

다중 서비스 클래스를 제공하는 네트워크 운영자를 위한 우선순위 기반의 동적 스펙트럼 할당 알고리즘

정희원 김 훈*, 종신회원 이연우**, 정희원 주양익***, 윤상보***

A Priority based Dynamic Spectrum Allocation Algorithm for Multiple Network Operators Supporting Multiple Service Classes

Hoon Kim* *Regular Member*, Yeonwoo Lee** *Lifelong Member*,
Yang-Ick Joo***, Sangboh Yun*** *Regular Members*

요 약

지금까지 연구된 대부분의 동적 스펙트럼 할당(DSA) 방식들은 서로 다른 네트워크를 운영하는 다중 네트워크 운영자(network operators: NOs)들 간의 시간적으로 또는 공간적으로 변화하는 트래픽 요구 변화량에 따라서 기대할 수 있는 동적 스펙트럼 할당방식의 이득에 대한 것이었다. 본 논문에서는 스펙트럼 공유(sharing)와 할당과 연계된 기능적 엔티티(entities)에 대해서 소개하고, 다중 네트워크 운영자들 간의 장기간(long-term)의 우선순위(priority), 다중 서비스 클래스간의 우선순위 및 긴급 대역폭 요구(bandwidth request) 등을 고려한 스펙트럼 할당 알고리즘을 제안한다. 제안한 우선순위 기반의 DSA 알고리즘은 네트워크 운영자간의 각기 다른 다중 서비스 클래스의 트래픽 패턴에 대해서 기존의 고정 스펙트럼 할당방식에 비해 우수한 사용자들의 만족율(satisfaction ratio: SR)을 제공함을 보였다. 따라서 제안한 알고리즘은 다중 네트워크 운영자간의 서비스 클래스에 대한 공정성(fairness)을 제공함과 동시에 사용자들의 대역폭 요구(bandwidth request)에 대해서 효율적인 타협(negotiation) 과정을 제공할 수 있다.

Key Words : Dynamic spectrum allocation, Network operator, Spectrum sharing

ABSTRACT

This paper presents a spectrum sharing and allocation problem in multiple network operators (NOs). Most of previous works as to dynamic spectrum allocation (DSA) schemes have presented the DSA gain achieved by utilizing the time or regional variations in traffic demand between multi-network operators (NOs). In this paper, we introduce the functionalities required for the entities related with the spectrum sharing and allocation and propose a spectrum allocation algorithm while considering the long-term priority (or fairness) between NOs, the priority between multiple class services, and the urgent bandwidth request. It was shown that the proposed algorithm with priorities between multiple class services could sustain better satisfaction ratio (SR) than the fixed allocation schemes or one without priority under different traffic patterns. Therefore, we conclude that the proposed DSA with priorities between multiple class services and network operators could provide the fairness between service classes of network operators and effective negotiation procedure for urgent bandwidth request by users.

※ 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-331-D00372).

* 미국 Stanford University, STAR Lab. (hoonk@stanford.edu),

** 목포대학교, 정보공학부 정보통신공학전공 (ylee@mokpo.ac.kr)(? : 교신저자), *** 삼성전자 통신연구원소,

논문번호 : KICS2007-09-392, 접수일자 : 2007년 9월 8일, 최종논문접수일자 : 2007년 12월 6일

I. 서 론

이음새 없는 멀티미디어 서비스 제공은 이종(heterogeneous)의 다양한 무선 접속 네트워크(radio access network)간의 상호연동(inter-operability)에 의해서 가능하게 되었는데, 이는 무선 자원 관리(radio resource management) 측면에서 새로운 도전이 필요함을 의미한다. 이러한 상호연동을 가능하게 하는 핵심 요소기술 중의 하나는 효율적인 무선 자원 활용을 도모하는 유연한 스펙트럼 관리 (spectrum management)기법이라고 할 수 있다. 이러한 기법은 스펙트럼의 관리규정 자체의 근본적인 변화를 요구하므로 더욱 도전적인 기술적인 과제이다. 근래에 제시되어온 스펙트럼 할당(allocation) 방식들은 근본적으로 고정된 스펙트럼 형태를 할당되는 방식들로 다른 네트워크 운영자(network operator: NO)에게 주파수 밴드(band)를 동적으로 할당하기가 어려웠다. 그렇지만 이종의 인프라구조에서 여러 가지의 기술들이 공존하고 서로 협조하기 위해서는 동적인 방법으로 스펙트럼을 관리해야할 필요성을 대두되고 있다. 이러한 개념은 더 이상 네트워크 운영자들에게 고정된 스펙트럼이 보장되지 않음을 의미한다. 그렇지만 역으로 스펙트럼이 동적으로 또는 지능적으로 관리되어 할당되어진다면 각 네트워크의 용량은 최대로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 간섭을 최소화하는 데에도 큰 기여를 할 것이다.

이러한 연구는 여러 다른 분야에서 수행하여 왔다. 특히 World Wireless Research Forum에서는 차세대 이동통신시스템과 차세대 네트워크에 대비한 스펙트럼 활용기술에 대한 연구가 진행되고 있고^[1], 유럽의 IST 프로젝트인 OverDRIVE (spectrum efficient uni- and multicast over dynamic radio networks in vehicular environments)에서는 UMTS의 진화를 목적으로 스펙트럼 효율적인 이동 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 기존 무선 네트워크의 hybrid 네트워크로의 공조방안 등을 연구하고 있다^[2]. 특히 참고 문헌 [3]에서는 시간적으로 변화하는 트래픽 부하의 요구에 따른 스펙트럼 공유 및 할당 알고리즘을 제안하였다. 또한 참고문헌 [3]에서는 스펙트럼 관리자와 스펙트럼 브로커의 개념을 소개하였다.

위의 연구와 더불어 대부분의 이전의 연구에서는 스펙트럼 자원을 단순히 대역폭의 요구에 따라서만 할당하였는데^[4], 본 논문에서는 스펙트럼 할당에 관련된 엔티티(entities)들에게 요구되는 기능적 역할(functionalities)과 관계를 소개하고, 우선순위를 도

입한 동적인 스펙트럼 할당 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존의 연구에서처럼 단순하게 요구된 대역폭을 동적으로 할당하는 것이 아니라 서비스 클래스별의 우선순위, 각 네트워크 운영자의 우선순위 및 장기적 우선순위 등을 고려한 스펙트럼 공유 메트릭(spectrum sharing metric: SSM)을 적용하여 스펙트럼을 동적으로 할당하는 알고리즘이다. 특히 가용 스펙트럼이 부족할 때, SSM과 협상(negotiation) 과정을 이용하여 효율적으로 긴급한 대역폭 요구를 수용하여 할당하는 과정을 포함한다. 본 논문에서는 NO들 사이의 장기적 스펙트럼 점유 비율과 다중 서비스 클래스들의 우선순위를 고려하여 스펙트럼을 동적으로 할당하는 결과를 제시하였다. 본 논문의 2장에서는 제안된 시스템 모델과 스펙트럼 엔티티의 기능에 대해서 설명하고, 제안된 스펙트럼 할당 알고리즘을 3장에서 기술한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 트래픽 패턴에 따라 분석한 결과를 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 제안된 시스템 모델 및 스펙트럼 엔티티

2.1 시스템 모델 및 트래픽 패턴

본 논문에서 고려하는 시스템 모델의 개념도는 그림 1에 보인 바와 같이, 다중 네트워크 운영자들이 다중의 서비스 클래스를 제공하는 시스템 모델이다. 다중 네트워크 운영자들 간의 스펙트럼 공유 개념과 제안하는 할당 알고리즘을 설명하기 위해서 본 논문에서 두 개의 네트워크 운영자(NO1 및 NO2)의 환경을 가정하여 도시하였다. 여기서 S_{ij} 는 i 번째 네트워크 운영자(NO_i)에서의 j 번째 서비스 클래스를 의미한다.

각 네트워크에서 제공되는 각 서비스 트래픽 패턴은 24시간동안 변화하는 각기 다른 형태로 가정

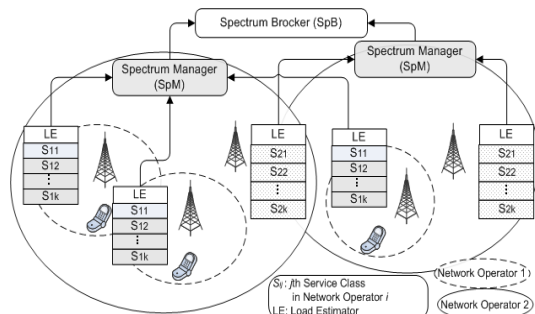


그림 1. 시스템 모델 (다중 네트워크 운영자 및 다중 서비스 클래스)

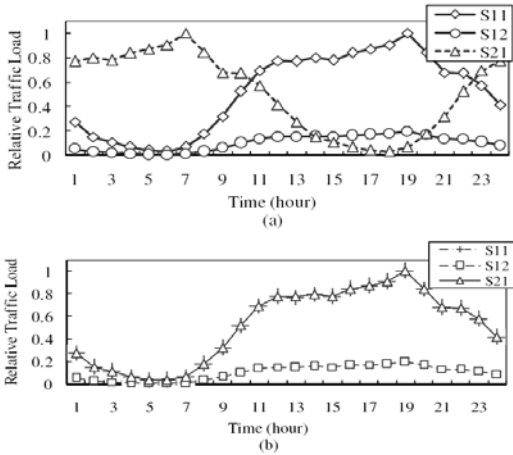


그림 2. (a) 역상관된 (negatively correlated) 트래픽 패턴 Case-I, (b) 순상관된 (positively correlated) 트래픽 패턴 Case-II.

할 수 있다. 본 논문에서는 단순화하여 두 개의 네트워크 운영자를 고려하였고, 네트워크 운영자 1 (NO1)에서는 두 가지 서비스 클래스(S_{11} , S_{12})를 제공하고, 네트워크 운영자 2 (NO2)에서는 한 가지 서비스 클래스 (S_{21})를 제공한다고 가정하였다. 24 시간 동안 변화하는 각각의 트래픽 패턴은 그림 2에 보였다. 그림 2의 트래픽 패턴(S_{11} , S_{12})은 CDMA 시스템의 여러 기지국에서 발생하는 호 시도의 수를 평균한 것을 바탕으로 한 것이다⁵⁾.

본 논문에서 고려한 트래픽의 서비스 형태는 음성과 데이터이다. 즉 S_{11} 은 NO1에서의 음성서비스이고, S_{12} 는 NO1에서의 데이터 서비스를 의미한다. 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 이득을 평가하기 위하여 서비스 클래스 S_{11} 과 S_{21} 과의 상관도(correlation)에 따라 역상관된 경우(Case-I)와 순상관된 경우(Case-II)로 가정하여 트래픽 패턴을 구성하여 고려하였다. 상관도를 결정하기 위하여 서비스 클래스 S_{11} 을 12시간 천이(shift)하여 S_{21} 을 구성하였다 (그림 2(a)의 경우).

고정 스펙트럼 할당방식의 경우에는 각 네트워크 운영자가 각각의 최대 대역폭 요구들을 충족시키기 위해서 충분한 전용 스펙트럼을 미리 할당할 필요가 있다. 그렇지만 동적 스펙트럼 할당 알고리즘이 고려된다면, 각 네트워크 운영자들에게는 순시적으로 필요한 스펙트럼의 양만큼만 필요하므로 보다 효율적인 것은 자명하다. 특히 트래픽 패턴이 그림 2(a)와 같이 두 NO의 주요 요구 트래픽 부하가 역상관된 경우(시간적으로 분산된 경우)이면 더욱 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 이득이 클 것으로 예

상할 수 있다. 이에 대한 구체적인 알고리즘과 성능 분석은 III장에서 논의한다.

2.2 스펙트럼 할당을 위한 엔티티(entities)

그림 1에 보인바와 같이 각 네트워크 운영자는 서비스 클래스별로 트래픽 부하(load)를 추정할 수 있는 추정기(Load Estimator: LE)가 있고, 이 추정치들은 각 셀에 위치한 스펙트럼 관리자(Spectrum Manager: SpM)에게 전달된다. 이러한 정보는 궁극적으로 스펙트럼 브로커(Spectrum Broker: SpB)에게 전달되어 이중의 네트워크 운영자간에도 효율적이고 능동적인 스펙트럼 할당을 가능하게 한다.

이렇게 본 논문에서 제안하는 스펙트럼 관련 엔티티(functional entities)는 국부 자원 관리자(local resource manager: LRM), 스펙트럼 관리자(SpM) 및 스펙트럼 브로커(SpB)를 들 수 있으며, 그림 3에 보인 바와 같은 각각의 역할과 기능들의 관계에 대해서 기술하면 다음과 같다.

- LRM은 각 셀별 국부적인 무선 자원 할당을 담당한다. 무선 링크의 상태와 트래픽 부하를 모니터링하여 각 서비스 클래스별로 필요한 대역폭을 추정하는 역할을 수행한다. LRM에 의해 추정된 요구 대역폭(bandwidth) 정보를 기준으로 SpM은 스펙트럼과 무선 자원을 각 LRM에 할당하고, LRM은 사용자에게 자원을 할당한다.
- SpM은 각 NO에서의 스펙트럼 할당을 담당한다. 각 SpM에 속해있는 LRM으로부터 보고된 부하정보, 부하 히스토리(load history) 및 각 서비스 클래스의 우선순위(priority)의 정보를 바탕으로 하여 결정된 각 NO의 요구 대역폭 정보를 SpB에게 보고하는 역할을 한다. 또한 SpM은 명시적으로 허락된 대역폭보다 많은 대역폭이 필요할 때, 대역폭 협상 요구(Bandwidth Negotiation Request: BN_request) 메시지를 SpB에게 전송하여 가용한 스펙트럼이 NO1이나 NO2에 존재할 경우 할당을 받게 된다.

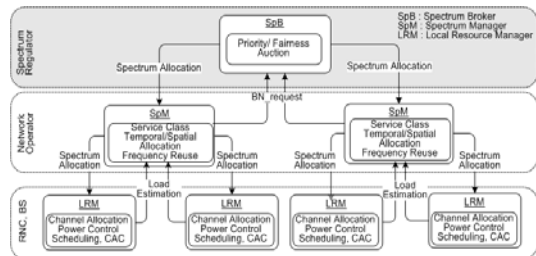


그림 3. 제안된 시스템의 각 entities별 역할과 기능 관계의 개념도

• SpB는 NO사이의 스펙트럼 공유와 할당부분의 책임을 담당한다. 각 NO의 요구 대역폭과 BN_req 메시지를 관찰하고, 스펙트럼 공유 및 할당 알고리즘을 사용하여 각 NO에게 장기적인 우선순위를 보장하면서 순시적(temporally)으로 발생하는 각 NO 사이에서 트래픽 차이를 활용하여 SpM에게 스펙트럼 할당메시지를 전달한다. 즉 SpB에서는 NO간의 BN_request를 통해서 스펙트럼 협상을 담당한다.

III. 우선순위 기반 동적 스펙트럼 할당 알고리즘

3.1 스펙트럼 구성

본 논문에서는 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 효율적인 스펙트럼 사용을 가능하게 하기 위해서 전체 스펙트럼을 여러 개의 전용밴드(dedicated band, B_D), 공유밴드(shared band, B_S) 및 경매밴드(auction band, B_A)로 분리되어 구성된다고 가정한다.

전용밴드는 각 네트워크 운영자(NO)에게 독립적으로 할당되는 밴드이고, 공유밴드와 경매밴드는 여러 네트워크 운영자들이 동시에 공유하거나 경매에 참여할 수 있는 밴드이다. 특히 공유밴드는 장기적인 우선순위(long-term priority) 파라미터를 반영하기 위해 설정한 밴드이고, 경매밴드는 대역폭 협상 요구(BN_request)를 반영하기 위한 밴드이다. 위와 같은 스펙트럼 구성을 바탕으로 제안하는 동적 스펙트럼 할당 알고리즘은 다음과 같다.

3.2 제안한 스펙트럼 공유 및 할당 알고리즘

본 논문에서 제안하는 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 흐름은 그림 4와 같고, 각 상태에서의 알고리즘에 대한 설명은 다음과 같다.

- 초기단계(initial stage): 초기단계에서는 각 NO는 스펙트럼 브로커(SpB)에게 서비스를 시작하기 이전에 스펙트럼 사용에 대한 동의를 얻은 후 서비스를 개시한다. SpB는 전용밴드의 독점사용과 공유밴드의 사용에 대한 license를 인가해준다. 이 단계에서 각 NO에게 할당되어진 전용밴드에 대해서는 더 이상 SpB가 관여하지 않는다.
- 공유밴드 할당 단계(shared band allocation stage): 이 단계에서는 각 NO의 서비스 클래스별 장기간(long-term) 우선순위가 고려되어 공유밴드가 할당된다. 할당방식은 각 NO가 전용밴드이외에 필요한 요구 스펙트럼 대역폭(required bandwidth)이 잔여 대역폭($B_S + B_A$)보다 적거나 같을 경우에, SpM이 식 (1)과 같은 스펙트럼 공유 메트릭(spectrum sharing

metric: SSM)을 통해서 스펙트럼을 할당하게 된다.

$$B_k = \frac{P_k \sum_j \alpha_{kj} R_{kj}}{\sum_i \sum_j \alpha_{ij} R_{ij}} B_S \quad (1)$$

여기서 B_k 는 NO_k 에 할당되는 대역폭이고, P_k 는 장기간동안 스펙트럼 공유의 동의 비율(agreed ratio)을 조절하는 파라미터이다. 또한 α_{ij} 와 R_{ij} 는 각각 i 번째 네트워크 운영자(NO_i)에서의 j 번째 서비스 클래스의 우선순위 관련 파라미터, 요구 대역폭이다. 식 (1)에서 $\sum_j \alpha_{kj} R_{kj}$ 는 NO_k 의 가중치 스펙트럼 요구량(weighted spectrum demand)의 합이고, 모든 NO의 스펙트럼 요구의 합은 $\sum_i P_i \sum_j \alpha_{ij} R_{ij}$ 로 나타낼 수 있다. 식 (1)에서 R_{kj} 가 0이면, NO_k 는 j 번째 서비스 클래스에 대해서 SpB에게 대역폭을 요구할 필요가 없음을 의미한다. 또한 만약 R_{kj} 가 모두 같게 설정되어 모든 서비스 클래스에 대해서 동일한 대역폭을 요구한다고 하면, 각 서비스 클래스에 대한 트래픽 부하는 대역폭 요구에 있어 공평하게 고려된다. 실제로 장기간에 걸쳐 할당되는 대역폭의 비율은 파라미터 P_k 를 통해서 조절된다.

- 경매밴드 할당 단계(Auction band allocation stage): 만일 모든 NO의 요구대역폭 총 합의 크기가 잔여대역폭보다 작거나 같다면, 즉 $\sum_i B_i^{req} \leq B_S + B_A$, SpM은 각 NO가 요구하는 대역폭 만큼 할당할 수 있다. 그러나 잔여대역폭이 부족하고 어느 NO에서도 BN_request 메시지가 없을 경우(즉 Auction_mode가 요구되지 않았을 경우)에는 SpM은 각 NO들에게 식 (1)에서 계산된 SSM을 근거로 스펙트럼을 할당한다. 다시 각 NO는 언제든지 SSM에 의해서 할당된 대역폭보다 많은 대역폭이 요구될 때, BN_request 메시지를 SpM과 SpB에게 전송하여 요구할 수 있다. 앞선 경우와 달리, 잔여대역폭이 부족하고 적어도 하나의 BN_request 메시지가 수신되었을 경우에는 SpB는 다른 SpM들에게 BN_request 메시지의 존재를 알려준다. 처음에는 SpM들은 에티켓모드(etiquette mode)로 각자 협상을 시작하고, 어떤 SpM은 다른 SpM에게 경매밴드의 일정 부분을 사용하도록 양도할 수 있다. 이러한 경우에 양도하는 NO에게 재정적인 형태의 보상이 주어질 수 있다. 만일 에티켓모드가 실패하면(즉, 에티켓 모드에 참여하고 있는 SpM 중 적어도 하나의 SpM이 경매밴드를 요구하는 SpM에게 양도를 허락하지 않는다면), 에티켓

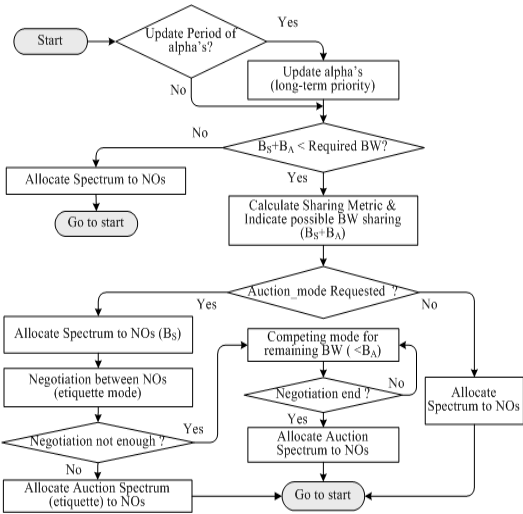


그림 4. 제안된 알고리즘의 SpB에서의 스펙트럼 할당 과정

모드는 곧 바로 경쟁모드(competition mode)로 바뀐다. 이 모드에서는 에티켓모드에서 이루어진 협상 후에 남은 잔여스펙트럼들이 경매에 의해서 팔리게 된다. 이러한 일련의 SpB에서 이루어지는 할당과정을 그림 4에 보였다.

IV. 성능분석

4.1 서비스 클래스 우선순위

제안된 동적 스펙트럼 할당 알고리즘은 각 NO에게 스펙트럼을 할당하는데 있어 각 NO의 트래픽 부하량을 고려할 뿐만 아니라, NO간의 공평성(fairness)와 서비스 클래스의 우선순위가 고려하여 반영할 수 있다. 식 (1)에서 α_{ij} 를 통해 서비스 클래스의 우선순위를 SSM 식 (1)의 전체를 통해 요구대역폭 할당에 전체적인 NO간의 공평성을 고려할 수 있다. 본 장에서는 장기적인 공정성 측면과 협상과정을 반영한 제안된 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 성능을 앞서 예시한 두 가지 트래픽 환경에서 요구대역폭과 서비스 클래스의 우선순위 측면에서 분석한다. 그림 2(a)와 (b)에 제시한 두 가지 트래픽 패턴에서 NO1에서의 서비스 클래스 1(S_{11})의 우선순위(α_{11})는 서비스 클래스 2(S_{12})의 우선순위(α_{12})보다 항상 크다고 가정하였다. 즉, 음성위주의 서비스가 데이터 서비스 형태보다 우선순위가 높다고 가정하였다.

이러한 가정에서 본 논문에서는 제안된 동적 스펙트럼 알고리즘(DSA w priority)을 기존의 고정

스펙트럼 알고리즘(FSA) 및 우선순위를 고려하지 않은 동적 스펙트럼 방식(DSA wo priority)과 비교 분석하였다. FSA는 동일한 양의 대역폭이 각 NO에게 할당된 경우이고, 우선순위가 고려되지 않은 DSA는 각 NO의 일시적인 트래픽 부하를 고려하여 동적으로 스펙트럼을 할당하는 방식이다. 본 논문에서 제안하는 우선순위를 고려한 DSA방식은 식 (1)의 SSM을 바탕으로 그림 4에서 제시한 경쟁과 협상을 포함한 동적 할당과정을 반영하여 각 NO의 일시적인 트래픽 부하와 요구대역폭에 따라 동적으로 스펙트럼을 할당한다. 여기서 제안한 알고리즘은 각 NO의 요구대역폭 뿐만 아니라 각 서비스 클래스의 우선순위, 장기적인 우선순위 및 경쟁, 경매 협상과정을 고려한다. 또한 식 (2)와 같이 전체 요구 대역폭 대비 할당된 대역폭의 비율로 정의된 만족율(satisfaction ratio: SR)을 성능평가 지수로 사용한다.

$$SR = \frac{\text{allocated BW}}{\text{requested BW}} \quad (2)$$

4.2 성능분석 결과

4.2.1 서비스 트래픽 패턴별 성능분석

제안된 알고리즘의 성능분석에 있어 그림 5와 6에서 가정한 서비스 클래스별 우선순위는 각각 $\alpha_{11} = 1$, $\alpha_{12} = 0$ 및 $\alpha_{21} = 1$ 로서 서비스 클래스 1이 절대적으로 서비스 클래스 2보다 우수하다고 가정하였다. 그림 5에서는 정규화된 offered load(즉, 전체 서비스 클래스 요구 부하(대역폭)들의 합을 의미하고, 최대 가용대역폭은 1이라고 가정함)의 변화에 대해서 최대 가용대역폭보다 많은 대역폭이 요구되었을 경우에 각각의 서비스 클래스별 서비스 만족율의 결과를 보였다.

그림 5에서는 그림 2(a)에서 보인 트래픽 패턴 Case-1의 경우(서비스 클래스 S_{11} 과 S_{21} 이 역상관된 트래픽 패턴의 경우)에 대해서 서비스 만족율을 각 알고리즘과 비교하여 제안된 알고리즘의 성능을 비교하였다. 그림 5의 결과와 같이 서비스 클래스 1에 대해서는 모든 알고리즘이 서비스 클래스 2보다 사용자의 서비스 만족율이 우수함을 알 수 있다. 이것은 트래픽 패턴에서 유추할 수 있듯이 클래스 1의 요구 대역폭이 시간적으로 분산되어진 효과에서 기인한다. 본 논문에서 제안한 우선순위기반 동적 스펙트럼 할당 알고리즘은 이러한 순시적 트래픽 부하의 변화 현상을 더욱 효율적으로 활용하여 서비

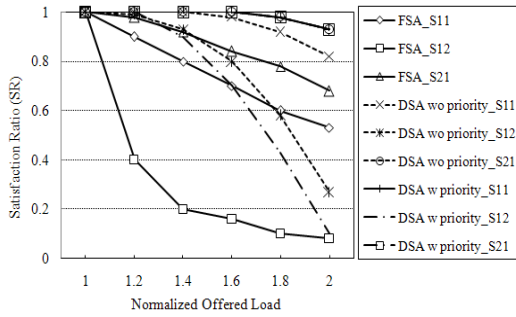


그림 5. 최대 가용대역폭이 1이고, $\alpha_{11} = 1, \alpha_{12} = 0, \alpha_{21} = 1, P_1 = P_2 = 1$, 트래픽 패턴 Case I의 경우에서 정규화된 offered load에 따른 각 서비스별 만족율(SR).

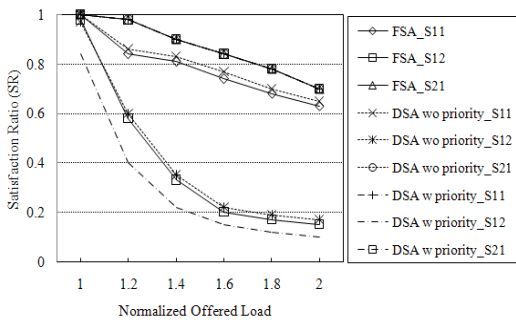


그림 6. 최대 가용대역폭이 1이고, $\alpha_{11} = 1, \alpha_{12} = 0, \alpha_{21} = 1, P_1 = P_2 = 1$, 트래픽 패턴 Case II의 경우에서 정규화된 offered load에 따른 각 서비스별 만족율(SR)

스 만족율을 더욱 높이는 결과를 얻을 수 있다. 제안하는 방식은 서비스 클래스 1의 경우 두 NO에 대해서 FSA 방식과 우선순위가 없는 DSA 방식에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 그렇지만 서비스 클래스 2의 경우에 대해서는 기존의 방식들에 비해 우수한 성능을 얻을 수는 있으나, 주어진 우선순위가 낮은 관계로 offered load가 증가할수록 SR이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 서비스 클래스 1의 경우에 대해서 제안된 방식이 요구대역폭에 대해서 우선순위가 높아서 먼저 할당되어 높은 서비스 만족율을 제공하므로 상대적으로 서비스 클래스 2의 만족율이 감소함을 의미한다.

이와는 반대로 그림 6의 경우(s_{11} 과 s_{21} 이 순상관된 트래픽 패턴 Case-II의 경우)에서는 그림 5에서 획득할 수 있었던 성능개선의 효과가 감소하였다. 이것은 일차적으로 트래픽 패턴이 순상관되어서 한정된 스펙트럼에서 요구 대역폭이 동시에 증가하여 우선순위 방식이 적용되어도 기대할 수 있는 서비스 만족율의 성능 향상이 그림 5에서보다 낮음을

알 수 있다. 즉 시간적으로 분산되어있는 트래픽보다 순시적으로 동시에 발생하는 트래픽 요구량은 제안된 알고리즘에 의한 성능향상은 크게 기대할 수 없음을 알 수 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이 약간의 성능개선은 기대할 수 있으나, 기존의 방식들에 비해서 큰 성능개선은 기대할 수 없다.

그림 5와 그림 6의 결과를 종합해 볼 때, 제안된 알고리즘은 우선순위가 낮은 서비스 클래스 2(s_{12})에 대해서 트래픽 패턴 Case I의 경우에 현저한 성능개선을 기대할 수 있는 반면, Case II에 대해서는 성능개선을 기대할 수 없다. 또한 서비스 클래스 1에 대해서 제안된 알고리즘은 두 가지 트래픽 패턴 모두에서 우수한 성능을 제공한다. 특히 NO간에 역상관된 트래픽 패턴의 경우(즉 트래픽이 시간적으로 분산되어 순시적으로 NO간에 트래픽 요구량이 차이가 클 경우)에 제안된 방식의 적용으로 기대할 수 있는 성능향상이 크다고 할 수 있다.

4.2.2 우선순위에 따른 성능영향 분석

그림 7과 8에서는 우선순위 파라미터의 변화에 따른 Case-I의 트래픽 패턴에 대한 성능영향의 결과를 보였다. 그림 7에서는 우선순위가 $\alpha_{11} = 0.9, \alpha_{12} = 0.1$ 및 $\alpha_{21} = 1$ 로 설정하여 NO1에 대한 서비스 클래스 2 (s_{12})의 우선순위 가중치가 s_{11} 이나 s_{21} 에 비해 각각 9배, 10배 작게 설정되었다. 예상한 바와 같이 제안된 알고리즘의 적용되어도 s_{12} 에 대한 서비스 만족율은 크게 개선되지 않음을 알 수 있다. 이것은 그림 5와 그림 6에서도 동일한 경향을 보였다. 반면 s_{11} 과 s_{21} 에 대한 서비스 만족율은 offered load의 증가에도 여전히 높은 값을 유지한다. 즉 설정 최대 가용 대역폭을 초과하는 대역폭을

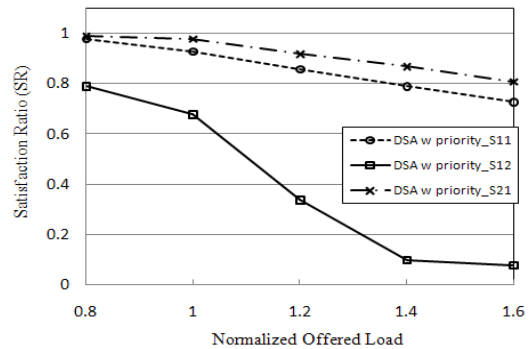


그림 7. 최대 가용대역폭이 1이고, $\alpha_{11} = 0.9, \alpha_{12} = 0.1, \alpha_{21} = 1, P_1 = P_2 = 1$, 트래픽 패턴 Case I의 경우에서 정규화된 offered load에 따른 각 서비스별 만족율(SR).

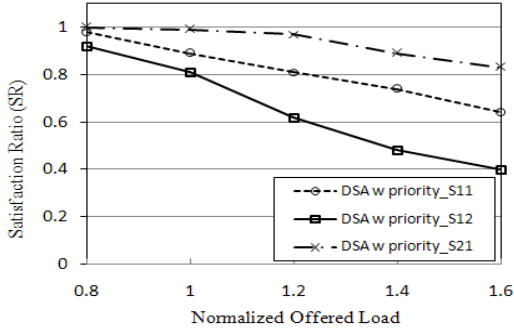


그림 8. 최대 가용대역폭이 1이고, $\alpha_{11} = 0.7$, $\alpha_{12} = 0.3$, $\alpha_{21} = 1$, $P_1 = P_2 = 1$, 트래픽 패턴 Case I의 경우에서 정규화된 offered load에 따른 각 서비스별 만족율(SR).

요구하더라도 제안한 알고리즘은 24시간동안 평균적으로 높은 서비스 만족율을 제공한다.

그림 8에서도 그림 7과 유사한 결과를 얻을 수 있다. S_{12} 의 우선순위 가중치 α_{12} 를 0.1에서 0.3으로 증가시켜서 성능영향을 분석한 결과, S_{12} 에 대한 서비스 만족율은 상당히 향상되었고 S_{11} 에 대해서는 만족율이 감소하였다. 이와 같은 결과를 종합적으로 고려해 볼 때, 우선순위의 가중치에 따라 각각의 서비스 클래스에 대한 서비스 만족율에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그렇지만 전체 NO에 대한 평균적인 만족율은 유사하다고 할 수 있다. 즉 실제 시스템에 적용하기 위해서는 실제적인 트래픽의 변화 환경과 우선순위, 서비스 클래스의 차별화 등의 여러 파라미터들이 동시에 고려되어야 하는 절충과정이 필요하다. 하지만 여전히 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 여러 NO가 존재하는 시스템 환경에서 스펙트럼을 동적으로 할당하면서 NO간의 공정성과 서비스 클래스의 장기적인 우선순위를 보장하기 위한 기본적 프레임워크를 제안하고 있다.

그림 9에서는 정규화된 offered load가 0.8에서 1.6까지 변화하는 경우에 대해서 스펙트럼 공유 조절 파라미터 P_1 에 따른 각 서비스 클래스별 서비스 만족율의 결과를 보였다. 그림 9에서 파라미터의 총합 2로 고정($P_1 + P_2 = 2$)하고, P_1 을 변화시켰다. 결과에서 유추할 수 있듯이 S_{12} 에 대해서는 큰 결과의 변화가 없는 반면, 서비스 S_{11} 의 영향은 서비스 S_{21} 에 비해 상당히 크다. 그림 5에서 S_{11} 과 S_{21} 의 가중치가 동일하게 '1'로 가정한 경우의 결과가 유사한 것을 고려해 볼 때, 그림 9의 결과는 S_{11} 과 S_{21} 의 가중치의 차이에서 결과가 다르다고 할 수 있다.

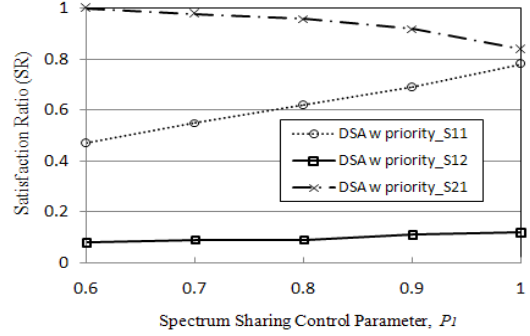


그림 9. 정규화된 offered load가 1.2, $\alpha_{11} = 0.9$, $\alpha_{12} = 0.1$, $\alpha_{21} = 1$, 트래픽 패턴 Case I의 경우에 대해서 스펙트럼 공유 조절 파라미터 P_1 에 따른 각 서비스별 만족율(SR).

V. 결론

본 논문에서는 다중 네트워크 운영자들 간의 장기간의 우선순위, 다중 서비스 클래스간의 우선순위 및 긴급 대역폭 요구 등을 고려한 동적 스펙트럼 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 우선순위 기반의 알고리즘은 시간적으로 분산된 트래픽 패턴에 대해서 기존의 스펙트럼 할당방식들보다 큰 서비스 만족율의 향상을 제공하였다. 또한 장기간 우선순위 파라미터, 스펙트럼 공유조절 파라미터의 적절한 선택과 스펙트럼 관리자/경매자를 통한 공유/경매 스펙트럼의 할당 알고리즘으로 다중 네트워크 운영자간의 서비스 클래스에 대한 공정성을 제공함과 동시에 사용자들에게 효율적인 스펙트럼을 할당할 수 있다.

참고 문헌

- [1] M. Beach, D. Bourse, R. Navarro, M. Dillinger, T. Farnham, T. Wiebke, "Reconfigurable Terminals Beyond 3G and Supporting Network SystemAspects", *Wireless World Research Forum (WWRF)*, SDR WG, Stockholm, Sweden, 17-18 September 2001.
- [2] OverDrive project, <http://www.ist-drive.org>
- [3] P. Leaves et. al., "Performance Evaluation of Dynamic Spectrum Allocation in Multi-Radio Environments", *IST Mobile Communications Summit, Barcelona, Spain, September 2002*.
- [4] L. Vignali, F. Malavasi, D. Grandblaise, D. Lacroix-Penther, J-P. Javaudin, "Asymmetric UMTS for Spectrum Efficient Asymmetric Services

Delivery”, MWCN2003, Singapore, October 2003.

[5] KTF TR, “cdma-2000 1X, The Statistics of Traffic Patterns”, 2005.

김 훈 (Hoon Kim)

정회원



1998년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 졸업

1999년 8월 한국정보통신대학교
공학부 석사

2004년 8월 한국정보통신대학교
공학부 박사

2004년 9월~2005년 10월 삼성
종합기술원

2005년 12월~2007년 8월 정보통신부

현재 Stanford University, STAR Lab., 연구원

<관심분야> 차세대 이동통신, 무선자원 관리

이 연 우 (Yeonwoo Lee)

종신회원



1994년 2월 고려대학교 전자공
학과 석사

2000년2월 고려대학교 전자공학
과 박사

2000년 3월~9월 고려대학교 BK21
박사후 연구원

2000년 10월~2003년12월 영국

Edinburgh 대학교 Research Fellow

2004년 1월~2005년 8월 삼성종합기술원, 4G연구팀

2005년 9월~현재 국립목포대학교 정보공학부 정보통
신공학전공, 조교수

<관심분야> 이동통신, Cognitive Radio, Mobile Multihop
Relay, 4G 이동통신, Wireless Sensor Network,
RRM

주 양 익 (Yang-Ick Joo)

정회원



2000년 2월 고려대학교 전자공
학과 석사

2004년 2월 고려대학교 전자공
학과 박사

2004년 3월~현재 삼성전자, 통신
연구소

<관심분야> 무선통신, PHY & MAC,
Bluetooth, Wireless PAN, 유비쿼터스 네트워킹

윤 상 보 (Sangboh Yun)

정회원

한국통신학회논문지 제32권 제7호(통신이론 및 시스템)