DBpia



# 해상 무선통신 네트워크 환경에서 스펙트럼 재사용기법을 활용한 동적스펙트럼할당방식 성능평가

준회원 김 경 성*, 임 무 성*, 종신회원 이 연 우*°, 정회원 김 경 호*, 이 성 로**

# Dynamic Spectrum Allocation Algorithm for Maritime Communications Network Applying Spectrum Reuse

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

요 약

본 논문에서는 우선순위기반의 시간별 최적화와 동적 스펙트럼 할당방식(DSA: Dynamic Spectrum Allocation) 알고리즘을 바탕으로 해상-육상 통합 환경에서 서로 다른 두 네트워크 간에 스펙트럼을 공유함과 동시에 릴레이 영역에서의 스펙트럼 재사용(또는 주파수 재사용)개념을 제시한다. 제안한 스펙트럼 재사용방식을 적용한 동적스펙트럼 할당 알고리즘은 네트워크들의 상호간 각기 다른 서비스 클래스의 트래픽 패턴에 대해서 동적으로 스펙트럼을 공유하고 할당함과 동시에, 특정 부분의 스펙트럼을 재사용함으로써 기존의 스펙트럼 할당방식에 비해 사용자들에게 요구하는 스펙트럼 대역폭을 충분히 제공할 수 있어 서비스 만족율을 향상시킬 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘은 해상-육상 통합 네트워크 환경에서 한정된 스펙트럼 부족문제를 해결할 수 있는 대안으로 활용될 수 있음을 제시하였다.

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

ABSTRACT

In this paper, we propose the spectrum reuse algorithm based on the dynamic spectrum allocation (DSA) 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 could deliver better satisfaction ratio (SR) than the other existing spectrum algorithm, in the context of provision of required bandwidth (or spectrum) for each users. Therefore, we conclude that the proposed spectrum reuse algorithm based on DSA with priorities could apply to the maritime communication environment and exploit the under-used (or unused, idle) spectrum of terrestrial communication networks.

## Ⅰ. 서 론

시간적, 지리적 변화에 따른 고정 주파수의 사용률은 최소 15%에서 최대 85%까지 큰 폭으로 변화를 하고 있고, 스펙트럼의 상당부분은 하루종일 사용되는 것은 아니다. 이러한 고정 주파수 할당방식이 과거에

※ 이 논문은 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2010-0028295).
※ 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2009-0065836).
※ 본 논문은 2008년도 목포대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.
* 목포대학교 정보통신공학과 (ylee@mokpo.ac.kr),(° : 교신저자)
논문번호 : KICS2010-05-215, 접수일자 : 2010년 5월 17일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 16일



www.dbpia.co.kr

는 동작하는데 문제가 없었지만, 현재에는 무선 이동 서비스에 대한 수요가 크게 증가함에 따라 제한된 자원을 이용해야 한다는 측면에서, 주파수 hole 이라고 부르는 허가된 대역의 주파수 중 사용되지 않는 부분에 대한 효율적 사용법이 중요한 문제로 지목되고 있다. 이러한 비효율적인 주파수 사용률과 크게 제한 된 이용 가능한 대역폭의 문제 등을 해결하기 위해 Cognitive Radio (CR)[1,2]가 해결책으로 부각되었다.

또한 이동통신관련 산업이 발전함에 따라 전파자원의 수요가 급증함으로써 비능률적인 스펙트럼 이용률과 제한적인 밴드 사용의 문제점을 해결하기 위하여 스펙트럼의 공유와 함께 동적인 스펙트럼의 할당방식이 중요한 솔루션으로서 많은 연구가 진행되고 있다.

World Wireless Research Forum에서는 차세대 이동통신시스템과 차세대 네트워크에 대비한 스펙트럼 활용기술에 대한 연구가 진행되고 있고[3], 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 공조 방안 등을 연구하고 있다[4]. 또한 CR기반의 동적 스펙트럼 할당방식은 스펙트럼 부족 문제를 해결하고 동적이며 분산적인 스펙트럼 할당 능력으로 인해 최근 많은 연구자들의 관심을 받고 있다[5]. 특히 참고문헌 [6]에서는 시간적으로 변화하는 트래픽 부하의 요구에 따른 스펙트럼 공유 및 할당 알고리즘을 제안하였다. 또한 참고문헌 [7]과 [8]에서는 스펙트럼 관리자와 스펙트럼 브로커의 개념과 대역폭의 요구에 따라서 스펙트럼 자원을 할당하는 방식의 연구를 제시하였다.

본 논문에서는 우선순위기반의 시간별 최적화와 동적 스펙트럼 할당(DSA) 알고리즘을 바탕으로 해상-육상통합 환경에서 서로 다른 두 네트워크 간에 스펙트럼을 공유함과 동시에 멀티홉 릴레이영역에서의 스펙트럼 재사용(또는 주파수 재사용) 개념을 제시한다. 본 논문의 2장에서는 제안된 시스템 모델에 대해서 설명하고, 제안된 스펙트럼 공유 및 할당알고리즘을 3장에서 기술한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 트래픽 패턴에 따라 분석한 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## Ⅱ. 해상-육상 통합 무선통신 네트워크 모델

### 2.1 시스템 구성모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델의 개념도는 그림 1에 보인 바와 같이 해상-육상 통합네트워크 환경에서 스펙트럼 재사용방식을 제공하는 시스템 모델이다. 그림 1에 보인바와 같이 네트워크 운영자(Network Operator:NO)들은 전체 할당된 스펙트럼을 같이 공유하고, 일정부분(그림 1에서 f1, f2)을 재사용하도록 할당한다. 특히, 스펙트럼 f1과 f2를 멀티홉 릴레이영역에서 교차로 할당하여 가까운 거리에 위치한 인접 네트워크 운영자간의 간섭을 피할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 방식은 f1, f2 스펙트럼을 재사용하여 Network 1에 속한 육상과 Network 2에 속한 선박 간에 간섭을 회피할 수 있음과 동시에, 공동으로 스펙트럼을 공유하여 트래픽 요구량과 트래픽 load에 따라 서비스 클래스별로 요구대역폭을 동적으로 할당함으로서 스펙트럼 효율성을 크게 향상시킬 수 있다.

그림 1에서 두 개의 네트워크 운영자(NO1 및 NO2)의 환경에서 $S_{ij}$는 $i$번째 네트워크 운영자($NO_i$)에서의 $j$번째 서비스 클래스를 의미한다. 또한 $S_{ij}'$는 $i$번째 네트워크 운영자($NO_i$)내에서 재사용되는 스펙트럼을 사용하는 $j$번째 서비스 클래스를 의미한다. $S_{ij}'$ 사용자들은 기존의 서비스 클래스 $S_{ij}$ 이외에 부가적으로 요구되는 트래픽으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 부가적인 서비스 클래스들이 트래픽을 점층적으로 증가시켜 트래픽이 heavy load 상태에서도 스펙트럼 재사용 개념의 동적 할당방식 즉, CR개념의 6-섹터 형태의 스펙트럼 할당방식이 서비스 만족율을 향상시킬 수 있음을 제시하였다.

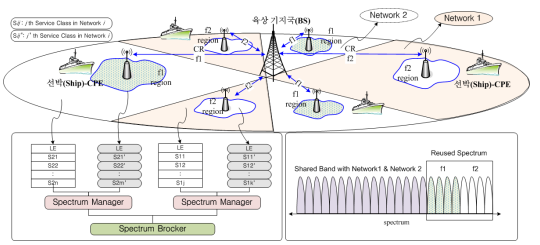



그림 1. 스펙트럼 재사용방식을 적용한 해상-육상 통합네트워크 환경에서의 스펙트럼 할당 및 공유모델

### 2.2 트래픽 모델

본 논문에서는 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 제공하며, 각 네트워크 내부의 릴레이영역에서는 기존의 서비스 클래스 이외에 부가적으로 요구되는 트래픽, 서비스 클래스($S_{11}'$, $S_{12}'$) 및 ($S_{21}'$, $S_{22}'$)를 제공한다고 가정하였다.



www.dbpia.co.kr

본 논문에서 고려한 트래픽의 서비스 형태는 음성과 데이터로서 $S_{11}$은 NO1에서의 음성서비스이고, $S_{12}$는 NO1에서의 데이터 서비스를 의미한다. 각 네트워크에서 제공되는 각 서비스 트래픽 패턴은 24시간동안 변화하는 각기 다른 형태로 가정할 수 있으며 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 것이다[8].

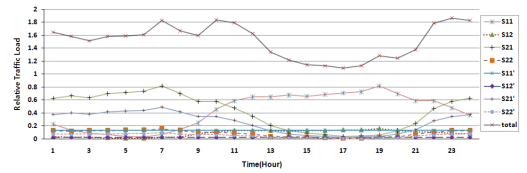



그림 2. 네트워크 및 릴레이 영역에서의 각 서비스 클래스별 트래픽 패턴

## Ⅲ. 스펙트럼 재사용기반의 동적스펙트럼 할당 알고리즘

### 3.1 스펙트럼 구성

본 논문에서는 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 효율적인 스펙트럼 사용을 가능하게 하기 위해서 전체 스펙트럼을 공유 대역폭(shared spectrum, $B_S$ )과 재사용 대역폭(reused spectrum, $B_R$)으로 분리되어 구성된다고 가정한다. 공유밴드는 여러 네트워크 운영자들이 동시에 공유하거나 참여할 수 있는 밴드로서 장기적 우선순위(long-term priority) 및 시간대별 최적의 우선순위 파라미터를 반영하며 재사용 대역폭은 멀티홉 릴레이영역에서 f1, f2의 스펙트럼 재사용을 위한 밴드이다. 본 논문에서는 스펙트럼 재사용을 위한 스펙트럼 비율을 0%, 5%, 10%로 설정하였다.

### 3.2 제안한 스펙트럼 재사용기반 동적스펙트럼 할당 알고리즘

본 논문에서 제안하는 동적 스펙트럼 할당 알고리즘의 흐름은 그림 3과 같다. 재사용 스펙트럼은 공유 스펙트럼과 함께 각 서비스 클래스의 요구 대역폭을 우선순위를 기반으로 할당한다. 각 서비스 클래스별로 우선순위값이 고정되어 있지 않은 경우에는 지속적으로 단기간 우선순위 값을 갱신하고, 일정기간 경과 후에는 장기적 우선순위값을 결정하여 각 시간대별로 최적의 우선순위값을 최종적으로 찾아 고정시킨다.

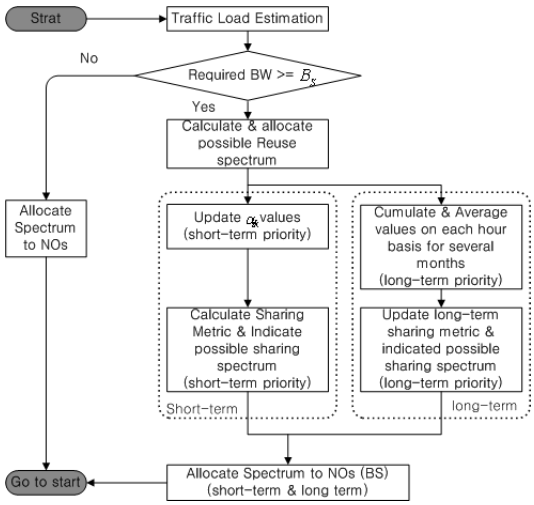



그림 3. 제안하는 스펙트럼 재사용 방식의 스펙트럼 할당 알고리즘

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

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

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.

본 논문에서 제시하는 스펙트럼 재사용기반의 동적 스펙트럼 할당알고리즘은 그림 3에 보였다. 그림3에서 보인 바와 같이, 각 시간대별로 단기간 우선순위값을 지속적으로 반영하고 있고, 장기적으로 우선순위값 결정 후 두 값을 모두 반영한다. 또한 시간대별로 전체 시스템의 스펙트럼 서비스 만족율을 최대화 시킬 수 있도록 하는 최적의 우선순위값을 반영하기 때문에 동적인 스펙트럼 할당이 가능하다.특히 스펙트럼의 재사용 방식을 고려하여 우선순위를 할당한다.

### 3.3 서비스 만족율

본 논문에서 제안하는 방식은 식 (1)의 스펙트럼 공유 메트릭을 바탕으로 그림 3에서 제시한 동적 할당 과정을 반영하여 각 NO의 일시적인 트래픽 부하와 요구대역폭에 따라 공유 스펙트럼 및 재사용 스펙트



www.dbpia.co.kr

럼을 동적으로 스펙트럼을 할당한다. 또한 여기서 제안한 알고리즘은 각 NO의 요구대역폭 뿐만 아니라 각 서비스 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. 각 서비스 클래스별 서비스 만족율은 식 (2)와 같다.

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

여기서 $B_k$는 식 (1)에 주어져 있듯이 각각 $i$번째 네트워크 운영자($NO_i$)에서의 $j$번째 서비스 클래스에 할당된 스펙트럼 대역폭이다. 또한 시스템 전체에서 고려하는 서비스 클래스들의 전체 평균값은 식 (3)과 같다.

$$SR = \sum_{ij} SR_{ij} = \sum_{ij} \left[ \frac{(B_k \cdot \alpha_{ij}/R_{ij})}{\sum_{ij} R_{ij}} \right] \quad (3)$$

## Ⅳ. 성능분석

### 4.1 각 알고리즘의 서비스 클래스별 만족율 성능분석 결과

그림 4와 그림 5에서는 정규화된 Offered Load(즉, 전체 서비스 클래스 요구 대역폭의 합으로서 최대 가용대역폭은 1이라고 가정함)의 변화에 대해서 최대 가용대역폭보다 많은 대역폭이 요구되었을 경우에 각 알고리즘의 서비스 클래스별 만족율의 결과를 보였다. 네트워크 영역에서는 SR_11, SR_12, SR_21, SR_22 서비스 클래스를 지원하며 릴레이영역에서는 SR_11', SR_12', SR_21', SR_22'를 지원한다. 이는 네트워크 및 릴레이영역별로 음성과 데이터 서비스를 지원하는 것을 의미하며, 그림 2에서 제시한 트래픽 패턴을 기반으로 음성 서비스 클래스의 우선순위가 데이터 서비스 클래스의 우선순위보다 상대적으로 높은 것으로 가정하였다.

본 논문에서의 그림 4와 그림 5에서 제시한 알고리즘 성능분석에서 SR_ij(Priority)는 전체 스펙트럼 대역폭의 경우 재사용 대역폭 없이 오직 공유 대역폭만으로 구성되어 우선순위 파라미터를 반영한다. SR_ij(Priority&Reuse)의 경우는 전체 스펙트럼 대역폭이 공유 대역폭과 재사용 대역폭으로 구성되어 있으며, 재사용 대역폭의 비율은 전체 대역폭 중 5~10%

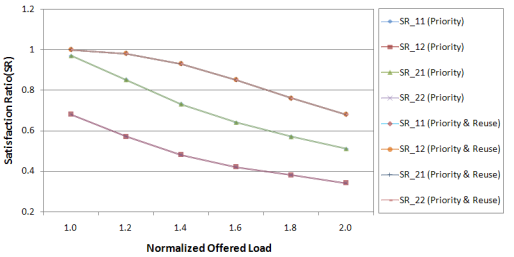



그림 4. 최대 가용대역폭이 1인 트래픽 패턴의 경우에 정규화된 offered load에 따른 네트워크 영역에서의 각 알고리즘 서비스 클래스별 만족율(SR).

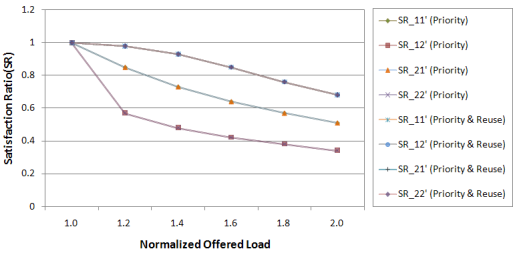



그림 5. 최대 가용대역폭이 1인 트래픽 패턴의 경우에 정규화된 offered load에 따른 릴레이영역에서의 각 알고리즘 서비스 클래스별 만족율(SR).

를 재사용 대역폭으로 제한하여 성능분석 시뮬레이션을 하였다.

성능분석을 위하여 NO1에서의 서비스 클래스 1 ($S_{11}$)의 우선순위 $\alpha_{11}$는 서비스 클래스 1 ($S_{12}$)의 우선순위 $\alpha_{12}$보다 항상 크다고 가정하였으며 마찬가지로 NO2에서의 서비스 클래스 2($S_{21}$)의 우선순위 $\alpha_{21}$는 서비스 클래스 2($S_{22}$)의 우선순위 $\alpha_{22}$보다 항상 크다고 가정하였습니다. 즉, 음성위주의 서비스가 데이터 서비스 형태보다 우선순위가 높다고 가정하였다. 또한 우선순위 조합 선택에 있어서 제안한 알고리즘이 찾는 우선순위 탐색 step size($\triangle\alpha$)를 0.1로 설정하고, $0.1 \le \alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{11}', \alpha_{12}', \alpha_{21}', \alpha_{22}' \le 1$의 범위 내에서 최적의 조합을 탐색하였다. 우선순위의 값이 1일 경우 가장 먼저 서비스 지원을 위한 대역폭을 할당 받게 되는 것을 의미하며, 만약 모든 $\alpha$값이 같을 경우 모든 서비스 클래스에 대해서 대역폭 할당이 공평하게 고려된다. 우선순위의 값이 0일 경우 서비스 지원을 위한 대역폭의 할당이 필요 없다는 것을 의미하므로 최소한의 대역폭 할당이 이루어져 만족율이 0인 서비스가 평균 서비스 만족율 계산 시 포함되지 않도록 하기 위하여 우선순위의 최소값을 0.1로 설정하였다.



www.dbpia.co.kr

그림 4와 5의 경우에 있어서 우선순위만 반영된 SR_ij(Priority)의 경우에는 $(\alpha_{11},\alpha_{12},\alpha_{21},\alpha_{22},\alpha_{11}',\alpha_{12}',\alpha_{21}',\alpha_{22}')$ = (0.6,0.4,0.6,0.4,0.7,0.3,0.7,0.3)로 최고의 만족율을 위한 각 서비스별 최적의 우선순위가 반영되었으며 우선순위와 재사용 대역폭을 사용한 SR_ij (Priority&Reuse)의 경우에는 $(\alpha_{11},\alpha_{12},\alpha_{21},\alpha_{22},\alpha_{11}',\alpha_{12}',\alpha_{21}',\alpha_{22}')$ =(0.8,0.2,0.8,0.2, 0.9,0.1,0.9,0.1)로 우선순위가 적용되었다.

그림 4와 그림 5에서 SR_Priority는 각 서비스 클래스별 우선순위를 스펙트럼 매니저가 설정하여 대역폭을 할당하는 알고리즘을 사용하였을 경우의 각 서비스 클래스별 만족율을 보여준다. SR_Priority&Reuse는 본 논문에서 제안한 알고리즘 방식을 적용한 것으로 각 서비스 클래스별 우선순위를 설정하여 대역폭을 할당함과 동시에 네트워크 영역과 릴레이영역에서 전체 스펙트럼의 특정 할당부분($B_R$)을 재사용하였을 경우의 각 서비스 클래스별 만족율을 보여준다.

그림 4와 그림 5에서의 결과와 같이 SR_Priority 알고리즘의 SR은 네트워크 영역에서의 각 서비스 클래스별 만족율로서 offered load가 1이상을 증가하는 경우(최대 가용대역폭이 요구 대역폭보다 많아지는 경우)에는 load 증가에 비례하여 현저히 감소함을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 SR_Priority&Reuse 알고리즘의 SR은 offered load가 증가하더라도 기존의 방식에 비해 우수한 성능을 얻을 수 있고, 대체적으로 만족할 만한 서비스 제공율을 보인다. 특히 트래픽의 부하량이 2배 증가하였을 경우, 본 논문에 제안한 SR_Priority&Reuse의 서비스 클래스 만족율은 0.62로서 SR_Priority의 서비스 클래스 만족율인 0.34에 비해 절대적으로 우수한 서비스 만족율을 보였다. 이러한 결과는 SR_Priority 알고리즘의 경우 각각의 서비스 클래스가 최대 가용 대역폭을 초과하는 대역폭을 요구하는 데 비해, 스펙트럼 매니저는 각 서비스 클래스에 대해서 트래픽의 양에 따른 우선순위를 설정하여 한정된 대역폭을 제공하는데 비하여 SR_Priority&Reuse 알고리즘은 네트워크간의 간섭을 회피함과 동시에 특정 비율의 스펙트럼을 재사용하여 초과 요구 대역폭을 지원하는 것에서 기인한다.

### 4.2 제안한 스펙트럼 재사용기반의 알고리즘의 성능분석 결과

본 논문에서 제안한 스펙트럼 재사용방식의 동적 스펙트럼 할당 알고리즘 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 $(S_{11},S_{12},S_{21},S_{22},S_{11}',S_{12}',S_{21}',S_{22}')$=(0.4, 0.1, 0.4, 0.1, 0.04, 0.01, 0.04, 0.01)로 각 서비스 클래스에 대한 대역폭이 고정되었을 때의 평균 서비스 만족율을 나타내며, AVR_SR_w Priority의 경우는 시간대별로 서비스 만족율을 최대화시키는 장기적인 우선순위 조합을 최적의 우선순위 조합으로 선택하여 각 서비스 만족율의 평균값을 구한 것이다. 마지막 AVR_SR_Reuse는 본 연구에서 제안한 알고리즘으로, 릴레이 영역에서 f1, f2라는 스펙트럼을 재사용하였을 경우의 평균 서비스 만족율을 보여준다.

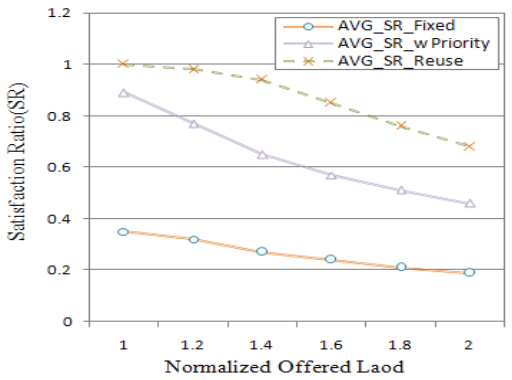



그림 6. 최대 가용대역폭이 1인 트래픽 패턴의 경우에 정규화된 offered load에 따른 각 알고리즘별 평균 서비스 만족율 ($SR=\sum_{ij} SR_{ij}$, 식(3) 참조)

본 논문에서 제안한 알고리즘의 평균 서비스 만족율은 그림 6의 AVG_SR_Reuse로 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.

그림 6의 결과를 종합해 볼 때, 본 논문에서 제안한 스펙트럼 재사용기반 동적 스펙트럼 할당 알고리즘 방식이 FSA방식과 DSA방식보다 평균 서비스 만족율이 우수함을 보여준다. 이러한 결과는 제안된 스펙트럼 재사용기반 알고리즘이 순시적 트래픽 부하의 변화 현상을 효율적으로 활용하여 Network 1과 Network 2의 간섭을 회피할 수 있음과 동시에, 공동



www.dbpia.co.kr

으로 스펙트럼을 공유하여 트래픽 요구량과 트래픽 load에 따라 서비스 클래스별로 동적으로 할당함으로서 스펙트럼 효율성을 크게 향상시킨 것으로서 그림 2의 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 할당함으로서 제안된 알고리즘에 의한 성능향상을 기대할 수 있다.

### 4.3 각 시간대별 스펙트럼 재사용기반의 성능분석 결과

그림 7에서는 각 시간대별로 정규화된 offered load가 1.5인 경우에 대해서 재사용 스펙트럼 f1, f2에 할당된 스펙트럼 비율을 5%와 10%로 할당한 경우와 재사용 방식을 사용하지 않는 경우(DSA_SR(1.5)_wo_Reuse)에 대한 서비스 만족율을 보여준다. 그림 7에서 보인바와 같이 각 시간대별로 정규화된 offered load는 네트워크의 최대 수용 offered load 이상을 설정하여 트래픽이 큰 경우 제안한 알고리즘의 성능을 평가하였다.

스펙트럼 재사용에 할당된 스펙트럼 비율(전체 공유 스펙트럼 중에서 f1, f2에 할당된 스펙트럼 비율)이 5%인 경우, DSA_SR_(1.5)_Reuse(5%)에 대해서 제안한 알고리즘의 시간대별 클래스 서비스 만족율은 재사용 기법을 도입하지 않은 DSA_SR(1.5)_wo_Reuse에 비해서 서비스 만족율이 평균 0.42에서 0.62 정도까지 상당한 성능향상을 보였다. 또한 전체 공유 스펙트럼 중에서 f1, f2에 할당된 스펙트럼 비율이 10%인 경우에는 DSA_SR(1.5)_wo_Reuse와 DSA_SR(2.0)_wo_Reuse에 비해 상당한 성능향상을 보였다. 특히 offered load=1.5의 경우에는 서비스 만족율

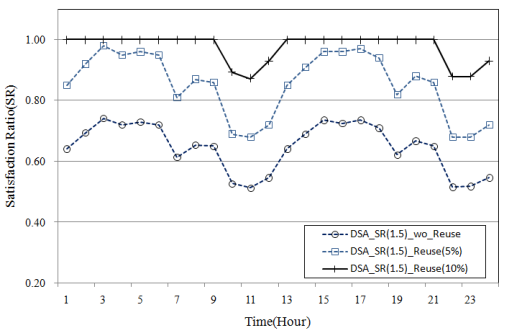



그림 7. 각 시간대별로 정규화된 offered load=1.5의 변화에 따른 재사용개념을 적용한 동적 스펙트럼할당 알고리즘의 서비스 만족율(SR)

을 1.0을 거의 모든 시간대에서 달성함을 보였다. 그림 7의 결과에서 9시~13시와 21~23시에 서비스 만족율이 일시적으로 감소하는 결과는 9시~13시와 21~23시에 각 서비스 클래스들의 트래픽 요구가 최대가 되는 시점이기 때문이다. 이것은 그림 2의 서비스 트래픽 패턴에 의한 것으로 이때의 서비스 클래스 트래픽의 합(트래픽의 총 요구 대역폭)이 가장 많은 시점이기 때문이다. 비록 일시적으로 서비스 만족율이 감소하더라도 그림 7에서 알 수 있듯이 기존의 스펙트럼 할당 방식보다 절대적으로 우수하다.

지금까지의 결과를 종합적으로 고려해 볼 때, 본 논문에서 제안된 스펙트럼 재사용방식 기반의 동적 스펙트럼 할당 알고리즘은 offered load가 증가하더라도 우수한 서비스 만족율을 제시함으로서 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 방식에 의한 성능향상 기대효과는 매우 크다고 할 수 있다. 또한 시간대별로 서비스 트래픽이 변화가 심한 경우에도 기존의 알고리즘보다 서비스 만족율 성능향상을 기대할 수 있다.

## V. 결 론

본 연구에서 제시한 6-섹터형태 개념의 스펙트럼 재사용 방식 적용의 동적 스펙트럼 할당알고리즘은 할당된 한정된 스펙트럼 자원보다 많은 트래픽(스펙트럼) 요구를 지원할 수 있음을 보였다. 공간적으로 이격된 영역에서 스펙트럼을 재사용함으로서 두 개의 네트워크에서 소화할 수 있는 트래픽보다 많은 트래픽을 처리할 수 있다. 따라서 해상-육상통합 네트워크 환경에서 한정된 스펙트럼 대비 더욱 많은 스펙트럼을 요구하는 서비스 트래픽이 과중되는 경우에는 본 연구에서 제시한 스펙트럼 재사용기반 동적 할당 알고리즘에 의한 성능향상 기대효과는 매우 크다고 할 수 있다. 특히 스펙트럼 부족문제를 해결할 수 있는 대한으로 활용될 것이다.

## 참 고 문 헌

〔1〕 J. Mitola et al., "Cognitive Radios: Making Software Radios more Personal," *IEEE Personal Communications*, Vol.6, No.4, Aug. 1999.

〔2〕 J. Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent



www.dbpia.co.kr

architecture for software defined radio," *Ph.D. Dissertation*, Royal Inst. Technol. (KTH), Stockholm, Sweden, 2000.
〔3〕 M. Beach, D. Bourse, R. Navarro, M. Dillinger, T. Farnham, T. Wiebke, "Reconfigurable Terminals Beyond 3G and Supporting Network System Aspects", *Wireless World Research Forum (WWRF)*, SDR WG, Stockholm, Sweden, 17-18 September 2001.
〔4〕 OverDrive project, http://www.ist-drive.org
〔5〕 Q. Zhao and B.M. Sadler, "A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy," *IEEE Signal Processing Magazine*, May, 2007.
〔6〕 P. Leaves *et. al.*, "Performance Evaluation of Dynamic Spectrum Allocation in Multi-Radio Environments", *IST Mobile Communications Summit, Barcelona,* Spain, September 2002.
〔7〕 L. Vignali, F. Malavasi, D. Grandblaise, D.Lacroix-Penther, J-P. Javaudin, "Asymmetric UMTS for Spectrum Efficient Asymmetric Sercices Delivery", *MWCN2003*, Singapore, October 2003.
〔8〕 KTF TR, "cdma-2000 1X, The Statistics of Traffic Patterns", 2005.

**김 경 성** (Kyoung Seong Kim) 준회원
2010년 2월 목포대학교 정보통신공학전공 학사
2010년3월~현재 목포대학교 정보통신공학과 석사과정
<관심분야> 해상무선통신, e-navigation

**임 무 성** (Moo Seong Im) 준회원
2009년 8월 목포대학교 정보통신공학전공 학사
2009년9월~현재 목포대학교 정보통신공학과 석사과정
<관심분야> 해상무선통신, e-navigation

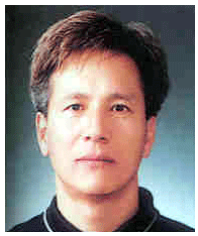
**이 연 우** (Yeonwoo Lee) 종신회원

1994년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
2000년2월 고려대학교 전자공학과 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 정보통신공학전공, 조교수
<관심분야> 해상무선통신, e-Navigation, Cognitive Radio, 4G 이동통신

**김 경 호** (Kyung Ho Kim) 정회원

1981년 2월 조선대학교 전자공학과
1983년 2월 조선대학교 전자공학과 대학원 석사
1993년 2월 조선대학교 전자공학과 대학원 박사
1987년~1999년 목포대학교 정보공학부 정자공학과 교수
1999년~현재 목포대학교 정보통신공학과 교수
<관심분야> 통신시스템, 이동 및 위성통신시스템

**이 성 로** (Seong-Ro Lee) 정회원



1987년 2월 고려대학교 전자공학과
1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
2005년 3월~현재 목포대학교 정보공학부 정보전공학전공 교수
<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템, 생체인식시스템



www.dbpia.co.kr