

고정 및 이동서비스 공존환경에서 M/G/1 대기행렬 모델을 이용한 주파수 소요량 산출 방법

신 홍 기*, 김 형 중*, 윤 현 구**, 최 용 훈^o

Calculation of Bandwidth Requirement Using M/G/1 Queuing Model for Coexistence of FWA and MWA

Hong-Gi Shin*, Hyung-Jung Kim*, Hyungoo Yoon**, Yong-hoon Choi^o

요 약

본 논문에서는 고정 및 이동서비스가 공존하는 환경에서 클러스터를 구성하는 경우의 주파수 소요량을 산출하였다. 제안한 방법론은 권고안 F.1518의 고정무선접속 시스템과 이동무선접속 시스템이 공존하는 환경에서 고정무선접속 시스템의 용량을 권고안 M.1768의 M/G/1 대기행렬 모델을 이용하여 산출하고, 이를 스펙트럼 소요량으로 환산하는 방법이다. 실험에서 인가되는 트래픽은 우선순위와 패킷 길이가 서로 다른 10가지이며, 트래픽 부하와 클러스터의 크기를 변화시켜가며 주파수 소요량을 관찰하였다. 결과로, 고정과 이동서비스에 별도의 주파수를 할당하는 것보다, 두 시스템이 같은 주파수에서 스펙트럼 효율적인 방식으로 공존하는 것이 주파수 소요량 측면에서 효율적이라는 것을 관찰할 수 있었다. 이 방법을 이용하면 패킷 네트워크 기반의 고정무선서비스 스펙트럼 소요량을 고정무선서비스만 존재하는 환경과 타 이동무선접속 시스템과의 공존 환경에서 모두 산출할 수 있어, 향후 주파수 정책 수립에 활용 가능하다.

Key Words : Spectrum requirement, FWA, MWA, M/G/1, Coexistence

ABSTRACT

In this paper, we calculate the frequency requirement for a cluster in the environment where fixed and mobile services coexist. The proposed methodology uses the M/G/1 queuing model of Recommendation M.1768 to calculate the capacity of the fixed wireless access system in the environment where the fixed wireless access system and the mobile wireless access system coexist in Recommendation F.1518. Experimental results show that there are 10 different traffic priorities and packet lengths, and the frequency requirements are observed by varying the traffic load and cluster size. As a result, we can observe that the two systems co-exist in the same frequency in a spectrally efficient manner, rather than assigning separate frequencies to the fixed and mobile services, in terms of frequency requirements. Using this method, the spectrum requirement of fixed wireless service based on the packet network can be calculated both in the environment where only the fixed wireless service exists and in the coexistence environment with other mobile wireless access systems, and it can be utilized to establish the frequency policy in the future.

※ 본 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임.(2017-0-00109, 전파자원순환을 위한 주파수 분석 기술개발)

• First Author : Kwangwoon University, ghdl95@naver.com, 학생회원

o Corresponding Author : Kwangwoon University, yhchoi@kw.ac.kr, 종신회원

* Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI), aceckim@etri.re.kr, 정회원

** Myongji College, hgyoon@mjc.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-11-330, Received November 2, 2017; Revised November 24, 2017; Accepted November 25, 2017

I. 서 론

무선전화 형태의 단순 음성에서 출발한 이동통신 서비스는 현재 LTE (Long Term Evolution) 기반의 4세대 이동통신을 이용하여 주로 스마트폰과 태블릿 PC에서 음성과 다양한 형태의 데이터 서비스를 제공하고 있다. 그리고 5세대 이동통신 서비스로 알려진 IMT-2020 (International Mobile Telecommunications for 2020)은 초고속 데이터 전송을 위한 광대역 전송과 대량의 사물통신, 그리고 높은 안정화 및 저지연을 위한 통신 시스템을 비전으로 갖고 있어서, 4세대 보다 훨씬 다양한 형태의 네트워크와 단말기를 수용할 수 있는 시스템이어야 한다^[1]. 특히 광대역 전송과 대량의 사물통신에 대한 수요를 효율적으로 만족시키기 위해서는 기존의 이동무선접속방식 뿐만 아니라 고정무선접속방식으로 처리해야 하는 데이터양이 급격히 증가할 것으로 예상된다. 이러한 변화는 백홀 (backhaul) 용량 확대 및 사용 주파수에 대한 국제적 변화를 요구하고 있다. 이에 영국의 Ofcom은 고정무선서비스와 관련된 이해당사자의 검토 의견을 수렴하여, 현재 중장기 고정무선 서비스를 위한 스펙트럼 전략을 수립하고 있다^[2]. 그리고 Ovum 보고서에 따르면 5세대 기반의 고정무선접속기술은 가입자에게 FTTx (Fiber To The x) 수준의 서비스를 제공할 수 있고, 사업자는 5세대 이동통신 서비스를 위한 무선접속 네트워크 및 코어 네트워크의 준비가 가능하기 때문에, 향후 상당한 시장 잠재력을 가지고 있다고 분석하였다^[3]. 이와 같이 고정무선서비스 확대가 예상됨에 따라, 고정무선서비스에 필요한 스펙트럼 소요량을 산출하여 후보대역을 발굴하고, 표준화 등을 통해 해당 주파수 대역을 확보하는 스펙트럼 전략을 수립하는 것은 현재 시점에서 매우 중요하다. 최근, 5세대 이동통신을 위해 6GHz 이상의 주파수 대역 사용 시나리오 및 요구사항들에 대한 연구가 진행중이다^[4].

스펙트럼 소요량을 산출하는 기본적인 원리는 다음과 같다. 제공하고자 하는 무선서비스에서 발생하는 트래픽을 예측하고, 해당 서비스 트래픽 처리를 위한 무선접속시스템의 용량을 산출하고, 무선접속시스템의 주파수 효율로 시스템 용량을 나누어서 스펙트럼 소요량을 산출한다. 서비스 트래픽 특성과 제공 서비스 지역, 무선접속기술, 주파수 운용 시나리오 등이 매우 다양하여, 무선접속 시스템별로 스펙트럼 소요량을 산출하는 방법도 다를 수밖에 없다. 이에 ITU-R에서는 시스템별로 서로 다른 스펙트럼 소요량 산출방법론을 권고하고 있으며, 고정서비스를 위한 스펙트럼

소요량 산출 방법론은 권고안 ITU-R F.1518을 제정하였다^[5]. 이 권고안은 고정무선접속 시스템과 모바일 시스템이 동일 지역에서 공존하는 상황에서 음성 트래픽에 대한 주파수 소요량을 산출하는 방법론을 기술하고 있다. 이 방법론은 2001년에 제정되었기 때문에 서비스 트래픽을 회선기반의 네트워크 용량산출에 적합한 Erlang B 공식을 이용하여 시스템 용량을 산출한다. 그러나 현재 이동통신 네트워크는 패킷 네트워크이므로, 권고안 F.1518의 Erlang B 공식을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 권고안 M.1768에서 패킷 네트워크의 용량 산출을 위해 M/G/1 대기행렬 모델을 적용하였으나, 권고안 F.1518에서처럼 타 시스템과의 공존을 고려하지 않는다^[6]. 고정무선서비스는 단독뿐만 아니라 공존환경에서 동작하는 경우가 있어, 공존을 고려한 스펙트럼 소요량 산출 방법론이 필요하다^[6].

따라서 본 논문에서는 패킷네트워크 기반의 고정무선서비스를 위한 스펙트럼 소요량 산출 방법론을 제안하였다. 제안한 방법론은 권고안 F.1518의 고정무선접속 시스템과 이동무선접속 시스템이 공존하는 환경에서 고정무선접속 시스템의 용량을 권고안 M.1768의 M/G/1 대기행렬 모델을 이용하여 산출하고, 이를 스펙트럼 소요량으로 환산하는 방법이다. 이 방법을 이용하면 패킷 네트워크 기반의 고정무선서비스 스펙트럼 소요량을 고정무선서비스만 존재하는 환경과 타 이동무선접속 시스템과의 공존 환경에서 모두 산출할 수 있어, 향후 주파수 정책 수립에 필요한 스펙트럼 소요량을 다양한 시나리오에서 산출할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 클러스터 구성 방안 및 서비스 범주에 대해서 설명하며, 우선순위를 갖는 트래픽이 인가되는 클러스터 환경에서 M/G/1 대기행렬 모델을 이용하여 주파수 소요량을 산출한다. 3장에서는 클러스터의 크기와 입력트래픽을 변화시켜가며, 주파수 소요량을 관찰한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

2.1 클러스터 모델

권고안 ITU-R F.1518은 Fixed Wireless Access (FWA)와 Mobile Wireless Access (MWA)이 동일한 무선접속 시스템을 사용하고, 두 시스템의 기지국이 무선자원을 전체적으로 관리하는 기능 없이 두 시스템 모두 주파수 대역 내에 임의의 가용 채널을 사용할

수 있는 경우를 가정한다. 또한 그림 1과 같이 FWA 셀과 MWA 셀이 공간적으로 중첩되어 있고 주파수 재사용은 가상의 클러스터 영역 단위로 이뤄지는 경우에 스펙트럼 소요량을 산출하였다. 본 논문에서도 권고안 ITU-R F.1518의 클러스터 모델을 적용하여 트래픽 산출에 필요한 가입자 수를 산출하며, 그 과정은 다음과 같다.

클러스터 영역을 원으로 가정했을 때, 두 클러스터가 접하는 지점(P)에서 간섭의 영향이 가장 크고, 이 지점의 사용자 단말기 수신안테나에서 신호대간섭전력 (SIR; Signal-to-Interference power ratio)의 비가 피간섭 시스템의 최소 SIR (SIR_{min})을 넘지 않도록 하는 최대 반경(r)을 식 (1)로부터 클러스터 반경으로 정한다.

$$SIR_P = P_v/P_i = P_C/P_B(r) \geq SIR_{min} \quad (1)$$

여기서 P_v 는 P에 위치한 단말기 안테나에 수신된 피간섭신호의 전력레벨이고, P_i 는 간섭신호의 전력레벨이다. 그림 1에서 P_v 는 C 기지국 신호의 전력레벨인 P_C 와 B영역 있는 기지국 신호들이 단말기에 수신되는 총간섭신호 전력레벨 $P_B(r)$ 로 나타낼 수 있다. 이 때 수신신호의 전력 레벨은 동작주파수, 송신전력, 안테나 이득, 송수신 안테나 사이의 거리 등을 이용하여 경로손실 모델을 통해 계산할 수 있으며, 주파수 대역별로 모델이 상이하나 0.7 GHz 이상 50 GHz 미만의 주파수 대역에서 마이크로웨이브 신호의 간섭영향을 분석할 때 사용되는 권고안 ITU-R P.452, 육상에서 가시경로 (line-of-sight)가 확보된 경우의 모델인 권고안 ITU-R P.530 등이 사용될 수 있다.

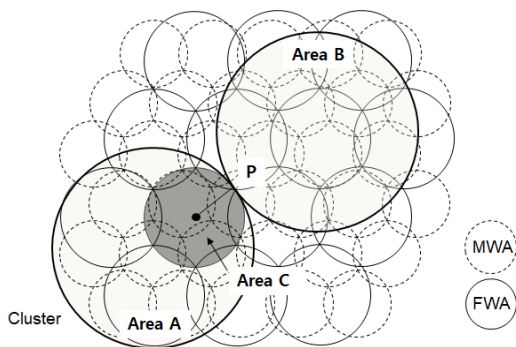


그림 1. FWA와 MWA의 클러스터 모델
Fig. 1. Cluster model of FWA and MWA

도출한 최대 반경 (r_{max})을 이용하여, 클러스터 영역 내에 존재하는 FWA와 MWA 셀 수를 각각 계산하고, 단위면적당 가입자 밀도가 주어지면, 클러스터 내의 전체 가입자 수를 산출할 수 있다. 이는 다음 절에서 설명하는 서비스 범주별 트래픽 특성과 결합하여 클러스터에서 발생하는 트래픽 총량을 계산하는데 사용된다.

2.2 서비스 범주

일반적으로 스펙트럼 소요량을 산출하기 위해서, 사용자별 트래픽을 예측해야하고 이는 사용자가 이용하는 무선서비스 분석이 필요하다. 이에 ITU-R에서는 IMT-2020의 스펙트럼 소요량 산출을 위한 트래픽 예측 데이터를 위한 권고안 ITU-R M.1768-1에서 무선서비스를 20개의 범주로 분류하였다. 서비스 범주(SC; Service Category)는 서비스를 사용함으로써 발생하는 트래픽 발생 형태를 반영하여, 그 속성 중 대역폭에 영향을 미칠 수 있는 요소로 분류하게 되는데 서비스 타입과 트래픽 클래스의 조합으로 정의되며 표 1과 같다.

서비스 타입은 서비스가 요구하는 전송속도에 따라 super high multimedia, high multimedia, medium multimedia, low rate data & low multimedia, very low rate data, 5가지로 분류된다.

- Super-high multimedia (30 Mbit/s to 100 Mbit/s or 1 Gbit/s): 유선의 FTTH (Fiber-To-The-Home)에서 제공되는 초고속 데이터 응용서비스를 수용하는 수준
- High multimedia (< 30 Mbit/s): 고정 유선통신의 xDSL에서 제공되는 멀티미디어 스트리밍 비디오를 포함한 고속 데이터 응용 서비스 수준
- Medium multimedia (< 2 Mbit/s.): IMT-2000 시스템

표 1. 서비스 범주
Table 1. Service Category

Traffic class / Service type	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Super high multimedia	SC1	SC6	SC11	SC16
High multimedia	SC2	SC7	SC12	SC17
Medium multimedia	SC3	SC8	SC13	SC18
Low rate data & low multimedia	SC4	SC9	SC14	SC19

템에서 서비스하고 있는 정도의 멀티미디어 서비스를 지원하는 수준

- Low rate data and low multimedia (<144 kbit/s): IMT-2000 이전의 데이터 통신에서 이루어지는 서비스를 의미
- Very low rate data (16 kbit/s): 음성이나 단순 문자 서비스를 의미하며, 센서응용 서비스나 원격검침과 같은 서비스를 의미

그리고 트래픽 클래스는 4가지 QoS (Quality of Service)에 따라 conversational, interactive, streaming, background class로 분류한다.

- Conversational class: 이 타입의 대표적인 트래픽은 전화통화로 VoIP와 화상회의와 같은 서비스에서 발생하는 트래픽이다. 실시간 통신을 지원하기 위한 허용 전송 속도가 매우 중요한 트래픽 클래스이다.
- Interactive class: 웹 브라우징이나 서버 접근 등 사람과 사물이 서로 통신을 할 때 발생하는 클래스 종류로 round trip delay가 주요 속성이다.
- Streaming class: 실시간 오디오/비디오 스트리밍 서비스에서 발생하는 트래픽으로 단방향 전송이 주를 이룬다. 또한 전송 지연은 주요 속성이며 스트리밍 데이터의 시간 정렬을 유지하는 일정 수준 미만이 어야 한다.
- Background class: E-mails, SMS, 데이터베이스 다운로드 등의 백그라운드 형태의 트래픽으로 몇몇 경우를 제외하고 시간지연에 크게 영향을 받지 않는 트래픽 클래스이다.

그리고 서비스 범주에서 필요한 파라미터는 다음과 같다.

- User density (users/km²)
- Session arrival rate per user (sessions/(s × user))
- Mean service bit rate (bit/s)
- Mean session duration (s/session)
- Mobility ratio

표 1의 20개 SC는 우선순위가 높은 것부터 번호가 부여되며, SC1에서 SC10은 예약기반의 서비스 (reservation-based service) 또는 회선기반의 서비스 (circuit-based service)를 나타내며 QoS는 최대허용차단율 (maximum allowable blocking probability)로 시스템 용량을 산출할 때 사용된다. SC11에서 SC20은 패킷기반의 서비스 (packed based service)로 시스템 용량 산출을 위해 최대허용패킷지연시간 (maximum

allowable mean packet delay), 평균패킷크기, 패킷크기의 2차모멘트가 필요하다. 본 논문에서 사용한 SC별 파라미터는 권고안 ITU-R M.2290에 제시된 값을 사용하였다⁷⁾.

2.3 우선순위를 갖는 트래픽이 인가되는 클래스의 주파수 소요량 산출

평균 지연 요구사항이 서로 다른 여러 종류의 서비스 범주 (SC)들을 모두 만족시킬 수 있는 시스템 용량을 계산하고, 이에 맞는 주파수 소요량을 환산하는 것이 본 논문의 목표이다. 일반적인 환경으로, 패킷 도착시간이 서로 독립이고, 패킷의 길이가 임의 분포 (arbitrary distribution)를 갖는다고 가정하자. 또한, 패킷의 처리가 단일 큐 내에서 FCFS (First Come First Serve)로 이뤄지며, 비선점 우선순위 (Non-preemptive priority)로 서비스된다고 가정하면, M/G/1 대기행렬 모델을 이용하여 시스템 용량을 산출할 수 있다. 참고문헌¹⁸⁾에 M/G/1 모델의 일반적인 분석방법이 제시되어 있으며, M/G/1 모델을 이용하여 시스템 용량을 산출하기 위해서는 아래와 같은 입력 파라미터들이 결정되어야 한다.

- 각 SC n에 대해 셀당 서비스 환경별로 인가되는 트래픽 부하 T_n (bit/(s·cell)).
- 각 SC n에 대한 평균 패킷 사이즈 s_n (bits/packet)과 2차 모멘트 $s_n^{(2)}$ (bits/packet).
- 각 SC n에 대한 요구되는 평균 지연 D_n .
- 총 N개의 SC들에 대한 우선순위, $n = 1, 2, \dots, N$. 숫자가 낮을수록 우선순위가 높음.

SC n의 IP 패킷 도착률 λ_n (packets/ (s·cell))은 식 (2)와 같다.

$$\lambda_n = \frac{T_n}{s_n} \tag{2}$$

모든 SC들에 대한 총 패킷 도착률 λ 은 식 (3)와 같다.

$$\lambda = \sum_{n=1}^N \lambda_n \tag{3}$$

SC n이 요구하는 평균 지연을 만족시킬 수 있는 시스템 용량 C_n 을 계산하고, 이중 가장 큰 값을 전체

시스템의 용량으로 정한다. 전체 시스템 용량은 식 (4)로부터 얻을 수 있다.

$$C = \max(C_1, C_2, \dots, C_N) \quad (4)$$

SC n의 IP 패킷의 평균 지연 D_n 은 평균 대기 시간과 평균 서비스 시간의 합이다. 대기행렬이 FCFS (First Come First Serve)이며, 서버가 비선점 우선순위 (Non-preemptive priority) 서비스를 사용하는 경우, D_n 을 Cobham 공식^[9]으로 알려진 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$D_n(C_n) = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i s_i^{(2)}}{2 \left(C_n - \sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(C_n - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right)} + \frac{s_n}{C_n} \quad (5)$$

SC n의 서비스 품질 요구사항 $D_n = D_n(C_n)$ 을 만족하는 시스템 용량 C_n 은 식(4)를 통해 구할 수 있으며, 식 (6)의 3차방정식의 해가 된다.

$$a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n = 0 \quad (6)$$

여기서 계수 a_n, b_n, c_n, d_n 은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} a_n &= 2D_n \\ b_n &= -2 \left(D_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) + s_n \right) \\ c_n &= 2 \left(D_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) + s_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) \right) - \sum_{i=1}^N \lambda_i s_i^{(2)} \\ d_n &= -2s_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)를 통해 얻을 수 있는 3차방정식의 세 개의 해중, 시스템의 용량이 총 패킷 도착율 보다 큰 값을 가져야만 유한한 시간내에 패킷 처리가 가능하므로, 식 (8)을 만족하는 해를 택한다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i < C_n \quad (8)$$

식 (4)을 통해 얻어진 시스템 용량을 기반으로 주파수 소요량 F 를 도출할 수 있으며, 주파수 효율 η (bit/(s·Hz·cell))에 따라 식 (9)로 계산된다.

$$F = \frac{C}{\eta} \quad (9)$$

여기서, C 는 상향링크와 하향링크 용량의 합이다.

III. 실험

3.1 클러스터 구성

실험에서 MWA 기지국과 FWA 셀 스테이션은 동일한 서비스 영역에 배치되며 동일한 주파수 대역을 사용한다. 두 시스템은 동일한 시스템을 기반으로 하며 동일한 캐리어 할당 및 액세스 방법을 사용한다. 따라서 두 시스템이 동일한 주파수를 사용하면, 간섭이 발생 할 수 있다. 각 기지국은 서비스 영역에 균일하게 분포되어 있으며, 사용되지 않는 무선 채널을 제한 없이 사용할 수 있다.

주파수 재사용 조건을 계산하기 위해 가상의 “클러스터 영역”을 고려한다. 이 클러스터 영역은 서비스 영역 내에 균일하게 존재한다고 가정하고, 동일한 클러스터 영역에서 동일한 주파수/시간 슬롯 조합을 재사용 할 수 없지만 다른 클러스터 영역에서는 재사용 할 수 있다. 본 논문에서는 가입자가 서비스 영역에 균일하게 분포하고 있다고 가정하였으며, 클러스터의 반지름은 셀 간 간섭을 고려하여 계산한 값들과, 0.25km부터 4km까지 순차적으로 0.1km씩 증가시킨 값으로 실험하였다 (표 2 참조).

실험에서 사용한 전화밀도 (teledensity) 환경은 ITU-R M.1768^[5]의 Suburban 환경이다. 본 논문에서는 참고문헌^[5]의 매크로 셀을 FWA로 이용하였고, 피코 셀을 MWA로 이용하였다. FWA와 MWA의 트래픽은 SC의 Mobility Ratio를 최소값으로 설정했을 때, 산출되는 상향링크 유니캐스트 트래픽과 하향링크 유니캐스트 트래픽을 사용하였다. 표 3-4에 인가되는 상/하향링크 트래픽을 요약하였다. 클러스터의 트래픽은 FWA와 MWA의 트래픽을 클러스터의 크기에 비례하여 재산출한다.

표 2. 섹터의 반지름
Table 2. Sector Radius

Cell type	Sector radius (m)
FWA	218.51
MWA	22.57
Cluster	250 - 4000

표 3. SC11-SC20 하향링크 유니캐스트 트래픽
Table 3. SC11 to SC20 Downlink Unicast Traffic

Service type	Downlink unicast traffic [kbit/(s·cell)]	
	FWA	MWA
SC11	0	16,056.47
SC12	51,371.12	2,324.67
SC13	119.60	2.71
SC14	0	32.41
SC15	297.53	4.94
SC16	0	2.84
SC17	0	349.18
SC18	107.35	2.23
SC19	0.24	0.01
SC20	0.16	0.00

표 4. SC11-SC20 상향링크 유니캐스트 트래픽
Table 4. SC11 to SC20 Uplink Unicast Traffic

Service Type	Uplink unicast traffic [kbit/(s·cell)]	
	FWA	MWA
SC11	0.00	8.73
SC12	2391.99	111.85
SC13	63.52	1.44
SC14	0.00	17.18
SC15	789.90	17.87
SC16	0.00	0.32
SC17	0.00	33.69
SC18	45.70	0.95
SC19	0.24	0.01
SC20	0.76	0.01

3.2 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 주파수 소요량 산출에 필요한 SC별 평균 패킷 길이, 패킷 길이의 2차 모멘트, 평균 패킷 지연을 참고문헌^[7]에 근거하여, 표 5와 같이 사용하였고, 주파수 효율을 표 6과 같이 설정하였다.

실험은 SC 11-20 중 1개를 사용했을 때, 임의로 5개를 선택했을 때, 전체를 사용했을 때의 주파수 소요량을 산출하여 그림 2-5로 나타내었다. 임의의 5개를 선택한 실험은 SC가 중복되지 않은 2가지 케이스를 선택하였다. 그림 2-5에서 Case 1은 FWA와 MWA의 주파수 소요량을 개별적으로 계산하여 합한 값이며, Case 2는 클러스터를 구성하였을 때의 주파수 소요량

표 5. 서비스 범주의 파라미터
Table 5. Service Category parameters

Service Category	Mean packet size [kbit/packet]	Second moment of packet size [(kbit/packet) ²]	Mean packet delay [s/packet]
SC11	26.34	1763.36	0.02
SC12	14.78	982.39	0.02
SC13	8.17	21.92	0.02
SC14	0.82	8.87	0.02
SC15	0.38	2.31	0.02
SC16	24.43	1301.29	0.02
SC17	26.46	1772.25	0.02
SC18	10.95	37.52	0.02
SC19	1.88	116.98	0.02
SC20	1.88	116.98	0.02

표 6. 주파수 효율
Table 6. Spectral efficiency

Cell type	Spectral efficiency [bits/s/Hz/cell]
FWA	2
MWA	4

이다.

3.3 시뮬레이션 결과

그림 2는 SC20 한 종류의 트래픽만 인가되었을 경우, 클러스터 사이즈의 변화에 따른 주파수 소요량을 그래프로 나타내었다. 클러스터 반지름이 1.15km일 때, Case 1에서 0.158 MHz, Case 2에서 0.104 MHz의 주파수 요구량이 산출되었다. 여기서, 클러스터 반지름 1.05km는 간섭을 고려하여 결정된 값이다. 또한,

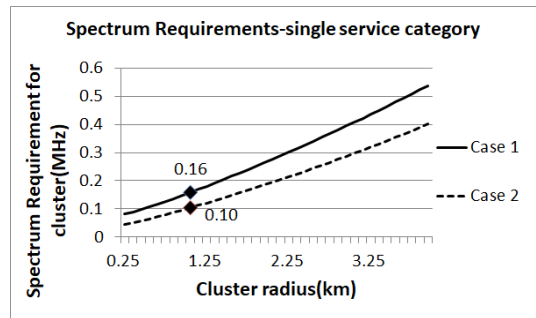


그림 2. 단일 서비스 범주 (SC20)에 M/G/1 모델을 적용한 경우의 주파수 요구량
Fig. 2. Spectrum requirement when applying M/G/1 to single system category (SC20)

MWA와 FWA의 반경은 1.05km 보다 작으므로, 다수의 MWA와 FWA를 고려하며, 트래픽의 밀도가 동일하도록 면적에 맞추어 인가되는 트래픽을 크게 한다. 일반적으로, 클러스터 반지름이 증가함에 따라 클러스터에 인가되는 트래픽의 총량은 제곱으로 증가하기 때문에 반지름 대비 주파수 소요량은 비선형으로 증가한다.

총량이 동일한 트래픽이 반경이 1.05km인 원 영역에 인가되었을 때, MWA와 FWA의 주파수 소요량은 각각 0.081 MHz와 0.77 MHz로 관찰되었다.

FWA와 MWA가 공존하지 않고 서로 다른 주파수를 사용하거나, 같은 주파수를 사용하더라도 간섭이 없도록 서로 충분히 이격되어 운용되는 경우 주파수 소요량은 그림 2와 같이 MWA와 FWA의 주파수 소요량의 합인 0.158 MHz로 결정된다. 반면 본 논문에서 제시한 클러스터를 구성하여 운용하는 경우, 주파수 소요량이 0.104 MHz로 산출되어 더 적은 주파수가 필요하다.

클러스터를 구성하는 경우, 더 적은 주파수 소요량이 산출되는 이유는 본 논문에서 적용한 M/G/1 대기행렬 모델을 포함하여, 대부분의 대기행렬 모델의 특징을 관찰하면 알 수 있는데, 이는 통계적 다중화 이득 (statistical multiplexing gain)에 기인한다. 우선순위의 길이가 다양한 패킷 트래픽 부하를 한 개의 큰 시스템 (클러스터)에서 수용하는 것이 여러개의 작은 시스템 (MWA들과 FWA들)에서 수용하는 것 보다 더 적은 시스템 용량을 요구한다.

임의의 SC 5개를 선택하여 클러스터 사이즈에 따라 주파수 요구량을 산출하는 실험에서 SC14, 15, 16, 18, 20을 선택하였을 때의 주파수 소요량을 그림 3으로 나타내었다. 간섭을 고려한 클러스터 반지름 1.05km를 적용한 경우, Case 1에서 115.213 MHz, Case 2에서 76.929 MHz의 주파수 요구량이 산출되었다. 클러스터 반경을 4km까지 확장하면서 실험하였으며, 관찰 결과 Case 1과 Case 2의 주파수 소요량 차이는 약 38.5 MHz에서 수렴한다.

또 다른 실험으로, SC12, 13, 16, 17, 18을 선택하였을 때의 클러스터 반지름이 1.05km 일 때, 주파수 소요량은 그림 4에서 보듯이 Case 1에서 1.516 GHz, Case 2일 때, 1.478 GHz이며, 두 방법의 차이가 38 MHz로 주파수 소요량 대비 작은 비중을 차지한다.

그림 4에서 Case 1과 Case 2가 비슷한 주파수 소요량을 보이는 이유는 인가되는 트래픽의 총량이 많아서 주파수 소요량의 차이가 수렴하는 구간에 있기 때문이다. 따라서, 클러스터의 크기를 작게하여 운용

하는 경우에 주파수 소요량 절감 효과를 얻어낼 수 있다.

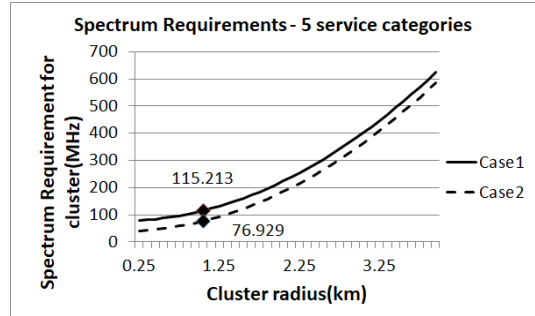


그림 3. 임의로 선택한 5개 (SC14, SC15, SC16, SC18, SC20)의 서비스 범주에 M/G/1 모델을 적용한 경우의 주파수 요구량

Fig. 3. Spectrum requirement when applying M/G/1 to randomly selected 5 system categories(SC14, SC15, SC16, SC18, SC20)

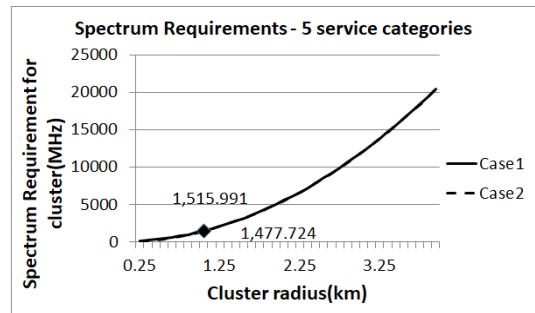


그림 4. 임의로 선택한 5개 (SC12, SC13, SC16, SC17, SC18)의 서비스 범주에 M/G/1 모델을 적용한 경우의 주파수 요구량

Fig. 4. Spectrum requirement when applying M/G/1 to randomly selected 5 system categories(SC12, SC13, SC16, SC17, SC18)

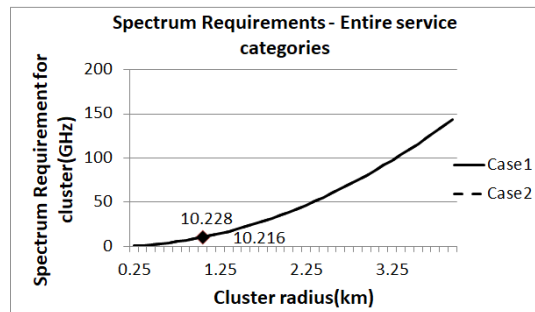


그림 5. 모든 서비스 범주에 M/G/1 모델을 적용한 경우의 주파수 요구량

Fig. 5. Spectrum requirement when applying M/G/1 to entire system categories

그림 5는 총 10개의 SC에 대해 주파수 소요량을 산출 시 클러스터 크기에 따라 주파수 요구량이 변화하는 것을 나타낸 것이다. 총 10 종류의 트래픽이 인가되는 경우, 인가되는 트래픽의 총량이 많으며, 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있는 범위를 벗어나 있어, 클러스터를 구성하는 경우와 MWA와 FWA를 별도로 운영하는 경우와 주파수 소요량에 있어 차이가 거의 없다. 하지만, 트래픽의 부하가 낮은 경우에는 그림 2과 3에서와 같이 클러스터를 구성하여 운영하는 것이 주파수 소요량 측면에서 이득이 될 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 고정 및 이동서비스가 공존하는 환경에서 클러스터를 구성하는 경우의 주파수 소요량을 산출하였다. 인가되는 트래픽은 우선순위와 길이가 서로 다른 10가지이며 (SC11 - SC20), 주파수 소요량은 M/G/1 대기행렬 모델을 이용하여 산출하였다. 첫 번째 실험에서, 단일 서비스 범주의 트래픽을 인가한 경우, MWA와 FWA에 별도의 주파수를 할당하면 총 0.158 MHz가 필요하다는 결과가 나타났으나, 두 시스템이 같은 주파수에서 스펙트럼 효율적인 방식으로 공존한다면 (클러스터링: Clustering), 0.104 MHz이면 충분하다는 결과를 얻었다.

클러스터를 구성하는 것이 더 적은 주파수를 필요로 하는 이유는 M/G/1 모델의 통계적 특성에 기인한다. 우선순위와 길이가 다양한 패킷 트래픽 부하를 한 개의 큰 시스템인 클러스터에서 수용하는 것이 두 개의 작은 시스템인 MWA와 FWA에서 분산하여 수용하는 것 보다 전체적으로 낮은 시스템 용량을 요구하게 된다. 이 때, 클러스터의 반경이 길어져서 인가되는 입력 트래픽의 총량이 증가하면 두 방식의 차이가 줄어들게 된다. 따라서, 클러스터의 크기를 작게 구성하고, 인가되는 트래픽의 종류가 작은 환경이 고정 및 이동서비스가 공존하는 환경에서 주파수 소요량 측면에서 효과적이다.

References

[1] ITU, *ITU-R Rec. M.2083, IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*, ITU, Sept. 2015.

[2] Ofcom, *Fixed Wireless Spectrum Strategy - call for input*, Ofcom, Jul. 2016.

[3] D. Schoolar, *Whitepaper 5G fixed wireless access*, Ovum, 2016.

[4] ITU, *ITU-R Rec. F.1518, Spectrum requirement methodology for fixed wireless access and mobile wireless access networks using the same type of equipment, when coexisting in the same frequency band*, ITU, May 2001.

[5] ITU, *ITU-R Rec. M.1768-1, Methodology for calculation of spectrum requirements for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications*, ITU, Apr. 2013.

[6] ITU, *ITU-R F.758-6, System parameters and considerations in the development of criteria for sharing or compatibility between digital fixed wireless systems in the fixed service and systems in other services and other sources of interference*, ITU, Sept. 2015.

[7] ITU, *ITU-R Rep. M.2290-0, Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT*, ITU, Dec. 2013.

[8] L. Kleinrock, *Queueing Systems*, vol. 1: Theory, John Wiley & Sons, New York, United States of America, 1976.

[9] A. Cobham, "Priority assignments in waiting line problems," *J. Operations Res. Soc. Am.*, vol. 2, pp. 70-76, USA, Feb. 1954.

[10] S. K. Oh and E. B. Goldsmith, "The better manuscript preparation for speedy publication," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 13, no. 6, pp. 10-16, Dec. 2011.

신 흥 기 (Hong-Gi Shin)



2017년 2월 : 경기과학기술대학교 컴퓨터모바일융합과 전문학사

2017년 8월 : 국가평생교육진흥원 학점은행제 컴퓨터공학 학사

2017년 9월~현재 : 광운대학교 로봇학과 석사과정

<관심분야> 통신 네트워크, 머신러닝, 실내 측위

김 형 중 (Hyung-Jung Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자
공학과 졸업
1995년 8월 : 한양대학교 전자
공학과 석사
2010년 8월 : 충북대학교 전파
통신공학과 박사
1995년 8월~현재 : 한국전자통
신연구원 책임연구원

<관심분야> 스펙트럼공학, 디지털RF, 이동통신

최 용 훈 (Yong-hoon Choi)



1995년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 공학사
1997년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 공학석사
2001년 2월 : 연세대학교 전기
전자공학과 공학박사
2001년 4월~2002년 3월 : (미)

매릴랜드 주립대 Postdoctoral Research Associate
2002년 6월~2005년 8월 : LG전자 책임연구원
2005년 9월~현재 : 광운대학교 로봇학부 교수
<관심분야> 통신 네트워크, 머신 러닝

윤 현 구 (Hyungoo Yoon)



1995년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 (공학사)
1997년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 (공학석사)
2002년 8월 : 연세대학교 전기
전자공학과 (공학박사)
2002년~2004년 : (주)현대시스
컴 선임연구원

2004년~현재 : 명지전문대학 전자공학과 교수

<관심분야> 통신시스템, 무선자원관리, 간섭회피방안