

ATSC DTV 시스템에서 수신 파워 레벨 보상을 이용한 타이밍 동기 기법

*남완주 **이성준 ***김재명

인하대학교 정보통신대학원

*softlight@paran.com , ** rhlek99@nate.com , ***jaekim@inha.ac.kr

The timing synchronization algorithm using the receive power level compensation in ATSC

*Nam, Wan-Ju **Lee, Sung-Jun ***Kim, Jea-Moung

The Graduate School of Information & Telecommunications, INHA University

요약

ATSC DTV시스템에서는 심볼타이밍 동기를 위해서 ATSC규격에 소개되어있는 $77.3 \mu s$ 마다 반복적으로 삽입되어있는 세그먼트 싱크를 이용하는 세그먼트 동기 방법 또는 QAM과 같은 다중레벨을 가지는 신호에 일반적으로 사용되는 가드너(Gardner)방법을 사용한다. 이중 가드너 방법은 매심볼마다 타이밍 에러성분을 추출하므로 다중경로 채널에서 타이밍동기를 추적하면서 유지하는데 유리한 방식이어서 일반적으로 사용한다. 가드너 방법을 이용하는 ATSC DTV시스템에서 가드너 방법에 에러를 검출하기 위해 사용되는 가드너 타이밍 에러 검출기(Timing Error Detector)는 수신단의 파워레벨이 기준 파워레벨에서 크게 벗어날 경우 에러를 검출 할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결 하기 위해 가드너 타이밍 에러 검출기 블록 앞에 송신파워 레벨과 수신파워 레벨의 비를 이용하여 정상적인 수신 파워 레벨로 수신할 수 있도록 보정하는 블록을 추가하여 전체적인 동기성능을 향상시키는 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

ATSC DTV 시스템은 고음질, 고화질을 위한 높은 데이터 전송률을 가지고 있으나 심각한 다중경로 환경이나 수신 성능이 열악한 실내 환경 이동통신 환경에서의 채널을 거치면 동기 획득이 어려운 문제점을 가지고 있다. 채널을 거치면서 생긴 샘플링 클럭 주파수의 오차와 위상 오차로 인해 발생하는 샘플링 타이밍 오프셋을 보상하는 과정을 심볼 타이밍 동기(Symbol Timing Synchronization)라 한다.

DTV 수신기에서는 심볼 타이밍 동기를 위해서 ATSC규격에 소개되어있는 $77.3\mu s$ 마다 반복적으로 삽입되어있는 세그먼트를 이용하는 세그먼트 방법 또는 QAM과 같은 다중레벨을 가지는 신호에 일반적으로 사용되는 가드너방법을 사용한다.^{[1][2]}

ATSC DTV 시스템은 각 세그먼트당 4개의 세그먼트 싱크 심볼과 828개의 데이터심볼로 이루어져있다. 4개의 세그먼트 싱크 심볼은 $77.3\mu s$ 마다 반복적으로 (+5, -5, -5, +5)로 이루어져있고 나머지 828개의 데이터 심볼은 총 8-level ($\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7$) 을 가진다.^[3]

세그먼트 싱크 심볼을 이용한 세그먼트 동기방법은 긴 예코에 대한 영향은 없다는 장점이 있지만 짧은 예코의 영향을 많이 받고 $77.3 \mu s$ 마다 하나의 세그먼트 싱크에 의해 변하는 채널을 추적하므로 실제적으로 빠른 동기를 유지하기 어렵다는 단점이있다.^[4] 또한 주파수동기를 위한 FPLL(Frequency Phase Locked Loop)에서 위상 오프셋이 남아있다면 심볼 타이밍 동기를 이룰 수 없게 된다. 반면에 가드너방법은 매 심볼 마다 타이밍 에러를 추출하므로 다중경로 채널에서 타이밍 동기를 추적하면서 유지하는 것에 유리하다.^[5]

본 논문에서는 가드너 방법을 사용하는 심볼 타이밍 동기의 에러를 검출하는 가드너 타이밍 에러 검출기(Timing Error Detector)에서

생길 수 있는 성능열화를 분석하고 이를 해결하기위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 가드너 심볼타이밍 동기를 알아보고 문제점을 분석한다. 3장에서는 문제점해결을 위한 새로운 블록의 구성을 제안하고 4장에서는 시뮬레이션을 통해 성능향상을 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 가드너 심볼 타이밍 동기

본 논문에서는 ATSC DTV에서 잡음과 다중경로에 강인한 가드너 방법의 심볼 타이밍 동기루프를 사용하여 샘플링 타이밍 오차를 추정 보상한다. 그림 1은 ATSC DTV시스템에서 가드너 방법의 심볼 타이밍 동기 루프이다. 수신된 신호는 ADC (Analog Digital Converter)를 거쳐 정합 필터를 통과한 후 두 배로 오버 샘플링 된다. 두배 이상 샘플링 된 신호는 파일릿을 제거하고 타이밍 에러 검출기(Timing Error Detector)로 심볼 타이밍 에러를 추정하여 루프필터를 통과하면서 에러의 평균을 취하는 역할을 수행 후 NCO를 거치고 Interpolator를 이용하여 심볼 타이밍 오프셋을 보정한다.^[6]

수신된 신호가 $x(t)$ 라 하고 ADC를 거쳐 샘플링 타임 T_s 를 가지는 샘플링 된 신호는 $x(mT_s)$ 로 나타낼 수 있다. Interpolator 통과 후 보정된 샘플링 타임 T_i 를 가지는 신호를 식(1)과 같이 정의한다.^[6]

$$y(kT_i) = \sum_m x(mT_s)h_f(kT_i - mT_s) \quad (1)$$

$$kT_i = (m + \mu_k)T_s$$

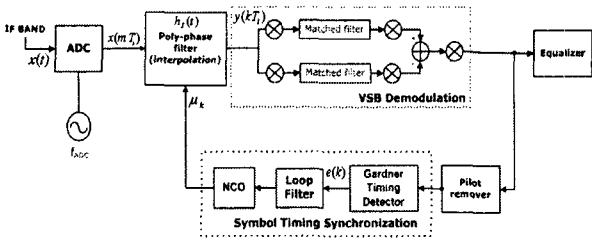


그림 1 ATSC DTV 시스템에서 가드너 방법의 심볼 타이밍 동기 루프

수신신호 $x(t)$ 의 심볼 레이트는 10.76Mhz이고 샘플링된 신호 $x(mT_s)$ 의 심볼레이트는 21.52Mhz이다. Interpolator 통과후 시그널은 심볼 타이밍 동기루프를 거쳐서 계산된 오프셋값에 따라 조정되어진다. 가드너 방식의 타이밍 에러 검출기는 심볼 레이트의 두 배로 샘플링된 신호의 곱의 차를 이용하여 심볼 타이밍 에러를 추정하는 방식으로 식(2)과 같이 샘플링되는 위치를 중심으로 서로 대칭을 이루는 시점이 정확한 타이밍 시점이 되는것을 이용하여 심볼 타이밍 에러 $e(k)$ 를 추정할 수 있다.^[5] 추정된 값은 루프필터와 NCO(Number Controlled Oscillator)를 거쳐 심볼 타이밍 동기를 획득한다.

$$e(k) = y((k-1/2)T_s) \cdot \{y((k-1)T_s) - y(kT_s)\} \quad (2)$$

다중경로 채널을 지나면서 원래의 $y(kT_s)$ 의 값이 상대적으로 커지게 되면 심볼 타이밍 에러 $e(k)$ 값이 커지게 된다. 상대적으로 큰 심볼 타이밍 에러값은 빠르게 동기를 획득할 수 있지만 지터의 양이 커지게 된다. 반대로 시그널 파워 레벨이 이상적인 파워레벨보다 적을 경우에는 전체적으로 들어오는 시그널 크기는 감소 되므로 자연스럽게 상대적으로 작은 심볼 타이밍 에러값을 가지게 되어 지터의 양은 적어지게 되지만 동기화 되기까지 상대적으로 긴 시간이 걸리게 된다. 이와같이 수신 시그널의 파워 레벨이 이상적인 수신 파워레벨보다 크거나 작을 경우 가드너 방법의 심볼타이밍 동기는 제대로 이루어지지 않아 전체적인 동기성능을 열화시킨다. 만약에 어떤 상황에서도 이상적인 시그널 파워레벨로 유지시켜준다면 이러한 성능열화를 막아 동기성능을 항상 시킬 수 있다. 3장에서는 심볼타이밍 동기 성능은 수신 신호의 파워레벨에 영향을 많이 받기 때문에 가드너 TED 앞에 시그널 파워레벨을 이상적인 파워레벨로 유지시켜주는 블록을 첨가하여 동기 성능을 향상시키는 알고리즘을 설명한다.

3. 제안하는 동기 알고리즘

ATSC DTV 시스템의 데이터 심볼은 총 8-level으로 ($\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7$) 값을 가진다. 여기에 1.25V의 파워로 DC전압이 더해져서 송신된다. 랜덤하게 데이터가 생성된다면 식(3)과 같이 송신단의 시그널 평균 전압 레벨을 추정할 수 있다.

$$P = [(-7+1.25)^2 + (-5+1.25)^2 + \dots + (7+1.25)^2]/8$$

$$V \cong \sqrt{P} = 4.76V \quad (3)$$

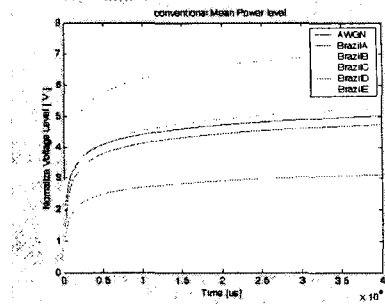


그림 3 각 채널에서 수신데이터의 평균 전압

이를 이용하여 송신단의 평균 출력 전압을 구해보면 4.76V를 얻을 수 있다. 송신단의 평균 출력 전압을 기준 시그널 전압 레벨이라고 한다. 실제적인 시스템 적용에 있어서는 송신단의 전압레벨을 측정하여 기준 시그널 전압레벨로 정한다.

그림 3은 각 채널에서 수신데이터의 시간적 평균 전압을 나타낸다. 각 채널의 환경은 브라질 필드테스트 모델을 사용하였다.^[7] 그림 3에서 볼 수 있듯이 BrazilA와 BrazilB 채널 환경은 AWGN과 비슷한 기준 시그널 전압레벨인 4.76V 근처의 수신 전압을 유지 하는것을 볼 수 있다. 하지만 BrazilD 채널의 경우는 수신 데이터의 평균 전압이 3V로서 기준 시그널 전압레벨 보다 떨어지는것을 볼 수 있고, Brazil C와 Brazil E의 경우는 6V를 넘어서 이상적인 경우 보다 높은 전압 레벨을 유지하는 것을 확인 할 수 있다. 수신 평균 전압 레벨을 가지고 예상해보면 Brazil D채널과 같이 기준 평균 전압 레벨보다 낮은 경우는 심볼 타이밍 동기시 식(2)의 $e(k)$ 값이 작아지므로 적은양의 지터를 가지지만 긴 동기시간을 가진다. Brazil C와 Brazil E와같이 기준경우보다 상대적으로 높은 전압레벨로 수신시에는 동기되는 시간은 적지만 지터의 양이 크다.

항상 일정하게 수신 파워레벨을 유지하기 위해서 그림 4와 같은 평균 전압 조절 블록을 심볼 타이밍 동기 블록 앞에 추가한다. 제안하는 블록은 평균 전압 레벨 측정블록과 평균 전압 레벨 조절블록으로 이루어져있다. 우선 평균 전압 레벨 측정블록에서 식(4)를 이용해 수신 전압 레벨을 측정한다. 여기서 y_k 는 수신된 k번째 심볼의 값을 나타낸다. 식(5)를 이용하여 평균 전압 조절기에서는 측정된 평균 전압 레벨과 저장된 기준 전압의 비를 계산하여 곱해줌으로써 수신 전압 레벨을 송신 전압 레벨과 같게 맞춰준다. ATSC DTV 시스템에서는 앞에서 계산한 4.76V를 기준 전압 레벨로 계산하여 송신 전압 레벨을 맞춰준다.

$$\text{mean voltage level} = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{(y_k)^2}}{k} \quad (4)$$

$$\text{out data} = y_k \times \frac{\text{standard mean voltage level} (= 4.76 V)}{\text{mean voltage level}} \quad (5)$$

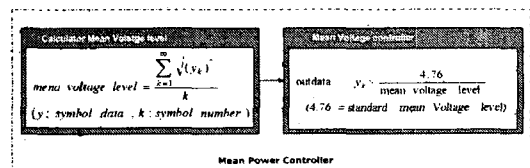


그림 4 제안된 평균 파워 조절기

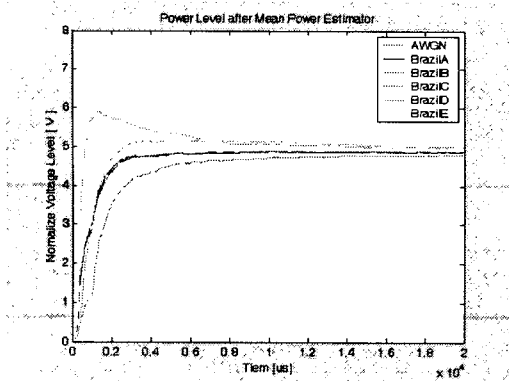


그림 6 제한한 평균 전압 조절기를 통과한 후 각 채널에서 수신데이터의 평균 전압

예를 들어 ATSC DTV시스템에서 송신기의 평균 전압 레벨은 4.76V이다 그리고 다중경로 채널을 통과후 수신 평균 전압 레벨이 9.52V로 기준 전압레벨보다 2배로 클 경우 평균 전압 조절기에서 수신 시그널에 계속적으로 1/2를 곱해줌으로써 전체적인 수신 시그널의 전압 레벨을 4.76V로 맞춰주어 가드너 심볼 타이밍 동기루프로 들어가게 된다. 그림 5는 제안하는 심볼 타이밍 동기 알고리즘이다.

평균 파워 조절기를 통과하여 기준 전압레벨로 맞춰진 시그널이 가드너 심볼 타이밍 동기루프로 들어가게 되어 식(2)에 의한 정확한 타이밍 동기를 획득할 수 있다.

그림 6은 제안된 평균 파워 조절기를 통과한 후 각채널 통과 후 수신 데이터의 평균 전압이다. 그림 3과 비교하여 각 채널에서 일정 시간 후 모두 기준 전압 레벨인 4.76V로 조정 되는 것을 확인 할 수가 있다.

가드너 방식의 심볼 타이밍 동기는 타이밍 에러의 값이 수신 파워 레벨에 영향을 받게 되고 다중 경로 채널을 통과 할때 생기는 평균 파워 레벨의 변화를 고려하지 않는다면 잘못된 타이밍 에러값에 의해 동기 성능 열화를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 타이밍 에러 검출기 앞에 수신 평균 전압 레벨을 송신 평균 전압 레벨로 일정하게 유지시켜주는 블록을 첨가하여 전체적인 동기성능을 향상시킨다.

4. 시뮬레이션

ATSC DTV시스템에서 심볼 타이밍 동기를 위해 그림 7과 같이 시뮬레이션을 구성하였다. 타이밍 동기는 가드너 방법을 사용하고 채널은 브라질 필드 테스트 채널 모델을 사용하여 성능을 비교하였다.^[7] 일반적으로 DTV에서는 Brazil 필드테스트 채널 모델을 사용하는데 A와 B는 실외 수신 안테나 환경, C는 실외와 실내 중간환경이고 D는 실내

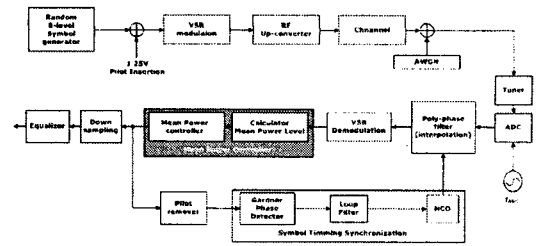


그림 7 시뮬레이션 블록도

안테나 환경, E는 SFN(Single Frequency Network) 환경이다. 동기성능은 얼마만큼 타이밍 옵셋에 수렴하는가하는 수렴시간 (Convergence Time)과 수렴후 얼마나 안정적인가 하는 지터(jitter)량으로 성능을 평가한다. 동기성능을 평가 하기 위해서 각 채널에 $\pm 200\text{ppm}$ 의 타이밍 옵셋을 주고 수렴 속도와 지터량을 비교한다. SNR는 15dB로 고정하였고 가드너 타이밍 동기에 들어가는 루프필터의 대역폭은 500ppm으로 고정, 반송파 주파수는 UHF대역 채널 15번인 476MHz를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

그림 3에서 Brazil A와 Brazil B채널의 경우수신 평균 전압 레벨이 AWGN 채널 과 비슷한 전압 레벨을 가지고 있지만 Brazil C와 Brazil E의 경우는 수신 평균 전압 레벨이 기준 전압 레벨보다 높다. 반면 Brazil D의 경우는 기준 전압 레벨보다 낮다. 이렇게 각 3가지 경우로 나누어 결과를 분석하도록 한다.

그림 8은 기존 가드너 방법의 심볼 타이밍 동기 그래프이다. 그림 8-1은 수신 전압 레벨이 기준 전압 레벨과 비슷하기 때문에 본 제안 알고리즘 적용에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 하지만 그림 8-2처럼 수신 전압 레벨이 상대적으로 기준 전압레벨보다 큰 Brazil C 채널의 경우 가드너 방법은 타이밍 에러 검출기에서 상대적으로 큰 타이밍 에러값을 검출해내고 이를 이용해서 타이밍 에러를 보정하기 때문에 지터량이 커짐을 확인 할 수 있다. 그림 8-3은 Brazil D 채널으로 수신 전압 레벨이 기준 전압 레벨보다 작은 경우이다. 이 경우 타이밍 에러 검출기에서 상대적으로 작은 에러 값을 계속적으로 검출하게 되어 긴 동기 수렴 시간과 작은 지터량을 가진다. 매우 작은 타이밍 에러 검출기의 출력 값들에 의해 그림 8-3에서 볼 수 있듯이 타이밍 동기가 수렴 하지 않을 수 있다. 식(2)에서 구할 수 있는 심볼 타이밍 에러 검출기의 타이밍 에러 값은 전체적인 동기를 획득하는 중요한 파라미터 값으로 이 값이 기준 전압 레벨로 들어오는 시그널인 경우에만 정확한 값으로 계산되고 가드너 방식의 타이밍 동기가 제대로 된 성능을 얻어낼 수가 있다. 그림 9은 각각의 채널에서 평균 파워 조절블록을 첨가한 심볼 타이밍 동기 그래프 이다. 수신 전압레벨이 기준 전압레벨

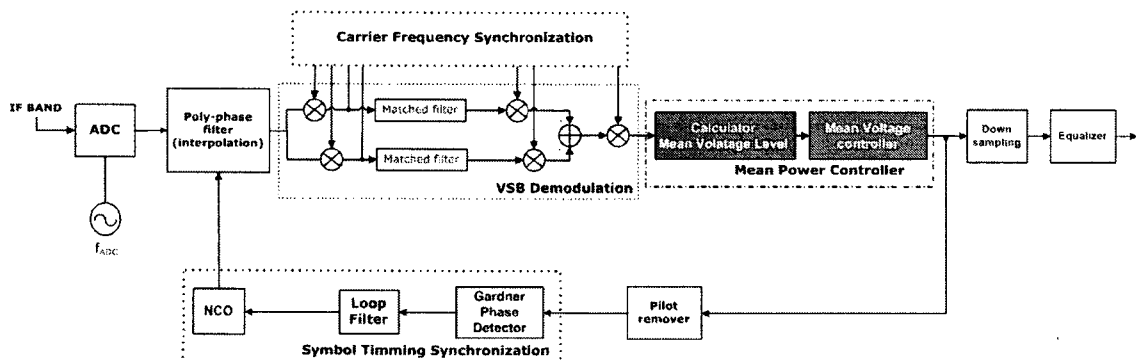


그림 5 제안된 평균 파워 조절기를 포함하는 심볼 타이밍 동기 알고리즘

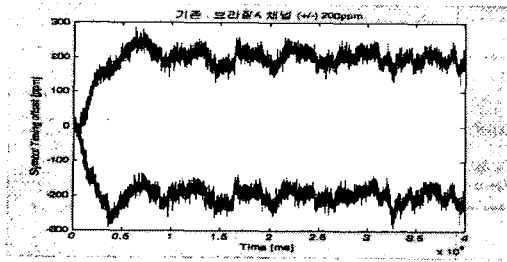


그림 8-1 Brazil A채널에서 가드너 방식의 심볼 타이밍 동기 (기준 전압 레벨과 비슷한 경우)

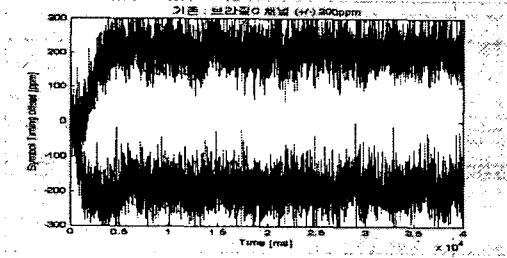


그림 8-2 Brazil C채널에서 가드너 방식의 심볼 타이밍 동기 (기준 전압 레벨보다 큰 경우)

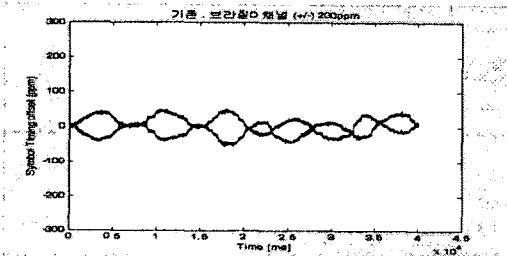


그림 8-3 Brazil D채널에서 가드너 방식의 심볼 타이밍 동기 (기준 전압 레벨보다 작은 경우)

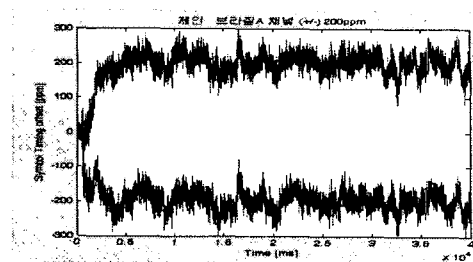


그림 9-1 Brazil A채널에서 제안한 심볼 타이밍 동기 (기준 전압 레벨과 비슷한 경우)

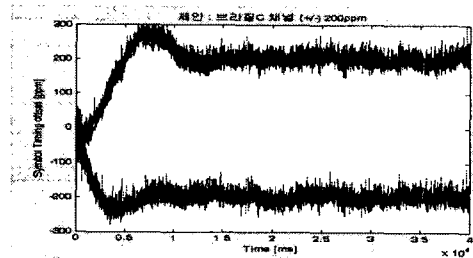


그림 9-2 Brazil C채널에서 제안한 심볼 타이밍 동기 (기준 전압 레벨보다 큰 경우)

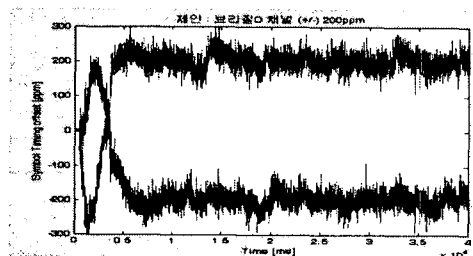


그림 9-3 Brazil D채널에서 제안한 심볼 타이밍 동기 (기준 전압 레벨보다 작은 경우)

과 비슷한 경우에는 본 제안 알고리즘은 기존과 거의 같지만 다중채널을 통과해 수신 전압레벨이 높아지거나 낮아지는 경우 지터량의 감소 및 동기 수립 시간이 감소하는 것을 확인 할 수 있다 특히 Brazil D채널의 경우 기존의 경우 타이밍 동기를 할 수 없었지만 제안한 알고리즘을 사용하는 경우 동기를 획득 할 수 있었다.

본 논문에서는 기본적으로 수신단에서 수신 전압 파워를 기준 파워 레벨에 맞춰 줘야만 정확한 가드너 심볼 타이밍 동기를 적용할 수가 있다는 점을 이용하여 수신 파워 레벨 조절기를 추가하여 다중경로 채널을 통과하더라도 동기획득이 가능한 알고리즘을 제안하였다.

5. 결론

본 논문은 가드너 방식의 심볼 타이밍 동기를 사용하는 시스템에서 수신단의 파워 레벨이 송신단의 파워 레벨과 차이가 날 경우 발생할 수 있는 성능 열화를 ATSC DTV 시스템에 적용하여 확인하고 이를 해결하기 위해 수신단의 파워 레벨을 송신단의 파워 레벨로 일정하게 유지시켜 주는 블록을 첨가하여 동기성능을 비교 분석 하였다. 가드너 심볼 타이밍 동기를 하기에 앞서 수신단의 파워 레벨을 송신단의 파워 레벨로 맞춰주어야만 정확한 타이밍 동기를 얻을 수 있는 점을 이용해 다중경로 채널에 의해 생기는 동기 성능 열화를 해결하였다. 수신단의 평균 파워 레벨이 송신단의 파워레벨에 비해 높은 경우나 낮은 경우나 항상 일정한 수신레벨로 유지시켜 줌으로써 일정량의 지터와 수립시간을 가지게 만들어 준다. 이는 동기 가능한 윌렛의 범위를 증가시켜

줄을 의미한다. 제안한 알고리즘은 기존 수신단 동기 알고리즘을 크게 바꾸지 않아서 수신단의 동기알고리즘에 일차적으로 본 알고리즘을 적용한 후 이차적으로 동기성능 개선을 위한 다른 알고리즘을 적용하여 매우 뛰어난 동기성능을 얻을 수 도 있다.

참고 문헌

- [1] ATSC A/53, ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [2] 김용철, 김대진, "타이밍 오프셋 보상기법을 이용한 DTV 수신성능 개선," *대한전자공학회 논문지*, vol.26, no.1, pp.15-18, 2003.
- [3] ATSC A/54, Guide to the use of the ATSC digital television standard, Dec. 2003.
- [4] Yong Chul Kim, Young Ho Oh, Seong Joon Baek, Dae Jin Kim, "Timing-Offset Compensation Techniques in ATSC DTV Receivers," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol.49, no.3, pp.519-523, Aug. 2003.
- [5] Floyd M. Gardner, "A BPSK/QPSK Timing-Error Detector for Sampled Receivers," *IEEE Trans. on Communications*, COM-24, May 1986.
- [6] Floyd M. Gardner, "Interpolation in Digital Modems-Part I: Fundamentals" *IEEE Trans. on Communications*, vol.41. No.3, March 1993.
- [7] Mackenzie report, refer to the test in DTV systems, May 2000.