

IEEE802.11n 시스템에 적용 가능한 패킷 검출 알고리즘

정회원 정 혁 구*

A Packet Detection Algorithm for IEEE802.11n System

Hyeok-Koo Jung* *Regular Member*

요 약

본 논문은 IEEE802.11n 시스템의 패킷 검출에 필요한 알고리즘을 제안한다. IEEE802.11n 시스템은 다중 송수신 안테나 시스템으로서 IEEE802.11a 시스템에서 적용되는 알고리즘과 달리 다중 수신부에서 적용 가능한 결합 기법을 고려하여 적용하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 단일 송수신 안테나 시스템에서 사용하는 이중 슬라이딩 윈도우 알고리즘과 지연 후 상관 알고리즘을 다중 수신 안테나 결합 알고리즘과 하이브리드하게 결합하여 패킷 검출부 알고리즘을 제시하고, 각각의 성능을 11n 환경에서 모의 실험하고 그 결과를 제시하였다.

Key Words : MIMO, OFDM, Diversity, IEEE802.11n, Packet Detection

ABSTRACT

This paper proposes a packet detection algorithm for IEEE802.11n system. IEEE802.11n is a multiple input multiple output (MIMO) system and we have to consider several combining techniques which are used in multiple receive antenna system. In this paper, we propose a hybrid packet detection algorithm which combines double sliding window algorithm or delay and correlation algorithm, that is used in single input single output (SISO) system, and multiple receive antenna combining algorithms, and simulated their performances in 11n system environments and shows the results.

1. 서 론

무선 광대역 신호를 다수의 송수신 안테나 (Multiple Input Multiple Output: MIMO) 환경에서 전송할 경우에 다중경로 채널의 페이딩 왜곡에 보다 강건한 특성을 지니고 있는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서의 데이터 전송량 및 수신 BER 성능 향상기법이 활발히 연구되고 있다^{[1][2]}. 실내 무선 환경은 다중 경로 채널로 알려져 있으며, 그에 따라 데이터 속도가 최대 54Mbps 인 IEEE802.11a^[3]의 경우에는 OFDM을 주요 변조 방식으로 채택하고 있으며, IEEE802.11a의 속도를 늘리고자 하는 IEEE802.11n^[4]의 경우에

는 최대 송수신 안테나 갯수가 4개까지 최대 데이터 속도가 600Mbps 가 가능한 규격을 발표하였다. IEEE802.11n 은 대부분의 규격이 IEEE802.11a 의 규격을 참조로 하여 20MHz 의 주파수 대역을 40MHz 로 늘리고, 데이터 심볼의 갯수를 52개에서 56개로 늘리고, 송신 안테나 갯수를 4개까지 늘릴 수 있도록 설계되었으며, 보호 구간 역시 11a 보호 구간의 절반이 가능하도록 하여 데이터 전송속도가 더 높도록 설계하였다. 한편 IEEE802.11n의 경우에는 종래의 IEEE802.11a 와 호환성을 염두에 둔 HT MM (High Throughput Mixed Mode) 와 호환이 가능하도록 하기 위해 추가적인 프리앰블을 없앤 GF(Greenfield) 모드가 있다. 이 두 경우 모두 수신

※ 이 논문은 2007년 삼성전기 주식회사의 지원을 받아 수행된 연구임

* 한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부 전파공학과(junghk@hanbat.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-01-010, 접수일자 : 2008년 1월 4일, 최종논문접수일자 : 2008년 4월 11일

기의 입장에서는 수신 다이버시티 구조가 가능하므로 수신 다이버시티 구조 기반의 알고리즘을 설계하고 시험하여 성능을 향상시키는 방법이 연구될 필요가 있다. 특히 수신기 다이버시티 구조 중에서 동일 이득의 경우에는 신호만을 더하는 경우와 파라미터를 더하는 구조를 추가할 수 있으므로 이 경우를 모의 실험하여 가장 성능이 뛰어난 패킷 검출부 알고리즘을 제시하고 그 파라미터를 제시하도록 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 II장에서는 다중 수신 안테나에서 적용 가능한 결합 방법 및 단일 안테나 패킷 검출 알고리즘에 대해서 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 IEEE802.11n 시스템에 적용 가능한 다중 수신 안테나 패킷 검출 알고리즘을 기술한다. 또한 IV장에서는 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 모의 실험 결과 및 성능을 비교하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 다중 수신 안테나에서 적용가능한 결합 방법 및 단일 안테나 패킷 검출 알고리즘

2.1 다중 수신 안테나 알고리즘

다중 수신 안테나 알고리즘으로는 선택적 다이버시티와 동일 이득 다이버시티를 들 수 있다^[5]. 그림 1에 선택적 다이버시티 결합 방법의 블록다이어그램을 보여준다. 먼저 선택적 다이버시티는 여러 수신 안테나로부터 들어오는 수신 안테나 신호들의 SNR (Signal-to-Noise Ratio)을 계산하여 가장 SNR이 큰 경로의 신호를 사용하여 패킷 검출에 사용하는 것이다. 이 알고리즘의 경우에는 수신 SNR이 가장 큰 수신 안테나 신호를 사용함으로써 다중 경로 채널에서 심각한 신호 손실을 초래하는 페이딩 손실이 영향을 미칠 가능성이 큰 경로의 수신 신호를 제거함으로써 패킷 검출 알고리즘의 성능 열화에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 한

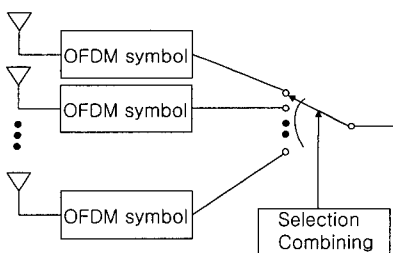


그림 1. 선택적 결합 방법

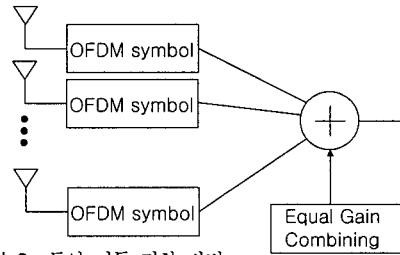


그림 2. 동일 이득 결합 방법

편 일반적으로는 각 경로의 SNR을 계산하는 것이 어려우므로 SNR 대신에 각 경로의 평균 전력을 계산하여 사용한다.

그림 2에 동일 이득 다이버시티 결합 방법의 블록 다이어그램을 보여준다. 동일 이득 다이버시티 결합 방법의 경우에는 단순히 가산기에서 신호를 더하는 방법(EGC-S: Equal Gain Combining with Signal Addition)이 있고, 각 수신 안테나에서 신호들로부터 알고리즘을 적용하여 알고리즘에서 추출된 파라미터를 더하는 방법(EGC-P: Equal Gain Combining with Parameter Addition)이 있을 수 있다.

2.2 단일 안테나 패킷 검출 알고리즘

IEEE802.11a 와 같은 단일 안테나 시스템 (SISO: Single Input Single Output)에서 사용되는 패킷 검출 알고리즘과 이 알고리즘을 다중 수신 안테나 시스템에서 적용하는 방법을 다음과 같이 기술한다^[6]. 그림 3은 이중 슬라이딩 윈도우 알고리즘(DSW : Double Sliding Window)의 설명도이다. 이 방법은 패킷이 없을 때 잡음으로만 구성된 신호가 들어오다가, 패킷이 시작되면 잡음과 신호가 함께 들어올 때의 차이점을 신호 전력으로 보고, 단일 윈도우 내의 신호 전력을 측정하고 있다가 전력이 어느 정도 이상이 되면 패킷이 검출되었다고 가정하는 에너지 검출 알고리즘의 문제점, 즉 무선 실내 채널의 좋고 나쁨에 따라 결정 변수를 안정적으로 설정할 수 없다는 문제를 극복하기 위하여, 두 개의 윈도우로 평균 전력 측정기를 구성하여 두 윈도우에서 검출된 전력 비를 가지고 패킷이 검출되었는지를 판단하는하는 검출기이다. 이

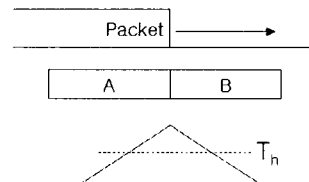


그림 3. 이중 슬라이딩 윈도우 알고리즘

방법은 단일 윈도우 전력 측정기에 비해서 페이딩 등의 영향으로 신호의 전력이 불균일할 때에도 안정되게 패킷을 검출할 수 있다는 장점이 있다. 이중 슬라이딩 알고리즘에서 각 윈도우에서 측정되는 전력 및 결정 변수 값은 다음과 같다.

$$a_n = \sum_{m=0}^{M-1} |r_{n-m}|^2 = \sum_{m=0}^{M-1} r_{n-m} r_{n-m}^* \quad (1)$$

$$b_n = \sum_{l=1}^L r_{n+l} r_{n+l}^* = \sum_{l=0}^{L-1} |r_{n+l}|^2 \quad (2)$$

$$m_n = \frac{a_n}{b_n} \quad (3)$$

여기서 r_n 은 수신신호로서 n 번째 데이터 샘플을 의미하며, a_n 과 b_n 은 각각 그림 3의 A, B 윈도우의 M, L 개의 샘플들의 전력 합을 의미하며, 결정 변수 m_n 은 a_n 을 b_n 으로 나눈 값으로 정의된다.

다음으로 패킷 검출 알고리즘은 그림 4의 지연 후 상관 알고리즘(DC: Delay and Correlation)이 있다. 지연 후 상관 알고리즘^[7]은 Schmidl 과 Cox 등이 제안한 알고리즘으로서 일정하게 반복되는 프리앰블이 있는 경우에 그 반복되는 주기만큼 신호를 지연시켜서 상관관계를 구하고 상관관계 계수를 구하는 시간 동안의 전력 합으로 정규화하여 패킷의 검출 여부를 판단하는 알고리즘이다.

IEEE802.11n 시스템은 이 알고리즘의 적용이 가능한데, 패킷의 시작부에 시간 및 반송과 주파수 동기를 위하여 일정하게 반복되는 짧은 훈련신호(STF: Short Training Field)와 긴 훈련 신호(LTF: Long Training Field)를 갖고 있다. 또한 IEEE802.11n 시스템은 동기부에서 동일한 신호가 송신 안테나로부터 송신될 때 빔이 특정 방향을 지향하는 것을 막기 위하여 송신 안테나 간의 전송되는 신호를 일정한 시간만큼 지연시키는 방법을 사용하고 있다. DC 알고리즘은 두 개의 슬라이딩 윈도우 C와 P를 사용하는데, C윈도우는 수신 신호와 수신 신호를 지연시킨 신호와의 상호상관을 의미한다. 여기서 지연 z^{-D} 는 프리앰블 반복 주기로서 GF 40MHz에서는 D 는 32 이므로 이것을 사용한다. P 윈도우는 상호상관 윈도우 동안의 수신 신호의 에너지를 계

산하는 윈도우로서 측정된 상호 상관값 C가 수신 에너지 간에 독립적이 되도록 하기 위하여 사용한다. c_n 값과 p_n 값은 각각 다음과 같이 계산된다.

$$c_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k} r_{n+k+D}^* \quad (4)$$

$$p_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* = \sum_{k=0}^{L-1} |r_{n+k+D}|^2 \quad (5)$$

또한 결정 변수 m_n 값은 다음과 같이 계산된다.

$$m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2} \quad (6)$$

IEEE802.11n 의 패킷 검출을 위해서는 여러 개의 수신 안테나에서의 신호들로부터 패킷 검출부 알고리즘을 수행하여 다중 수신 안테나 알고리즘에서 적용 가능한 결합 방법등을 시험하여 패킷 검출 확률이 가장 높은 알고리즘을 사용하여야 하므로, 위에서 기술한 DSW, DC 알고리즘을 SC(Selection Combining), EGC-S, EGC-P 의 결합방법과 조합하여 총 6가지 알고리즘을 IEEE802.11n 의 채널 환경에서 모의 실험하기로 한다.

III. 다중 수신 안테나 패킷 검출 알고리즘

3.1 이중 슬라이딩 윈도우-선택적 결합 알고리즘

이 방법은 수신 안테나 신호들의 전력을 측정하여 가장 평균 전력이 강한 안테나 신호만을 선택하여 그 신호에 이중 슬라이딩 윈도우 알고리즘을 적용하는 방법이다. 다중 수신 안테나 중에서 안테나 수신 전력이 가장 강한 안테나 신호를 DSW 알고리즘에 적용함으로써 패킷 검출 성능이 SISO 즉, IEEE802.11a의 경우보다 더 좋을 것으로 예상된다. 이 때 윈도우 A와 B의 평균 전력 a_n 과 b_n 및 결정 변수는 다음과 같이 계산된다. 여기에서 $r_{\alpha,\beta}$ 은 α 시간 인덱스, β 수신 안테나에서의 수신 신호를 의미하며, r' 은 총 R개의 수신 안테나 중에서 평균 전력이 가장 큰 수신 안테나를 의미한다.

$$a_n = \sum_{m=0}^{M-1} r_{n-m,r} r_{n-m,r'}^* = \sum_{m=0}^{M-1} |r_{n-m,r}|^2 \quad (7)$$

$$b_n = \sum_{l=0}^{L-1} r_{n+l,r} r_{n+l,r'}^* = \sum_{l=0}^{L-1} |r_{n+l,r'}|^2 \quad (8)$$

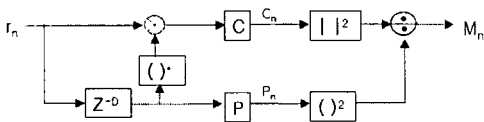


그림 4. 지연 후 상관 알고리즘

$$m_n = \frac{a_n}{b_n} \quad (9)$$

3.2 이중 슬라이딩 윈도우-동일이득 신호 결합 알고리즘

이 방법은 수신 안테나들로 부터 신호들을 모두 더한 신호에 이중 슬라이딩 윈도우 알고리즘을 적용하는 방법이다. 즉, 다중 수신 안테나 신호들의 단순 합으로 구성된 신호를 DSW 알고리즘에 적용하는 방법이다. 여기에서 R 은 모든 수신 안테나 개수를 의미한다.

$$a_n = \sum_{m=0}^{M-1} \left\{ \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n-m,r} \right] \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n-m,r}^* \right] \right\} \quad (10)$$

$$b_n = \sum_{l=0}^{L-1} \left\{ \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n+l,r} \right] \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n+l,r}^* \right] \right\} \quad (11)$$

$$m_n = \frac{a_n}{b_n} \quad (12)$$

3.3 이중 슬라이딩 윈도우-동일이득 파라미터 결합 알고리즘

이 방법은 다중 수신 안테나 신호들로부터 DSW 알고리즘의 파라미터 즉, 두 윈도우 내의 평균전력을 각각 계산하고, 계산한 평균전력을 윈도우 별로 더하여 결정 변수를 계산하는 알고리즘이다.

$$a_n = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{m=0}^{M-1} r_{n-m,r} r_{n-m,r}^* \quad (13)$$

$$b_n = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{l=0}^{L-1} r_{n+l,r} r_{n+l,r}^* \quad (14)$$

$$m_n = \frac{a_n}{b_n} \quad (15)$$

3.4 지연 후 상관 - 선택적 결합 알고리즘

이 방법은 지연 후 상관 알고리즘에 선택적 결합 알고리즘을 결합한 알고리즘이다. 즉, 수신 안테나 신호들의 전력을 측정하여 가장 평균 전력이 강한 안테나 신호만을 선택하여 그 신호에 지연 후 상관 알고리즘을 적용한다. 이 때 윈도우 A와 B의 평균 전력 a_n 과 b_n 및 결정 변수는 다음과 같다.

$$c_n = \sum_{l=0}^{L-1} r_{n+l,r} r_{n+l+D,r}^* \quad (16)$$

$$p_n = \sum_{l=0}^{L-1} |r_{n+l+D,r}|^2 \quad (17)$$

$$m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2} \quad (18)$$

3.5 지연 후 상관-동일이득 신호 결합 알고리즘

이 방법은 수신 안테나들로 부터 신호들을 모두 더한 신호에 지연 후 상관 알고리즘을 적용하는 방법이다. 즉, 다중 수신 안테나 신호들의 단순 합으로 구성된 신호를 DC 알고리즘에 적용하는 방법이다. 여기에서 R 은 모든 수신 안테나 개수를 의미한다.

$$c_n = \sum_{l=0}^{L-1} \left\{ \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n+l,r} \right] \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n+l+D,r}^* \right] \right\} \quad (19)$$

$$p_n = \sum_{l=0}^{L-1} \left\{ \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n+l+D,r} \right] \left[\sum_{r=0}^{R-1} r_{n+l+D,r}^* \right] \right\} \quad (20)$$

$$m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2} \quad (21)$$

3.6 지연 후 상관-동일이득 파라미터 결합 알고리즘

이 방법은 다중 수신 안테나 신호들로부터 DC 알고리즘의 파라미터 즉, 두 윈도우 내의 상호 상관과 평균전력을 각각 계산하고, 계산한 파라미터를 각 경로의 윈도우 별로 더하여 결정 변수를 계산한다.

$$c_n = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{l=0}^{L-1} r_{n+l,r} r_{n+l+D,r}^* \quad (22)$$

$$p_n = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{l=0}^{L-1} |r_{n+l+D,r}|^2 \quad (23)$$

$$m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2} \quad (24)$$

IV. 모의 실험 및 결과고찰

모의 실험은 IEEE802.11n 시스템의 Greenfield 패킷을 사용하였으며, 채널은 IEEE802.11n 채널 D를 사용하였다. 채널 D는 r.m.s. 지연 확산이 50ns이며, 클러스터는 3개로 구성되어 있으며, 최대 390ns의 텀을 갖는 채널로 구성되어 있다^[9]. 모의 실험에 사용한 채널계수는 IEEE802.11n TGn 규격^[10]에서 제안한 채널시뮬레이터를 사용하여 생성하였다.

송신 안테나는 2개 수신 안테나는 3개를 사용하였고 송신 안테나의 안테나 간 간격은 λ , 수신 안테나의 안테나 간 간격은 $\lambda/2$, 송신 안테나 반송파 주파수는 5.25GHz, 40MHz 주파수 대역, 송신 안테나 간 거리는 3m를 사용하였다. 제안하는 DSW/SC, DSW/EGC-S, DSW/EGC-P 그리고 DC/SC, DC/EGC-S, DC/EGC-P 알고리즘에 대해서

모의 실험하였고, DSW 의 경우에는 윈도우 크기가 16, 32, 48 인 경우를 실험하였으며, DC 의 경우에는 윈도우 크기가 32 인 경우에 대하여 실험하였다. 특히 DC 의 경우에는 반복되는 프리앰블의 길이만큼 지연해야 하므로 Greenfield에서 반복되는 32개 만큼 지연시켜 사용하였다. 모의 실험 결과는 그림 5에서 8까지 표시되어 있으며, Threshold value 는 결정변수 m_s 을 의미하는데, m_s 값 이상이 되는 시

간 인덱스가 패킷의 시작점에 해당하는지를 패킷 검출 성공여부를 계산한다. 모의 실험 결과를 보면, 그림 5는 DSW, 윈도우 크기 16 인 경우의 실험 결과로서 threshold value를 8, EGC-P 알고리즘을 적용하면, 패킷 검출 성공률이 100% 가 된다. 또한 그림 6의 DSW, 윈도우 크기 32 인 경우의 실험 결과로서 threshold value를 6, EGC-P 알고리즘을 적용하면, 패킷 검출 성공률이 100% 가 된다.

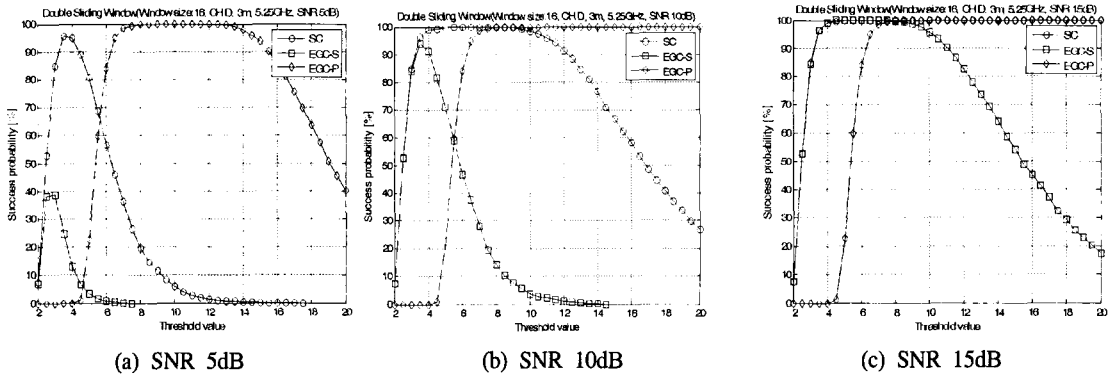


그림 5. DSW 윈도우 크기 16 성능

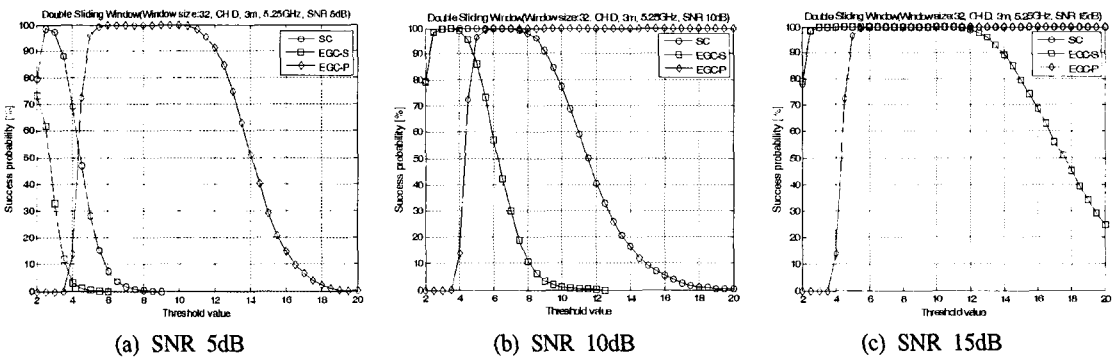


그림 6. DSW 윈도우 크기 32 성능

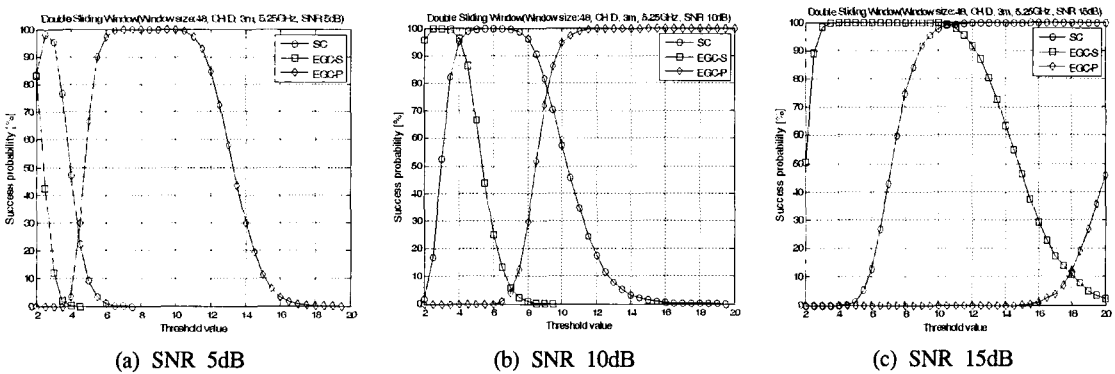


그림 7. DSW 윈도우 크기 48 성능

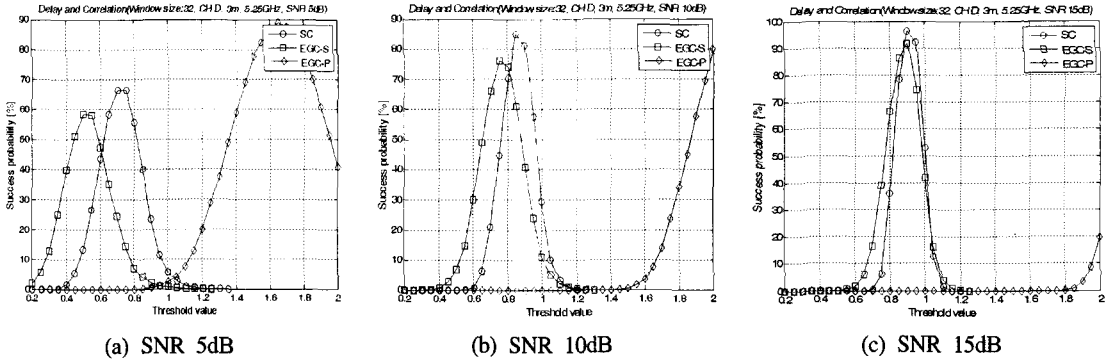


그림 8. DC 윈도우 크기 32 성능

V. 결론

본 논문은 IEEE802.11n 시스템의 패킷 검출에 필요한 알고리즘을 제안한 것으로서, 다중 수신 안테나 결합 알고리즘과 단일 송수신 시스템의 패킷 검출 알고리즘을 하이브리드하게 결합하여 사용하였다. 모의 실험 환경은 IEEE802.11n 채널 D를 사용하였으며, 이중 슬라이딩 윈도우 - 동일 이득 파라미터 결합 알고리즘을 윈도우 크기 32, 한계 값 6으로 적용하면, SNR 5, 10, 15dB 인 경우에 100%의 패킷 검출 성공률을 보였다.

감사의 글

이 논문에서 사용된 채널은 IEEE802.11n 규격에서 제시한 채널 모델로서, AAU-CSys', FUNDP-INFO's 와 IST project IST-2000-30148 I-METRA에서 개발한 채널 시뮬레이터^[10]를 사용하였습니다.

참고 문헌

[1] Y. Li, J. C. Chuang, and N. R. Sollenberger, "Transmitter diversity for OFDM systems and its impact on high-rate data wireless networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, no. 7, pp. 1233-1243, July 1999.

[2] R. A. Stirling-Gallacher and Z. Wang, "Improving performance of coherent coded OFDM systems using space time transmit diversity," *Electronics Letters*, vol.37, no.7, pp.457-458, Mar. 2001.

[3] *Supplement to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part11:*

Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: High-speed Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5GHz Band.

[4] *IEEE P802.11nTM/D2.00 Draft standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks- Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications:*

[5] William C. Jakes, Jr, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 1974.

[6] Juha Heiskala, John Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sams Publishing, 2003.

[7] T. M. Schmid, D. C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," *IEEE Trans. Commun.*, vol.45, no.12, pp.1613-1621, Dec. 1997.

[8] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

[9] "Tgn Channel Models," V. Erceg, et al., IEEE 802.11 document 11-03/0940r4, 11-03-0940-04-000n-tgn-channel-models.doc.

[10] http://www.info.fundp.ac.be/~lsc/Research/IEEE_80211_HTSG_CMSC/distribution_terms.html.

정혁구 (Hyeok-Koo Jung) 정희원
 현재 : 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 조교수
 한국통신학회논문지 제30권 제5C호 참조