

DFT를 활용한 순차적 스펙트럼 센싱 알고리즘

정희원 정희윤*, 임선민*, 송명선*

Sequential Spectrum Sensing Algorithm Utilizing DFT

Hoiyeon Jung*, Sun-min Lim*, Myung-sun Song* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 DFT를 활용한 순차적 스펙트럼 센싱 알고리즘을 제안한다. 기존의 FFT를 이용한 센싱 알고리즘의 경우 FFT의 특성상 한번에 모든 주파수 성분을 구하여 임계값과 비교하는 구조로 불필요한 계산량을 포함하고 있다. 제안하는 센싱 알고리즘에서는 DFT를 활용하여 우선순위에 따라서 주파수 성분을 순차적으로 구하고 이를 임계값과 비교하여 신호의 존재 여부를 판단한다. 제안하는 센싱 알고리즘은 기존의 FFT를 이용한 센싱 알고리즘과 유사한 검출 성능을 제공하면서 신호의 조기 검출 여부에 따라 스펙트럼 센싱에 필요한 계산량을 현저하게 줄일 수 있다.

Key Words : Cognitive Radio, Spectrum Sensing, DFT, FFT, Signal Detection

ABSTRACT

In this paper, we propose an sequential spectrum sensing algorithm utilizing DFT. The conventional sensing algorithm using FFT contains redundant computation due to the characteristic of FFT which computes all frequency components at one time. The proposed sensing algorithm utilizing DFT computes a frequency component once at a time according to the priority and decides presence of signal. The proposed sensing algorithm can provide similar detection performance to the conventional scheme while computations of the sensing process could be reduced significantly depends on an early detection of signal.

1. 서론

무선 통신 서비스에 대한 소비자들의 요구가 다양화됨에 따라서 수많은 통신 시스템들이 개발되었거나 개발중에 있다. 이같은 무선통신 시스템들은 일상 생활에 주목할만한 발전을 가져왔으나 제한되어 있는 자원인 주파수 스펙트럼의 대부분을 차지하였다. 주파수 자원은 제한적이기 때문에 현재 더 이상 새로운 무선 통신 서비스의 도입은 쉽지 않은 상황이며, 주파수 자원 고갈 문제는 무선통신 기술의 발전을 위하여 반드시 해결되어야 한다. 이러한 시점에서 주파수 자원 고갈 문제에 대한 기술적 해결책으로 CR (Cognitive

Radio) 기술이 각광을 받고 있다.

CR기술은 기존에 주파수 대역의 사용을 허가받은 1차 사용자가 해당 주파수 대역을 시간 및 공간적으로 사용하지 않을시에 이를 인지하여 활용하는 기술이다^[1]. CR기술을 도입할 경우 비활용중인 주파수 자원을 찾아 활용함으로써 주파수 사용 효율을 획기적으로 개선할 수 있다. 반면에 기존의 1차사용자에게 간섭을 주지 않기 위하여 아주 약한 세기의 1차 사용자 신호라도 감지하여 주파수대역 사용여부를 판단해낼 수 있어야 하며, 현재 CR시스템이 사용중인 채널에 1차사용자가 출현할 시에는 이를 즉시 인지하여 채널을 변경하여야 한다. 이와 같은 기술적 이슈에도

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가위원회의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음
[10035585, UHF TV White Space 이용 CR 통신기술 개발]

* 한국전자통신연구원 방송통신융합부문 인지무선연구팀(junghy@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2009-12-609 , 접수일자 : 2009년 12월 7일 , 최종논문접수일자 : 2010년 4월 2일

불구하고 미국의 FCC (Federal Communications Commission)는 주파수 자원 고갈 문제의 심각성을 인식하고 CR 기술의 활용가능성을 인정하여 2008년 11월 UHF(Ultra High Frequency) TV대역에서 CR기기의 사용을 허용하였고^[2] 이에 따라 CR시스템 관련 표준화 작업들이 속도를 내고 있다^[3,4].

FCC는 CR기기의 UHF TV대역 사용을 위하여 다수의 엄격한 허용 조건을 제시하였다. 그중 특징적인 주요 조건을 요약하자면, CR기기는 Geo-location 데이터 베이스에 접근할 수 있는 기능을 갖추거나 그러한 기기의 제어하에 있어야 한다. 한편, CR기기가 데이터 베이스에 접속할 수 없는 상황이나 데이터 베이스에 등록되지 않은 무선 마이크 등을 보호하기 위하여 스펙트럼 센싱 기능을 반드시 갖추어야 하며 이때의 검출 신호 레벨은 신호대역폭 대비 -114dBm이다. 미국 디지털 TV 표준인 ATSC(Advanced Television Systems Committee)신호를 기준으로 했을 경우, 신호의 대역폭이 6MHz이므로 이때의 센싱 레벨은 -114dBm/6MHz가 되며, 이를 SNR로 환산했을 경우 약 -20dB가 된다. 다시 말해 ATSC 신호의 경우 일반적인 잡음 레벨 이하의 신호까지도 검출해내야 한다. 이와 같은 요구조건을 만족시키기 위하여 다수의 스펙트럼 센싱 기술들이 개발되었다^{[3][5]}.

현재까지 개발된 스펙트럼 센싱 알고리즘 가운데 FCC의 센싱 레벨 요구 조건을 만족하는 알고리즘은 많지 않으며, 요구 조건을 만족하는 알고리즘들 중 일부는 복잡도가 너무 높거나 실제 구현이 어려운 문제가 있다. 이에 따라서 FFT(Fast Fourier Transform)연산을 통해 주파수 스펙트럼을 이용하여 신호를 검출하는 기술이 센싱 요구 조건을 만족하는 가운데 실제 필드테스트까지 완료되어 주목을 받고 있다^[5].

FFT를 이용한 센싱 방법의 경우 FFT의 특성상 수신 신호의 전체 대역폭에 대한 주파수 스펙트럼을 한번에 계산한다. 이와 같이 FFT를 이용하는 경우 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용했을때보다 전체 주파수 대역을 구하는데 필요한 계산량을 확연히 줄일 수 있다는 장점이 있다. 하지만 ATSC신호와 같은 신호의 검출에 있어서 주파수 스펙트럼 전체가 필요한 것이 아니라 파일럿 신호와 같이 해당 신호의 특성을 나타낼 수 있는 대역의 신호만이 필요하다. 이 경우 FFT를 통하여 주파수 스펙트럼 전체를 구하는 것은 불필요한 계산을 초래할 수 있으며 스펙트럼 센싱의 구현 용이성 향상을 위하여 이를 개선할 필요가 있다.

본 논문에서는 기존의 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘과 유사한 성능을 유지하면서 복잡도를

낮출 수 있는 새로운 센싱 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 수신 신호의 전체 주파수 성분 에 대하여 우선순위를 정하고 해당 순위에 따라서 DFT를 활용하여 주파수 성분을 하나씩 구하여 임계값과 비교한다. 제안하는 알고리즘의 우선순위 할당 과정에서 파일럿 신호와 같이 우리가 검출하고자하는 신호가 존재할 확률이 높은 주파수 대역에 검출 우선순위를 높게 설정할 경우 주파수 성분 전체를 계산할 필요없이 적은 계산량만으로도 신호를 조기에 검출해 낼 수 있다. 결과적으로 제안하는 알고리즘은 기존의 FFT를 이용한 센싱 방식과 유사한 신호 검출 성능을 유지하면서 센싱의 복잡도를 낮출 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘을 소개하고 3장에서는 제안하는 DFT를 활용한 순차적 센싱 알고리즘에 대해서 자세하게 설명한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 검증 및 분석을 4장에서 수행한 뒤 5장에서 본 논문의 결론을 짓고자 한다.

II. 기존의 FFT를 이용한 센싱 알고리즘

ATSC 신호의 스펙트럼을 그림 1에 도시하였다. ATSC신호의 주파수 대역폭은 하나의 TV채널과 동일한 6MHz이며 약 310kHz 부근에 pilot신호가 존재한다. 이 pilot신호는 ATSC신호의 전체적인 스펙트럼 보다 신호의 세기가 강하며 이에 따라 스펙트럼상에서 두드러지게 나타난다. 따라서 스펙트럼상에서 ATSC 스펙트럼 전체를 찾는 것보다는 상대적으로 세기가 강한 pilot신호를 검출하는 것이 효율적이며 FFT를 이용한 센싱도 이와 같은 방법을 이용한다.

아래의 그림 2는 FFT를 이용하여 ATSC 신호 검

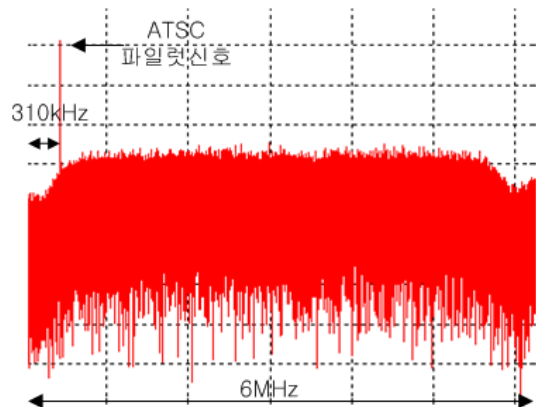


그림 1. ATSC 신호 스펙트럼

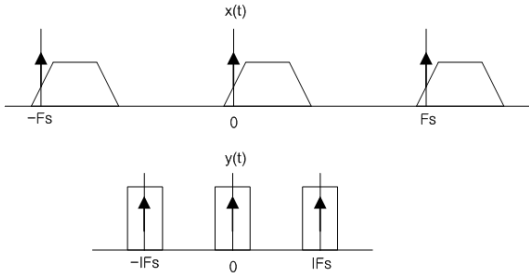


그림 2. FFT를 이용한 ATSC신호 센싱 과정

출을 위한 센싱 알고리즘의 연산 과정을 개념적으로 보여준다. 샘플링 주파수 F_s 로 수신된 신호를 pilot 신호의 위치가 기저대역으로 오도록 2.69MHz만큼 주파수 변환을 수행한다. ATSC 신호 검출에 있어서 pilot의 존재 여부를 통해 검출해내므로 pilot 주위의 주파수 대역만이 관심대역이며 나머지 주파수 대역들은 신호 검출에 사용하지 않는다. 따라서 pilot 신호를 중심으로 저역 통과 필터링 및 샘플링 주파수 변환을 수행한다.

상기와 같이 처리된 신호에 대하여 FFT를 이용하여 주파수 성분을 구한다. 이때의 주파수 성분 중에서 사전에 정의된 임계값 이상의 크기를 갖는 값이 하나라도 존재하게 되면 ATSC pilot으로 인지하여 해당 채널에 ATSC신호가 존재한다고 판정하게 된다. 한편, 이와 같은 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘에 있어서 FFT 계산의 특성상 입력 신호의 주파수 스펙트럼 전체를 구하게되므로 불필요한 주파수 성분까지 계산해야하는 문제점이 있으며 이에 대한 개선을 통하여 스펙트럼 센싱의 복잡도를 낮추어야 할 필요가 있다.

III. 제안하는 DFT를 이용한 센싱 알고리즘

본 논문에서는 기존의 FFT를 이용한 센싱 알고리즘의 불필요한 복잡도를 줄이기 위하여 DFT를 이용한 순차적 센싱 알고리즘을 제안한다. 기존의 FFT를 이용한 센싱 알고리즘에서는 FFT알고리즘의 특성상 입력신호의 전주파수 대역에 대한 성분을 모두 구해 ATSC 등의 신호 존재여부를 판단하였다. 하지만 이 같은 신호검출방식에 있어서 신호의 pilot검출 여부에 따라 신호의 존재 유무를 판단하며 이때 송신신호의 pilot 위치는 정해져 있다. 한편, 무선채널환경에서 주파수 오프셋 등의 영향에 따라 수신 신호의 pilot 위치는 조금씩 변하게 되나 일반적으로 그 변화량은 크지 않다. 그러므로 수신신호의 전체 주파수 성분을 계

산하여 신호 검출을 수행하는 것은 불필요한 계산을 초래할 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 전체 주파수 성분을 한번에 구하는 FFT 대신 한번의 연산에 주파수 성분 하나만을 계산하는 DFT를 활용하여 순차적으로 신호를 검출하는 방식의 스펙트럼 센싱 알고리즘을 제안한다.

크기가 N 인 푸리에 변환에 있어서 FFT는 한번의 연산과정으로 N 개의 주파수 성분값을 모두 구한다. 한편, DFT는 아래와 같은 수식으로 총 N 개의 주파수 성분들 중 하나씩 구해나가게 된다.

$$X(f) = \sum_{m=0}^{N-1} x(t) W_N^{fm} \quad (1)$$

여기서 W_N^{fm} 는 DFT계수이고 $x(t)$ 는 시간영역에서의 입력신호이다. DFT는 상기와 같은 식으로 N 개의 주파수 성분을 하나씩 구하게 된다. 한편, 이와 같이 N 개의 주파수 성분을 하나씩 구해나가는 과정에서 우리는 임의의 순서대로 주파수 성분을 구해나갈 수 있다. 이때 N 개의 주파수 성분 중 ATSC의 pilot이 존재할 확률이 높은 주파수 성분부터 계산을 시작하면 pilot신호를 조기에 검출할 수 있으며 불필요한 주파수 성분을 구할 필요가 없게 되어 이를 통해 센싱의 복잡도를 낮출 수 있다.

아래의 그림3은 제안하는 방식을 적용한 경우에 DFT를 이용하여 주파수 성분을 구하는 순서의 일례를 도시하였다. 기존의 DFT를 이용하여 주파수 성분을 구하는 방법의 경우 특정 순서없이 낮은 주파수대역에서 높은 주파수대역 등의 임의의 순서대로 주파수 성분을 구하였으나 제안하는 방식에서는 사전에 정의된 ATSC의 pilot이 존재할 확률이 높은 순서대로 주파수 성분을 구하게 된다.

그림 4는 제안하는 DFT를 이용한 센싱 방법의 순서도를 나타낸다. 먼저 N 개의 주파수 대역 성분에 대하여 사전에 정의된 방법에 따라서 검출 순서를 결정한다. 결정된 순서에 따라서 검출순서가 첫 번째인 주파수 성분을 구하고 그 크기를 센싱 임계값과 비교한다. 임계값보다 해당 주파수 성분의 크기가 크면 신호

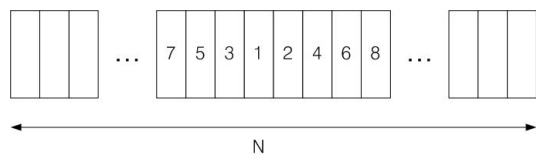


그림 3. 주파수 성분 계산의 우선순위 할당

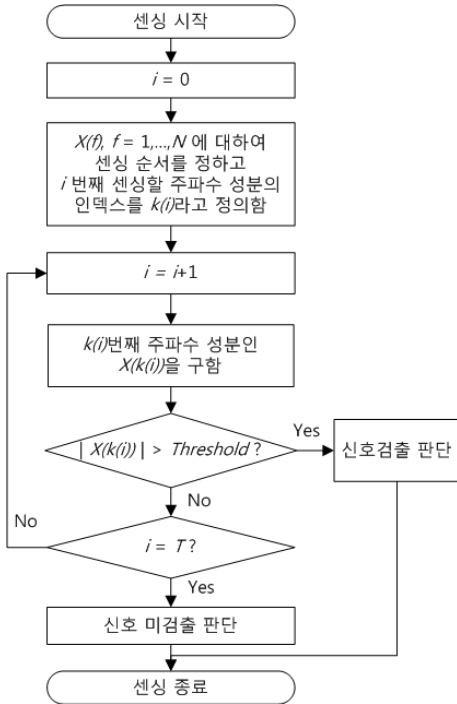


그림 4. 제안하는 센싱 알고리즘 순서도

가 존재한다고 판단하고 센싱을 종료한다. 임계값보다 크기가 작으면, 다음 순서의 주파수 성분을 구하여 동일한 과정을 반복한다.

한편, 이와같이 DFT를 이용하여 주파수 성분을 구하는 경우, 모든 주파수 대역 성분을 DFT를 이용하여 구하게되면 FFT와 비교했을 때 상대적으로 큰 복잡도를 가지게 된다. 따라서 제안하는 DFT를 이용한 센싱의 최대 복잡도를 제한하기 위하여 전체 주파수 성분 중 우선순위를 갖는 일부 주파수 성분만을 구하도록 한다. 이를 위하여 상기의 반복적인 센싱 횟수를 제한하는 파라미터 T를 설정하여 반복적으로 주파수 성분을 구하는 연산을 최대 T번으로 제한한다. 이때 파라미터 T의 최대값은 N이 되며, T를 작게 설정할수록 주파수 오프셋이 존재하는 신호를 검출하지 못할 확률이 높아지지만 센싱의 복잡도는 낮아지게 된다. 반면, T를 크게 설정하게 되면 주파수 오프셋이 큰 신호도 검출해 낼 수 있는 반면 센싱의 계산량이 증가하는 단점을 가진다.

V. 성능 분석

본 절에서는 기존의 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 방식과 본 논문에서 제안하는 DFT를 이용한 스펙트

럼 센싱 알고리즘의 신호 검출 성능 분석 및 복잡도 비교를 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 성능 분석을 위하여 IEEE 802.22 표준화 그룹에서 제안된 시뮬레이션 모델 및 12개의 ATSC 실측 채널 데이터를 사용하였다^[6,7]. 해당 채널 데이터는 미국 워싱턴의 실내/외 환경에서 실제 측정된 ATSC 신호 데이터로 실험 환경을 그대로 반영한 값이므로 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 보장한다. 한편, 미국에서는 2009년 6월부터 기존의 아날로그 TV방식인 NTSC(National Television System Committee)가 ATSC로 전환되었으므로 상기의 12개의 채널 데이터에서 인접 채널에 NTSC신호가 존재하는 환경의 채널 데이터는 실험대상에서 제외하였다.

상기의 채널 데이터는 하나의 TV 채널 대역폭인 6MHz 대역폭을 가지며 21.52MHz의 샘플링 주파수를 갖는다. ATSC신호의 pilot신호 부근의 주파수 성분만을 이용하기 위하여 pilot을 중심으로 40kHz의 대역 신호만을 주파수 변환 및 저역 통과 필터를 이용하여 추출하였고 샘플링 주파수는 53.8kHz로 변환하였다. 스펙트럼 센싱 수행을 위한 센싱 데이터 수신 시간은 5ms로 설정하였다. 5ms간 수신된 데이터에 대하여 FFT 크기를 256으로 설정하여 FFT 및 DFT를 수행하였다. 한편, 앞절에서 설명한 바와 같이 제안하는 DFT를 이용한 센싱의 복잡도의 증가를 제한하기 위하여 DFT를 이용하여 주파수 성분을 구하는 횟수를 8회로 제한하였다. 이에 따라서 DFT를 이용한 센싱 방법의 경우 우선순위 8이외의 주파수 성분에 ATSC pilot이 존재하는 경우 신호를 검출해내지 못하게 된다. 한편, 주파수 성분 계산의 우선순위를 부여하는 방법으로는 주파수 오프셋이 존재하지 않는 환경에서의 본래 ATSC pilot 신호의 위치를 1순위로 이를 중심으로 퍼져나가는 방식을 사용하였다. 그림 3을 기준으로 설명하자면 1번이 주파수 오프셋이 존재하지 않는 환경에서의 ATSC 신호의 pilot이 존재하는 위치이며 이를 기준으로 좌우로 이동해감에 따라 우선순위가 후순위로 배정되는 내림차순방식을 사용하였다.

그림 5는 기존의 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 기법과 제안하는 DFT를 이용한 스펙트럼 센싱 기법의 검출 확률 성능을 보여준다. 각각의 기법에 대하여 오경보 확률 10% 및 1%에 대한 검출 확률 성능을 도시하였다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 제안하는 DFT를 이용한 순차적 스펙트럼 센싱 알고리즘은 FFT를 이용한 센싱 방식과 거의 유사한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

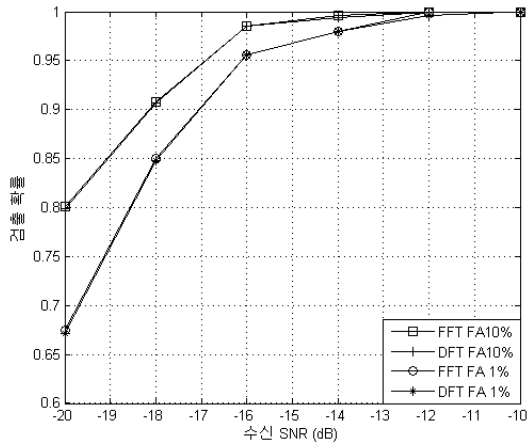


그림 5. 센싱 검출 확률 비교

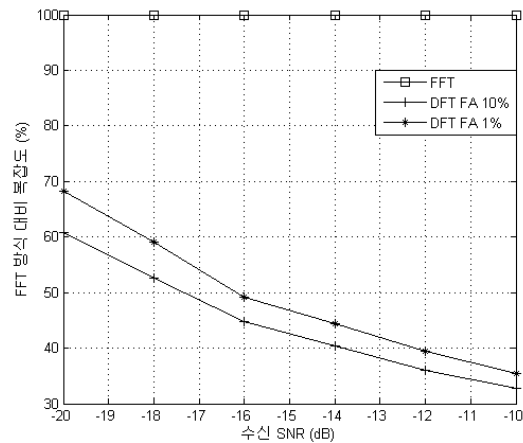


그림 6. 센싱 알고리즘 복잡도 비교

그림 6은 기존의 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 방식 대비 제안하는 DFT를 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘에 소요되는 상대적인 복잡도를 나타내었다. 일반적으로 크기가 N 인 FFT의 수행을 위해서는 $O(N \log N)$ 의 연산량을 필요로 한다[8]. 한편 동일한 FFT 크기에 대하여 DFT를 이용하여 하나의 주파수 성분을 구하기 위해서는 $O(N)$ 의 연산량이 요구된다. 따라서 M 개의 주파수 성분을 DFT를 통하여 구하기 위해서는 $O(MN)$ 의 연산량이 필요하며 DFT를 이용하여 모든 주파수 성분을 구하기 위해서는 $O(N^2)$ 의 계산량이 요구된다[8].

그림 6에서 알 수 있듯이 제안하는 DFT를 이용한 센싱 알고리즘은 기존 FFT를 이용한 센싱 알고리즘보다 현저히 낮은 연산량을 요구함을 확인할 수 있다. FFT의 경우 오경보 확률에 따른 임계값의 변화와 상

관없이 모든 주파수 성분을 계산하기 때문에 수신 SNR에 관계없이 동일한 복잡도를 가진다. 반면, 제안하는 DFT를 이용한 센싱 알고리즘은 주파수 성분을 순차적으로 계산하며 계산한 주파수 성분의 크기가 임계값보다 큰 경우 신호가 존재한다고 판단하고 센싱과정을 조기에 종료하기 때문에 신호의 검출 여부에 따라서 복잡도가 달라지게 된다. 수신 신호의 SNR이 상대적으로 높은 경우에는 신호가 쉽게 검출되어 센싱과정을 일찍 종료하게 되므로 센싱의 계산량이 현저하게 줄어들게 된다. 한편, 신호의 수신 SNR이 낮은 경우에는 신호의 검출이 이루어지지 않아 주파수 성분의 계산 제한수인 T 개까지의 연산을 수행하는 경우가 많기 때문에 수신 SNR이 낮아질수록 알고리즘의 계산량은 늘어나게 된다.

좀더 명확한 비교를 위하여 기존 FFT를 이용한 방식과 제안하는 DFT를 이용한 센싱 방식의 검출 성능 및 상대적 복잡도를 표 1 및 표 2에 정리하였다. 수신 SNR이 -10dB 일 경우 제안하는 DFT를 이용한 센싱 알고리즘은 기존의 FFT 방식대비 약 30~40% 정도의 복잡도를 가진다. 수신 SNR이 낮아짐에 따라서 복잡도는 서서히 증가하게 된다. 수신 SNR -20dB 환경에서 오경보확률 10%의 경우는 FFT대비 60% 정도의 복잡도를 가지게 되며 오경보확률 1%의 경우 FFT대비 70% 정도의 복잡도를 가지게 된다. 수신 SNR에 따라서 차이가 있으나 기존 FFT를 이용한 방식대비 복잡도가 현저히 감소함을 확인할 수 있다.

표 1. 오경보확률 1% 기준 센싱 성능 분석

수신 SNR(dB)	-20	-18	-16	-14	-12	-10
성능지표(%)						
FFT 검출확률	0.674	0.850	0.956	0.980	1.000	1.000
DFT 검출확률	0.671	0.847	0.955	0.979	0.997	1.000
DFT 복잡도 / FFT 복잡도	68.2	59.2	49.2	44.5	39.4	35.5

표 2. 오경보확률 10% 기준 센싱 성능 분석

수신 SNR(dB)	-20	-18	-16	-14	-12	-10
성능지표(%)						
FFT 검출확률	0.800	0.908	0.985	0.996	1.000	1.000
DFT 검출확률	0.798	0.906	0.984	0.993	0.999	1.000
DFT 복잡도 / FFT 복잡도	60.9	52.7	44.8	40.4	36.1	32.7

VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 FFT를 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘의 불필요한 복잡도를 극복하고자 DFT를 이용한 순차적 센싱 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘에서는 수신 신호의 전체 대역을 한번에 구하는 FFT와 달리 우선순위가 높은 주파수 성분부터 DFT를 이용하여 구하고 신호 존재여부를 판단한다. 이러한 순차적 연산과정에서 신호 검출시 센싱 과정의 조기 종료를 통하여 스펙트럼 센싱에 소요되는 연산량을 현저히 줄일 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 성능 검증결과 제안하는 알고리즘은 기존 방식과 유사한 신호 검출 성능을 유지하는 동시에 복잡도를 최대 65%정도까지 감소시킬 수 있었다. 제안하는 센싱 알고리즘의 활용을 통하여 스펙트럼 센싱 과정의 구현 부담을 경감시켜 CR시스템의 활성화에 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] FCC, ET Docket No. 08-260, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order," Nov. 2008.
- [2] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Communications, Vol.6, No.4, pp.13-18, Aug. 1999.
- [3] IEEE 802.22, "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands," IEEE 802.22-D2.0, July 2009.
- [4] ECMA TC48-TG1, "MAC and PHY for Operation in TV White Space," ECMA 1st Draft Standard, Oct. 2009.
- [5] C. Carlos and et al., "Spectrum Sensing for Dynamic Spectrum Access of TV Bands," In proc. of CrownCom, pp.225-233, Aug. 2007.
- [6] S. Shellhammer et al., "Spectrum Sensing Simulation Model," IEEE802.22-06/0028r9, Aug. 2006.
- [7] S. Shellhammer et al., "Initial Signal

Processing of Captured DTV Signals for Evaluation of Detection Algorithms," IEEE 802.22-06/0158r3, Sep. 2006.

- [8] A. Oppenheim et al., Discrete-time Signal Processing, Second Edition, 1999.

정 회 윤 (Hoiyoon Jung)



정회원

2006년 2월 한국정보통신대학교 공학부 학사
 2008년 2월 한국정보통신대학교 공학 석사
 2008년 2월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
 <관심분야> 인지 무선 기술, 스펙트럼 센싱, 다중 안테나 시스템

임 선 민 (Sun-min Lim)



정회원

2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과
 2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과 석사
 2010년 2월 충남대학교 정보통신공학과 박사
 2006년 9월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
 <관심분야> 무선 인지 기술, 스펙트럼 센싱, 비선형 시스템의 선형화

송 명 선 (Myung-sun Song)



정회원

1984년 2월 충남대학교 전자공학과 학사
 1986년 2월 충남대학교 전자공학과 석사
 1986년 1월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
 <관심분야> 무선 인지 기술, 밀리미터파 통신, 무선 통신 시스템