

광 저장장치용 DPLL 을 위한 Noise Robust PD/FD 에 관한 연구

배주한, 박현수, 김민철, 심재성, 서재훈*, 홍유표*, 이재진*
삼성전자, *동국대학교

A Study on a Noise Robust PD/FD for DPLL for Optical Storage

Juhan Bae, Hyunsoo Park, Minchul Kim, Jaeseong Shim
Jaehoon Seo*, Youpyo Hong*, Jaejin Lee*
Samsung Electronics Co., LTD
Dongguk University*
E-mail: juhan.bae@samsung.com

Abstract

본 논문에서는 광 디스크의 기록 밀도 증가에 따른 신호품질의 열화나 노이즈가 심한 환경에서 DPLL(Digital Phase Locked Loop)의 성능을 개선하기 위한 FD(Frequency Detector)와 PD(Phase Detector) 알고리즘을 제안한다. 제안된 PD 알고리즘은 노이즈에 의해 왜곡되어 RLL 조건을 위배하는 입력신호, 즉 RLL 조건에 의해 결정되는 최소 런 길이보다 주기가 작은 신호에 의해 발생하는 위상오차를 위상오차 보정 시 사용하지 않도록 설계하여 잘못된 정보에 의한 위상오차 보정이 일어나지 않도록 하였다. 제안된 FD 알고리즘은 주파수를 추적하기 위해 삽입되는 신호인 Sync 신호의 symmetry 특성을 이용하여 샘플패턴을 검출하도록 하여 기존의 주파수 오차 보정 알고리즘보다 향상된 주파수 추적 성능을 가지도록 하였다.

I. 서론

광 저장장치에서 DPLL은 픽업을 통해 Disc에서 읽힌 데이터에서 데이터를 기록할 때의 clock 신호를 추출해 내는 역할을 수행한다. 이러한 DPLL은 여러 가지 방법[1][2]으로 구현할 수 있으나 본 논문에서는 그림 1.에 나타난 것과 같은 구조를 가지는 DPLL을

이용하였다.

광 저장장치용 DPLL 내의 PD는 DPLL에 입력으로 들어온 신호 샘플의 위상 오차를 검출하여 다음 샘플 점에서 이전에 검출된 위상 오차를 보정하도록 동작한다. 광 기록기기의 특성상 주기가 짧은 신호는 주기가 긴 신호에 비해 신호의 크기가 작아 기록 밀도 증가 등에 의해 신호 품질이 저하된 환경이나, 노이즈가 심한 환경에서 노이즈에 의한 신호 왜곡의 영향이 커지게 된다. 노이즈에 의해 왜곡된 신호에서 계산된 위상오차는 다음 샘플지점의 위상오차 보정 동작에 잘못된 정보를 제공하게 되므로 DPLL의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 본 논문에서 제안된 PD 알고리즘은 이러한 문제를 개선하도록 하였다.

광 저장장치용 DPLL 내의 FD는 주파수 오차 보정용 신호 검출을 통해 주파수를 보정한다. 노이즈가 심한 환경에서 기존의 알고리즘은 노이즈에 의해 왜곡된 data 신호를 주파수 오차 보정용 신호로 오인, 정상적으로 주파수를 추적할 수 없게 되는데 본 논문에서 제안하는 FD 알고리즘은 주파수 보정용 신호의 특성을 활용하여 노이즈가 심한 환경에서도 FD가 정상 동작 하도록 하였다.

II. 제안된 PD 알고리즘

PD는 DPLL의 입력 신호의 샘플에서 위상오차를 계산하여 다음 신호의 샘플 시간을 조절하는 역할을 한다. 노이즈가 심한 환경에서 노이즈에 의해 왜곡된 신호가 DPLL에 입력되는 경우 PD는 노이즈에 의해 왜곡된 신호에서 위상오차를 계산하는데 이 계산 결과는 잘못된 위상 오차를 포함한다. 잘못된 정보에 의한 위상오차 보정을 막기 위하여 제안된 알고리즘은 현재 광 기록기에서 일반적으로 사용되고 있는 RLL(2,10) 조건을 이용한다.

$d=2, k=10$ 의 RLL 조건 하에서 존재할 수 있는 가장 짧은 주기의 신호는 $3T$, 가장 긴 주기의 신호는 $11T$ 이다. 광 기록기의 채널 특성상 짧은 주기의 신호는 긴 주기의 신호에 비해 그 크기가 작아서 똑같은 크기의 노이즈라 하더라도 짧은 주기의 신호가 받는 영향은 더 커지게 된다. 즉 노이즈가 심한 환경(SNR 15dB 이하)에서는 노이즈의 크기가 가장 짧은 주기의 신호인 $3T$ 신호의 극성을 바꿀 수 있을 정도 커서 RLL 조건에 위배되는 $2T$ 신호로 왜곡될 확률이 커지게 된다.

제안된 알고리즘은 DPLL의 입력 샘플 중에서 $2T$ 신호가 검출된 경우 이 신호는 노이즈에 의해 왜곡되었다고 판단, 왜곡된 신호에 의해 계산된 위상오차를 다음 신호의 샘플 위치 보정에 반영하지 않도록 하여 잘못된 정보에 의한 위상 보정이 일어나지 않도록 한다.

제안된 알고리즘을 그림 2.에 나타내었다.

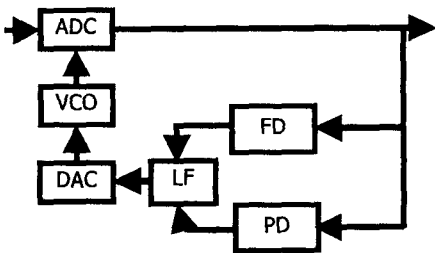


그림 1. 기존의 DPLL

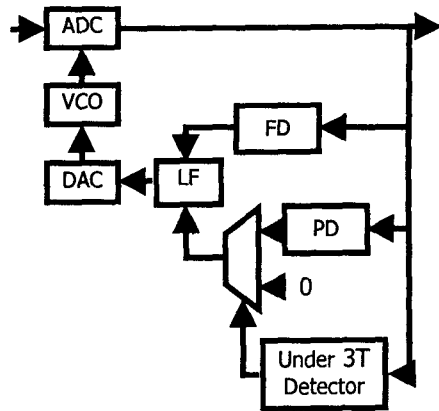


그림 2. 제안된 PD를 이용한 DPLL

III. 제안된 FD 알고리즘

FD는 ADC에서 입력신호를 샘플링 할 때 적절한 주파수를 결정하고, 주파수 오차를 보정하는 역할을 수행한다. 주파수 오차 보정에는 데이터의 인코딩 시 첨가되는 주파수 오차 보정용 신호(그림 3.)를 이용한다. 광 저장장치용 DPLL에 사용되는 기존의 FD 알고리즘은 약속된 Sync 신호 중 가장 긴 주기의 신호(CD의 경우 $11T$)를 이용하여 주파수를 조정하게 된다.

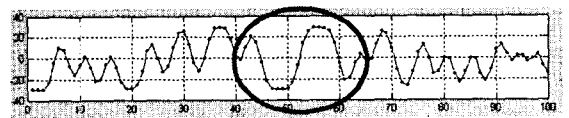


그림 3. 주파수 오차 검출용 신호

주파수 오차를 보정하는 기본 원리는 다음과 같다. FD는 입력신호에서 가장 긴 주기의 신호를 검출하여 검출된 신호의 샘플 수가 주파수 오차 보정용 신호인 $11T$ 신호와 같은지 비교한다. 만일 샘플 수가 $11T$ 신호의 샘플 수보다 많다면 샘플링 주파수가 높은 것이므로 주파수를 낮추어 주고, 샘플 수가 $11T$ 신호의 샘플 수보다 적다면 샘플링 주파수가 낮은 것이므로 주파수를 높이는 방향으로 동작하게 된다.

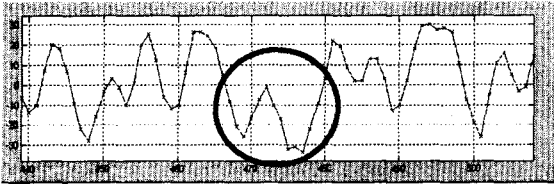


그림 4. 이웃 한 두 개의 데이터 신호가 한 개의 신호로 왜곡된 경우

기존의 알고리즘은 노이즈나 다른 요인에 의해 신호의 왜곡 정도가 심해지면 즉, 주파수 오차 보정용 신호인 11T 신호가 왜곡되거나, 그림 4.와 같이 이웃한 두 개의 데이터 신호가 한 개의 신호로 왜곡되어 11T 신호보다 큰 샘플 수를 가지는 손상된 신호가 검출되는 경우 올바른 주파수 보정을 할 수 없게 된다.

EDGE = number of input sequence between edges
 TMax = MAX(EDGE1:n), n= fixed duration
 Frequency error = TMax \square TMax(d,k) condition

그림 5. 기존 FD 알고리즘

PEDGE = number of input sequence between edges (positive case)
 NEDGE = number of input sequence between edges (negative case)
 EDGE = PEDGE or NEDGE in case |PEDEGE \square NEDGE| < N, N : fixed number
 TMax = MAX(EDGE1:n), n= fixed duration
 Frequency error = TMax \square TMax(d,k) condition

그림 6. 제안된 FD 알고리즘

제안된 알고리즘은 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 주파수 오차 보정용 신호를 검출할 때 단순히 최 장 T 신호를 검출하지 않고, 주파수 오차 검출용 sync 신호의 symmetry 특성을 이용하여(CD의 경우 11T 11T) 최 장 T 신호가 연속하여 두 번

검출될 경우 주파수 오차를 보정토록 하여 FD 성능을 향상시켰다. 기존의 FD 알고리즘과 제안된 FD 알고리즘을 식으로 표현하면 각각 그림 5.와 그림 6.과 같다.

IV. 실험결과

4.1 PD의 성능 평가

본 논문에서 제안된 PD 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘을 H/W(FPGA)로 구현한 후 DVD-ROM 1x의 신호에 cross talk noise를 첨가한 신호를 이용하여 성능을 비교하였다.

그림 7.은 기존 PD 알고리즘을 이용한 경우의 파형을 나타낸 것이고, 그림 8.은 제안된 PD 알고리즘의 파형을 나타낸 것이다. 동일한 노이즈 환경(11.3 dB)에서 기존 알고리즘은 lock이 안되나 제안된 알고리즘은 lock이 잘 되고 있음을 확인할 수 있다.

실험 결과 제안된 PD 알고리즘은 기존 PD 알고리즘 대비 0.6dB의 성능향상이 있음을 확인할 수 있었다.

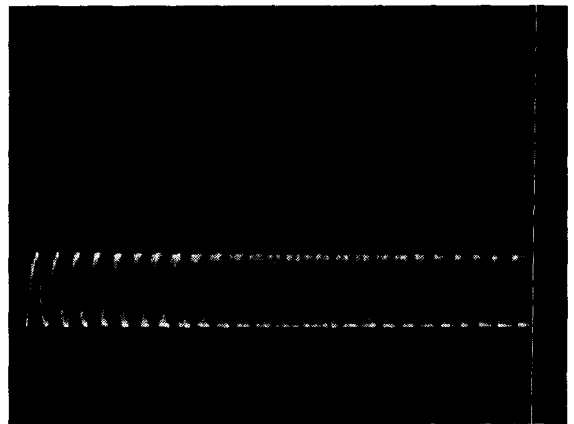


그림 7. 기존 PD 알고리즘에서의 파형

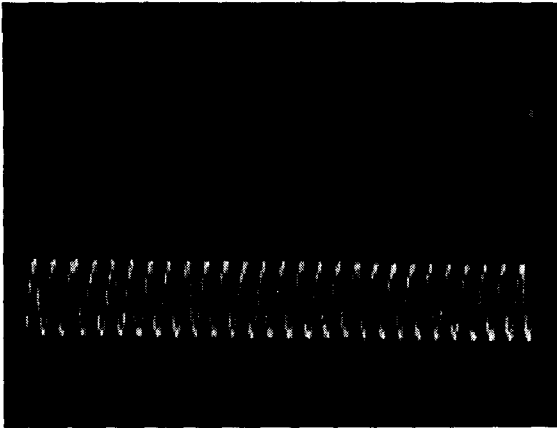


그림 8. 제안된 PD 알고리즘에서의 파형

표 1. 기존 PD 알고리즘과 제안된 PD 알고리즘의 성능 비교

알고리즘	동작범위	지터
기존 PD 알고리즘	11.9dB	23.9 %
제안된 PD 알고리즘	11.3 dB	24.5 %
성능 향상	0.6 dB	0.6 %

4.2 FD의 성능 평가

제안된 FD 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 기존 FD 알고리즘과의 Locking Time 을 비교한 결과를 표 2.에 나타내었다. Locking Time 측정 결과는 시뮬레이션을 통해 얻은 값이다.

표 2. FD의 Locking Time

	19 dB	17 dB	15 dB
기존 FD 알고리즘	-	-	-
제안된 FD 알고리즘	4.45 ms	6.84 ms	8.26 ms

- : lock 안됨

Initial Frequency offset = 12%

19, 17, 15dB 의 노이즈 환경에서 기존의 알고리즘은 주파수 lock 이 이루어지지 않았으나 제안된 알고리즘은 lock 에 성공하였고, 각 경우의 locking time 은 표에 나타난 것과 같다.

V. 결론

본 논문에서는 노이즈가 심한 환경에서 광 저장장치용 DPLL 의 성능 향상을 위하여 PD 알고리즘과 FD 알고리즘을 제안하였다. 제안된 PD 알고리즘은 노이즈에 의해 왜곡된 2T 이하의 신호에서 계산된 위상오차를 위상오차 보정 시 사용하지 않는 방식으로, 기존 알고리즘 대비 0.6dB 성능 향상이 있음을 H/W 구현을 통해 확인 하였고, 제안된 FD 알고리즘은 주파수오차 검출용 신호의 검출방식을 기존의 최 장 T 검출 방식에서 연속된 최 장 T 검출방식으로 바꿈으로써 주파수 lock 성공률을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

- [1] Kurt H. Mueller, "Timing Recovery in Digital Synchronous Data Receivers", IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-24, No.5, May 1976. pp516-531
- [2] Floyd M. Gardner, "Interpolation in digital modems. I. Fundamentals", Communications, IEEE Transactions on , Volume: 41, Issue: 3, Mar 1993. pp 501-507