

# 해상무선통신환경에서 스펙트럼 공유와 우선순위를 적용한 동적스펙트럼할당 알고리즘 기술연구

준회원 임무성\*, 김경성\*, 종신회원 이연우\*, 정회원 이성로\*

## Dynamic Spectrum Allocation Algorithm for Maritime Communications using Spectrum Sharing and Priority

Moo-Sung Lim\*, Kyung-Sung Kim\* Associate Members,  
Yeonwoo Lee\* Lifelong Member, Seong Ro Lee\* Regular Member

### 요약

본 논문에서는 해상무선통신환경에서 선박의 위치에 따라 속해있는 네트워크 운영자들 간의 장기간(long-term)의 우선순위(priority) 및 서비스 클래스간의 우선순위 등을 고려한 동적스펙트럼할당(DSA: Dynamic Spectrum Allocation) 알고리즘을 제안한다. 제안한 DSA 알고리즘은 네트워크 운영자간의 각기 다른 서비스 클래스의 트래픽 패턴에 대해서 동적으로 스펙트럼을 공유하고 할당하여, 기존의 고정 스펙트럼 할당방식에 비해 사용자들에게 요구하는 스펙트럼 대역폭을 충분히 제공할 수 있어 서비스 만족율을 향상시킴을 보였다. 따라서 제안한 알고리즘은 해상무선통신환경에서도 스펙트럼 공유와 동적 할당을 통한 운영이 가능함을 보여 육상의 유휴 스펙트럼 자원을 활용할 수 있음을 제시하였다.

**Key Words** : dynamic spectrum allocation, network operator, spectrum sharing

### ABSTRACT

In this paper, we propose the dynamic spectrum allocation (DSA) algorithm using spectrum sharing method considering the long-term priority between NOs and service classes for the maritime communication system environment where a ship locates at either near shore (or land) or off-shore. It was shown that the proposed algorithm using spectrum sharing with priorities could deliver better satisfaction ratio (SR) than the fixed allocation schemes, in the context of provision of required bandwidth (or spectrum) for each users. Therefore, we conclude that the proposed DSA with priorities could apply to the maritime communication environment and exploit the under-used (or unused, idle) spectrum of terrestrial communication networks.

### I. 서론

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 이중의 인프라구조에서 여러 가지의 기술들이 공존하고 서로 협조하기 위해서는 동적인 방법으로 스펙트럼을 관리해야할 필요성이 대두되고 있다. 이러한 개념은 더 이상 네트워크 운영자들에

\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2009-0093828). 또한, 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-313-000648).

\* 목포대학교 정보공학부 정보통신공학전공 (ylee@mokpo.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-396, 접수일자 : 2010년 9월 10일, 최종논문접수일자 : 2010년 6월 18일

게 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.

World Wireless Research Forum에서는 차세대 이동통신시스템과 차세대 네트워크에 대한 스펙트럼 활용기술에 대한 연구가 진행되고 있고<sup>[1]</sup>, 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 네트워크로서의 공조방안 등을 연구하고 있다<sup>[2]</sup>. 특히 참고문헌 [3]에서는 시간적으로 변화하는 트래픽 부하의 요구에 따른 스펙트럼 공유 및 할당 알고리즘을 제안하였다. 또한 참고문헌 [3]과 [4]에서는 스펙트럼 관리자와 스펙트럼 브로커의 개념과 대역폭의 요구에 따라서 스펙트럼 자원을 할당하는 방식의 연구를 제시하였다. 본 논문에서는 시간대별로 구축된 long-term 우선순위를 고려하고 트래픽 패턴에 맞춘 동적할당알고리즘을 제시한다.

한편, 해상 무선통신시스템은 MF/HF/VHF대역을 사용하는 해상라디오통신과 INMARSAT이나 Orbcomm을 사용하는 위성통신으로 구분되며, 간단한 텍스트, 팩스 또는 음성서비스가 주요 서비스임. 이러한 해상통신 방식 중 MF/HF/VHF대역을 사용하는 해상라디오통신은 연근해를 항해하는 중소형 선박 또는 개인용 레저선박에서 사용되고 있다. MF/HF/VHF대역을 사용하는 해상통신시스템은 통신범위가 80Km~300Km 정도로 광범위 하지만 가장 큰 제약점은 전송 가능한 데이터 throughput이 매우 낮다(64~300Kbps)는 점이다. 반면 지상의 셀룰라(cellular)시스템, Wi-Fi, WLAN, WiBro, WiMAX를 기반으로 하는 무선통신시스템은 통상 서비스 범위가 수십Km 이내로 국한되는 문제점이 있지만 데이터 throughput은 2Mbps까지 가능한 장점이 있다. 이렇게 통신 서비스 제공 범위(range)의 제약성과 제공가능한 서비스 데이터율의 절충관계로 인하여 육지로부터 선박까지의 통신(ship-to-shore)방식은 서비스 제공 범위에 따라 구분될 필요가 있다. 따라서 수십 Km 이내의 해상에서는 기존의 육상지국을 셀룰라(WCDMA), WiBro, WiMAX를 기반으로 하는 무선통신방식의 사용을 고려하고, 100Km 이상의 해상에서는 해상라디오통신을 비롯한 무궁화위성, GPS/Galileo와 같은 위성을 고려한 통합적 해상통신

기술의 결합형태를 고려할 수 있다. 또한 조난신호 발신서비스나 음성서비스를 벗어난 차세대 해상통신용 광대역 서비스를 제공하기 위해서는 여러 무선통신시스템이 복합적으로 구성된 형태의 광대역 통합네트워크 구성을 고려해야 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 long-term 우선순위를 고려하고 트래픽 패턴에 맞춘 동적할당알고리즘을 해상 광대역 통합무선네트워크 환경에서 고려하여 성능을 제시한다.

본 논문의 2장에서는 제안된 네트워크 구성모델과 시스템 모델에 대해서 설명하고, 제안된 스펙트럼 공유 및 할당알고리즘을 3장에서 기술한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 트래픽 패턴에 따라 분석한 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 광대역 해상무선통신 네트워크 모델

### 2.1 네트워크 구성모델

본 논문에서는 수십 Km 이내의 해상에서는 기존의 육상지국을 셀룰라(WCDMA), WiBro, WiMAX를 기반으로 하는 무선통신방식의 사용을 고려하고, 100Km 이상의 해상에서는 해상라디오통신을 비롯한 무궁화위성, GPS/Galileo와 같은 위성을 고려한 통합적 해상통신기술의 결합형태를 고려한다. 조난신호 발신서비스나 음성서비스를 벗어난 차세대 해상통신용 광대역 서비스를 제공하기 위해서는 여러 무선통신시스템이 복합적으로 구성된 형태의 광대역 통합네트워크 구성을 고려해야 할 필요가 있다. 따라서 선박이 항구나 육지 근접항로를 운항하는 경우에 육상의 초고속 통신망으로의 액세스가 가능하므로 육상의 셀룰라 이동통신망 (WCDMA 시스템)과 WiBro/WiMAX (OFDMA기반 차세대 휴대인터넷 통신망)의 활용을 고려할 수 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 형태의 광대역 해상무선통신네트워크 구성을 기반으로 하여 이러한 환경에서의 동적 스펙트럼 할당방식(DSA:

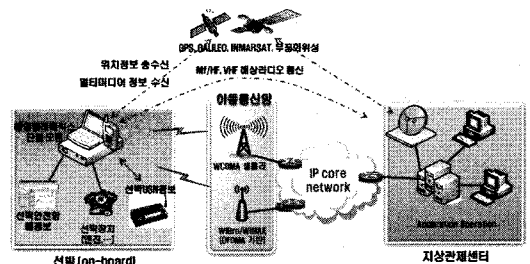


그림 1. 해양텔레매틱스를 위한 광대역해상무선통신네트워크 구성도

Dynamic Spectrum Allocation)에 대한 적용방식을 제시한다.

### 2.2 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델의 개념도는 그림 2에 보인 바와 같이 이중 네트워크 운영자들이 다중의 서비스 클래스를 제공하는 시스템 모델이다. 특히 그림 2에 보인바와 같이 선박이 육상에 근접한 경우 WiBro시스템 네트워크 운영자(NO1)을 사용하고, WiBro 커버리지 밖에 위치한 경우 UHF/VHF 등의 TV 유휴(idle or unused) 주파수 자원을 활용한 네트워크 운영자 (NO2)와 연계하여 구성된 형태를 고려한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 이 두 네트워크 운영자들 사이에 스펙트럼 매니저(spectrum manager)를 두어 서로 유휴한 스펙트럼 자원을 공유하고 할당하는 개념이다. 두 개의 네트워크 운영자(NO1 및 NO2)의 환경에서  $S_{ij}$ 는  $i$ 번째 네트워크 운영자( $NO_i$ )에서의  $j$ 번째 서비스 클래스를 의미한다.

본 논문에서 고려하는 광대역 해상무선통신네트워크에서는 육상에 인접한 선박의 경우 멀티미디어데이터의 전송까지 고려하므로 트래픽량이 증가할 때 스펙트럼 확보가 중요하다. 또한 육상에 인접하지 않은 경우의 선박은 지역에서 사용되지 않는 UHF/VHF TV 채널 주파수나 WiBro(신호 커버리지가 미치지 않은 영역)의 주파수를 사용하여 비교적 낮은 전송률 서비스를 제공받을 수 있다. 이러한 개념은 스펙트럼 매니저를 통하여 서로 스펙트럼을 공유하고 트래픽량과 우선순위에 따라 공유스펙트럼을 할당하는 동적으로 할당하는 방식의 시스템 모델이다. 본 논문에서 고려하는 UHF/VHF TV 주파수 자원을 활용하여 WiBro 시스템용 서비스를 제공하는 것은 실제로 PHY나 MAC 및 서비스 전송률 차원에서는 구현이 어려우나, UHF/VHF 스펙트럼은 일차적으로 IEEE802.22 WRAN에서 고려되는 주파수 자원이므로 본 논문의 스펙트럼 공유 자원모델로 가정하였다.

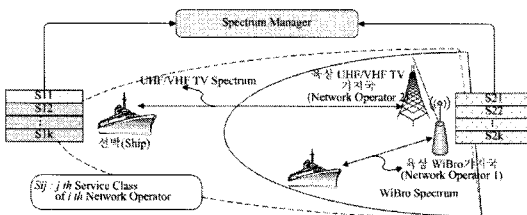


그림 2. 이중 네트워크 운영자가 공존하는 스펙트럼 공유 시스템 모델

### 2.3 트래픽 모델

각 네트워크에서 제공되는 각 서비스 트래픽 패턴은 24시간동안 변화하는 각기 다른 형태로 가정할 수 있다. 본 논문에서는 두 개의 네트워크 운영자를 고려하였고, 네트워크 운영자 1 (NO1)과 네트워크 운영자 2 (NO2)에서 각각 두 가지 서비스 클래스( $S_{11}, S_{12}$ ) 및 ( $S_{21}, S_{22}$ )를 제공한다고 가정하였다. 24시간 동안 변화하는 각각의 트래픽 패턴은 그림 3에 보였다. 그림 3의 트래픽 패턴( $S_{11}, S_{12}$ )은 CDMA 시스템의 여러 기지국에서 발생하는 호 시도의 수를 평균한 것을 바탕으로 한 것이다<sup>5)</sup>.

본 논문에서 고려한 트래픽의 서비스 형태는 음성과 데이터이다. 즉  $S_{11}$ 은 NO1에서의 음성서비스이고,  $S_{12}$ 는 NO1에서의 데이터 서비스를 의미한다.

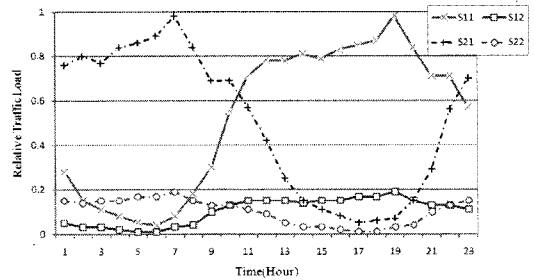


그림 3. 두 네트워크 운영자의 각 서비스 클래스별 트래픽 패턴 (24시간)

## III. 동적스펙트럼 할당 알고리즘

### 3.1 스펙트럼 구성

본 논문에서는 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 효율적인 스펙트럼 사용을 가능하게 하기 위해서 전체 스펙트럼을 여러 개의 전용 대역폭(dedicated spectrum,  $B_D$ )와 공유 대역폭(shared spectrum,  $B_S$ )으로 분리되어 구성된다고 가정한다. 전용밴드는 각 네트워크 운영자(NO)에게 독립적으로 할당되는 밴드이고, 공유밴드는 여러 네트워크 운영자들이 동시에 공유하거나 참여할 수 있는 밴드이다. 특히 공유밴드는 장기적 우선순위(long-term priority) 및 시간대별 최적의 우선순위 파라미터를 반영하기 위해 설정한 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 알고리

즘의 흐름은 그림 4와 같다.

초기단계에서 각 NO는 스펙트럼 브로커에게 서비스를 시작하기 이전에 스펙트럼 사용에 대한 동의를 얻은 후 서비스를 개시한다. 스펙트럼 브로커가 전용 밴드의 독점사용과 공유밴드의 사용에 대한 license를 인가해준 이후 각 NO의 서비스 클래스별 장기간 우선순위 및 시간대별 우선순위가 고려되어 공유밴드가 할당된다. 서비스 클래스별 우선순위 할당방식은 각각의 NO가 필요한 요구 스펙트럼 대역폭(Required BW)이 공유 잔여 대역폭( $B_S$ )과 전용대역폭( $B_D$ )의 합보다 크거나 같을 경우에는 우선 순위값을 갱신하고 각 서비스 클래스별로 스펙트럼 대역폭을 할당한다. 특히 우선순위값이 고정되어 있지 않은 경우에는 지속적으로 단기간 우선순위 값을 갱신하고 일정기간 경과 후에는 장기적 우선순위값을 결정하여 각 시간대별로 최적의 우선순위값을 최종적으로 찾아 고정시킨다. 여기서 서비스 트래픽의 패턴이 일정기간동안 평균적으로 일정하게 유지된다고 가정한다.

스펙트럼 할당은 다음 식 (1)과 같이 스펙트럼 공유 매트릭(spectrum sharing metric)을 통해서 각 NO별 서비스 클래스별로 스펙트럼을 할당한다.

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

여기서  $B_k$ 는 네트워크 운영자  $NO_k$ 에 할당되는 대역폭이며  $\alpha_{ij}$ 와  $R_{ij}$ 는 각각  $i$ 번째  $NO_i$ 에서의  $j$ 번째 서비스 클래스의 우선순위 값과 요구 대역폭이다. 또한 식 (1)에서  $\sum_j \alpha_{kj} R_{kj}$ 는  $NO_k$ 의 가중치 스펙트럼

요구량의 합으로 볼 수 있다. 식 (1)에서  $R_{kj}$ 가 0이면,  $NO_k$ 는  $j$ 번째 서비스 클래스에 대해서 대역폭을 요구할 필요가 없음을 의미한다. 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. 시간대별 우선순위 할당방식은  $B_S=1$ 로 가정하는 점을 제외하고 식 (1)과 같다. 이는 전체 스펙트럼이 공유 밴드로 구성되어 있다고 가정함으로써 스펙트럼 매니저는 각 서비스 클래스별 트래픽 부하에 따라 최적의 우선순위를 부여하여 각 시간대별 최고의 만족율을 갖기 위함이다.

### 3.3 서비스 만족율

제안된 동적 스펙트럼 할당 알고리즘은 각 NO에게 스펙트럼을 할당하는 데 있어 각 NO의 트래픽 부하를 고려한다. 또한 식 (1)의  $\alpha_{ij}$ 를 통해 요구대역폭 할당에 전체적인 NO간의 공평성뿐만 아니라 각 서비스 클래스의 우선순위 및 시간대별 우선순위까지 고려하여 반영할 수 있다. 여기서는 NO간의 공평성 측면을 반영한 시간대별 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 성능을 앞서 그림 3에 예시한 트래픽 환경에서의 요구 대역폭과 서비스 클래스의 우선순위에 따라 분석한다.

그림 3에 제시한 트래픽 패턴에서 NO1 서비스 클래스 1 ( $S_{11}$ )의 우선순위  $\alpha_{11}$ 는 서비스 클래스 2 ( $S_{12}$ )의 우선순위  $\alpha_{12}$ 보다 항상 크다고 가정하였다. 마찬가지로 NO2 서비스 클래스 2( $S_{21}$ )의 우선순위  $\alpha_{21}$ 는 서비스 클래스 2( $S_{22}$ )의 우선순위  $\alpha_{22}$ 보다 항상 크다고 가정하였다. 즉, 음성위주의 서비스가 데이터 서비스 형태보다 우선순위가 높다고 가정하였다.

이러한 가정에서 본 논문에서는 제안된 동적 스펙트럼 알고리즘(DSA with priority)을 기존의 고정 스펙트럼 알고리즘(Fixed Spectrum Allocation: FSA) 및 우선순위를 고려하지 않은 동적 스펙트럼 방식(DSA without priority)과 비교분석하였다. 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 스펙트럼 공유 매트릭을 바탕으로 그림 4에서 제시한 동적 할당과정을 반영하여 각 NO의 일시적인 트래픽 부하와 요구대역폭에 따라 동적으로 스펙트럼을 할당한다. 또한 여기서 제안한 알고리즘은 각 NO의 요구대역폭 뿐만 아니라 각 서

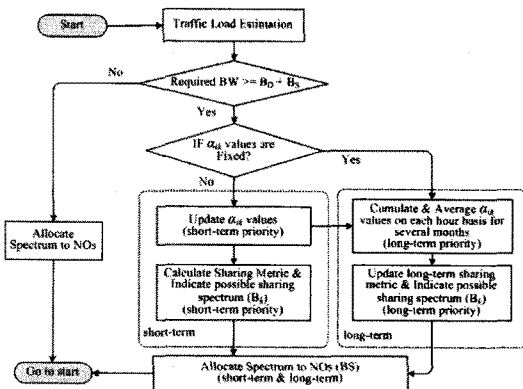


그림 4. 제안하는 스펙트럼 공유 및 우선순위 할당 알고리즘

비스 클래스의 우선순위, 장기적인 우선순위를 고려한다. 또한 식 (2)와 같이 전체 요구 대역폭 대비 할당된 대역폭의 비율로 정의된 서비스 만족율(satisfaction ratio: SR)을 성능평가 지수로 사용한다.

$$SR = \sum_{ij} \left[ \frac{(B_k \cdot \alpha_{ij} / R_{ij})}{\sum_{ij} R_{ij}} \right] \quad (2)$$

여기서  $B_k$ 는 식 (1)에 주어져 있듯이 각각  $i$ 번째 네트워크 운영자( $NO_i$ )에서의  $j$ 번째 서비스 클래스에 할당된 스펙트럼 대역폭이다.

#### IV. 성능분석

##### 4.1 각 알고리즘별 성능분석 결과

그림 5에서는 정규화된 offered load(즉, 전체 서비스 클래스 요구 대역폭들의 합으로서 최대 가용대역폭은 1이라고 가정함)의 변화에 대해서 최대 가용대역폭보다 많은 대역폭이 요구되었을 경우에 각각의 서비스 클래스별 서비스 만족율의 결과를 보였다. 그림 5에서 SR\_fixed 알고리즘을 사용한 경우(FSA 알고리즘 사용)에는 각 서비스 클래스별로 제공되는 대역폭이 고정된 상태로  $(S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}) = (0.4, 0.1, 0.4, 0.1)$ 의 비율로 할당된다고 가정하였다. 또한 그림에서 SR\_wo Priority 알고리즘(우선순위를 고려하지 않은 DSA)은 각 서비스 클래스별 우선순위를  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}) = (1, 1, 1, 1)$ 로 설정하였다. 마지막으로 제안한 알고리즘 SR\_w Priority(우선순위를 고려한 DSA)의 우선순위는  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}) = (1, 0, 1, 0)$ 로 설정하였다. 제안된 알고리즘의 성능분석에 있어 설정한 우선순위는 음성 서비스 클래스가 절대적으로 데이터 서비스 클래스보다 우수하다고 가정하였다.

그림 5에서의 결과와 같이 SR\_fixed 알고리즘의 SR은 트래픽의 부하량이 증가하더라도 대역폭이 고정되어 있어 offered load의 증가와 무관하게 대역폭 고정 비율과 같은 일정한 SR을 갖는다. SR\_fixed 알고리즘의 서비스 만족율(SR)은 offered load가 증가할 때 상대적으로 가장 낮은 만족율을 보인다. 이것은 할당될 수 있는 대역폭 스펙트럼이 각 서비스별로 일정한 비율로 정해져 있기 때문에 offered load가 증가하더라도 할당될 수 있는 대역폭이 한정되어 서비스 만족율은 지속적으로 감소한다. 한편 SR\_wo Priority

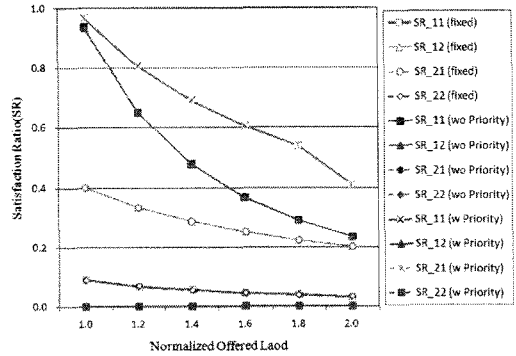


그림 5. 최대 가용대역폭이 1인 트래픽 패턴의 경우에 정규화된 offered load에 따른 각 알고리즘별 서비스 만족율(SR)

알고리즘의 서비스 만족율 성능결과는 offered load=1인 경우에는 0.9가까이 서비스를 제공함으로 알 수 있으나, offered load가 1이상을 증가하는 경우(최대 가용대역폭이 요구대역폭보다 많아지는 경우)에는 load 증가에 비례하여 현저히 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 각각의 서비스 클래스가 최대 가용 대역폭을 초과하는 대역폭을 요구하는 데 비해, 스펙트럼 매니저는 각 서비스 클래스에 대해서 공평한 우선순위  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}) = (1, 1, 1, 1)$ 로 NO에게 스펙트럼을 할당하는데에서 기인한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘을 평가하기에 앞서 먼저 우선순위를  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}) = (1, 0, 1, 0)$ 로 설정한 경우의 서비스 만족율 성능은 그림 5에서 SR\_w Priority로 보였다. 이것의 서비스 만족율은 offered load가 증가하더라도 각 NO에 대해서 다른 방식의 알고리즘에 비해 우수한 성능을 얻을 수 있고, 대체적으로 만족할 만한 서비스 제공율을 보인다. 그렇지만, 데이터 서비스 클래스( $S_{12}, S_{22}$ )에 대해서는 우선순위가 0이므로 서비스 만족율이 0인 결과로, 상대적으로 음성 서비스 클래스( $S_{11}, S_{21}$ )의 서비스 만족율이 높은 결과를 보였다. 이것은 그림 3에서 제시한 트래픽 패턴을 기반으로 가장 많은 대역폭을 요구하는 음성 서비스 클래스의 우선순위가 데이터 서비스 클래스의 우선순위보다 상대적으로 높은 관계로 offered load가 증가하더라도 요구대역폭에 대해서 우선적으로  $S_{11}, S_{21}$ 에게 대역폭을 할당한다는데 기인한다.

##### 4.2 제안한 시간적 최적 우선순위 설정 알고리즘의 성능분석 결과

앞서 제시한 우선순위 설정값의 극한적인 경우를 벗어나 본 논문에서 제안한 시간적 최적 우선순위 설

정에 의한 알고리즘의 성능분석 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서는 정규화된 offered load의 변화에 대한 각 알고리즘의 평균 서비스 만족율을 보였다. 그림 6에서 제안된 알고리즘의 평균 서비스 만족율은 식 (2)와 같이 전체 요구 대역폭 대비 할당된 대역폭의 비율로 정의된 서비스 만족율을 사용하였다. 여기서 AVR\_SR\_fixed는 각 서비스 클래스에 대한 대역폭이  $(S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}) = (0.4, 0.1, 0.4, 0.1)$ 로 고정되었을 때의 평균 서비스 만족율을 나타내며, AVR\_SR\_wo Priority의 경우는 각 서비스 클래스에 대한 우선순위가  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}) = (1, 1, 1, 1)$ 일 때의 서비스 만족율의 평균값을 보인 것이다. 마지막 AVR\_SR\_w Priority는 제안한 알고리즘(SR\_w Priority)의 평균 서비스 만족율이다. 서비스 클래스별 우선순위값은 그림 4에 제시한 바와 같이 시간대별로 서비스 만족율을 최대화시키는 장기적인 우선순위 조합  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22})$ 을 최적의 우선순위 조합으로 선택하여, 이 값들을 채택하였을 경우의 서비스 만족율의 평균값을 구한 것이다. 따라서 각 시간대별로는 우선순위 조합  $(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22})$ 이 다른 값들을 가질 것이고, 이에 대한 예시는 다음 절에 보였다.

그림 6에서 AVR\_SR\_fixed는 앞서 설명한 바와 같이 offered load가 증가하더라도 급격한 하강변화는 없지만 평균적으로 매우 낮은 서비스 만족율을 보인다. 이것은 식 (2)를 사용하여 각 NO의 음성 서비스 클래스와 데이터 서비스 클래스의 총합 서비스 만족율을 평균화한 것이므로 매우 낮은 평균 서비스 만족율을 갖는 것은 자명한 것이며 그림 5에서 유추할 수 있듯이 offered load의 증감과 관계없이 대역폭이 고

정되어 있으므로 일정 이상의 서비스 만족율을 기대할 수 없다. AVR\_SR\_wo Priority의 경우에는 모든 서비스 클래스에게 공평한 우선순위를 부여하는 경우로서 load가 증가함에 따라 일정한 비율로 감소함을 보인다. 그렇지만, AVR\_SR\_wo Priority의 경우에는 AVR\_SR\_fixed와는 달리 전용 스펙트럼이외에 공유 스펙트럼( $B_s$ )을 활용하여 자율적으로 스펙트럼을 할당함으로써 효율적으로 대역폭을 할당할 수 있고, 보다 높은 평균 서비스 만족율을 보인다. 이것은 식 (1)과 식 (2)에 의한 공유 스펙트럼 메트릭에 의해 계산된다. 또한 식 (1)과 식 (2)에 내포되어 있는 또 다른 우선순위 개념은 트래픽의 요구량에 따라 우선순위의 가중치가 증가하는 것이다. 즉, 서비스 클래스  $S_{11}$ 과  $S_{21}$ 이 우선적으로 공유스펙트럼을 할당받게 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 평균 서비스 만족율은 그림 6의 AVG\_SR\_w Priority로 보인 바와 같이 시간대별로 선택된 최적의 우선순위 조합을 기반으로 트래픽의 요구량이 많은 서비스 클래스에게 공유 대역폭을 우선적으로 할당하여 가장 우수한 평균 서비스 만족율 성능을 보였다. 또한 전체적으로 offered load가 증가할 때에도 여러 서비스 클래스에게 각 시간대별로의 트래픽 요구에 맞게 최적으로 다르게 설정됨으로써 평균 서비스 만족율을 높일 수 있음을 알 수 있다.

결과적으로 그림 5와 6의 결과를 종합해 볼 때, 본 논문에서 제안한 시간대별 최적 우선순위기반 동적 스펙트럼 할당 알고리즘(DSA) 방식이 FSA 방식과 우선순위가 없는 DSA 방식보다 평균 서비스 만족율이 우수함을 보여준다. 또한 이러한 결과는 제안된 우선순위 기반 알고리즘이 순시적 트래픽 부하의 변화 현상을 효율적으로 활용하여 우선순위를 할당한 것으로서 그림 3의 트래픽 패턴의 경우에 현저한 성능개선을 기대할 수 있다. 특히 NO간에 트래픽이 시간적으로 분산되어 있어 NO간에 트래픽 요구량이 차이가 클 경우에는 트래픽 요구량이 많은 서비스 클래스에게 대역폭을 우선적으로 할당함으로써 제안된 알고리즘에 의한 성능향상을 기대할 수 있다.

#### 4.3 각 시간대별 최적 우선순위값 기반의 성능분석 결과

그림 7에서는 트래픽의 요구 부하량이 가장 큰 offered load=2일 경우에 대해서 본 논문에서 제안한 알고리즘의 우선순위값 변화를 보였다. 제안한 알고리즘이 선택한 NO1와 NO2의 각 서비스 클래스  $S_{11}$ ,

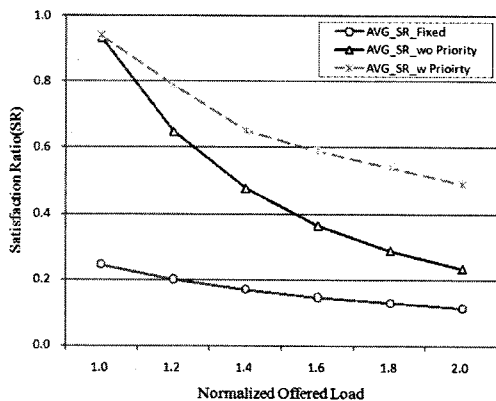


그림 6. 최대 가용대역폭이 1인 트래픽 패턴의 경우에 정규화된 offered load에 따른 각 알고리즘별 평균 서비스 만족율 (SR)

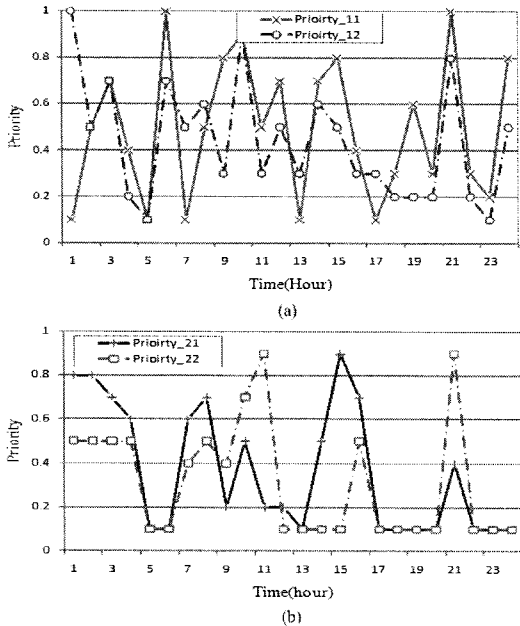


그림 7. 제한한 알고리즘에 의해 구해진 (a) NO1의 서비스 클래스  $S_{11}, S_{12}$ 에 대한 최적의 각 시간대별 우선순위 값, (b) NO2의 서비스 클래스  $S_{21}, S_{22}$ 에 대한 최적의 각 시간대별 우선순위 값

$S_{12}$ 와  $S_{21}, S_{22}$  별, 시간대별 최적의 우선순위 조합을 그림에 보였다.

그림 7에서는 우선순위 조합 선택에 있어서 제한한 알고리즘이 찾는 우선순위 탐색 step size( $\Delta\alpha$ )를 0.1로 설정하고,  $0 \leq \alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22} \leq 1$ 의 범위내에서 최적의 조합을 탐색하였다. 탐색결과 그림 7(a)와 (b)를 시간대별로 비교하여 보면, 일정한 규칙을 찾아볼 수는 없지만 각 우선순위를 조합하여 볼 때는 가장 우수한 서비스 만족율을 제공하는 각 시간대별 최적의 우선순위 값을 제시하고 있다. 예를 들어 그림 3에 보인 전체 서비스 클래스 트래픽의 총합은 대체로 일정하지만, 이 중에서 비교적 트래픽량이 많은 9시~13시, 21시~23시의 경우에는 우선순위값들이 대체로 낮게 설정되어 전체적인 서비스 만족율을 높이는 방향으로 선택되었음을 알 수있다.

마지막으로 그림 8에서는 각 시간대별 별로 정규화된 offered load=(1.0, 1.5, 2.0)에 대해서 제한한 알고리즘의 시간대별 서비스 클래스 서비스 만족율 Offered Load\_1\_SR, Offered Load\_1.5\_SR 및 Offered Load\_2\_SR을 보였다. 각 시간대별로 우선순위 조합은 제한한 알고리즘을 바탕으로 그림 7과 같은 최적의 우선순위 조합을 사용하였다. 그림 8의 결과에서 9시~13시와 21~23시에 서비스 만족율이 일시

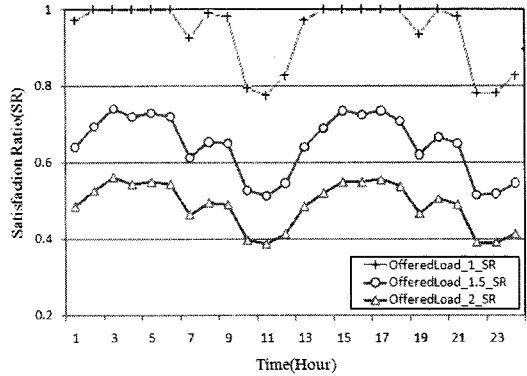


그림 8. 각 시간대별로 정규화된 offered load의 변화에 따른 제한한 알고리즘의 서비스 만족율(SR)

적으로 감소하는 결과는 9시~13시와 21~23시에 각 서비스 클래스들의 트래픽 요구가 최대가 되는 시점이기 때문이다. 이것은 그림 3의 서비스 트래픽 패턴에 의한 것으로 이때의 서비스 클래스 트래픽의 합(트래픽의 총 요구 대역폭)이 가장 많은 시점이기 때문이다. 비록 일시적으로 서비스 만족율이 감소하더라도 9시~13시와 21~23시의 서비스 만족율은 그림 5와 그림 6에서 알 수 있듯이 기존의 스펙트럼 할당 방식보다 절대적으로 우수하다.

지금까지의 결과를 종합적으로 고려해 볼 때, offered load의 증가와 함께 각 서비스 클래스의 우선순위의 기중치는 각 서비스 클래스의 서비스 만족율에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 본 논문에서 제안된 시간대별 최적설정 우선순위 기반 동적 스펙트럼 할당 알고리즘은 offered load가 증가하더라도 우수한 서비스 만족율을 제시함으로써 기존의 스펙트럼 할당 방식보다 매우 우수한 서비스 만족율을 제공함을 알 수 있다. 특히, 네트워크 운영자들의 서비스 트래픽이 장기적으로 일정하면서 서비스 클래스 트래픽 패턴이 분산되어 있을 경우에는 본 논문에서 제시한 시간대별 장기적 우선순위 조합에 의한 방식에 의한 성능향상 기대효과는 매우 크다고 할 수 있다. 또한 시간대별로 서비스 트래픽이 변화가 심한 경우에도 본 논문에서 제시한 최적 우선순위 선택방식과 알고리즘을 적용하여 장기적인 우선순위 갱신을 단기적으로 변화시켜 적용함으로써 기존의 알고리즘보다 서비스 만족율 성능향상을 기대할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 WiBro 시스템 네트워크 운영자 (NO1)을 사용하고, WiBro 커버리지 밖에 위치한 경

