6.85	6.83	6.81	6.80	6.78	6.77	6.76	6.75
2.0	8.54	8.35	8.20	8.08	7.98	7.90	7.83	7.77	7.72	7.67	7.63	7.60	7.57	7.55	7.52	7.50	7.49	7.47	7.46	7.45	7.44
2.5	9.28	9.06	8.88	8.74	8.63	8.53	8.45	8.39	8.33	8.28	8.24	8.20	8.17	8.14	8.11	8.09	8.07	8.05	8.04	8.03	8.02
3.0	9.93	9.68	9.48	9.33	9.20	9.09	9.01	8.93	8.87	8.81	8.76	8.72	8.69	8.66	8.63	8.60	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52
3.5	10.52	10.24	10.02	9.85	9.71	9.60	9.50	9.42	9.35	9.29	9.24	9.19	9.15	9.12	9.09	9.06	9.04	9.02	9.00	8.99	8.97
4.0	11.06	10.75	10.52	10.33	10.18	10.05	9.95	9.86	9.79	9.72	9.67	9.62	9.58	9.54	9.51	9.48	9.46	9.43	9.42	9.40	9.38
4.5	11.56	11.23	10.97	10.77	10.61	10.48	10.36	10.27	10.19	10.12	10.06	10.01	9.97	9.93	9.89	9.86	9.84	9.82	9.80	9.78	9.76
5.0	12.03	11.68	11.40	11.19	11.01	10.87	10.75	10.65	10.57	10.49	10.43	10.38	10.33	10.29	10.25	10.22	10.19	10.17	10.15	10.13	10.11
5.5	12.48	12.10	11.80	11.57	11.39	11.24	11.11	11.01	10.92	10.84	10.78	10.72	10.67	10.63	10.59	10.56	10.53	10.50	10.48	10.46	10.44
6.0	12.90	12.49	12.18	11.94	11.75	11.59	11.46	11.34	11.25	11.17	11.10	11.04	10.99	10.94	10.90	10.87	10.84	10.81	10.79	10.77	10.75
6.5	13.31	12.87	12.55	12.29	12.09	11.92	11.78	11.66	11.57	11.48	11.41	11.35	11.29	11.25	11.20	11.17	11.14	11.11	11.08	11.06	11.04
7.0	13.70	13.23	12.89	12.62	12.41	12.23	12.09	11.97	11.86	11.78	11.70	11.64	11.58	11.53	11.49	11.45	11.42	11.39	11.36	11.34	11.32
7.5	14.07	13.58	13.22	12.94	12.72	12.53	12.38	12.26	12.15	12.06	11.98	11.91	11.86	11.80	11.76	11.72	11.69	11.66	11.63	11.61	11.59
8.0	14.43	13.92	13.54	13.24	13.01	12.82	12.67	12.53	12.42	12.33	12.25	12.18	12.12	12.07	12.02	11.98	11.94	11.91	11.89	11.86	11.84
8.5	14.77	14.24	13.84	13.54	13.30	13.10	12.94	12.80	12.69	12.59	12.51	12.43	12.37	12.32	12.27	12.23	12.19	12.16	12.13	12.11	12.08
9.0	15.11	14.55	14.14	13.82	13.57	13.37	13.20	13.06	12.94	12.84	12.75	12.68	12.61	12.56	12.51	12.47	12.43	12.40	12.37	12.34	12.32
9.5	15.44	14.85	14.42	14.09	13.83	13.62	13.45	13.31	13.18	13.08	12.99	12.91	12.85	12.79	12.74	12.70	12.66	12.62	12.59	12.57	12.54
10.0	15.75	15.14	14.70	14.36	14.09	13.87	13.69	13.54	13.42	13.31	13.22	13.14	13.07	13.01	12.96	12.92	12.88	12.84	12.81	12.79	12.76

[0103]

[0104] 표 5

5°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 1ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	13.26	10.56	9.74	9.26	8.94	8.71	8.54	8.40	8.29	8.21	8.13	8.07	8.02	7.97	7.93	7.90	7.87	7.84	7.82	7.80	7.78
2.0	-	12.11	10.96	10.35	9.95	9.67	9.47	9.30	9.17	9.07	8.98	8.91	8.84	8.79	8.75	8.71	8.67	8.64	8.62	8.59	8.57
2.5	-	13.61	12.04	11.29	10.82	10.50	10.26	10.07	9.92	9.80	9.70	9.62	9.55	9.49	9.44	9.39	9.35	9.32	9.29	9.26	9.24
3.0	-	15.16	13.04	12.14	11.60	11.23	10.95	10.74	10.58	10.44	10.33	10.24	10.16	10.10	10.04	9.99	9.95	9.91	9.88	9.85	9.83
3.5	-	16.97	13.97	12.92	12.30	11.89	11.58	11.35	11.17	11.02	10.90	10.80	10.72	10.64	10.58	10.53	10.48	10.44	10.41	10.38	10.35
4.0	-	-	14.86	13.64	12.95	12.49	12.16	11.91	11.71	11.55	11.42	11.31	11.22	11.14	11.08	11.02	10.97	10.93	10.89	10.86	10.83
4.5	-	-	15.72	14.32	13.55	13.05	12.69	12.42	12.21	12.04	11.90	11.78	11.68	11.60	11.53	11.47	11.42	11.37	11.33	11.30	11.27
5.0	-	-	16.57	14.97	14.12	13.58	13.19	12.90	12.67	12.49	12.34	12.22	12.11	12.03	11.95	11.89	11.83	11.78	11.74	11.71	11.67
5.5	-	-	17.40	15.58	14.66	14.07	13.66	13.35	13.11	12.91	12.76	12.63	12.52	12.43	12.35	12.28	12.22	12.17	12.13	12.09	12.05
6.0	-	-	18.24	16.17	15.17	14.54	14.10	13.77	13.52	13.32	13.15	13.01	12.90	12.80	12.72	12.65	12.59	12.53	12.49	12.45	12.41
6.5	-	-	19.09	16.75	15.66	14.99	14.53	14.18	13.91	13.70	13.52	13.38	13.26	13.16	13.07	13.00	12.94	12.88	12.83	12.79	12.75
7.0	-	-	19.97	17.30	16.14	15.42	14.93	14.56	14.28	14.06	13.88	13.73	13.60	13.50	13.41	13.33	13.27	13.21	13.16	13.11	13.08
7.5	-	-	20.89	17.84	16.59	15.83	15.31	14.93	14.64	14.41	14.22	14.06	13.93	13.82	13.73	13.65	13.58	13.52	13.47	13.42	13.38
8.0	-	-	21.88	18.37	17.03	16.23	15.69	15.29	14.98	14.74	14.54	14.38	14.25	14.13	14.04	13.95	13.88	13.82	13.77	13.72	13.68
8.5	-	-	23.01	18.88	17.45	16.61	16.04	15.63	15.31	15.06	14.85	14.69	14.55	14.43	14.33	14.24	14.17	14.11	14.05	14.00	13.96
9.0	-	-	24.44	19.39	17.87	16.98	16.39	15.96	15.63	15.37	15.16	14.98	14.84	14.72	14.61	14.53	14.45	14.38	14.33	14.28	14.23
9.5	-	-	-	19.89	18.27	17.34	16.72	16.27	15.93	15.66	15.45	15.27	15.12	14.99	14.89	14.80	14.72	14.65	14.59	14.54	14.49
10.0	-	-	-	20.38	18.66	17.69	17.05	16.58	16.23	15.95	15.73	15.54	15.39	15.26	15.15	15.06	14.98	14.91	14.85	14.79	14.75

[0105]

[0106] 표 6

[0107]

Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz] 5°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 2ms)																				
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	11.14	10.06	9.49	9.13	8.86	8.66	8.51	8.38	8.28	8.20	8.12	8.06	8.01	7.97	7.93	7.90	7.87	7.84	7.82	7.80	7.78
2.0	13.06	11.40	10.64	10.18	9.85	9.61	9.43	9.28	9.16	9.06	8.97	8.90	8.84	8.79	8.74	8.71	8.67	8.64	8.62	8.59	8.57
2.5	15.34	12.61	11.65	11.09	10.71	10.43	10.21	10.04	9.90	9.79	9.69	9.61	9.54	9.48	9.43	9.39	9.35	9.32	9.29	9.26	9.24
3.0	-	13.75	12.57	11.90	11.46	11.14	10.90	10.71	10.56	10.43	10.32	10.23	10.16	10.09	10.04	9.99	9.95	9.91	9.88	9.85	9.83
3.5	-	14.85	13.41	12.65	12.15	11.79	11.52	11.31	11.14	11.01	10.89	10.79	10.71	10.64	10.58	10.53	10.48	10.44	10.41	10.38	10.35
4.0	-	15.96	14.21	13.34	12.78	12.39	12.10	11.87	11.68	11.53	11.41	11.30	11.21	11.14	11.07	11.02	10.97	10.93	10.89	10.86	10.83
4.5	-	17.08	14.96	13.98	13.37	12.94	12.62	12.38	12.18	12.02	11.88	11.77	11.68	11.60	11.53	11.47	11.42	11.37	11.33	11.30	11.27
5.0	-	18.28	15.68	14.59	13.92	13.46	13.12	12.85	12.64	12.47	12.33	12.21	12.11	12.02	11.95	11.89	11.83	11.78	11.74	11.70	11.67
5.5	-	19.65	16.38	15.17	14.45	13.95	13.58	13.30	13.08	12.89	12.74	12.62	12.51	12.42	12.34	12.28	12.22	12.17	12.13	12.09	12.05
6.0	-	21.48	17.06	15.72	14.94	14.41	14.02	13.72	13.49	13.29	13.14	13.00	12.89	12.80	12.72	12.65	12.59	12.53	12.49	12.45	12.41
6.5	-	-	17.73	16.26	15.42	14.85	14.44	14.12	13.88	13.67	13.51	13.37	13.25	13.15	13.07	13.00	12.93	12.88	12.83	12.79	12.75
7.0	-	-	18.39	16.77	15.87	15.27	14.84	14.51	14.25	14.04	13.86	13.72	13.60	13.49	13.41	13.33	13.26	13.21	13.16	13.11	13.07
7.5	-	-	19.04	17.27	16.31	15.68	15.22	14.87	14.60	14.38	14.20	14.05	13.92	13.82	13.73	13.65	13.58	13.52	13.47	13.42	13.38
8.0	-	-	19.68	17.75	16.73	16.06	15.59	15.22	14.94	14.71	14.52	14.37	14.24	14.13	14.03	13.95	13.88	13.82	13.76	13.72	13.68
8.5	-	-	20.33	18.22	17.14	16.44	15.94	15.56	15.27	15.03	14.84	14.68	14.54	14.42	14.33	14.24	14.17	14.11	14.05	14.00	13.96
9.0	-	-	20.98	18.68	17.54	16.80	16.28	15.89	15.58	15.34	15.14	14.97	14.83	14.71	14.61	14.52	14.45	14.38	14.33	14.28	14.23
9.5	-	-	21.64	19.13	17.92	17.15	16.61	16.20	15.89	15.63	15.43	15.25	15.11	14.99	14.88	14.79	14.72	14.65	14.59	14.54	14.49
10.0	-	-	22.32	19.57	18.29	17.49	16.93	16.51	16.18	15.92	15.71	15.53	15.38	15.25	15.15	15.05	14.97	14.91	14.85	14.79	14.75

[0108] 표 7

[0109]

s의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 5ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	10.53	9.81	9.36	9.05	8.81	8.63	8.49	8.37	8.27	8.19	8.12	8.06	8.01	7.97	7.93	7.90	7.87	7.84	7.82	7.80	7.78
2.0	12.06	11.05	10.47	10.08	9.79	9.57	9.40	9.26	9.15	9.05	8.97	8.90	8.84	8.79	8.74	8.70	8.67	8.64	8.62	8.59	8.57
2.5	13.53	12.16	11.44	10.97	10.64	10.38	10.18	10.02	9.89	9.78	9.69	9.61	9.54	9.48	9.43	9.39	9.35	9.32	9.29	9.26	9.24
3.0	15.04	13.18	12.32	11.77	11.38	11.10	10.87	10.69	10.54	10.42	10.32	10.23	10.16	10.09	10.04	9.99	9.95	9.91	9.88	9.85	9.83
3.5	16.75	14.14	13.12	12.49	12.06	11.74	11.49	11.29	11.13	11.00	10.88	10.79	10.71	10.64	10.58	10.53	10.48	10.44	10.41	10.38	10.35
4.0	19.53	15.07	13.87	13.16	12.68	12.33	12.06	11.84	11.67	11.52	11.40	11.30	11.21	11.14	11.07	11.02	10.97	10.92	10.89	10.86	10.83
4.5	-	15.97	14.58	13.79	13.26	12.88	12.58	12.35	12.16	12.01	11.88	11.77	11.67	11.59	11.53	11.47	11.41	11.37	11.33	11.30	11.27
5.0	-	16.86	15.25	14.38	13.81	13.39	13.07	12.82	12.62	12.46	12.32	12.20	12.10	12.02	11.95	11.88	11.83	11.78	11.74	11.70	11.67
5.5	-	17.76	15.90	14.94	14.32	13.87	13.54	13.27	13.06	12.88	12.74	12.61	12.51	12.42	12.34	12.28	12.22	12.17	12.13	12.09	12.05
6.0	-	18.67	16.52	15.48	14.81	14.33	13.97	13.69	13.47	13.28	13.13	13.00	12.89	12.80	12.72	12.65	12.59	12.53	12.49	12.45	12.41
6.5	-	19.62	17.13	15.99	15.27	14.77	14.39	14.09	13.85	13.66	13.50	13.36	13.25	13.15	13.07	13.00	12.93	12.88	12.83	12.79	12.75
7.0	-	20.62	17.72	16.48	15.72	15.18	14.78	14.47	14.22	14.02	13.85	13.71	13.59	13.49	13.40	13.33	13.26	13.21	13.16	13.11	13.07
7.5	-	21.74	18.30	16.96	16.15	15.58	15.16	14.84	14.58	14.37	14.19	14.04	13.92	13.81	13.72	13.65	13.58	13.52	13.47	13.42	13.38
8.0	-	23.10	18.87	17.42	16.56	15.97	15.53	15.19	14.92	14.70	14.51	14.36	14.23	14.12	14.03	13.95	13.88	13.82	13.76	13.72	13.68
8.5	-	25.63	19.43	17.87	16.96	16.34	15.88	15.52	15.24	15.01	14.83	14.67	14.53	14.42	14.32	14.24	14.17	14.10	14.05	14.00	13.96
9.0	-	-	19.98	18.31	17.35	16.69	16.22	15.85	15.56	15.32	15.13	14.96	14.82	14.71	14.61	14.52	14.45	14.38	14.32	14.27	14.23
9.5	-	-	20.53	18.73	17.72	17.04	16.54	16.16	15.86	15.62	15.41	15.25	15.10	14.98	14.88	14.79	14.71	14.65	14.59	14.54	14.49
10.0	-	-	21.07	19.15	18.09	17.38	16.86	16.47	16.15	15.90	15.69	15.52	15.37	15.25	15.14	15.05	14.97	14.90	14.84	14.79	14.75

[0110] 표 8

5°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 10ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	10.36	9.73	9.31	9.02	8.80	8.62	8.48	8.36	8.27	8.19	8.12	8.06	8.01	7.97	7.93	7.90	7.87	7.84	7.82	7.80	7.78
2.0	11.81	10.94	10.41	10.05	9.77	9.56	9.39	9.26	9.14	9.05	8.97	8.90	8.84	8.79	8.74	8.70	8.67	8.64	8.62	8.59	8.57
2.5	13.18	12.02	11.37	10.93	10.61	10.37	10.17	10.01	9.88	9.78	9.68	9.61	9.54	9.48	9.43	9.39	9.35	9.32	9.29	9.26	9.24
3.0	14.52	13.02	12.24	11.72	11.36	11.08	10.86	10.68	10.54	10.42	10.32	10.23	10.15	10.09	10.04	9.99	9.95	9.91	9.88	9.85	9.83
3.5	15.90	13.94	13.03	12.44	12.03	11.72	11.48	11.28	11.12	10.99	10.88	10.79	10.71	10.64	10.58	10.53	10.48	10.44	10.41	10.38	10.35
4.0	17.46	14.83	13.76	13.11	12.65	12.31	12.05	11.83	11.66	11.52	11.40	11.30	11.21	11.13	11.07	11.02	10.97	10.92	10.89	10.86	10.83
4.5	19.64	15.69	14.46	13.73	13.23	12.86	12.57	12.34	12.16	12.00	11.87	11.76	11.67	11.59	11.52	11.47	11.41	11.37	11.33	11.30	11.27
5.0	-	16.52	15.12	14.31	13.77	13.37	13.06	12.82	12.62	12.45	12.32	12.20	12.10	12.02	11.95	11.88	11.83	11.78	11.74	11.70	11.67
5.5	-	17.35	15.75	14.87	14.28	13.85	13.52	13.26	13.05	12.88	12.73	12.61	12.51	12.42	12.34	12.28	12.22	12.17	12.13	12.09	12.05
6.0	-	18.18	16.36	15.40	14.76	14.30	13.96	13.68	13.46	13.28	13.12	13.00	12.89	12.79	12.71	12.65	12.59	12.53	12.49	12.45	12.41
6.5	-	19.02	16.95	15.90	15.23	14.74	14.37	14.08	13.85	13.66	13.50	13.36	13.25	13.15	13.07	13.00	12.93	12.88	12.83	12.79	12.75
7.0	-	19.88	17.52	16.39	15.67	15.15	14.76	14.46	14.22	14.02	13.85	13.71	13.59	13.49	13.40	13.33	13.26	13.21	13.16	13.11	13.07
7.5	-	20.78	18.08	16.86	16.09	15.55	15.14	14.82	14.57	14.36	14.19	14.04	13.92	13.81	13.72	13.64	13.58	13.52	13.47	13.42	13.38
8.0	-	21.74	18.63	17.32	16.50	15.93	15.51	15.17	14.91	14.69	14.51	14.36	14.23	14.12	14.03	13.95	13.88	13.82	13.76	13.72	13.68
8.5	-	22.82	19.17	17.76	16.90	16.30	15.86	15.51	15.23	15.01	14.82	14.67	14.53	14.42	14.32	14.24	14.17	14.10	14.05	14.00	13.96
9.0	-	24.12	19.70	18.19	17.28	16.66	16.19	15.83	15.55	15.31	15.12	14.96	14.82	14.71	14.61	14.52	14.45	14.38	14.32	14.27	14.23
9.5	-	26.45	20.22	18.61	17.66	17.00	16.52	16.15	15.85	15.61	15.41	15.24	15.10	14.98	14.88	14.79	14.71	14.65	14.59	14.54	14.49
10.0	-	-	20.74	19.02	18.02	17.34	16.84	16.45	16.14	15.90	15.69	15.52	15.37	15.25	15.14	15.05	14.97	14.90	14.84	14.79	14.75

[0111]

[0112] 표 9

[0113]

10°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 1ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	-	-	-	-	-	-	15.45	13.29	12.37	11.80	11.40	11.11	10.88	10.70	10.55	10.42	10.32	10.23	10.16	10.09	10.04
2.0	-	-	-	-	-	-	-	15.24	13.94	13.21	12.71	12.35	12.07	11.85	11.67	11.53	11.40	11.30	11.21	11.14	11.07
2.5	-	-	-	-	-	-	-	17.11	15.34	14.43	13.84	13.41	13.09	12.83	12.63	12.46	12.32	12.21	12.11	12.02	11.95
3.0	-	-	-	-	-	-	-	19.04	16.64	15.53	14.84	14.35	13.99	13.70	13.47	13.29	13.13	13.00	12.89	12.80	12.72
3.5	-	-	-	-	-	-	-	21.26	17.86	16.55	15.76	15.21	14.80	14.48	14.23	14.03	13.86	13.72	13.60	13.49	13.41
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	19.03	17.50	16.60	15.99	15.54	15.20	14.93	14.70	14.52	14.37	14.24	14.13	14.03
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	20.18	18.39	17.39	16.72	16.24	15.86	15.57	15.33	15.13	14.97	14.83	14.71	14.61
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	21.32	19.25	18.14	17.41	16.88	16.48	16.16	15.91	15.70	15.53	15.38	15.25	15.15
5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	22.46	20.07	18.85	18.06	17.49	17.06	16.73	16.46	16.23	16.05	15.89	15.76	15.65
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	23.62	20.86	19.52	18.67	18.07	17.61	17.26	16.97	16.74	16.54	16.38	16.24	16.12
6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	24.84	21.62	20.17	19.26	18.62	18.14	17.76	17.46	17.22	17.01	16.84	16.70	16.57
7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	26.15	22.37	20.79	19.82	19.14	18.64	18.24	17.93	17.67	17.46	17.28	17.13	17.00
7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	27.62	23.11	21.40	20.36	19.65	19.11	18.70	18.37	18.11	17.88	17.70	17.54	17.41
8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	29.49	23.83	21.98	20.88	20.13	19.57	19.14	18.80	18.52	18.29	18.10	17.94	17.80
8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.54	22.55	21.39	20.60	20.02	19.57	19.21	18.92	18.68	18.48	18.32	18.17
9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.24	23.10	21.88	21.05	20.44	19.98	19.61	19.31	19.06	18.86	18.68	18.53
9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.94	23.64	22.35	21.49	20.86	20.37	19.99	19.68	19.43	19.21	19.03	18.88
10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.63	24.17	22.81	21.91	21.26	20.76	20.36	20.04	19.78	19.56	19.37	19.22

[0114] 표 10

[0115]

10°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 2ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	-	-	-	-	-	-	14.69	13.08	12.27	11.74	11.37	11.09	10.87	10.69	10.54	10.42	10.32	10.23	10.16	10.09	10.04
2.0	-	-	-	-	-	-	17.92	14.92	13.81	13.13	12.67	12.32	12.05	11.84	11.67	11.52	11.40	11.30	11.21	11.14	11.07
2.5	-	-	-	-	-	-	-	16.65	15.17	14.34	13.79	13.38	13.07	12.82	12.62	12.46	12.32	12.20	12.11	12.02	11.95
3.0	-	-	-	-	-	-	-	18.36	16.43	15.43	14.79	14.32	13.97	13.69	13.46	13.28	13.13	13.00	12.89	12.80	12.72
3.5	-	-	-	-	-	-	-	20.14	17.60	16.43	15.69	15.17	14.78	14.47	14.22	14.02	13.85	13.71	13.59	13.49	13.40
4.0	-	-	-	-	-	-	-	22.17	18.73	17.36	16.53	15.95	15.52	15.18	14.92	14.70	14.52	14.36	14.23	14.13	14.03
4.5	-	-	-	-	-	-	-	25.31	19.81	18.24	17.32	16.68	16.21	15.84	15.56	15.32	15.13	14.96	14.83	14.71	14.61
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	20.88	19.08	18.05	17.36	16.85	16.46	16.15	15.90	15.69	15.52	15.38	15.25	15.15
5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	21.93	19.88	18.75	18.00	17.46	17.04	16.71	16.45	16.23	16.05	15.89	15.76	15.65
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	22.99	20.65	19.42	18.62	18.03	17.59	17.24	16.96	16.73	16.54	16.38	16.24	16.12
6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	24.06	21.40	20.06	19.20	18.58	18.11	17.75	17.45	17.21	17.01	16.84	16.69	16.57
7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	25.16	22.12	20.68	19.76	19.10	18.61	18.23	17.92	17.66	17.45	17.28	17.13	17.00
7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	26.33	22.83	21.27	20.30	19.61	19.09	18.69	18.36	18.10	17.88	17.70	17.54	17.41
8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	27.58	23.53	21.85	20.81	20.09	19.55	19.13	18.79	18.52	18.29	18.10	17.93	17.80
8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	29.01	24.21	22.41	21.31	20.55	19.99	19.55	19.20	18.92	18.68	18.48	18.31	18.17
9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	30.83	24.88	22.95	21.80	21.00	20.42	19.96	19.60	19.30	19.06	18.85	18.68	18.53
9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.55	23.48	22.27	21.44	20.83	20.36	19.98	19.67	19.42	19.21	19.03	18.88
10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.21	24.00	22.73	21.86	21.23	20.74	20.35	20.03	19.77	19.56	19.37	19.22

[0116] 표 11

10°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 5ms)

Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																				
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	-	-	-	-	-	-	14.34	12.96	12.21	11.71	11.35	11.08	10.86	10.68	10.54	10.42	10.32	10.23	10.16	10.09	10.04
2.0	-	-	-	-	-	-	17.05	14.75	13.73	13.09	12.64	12.31	12.04	11.83	11.66	11.52	11.40	11.30	11.21	11.14	11.07
2.5	-	-	-	-	-	-	-	16.41	15.08	14.29	13.76	13.36	13.06	12.82	12.62	12.45	12.32	12.20	12.10	12.02	11.95
3.0	-	-	-	-	-	-	-	18.02	16.31	15.37	14.75	14.30	13.95	13.68	13.46	13.28	13.13	13.00	12.89	12.80	12.72
3.5	-	-	-	-	-	-	-	19.65	17.46	16.36	15.66	15.15	14.76	14.46	14.22	14.02	13.85	13.71	13.59	13.49	13.40
4.0	-	-	-	-	-	-	-	21.39	18.55	17.29	16.49	15.93	15.50	15.17	14.91	14.69	14.51	14.36	14.23	14.12	14.03
4.5	-	-	-	-	-	-	-	23.44	19.61	18.16	17.27	16.65	16.19	15.83	15.55	15.32	15.12	14.96	14.82	14.71	14.61
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	20.64	18.98	18.00	17.33	16.83	16.45	16.15	15.90	15.69	15.52	15.37	15.25	15.14
5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	21.65	19.77	18.70	17.97	17.44	17.03	16.71	16.44	16.23	16.04	15.89	15.76	15.65
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	22.65	20.53	19.36	18.58	18.01	17.58	17.24	16.96	16.73	16.54	16.38	16.24	16.12
6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	23.66	21.26	20.00	19.16	18.56	18.10	17.74	17.45	17.21	17.01	16.84	16.69	16.57
7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	24.69	21.98	20.61	19.72	19.08	18.60	18.22	17.91	17.66	17.45	17.28	17.13	17.00
7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	25.75	22.67	21.20	20.26	19.58	19.08	18.68	18.36	18.09	17.88	17.69	17.54	17.41
8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	26.85	23.35	21.77	20.77	20.06	19.53	19.12	18.78	18.51	18.28	18.09	17.93	17.80
8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	28.04	24.02	22.32	21.27	20.53	19.97	19.54	19.19	18.91	18.68	18.48	18.31	18.17
9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	29.37	24.68	22.86	21.75	20.98	20.40	19.95	19.59	19.30	19.05	18.85	18.68	18.53
9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	30.97	25.33	23.39	22.22	21.41	20.81	20.34	19.97	19.67	19.42	19.21	19.03	18.88
10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	33.69	25.97	23.90	22.68	21.83	21.21	20.73	20.34	20.03	19.77	19.55	19.37	19.22

[0117]

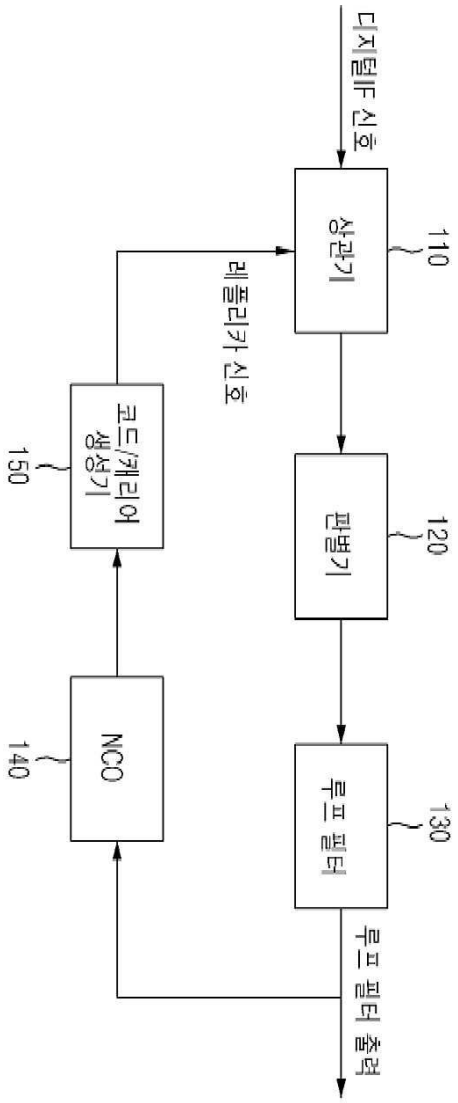
[0118] 표 12

10°의 phase margin 을 갖기 위한 Noise Bandwidth 의 최소값 [Hz] (PIT = 10ms)																						
Maximum line-of-sight jerk stress [g/s]	C/N_0 [dB-Hz]																					
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1.5	-	-	-	-	-	-	14.23	12.92	12.19	11.70	11.34	11.07	10.86	10.68	10.54	10.42	10.32	10.23	10.16	10.09	10.04
2.0	-	-	-	-	-	-	16.83	14.69	13.70	13.08	12.64	12.30	12.04	11.83	11.66	11.52	11.40	11.30	11.21	11.14	11.07
2.5	-	-	-	-	-	-	20.63	16.33	15.04	14.28	13.75	13.36	13.05	12.81	12.62	12.45	12.32	12.20	12.10	12.02	11.95
3.0	-	-	-	-	-	-	-	17.91	16.27	15.35	14.74	14.29	13.95	13.68	13.46	13.28	13.12	13.00	12.89	12.80	12.72
3.5	-	-	-	-	-	-	-	19.50	17.41	16.34	15.64	15.14	14.76	14.46	14.21	14.02	13.85	13.71	13.59	13.49	13.40
4.0	-	-	-	-	-	-	-	21.17	18.50	17.26	16.48	15.92	15.50	15.17	14.91	14.69	14.51	14.36	14.23	14.12	14.03
4.5	-	-	-	-	-	-	-	23.07	19.54	18.13	17.25	16.64	16.19	15.83	15.55	15.31	15.12	14.96	14.82	14.71	14.61
5.0	-	-	-	-	-	-	-	25.80	20.56	18.95	17.99	17.32	16.83	16.45	16.14	15.90	15.69	15.52	15.37	15.25	15.14
5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	21.56	19.73	18.68	17.96	17.43	17.03	16.70	16.44	16.22	16.04	15.89	15.76	15.65
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	22.55	20.49	19.34	18.57	18.01	17.58	17.23	16.96	16.73	16.54	16.38	16.24	16.12
6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	23.54	21.22	19.98	19.15	18.55	18.10	17.74	17.44	17.20	17.00	16.84	16.69	16.57
7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	24.55	21.93	20.59	19.71	19.08	18.59	18.22	17.91	17.66	17.45	17.27	17.13	17.00
7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	25.57	22.62	21.18	20.24	19.58	19.07	18.67	18.36	18.09	17.88	17.69	17.54	17.41
8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	26.64	23.30	21.74	20.76	20.06	19.53	19.11	18.78	18.51	18.28	18.09	17.93	17.80
8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	27.78	23.96	22.30	21.26	20.52	19.97	19.54	19.19	18.91	18.68	18.48	18.31	18.17
9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	29.02	24.62	22.83	21.74	20.97	20.39	19.95	19.59	19.30	19.05	18.85	18.68	18.53
9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	30.45	25.26	23.36	22.21	21.40	20.81	20.34	19.97	19.67	19.42	19.21	19.03	18.88
10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	32.36	25.89	23.87	22.66	21.82	21.20	20.72	20.34	20.03	19.77	19.55	19.37	19.22

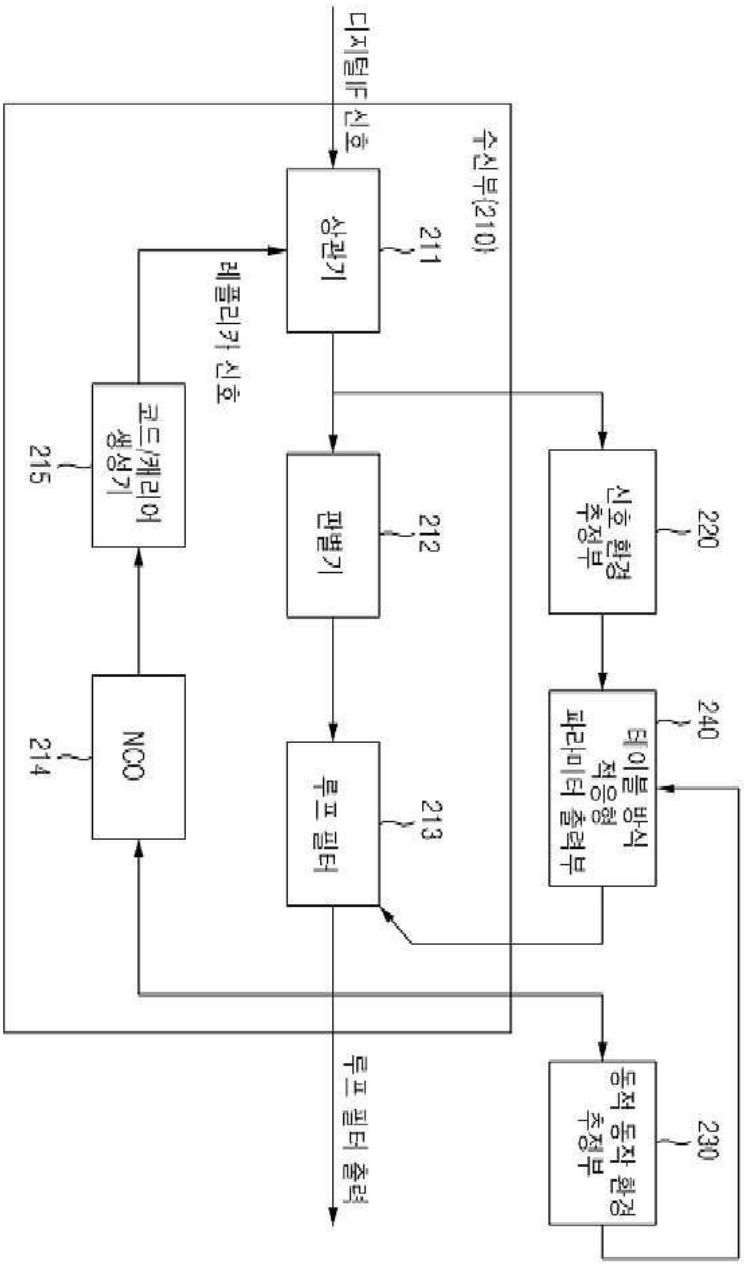
[0119]

도면

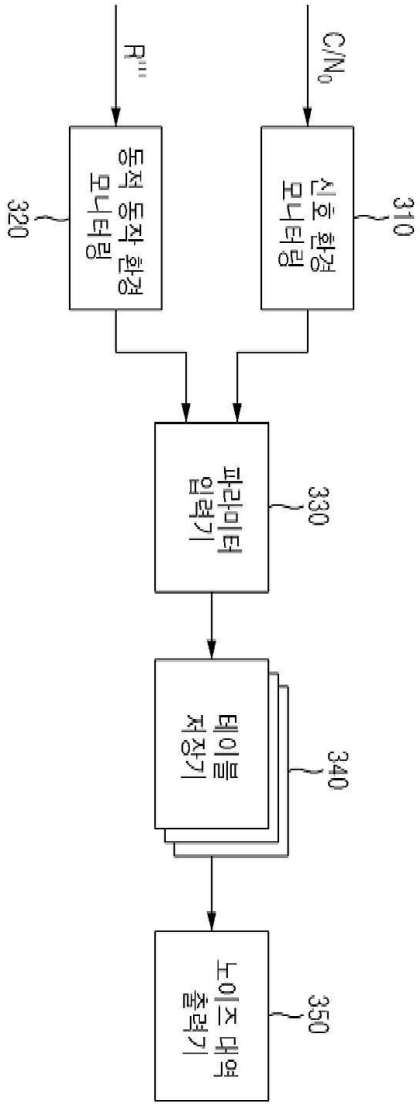
도면1


디지털IF 신호
상관기
110
레플리카 신호
판별기
120
루프 필터
130
루프 필터 출력
NCO
140
코드/캐리어 생성기
150

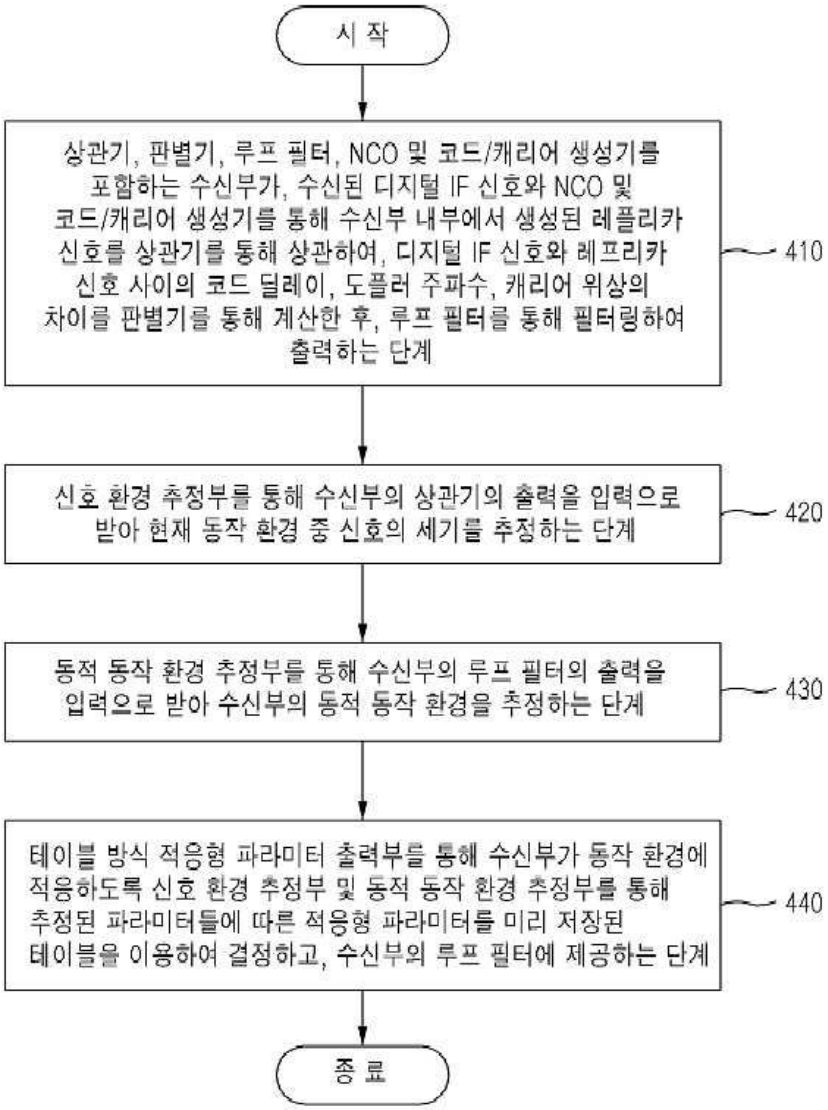
도면2


디지털IF 신호
수신부(210)
상관기
211
레플리카 신호
코드/캐리어 생성기
215
판별기
212
신호 환경 추정부
220
NCO
214
루프 필터
213
테이블 방식 적응형 파라미터 출력부
240
동적 동작 환경 추정부
230
루프 필터 출력

도면3


R''
C/N0
동적 동작 환경 모니터링
320
신호 환경 모니터링
310
파라미터 입력기
330
테이블 저장기
340
노이즈 대역 출력기
350

도면4


시 작
상관기, 판별기, 루프 필터, NCO 및 코드/캐리어 생성기를 포함하는 수신부가, 수신된 디지털 IF 신호와 NCO 및 코드/캐리어 생성기를 통해 수신부 내부에서 생성된 레플리카 신호를 상관기를 통해 상관하여, 디지털 IF 신호와 레프리카 신호 사이의 코드 딜레이, 도플러 주파수, 캐리어 위상의 차이를 판별기를 통해 계산한 후, 루프 필터를 통해 필터링하여 출력하는 단계
410
신호 환경 추정부를 통해 수신부의 상관기의 출력을 입력으로 받아 현재 동작 환경 중 신호의 세기를 추정하는 단계
420
동적 동작 환경 추정부를 통해 수신부의 루프 필터의 출력을 입력으로 받아 수신부의 동적 동작 환경을 추정하는 단계
430
테이블 방식 적응형 파라미터 출력부를 통해 수신부가 동작 환경에 적응하도록 신호 환경 추정부 및 동적 동작 환경 추정부를 통해 추정된 파라미터들에 따른 적응형 파라미터를 미리 저장된 테이블을 이용하여 결정하고, 수신부와 루프 필터에 제공하는 단계
440
종 료