

윈도우 기반 심벌 타이밍 복원

Window based Symbol Timing Recovery

*이철수, 장승현, 정의석, 김병휘

*Lee Chul-Soo, Seung-Hyun Jang, Eui-Suk Jung, Byoung-Whi Kim

Abstract - This paper proposes a symbol timing recovery method that is simple in structure and can provide high speed symbol synchronization. Transmitter and receiver are not synchronized in communication systems using digital modulation. Receiver should search the timing variation of transmitter continuously. The proposed timing recovery method searches sample position by comparing previous sample value with next sample value. This method can be applied to digital and optical transceivers with high data rate.

Key Words : Symbol synchronization, digital receiver, timing recovery

1. 장 서론

디지털 송수신 시스템의 수신기에서 아날로그 디지털 전환(ADC: Analog-Digital Conversion)된 샘플에서 정확한 심벌 정보를 찾기 위해서는 송신기에서 사용한 오실레이터와 같은 클럭을 생성하여야 한다. 그러나 송수신기에서 사용하는 오실레이터간 주파수 오차로 인해 타이밍의 어려가 존재하며, 수신기에서는 이러한 타이밍 오차를 복원하기 위한 알고리즘이 요구된다. 디지털 통신에서 수신 동기 방식 중 송신기의 타이밍 정보를 찾는 것을 심벌 타이밍 복원(Symbol timing recovery) 또는 심벌 동기(Symbol synchronization)라 한다. 심벌 동기를 수행하는 방법은 ADC를 통해 수신된 신호로부터 수신기 내부 클럭과의 타이밍 에러 정보를 추출하는 것이다. 추출된 타이밍 에러를 기반으로 샘플 위치를 이동하며 가장 적절한 타이밍 위치를 찾게 된다. 샘플의 타이밍 에러를 추출하고, 추출된 정보를 기반으로 샘플의 위치를 움직이는 방식에 따라서 다양한 타이밍 복원 방식이 소개되었다 [1][2].

본 논문에서는 고속의 심벌 동기를 수행하기 위한 윈도우 기반의 타이밍 동기 방식을 제안하였다. 윈도우 기반 심벌 타이밍 동기는 심벌 속도의 4배 이상 샘플링을 하는 구조에 사용할 수 있으며, QPSK 변조 방식을 사용하는 시스템을 기반으로 동작을 설명하였다. ADC를 통해 디지털 변환된 신호에는 타이밍 오차 외에도 송신기와 수신기 사이의 주파수(frequency) 오차와 위상(phase) 오차, 크기(magnitude) 오차가 존재하며, 이러한 오차들은 타이밍 동기를 수행하기 이전에 주파수 및 위상 동기, AGC(Automatic Gain Control)등을

통해 복원 되었다고 가정한다.

2. 장 심벌 타이밍 동기 알고리즘

그림 1은 심벌 동기 기능의 일반적인 구조를 보여준다.

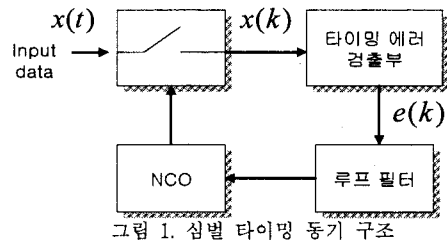


그림 1. 심벌 타이밍 동기 구조

심벌 동기부의 입력으로 들어오는 $x(t)$ 는 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$x(t) = \sum_l (a_{lr} + a_{li})g(t - lT) + n(t) \quad (1)$$

QPSK 또는 M-QAM 변조를 이용하는 시스템의 입력 신호 $x(t)$ 는 I(real)와 Q(imaginary)의 두 가지 성분을 포함하고 있다. QPSK 변조의 경우, a_{lr} 과 a_{li} 는 $\{+1, -1\}$ 의 형태로 나타난다. $n(t)$ 는 채널에서 포함된 노이즈를 표현하며, AWGN 채널로 가정한다. 입력 신호는 심벌 동기부로 들어가기 전 수신 필터를 거치며 raised cosine filter로 디자인된 수신필터의 임펄스 응답을 $g(t)$ 라고 본다. T 는 하나의 심벌 주기를 말한다.

타이밍 에러 검출부는 NCO(Numerical Controlled oscillator)에 의해서 샘플된 신호 $x(k)$ 로부터 타이밍 에러 정보 $e(k)$ 를 만들어 내며, 샘플마다 생성된 타이밍 에러 정보는 루프필터(loop filter)를 거친 후에 타이밍 에러를 나타내는 값으로 수렴하게 되고, NCO의 입력으로 들어가 샘플 위치를 이동시킨다. 루프 필터는 루프 대역폭(loop gain)에 따라서

저자 소개

* 韓國電子通信硏究員

타이밍 에러의 수렴 속도와 정확한 루프 지터의 평균값을 추적하는데 차이로 보일 수 있으며, 수신기에서 수신 필터로 raised-cosine 필터를 사용한 경우, 가장 이상적인 샘플점은 심벌의 영점 교차점에서 위치하게 된다. NCO는 루프필터의 출력 타이밍 에러가 임계값보다 클 경우 샘플의 위치를 이동하는 것을 기본으로 한다[3][4].

아래에서는 입력 심벌의 에러를 검출하기 위해 본 논문에서 제안한 윈도우 기반의 타이밍 에러 검출부와 윈도우 기반 심벌 복원 과정에 대해 설명한다.

1.1 질 타이밍 에러 검출기

(1)에서 표현된 입력 신호 $x(t)$ 가 NCO에 의해서 샘플링 된 결과를 $x(k)$ 라 하면, 윈도우 기반 타이밍 에러 검출부의 타이밍 에러 $e(k)$ 는 아래와 같이 나타낸다.

$$e(k) = |x_i(k+1) - x_i(k-1)| + |x_q(k+1) - x_q(k-1)| \quad (2)$$

$x_i(k+1)$: 이전 샘플의 I(real)성분

$x_i(k-1)$: 이후 샘플의 I(real)성분

$x_q(k+1)$: 이전 샘플의 Q(imaginary)성분

$x_q(k-1)$: 이후 샘플 Q(imaginary)성분

타이밍 에러 검출기는 I성분 Q성분의 포함하여 들어오는 연속된 데이터 샘플 중 현재의 샘플을 중심으로 하나 이전의 샘플과 하나 이후의 샘플을 현재 윈도우로 보고, 현재 샘플을 제외한 이전과 이후 두 개의 샘플간의 차이를 구하여 타이밍 에러를 검출하는 기능을 수행한다.

타이밍 에러 검출기의 타이밍 에러 $e(k)$ 는 채널의 노이즈와 raised cosine filter의 roll-off에 의해 영향을 받게 된다. 그림 2와 그림 3은 수신 SNR이 15dB와 10dB일 때, 샘플 위치에 따른 타이밍 에러 검출기의 출력 특성을 나타내었다.

그림 2와 그림 3에서는 타이밍 오프셋(timing offset)이 0일 때가 가장 이상적인 샘플 위치이며, 정규화된 오차만큼 샘플의 위치를 이동하였을 경우 타이밍 에러의 값이 변화됨을 보여주고 있다.

타이밍 에러 검출기는 채널 대역폭에 따라라도 민감하게 반응한다. 그러므로 채널 대역폭에 따라 타이밍 에러 검출의 출력이 어떻게 반응하는가에 대한 확인이 필요하다.

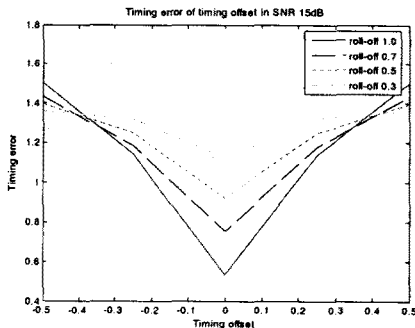


그림 2. 수신 SNR이 15dB일 때 타이밍 에러

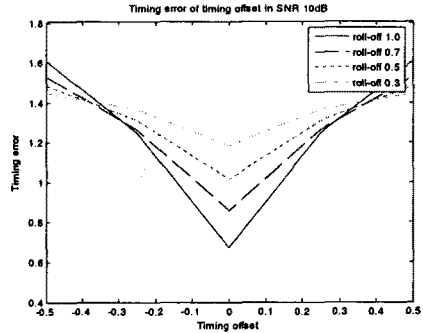


그림 3. 수신 SNR이 10dB일 때 타이밍 에러

그림 2와 그림 3에서는 roll-off가 다른 raised-cosine 채널에서 따른 타이밍 에러 검출기의 출력 변화를 확인할 수 있다. 타이밍 에러 결과는 심벌 속도의 4배로 샘플링 된 QPSK 시스템에서 측정되었다.

본 논문에서 제시한 타이밍 에러 검출기는 단지 현재 샘플 위치의 이전 샘플과 이후 샘플의 차이를 이용하기 때문에 하드웨어 구현의 부담 없이 빠르게 타이밍 에러 값을 구할 수 있다. 그림 4는 타이밍 에러 검출기의 하드웨어 구조를 나타내었다. 그림 4에서 D는 샘플을 한 클럭만큼 delay시킴을 의미하며 세 개의 가감산기 만으로 타이밍 에러 검출기를 구현할 수 있음을 알 수 있다.

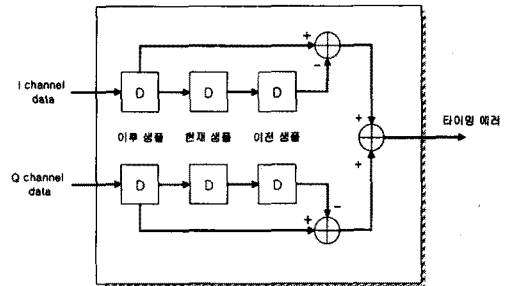


그림 4. 타이밍 에러 검출기 구조

1.2 질 윈도우 기반 심벌 타이밍 복원

본 절에서는 타이밍 에러 검출기의 타이밍 에러를 기반으로 어떻게 이상적인 심벌의 위치를 추적하는지에 대해 설명하고자 한다. 심벌의 위치를 추적하는 방법은 샘플의 위치를 한 샘플씩 이동하면서 추적하는 윈도우 이동방식이 있으며, 윈도우의 위치를 고정하고 루프필터를 통해 여과된 타이밍 에러에 의해 샘플 위치를 변화시키는 윈도우 고정 방식이 있다.

1.2.1 질 윈도우 이동 타이밍 복원

윈도우 이동 타이밍 복원 방식은 현재의 샘플 위치에서 이전 샘플과 이후 샘플간의 타이밍 에러 값이 문턱값(Threshold) 이상이면 다음 샘플위치로 윈도우를 이동하고, 몇 번의 이동하는 과정을 거친 후에 타이밍 에러가 문턱값

3. 장 결론

본 논문에서는 고속의 심벌 동기를 수행하기 위한 윈도우 기반의 심벌 타이밍 복원 방식을 제안하였다. 제안된 심벌 타이밍 복원 방식은 SNR의 변화와 채널 대역의 변화에도 안정하게 동작하는 것을 확인하였으며, 윈도우를 기반으로 현재의 샘플을 중심으로 하나 이전의 샘플과 하나 이후 샘플 간의 차이를 사용하므로 간단하게 고속 동작이 가능하도록 구현할 수 있다는 장점이 있음을 증명하였다. 윈도우 기반 심벌 타이밍 복원 방식은 윈도우 이동 타이밍 복원 및 윈도우 고정 타이밍 복원 방식으로 적용이 가능하며, 각각의 경우에 따른 예를 설명하였다.

윈도우 기반 심벌 타이밍 복원 방식은 고속으로 심벌 동기를 수행하여야 하는 디지털 고속 통신 및 광통신 시스템에 적용할 수 있다.

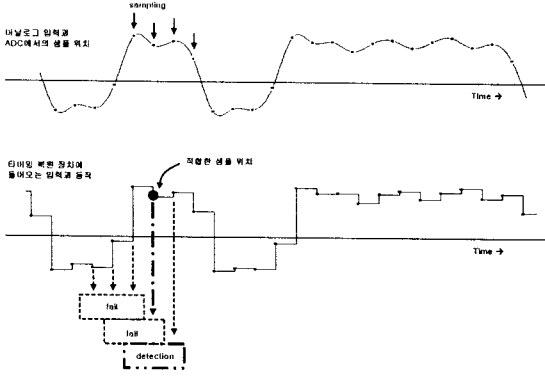


그림 5. 윈도우 이동 타이밍 복원 방식

이하인 윈도우를 찾게 되며, 이 윈도우의 중앙 샘플을 적합한 심벌 정보로 판단하고 선택하는 방식을 말한다.

윈도우 이동 타이밍 복원 방식은 한 두 심벌 이내에 정확한 타이밍 위치를 확인할 수 있기 때문에, 초기 포착 방식에 적합한 타이밍 복원 방식이다. 그림 5는 윈도우 이동 타이밍 복원 방식의 심벌 추적 방법을 나타내었다.

1.2.1 질 윈도우 고정 타이밍 복원

송신기와 수신기 간의 오실레이터 주파수 오차는 송수신기 간의 타이밍 오차가 계속해서 발생하게 한다. 그러므로 수신기는 타이밍 위치를 포착한 이후에도 계속해서 정확한 심벌의 위치를 추적하여야 한다. 윈도우 고정 타이밍 복원 방식은 초기 포착을 수행한 뒤 계속된 타이밍 추적에 적합하다.

그림 6은 윈도우 고정 타이밍 복원 방식을 나타내었다.

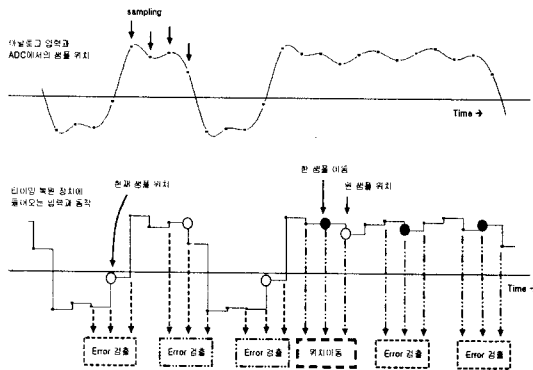


그림 6. 윈도우 고정 타이밍 복원 방식

윈도우 고정 타이밍 복원 방식에서는 루프필터를 통해서 여과된 타이밍 에러를 기반으로 샘플 위치를 이동한다. 타이밍 에러 검출기의 출력은 루프 필터를 통해서 축적되고, 누적된 값이 문턱값 이상이 되면 샘플 위치를 이동하게 된다. 윈도우 이동 방식에 비해 시간을 소요할 수 있지만, 순간적으로 발생하는 타이밍 에러나 잡음에 민감하지 않고 안정된 동작을 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] K.H. Mueller, and M. Muller, "Timing Recovery in Digital Synchronous Data Receivers," IEEE Trans. on Comm., May 1976.
- [2] F.M. Gardner, "A BPSK/QPSK Timing Error Detector for Sampled Receivers," IEEE Trans. on Comm., May 1986.
- [3] Umberto Mengali and Aldo N.D'Andrea, "Synchronization Techniques for Digital Receivers," Plenum Press., pp353-408, 1997.
- [4] 최형진, "동기방식 디지털 통신," 교학사, pp. 92-122, 1995.