(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0075342
(43) 공개일자 2020년06월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 25/06 (2006.01) *H04L 1/20* (2006.01)
H04L 25/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 25/068 (2013.01)
H04L 1/203 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0163907
(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

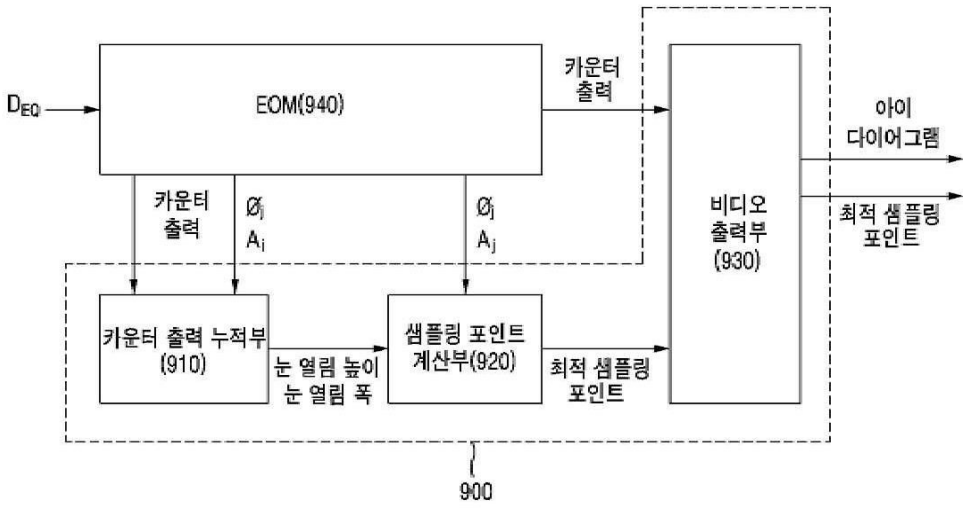
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터를 이용한 샘플링 포인트 컨트롤러**

(57) 요 약

신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 샘플링 포인트 컨트롤 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 샘플링 포인트 컨트롤 장치는 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 카운터 출력 누적부, 카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 샘플링 포인트 계산부 및 샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 비디오 출력부를 포함한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H04L 25/03254 (2013.01)
H04L 2025/03687 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 카운터 출력 누적부;

카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 샘플링 포인트 계산부; 및

샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 비디오 출력부

를 포함하는 샘플링 포인트 컨트롤 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

카운터 출력 누적부는,

샘플링 위상을 고정한 상태에서 샘플링 크기를 변화시켜 가면서 나타나는 카운터 출력 값을 누적하여 해당 샘플링 위상에서의 눈 열림의 높이를 찾고, DTC(Digital to Time Converter) 및 DAC(Digital to Analog Converter) 제어부에서 샘플링 위상 또는 샘플링 크기가 변화할 때 마다 카운터 출력 값을 누적시키고, 눈 열림 높이와 폭을 전송하는 계산부에 전송하는

샘플링 포인트 컨트롤 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

샘플링 포인트 계산부는,

눈 열림 높이와 폭이 최댓값이 되는 지점에서의 샘플링 위상과 샘플링 크기를 데이터 아이가 가장 크게 열린 부분에서의 최적 샘플링 포인트로 계산하는

샘플링 포인트 컨트롤 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

계산된 최적 샘플링 포인트를 리시버 시스템으로 전송하여 BER을 최소화하는 샘플링 포인트로 활용하는

샘플링 포인트 컨트롤 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾기 위해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 입력 신호의 계수를 조절함으로써 BER 성능을 최대화 하는

샘플링 포인트 컨트롤 장치.

청구항 6

카운터 출력 누적부를 통해 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 단계;

카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 샘플링 포인트 계산부를 통해 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 단계; 및

샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 비디오 출력부를 통해 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 단계

를 포함하는 샘플링 포인트 컨트롤 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

카운터 출력 누적부를 통해 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 단계는,

샘플링 위상을 고정한 상태에서 샘플링 크기를 변화시켜 가면서 나타나는 카운터 출력 값을 누적하여 해당 샘플링 위상에서의 눈 열림의 높이를 찾고, DTC(Digital to Time Converter) 및 DAC(Digital to Analog Converter) 제어부에서 샘플링 위상 또는 샘플링 크기가 변화할 때 마다 카운터 출력 값을 누적시키고, 눈 열림 높이와 폭을 전송하는 계산부에 전송하는

샘플링 포인트 컨트롤 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾기 위해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 입력 신호의 계수를 조절함으로써 BER 성능을 최대화 하는

샘플링 포인트 컨트롤 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고속 인터페이스 내의 리시버 시스템에서 사용되는 눈 열림 관측 방법과, 눈 열림 크기를 이용한 최적 샘플링 포인트 컨트롤 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[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 최소화하는 방법 및 장치를 제공하는데 있다. 또한, 현재 신호의 특성을 파악하고, 최적 샘플링 포인트와 등화기 계수를 찾음으로써 신호의 눈 열림을 최대화하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0004] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 샘플링 포인트 컨트롤 장치는 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포

인트 계산부로 전송하는 카운터 출력 누적부, 카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 샘플링 포인트 계산부 및 샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 비디오 출력부를 포함한다.

[0005] 카운터 출력 누적부는 샘플링 위상을 고정한 상태에서 샘플링 크기를 변화시켜 가면서 나타나는 카운터 출력 값을 누적하여 해당 샘플링 위상에서의 눈 열림의 높이를 찾고, DTC(Digital to Time Converter) 및 DAC(Digital to Analog Converter) 제어부에서 샘플링 위상 또는 샘플링 크기가 변화할 때 마다 카운터 출력 값을 누적시키고, 눈 열림 높이와 폭을 전송하는 계산부에 전송한다.

[0006] 샘플링 포인트 계산부는 눈 열림 높이와 폭이 최댓값이 되는 지점에서의 샘플링 위상과 샘플링 크기를 데이터 아이가 가장 크게 열린 부분에서의 최적 샘플링 포인트로 계산하고, 계산된 최적 샘플링 포인트를 리시버 시스템으로 전송하여 BER을 최소화하는 샘플링 포인트로 활용한다.

[0007] 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾기 위해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 입력 신호의 계수를 조절함으로써 BER 성능을 최대화한다.

[0008] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 샘플링 포인트 컨트롤 방법은 카운터 출력 누적부를 통해 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 단계, 카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 샘플링 포인트 계산부를 통해 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 단계 및 샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 비디오 출력부를 통해 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 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 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 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 샘플링 포인트 컨트롤 장치의 구조를 나타내는 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 샘플링 포인트 컨트롤 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 카운터 출력 누적부를 이용한 눈 열림 높이 및 폭 계산 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 카운터 누적 값을 이용한 최적 샘플링 위상 및 크기 계산 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘을 통한 등화기 계수 조절 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 본 발명에서 제안하는 컨트롤 방법 및 장치는 리시버를 통과한 신호의 눈 열림을 관측하고 이를 통해 BER을 추정하는 한편, 신호의 최적 샘플링 포인트를 찾아 이를 리시버 시스템에 적용함으로써 BER을 최소화하는 방법인 눈 열림 모니터링 시스템 및 샘플링 포인트 컨트롤 방법 및 장치에 관한 것이다. 본 발명의 실시예에 따른 컨트롤 방법 및 장치를 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 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 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.

[0030] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 카운팅 방식의 눈 열림 모니터링 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.

[0031] 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.

[0033] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 제안하는 샘플러의 블록 다이어그램과 구조를 나타내는 도면이다.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0037] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 샘플링 위상과 샘플링 크기에 따른 카운터 출력을 비교하는 도면이다.

[0038] 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.

[0039] 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.

[0040]
$$T_{monitor} = \frac{N_s \times A_i \times \Phi_j}{D_b}$$

[0042] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 샘플링 포인트 컨트롤 장치의 구조를 나타내는 도면이다.

[0043] 눈 열림 모니터링 시스템(940)에서 카운터 출력을 이용하여 아이 다이어그램을 구성한 후, 샘플링 포인트 컨트롤러는 각 샘플링 위상과 샘플링 크기에서의 카운터 출력 값을 분석하여 데이터 아이가 가장 크게 열린 최적 샘플링 포인트를 찾는다.

[0044] 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 샘플링 포인트 컨트롤 장치(900)는 출력 누적부(910), 샘플링 포인트 계산부(920), 비디오 출력부(930)를 포함한다.

[0045] 출력 누적부(910)는 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부(920)로 전송한다. 샘플링 위상을 고정한 상태에서 샘플링 크기를 변화시켜 가면서 나타나는 카운터 출력 값을 누적하여 해당 샘플링 위상에서의 눈 열림의 높이를 찾는다. DTC(Digital to Time Converter) 및 DAC(Digital to Analog Converter) 제어부에서 샘플링 위상 또는 샘플링 크기가 변화할 때 마다 카운터 출력 값을 누적시키고, 눈 열림 높이와 폭을 전송하는 계산부에 전송한다.

[0046] 샘플링 포인트 계산부(920)는 카운터 출력 누적부(910)로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아낸다. 눈 열림 높이와 폭이 최댓값이 되는 지점에서의 샘플링 위상과 샘플링 크기를 데이터 아이가 가장 크게 열린 부분에서의 최적 샘플링 포인트로 계산한다. 그리고, 계산된 최적 샘플링 포인트를 리시버 시스템으로 전송하여 BER을 최소화하는 샘플링 포인트로 활용한다. 본 발명의 실시예에 따르면 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾기 위해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 입력 신호의 계수를 조절함으로써 BER 성능을 최대화 한다.

[0047] 비디오 출력부(930)는 샘플링 포인트 계산부(920)에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송한다.

[0048] 샘플링 포인트 컨트롤 장치(900)는 찾아낸 최적 샘플링 포인트를 리시버 시스템에 전송하는 동시에 모니터(950)에 표시하는 동작을 수행한다.

[0050] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 샘플링 포인트 컨트롤 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0051] 눈 열림 모니터링 시스템에서 카운터 출력을 이용하여 아이 다이어그램을 구성한 후, 샘플링 포인트 컨트롤러는 각 샘플링 위상과 샘플링 크기에서의 카운터 출력 값을 분석하여 데이터 아이가 가장 크게 열린 최적 샘플링 포인트를 찾는다.

[0052] 제안하는 신호 카운팅 방식 기반의 눈 열림 모니터와 경사 하강 알고리즘을 이용한 샘플링 포인트 컨트롤 방법은 카운터 출력 누적부를 통해 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 단계(1010), 카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 샘플링 포인트 계산부를 통해 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 단계(1020) 및 샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 비디오 출력부를 통해 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 단계(1030)를 포함한다.

[0053] 단계(1010)에서, 카운터 출력 누적부를 통해 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송한다. 샘플링 위상을 고정한 상태에서 샘플링 크기를 변화시켜 가면서 나타나는 카운터 출력 값을 누적하여 해당 샘플링 위상에서의 눈 열림의 높이를 찾는다. DTC(Digital to Time Converter) 및 DAC(Digital to Analog Converter) 제어부에서 샘플링 위상 또는 샘플링 크기가 변화할 때 마다 카운터 출력 값을 누적시키고, 눈 열림 높이와 폭을 전송하는 계산부에 전송한다.

[0054] 단계(1020)에서, 카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 샘플링 포인트 계산부를 통해 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아낸다. 눈 열림 높이와 폭이 최댓값이 되는 지점에서의 샘플링 위상과 샘플링 크기를 데이터 아이가 가장 크게 열린 부분에서의 최적 샘플링 포인트로 계산한다. 그리고, 계산된 최적 샘플링 포인트를 리시버 시스템으로 전송하여 BER을 최소화하는 샘플링 포인트로 활용한다. 본 발명의 실시예에 따르면 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾기 위해 경사 하강 알고리즘을 이용하여 입력 신호의 계수를 조절함으로써 BER 성능을 최대화 한다.

[0055] 단계(1030)에서, 샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 비디오 출력부를 통해 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송한다. 샘플링 포인트 컨트롤 장치는 찾아낸 최적 샘플링 포인트를 리시버 시스템에 전송하는 동시에 모니터에 표시하는 동작을 수행한다.

[0057] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 카운터 출력 누적부를 이용한 눈 열림 높이 및 폭 계산 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0058] 카운터 출력의 모양은 샘플러에서 사용하는 위상과 크기에 따라 다르다. 이 때, 적분 계산과 유사하게 샘플링 위상을 고정한 상태에서 샘플링 크기를 변화시켜 가면서 나타나는 카운터 출력 값을 누적하면 해당 샘플링 위상에서의 눈 열림의 높이를 알 수 있다. 카운터 출력 누적 블록은 DTC(Digital to Time Convertor) 및 DAC(Digital to Analog Convertor) 제어부에서 샘플링 위상 또는 샘플링 크기가 변화할 때 마다 카운터 출력 값을 누적시키는 방식으로 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산 블록에 전송함으로써 최적 샘플링 포인트를 찾을 수 있도록 한다.

[0060] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 카운터 누적 값을 이용한 최적 샘플링 위상 및 크기 계산 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0061] 샘플링 포인트 계산 블록은 카운터 출력 누적 블록으로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아낸다. 이 때, 눈 열림 높이와 폭이 최댓값이 되는 지점에서의 샘플링 위상과 샘플링 크기는 데이터 아이가 가장 크게 열린 부분에서의 최적 샘플링 포인트라고 할 수 있다. 이러한 방식으로 계산한 샘플링 포인트는 리시버 시스템으로 전송되어, BER을 최소화하는 샘플링 포인트로 활용된다.

[0063] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 경사 하강 알고리즘을 통한 등화기 계수 조절 과정을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0064] 본 발명의 일 실시예에 따른 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.

[0065] 본 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.

[0066] 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 논문의 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.

[0067] 등화기 계수 조절은 두 단계로 이루어진다. 먼저, 경사 하강 알고리즘을 이용하여 CTLE의 계수인 R_S와 C_S를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾아 고정한다. 그 후 리시버 시스템에 사용한 2-Tap DFE의 각 탭의 가중치인 β_1와 β_2를 조절하여 눈 열림의 면적이 가장 큰 계수를 찾고, 계수에 따른 눈 열림의 면적이 최댓값으로 수렴하면 등화기 계수 조절을 끝낸다(1310).

[0068] 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 통한 등화기 계수 조절의 각 단계는 다음의 단계들로 이루어진다.

[0069] C_1과 C_2의 현재 값에 따른 눈 열림의 면적을 저장한다(1320).

[0070] C_1을 미소량 변화시킨 후(1330), C_1의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고 C_1을 초기화한다(1340).

[0071] C_2를 미소량 변화시킨 후(1350), C_2의 미소량 변화에 따른 눈 열림의 면적을 저장하고, C_2를 초기화한다(1360).

[0072] 각 계수의 변화에 따른 눈 열림 면적과 초기 눈 열림 면적 간 차를 구한다(1370).

[0073] 각 경우의 눈 열림 면적 차를 각 계수 미소 변화량으로 나누어 그래디언트를계산한다(1380).

[0074] 단계(1390)에서 계산한 그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1, C_2 에 더한다.

[0075] 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.

[0076] 2개의 비교기를 사용하는 구조를 갖는 샘플러를 이용한 기존의 눈 열림 시스템과 달리, 1개의 비교기만을 사용하는 구조를 갖는 본 발명의 실시예에 따른 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.

[0078] 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.

[0079] 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.

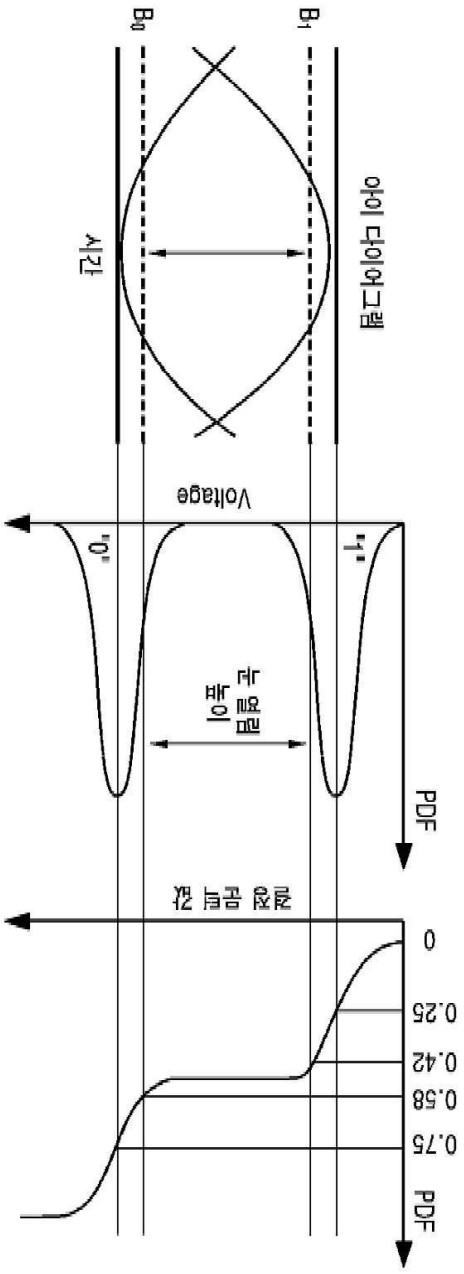
[0080] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic 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.

[0081] 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.

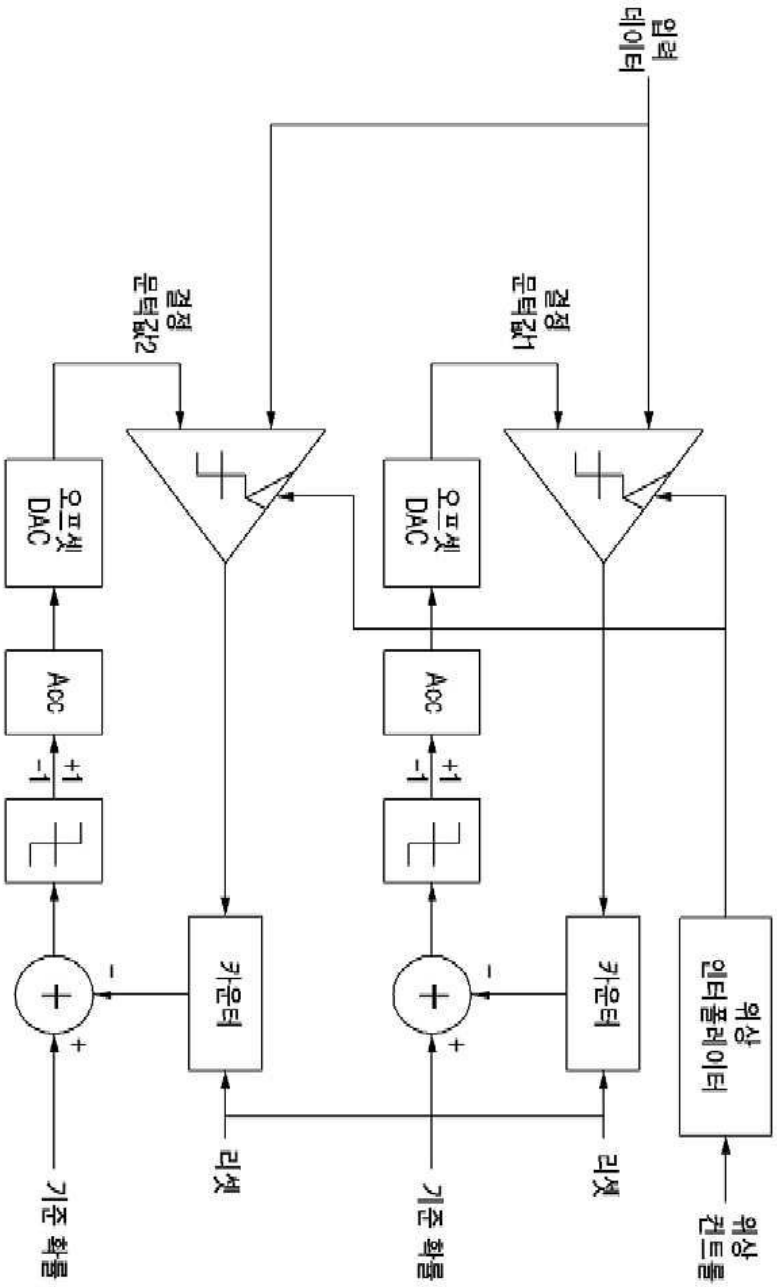
[0082] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

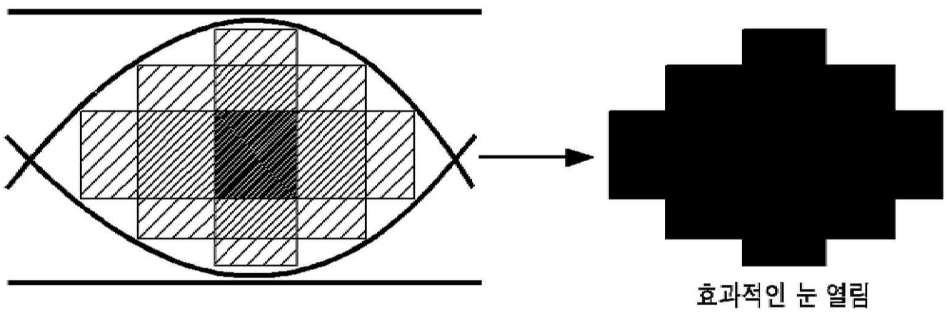
도면1


B0
B1
아이 다이어그램
시간
Voltage
t0
t1
펄스 폭
PDF
결정 문턱 값
0
0.25
0.42
0.58
0.75
PDF

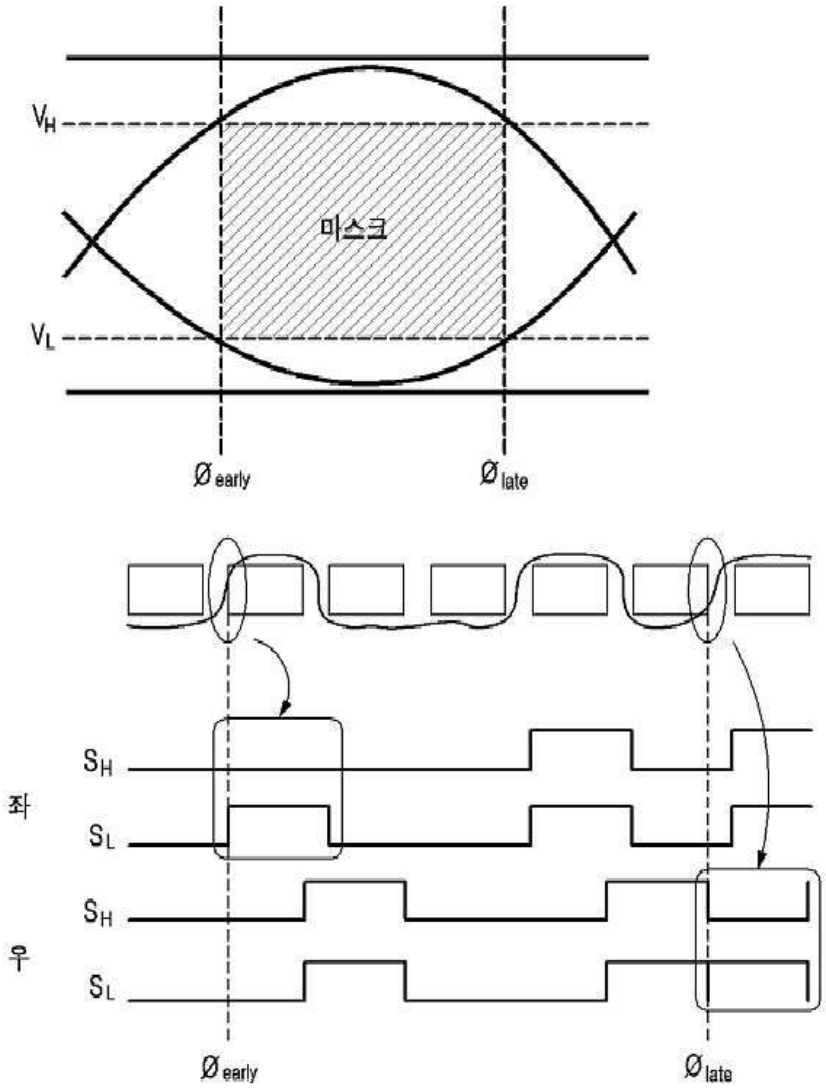
도면2


입력 데이터
결정 문턱값2
결정 문턱값1
오프셋 DAC
오프셋 DAC
Acc
Acc
+1
-1
+1
-1
카운터
카운터
위상 인터폴레이터
기준 확률
리셋
기준 확률
리셋
위상 컨트롤

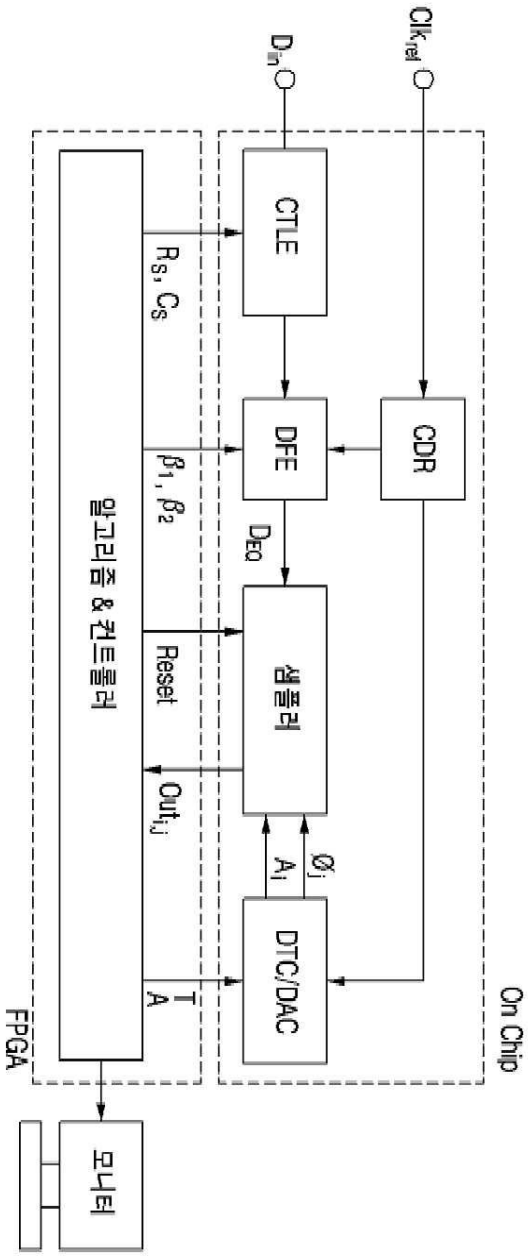
도면3


효과적인 눈 열림

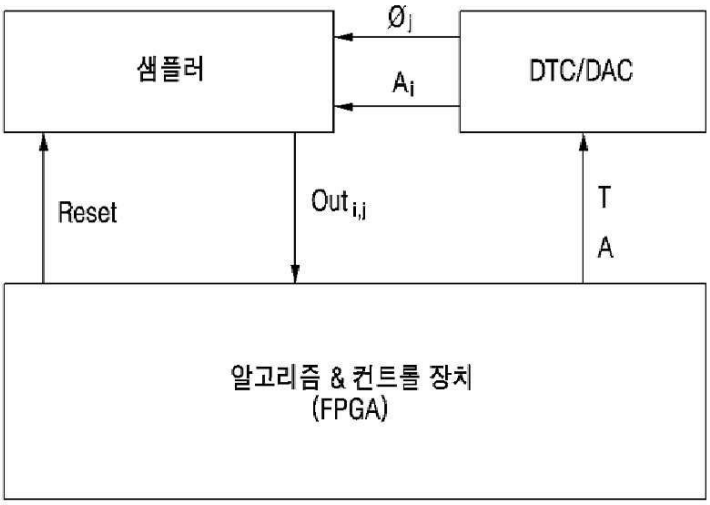
도면4



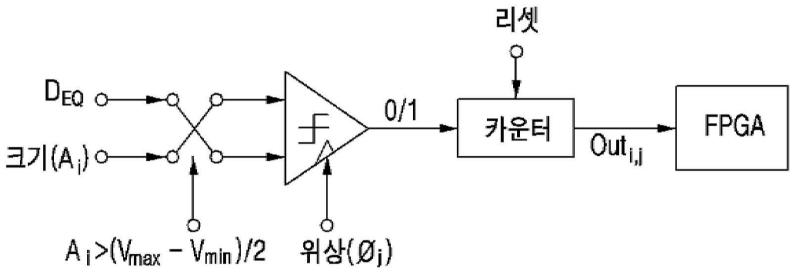
도면5


Clk_ref
D_in
CTLE
DFE
CDR
D_EQ
샘플러
DTC/DAC
Ø_j
A_1
On Chip
FPGA
알고리즘 & 컨트롤러
R_S, C_S
β_1, β_2
Reset
Out_i,j
T
A
모니터

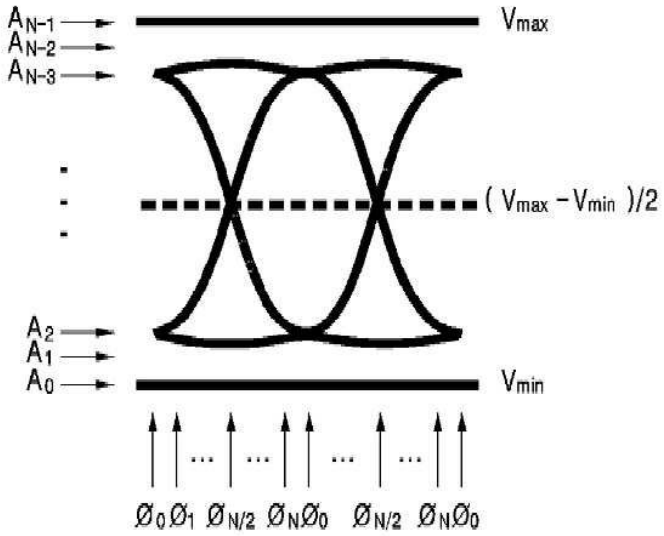
도면6

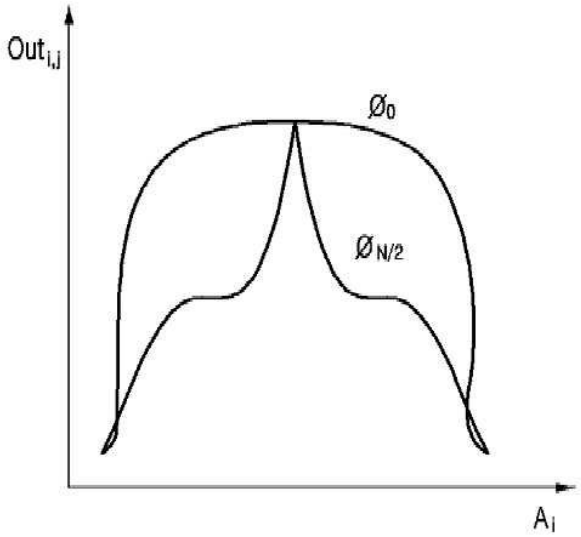

샘플러
DTC/DAC
Ø_j
A_i
Reset
Out_i,j
T
A
알고리즘 & 컨트롤 장치
(FPGA)

도면7

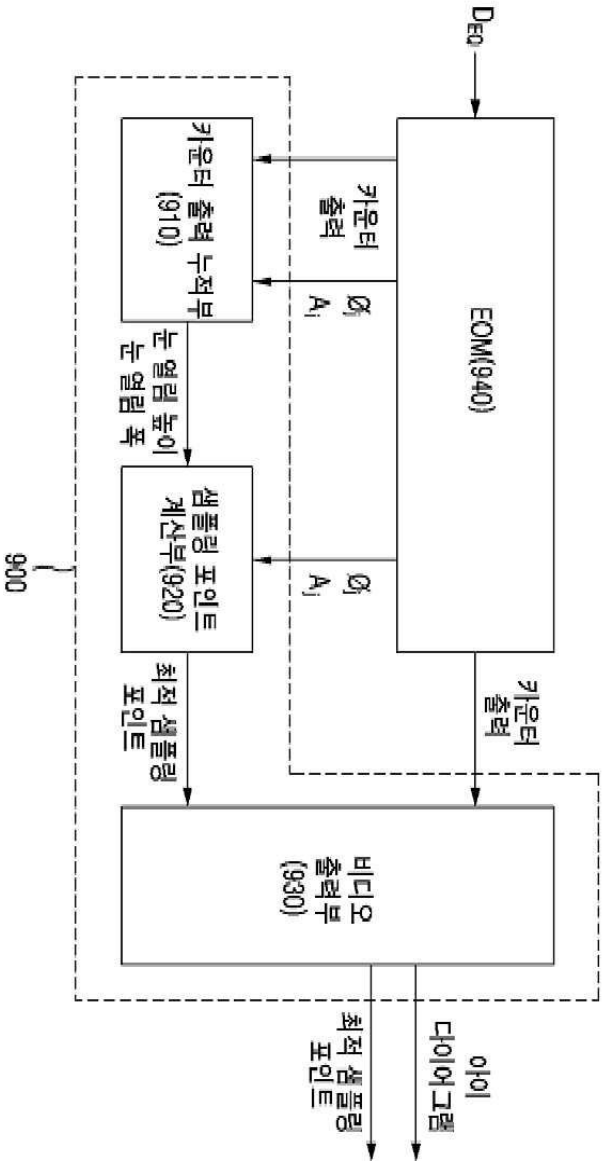

리셋
D_EQ
크기(A_i)
0/1
카운터
Out_i,j
FPGA
A_i>(V_max - V_min)/2
위상(Ø_j)

도면8

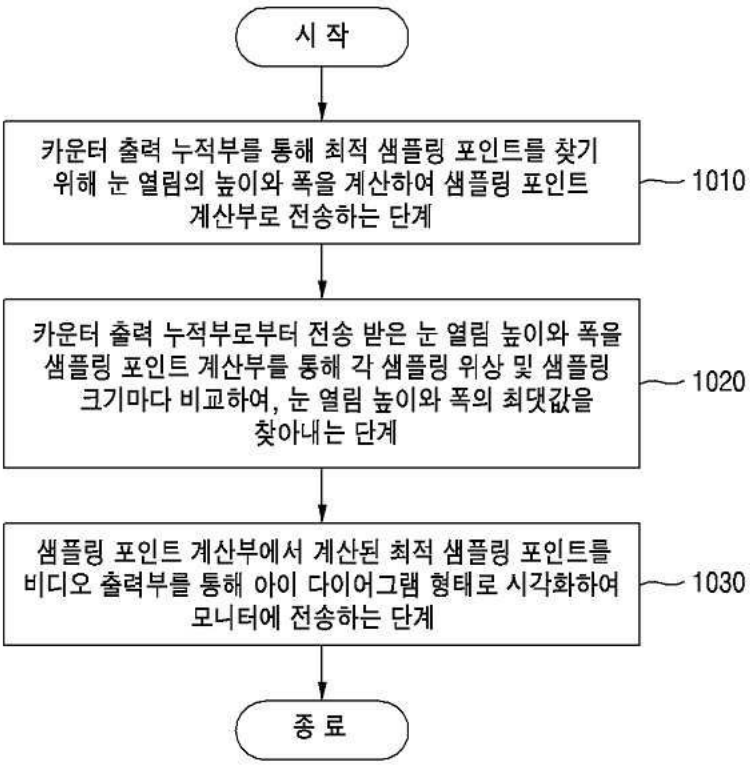

A_{N-1}
A_{N-2}
A_{N-3}
V_{max}
$(V_{max} - V_{min})/2$
A_2
A_1
A_0
V_{min}
$Ø_0 Ø_1$ $Ø_{N/2}$ $Ø_N Ø_0$ $Ø_{N/2}$ $Ø_N Ø_0$


$Out_{i,j}$
$Ø_0$
$Ø_{N/2}$
A_i

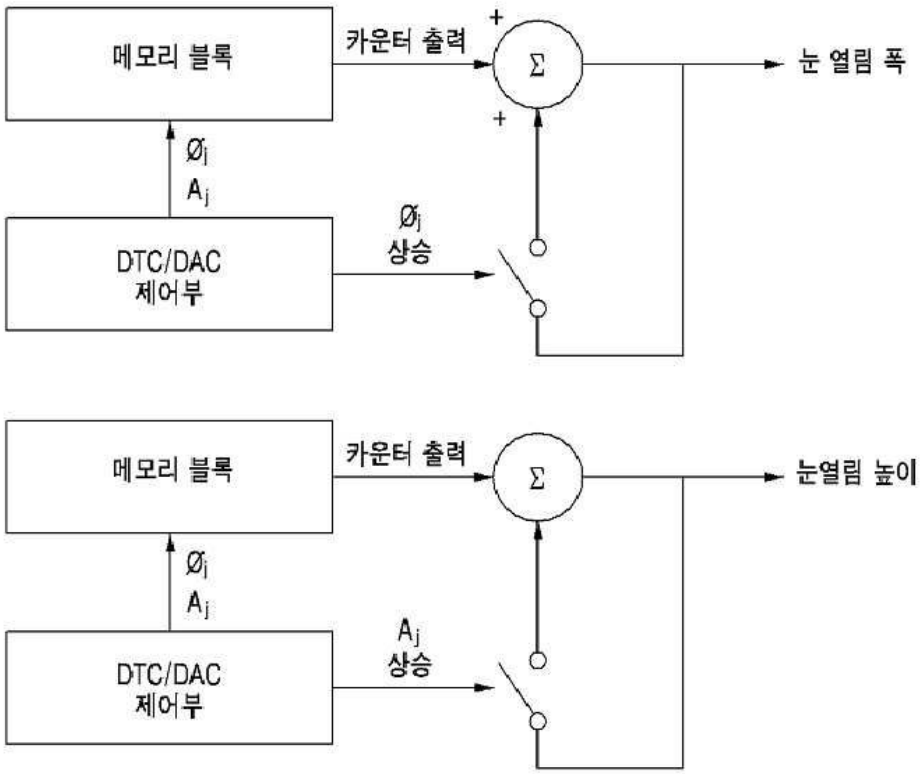
도면9


D_{EQ}
EOM(940)
카운터 출력
$\varnothing_j$ A_j
카운터 출력 누적부 (910)
누적 열림 높이
샘플링 포인트 계산부(920)
최적 샘플링 포인트
900
카운터 출력
비디오 출력부 (930)
최적 샘플링 포인트
아이 다이어그램

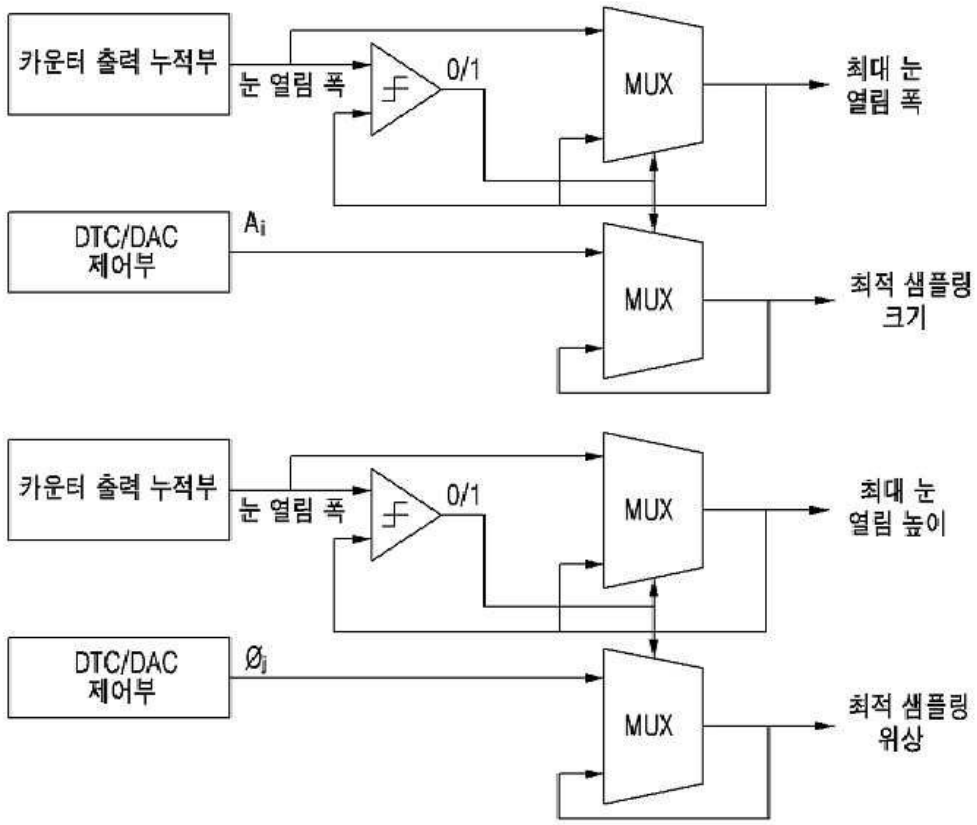
도면10


시 작
카운터 출력 누적부를 통해 최적 샘플링 포인트를 찾기 위해 눈 열림의 높이와 폭을 계산하여 샘플링 포인트 계산부로 전송하는 단계
1010
카운터 출력 누적부로부터 전송 받은 눈 열림 높이와 폭을 샘플링 포인트 계산부를 통해 각 샘플링 위상 및 샘플링 크기마다 비교하여, 눈 열림 높이와 폭의 최댓값을 찾아내는 단계
1020
샘플링 포인트 계산부에서 계산된 최적 샘플링 포인트를 비디오 출력부를 통해 아이 다이어그램 형태로 시각화하여 모니터에 전송하는 단계
1030
종 료

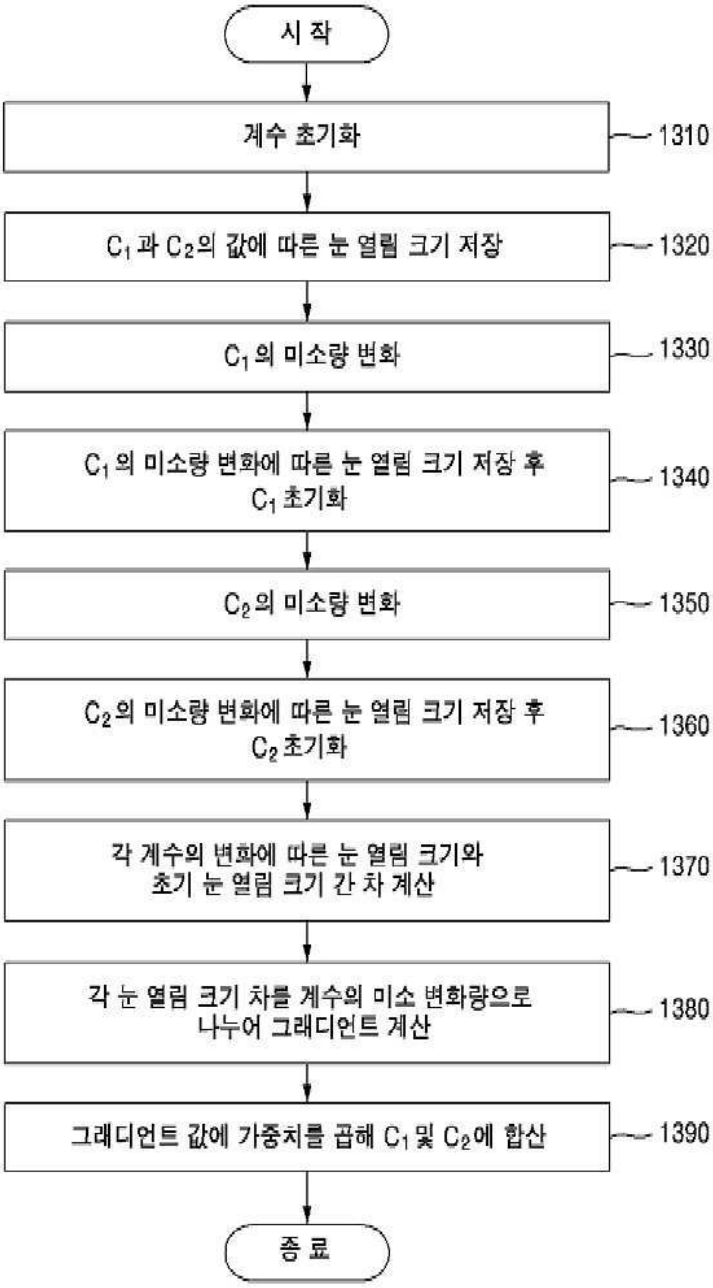
도면11


메모리 블록
카운터 출력
Σ
눈 열림 폭
Øj
Aj
DTC/DAC
제어부
Øj
상승
메모리 블록
카운터 출력
Σ
눈열림 높이
Øj
Aj
DTC/DAC
제어부
Aj
상승

도면12


카운터 출력 누적부
눈 열림 폭
0/1
MUX
최대 눈
열림 폭
DTC/DAC
제어부
Ai
MUX
최적 샘플링
크기
카운터 출력 누적부
눈 열림 폭
0/1
MUX
최대 눈
열림 높이
DTC/DAC
제어부
Øi
MUX
최적 샘플링
위상

도면13


시 작
계수 초기화
1310
C_1과 C_2의 값에 따른 눈 열림 크기 저장
1320
C_1의 미소량 변화
1330
C_1의 미소량 변화에 따른 눈 열림 크기 저장 후 C_1 초기화
1340
C_2의 미소량 변화
1350
C_2의 미소량 변화에 따른 눈 열림 크기 저장 후 C_2 초기화
1360
각 계수의 변화에 따른 눈 열림 크기와 초기 눈 열림 크기 간 차 계산
1370
각 눈 열림 크기 차를 계수의 미소 변화량으로 나누어 그래디언트 계산
1380
그래디언트 값에 가중치를 곱해 C_1 및 C_2에 합산
1390
종 료