

지상파 3D-HDTV 전송을 위한 수정된 ATSC 전송 시스템에서 PN구조를 이용한 채널 추정 기법에 관한 연구

*한재신 **함나레 ***김정호 ****오종규 *****김준태

건국대학교

*hjs4015@konkuk.ac.kr **ryeeee@konkuk.ac.kr ***hojung@konkuk.ac.kr ****riza@konkuk.ac.kr
*****jtkim@konkuk.ac.kr

Research on Channel Estimation Method in the modified ATSC system Using PN-Sequence for the Terrestrial 3D-TV broadcasting

*Han, Jae-Shin **Ham, Na-Rye ***Kim, Jung-Ho ****Oh, Jong-Gyu *****Kim, Joon-Tae

Konkuk University

요약

본 논문은 차세대 3D-TV 방송을 위해 수정된 ATSC (Modified Advanced Television Systems Committee) 시스템 [1]에서 파일럿 (Pilot)을 이용한 채널 추정 대신, PN 시퀀스 (Pseudo-Noise Sequence)를 이용한 채널 추정 방식의 문제점에 대하여 2가지 방법으로 연구하였다. PN 시퀀스를 이용하여 채널을 추정하는 TDS-OFDM (Time Domain Synchronous - Orthogonal Frequency Division Multiplexing)시스템은 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 변조 방식을 사용하기 때문에 수신측 PN 시퀀스의 위상 변화가 일어나지 않는다. 하지만 수정된 ATSC 시스템에서 사용하는 VSB (Vestigial Side Band) 변조 방식에서 직교위상 (Quadrature) 채널을 통해 전송되는 값은 동위상 (In-Phase) 채널을 통해 전송되는 값의 단순한 힐버트 변환 (Hilbert Transform)에 의해 생성되어 불규칙한 위상 변화가 발생한다. 따라서 수정된 ATSC 시스템에서 채널 추정을 위해 PN 시퀀스를 사용하게 된다면 상관 (Correlation) 특성을 잃어버릴 것이며 올바른 채널 임펄스 응답 (Channel Impulse Response)을 얻을 수 없다.

1. 서론

국내의 지상파 전송 방식은 미국 ATSC시스템에서 제정된 8-VSB 전송 시스템을 표준으로 정하여 사용하고 있다. 기술의 발달과 소비자의 욕구를 충족시키기 위해 방송은 2D-HDTV (Two Dimension - High Definition Television)의 화면을 뛰어넘어 3차원의 시각 효과를 느낄 수 있는 3D-HDTV 방송 기술에 관한 연구가 대두되기 시작하였다. 하지만 현재 ATSC시스템은 약 6Mhz의 지상파 채널 대역폭을 통해 약 19.2Mbps의 데이터를 전송하고 있지만 [5] 더 많은 데이터 전송량을 요구하는 3D-HDTV 시스템으로는 적합하지 않다. 따라서 이를 극복하기 위하여 3D-HDTV 서비스를 위한 수정된 ATSC 전송시스템이 연구되고 있다 [1]. 또한 수정된 ATSC 전송시스템은 파일럿(Pilot) 대신 TDS-OFDM 시스템에서 사용하는 PN 시퀀스 (Pseudo-Noise Sequence)를 이용한 채널 추정을 연구하고 있다.

하지만 일반적으로 QAM 변조방식을 사용하는 TDS-OFDM 시스템은 동위상 채널을 통해 전송되는 값과 직교위상 채널을 통해 전송되는 값이 독립적으로 정보가 실려 전송되는 반면, 8-VSB 변조 방식을 사용하는 수정된 ATSC 시스템의 직교위상 채널을 통해 전송되는

값은 동위상 채널을 통한 전송 값의 값의 단순한 힐버트 변환 (Hilbert Transform)에 의해 생성된다. 따라서 수정된 ATSC 시스템에서 채널 추정을 위해 PN 시퀀스를 사용하면 수신측에서는 동위상 채널로 전송되는 값은 그대로 전송받을 수 있으나 직교위상 채널로 전송되는 값은 불규칙한 위상이 나타난다. 그러므로 PN 시퀀스의 상관 (Correlation) 특성이 파괴된다.

본 논문에서는 기존 TDS-OFDM 시스템에서 사용하는 PN 시퀀스의 구조를 수정된 ATSC 시스템에 맞게 연구하였다. 또한 PN 시퀀스를 이용하여 채널추정을 할 경우 그 문제점에 대하여 2가지 방법으로 연구하였다. 첫 번째로, VSB 변조된 PN 시퀀스를 이용하여 채널 추정을 한다. 일반적인 VSB 변조 방식은 FIR (Finite Impulse Response)필터의 구조를 가지고 있기 때문에 만약 필터 레지스터의 값들을 모두 알고 있다면 수신측은 PN 시퀀스의 변조된 위상 값을 얻을 수 있다. 하지만 VSB 변조된 PN 시퀀스는 PN 시퀀스의 자기상관 (Auto Correlation) 특성이 깨진 것을 이용하기 때문에 올바른 채널 추정을 할 수 없다. 두 번째로, VSB 변조된 PN 시퀀스를 매번 결정하는 방법을 연구하였다. 하지만 다중 경로 페이딩 채널 (Multipath Fading Channel)에서 이 방법은 정정해야 할 위상과 크기를 예측 할 수 없기

때문에 올바른 채널 추정을 할 수 없다.

2. PN구조와 채널 추정방식

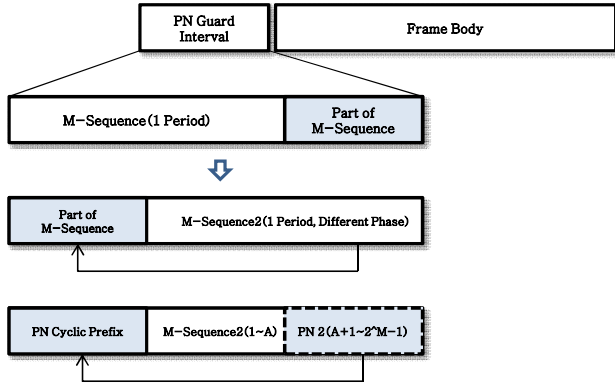


그림 1. 수정된 ATSC 시스템의 프레임과 헤더 구조

수정된 ATSC 시스템에서 연구 중인 프레임 구조는 그림1과 같이 PN 보호 구간 (Guard Interval) 프레임바디 (Frame Body)로 나뉘어져 있다. 또한 PN 보호구간은 PN 순환 프리픽스 (Cyclic Prefix), M-시퀀스 (M-Sequence)로 구성되어 있다. M-시퀀스는 피보나치 (Fibonacci)타입 선형 피드백 쉬프트 레지스터 (LFSR)로 생성되며 최대 $2^M - 1$ 의 주기별로 순환적 (Cyclic) 특성이 나타난다. 그림 1에서 프레임 헤더는 1주기의 M-시퀀스가 나타나고 연이어 동일한 M-시퀀스의 일부가 나타나도록 구성되어 있다. M-시퀀스가 순환 특성을 가지므로 M-시퀀스의 일부분을 앞으로 가져 올 수 있다. 이와 같이 구조된 M-시퀀스2는 그림 1의 윗부분의 M-시퀀스와는 다른 위상을 가진다. 따라서 M-시퀀스2의 앞에 존재하는 M-시퀀스의 일부분은 M-시퀀스2의 뒤의 PN 심벌이 동일한 일종의 사이클릭 프리픽스 (Cyclic Prefix)로 여길 수 있다. 따라서 이와 같이 PN 시퀀스의 헤더 구조를 가질 때 순환 특성이 유지되고, M-시퀀스의 상관 특성을 이용하여 채널을 추정 할 수 있다. 여기서 이용되는 M-시퀀스의 자기상관 (Auto correlation) 특성 $R(n)$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$R(n) = \sum_{i=0}^{(2^M-1)-1} P(i)P((n+i)_{2^M-1}) = \begin{cases} 2^M-1, & n=0 \\ -1, & n \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$n = 0, \dots, (2^M-1) - 1.$

여기서 $(\cdot)_m$ 은 모듈러 M (Modular M process)연산을 의미하고 $P(i)$ 는 LFSR에 의해 생성된 M-시퀀스를 의미한다. 식 (1)의 특성은 동일한 LFSR에 의해 생성된 M-시퀀스라도 위상이 일치하는 경우에만 $2^M - 1$ 의 값을 가지고 위상이 일치하지 않은 경우에는 -1 값을 가진다.

일반적인 TDS-OFDM 시스템은 식 (1)의 특성을 이용하여 채널 추정을 하고 있다 [2]. 또한 논문 [2]에서는 수신된 다중 경로 페이딩 채널의 최대 지연시간을 고려하고 수신측 프레임 내에서 순환 특성이 보장되는 구간을 상관 윈도우(Correlation Window)라고 정의하였다. 그리고 이 특성을 이용하여 QAM 변조 방식을 채택한 중국 디지털 방송 전송 시스템인 DMB-T/H [3] 시스템의 채널 추정 방법을 제안하고 있으며 이 방식을 수정된 ATSC 시스템에서도 연구 중에 있다.

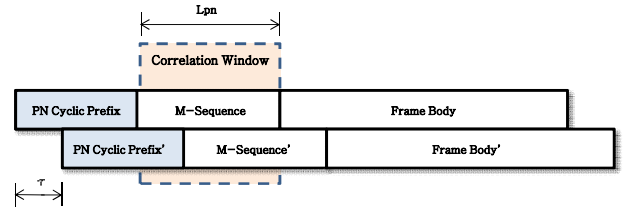


그림 2. 최대 지연 경로가 PN Cyclic Prefix보다 짧은 하나의 지연 경로가 존재할 때의 수신 프레임

그림 2는 AWGN 채널이 없는 이상적인 전송 시스템에서 하나의 지연 경로 τ 가 존재할 때의 프레임 구조를 나타낸다. L_{pn} 은 M-시퀀스의 길이를 나타낸다. 그리고 상관 윈도우는 순환 특성이 보장되는 구간에서 구조는 송신측과 동일한 M-시퀀스로 되어 있다. 만약 그림 2와 같이 최대 지연 시간이 PN CP보다 짧을 때 상관 윈도우 L_{pn} 안에서 PN시퀀스의 순환 특성이 보장 될 것이다.

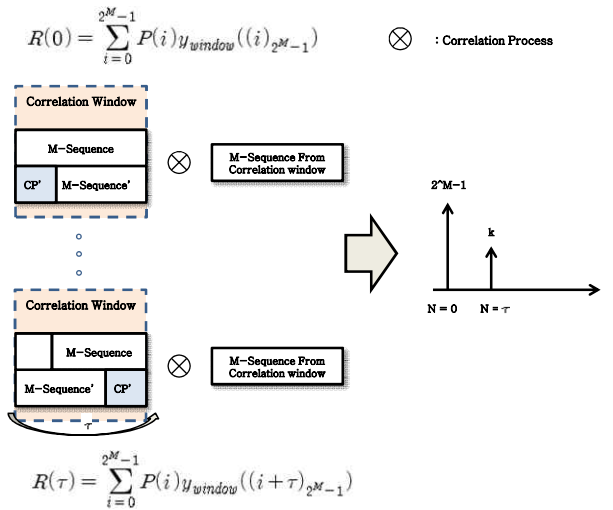


그림 3. 논문 [2]에서 제안된 PN을 이용한 채널 추정 방법

그림 3은 그림 2부분에서 상관 윈도우 부분만을 나타낸 것이며 논문 [2]에서 제시한 채널 추정 방법을 나타내고 있다. 여기서 k는 지연된 신호의 크기 감쇄 량을 나타낸다. $y_{window}(i)$ 는 수신측에서 생성된 M-시퀀스를 나타낸다. 따라서 상관 윈도우 내의 계산 $R_{cor_win}(n)$ 은 식 (2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$R_{cor_win}(n) = \sum_{i=0}^{2^M-1} y_{window}(i)p((i+n)_{2^M-1}) \quad (2)$$

$n = 0, \dots, 2^M - 1 - 1.$

여기서 $p(i)$ 는 수신된 PN 시퀀스를 의미한다. 송신측과 동일한 M-시퀀스를 가지는 $y_{window}(i)$ 는 수신된 PN 시퀀스를 순환시키며 크로스 상관(Cross Correlation) 연산을 수행한다. 만약 연산중 상관 윈도우와 위상이 정확히 일치하는 경우 식 (1)의 특성에 나타난 채널의 임펄스 응답을 얻어 낼 수 있다. 이 외에도 최대 지연 시간이 PN 순환 프리픽스의 길이를 넘어가는 경우의 채널 추정 방법은 논문 [2]에 제안되어 있다.

3. VSB 변조 시스템에 적용할 채널추정 기법에 대한 연구

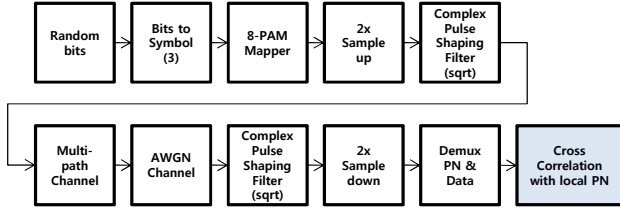


그림 4. VSB 변조 시스템의 블록 다이어그램

그림 4는 채널 부호화부 (Uncoded)가 없는 VSB 변조 시스템의 블록 다이어그램을 나타내며 본 논문에서는 PN 사이클릭 프리픽스의 크기는 200심볼, M-시퀀스의 크기는 255심볼로 구성하였다.

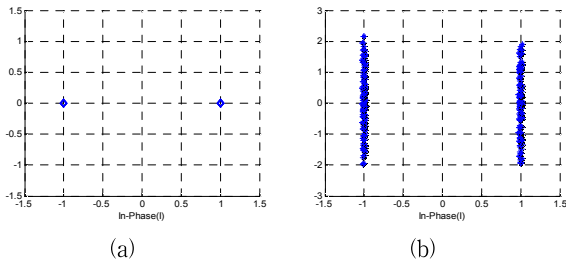


그림 5. QAM 변조된 PN 시퀀스의 성상도(Constellation)와 VSB 변조된 PN 시퀀스의 성상도

그림 5의 (a)와 같이 QAM 변조 방식을 사용하면 동위상 채널로 송신되는 값과 직교위상 채널을 통해 송신되는 값이 각각 독립적으로 반송파 (Carrier Wave)에 전송되어 위상이 변하지 않는다. 하지만 그림 (b)와 같이 PN 시퀀스가 VSB변조 될 경우 수신측에서 받는 PN 시퀀스의 직교위상 채널로 보내는 값은 동위상 채널을 통한 값의 단순한 힐버트 변환에 의해 생성 되어 불규칙한 위상 값을 얻는다.

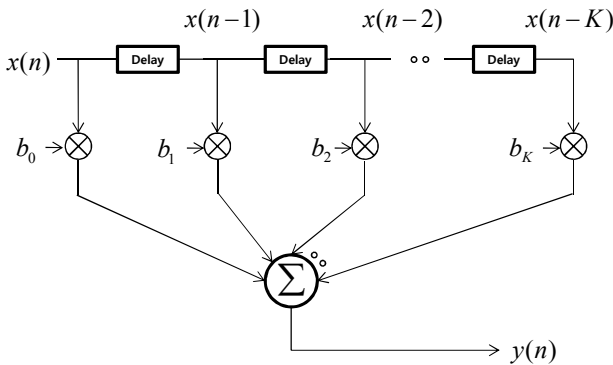


그림 6. 일반적인 FIR 필터의 구현 블록 다이어그램

VSB 변조 방식은 복소수 펄스 성형 필터 (Complex Pulse Shaping Filter)로 구성되는데 펄스 성형 필터는 FIR필터 구조를 가지고 있으며 그림 6과 같이 나타낼 수 있다 [6]. 그림 6에서 출력신호 $y(n)$ 은 입력 신호 $x(n)$ 와 그 과거 값들이 필터 탭 수 K 까지 순차적으로 입력되며 그 값들은 VSB 필터계수 $b_0 \sim b_K$ 와 각각 곱해져 더해진다. 만약 모든 필터 레지스터에서 입력 값과 과거의 값을 모두 알고 있다면 수신측은 변하는 위상을 알 수 있으며 그 특성을 이용할

수 있다. 하지만 레지스터에 입력되는 값 중 프레임 심벌과 같이 알 수 없는 값이 단 하나라도 존재한다면 수신측은 변하는 위상을 알 수 없다.

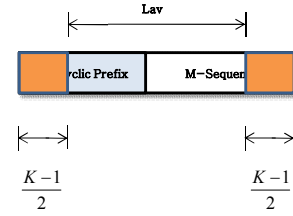


그림 7. FIR 필터를 고려한 프레임 헤더 구조

따라서 VSB 변조 방식을 사용 할 경우 그림 7과 같이 ISI (Inter Symbol Interference)를 방지하기 위해 실제 사용되는 PN 보호 구간의 길이는 감소한다. 본 논문은 채널추정을 위해 이 특성이 유지되는 L_{av} 구간에 상관 윈도우를 설정하고 두 가지 방법으로 접근해 보았다.

가. 상관 윈도우 내에서 VSB 변조된 PN 시퀀스 구조를 사용하는 경우

만약 지역 PN 시퀀스를 VSB 변조된 PN 시퀀스로 사용 할 경우 상관 계산 시 정확하게 위상이 일치하는 구간이 발생한다.

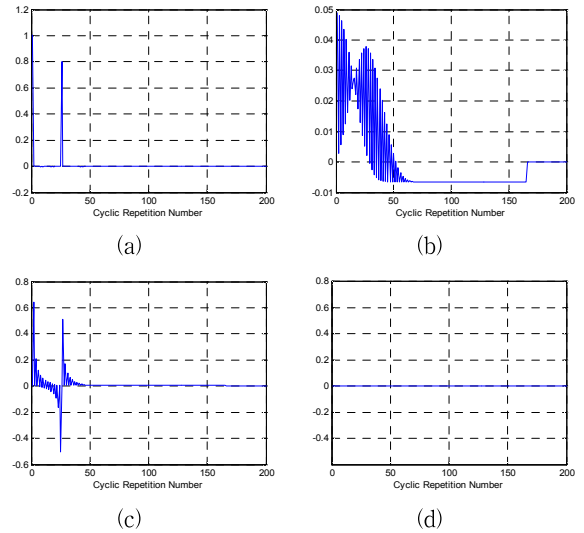


그림 8. $\tau=60$, 상관 윈도우 구간이 L_{av} 에 존재할 때 방법 적용 전 채널 임펄스 응답 I와 Q (a), (c), 적용 후 채널 임펄스 응답 I와 Q (b), (d)

그림 8의 (a)와 (c)는 송신측과 동일한 지역 PN 시퀀스로 식 (2)를 통해 얻어진 I (동위상), Q (직교위상) 채널 임펄스 응답이고, (b)와 (d)는 방법이 적용된 I, Q 채널 임펄스 응답이다. VSB 변조시 I 채널에 송신되는 값은 변하지 않기 때문에 임펄스 응답이 (a)와 같이 올바르게 추정되지만 Q 채널은 (c)와 같이 위상이 변해 잘못된 값이 나온다. 만약 지역 시퀀스가 (c)의 정보를 이용하여 채널 추정을 하는 경우 (d)와 같이 위상이 정확히 일치하는 구간이 발생되어 채널 임펄스 응답이 구해진다. 하지만 지역 시퀀스가 (a), (c)의 정보가 이용되는 그림 5의 (b)와 같은 성상도를 가진다면 -1과 1로 구성된 M-시퀀스의 자기 상관 특성 (1)이 파괴된다. 따라서 위상이 일치되더라도 그림 8의 (b)와 같이 I채널의 임펄스는 깨진다.

나. 상관 윈도우 내에서 상관 계산 시 위상과 크기를 수정하는 경우

그림 8의 (c)와 같이 예측 가능한 채널 임펄스 응답을 안다면 상관 계산 식 (2)를 하기 전에 어긋난 위상과 크기를 수정 할 수 있다. 그 방법을 표현하면 식 (3)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P_{py}(n) = \sum_{i=0}^{M-1} \frac{P(i)}{|ref(i)|} e^{-jw\theta_{ref} + a\pi} p((n+i)_M)$$

$$n = 0, \dots, M-1, \quad a \begin{cases} 0 & y(i) \geq 0 \\ 1 & y(i) < 0 \end{cases}$$
(3)

여기서 $P(i)$ 는 수신된 PN 시퀀스를 의미하고 $ref(i)$ 는 $P(i)$ 를 정정하기 위한 기준 값이다. θ_{ref} 는 $ref(i)$ 의 위상각을 나타낸다. 식 (3)에서 $P(i)$ 는 수신측에서 저장된 $ref(i)$ 의 크기만큼 나누어 진폭을 일반화(Normalized) 한다. 또한 θ_{ref} 를 이용하여 틀어진 위상을 정정하고 난 후 지역 PN 시퀀스와 상관 계산을 한다.

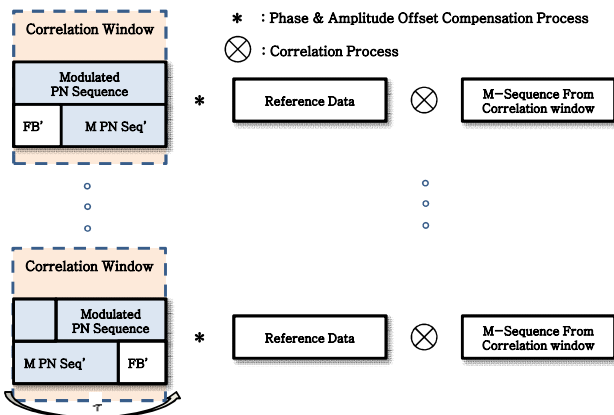


그림 9. 식(3)에 따라 위상과 크기를 정정하며 상관 계산을 하는 방법

여기서 참고 데이터(Reference Data)는 $ref(i)$ 을 의미한다. 하지만 그림 9와 같이 참고 데이터는 두 번째 경로인 PN 시퀀스'를 예측 할 수 없다면 잘못된 정정을 한다.

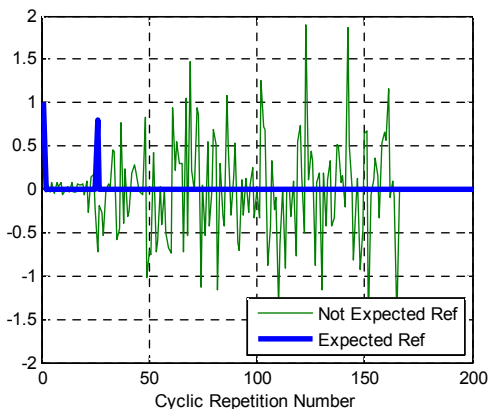


그림 10. 예측 가능한 채널의 채널 임펄스 응답과 예측 불가능한 다중경로 채널에서 채널 임펄스 응답.

그림 10과 같이 채널이 예측 가능하다면 정정된 PN 시퀀스에 의해 올바른 채널 임펄스 응답을 얻을 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 지상과 3D-HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 수정된 ATSC 시스템에서 PN 구조의 상관 계산을 이용하여 채널 추정에 관한 연구를 제시하였다. 논문 [2]에서 제안된 M-시퀀스의 특징과 상관 계산에 관하여 소개하고, 그 구조를 바탕으로 VSB 필터에 적용 가능한 PN 시퀀스 구조를 제안하였다. 또한 2가지 방법을 통해 PN 시퀀스는 VSB 변조에서 채널 추정에 많은 문제점이 있음을 제시하였다. 이 후 이와 같은 문제점을 해결하는 다양한 연구가 진행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI0010035618, 차세대 지상과 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]

참조 문헌

- [1] 오종규, 김준태, “지상과 3D HDTV 전송을 위한 확장된 ATSC 전송 시스템에 대한 연구”, 한국방송공학회 2010 하계 학술대회, 2010년 7월.
- [2] Bowei Song, Lin Gui, Yunfeng and Wenjun Zhang, “On channel estimation and equalization in TDS-OFDM based terrestrial HDTV broadcasting system”, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 51, No. 3, pp. 790-797, August 2005.
- [3] “Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Broadcasting System,” Chinese Standard of digital terrestrial television broadcasting (DTTB), GB20600-2006, Aug. 2006.
- [4] Bo Liu, Lin Gui, Wenjun Zhang, Bowei Song, “On Channel Estimation Method Using Time Domain Sequences in OFDM Systems”, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 54, No. 4, pp. 786-791, December 2008.
- [5] ATSC A/53, ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [6] Fundamentals of Digital Signal Processing, Lonnie C. Ludeman, New Mexico State University, p246, p247