

인지무선 라디오 기술을 이용한 효율적인 GSO 위성망 주파수 공유방법

정원식*, 장성진*, 조재범* 정회원, 김재명* 종신회원

An Effective Frequency Sharing Method using Cognitive Radio in GSO Satellite Network

Won-Sik Jung*, Sung-Jeen Jang*, Jae-Bum Cho* *Regular Members*
Jae-Moung Kim* *Lifelong Member*

요 약

최근 다양한 무선통신 기기의 등장 및 멀티미디어 사용자의 증가와 함께 주파수의 효율적인 관리가 중요한 문제로 떠오르고 있다. 위성 시스템이 가지는 주파수 자원은 매우 높은 가치를 지니며 회소할 뿐만 아니라, 넓은 커버리지를 가지기 때문에 효율적인 통신 자원 관리를 위해서 지상 시스템과의 주파수 공유는 필수적이다. 최근 위성망을 공유하는 방법으로 제안된 최소이격거리를 사용한 고정 지상국 배치 기법은 지상국 송신 전력의 경로 손실만을 고려한 간섭 경감 기법이기에 때문에 위성망 주파수를 공유하는 방법이 되기에는 매우 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 일반적인 지상 시스템이 아닌 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 기술을 사용한 효과적인 위성망 공유 방안을 제안한다. 제안된 인지무선 라디오 기술은 지상국 스스로 위성망에 대한 간섭을 계산하고 전력을 조절할 수 있기 때문에 기존의 고정 지상 시스템보다 지구국에 대한 지상국들의 간섭을 효과적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 더 많은 지상국의 위성망 주파수 공유가 가능해 진다.

Key Words : Satellite communication; Cognitive Radio; Genetic Algorithm, Frequency Sharing, Frequency allocation.

ABSTRACT

Many efficient frequency sharing methods are issued in present because of increasing users with various wireless communication terminals. In the satellite communications, the service coverage is generally very wide so frequency sharing with terrestrial system is essentially needed, and the research is progressing dynamically related on this frequency sharing method. But if we adopt the terrestrial system which is commonly used, it can't avoid the interference from terrestrial service to satellite service. Therefore, this paper will introduce methods for reducing the interference from terrestrial station to earth station using cognitive radio system. Satellite system is guaranteed with decreasing interference from terrestrial stations using Genetic Algorithm based power control method. Furthermore, terrestrial systems can have increased QoS because the frequency reuse factor in proposed method is higher than existing methods.

I. 서 론

소규모 가정용 네트워크 및 스마트폰과 같은 다양한 무선통신 기기의 등장과 함께 한정된 주파수 자원을 효과적

으로 공유하기 위한 방안이 활발히 연구되고 있다. 특히 위성망의 경우 매우 높은 가치의 주파수 대역을 사용하고 있으며 그 커버리지가 매우 넓어서 지상망과의 주파수 공유가 필수적이다.

* 인하대학교 정보통신공학과 무선전송 연구실 (wonsik@witlab.kr), (sungjeen.jang@witlab.kr), (jaebum.cho@witlab.kr), (jaekim@inha.ac.kr)

※ 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0008000).

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1011-007)

접수일자 : 2010년 9월 10일, 수정완료일자 : 2010년 9월 17일, 최종게재확정일자 : 2010년 10월 12일

위와 같은 위성망의 공유 필요성과 함께 최근 GSO (Geostationary orbit) 위성망에서 최소이격거리를 사용한 주파수 공유 기법이 소개되었다[2]. 이 기법은 지상망의 안테나 방향은 주로 수평방향이지만 위성망에서 지구국의 안테나 방향은 인공위성과 통신하기 위해 비교적 높은 각도를 지닌다는 특성을 이용한 것으로써, 지상국이 수평방향으로 지구국에 줄 수 있는 간섭레벨을 측정 후에 고정 지상국을 설치하여 위성망을 공유하는 것이다. 하지만 이는 위성국과 지상국의 물리적 이격거리만을 고려한 공유 기법이기 때문에 매우 비효율적이다. 이를 효율적으로 개선하기 위해서는 위성망의 신호를 지속적으로 감지하고 위성망의 신호가 감지될 경우, 지상망 스스로 판단하여 현재 주파수 대역을 회피하거나 위성망에 대한 간섭을 효과적으로 줄일 수 있는 기술이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 기존의 고정 지상 시스템이 아닌 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 기술[8]을 적용함으로써 위성망에 대한 간섭을 최소화하면서 좀 더 많은 지상망을 사용할 수 있는 방안을 제시한다.

인지무선 라디오 기술은 Joseph Mitola III에 의하여 처음 제안된 기술로써 주파수를 할당 받은 우선사용자(primary user)에게 간섭을 주지 않는 범위 내에서 이차사용자(secondary user)가 전력, 주파수, 변조방식과 같은 통신 매개변수들을 지능적으로 변화시키면서 우선사용자와의 효율적인 스펙트럼 자원을 공유하는 SDR(Software Defined Radio) 개념의 기술이다[3]. 인지무선 라디오 기술은 IEEE 802.22에서 이미 표준화가 진행되고 있으며[4], 미국의 연방통신위원회인 FCC(Federal Communications Commission)에서는 2009년 DTV White space 구역에서의 이차사용자의 접근을 허용했다.

이와 같이 인지무선 라디오 기술은 DTV 대역 및 비면허 대역에서의 연구 및 표준화가 활발히 진행되고 있으며, 앞으로는 위성망의 주파수 대역을 공유하는 기술로 큰 역할을 담당하게 되리라 기대되고 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 현재 제안 되고 있는 주파수 공유기법을 먼저 소개한다. 3장에서는 유전자 알고리즘 및 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 기술을 사용한 위성망과 지상망의 주파수 공유 기술을 제시한다. 그리고 4장에서는 본 논문에서 제시한 인지무선 라디오 기술과 기존의 방식을 비교 분석한 시뮬레이션 결과를 제공하며, 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 주파수 공유 기술

ITU(International Telecommunication Union)에서는 앞서 설명한 위성망과 지상망의 주파수 공유의 필요성으로 인하여 몇 가지 주파수 공유를 위한 기준을 제시하고 있다. 그 중에서 전파규칙 제 21조에서는 위성망의 우주

국으로부터 지상국으로의 간섭 문제를 해결하기 위해서 전력속밀도(power flux density ; pfd) 제한 값을 규정하고 있다[5]. 이 전파규칙에 따르면 18.8-19.7 GHz 주파수 대역에서 우리나라 정지궤도 위성의 양각에 해당하는 pfd 제한 값은 -105 dBW/m² 이다.

GSO 위성의 경우 지상으로부터 약 36000 km 거리에 위치하고 있으므로 위의 pfd 제한 값을 사용하여 우주국의 허용 가능한 EIRP 값을 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$EIRP_{max} = -105 + 10 \log_{10}(4\pi \times (36000)^2) = 57 \text{ dBW/MHz} \quad (1)$$

여기서 자유공간 손실을 고려하면 우주국으로부터 지상국으로의 간섭은 -152 dBW/MHz가 되고 지상국의 허용 간섭을 위의 간섭레벨보다 크게 설정하면 지상망의 주파수 공유가 가능해진다.

위와 같이 우주국으로부터 지상국으로의 간섭은 규정에 의해 제한되어 있기 때문에 지상망이 위성망의 주파수를 공유하는데 있어서 우리가 고려해야할 가장 중요한 기술은 우주국과 지상국 사이의 간섭을 줄이는 것이다.

1. 최소이격거리를 이용한 기술

최근 위성망 주파수 대역을 지상망이 공유하는 방법 중 하나로 우주국으로부터 지상국의 최소이격거리를 측정하여 고정 지상업무를 수행하는 방법이 제안되었다[2].

위성망에서의 지구국 허용가능성을 평가하기 위하여 먼저 시스템 잡음 N을 식(2)와 같이 구한다. 그리고 지구국 간섭 허용 기준을 I/N = -10 dB 라고 가정하면 허용 가능한 간섭량을 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$N = kT = -143.82 \text{ dBW/MHz} \quad (2)$$

(k = 볼츠만 상수, T = 300K, B = 1MHz)

$$I = N - 10 \text{ dB} = -153.82 \text{ dBW/MHz} \quad (3)$$

위의 식(3)의 결과를 이용하여, 다음과 같이 최소이격거리 d_{min}에 따라 정리하면 아래 식(4)와 같이 정리할 수 있다.

$$20 \log(d_{min}) = P_t + G_t + G_r(\theta) + 35.8 \text{ (dB)} \quad (4)$$

여기서 P_t는 지상국의 송신전력, G_t는 지구국의 송신 안테나 이득, G_r는 지구국의 수신 안테나 이득을 의미한다. 35.8은 자유공간손실 모델을 적용하여 계산된 값으로써 중심주파수는 19 GHz, 단위 거리는 1 km 이다.

그림 1은 위 식을 사용하여 방위각에 따라 측정된 최소이격거리 d_{min}을 나타낸 것이다.

그림 1에서 D는 안테나 패턴에 따른 안테나의 직경을

의미하며 안테나의 직경이 각각 0.6 m, 2.4 m일 경우, 그림 1에서 보는 바와 같이 고정 지상국을 지구국으로부터 각각 약 17.8 km, 11.4 km 정도 물리적 이격거리를 두고 설치하게 되면 지구국의 허용간섭을 초과하지 않고 위성망이 사용 중인 주파수 대역을 지상망이 공유할 수 있음을 볼 수 있다.

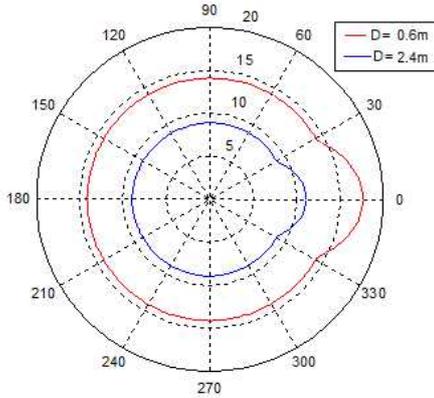


그림 1. 방위각에 따른 최소이격거리

2. 다중빔을 사용한 기술

앞서 설명한 방법으로는 지구국 인접 지역에서는 지상망을 사용할 수 없다는 큰 단점이 있다. 하지만 멀티빔 위성을 사용하여 각 셀의 주파수 대역을 분할하여 배치한다면, 이웃 셀에서 주파수 재사용이 가능해진다[1].

예를 들어 그림 2와 같이 주파수를 f1, f2, f3, 3개로 분할하여 사용하게 되면 주파수 f1을 사용하는 셀 C1에서는 주파수 f2와 f3을 재사용할 수 있게 된다.

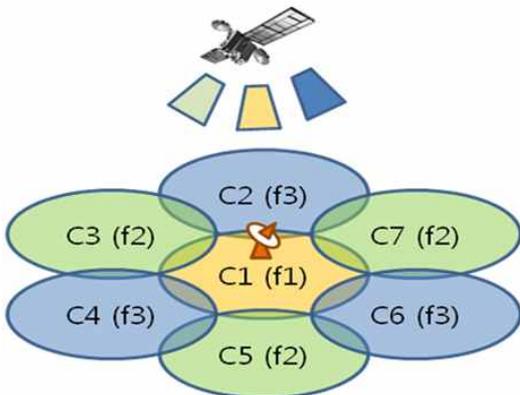


그림 2. 다중빔 인공위성 시스템

III. 인지무선 라디오를 사용한 위성망 주파수 공유

앞서 제안된 최소이격거리를 사용한 위성망과 지상망의 주파수 공유 기법은 지상국의 지구국에 대한 간섭을 최소화하기에는 알맞지만 주파수 공유의 효율성은 매우 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 위성망 주파수 공유의 효율성

을 높이기 위해서 기존의 고정 지상 업무가 아닌 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오의 적용을 제안한다.

먼저 1절에서 유전자 알고리즘에 대해 간단하게 설명하고, 2절에서 본 논문에서 제안하는 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 시스템과 위성망의 주파수 공유 기법을 설명하도록 한다.

1. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 인지무선 라디오 시스템에서 인지된 상황에 따라 지능적으로 라디오 환경 자원을 효율적으로 관리 및 할당하는 대표적인 학습 알고리즘이다. 특히 유전자 알고리즘은 다목적 문제를 쉽게 해결할 수 있는 방법이기에 때문에 트레이드오프 관계에 있는 다양한 통신 변수들을 효율적으로 조절하는 기법으로 인지무선 라디오 시스템에서 이미 많은 연구가 이루어져 왔다[6][7].

그림 3은 일반적인 유전자 알고리즘 연산 순서를 보여준다.

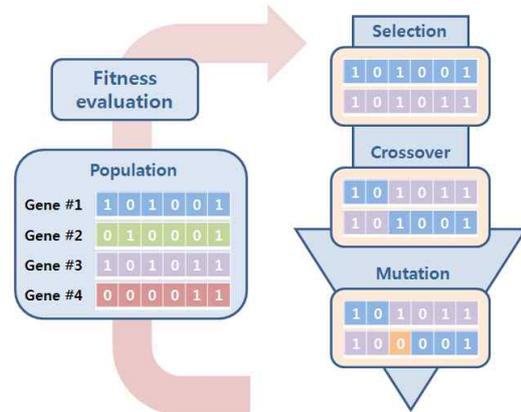


그림 3. 유전자 알고리즘 연산과정

개체군(population)은 염색체들의 집합으로써 각 염색체(gene)들은 목적도(objective)함수의 최적해 후보가 되는 다양한 변수들의 정보를 가지고 있다. 각 정보들은 이진수로 표현되어 있으며, 이러한 이진수 표현은 염색체를 교환 및 수정이 가능하도록 한다. 최초 무작위로 초기화된 개체군에서 적합도(fitness) 함수 평가에 의해 우수한 형질의 염색체들이 선택되고 선택된 염색체들은 더 나은 형질의 자손 염색체를 생성하기 위해 교배(crossover) 과정을 거치게 된다. 이후 일정 확률로 돌연변이(mutation) 과정을 통해 특정구역에서 해가 수렴하여 최적화 값을 찾지 못하는 것을 방지한다. 앞에서 설명한 유전자 알고리즘 연산 과정은 정해진 세대수(generation size)만큼 반복되어 최적해를 찾게 된다.

2. 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 적용

본 논문에서는 위성망에 대한 인지무선 라디오 시스템의 간섭을 줄이기 위해서 유전자 알고리즘 기반의 전력제어를 사용하였다. 먼저 인지무선 라디오 송신기의 전력제

어를 최적화하기 위해서 표 1과 같이 두 가지 목적에 따라서 통신 변수를 설정할 수 있다.

변수 I는 인지무선 라디오가 지구국에 줄 수 있는 간섭을 의미하며 변수 P는 인지무선 라디오 상용자의 성능향상을 위한 송신전력을 의미한다. 이 두 변수는 트레이드오프 관계에 있기 때문에 이 두 가지 통신목적 모두 만족시키기 위하여 유전자 알고리즘을 적용한 자원할당 방법을 사용하였다.

표 1. 통신 목적에 따른 변수들

Parameters	Objective
Interference (I)	Reduce the interference to the earth station
Transmit Power (P)	Increase performance of secondary user

위의 변수들을 최적화하기 위해 두 개의 적합도 함수를 식 (5),(6)과 같이 설정하였으며, 설정된 각각의 적합도 함수를 가중치 합(weighted-sum) 방식을 통해 단일목적 함수를 정의하였다.

$$f_1 = \begin{cases} \frac{I_{lim} - I_{est}}{I_{lim} - I_{min}} & (I_{lim} > I_{est}) \\ 0 & (I_{lim} < I_{est}) \end{cases} \quad (5)$$

$$f_2 = \begin{cases} \frac{SINR_{best} - SINR_{est}}{SINR_{best} - SINR_{worst}} & (SINR_{worst} < SINR_{est}) \\ 0 & (SINR_{worst} > SINR_{est}) \end{cases} \quad (6)$$

적합도 함수가 두 개이므로 가중치 비율은 1:1 로 균등하게 적용하였다. 적합도 함수 f1은 이차사용자들이 지구국에 주는 간섭을 줄이기 위한 것으로서 Ilim은 앞서 설명한 지구국 허용간섭인 -153.82 dBW/Mhz 이며, Imin은 인지무선 라디오가 줄 수 있는 최소 간섭량이다. Iest는 각 인지무선 라디오 송신기가 지구국으로 주는 간섭으로 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$I_{est} = P_{CR-Tx} + G_{CR-Tx} + G_r(\theta) - FSL \quad (7)$$

여기서 PCR-Tx와 GCR-Tx는 각각 인지무선 라디오 송신기의 전력과 송신안테나 이득이며, Gr(θ)는 방위각에 따른 지구국의 수신안테나 이득, FSL은 인지무선 라디오 송신기로부터 지구국 사이의 자유공간경로손실(free space loss)을 나타낸다.

적합도 함수 f2는 각 인지무선 라디오 사용자의 성능을 최대화하기 위한 적합도 함수로써 SINRbest와 SINRworst는 각각 인지무선 라디오 사용자에게 간섭이 전혀 없는 최적의 경우와 간섭량이 인지무선 라디오 사용

자의 최대허용간섭 레벨일 경우의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 값을 나타낸다. 인지무선 라디오 사용자는 측정된 SINRest 값에 따라서 각각의 전력을 할당하게 된다.

그림 4는 제안한 알고리즘을 설명한 순서도이다. 먼저 각 인지무선 라디오 송신기의 전력을 할당하는 벡터를 만들어 부모 세대의 개체군을 생성한다. 이후 지구국에 대한 지상국의 간섭을 고려한 적합도 함수를 계산하여 유전자 알고리즘을 수행한다. 세대를 거듭하면서 가장 좋은 적합도 함수를 갖는 전력 벡터가 업데이트 되며, 최대 세대수가 되면 연산을 종료하게 된다. 이 과정을 통해 두 목적함수를 만족하는 전력 벡터를 얻을 수 있게 되며, 각 인지무선 라디오 송신기는 얻어진 전력벡터에 따라서 전력을 제어하게 된다.

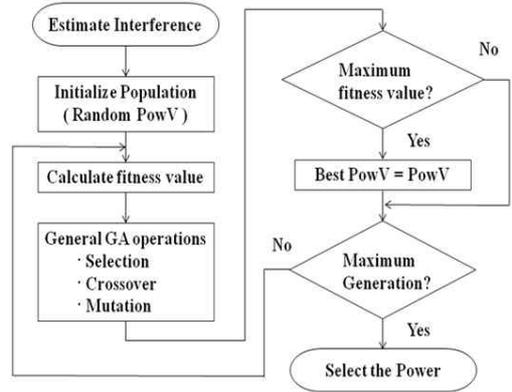


그림 4. 유전자 알고리즘을 적용한 인지무선 라디오 연산 순서도

인지무선 라디오는 앞서 설명한 바와 같이 스펙트럼 환경을 분석하여 통신 변수들을 최적화 할 수 있기 때문에 기존에 제안된 최소이격거리를 두고 고정 업무를 수행하는 것보다 더 좋은 성능을 보이게 된다.

그림 5는 위성망이 다중빔을 사용할 경우에 인지무선 라디오 시스템을 적용했을 때의 주파수 사용 모습을 보여 준다.

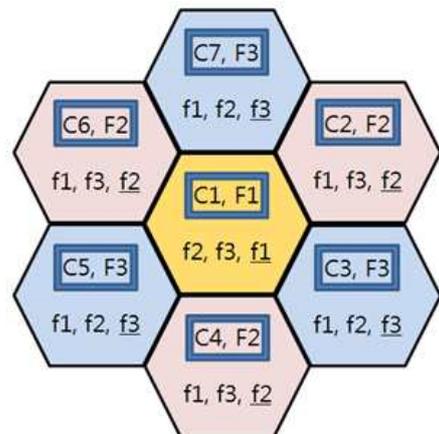


그림 5. 주파수 재사용을 증가

그림 5와 같이 다중빔을 사용하는 상황을 고려할 경우, 기존의 기술보다 주파수 재사용율을 증가시키는 효과도 가져오게 된다. 여기서 C1~C7은 다중빔 위성 시스템에서 각각 서로 다른 주파수 대역을 할당 받은 셀을 의미하며, f1~f3은 각 셀에 할당된 주파수 대역을 의미한다.

인지무선 라디오는 광대역에 걸쳐 스펙트럼을 감지하고 우선사용자에게 피해를 주지 않는 통신 방법이다. 따라서 만약 인지무선 라디오 송신기가 C1 셀에서 f1 주파수 대역을 사용하다가 송신기의 간섭이 지구국의 허용 간섭을 초과하게 될 경우 현재 사용 중인 주파수를 즉각적으로 회피하여 우주국에 간섭을 주지 않는 주파수 대역을 사용할 수 있다. 그러므로 우주국과 인접 지역의 지상국이 아니라면, 그림 5에서 보는 바와 같이 밀줄 친 동일 주파수 대역을 추가적으로 재사용할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 환경 및 결과

시뮬레이션 환경은 자유공간손실 모델을 사용하였으며 표 2의 시스템 파라미터를 사용하였다. 지구국은 셀 중앙에 위치하며, 각 지상국들은 거리에 따른 간섭량을 계산하기 위하여 서로의 위치 정보를 모두 알고 있다고 가정하였다. 또한 시뮬레이션 방법은 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 사용하여 기존의 최소이격거리를 사용한 고정 지상업무 방법과 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 시스템을 적용한 방법을 비교 분석하였다.

표 2. 시스템 변수

Parameters	Values
중심 주파수 (3채널)	19~19.01 GHz
안테나 패턴	RR Appendix 8
지구국 안테나 크기	2.4m, 0.6m
지구국의 허용 간섭량 (I/M)	-10 dB
인지무선 라디오 송신기 송신전력	-13~-20 dB/MHz
인지무선 라디오 송신기 최대 안테나 이득	13.2 dBi
인지무선 라디오 서비스 반경	15 m
지상국 허용 간섭량	-130 dB

위성 지구국이 위성을 바라보고 있는 양각은 우리나라 기준인 40°로 가정하였으며, 1 km 단위로 인지무선 라디오 송신기를 무작위로 분포 시킨 후, [9]를 참고하여 19 GHz LAN 서비스 반경인 15 m 이내에 각각의 인지무선 라디오 수신기가 있다고 가정하였다.

그림 6과 그림 7은 하나의 위성 주파수 대역을 기존의 고정 시스템과 인지무선 라디오가 공유했을 경우를 비교한 그래프이다.

인지무선 라디오는 우선 사용자에게 주는 간섭 및 다른

사용자로부터 받는 간섭을 측정하여 스스로의 전력을 효율적으로 관리할 수 있다. 따라서 앞서 설명했듯이 인지무선 라디오가 지구국에 대한 간섭과 인지무선 라디오 사용자의 SINR 성능을 고려한 전력제어를 하였을 경우, 인지무선 라디오 시스템은 기존의 방법과 유사한 SINR 성능 안에서 그림 6과 같이 지구국에 대한 간섭량이 크게 줄어들게 되는 것을 볼 수 있다.

뿐만 아니라 그림 7에서 보는 바와 같이 동일 주파수 내에서 더 많은 사용자가 위성 시스템 주파수 대역을 공유할 수 있음을 볼 수 있다.

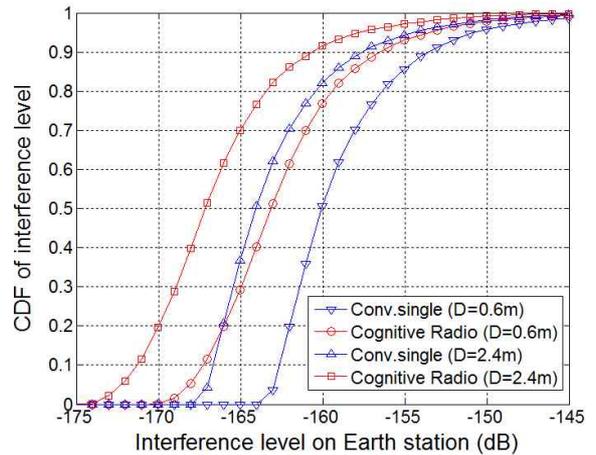


그림 6. 지구국이 받는 간섭량

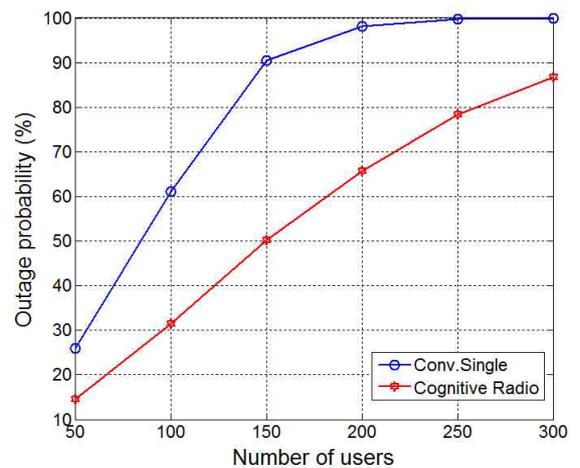


그림 7. 위성 시스템과 동일 주파수를 공유할 때의 사용자 수에 따른 Outage 확률

그림 8과 그림 9는 다중빔 위성 시스템 내에서의 고정 시스템과 인지무선 라디오 시스템의 성능을 분석한 것이다.

인지무선 라디오를 적용한 시스템은 기존에 제안되었던 다중빔 위성 시스템에서의 공유방법과는 달리, 현재 지구국이 사용하고 있는 주파수 대역도 위성시스템에 피해를 주지 않는 한도 내에서 재사용이 가능하기 때문에 주파수 재사용율 1 증가한 효과를 얻게 된다.

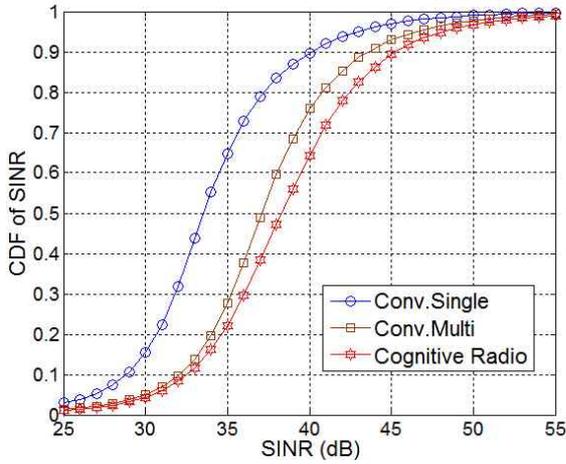


그림 8. SINR 성능 비교

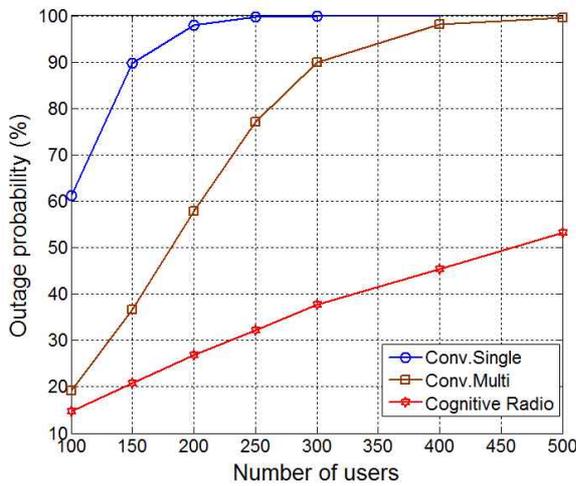


그림 9. 다중빔 위성 시스템에서 사용자 수에 따른 Outage 확률

따라서 그림 8과 같이 기존의 방법들 보다 향상된 SINR 성능을 보이게 된다. 또한 그림 9에서 볼 수 있듯이 다른 주파수 공유 기법들은 사용자 수가 증가함에 따라 급격하게 Outage 확률이 증가하는 반면, 인지무선 라디오 기법의 경우 Outage 확률 증가가 거의 선형적으로 이루어짐을 볼 수 있다.

V. 결론

지금까지 살펴본 바와 같이 고정 지상 업무를 통한 위성망 공유 방법은 효과적인 위성망 공유 방법으로 보기에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 더 효과적인 위성망 공유 기술로 유전자 알고리즘 기반의 인지무선 라디오 시스템을 제안하였다. 인지무선 라디오를 사용함으로써 효과적으로 위성망에 대한 간섭을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 더 많은 이차사용자들을 수용할 수 있음을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 오대섭, 김수영, 안도섭, "멀티빔 위성 시스템에서 대역 분할 기법을 이용한 지상망과의 주파수 간섭 경감 연구" 한국통신학회논문지』, 제34권 제11호, 2009, 11
- [2] Daesub Oh, Seungmin Lee, Doseob Ahn, Sooyoung Kim "A Study on the Separation Distance for Frequency Sharing between GSO Network and Terrestrial Network in Ka Band", VTC Spring 2008.
- [3] Mitola J. III, Maguire G.Q. Jr., "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal", IEEE Personal Communication, August 1999.
- [4] Cordeiro C., Challapali K., Birru D., Sai Shankar N, "IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios", DySPAN 2005, 2005,11
- [5] ITU-R, "Radio Regulations", ITU, Article 21, 2004.
- [6] Virginia Polytech, "Cognitive Radio and Networking Research at Virginia Tech", Proceedings of IEEE, 2009.
- [7] Chantaraskul S., Moessner K., "Implementation of a genetic algorithm-based decision making framework for opportunistic radio", Communications, IET, 2010.
- [8] Jae moun Kim, Sung Hwan Sohn, Ning Han, Guanbo Zheng; Young Min Kim, Joo Kwan Lee; "Cognitive Radio Software Testbed using Dual Optimization in Genetic Algorithm", Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, Crowncom, May 2008.
- [9] Okada, T., "Performance of the 19-GHz High-Speed Wireless LAN System", Selected Areas in Communications, IEEE Journal, November 2000.

저자

정 원 식(Won Sik Jung)

정회원



2010년 2월 : 인하대학교 전자공학과
학사졸업

2010년 3월~현재 : 인하대학교
정보통신공학과 석사과정

<관심분야> 인지무선기술, 위성통신,
통신공학

