

# DVB-S2 기반 고속 LDPC 복호를 위한 효율적인 CNU 계산방식에 관한 연구

임병수\* · 김민혁\*\* · 정지원\*\*\*

A Study on Efficient CNU Algorithm for High Speed LDPC decoding in DVB-S2

Byeong-su Lim\* · Min-hyuk Kim\*\* · Ji-won Jung\*\*\*

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의  
연구결과로 수행되었음”(NIPA-2012 - H0301 - 12-2 005)  
“본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임”

## 요 약

본 논문은 DVB-S2 기반 고속 LDPC 복호를 하기 위한 효율적인 CNU(Check Node Update) 계산방식에 대해 분석하였다. LDPC의 복호 속도는 CNU 계산 과정에 의존한다. 기존의 CNU 계산방식에서 LUT를 고려한 SP(Sum-Product) 방식은 속도가 늦어지는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 SC-NMS(Self-Corrected Normalized Min-Sum) 방식을 제안한다. LUT 연산을 제거한 MS(Min-Sum) 방식에 정규화 계수 ‘ $\alpha$ ’를 곱하는 Normalized Min-Sum(NMS) 방식은 MP 방식보다 성능은 약간 감소하지만 critical path를 없애고 클럭 주기를 줄일 수 있어 구현에 있어서 고속화를 위한 효율적인 CNU 계산방식이다. 또한, 복호과정에서 반복 시 이전 반복에서의 옛지 값과 현재 반복에서의 옛지 값을 비교하여 부호가 바뀌면 신뢰성이 없음을 간주하여 현재 옛지에 “0”을 할당하는 SC(Self-Corrected) 방식을 연구하였다. SC-NMS 방식을 적용하여 시뮬레이션 한 결과, SC-NMS 방식은 SP 방식에 비해 0.1dB의 성능열화를 보였지만, 계산의 복잡도와 복호 속도를 고려했을 때, SC-NMS 방식이 최적의 CNU 계산 방식이라는 것을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, efficient CNU(Check Node Update) algorithms are analyzed for high speed LDPC decoding in DVB-S2 standard. In aspect to CNU methods, there are some kinds of CNU methods. Among of them, MP (Min Product) method is quite often used in LDPC decoding. However MP needs LUT (Look Up Table) that is critical path in LDPC decoding speed. A new SC-NMS (Self-Corrected Normalized Min-Sum) method is proposed in the paper. NMS needs only normalized scaling factor instead of LUT and compensates the overestimation of MP approximation. In addition, SC method is proposed. It gives a faster convergence toward a decoded codeword. If a message change its sign between two iterations, it is not reliable and to avoid to propagate noisy information, its module is set to 0. The performance of SC-NMS has a little degrade compare to MP by 0.1 dB, however considering computational complexity and decoding speed, SC-NMS algorithm is optimal method for CNU algorithm.

## 키워드

LDPC 부호; 정규화 계수; Normalized Min-Sum 방식; Self-Corrected 방식

## Key word

LDPC code; Normalized factor; Normalized Min-Sum method; Self-Corrected method

\* 준회원 : 한국해양대학교 (ibs0410@hhu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 06

\*\* 정회원 : 한국해양대학교

심사완료일자 : 2012. 05. 07

\*\*\* 종신회원 : 한국해양대학교

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.9.1892>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

서비스의 연속성이 보장되고 채널을 효율적으로 사용할 수 있는 초고화질 다채널 실감 방송 서비스를 전국 단위로 제공하기 위한 100Mbps급 이상의 초고속 위성 방송 전송 기술 및 차세대 위성 방송 확보를 위해 기반 기술의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 초고속 위성 방송 전송을 위해 고속 변복조 및 채널 부복호화의 고속화 등 전송기술고도화를 위해 고속화에 대한 관심이 집중되고 있다.

광대역 위성 방송에 적용될 수 있는 오류 정정 부호는 고속 데이터 전송에 효율적이고 성능이 우수한 복호기의 적용이 필수 불가결하며, 이는 DVB-S2에서 제시된 LDPC 부호화 방식이 초고화질 다채널 실감 방송 서비스를 전국 단위로 제공하기 위한 100Mbps급 이상의 초고속 위성 방송 전송 기술로 적합하다. 유럽식 위성 방송 표준인 DVB-S2에 적용되는 사논의 채널 용량 한계에 근접한 LDPC 부호는 터보 부호에 비해 복호화의 복잡도가 낮을 뿐 아니라 좋은 거리 특성으로 오류마루 현상이 나타나지 않고, 완전 병렬 처리로 고속 처리가 가능한 장점이 있다. 그러나 100Mbps급 이상의 LDPC 부호를 설계하기 위해서는 구현의 문제점은 복호부에 있으며, 이를 어떻게 100Mbps급 이상의 전송률을 가지게 하는가에 있다.[1][2][3]

LDPC의 복호 속도는 CNU(Check Node Update)계산 과정에 의존한다. 기존의 CNU 계산방식에서 LUT(Look Up Table)를 고려한 SP( Sum Product) 방식은 속도가 늦어지는 단점 있으며, 이를 보완하기 위해 LUT를 제거한 MS(Min-Sum) 방식이 있지만 성능면에서 저하되어 새로운 방식이 필요하다.[4] 따라서 SP방식에서 LUT 효과를 얻기 위해, LUT 대신 정규화 계수 ‘ $\alpha$ ’를 곱하는 NMS(Normalized Min-Sum) 방식은 SP 방식보다 성능은 약간 감소하지만 critical path를 없애고 클럭 주기를 줄일 수 있어 구현에 있어서 고속화를 위한 효율적인 CNU 계산방식이다.[5] 또한, 복호과정에서 반복 시 이전 반복에서의 옛지 값과 현재 반복에서의 옛지 값을 비교하여 부호가 바뀌면 신뢰성이 없음 간주하여 현재 옛지 값에 “0”을 할당하는 SC(Self-Corrected) 방식을 연구하였다.[6]

본 논문의 II절에서 DVB-S2 규격 LDPC 복호방법에 대해 간략하게 설명하고 III절에서 NMS를 적용한 CNU

계산 방식에 대해 알아보겠다. IV절에서 SC CNU 계산 방식에 대해 알아보고 V절에서 SC 방식을 적용한 SP 방식, NMS 방식, MS방식에 대한 성능을 비교 분석하겠다. 그리고 VI절에서 결론을 맺는다.

II. DVB-S2 규격 LDPC 복호

LDPC 복호기는 전송된 심벌을 비트 노드와 체크 노드에서 각각의 확률 값을 구하여 반복을 통해 전송된 비트를 결정하는 것이다.

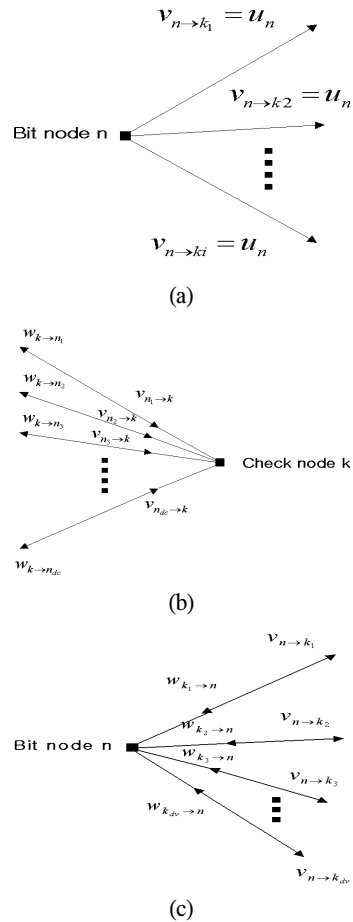


그림 1. LDPC의 복호 과정  
 (a) Initialization (b) CNU (c) BNU  
 Fig. 1 Decoding flow of LDPC code  
 (a) Initialization (b) CNU (c) BNU

LDPC의 복호 순서는 그림 1과 같이 수신 비트에 채널 추정 값을 구하는 초기화 과정, Check node 확률을 구하는 CNU(Check Node Update), 비트 확률을 구하는 BNU(Bit Node Update)의 세 가지 단계를 거쳐 복호하게 된다. 그림 1은 LDPC의 복호 과정을 나타낸다.

### III. CNU 계산 알고리즘

DVB-S2 규격의 LDPC 부호는 매트릭스 구조 상 부분화가 가능하여 부분화 된 크기만큼 병렬연산이 가능하다. 즉, H 매트릭스에서 부분화 되는 만큼 병렬로 연산하여 속도를 증가시킬 수 있다. 하지만 많은 병렬로 인하여 동시 연산량이 많아지게 되고, 이는 클럭 주기가 늘어나도록 하는 원인이 된다. 클럭 주기가 늘어나는 가장 큰 원인 중 하나는 CNU 연산에 있다. LDPC 복호기에서 CNU 연산은 식 (1)과 같다.

$$v_i \oplus v_j = \text{sign}(v_i) \times \text{sign}(v_j) \times \min(|v_i|, |v_j|) - LUT$$

$$LUT_g(a, b) = \ln(1 + e^{-|a+b|}) - \ln(1 + e^{-|a-b|}) \quad (1)$$

$v_i$ 는 CNU 계산을 위해 비트 노드에서 체크 노드로 향하는  $i$ 번째 비트 노드 값을 나타내고,  $v_j$ 는 CNU 계산을 위해 비트 노드에서 체크노드로 향하는  $j$ 번째 비트 노드 값을 나타낸다. 식 (1)은 SP 방식으로 LUT 계산을 위해서는 CNU에 입력되는 입력 데이터에 대하여 로그계산과 지수계산이 필요하기 때문에 계산이 복잡해진다. 이에 의해 클럭의 주기가 길어질 수밖에 없다. MP 방식을 적용시키면서 LDPC 복호의 고속화를 위해 클럭의 주기를 짧게 하게 되면 CNU에서 critical path가 발생하게 된다. critical path를 극복하기 위해 LUT를 빼는 연산을 제거한 식 (2)와 같은 MS 방식을 고려 할 수 있으며, 이는 성능 저하를 초래한다.

$$v_i \oplus v_j = \text{sign}(v_i) \times \text{sign}(v_j) \times \min(|v_i|, |v_j|) \quad (2)$$

이러한 이유 때문에 성능에 큰 저하 없이 CNU를 단순화시키고, 계산량을 줄일 수 있는 방안을 많이 연구하고 있다. SP 방식과 MS 방식에 대한 단점을 극복하고 좀 더 효율적인 구현을 하기 위하여 CNU 연산 방식에서 LUT

대신 정규화 계수 ' $\alpha$ '를 이용하는 NMS 방식은 식 (3)과 같다. 여기서 ' $\alpha$ '는 MS 방식의 성능 저하를 보상하기 위한 요소이다. 이 때,  $\alpha$ 의 값은  $0 < \alpha \leq 1$  이어야 한다.[5]

$$M_{c \rightarrow v}^{new} = \alpha \times \text{sign}(M_{v' \rightarrow c}) \times \min_{v' \in v/v} |M_{v' \rightarrow c}| \quad (3)$$

식 (3)에서  $M_{v' \rightarrow c}$ 는 비트노드에서 체크노드로 들어오는 엣지 값을 나타낸다.  $\text{sign}(M_{v' \rightarrow c})$ 은 비트 노드에서 하나의 체크 노드로 향하는 모든 엣지 값의 부호를 곱한 것이고  $\min_{v' \in v/v} |M_{v' \rightarrow c}|$ 는 비트 노드에서 하나의 체크노드로 향하는 모든 엣지 값의 최소값을 구하는 것이다.

#### 3.1. ' $\alpha$ ' 값에 따른 NMS 방식의 성능

NMS 방식을 적용하기 위한 식은 위의 식 (3)에 나타났다. NMS 방식에서 CNU 출력은 정규화 계수 ' $\alpha$ '에 의해 결정되기 때문에 가장 적합한 ' $\alpha$ ' 값을 찾기 위해 ' $\alpha$ ' 값이 0.875, 0.75, 0.5 일 때의 성능을 비교해 보았다. 다음 그림은 ' $\alpha$ ' 값의 변화에 따른 NMS 방식의 성능 그림이다.

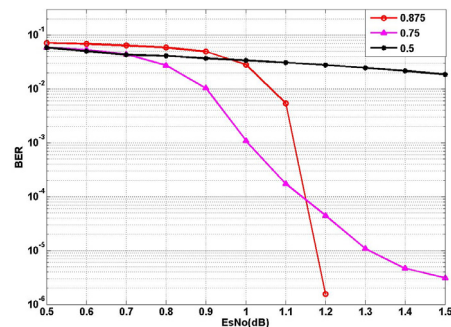


그림 2. ' $\alpha$ ' 값에 따른 NMS 방식의 성능  
Fig. 2 Performance of NMS by ' $\alpha$ '

그림 2을 보면 ' $\alpha$ ' 값이 비록 0.75, 0.5에서 비교적 낮은 Es/No에서 성능이 0.875일 때 보다 좋으나 Es/No가 높아지면 오류마루현상이 발생함을 알 수 있다. 이와 반대로 낮은 Es/No일 때 0.875는 다른 값들에 비해 성능이 큰 차이가 없으나 높은 Es/No에서는 오류마루현상 없이 좋은 특성을 가지는 것을 알 수 있다. 그러므로 ' $\alpha$ '는

0.875가 가장 적합한 값으로 볼 수 있다. NMS 방식 적용 시 CNU 구조는 그림 3와 같다.

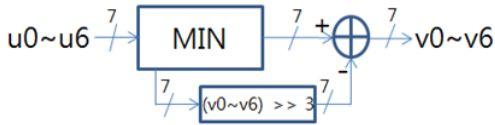


그림 3. NMS 방식 적용 시 CNU 구조  
Fig. 3 Structure of CNU by NMS

#### IV. SC CNU 계산 방식

LDPC 복호과정에서 CNU 계산을 보다 효율적으로 하여 성능을 개선시킬 수 있는 방안으로 SC 방식을 연구하였다. LDPC 복호는 각각의 부호화율에 따라 각기 다른 반복횟수만큼 반복을 하여 마지막 반복이 끝났을 때 최종 데이터를 얻게 된다. 그러나 CNU 계산과정에서 반복을 거치면서 체크 노드 계산을 위해 비트 노드에서 들어오는 값의 부호가 바뀌게 되는 현상이 발생하게 된다. SC 방식은 CNU 과정에서 이전 반복에서의 값의 부호( $Sign(M_{v \rightarrow c})_{old}$ )와 현재 반복에서 값의 부호( $Sign(M_{v \rightarrow c})_{new}$ )를 비교하여 부호가 다르게 되면 현재의 값을 "0"으로 만들어주는 것이다. 이전 반복에서의 옛 값이 다음 반복에서 부호가 바뀌었다는 것은 그 옛 값은 신뢰할 수 없는 신호이기 때문에 그 값을 "0"으로 만들어 주는 것이다. 이렇게 CNU 계산과정에서 신뢰할 수 없는 신호를 "0"으로 만들어주면서 CNU 계산을 더욱 효율적으로 하여 성능의 향상을 가져올 수 있게 된다.

그림 4는 SC 방식의 구조를 나타낸다.[6]

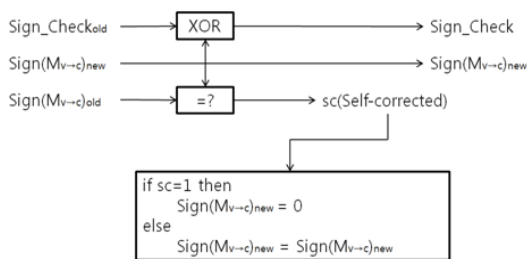


그림 4. SC 방식의 구조  
Fig. 4 Structure of SC method

#### V. 시뮬레이션 결과

부호화율 1/2, N 사이즈는 64800에서 기존의 SP 방식, NMS 방식, MS 방식과 각각에 SC 방식을 적용하여 시뮬레이션 한 성능을 비교하여 그림 5에서 그림 7에 나타내었다. 전체적으로 세 가지 방식에 SC 방식을 적용함으로써 신뢰할 수 없는 신호에 대해 더 효율적으로 CNU 계산을 하기 때문에 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

그림 5는 SP 방식과 SC를 적용한 SP 방식의 성능으로 SC 방식을 적용하였을 때 약 0.1dB 만큼의 성능개선효과가 있었다.

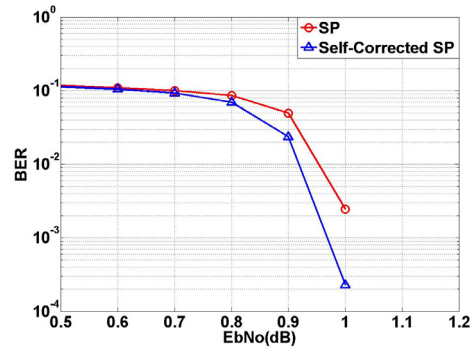


그림 5. SP 방식과 SC-SP 방식의 성능  
Fig. 5 Performance of SP and SC-SP

그림 6은 MS 방식과 SC 방식을 적용한 MS 방식에 대한 성능을 비교한 그림이다. SC 방식을 적용하여 약 0.5dB의 성능이 개선됨을 확인하였다.

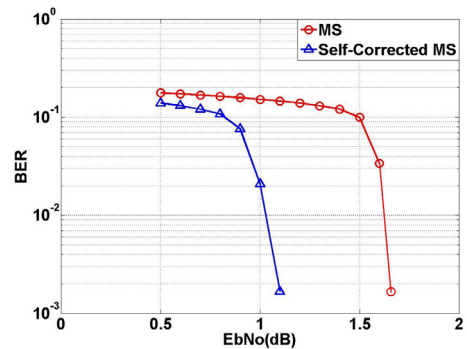


그림 6. MS 방식과 SC-MS 방식의 성능  
Fig. 6 Performance of MS and SC-MS

그림 7은 NMS 방식과 NMS방식에 SC 방식을 적용하여 성능을 비교한 그림이다. NMS 방식도 MS방식과 마찬가지로 SC 방식을 적용하였을 때 약 0.5dB의 성능이 개선됨을 알 수 있다.

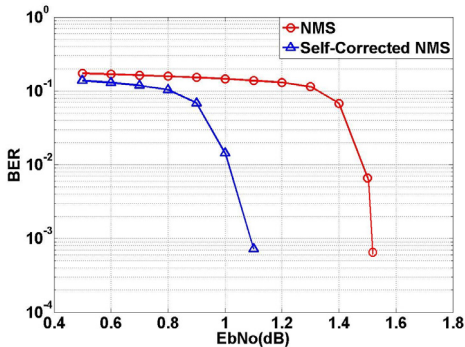


그림 7. NMS 방식과 SC-NMS 방식의 성능  
Fig. 7 Performance of NMS and SC-NMS

다음 그림 8은 SC 방식을 적용한 SP 방식, MS 방식, NMS 방식의 시뮬레이션 한 성능을 비교한 그림이다. SC 방식을 적용한 SP 방식, NMS 방식 그리고 MS 방식의 성능은 MP 방식이 다른 방식보다 약 0.1dB 좋다. 하지만, SC 방식을 적용하기 전의 성능차이가 약 0.5dB인 것과 비교하면 성능이 거의 비슷해 졌다는 것을 알 수 있다. 이는 곧 고속 복호를 위한 CNU 계산방식에서 보다 효율적인 NMS 방식에 SC 방식을 적용함으로써 SP 방식과 거의 비슷한 성능으로 고속 복호를 할 수 있다는 것을 의미한다.

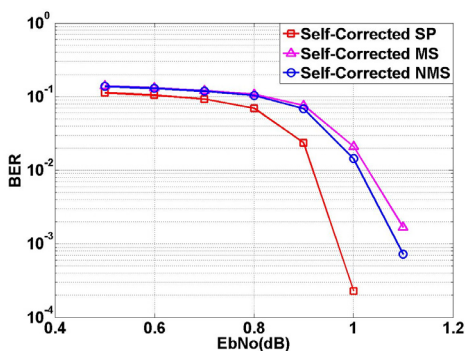


그림 8. SC 방식을 적용한 SP 방식, MS 방식, NMS 방식의 성능  
Fig. 8 Performance of SP, MS and NMS algorithm based on SC

## VI. 결 론

본 논문에서는 DVB-S2 기반 고속 LDPC 복호를 위해 복호과정의 효율적인 CNU 계산방식에 대해 알아 보았다. 절대 값 연산과 비교 연산 후 offset을 빼는 SP 방식은 고속화를 위해 클럭의 주기를 짧게 하면 CNU에서 critical path가 발생하게 된다. NMS 방식은 SP 방식에 비해 약 0.5dB의 성능 열화를 보이지만 critical path를 없애고 클럭 주기를 줄일 수 있기 때문에 구현에 있어서 고속화를 위해 더 효율적임을 보였다. 그리고 반복과정에서 이전 반복에서의 옛지 값이 현재의 옛지 값과 비교하여 부호가 다르면 신뢰할 수 없는 신호라고 판단하여 현재 옛지 값을 "0"으로 주는 SC 방식을 적용하여 시뮬레이션 하였다. SP 방식, MS 방식, NMS 방식에 SC 계산 방식을 적용하여 성능을 비교한 결과, SP 방식, MS 방식 그리고 NMS 방식에 SC 방식을 적용하였을 때 약 0.1dB ~ 0.5dB의 성능이 개선됨을 확인하였다. NMS방식에 SC 방식을 적용한 SC-NMS 방식은 SP 방식에 비해 0.1dB의 성능 열화를 보였지만, 계산의 복잡도와 복호 속도를 고려하였을 때 SC-NMS 방식이 최적의 CNU 계산방식이라는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 CNU 계산방식은 향후 DVB-S2 기반 LDPC 복호의 고속화를 위해 유용한 자료가 되리라 사료된다.

## 감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2012 - H0301 - 12-2 005)

“본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임”

참고문헌

- [1] R. G. Gallager, "Low-Density Parity-Check Codes," IRE trans. information theory, vol.8, PP.21-28, 1962.
- [2] D. J. C. Mackay and R. M. Neal, "Near Shannon Limit Performance of Low-Density Parity-Check Codes," Electron. Letter, Vol.32, PP. 1645-1646, Aug. 1996.
- [3] 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 Standard (Telecommunications series) ETSI EN 302 307 V1.2.1(2009-08), 2009.
- [4] Xiao-Yu Hu, E. Eleftheriou, D.-M. Arnold, and A. Dholakia, "Efficient implementations of the sum-product algorithm for decoding LDPC codes." In Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM'01. IEEE, volume 2, pages 1036-1036E vol.2, 2001.
- [5] J. Dielissen, A. Hekstra, and V. Berg. "Low cost LDPC decoder for DVB-S2." In design, Automation and Test in Europe, 2006. DATE'06. Proceedings, volume 2, pages 1-6, Munich, Germany, March 2006.
- [6] V. Savin. "Self-corrected min-sum decoding of LDPC codes." Pages 146-150, 2008.

저자소개



**임병수(Byeong-Su Lim)**

2011년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과 (공학사)  
2011년 3월~현재: 한국해양대학교  
전파공학과 석사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,  
채널 코딩, FPGA 기술 등



**김민혁(Min-Hyuk Kim)**

2006년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과 (공학사)  
2008년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과 (공학석사)

2008년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과  
박사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,  
채널 코딩, FPGA 기술 등



**정지원(Ji-Won Jung)**

1989년 2월 : 성균관대학교  
전자공학과(공학사)  
1991년 2월 : 성균관대학교  
전자공학과(공학석사)

1995년 2월 : 성균관대학교 정보공학과(공학박사)

1991년 1월~1992년 2월 : LG 정보통신연구소 연구원

1995년 9월~1996년 8월 : 한국통신 위성통신연구실  
선임연구원

1997년 3월~1998년12월 : 한국전자통신연구원 초빙  
연구원

1996년 9월~현재: 한국해양대학교 전파공학과  
정교수

2001년 8월~2002년 8월 : 캐나다 NSERC Fellowship  
(Communication Research Center 근무)

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술,  
채널 코딩, FPGA 기술 등