

교번 스위치를 활용한 시공간 및 주파수공간 블록 코딩의 하이브리드 알고리즘

Hybrid Algorithm of Space Time and Space Frequency Block Coding Technique using Alternate Time Switch

정혁구[†]
(Hyeok Koo Jung)

Abstract - This paper proposes a hybrid algorithm of space-time block coding and space-frequency block coding using alternate time switch. The traditional alternate time-switched space-time or space-frequency block coding technique for orthogonal frequency division multiplexing system does not provide a good performance with a variety of communication environments. This hybrid algorithm has searched good performance ranges in various environments in view points of mobile speed and doppler frequency. In this paper, we investigate better performance ranges for two algorithms, suggest a hybrid algorithm for dynamically changing communication environments, propose a structure for transmitter and receiver, and show that its performance is better than the traditional algorithm by simulations.

Key Words : Hybrid, OFDM, SFBC, STBC, Switch

1. 서론

오에프디엠(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 단일 송수신 안테나 (SISO) 환경인 IEEE802.11a 및 다중 송수신 안테나 (MIMO) 환경인 IEEE802.11n[1]를 비롯한 무선 랜 응용 시스템의 경우에 매우 효과적인 변조 방식으로 알려져 있으며, 오에프디엠에 선택적 결합과 최대 윌 수신 결합[2]을 조합한 기술들이 단일 송수신 안테나 환경을 가정하여 개발되어 왔다. 특히 송신 안테나 수가 증가하는 상황에서도 수신 안테나가 증가하는 상황에서 얻을 수 있는 최대 윌 수신 결합 이득을 얻고자 하는 기술로서 Alamouti가 제안한 시공간 코드를 블록의 형태로 처리하여 Al-Dhahir[3]는 주파수 영역 등화기를 사용하는 단일 반송파 변조(SC-FDE : Single-Carrier Modulation with Frequency Domain Equalization) 등에서 활용 연구결과를 제시하였다. 오에프디엠 특히 시공간 블록 코딩 오에프디엠 연구는 시간 영역과 주파수 영역 그리고 시간 주파수 영역을 동시에 고려하는 시공간 블록코딩 연구 등이 진행되었고, 이와 같은 연구경향은 시간 영역 또는 주파수 영역에서 다이버시티를 증가시켜서 시스템적인 성능 향상을 얻고자 하는 연구로서, 최근에는 알에프(RF) 블록과 안테나 사이에 시간 스위치를 삽입함으로써 영('0') 삽입 조건을 만들어 송신하는 교번 스위칭 기법이 시공간 오에프디

엠 시스템에 적용하기 위하여 제안[4]되었으며 주파수공간 오에프디엠 시스템 적용을 위해서도 제안[5]되어 왔다. 또한 교번 스위칭 알고리즘의 송신 안테나 및 수신 안테나를 다중화함으로써 데이터 전송율을 높이고자 하는 연구가 단일 반송파 전송 시스템을 위한 연구[6]가 있었다.

그러나 이와 같은 교번 스위칭 알고리즘을 시공간 또는 주파수공간 블록 코딩 기법에 적용하는 것은 시공간 또는 주파수공간 블록 코딩의 성능이 통신 환경에 따라 성능이 달라지므로 그에 따라서 통신 환경이 변하고 있는 상황에서 적용적으로 두 알고리즘을 스위칭하여 최적의 성능을 내는 알고리즘이 연구될 필요가 있다. 따라서 이 논문은 다양한 채널 환경에 따라 효율적인 알고리즘 선택에 대한 필요성 때문에 교번 스위칭 기저대역 알고리즘들의 성능 평가를 HiperLAN/2 channel A 환경에서 모의 실험하여 그 결과를 제시한다. 모의 실험결과는 종래의 교번 스위칭 알고리즘들과 비교하였으며, 결과는 비트 오류율 (BER)로서 제시하였다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 종래의 교번 스위칭 시공간 및 주파수공간 블록 코딩 알고리즘에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안하는 하이브리드 알고리즘을 적용한 교번 스위칭 시스템에 대하여 기술하고, 4장에서는 모의 실험결과 그리고 5장에서는 결론을 제시하였다.

2. 교번 스위치를 사용하는 시공간 블록코딩과 주파수공간 블록코딩 오에프디엠

이 장에서는 종래의 기술인 오에프디엠 시스템에 적용 가능한 교번 스위칭 시공간 블록코딩과 주파수공간 블록코딩의 송신기와 수신기를 그림 1과 그림 2에 각각 표시하였다.

교번 스위칭 시공간 블록코딩 알고리즘은 알에프 블록과 안테나 사이에 시간 스위치를 삽입하고 데이터 심볼마다 스

[†] Corresponding Author : Dept. of Information and Communication Engineering, Hanbat National University, Korea

E-mail : jungkh@hanbat.ac.kr

접수일자 : 2017년 2월 14일

최종완료 : 2017년 2월 27일

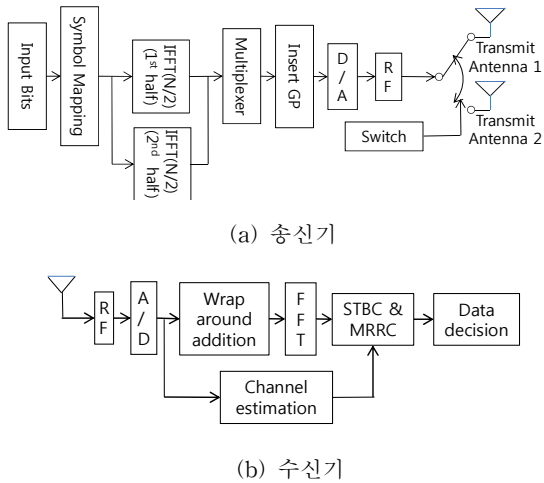


그림 1 교번 시간 스위치 시공간 블록코딩 오에프디엠
Fig. 1 Alternate time-switched STBC OFDM

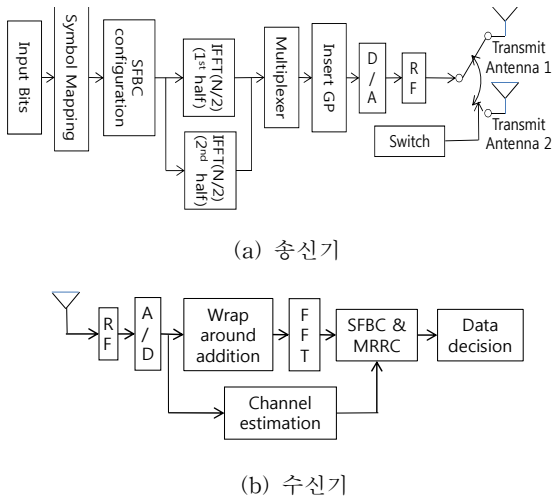


그림 2 교번 시간 스위치 주파수공간 블록코딩오에프디엠
Fig. 2 Alternate time-switched SFBC OFDM

위치를 하여 각 심볼마다 영('0')을 삽입하는 알고리즘이다. 이와 같은 스위칭이 시간 영역에서 발생하면 주파수 영역에서는 반복해서 전송하는 반복 전송 다이버시티 효과가 나타나고 이것을 이용하면 Alamouti 가 제안한 시공간 블록코딩 기법과 같은 심볼 맵핑을 사용하여 다이버시티 차수가 하나 더 증가한 효과가 나타나게 된다. 따라서 시간 영역 스위치가 하나 더 추가됨으로써 최대 유효 결합(maximal ratio combining) 다이버시티 이득을 얻는 알고리즘이 된다. 이와 같은 교번 스위칭 효과는 주파수공간 블록 코딩 알고리즘의 경우에도 발생하게 되며 따라서 주파수공간 블록코딩의 경우에도 다이버시티 차수가 하나 더 증가한 효과가 나타나게 된다. 그러나 이 경우 주파수공간에서의 다이버시티를 얻기 위하여 시공간 블록 코딩과는 다른 심볼 맵핑을 사용하게 되는데, 바로 하나의 오에프디엠 심볼 내에서 인접 부반송파에 Alamouti 가 제안한 블록코딩 맵핑 방법을 사용하게 되는 것이다. 이와 같은 심볼 맵핑은 시공간 블록코딩의 경우에는 두 개의 오에프디엠 심볼에 걸쳐서 각각의 오에프디엠

심볼의 같은 부반송파 위치에서 Alamouti 가 제안한 블록코딩 맵핑 방법을 사용한 것과는 데이터 심볼이 실리는 위치가 달라짐으로써, 두 알고리즘은 동적으로 변하는 채널이 발생시키는 페이딩 환경에서 다른 성능을 보이게 된다. 3장에서 제안하는 알고리즘은 이와 같은 데이터 심볼의 위치에 따른 성능 변화를 보일 수 밖에 없는 두 알고리즘 간의 스위칭하는 모드 스위치(Mode Switch)를 삽입하여 채널 환경에 따라 모드 스위치를 동작시킴으로 각각의 알고리즘이 우수한 채널 환경에서만 동작할 수 있도록 하는 알고리즘을 제안한다.

3. 교번 스위치를 활용한 시공간 및 주파수공간 블록코딩의 하이브리드 알고리즘

3장에서는 하이브리드하게 운용하는 교번 스위칭 시공간 및 주파수공간 블록 코딩 알고리즘에 대하여 기술한다. 먼저 송신기와 수신기의 블록도는 그림 3에 표시되어 있다. 송신기와 수신기 각각에는 모드 스위치가 있는데 이것은 시공간 블록코딩 알고리즘이나 주파수공간 블록코딩 알고리즘이나를 지시하는 스위치로 사용된다. 송신기에는 모드 스위치 이외에 다른 스위치 하나가 있는데 이것은 알에프블록과 안테나 사이에 위치하며 데이터 심볼 간격마다 위 아래로 교번하는 스위치를 의미한다. 이 스위치는 데이터를 송신할 때 시간영역에서 영('0')을 발생시키며 이 영('0')은 주파수영역으로 변환되는 수신기의 최대 유효 수신결합(MRRC) 블록에서 반복되어 전송된 것으로 나타나며 이에 따른 최대 유효 결합 다이버시티 효과가 나타나게 된다.

먼저 시공간 블록 코딩으로 동작하도록 모드 스위치가 설정되어 있으면, k번째 오에프디엠 심볼의 데이터가 다음과 같다고 하면, 이것은 시간영역 스위치에 의하여 홀수 짝수번 째의 두 개의 영역으로 나누어 처리하게 된다. 다음 번의 오에프디엠 심볼 신호에는 Alamouti 블록 코딩된 블록 신호

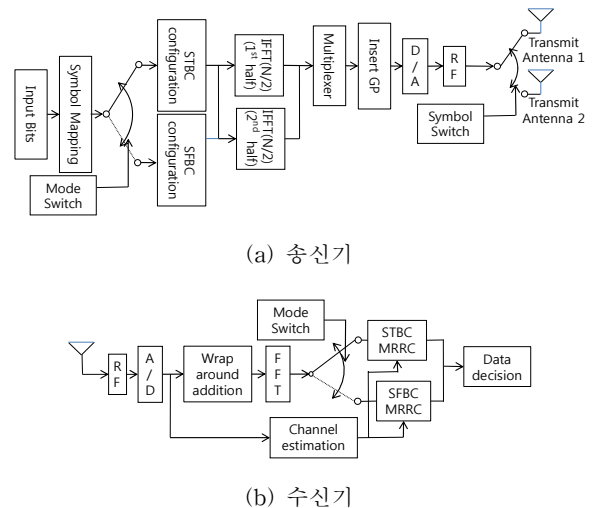


그림 3 시공간과 주파수공간 블록 코딩 기법을 사용하는 교번 스위칭 하이브리드 알고리즘

Fig. 3 Hybrid algorithm of Space Time and Space Frequency Block Coding technique using alternate time switch

를 송신하게 된다.

$$\mathbf{X}^k = [X(0)X(1)\dots X(N-2)X(N-1)]^T \quad (1)$$

$$\mathbf{X}_{1st} = [X(0)X(1)\dots X(N/2-1)]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{X}_{2nd} = [X(N/2)X(N/2+1)\dots X(N-1)]^T \quad (3)$$

다음에 주파수공간 블록 코딩으로 동작하도록 모드 스위치가 설정되어 있으면, 2번째 블록은 주파수공간 블록코딩 결합을 위하여 미리 Alamouti 블록 코딩을 하게 된다.

$$\mathbf{X}^k = [X(0)X(1)\dots X(N-2)X(N-1)]^T \quad (4)$$

$$\mathbf{X}_{1st} = [X(0)X(1)\dots X(N/2-1)]^T \quad (5)$$

$$\mathbf{X}_{2nd} = [-\bar{X}(1)\bar{X}(0) - \bar{X}(3)\bar{X}(2)\dots \bar{X}(N/2-2)]^T \quad (6)$$

이와 같이 구성된 데이터가 전송되어 수신기에서 수신되어 주파수 영역으로 변환되면 수신기의 최대 유효 수신결합 블록에서 다음과 같이 결합이득을 얻을 수 있게 된다.

시공간 블록 코딩으로 동작하도록 모드 스위치가 설정되어 있으면, 수신기에서 식 (7), (8)과 같이 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 된다. 또한 주파수공간 블록 코딩으로 동작하도록 모드 스위치가 설정되어 있으면, 수신기에서 식 (9), (10)과 같이 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 된다.

$$\hat{\mathbf{X}}_{1st}^k(n) = \frac{\sum_{i=0}^1 \left(\bar{H}\left(\frac{N}{2}i+n\right) Y^k\left(\frac{N}{2}i+n\right) + G\left(\frac{N}{2}i+n\right) \bar{Y}^{k+1}\left(\frac{N}{2}i+n\right) \right)}{\sum_{i=0}^1 \left(\left| H\left(\frac{N}{2}i+n\right) \right|^2 + \left| G\left(\frac{N}{2}i+n\right) \right|^2 \right)} \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{X}}_{2nd}^k(n) = \frac{\bar{R}(n,n) \sum_{i=0}^1 \left(G\left(\frac{N}{2}i+n\right) Y^k\left(\frac{N}{2}i+n\right) - H\left(\frac{N}{2}i+n\right) \bar{Y}^{k+1}\left(\frac{N}{2}i+n\right) \right)}{\sum_{i=0}^1 \left(\left| H\left(\frac{N}{2}i+n\right) \right|^2 + \left| G\left(\frac{N}{2}i+n\right) \right|^2 \right)} \quad (8)$$

$$\hat{X}(2k) = \frac{\sum_{i=0}^1 \left(Y\left(\frac{N}{2}i+2k\right) \bar{H}\left(\frac{N}{2}i+2k+1\right) + Y\left(\frac{N}{2}i+2k+1\right) G\left(\frac{N}{2}i+2k\right) \right) \times R\left(\frac{N}{2}i+2k, \frac{N}{2}i+2k\right)}{\sum_{i=0}^1 \left(\left| H\left(\frac{N}{2}i+2k\right) \right|^2 + \left| G\left(\frac{N}{2}i+2k\right) \right|^2 \right) \times R\left(\frac{N}{2}i+2k, \frac{N}{2}i+2k\right) \times \bar{R}\left(\frac{N}{2}i+2k+1, \frac{N}{2}i+2k+1\right)} \quad (9)$$

$$\hat{X}(2k+1) = \frac{\sum_{i=0}^1 \left(Y\left(\frac{N}{2}i+2k+1\right) \bar{H}\left(\frac{N}{2}i+2k\right) - \bar{Y}\left(\frac{N}{2}i+2k\right) G\left(\frac{N}{2}i+2k+1\right) \right) \times R\left(\frac{N}{2}i+2k+1, \frac{N}{2}i+2k+1\right)}{\sum_{i=0}^1 \left(\left| H\left(\frac{N}{2}i+2k\right) \right|^2 + \left| G\left(\frac{N}{2}i+2k\right) \right|^2 \right) \times \bar{R}\left(\frac{N}{2}i+2k, \frac{N}{2}i+2k\right)} \quad (10)$$

4. 모의 실험

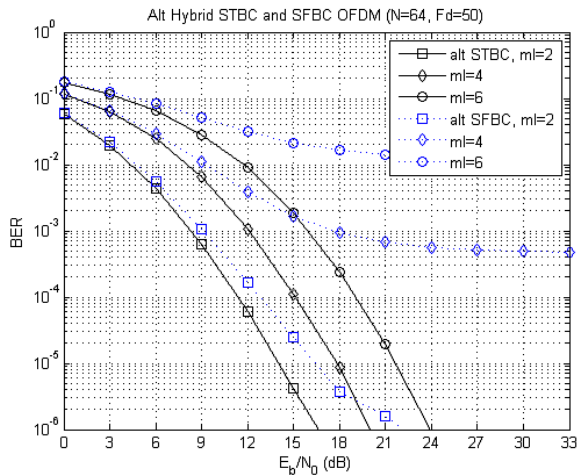
모의실험에 사용한 오에프디엠 시스템의 환경변수는 다음과 같다. 전체 20MHz 대역은 $N=64/512$ 개의 데이터 블록들로 나누어진다. 유효 심볼 주기($3.2\mu s/25.6\mu s$)와 보호 구간($0.8\mu s$)을 포함한 하나의 데이터 심볼 주기는 $4\mu s/26.4\mu s$ 이다. 송신기에서는 80/528 개의 심볼들(데이터 페이로드는 64/512, 보호구간은 16 데이터 심볼)마다 그룹으로 묶어서 전송한다. HiperLAN/2 채널 A를 모의 실험 환경으로 사용하였으며 채널 상태 정보는 완벽하게 알고 있다고 가정한다. 그림 4는 제안하는 하이브리드 교번 스위칭 알고리즘의 각각의 개별 알고리즘인 시공간 및 주파수공간 블록 코딩 알고리즘의 성능 비교이다. 그림 4의 (a), (b), (c), (d)는 모의 실험 환경 변수를 다르게 한 것으로서 (a)는 FFT 크기 64로 하고 도플러 주파수 $f_d=50\text{Hz}$ 로 가정하였으며 (b)는 FFT 크기 64도플러 주파수 $f_d=400\text{Hz}$ 로 가정하였으며, (c)는 FFT 크기 512로 하고 도플러 주파수 $f_d=50\text{Hz}$ 로 가정하였으며, (d)는 FFT 크기 512로 하고 도플러 주파수 $f_d=400\text{Hz}$ 로 즉 차량으로 이동하는 경우를 가정하였다.

그림 4의 (a)와 (b)는 제안하는 교번스위칭 시공간 블록 코딩 알고리즘이 주파수공간 블록 코딩 알고리즘보다 성능이 우수함을 나타내고 있고, 그림 4의 (c)와 (d)는 제안하는 교번스위칭 시공간 블록 코딩 알고리즘이 주파수공간 블록 코딩 알고리즘보다 성능이 열악함을 보여주고 있다. 특히 FFT 크기 512, 도플러 주파수 400Hz인 (d)의 모의실험결과는 시공간 블록 코딩은 데이터 성능이 마루화 경향을 보임으로 주파수공간 블록 코딩 알고리즘보다 굉장히 열악함을 보여주고 있다. 이 결과는 FFT 크기가 커짐에 따라서 또한 도플러 주파수가 올라감에 따라 발생하는 알고리즘의 성능 저하가 하이브리드한 알고리즘의 사용으로 효과적으로 개선될 수 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 4가지 모의 실험 환경을 종합하여 보면, 어느 한 알고리즘이 모든 통신 환경에서 주도적으로 우수함을 보여주고 있지 않고, 각 통신 환경에 따라 우수함을 보이는 특징이 있으므로 이와 같은 경우에는 어느 한 알고리즘으로 고정하여 사용하는 통신 알고리즘보다는 통신 환경의 변화에 따라 알고리즘을 바꾸어 사용하는 하이브리드 알고리즘이 적절한 통신 방식이라고 생각된다. 특히 제안하는 하이브리드 교번 스위칭 알고리즘의 성능은 통신 환경이 시간대별로 어떻게 구성되어 있으나에 따라서 성능이 결정될 것이므로, 각각의 경우의 성능을 비교하여 제시하는 것이 효과적일 것이다.

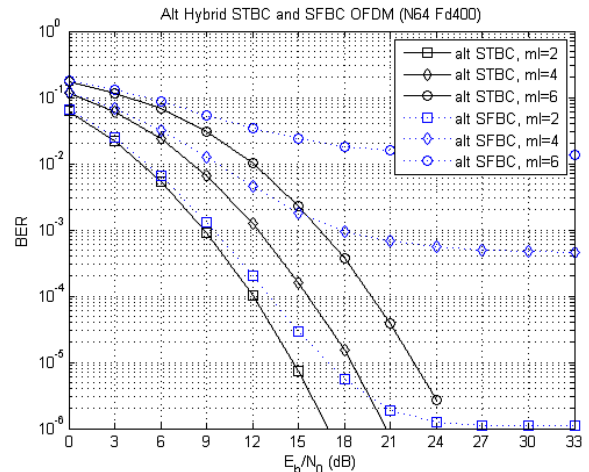
본 모의 실험에서는 전체적인 송신전력을 같게 하기 위하여 각 안테나로부터 전송되는 전력은 단일 전송 안테나의 경우의 이분의 일로 하였으며, 모의 실험 결과로는 QPSK, 16 QAM 그리고 64 QAM 의 경우에 비트오류율을 기준으로 제시하였다.

5. 결 론

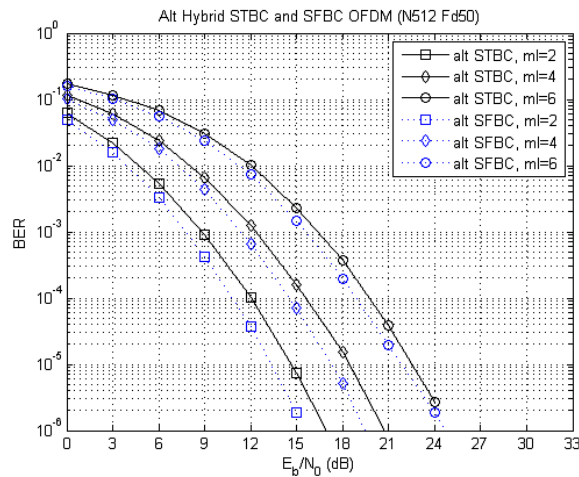
이 논문은 동적으로 변화하는 채널 환경에서 특히 오에프디엠 심볼 크기가 크고 도플러 주파수가 높은 채널 환경의 경우에 성능이 열화하는 교번 스위칭 시공간 블록코딩 알고



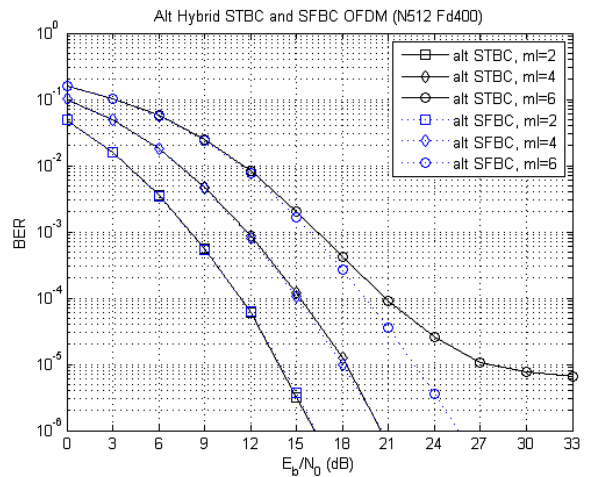
(a) FFT 크기 64, 도플러 주파수 50Hz



(b) FFT 크기 64, 도플러 주파수 400Hz



(c) FFT 크기 512, 도플러 주파수 64Hz



(d) FFT 크기 512, 도플러 주파수 400Hz

그림 4 제안하는 하이브리드 교번 스위칭 알고리즘인 시공간 및 주파수공간 블록 코딩 알고리즘 성능 비교
 Fig. 4 Performance comparison between Space Time and Space Frequency Block Coding of a proposed hybrid alternate time-switch algorithm

리즘의 단점을 주파수공간 블록 코딩 알고리즘으로 보완하여 하이브리드하게 사용하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 본 논문은 보행자 속도 이하에서 안정적으로 데이터 전송이 가능한 알고리즘과 또한 높은 속도로 움직이는 모바일 환경에서도 안정적으로 데이터를 송수신할 수 있는 알고리즘을 하이브리드하게 사용하는 교번 스위칭 알고리즘을 제시하였다.

References

[1] IEEE P802.11n™/D3.00, Part 11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications.
 [2] W. G. Jeon and H. K. Jung, "Hybrid SC/MRRC Technique for OFDM Systems," *IEICE Trans. Commun.* vol. E89-B, no. 3, pp. 1003-1006, March, 2006.

[3] N. Al-Dahir, "Single-Carrier Frequency-Domain Equalization for Space-Time Block-Coded Transmissions Over Frequency-Selective Fading Channels," *IEEE Commun. Letters*, vol. 5, no. 7, pp. 304-306, July, 2001.
 [4] H. K. Jung, "Alternate Time-Switched Space-Time Block Coding Technique for OFDM Systems," *IEICE Trans. Commun.* vol. E95-B, no. 9, pp. 1038-3041, Sept, 2012.
 [5] H. K. Jung, "Alternate Time-Switched Space-Frequency Block Coding Technique for OFDM Systems," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 12, no. 4, pp. 287-289, Dec, 2012.
 [6] H. K. Jung, "Alternate Time-Switched Multiplexed Space-Frequency Block Coding technique for Single-Carrier System," *Trans. of KIEEP*, vol. 65P, no. 4, pp. 316-320, Dec. 2016.

저 자 소 개



정 혁 구 (鄭 赫 九)

1985년 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1987년 연세대학교 공과대학 일반대학원 전기공학과 공학 석사 졸업. 2004년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 공학 박사 졸업. 1987년 - 1992년 (주)금성사 정보기기연구소 선임연구원, 1993년 - 2004년 전자부품연구원 수석연구원, 2004년 - 현재 한밭대학교 정보기술대학 정보통신공학과 교수