

http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.117

IIBC 2014-5-16

이동 평균 필터의 대역폭이 심벌 타이밍 검출 성능에 미치는 영향

Effect of Bandwidth of Moving Average Filter on Symbol Timing Detection Performance

이지혜*, 전태현**

Jihye Lee*, Taehyun Jeon**

요 약 직교 주파수 분할 다중화 방식 시스템에서는 유효 심벌의 구간에서 푸리에 변환을 수행하기 위하여 데이터 심벌 사이의 보호 구간을 제거해야 한다. 이러한 과정은 정확한 심벌 타이밍 검출을 기반으로 수행되어야 한다. 수신 단에서 심벌 타이밍 검출은 프리앰블과 페이로드부의 경계의 시작점은 각 심벌의 인덱스 시작 시점을 결정하는 기준을 제공한다. 또한 이 과정에서 발생하는 검출 에러는 전체 시스템 성능의 영향을 주는 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문에서는 심벌 타이밍 검출장치에서 이동 평균 필터의 대역폭이 미치는 영향에 대해 논의한다. 이동 평균 필터 대역폭과 연관된 이동 평균 필터의 윈도우 크기의 값을 가변하여 시뮬레이션을 수행하고 이를 통하여 검출 성능에 미치는 영향을 분석한다.

Abstract In the orthogonal frequency division multiplexing system, the prefix inserted between data symbols should be eliminated to apply the Fourier transform on the valid symbol interval. This functional procedure should be based on the accurate symbol timing detection. The symbol timing detection at the receiver side provides the reference for determining the beginning time index of each symbol whose initial point is located at the boundary between the preamble and the payload part. Also, the detection error is one of the main factors in the overall system performance. In this paper the effect of the bandwidth of the moving average filter on the symbol timing detection is discussed. Simulations are carried out to analyze the detection performance for the varying values of the window size of the moving average filter which is related to the filter bandwidth.

Key Words : Symbol Timing Detection, Preamble, Moving Average Filter, OFDM.

1. 서 론

직교 주파수 분할 다중화(OFDM)를 이용한 데이터 전송 방식과 시분할 다중 접속 혹은 충돌 감지 다중 접속과 결합한 경우 데이터는 상대적으로 짧은 길이를 가

지는 패킷에 의해 송수신된다. 일반적으로 패킷은 프리앰블과 페이로드 부분으로 구성되며 프리앰블은 수신되는 신호의 안테나 선택, 수신 신호의 이득 제어, 심벌의 시작점 검출, 반송 주파수 오차 보상 등을 위해 사용된다. 페이로드 부분은 상대적으로 긴 심벌이 연이어 나타

*준회원 서울과학기술대학교 전기정보공학과

**정회원 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (교신저자)
접수일자 : 2014년 9월 11일, 수정완료 : 2014년 10월 2일
게재확정일자 : 2014년 10월 10일

Received: 11 September, 2014 / Revised: 2 October, 2014

Accepted: 10 October, 2014

**Corresponding Author: thjeon@seoultech.ac.kr

Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

나는 형태를 가지며 심볼과 심볼간에는 보호구간이 존재한다. 이러한 보호 구간은 변조된 신호를 송신단에서 수신단으로 전송되는 과정에서 발생하는 다중 경로 간섭으로부터 보호하기 위한 목적으로 사용된다^[1]. 수신단에서 관찰되는 각각의 심볼은, 송신단에서 부반송파에 데이터가 할당된 후 시간 구간으로 변환된 결과이다^[2]. 직교 주파수 분할 다중화 신호의 복조 과정에서는 이러한 연속적인 신호로부터 보호구간을 제거하고 유효심볼 구간을 파악하는 과정이 필요하게 된다. 이를 위하여 프리엡블이 종료되는 지점을 검출하고 개별 심볼의 시작점들의 기준점을 제공하는 과정을 일반적으로 심볼 타이밍 검출이라고 한다.

직교 주파수 분할 다중화 방식에서 심볼 타이밍 검출 방식으로 지금까지 여러 방식이 제안되어 있으나 수신된 패킷의 앞부분인 훈련신호를 이용한 자기 상관 방식이 일반적으로 이용되고 있다. 이러한 연구에서는 자기 상관 방식을 이용하여 얻은 출력 신호가 어느 이상의 임계점 이상의 신호 레벨을 갖는 지점을 심볼 타이밍의 기준점으로 추정한다. 또한, 이중 자기 상관 방식과 누산기를 이용하여 최대값을 명확하게 부각시키는 방식이 제안되었다^[3-4].

일반적으로 추정치의 정확도를 향상시키기 위해서는 많은 양의 수신 샘플을 이용해야 하며 이를 위하여 패킷의 시작부분에 위치하는 짧은 훈련 신호의 전 구간이 사용될 수 있다. 예를 들어 IEEE 802.11a/g 기반의 OFDM 데이터 전송 방식에서는 10주기에 해당하는 8 μ s를 짧은 훈련 신호가 사용될 수 있다^[5-6]. 그러나 실제로 앞부분인 1-7주기 정도에 해당하는 구간의 심볼은 자동 이득 조절기 (AGC, Automatic Gain Control) 에 의해서 수신 신호의 크기가 결정되므로 그대로 사용할 수 없어, 일반적으로 추가적인 처리가 없는 경우 마지막 3주기만 이용하여 심볼 타이밍을 추정한다. 본 논문에서는 자동 이득 조절 장치에 의해 크기가 가변하는 1-7주기 구간의 짧은 훈련 신호를 함께 이용하여 심볼 타이밍을 추정할 수 있는 방법을 가정하고 이동 평균 필터의 대역폭에 따른 심볼 타이밍 성능을 비교 분석한다^[6-7]. 심볼 타이밍 검출을 위해 사용되는 이동 평균 필터는 일반적으로 자기 상관 계수를 추정하는데 사용되며 윈도우의 크기 즉 필터의 계수와 연관되어 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 II 절에서는 전주기의 짧은 훈련신호를 사용하는 자기 상관 기법의

심볼 타이밍 검출기를 살펴보고, 이어 III 절에서는 이동 평균 필터의 대역폭에 따른 검출 성능에 대해 분석하고 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 자기상관 기법을 사용하고 수신신호의 이득에 상대적으로 독립적인 방식을 가정하고 이에 대한 성능을 실험적으로 분석한다. 해당 심볼 타이밍 검출기의 블록다이어그램은 그림 1과 같다^[7]. 또한 성능 분석에는 IEEE 802.11a/g 표준 기반 OFDM 방식의 전송 신호를 가정한다. 사용되는 심볼 타이밍 검출 방식은 수신된 신호를 기반으로 자기상관 값을 구하며 이것이 최대치를 갖는 지점을 짧은 훈련신호와 긴 훈련신호의 경계로 추정한다. 이는 수신된 신호의 긴 훈련신호의 보호구간 위치 검출과 같게 된다. 본 논문에서 검출기의 주요 구성 요소 중 하나인 이동 평균 필터의 대역폭의 크기에 따라 검출 성능을 분석하고자 한다.

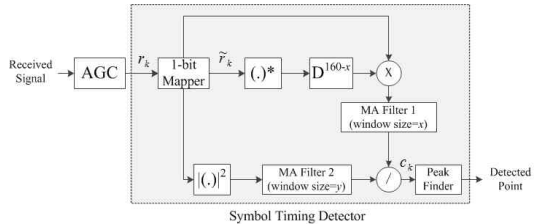


그림 1. 신호 전력 크기에 독립적인 심볼 타이밍 검출기
Fig. 1. Symbol Timing Detector which is Independent of Power Level of Received Signal

그림 1에 나타난 심볼 타이밍 검출기의 출력신호는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 수신신호가 ADC를 통과한 이후 1-bit 매핑한 신호는 자기상관 추정부와 전력 추정부로 입력된다. 자기 상관 추정부에서는 (160-x) 만큼 지연된 신호의 공액 복소 연산 결과와 곱해진다. 지연과 관련된 파라미터 x 의 크기는 이동 평균 필터의 윈도우 크기와 같게 설정된다.

$$C_k = \frac{\left| \sum_{i=0}^x \tilde{r}_{k-i} \tilde{r}_{k-(160-x)-i}^* \right|}{\sum_{i=0}^y |\tilde{r}_{k-i}|^2} \quad (1)$$

여기서 모든 신호는 50ns 간격으로 샘플링된 것을 가정하며, r_k 샘플된 수신신호이며, \tilde{r}_k 는 수신신호를 1 bit 매핑한 신호이다. x 는 자기상관 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기고 y 는 신호 전력 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기이다.

III. 실험 및 결과

본 절에서는 이전 장에서 설명된 자동 이득 조절기에 독립적인 심벌 타이밍 검출기의 성능을 이동 평균 필터의 대역폭에 따라 비교한다. 실험을 위해서 앞서 언급한 바와 같이 IEEE 802.11a/g 표준의 OFDM 프레임과 수신 신호 레벨의 변화를 반영하기 위해 자동 이득 조절기의 영향을 받는 경우를 가정한다^[8].

추정된 심벌 타이밍의 정확성을 분석하기 위하여 검출한 위치와 실제 추정하고자 하는 위치의 차이를 측정된 뒤 CDF (Cumulative Distribution Function) 을 이용하여 성능을 측정하였다. CDF 의 그래프가 1에 빠르게 수렴하는 것은 검출 성능이 상대적으로 좋은 경우를 의미하며 1에 수렴하지 않는 경우는 검출기로서 사용이 불가능한 경우를 나타낸다.

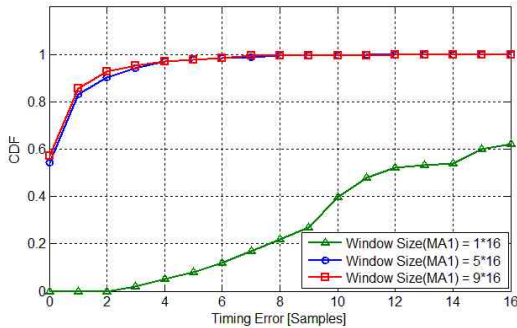


그림 2. 이동 평균 필터의 윈도우 크기에 따른 심벌 타이밍 검출기 성능비교

Fig. 2. Performance Comparison of Symbol Timing Detector for Different Window Size of Moving Average Filter

그림 2는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 환경을 가정하고 이동 평균 필터의 윈도우 크기의 크기에 따라 추정된 심벌 타이밍의 위치와 실제 추정하고자 하는 위치의 차이에 대한 통계값을 나타낸다. 이 측정에서는 SNR

(Signal-to-Noise Ratio) 이 12dB이고, 또한 자동 이득 제어기에 입력되는 수신신호의 크기는 120dB임을 가정하였다. 이동 평균 필터의 윈도우 크기를 짧은 훈련 신호 길이의 1배, 5배 및 9배로 설정하여 동일한 실험을 반복하였으며 그 성능에 대한 비교 그래프가 같은 그림에 나타나 있다. 이동 평균 필터의 대역폭은 이동 평균 필터와 반비례한다. 그러므로 이동 평균 필터의 윈도우 크기가 커질수록 그 대역폭은 감소한다. 이동 평균 필터의 윈도우 크기가 클수록 즉, 이동 평균 필터의 대역폭이 좁을수록 향상된 성능을 보이는 것을 관찰할 수 있다.

일반적으로 최대 샘플 지연 인덱스 N 을 가지는 이동 평균 필터의 임펄스 응답 $h[n]$ 은 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$h[n] = \frac{u[n] - u[n - N]}{N} \quad (2)$$

여기서, N 는 이동 평균 필터의 윈도우 크기이며, $u[n]$ 는 단위 계단 함수이다. 이와 같이 표현된 이동 평균 필터의 임펄스 함수를 주파수 대역에서 관찰하면 (3)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M[e^{j2\pi F}] = \frac{e^{-j(N-1)\pi F}}{N} \frac{\sin(N\pi F)}{\sin(\pi F)} \quad (3)$$

여기서 F 는 샘플링 주파수에 정규화된 주파수를 나타낸다. 만약 샘플링 주파수가 20MHz인 경우 이동 평균 필터의 윈도우 크기 N 이 5×16 즉, 짧은 훈련 신호 길이(0.8us)의 5배인 경우, 필터의 대역폭은 250kHz, 한 주기의 짧은 훈련 신호의 9배인 경우, 필터의 대역폭은 138.9kHz에 해당한다. 여기서 이동 평균 필터의 대역폭은 필터의 주파수 응답의 중심값에서 가장 가까운 영이득을 가지는 주파수 값으로 정의한다.

타이밍 검출부의 이동 평균 필터의 대역폭에 따른 검출기의 출력신호를 관찰하였다. 그림 3은 자기상관 검출부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기의 크기에 따른 심벌 타이밍 검출기의 출력신호이다. 자기상관 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기, x 를 짧은 훈련 신호 길이의 3배, 5배 및 9배로 설정하여 각 성능을 비교하였다. 이때 신호 전력 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기를 자기상관 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기와 같게 설정한다 ($y = x$). AWGN 채널환경과 SNR 이 12dB 인 경우를 가

정한다. 윈도우 크기가 클수록 더욱 정확한 최대값이 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 또한 이와 관련하여 대역폭이 감소함에 따라 상대적으로 사이드 로브의 크기가 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이동 평균 필터의 윈도우 크기가 짧은 훈련 신호 길이의 3배인 경우, 사이드로브의 크기 평균은 0.176, 분산은 0.0564이다. 짧은 훈련 신호 길이의 5배인 경우, 사이드로브의 평균은 0.1681, 분산은 0.0315이다. 짧은 훈련 신호 길이의 9배인 경우, 사이드로브의 평균은 0.153, 분산은 0.0238이다. 윈도우 크기가 증가할수록 사이드로브의 크기와 분산정도는 작아짐을 확인할 수 있다.

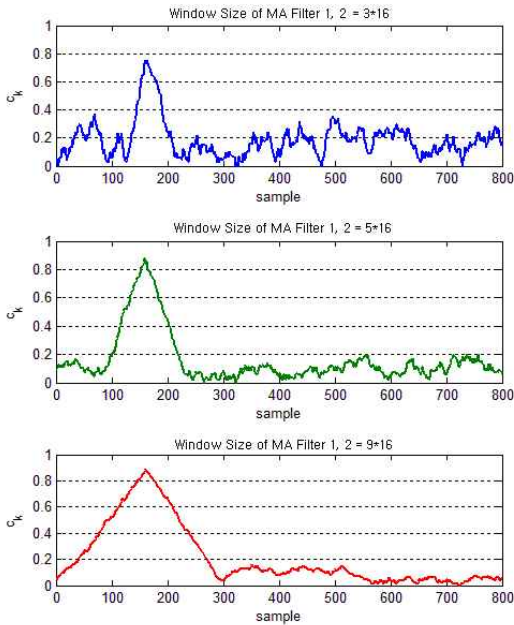


그림 3. 자기상관 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기에 따른 심벌 타이밍 검출기의 출력 신호 비교
 Fig. 3. Comparison of Output Signal of Symbol Timing Detector for Varying Window Size of Moving Average Filter in Auto-Correlation Estimation

그림 4은 신호 전력 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기의 크기에 따른 심벌 타이밍 검출기의 출력신호이다. 신호 전력 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기, y 를 짧은 훈련 신호 길이의 3배, 5배 및 9배로 설정하여 각각의 성능을 비교하였다. 이때, 자기상관 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기, x 를 짧은 훈련 신호 길이의 9배로 설정하여 실험하였다. 윈도우 크기가 클수록 검출기의 출력 신호의 크기가 작아지는 것을 관찰할 수 있다. 출력 신호

의 최대값과 사이드로브 신호간의 전력비가 이동 평균 필터 윈도우 크기에 상대적으로 독립적인 것으로 관찰되며 이는 신호 전력 추정을 위한 필터의 윈도우의 크기가 심벌 타이밍 검출기의 성능에 영향을 주지 않음을 나타낸다.

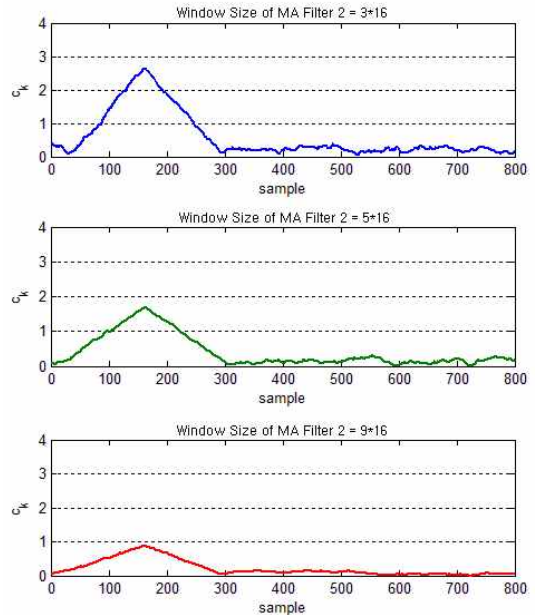


그림 4. 신호 전력 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기에 따른 심벌 타이밍 검출기의 출력 신호 비교
 Fig. 4. Comparison of Output Signal of Symbol Timing Detector for Varying Window Size of Moving Average Filter in Signal Power Estimation

IV. 결론

본 논문에서는 자동 이득 제어의 영향을 최소화할 수 있는 심벌 타이밍 검출 방식에서 사용되는 주요 블록 중의 하나인 이동 평균 필터의 대역폭에 따른 검출 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 자기상관 추정에 관련된 이동 평균 필터의 대역폭이 감소할수록 검출 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 또한 윈도우의 크기가 증가할수록 상대적으로 작은 평균과 분산값을 가지는 사이드로브를 출력신호에서 관찰됨을 확인할 수 있다. 신호 전력 추정부의 이동 평균 필터의 윈도우 크기는 성능에는 영향을 주지 않으나 심벌 타이밍 검출기의 출력신호의 크기에 영향을 주는 것을 확인하였으며, 이는 시스템 설계시 검출기 출력

신호의 동적 범위에 대한 결정을 위해 필요한 것으로 파악된다.

References

- [1] J. Kim, "Performance Analysis of OFDM Systems with Turbo Code in a Satellite Broadcasting Channel," The Journal of The Institute of Webcasting, Internet Television and Telecommunication Vol. 9 No. 6, pp. 175-186, 2009.
- [2] J. Terry, J. Heiskala, "OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide," SAMS, 2002.
- [3] T. Schmidl, D. Cox, "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM," IEEE Transactions on Communication, Vol. 45, pp. 1613-1621, 1997.
- [4] V. Jimenez, M. Fernandez, G. Garcia, "Design and Implementation of Synchronization and AGC for OFDM-based WLAN Receivers," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 4, pp. 1016-1025, 2004.
- [5] IEEE, "Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band," IEEE standard 802.11a, 1999.
- [6] T. Jeon, S. Lee, "Symbol Timing Detector for Wireless Communication System," Korea Patent 10-0519917, 2005.
- [7] J. Lee, T. Jeon, "Symbol Timing Detection for OFDM Signals with Time Varying Gain," Vol. 6, No. 5, International Journal of Control and Automation, pp. 401-408, 2013.
- [8] J. Lee, T. Jeon, "Optimization of Gain Control Loops for Packet Based Data Transmissions, International Journal of Control and Automation," Vol. 6, No. 2, pp. 399-408, 2013.

저자 소개

이 지 혜(Jihye Lee)



- 2013년 : 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업(학사)
- 2013년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사과정

<관심분야 : 무선 통신 시스템, 통신시스템 하드웨어 구현>

전 태 현(Taehyun Jeon)



- 1989년 : 연세대학교 전기공학과 졸업(학사)
- 1993년 : 미네소타대학교 전기공학과 대학원 졸업(석사)
- 1997년 : 미네소타대학교 전기공학과 대학원 졸업(박사)
- 1997년 ~ 1998년 : Motorola 연구원
- 1998년 ~ 2001년 : Texas Instruments 연구원
- 2002년 ~ 2005년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수

※ 이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.