

이종 인지 라디오 네트워크에서 협력 스펙트럼 센싱 및 동적 스펙트럼 결정 방법

김 남 선*

A Cooperative Spectrum Sensing and Dynamic Spectrum Decision Methods for Heterogeneous Cognitive Radio Network

Nam-sun Kim*

요 약

인지 라디오가 무선통신을 효과적으로 수행하기 위해서, 가장 좋은 주파수 대역을 얻기 위해 수행해야 할 중요한 기능은 스펙트럼을 검출하고 결정하는 것이다. 이러한 것들은 서로 다른 요구조건을 갖는 사용자들이나 서로 다른 특성들을 갖는 채널들이 존재하는 이종 네트워크에서 더욱 나빠진다. 본 연구의 주요한 목적은 이종 인지 무선 네트워크에서 새로운 스펙트럼 결정 알고리즘을 설계하고 분석한다. 이것을 위해, 우선 인지 사용자들 그들이 요구하는 서비스 품질(QoS)에 따라 서로 다른 트래픽 클래스들로 분류한다. 중앙 집중형 제어 형태로 동작하는 그룹단위의 협력 스펙트럼 검출은 하나의 트래픽 클래스내의 사용자들에 의해서 검출과정이 수행되며, 이 센싱 결과들은 나머지 트래픽 사용자들과 공유하는 형태이다. 다음은 사용자 요구조건들과 검출된 스펙트럼 채널 특성들에 따라 최적의 사용 가능한 대역을 선택하기 위해 계층 분석법(AHP)을 사용한다. 또한 스펙트럼 결정 알고리즘으로 효용함수를 사용한다. 시뮬레이션 분석 결과로서, 제안된 시스템은 가장 좋은 이용 가능한 스펙트럼 채널들을 효율적으로 선택할 수 있음을 보여주며, 시스템 구성의 복잡성을 감소시켜 줄 수 있음을 보여준다.

Key Words : Cognitive Radio, Spectrum Decision, Heterogeneous Network, AHP

ABSTRACT

Spectrum sensing and spectrum decision are the main functions that cognitive radios (CRs) have to perform in order to get the best available spectrum band for the establishment of a wireless communication. These problems are worsened in the presence of users with different demands and spectrum channels with different properties in a heterogeneous network. The primary objective in this work is to design and simulate a new spectrum decision algorithm for heterogeneous cognitive radio system. To this end, first, we consider all cognitive users are separated into different traffic classes according to their Quality of Service (QoS). The cognitive users within one traffic class perform spectrum sensing in centralized group-based cooperative spectrum sensing system and the users of different traffic classes share the sensing results. Second, we propose a novel use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) to optimally select available bands according to user requirements and detected spectrum channel characteristics (SCC). In this paper, utility function is used as spectrum decision algorithm. Simulation results demonstrate that the proposed method shows can effectively select the best available spectrum channels with a low complexity.

* 주저자 : 대전대학교 통신공학과, kimns@daejin.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2011-12-634, 접수일자 : 2011년 12월 27일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 3일

I. 서 론

인지 무선(CR, Cognitive Radio) 기술은 일시적으로 사용하지 않고 있는 주파수 대역을 찾아 환경에 맞게 통신 방식, 주파수 대역폭 등을 능동적으로 판단하여 통신함으로써 한정적인 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있게 하는 기술이다. 모든 CR 기술은 네 가지의 기본적인 기능들, 즉 스펙트럼 검출(spectrum sensing), 스펙트럼 관리(spectrum management), 스펙트럼 이동성(spectrum mobility) 그리고 스펙트럼 공유(spectrum sharing) 기능을 제공할 수 있어야 한다^[1]. 이러한 CR 기술 중 가장 중요한 요소는 스펙트럼 검출 기능이다. 스펙트럼 검출과정을 통해서 바람직한 결정을 하기 위한 스펙트럼 대역의 통계적인 정보가 모아 진다^[2]. 이렇게 모아진 정보들을 분석한 후 CR은 스펙트럼 홀(hole)을 찾아 주 사용자(PU, primary user)에게 간섭을 주지 않는 범위에서 CR 사용자가 전송할 수 있는 가장 좋은 채널을 선택할 수 있게 한다.

스펙트럼 검출에서 문제제되는 점들 중에 하나는 페이딩 등으로 인해서 스펙트럼 검출 성능이 저하된다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 방법 중 하나가 협력(cooperative) 스펙트럼 검출방법이다. 이 방법을 통해 비협력 스펙트럼 검출 방식의 성능을 개선할 수 있지만, CR 사용자들의 수가 많아지면 검출 정보 교환을 위한 시스템 오버헤드(overhead)가 커지는 문제점을 갖게 된다. 그래서 제어채널의 혼잡과 검출 지연을 줄이기 위해 클러스터(cluster) 단위 또는 그룹(group) 단위의 협력 스펙트럼 검출 방법들이 적용되고 있다^[3]. 이러한 방법들은 CR 사용자들이 효과적으로 기회적인 스펙트럼 이용을 가능하게 하지만, 이중 환경 CR 네트워크에서는 또 다른 중요한 문제가 있다^[4]. 이중 CR 네트워크는 넓은 주파수 범위에서 이용할 수 있는 다수의 주파수 대역들을 갖는다. 이러한 대역들은 서로 다른 특성들을 가지며 다양한 서비스 요구조건들을 갖는 응용들을 지원하는 것이 필요하다. 그러므로 스펙트럼 검출을 통해서 이용 가능한 주파수 대역들이 발견된다면, CR 네트워크들은 응용들의 요구조건들에 따라 적절한 스펙트럼 대역들을 선택할 필요가 있다. 이러한 과정을 스펙트럼 결정(spectrum decision)이라 한다. 스펙트럼을 결정하는 것은 CR 사용자가 후보의 채널들 중에서 자신의 데이터를 전송할 수 있는 최적의 채널을 선택하는 것이다. 본 논문에서는 스펙트럼 결정 알고리즘으로

효용함수(utility function)를 사용한다. 효용함수는 각 사용자가 서비스에 대한 만족의 정도를 나타내 주며, 바람직한 성능을 실현하기 위해서 필요한 중요한 함수이다. 가산적 효용함수를 위한 가중치(weight)는 계층 분석법(AHP)을 이용하여 평가하며 가장 큰 효용함수 값을 갖는 스펙트럼 채널이 선택된다^[5]. 스펙트럼 결정 알고리즘은 유전자 알고리즘, 게임 이론, 규칙기반 추론, 퍼지 논리 및 신경망 등이 있다^[6]. 또한 가장 좋은 채널을 선택하기 위한 방법의 연구 중에서, 문헌 [7]은 CR 사용자들의 서비스 품질을 고려하는 스펙트럼 결정 알고리즘을 제시했다. 여기서 스펙트럼의 결정은 스펙트럼 대역의 통계적 특성들을 기초로 하였다. 문헌 [8]에서는 사용자들에 의해서 만들어진 간섭 또는 부하를 기초로 하였으며 문헌 [9]에서는 AHP 방법을 이용하여 채널을 선택하기 위한 스펙트럼 결정 방법을 제안하였다. 본 연구의 모체가 되는 문헌 [10]은 스펙트럼 브로커(broker) 구조를 갖는 협력 스펙트럼 검출 시스템에서 스펙트럼 결정 알고리즘을 제시 하였지만, 스펙트럼 선택을 위해 사용자의 요구조건만을 고려하였다.

본 연구에서는 중앙 집중형 구조를 갖는 그룹단위의 협력 스펙트럼 검출 시스템에서는 하나의 트래픽 클래스내의 CR 사용자들이 협력 스펙트럼 검출을 수행하며 수행한 검출 결과를 나머지 클래스의 사용자들과 공유하는 형태로 운용한다. 이중 CR 네트워크에서 사용자의 요구조건 뿐만 아니라 스펙트럼 검출과정에서 얻어진 스펙트럼 채널의 통계적인 특성(SCC)들을 고려하여 최적의 채널을 선택하는 방법을 제시한다. 최적의 스펙트럼 채널을 얻기 위한 결정 알고리즘으로 효용 함수를 사용할 것이다. 본 연구의 목적은 스펙트럼 결정에 있어서, 결정 알고리즘 들을 비교하는 것이 아니라 사용자들의 요구조건과 스펙트럼 채널 특성들의 영향을 보는 것이다.

II. 협력 스펙트럼 검출 시스템

협력 스펙트럼 검출 방법은 검출의 신뢰성을 향상 시키는 방법으로, 중앙 집중형(centralized) 구조 또는 분산형(decentralized) 구조로 구성할 수 있다. 중앙 집중형 협력 스펙트럼 검출 기법에서, CR 사용자들은 스펙트럼을 독립적으로 검출하고 검출 정보를 기지국(BS)으로 전달한다. 기지국은 검출 정보를 모아 사용 가능한 스펙트럼을 식별하여 이 정보

를 CR 사용자들에게 전달하는 형태이다. 중앙 집중형 구조에서, 기지국은 CR 사용자들에 의한 스펙트럼 사용을 제어한다. 기지국은 각 CR 사용자들에 의해서 검출된 검출 데이터를 종합하여 이용 가능한 채널과 같은 정보를 모아서 빈 스펙트럼의 최종 사용을 결정한다. 기지국은 수집된 모든 정보에 대한 것을 데이터베이스로 갖고 있다.

그림 1과 같은 N 명의 CR 사용자들(CUs), 한 명의 주 사용자(PU)와 하나의 기지국(BS)로 구성된 이중 CR 네트워크를 고려한다. 해석의 편리성을 위하여 각 CR 사용자들은 에너지 검출방식을 사용하며 주 사용자는 관찰 기간 동안 상태를 바꾸지 않는 것으로 한다. 또한 N 명의 CR 사용자들은 Streaming, Conversational, Interactive 중 하나의 트래픽 클래스를 가지며, 각 클래스의 사용자 수는 각각 $K_1, K_2, K_3 (N=K_1+K_2+K_3)$ 이다. 그리고 각 CR 사용자들은 기지국의 반경 내에 독립적이며 균일하게 분포되어 있다고 가정한다.

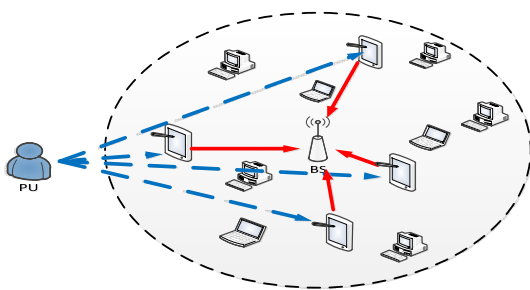


그림 1. 그룹 단위 협력 스펙트럼 검출 시스템
Fig. 1. Group-based cooperative spectrum sensing system

협력 사용자들을 갖는 CR 네트워크에서 융합법칙(fusion rule)로 OR 법칙을 사용한 경우, 협력 스펙트럼 검출 시스템의 오 경보(false alarm) 확률과 검출(detection)확률은 각각 식 (1)과 (2)와 같다^[3].

$$Q_f = 1 - (1 - P_f)^x, \quad x = K_1, K_2, \text{ 또는 } K_3 \quad (1)$$

$$Q_d = 1 - (1 - P_d)^x, \quad x = K_1, K_2, \text{ 또는 } K_3 \quad (2)$$

여기서 P_f 와 P_d 는 각각 개별 CR 사용자의 에너지 검출기 오경보 확률과 검출확률이다. 그림 2는 AWGN 환경 하에서 협력 사용자 수에 따른 수신기 동작 특성(ROC)를 보여주고 있다^[11]. 여기서 각 사용자의 평균 SNR은 5dB이며, 한 검출 기간(sensing period) 내에 샘플들의 수는 3이다. 협력

사용자 수가 증가함에 따라 협력 시스템의 검출 성능은 개별 검출 시스템보다 좋아 짐을 알 수 있다.

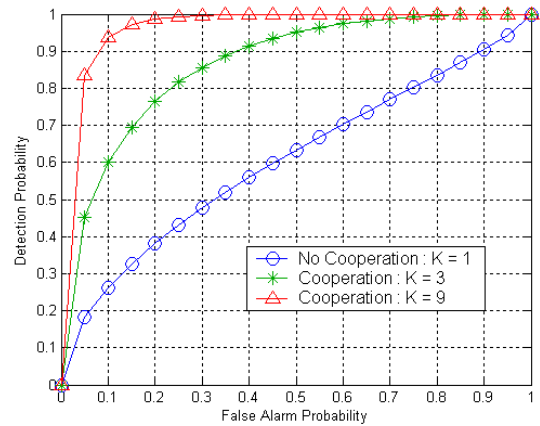


그림 2. 협력 사용자 수에 따른 ROC 커브
Fig. 2. ROC curves according to the number of cooperative users

III. 제안된 스펙트럼 결정 알고리즘

스펙트럼 검출을 통해서 이용 가능한 스펙트럼들을 찾았다면, CR 사용자들은 사용자들의 서비스 품질(QoS) 및 스펙트럼 채널 특성(SCC)들에 따라 가장 적합한 스펙트럼을 선택해야 한다. QoS는 지연(delay), 지터(jitter), 대역폭(Bandwidth) 과 신뢰도(reliability)등의 여러 요소로 평가 될 수 있으며, 이러한 요소들의 요구조건은 응용분야에 따라 다르다.

3.1 트래픽 클래스(Traffic Classes)

사용자의 형태(user type)에 따라 사용가능한 최적의 스펙트럼을 찾기 위해서는, 우선 가능한 사용자의 형태들을 정의해야 한다. 사용자의 형태들은 트래픽 클래스들로서 3GPP에서는 4가지의 트래픽 클래스로 정의하고 있다^[12]. 즉, (i) 통화 클래스, (ii) 스트리밍 클래스 (iii) 인터랙티브 클래스 (iv) 백그라운드 클래스이다. 본 연구에서는 이 트래픽 클래스 중 3가지를 고려할 것이다. CR 사용자가 스펙트럼이 필요할 때, 사용자의 형태를 포함한 스펙트럼 할당의 요구를 기지국에 전송하면, 기지국은 이 정보를 바탕으로 적합한 스펙트럼을 선택할 것이다.

3.2 스펙트럼 채널 특성(SCC, Spectrum Channel Characteristics)

동적 채널 할당이란 기지국에서 CR 사용자로부터 일정 주기마다 피드백(feedback) 받은 채널 상태 정보를 바탕으로 사용자에게 좋은 채널을 할당함으

로서 시스템의 처리량 및 주파수 효율이 향상되는 장점을 갖는 기법이다. 사용할 수 있는 많은 채널들을 평가하여 CR 사용자들의 모든 효율성을 최대로 하기 위한 자원 할당이 요구 되는데, 이러한 자원 할당을 지원하기 위해 스펙트럼 검출로 얻어진 통계적인 정보를 사용한다^[13]. 중앙 집중형 CR 네트워크에서 협력스펙트럼 검출을 위해 협력 사용자들은 Cognitive 기지국과 협력해야 하며, 기지국은 CR 사용자들에 의한 스펙트럼 사용을 제어한다. CR 사용자들은 스펙트럼을 독립적으로 검출하고 검출 정보를 기지국(BS)으로 전달한다. 전송된 정보를 바탕으로 기지국이 갖고 있는 통계적인 채널 정보들은 데이터베이스에 저장되는데, 이러한 정보들은 대역폭, 링크 지연, 지터, 신호대 간섭 잡음비(SINR), 비용(cost) 그리고 링크 오류율(BER) 등이 있다^[10]. 기지국은 전송된 정보를 종합하여 이용 가능한 스펙트럼을 식별하고, 이러한 정보를 다른 CR 사용자에게도 전송하며, 직접 CR 트래픽을 직접 제어하기도 한다. 즉, 많은 후보 채널들 중에서 가장 좋은 채널을 선택하기 위한 결정은 채널의 이용 가능성도 뿐만 아니라 채널들의 통계적 특성에 의존해야 한다. 본 연구에서, 기지국은 한 트래픽 클래스에 의한 협력 스펙트럼 검출을 통해 주변 영역에 있는 모든 채널들의 수집된 정보를 갖고 있는 것으로 가정하며 이것을 SCC라 한다. 본 연구에서는 채널 결정을 요구하는 사용자의 트래픽 클래스 정보와 SCC의 정보^[14]가 스펙트럼 채널을 결정하기 위해서 사용될 것이다.

3.3 스펙트럼 결정 알고리즘(Spectrum Decision Algorithm)

스펙트럼 결정 알고리즘으로 효용함수를 사용한다. 효용함수는 경쟁적 상황에서 합리적 의사 결정을 위한 정량적 기준을 제공한다. 효용함수를 스펙트럼 결정 알고리즘에 적용하기 전에 각 선택요소(alternative)에 대해 트래픽 클래스와 SCC의 가중치를 계산해야 한다. 각 평가요소(criteria)들의 상대적 중요도를 나타내는 가중치는 계층 분석법(AHP)을 이용하여 결정할 수 있다. AHP는 다기준 의사 결정(Multiple-Criteria Decision Making) 문제에서 평가 기준과 선택요소를 계층적인 구조로 파악하여 최적의 요소를 선택하는 방법이다^[15].

본 연구에서는 최적의 스펙트럼을 선택하기 위해 각 클래스에 3가지의 평가기준, 대역폭(BW), 지연(D)과 지터(J)만을 사용했다. AHP의 9점 척도를 사

용하여 각 트래픽 클래스(TC)들의 AHP 비교 행렬들은 표 1~3과 같으며^[5] 스펙트럼 채널 특성에 대한 AHP 행렬은 표 4와 같다^[6]. 여기서 CRa (consistency ratio)는 일관성비율을 나타낸다.

표 1. 스트리밍 클래스의 AHP 행렬
Table 1. AHP matrix for streaming class

TC-A	BW	D	J	Weights	CRa
BW	1	3	5	0.6333	0.033
D	1/3	1	3	0.2605	
J	1/5	1/3	1	0.1062	

표 2. 통화 클래스의 AHP 행렬
Table 2. AHP matrix for conversational class

TC-B	BW	D	J	Weights	CRa
BW	1	1/3	1/5	0.1062	0.03
D	3	1	1/3	0.2605	
J	5	3	1	0.6333	

표 3. 인터랙티브 클래스의 AHP 행렬
Table 3. AHP matrix for interactive class

TC-C	BW	D	J	Weights	CRa
BW	1	1/3	1/3	0.4268	약 0
D	3	1	1	0.1429	
J	5	1	1	0.4268	

표 4. SCC의 AHP 행렬
Table 4. AHP matrix for SCC

SCC	BW	D	J	Weights	CRa
BW	1	3	1	0.4667	약 0
D	1/3	1	1/3	0.0667	
J	1	3	1	0.4667	

그림 3은 제안한 스펙트럼 결정 알고리즘의 계층적 구조를 보여준다. 계층의 가장 상위레벨은 연구의 목표(goal)가 되며, 두 번째 및 세 번째 레벨은 목표를 이루기 위한 평가 요소들을, 최하위 레벨은 선택할 수 있는 채널들을 나타내는 선택요소들을 나타내고 있다. 표 1~3에 따라 트래픽 클래스(TC)는 3가지 형태이며, 각 트래픽 클래스들은 각각 BW, Delay 그리고 Jitter의 3가지의 평가 요소들을 갖는다. 두 번째 레벨에서, 트래픽 클래스와 스펙트럼 검출을 통해서 얻어진 SCC가 목표를 얻는데 동일한 기여를 한다고 가정한다. 이것은 표 5에서 보듯이 AHP의 9점 척도에서 “1”에 해당하며 둘 다 동일한 가중치(0.5)를 갖는다. 한 예로, 여러 트래픽 클래스가 존재 하는 상황에서 스트리밍 트래픽 클래스(TC-A)의 CR 사용자가 스펙트럼이 필요한 경우를 생각해 보자. 사용자가 속한 트래픽 정보가 기지국으로 전송되면, 기지국은 그림 3의 알고리즘을 통해서 스펙트럼을 선택하게 된다.

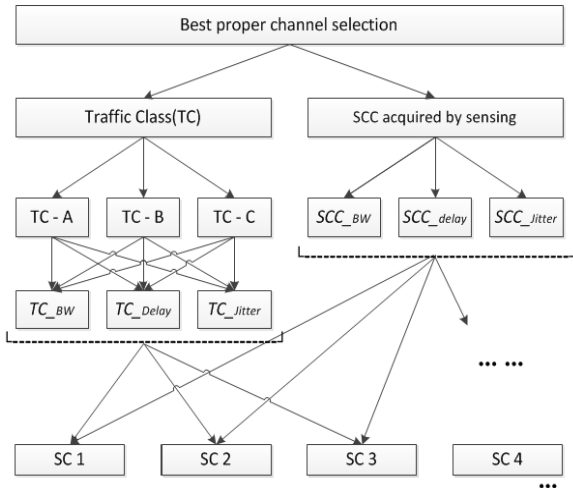


그림 3. 스펙트럼 결정 알고리즘의 계층 구조
Fig. 3. Hierarchy for spectrum decision algorithm

이 경우는 표 6과 같이 TC-A가 TC-B나 TC-C 보다 절대적으로 우위(9점 척도의 “9”)에 있는 것으로 해석한다. 이러한 경우, TC-B와 TC-C 클래스도 가중치를 갖게 되며 이것이 TC-A 클래스 사용자에게 채널 할당에 좋지 않은 영향을 줄 것이다. 물론 TC-B와 TC-C 클래스의 가중치를 0으로 하면 TC-A 클래스 사용자만의 특성에 대한 결과를 얻을 수 있겠지만 AHP의 9점 척도를 이용해서는 그렇게 할 수 없으므로, 이것은 스트리밍 트래픽 클래스 특성에 맞는 최선의 스펙트럼을 선택하기 위한 방법이라 할 수 있다. 그림 4는 스트리밍 트래픽 클래스(TC-A)의 한 CR 사용자가 스펙트럼이 필요한 경우 제안된 알고리즘의 구조의 예를 보이고 있다.

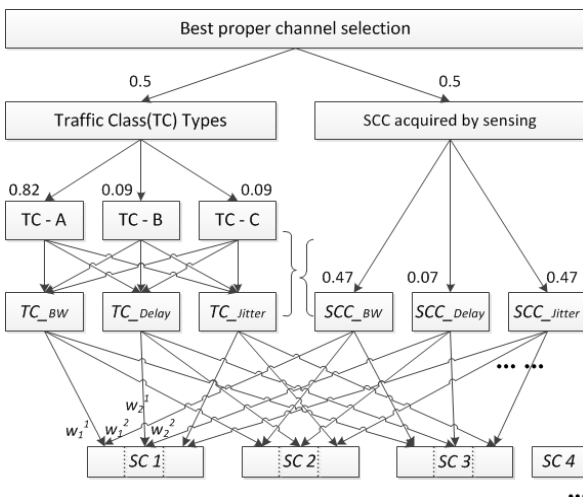


그림 4. 예제를 위한 계층 구조
Fig. 4. Hierarchy for example

표 5. 두 번째 레벨의 AHP 행렬
Table 5. AHP matrix for second level

Goal	TC	SCC	Weights
TC	1	1	0.5
SCC	1	1	0.5

표 6. 예제를 위한 AHP 행렬
Table 6. AHP matrix for example

TC	TC-A	TC-B	TC-C	Weights
TC-A	1	9	9	0.8182
TC-B	1/9	1	1	0.0909
TC-C	1/9	1	1	0.0909

본 연구에서는 결정 알고리즘으로 효용함수를 이용하는데, 효용함수는 만족도를 나타내기 위해 각 스펙트럼 채널(SC)에 적용된다. i 번째 스펙트럼 채널(SC_i)은 그림 5와 같은 3개의 속성들(attributes)로 이루어진 구조를 갖는다.

Bandwidth SC_{i1}	Delay SC_{i2}	Jitter SC_{i3}
------------------------	--------------------	---------------------

그림 5. i 번째 스펙트럼 채널 구조
Fig. 5. i th spectrum channel structure

각 평가요소들의 가중치 곱으로 나타내는 효용함수는 최종 선택을 할 수 있게 한다. 효용함수의 일반적인 형태로서, i 번째 스펙트럼 채널(SC_i)에서의 이득(profit), P_i 은 식 (3)과 같다.

$$P_i = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y SC_{ix} \times W_x^y \quad (3)$$

여기서 SC_{ix} 는 SC_i 의 x 번째 속성을 나타내며, Y 는 x 번째 속성에 영향을 미치는 가중치의 수이다. 또한 많은 속성들을 함께 결합시키기 위해 이러한 속성들을 정규화 하는 것이 필요하다. 즉, 효용함수에 정확히 적용하기 위해, 각 채널의 속성들을 정규화한 값들이 사용된다⁹⁾. 여기서 대역폭과 같은 이득(benefit) 속성과 지연 및 지터와 같은 손실(cost) 속성들은 각각 식 (4)와 식 (5)로 정규화 한다.

$$N[SC_{i1}] = SC_{i1} / SC_1^{\max} \quad (4)$$

$$N[SC_{ix}] = SC_x^{\min} / SC_{ix}, \quad x = 2, 3 \quad (5)$$

여기서 SC_x^{\max} 와 SC_x^{\min} 은 x 번째 속성의 최대값과 최소값을 각각 나타낸다. 한 예로서 P_1 을 구해보면, 식 (3)은 식 (6)과 같이 표시된다.

$$P_1 = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y M[SC_{1x}] \times W_x^y$$

$$= \{M[SC_{11}] \times (w_1^1 + w_1^2)\} + \{M[SC_{12}] \times (w_2^1 + w_2^2)\}$$

$$+ \{M[SC_{13}] \times (w_3^1 + w_3^2)\} \quad (6)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 시스템에서, 특별한 경우와 일반적인 경우로 나누어서 최적의 스펙트럼 채널이 선택되어지는 결과와 그 의미를 살펴본다. 여기서 특별한 경우라는 것의 의미는 다음과 같다. 채널 선택을 위해서 많은 평가 요소들이 반영되는데, 트래픽 클래스가 많거나 임의의 한 트래픽 클래스에서도 BW, D, J 등의 요소들의 가중치가 비슷하면 결과를 쉽게 판단 할 수 없으므로, 여러 가지 시나리오를 통해서 최적의 채널이 선택되는지를 알아보기 위하여, 임의의 요소가 다른 요소들보다 절대적으로 우위(9점 척도의 "9")에 있는 것으로 가정한다는 뜻이다. 즉, TC-A에서는 대역폭이 지연이나 지터보다 절대적으로 중요(BW>D=J)한 형태로 가정한다. 또한 TC-B와 TC-C 클래스는 각각 D>BW=JB, J>BW=D 으로 가정한다. 이렇게 함으로서 제안된 시스템이 후보 채널 중 최적의 채널을 선택할 수 있는지를 알 수 있을 것이다.

표 7에서 특별한 경우 분석 할 3가지의 시나리오를 표시하였다. 여기서 'equal weight'는 모두 동일한 가중치(9점 척도의"1")를 갖는다는 뜻이다. 또한 사용자의 요구조건과 SCC에 의해서 스펙트럼 채널이 선택되어 지는 결과를 보기위해 서로 다른 특성을 갖는 6개의 스펙트럼 채널들이 표 8에 주어졌다.

표 7. 시뮬레이션 시나리오
Table 7. Simulation scenario

시나리오	Traffic Class Types									SSC		
	TC-A			TC-B			TC-C			BW	D	J
	BW	D	J	BW	D	J	BW	D	J			
	모두 Equal weight											
1	A,B,C 중 한 클래스만 존재									무시		
2	A,B,C 중 한 클래스만 존재									존재(Equal weight)		
3	모든 트래픽 클래스 동시 존재									존재(Equal weight)		

표 8. 이용 가능한 스펙트럼 채널 리스트
Table 8. Available spectrum channel list

Spectrum channel (SC)	Characteristics		
	Bandwidth[kb/s]	Delay[msec]	Jitter[msec]
SC1	2048	70	13
SC2	256	5	7
SC3	128	40	11
SC4	256	40	3
SC5	512	15	9
SC6	1024	30	7

그림 6-8에 시나리오에 따른 분석 결과들을 표시 했다. 그림 6에서 TC-A의 한 CR 사용자가 채널의 할당을 요구 했을 때, 기지국은 SC1을 할당해주는 것을 나타낸다. 이러한 결과는 상기의 특별한 조건에서, TC-A 클래스는 대역폭이 다른 평가요소보다 절대적으로 중요한 것으로 가정했기 때문이며, 표 8에서 보듯이, 모든 채널 중에서 대역폭의 비중이 가장 큰 채널은 SC1이기 때문에 조건에 맞는 최적의 채널이 선택되었음을 알 수 있다. 또한 모든 시나리오가 같은 결과가 됨을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 7과 그림 8은 각각 TC-B와 TC-C 클래스의 사용자가 채널 할당을 요구하는 형태로 SC2와 SC4가 할당된 것을 알 수 있다. 이것은 SC2는 지연요소가 가장 작고, SC4는 지터 요소가 가장 작은 채널이므로 각 트래픽의 요구조건에 맞게 가장 좋은 채널이 선택되었다는 것을 알 수 있다.

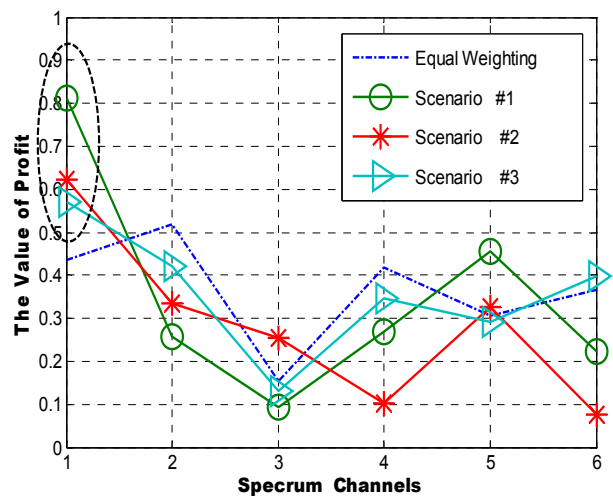


그림 6. 스트리밍 클래스(TC-A)의 스펙트럼 채널 선택
Fig. 6. Spectrum channel selection for TC-A

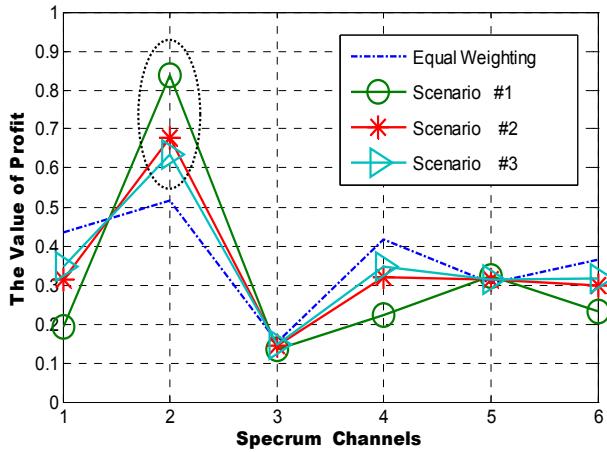


그림 7. 통화 클래스(TC-B)의 스펙트럼 채널 선택
Fig. 7. Spectrum channel selection for TC-B

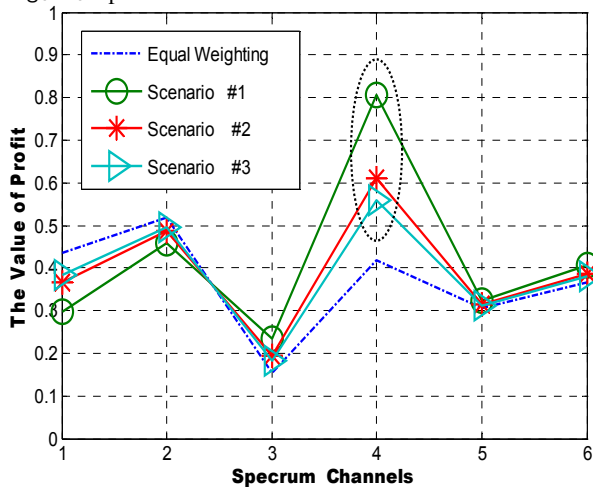


그림 8. 인터랙티브 클래스(TC-C)의 스펙트럼 채널 선택
Fig. 8. Spectrum channel selection for TC-C

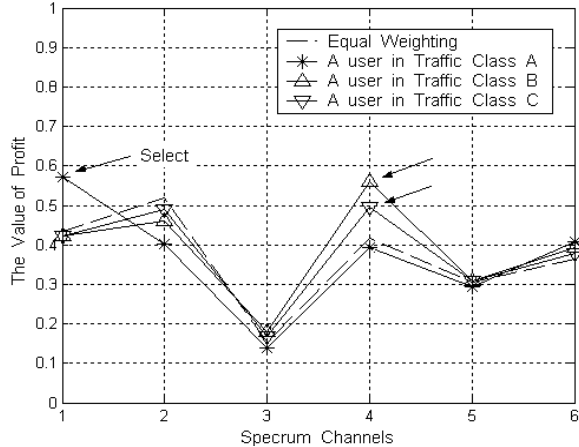


그림 9. 실제적인 경우의 스펙트럼 채널 선택
Fig. 9. Spectrum channel selection in practical case

다음은 일반적인 경우에서 제안된 시스템을 분석한다. 일반적인 경우는 3개의 트래픽 클래스들은 서로 다른 서비스 품질의 요구조건을 가지며 기지국

이 스펙트럼 검출과정에서 얻어진 스펙트럼 채널에 대한 통계적 정보를 이용한다는 것이다. 이러한 정보들은 표 1~4에서 제시된 값들을 이용한다. 그림 9에서 스트리밍 클래스의 한 CR 사용자에게 SC1이 할당되었다. 그러나 통화 클래스나 인터랙티브 클래스 사용자에게는 동일하게 SC4가 할당되었다. 여기서 인터랙티브 사용자의 이득이 통화 클래스의 이득보다 적으므로 적절한 알고리즘을 이용하여 인터랙티브 사용자의 스펙트럼을 SC2로 바꾸는 것이 필요하다. 표 9는 성능비교를 위해 문헌 [10]에서 제안한 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 이득 값을 비교하였다. 비교를 위해서 문헌 [10]의 알고리즘에 가중치만을 부여하여 제안된 시스템과 비교하였다. 표 9에서, 제안된 시스템의 스펙트럼 채널 선택 결과는 그림 9와 동일하며 두 알고리즘에 대한 결과 값은 유사한 것을 알 수 있다. 문헌 [10]에서는 SCC를 고려하지 않았으며, 트래픽 클래스 종류에 상관없이 하나의 스펙트럼 채널을 선택하는 구조이지만 제안된 알고리즘은 각 클래스가 요구하는 QoS에 따라 각 클래스에 적합한 채널을 선택하는 알고리즘으로 그 우수성을 갖는다고 할 수 있다.

표 9. 기존 알고리즘과 제안된 방법과의 비교
Table 9. Comparison between the conventional method and the proposed one

트래픽클래스	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	
TC-A	기존	0.604	0.422	0.118	0.285	0.288	0.395
	제안	0.571	0.401	0.139	0.392	0.293	0.408
TC-B	기존	0.308	0.538	0.1990	0.622	0.320	0.368
	제안	0.423	0.459	0.180	0.561	0.309	0.395
TC-C	기존	0.309	0.600	0.175	0.491	0.318	0.337
	제안	0.423	0.490	0.168	0.495	0.308	0.379

* 기존(알고리즘), 제안된(알고리즘)

V. 결론

본 연구의 목적은 이중 CR 시스템에서 새로운 스펙트럼 할당 알고리즘을 설계하고 분석했다. 스펙트럼 검출 정보를 교환하기 위해, 모든 CR 사용자들을 그들이 갖는 QoS에 따라 트래픽 클래스로 분류하였다. 협력 스펙트럼 검출은 한 트래픽 클래스가 수행하고 다른 트래픽 클래스 사용자들은 이 정보를 공유하는 것으로 했다. 또한 사용자 형태와 스펙트럼 채널 특성에 맞는 스펙트럼 결정 알고리즘을 제시했다. 효용함수를 이용하였으며, 각 평가기

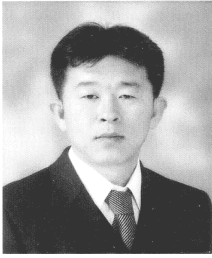
준의 가중치를 얻기 위해 계층분석법을 사용했다. 시뮬레이션 결과 제안된 알고리즘은 사용자의 요구 조건과 SCC에 따라 가장 좋은 채널을 선택할 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 제안된 방식을 통해서 더 적은 복잡성을 갖는 효율적인 시스템 구성이 가능하다는 것을 알 수 있다.

본 연구의 목적은 알고리즘들의 비교가 아니라 제안된 알고리즘이 최적의 스펙트럼을 선택할 수 있는가를 보는 것이다. 그러므로 최적의 스펙트럼이 선택된다면 그것을 효율적으로 할당해 줄 수 있는 방법의 연구가 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz et al., "NeXt Generation/ Dynamic Spectrum Access/ Cognitive Radio Wireless Networks : A Survey," *Comp. Networks J.*, pp. 2127 - 59, Sept. 2006.
- [2] Q. Zhao, B.M. Sadler, "A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 79 - 89, May 2007.
- [3] C. Guo, T. Peng, S. Xu, H. Wang, and W. Wang, "Cooperative Spectrum Sensing with Cluster-based Architecture in Cognitive Radio Networks," *Proc. of the IEEE VTC*, pp. 1-5, April 2009.
- [4] W. Y. Lee and I. F. Akyildiz, "A Spectrum Decision Framework for Cognitive Radio Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 2, pp. 161-174, February 2011.
- [5] E. Navarro and V. Wong, "Comparison between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks," *Proc. VTC 06-Spring*, pp. 947 -951, 2006.
- [6] C. Doerr, D.C. Sicker, and D. Grunwald, "Experiences Implementing Cognitive Radio Control Algorithms", *Proc. GLOBECOM*, pp. 4045-4050, 2007
- [7] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Kaushik R. Chowdhury, "CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks", *Ad Hoc Networks*, Vol. 7, No. 5., pp. 810-836. July 2009.
- [8] L. Marin and L. Giupponi, "Performance evaluation of spectrum decision schemes for a cognitive ad-hoc network," *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 1-5, 2008.
- [9] E. Rodriguez-Colina et al., "Multiple Attribute Dynamic Spectrum Decision Making for Cognitive Radio Networks," *Proc. WOCN*, pp. 1-5, May 2011.
- [10] M. Kaplan and F. Buzluca, "A dynamic spectrum decision scheme for heterogeneous cognitive radio networks." *Proceedings of ISCIS*, pp. 697-702, 2009.
- [11] H. Wang, G. Noh, D. Kim, S. Kim, and D. Hong, "Advanced Sensing Techniques of Energy Detection in Cognitive Radios," *Journal of Communications and Networks*, vol. 12, no. 1. pp.19-29, February 2010.
- [12] W. Song and W. Zhuang, "Resource allocation for conversational, streaming, and interactive services in cellular/WLAN interworking," *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 4785 -4789, Nov. 2007.
- [13] X. W. Zhou and A. C. K. Soong, "Probability-based resource allocation with diverse QoS support in cognitive radio networks," *Proc. IEEE 2009 Global Telecommunications Conference*, Honolulu, Hawaii, November 2009.
- [14] R.V. Ramirez and V.M. Ramos R, "A vertical handoff decision algorithm which considers the uncertainty during the decision making process," *WOCN2009*, pp. 1 - 6. April, 2009.
- [15] Saaty, T.L., *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA. 1990.
- [16] S. Dhar, R. Bera and A. Ray, "Design and Simulation of Vertical Handover Algorithm for Vehicular Communication", *International J. of Engineering Science and Technology*, vol 2, No. 10, October 2010.

김 남 선 (Nam-sun Kim)



1991년 8월 한양대학교 전자통신공학과 공학석사

1995년 8월 한양대학교 전자통신공학과 공학박사

1996년 3월~현재 대진대학교 통신공학과 교수

<관심분야> 멀티미디어 이동통신, 인지 통신

신, 인지 통신