정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제6호, 2013년 11월 (JBE Vol. 18, No. 6, November 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.6.927>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

ISDB-T 시스템을 위한 SNR 추정기 구현

김 성 일^{a)}, 손 채 봉^{b)†}

Implementation of SNR Estimator for ISDB-T Systems

Seongihl Kim^{a)} and Chae-Bong Sohn^{b)†}

요 약

본 논문에서는 ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) 시스템을 기반으로 한 동기 방식의 OFDM 시스템에서 방송 시스템에서 중요한 지표가 되는 SNR (Signal to Noise Ratio) 추정기를 구현하고자 한다. 다양한 SNR 추정 방법 중 복잡도가 적어 ASIC 설계에 적합한 MSE (Mean Square Error) 알고리즘을 사용하여 ISDB-T 시스템의 OFDM 세그먼트를 구성하고 있는 요소 중 방송 정보 데이터를 사용하여 SNR을 추정하는 방법과 분산 파일럿 신호를 사용하여 SNR을 추정하는 방법을 각각 RTL (Register Transfer Level)로 구현하였다. 두 방법을 이상적인 채널인 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널뿐만 아니라 SFN (Single Frequency Network) 채널 및 주파수 선택적 페이딩 채널과 같이 왜곡된 채널에서 모의실험을 통해 성능을 비교하고 RTL 구현을 통해 복잡도를 비교하여 분산 파일럿 신호를 사용하여 SNR을 추정하는 방법의 성능과 구현의 용이함을 보였다.

Abstract

This paper aims to realize a Signal to Noise Ratio Estimator which constitutes a critical index of the broadcasting system in OFDM system with a synchronized type based on ISDB-T system. Of the elements which are comprising OFDM segments of ISDB-T system using the MSE algorithm suitable for ASIC design owing to its low complexity among a diverse SNR estimation methods, SNR estimation method using the broadcasting information data and the SNR estimation method using scattered pilot signal were realized by RTL. These two methods were compared in terms of their performance through simulation test not only in the AWGN channel which is an ideal channel, but also in SFN channel and frequency selective fading channel, which are distorted channels. Complexity of two methods were also compared through RTL realization. As a result of this comparison analysis, it was concluded that the SNR estimation method using scattered pilot signal shows more excellent performance and easiness in realization.

Keyword : ISDB-T, MSE, AWGN, SFN, Selective Frequency Fading, SNR Estimator

a) 광운대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

b) 광운대학교 전자통신공학과(Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University)

† Corresponding Author : 손채봉(Chae-Bong Sohn)

E-mail: cbsohn@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5767

· Manuscript received October 16, 2013 Revised October 28, 2013 Accepted October 28, 2013

I. 서론

수신 신호 품질의 정확하고 빠른 추정 은 통신 시스템에서 채널의 품질을 관리하기 위해 매우 중요하며 일반적으로 수신된 신호의 SNR은 통신 시스템에서 채널 품질 관리를 위해 매우 중요한 매개 변수로 사용하고 있다^[1]. 디지털 통신 시스템의 SNR에 대한 정보는 최적의 성능을 얻기 위하여 적절한 변조 및 부호 방법의 선택을 통해 사용된다. 낮은 강력한 변조 및 부호화율은 낮은 SNR 조건에서 사용되는 반면 높은 변조 및 부호화율은 높은 SNR 조건에서 사용된다. 좋은 SNR 추정 기법에 대한 연구는 다양한 알고리즘이 최적의 성능을 위해 SNR의 정보를 필요로 한다는 사실에 의해 좌우된다^[1-4].

일반적으로 정확하고 빠르게 SNR을 추정하고 최소 계산의 복잡도를 갖으며 구현하기 쉬워야 좋은 SNR 추정기라고 할 수 있다. 기존에 대부분의 SNR 추정 방식은 시간 축 상에서 OFDM 심볼의 자기상관을 이용하여 수행하게 된다^[5]. 이 방법은 SNR을 추정하기 위해 많은 반복연산을 수행할 경우에만 좋은 성능에 도달하며 이는 하드웨어 구현을 위해 적합하지 않다고 할 수 있다^[6-8].

ISDB-T 시스템은 OFDM 방식을 채택한 일본의 지상파 방송 표준으로 전체 대역을 다수의 부 반송파를 갖는 세그먼트 단위로 분할하여 계층별 전송이 가능한 시스템이다^[9]. 한 채널의 대역을 13개의 세그먼트로 나누고 HD, SD, 오디오 및 데이터를 최대 3개의 계층으로 나누어 계층별 전송을 하는 ISDB-T 시스템의 주파수 축에 존재하는 심볼을 OFDM 세그먼트라고 한다.

따라서 본 논문에서는 ISDB-T 시스템에서 하드웨어 방식으로 구현을 용이하게 하기 위해 비교적 간단한 MSE 알고리즘을 기반으로 분산 파일럿 신호를 사용하는 SNR 추정 방식을 제안하고 기존의 OFDM 심볼 데이터를 사용하는 경우에 대해 다양한 채널상에서 모의실험을 통해 성능의 비교 분석과 FPGA 구현시 리소스 사용량을 비교하여 그 전체 성능을 분석한다.

II. SNR 추정 기법

ISDB-T 시스템에서 사용하는 변조 방식으로는 DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM이 있다. ISDB-T 시스템은 차등

그림 1. 동기 변조 방식에서의 OFDM 세그먼트 구조

Fig. 1. OFDM-segment configuration for synchronous modulation

변조 방식이나 동기변조 방식이나에 따라 2개의 OFDM 세그먼트로 나뉜다. 차등변조 방식은 DQPSK 변조 방식을 사용하는 계층에 해당하며 그 외의 변조 방식에는 동기변조 OFDM 세그먼트 구조를 따른다.

ISDB-T 시스템의 동기변조 방식에서의 OFDM 세그먼트 구조는 그림 1과 같다. 동기 변조 방식에서의 OFDM 세그먼트는 채널을 추정할 때 사용하는 분산 파일럿, 시스템의 정보를 제공하는 TMCC, 추가적인 정보를 전달하는 보조 채널인 AC와 디지털 방송의 정보인 데이터로 구성되어 있다.

그림 1에서 보는 것과 같이 ISDB-T 시스템에서의 분산 파일럿은 주파수 상에 혼련 심볼로 존재하며 이 분산 파일럿은 한 심볼 내에서는 12개의 간격으로 발생하고 분산 파일럿으로 사용되는 부 반송파는 4심볼에 한 번씩 위치를 바꾸어 신호를 발생하게 된다.

본 논문에서는 RTL 구현에 용이하며 최소 계산의 복잡도를 갖도록 주파수 축 상의 심볼을 이용하여 MSE 알고리즘을 이용하여 SNR을 추정한다. 분산 파일럿을 사용하여 SNR을 추정하는 방식은 식 (1)과 같고 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정하는 방식은 식 (2)와 같다.

$$MSE_{SP}(n) = (g_{SP}(n) - r_{SP}(n)) \times (g_{SP}(n) - r_{SP}(n)) \quad (1)$$

$$MSE_{DATA}(n) = (d_{DATA}(n) - r_{DATA}(n)) \times (d_{DATA}(n) - r_{DATA}(n)) \quad (2)$$

식 (1)에서 g_{SP} 는 PRBS 재생 회로를 통해 추출한 분산 파일럿이며 r_{SP} 는 수신된 분산 파일럿이다. 식 (2)에서 d_{DATA} 는 각 변조 방식에 따른 심볼 데이터이며 r_{DATA} 는 수신된 심볼 데이터이다. 위의 식을 통해 각 MSE를 구하고 필터를 통해 평균 MSE 생성하여 SNR을 추정한다.

III. 모의실험 및 결과

모의실험 환경으로는 ISDB-T 시스템에서 풀 세그먼트

(Full segment)로 전송하였으며 64QAM 변조 방식에 보호 구간은 1/4을 삽입하고 채널 부호화는 일본 향 ISDB-T 시스템에서 가장 많이 사용되는 2/3를 사용하였으며 인터리빙은 사용하지 않았다. 모의실험에는 이상적인 채널인 AWGN과 SFN 채널의 대표적인 0dB 공명 채널 및 주파수 선택적 페이딩의 TU6 채널을 적용하였다.

ISDB-T 시스템 표준에 따르면 AWGN 채널에선 18.7dB 이상의 TOV를 요구하지만 통상 구현상의 편의를 위하여 AWGN 20dB를 기준으로 그것을 정규화된 MSE로 나타내었다^[10].

AWGN 10dB의 정확한 SNR 추정은 AWGN 20dB의 잡음을 갖는 MSE를 기준으로 정규화한 MSE가 10배가 되어야 한다. 그러나 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정할 경우 그림 2에서와 같이 약 3.5배가 됨을 알 수 있다. 이는 수신된 심볼 데이터에 10dB의 강한 잡음이 존재하지만 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정할 경우 14.5dB의 잡음이 존재한다고 판단한 것이다. 그러나 분산 파일럿을 사용하여 SNR을 추정할 경우 그림 3에서와 같이 정규화된 MSE가 기준의 약 10배가 되어 10dB의 잡음을 정확하게 추정하고 있다.

그림 2. AWGN 채널에서 심볼 데이터를 사용한 정규화된 MSE
Fig. 2. Normalized MSE using symbol data in AWGN channel

그림 3. AWGN 채널에서 분산 파일럿을 사용한 정규화된 MSE
Fig. 3. Normalized MSE using scattered pilot in AWGN channel

0dB 공명 채널은 동일한 출력을 갖는 두 개의 경로로 이루어졌으며 TU6 모바일 채널은 Rayleigh 페이딩 모델의 6 개의 경로로 이루어진 도시 지역에서 지상파 전파를 재현하는 채널로 COST207에 정의되어 있다^[11]. 본 논문에서는 123us의 지연을 갖는 0dB 공명 채널과 10km/h 속도가 적용된 TU6 채널을 적용하였다. 0dB 공명 채널과 TU6 채널 자체만으로도 잡음이 포함된 채널이기 때문에 AWGN을 추가하더라도 추가된 AWGN 값이 정확하게 나오지 않는다. 따라서 본 논문에서는 0dB 공명 채널과 TU6 채널에서의 성능을 심볼 데이터를 사용한 경우와 분산 파일럿을 사용한 경우에 대해 단순 비교를 통해 나타내었다.

그림 4와 그림 5는 0dB 공명 채널에서 각각 심볼 데이터와 분산 파일럿을 사용하여 SNR을 추정한 결과이다. 그림 4와 그림 5 모두 AWGN 채널과 동일하게 0dB 공명 채널에 20dB AWGN을 추가한 경우를 기준으로 정규화된 MSE를 나타낸 것으로 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정하는 경우 보다 분산 파일럿을 사용하여 SNR을 추정하는 경우 0dB 공명 채널에 10dB AWGN을 추가한 경우의 정규화된 MSE가 조금 더 큰 값으로 추정되고 있다. 이는 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정할 경우 64QAM 변조 방식을 갖는 심볼 데이터들이 강한 잡음으로 인해 심볼 데이터를

그림 4. 0dB 공명 채널에서 심볼 데이터를 사용한 정규화된 MSE
Fig. 4. Normalized MSE using symbol data in 0dB echo channel

그림 5. 0dB 공명 채널에서 분산 파일럿을 사용한 정규화된 MSE
Fig. 5. Normalized MSE using scattered pilot in 0dB echo channel

의 경계를 넘어 포화 상태로 올바른 SNR을 추정할 수 없기 때문이다. AWGN 10dB 보다 더 강한 잡음을 추가할 경우 이 현상은 두드러지게 보인다.

그림 6과 그림 7은 10km/h의 속도를 갖는 TU6 채널에서 각각 심볼 데이터와 분산 파일럿을 사용하여 SNR을 추정한 결과이며 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정할 결과

그림 6. TU6 채널에서 심볼 데이터를 사용한 정규화된 MSE
Fig. 6. Normalized MSE using symbol data in TU6 channel

그림 7. TU6 채널에서 분산 파일럿을 사용한 정규화된 MSE
Fig. 7. Normalized MSE using scattered pilot in TU6 channel

모바일 환경에서나 모바일 환경에 잡음이 추가한 환경에 대해서 정규화된 MSE가 크지 않음을 확인할 수 있다. 그러나 분산 파일럿을 사용하여 SNR을 추정할 경우 경우에 각 환경에 대해 정규화된 MSE가 확연히 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이 또한 심볼 데이터를 사용하여 SNR을 추정하는 경우 채널에 존재하는 잡음으로 인해 심볼 데이터가 경계를 넘어 포화 상태가 되어 정확한 SNR을 추정할 수 없다.

IV. RTL 구현

그림 8은 심볼 데이터를 사용한 SNR 추정기의 블록도이며 그림 9는 분산 파일럿을 사용한 SNR 추정기의 블록도이다. 심볼 데이터를 사용한 SNR 추정기는 변조방식 신호에 따라서 심볼 데이터 결정 값이 다르기 때문에 각 변조방식에 대한 블록이 필요하여 분산 파일럿을 사용한 SNR 추정기보다 복잡도가 증가한다.

그림 10부터 그림 13은 SNR 추정기를 RTL로 구현하여 모의실험을 한 결과를 나타낸 그림이며 그림 10과 그림 11은 AWGN 10dB 채널에서 SNR 추정기에 입력이 되는 수신 데이터로 그림 10은 심볼 데이터만 추출한 것이고 그림 11은 분산 파일럿만 추출한 것이다. SNR 추정기에서는 이 심볼 데이터를 입력받아 SNR을 추정하는데 심볼 데이터의 경계들이 무너져 포화 상태가 되어 10dB의 잡음을 정확하게 나타내고 있지 못하지만 분산 파일럿을 사용하는

그림 8. 심볼 데이터를 이용한 SNR 추정기 블록도
Fig. 8. SNR estimator diagram using symbol data

그림 9. 분산 파일럿을 이용한 SNR 추정기 블록도
Fig. 9. SNR estimator diagram using scattered pilot

그림 10. SNR 추정기 심볼 데이터 입력의 RTL 모의실험 결과
Fig. 10. RTL simulation result of SNR estimator symbol data input

경우 그림 11에서 보는 것과 같이 10dB의 잡음에도 수신 데이터 속에 잡음이 정확하게 나타내고 있다. 이 데이터를

그림 11. SNR 추정기의 분산 파일럿 입력의 RTL 모의실험 결과
Fig. 11. RTL simulation result of SNR estimator scattered pilot Input

입력받아 구현한 SNR 추정기의 RTL 구현 모의실험 결과가 그림 12와 그림 13이며 그림 12은 심볼 데이터를 그림 13은 분산 파일럿을 사용한 결과이다. 그림 12에서는 약 60ms가 지난 시점에서 MSE가 수렴되고 있고 그림 13에서는 약 150ms가 지난 시점에서 MSE가 수렴되고 있으나 OFDM 한 프레임을 수신하는 시간을 모두 만족하므로 이 SNR 추정속도는 성능에 문제가 되지 않는다고 볼 수 있다.

그림 12. 심볼 데이터를 이용한 SNR 추정기의 RTL 모의실험 결과
Fig. 12. RTL simulation result of SNR estimator using symbol data

그림 13. 분산 파일럿을 이용한 SNR 추정기의 RTL 모의실험 결과
Fig. 13. RTL simulation result of SNR estimator using scattered pilot

각 SNR 추정기는 그림 14처럼 Xilinx Virtex-5 XC5VLX330 FPGA 디바이스를 사용하여 구현하였고 VHDL언어를 사용하였다. 각 SNR 추정기에 대한 리소스 사용량은 표 1에 표시하였다. AWGN 채널에서 사용한 실험 환경은 677.143MHz의 중심 주파수, -50dBm의 신호 세기, FFT 8K 모드에 보호구간은 1/8만큼 삽입하였다. 0dB 공명 채널에서 사용한 실험 환경은 AWGN 채널의 실험 환경과 동일하게 64QAM 변조 방식에 부호화율은 3/4를 사용하였다.

일 채널인 TU6 채널을 적용하여 모의실험을 통해 성능을 비교한 결과 심볼 데이터를 사용한 SNR 추정기의 경우 잡음이 강할수록 수신된 신호가 심볼 데이터 결정 값을 넘어 포화 상태가 되어 정확한 SNR을 추정하지 못했다. 이에 반해 분산 파일럿을 사용한 SNR 추정기는 심볼 데이터를 사용한 SNR 추정기보다 정확한 SNR을 추정하며 FPGA 구현에도 적은 리소스가 사용되어 성능 및 구현에도 용의하다는 것을 확인하였다.

표 1. FPGA 자원 사용
Table 1. FPGA resource usage

Resource	Using symbol data	Using scattered pilot
Slices	191	116
Slice Register	423	162
LUTs	523	332
DSP48E	2	2

V. 결 론

본 논문에서는 ISDB-T 시스템에서 수신된 신호의 품질을 판단하는 SNR 추정기를 하드웨어로 설계하고 구현하는데 목표를 두었다. 하드웨어 구현을 용이하게 하기 위하여 최소 복잡도를 갖도록 OFDM 심볼과 동일한 축인 주파수 축에 존재하는 심볼 데이터와 분산 파일럿을 사용하여 간단한 MSE 알고리즘을 사용하여 SNR 추정기를 설계하였다. 각 SNR 추정기를 AWGN 채널, 0dB 공명 채널 및 모바

참 고 문 헌(References)

- [1] Xiaodong X., Ya Jing and Xiaohu Y. "Subspace-based Noise variance and SNR estimation for OFDM Systems", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2005.
- [2] L. Hanzo, C. Wong and M. S. Yee, "Adaptive Wireless Transceivers : Turbo-coded, Turbo-Equalized and Space-Time Coded TDMA, CDMA, and OFDM Systems", New Work: John Wiley & Sons, 1st ed., 2002.
- [3] T. Keller and L. Hanzo, "Adaptive orthogonal frequency division multiplexing schemes", in proceedings of ACTS Mobile Communications Summit, June 1998, pp. 794-799.
- [4] T. Keller and L. Hanzo, "Adaptive Multicarrier Modulation : A convenient framework for time-frequency processing in wireless communications", in proceeding of IEEE, vol. 88, May 2000, pp. 611-640.
- [5] R. S. manzoor, W. Majavu and V. Jeoti, " Front-End Estimation of Noise Power and SNR in OFDM Systems", International Conference on Intelligent and Advanced Systems, 2007.
- [6] G. Ren, Y. Chang and H. Zhang, "SNR estimation algorithm based on the preamble for wireless OFDM systems", Science in China Series F: Information Sciences, 2008, vol. 51, pp. 965-974.
- [7] D. Pauluzzi and N. Beaulieu, "A comparison of SNR estimation techni-

- ques for the AWGN channel", IEEE Trans. Commu., 2000, vol. 48. pp 1681-1691.
- [8] S. Reddy and H. Arslan. "Noise power and SNR Estimation for OFDM Based Wireless Communication System", IASTED International Conference on Wireless and Optical Communications, 2003.
- [9] ARIB STD-B31 V1.6, "Transmission system for digital terrestrial television broadcasting", November 2005
- [10] ARIB STD-B21 V4.6, "Receiver for digital broadcasting", March 2007
- [11] COST207, "Digital land mobile radio communications(final report)", Commission of the European Communities, Directorate General Telecommunications, Information Industries and Innovation, 1989.

저 자 소 개

김 성 일

- 2005년 8월 : 광운대학교 전자공학과 (학사)
- 2007년 4월 ~ 2010년 11월 : ㈜브로드큐 수석연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석박통합과정
- 2011년 4월 ~ 현재 : ㈜이디바이스코리아 기술총괄
- 주관심분야 : OFDM, ISDB-T, DVB-T/H, WAVE

손 채 봉

- 1993년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (학사)
- 1995년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (석사)
- 2006년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (박사)
- 1991년 8월 ~ 1993년 2월 : 삼성전자 소프트웨어 멤버십 1기
- 2001년 3월 ~ 현재 : ㈜라이프니어스 대표이사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자통신공학과 조교수
- 주관심분야 : HDTV, UHDTV, IPTV, DMB System