

다중 안테나 개념을 적용한 초광대역 무선통신 시스템에서 이중 이진 터보 부호 성능

Performance of Double Binary Turbo Code for Ultra Wide-Band Systems with Multiple-Antenna Scheme

김은철*, 차재상**, 이종훈***, 강정진****, 김성권**, 황성호*****, 김진영*

Eun-Cheol Kim, Jae-Sang Cha, Chong-Hoon Lee, Jeong-Jin Kang,
Seong-Kweon Kim, Sung-Ho Hwang, Jin-Young Kim

요 약 본 논문에서는 다중 안테나 (Multiple-Antenna)를 적용한 초광대역 무선통신 (UWB: Ultra Wide-Band) 시스템에서 이중 이진 터보 부호의 성능을 보인다. 본 논문에서는 PPM-TH (Pulse Position Modulation-Time Hopping) 방식과 PAM-DS (Pulse Amplitude Modulation-Direct Sequence) 방식의 UWB 시스템을 모두 고려하였으며, 다중 안테나 기술로 시공간 블록 부호 (STBC : Space Time Block Code) 송신 다이버시티와 수신 다이버시티 기술을 적용하였다. 그리고 이진 터보 부호에 비해서 부호어 사이의 최소 거리 (Minimum Distance)가 길어서 복호 성능이 좋으며 처리량 (Throughput)이 높아서 복호 처리 시간이 짧은 장점을 가지고 있는 이진 이중 터보 부호를 적용하였다. 본 논문의 결과는 UWB 시스템을 구현하는데 적용될 수 있다.

Abstract In this paper, the performance of double binary turbo code is analyzed and simulated in ultra wide-band (UWB) systems employing multiple-antenna scheme. We consider both pulse position modulation-time hopping (PPM-TH) and pulse amplitude modulation-direct sequence (PAM-DS) UWB systems. The space time block code (STBC) scheme is adopted as a transmit diversity method. Also, receive diversity scheme is applied. And double binary turbo code is applied to the UWB system.

Key Words : Double binary turbo code, multiple-antenna, ultra wide-band (UWB), receive diversity, space time block code (STBC).

I. 서 론

1세대 아날로그 무선통신 시스템으로부터 시작하여 2세대 및 3세대, 4세대 디지털 무선통신 시스템으로 이동통신 기술이 진화를 거듭할수록, 무선통신 시스템은 사

용자의 요구에 따라서 더 낮은 가격으로, 더 많은 데이터를, 더 빠른 시간 내에, 더 안정적으로 전송하는 방향으로 발전하고 있다. 이를 실현시키기 위한 핵심 기술 중 하나가 다중 안테나 (Multiple-Antenna) 통신기술이다.

본 논문에서는 다중 안테나 개념을 적용한 초광대역 무선통신 (UWB: Ultra Wide-Band) 시스템에서 이중 이진 터보 부호 (Double Binary Turbo Code)^[1,2]의 성능을 보였다. 본 논문에서 적용한 다중 안테나 알고리즘은 시공간블록부호 (STBC: Space Time Block Code) 송신 다이버시티 기술^[3]과 수신 다이버시티 기술이다.

*준회원, 광운대학교 전파공학과

**정회원, 서울산업대학교 매체공학과

***정회원, 서울산업대학교 스포츠건강학과

****중신회원, 동서울대학 정보통신과

*****정회원, 삼성전기 중앙연구소

접수일자 2009.3.18, 수정완료 2009.4.10

모의 실험에서 시스템 성능은 비트 오류 확률 (BEP: Bit Error Probability) 측면에서 보였으며, 무선 채널은 실내 무선 채널로 설정하고 변형된 SV (modified Saleh and Valenzuela) 채널^[4]로 모델링하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 시스템 모델을 제시하였으며, 이중 이진 터보 부호의 구조 및 복호 알고리즘을 제 III장에서 소개하였다. 제 IV장에서는 본 논문에서 고려한 시스템 성능을 확인하기 위한 모의 실험 결과를 제시하였으며, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 V장에서 언급하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 펄스 위치 변조-시간 호핑 (PPM TH: Pulse Position Modulation-Time Hopping) 방식과 펄스 진폭 변조-직접 시퀀스 (PAM-DS: Pulse Amplitude Modulation-Direct Sequence) 방식의 UWB 시스템을 고려하였다.

1. STBC를 적용한 UWB 시스템

가. 송신단 모델

그림 1은 STBC-UWB 시스템의 송신단 모델을 나타낸다. 입력 데이터는 이중 이진 터보 부호에 의해 부호화된 후, 각 부호화된 결과는 N_s 번 반복된다. 그리고 TH 부호 또는 DS 부호에 의해 확산 변조가 수행된 후, PPM 또는 PAM 방식으로 변조된다. 변조기 출력은 STBC 부호기에 의해 부호화된 후, 두 개의 송신 안테나를 통하여 송신된다.

펄스 변조된 UWB 신호의 경우 실수값 만을 갖는 신호이므로, 실수 값 신호에 대한 송신 행렬을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \begin{bmatrix} -s_1 & s_0 \\ s_0 & s_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 s_0 와 s_1 은 각각 $s_0(t)$ 와 $s_1(t)$ 신호에 대한 벡터 표현이다. 그리고 s_0 는 0번 안테나로부터 송신되는 신호를 나타내고, s_1 는 1번 안테나로부터 송신되는 신호를 나타낸다.

i 번째 송신 안테나에서 방사되는 PPM-TH UWB 신

호는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{E_{TX}}{2}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \mu_{i,j} p(t - jT_s - c_j T_c - a_j \epsilon) \quad (2)$$

여기서 $\mu_{i,j} \in \{\pm 1\}$ 로 i 번째 송신 안테나에서 j 번째 펄스의 STBC 부호화 요소이다. $p(t)$ 는 펄스 신호를 나타내고, t 는 클락 시간을 나타낸다. T_s 와 T_c 는 각각 펄스 반복 시간과 칩 구간을 나타내는데, T_s 는 T_c 의 수백 배이다. $\{c_j\}$ 는 시간 호핑 시퀀스를 나타내고, $\{a_j\}$ 는 이중 이진 터보 부호기 출력 신호이다.

i 번째 송신 안테나에서 방사되는 PAM-DS UWB 신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{E_{TX}}{2}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \mu_{i,j} d_j p(t - jT_s) \quad (3)$$

여기서 d_j 는 이중 이진 터보 부호 및 DS 부호에 의해 부호화된 신호로 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

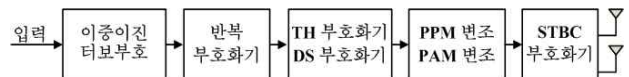


그림 1. STBC-UWB 송신단 모델
Fig. 1. STBC-UWB transmitter model.

나. 수신단 모델

그림 2는 STBC-UWB 시스템의 수신단 모델을 나타낸다. 실내 무선 채널을 통해 수신된 신호는 STBC 복호기에 의해 복호된 후, PPM 또는 PAM 복조기에 의해 복조된다. 그리고 TH 또는 DS 복호기 및 반복 복호기에 의해 복호된 후, 이중 이진 터보 복호기에 의해 원 신호가 추정된다.

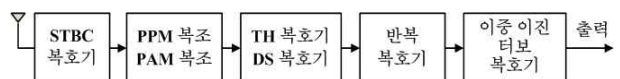


그림 2. STBC-UWB 수신단 모델
Fig. 2. STBC-UWB receiver model.

그림 3은 STBC 복호기 및 UWB 복조기 구조를 나타

낸다. 첫 번째 심볼 구간과 두 번째 심볼 구간동안 각각 수신된 신호 r_0 와 r_1 는 식 (4) 및 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$r_0 = r(t) = -\alpha_0 s_1(t) + \alpha_1 s_0(t) + n_1(t) \quad (4)$$

$$r_1 = r(t+T) = \alpha_0 s_0(t+T) + \alpha_1 s_1(t+T) + n_0(t) \quad (5)$$

여기서 α_i 와 α_{ni} ($i = 0, 1$)는 채널 이득이고, $n_i(t)$ ($i = 0, 1$)는 평균이 0이고 분산이 σ_i^2 인 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise) 이다. a_j 는 j 번째 송신된 펄스의 크기를 나타내는데, PPM-TH UWB 신호의 경우 $a_j = 1$ 이다. E_{TX} 는 펄스당 송신된 에너지를 나타내고, ϕ_j 는 임의의 TH dither 이다. PAM-DS UWB 신호의 경우 $\phi_j = 0$ 이다.

연속된 두 심볼 전송 구간동안 채널 계수가 상수라고 가정하면 결합기 출력은 식 (6) 및 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{s}_0 = r_0 + r_1 = (\alpha_0 + \alpha_1)s_0 + n_0 + n_1 \quad (6)$$

$$\tilde{s}_1 = -r_0 + r_1 = (\alpha_0 + \alpha_1)s_1 - n_0 + n_1 \quad (7)$$

결합기 출력은 상관기에서 상관 마스크 $m_i(t)$ ($i = 0, 1$)와 상관 후, 결정 변수 z_i ($i = 0, 1$)가 생성된다. 그리고 결정 변수는 임계값과 비교된다.

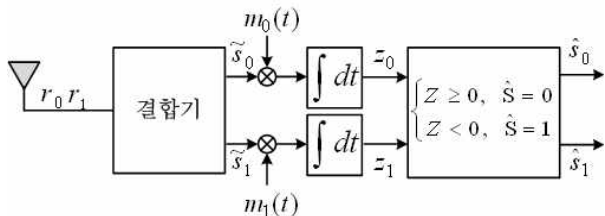


그림 3. STBC 복호기 및 UWB 복조기 구조
Fig. 3. STBC decoder and UWB demodulator structures.

2. 수신 다이버시티를 적용한 UWB 시스템

가. 송신단 모델

그림 4는 UWB 시스템의 송신단 모델을 나타낸다. 수신 다이버시티를 적용하는 시스템이기 때문에 STBC 부호화를 하지 않는 것을 제외하고는 그림 1의 시스템과 동일한 동작을 한다. 송신 안테나에서 방사되는 PPM-TH UWB 신호는 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{E_{TX}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} p(t - jT_s - c_j T_c - a_j \epsilon) \quad (8)$$

그리고 PAM-DS UWB 신호는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{E_{TX}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j p(t - jT_s) \quad (9)$$

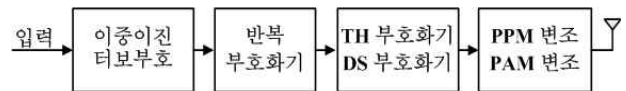


그림 4. UWB 송신단 모델
Fig. 4. UWB transmitter model.

나. 수신단 모델

그림 5는 수신 다이버시티를 적용한 UWB 시스템의 수신단 모델을 나타낸다. 이 수신기는 안테나 다이버시티를 구현하기 위해서 L 개의 안테나로 구성되어 있다. 여기서 각 안테나는 충분히 멀리 떨어져 있다고 가정한다. 따라서 각 안테나로 수신되는 신호는 각각 독립적으로 페이딩이 발생한다. 다이버시티 결합 기법은 더해진 신호의 신호대 잡음비를 향상시킨다. 따라서 그림 7의 L 이 증가할수록 비트 오류 확률과 같은 시스템 성능이 향상됨을 예상할 수 있다.

각 안테나로 수신된 신호는 상관 마스크 $m_l(t)$ ($l = 1, 2, \dots, L$)와 곱해진 후 적분기를 통과한다. L 개의 적분기 출력 z_l 은 동일 이득 결합기를 통하여 더해진 후, 결정 변수 U 를 생성한다. 다음으로 $U \geq 0$ 이면 +1로 판정을 하고 $U < 0$ 이면 -1로 판정 후, 이를 각각 1과 0의 시퀀스로 매핑시킨다. 이 결과 시퀀스는 이중 이진 터보 복호기를 통하여 복호된 후 송신된 신호를 추정하게 된다. 수신 신호는 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sqrt{E_{TX}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=1}^L \alpha_{nk} a_i p(t + T - jT_s - \phi_j - \tau_{nk}) + n(t) \quad (10)$$

여기서 $n(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 AWGN을 나타낸다.

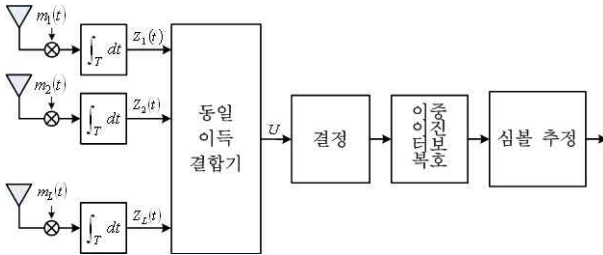


그림 5. 수신 다이버시티를 적용한 UWB 수신기 모델
Fig. 5. UWB receiver model with receive diversity.

3. 실내 채널 모델

본 논문에서는 IEEE 802.15.SG3a 에서 UWB 실내 채널 모델로 선택한 변형된 SV (Saleh and Valenzuela) 모델을 실내 무선 채널 모델로 선택하였다^[2]. 이산 시간 다중경로 채널 충격 응답은 식 (11)과 같다.

$$h(t) = X \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (11)$$

여기서 α_{nk} 는 n 번째 클러스터의 k 번째 다중 경로 계수이다. T_n 은 n 번째 클러스터의 도착 시간을 나타내며, τ_{nk} 는 n 번째 클러스터의 k 번째 다중 경로에 대한 지연을 나타낸다. N 은 관찰된 클러스터의 개수를 나타내고, $K(n)$ 은 클러스터에 수신된 다중경로의 개수를 나타내며, X 는 채널이 진폭 이득을 나타내는 로그노말 랜덤 변수이다.

III. 이중 이진 터보 부호

1. 이중 이진 터보 부호/복호화

이중 이진 터보 부호기는 선형 궤환 쉬프트 레지스터의 입력으로 단위시간당 두 개의 비트를 공급한다. 즉 두 개의 연속된 이진 비트들을 하나의 2-비트 심볼 (A, B)

로 형성한 후 부호화를 수행한다. 이 때 Constituent 부호화기는 콘볼루션 부호화 기법을 사용한다. 정보 블록 N 비트의 입력은 $N/2$ 비트로 구성된 A 와 B 서브 블록으로 나뉜다. 부호기에서 입력 A 와 B 서브 블록은 출력 A, B, Y_1, W_1, Y_2, W_2 서브 블록을 생성하고 각 서브 블록은 $N/2$ 비트로 구성되어 있다. 따라서 평치링을 거치지 않은 비이진 터보 부호는 $1/3$ 의 부호율을 갖는다.

터보 복호기에서는 연속된 입력 비트들이 Trellis Mux를 통하여 정보 비트와 Parity 비트로 구분된다. 그리고 정보 비트와 Parity 비트가 이전의 SISO (Single Input Single Output) 복호기에 의해 발생된 사전 정보값과 함께 복호화 과정에 이용된다. 그리고 복호화된 결과가 이전의 복호화된 결과 값과 비교된 후 추가 부가 정보들을 이용하여 복호화를 반복하여 결과값에 대한 신뢰도를 증가시킨다. 일정 회수만큼 반복 복호화된 결과값은 경관정을 거쳐서 최종값으로 결정된다.

2. 복호 알고리즘

본 논문에서는 시스템의 계산의 복잡성을 줄이고, 처리량을 높이며, 전력 소모를 줄이기 위해서 비이진 터보 부호에 대해서 복호화 알고리즘으로 Max Log-MAP 알고리즘을 고려하였다.

IV. 실험 결과

실험에서 사용한 이진 이중 터보 부호의 부호기는 8개의 상태를 가지고, 부호율은 $1/3$ 이다. 초광대역 무선통신 시스템은 평균 송신 전력이 -30 dBm이고, 비트당 펄스의 개수를 1개로 하였다. 심볼간 간섭은 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 모의 실험의 이중 이진 터보 복호 과정에서 반복 복호 횟수는 1번으로 설정하였다.

그림 6은 다양한 수신기 안테나 개수에 대하여 수신 다이버시티를 적용한 UWB 시스템의 BEP 성능을 나타낸다. 여기서 E_x/N_0 는 펄스 에너지대 잡음 에너지 비율을 나타낸다. 그림으로부터 수신기 안테나 개수가 증가할수록 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 수신 다이버시티를 적용하면 다이버시티 이득으로 인해 수신 신호의 신호대 잡음비가 증가하기 때문이다. 하지만 성능 증가율은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 이중 이진 터보 부호를 적용하면 부호화 이득으로 인해

시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 또한 이중 이진 부호화에 의한 이득이 수신기 다중 안테나로 인한 다이버시티 이득보다 상당히 큰 것을 확인할 수 있다.

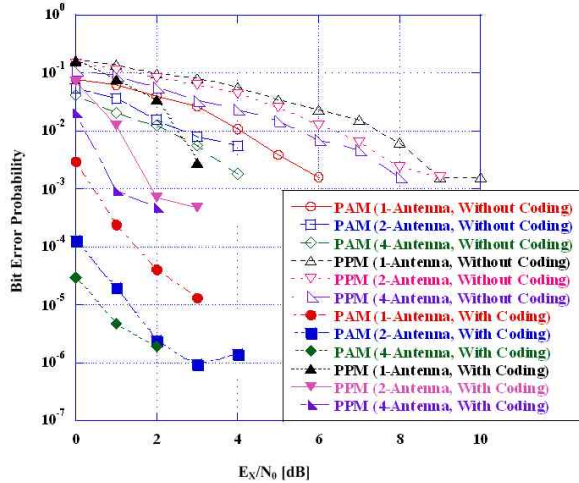


그림 6. 다양한 수신기 안테나 개수에 대하여 수신 다이버시티를 적용한 UWB 시스템의 BEP 성능
 Fig. 6. BEP performance of UWB system employing receive diversity in accordance with the number of receive antenna.

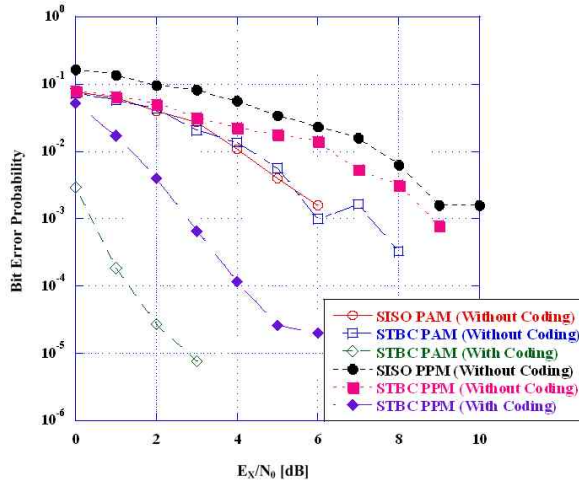


그림 7. STBC를 적용한 UWB 시스템의 비트 오류 확률 성능
 Fig. 7. Bit error probability performance of UWB system employing STBC.

그림 7은 STBC를 적용한 UWB 시스템에서 BEP 성능을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, PPM-TH UWB 시스템은 STBC로 인해 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 STBC로 인해 다이버시티 이득이 발생하여, 수신 신호의 신호대 잡음비가

향상되기 때문이다. 하지만 PAM-DS UWB 시스템은 STBC에 의한 성능 향상이 거의 없음을 알 수 있다. 또한 부호화 되지 않은 경우와 비교할 때, E_x/N_0 가 증가할수록 이중 이진 터보 부호는 상당한 부호화 이득을 제공하는 것을 확인할 수 있다. 또한 이중 이진 부호화에 의한 이득이 송신기 다중 안테나로 인한 다이버시티 이득보다 상당히 큰 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다중 안테나 기술 중에서 송신 다이버시티와 수신 다이버시티 기술이 적용된 UWB 시스템이 실내 무선 채널 환경에서 동작하는 경우 이중 이진 터보 부호의 성능을 보였다. 모의 실험으로부터 이중 이진 터보 부호는 E_x/N_0 가 증가할수록 상당한 부호화 이득을 제공하는 것을 확인하였다. 또한 다중 안테나 기술을 적용한 경우 다이버시티 이득으로 인해 수신 신호의 신호대 잡음비가 향상되므로 시스템 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 본 논문의 결과는 UWB 시스템의 상향 링크와 하향 링크를 구현하는데 활용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] C. Berrou, C. Douillard, and M. Jezequel, "Multiple parallel concatenation of circular recursive systematic convolutional (CRSC) codes," *Annals of Telecommun.*, vol. 54, no. 3-4, pp. 166-172, Mar. 1999.
- [2] C. Douillard and C. Berrou, "Turbo codes with rate- $m/(m+1)$ constituent convolutional codes," *IEEE Trans. On Commun.*, vol. 53, no. 10, pp. 1630-1638, Oct. 2005.
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.* vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [4] IEEE 802.15.SG3a, "Channel modeling sub-committee report final," *IEEE P802.15-02/490r1-SG3a*, Feb. 2003.

※ 본 연구는 2008년도 산학협동제단 및 2007년도 광운대학교 교내 연구비지원에 의해 수행되었음.

저자 소개

김 은 철(준회원)



- 2003년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
 - 2005년 광운대학교 전파공학과 석사 졸업.
 - 2009년 현재 광운대학교 전파공학과 박사 과정.
- <주관심분야 : 무선통신, 동기화, 채널 부호화, 양립성>

차 재 상(정회원)



- 2000년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ETRI 이동통신연구소 무선 전송기술팀 선임연구원
- 2008년 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야 : 디지털 방송전송기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술>

이 중 훈(정회원)



- 1995년 성균관대학교 이학박사
 - 2009년 현재 서울산업대학교 스포츠건강학과 부교수
- <주관심분야 : 유무선 센서통신, Kinetic 분석 및 기구 개발>

강 정 진(중신회원)



- 2009 현재 동서울대학 정보통신과 교수
 - 2009 현재 (사)한국인터넷방송통신 TV학회 회장
 - 2009 현재 (사)한국방송공학회 상임이사
- <주관심분야 : 통방융합/Mobile IPTV, RFID/USN, 이동무선통신/RF회로 및 소자, GIS/LBS/Telematics/GPS, Ultrafast Microwave Photonics>

김 성 권(정회원)



- 2002년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2009년 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야 : 무선통신용 LSI 설계, 주파수분배정책 및 주파수의 효율적 사용에 관한 연구, 고주파 회로 설계, 무선통신시스템>

황 성 호(정회원)



- 1991년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- 2004년 Postech 박사후 연구원
- 2006년 Georgia Tech 박사후 연구원
- 2009년 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

<주관심분야 : Cognitive Radio, 다중접속기술(MAC), 60GHz 대역용 MAC, 4세대 이동통신기술>

김 진 영(정회원)



- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
- 2009년 현재 광운대학교 전파공학과 부교수

• 2009년 현재 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>