

# APSK 변조 방식에 대한 연판정 출력의 스케일링을 통한 성능 개선

장 매 향\*, 김 수 영<sup>o</sup>

## Performance Enhancement by Scaling Soft Bit Information of APSK

Meixiang Zhang\*, Sooyoung Kim<sup>o</sup>

요 약

차세대 위성방송 규격으로 정의되어 있는 DVB-S2에서는 멀티레벨 위상변조 방식이라고 할 수 있는 APSK 변조 방식과 연판정 정보를 필요로 하는 LDPC 부호화 방식을 채택하고 있다. 따라서, 수신단의 APSK 복조기에서는 비트 당 연판정 값을 계산할 수 있는 기능이 있어야 한다. 본 논문에서는 DVB-S2 시스템에서 사용되는 고차원 APSK 변조 신호에 대하여 비트 당 간단한 거리 계산 수준의 복잡도로 연판정 비트를 계산할 수 있는 방법을 소개하고 이 경우 연판정 비트 값이 지나치게 낙관적으로 계산된다는 분석 결과를 보인다. 이와 같이 지나치게 낙관적으로 계산된 연판정 값은 결국 복호 성능 저하의 가장 큰 원인이 된다. 이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로 연판정 출력의 스케일링 기법을 제안하고, 이와 같은 스케일링 기법을 적용하면 선형 복잡도로 연판정 비트 값을 계산할 수 있고, 최우 검출기법에 근접하는 성능을 얻을 수 있음을 보인다.

**Key Words** : DVB-S2, satellite communications, satellite broadcasting, APSK, soft demapping.

### ABSTRACT

In the DVB-S2, which is the technical specification of the second generation digital video broadcasting via satellite, APSK modulation scheme along with LDPC coding schemes are defined. APSK is a multi-level PSK modulation scheme and decoding of LDPC coded signal requires soft decision information. Therefore, the APSK demodulator at the receiver should have capability of estimating soft information. In this paper, we introduce a method to estimate soft information by using simple distance estimation, and show that this method overestimates the soft information. Subsequently, this overestimated soft information leads to performance degradation. In order to overcome this problem, we propose a scaling method to improve the performance at the receiver. In addition, we show that the proposed scaling scheme enables us to estimate the soft information with linear order complexity and produce the performance close to the maximum likelihood detection.

### I. 서 론

차세대 위성방송 규격인 DVB-S2(Digital Video

Broadcasting via Satellite - Second Generation)는 2005년 유럽의 표준화 기구인 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)에서 표준

\* First Author : 전북대학교 전자공학부 IT융합연구센터, mei1986xiang@live.cn, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : 전북대학교 전자공학부 IT융합연구센터, sookim@jbnu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-08-342, 접수일자 : 2013년 8월 19일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 10일

화되었다<sup>11</sup>. DVB-S2에는 기존의 DVB-S에 비하여 성능향상을 위한 여러 가지 새로운 전송 기법들이 정의되었는데 M-차원 APSK(amplitude and phase shift keying) 변조 기법과 오류 정정부호화(forward error correction; FEC) 기법으로 정의된 저밀도패리티체크(Low density parity check; LDPC) 부호가 그 예제들이다. LDPC 부호는 연판정입출력(soft input soft output; SISO)을 이용한 반복 복호를 통하여 사논의 극한에 근접하는 우수한 성능을 도출할 수 있다. 이와 같은 우수한 LDPC 부호의 성능은 복호기 이전 단에서 정확한 연판정비트정보(soft decision bit information; SDBI)가 제공되어야 한다.

모든 가능한 경우에 대하여 최대의 확률을 가지는 SDBI를 찾는 최우(maximum likelihood; ML) 연판정 검출 기법은 최대 성능을 도출할 수 있다. 그러나, 모든 경우의 수에 관계된 복잡한 지수 및 로그 연산을 수행하여야 하기 때문에 고차원 변조 방식과 부호어 길이가 긴 FEC 방식이 결합되어 사용될 경우에는 복잡도가 지나치게 크다는 단점이 있다. 이러한 문제점 때문에 복잡도를 감소시키기 위한 연판정 검출 기법에 대한 여러 가지 연구들이 진행되어 온 바 있다<sup>12-81</sup>. 참고문헌 [4]에서 제안된 경판정 경계(hard decision threshold; HDT)를 이용한 연판정 검출 기법은 매우 적은 복잡도로 ML 연판정 검출 기법에 근사하는 성능을 도출할 수 있을 뿐 아니라, 단일 복조기를 이용하여 M-ary PSK 및 QAM 방법에 공통적으로 적용할 수 있는 연판정 복조기를 용이하게 구현할 수 있음이 밝혀졌다.

이와 같은 HDT 기반의 연판정 검출 기법의 장점을 활용하여, DVB-S2에 정의된 APSK 변조 기법에 대하여 HDT 기반의 연판정 검출 기법을 적용할 수 있는 방안에도 대해서도 연구된 바가 있다<sup>15,61</sup>. 특히, 이전 연구 [5][6]에서는 APSK 변조 기법의 경우 다중의 원형 성상도 특성으로 인하여 HDT 기법을 그대로 적용할 경우 여러 개의 불연속점이 존재하여 계산의 복잡도가 오히려 증가하는 단점이 있다는 점을 보완하여 APSK 방식에 대하여 복잡도를 감소시킬 수 있는 방법들이 제안되었다.

그러나, 본 연구에서는 이전연구 [5]-[8]에서의 간략화된 HDT 기반 연판정 검출 기법의 우수한 성능은 부호어 길이가 지나치게 길지 않은 FEC 방식들에 대해서만 국한되며 DVB-S2에 정의되어 있는 그 길이가 매우 긴 LDPC 부호의 경우 ML 기법에 비해 무시할 수 없는 성능 열화가 있음을 보일 것이다. 또한, 이와 같은 성능 열화의 가장 큰 원인은

HDT를 이용한 연판정 검출 기법에서 계산되는 SDBI가 지나치게 낙관적으로 계산되어 ML 기법으로 계산되는 SDBI에 비하여 분산 값이 매우 크게 분포되기 때문임을 보인다. 이와 같은 분석 결과에 따라, 매우 간단한 스케일링 기법을 이용한 HDT를 적용함으로써 연판정 검출 기법의 우수한 계산 효율성을 유지하면서도 성능 열화를 극복할 수 있는 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 본 서론에 이어 II장에서는 APSK 변조 방식에 대하여 HDT를 이용한 연판정 검출 기법의 기본 개념에 대해 소개하고, III장에서는 여러 가지 연판정 검출 기법에 의해 계산된 SDBI 분포 분석을 통하여 간략화된 HDT 기반 연판정 검출 기법의 문제점을 소개하고 그 해결 방안을 제시한다. IV장에서는 제안된 방식의 성능 검증을 위한 시뮬레이션 결과를 제시하고, V장에서 결론을 맺는다.

## II. HDT를 이용한 APSK 변조 기법에 대한 연판정 검출

### 2.1. HDT를 이용한 연판정 검출의 기본 개념

디지털통신시스템 수신단에서 복조기의 역할은 수신된 심볼을 관찰하여 각 심볼을 구성하고 있는 비트 값을 추정하는 것이다. 복조기의 후단에서 사용되는 FEC 복호기에서 연판정 값을 필요로 할 경우에는 정확한 SDBI 값을 계산해야 하며, 일반적으로 아래 식과 같은 로그 우도율로 ML 검출을 수행할 수 있다.

$$L(b_i|y) = \log \left( \frac{\sum_{s: b_i(s)=1} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \|y - hs\|^2\right)}{\sum_{s: b_i(s)=0} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \|y - hs\|^2\right)} \right), (1)$$

여기서  $s$ 는  $m$ 개의 비트  $b_i$ 로 구성된 송신 심볼,  $\sigma^2$ 은 가산성 가우시안 백색 잡음(additive white Gaussian noise ;AWGN)의 분산,  $y$ 는 수신 신호이며,  $h$ 는 채널 이득이다. 이 ML기법은 최대 우도의 성능을 거둘 수 있지만 계산 복잡도가  $m$  지수 배로 증가되는 단점을 가지고 있다. 또, 위의 식에서 지수와 로그의 성질을 이용하여 아래와 같이 근사화함으로써 지수 및 로그 연산을 생략할 수 있으며, 일반적으로 Max 방식이라고 불리운다.

$$L(b_i|y) \cong \frac{1}{2\sigma^2} \left[ \min_{s: b_i(s)=0} \|y - hs\|^2 - \min_{s: b_i(s)=1} \|y - hs\|^2 \right]. \quad (2)$$

위 Max 방식을 사용하면 지수 및 로그 연산은 생략할 수 있으나, 최소 값을 찾기 위해서는 모든 가능한 거리 연산을 모두 수행하여야 한다.

반면, HDT 기반의 연판정 검출 기법은 각 구성 비트 값이 0인지 1인지를 결정하는 HDT와의 단순한 거리 계산으로 SDBI를 계산하는 것이다. 즉, HDT 기반  $i$ 번째 비트에 대한 SDBI 계산 식은 아래와 같이 나타낼 수 있다<sup>4)</sup>.

$$L(b_i|y) = \rho \hat{b}_i(r), \quad (3)$$

여기서,  $\rho = 2 \|h\|^2 / \sigma^2$ 로 표현되는 가중치 값이고,  $\hat{b}_i(r)$ 는  $i$ 번째 비트에 대한 HDT와 추정 신호  $r$ 과의 거리이다. 여기서,  $r$ 은 수신 신호  $y$ 를 채널 이득으로 정규화한 값, 즉,  $y = rh^* / \|h\|^2$ .

2.2. APSK 기법에 대한 HDT 기반 연판정 검출

이와 같은 HDT기반 SDBI 계산 기법은 위 식 (2)와 같이 각 비트별 단 한 번의 거리 계산으로서 간단히 SDBI를 계산할 수 있다는 장점이 있지만, DVB-S2에 정의되어 있는 16-APSK와 32-APSK 변조 방식의 경우 여러 개의 원형 정상도로 인하여 HDT 선 자체에 다수개의 불연속점이 존재한다. 이로 인하여 거리 계산 자체에 여러 개의 조건문 검사가 필요하고 이는 곧 계산의 복잡도 증가를 야기시키게 된다.

이러한 단점을 극복하기 위하여 사전 연구에서는 16-APSK와 32-APSK에 대하여 근사적인 HDT를 적용하여 계산의 복잡도를 감소시키는 방법이 제안된 바 있다<sup>5,6)</sup>. 그림 1에는 16-APSK 정상도와 각  $i$ 번째 비트에 대한 간략화된 HDT인  $D_i$ 들이 나타나 있다. 그림 1에서  $L_1$ 과  $L_2$ 는 각각 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$L_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 R(s_i), \quad L_2 = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 J(s_i), \quad (4)$$

여기서  $s_i (0 \leq i \leq 3)$ 는 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 1사분면에 위치한 네 개의 심볼을 나타내며,  $R(s_i)$  및  $J(s_i)$ 는  $s_i$ 의 실수부 및 허수부를

나타낸다.

따라서, 아래 그림 1에 나타나 있는 바와 같은 간략화된 HDT를 이용하게 되면 추정 신호  $r$ 과 직선으로 표현되는 HDT  $D_i$ 과의 단순 거리 계산으로 SDBI 계산이 완료되어, 비트 당 단 한 번의 거리 계산이면 SDBI 추정이 가능하게 된다.

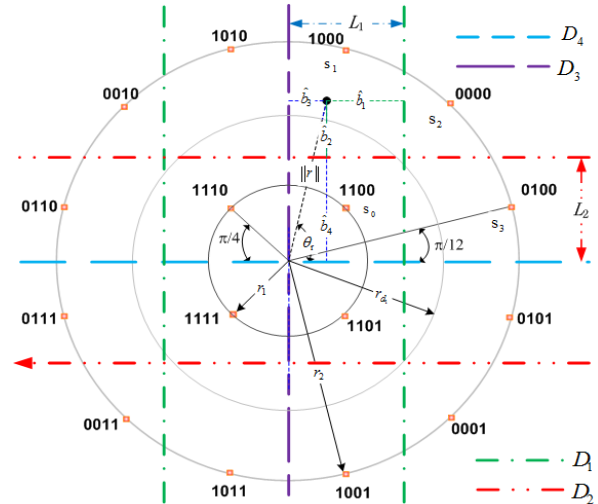


그림 1. 16-APSK에 대한 간략화된 HDT를 이용한 연판정 검출  
Fig. 1. soft demapping with simplified HDT lines for 16-APSK

또 그림 2에는 32-APSK 정상도와 각  $i$ 번째 비트에 대한 HDT인  $D_i$ 들이 나타나 있다. 아래 그림 2에 나타나 있는 32-APSK 정상도는 기존의 DVB-S2에 정의되어 있는 정상도를 변형시킨 것으로서 기존의 정상도의 최외곽 원에서 일부 심볼들의 위치를 조정해 준 것이다<sup>7)</sup>. 즉, 기존의 DVB-S2에 정의된 32-APSK 정상도를 반시계방향으로  $\pi/16$ 만큼 천이시킨 후 그림 2의 (11001, 01001), (01101, 11101), (11111, 01111), 및 (01011, 11011)의 총 4개의 심볼 쌍들의 위치를 서로 교환한 것이다. 이와 같은 심볼들은 원래의 정상도 위치에서는 인접하는 심볼들과의 해밍거리가 2로써 다른 인접 심볼들에 비해 서로 오류가 생길 경우 두 개의 비트가 동시에 오류가 생기게 되어 성능을 열화시키는 큰 원인이 될 수 있었다. 그러나, 이와 같은 위치 교환 후에는 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같은 모든 인접 심볼들의 해밍거리가 1로써 균일하게 유지되어 성능이 향상될 수 있다. 이와 같은 논리는 APSK 변조 방식에 대한 심볼 오류 및 비트 오류에 대한 성능을 이론적으로 유도한 기존의 연구 결과를 이용하여서도 확인할 수 있다<sup>9,10)</sup>.

이와 같은 심볼들의 위치를 조정함으로써, 아래 그림 2와 같은 매우 간단한 HDT를 구성하여 간단히 SDBI를 계산할 수 있을 뿐만 아니라 위에서 설명한 인접 심볼들간의 해밍거리 특성으로 인하여 그 성능도 더 우수하게 된다. 아래 그림 2에서  $T_1$  과  $T_5$ 는 각각 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$T_1 = \frac{1}{6} \sum_{i=0}^5 \mathcal{J}(s_i), \quad T_5 = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 R(s_i), \quad (5)$$

여기서  $s_i (0 \leq i \leq 5)$ 는 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 1사분면에 위치한 여섯 개의 심볼을 나타낸다.

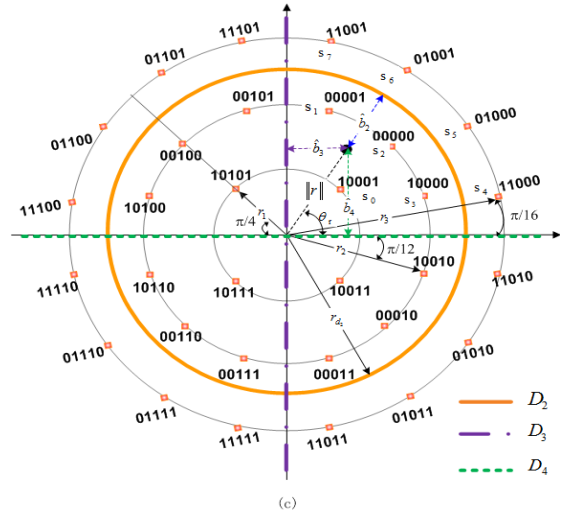
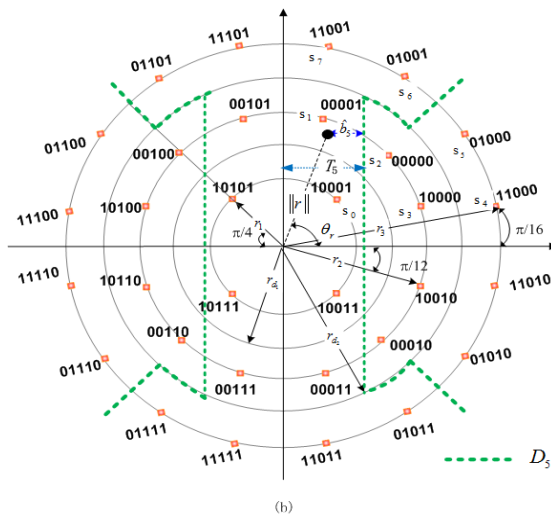
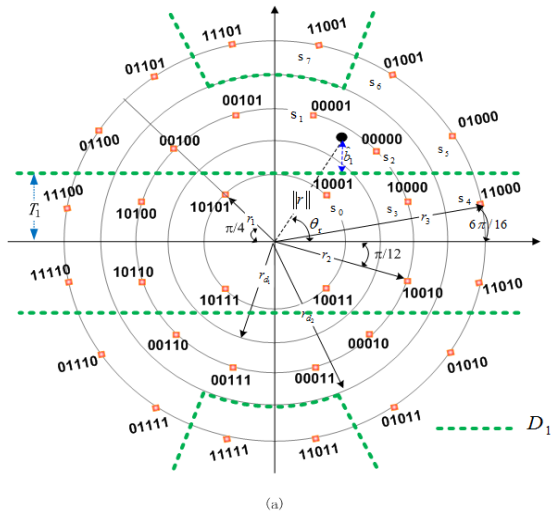


그림 2. 32-APSK에 대하여 간략화된 HDT를 이용한 연판정 검출  
Fig. 2. Soft demapping with the simple HDT lines for the modified 32-APSK



### III. 연판정 출력에 대한 스케일링을 통한 성능 개선

#### 3.1. SDBI의 통계적 특성 분석

위 II장에서 기술된 APSK 변조 방식에 대한 간략화된 HDT 기반 SDBI 계산 기법에 대한 사전 연구에서는 제안된 기법의 비트오류율(bit error rate; BER) 성능 시뮬레이션 결과가 ML 기법과 거의 유사함을 보인 바 있다. 여기서 사용된 시뮬레이션에서는 약 1152비트의 길이를 가지는 터보부호를 이용한 결과였다<sup>4,6</sup>. 그러나, 이와 같은 간략화된 HDT 기반 SDBI 계산 방법들을 부호어의 길이가 DVB-S2에 정의되어 있는 LDPC 부호의 길이, 즉 16,200 및 64,800 비트로 늘이게 되면 ML 기법에 비하여 무시할 수 없는 성능 열화가 나타남을 확인하였다. 또 이와 같은 성능 열화의 가장 큰 원인은 간략화된 HDT 기반 기법에서 계산되는 SDBI가 지나치게 낙관적으로 계산되기 때문이라는 것을 확인하였다.

아래 그림 3과 그림 4는 16-APSK와 32-APSK에 대하여 여러 가지 방법으로 계산된 SDBI의 확률분포함수(probability density function; PDF)를 각각 비트별로 나타낸 것이다. 각 그림에서 확연히 볼 수 있는 바와 같이 간략화된 HDT기반 기법인 수식 (3)으로 계산된 SDBI 값들이 ML 기반의 기법인 수식 (1) 및 Max 기법인 수식 (2)를 이용하여 계산된 값들에 비하여 지나치게 큰 값으로 계산되어 더

큰 분산값을 보이고 있다.

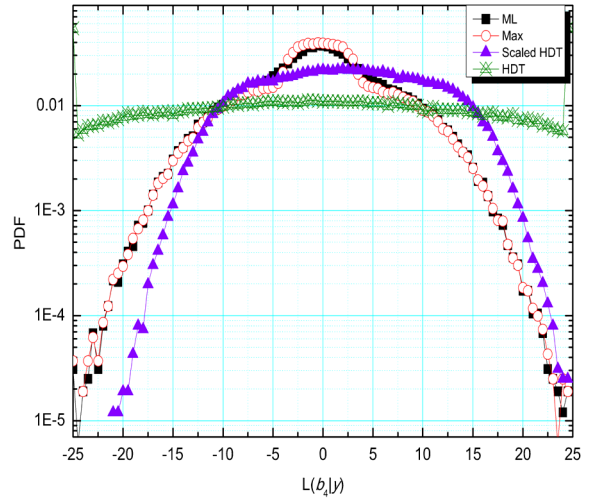
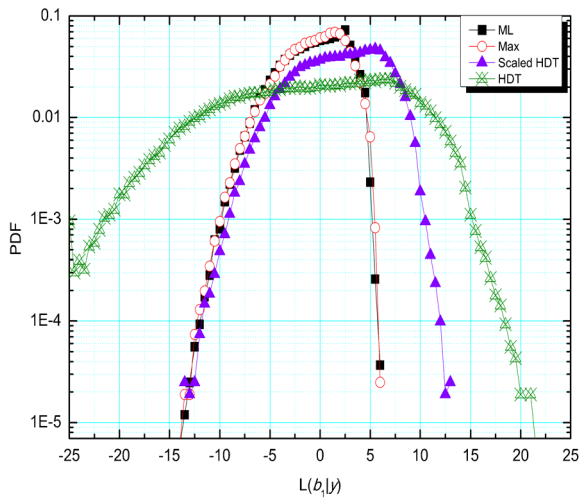
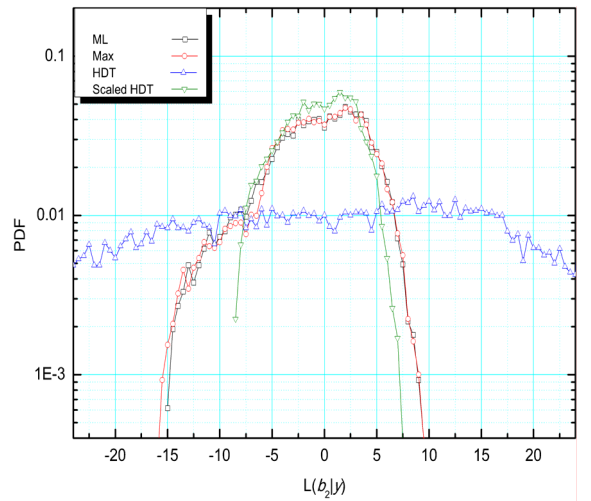
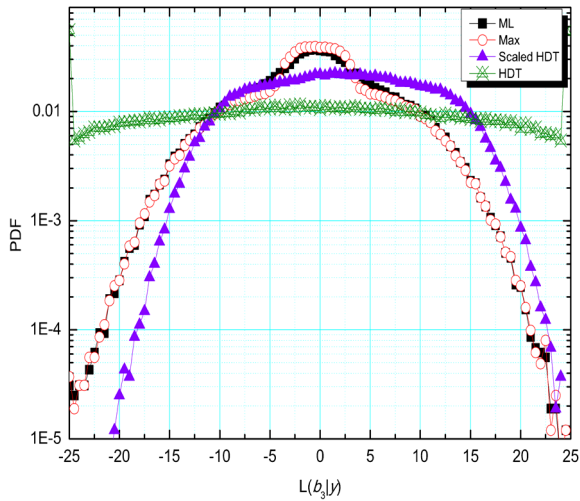
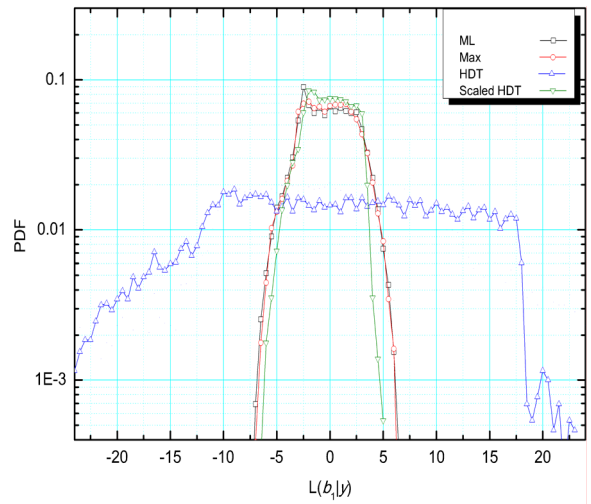
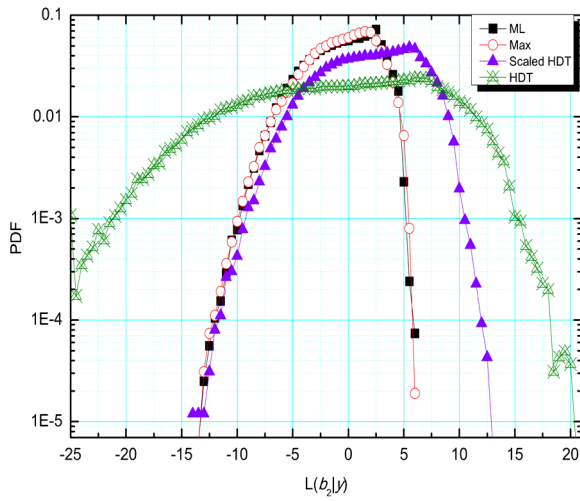


그림 3. 16-APSK에 대하여 여러 가지 연관정 검출 기법에 의해 계산된 SDBI의 PDF

Fig. 3. PDF of SDBI for 16-APSK with various soft demapping methods





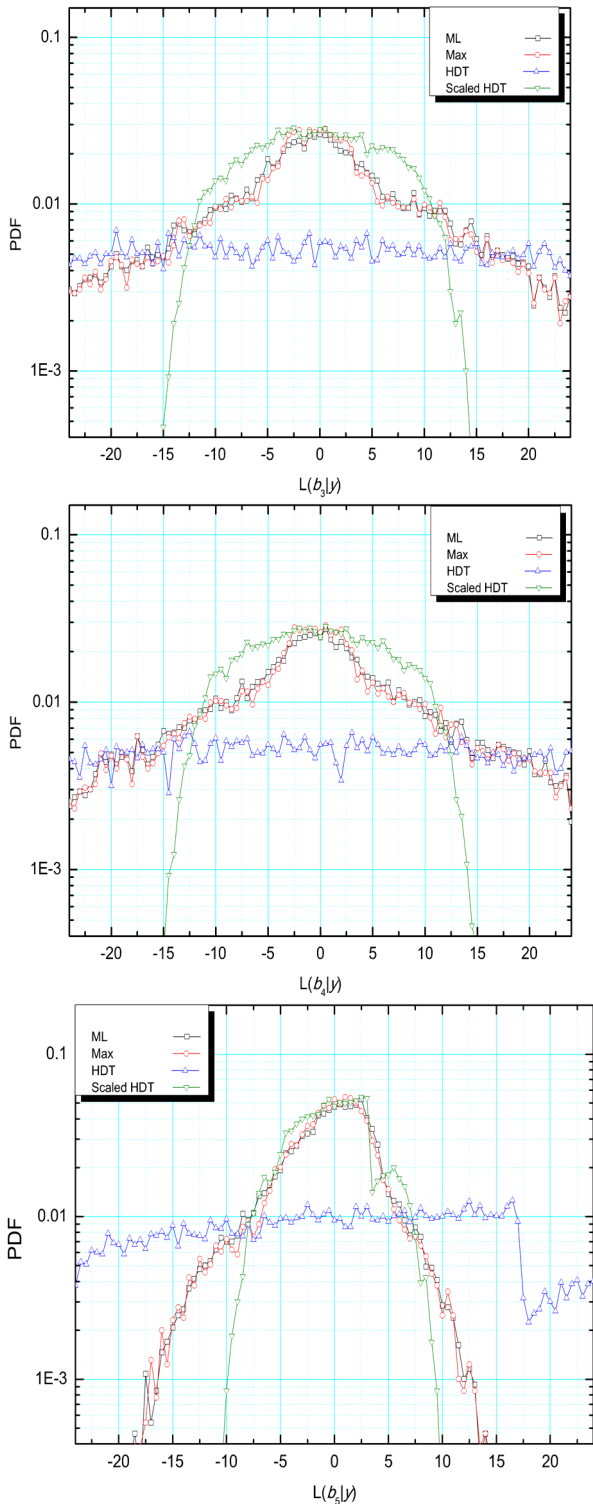


그림 4. 32-APSK에 대하여 여러 가지 연관성 검출 기법에 의해 계산된 SDBI의 PDF  
 Fig. 4. PDF of SDBI for 32-APSK with various soft demapping methods

### 3.2. 최적 스케일링 인자

그림 3과 그림 4의 SDBI에 대한 PDF 분석 결과에 따르면 HDT 기반으로 계산된 SDBI에 적절한

스케일링 인자를 곱하여 좁으므로 ML 기법에 근사하는 SDBI 값 계산이 가능할 수 있을 것이다. 이와 같은 근거를 이용하여 본 논문에서는 아래와 같은 스케일링 기법을 이용하여 SDBI 값을 보완하는 방법을 제안한다.

$$L(b_i|y) = \rho' \hat{b}_i(r), \quad (6)$$

여기서  $\rho'$ 은 최적의 SDBI를 도출하기 위한 무게 값이다. 본 연구에서는 최적의 값을 구하기 위하여  $\rho'/\rho$ 에 따른 여러 가지 BER 성능 시뮬레이션을 광범위하게 실시하였으며, 그림 5는 이러한 BER 시뮬레이션 결과 중 일부를 표기한 것이다. 그림 5에 나타나 있는 일부 결과에서는 32-APSK 방식의 경우  $\rho'/\rho$  값이 0.2일 경우 최적의 BER 성능이, 16-APSK에서는 0.3 근처에서 최적의 BER 성능이 도출됨을 알 수 있다. 이와 같은 성능 결과를 종합하여 모든 방식에 공통적으로 적용이 가능한 스케일링 인자 값으로써,  $\rho' = \rho/m$ 일 때 최적의 성능에 근사하는 성능이 도출될 수 있음을 알 수 있다. 즉, 32-APSK일 경우  $1/m = 1/5 = 0.2$ , 16-APSK일 경우  $1/m = 1/4 = 0.25$ 이다.

이와 같은 스케일링으로 인한 효과는 위 그림 3과 4의 각 연관성 검출 기법별 SDBI에 대한 PDF 분포에서도 확인이 가능하다. 그림 3과 4에서 HDT 기반 연관성 검출 기법의 경우  $\rho' = \rho/m$  값을 적용하여 수식 (6)를 적용하게 되면 “Scaled HDT”로 표기되어 있는 제안된 스케일링을 적용한 방식 모두 ML 방식으로부터 도출된 SDBI와 그 분포가 매우 유사하게 됨을 확인할 수 있다. 또, 스케일링 기법을 이용한 간략화된 HDT 기반 연관성 검출 기법에 대한 BER 성능 결과는 다음 장의 시뮬레이션 결과에서 여러 가지 경우에 대하여 확인할 수 있다.

## IV. 모의실험 결과

본 논문에서 제안된 스케일링을 적용한 HDT 기반 연관성 검출 방식의 성능을 알아보기 위하여 DVB-S2에 정의된 LDPC 부호를 이용하여 여러 가지 다른 연관성 검출 기법을 적용한 것들과의 BER 성능을 비교하였다. 본 시뮬레이션에서 사용된 LDPC 부호의 프레임 길이  $N$ 은 16200 비트였고, 여러 가지 부호화율  $R_c$ 를 적용하였다. LDPC 부호에 대한 반복 복호 알고리즘으로는 sum-product 알고리즘을

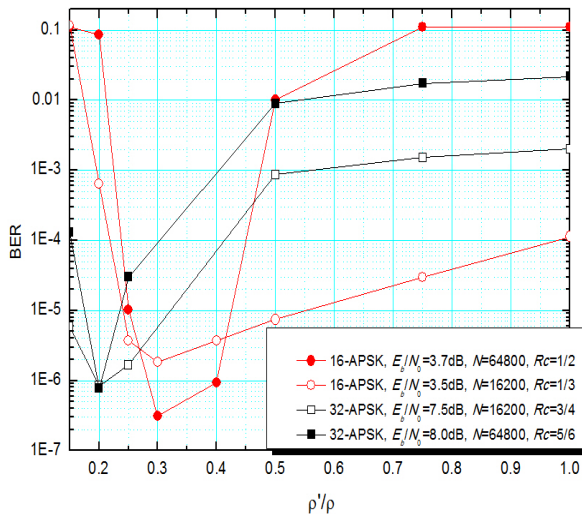


그림 5.  $\rho'/\rho$ 에 따른 BER 성능 시뮬레이션 결과  
Fig. 5. BER Performance simulation according to  $\rho'/\rho$

사용하였으며<sup>[11]</sup>, 최대 반복 횟수는 40으로 고정하였다.

그림 6은  $R_c$ 가 1/2인 LDPC 부호를 16-APSK 방식과 결합하여 사용하였을 경우 BER 성능을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 단순한 HDT 기반의 연판정 검출 기법을 사용할 경우 약 0.8 dB 정도의 성능 열화가 있을 수 있지만, 제안된 스케일링 기법을 통하여 그 성능열화 정도를 0.5 dB 이상 줄임으로써 ML 기법과의 성능 차이가 약 0.3 dB 정도밖에 차이 나지 않게 할 수 있음을 알 수 있다.

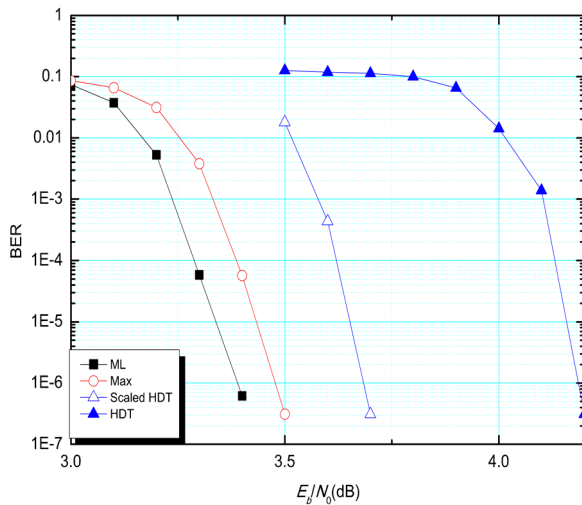


그림 6. 16-APSK에 대한 여러 가지 연판정 검출 기법에 따른 BER 성능  
Fig. 6. BER performance comparison of various soft demapping schemes for 16-APSK

그림 7은 여러 가지 부호화율을 가지는 LDPC

부호를 32-APSK 방식과 결합하였을 경우 ML 기법과 HDT 기반 연판정 검출 기법에 따른 BER 성능을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 제안된 스케일링 기법을 통하여 ML 기법과의 성능차이가 약 0.8 dB인 HDT 기반 연판정 검출 기법의 성능을 부호화율에 따라 약 0.2-0.5 dB 내로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

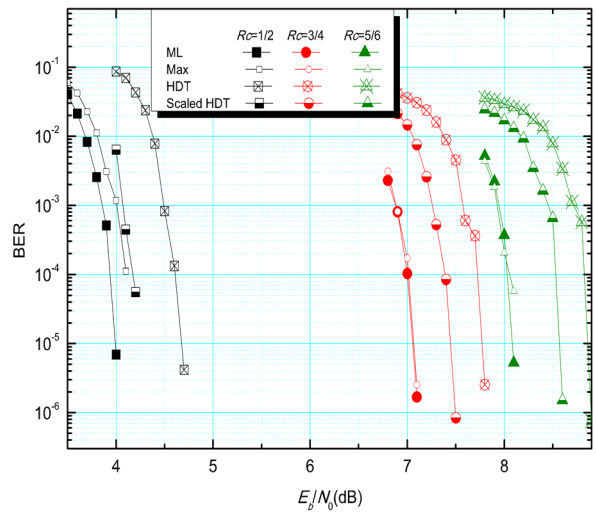


그림 7. 32-APSK에 대한 여러 가지 연판정 검출 기법에 따른 BER 성능  
Fig. 7. BER performance for 32-APSK modulation schemes with various demodulation schemes

위에서 소개된 여러 가지 방법들에 대한 복잡도 비교를 위하여 표 1에 32-APSK에 대한 SDBI 계산 횟수를 나타내었다. 표 1에는 하나의 32-APSK 변조 심볼 내의 SDBI 계산을 위하여 요구되는 연산 횟수가 여러 가지 방법에 대하여 비교하여 나타나 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 제안된 방식은 일반 HDT 방식과 마찬가지로 기존의 MLD 방식이나 Max 방식에 비하여 약 1/5 수준의 복잡도를 가진다는 것을 알 수 있다.

표 1. 한 개의 32-APSK 심볼에 대한 SDBI 계산에 요구되는 연산 횟수

Table 1. Number of the required operations to estimate SDBI for a single 32-APSK symbol

operation \ scheme	ML	Max	HDT / Scaled HDT
$\  \cdot \ $	32	32	$\leq 7$
$\exp(\cdot)$	32	0	0
$\log(\cdot)$	5	0	0
$\  r \  \sin(\cdot)$	0	0	$\leq 2$
비교연산	0	$5 \times 32$	$\leq 5$

## V. 결 론

본 논문에서는 DVB-S2에 정의되어 있는 APSK 변조 방식에 대하여 비트당 한번의 간단한 거리 계산으로 연판정 비트 정보를 계산할 수 있는 HDT 기반 연판정 검출 기법을 소개하고, 이 기법을 부호어 길이가 매우 긴 LDPC 부호화 방식에 적용하였을 경우 나타나는 문제점을 분석하였다. HDT 방식은 매우 간단한 방식으로 연판정 정보를 계산할 수 있으나, 연판정 정보가 지나치게 낙관적으로 계산된다는 단점이 존재하였다. 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 간단한 스케일링 기법을 제안하였으며, 이와 같은 방법으로 ML 기법에 근접하는 성능을 얻을 수 있음을 보였다. 본논문에서 제안된 스케일링 기법의 경우 성능향상뿐만 아니라 연판정 값이 지나치게 커지는 것을 방지할 수 있으므로, 디지털 메모리 오버플로우 방지 및 요구 메모리 용량 절약 등 하드웨어 구현측면에서도 이득이 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] ETSI, *Seconde Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Iterative Service, News, Gathering the other Broadband Satellite Applications (DVB-S2)*, EN 302 307 v1.2.1, 2009.
- [2] K. Cho, K. Hyun, S. Park, and S. Cho, "An approximated soft decoding algorithm of 16-APSK signal for DVB-S2," in *Proc. IEEE Int. Conf. Consumer Electron. 2007 (IEEE ICCE 2007)*, pp. 1-2, Las Vegas, U.S.A., Jan. 2007.
- [3] J. Lee, Y. Jang, and D. Yoon, "Approximated soft-decision demapping algorithm for coded 4+12+16 APSK," *J. Korean Inst. Commun. Inform. Sci. (KICS)*, vol. 37, no. 9, pp. 738-745, Sep. 2012.
- [4] M. Zhang, S. Kim, and Y. Kim, "Universal soft decision demodulator for M-ary adaptive modulation systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Asia-Pacific Conf. Commun. 2012 (IEEE APCC 2012)*, pp. 574-578, Jeju, Korea, Oct. 2012.
- [5] M. Zhang and S. Kim, "Efficient soft demapping for M-ary APSK," in *Proc. Int. Conf. ICT Conv. 2011 (ICTC 2011)*, pp. 641-644, Seoul, Korea, Sep. 2011.
- [6] M. Zhang and S. Kim, "A simple soft decision detection for APSK schemes for satellite systems," in *Proc. Korean Inst. Commun. Inform. Sci. (KICS) Summer Conf. 2011*, pp. 249-250, Jeju, Korea, June 2011.
- [7] M. Zhang and S. Kim, "Efficient bit-interleaved APSK scheme for LDPC codes," in *Proc. 6th ASMS and 12th SPSC Workshop 2012*, pp. 49-53, Baiona, Spain, Sep. 2012.
- [8] J. Lee and D. Yoon, "Soft-decision demapping algorithm with low computational complexity for coded 4 + 12 APSK," *Int. J. Satellite Commun. Networking*, vol. 31, no. 3, pp. 103-109, May/June 2013.
- [9] O. Afelumo, A. Awoseyila, and B. Evans, "Simplified evaluation of APSK error performance," *Electron. Lett.*, vol. 48, no. 14, pp. 886-888, July 2012.
- [10] O. Afelumo, A. Awoseyila, and B. Evans, "Simplified expressions for APSK error performance," in *Proc. AIAA Int. Commun. Satellite Sys. Conf. 2012 (ICSSC 2012)*, pp. 1-11, Ottawa, Canada, Sep. 2012.
- [11] M. Eroz, F. Sun, and L. Lee, "DVB-S2 Low Density Parity Check codes with near Shannon limit performance," *Int. J. Satellite Commun. Networking*, vol. 22, no. 3, pp. 269-279, May/June 2004.

### 장 매 향 (Meixiang Zhang)



2009년 7월 중남민족대학교  
컴퓨터공학 학사졸업  
2012년 8월 전북대학교 전자  
정보공학부 석사졸업  
2012년 9월~현재 전북대학전  
자정보공학부 박사과정  
<관심분야> 위성통신, 디지털  
통신, 오류정정부호방식



김 수 영 (Sooyoung Kim)



1990년 2월 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 학사졸업

1990년~1991년 ETRI 연구원

1992년 Univ. of Surrey, U.K  
공학석사

1995년 Univ. of Surrey, U.K  
공학박사

1994년~1996년 Research Fellow, Univ. of Surrey,  
U.K

1996년~2004년 ETRI 광대역무선전송연구팀장

2004년~현재 전북대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 오류정정부호화방식, 이동/위성통신 전  
송방식