

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.3.63>

IIBC 2017-3-7

위성 방송 시스템에서 최적의 고전송 효율 기법 연구

A Study on Optical High-Throughput Efficiency Methods for Digital Satellite Broadcasting System

백창욱*, 정지원**

Chang-Uk Baek*, Ji-Won Jung**

요약 차세대 위성 방송 시스템에서는 빠른 전송 효율과 신뢰도 있는 통신에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다. 전송 효율을 높이고 성능을 향상시키기 위해 새로운 위성 표준인 DVB-S3 (Digital Video Broadcasting - Satellite - Third Generation) 시스템에서는 Nyquist 전송률 보다 빠르게 전송하는 FTN (Faster Than Nyquist) 방식이 대두되고 있다. 이러한 요구에 맞춰 본 논문에서는 전송 효율 향상을 위한 세 가지 방식에 대한 성능을 비교 분석하였다. 기존의 LDPC 부호기에서 고 부호화율 방식과 LDPC 복호화 과정에서 생성된 check node를 이용하여 bit node를 puncturing시켜 부호화율 증가시키는 punctured LDPC 방식, 그리고 Nyquist 속도보다 빠르게 전송하는 FTN 방식이 고려된다. 시뮬레이션을 통해, 세 가지 방식을 동일 전송률 관점에서 성능을 비교한 결과 FTN 방식은 동일한 전송 효율을 유지하면서 성능 면에서 가장 효율적임을 확인하였다.

Abstract In next generation satellite broadcasting system, requirement of high throughput efficiency has been increasing continuously. To increase throughput efficiency and improve bit error performance simultaneously, FTN method and LDPC codes are employed in new satellite standard, DVB-S3 system. This paper considered three kinds of methods for increase throughput efficiency. Firstly, as conventional one, high coding rate parity matrix in LDPC encoder is considered. Secondly, punctured coding scheme which delete the coded symbols according to appropriate rules is considered. Lastly, FTN method which transmit faster than Nyquist rate is considered. Among of three kinds of methods, FTN method is most efficient in aspect to performance while maintain same throughput efficiency.

Key Words : LDPC code, FTN, Puncturing, DVB-S3, ISI

1. 서론

차세대 위성 방송/통신 및 5G 기반의 이동통신은 한정된 대역폭에서 전송률에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다^[1]. 이에 전송률을 높이기 위한 여러 방안들이 연구되어지고 있다. 위성 방송의 경우 서비스의 연속성

이 보장되고 효율적으로 채널을 사용할 수 있는 초고화질 방송 서비스를 전국 단위로 제공하기 위한 1 Gbps 이상의 차세대 위성 방송 및 초고속 위성 방송 전송 기술 확보를 위한 기반 기술 개발이 시급한 실정이다. 따라서 고 전송효율을 갖는 초고속 위성 방송 전송을 위해 고차원 변·복조 및 채널 부·복호화의 고속화 등 전송기술 고

*준회원, 한국해양대학교 전파공학과

**정회원, 한국해양대학교 전파공학과(교신저자)

접수일자: 2017년 3월 3일, 수정완료: 2017년 5월 5일

게재확정일자: 2017년 6월 9일

Received: 3 March, 2017 / Revised: 5 May, 2017 /

Accepted: 9 June, 2017

*Corresponding Author: jwjung@kmou.ac.kr

Dept. of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Korea

도화를 위한 연구를 유럽에서 수행 중에 있으며, 국내에서도 고 전송률을 위한 각 모듈의 고속화에 대한 관심이 집중되고 있다. 고전송률을 만족시키기 위해서 변·복조기에서의 다차 변조 방식을 적용시키지만 이는 무선 통신 소자의 비선형성으로 인하여 성능이 열화되며, 채널 부·복호기의 핵심 알고리즘인 LDPC(Low Density Parity Check) 부호의 고속화에 연구에 초점이 맞추어져 있으나 이는 목표로 하는 고전송률에 한계를 갖고 있다^[2].

또한, 전송률과 성능의 향상은 서로 trade-off 관계이므로 두 가지를 모두 충족시키는 것은 많은 어려움이 있다. 그러므로 성능을 최대한 유지하며 전송률을 증가시킬 수 있는 방식들을 연구하는 것이 가장 중요하다.

이에 현 시점에서 새로운 위성 방송 표준안의 필요성이 대두되고 있으며, 이는 DVB-S3라는 표준안의 활발한 개발을 요구하고 있다. 이러한 가운데 고전송률을 위한 방법으로 LDPC 부호기에서 고부호화율의 패리티 행렬을 이용하는 방법, LDPC 복호기를 이용한 punctured LDPC 기법으로 고부호화율을 적용시키는 방법^[3]과 주파수 대역에서 주어지는 Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하여 전송률을 향상시키는 FTN (Faster Than Nyquist) 방식을 이용한 방안들이 대두되고 있다^[4-6]. 이에 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 위 세 가지 방식을 비교하여 전송률과 성능을 동시에 향상시키는 최적의 방식이 FTN 기법임을 보였다.

II. 고전송 전송 기법

초고속 정보통신망에서 위성통신의 역할은 중요하다. 그리고 Ka 대역 위성통신에서 강우감쇠에 의한 서비스 품질 열화, 신뢰도 약화에 대처하기 위한 기술적 방안이 요구되어 졌다. 이에 강력한 오류 정정 능력을 지닌 부호화 방식이 논의되어졌고 유럽식 위성 방송 표준안인 DVB-S2에서 샤는 채널 용량 한계에 근접한 LDPC 부호 방식이 표준안 방식으로 채택되었다^[7]. LDPC 부호는 터보 부호에 비해 복호화의 복잡도가 낮을 뿐 아니라 좋은 거리 특성으로 오류 마무 현상이 나타나지 않고, 병렬 처리로 고속 처리가 가능한 장점이 있다. 차세대 위성 통신에서 고전송률의 통신 기법이 요구되고 있고, 이에 LDPC 기법에서 고부호화율을 생성하여 전송하는 기법

이 있다.

LDPC 기법에서 다양한 부호화율을 생성할 수 있는 방법은 크게 3가지로 나누어진다. 첫 번째 방법은 부호화 과정에서 쓰이는 패리티 검사 행렬(H-matrix)을 원하는 부호화율에 맞추어 제약 조건에 맞게 생성하는 방식이다. 두 번째 방법은 복호화 과정에서 생성된 check node를 이용하여 적절한 순위의 bit node를 puncturing시켜 부호화율을 조정할 수 있는 punctured LDPC 방식이다. 세 번째 방안으로 기존의 LDPC 부호에 FTN 전송 기법을 적용하는 방법이 있다. 이에 본 장에서는 세 가지 방식에 대해 분석한다.

1. 고부호화율 LDPC 기법

고부호화율 생성을 위해 우선 부호화 과정에서 접근하는 방식이 있다. LDPC 부호화 과정에서 쓰이는 패리티 검사 행렬 내부에 다양한 부호화율을 가지는 행렬을 포함할 수 있게 설계한다. 패리티 검사 행렬(H-Matrix)를 이용한 방법은 부호화율을 증가시킬 때마다 다음 그림 1과 같이 행렬의 column 과 row 길이를 늘려 조건에 맞춰주어 비트를 부호화를 하게 된다.

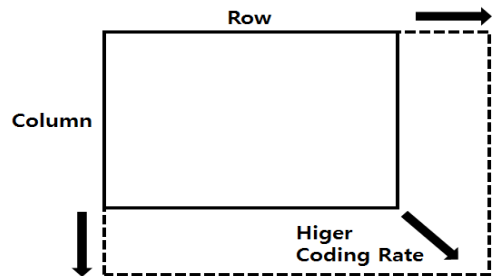


그림 1. 고부호화율을 위한 H-matrix 확장
Fig. 1. H-matrix expansion for high coding rate

부호화 하고자 하는 비트의 길이를 K 라고 한다면, column과 row의 길이는 각각 부호화 되어진 비트의 수 N 과 패리티 비트의 수 M 을 의미한다. 이 때, H-matrix의 row weight는 bit node에서 check node를 연결하는 edge 수를 의미하고 column weight는 check node에서 bit node를 연결하는 edge 수를 의미한다. 이 값들은 부호화율 1/2, 2/3, 3/4에 따라서 서로 다른 길이를 갖게 되고 표 1과 같이 나타나어진다.

표 1. 부호화 율에 따른 열과 행의 가중치의 길이
 Table 1. The length of column and row weight according to coding rate

부호화율	N	K	Maximum Column Weight	Maximum Row Weight
1/2	64800	32400	8	7
2/3	64800	43200	13	10
3/4	64800	48600	12	14

각 부호화율에 따른 오류율(bit error rate, BER) 성능은 부호화율이 증가할수록 더 열화하며, 이 성능은 다음 그림 2와 같이 나타난다. 부호화율이 1/2인 일반적인 LDPC 부호에서는 약 0.8 dB의 성능을 보이고, 부호화율이 2/3, 3/4일 때에는 각각 3 dB, 4 dB의 성능을 보이고 있다.

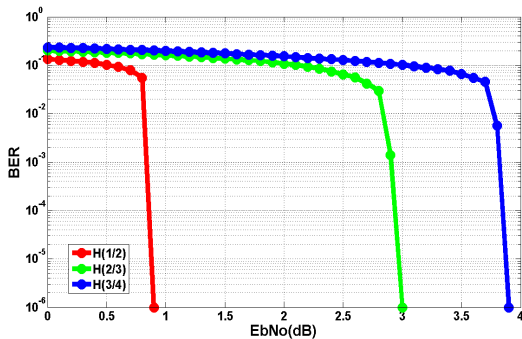


그림 2. H- matrix에 따른 고부호화율 성능
 Fig. 2 The performance of high coding rate according to H-matrix

BER 성능 측면에서 이 방식은 각 부호화율에 따라 큰 성능 열화를 갖지 않기 때문에 기존 방식에서 많이 쓰였다. 그러나 서로 다른 부호화율을 적용할 때 이에 적당한 H-matrix를 적용해야 한다는 단점이 있어, 부호화율에 따른 메모리 구성이 복잡할 수 있다.

2. Punctured LDPC 기법

고부호화율을 사용함에 있어 추가적인 복잡도를 늘리지 않는 방법으로 bit node를 우선순위에 따라 puncturing시키는 방법이 있다. 이 방법은 2.1장에서 H-matrix를 이용한 방법과는 달리 원하는 비트열 만큼 puncturing함으로써 부호화율을 조정함에 있어 제한적이

지 않다는 장점이 있다. 그러나 puncturing할 비트열을 선정함에 따라 BER 성능이 크게 달라지므로 puncturing 위치를 찾기 위한 우선 순위 선정이 중요하다. 이 우선 순위는 LDPC 복호기를 이용하여 BNU(Bit Node Update), CNU(Check Node Update) 과정에서 정해지게 되며, 이를 위해 그림 3과 같이 비트열을 송신하기 전에 미리 복호기를 사용한다.

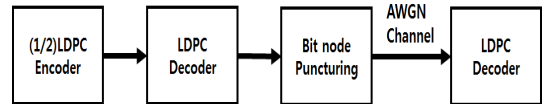


그림 3. punctured LDPC시스템의 블록도
 Fig. 3. The block diagram of punctured LDPC system

LDPC 복호기에서 체크 노드 확률 값을 구하는 CNU와 비트 노드 확률 값을 구하는 BNU의 과정을 tanner graph로 나타내면 그림 4와 같다.

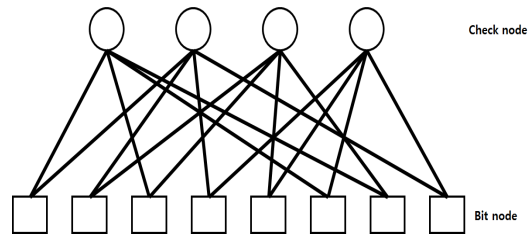


그림 4. LDPC복호 tanner graph
 Fig. 4. The tanner graph of LDPC decoder

Bit node 중에서 puncturing할 위치를 선정하게 되는데, 이 때 check node에 따라 기준이 정해지게 된다. Puncturing 위치 기준을 정하는 단계는 다음과 같다.

단계 1. puncturing할 비트 수 결정

- 원하는 부호화율에 따라 puncturing할 비트 수를 결정한다. 이때 결정되는 비트 수는 1/2로 부호화 되어진 비트의 수를 넘지 않는다.

단계 2. 각 check node에 카운트 설정

- 각 check node에 일정한 숫자의 카운트를 설정한다. 이때 카운트의 수는 패리티 비트의 수로 초기화한다.

- 단계 3. 가장 큰 카운트를 가진 check node 선택
- 앞부분에 있는 check node를 우선순위로 하여 단계 1~6을 카운트가 0이 될 때까지 반복하며 가장 큰 카운트를 가진 check node부터 선택한다. 선택된 check node의 카운트에 -1을 더한다.
- 단계 4. 선택된 check node에 연결되어있는 bit node 중 가장 작은 node degree를 가진 bit node 선택
- 단계 5. 선택된 bit node에 연결된 check node 중 작은 node degree를 가지는 check node 선택
- 단계 6. 그 check node에 연결된 node degree가 최소가 되는 bit node를 puncturing 위치로 결정한다.
- puncturing 위치로 결정되어진 비트를 0으로 puncturing한다. 그리고 단계 1에서 결정한 puncturing 비트수가 될 때까지 단계 1~6을 반복한다.

위와 같은 과정으로 결정된 puncturing 위치에 따라 전송 비트열을 puncturing하여 전송한다. 채널 통과 후, 수신 데이터는 LDPC 복호기에서 bit node의 초기값을 0으로 두고 BNU, CNU 과정을 반복하여 복호한다^[8].

3. FTN 기법

FTN 전송 방법은 주파수 대역에 의해 주어지는 Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하는 방법이다. 예를 들어 어느 정해진 시간동안 Nyquist 속도에 따라 전송하면 10,000개의 데이터를 전송한다고 했을 때, FTN 방식을 사용하여 50%로 축소하면 동일한 시간동안 20,000개의 데이터를 전송할 수 있어 전송률이 2배로 증가할 수 있다. 그로 인해 필연적으로 ISI가 발생하게 된다.

$$s(t) = \sqrt{E_s} \sum_n a_n h(t - n\tau T), \tau < 1 \quad (1)$$

여기서 a_n 은 n 시점에서 부호화된 비트열을 나타내며, E_s 는 심볼 에너지, $h(t - n\tau T)$ 는 저대역 필터 응답을 나타낸다. τ 는 FTN 적용으로 인한 Nyquist 속도보다 얼마나 빠르게 보내는 지에 대한 간섭 시점을 나타낸다. 예를 들어 τ 가 1일 때는 기존의 Nyquist 속도와 동일하게 전송하는 것을 의미하며, 이의 간섭비율은 0%이다. 간섭비

율 τ' 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau' (\%) = 100 \times (1 - \tau) \quad (2)$$

간섭비율은 다르게 정의하면 τ' 만큼 전송률이 향상되었음을 의미한다. 주기 T 에 할당된 샘플수 N_s 에서 간섭되는 샘플수 τ_{N_s} 와 간섭비율 τ' 의 관계는 식 (3)과 같다.

$$\tau_{N_s} = (N_s - N_s \times \tau') \quad (3)$$

FTN 전송 신호에 대한 수신신호는 아래 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y(n\tau T) = \sum_k a_k p((n-k)\tau T) + n'(n\tau T) \quad (4)$$

$p((n-k)\tau T)$ 는 수신신호 $n\tau$ 시점에서의 정합필터 값을 나타내며, $n'(n\tau T)$ 는 $n\tau$ 시점에서의 잡음을 나타낸다. 이의 간섭 및 잡음으로 왜곡된 신호는 오류 정정 부호화 방식을 적용하여 보상할 수 있으나 한계가 있다.

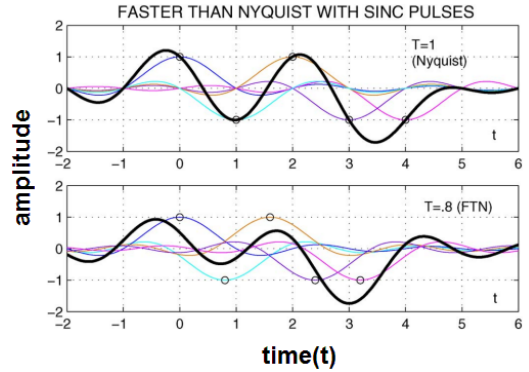


그림 5. FTN 신호
Fig. 5. FTN signal

그림 5는 SRRC 필터에 송신 데이터를 통과한 후의 텀수에 따라 발생하는 파형을 나타낸 것이다. $\tau=1$ 인 경우에는 Nyquist 속도에 따라 전송되므로 각 데이터 결정 시점에서 파형 간 직교성을 가지고 있으므로 ISI가 생기지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 $\tau=0.8$ 인 경우에는 FTN으로 인해 인접 심볼들이 서로 영향을 주어 데이터의 결정 시점마다 원으로 표시된 부분이 원 데이터에 첨가 되게 되어 데이터에 영향을 주므로 간섭으로 인한 파형의 변화를 있음을 알 수 있다. ISI로 인해 신호의 파형이 왜곡되지만 이를 해결할 수 있다면 동일한 시간에

20%의 전송률을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 전송률 향상을 위한 최적의 기법을 찾기 위해 LDPC 부호 방식에서 앞서 방식들을 시뮬레이션을 통해 비교, 분석하였다.

교부화율을 위하여 패리티 검사 행렬을 이용한 방법과 puncturing 기법을 이용한 방법, FTN 기법을 이용하여 전송률을 높이는 방법을 동일한 전송률 상에서 비교하였다. FTN 방식 적용시 동일한 전송률을 적용하기 위해 FTN의 간섭량 τ' 과 부호화율의 관계는 다음과 같은 과정으로 알 수 있다.

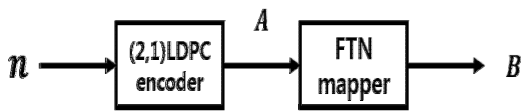


그림 6. FTN 신호 처리
 Fig. 6. Processing for FTN signalling

송신단에서 n 개의 비트가 입력될 때, 부호화율 1/2인 LDPC 부호기를 통과한 비트열의 개수는 다음과 같다.

$$A = 2n \quad (5)$$

$2n$ 개의 비트열 A 가 FTN mapper에서 τ' 만큼의 전송률이 향상되었다면 이 향상된 만큼의 비트열 개수는 식 (6)과 같이 나타내어진다.

$$B = 2n - 2n \frac{\tau'}{100} \quad (6)$$

$$= 2n \left(1 - \frac{\tau'}{100} \right)$$

이와 같이 FTN 기법을 통해 전송률이 향상되었을 때, 부호화율 R 과 간섭 비율 τ' 의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = n/B = \frac{n}{2n \left(1 - \frac{\tau'}{100} \right)} = \frac{50}{100 - \tau'} \quad (7)$$

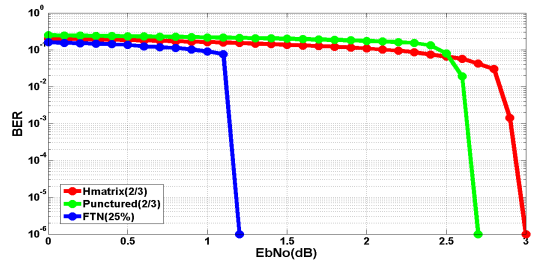
puncturing 기법에서는 부호화율에 따라 puncturing

비트수를 조정하여 부호화율을 맞추었으며, puncturing 비트수는 부호화율에 따라 표2와 같이 하였다.

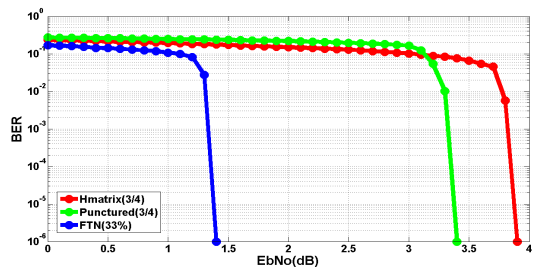
시뮬레이션은 전송률이 25%, 33%일 때 세 가지 방법을 시행하여 비교하였으며, 각 전송률에 따른 부호화율은 다음과 같다.

표 2. 부호화율에 따른 FTN 간섭비율 및 천공비트수
 Table 2. The coding rates according to throughput

LDPC의 H 매트릭 부호화율	FTN기법에서의 간섭 비율	puncturing 비트수
1/2	0%	0
2/3	25%	16200
3/4	33.33%	21600



(a) $\tau' = 25\%$



(b) $\tau' = 33\%$

그림 7. τ' 와 부호화율에 따른 성능

Fig. 7. The performance for τ' and coding rate

그림 7은 각각의 동일한 전송률에 따라 BER 성능을 비교한 결과이다. 전송률이 25%일 때 FTN 전송방식에서는 약 1.3 dB의 성능을 보이고 있으며 이는 H-matrix와 puncturing 기법을 사용하여 부호화율이 2/3일 때와 각각 1.3 dB, 1.7 dB의 성능 차이를 보이고 있다. 또한, 전송률이 약 33%일 때에는 FTN 전송방식에서 약 1.4 dB의 성능을 보이며 나머지 두 기법의 부호화율이 3/4일 때

와 각각 2 dB, 2.5 dB의 성능 차이가 보인다.

부호화 방식에서 고부호화율을 통해 전송률을 조절할 수 있는 패리티 검사행렬을 사용한 방식보다 송신 비트 puncturing 기법이 더 나은 성능을 보이고 있지만, FTN 기법이 가장 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전송 효율을 높이고 성능을 향상시키기 위해 새로운 위성 표준 인 DVB-S3 시스템에서 고려되는 FTN방법을 통해 LDPC 부호에 적용 가능한 세 가지 방법에 대하여 연구하였다. 첫 번째, 기존의 LDPC 부호기에서 패리티 검사 행렬을 원하는 부호화율에 맞추어 제약조건에 맞추어 생성하는 방식. 두 번째, 규칙에 따라 코딩 심볼을 삭제하는 punctured LDPC 방식. 세 번째, 기존의 LDPC부호에 Nyquist 속도보다 빠르게 전송하는 FTN전송기법을 적용시키는 방식에 대하여 성능을 비교 분석하였다.

시뮬레이션 분석 결과, 부호화율 2/3 기준으로, FTN 전송 기법을 적용한 LDPC 부호가 다른 두 가지 방식에 비해 BER 10^{-6} 에서 각각 1.3 dB, 1.7 dB만큼 성능이 향상됨을 확인하였다.

따라서, 향후 높은 전송 효율을 요구하는 무선 통신에서 FTN 전송 기법을 유용하게 사용할 수 있으리라 사료되며, FTN 기법과 punctured LDPC 결합하여, 전송 효율을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] L. M. Hwang, B. J. Lee, B. G. Yeo, J. P. Cho, and K. S. Kim, "Link Relay H-ARQ mode for Throughput improvement in a Satellite Communication network." J. Inst. Internet Broadcast. Commun., vol. 16, no. 1, pp. 121-127, 2016.
DOI:https://doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.1.121

[2] R. G. Gallager, "Low-density parity-check codes." IRE transactions on Information Theory, vol. 8, no. 1, pp. 21-28, Jan. 1962.

DOI:https://doi.org/10.1017/cbo9780511809354.003

[3] Jaewon Kang, "Efficient puncturing method of LDPC Code for Rate compatible punctured code", Yonsei University, master's thesis, pp. 1-42. 2005.

[4] J. E. Mazo, "Faster than Nyquist signaling", Bell System Technical Journal, vol. 54, no. 8, pp. 1451-1462. Oct. 1975.
DOI : https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1975.tb02043.x

[5] A. D. Liveris, "Exploiting Faster-Than-Nyquist Signalling", IEEE Transactions On Communication, vol. 51, no. 9, pp. 1502-1511, Sep. 2003.
DOI:https://doi.org/10.1109/tcomm.2003.816943

[6] F. Rusek and J. B. Anderson, "Multistream Faster than Nyquist Signaling", IEEE Transactions On Communication, vol. 57, no. 5, pp. 1329-1340, May. 2009.
DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-319-07031-5

[7] "Digital Video Broadcasting(DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)." European Telecommun. Standard Inst. (ETSI) En 302 307 V1.2.1, Apr. 2009.

[8] J. H. Seo, H. S. Lee and J. W. Jung, "A Study on Punctured FTN Method for High Throughput Satellite Communication", in Proc. 3rd ICIECT, June. 2017.

저자 소개

백 창 욱(준회원)



- 2012년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 공학사
- 2012년 ~ 2014년 : (주)KTE 기술연구소 연구원
- 2016년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 공학석사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 박사 과정

<주관심분야 : 위성통신, 이동통신, 수중통신, 변·복조기술, 채널 코딩>

정 지원(정회원)



- 1995년 2월 : 성균관대학교 통신공학과 공학박사
 - 1991년 ~ 1992년 : LG정보통신 연구소 연구원
 - 1995년 ~ 1996년 : 한국통신위성통신 연구실 선임연구원
 - 1997년 ~ 1998년 : 한국전자통신연구원 위성단 초빙연구원
 - 2001년 ~ 2002년 : 캐나다 CRC(Communication Research Center) NSERC Fellowship (국외초청연구원)
 - 2005년 ~ 2007년 : 한국마린엔지니어링학회 분과위원장
 - 1996년 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학전공 교수
- <주관신분야 : 위성통신, 채널부호화 및 모뎀, FPGA설계>

※ 이 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업으로 수행되었습니다. (NRF-2015R1D1A1A01060931)