

DVB-H 수신기 모뎀을 위한 고속 분산 파일럿 동기 알고리즘

준회원 엄 중 선*, 정회원 도 주 현*, 이 현**, 종신회원 최 형 진*

A Fast Scattered Pilot Synchronization Algorithm for DVB-H receiver modem

Jung-Sun Um* *Associate Members*, Joo-Hyun Do*, Hyun Lee**, *Regular Members*
Hyung-Jin Choi *Lifelong Members*

요 약

기존 DVB-T 시스템에서의 Streaming 방식이 아닌 IPDC(IP Data Casting) 방식으로 전송하는 DVB-H 시스템은 수신기의 소모 전력 감소를 통한 휴대성의 극대화를 위하여 Time-Slicing 기법을 사용한다. 해당 time slot의 Burst에 대해서만 수신기 동작을 수행함으로써 수신기의 전력 효율을 증대시킬 수 있는 Time-Slicing 기법은 각 Burst에 대한 동기 시간의 단축을 통하여 더욱 향상된 절전 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 현재 수신된 OFDM 심볼의 파일럿 패턴을 검출하는 고속 분산 파일럿 동기 알고리즘을 제안한다. 제안된 방식은 연속적으로 수신된 두 OFDM 심볼에 대하여 가능한 분산 파일럿 위치의 인접 부반송파 간의 상관을 이용하므로 기존의 DVB-T에 적용된 방식에 비하여 동기 수행 시간을 두 심볼로 크게 줄일 수 있으며, DVB-H 시스템을 위해 노키아에서 제안된 두 가지의 방식 및 기존 신호와의 상관을 이용하는 방식에 비하여 우수한 성능을 나타낸다. 컴퓨터 모의 실험은 ETSI의 EN300 744를 기반으로 수행되었으며, 성능 평가 결과 제안된 방식이 기존 방식에 비하여 보다 효율적이며 안정된 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

Key Words : DVB-H, Scattered Pilot, Synchronization

ABSTRACT

Unlike conventional DVB-T transmission with the streaming method, DVB-H system based on the IPDC(IP Data Casting) method uses Time-slicing scheme to achieve the maximization of portability by reducing the power consumption of a receiver. To enhance the power efficiency of the receiver, Time-slicing scheme controls the receiver operation to perform only for corresponding burst in specific time slot. The additional power saving can also be achieved by reducing the required time for synchronization. In this paper, we propose a fast scattered pilot synchronization algorithm, which detects the pilot pattern of currently received OFDM symbol. The proposed scheme is based on the correlation between the adjacent subcarriers of potential scattered pilot position in two consecutively received OFDM symbols. Therefore, it can reduce the time for the scattered pilot synchronization within two symbols as compared with the conventional method used for DVB-T. And the proposed algorithm has better performance than the two schemes proposed by Nokia for DVB-H and the method using correlation with reference signal. Extensive computer simulation is performed based on ETSI EN300 744 ETSI and performance results show that the proposed algorithm has more efficient and stable operation than the conventional schemes.

* 성균관대학교 전자전기공학과 통신시스템연구실 (hjchoi@ece.skku.ac.kr),

** 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 방송시스템연구그룹 (hle2@etri.re.kr),

논문번호 : KICS2005-09-363, 접수일자 : 2005년 10월 20일

I. 서론

최근 디지털 방송과 이동 통신의 융합 추세 및 이동 통신 시스템의 비약적인 발전에 힘입어 디지털 방송 시스템은 고정 수신만을 고려하여 설계되었던 초기 시스템에서 이동성뿐만 아니라 휴대성을 고려한 시스템으로 진화되어 가고 있다. 현재 국내에서는 위성 및 지상파 DMB(Digital Multimedia Broadcasting)를 통한 방송 서비스가 제공되고 있으며^[1], 유럽에서는 기존의 DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial) 표준을 기반으로 소형 휴대 단말기에 적합한 DVB-H(Handheld)의 표준화를 진행하고 있다^{[2][3]}. 또한, 미국에는 Qualcomm 社の 자체 제작 표준인 MediaFLO를 기반으로 시스템을 개발 중에 있다^[4].

휴대성을 고려한 방송 수신용 단말기는 단말의 소형화 및 전력 소모 감소가 필수적으로 요구된다. 특히 기존의 이동전화기와 융합된 단말을 이용하기 위해서는 디지털 방송 신호 모뎀 칩에 따른 전력 소모를 최소화 해야만 한다^{[5][6]}.

본 논문의 목표 시스템인 DVB-H는 전력 소모를 최소화하기 위하여 전송 데이터를 일정한 time slot으로 구성된 후 각 time slot에 패킷화된 방송신호(Burst)를 보내는 Time-Slicing 기술을 활용한다. 일정한 전송률을 가지고 지속적으로 전송(Streaming)되던 기존의 DVB-T 시스템과 달리 DVB-H는 향상된 압축 기술로 높은 전송률을 가지는 Burst를 Time-Slicing 기법으로 일정 간격 마다 전송하므로, 방송 신호를 수신 하지 않을 경우에는 수신 단말을 절전하여 전력 소모를 줄일 수 있다^[7]. 그러나 이 경우 각 버스트 마다 수신 신호에 대한 동기가 요구되며, 동기 수행에 소요되는 시간이 길어지게 되면 수신기의 전력 소모가 증가하므로 동기 수행 시간을 최소화하는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 DVB-H 시스템의 전력 소모 감소를 위하여 고속의 동기 수행이 가능한 분산 파일럿 동기 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 연속적으로 수신된 두 개의 OFDM 심볼의 FFT 출력 값에서 분산 파일럿이 할당 가능한 인접 부반송파 간의 상관을 이용하므로 두 OFDM 심볼만으로 동기가 가능하다.

기존의 DVB-T에 적용된 분산 파일럿 동기는 68개의 OFDM 심볼에 의해 전송되는 TPS(Transmission Parameter Signalling)를 기반으로 수행되었으나, 동기 수행에 요구되는 심볼의 수가 68개 이므로 동기 수행 시간을 최소화하기 위한 DVB-H 시스템

에는 적합하지 않았다. 노키아 社에서는 DVB-H 시스템을 위해 파일럿의 상관을 이용하는 방식과 파일럿의 전력을 검출하는 두 가지 동기 방식을 제안하였다^[5]. 상관 기반의 분산 파일럿 동기 방식은 동기 수행을 위해 5개의 OFDM 심볼이 요구되며, 한 심볼을 이용하여 동기를 수행하는 전력 검출 방식은 잡음에 의해 성능이 열화되는 단점을 가진다. 또한, 기존에 제안된 방식 중 기준 신호와의 상관을 이용하는 방식은 FFT 윈도우 위치 오프셋이 존재할 경우 동기를 수행을 할 수 없는 것을 성능 분석을 통해 확인하였다^[6]. 그러나 제안된 방식은 두 심볼을 통해 고속의 동기 수행이 가능하며, 성능 분석 결과 시간 오프셋에 강인하고 기존의 모든 방식에 비하여 우수한 동기 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DVB-H 시스템의 파일럿에 대한 특징을 간단히 설명한다. 3장과 4장에서는 각각 기존의 분산 파일럿 동기 방식들과 제안된 방식에 대하여 설명하고, 5장에서 모의실험을 통하여 각 방식 간의 동기 성능을 비교 분석한다. 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. DVB-H 시스템 특징

DVB-H는 데이터 심볼과 파일럿, 그리고 TPS를 각 부반송파에 할당하여 전송한다. 파일럿은 모든 OFDM 심볼에서 고정된 위치로 전송되는 연속 파일럿(Continual Pilot)과 네 개의 OFDM 심볼마다 위치가 주기적으로 변하는 분산 파일럿(Scattered Pilot)으로 구성된다. TPS는 현재 수신 신호의 전송 기법과 관련된 68개의 비트 정보를 전송하기 위해 사용되고 68개의 OFDM 심볼에 나누어 전송된다.

분산 파일럿은 식 (1)에 따라 네 개의 심볼마다 할당되는 부반송파의 위치가 이동된다^[3]. 따라서, 채널 추정을 통한 데이터 복조를 위해서는 현재 수신된 심볼의 파일럿 패턴을 검출하는 분산 파일럿 동기가 요구된다.

$$k = K_{\min} + 3 \times (n \bmod 4) + 12p \quad (1)$$

$$(p: \text{integer}, p \geq 0, k \in [K_{\min}, K_{\max}])$$

여기서, k 와 n 은 각각 분산 파일럿이 위치하는 부반송파 인덱스와 현재 수신된 OFDM 심볼의 인덱스를 의미하며, K_{\min} 와 K_{\max} 는 유효 부반송파 중 최소와 최대의 부반송파 인덱스를 나타낸다. K_{\max}

은 FFT 크기에 따라서 2K 모드에서 1704, 4K 모드에서 6816, 8K 모드에서 3408의 값을 가진다.

그림 1은 DVB-H의 주파수 영역에서 파일럿 및 TPS 신호에 대한 부반송파 할당을 표현한 것이다. FFT 모드에 따른 분산 파일럿의 수 (N_{sp})는 2K 모드에서 142개, 4K 모드에서 284개, 8K 모드에서 568개를 가진다. 모든 파일럿은 BPSK로 변조되며 심볼의 값은 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)의 출력 비트에 의하여 결정된다.

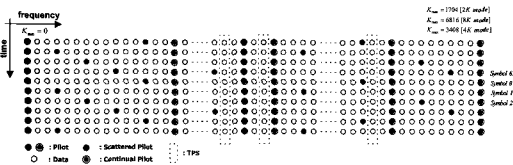


그림 1. DVB-H 부반송파 할당

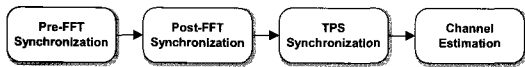


그림 2. DVB-H 동기 수행 과정 블록도

III. 기존의 분산 파일럿 동기 방식

3.1 TPS-비트를 이용한 동기 방식

DVB-T 시스템에서의 분산 파일럿 동기는 그림 2와 같이 주파수 및 시간 동기 수행을 위한 Pre-FFT와 Post-FFT 동기 이후 채널 추정 이전에 수행된다⁷⁾. 네 심볼마다 반복되는 분산 파일럿의 패턴은 하나의 프레임으로 구성되는 68개의 OFDM 심볼 번호와 관련이 있으므로 DVB-T는 분산 파일럿 동기를 위한 특별한 동기 방식 없이 TPS 비트를 통한 프레임 동기 이후 분산 파일럿의 패턴을 결정한다. 그러나 68개의 OFDM 심볼을 수신한 이후에 동기 수행이 가능하므로 Pre & Post FFT 동기에 수행되는 총 7 심볼에 비하여 매우 많은 수의 심볼이 요구된다. 따라서, 전력 소모의 최소화를 지향하는 DVB-H 시스템을 위한 새로운 고속 분산 파일럿 동기 방식이 요구된다.

3.2 상관 기반(CB_FSPPS : Correlation Based Fast Scattered Pilot Synchronization)

분산 파일럿의 패턴은 그림 1과 같이 OFDM 심볼 네 개마다 반복되어 할당되므로 현재 수신된 심볼과 네 심볼 이전 심볼에 대하여 분산 파일럿 간에는 높은 상관 특성을 가지는 반면 데이터 부반송파 간에는 랜덤한 데이터 심볼에 의하여 상관도가

낮게 나타난다. CB_FSPPS 방식은 식 (2)와 같이 두 OFDM 심볼의 네 가지 가능한 분산 파일럿 위치에 수신된 신호 간의 상관을 수행하고 네 개의 출력값 중 최대값을 검출함으로써 현재 수신된 심볼의 파일럿 패턴을 추정한다⁵⁾.

$$C_{P_s}(n) = \left| \sum_{p=0}^{N_{sp}-1} S(n, 12p + 3P_s) \cdot S^*(n-4, 12p + 3P_s) \right| \quad (2)$$

$$SPRP = \underset{P_s}{Max} [C_{P_s}(n)], \quad P_s \in \{0, 1, 2, 3\} \quad (3)$$

여기서, $S(n, k)$ 는 n 번째 수신된 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파를 의미한다. $C_{P_s}(n)$ 는 네 가지 분산 파일럿의 상관 결과이며, P_s 는 분산 파일럿의 네 가지 패턴을 나타내는 인덱스이다. p 는 식 (1)의 유효 부반송파 내에 할당된 파일럿의 전체 인덱스로써 분산 파일럿뿐만 아니라 연속 파일럿의 위치를 포함하며, SPRP(Scattered Pilot Raster Position)는 최대 상관 결과를 가지는 분산 파일럿 패턴의 값을 의미한다.

그림 3은 CB_FSPPS 방식의 블록도이며, 모든 동작은 OFDM의 한 심볼 단위로 이루어지는 것을 가정한다. 'SPRP [P_s] pilot set' 블록은 요구되는 파일럿 패턴의 부반송파 위치의 신호를 검출하는 기능을 수행한다.

이 방식은 분산 파일럿의 위치를 결정하는데 5개의 OFDM 심볼이 소요되므로 68 심볼이 소요되는 TPS를 이용한 동기 방식에 비하여 분산 파일럿 동기 수행 시간을 감소시킬 수 있다.

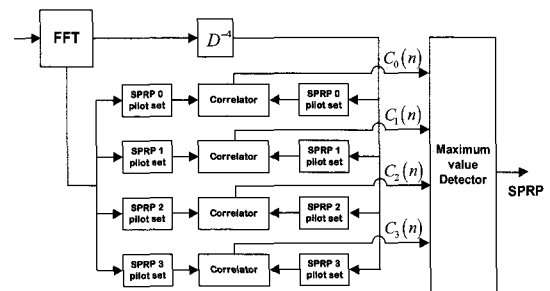


그림 3. CB_FSPPS 방식 블록도

3.3 전력 검출 기반(PB_FSPPS : Power Based Fast Scattered Pilot Synchronization)

DVB-H에서는 모든 변조방식 및 계층 구조의

(Hierarchical) 값에 대하여 성좌도(Constellation) 상에 할당되는 데이터 심볼의 평균 전력은 1이 되도록 정규화 된다. 반면에 파일럿은 데이터 심볼의 평균 전력에 비하여 약 2.5dB 정도 큰 전력으로 전송되므로 파일럿과 데이터 심볼 간에는 전력의 차이가 발생한다^[3]. PB_FSPS 방식은 현재 수신된 심볼에 대하여 가능한 네 가지 분산 파일럿 위치의 신호 전력을 추정하여 최대 전력값을 검출함으로써 분산 파일럿 동기를 수행한다^[5].

$$PS_{P_s}(n) = \left| \sum_{p=0}^{N_p-1} S(n, 12p+3P_s) \cdot S^*(n, 12p+3P_s) \right| \quad (4)$$

$$SPRP = \text{Max}_{P_s} [PS_{P_s}(n)] \quad (5)$$

여기서, $PS_{P_s}(n)$ 는 각 분산 파일럿 패턴의 추정된 평균 신호 전력을 의미한다.

PB_FSPS는 CB_FSPS와 달리 현재 심볼만을 이용하여 동기 수행을 최소화 할 수 있으나 서로 다른 신호의 상관을 통하여 잡음의 영향을 감소시킬 수 있는 CB_FSPS에 비하여 동일한 신호의 전력을 이용하는 알고리즘이므로 잡음 환경에서 성능이 상대적으로 열화될 것으로 판단된다. 그림 4는 PB_FSPS 방식의 블록도이다.

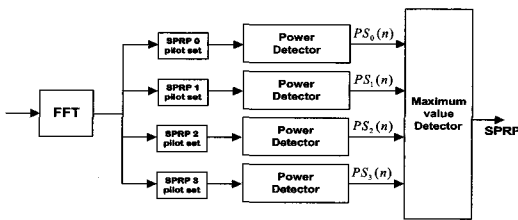


그림 4. PB_FSPS 방식 블록도

3.4 기준 신호 기반(RB_FSPS : Reference Based Fast Scattered Pilot Synchronization)

이 방식은 현재 수신된 OFDM 심볼과 인위적으로 생성된 네 개의 기준 신호 간의 상관을 이용하여 동기를 수행한다^[6].

분산 파일럿 패턴은 식 (6)과 같이 기준 신호 $RS_{P_s}(k)$ 와 수신 신호의 상관 결과 얻어진 $RC_{P_s}(n)$ 중 최고 상관 결과를 추정함으로써 검출된다. 네 가지 기준 신호는 각각의 분산 파일럿 패턴에 따라 파일럿을 할당하고 데이터 부반송파 위치에는 'Null' 심볼을 할당하여 생성한다.

$$RC_{P_s}(n) = \left| \sum_{p=0}^{N_p-1} S(n, 12p+3P_s) \cdot RS_{P_s}^*(12p+3P_s) \right| \quad (6)$$

$$SPRP = \text{Max}_{P_s} [RC_{P_s}(n)] \quad (7)$$

그림 5는 기준 신호 기반의 분산 파일럿 동기 방식의 블록도다. 이 방식은 기준 신호와 현재 신호의 상관으로 수행되므로 동기에 소요되는 시간을 하나의 OFDM 심볼로 감소시킬 수 있다. 그러나 이 방식은 주파수 영역의 기준 신호를 이용하므로 현재 수신 심볼에 대한 FFT 윈도우 위치 옵셋이 발생할 경우 상관 성능이 크게 열화되기 때문에 실제 DVB-H의 분산 파일럿 동기로서 적합하지 않을 것으로 판단되며, 제 5장의 그림 9에서 제시하는 시간 옵셋에 따른 성능 분석 결과를 통하여 이를 확인할 수 있다.

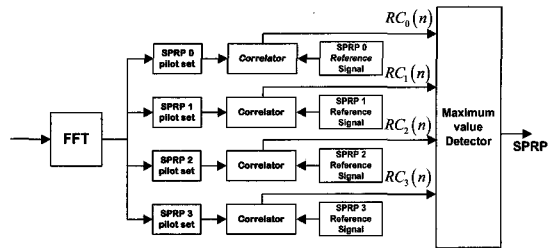


그림 5. RB_FSPS 방식 블록도

IV. 제안된 분산 파일럿 동기 방식 및 개선된 PB_FSPS 방식

4.1 제안된 분산 파일럿 동기 방식

제안된 방식은 기본적으로 CB_FSPS 방식과 같이 파일럿 간의 상관을 이용하여 분산 파일럿 패턴을 검출한다. 그러나 제안된 방식은 앞선 심볼과의 상관을 이용하므로 CB_FSPS 방식에 비하여 동기 수행 시간을 5개 OFDM 심볼에서 2개로 감소시킬 수 있으며, 이전에 수신된 심볼을 저장하는 버퍼의 수도 4개에서 하나로 줄일 수 있다.

제안된 방식은 그림 6과 같이 현재 심볼과 한 심볼 이전에 수신된 심볼에 대하여 분산 파일럿 위치에 수신된 인접한 신호 간의 상관을 통해 동기를 수행한다. 그러나 각 분산 파일럿은 부반송파 위치에 따라 서로 다른 변조 값을 가지므로 인접한 파일럿의 위상 변화 정보를 기준 신호로 이용하여 상관을 수행한다. 기준 신호 $pk(p)$ 는 부반송파 3개 간

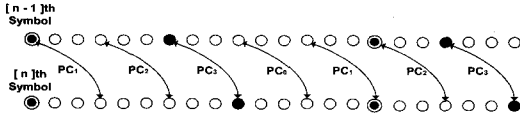


그림 6. 제안된 방식 개념도

격 떨어진 두 개의 PRBS 출력 비트를 EX-OR 연산하여 획득한 $\phi_{d,p}$ 를 통하여 생성한다. 모든 파일럿은 BPSK로 변조 되므로 위상 변화량은 식 (8)의 결과와 같이 동위상과 180° 의 두 가지로만 나타나게 된다.

$$ph(p) = e^{j\phi_{d,p}}, ph(p) = \{1, e^{j\pi}\}, \phi_{d,p} = \{0, 1\} \quad (8)$$

제안된 동기 방식은 식 (9), (10)과 같이 위상 정보를 이용하여 인접 분산 파일럿 위상을 동위상으로 변화시켜 상관을 수행하고 추정된 상관값 $PC_{P_s}(n)$ 중에서 최대 결과를 검출함으로써 동기를 수행한다. 이 경우 위상 변화는 식 (9), (10)과 같이 실제 위상 변화량을 수신된 신호에 곱하여 수행될 수도 있지만, 위상의 변화가 0° 와 180° 만 존재하므로 180° 의 위상 차이가 존재하는 경우 수신 복소 신호의 In-phase와 Quadrature 성분의 부호를 반전시키는 간단한 구조도 고려할 수 있다.

$$PC_0(n) = \left| \sum_{\beta=0}^{N_g-1} S[n, 12(p+1)] \cdot S^*[n-1, 12p+9] \cdot ph(12p+9) \right| \quad (9)$$

$$PC_{P_s}, P_s \neq 0$$

$$(n) = \left| \sum_{\beta=0}^{N_g-1} S[n, 12p+3P_s] \cdot S^*[n-1, 12p+3 \cdot (P_s-1)] \cdot ph[12p+3 \cdot (P_s-1)] \right| \quad (10)$$

$$SPRP = \text{Max}_{P_s} [PC_{P_s}(n)] \quad (11)$$

여기서, PC_{P_s} 는 가능한 네 개의 상관 결과이며, P_s 가 0인 경우 K_{min} 보다 앞선 부반송파 위치에 전송되는 파일럿이 존재하지 않으므로 식 (9)와 식 (10)과 같이 구분하여 나타내었다. 그림 7은 제안된 방식의 블록도를 나타낸 것이다. 상관 특성을 기반으로 하는 CB_FSFS 방식과 비교하여 볼 때, 상관에 이용되는 이전 수신 심볼의 분산 파일럿을 검출하는 패턴의 블록 위치가 다르며, 'Reference Phase Information' 블록과 'Phase Rotator' 블록이 추가되

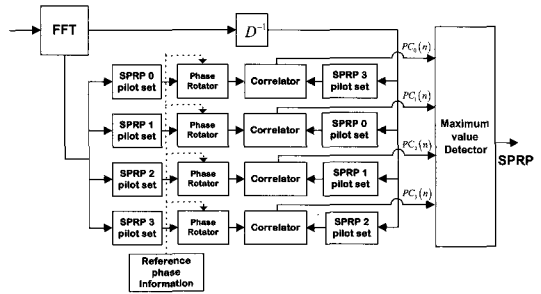


그림 7. 제안된 방식 블록도

었다. 그러나 상관 수행을 위하여 앞선 하나의 OFDM 심볼만을 저장하고 있으면 되므로 버퍼의 크기를 크게 줄일 수 있다.

4.2 개선된 전력 검출 기반 방식(IPB_FSFS : Improved PB_FSFS)

본 논문에서 제안된 방식은 동기 수행 시간을 위해 두 개의 OFDM 심볼이 요구되는 반면 기존의 PB_FSFS 방식은 하나의 심볼로 동기 수행이 가능하므로 동일한 동기 수행 시간에 대한 두 방식의 성능 비교가 요구된다. PB_FSFS 방식은 네 가지 패턴에 할당된 부반송파의 각각의 전력 합을 기반으로 하므로 두 심볼의 추정 전력을 합하는 것이 가능하지만, OFDM 심볼마다 분산 파일럿의 위치가 이동하므로 단순히 전력 결과를 누적할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 식 (12)와 같이 이전 심볼에서 추정된 전력의 값을 이동시켜 누적하는 개선된 PB_FSFS를 제안한다. 그림 8은 개선 방식의 블록도이다.

$$IPS_{P_s} = \left| \sum_{\beta=0}^{N_g-1} S(n, 12p+3P_s) \cdot S^*(n, 12p+3P_s) + IPS_{(P_s+3) \bmod 4}(n-1) \right| \quad (12)$$

$$SPRP = \text{Max}_{P_s} [IPS_{P_s}(n)] \quad (13)$$

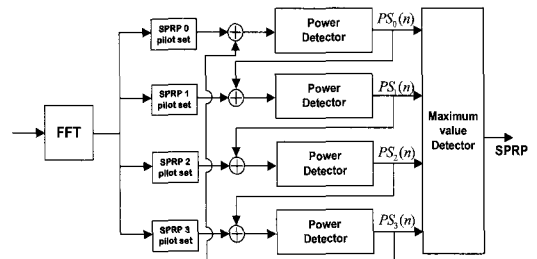


그림 8. IPB_FSFS 방식 블록도

V. 모의실험 및 성능 비교 분석

각 분산 파일럿 동기 방식 간의 성능 분석 기준은 현재 수신된 심벌의 파일럿 패턴을 정확하게 검출하지 못할 검출 오류 확률(Pilot Detection Error Probability)과 출력 결과의 최소 보호율 MPR (Minimum Protection Ratio)로 한다. PR(Protection Ratio)는 식 (14)와 같이 최대 출력값 대비 나머지 세 개의 파일럿 패턴의 출력값 간의 비율을 의미한다. 여기서 식 (14)는 CB_FSFS 방식을 기준으로 한 식이며, 다른 방식도 동일한 과정을 통해 PR값을 구할 수 있다. MPR은 일정한 횟수로 수행한 모의실험 동안 최소의 PR을 가지는 값을 의미하며 알고리즘의 강인성을 측정하는 요소가 된다⁵⁾.

$$PR(n) = \frac{\text{Min}}{P_s} \left[\frac{C_{SPRP}(n)}{C_{P_s}(n)} \right], P_s \in \{0, 1, 2, 3\} \quad (14)$$

$$MPR = \frac{\text{Min}}{n} [PR(n)], n \in [0; N_0] \quad (15)$$

여기서, N_0 는 상관 비율의 관찰 횟수로서 전체 성능 분석 과정에서 1000번으로 설정하였다.

표 1은 모의 실험에 적용된 파라미터들이다. 성능 분석의 'Proposed FSFS'는 제안된 분산 파일럿 동기 방식을 의미하며, 노키아에서 제안된 상관 방식과 전력 검출 방식은 각각 'CB_FSFS'와 'PB_FSFS'로 명명한다. 기준 신호를 이용한 분산 파일럿 동기 방식은 'RB_FSFS'로, 개선된 'PB_FSFS' 방식은 'IPB_FSFS'로 표기한다. 성능 분석의 기준이 되는 SNR은 데이터 심벌의 신호 전력 대비 잡음 전력의 비율로 설정하며, 분산 파일럿 동기는 주파수 동기 이후에 수행되므로 주파수 오프셋의 영향은 없다고 가정한다. 성능 분석 과정은 시간 오프셋에 따른 영향을 분석하고, 시간 오프셋에 강인한 세 가지 알고리즘에 대하여 잡음 환경 및 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 성능을 분석한다.

5.1 시간 오프셋에 따른 동기 성능

일반적으로 미세 시간 동기는 모든 파일럿을 이용하여 수행되므로 분산 파일럿 동기 이후에 동작한다⁷⁾. 따라서 분산 파일럿 동기는 초기 대략적인 시간 동기 수행 결과 추정된 결과를 기준으로 FFT 윈도우의 위치가 결정되므로 시간 오프셋의 영향에 강인한 특성을 지녀야 한다. 그림 9의 결과는 시간

표 1. 시뮬레이션 파라미터

| Parameters | Value |
|------------------------------------|---|
| Center Frequency | 474M Hz |
| Bandwidth | 8M Hz |
| FFT_Size | 2048[2K], 4096[4K], 8192[8K] |
| Guard Size | FFT_Size / 4 |
| Channel Environment | COST 207 Typical Urban |
| Velocity/Max Doppler Frequency | 3 km/h [1.3167 Hz] 60 km/h [26.333 Hz] 120 km/h [52.667 Hz] |
| Data Modulation | QPSK |
| SNR | AWGN : -12 ~ 4 dB Fading : -5 ~ 10 dB |
| Normalized Frequency offset | 0 (ideal) |
| Timing Offset | -10 ~ 10 samples |
| # of Observation symbols [N_0] | 1000 symbols |

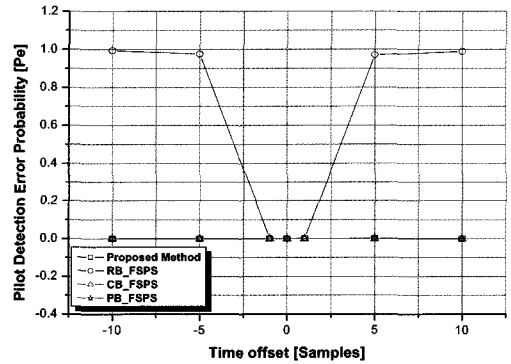


그림 9. 시간 오프셋에 따른 검출 확률

오프셋만이 존재하는 이상적인 채널 환경에서 각 알고리즘의 검출 오류 확률을 분석한 것이다. 상관 방식 및 전력 검출 방식은 시간 오프셋에 따른 영향을 받지 않는 반면, 기준 신호를 이용한 방식은 하나의 샘플 오프셋이 발생하여도 검출 오류가 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 FFT 윈도우 위치 오프셋(샘플 오프셋)의 영향이 주파수 영역에서 위상 회전 형태로 나타나므로 이상적인 채널 환경에서도 기준 신호와 수신 신호간의 상관도를 저하시키는 요인으로 작용하기 때문이다⁸⁾. 따라서, 향후 성능 분석 과정에서는 기준 신호 기반 방식(RB_FSFS) 알고리즘은 제외하고 성능 분석을 진행하며, 나머지 방식의 분산 파일럿 동기 성능을 중점적으로 분석하기 위하여 FFT 윈도우 위치 오프셋은 없다고 가정한다.

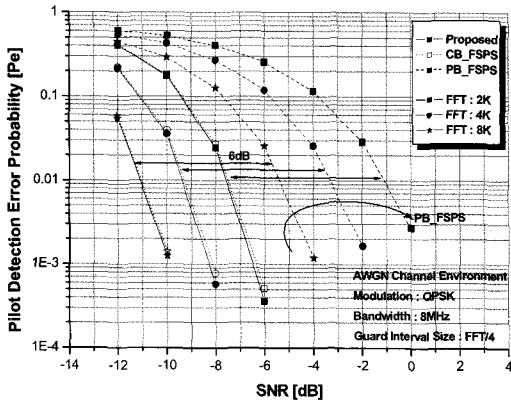
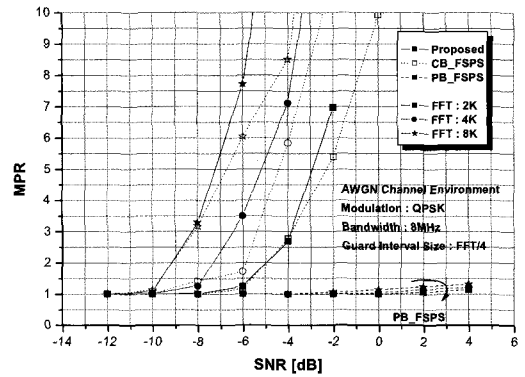


그림 10. 잡음 환경에서 검출 에러 확률

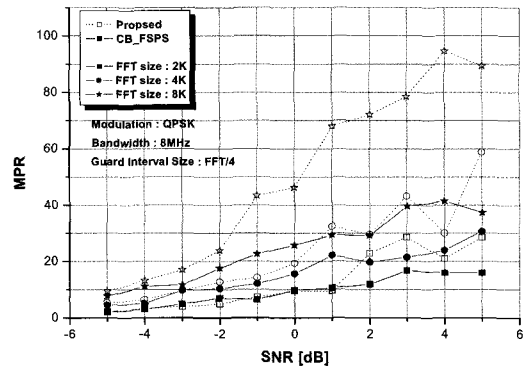
5.2 잡음 환경 성능 분석

그림 10은 잡음 환경에서의 분산 파일럿 검출 오류 확률 성능 결과이다. 세 가지 알고리즘 모두 FFT 크기가 증가함에 따라 상관 누적 크기가 증가하므로 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 상관 방식을 기본으로 하는 노키아의 CB_FSFS와 제안된 FSFS의 성능은 FFT 크기가 증가함에 따라 약 1.7dB의 성능 향상이 있으며, PB_FSFS는 약 2dB의 성능 개선을 보인다. 그러나 각 방식 간의 성능은 CB_FSFS와 제안된 방식이 거의 유사한 반면 PB_FSFS의 경우 두 가지 상관 기반 방식에 비하여 약 6dB의 성능 열화가 나타난다. 이것은 상관 방식이 서로 다른 잡음에 영향을 받은 두 신호를 상관함으로써 잡음의 영향을 감소시키기 때문이다. 그림 11은 잡음 환경에서의 MPR 성능으로써 PB_FSFS의 MPR 성능은 SNR이 증가하여도 거의 1의 값을 가지며, 다른 알고리즘과 비교하여 가장 열화되어 나타난다. PB_FSFS는 단순히 파일럿과 데이터 심볼의 전력 차이를 이용하므로 MPR 결과가 낮게 나오지만 상관 특성을 이용하는 방식의 경우 SNR이 증가함에 따라 상관 특성이 향상되므로 MPR 성능도 크게 향상되어 나타난다. 그림 11의 (b)는 CB_FSFS와 제안된 방식의 성능을 보다 자세하게 나타낸 결과이다. 모든 FFT 크기에서 SNR이 증가함에 따라서 제안된 방식의 성능이 우수하게 나타나는 것을 알 수 있다.

CB_FSFS에 비하여 제안된 방식의 성능이 SNR이 증가함에 따라 향상되는 원인을 분석하기 위하여 이상적인 채널 환경에서 데이터 심볼은 전송하지 않고 전력을 1로 고정 시킨 파일럿 신호만을 전송한 후 두 분산 파일럿 동기 방식의 성능을 비교하였다. 표 2에는 수신 심볼의 파일럿 패턴과 동



(a) FFT 크기에 따른 MPR 성능



(b) CB_FSFS와 제안된 방식 MPR 성능 비교

그림 11. 잡음 환경에서의 MPR 성능

표 2. 상관 출력 결과 비교

| Method | FFT size | # of Scatter | Non correct pattern | | | | correct pattern |
|----------|----------|--------------|---------------------|--------|--------|--------|-----------------|
| | | | SPRP 1 | SPRP 2 | SPRP 3 | SPRP 4 | |
| CB_FSFS | 2K | 142 | 11 | 11 | 11 | 11 | 142 |
| | 4K | 284 | 22 | 22 | 22 | 22 | 284 |
| | 8K | 568 | 44 | 44 | 44 | 44 | 568 |
| Proposed | 2K | 142 | 1 | 0 | 3 | 0 | 142 |
| | 4K | 284 | 2 | 0 | 6 | 0 | 284 |
| | 8K | 568 | 4 | 0 | 12 | 0 | 568 |

일한 위치에서의 분산파일럿 상관 결과 값(correct pattern)과 정확한 패턴이 아닌 경우의 상관 결과 값(non-correct pattern)을 나타내었다. 정확한 상관 결과 값은 FFT 크기와 상관 방식에 관계없이 실제 전송된 분산 파일럿의 수와 동일한 것을 확인할 수 있다. 그러나 잘못된 패턴의 상관 결과 값은 두 방식 및 FFT 크기에 따라 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 그림 12와 같이 연속 파일럿이 상관 출력에 영향을 주기 때문이다. CB_FSFS는 동일한 부반송파 위치의 심볼간의 상관을 수행하므로 정확한 패턴 이외에도 연속 파일럿에 의한 상관 결

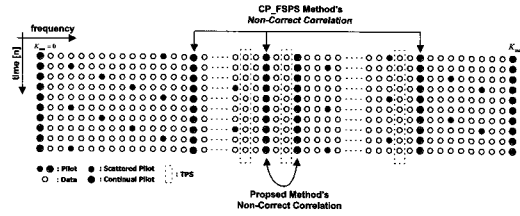


그림 12. 연속 파일럿에 의한 영향

과가 나타나지만, 제안된 방식의 경우 인접 파일럿 위치에 연속 파일럿이 모두 할당되는 경우에만 상관 결과가 나타나기 때문에 표 2와 같은 결과를 보인다. 따라서, 제안된 방식의 MPR 성능이 CB_FSPS 보다 우수한 결과를 보이며, 그림 10의 검출 오류 확률에서도 제안된 방식이 SNR이 증가할수록 다소 향상되어 나타난다.

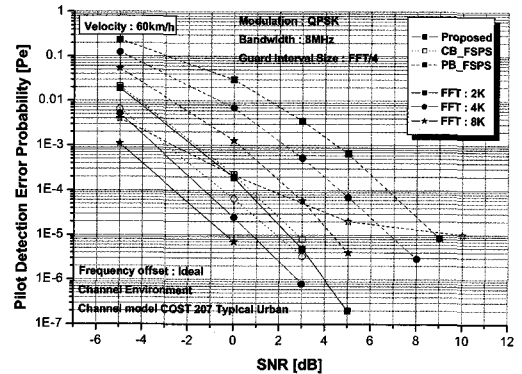
5.3 다중경로 페이딩 채널 환경에서의 성능 분석

잡음 환경에서의 성능 분석 결과 제안된 알고리즘이 검출 오류 확률 및 MPR 성능 면에서 가장 우수한 성능을 나타내며 PB_FSPS 방식이 가장 열화된 성능 결과를 나타내는 것을 확인하였다. 그러나 잡음 환경이 아닌 다중 경로 페이딩 채널 환경에서는 잡음에 의한 요인 보다 이동체 속도 그리고 FFT 크기에 의하여 각 알고리즘의 성능이 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 노키아에서 제안된 두 가지 방식은 잡음의 강인성 측면에서는 상관을 기반으로 하는 CB_FSPS가 더 우수한 성능을 보이지만, 도플러에 의한 내성은 전력 검출 기반의 PB_FSPS가 더 우수한 것으로 알려져 있다⁵⁾.

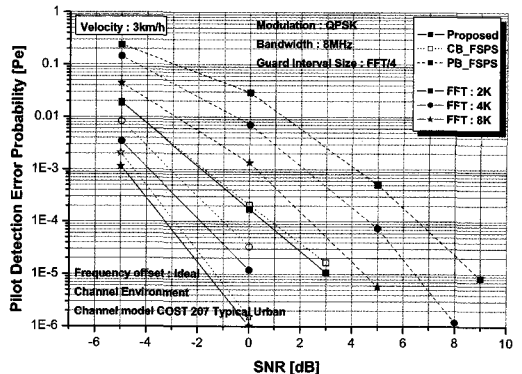
그림 13은 다중 경로 페이딩 환경에서 각 동기 방식간의 검출 오류 확률에 대한 성능 결과이다. 모든 이동체 속도와 FFT 크기에 대하여 제안된 방식의 성능이 우수하게 나타나는 것을 알 수 있다. 동일 방식에 대한 이동체 속도에 따른 성능을 분석해보면 PB_FSPS의 경우 이동체 속도에 상관없이 거의 일정한 결과를 가지는 반면 CB_FSPS 방식은 저속 환경에서는 FFT 크기가 큰 경우가 우수한 성능을 가지나 고속의 이동체 환경에서는 FFT 크기가 클수록 성능이 열화되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 상관을 수행하는 두 OFDM 심볼 사이의 채널의 변화량으로부터 야기되므로 한 심볼의 전력을 이용하는 PB_FSPS의 경우에는 성능의 변화가 나타나지 않는다. 표 3은 식 (15)을 이용하여 이동체 속도에 따른 Coherence time을 시간영역의 OFDM 샘플 단위로 나타내었다⁹⁾.

$$T_c = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_m^2}} = \frac{0.423}{f_m} \quad (15)$$

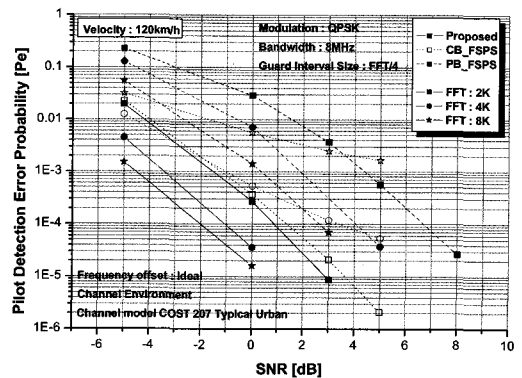
여기서, T_c 는 Coherence Time, f_m 는 최대 도플러 주파수를 의미한다. 표 3을 통하여 이동체 속도가 증가함에 따라서 Coherence time내의 OFDM 샘플 수가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 상관을 이용하는 방식의 경우 이동체 속도가 증가하



(a) 3km/h



(b) 60km/h



(c) 120km/h

그림 13. 페이딩 환경에서의 MPR 성능

표 3. 이동체 속도에 따른 Coherence time

| | 3km/h | 60km/h | 120km/h |
|-----------------------|-----------|---------|---------|
| T_c [s] | 0.32126 | 0.01606 | 0.00803 |
| # of sample [samples] | 2,937,288 | 146,864 | 76,432 |

고 FFT 크기가 증가할수록 상관에 이용되는 두 OFDM 심볼 간의 채널의 변화폭이 증가하므로 성능이 열화된다. 특히, 4 심볼 이전의 심볼을 이용하는 CB_FSPS의 경우 120km/h에서 Coherence time이 크게 감소하므로 잡음 환경 또는 저속의 이동체 속도에서와 달리 성능이 역전되는 현상을 보인다. 그러나 제안된 방식은 인접한 두 심볼 간의 상관을 이용하므로 CB_FSPS 방식에 비하여 도플러 영향에 강인한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

그림 14와 15는 이동체 속도 및 SNR의 변화에 따른 각 방식의 MPR 성능을 비교한 결과이다. PB_FSPS의 경우 데이터 심볼과 파일럿 심볼의 전력 비율을 이용하므로 이동체 속도에 상관없이 대략적으로 1의 낮은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. SNR의 증가에 따라서는 잡음의 감소에 따른 미세한 성능 향상은 나타나지만 대략 1의 낮은 성능을 보인다. 상관을 기반으로 하는 CB_FSPS와 제안된 방식은 검출 오류 확률의 성능 분석에서와 같이 이동체 속도가 증가할수록 상관도가 낮아지므로 성능이 다소 열화되며, 동일 이동체 환경에서는 SNR이 증가할수록 잡음 영향이 감소하므로 MPR 성능이 향상된다. 이상의 결과를 토대로 제안된 방식이 검출 오류 성능 및 MPR 측면에서도 가장 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

제안된 방식의 경우 분산 파일럿 동기 수행에 요구되는 심벌의 수는 두 개이다. 앞서서 수행한 성능 분석을 통하여 제안된 방식이 가장 우수한 성능을 나타내는 것을 확인 하였지만 PB_FSPS 방식에 비해서는 동기 수행에 소요되는 시간이 크다. 따라서, 하나의 OFDM 심벌을 통하여 동기화를 이루는 PB_FSPS 방식을 개선하여 제안된 방식과 동일하게 두 개의 OFDM 심벌을 이용할 경우의 비교 성능이 요구된다. 그림 16은 개선된 알고리즘과 PB_FSPS 및 제안된 방식의 성능을 채널의 영향을 가장 많이 받는 120km/h의 이동체 속도에서 비교한 결과이다. 두 번의 누적을 통하여 기존의 PB_FSPS에 비하여 각 FFT 별로 약 2dB의 성능 향상을 얻을 수 있으나, 여전히 제안된 방식이 모든 FFT 크기에 대해서

우수한 성능 결과를 나타낸다. 또한, 개선된 방식은 PB_FSPS를 기반으로 하므로 MPR 성능 결과는 그림 14와 15의 PB_FSPS의 MPR 성능과 같이 약 1의 값을 가지며 성능의 향상이 없는 것을 확인하였다.

이상의 모든 성능 분석을 통하여 제안된 방식이 동기 수행 시간 측면에서나 성능 측면에서 기존의 방식에 비하여 우수함을 확인할 수 있다.

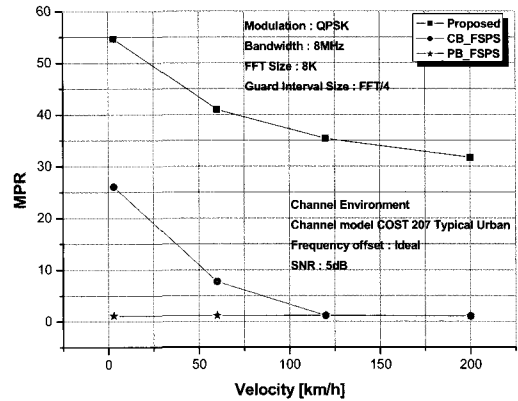


그림 14. 이동체 속도에 따른 MPR 성능

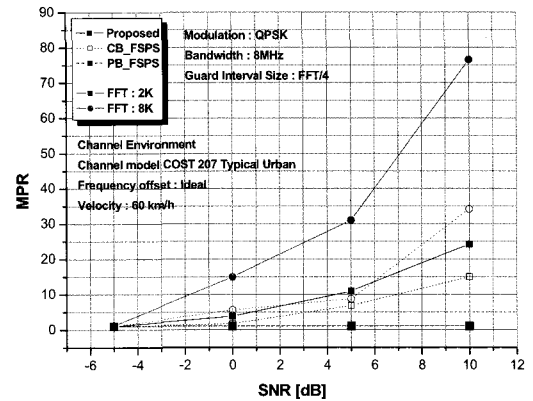


그림 15. SNR에 따른 MPR 성능 비교

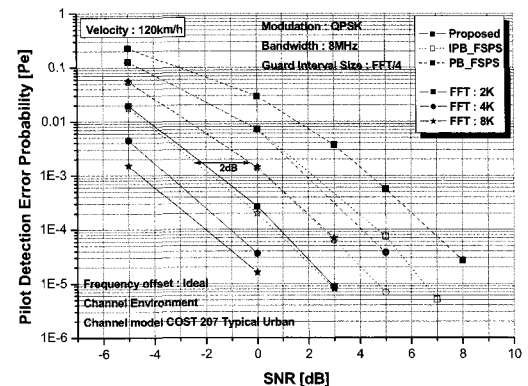


그림 16. 개선된 방식과의 성능 비교

VI. 결론

본 논문에서는 DVB-H 시스템의 전력 소모 감소를 위한 고속 동기 방식에 관한 연구를 진행 하였으며, 기존의 분산 파일럿 동기 방식에 비하여 모든 이동체 속도 및 FFT 크기에서 안정되고 우수한 성능을 보이면서 동기 수행 시간을 감소시킬 수 있는 방식을 제안하였다.

모의실험을 통하여 제안된 방식은 기존의 기존 신호와의 상관을 이용하는 방식과 달리 시간 오프셋의 영향에도 강인한 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 기존의 상관 기반 방식에 비해서는 동기 수행을 위하여 요구되는 심볼의 수를 5개의 OFDM 심볼에서 2 심볼로 줄였으며, FFT 크기가 큰 경우 이동체 속도 증가에 의해 급격한 성능 열화를 보이는 기존 상관 기반 방식과 달리 안정된 성능을 보이는 것을 확인하였다. 또한, 한 심볼로 동기를 수행하는 기존의 전력 검출 기반 방식이 MPR 성능이 대략 1의 값을 가지는 반면 제안된 방식은 고속 이동체 환경에서도 높은 MPR 성능을 보이고, 검출 성능 역시 월등히 우수하게 나타내었다. 동일한 동기 수행 시간을 고려하여 전력 기반 방식을 개선한 경우에서도 모든 이동 속도 및 FFT 크기에 대하여 제안된 방식이 우수한 성능 결과를 보였다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 분산 파일럿 동기 방식이 고속의 동기를 통하여 소모 전력 감소를 지향하는 DVB-H 시스템에 더욱 적합할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] 정보통신 단체 표준초안, “초단파 디지털라디오 방송 송수신 정합표준,” 1996.
 [2] ETSI, TR 102 377, “Digital Video Broadcasting(DVB); DVB-H Implementation Guidelines”, V.1.1.1, Feb. 2005.
 [3] ETSI, EN300 744, “Digital Video Broadcasting(DVB); Frame Structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television”, V1.5.1, Nov. 2004.
 [4] Qualcomm Incorporated, “The MediaFLO system : An Overview,” 80-T0370-1 Rev A, March 2003.
 [5] Ludwig Schwoerer, “Fast Pilot Synchronization Schemes for DVB-H,” Proc. of 4th IASTED International Multi-Conference Wireless

and Optical Communications, July 2004.

[6] 남승우, 손원, “DVB-H 수신기의 전력소모 감소를 위한 동기화 기법에 관한 연구,” 방송공학회논문지, pp. 174-181, 제 10권, 제2호, 2005.
 [7] Michael Speth, Stefan A. Fechtel, Gunnar Fock, and Hsinrich Meyr, “Optimum Receiver Design for OFDM-Based Broadband Transmission-Part II,” IEEE Transactions on communications, Vol. 49, pp. 571-578, April 2001.
 [8] Michael Speth, Stefan A. Fechtel, Gunnar Fock, Hsinrich Meyr, “Optimum Receiver Design for Wireless Broad-Band Systems Using OFDM-Part I,” IEEE Transactions on communications, Vol. 47, pp. 1668-1677, Nov. 1999.
 [9] Theodore S. Rappaport, “Wireless Communications Principles and Practice”, Prentice Hall, 1996.
 [10] Bernard Sklar, “Digital communications fundamentals and applications second edition,” PH PTR

엄 중 선 (Jung-Sun Um)

준회원



2004년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 학사
 2004년 3월~현재 성균관대학교 대학원 전자전기공학과 석사
 <관심분야> 무선통신, 이동통신, MODEM 동기화 기술

도 주 현 (Joo-Hyun Do)

정회원



2001년 2월 성균관대학교 전자공학과 학사
 2003년 2월 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학과 석사
 2003년 3월~현재 성균관대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 <관심분야> 무선통신, 이동통신, MODEM 동기화 기술

이 현 (Hyun Lee)

정회원



1993년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

2005년 9월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

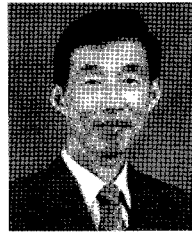
1999년 3월~현재 한국전자통신

연구원 지상파전송방식연구팀 선임연구원

<관심분야> 디지털 통신/방송 시스템, 멀티미디어 전송기술

최 형 진 (Hyung-Jin Choi)

종신회원



1974년 2월 서울대학교 전자공학과 학사

1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사

1976년 3월~1979년 7월 (주)금성사 중앙연구소 연구원

1979년 9월~1982년 12월 미국

University of Southern California 전기공학과 공학박사

1982년 10월~1989년 2월 미국 Lincom Corp. 연구원

1989년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술