

기지국 송신 전력 제어를 통한 위성 및 지상 다중셀 네트워크간 C밴드 공유 성능 개선

마 상 열*, 권 태 수^o

Performance Improvement for C-Band Sharing between Satellite and Terrestrial Multi-Cell Networks via Base Station Transmit Power Control

Sang-Yeol Ma*, Taesoo Kwon^o

요 약

본 논문은 위성 및 지상 다중셀 네트워크가 C밴드를 공유하는 환경에서 지구국과 기지국의 거리에 따른 기지국 송신 전력 제어 방안을 제안한다. ITU 모델에 기반을 둔 시뮬레이션 결과를 통해 고정 송신 전력을 사용하는 기존 방안 대비 제안방안이 지상 다중셀 성능 저하는 크지 않으면서 위성망 성능은 현저히 개선할 수 있음을 입증한다.

Key Words : C-band, Spectrum sharing, Cognitive radio, Power control, 5G spectrum

ABSTRACT

This paper proposes a base station transmit power control method according to the distance between earth station and base station under the environments where satellite and terrestrial multi-cell networks share the C-band. The simulation results based on the ITU models demonstrate that the proposed scheme significantly improves the satellite performance while not degrading much the terrestrial multi-cell performance compared with the

conventional method using a fixed transmit power.

I. 서 론

5세대(5G, 5th generation) 및 이후 이동통신 시스템은 더욱 넓은 주파수 대역 확보를 위해 밀리미터파 등 다양한 대역의 확보를 피하고 있다. 하지만, 우수한 전파 전달속성을 갖는 6GHz 이하 대역의 추가 확보가 여전히 선호된다. 이에 따라, 3.5GHz의 인접 대역인 C밴드 위성 대역 공유를 통한 주파수 확보 방안 에 관한 관심이 증가하며, 무선 주파수 대역 표준화 단체인 국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU)에서 제시한 위성 주파수 공존 모델을 기반으로 C밴드 위성 대역 공유 연구가 꾸준히 진행되었다¹⁻³⁾. 또한, 인지 무선통신(Cognitive Radio, CR) 측면에서 위성 대역 공유를 통한 주파수 효율 개선 방안이 연구되었으며, [4]의 연구는 지상 네트워크의 통신 불가 지역(Exclusive zone)을 지정하여 CR 기반 위성 주파수 공존 가능성을 제한하고, 기지국 밀도, 채널 환경 및 지구국 양각 등이 위성망 성능을 결정짓는 주요 요소인 것을 보여준다.

본 논문은 향후 5G 주파수로 고려할 수 있는 C밴드 공유 환경에서 지구국과 기지국의 거리에 따라 가까운 거리에 있는 기지국은 약하게, 먼 거리에 있는 기지국은 강한 송신 전력을 할당하는 기지국 송신 전력 제어 방안을 제안한다. 위성 대역 고유 속성 반영을 위해 ITU 모델에 기반을 둔 시뮬레이션을 수행하고⁵⁻⁷⁾, 제안방안이 고정 송신 전력방안 대비 지상 다중셀 성능 저하를 최소화하며, 위성망 성능은 현저히 개선할 수 있음을 입증한다.

II. 위성 및 지상 다중셀 네트워크 공유 모델

본 논문은 그림 1과 같이 단일 정지 궤도 위성(Satellite)과 지구국(Earth Station, ES)이 통신하는 위성망과 순방향 통신을 하는 지상 다중셀 네트워크가 위성 C밴드를 공유하는 환경을 고려한다. 간략한 명명을 위해 본 논문에서 지상망은 지상 다중셀 네트워크를 의미한다. 위성망은 지상망 간섭 제어를 통한 일

* 본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다

• First Author : (ORCID:0000-0002-2055-4719)Seoul National Univ. of Science and Technology, Dept. of CSE, msy7328@seoultech.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-6624-4863)Seoul National Univ. of Science and Technology, Dept. of CSE, tskwon@seoultech.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201909-211-A-LU, Received September 27, 2019; Revised November 1, 2019; Accepted November 6, 2019

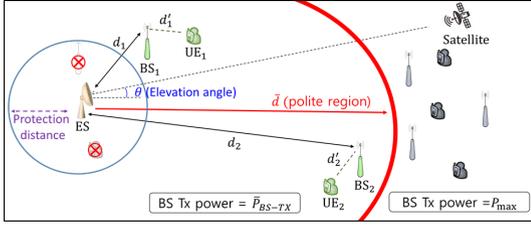


그림 1. 위성 및 지상 다중셀 네트워크의 C대역 공유 모델
Fig. 1. C-Band sharing model between satellite and terrestrial multi-cell networks.

정 수준 이상의 성능 확보를 위해 지구국을 중심으로 지상망 통신이 불가능한 범위인 protection distance를 지정하며, 지상망 기지국(Base Station, BS)과 단말(User Equipment, UE)은 protection distance 외부에 각각 독립된 프라운호프 점 과정에 따라 분포한다. 이때, 지구국은 항상 셀 내에 위치한 단말 중 하나의 임의 단말과 서비스를 하고 있다고 가정하며, 이를 위해 단말은 셀 내 무수히 많은 수로 분포되어 있다 가정한다. 지구국은 단일 안테나를 통한 서비스 환경을 고려하며, 다중 안테나 환경은 향후 연구로 남겨둔다. 위성 및 지상망은 거리에 따른 경로감쇄의 영향이 크다는 특징이 있어, Large-scale 전파 환경을 고려하며, 모든 통신은 레일리(Rayleigh) 페이딩을 겪는다. 경로감쇄 반영을 위해 위성망은 지구국과 지구국 사이 거리 d , 지상망은 기지국과 단말 사이의 거리 d' 에 따른 표준 경로감쇄 모델을 적용하며, 이때 경로감쇄 지수(α)는 도심환경을 고려한 3.5로 설정한다. 또한, 지구국은 안테나 송신 특성을 반영하기 위해 안테나 downtilt의 영향을 고려하였으며, 지구국은 양각(elevation angle, θ)과 지구국 및 지구국 사이의 안테나 각도 등을 고려한 3차원 적인 수신 안테나 패턴을 반영했다^{5,6}. 이외 대기에 포함된 수증기(gases) 및 주변 지형의 clutter loss에 대한 감쇄 영향도 고려한다⁷. 본 논문은 위성 및 지상망 성능 두 가지 측면에서 모두 확인하며, 위성망 성능은 지구국의 INR (Interference to noise ratio), 지상망 성능은 단말의 SINR (Signal to interference plus noise ratio)을 통해 확인한다. 이때, 위성망 성능에서 간섭은 모든 지구국이 지구국에 미치는 간섭의 총합으로 고려한다.

III. 기지국 송신 전력 제어 방안

기존 [4]의 연구결과에 의하면, d 는 위성망 성능을 결정짓는 주요 요소가 된다. 이에 따라, 본 논문은 d 에 따른 지구국의 차별적 송신 전력 제어 방안을 제안

한다. 지구국의 송신 전력 제어를 위해 지구국 기준 반경 \bar{d} 의 지구국 송신 전력 제어 구역인 polite region을 설정하며, \bar{d} 외부에 위치한 지구국은 최대 송신 전력(P_{max})으로 송신할 수 있다. \bar{d} 내부에 있는 지구국은 d 가 작으면 약하게 d 가 크면 강한 지구국 송신 전력을 할당하며, \bar{d} 에 인접할수록 P_{max} 에 유사한 송신 전력을 할당한다. 한편, 지상망의 최소한의 성능을 유지하기 위해 최소 지구국 송신 전력(P_{min})을 지정하며, 지구국의 제어된 송신 전력(\bar{P}_{BS-TX})은 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{P}_{BS-TX} = \max \left\{ P_{min}, P_{max} \times \left(\frac{d_i}{\bar{d}} \right)^{\alpha} \right\}. \quad (1)$$

본 논문의 제안방안은, 다중셀 네트워크에서 지구국과 단말 간의 거리 차이 때문에 발생하는 역방향 수신 신호의 품질 차이 보정 방안인 역방향 부분적 송신 전력 제어(Fractional Power Control)와 얼핏 유사해 보일 수 있다⁸. 하지만 본 논문의 제안방안은, 수신 신호품질의 보정을 위한 것이 아닌, 수신 간섭 신호 제한을 위한 송신 전력 제어 방안으로서, 기존 다중셀 네트워크에서의 역방향 부분적 송신 전력 제어 방안과는 분명한 차이가 있다.

IV. 위성 주파수 공유 성능

본 논문의 모든 성능은 별도의 언급이 없는 한 표 1의 매개 변수 설정 값을 따른다. 양각은 9°로 설정하여 지구국으로부터 지구국이 받는 간섭은 악조건 환경을 고려하며, 지구국 안테나는 downtilt를 반영하지 않은 omni directional 방사 패턴을 고려한다.

그림 2는 제안방안과 고정 송신 전력(P_o)의 적용에 대한 지구국 INR 및 단말의 SINR 성능을 비교하고

표 1. 시뮬레이션 시스템 모델 매개 변수 및 설정 값
Table 1. Simulation system model parameters and values.

System parameters	Value
Carrier frequency, bandwidth	4GHz, 36MHz
Protection distance, polite region	5km, 30km
Inter BS distance	0.3km
Max & Min BS transmit power	43dBm, 23dBm
Path loss exponent, α	3.5
Transmit power control factor, ϵ	[0,1]
Clutter loss	Dense urban

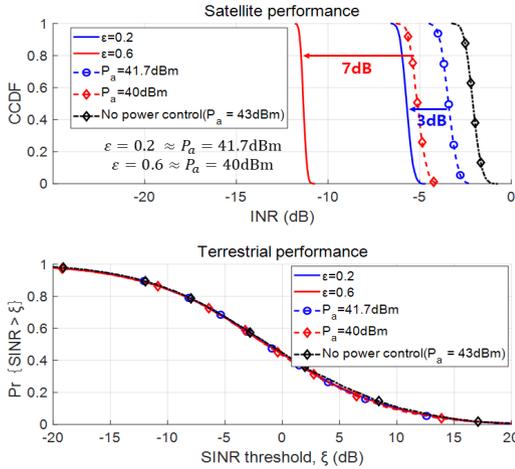


그림 2. 제안방안을 통한 위성 및 지상망의 C대역 공유 성능
Fig. 2. Performance of C-band sharing between satellite and terrestrial network through proposed method.

있으며, 두 방안 간 공평한 성능 비교를 위해 \bar{d} 내부에 위치한 기지국 송신 전력의 총합이 동일한 환경에서 성능을 비교한다. 이를 위해, P_a 는 제안방안을 통해 \bar{d} 내부에 있는 제어된 기지국 송신 전력의 총합 ($\sum \bar{P}_{BS-TX}$)을 분포된 N 개의 기지국 개수로 나누어 값으로 설정되며, 따라서 P_a 는 제안방안을 통해 제어된 기지국의 평균 송신 전력과 동일하다. 제안방안은 P_a 로 고정 했을 때 대비 단말의 SINR은 성능저하가 미미하지만, 지국국의 INR은 약 3dB~7dB 정도 개선된다. 또한, 송신 전력 제어 없이(No power control), P_a 를 최대 송신 전력인 43dBm으로 설정하였을 때 대비 제안방안은 $\epsilon = 0.2$, $\epsilon = 0.6$ 환경에서 지국국 INR 성능이 각각 약 5dB, 10dB 정도 개선됨을 보인다. 그림 2의 성능을 통해 제안방안이 고정 송신 전력제어 대비 지상 단말의 성능 저하는 작게 유지하면서 지국국이 받는 간섭을 감소시킴을 확인할 수 있다.

본 논문의 그림 3 - 그림 5는 객관적인 위성망 성능 분석을 위해, ITU에서 권고하고 있는 C밴드 환경의 지국국 INR 임계값인 -10dB를 반영하고 있다⁹⁾.

그림 3은 지국국 INR 임계값인 -10dB를 만족하기 위해 제안방안($\epsilon = 0.5$) 및 $P_a(34.5dBm)$ 를 적용하였을 때, 지상 단말의 SINR 성능 변화를 보여준다. 그 결과 P_a 대비 제안방안을 통해 동일한 지국국 INR을 만족할 때 단말의 SINR은 대부분의 구간에서 약 0.5dB~1.5dB의 개선된 성능을 보이고 있다.

지국국 INR 성능은 지국국과 기지국 간 경로감쇄를 결정짓는 경로감쇄 지수(α)와 지국국 수신안테나

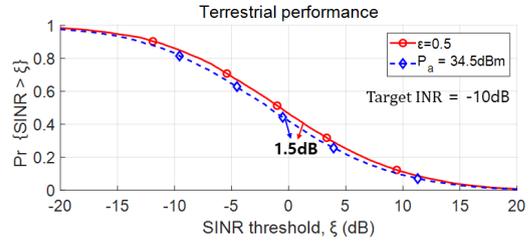


그림 3. 동일한 위성 성능을 만족할 때 제안방안과 고정 전송 전력 제어 방법에 대한 지상망 성능비교
Fig. 3. Comparison of terrestrial performance for the proposed method and fixed transmit power control when satisfying the same satellite performance.

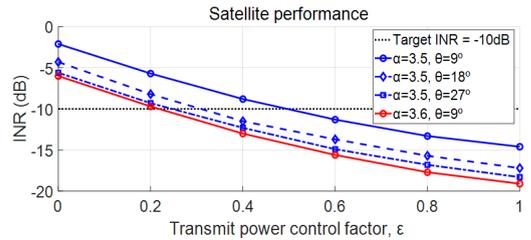


그림 4. 경로감쇄 지수(α)와 양각(θ) 변화에 대한 제안방안의 위성망 성능 변화
Fig. 4. Performance changes of satellite networks in proposed method for α and θ .

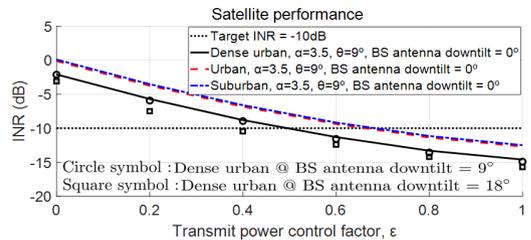


그림 5. Clutter loss 및 기지국 안테나 downtilt 변화에 대한 제안방안의 위성망 성능 변화
Fig. 5. Performance changes of satellite networks in proposed method for clutter loss and base station antenna downtilt.

이득을 결정짓는 양각(θ)변화에 매우 민감하다. 이에 따라, 그림 4는 α 와 θ 변화에 대한 지국국 INR 성능을 송신 전력 제어 지수(ϵ)에 따라 보여준다. 지국국 INR 성능은 지국국과 기지국의 먼 거리로 인한 큰 경로감쇄의 영향으로 α 가 3.5에서 3.6으로 0.1의 미미한 변화에도 약 5dB정도 크게 개선됨을 볼 수 있다. 또한, 지국국 INR 임계값 -10dB를 만족하기 위해 α 가 3.5와 3.6인 환경에서 각각 0.5와 0.2의 ϵ 값으로 설정될 수 있으며, α 가 3.5일 때 대비 3.6일 때 기지국의 평균 송신 전력이 약 1.5dBm 정도 더 강해질 수 있다. 한편, θ 가 9°, 18°, 27°일 때 각각 약 0.5,

0.32, 0.25의 ϵ 설정을 통해 INR 임계값을 만족하는 것을 볼 수 있다. 즉, α 및 θ 가 클수록 작은 ϵ 설정이 가능하며, ϵ 값이 작을수록 강한 기지국 송신 전력을 할당하거나 혹은 이는 보다 많은 기지국을 설치할 수 있음을 의미하게 된다.

그림 5는 기지국 안테나 downtilt, clutter loss 변화에 따른 지구국 INR 성능을 보여준다. Clutter loss 환경이 dense urban일 때 다른 두 환경 대비 상대적으로 주변 장애물에 대한 신호 세기 감소가 크기 때문에, 보다 작은 ϵ 값 설정을 통해 INR 임계값을 만족하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 기지국 안테나 downtilt가 클수록 기지국이 적용하는 송신 안테나 이득은 감소하며, 이에 따라, 기지국이 지구국에 미치는 간섭의 영향이 감소한다. 기지국 안테나 downtilt를 $0^\circ, 9^\circ, 18^\circ$ 로 반영하면 지구국 INR 임계값을 만족하기 위해 각각 약 0.5, 0.47, 0.38의 ϵ 값이 필요한 것을 확인할 수 있다. 앞서 살펴본 지구국 양각, 기지국 안테나 downtilt, clutter loss 환경 변화에 대한 지구국 INR 성능 변화를 기반으로, 환경 변화 요소를 고려해 기지국 송신 전력 제어방안을 적용했을 때 일정 위성 성능을 유지하면서 지상망 성능을 더욱 개선할 수 있는 가능성을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문은 C밴드 공유에 있어 지구국과 인접한 기지국은 약하게 멀리 떨어진 기지국은 강한 송신 전력을 할당하는 기지국 송신 전력 제어 방안을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 제안방안이 고정 송신 전력을 사용하는 기존 방안 대비 단말의 SINR은 약 1dB 정도 저하되지만, 지구국의 INR은 송신 전력 제어 지수에 따라 13dB까지 개선됨을 확인하였다. 또한, 작은 송신 전력제어 지수 설정은 강한 기지국 송신 전력을 할당함으로써, 지상망의 성능 개선 가능성을 확인하였다. 향후, 기지국의 다중 안테나 및 안테나 방향성 반향을 통해 실제 통신환경을 고려한 5G 환경에서의 성능을 확인하며, 위성망 성능에 영향을 미치는 환경 요소를 고려한 개선된 송신 전력 제어 방안 및 정량화를 통한 최적의 송신 전력 제어 지수를 도출해 나갈 것이다.

References

- [1] *Sharing studies between IMT advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3400-4200 and 4500-4800 MHz frequency bands*, document ITU-R M.2109, Oct. 2007.
- [2] J. W. Park, D.-S. Oh, and S. Oh, "A study on frequency sharing between satellite and mobile communication systems using monte-carlo approaches in 2.1 GHz band," *J. KICS*, vol. 43, no. 6, pp. 961-967, Jun. 2018.
- [3] H. Son and Y. Chong, "Coexistence of 5G system with fixed satellite service earth station in the 3.8GHz band," in *Proc. ICTC 2018*, pp. 1070-1073, Jeju, Korea, Oct. 2018.
- [4] T. Liang, K. An, and S. Shi, "Statistical modeling based deployment issue in cognitive satellite terrestrial networks," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 7, no. 2, pp. 202-205, Apr. 2018.
- [5] *Reference radiation pattern for earth station antennas in the fixed-satellite service for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to 31 GHz*, document ITU-R S.465-6, Jan. 2010.
- [6] 3GPP, "TR 36.814, Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects," Mar. 2017.
- [7] *Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the earth at frequencies above about 0.1GHz*, document ITU-R P.452-16, Jul. 2015.
- [8] 3GPP, "TS 36.213, E-UTRA physical layer procedures," Sep. 2019.
- [9] *Sharing studies between international mobile telecommunication advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3400-4200MHz and 4500-4800MHz frequency bands in the WRC study cycle leading to WRC-15*, document ITU-R S.2368-0, Jun. 2015.