

특집논문-03-08-2-05

지상파 DTV 수신기에서 타이밍 옵셋 보상 기법

김 용 철*, 김 대 진*

Timing-offset compensation techniques in ATSC DTV receivers

Yong Chul Kim* and Dae Jin Kim*

요 약

ATSC 방식을 사용하는 DTV 수신기는 심볼 타이밍 동기를 맞추기 위해 77.3 μ s마다 존재하는 세그먼트 싱크를 이용한 방법 또는 가드너 알고리즘을 사용한다. 이 중 가드너 알고리즘을 사용하는 방법은 다중 경로 채널 환경으로 인해 타이밍 옵셋이 발생하는데 이 타이밍 옵셋이 샘플링 순간을 잘못된 시점으로 옮기기 때문에 등화기의 성능이 열화된다. 다중 경로 채널 환경에서 최적의 샘플링 순간은 주 경로 신호의 크기가 최대가 되는 점이다. 본 논문에서는 채널 추정 기법을 사용하여 최적의 샘플링 순간을 찾아내고 타이밍 옵셋을 보상하므로써 DTV의 수신 성능을 개선하였다. 타이밍 옵셋 보상기와 등화기를 연계 실험하여 성능 향상을 분석하였다.

Abstract

ATSC DTV receivers use repetitive data segment syncs or Gardner algorithm as a timing recovery circuit. Many multipath signals can induce timing-offset in the symbol timing recovery circuit using Gardner algorithm and this timing-offset shifts sampling instant to the wrong points, causing the performance of the equalizer to become poor. When many echoes exist, the optimal sampling instant will be the point at which the main-path has a peak value. In this paper, by using channel correlation techniques, we find the optimal sampling instant, thereby compensating the timing offset and improving DTV reception performance. We analyzed the performance enhancement of DTV receivers using the timing offset compensator.

I. 서 론

ATSC 방식을 사용하는 DTV 수신기는 심볼 타이밍 동기를 맞추기 위해 77.3 μ s마다 존재하는 세그먼트 싱크^[1]를 이용하는 방법 또는 가드너 알고리즘^[2]을 사용한다. 세그먼트 싱크가 심볼 구간에 +5, -5, -5, +5의 패턴으로 되어 있는데 -1, -1, +1, +1의 필터를 통과시키면 타이밍 에러 정보를 구할 수 있다. 세그먼트 싱크 앞뒤의 데이터와 연관된

에러를 줄이기 위해 수십 개의 세그먼트 싱크를 평균하여 사용한다. 세그먼트 싱크를 이용하는 방식은 긴 에코에 대한 영향은 없다는 장점이 있지만 짧은 에코의 영향을 많이 받고 또한 77.3 μ s마다 하나의 세그먼트 싱크가 있어 변하는 채널을 추적하면서 동기를 유지하기 어렵다는 단점이 있다. 반면 가드너 알고리즘은 매 심볼마다 타이밍 에러 성분을 추출하므로 변하는 채널에서 타이밍 동기를 추적하면서 유지하는데 유리한 방식이다. 가드너 방식은 5.38 MHz의 주파수 성분을 이용하는데 이 5.38 MHz 이외의 데이터 성분이 정확한 타이밍 순간을 잡는 것을 방해하므로 데이터 성분을 제거할 수 있는 대역 통과 필터를 전방 필터(pre-filter)로 사용하여 타이밍 지터를 줄이고 심볼 타이밍 복구

* 전남대학교 전자공학과
Dept. Electronics Engineering, Chonnam National University

※ 본 연구는 산업자원부의 산업기초 기술 개발 사업 연구 지원으로 수행 되었으므로 이에 고마움을 표시합니다.

성능을 개선한다^[3]. 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기는 한 심볼 내에 있는 짧은 지연 에코 신호뿐만 아니라 긴 지연 에코 신호에 의해 영향을 받고 그 결과 타이밍 옵셋을 발생시킨다. 한 심볼 내에 있는 짧은 지연 에코가 있을 경우에는 가드너 심볼 타이밍 복구기가 주 경로 신호의 최대점을 찾기 때문에 타이밍 옵셋이 발생하지 않는다. 그러나 한 심볼 이상 되는 긴 지연 에코에 대해서는 주 경로 신호의 최대점이 아닌 순간에 샘플링을 하여 타이밍 옵셋을 발생시킨다. 이 타이밍 옵셋으로 인해 등화기의 성능은 열화되고 DTV 수신기의 수신 성능은 저하된다^[4].

이에 본 논문에서는 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기가 타이밍 옵셋을 발생하므로써 생기는 등화기의 성능 열화를 개선하기 위해 타이밍 옵셋 보상기를 제안하였다. 타이밍 옵셋 보상기는 채널 상관기, 최대점 탐색기, 타이밍 보상용 보간 필터로 구성되어 있다. 채널 추정기는 2배 오버 샘플링된 채널을 추정하고, 최대점 탐색기는 주 경로 신호의 최대점이 되는 타이밍을 찾아 타이밍 옵셋을 계산한 후 이를 보간 필터에서 보상한다.

본 논문의 구성은 II장에서 가드너 알고리즘을 사용한 심볼 타이밍 복원에 대해 알아보고 III장에서 제안된 타이밍 옵셋 보상기를 사용하는 DTV 수신기의 구조에 대해서 알아본다. IV장에서는 Brazil B 채널과 5μs지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널의 2가지 채널 환경에서 전산 모의 실험한 결과를 분석하여 타이밍 옵셋 보상기의 우수성을 입증한다. 그리고 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. 가드너 알고리즘을 사용한 심볼 타이밍 복원

ATSC DTV 수신기는 변하는 채널의 심볼 타이밍 추적 및 복원을 위해 가드너 알고리즘을 많이 사용한다. 가드너 알고리즘은 심볼 레이트의 2배로 샘플링된 신호로 다음과 같은 방법으로 샘플링 타이밍 오차를 추정한다.

$$e(k) = y(kT + \hat{\tau}_k) \left\{ y(kT + \frac{T}{2} + \hat{\tau}_k) - y(kT - \frac{T}{2} + \hat{\tau}_{k-1}) \right\} \quad (1)$$

가드너 알고리즘은 식 (1)을 이용하여 신호가 샘플을 취하는 위치를 중심으로 서로 대칭을 이루는 시점이 정확한 심볼 타이밍 시점이 되는 것을 이용하여 샘플링 타이밍 오차 $e(k)$ 를 추정한다. 여기서 $y(kT)$ 는 심볼 레이트 10.76 MHz의 두 배인 21.52 MHz로 샘플링된 수신 데이터이고 T는 심볼 간격이다.

$$\hat{\tau}_{k+1} = \hat{\tau}_k + \gamma e(k) \quad (2)$$

심볼 타이밍은 식 (2)를 이용하여 경신한다. 여기서 γ 는 스텝사이즈이다.

가드너 방식은 5.38 MHz의 주파수 성분을 이용하는데 이 5.38 MHz 이외의 데이터 성분이 정확한 타이밍 순간을 잡는 것을 방해하므로 데이터 성분을 제거할 수 있는 대역 통과 필터를 전방 필터로 사용하여 타이밍 지터를 줄이고 심볼 타이밍 복구 성능을 개선한다. 전방 필터는 5.38 MHz에 존재하는 타이밍 성분을 추출하기 위해 대역 통과 필터를 사용하는데 타이밍 성분이 오차가 없도록 추출하기 위해서는 주파수 대역에서 5.38 MHz를 기준으로 대칭성을 유지해야 한다. ATSC 표준에서 펄스 정형(pulse shaping)을 위해 사용하는 상승 코사인(raised cosine) 필터의 롤 오프 계수(roll-off factor)가 0.1152이므로 대칭성을 유지하기 위해서는 대역 통과 필터를 통과한 신호의 대역폭이 640 KHz 이내로 해야 한다. 따라서 전방 필터는 5.38 MHz에서 필터를 통과한 신호의 대역폭이 640 KHz가 되도록 하는 대역 통과 필터를 사용한다.

그림 1은 전방 필터를 사용한 가드너 방식의 심볼 타이밍

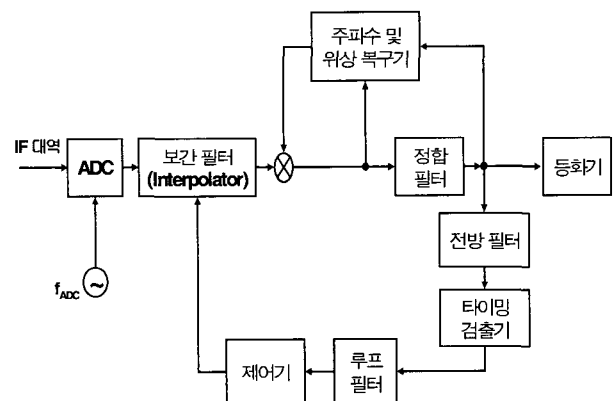


그림 1. 전방 필터를 사용한 가드너 방식의 심볼 타이밍 복구기
Fig. 1. The symbol timing recovery using Gardner algorithm with pre-filter

밍 복구기의 구조를 보여주고 있다. 정합 필터를 통과한 신호는 상승 코사인(raised cosine) 신호가 되고 가드너 심볼 타이밍 검출기가 1/2배의 심볼 간격 신호를 요구하기 때문에 2배 오버 샘플링된 신호가 전방 필터로 입력된다. 타이밍 검출기는 가드너 알고리즘을 통해 타이밍 에러를 검출한다. 루프 필터는 타이밍 에러가 순시적으로 보면 랜덤하므로 이를 제거하기 위해 평균을 취하는 역할을 하고 이 신호는 보간 필터의 제어 신호를 발생하는 제어기의 입력 신호가 된다. 그리고 제어기가 보간 필터를 조정하여 심볼 타이밍에 맞는 신호를 만든다.

가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기를 사용하면 샘플링 순간이 다중 경로 신호의 영향을 받아 이동하게 된다. 한 심볼 이내의 짧은 지연 에코 신호가 있는 경우, 신호는 주 경로 신호와 에코 신호가 합쳐져서 주 경로 신호의 최대점이 원점이 아닌 점으로 이동한다. 이 경우 가드너 알고리즘은 주 경로 신호가 최대가 되는 점을 샘플링 순간으로 찾게 된다. 등화기는 주 경로 신호의 최대가 되는 점에서 샘플링을 했을 경우 성능이 가장 우수하므로 한 심볼 이내의 짧은 지연 에코 신호가 있는 경우에는 가드너 알고리즘이 찾은 순간에 샘플링을 하는 것이 최적이다. 그러나 한 심볼 이상 지연이 있는 에코 신호가 있는 경우에는 가드너 알고리즘이 에코 신호의 영향을 받아 주 경로 신호의 최대점과 가드너 알고리즘이 찾은 샘플링 순간의 차이인 타이밍 오프셋이 발생하고 샘플링 순간이 타이밍 오프셋만큼 옮겨져 주 경로 신호의 최대점이 아닌 순간이 된다. 따라서 타이밍 오프셋으로 인해 등화기의 성능은 열화되는데 III 장에서는 타이밍 오프셋 보상기를 사용하여 수신 성능을 향상시킨다.

III. 제안된 타이밍 오프셋 보상기를 사용한 DTV 수신기의 구조

지상파 DTV 수신 채널 환경은 짧은 지연 에코뿐만 아니라 긴 지연 에코가 복합적으로 존재하므로 타이밍 오프셋이 발생하고 등화기의 성능은 열화되므로 타이밍 오프셋을 보상하므로써 등화기의 성능을 개선할 수 있다.

그림 2는 제안된 타이밍 오프셋 보상기를 사용한 전디지털 지상파 방송용 수신기의 블록구성도이다. 제안된 구조는 타이밍 오프셋 보상기가 정합 필터와 등화기 사이에 있

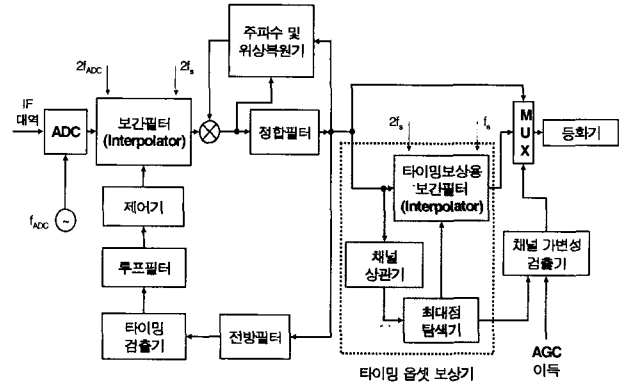


그림 2. 제안된 타이밍 오프셋 보상기를 사용한 전디지털 지상파 방송용 수신기의 블록구성도
Fig. 2. The block diagram of DTV receiver with the proposed timing-offset compensation technique

다. 타이밍 오프셋 보상기는 가드너 방식을 사용하는 심볼 타이밍 복구기에서 발생하는 타이밍 오프셋을 보상하는 역할을 한다.

그림 3은 타이밍 오프셋의 크기에 따른 등화기의 심볼 에러율 곡선을 보여주고 있다. 5 μ s지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널에서의 등화기 심볼 에러율 곡선에서는 타이밍 오프셋이 0 T일 때 가장 우수한 성능을 보이고 -4/16 T와 3/16 T사이에서 우수한 성능을 보인다. 그러나 타이밍 오프셋이 -4/16 T와 3/16 T사이를 벗어나면 등화기의 성능이 크게 열화되므로 타이밍 오프셋의 보상이 필요하다. LMS-DFE 구조의 등화기

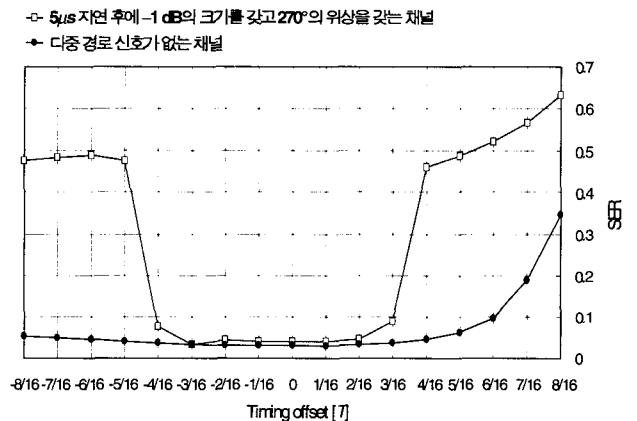


그림 3. 타이밍 오프셋의 크기에 따른 등화기의 심볼 에러율 곡선
Fig 3. Symbol error rate curves of the equalizer according to the magnitude of timing-offset

가 전방 에코 신호보다 후방 에코를 더 잘 보상하기 때문에 등화기의 성능은 음의 타이밍 옵셋이 존재하여 후방 에코가 발생하는 경우가 양의 타이밍 옵셋이 존재하여 전방 에코가 발생하는 경우보다 우수하다. 마찬가지로, 다중 경로 신호가 없는 채널에서도 타이밍 옵셋이 0 T일 때 가장 성능이 우수하고 음의 타이밍 옵셋이 존재하는 경우가 양의 타이밍 옵셋이 존재하는 경우보다 성능이 우수하다.

가드너 심볼 타이밍 복구기는 에코 신호의 지연 시간뿐만 아니라 위상에 따라서도 타이밍 옵셋이 발생한다. 따라서 가변 채널 환경에서는 타이밍 옵셋의 변하는데 예를 들어 그림 3에서 보여주는 것처럼 약 $\pm 0.15 T$ 범위 내에서는 등화기의 성능이 거의 변하지 않는다. 그러나 지상파 DTV 수신환경이 타이밍 옵셋이 약 $\pm 0.15 T$ 이상 변하는 것이 가능하므로 채널 가변성 검출기가 최대점 탐색기에서 구한 주 경로 신호의 최대점 변화율과 AGC 이득 변화율을 이용하여 타이밍 옵셋이 $\pm 0.15 T$ 이상 변하는지 때 필드마다 검출하고 타이밍 옵셋이 $\pm 0.15 T$ 이상 변하면 타이밍 옵셋 보상기를 사용하지 않는다. 그러므로 옥외 안테나나 실내 안테나 수신과 같은 고정 안테나 수신에서는 유용하게 사용될 수 있다. 이 때 타이밍 옵셋 보상기의 사용 유무에 따라서 옵셋의 변화가 발생하고 등화기에 충격을 주게 된다. 옵셋의 변화량이 크면 등화기가 빨리 수렴할 수 없으므로 등화기 성능에 영향을 주지 않도록 여러 세그먼트에 걸쳐서 서서히 변화시켜 등화기의 충격을 완하시킨다.

타이밍 옵셋 보상기는 채널 상관기, 최대점 탐색기, 타이밍 보상용 보간 필터로 구성되어 있다. 우선, 채널 상관기는 정합 필터 출력을 이용하여 채널의 상관 계수 값을 계산하는데 정합 필터 출력은 2배 오버 샘플링되어 있다. 2배 오버 샘플링된 채널 추정을 하는 이유는 심볼 단위로 채널 추정을 했을 경우 인접 심볼간 간섭으로 인해 5.38 MHz에 존재하는 타이밍 정보가 사라지는 것을 방지하기 위해서다. 채널의 상관 계수 값의 계산은 데이터 필드 싱크에 존재하는 PN511 데이터를 자기 상관하여 구한다. PN511 데이터는 매 필드마다 한번씩 나타나므로 타이밍 옵셋 보상은 매 필드마다 한번씩 이루어진다. 자기 상관 값은 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$R_{XY}(m) = \sum_{i=1}^{1022} x_{REF}\left(\frac{iT}{2}\right)y\left(-\frac{(i+m)T}{2} + \tau\right) \quad (3)$$

$y(\cdot)$ 는 2배 오버 샘플링된 수신 데이터이고 $x_{REF}\left(\frac{iT}{2}\right)$ 필드 싱크에 있는 2배 오버 샘플링된 PN511 데이터^[1]이다. 그림 4는 PN511 데이터의 자기 상관 출력 값을 보여주고 있다.

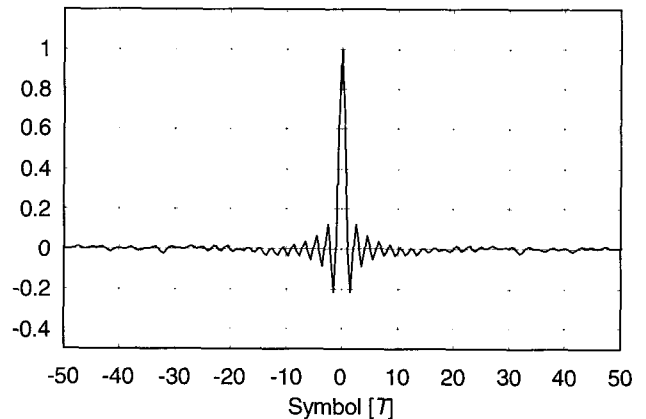


그림 4. PN511의 자기 상관 출력 값
Fig. 4. Autocorrelation function of PN511 in the field syncs

최대점 탐색기는 채널 상관기에서 계산된 데이터를 가지고 보간법을 사용하여 주 경로 신호의 최대점을 찾는다. 보간법은 2배 오버 샘플링된 데이터를 사용하기 때문에 8탭의 롤 오프 계수 값이 큰 상승 코사인 필터를 보간 필터로 사용하였다. 다중 경로 채널 환경에서 가드너 알고리즘이 타이밍 옵셋을 발생하기 때문에 최대점 탐색기에서 구한 최대점은 등화기의 성능을 최대화하는 최적 샘플링 순간이 된다. 타이밍 보상용 보간 필터는 샘플링 순간을 최대점 탐색기에서 구한 최대점으로 옮기는 역할을 한다. 위와 같은 구조의 타이밍 옵셋 보상기를 사용하면 타이밍 옵셋으로 인한 등화기의 열화를 막을 수 있으므로 DTV 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

IV. 실험 및 분석

타이밍 옵셋 보상기가 삽입된 DTV 수신기와 기존의 수신기의 성능을 비교하기 위해 전산 모의 실험을 하였다. 사용된 채널 조건은 Brazil B 채널과 5μs지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널이다. 등화기는 LMS-DFE 구조의 등화기를 사용하였다. 등화기의

탭 수는 전방 100탭, 후방 200탭을 사용하였고 스텝 사이즈는 1×10^{-5} 을 사용하였다.

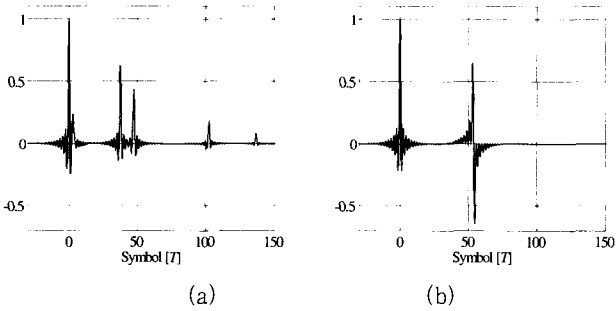


그림 5. 실험에 사용된 채널의 임펄스 응답: (a) Brazil B 채널, (b) 5µs 지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널
 Fig. 5. (a) is the channel impulse response of Brazil channel B and (b) is the channel impulse response of -1 dB single echo with a delay of 5µs and a phase of 270°

그림 5는 실험에 사용된 채널의 임펄스 응답을 보여주고 있다.

채널 상관기는 필드 싱크에 있는 PN511 데이터를 자기 상관하여 2배 오버 샘플링된 채널의 임펄스 응답을 추정한다.

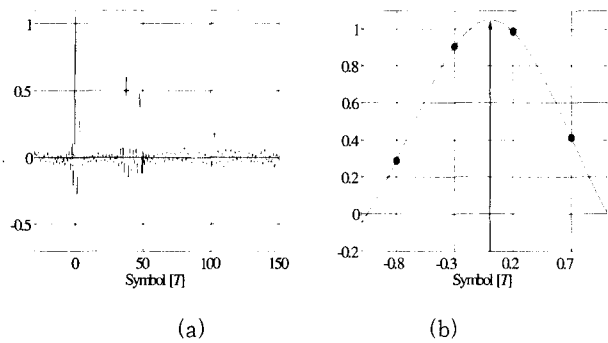


그림 6. (a) 추정된 Brazil B 채널의 임펄스 응답, (b) 주 경로 신호의 최대점
 Fig. 6. (a) is the estimated channel impulse response of Brazil channel B and (b) shows the estimated peak position of the main-path

그림 6은 추정된 Brazil B 채널의 임펄스 응답과 주 경로 신호의 최대점을 보여주고 있다. 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기는 $-0.3 T$ 에서 수렴하게 되므로 그림 6의 (b)에서 보여주는 것처럼 샘플링 순간은 $-0.8 T$, $-0.3 T$, $0.2 T$ 그리고 $0.7 T$ 가 된다. 주 경로

신호의 최대점은 이 샘플 값들을 사용하여 구하게 되면 $0.015 T$ 가 되고 보상할 타이밍 옵셋 값은 $0.315 T$ 가 된다. 타이밍 보상용 보간 필터는 최대점 탐색기에서 구한 $0.315 T$ 만큼 타이밍 옵셋을 보상하고 보상된 샘플 값을 등화기로 보낸다.

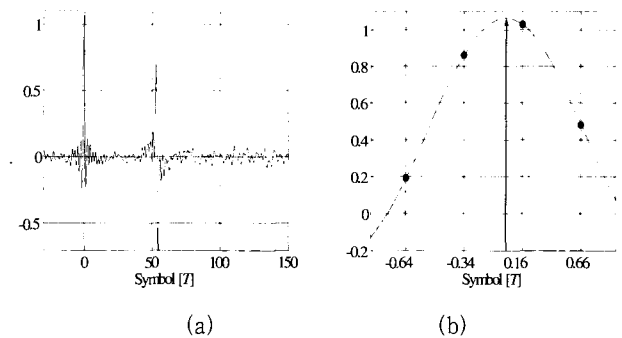


그림 7. (a) 추정된 5µs지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널의 임펄스 응답 (b) 주 경로 신호의 최대점

Fig. 7. (a) is the estimated channel impulse response of -1 dB single echo with a delay of 5µs and a phase of 270° and (b) shows the estimated peak position of the main-path

그림 7은 추정된 5µs지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널의 임펄스 응답과 주 경로 신호의 최대점을 보여주고 있다. 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기는 $0.16 T$ 에서 수렴하게 되므로 그림 7의 (b)에서 보여주는 것처럼 샘플링 순간은 $-0.84 T$, $-0.34 T$, $0.16 T$ 그리고 $0.66 T$ 가 된다. 주 경로 신호의 최대점은 이 샘플 값들을 사용하여 구하게 되면 $0 T$ 가 되고 보상할 타이밍 옵셋 값은 $-0.16 T$ 가 된다. 타이밍 보상용 보간 필터는 최대점 탐색기에서 구한 $-0.16 T$ 만큼 보상하고 보상된 샘플 값을 등화기로 보낸다.

그림 8은 등화기의 심볼 에러율 곡선을 보여주고 있다. 검은 점으로 표현된 곡선은 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기만을 사용한 수신기의 등화기 심볼 에러율 곡선이고 하얀 점으로 표현된 곡선은 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기와 타이밍 옵셋 보상기를 연계한 수신기의 등화기 심볼 에러율 곡선이다. 전산 모의 실험 결과를 분석해 보면 Brazil B 채널의 경우, 등화기 심볼 에러율 0.2에서 타이밍 옵셋 보상기를 사용한 수신기는 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기만 사용한 수신기보다 약 2.2 dB의 성능 개선을 보였다. 그리고 5µs지연 후에

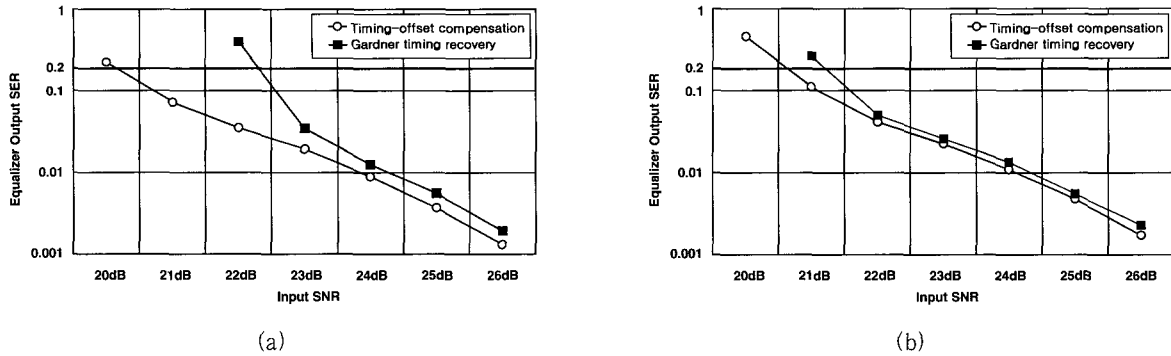


그림 8. 등화기의 심볼 에러율 곡선 (a) Brazil B 채널 (b) 5µs 지연 후에 -1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널
 Fig. 8. Symbol error rate curves of the equalizer by using the timing-offset compensation technique: (a) Brazil channel B (b) -1 dB single echo with a delay of 5µs and a phase of 270°

-1 dB의 크기를 갖고 270°의 위상을 갖는 채널의 경우, 등화기 심볼 에러율 0.2에서 타이밍 오프셋 보상기를 삽입한 수신기는 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기만 사용한 수신기보다 약 0.6 dB의 성능 개선을 보였다. 또한 가드너 알고리즘을 사용한 심볼 타이밍 복구기의 타이밍 오프셋이 많이 발생하는 채널일수록 타이밍 오프셋 보상기를 사용한 수신기의 성능 개선 효과가 크다.

V. 결 론

본 논문에서는 DTV 수신기의 수신 성능 향상을 위해 타이밍 오프셋 보상기를 사용하였다. 한 심볼보다 긴 지연을 갖는 에코 신호는 가드너 알고리즘을 사용하는 심볼 타이밍 복구기에 타이밍 오프셋을 유발하여 등화기의 성능을 열화시키고 DTV 수신기의 성능을 저하시킨다. 이를 보상하기 위한 타이밍 오프셋 보상기의 채널 상관기는 2배 오버 샘플링된 채널을 추정하고, 최대점 탐색기가 주 경로 신호의 최대점이 되는 타이밍을 찾아 타이밍 오프셋을 계산하고 이를 타이밍 보상용 보간 필터에서 보상하여 등화기의 성능을 향상시킨다. 특히 디지털 지상파 방송 채널 환경에서 크기가 크고 많은 수의 다중 경로 신호가 존재하는 경우 타이밍 오프셋 보상기를 사용하면 DTV 수신기의 수신 성능이 더욱더 향상된다.

참 고 문 헌

- [1] ATSC, "Guide to the use of the ATSC digital television standard," ATSC Doc. A/53, 1995.
- [2] F. M. Gardner, "A BPSK/QPSK timing recovery in digital synchronous data receivers," *IEEE Trans. on Commun., COM-24*, May, 1986.
- [3] A. N. D' Andrea and M. Luise, "Optimization of symbol timing recovery for QAM data demodulators," *IEEE Trans. on Commun., COM-44*, Mar. 1996.
- [4] D. J. Kim, S. W. Park, Y. H. Kim and W. S. Yoon, "Timing-offset independent equalization techniques for robust indoor reception of ATSC DTV receivers," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 46, No. 3, Aug., 2000.

 저 자 소 개



김 용 철

- 2000년 2월 : 전남대학교 전자공학과 공학사
- 2002년 2월 : 전남대학교 전자공학과 공학석사
- 현재 : 전남대학교 전자정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송, 8-VSB, OFDM, 무선랜



김 대 진

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1991년~1996년 12월 : LG전자 멀티미디어(연) 책임연구원
- 1997년 1월~현재 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 부교수
- 주관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송 송수신, 8-VSB, OFDM, LMDS 케이블모뎀