



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0075343
(43) 공개일자 2020년06월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 25/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 25/03063 (2013.01)
H04L 25/03267 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0163908
(22) 출원일자 2018년12월18일
심사청구일자 2018년12월18일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
강진구
서울특별시 서초구 양재대로2길 109, 101동 1104호(우면동, 서초참누리에코리치)
백상훈
경기도 오산시 수목원로 615, 103동 1101호(세교동, 잔다리마을1단지아파트)
(74) 대리인
양성보

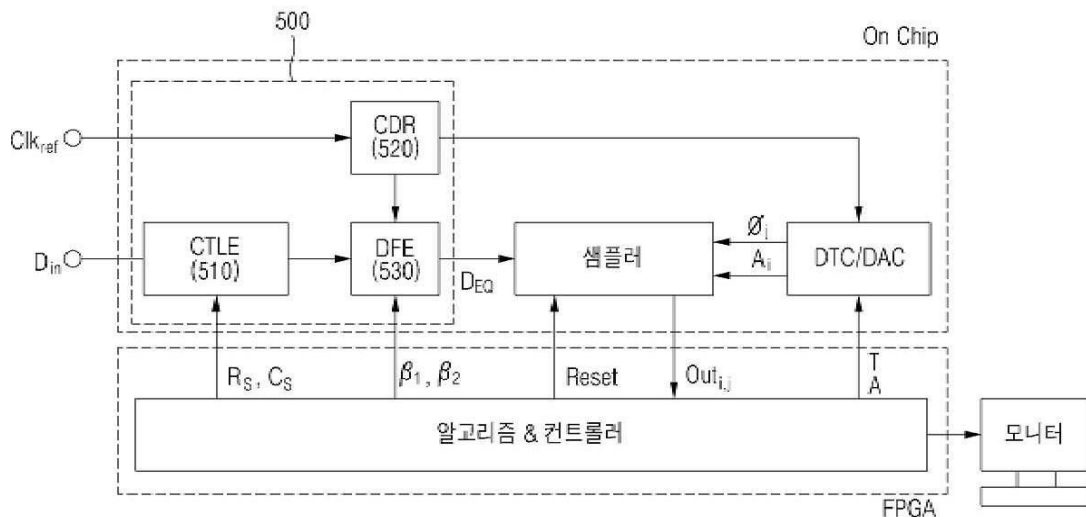
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 적응형 등화 시스템

(57) 요약

신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템 및 방법이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템은 경사 하강 알고리즘을 이용하여 계수를 조절하고 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정하는 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer) 및 각 탭의 가중치를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료하는 DFE(Decision Feedback Equalizer)를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H04L 25/03885 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

경사 하강 알고리즘을 이용하여 계수를 조절하고 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정하는 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer); 및

각 탭의 가중치를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료하는 DFE(Decision Feedback Equalizer)

를 포함하는 적응형 등화 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적응형 등화 시스템의 아이 다이어그램의 눈 열림의 면적을 CTLE와 DFE의 계수에 따른 함수이고, 경사 하강 알고리즘을 적용하였을 때의 그래디언트 계산은 적응형 등화 시스템의 각 계수의 미소량 변화 대비 눈 열림의 면적 변화를 이용하는

적응형 등화 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

CTLE 및 DFE를 통해 두 단계에서 각각 두 개의 계수를 조절하고, 각 단계에서 눈 열림의 면적은 두 계수에 의한 이변수 함수인

적응형 등화 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

CTLE 및 DFE를 통한 두 개의 계수(C_1 과 C_2) 조절 방법은,

C_1 과 C_2 의 현재 값에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고;

C_1 을 미소량 변화시킨 후, C_1 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고 C_1 을 초기화하고;

C_2 를 미소량 변화시킨 후, C_2 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고, C_2 를 초기화하고;

각 계수의 변화에 따른 눈 열림 면적과 초기 눈 열림 면적 간 차를 구하고;

각 경우의 눈 열림 면적 차를 각 계수 미소 변화량으로 나누어 그래디언트를 계산하고;

계산한 그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1 , C_2 에 더하는

적응형 등화 시스템.

청구항 5

CTLE(Continuous Time Linear Equalizer)를 통해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 계수를 조절하고 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정하는 단계; 및

DFE(Decision Feedback Equalizer)를 통해 각 탭의 가중치를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료하는 단계

를 포함하는 적응형 등화 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

CTLE 및 DFE를 통한 두 개의 계수(C_1 과 C_2) 조절 방법은,

C_1 과 C_2 의 현재 값에 따른 눈 열림의 면적을 저장하는 단계;

C_1 을 미소량 변화시킨 후, C_1 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고 C_1 을 초기화하는 단계;

C_2 를 미소량 변화시킨 후, C_2 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고, C_2 를 초기화하는 단계;

각 계수의 변화에 따른 눈 열림 면적과 초기 눈 열림 면적 간 차를 구하는 단계;

각 경우의 눈 열림 면적 차를 각 계수 미소 변화량으로 나누어 그래디언트를 계산하는 단계; 및

계산한 그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1 , C_2 에 더하는 단계

를 포함하는 적응형 등화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터 및 경사 하강 알고리즘을 이용한 등화기 계수 조절을 통해 BER을 향상시키는 적응형 등화 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 초당 수 기가비트의 전송 속도를 가지는 고속 인터페이스 내의 리시버 시스템의 성능은 리시버 시스템을 통과한 신호의 BER(Bit Error Rate)로 측정하는 것이 일반적이다. 이 때, 최적의 BER 성능을 얻기 위해서는 신호의 샘플링 포인트를 찾는 알고리즘과 등화기(Equalizer)의 각 계수들을 조절하는 적응형 등화기(Adaptive Equalizer) 알고리즘이 필요하다. BER을 정확히 측정하기 위해 리시버에서 받아들인 많은 수의 신호 샘플을 입력 신호와 직접 비교하는 방법이 이상적이지만, 이는 측정 시간이 오래 걸리기 때문에 현실적으로 사용이 불가능하다. 따라서 리시버를 통과한 신호의 BER을 측정하기 위해 여러 방법들이 고안되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 리시버를 통과한 신호의 눈 열림을 관측하고 이를 통해 BER을 추정하는 한편, 신호의 최적 샘플링 포인트를 찾아 이를 리시버 시스템에 적용함으로써 BER을 최소화하고, 딥 러닝에서 사용되는 함수 최적화 알고리즘인 경사 하강 알고리즘을 통해 리시버 시스템에서 사용되는 등화기인 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer)와 DFE(Decision Feedback Equalizer)의 여러 계수를 실시간으로 조절하여 BER을 최소화하는 알고리즘을 적용한 적응형 시스템을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0004] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템은 경사 하강 알고리즘을 이용하여 계수를 조절하고 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정하는 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer) 및 각 탭의 가중치를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료하는 DFE(Decision Feedback Equalizer)를 포함한다.

[0005] 상기 적응형 등화 시스템의 아이 다이어그램의 눈 열림의 면적을 CTLE와 DFE의 계수에 따른 함수이고, 경사 하강 알고리즘을 적용하였을 때의 그래디언트 계산은 적응형 등화 시스템의 각 계수의 미소량 변화 대비 눈 열림의 면적 변화를 이용한다.

[0006] CTLE 및 DFE를 통해 두 단계에서 각각 두 개의 계수를 조절하고, 각 단계에서 눈 열림의 면적은 두 계수에 의한 이변수 함수이다.

[0007] CTLE 및 DFE를 통한 두 개의 계수(C_1 과 C_2) 조절 방법은 C_1 과 C_2 의 현재 값에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고; C_1 을 미소량 변화시킨 후, C_1 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고 C_1 을 초기화하고; C_2 를 미소량 변화시킨 후, C_2 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고, C_2 를 초기화하고; 각 계수의 변화에 따른 눈 열림 면적과 초기 눈 열림 면적 간 차를 구하고; 각 경우의 눈 열림 면적 차를 각 계수 미소 변화량으로 나누어 그래디언트를 계산하고; 계산한 그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1 , C_2 에 더한다.

[0008] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 방법은 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer)를 통해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 계수를 조절하고 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정하는 단계 및 DFE(Decision Feedback Equalizer)를 통해 각 탭의 가중치를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 실시예들에 따르면 2개의 비교기를 사용하는 구조를 갖는 샘플러를 이용한 기존의 눈 열림 시스템과 달리, 1개의 비교기만을 사용하는 구조를 갖는 눈 열림 모니터링 시스템을 이용하여, 고속 인터페이스 리시버에서는 더 작은 회로 면적과 소모 전력을 이용하여 현재 입력 신호의 품질 및 눈 열림 크기를 파악할 수 있다. 또한, 신호 카운팅 방식 기반의 샘플링 포인트 컨트롤 장치, 그리고 경사 하강 알고리즘을 이용한 적응형 등화 시스템을 이용하여 최적 샘플링 포인트를 찾고, 등화기의 계수를 최적 값으로 조절하여 BER을 최소화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 종래기술에 따른 정규 분포 곡선을 갖는 입력 신호에서의 통계적 눈 열림 모니터링 결과를 나타내는 도면이다.

도 2는 종래기술에 따른 통계적 시그마 추적 눈 열림 모니터링 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.

도 3은 종래기술에 따른 마스크를 이용한 눈 열림 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 종래기술에 따른 마스크를 이용한 눈 열림 모니터링 시스템의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템의 전체 구조를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식의 눈 열림 모니터링 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 제안하는 샘플러의 블록 다이어그램과 구조를 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 샘플링 위상과 샘플링 크기에 따른 카운터 출력을 비교하는 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 CTLE를 이용한 리시버의 채널 응답을 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 능동 CTLE의 구조와 전달 함수를 나타내는 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 커패시터 및 저항 값 조절에 따른 CTLE 이득을 나타내는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 N-Tap DFE의 구조를 나타내는 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 2-Tap DFE를 사용한 채널의 펄스 응답을 나타내는 그래프이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘의 극소점 수렴 문제를 설명하기 위한 도면이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘을 통한 등화기 계수 조절 과정을 설명하기 위한 흐름

도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템은 리시버를 통과한 신호의 눈 열림을 관측하고 이를 통해 BER을 추정하는 한편, 신호의 최적 샘플링 포인트를 찾아 이를 리시버 시스템에 적용함으로써 BER을 최소화하고, 딥 러닝에서 사용되는 함수 최적화 알고리즘인 경사 하강 알고리즘을 통해 리시버 시스템에서 사용되는 등화기인 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer)와 DFE(Decision Feedback Equalizer)의 여러 계수를 실시간으로 조절하여 BER을 최소화하는 알고리즘을 적용한 적응형 등화 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 실시예에 따른 적응형 등화 시스템을 이용하여 고속 인터페이스의 리시버 시스템은 현재 신호의 특성을 파악하고, 최적 샘플링 포인트와 등화기 계수를 찾음으로써 신호의 눈 열림을 최대화할 수 있다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0013] 도 1은 종래기술에 따른 정규 분포 곡선을 갖는 입력 신호에서의 통계적 눈 열림 모니터링 결과를 나타내는 도면이다.
- [0014] 종래기술에 따른 통계적 시그마 추적 눈 열림 모니터링 시스템(Statistical Sigma-Eye Opening Monitor; SS-EOM)은 전압에 따른 입력 신호의 분포가 정규분포 곡선을 갖는다고 가정하여, 입력 신호가 갖는 표준편차(σ)에 따라 BER을 추정하는 방법이다.
- [0016] 도 2는 종래기술에 따른 통계적 시그마 추적 눈 열림 모니터링 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.
- [0017] SS-EOM 방식은 입력 신호를 샘플링 하여 카운트 동작을 수행한 뒤, 그 결과로 나온 값을 기준 확률을 사용한 카운트 값과 비교하여 결정 문턱 값(Decision Threshold)을 증감시키는 과정을 반복하여, 결정 문턱 값이 특정한 값에 수렴하면 해당 값이 갖는 표준편차 값을 파악하여 이에 따른 통계적 BER 수치를 입력 신호의 BER이라고 판단하는 방식으로 동작한다.
- [0018] SS-EOM 방식은 간단한 구조의 샘플러로 구현이 가능하다는 장점이 있지만, 사용 채널마다 기준 확률이 다르고, 채널 열화에 따른 로스와 기준 확률 간의 명확한 관계식이 나와 있지 않다는 점에서 한계를 가진다.
- [0020] 도 3은 종래기술에 따른 마스크를 이용한 눈 열림 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0021] 종래기술에 따른 마스크 이용 눈 열림 모니터링 시스템은 입력 신호의 아이 다이어그램 내부에 여러 개의 직사각형 마스크를 씌우고, 에러가 일정 비율 이하로 나타날 때의 마스크의 크기를 이용하여 눈 열림의 크기를 측정하는 방법이다.
- [0023] 도 4는 종래기술에 따른 마스크를 이용한 눈 열림 모니터링 시스템의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0024] 마스크 이용 눈 열림 모니터링 시스템은 입력 신호의 아이 다이어그램 내부에 직사각형 마스크를 씌우고, 마스크의 가장자리에 해당하는 클럭 위상에서 데이터를 샘플링 하여 나타나는 오류의 비율을 이용하여 눈 열림의 크기를 판단하는 방식으로 동작한다.
- [0025] 마스크 이용 눈 열림 모니터링 시스템은 마스크의 개수에 따라 해상도를 늘려, 정확한 눈 열림 측정이 가능하다는 장점이 있지만, 이를 동작시키기 위한 회로 구성이 복잡해진다는 단점을 가진다.
- [0027] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템의 전체 구조를 나타내는 도면이다.
- [0028] 본 발명의 실시예에 따른 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 시스템은 SS-EOM 방식과 마스크 이용 눈 열림 모니터링 방식의 단점을 보완하여 1개의 비교기를 갖는 간단한 구조를 가지고, 기준 확률 없이 눈 열림 모니터링이 가능한 눈 열림 모니터링 시스템이다.

- [0029] 고속 인터페이스 내부의 리시버 시스템은 리시버에 사용되는 등화기(Equalizer)의 여러 계수를 조절하여 사용하는 채널 특성에 맞는 등화 성능을 내는 적응형 등화 시스템을 갖출 수 있다. 적응형 등화 시스템은 리시버 시스템에서 사용되는 보편적인 등화기인 CTLE와 DFE의 계수를 조절할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면 딥 러닝에서 사용되는 기본적인 함수 최적화 알고리즘인 경사 하강 알고리즘(Gradient Descent Algorithm)을 이용하고, 이를 이용하여 CTLE와 DFE의 계수를 조절할 수 있다.
- [0030] 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템(500)은 CTLE(Continuous Time Linear Equalizer)(510) 및 DFE(Decision Feedback Equalizer)(530)를 포함한다.
- [0031] CTLE(510)는 경사 하강 알고리즘을 이용하여 계수를 조절하고 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정한다.
- [0032] CDR(Clock Data Recovery)(520)로부터 클럭을 입력 받은 DFE(530)는 각 탭의 가중치를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료한다.
- [0033] 적응형 등화 시스템은 눈 열림 모니터링 시스템에서 생성한 카운터 출력 기반 아이 다이어그램을 이용하여 현재 입력 신호의 눈 열림의 면적을 계산하고, 눈 열림의 면적을 BER 성능 지표로 이용함으로써 눈 열림의 면적이 가장 클 때의 등화기 계수를 찾아 BER 성능을 최대화한다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 따른 적응형 등화 시스템에서 사용된 경사 하강 알고리즘은 CTLE와 DFE의 계수를 조절하여 BER 성능을 최대화하는 것을 목적으로 한다. 이 때, BER 성능은 눈 열림 모니터링 시스템에서 생성한 카운터 출력 기반 아이 다이어그램의 눈 열림의 면적이 클수록 좋다고 할 수 있으므로, 적응형 등화 시스템은 눈 열림의 면적이 가장 큰 지점을 찾아가는 방향으로 등화기의 계수를 조절한다.
- [0035] 경사 하강 알고리즘을 통한 변수 값의 조절은 현재 변수 값에서의 그래디언트 계산 단계와 그래디언트의 반대 방향으로의 변수 값 이동 단계의 총 두 단계로 이루어진다. 이 때, 본 발명의 실시예에 따른 적응형 등화 시스템은 아이 다이어그램의 눈 열림의 면적을 CTLE와 DFE의 계수에 따른 함수로 가정하였으므로 경사 하강 알고리즘을 적용하였을 때의 그래디언트 계산은 등화기의 각 계수의 미소량 변화 대비 눈 열림의 면적 변화를 이용하였다.
- [0036] 등화기 계수 조절은 두 단계로 이루어진다. 먼저 경사 하강 알고리즘을 이용하여 CTLE의 계수인 R_5 와 C_5 를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정한다. 그 후 리시버 시스템에 사용한 2-Tap DFE의 각 탭의 가중치인 β_1 와 β_2 를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 종료한다.
- [0037] 등화기 계수 조절의 두 단계에서 적응형 등화 시스템은 각각 두 개의 계수를 조절하므로, 이 때 각 단계에서 눈 열림의 면적은 두 계수에 의한 이변수 함수라 할 수 있다. 따라서 두 계수를 각각 C_1 , C_2 라 했을 때, 경사 하강 알고리즘을 이용하여 CTLE 및 DFE를 통해 두 개의 등화기 계수(C_1 과 C_2)를 조절하는 방법은 다음의 단계들로 이루어진다:
- [0038] 1. C_1 과 C_2 의 현재 값에 따른 눈 열림의 면적을 저장하는 단계.
- [0039] 2. C_1 을 미소량 변화시킨 후, C_1 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고 C_1 을 초기화하는 단계.
- [0040] 3. C_2 를 미소량 변화시킨 후, C_2 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고, C_2 를 초기화하는 단계.
- [0041] 4. 각 계수의 변화에 따른 눈 열림 면적과 초기 눈 열림 면적 간 차를 구하는 단계.
- [0042] 5. 각 경우의 눈 열림 면적 차를 각 계수 미소 변화량으로 나누어 그래디언트를 계산하는 단계
- [0043] 6. 계산한 그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1 , C_2 에 더하는 단계.
- [0044] 도 9 내지 도 17을 참조하여 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 시스템의 동작을 더욱 상세히 설명한다.
- [0046] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식의 눈 열림 모니터링 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.

[0047] 입력 신호는 계수를 조절할 수 있도록 적응형으로 설계된 등화기인 CTLE와 DFE를 거쳐 샘플러의 입력으로 들어가고, 샘플러는 위상 정보 및 크기 정보를 이용하여 등화된 입력 신호를 샘플링 하여 그 출력을 눈 열림 모니터링 알고리즘 블록으로 전송한다. 눈 열림 모니터링을 위한 컨트롤 장치는 샘플러의 출력을 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 한편, 샘플링 위상 값 및 샘플링 크기 값을 제어하여 아날로그 블록인 DTC 및 DAC로 전송한다.

[0049] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 제안하는 샘플러의 블록 다이어그램과 구조를 나타내는 도면이다.

[0050] 샘플러는 DTC로부터 받은 샘플링 위상에서 등화된 데이터를 DAC로부터 받은 샘플링 크기와 비교하여, 그 결과를 11비트 카운터를 통해 출력하는 회로이다. FPGA는 각 샘플링 위상(Φ)과 샘플링 크기(A)에서의 카운터 출력 값을 이용하여 눈 열림을 모니터링 한다.

[0051] 샘플러는 샘플링 & 래치 구조로 등화 데이터를 샘플링 하도록 설계하였으며, 샘플링 크기가 입력 데이터의 전압 스윙 값의 절반인 부분을 기준으로 비교기의 입력 노드가 바뀌어, 한 개의 비교기만으로 모든 샘플링 포인트에서의 샘플링 동작이 가능하도록 설계하였다.

[0053] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 샘플링 위상과 샘플링 크기에 따른 카운터 출력을 비교하는 도면이다.

[0054] 등화 데이터의 0/1 및 1/0 천이 확률이 동일하다고 가정하였을 시, 등화 데이터에서 눈이 열린 구간의 샘플러 출력 값은 총 데이터 개수의 절반이 될 것이다. 이 때, 각 샘플링 위상에 따른 샘플러 출력을 분석했을 때, 데이터 아이의 중앙 부분과 엣지 부분에서 샘플링 크기에 따른 카운터 출력 모양에 차이가 존재한다. 샘플링 크기를 증가시키면서 카운터 출력을 관측하였을 때, 카운터 출력은 샘플링 크기가 입력 데이터가 가지고 있는 전압 값에 해당하는 부분에서 증가하므로, 샘플링 크기의 중앙 부분에서 데이터 아이의 중앙 부분에서는 카운터 출력이 완만한 모양을 갖고, 데이터 아이의 엣지 부분에서는 카운터 출력이 뾰족한 모양을 갖게 된다.

[0055] DTC 및 DAC 제어 블록은 샘플러가 동작하는 동안 N_s 개의 입력 신호마다 샘플링 크기 값을 증가시키고, 이후 한 샘플링 위상에서 모든 샘플링 크기를 이용하여 샘플러 동작을 수행한 후에는 샘플링 위상 값을 변화시키는 방식으로 동작한다. 이러한 방식으로 눈 열림을 모니터링 했을 시, 초당 D_b 의 속도를 가지는 신호의 1UI의 데이터 아이를 관측하는 데 걸리는 시간은 다음과 같다.

$$T_{monitor} = \frac{N_s \times A_i \times \Phi_j}{D_b} \quad \text{수학식 (1)}$$

[0058] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 CTLE를 이용한 리시버의 채널 응답을 나타내는 그래프이다.

[0059] CTLE(Continuous Time Linear Equalizer)는 고속 인터페이스 내의 리시버 시스템에서 입력 신호의 눈 열림의 크기를 키워 BER 성능을 향상시켜주는 회로이다. CTLE는 수동 소자인 저항과 커패시터를 사용하여 고역 통과 전달 함수를 생성하여 채널 로스를 보상해주고, 프리-커서(Pre-cursor)와 심볼간 간섭(Inter Symbol Interference)을 없애 신호의 눈 열림의 크기를 키워준다. 이 때, CTLE는 트랜지스터를 이용한 증폭기와 함께 쓰여 이득을 높여 사용하기도 한다.

[0061] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 능동 CTLE의 구조와 전달 함수를 나타내는 도면이다.

[0062] 도 10의 구조를 갖는 CTLE에서, 설계자는 영점(Zero)과 극점(Pole)의 위치를 조절하여 보상하고자 하는 주파수 대역을 맞출 수 있으며, 이 때의 이득 값 또한 조절할 수 있다. 이 때 CTLE의 전달함수와 영점 및 극점의 위치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H(s) = \frac{g_m}{C_p} \frac{s + \frac{1}{R_s C_s}}{(s + \frac{1 + g_m R_s / 2}{R_s C_s})(s + \frac{1}{R_D C_p})}$$

[0063] 수학식(2)

$$\omega_z = \frac{1}{R_s C_s}, \omega_{p1} = \frac{1 + g_m R_s / 2}{R_s C_s}, \omega_{p2} = \frac{1}{R_D C_p}$$

[0064] 수학식(3)

[0065] 또한 DC 이득 및 이상적 피크 이득은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$DC\ gain = \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_s / 2}, \text{ Ideal peak gain} = g_m R_D$$

[0066] 수학식(4)

[0067] 따라서 이상적인 피크 지수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Ideal Peaking} = \frac{\text{Ideal peak gain}}{DC\ gain} = \frac{\omega_{p1}}{\omega_z} = 1 + g_m R_s / 2$$

[0068] 수학식(5)

[0070] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 커패시터 및 저항 값 조절에 따른 CTLE 이득을 나타내는 그래프이다.

[0071] CTLE에 사용되는 저항 및 커패시터는 가변 소자로 설계할 수 있으며, 적응형 등화 시스템에서는 저항 및 커패시터의 값을 바꿈으로써 CTLE가 갖는 영점 및 극점의 위치를 바꾸고, 이에 따라 현재 채널 특성에 최적화된 등화 성능을 나타내게 된다. 이 때, 수학식(3)에 따라 C_s 의 값이 증가하였을 경우 영점 및 제 1극점의 위치가 더 낮은 주파수 방향으로 이동하게 된다. 또한, R_s 의 값이 증가하였을 경우 영점의 위치가 더 낮은 주파수 방향으로 이동하게 되며, 피크 지수가 증가하게 된다.

[0073] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 N-Tap DFE의 구조를 나타내는 도면이다.

[0074] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 2-Tap DFE를 사용한 채널의 펄스 응답을 나타내는 그래프이다.

[0075] DFE(Decision Feedback Equalizer)는 고속 인터페이스 내의 리시버 시스템에서 피드백 필터를 이용하여 입력 신호의 심볼간 간섭을 없애 BER 성능을 향상시켜주는 회로이다. DFE는 백 채널을 사용하지 않고도 회로에 사용되는 각 탭(Tap)의 계수를 조절할 수 있다는 장점이 있으며, 노이즈와 크로스톡에 강하다는 이점을 가지고 있다.

[0076] DFE는 비교기를 거친 입력 신호를 피드백 필터 내의 각 탭에서 지연시켜, 지연시킨 각각의 신호를 원래 신호에서 빼내는 방식으로 동작한다. 이 때 각 탭에서 지연시킨 신호에는 가중치(Weight)가 곱해지게 되며, 이 가중치를 조절함으로써 적응형 등화기로서 설계할 수 있다.

[0078] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

[0079] 경사 하강 알고리즘(Gradient Descent Algorithm)은 함수의 그래디언트를 이용하여 함수가 최솟값이 되는 지점을 찾는 알고리즘으로, 최근 딥 러닝에서 기본적으로 활용되고 있는 함수 최적화 알고리즘이다.

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)$$

[0080] 수학식(6)

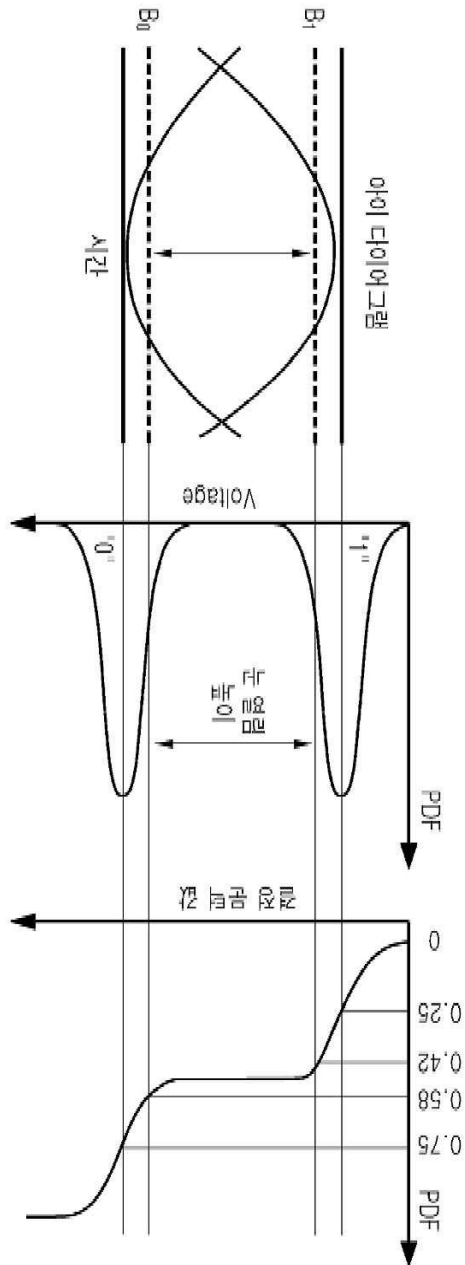
[0081] 수학식(6)과 같이 나타나는 다변수 함수 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 의 그래디언트는 그 방향이 함수의 값이 가장 크게 증가하는 방향을 나타내고, 그 크기는 함수의 값이 증가하는 정도를 나타내는 벡터이다. 또한 이 그래디언트에 음수를 취한 값은 반대로 함수의 값이 가장 크게 감소하는 방향과 그 정도를 나타내는 벡터이다. 경사 하강 알고리즘은 그래디언트의 특성을 이용하여 함수의 값을 최소화시키기 위한 변수의 값을 찾는 방법이다.

- [0082] $x_{n+1} = x_n - \gamma_n \nabla f(x_n)$ 수학적식(7)
- [0083] 경사 하강 알고리즘을 수식으로 나타내면 수학적식(7)과 같다. 그래디언트에 음수를 취하여 현재 변수의 값에서 뺌으로써 함수의 값이 감소하는 방향을 향해 변수의 값을 이동시키는 방식으로 알고리즘이 동작하게 되며, 변수의 값이 수렴하는 속도는 γ_n , 즉 스텝 사이즈를 통해 조절할 수 있다.
- [0085] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘의 극소점 수렴 문제를 설명하기 위한 도면이다.
- [0086] 경사 하강 알고리즘을 이용하면 단순한 연산만으로 쉽게 함수의 최솟값을 찾아갈 수 있지만, 스텝 사이즈를 적절하게 설정하지 않으면 변수의 수렴 속도가 느리거나, 함수의 전체 최솟값이 아닌 극소점(Local Minima)에 수렴하게 되는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 이동하는 방향에 관성을 준 모멘텀(Momentum) 방법, 각 변수마다 스텝 사이즈를 다르게 설정하여 이동하는 적응형 그래디언트(Adaptive Gradient) 방법 등 경사 하강 알고리즘을 변형한 통계적 경사 하강 알고리즘(Stochastic Gradient Descent) 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.
- [0088] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 적응형 등화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0089] 본 발명의 실시예에 따른 적응형 등화 시스템에서 사용된 경사 하강 알고리즘은 CTLE와 DFE의 계수를 조절하여 BER 성능을 최대화하는 것을 목적으로 한다. 이 때, BER 성능은 눈 열림 모니터링 시스템에서 생성한 카운터 출력 기반 아이 다이어그램의 눈 열림의 면적이 클수록 좋다고 할 수 있으므로, 적응형 등화 시스템은 눈 열림의 면적이 가장 큰 지점을 찾아가는 방향으로 등화기의 계수를 조절한다.
- [0090] 경사 하강 알고리즘을 통한 변수 값의 조절은 현재 변수 값에서의 그래디언트 계산 단계와 그래디언트의 반대 방향으로의 변수 값 이동 단계의 총 두 단계로 이루어진다. 이 때, 본 발명의 실시예에 따른 적응형 등화 시스템은 아이 다이어그램의 눈 열림의 면적을 CTLE와 DFE의 계수에 따른 함수로 가정하였으므로 경사 하강 알고리즘을 적용하였을 때의 그래디언트 계산은 등화기의 각 계수의 미소량 변화 대비 눈 열림의 면적 변화를 이용하였다.
- [0091] 등화기 계수 조절은 두 단계로 이루어진다. 먼저 초기 계수($R_s, C_s, \beta_1, \beta_2$)를 설정(1610)한다. 그리고, 경사 하강 알고리즘을 이용하여 CTLE의 계수인 R_s 와 C_s 를 조절한다(1620). 이후 눈 열림 모니터링(1630)을 수행하여, 눈 열림의 면적이 최대인지 판단(1640)한다. 눈 열림의 면적이 최대가 아닌 경우 단계(1620)부터 반복하고, 눈 열림의 면적이 최대인 경우에는 해당 CTLE 계수를 고정한다(1650).
- [0092] 이후, 리시버 시스템에 사용한 2-Tap DFE의 각 탭의 가중치인 β_1 와 β_2 를 조절한다(1660). 이후 눈 열림 모니터링(1670)을 수행하여, 눈 열림의 면적이 최대인지 판단(1680)한다. 눈 열림의 면적이 최대가 아닌 경우 단계(1660)부터 반복하고, 눈 열림의 면적이 최대인 경우에는 해당 DFE 계수 조절을 종료한다(1680).
- [0094] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘을 통한 등화기 계수 조절 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0095] 등화기 계수 조절의 두 단계에서 적응형 등화 시스템은 각각 두 개의 계수를 조절하므로, 이 때 각 단계에서 눈 열림의 면적은 두 계수에 의한 이변수 함수라 할 수 있다. 따라서 두 계수를 각각 C_1, C_2 라 했을 때, 경사 하강 알고리즘을 이용하여 CTLE 및 DFE를 통해 두 개의 등화기 계수(C_1 과 C_2)를 조절하는 방법은 다음의 단계들로 이루어진다.
- [0096] 먼저, 초기 계수를 설정(1710)한다.
- [0097] C_1 과 C_2 의 현재 값에 따른 눈 열림의 면적을 저장한다(1720).

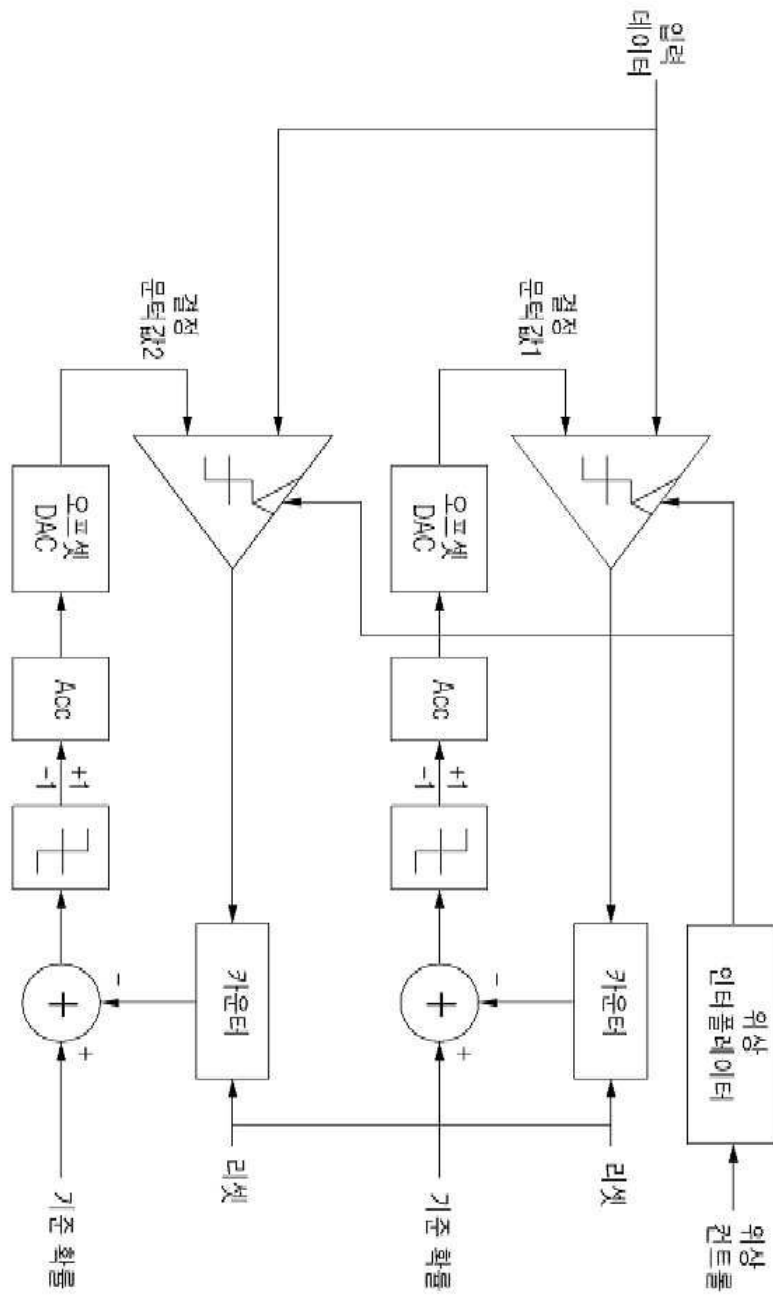
- [0098] C_1 을 미소량 변화시킨 후(1730), C_1 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고 C_1 을 초기화한다(1740).
- [0099] C_2 를 미소량 변화시킨 후(1750), C_2 의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고, C_2 를 초기화한다(1760).
- [0100] 각 계수의 변화에 따른 눈 열림 면적과 초기 눈 열림 면적 간 차를 구한다(1770).
- [0101] 각 경우의 눈 열림 면적 차를 각 계수 미소 변화량으로 나누어 그래디언트를 계산한다(1780).
- [0102] 단계(1790)에서 계산한 그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1 , C_2 에 더한다.
- [0103] 본 발명의 실시예들에 따르면 리시버를 통과한 신호의 눈 열림을 관측하고 이를 통해 BER을 추정하는 한편, 신호의 최적 샘플링 포인트를 찾아 이를 리시버 시스템에 적용함으로써 BER을 최소화할 수 있다. 또한, 현재 신호의 특성을 파악하고, 최적 샘플링 포인트와 등화기 계수를 찾음으로써 신호의 눈 열림을 최대화할 수 있다.
- [0105] 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.
- [0106] 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(embodiment)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.
- [0107] 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.
- [0108] 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.
- [0109] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

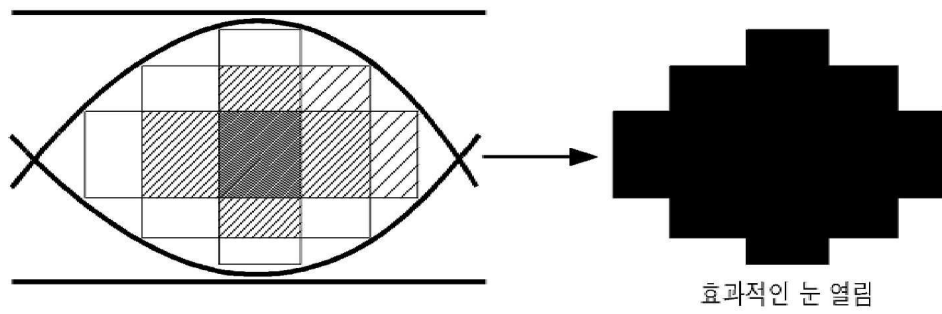
도면1



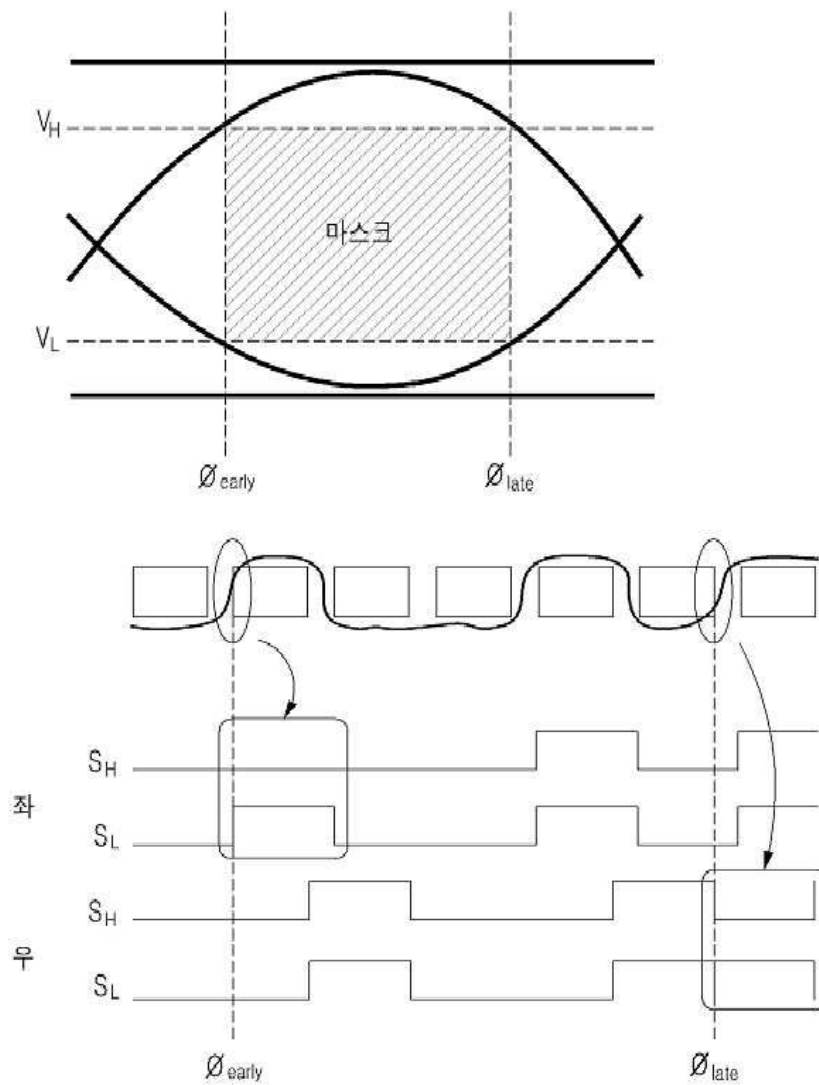
도면2



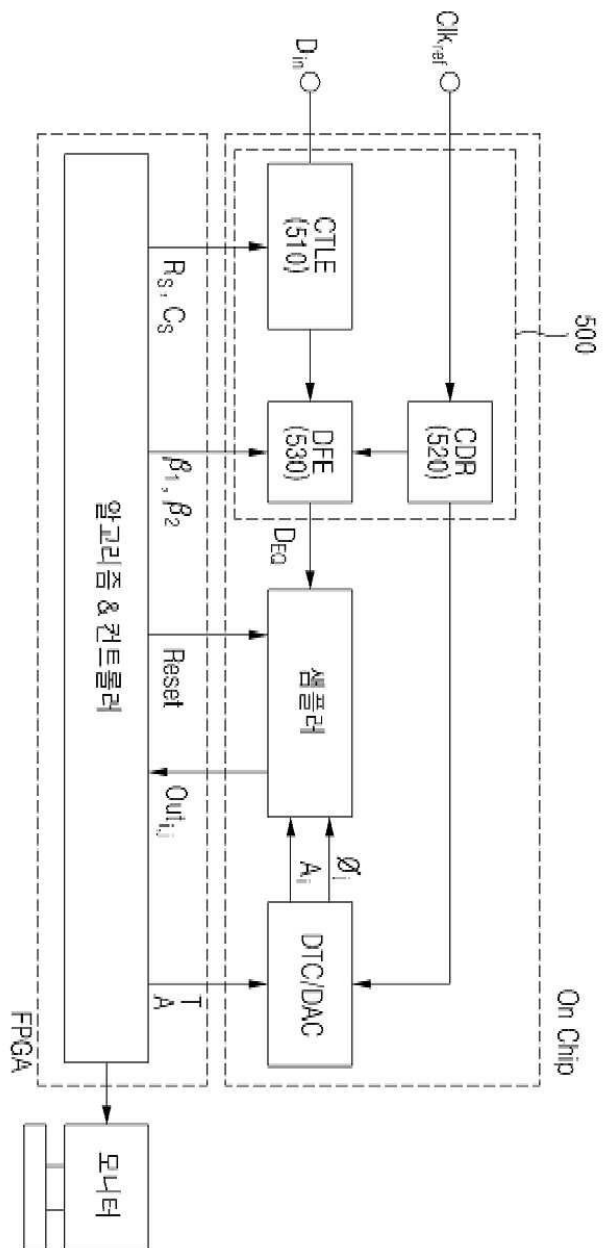
도면3



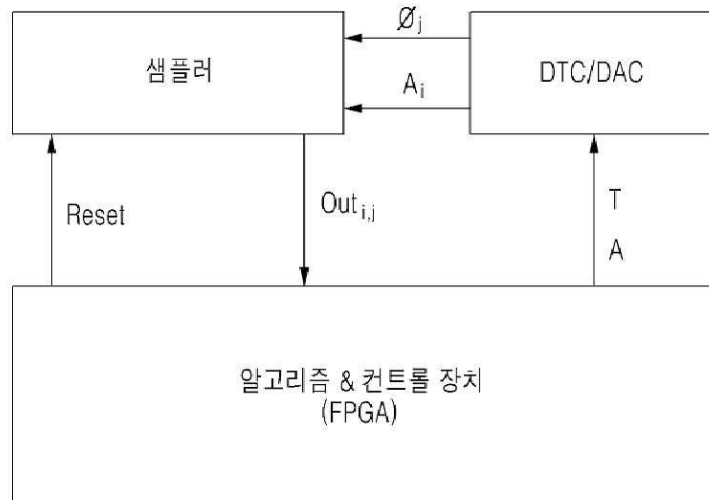
도면4



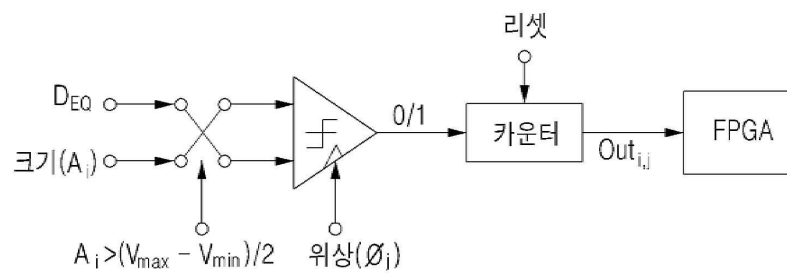
도면5



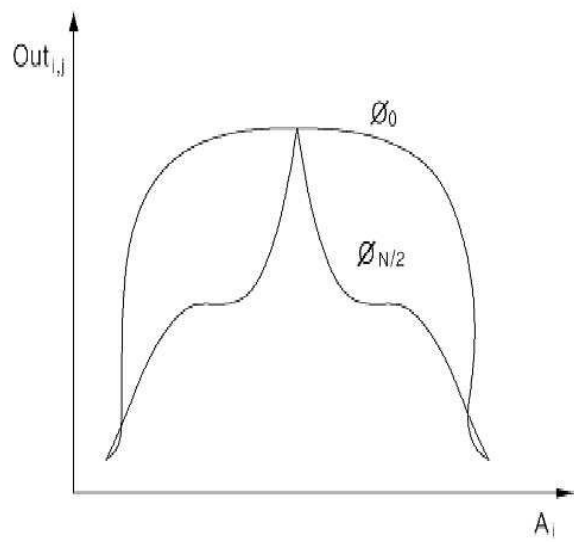
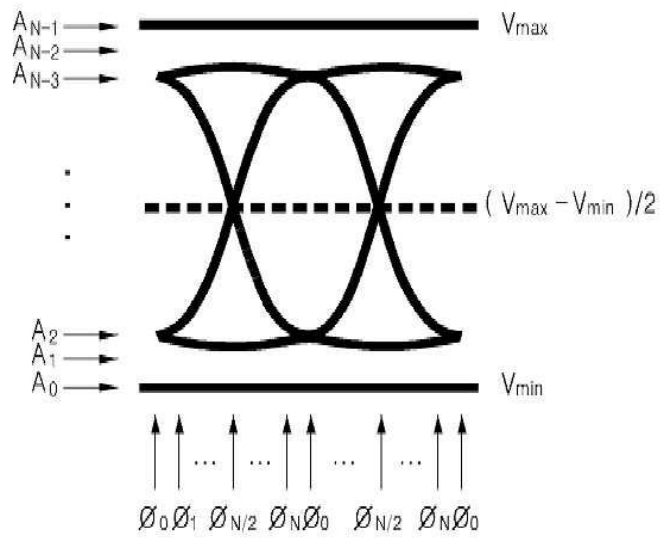
도면6



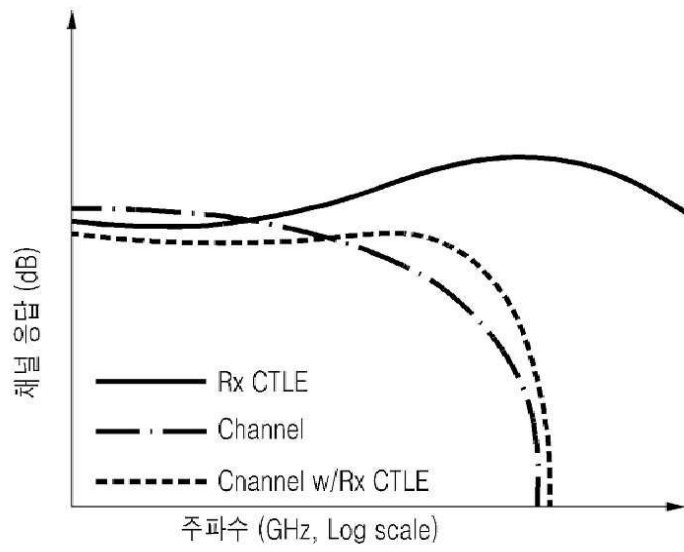
도면7



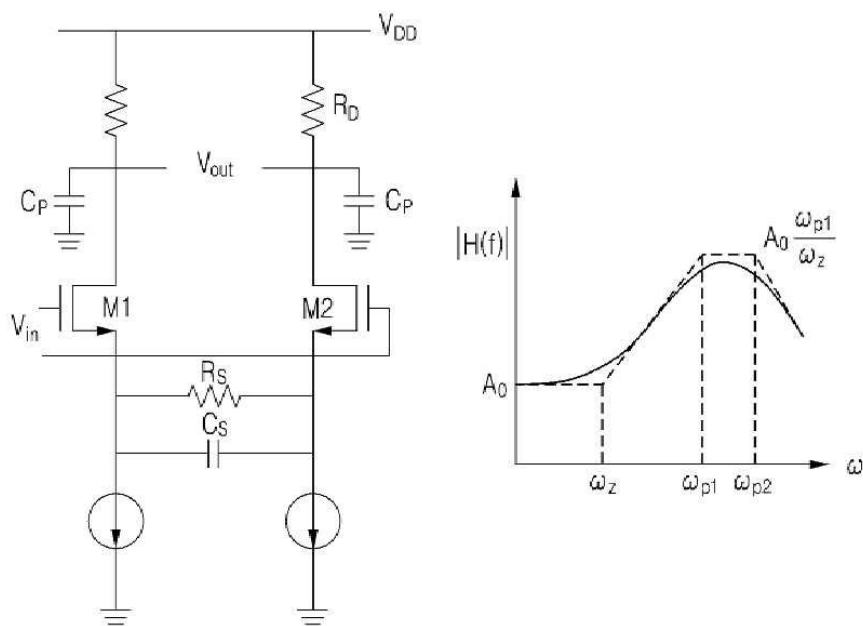
도면8



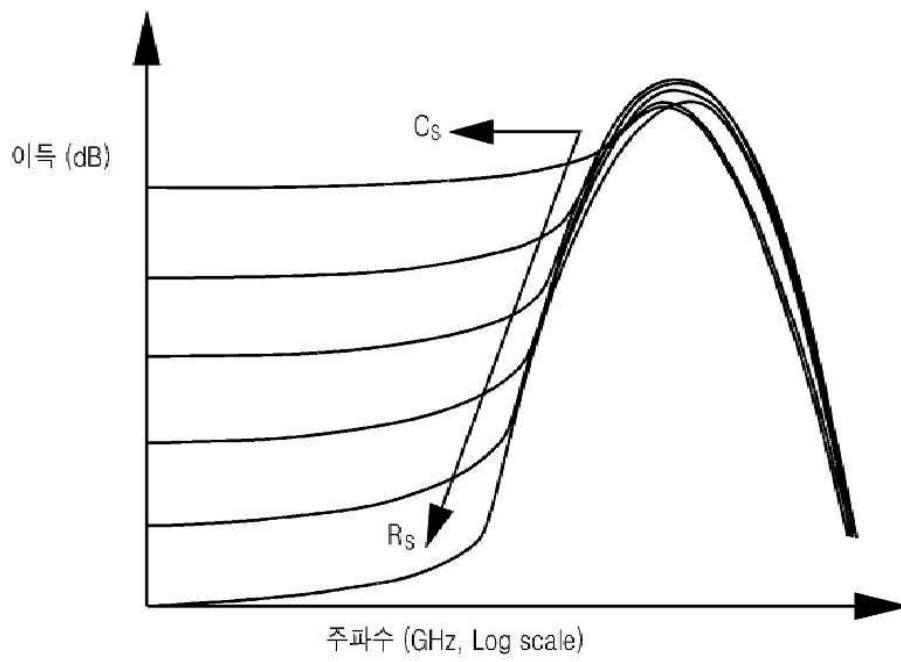
도면9



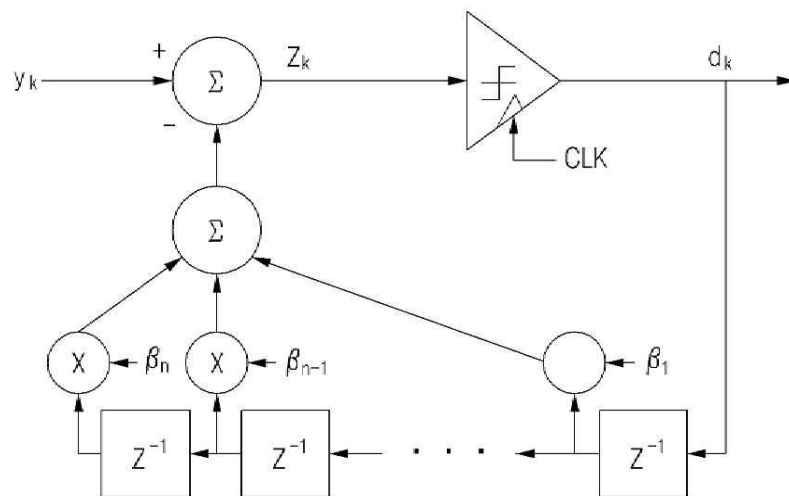
도면10



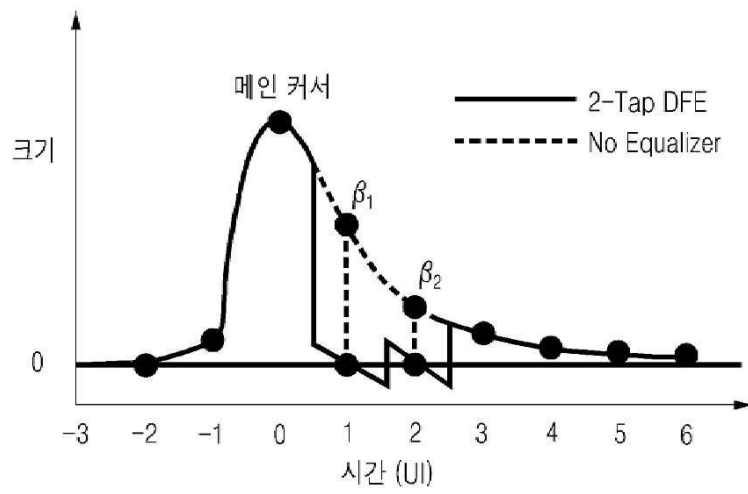
도면11



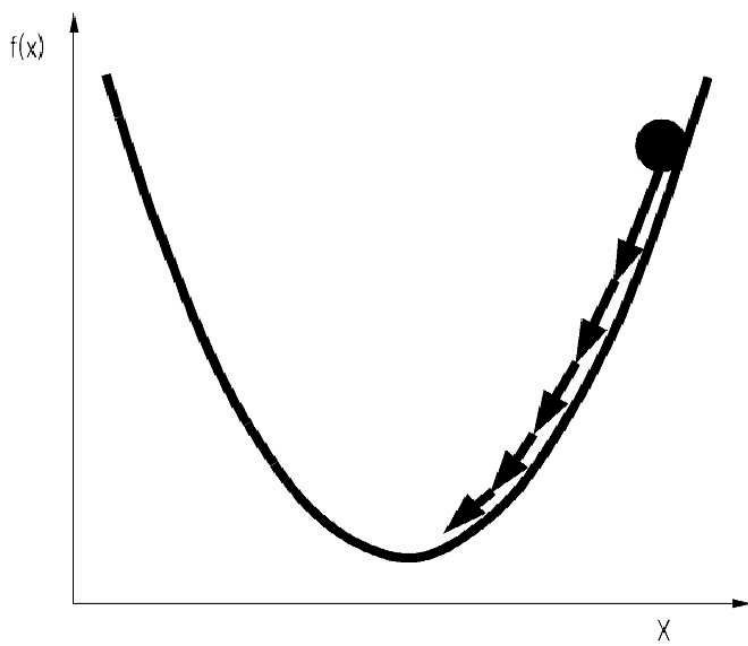
도면12



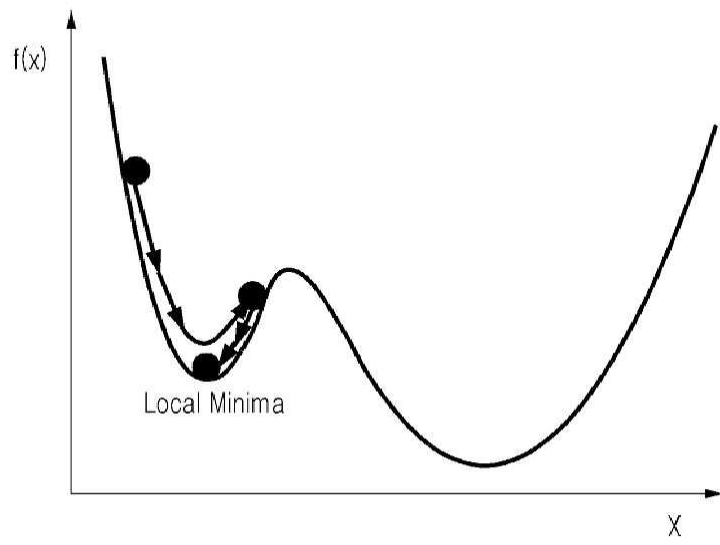
도면13



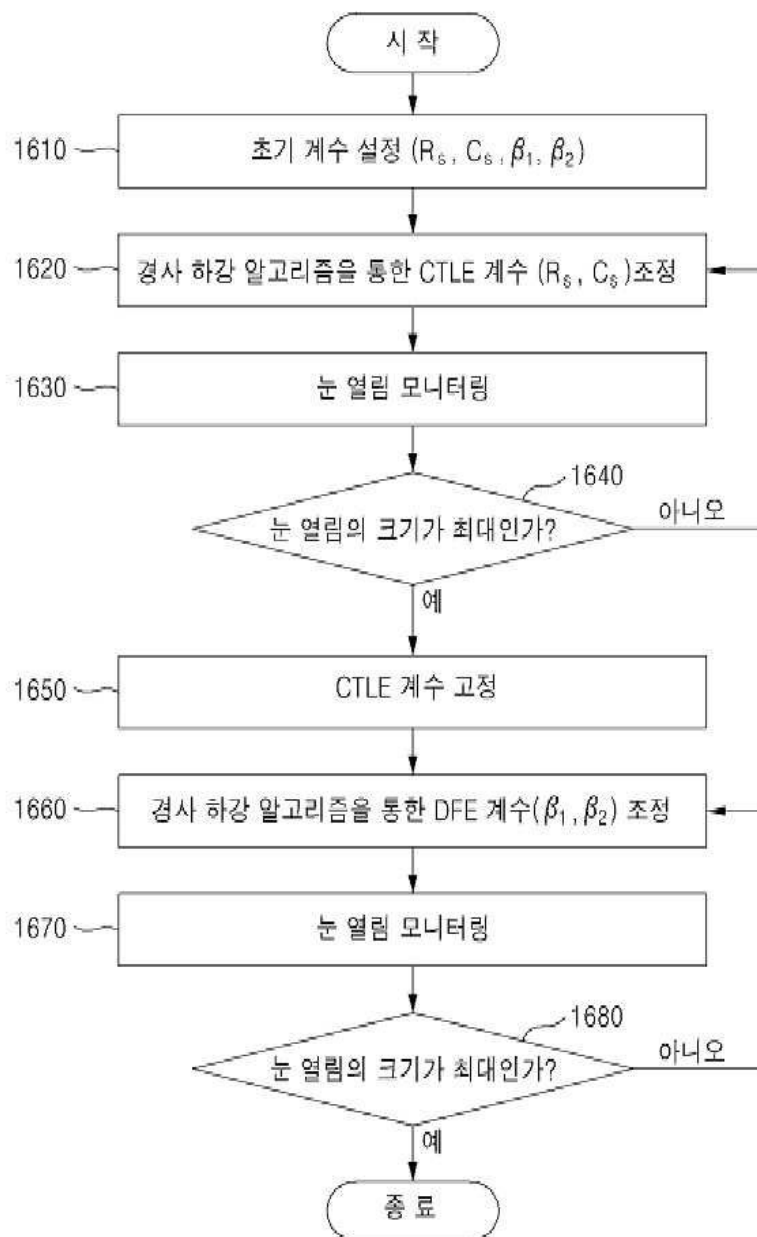
도면14



도면15



도면16



도면17

