주파수 공유를 고려한 전파자원 이용효율 측정 방안

Measurement of Spectrum Utilization Efficiency Considering Spectrum Sharing

김태한*, 박현민**, 성기원***

한국전자통신연구원 창의미래연구소*, 배재대학교 경영학과**, 스웨덴 왕립공대 통신시스템학과***

Taehan Kim(taehan@etri.re.kr)*, Hyun-Min Park(hmpark12@pcu.ac.kr)**, Ki Won Sung(sungkw@kth.se)***

요약

전파자원을 이용한 다양한 무선 서비스에 대한 급증하는 수요는 더 많은 주파수 자원의 확보를 요구한다. 그러나 주파수 자원의 희소성과 고대역 주파수 발굴의 어려움을 감안하면, 늘어나는 전파자원의 수요를 충족시킬 수 있는 유일한 방법은 기존 전파자원의 이용 효율을 극대화시키는 것이다. 이러한 상황에서, 전파자원에 대한 초과 수요를 해결하기 위한 다양한 주파수 공유 방안이 최근 활발히 논의되고 있다. 이와 더불어, 주파수 공유의 실효성 검증과 무선시스템의 성과 예측을 위해, 주파수 이용효율 측정의 중요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 전파자원 이용효율의 합리적 측정 방법을 제안한다. 국제전기통신연합(ITU) 권고안을 토대로 전파자원 이용효율의 다양한 측정 방법을 고찰하고, 대기행렬모형을 이용한 전파자원 이용효율 측정의 대안 모델을 제시한다. 이를 통해, 주파수 공유 시 전파자원의 이용효율이 어느 정도증대되는지를 합리적으로 예측할 수 있다.

■ 중심어: | 전파자원 | 이용효율 | 주파수 공유 | 대기행렬모형 |

Abstract

The increasing demand for various mobile telecommunication services calls for more spectrum resource. Considering the scarcity of spectrum resource and the difficulties of development of higher frequency band, the unique way to meet the increasing demand is to maximize the utilization efficiency of the current spectrum resource. Under the circumstances, various spectrum sharing plans have been in recent studies to dissolve the excess spectrum demand. In addition, spectrum efficiency measurement methods become more important to verify the effectiveness of spectrum sharing and estimate the performance of various wireless systems. Our research addresses measurement methods to estimate spectrum utilization efficiency in a rational manner. Based on ITU-R recommendations, various measuring methods for spectrum utilization efficiency are reviewed. Then a queueing based approach is newly presented as alternatives to the current models. By using the proposed model, the spectrum efficiency increment with the adoption of spectrum sharing plans can be estimated more properly.

■ keyword: | Spectrum Resource | Utilization Efficiency | Spectrum Sharing | Queueing Model |

접수일자: 2014년 05월 29일 심사완료일: 2014년 07월 01일

수정일자 : 2014년 07월 01일 교신저자 : 박현민, e-mail : hmpark12@pcu.ac.kr

^{*} 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음(모바일 빅 뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술 개발).

I. 서 론

이동 및 무선 통신 서비스는 스마트폰과 타블렛 컴퓨 터 등의 보급 증대에 힘입어 기록적인 성장세를 지속하 고 있다. Cisco에서 발행하는 무선 트래픽 예측 보고서 에 따르면, 2013년 1년 동안 무선 트래픽은 81% 성장했 으며, 앞으로도 이러한 성장세가 계속 유지되어 향후 5 년간 11배 증가할 것으로 예상된다[6]. 그러나 전파자원 의 희소성을 고려했을 때, 늘어나는 무선 통신 서비스 를 위한 추가적인 주파수 확보는 더욱 어려워질 전망이 다. 이는 통신망 구축에 필수적인 매크로셀에 적합한 대부분의 주파수 대역이 이미 통신용으로 할당되어, 무 선 서비스의 확대 성장에 대응할 수 있는 추가 전파자 원의 공급에는 한계가 존재하기 때문이다. 이러한 무선 통신의 수요 증가와 주파수 공급의 한계에 따라 전파자 원의 효율적 활용에 대한 중요성이 강조되고 있다. 범 세계적으로 희소자원인 주파수의 효율적 이용은 장기 적인 통신 산업 육성에 매우 중요한 요인으로 인식되고 있으며, 새로운 주파수 대역의 발굴과 함께 주파수의 효율적인 이용을 유인하는 것이 전파정책의 중요한 이 슈로 대두되고 있다.

효율(efficiency)은 입력(input) 대비 출력(output)의 비율로 정의되는 자원 혹은 시스템 운영의 평가 척도이다. 특히, 자원에 대한 이용효율은 입력자원을 어떻게 활용하여 얼마의 성과(output)를 얻는지에 의해 측정될수 있다. 제한된 전파자원을 어떻게 활용하여 최대의통신 트래픽을 전송할 지에 대한 방안 마련을 위해서는먼저 객관적이고 합리적인 전파자원의 이용효율 측정방법이 마련되어야 한다. 최근 주파수 공유를 비롯한다양한 전파자원 이용효율 제고 방안의 실효성 검증을위해, 주파수 이용효율성의 다양한 측정 방법이 활발히논의되고 있다. 전파자원 이용효율성에 대한 정의와 측정 모델에 대한 선행 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Burns [7]는 주파수 효율성(spectrum efficiency)을 기술적 측면, 경제적 측면, 그리고 기능적 측면으로 나누어 정의하였다. 먼저, 주어진 주파수 자원으로 데이터 또는 음성 트래픽의 최대 용량을 전송하는 것을 기술적효율성으로 정의하였다. 여기에 주파수 자원으로부터

생성된 이윤과 수익 또는 경제적 가치들을 경제적 효율 성으로 정의하고, 주파수의 이용으로 사용자의 구체적 인 요구를 충족하는 정도를 기능적 효율성으로 정의하 였다.

ITU-R(International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector) 권고안 SM.1046-2 [10] 는 특정 무선 서비스에 사용되는 주파수 대역의 특성, 무선 네트워크의 관리 방법, 무선 서비스에 이용되는 송수신기 및 안테나의 기술적 특성 등 여러 요인들이 전파자원 이용효율에 큰 영향을 미친다는 것을 확인하고, 무선 서비스 관련 신기술 또는 개선된 기술들의 최적화를 통해 효율성을 증대시키는 방안을 분석하였다. 특히, 주파수 이용 효율(spectrum utilization efficiency)에 대한 측정방법을 다양한 수식 모델로 제시함으로써, 전파자원 활용 시스템과 이용 방식에 적합한 효율성 측정 방안을 선택할 수 있게 하였다.

미국 Barack Obama 대통령에게 보고된 과학기술자 문위원회 보고서[8]는 전파자원 관리 방안에 대한 다양 한 제언과 함께, 주파수 이용효율에 대한 새로운 측정 모델을 간략히 소개하고 있다. 전파자원 이용효율 측정 모델은 간섭 범위, 특정 사용자에 인해 제한된 주파수 대역의 크기 등을 고려하고 있으며, 주파수 활용도는 특정 무선 서비스 사용자가 얼마나 무선 전송을 잘하는 지뿐만 아니라, 이러한 전송이 다른 사용자들의 전파자 원 활용을 얼마나 방해하는지에 의해서도 영향 받음을 강조하고 있다.

본 연구는 ITU-R 권고안 SM.1046-2의 주파수 이용 효율성 정의와 다양한 측정 모델의 의미를 분석하고, 주파수 공유 상황에 적합한 전파자원 이용효율의 새로 운 측정 모델과 절차를 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 주요 전파자원 이용효율성 측정 모델의 구성 원리와 제안 내용을 설명하고, 측정 방법에 대한 장점과 한계점 등을 짚어본다. 3장에서는 주파수 채널을 주사용자와 부사용자가 공동 접근하여 전파자원을 공유하는 상황을 우선순위 대기행렬로 모델링하고, 주파수 공유를 고려한 전파자원 이용효율성 측정 방안을 제안한다. 4장에서는 연구 내용의 요약과 결과의 기여도를 제시한다.

Ⅱ. 전파자원 이용효율의 다양한 측정 지표

1. 측정 지표의 기본 모델

ITU-R 권고안 SM. 1046-2 [10]에서는 주파수 이용 효율(SUE: Spectrum Utilization Efficiency)을 정의하 고 다양한 무선통신시스템에서의 주파수 이용효율 산 정 방안을 제안하고 있다. 먼저, 주파수 이용지수 (spectrum utilization factor)를 다음과 같이 정의한다.

$$U = B \bullet S \bullet T \tag{1}$$

여기서, B 는 주파수 대역폭, S 는 무선 서비스의 지리 적 공간, T 는 시간을 의미한다.

주파수 이용효율(SUE)은 이용지수 U를 투입하여 얻게 되는 무선시스템의 유용한 효과(M)가 되어

$$SUE = \frac{M}{U} = \frac{M}{B \cdot S \cdot T} \tag{2}$$

의 관계로 표현된다. 분모 부분을 자원의 투입(input), 분자 부분을 결과의 산출 또는 효용(output)으로 정의 하는 효율(efficiency)의 기본 정의를 그대로 따른 것이 다.

이러한 측정 지표의 사용 예제로 시내지역의 셀기반 무선시스템의 SUE 를 추정해보자. 분자 부분의 유용한 효과를 전파자원을 통해 전송하는 트래픽 총량이라고 하고 각 무선시스템에 동일하게 적용되는 시간변수를 제외하면, (2)식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$SUE_{area} = \frac{$$
지역내총트래픽}{채널수 \times 채널대역폭 \times 지역의면적} (3)

한편, 특정 지역(클러스터)내 건물 수와 건물 내의 사용 채널수를 조사하여 두 값을 곱하면 해당 지역에 필요한 채널의 수를 구할 수 있으므로, 이를 통해 주파수이용효율을 계산할 수 있다. 예를 들어, 건물 당 평균채널수는 120개이고, 클러스터 당 건물수가 4개, 채널대역폭이 25kHz, 건물 한 층에 필요한 트래픽의 평균값이 16얼랑(E), 건물 한 층의 평균 면적이 가로 25m, 세

로 55m 라고 가정하자. 이러한 수치 예를 (3)식에 대입하면,

$$SUE_{area} = \frac{16 \times \mathring{\Xi} + \mathring{\Xi} + \mathring{\Xi}}{120 \times 4 \times 0.025 \times \mathring{\Xi} + \mathring{\Xi}}$$
(4)
=
$$\frac{16}{120 \times 4 \times 0.025 \times 0.025 \times 0.055}$$

=
$$970E/MHz/km^{2}$$

의 결과를 얻게 된다. 여기서 총면적은 층수와 건물 수를 곱한 값에 건물 한 층의 평균 면적을 곱한 것이다. 이러한 측정 지표에서는 셀 지역 내의 정확한 건물수, 층 수와 서비스 지역의 총 면적을 구하는 것이 어려울 수 있다.

2. 서비스 이용자수를 이용한 측정 지표

특정 무선시스템의 잠재적 능력을 계산하고 싶은 경우에는 SUE의 분자 부분(M)계산에 상대적 이용자 수, N_r (= N_a/N) 를 이용할 수 있다. 여기서 N_a 는 지역내의 서비스 이용자 수이고, N은 지역내의 총 인구수이다. 여기에 무선 서비스의 커버리지 비율(S_r)을 곱하여 M을 추정하는데, $S_r=S_s/S$ 라고 정의하면 (S는지역의 총 면적, S_s 는 서비스 지역의 면적을 의미),

$$M = N_r \cdot S_r \tag{5}$$

이 된다. 이 지표는 직관적으로 해석이 가능하다. 측정 지표는 특정 지역의 주민이 특정 무선시스템의 서비스 를 이용할 확률과 같다.

SUE의 분모 부분(U)은 인접 무선국간의 혼신 등의 방지를 위해 특정 무선국의 전파 이용이 어떻게 제한되는지에 의해 계산될 수 있다. 특정 i 지점에 위치한 기지국의 커버리지 내의 주파수 이용 지수는 인접 지역과의 혼선 방지를 위해 거부(deny)된 채널의 총 수(K_i), 혹은 비율, $U_i = K_i/K$ 로 환산할 수 있다. 여기서 K는 무선시스템에서 사용 허가된 채널의 총 수를 의미한다. 기존에 설치된 기지국들의 송신장치가 다른 기지국과 통신하는 이동국의 수신장치에 허용되지 않는 간섭

을 만들거나 인접 기지국의 송신장치에서 커버리지내의 기지국과 통신하는 수신장치에 허용되지 않는 간섭을 만드는 경우, 주파수 대역의 사용이 거부된다.

지역에 거주하는 인구수에 따라 가중평균을 계산하는 경우, 지역 내 전체 주파수 이용지수는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$U = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i U_i \tag{6}$$

사용된 파라미터의 정의는 다음과 같다.

- $\alpha_i = n_i/N:i$ 번째 지역에 사는 인구 수의 상대 비율
- $U_i:i$ 번째 지역 중심에 위치한 기지국으로부터 사용 거부되는 주파수 대역의 비율

결국, 특정지역 내의 보다 많은 서비스 이용자를 보유하거나(M의 증가), 사용 거부되는 주파수 대역 수를 줄이면(U의 감소) 전파자원의 이용효율이 높아짐을 알수 있다.

서비스 지역 내의 전파자원 이용률과 이를 계산하기 위한 주파수 이용 정도를 (5)과 (6)의 식으로 산출하는 방법은 미국 과학기술자문위원회 보고서에 소개된 주 파수 활용도 산출 방식과 유사하다. 보고서에서 정의하 는 주파수 활용도는 다음의 수식 형태로 소개된다[8].

$$Eff_{spectrum} = \sum_{n=1}^{k} \frac{R(n)D(n)}{I^{2}(n)T(n)S(n)}$$
(7)

주파수 활용도는 사용되어지는 주파수 대역과 특정 무선시스템 서비스 범위 내의 모든 사용자를 대상으로 하여 측정된다. 식(7)의 분자부분에는 n번째 서비스 이용자가 사용하는 무선신호의 범위 R(n)와 bps로 측정되는 전송용량 D(n)/T(n)의 파라미터가 포함되어 있다. 그리고 분모부분에는 n번째 이용자가 통신을 함으로써 다른 이용자들의 주파수 이용이 제한되는 범위를 나타내는 I(n)과 n번째 사용자로 인해 다른 사용

자들이 사용할 수 없는 주파수 대역폭의 양인 S(n)이 포함된다. 주파수 효율성을 주어진 영역에서 전달된 데 이터양과 더불어 타 이용자에 대한 주파수 대역 및 공간의 사용 제한성에 의해 정의한 (7)의 지표는 식(6)의 U_i 산출을 통한 ITU의 이용효율 측정 방법과 유사함을 알 수 있다.

3. 상대 주파수 이용효율

ITU-R 권고안이 제시하는 상대 주파수 이용효율 (RSE; Relative Spectrum Efficiency)의 기본 개념은 표준으로 정한 무선시스템의 이용 효율을 기준(분모)으로 특정 무선시스템이 가지는 이용효율의 비(ratio)를 계산한다는 것이다[8].

$$RSE = \frac{SUE_a}{SUE_{otd}} \tag{8}$$

 SUE_a 는 측정하고자 하는 특정 시스템(a)의 실제 SUE이고, SUE_{std} 는 표준으로 정한 무선시스템의 SUE 이다.

표준 시스템은 이론적으로 가장 효율적인 시스템, 측정이 쉽고 이해하기 쉬운 시스템 또는 널리 이용되고 있는 시스템으로 선정되어 RSE 측정의 편의성을 높일수 있다.

상대 주파수 이용효율 측정의 이점은 특정 시스템의 전파자원 이용효율을 보다 쉽게 구할 수 있다는 점이 다. 이는 유사한 서비스를 제공하는 무선 시스템의 전 파자원 이용효율 계산과정에서 다수의 공통적인 측정 변수들이 존재하기 때문이다. 실제 이용효율 계산 과정 에 많은 부분들의 소거가 가능하여, SUE 측정의 복잡 성을 크게 완화시킬 수 있다.

4. ITU-R 측정 모델의 한계

ITU-R 권고안 SM.1046-2 에서 제시된 전파자원 이용 효율 측정 모델은 주파수 이용지수(*U*)를 이용하여, 다양한 이용효율 측정 방안을 설명한다. 또한, 표준시스템의 SUE 를 기준으로 하여, 특정 무선시스템 및 전파

자원 활용 방안에 대한 상대적 효율성을 비교할 수 있는 측정 방법을 제안한다. 이외에도 네트워크 환경과 구현되는 서비스 시스템의 형태에 맞는 다양한 전파자 원 이용효율 측정 대안을 제시하여, 이용효율 측정가능성과 측정 결과의 정확성을 높이려 한다.

그런데 ITU-R 권고안의 전파자원 이용효율 측정 모델은 이종 시스템 간의 이용효율 비교에 대해서는 엄밀히 제한을 두고 있다. ITU-R 의 측정 모델은 동일한 무선 환경에서 유사한 형태의 서비스를 제공하는 시스템의 전파자원 이용효율 측정을 전제로 한다[10]. 심지어, 전파자원 이용에 대한 상대적 효율을 비교하는 RSE 측정 지표도 동일 환경내의 같은 종류의 시스템에 대한효율 비교에만 적용될 수 있다.

또한, 주파수 부족 문제 해결을 위해 다양한 전파자 원 공동 사용 방안이 제기되고 있다. 이러한 주파수 공 유 방안의 실효성 검증을 위해, 주파수 공동 사용 시에 전파자원 이용효율이 얼마나 증가할 지에 대한 정확한 분석이 요구된다. 따라서 이종 시스템간의 주파수 공동 이용의 경우에도 적용 가능한 전파자원 이용효율 측정 의 새로운 모델이 필요하다.

이에 다음 장에서는 우선순위 이용자에게 이용권한 이 있으나 사용하지 않고 있는 주파수 채널에 접근하여 해당 주파수 채널을 통해 특정 무선서비스를 제공하는 자원 운용 상황을 대기행렬모형으로 분석하여, 주파수 공유를 고려한 전파자원 이용효율의 측정 방안을 제시한다.

Ⅲ. 주파수 공유를 고려한 이용효율 측정

1. 주파수 공유기술의 개요

주파수 부족현상을 해결하기 위한 노력으로 주파수 공유 기술(spectrum sharing technology)의 개발과 적용이 활발히 이루어지고 있다. 주파수 공유기술은 UWB(Ultra-Wide Band)로 대표되는 Underlay 방식과 CR(Cognitive Radio: 인지무선) 기술을 사용하는 Overlay 방식으로 대표된다. UWB는 넓은 주파수대역에 걸쳐 낮은 스펙트럼 밀도의 신호를 송신하여 주사용

자(1차 업무)에 간섭을 주지 않으면서 통신이 가능하도록 하는 방식이다. 반면, 인지무선(CR) 기술은 특정 주파수 대역에 대해 시간, 공간적으로 이용하지 않는 주파수를 실시간으로 감지한 후 비어있는 주파수에서 적절한 변조 방식, 출력 등을 결정하여 전송하는 주파수 공유 방안이다[4]. UWB와 달리 1차 업무와 동일한 수준의 출력으로도 주파수 공유가 실현될 수 있다. 우리나라 전파법 제6조에서는 주파수 공유라는 용어대신주파수 공동사용이라는 용어를 채택하고 있으나, 현실적으로 주파수 공유라는 용어가 일반적으로 사용되고 있음을 고려하여 본 논문에서는 두 가지 용어를 동일한의미로 사용하기로 한다.

이러한 주파수 공유의 실현을 위한 인지무선 기술은 최근 주파수 부족현상의 해결방안으로 높은 관심을 받고 있다. 인지무선 기술은 스펙트럼 센싱(spectrum sensing) 기능과 가용 주파수 자원에 대한 동적 접근(dynamic spectrum access)을 통해, 이용효율이 낮거나 사용되지 않는 전파자원의 이용효율을 획기적으로 높일 수 있다[1][2]. 미국의 경우, 주사용자가 TV방송국인 TV방송용 주파수에 대해 주사용자에게 간섭을 주지 않는 조건으로 주변 전파환경을 측정하여 사용하지않는 주파수 채널의 공동 사용을 허용하는 TV White Space 서비스에 인지무선 기술이 적용되고 있다.

2. CR 적용을 고려한 주파수 이용효율 측정

인지 무선 기술 기반의 통신 네트워크 운용 상황을 모형화하여 인지 무선 기술의 적용 성과를 분석하는 연구들이 최근 활발히 소개되고 있다. 이광의 등의 연구 (2009)에서 인지무선 기술을 이용한 채널 할당 과정을 페트리네트로 모형화하여 성능분석을 시도하였다[3]. 또한 대기행렬모형을 이용하여 인지 무선 기술의 적용 성과를 분석하는 연구들이 제시되고 있다[9][11-14]. Suliman and Lehtomak(2009)는 M/D/1 우선순위 대기행렬을 이용하여 인지 무선 네트워크의 성과를 분석하였고[12], Tran 등(2010)은 슬롯 단위의 시간축에서 슬롯 시작 직후에만 스펙트럼 센싱이 이루어지는 경우와 계속적으로 이루어지는 경우로 구분하여 패킷의 평균 대기시간을 분석하였다[13]. Kim(2012)은 축출형과 비

축출형 우선순위 규칙을 혼합한 새로운 형태의 인지 무선 네트워크 주파수 동적 접근 방식을 제안하였다[9].

주파수를 공유하는 주사용자와 부사용자의 전파자원 이용에는 우선순위체계가 정해져 있어, 주사용자는 패킷 전송 품질을 위해 부사용자의 사용보다 앞선 순위를 갖는다. 주파수 채널을 서버(server)로 간주하고, 주사용자와 부사용자를 계층별 고객(customer)으로 정의하는 우선순위 대기행렬모형(priority queue)을 구성할 수있다. 전파자원을 활용하는 채널을 서버로 간주한다면, 대기행렬의 주요 성능지표 중 하나인 서버 이용률(server utilization)을 이용하여, 동적 주파수 접근과 주파수 공유의 성과를 측정할 수 있다. 서버 이용률은 안정상태(steady-state)에서 서버가 바쁠 확률을 일컫는다. 전파자원 이용효율의 측정 지표를 수식 (2)과 같이정의한다면, 서버 이용률은 (2)식의 분자 역할을 수행한다고 할 수 있다.

그런데, 주파수 공유 과정에 있어 무선 서비스의 품질(QoS)를 고려해야 한다. 특히, 패킷 교환 데이터 서비스의 경우 전송 지연에 어느 정도 민감한지가 QoS기준으로 사용된다. 주파수 공유를 통해 주사용자의 패킷 전송이 어느 정도 지연되는지 측정하여, 패킷 교환데이터 서비스의 허용 지연시간 기준을 충족하는지를체크해야 한다. 따라서 평균 대기시간을 구하여 주파수공유로 인한 서비스 품질의 변화 정도를 분석해야 한다.

3. 대기행렬 모델의 가정과 기호

주파수 채널을 공유하여 패킷을 전송하는 주사용자와 부사용자는 포아송 과정(poisson process)을 갖는 주파수 이용 패턴을 갖는다. 또한, 주사용자와 부사용자의 데이터 패킷 전송에 대한 서비스 시간은 특정 확률 분포가 아닌 일반분포를 갖는다고 가정한다.

주사용자와 복수의 부사용자(전파자원을 공유하는 사용자의 총 수는 r 이라고 정의)를 대상으로 각각의 서비스 요구 발생률과 서비스 시간 등을 다음의 기호로 정의한다. 계층의 순위를 나타내는 k 값이 작을수록 상위 계층의 고객(k=1 인 경우는 주사용자)이라고 가정한다.

- λ_k: k 계층 사용자의 패킷 발생률
- $\lambda = \sum_{i=1}^{r} \lambda_i$: 전체 패킷 발생률
- ullet S_k : k 계층 사용자 패킷의 전송 시간
- ρ_k: 임의시점에 k 계층 사용자의 패킷 전송을 위해 주파수 채널이 점유 중일 확률
- $\rho_k^+ = \sum_{i=1}^k \rho_i$: 주파수 채널이 k 계층의 상위 사용 자에게 점유 중일 안정상태 확률
- $W_{q(k)}: k$ 계층 사용자의 평균 전송 서비스 대기 시간

주파수 채널을 서버로 간주하기 때문에 공유되어지 는 채널의 수에 따라 단일 서버(single server) 또는 복 수 서버(multiple server)의 대기행렬모형으로 구분될 수 있다. 그런데 본 연구에서는 단일 채널에 대한 주파 수 공유를 가정한다. 또한, 채널 점유를 통한 서비스 제 공에 대한 우선순위 규칙에 있어 하위계층 사용자의 서 비스 진행 중에도 상위계층 사용자의 요청에 따라 서비 스를 중단하는 축출형(preemptive)과 진행 중인 서비스 완료까지 채널 점유를 허용하는 비축출형 (non-preemptive)으로 구분할 수 있다. 그런데, 데이터 통신을 위해 패킷을 전송 중인 부사용자의 서비스 도중 에는 주사용자가 부사용자의 채널 점유를 뺏을 수 없다 고 가정하여, 비축출형의 모델을 가정한다.

결국, 인지무선 기술을 응용한 주파수 자원의 공유 상황을 M/G/1 비축출형 우선순위 대기행렬로 모형화 할 수 있다.

4. 비축출형 우선순위 대기행렬의 성능 지표

M/G/1비축출형 우선순위 대기행렬에 대해 서버 이용률은 다음과 같이 간단히 구할 수 있다. 각 계층별 사용자의 제공로드 (offered load)를 모두 더한 것이 서버이용률이다[5].

$$\rho_k = \lambda_k E(S_k) \tag{9}$$

$$\rho = \sum_{k=1}^{r} \rho_k \tag{10}$$

각 계층별 사용자의 평균 대기시간은 서버 이용률과 서비스시간의 2차 모멘트로 다음 식과 같이 표현할 수 있대51.

$$W_{q(k)} = \frac{\sum_{i=1}^{r} \lambda_{i} E(S_{i}^{2})}{2(1 - \rho_{k-1}^{+})(1 - \rho_{k}^{+})} , (\rho_{0}^{+} = 0) \quad (11)$$

5. 수치예제

대기행렬을 이용한 주파수 자원 이용률의 측정과정 이해를 위해 인지무선 기술을 응용한 주파수 공유에 대 한 서버 이용률과 평균 대기시간의 수치 예제를 다음과 같이 제시한다.

주사용자는 하나이고, 부사용자의 수를 2개로 가정한다. 주사용자와 부사용자의 패킷 발생간격은 지수분포형태를 갖고, 부사용자 1의 발생률(λ_2)은 단위시간당0.2, 부사용자 2의 발생률(λ_3)은 0.1 이라고 정의한다. 패킷 전송에 대한 평균시간을 추정한 결과는 주사용자의 경우 1(단위시간), 부사용자 1은 0.5, 부사용자 2는0.3 이라고 가정한다. 또한 전송 시간(주파수 점유시간)의 2차 모멘트 값은 각각 1.7, 1.4, 1.2 이라고 가정한다.

위와 같은 파라미터에서, 주사용자의 주파수 사용 요구 발생률(λ_1)과 평균 전송시간의 변화에 따른 주파수채널 이용률(ρ)의 변화 패턴은 [그림 1]과 같다. 또한, 주사용자 패킷 전송시간에 따른 평균 지연시간(W_1)의 변화 추이는 [그림 2]와 같다.

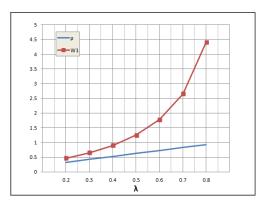


그림 1. 패킷 발생률에 따른 전파자원 이용률과 평균 서비스 지연시간의 변화

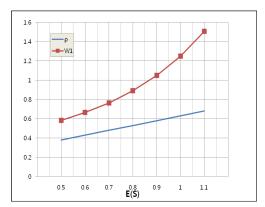


그림 2. 평균 패킷 전송시간에 따른 전파자원 이용률과 평균 서비스 지연시간의 변화

주사용자의 패킷 발생이 빈번해지거나, 패킷 전송에 소요되는 시간이 길어지면 주파수 채널의 이용률과 주사용자 패킷 전송에 대한 평균 지연시간이 늘어남을 확인할 수 있다. 그런데 주파수 채널을 이용하는 주사용자의 주파수 접근이 증가하거나, 주사용자의 전송 패킷사이즈가 큰 경우, 부사용자들과 주파수 자원 공유에 있어 평균 지연시간이 데이터 패킷 전송에 대한 허용시간 기준치를 충족할 수 있는지를 따져봐야 한다. 특히, 전파자원 이용률은 패킷 발생률과 평균 전송 시간에 비례하여 증가하지만, 전송서비스에 대한 평균 대기시간이 길어져 QoS 기준치를 충족하지 못할 가능성이높아짐을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 ITU-R 권고안의 전파자원 이용효율성 정의와 다양한 측정 지표 그리고 측정 모델의 한계점 등을 살펴보았다. 주파수 자원의 희소성과 증가하는 무선 서비스의 수요를 고려하면, 수요에 대응할 수 있는 전파자원의 최적 공급방안은 기존의 전파자원 이용의 효율을 극대화하는 것이다. 이러한 전파자원 이용효율에 대한 높은 관심과 함께 무선 환경과 서비스 유형에 맞는 전파자원 이용효율의 측정 방법이 적절히 선택되어, 무선시스템 성과 분석에 활용되어야 한다.

특히 다양한 주파수 공유 방안이 제시되고 있는 현재

의 상황에서는 이에 대한 이용효율 항상 검증이 이루어 져야 한다. 이종의 무선시스템 간의 전파자원 공동 사용에 맞는 새로운 이용효율 측정 모델과 절차가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 대기행렬의 서버 이용률을 이용한 이용효율의 대안적 측정 방안을 제시하였다. 이는 주사용자와 부사용자의 공유 주파수 채널의 점유 시도 및 사용 시간에 대한 확률분포의 분석을 통해 전파자원의 이용률을 측정하는 방법이다.

본 연구의 결과는 전파자원 이용효율의 객관적 측정을 가능하게 하여, 주파수 공유를 비롯한 다양한 전파자원 활용방안의 성과를 예측해 볼 수 있을 것이다. 객관적인 전파자원의 이용효율 측정 결과는 주파수 대역의 발굴 및 재배치 등의 주요 전파정책 결정과정에서 중요한 역할을 수행할 것이다. 또한 주파수 이용효율에 대한 객관적 검증을 통해 유휴대역의 용도 전환 및 주파수 공유를 실현하여 주파수 초과 수요에 대응할 수있고, 신규 무선 서비스의 발굴과 성장을 촉진시킬 수있다.

참 고 문 헌

- [1] 김주석, 이현소, 황성호, 민준기, 김기홍, 김경석, "Cognitive Radio 기반의 Spectrum Sensing을 위한 MAC 기능 구현", 한국콘텐츠학회논문지, 제8권, 제8호, pp.28-36, 2008.
- [2] 김창주, "Cognitive Radio 기술 동향", 전자통신동 향분석, 제21권, 제4호, pp.62-69, 2006.
- [3] 이광의, 노철우, 김경민, "인지 라디오의 채널할당 모델 설계 및 분석", 한국콘텐츠학회논문지, 제9 권, 제7호, pp.95-101, 2009.
- [4] 여재현, 임동민, 이일주, *주파수 공유기술 적용을* 위한 전파관리 모형연구, 정보통신정책연구원, 2009.
- [5] 이호우, *대기행렬이론: 확률과정론적 분석*, 시그 마프레스, 2006.
- [6] Cisco Inc., Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update,

- 2013-2018, Cisco Pub, 2014.
- [7] J. W. Burns, "Measuring spectrum efficiency the art of spectrum utilization metrics," In paper presented at the IEEE conference 24–5, 2002.
- [8] President's Council of Advisors on Science and Technology, Report to the president: realizing the full potential of government-held spectrum to spur economic growth, 2012.
- [9] K. Kim, "T-preemptive priority queue and its application to the analysis of and opportunistic spectrum access in cognitive radio networks," Computers and Operations Research, Vol.39, No.7, pp.1394-1401, 2012.
- [10] Recommendation ITU-R SM.1046-2, Definition of spectrum use and efficiency of a radio system, 2006.
- [11] H-P, Shiang, M. van der Schaar, "Queueing -based dynamic channel selection for heterogeneous multimedia applications over cognitive radio networks," IEEE transactions on multimedia Vol.10, No.5, pp.896-909, 2008.
- [12] I. Suliman and J. Lehtomaki, "Queueing analysis of opportunistic access in cognitive radios," International workshop on cognitive radio and advanced spectrum management, pp.153-157, 2009.
- [13] H. Tran, T. Q. Duong, and H. J. Zepernick, "Average waiting time of packets with different priorities on cognitive radio networks," IEEE International symposium on wireless pervasive computing, pp.122–127, 2010.
- [14] C. Zhang, X. Wang, and J. Li "Cooperative cognitive radio with priority queueing analysis," IEEE International conference on communications, pp.1–5, 2009.

저 자 소 개

김 태 한(Taehan Kim)

정회원



- 1996년 2월 : 서울대학교 경영학과(경영학사)
- 1998년 2월: 한국과학기술원 산 업공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 한국과학기술원 산 업공학과(공학박사)
- 2004년 12월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구
 원
- 2007년 10월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 정 보통신기술경영학 전공 겸임조교수

<관심분야>: 전파자원 이용정책 및 법·제도, 정보통 신 비즈니스 모델

박 현 민(Hyun-Min Park)

정회원



- 1996년 2월 : 연세대학교 경영학과 (경영학사)
- 1998년 8월: 한국과학기술원 산 업공학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 한국과학기술원 산 업및시스템공학과(공학박사)

• 2010년 8월 ~ 현재 : 배재대학교 경영학과 조교수 <관심분야> : 생산 및 서비스 운영관리, 통신 경영

성 기 원(Ki Won Sung)

정회원



- 1998년 2월: 한국과학기술원 산 업경영학과(공학사)
- 2000년 2월: 한국과학기술원 산 업공학과(공학석사)
- 2005년 2월: 한국과학기술원 산 업공학과(공학박사)
- 2009년 4월 ~ 현재 : 스웨덴왕립공대 통신시스템학 과 부교수
- <관심분야>: 5세대 이동통신 시스템, 전파자원 이용 정책 및 관련기술