

위성/지상 겸용 망 내 간섭을 고려한 최적 자원 할당 방식

박 운 희*, 김 희 욱*, 오 대 섭*, 장 대 익^o

An Efficient Resource Allocation Scheme For An Integrated Satellite/Terrestrial Networks

Unhee Park*, Hee Wook Kim*, Dae-Sub Oh*, Dae-ik Jang^o

요 약

본 논문에서는 위성/지상 겸용 망에서 위성 망과 지상 망간 주파수를 효율적으로 공유할 수 있도록 기여하는 최적의 자원 할당 방식에 대한 성능을 비교 분석한다. 제안된 방식은 동일한 주파수를 사용하는 위성 빔과 인접 빔 내 지상 셀 시스템 간 발생할 수 있는 간섭을 경감시킴과 동시에 망 내 발생한 트래픽 요구량을 만족시키기 위해 필요한 전력을 최적화하여 주파수 자원 이용 효율을 향상시킬 수 있다. 이와 같은 겸용 망에서는 각 시스템 간 상이한 트래픽 환경 및 업/하향링크 환경에 따라 주파수를 공유하는 위성과 지상 시스템 간 간섭 환경이 달라질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 위성/지상 겸용 망에서의 업/하향링크 환경을 가정한 성능을 비교 분석함으로써 보다 실제 통신 환경에서의 제안된 알고리즘에 대한 성능의 우수성을 보인다.

Key Words : integrated system, interference, resource allocation, frequency sharing, up/down link

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient resource allocation scheme for the integrated satellite/terrestrial networks. The proposed scheme is a frequency sharing technique to mitigate the inter-component interferences which can be generated between a satellite beam and terrestrial cells that are operated in the same frequency. The proposed dynamic resource allocation scheme can mitigate the total inter-component interference by optimizing the total transmission power and it can expect a result of which can lead to an increase in capacity. In such a system, the interference situation can be affected by the distributed traffic demands or up/down link communications environments. In this point of view, we evaluate the performance of the total consumed power, the amount of inter-component interference with respect to different traffic distributions and interference environments between the satellite beam and terrestrial systems.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [14-000-01-001, 적응형 위성방송통신 전송 기술 개발]

• First Author: Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Satellite Handled Broadcasting communications Research Team, unipark@etri.re.kr, 정희원

^o Corresponding Author: Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Satellite Handled Broadcasting communications Research Team, dchang@etri.re.kr, 종신회원

* Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Satellite Handled Broadcasting communications Research Team
논문번호: KICS2014-09-377, Received September 30, 2014; Revised February 6, 2015; Accepted February 6, 2015

I. 서론

위성-지상 겸용 망은 급증하는 모바일 트래픽 요구량에 대응하는 이동 지상망으로 활용될과 동시에 공공재난 대비 인프라 구축 및 지상 망 음영 지역 해소를 위한 위성 망과의 겸용 시스템으로서 현실화에 관심이 모아지고 있다¹⁻³⁾. 현재 북미와 유럽에서는 2.1GHz 위성 주파수를 위성 사업자에게 할당하였고, 주파수 이용 극대화를 위해 위성 주파수의 일부 또는 전체를 지상망 재사용 허용을 통해 위성/지상 겸용 이동통신서비스 제공을 추진하고 있고, 일본에서는 동대역에 대한 주파수 공유방안을 수립 중으로, 공공안전 재난구조를 위해 사용되는 연동 융합된 형태의 위성/지상 겸용 시스템에 초점을 맞추고 있다. 현재 우리나라의 경우 2013년 12월에 발표된 ‘모바일 광개토 플랜 2.0’에 의해 2.1GHz 위성주파수 대역을 지상 이동통신 주파수로 추가 확보하기 위한 계획을 수립하였고, 외국의 동향에 따라 위성/지상 겸용 시스템도 배제하지 않고 있다⁴⁾.

위성/지상 겸용 방식은 위성 망뿐만 아니라 위성 주파수를 지상에서 재사용하는 지상망 또는 지상 보조망도 함께 운용하는 방식으로, 이러한 겸용 방식을 통해 음영지역이 최소화되어 모든 지역에서 원활한 이동통신서비스 제공이 가능한 장점이 있으나, 위성과 지상망이 동일 주파수를 재사용하기 때문에, 시스템 내 위성/지상 간 동일 채널 간섭문제가 야기될 수 있으며 이는 시스템 통신 용량의 저하를 초래할 수 있다. 따라서 주파수를 조화롭게 사용하기 위한 위성과 지상망 간 주파수 재사용 방안이 마련되어야 하며, 위성 망과 지상망 간에 발생할 수 있는 시스템 내 간섭을 완화할 수 있는 주파수 공유 기술들이 중요하다⁵⁻¹⁰⁾.

이와 같은 맥락에서 참고 문헌 [5]에서는 위성과 지상 시스템 간 주파수 공유를 통해 발생할 수 있는 간섭 시나리오를 예상하고 시스템 내 동시에 발생한 트래픽 요구량을 서비스하기 위해 필요한 전력을 최적화하는 동적 자원 관리 기술을 제안하였다. 본 논문에서는 이러한 선행 연구 결과를 바탕으로 하여, 보다 실질적인 시스템 간섭 환경을 고려하기 위하여 상/하향 링크 환경을 가정한 시뮬레이션을 통한 다양한 성능 분석 결과를 제시하고 향후 시스템 구현에 도움이 될 수 있도록 한다.

본 서론에 이어, II장에서는 주파수 공유가 가능한 위성/지상 겸용 망에 대해 설명하고, 위성과 지상 시스템 간 주파수 공유 시 발생할 수 있는 간섭환경에

대하여 살펴본다. III장에서는 동일 채널 간섭을 고려한 동적 자원 할당 방식의 수학적 모델링을 간단히 설명하고, IV장을 통해 상/하향 링크 간섭 환경을 고려한 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 확인하고 분석한다. 마지막으로 V장에서 이 논문의 결론을 정리한다.

II. 다중 빔 위성/지상 겸용 망에서의 주파수 공유

2.1 주파수를 공유하는 위성/지상 겸용 망 구성도

그림 1은 다중 빔을 갖는 위성/지상 겸용 망을 나타낸 것으로, 시스템 내에는 여러 개의 빔 커버리지를 서비스하는 광대역 특성을 갖는 하나의 위성이 존재하고, 위성 지구국간에 통신 링크가 형성되어 있다. 지상의 각 위성 빔 커버리지 내에는 위성 빔이 사용하는 주파수를 재사용하는 무수히 많은 지상 셀들이 존재한다⁵⁾. 그림에서 보는 바와 같이 본 논문에서는 알고리즘의 보다 간략한 수식적인 유도를 위하여 주파수 재사용률이 3인 시스템을 고려한다.

이와 같은 겸용 망은 각 기술이 갖는 최대의 장점을 효과적으로 조합하여 시스템 내 트래픽 요구량 및 간섭 상황에 따라 위성과 지상에 유연하게 주파수 대역을 할당할 수 있도록 운용한다. 기존의 연구로부터 위성 망과 지상망의 자원 공유를 위하여 위성 빔과 지상 셀이 같은 지역 내 주파수를 사용하기 어렵기 때문에, 제안된 방식은 높은 스펙트럼 이용 효율을 위하여 각 위성 빔에 할당된 주파수를 인접 빔 내 존재하는 다른 지상 셀들의 통신을 위해 재사용 할 수 있는데, 이때 적절한 주파수 공유 기술의 부재는 양단간 극심한 동일 채널 간섭을 유발할 수 있다¹¹⁾. 다음 장에서 이와 같이 겸용 망 내 주파수 공유 시 발생할 수 있는 간섭 환경에 대해 살펴본다.

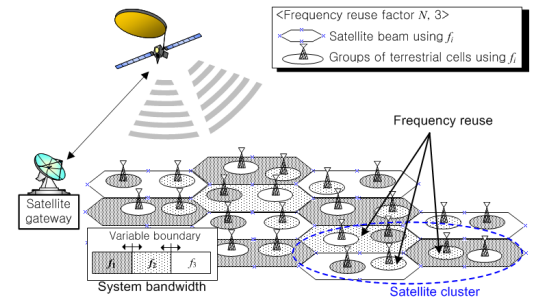


그림 1. 주파수를 공유하는 다중 빔 위성/지상 겸용 망
Fig. 1. Integrated multi-beam satellite/terrestrial networks with frequency sharing

2.2 동일 주파수를 재사용하는 위성/지상 검용 망 내 간섭 환경

주파수 재사용률이 3인 위성/지상 검용 망에서 운용되는 세 개의 주파수 대역은 주파수 재사용 기법에 의해 위성 한 클러스터 내에서 서로 중첩되지 않고, 다른 클러스터에도 동일한 주파수 대역을 사용하여 공간적으로 주파수를 재사용 할 수 있다. 또한, 지상 시스템은 자신이 속한 위성 빔이 사용하는 주파수 외의 주파수 대역을 사용함으로써 스펙트럼 효율을 극대화시킬 수 있다. 그러나 이는 동시에 동일 주파수를 공유하는 위성 빔과 지상 시스템 간 동일 채널 간섭을 야기할 수 있음을 의미한다. 다음 그림 2를 통하여 제한된 위성/지상 검용 망 내 존재하는 간섭 환경에 대하여 살펴본다.

그림 2는 주파수 재사용률이 3인 위성/지상 검용 망에서 위성과 지상 시스템 간 주파수 공유 시 발생할 수 있는 간섭환경에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 한 클러스터 내 세 위성 빔은 전체 시스템 주파수 대역을 각각 f_1, f_2, f_3 주파수 대역으로 나누어 사용하고, 각 빔 내에는 자신이 속한 위성 빔이 사용하는 주파수 외의 주파수 대역으로 통신을 하는 지상 셀 그룹들이 존재한다. 제한된 검용 망 내 위성 빔 및 지상 시스템에서 발생한 데이터 요구량을 서비스하기 위해 필요한 전력을 결정하는데 있어, 빔 또는 지상 셀 그룹에 과도한 전력이 할당되는 경우 동일 대역을 사용하는 위성 빔과 지상 시스템 간 동일 채널 간섭을 증가시키고, 이는 총 시스템 성능을 저하시킨다. 이에 따라 각 위성 빔과 지상 셀 그룹에서 발생한 트래픽

요구량을 만족시키면서, 시스템 내 동일 채널 간섭을 경감시키기 위해 고려하는 제약 조건에 대해 다음 장에서 설명한다.

III. 다중 빔 위성/지상 검용 망에서 간섭을 고려한 동적 자원 할당 방식

3.1 트래픽 요구량을 만족하기 위한 필요 전력을 최소화하는 동적 자원 할당 방식

일반적으로, 각 셀에서 발생한 트래픽 요구량 및 들어오는 간섭 량을 고려하였을 때 필요한 E_b/N_0 는 다음 (1)의 행렬식의 관계로 정리 가능하다^[12].

$$\frac{1}{N_0} \begin{bmatrix} E_b(1) \\ E_b(2) \\ \vdots \\ E_b(N) \end{bmatrix} = G^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$G = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho(1)} & \alpha_{21} & \dots & \alpha_{N1} \\ \alpha_{12} & \frac{1}{\rho(2)} & \dots & \alpha_{N2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{1,N} & \alpha_{2,N} & \dots & \frac{1}{\rho(N)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,

$$\alpha_{ij} = - \frac{R_b(i)}{W(j)} \frac{G_i(i,j)}{G_i(i,i)} \quad (3)$$

여기서, $\rho(i)$ 는 $E_b/(N_0+I_0)$ 로서 주파수 효율(R_b/W)에 따라 요구되는 E_b/N_0 이고, $R_b(i)$ 는 셀에서 요구하는 트래픽 요구량을 의미한다. 또, $W(i)$ 는 i 번째 셀의 할당 대역폭이고, $G_i(i,k)$ 는 k 번째 셀에서 i 번째 셀로의 안테나 이득을 나타낸다. 여기서 수식 (1)의 $E_b/N_0(i)$ 는 각 셀의 간섭 량을 고려하여 발생한 트래픽을 서비스하기 위해 필요한 최종 소비전력을 의미한다.

참고문헌 [5]에서는 주파수 재사용률이 3인 검용 망에 대하여 위의 일반 행렬식에 적용하여 각 위성 빔 또는 지상 시스템에서 필요한 소비전력에 대한 행렬식을 유도하였다. 제한된 방식은 각 위성 빔 및 지상 셀 그룹에서 발생한 트래픽 요구량을 서비스하기 위해 필요한 소비 전력을 최소화하기 위한 자원 할당 알

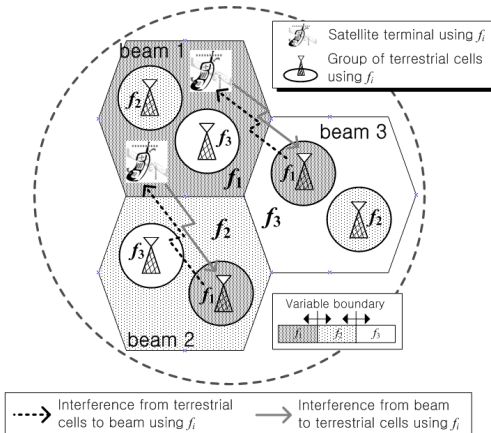


그림 2. 위성/지상 검용 망 내 동일 주파수를 사용하는 위성 빔과 지상 셀 그룹 간 발생하는 동일 채널 간섭
Fig. 2. Inter-component interference for integrated multi-beam satellite/terrestrial networks

고리즘을 유도하기 위하여 다음의 목적 함수를 고려한다.

$$\arg \min_{W_i} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{E_b^S}{N_0}(i) + \frac{E_b^{T_1}}{N_0}(i) + \frac{E_b^{T_2}}{N_0}(i) \right\} \quad (4)$$

여기서, n 은 주파수 재사용률을 나타내고, S, T_1, T_2 는 각각 주파수 f 를 사용하는 위성 빔 및 인접 빔 내 지상 셀 그룹을 의미한다. n 이 3인 겸용 망 내 위성 빔에서 사용하는 주파수와 인접 빔 내 동일한 주파수 대역을 재사용하는 지상 셀 그룹 간에 간섭을 고려하여 발생한 트래픽 요구량을 서비스하기 위해 필요한 각 빔 또는 지상 셀 그룹에 필요한 소비 전력 E_b/N_0 은 각각 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\frac{E_b^S}{N_0}(i) = \frac{\rho^S(i) + \Gamma_{S,T_1} + \Gamma_{S,T_2}}{1 - \frac{R_b^S(i)}{W_i} \{G_{S,T_1}(i)\Gamma_{S,T_1} + G_{S,T_2}(i)\Gamma_{S,T_2}\}} \quad (5)$$

$$\frac{E_b^{T_1}}{N_0}(i) = \rho^{T_1}(i) \left\{ 1 + \frac{R_b^S(i)}{W_i} G_{S,T_1}(i) \frac{E_b^S}{N_0}(i) \right\} \quad (6)$$

$$\frac{E_b^{T_2}}{N_0}(i) = \rho^{T_2}(i) \left\{ 1 + \frac{R_b^S(i)}{W_i} G_{S,T_2}(i) \frac{E_b^S}{N_0}(i) \right\} \quad (7)$$

여기서,

$$\Gamma_{S,T_1} = \frac{R_b^{T_1}(i)}{W_i} \rho^S(i) \rho^{T_1}(i) G_{T_1,S}(i) \quad (8)$$

$$\Gamma_{S,T_2} = \frac{R_b^{T_2}(i)}{W_i} \rho^S(i) \rho^{T_2}(i) G_{T_2,S}(i) \quad (9)$$

위의 식에서 동일 주파수를 사용하는 빔 또는 지상 셀 그룹의 대역 할당량에 따라 극단적인 동일 채널 간섭 환경을 야기할 수 있기 때문에, 할당 대역폭 W_i 와 관련하여 추가적인 제약 조건이 필요하다.

3.2 동일 채널 간섭에 대한 대역 제약 조건의 추가된 동적 자원 관리 기술

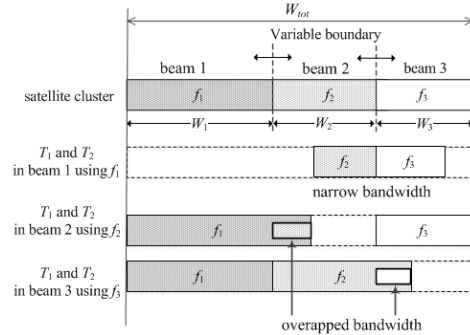
그림 3은 주파수 재사용률이 3인 겸용 망에서 동일 주파수를 사용하는 위성 빔과 지상 셀 그룹 간 대역폭의 제약 조건이 없을 경우와 제약 조건을 고려한 경우의 간섭 환경에 대하여 보여준다. 그림 3-(1)으로부터

위성 빔과 동일한 주파수 대역을 사용하는 인접 빔 내 지상 셀 그룹이 사용하는 주파수 대역폭이 다른 경우 대역폭의 중첩이 발생하여 시스템 내 간섭이 극단적으로 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 이를 방지하기 위하여, 그림 3-(2)와 같이 위성 빔과 인접 빔 내 동일 주파수를 재사용하는 지상 셀 그룹들 간에 대역폭을 동일하게 할당하는 제약 조건을 고려하고, 사용하는 주파수 대역의 최대 스펙트럼 효율을 위하여 전체 시스템 대역을 사용한다는 제약 조건을 함께 추가하여 수식으로 표현하면 각각 (10)과 (11)와 같다.

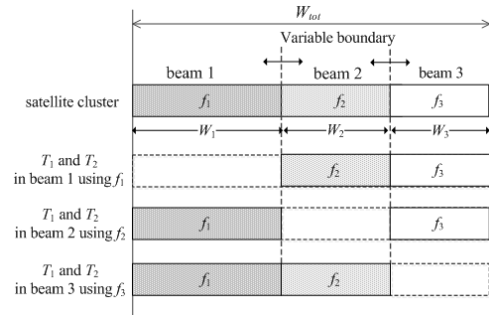
$$\sum_{i=1}^n W_i \leq W_{total} \quad (10)$$

$$W_i \geq 0 \quad (11)$$

각각의 제약 조건은 모든 빔 또는 셀에 할당되는 대역폭의 총 합이 시스템이 할당 가능한 전체 대역폭을 초과할 수 없음을 의미하고, 모든 빔 또는 셀에 대



(1) 대역 제약 조건이 없을 경우



(2) 대역 제약 조건을 추가한 경우

그림 3. 위성/지상 시스템 간 동일 채널 간섭을 제어하기 위한 대역폭 제약 조건
Fig. 3. Bandwidth constraint for minimizing inter-component interference for integrated satellite/terrestrial networks

하여 주파수 대역을 할당함을 의미한다. 위의 제약 조건을 고려하여 설계한 모델링에 대한 최적화 문제를 해결하기 위하여 Lagrangian 함수를 적용하면 다음과 같이 정리할 수 있다^[13].

$$L(W_i, \lambda_i) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{E_b^S}{N_0}(i) + \frac{E_b^{T1}}{N_0}(i) + \frac{E_b^{T2}}{N_0}(i) \right\} + \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^n W_i - W_{total} \right) - \lambda_2 \left(\sum_{i=1}^n W_i \right) \quad (12)$$

여기서 λ_1, λ_2 는 Lagrangian 계수이며, Karush - Kuhn - Tucker (KKT) 정리를 이용하여 풀면, 각 빔 또는 셀에 필요한 E_b/N_0 를 최소화하기 위해 필요한 각 할당 대역폭 W_i 를 결정할 수 있다.

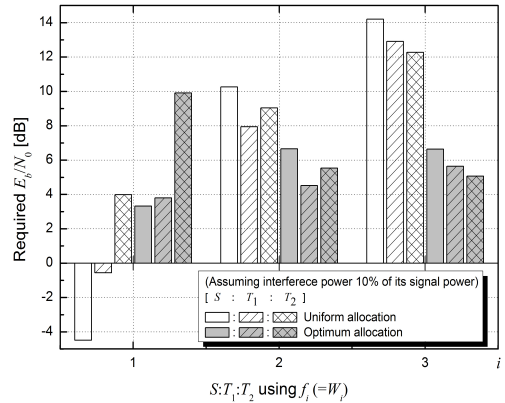
IV. 다중 빔 위성/지상 겸용 망에서 간섭을 고려한 동적 자원 할당 방식

본 장에서는 상/하향 링크 간섭 환경을 가정한 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 동적 대역 할당 방식과 일정한 빔 대역량을 할당하는 정적 자원 할당 방식의 성능을 비교, 분석한다. 시뮬레이션에서 총 시스템 대역량은 10MHz로 가정하였고, 지상셀 그룹은 위성 빔 내에 랜덤으로 분포하고 있다고 간주한다. 또, 각 트래픽 요구량은 위성/지상 겸용 망에서 위성 트래픽에 비하여 지상 이동통신 서비스의 트래픽량이 상대적으로 클 수 있음을 반영하기 위하여, 위성 빔의 트래픽은 약 0~5M 사이에서 랜덤하게 발생시키고, 지상 그룹 셀에서의 트래픽은 약 0~10Mbps의 범위에서 랜덤하게 발생시켰다.

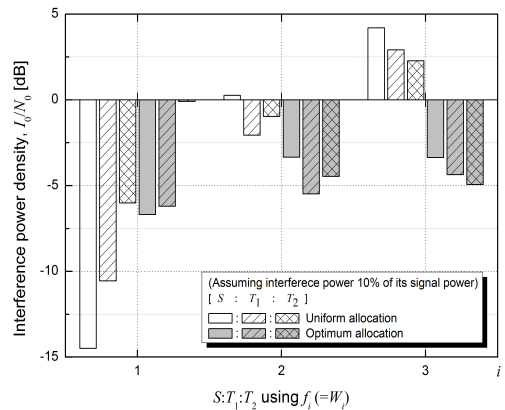
표 1은 연속적인 시뮬레이션 수행 과정에서 한 순간의 각 트래픽 요구량을 나타낸 것으로, 먼저 제안된 동적 할당 방식과 기존의 정적 할당 방식의 성능 경향을 살펴보기 위하여 간단한 간섭 환경을 가정한 시뮬레이션 결과가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4는 표 1

표 1. 주파수 f_i 를 사용하는 위성 빔 및 지상 셀 그룹에서 발생한 트래픽 요구량 [Mbit/s]
Table 1. Required traffic demands for each satellite beam and group of terrestrial cells [Mbit/s]

Beam or Cell $i^{th} W_i$	$S(i)$ [Mbps]	$T_1(i)$ [Mbps]	$T_2(i)$ [Mbps]
1	1.005	6.777	6.989
2	3.013	5.235	6.668
3	5.996	6.068	6.148



(1) 각 빔 또는 지상 셀 그룹의 필요 E_b/N_0



(2) 각 빔 또는 지상 셀 그룹에서 발생한 I_q/N_0

그림 4. 정적/동적 자원할당 방식에 대한 필요 소비 전력 및 I_q/N_0 성능 비교 (간섭 세기 10% 동일한 경우)
Fig. 4. Comparison of consumed power and interference power density based on the data rate and inter-component interference

과 같이 발생한 시스템 내 트래픽에 대하여 위성 빔과 인접 빔 내 동일 대역을 사용하는 지상 셀 그룹 간의 간섭 세기가 모두 자기 신호 세기의 10% 정도로 들어온다고 가정하였을 때 정적 할당 방식과 동적 할당 방식에 의해 결정되는 필요 소비 전력과 간섭량을 나타낸 것이다.

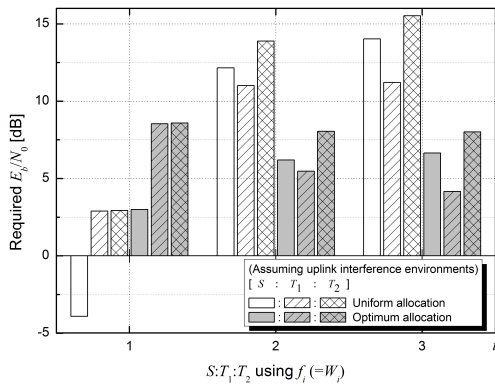
정적 대역 할당 방식의 경우 각 빔 및 지상 셀 그룹에 할당되는 대역량은 각각 3.33MHz씩 균등하게 할당되는 반면, 제안된 동적 자원 할당 방식에 의해 결정되는 각 할당 대역폭은 각각 $[S:T_1:T_2]=[1.824:3.859:4.134]$ [MHz]이다.

그림 4로부터 트래픽 요구량이 큰 지상 셀 그룹에서 보다 큰 소비전력이 필요하고 들어오는 간섭의 세기는 상대적으로 적은 E_b/N_0 를 필요로 하는 위성 빔이나 지상 셀 그룹에서 훨씬 크게 영향을 받음을 확인할

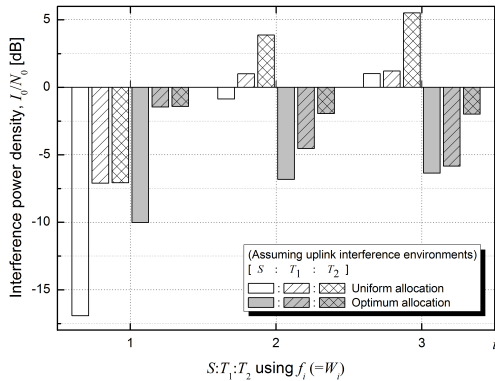
수 있다. 표 2의 결과는 보다 분명한 성능 차이를 확인하기 위하여 총 소비전력 및 시스템 내 총 간섭 량에 대하여 연속적인 시물레이션을 수행 후 평균값을 비교한 것이다. 본 결과로부터 제안된 동적 자원 할당 방식이 정적 할당 방식에 비해 약 5dB 정도의 소비

표 2. 자기 신호 세기의 10% 간섭을 고려한 경우 총 소비 전력 및 총 간섭 량의 평균값
Table 2. The average value of total consumed power and I_0/N_0 assuming 10% interference power of its signal power

Resource allocation	Uniform allocation	Optimum Allocation
Averaged total consumption power, $E[\sum E_b/N_0(i)]$ [dB]	20.83405	15.34958
Averaged total inter-component interference, $E[\sum I_0/N_0(i)]$ [dB]	10.83405	5.349576



(1) 각 빔 또는 지상 셀 그룹의 필요 E_b/N_0

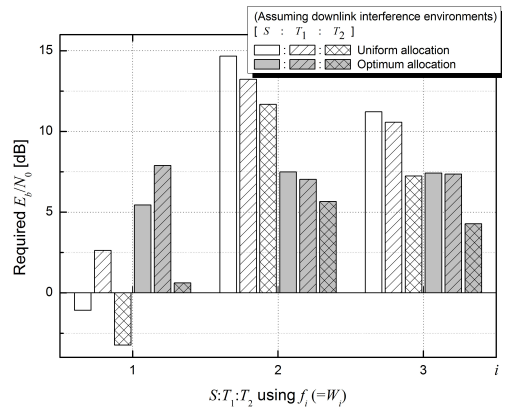


(2) 각 빔 또는 지상 셀 그룹에서 발생한 I_0/N_0

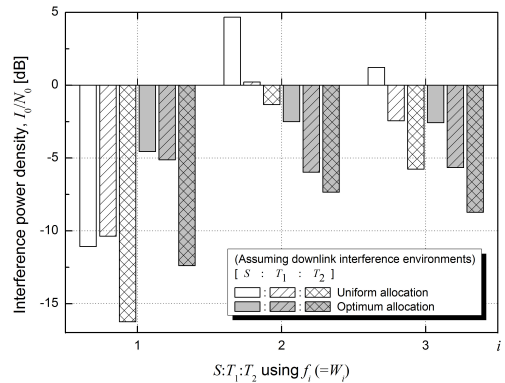
그림 5. 정적/동적 자원할당 방식에 대한 필요 소비 전력 및 I_0/N_0 성능 비교 (상향링크 간섭 환경을 고려한 경우)
Fig. 5. Comparison of consumed power and interference power density based on the data rate and inter-component interference (assuming uplink interference)

전력의 이득뿐만 아니라, 시스템 내 간섭 량의 약 5dB 정도 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

제안된 동적 자원 할당 방식에 대한 보다 실질적인 간섭 환경을 고려한 시스템 성능을 비교하기 위해, 상/하향 링크 간섭 환경을 가정한 시물레이션 결과인 그림 5와 6을 제시한다. 각각은 제안된 겸용 방식에서 상향링크 환경(위성 간섭<지상 간섭)과 하향링크 환경(위성 간섭>지상 간섭)을 가정하였을 때 비교 대상인 두 자원할당 방식에 대한 성능을 비교한 것이다. 시물레이션에서는 상향링크 환경을 가정할 경우, 위성 빔은 인접 빔 내 동일 대역을 사용하는 지상 셀 그룹들로부터 자기 신호 세기의 10% 정도의 간섭이 들어 오고, 지상 셀 그룹은 위성 빔으로부터 자기 신호의 5% 정도의 간섭 신호를 가정하였다. 반대로 하향링크 환경을 가정한 경우, 위성 빔은 자기 신호 세기의 5%



(1) 각 빔 또는 지상 셀 그룹의 필요 E_b/N_0



(2) 각 빔 또는 지상 셀 그룹에서 발생한 I_0/N_0

그림 6. 정적/동적 자원할당 방식에 대한 필요 소비 전력 및 I_0/N_0 성능 비교 (하향링크 간섭 환경을 고려한 경우)
Fig. 6. Comparison of consumed power and interference power density based on the data rate and inter-component interference (assuming downlink interference)

정도의 간섭 신호의 영향을 받고, 지상 셀 그룹은 자기 신호의 10% 정도의 간섭 세기 영향을 받는다고 가정하였다. 상/하향 링크 환경에서의 성능을 확인하기 위하여 한 타임 슬롯의 각 위성 빔 및 지상 셀 그룹 간의 트래픽 발생량은 각각 표 3과 표 4에 나타낸다.

상향링크 환경을 고려한 경우 제안된 동적 자원 할당 방식에 의해 결정되는 각 할당 대역폭은 $[S:T1:T2]=[1.802:4.058:4.128]$ [MHz]이고, 하향링크 환경을 고려한 경우에는 $[S:T1:T2]=[1.893:4.123:3.856]$ [MHz]으로 앞서 확인했던 시뮬레이션 결과와 비슷한 경향을 보이는 것으로 보아 할당 대역폭을 결정함에 있어 트래픽량이 큰 영향을 미치는 것을 유추할 수 있다.

그러나 그림 5-(1)과 그림 6-(1)의 각 시스템에서 필요한 소비 전력을 비교해 보면, 상/하향링크 환경처럼 간섭의 세기가 각 시스템 간 상대적으로 차이가 있

표 3. 상향링크 간섭 환경에 대한 그림 5의 결과에서 가정한 트래픽 요구량 [Mbit/s]
Table 3. Required traffic demands assuming uplink interference environments for Fig. 5[Mbit/s]

Beam or Cell $i^{th} W_i$	$S(i)$ [Mbps]	$T_1(i)$ [Mbps]	$T_2(i)$ [Mbps]
1	1.306	6.567	7.463
2	5.147	6.635	5.26
3	5.172	9.2	8.89

표 4. 하향링크 간섭 환경에 대한 그림 6의 결과에서 가정한 트래픽 요구량 [Mbit/s]
Table 4. Required traffic demands assuming downlink interference environments for Fig. 6[Mbit/s]

Beam or Cell $i^{th} W_i$	$S(i)$ [Mbps]	$T_1(i)$ [Mbps]	$T_2(i)$ [Mbps]
1	2.264	6.597	6.305
2	4.93	8.925	8.662
3	1.829	7.519	5.815

표 5. 상/하향링크 간섭 환경을 고려한 경우 총 소비전력 및 총 간섭량의 평균값
Table 5. The average value of total consumed power and I_0/N_0 assuming up/downlink interference environments

Resource allocation	Uplink		Downlink	
	Uniform	Optimum	Uniform	Optimum
$E[\sum E_b/N_0(i)]$ [dB]	20.06327	15.97589	20.55308	15.84854
$E[\sum I_0/N_0(i)]$ [dB]	9.2721	5.21359	9.19512	4.33326

을 경우 같은 주파수를 사용하는 시스템의 간섭량을 고려하여 트래픽량이 적지만 상대적으로 큰 소비전력을 요구하는 것을 확인 할 수 있다. 표 5는 앞서 비교한 것과 마찬가지로 상/하향 링크 환경을 가정한 경우에 대하여 제안된 자원 할당 방식과 정적 할당 방식의 총 소비 전력의 합과 발생한 간섭량의 총 합에 대한 성능을 나타낸 것이다. 데이터의 신뢰성을 위하여 앞서 수행한 시뮬레이션 결과와 마찬가지로, 반복적인 시뮬레이션을 통한 평균 결과 값을 제시하였다. 표 5의 결과로부터 상/하향 링크 환경에서도 제안된 동적 할당 방식이 시스템 내 간섭량을 감소시킴과 동시에 트래픽 요구량을 만족시키기 위한 소비전력을 최소화할 수 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

위성/지상 겸용 활용을 위해서는 주파수를 효율적으로 사용하기 위한 위성/지상 겸용 서비스 시나리오 및 시스템 구조에 대한 연구가 추가적으로 필요하며, 겸용 활용 시 위성/지상망 간 간섭 영향 및 겸용 망 성능연구 또한 필요하다^[4]. 뿐만 아니라 위성/지상 망 트래픽 요구량 및 간섭 상황에 따라 위성과 지상에 유연하게 주파수 대역을 할당할 수 있는 차세대 위성 휴대 전송 기술에 대한 연구도 추가적으로 필요하다. 본 논문에서는 이러한 맥락에서 겸용 방식 내 위성과 지상 시스템 간 주파수 공유 시 발생할 수 있는 시스템 간 간섭 환경을 고려한 동적 자원 관리 방식을 소개하였다. 제안된 방식은 위성/지상 겸용 망에서 위성파와 지상 시스템 간 동일 채널 간섭을 최소화하기 위하여 위성 빔과 인접 빔 내 동일한 주파수를 재사용하는 지상 셀 그룹들 간에 대역을 동일하게 할당하는 제약조건을 추가함으로써, 시스템 내 극단적인 간섭을 방지하고, 발생한 트래픽 요구량을 서비스하기 위해 필요한 소비전력을 최적화하였다. 뿐만 아니라, 상/하향 링크 환경을 가정한 간섭 환경을 조성하여 보다 다양한 시뮬레이션 결과 분석을 통하여 제안된 방식에 대한 성능의 우수성을 보였다. 향후 주파수 재사용 인자가 3 이상인 위성/지상망에 적용 가능한 일반화된 알고리즘이 유도를 수행할 예정이다.

References

[1] B. Evans, et al., "Integration of satellite and terrestrial systems in future multimedia communications," *IEEE Wirel. Commun.*, vol.

12, no. 5, pp. 72-80, Oct. 2005.

[2] P. Febvre, "Personal satellite access terminals: Observations with a 40-year perspective," *PSATS 2011 Keynote 1*, Malaga, Spain, Feb. 2011.

[3] AWG15/TMP-13, *Working document towards a draft new APT Report on APT frequency usage of the bands 1980-2010 MHz and 2170-2200 MHz in Asia Pacific Region*.

[4] H. W. Kim, K. Kang, and D. I. Chang, "Technical trends on utilization of satellite 2.1 GHz frequency," *Electron. Telecommun. Trends*, 2014.

[5] U. Park, H. W. Kim, D. S. Oh, and B. J. Ku, "Interference - limited dynamic resource management for an integrated satellite-terrestrial system," *ETRI J.*, vol. 36, no. 4, pp. 519-527, Aug. 2014.

[6] U. Park, H. W. Kim, D. S. Oh, and D. I. Chang, "A concept on the dynamic resource management for an integrated satellite-terrestrial network to limit interferences," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2014*, pp. 1110-1111, Jeju Island, Korea, Jun. 2014.

[7] J. Kim, J. Kim, S. Lee, J. Lee, K. Kim, K. Song, and J. M. Ahn, "A study on the interference between global navigation satellite systems," *J. KICS*, vol. 37, no. 6, pp. 512-519, Jun. 2012.

[8] S. Woo, H.-W. Park, H.-S. Lee, Y.-S. Yoo, and B.-G. Jung, "A power control-based MF-TDMA resource allocation scheme for next generation military satellite communication systems," *J. KICS*, vol. 37, no. 11, pp. 1138-1149, Nov. 2012.

[9] N. Jeong, D. S. Oh, and B. J. Ku, "A study on the radio-interference assessment from mobile communication systems to radio-navigation satellite systems in adjacent 1.6 GHz band," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2013*, pp. 255-256, Jeju Island, Korea, Jun. 2013.

[10] H. W. Kim, K. Kang, B.-J. Ku, and H.-J. Lee, "Recent R&D activities for integrated satellite/terrestrial communication in satellite 2

GHz bands," in *Proc. JC-SAT2014 Conf.*, Fukuoka, Japan, Oct. 2013.

[11] International Telecommunication Union, *Report ITU-R M.2041, Sharing and adjacent band compatibility in the 2.5 GHz band between the terrestrial and satellite components of IMT 2000*, 2003.

[12] K. Nakahira, K. Kobayashi, and M. Ueba, "Capacity and quality enhancement using an adaptive resource allocation for multi-beam mobile satellite communication systems," in *Proc. Wirel. Commun. Netw. Conf.*, vol. 1, pp. 153-158, Las Vegas, US, Apr. 2006.

[13] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*, Cambridge University Press, 2004.

박 운 희 (Unhee Park)



2008년 2월: 전북대학교 전자정보공학부 학사
 2010년 2월: 전북대학교 전자공학 석사
 2010년 4월~현재: 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성휴대방송통신연구실

<관심분야> 오류정정부호화방식, 최적화이론, 이동/위성통신

김 희 욱 (Hee Wook Kim)



2001년 8월: 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
 2004년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 석사
 2004년 3월~현재: 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성휴대방송통신연구실 선임연구원

<관심분야> 위성통신, OFDM, 동기, MIMO

오 대 섭 (Dae-Sub Oh)



1996년 2월: 경북대학교 전자
공학과 학사
1998년 2월: 경북대학교 전자
공학과 석사
2000년 7월: LG정보통신 주임
연구원
2000년 7월~현재: 한국전자통

신연구원 위성무선융합연구부 선임연구원
<관심분야> 위성통신, 전파통신, 디지털통신공학

장 대 익 (Dae-ik Jang)



1985년: 한양대학교 전자통신
공학과 공학사
1989년: 한양대학교 전자통신
공학과 공학석사
1999년: 충남대학교 전자공학
과 공학박사
1991년~1993년: 캐나다 MPR
Teltech 연구소 연구원

2011년~2012년: KAIST 초빙교수(전일제)
2005년~현재: UST연합대학원 이동통신및디지털방송
공학 전공책임교수
1990년~현재: 한국전자통신연구원 위성휴대방송통신
연구실 실장
<관심분야> 디지털통신, 위성방송통신 시스템, 위성
모뎀