

5G 특화망 조정대상 영역 내 주파수 공동사용을 위한

SVM 기반 자율 능동형 후행 기법 연구

SVM-Based Automatic Dynamic Setback Method for Spectrum Sharing in the Adjustment Areas of Private 5G Networks

유원석 · 조승우 · 김민준* · 이원철**

Won-Seok Yoo · Seung-Woo Jo · Min-Joon Kim* · Won-Cheol Lee**

요 약

최근 다양한 산업분야에 최적화된 형태로 기업에서 원하는 특정지역(구역) 내에 5G 기술을 구축하는 5G 특화망이 주목받고 있다. 그러나 현행 특화망 이용구역 설정 방식은 건물, 토지 등의 구역으로 획정하여, 동일한 주파수 대역을 이용하는 실제 전파환경 하에서 인접한 특화망 간에 전파 간섭이 발생할 수 있으며, 이에 의한 성능 저하를 최소화하는 효율적인 주파수 공동사용 방안 요구가 대두되고 있다. 본 논문에서는 실제 전파환경을 고려한 인접 특화망 커버리지 중첩 영역 내 SVM 적용 기반 조정대상 영역 설정 및 이용구역 설정 방식을 제안하였다. 또한 5G 특화망이 요구하는 서비스 요구사항에 대해 능동적으로 대처 가능한 조정대상 영역의 확장 혹은 축소와 연계된 특화망의 무선자원 조정 기반의 자율 능동형 후행 기법을 제안하였다. 제안한 자율 능동형 후행 기법의 성능을 확인하기 위해 특화망 기지국의 안테나 빔패턴 조정을 통한 단말 전송율을 산출해 조정대상 영역 내에서의 주파수 공동사용 가능성을 확인하였다.

Abstract

Recently, private 5G networks, designed to meet the needs of specific regions or zones as required by enterprises across various industrial sectors, have garnered significant attention. However, the current approach to defining private 5G network usage zones involves demarcating areas based on buildings, land, and other zones. This can result in interference between adjacent private 5G networks operating in the same frequency band in a real radio environment. In this paper, we propose a method for defining usage zones that includes the establishment of an adjustment area using SVM within the overlapping coverage areas of adjacent private 5G networks, considering actual radio environments to mitigate the performance degradation due to interference. Furthermore, to accommodate the dynamic service requirements of private 5G networks, we introduce an automatic dynamic setback technique to adjust the wireless resources in private 5G networks by expanding or contracting the adjustment area in conjunction with the proposed zone-setting method.

Key words: Spectrum Sharing, Support Vector Machine, Automatic Dynamic Setback Method, Private 5G

「이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부) 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2024-RS-2022-00156360)과 2024년도 중소벤처기업부의 창업성장기술개발사업(RS-2024-00468006)과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(P0017123, 2024년 데이터분석기반의전자제조전문인력양성사업)을 받아 수행된 연구임.」

숭실대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communications Engineering, Soongsil University)

*숭실대학교 에너지정책기술융합학과(Department of Convergence of Energy Policy and Technology, Soongsil University)

**숭실대학교 전자정보공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

· Manuscript received November 16, 2024 ; Revised November 23, 2024 ; Accepted December 26, 2024. (ID No. 20241116-128)

· Corresponding Author: Won-Cheol Lee (e-mail: wlee@ssu.ac.kr)

I. 서 론

최근 다양한 산업분야에 최적화된 형태로 기업에서 원하는 구역 내에 5G 이동통신 기술을 적용한 ‘이음5G’, 즉 5G 특화망에 대한 관심이 증가하고 있다. 5G 특화망은 초고속(eMBB), 초저지연(URLLC), 초연결(mMTC)의 특징을 가진 5G 기술을 특정 구역(건물 또는 토지) 내에서 제공하는 맞춤형 네트워크를 의미한다^[1].

5G 특화망은 5G 특화망 이용구역, 서비스 영역, 조정대상 영역이라는 3개의 영역으로 정의된다^[2]. 먼저, 5G 특화망 이용구역은 5G 특화망을 이용하고자 하는 소유자의 건물, 토지 등의 구역 또는 타인으로부터 허가(또는 동의) 받은 건물, 토지 등의 구역을 뜻한다. 서비스 영역은 5G 특화망 서비스를 원활하게 제공할 수 있는 전파영역으로, RSRP(reference signals received power) 기준 -105 dBm 이상을 충족해야 한다. 마지막으로, 조정대상 영역은 다른 5G 특화망 등 기존 무선국과의 간섭을 최소화하기 위해 조정여부를 판단하기 위한 전파영역으로, RSRP기준 -115 dBm 이상이어야 하며, 인접 지역에서 신규 운용자가 있을 경우 전파영역 조정요청에 성실하게 응하여야 한다.

5G 특화망은 4.7 GHz, 28 GHz 대역에서 다수의 특화망 주파수 운용자가 동일 대역 주파수를 할당 또는 지정 받아 사용하기 때문에 주파수 공동사용이 필수 불가결하며, 5G 특화망 주파수를 할당 또는 지정받아 사용하기 위해서는 ‘5G 특화망 주파수 공동사용을 위한 이용조건 및 세부사항에 관한 지침’을 준수하여야 한다.

한편, 해외 주요국에서도 5G 특화망 주파수 공동사용을 위한 정책을 시행 중이다. 미국의 경우 CBRS 계층별 이용방안 및 세부 기술 규칙을 규정하여 무선국 출력을 관리하고 있으며, 독일의 경우 BNetzA에서 특화망 운용자간 상호 자율적인 협의를 통해 합의서를 제출하도록 하고 합의점을 도출하지 못할 경우 특화망 영역 경계에서 전계 강도 제한을 두어 강제 조정을 실시한다. 마지막으로 일본은 총무성에서 국내와 비슷한 방식의 커버 영역, 조정대상 구역을 설정하여 특화망을 운용한다.

위에서 언급한 국내 및 해외 주요국의 5G 특화망 공동사용 정책은 간섭을 최소화하기 위해 기지국의 송신전력 조정 또는 안테나 위치, 방향 조정이라는 방식만을 다루

었고, 실제 5G 특화망 이용 환경을 고려한 인접한 5G 특화망 조정대상 영역에서의 주파수 공동사용 방안에 대한 연구는 부족한 실정이다.

5G 특화망은 사무실, 공장 등의 실내 공간에서만 사용하는 것이 아닌 공사 현장, 실외 전시 공간 등의 실외 공간에서도 사용할 수 있으며, 업무 등으로 인해 부득이하게 조정대상 영역 내에서 5G 특화망 단말을 사용하는 경우 지역적으로 인접한 5G 특화망에 의한 간섭이 발생할 가능성이 높다.

본 논문에서는 지역적으로 인접한 5G 특화망 간 조정대상 영역 내에서 주파수를 효율적으로 이용하기 위해 조정대상 영역에서 단말 활용이 많고 적은 시간대에 따라 유동적으로 조정대상 영역을 확장 및 축소해서 사용할 수 있는 자율 능동형 후행 기법을 제안하였다. 조정대상 영역 내 5G 특화망 단말의 위치 데이터를 기계학습의 일종인 SVM을 통해 분류하여 조정대상 영역을 설정하는 방안을 제안하였으며, 특화망 기지국의 안테나 빔패턴을 조정하는 방식으로 조정대상 영역 내 간섭을 최소화하는 방안을 제안하였다. 이를 위해 SEAMCAT 프로그램을 활용하여 자율 능동형 후행 기법 실시 전후 피간섭원 5G 특화망 단말의 전송율을 도출하였고, 전송율 값을 비교하여 자율 능동형 후행 기법의 성능을 확인하였다. 본 논문 II장에서는 해외 주요국의 5G 특화망 공동사용 정책을 소개하며, III장에서는 자율 능동형 후행 기법 환경 및 시나리오를 정의하고, IV장에서는 자율 능동형 후행 기법의 성능을 분석하여 V장에서 결론을 내린다.

II. 해외 주요국 5G 특화망 공동사용 정책

2-1 미국 5G 특화망 공동사용 동향 및 정책

미국은 2020년 1월 기업이 이동통신사의 개입 없이 자체적으로 사설망을 구축하여 운용할 수 있도록 3.55~3.7 GHz 대역을 CBRS(citizens broadband radio service) 대역으로 개방하였다.

CBRS는 3개의 계층으로 사용자를 나누어 동일 대역을 이용하며, SAS(spectrum access system)라는 시스템을 통해 각 계층 간의 간섭을 관리한다. SAS 시스템은 1계층인

군, 공공업무용 무선 서비스를 최우선적으로 보호하며, 1계층 사용자에게 간섭 영향을 미치지 않는 선에서 2계층인 PAL(priority access license) 계층의 이용을 보장한다. 마지막으로 1, 2계층 사용자의 이용이 없는 대역 및 지역에 한하여 3계층 사용자인 GAA(general authorized access) 계층이 CBRS 대역을 이용할 수 있도록 관리한다^[3].

2-2 독일 5G 특화망 공동사용 동향 및 정책

독일의 경우 BNetzA(연방네트워크관리청)에서 2019년 11월 private 5G(5G 특화망) 용도로 100 MHz(3.7~3.8 GHz)폭을 분배하였으며, 2021년 1월 3.25 GHz(24.25~27.5 GHz)폭을 추가로 분배하였다.

독일의 3.7~3.8 GHz private 5G 주파수 이용에 관한 규정은 ‘3.7~3.8 GHz 대역의 로컬 주파수 사용을 위한 주파수 할당에 관한 행정 규칙’에서 정의하고 있으며, 해당 대역 주파수 이용을 위한 기본 프레임워크, 주파수 사용 규정, 특화망 서비스 영역 경계 지점에서의 전계 강도 기준, 할당 수수료 등 전반적인 규정을 정의한다^[4].

BNetzA는 인접한 private 5G 운용자간 전파 혼간섭 방지를 위해 private 5G 운용자가 자율적으로 전파 간섭을 최소화할 수 있도록 네트워크를 설계, 운용하도록 장려하며, private 5G 운용자 상호 합의 하에 합의서를 마련하여 제출하도록 규정한다. 다만, private 5G 운용자 간 상호 합의가 이루어지지 못할 경우 특화망 서비스 영역 경계에서 32 dBμV/m/5 MHz의 전계 강도 제한으로 강제 조정한다.

2-3 일본 5G 특화망 공동사용 정책

일본은 2019년 12월 28 GHz 대역 100 MHz(28.2~28.3)폭을 local 5G(5G 특화망) 용도로 분배하였으며, 2020년 12월 4.7 GHz 대역 300 MHz(4.6~4.9 GHz)폭과 28 GHz 대역 800 MHz (28.3~29.1 GHz)폭을 local 5G 용도로 추가 분배하였다.

일본 총무성의 전파법 관계 심사기준에서는 local 5G 운용자 간 전파 혼간섭 방지를 위해 국내 정책과 유사하게 표 1과 같이 영역 기준을 구분하여 규정한다^[5]. 다만, 국내의 경우 ‘5G 특화망 주파수 공동사용을 위한 이용조건 및 세부사항에 관한 지침’에서 이용 대역폭과 무관하

표 1. Local 5G(4.7 GHz 대역) 커버 영역, 조정대상 구역 기준

Table 1. The criteria of the coverage area and adjustment zone for the Local 5G (4.7 GHz band).

| Bandwidth (MHz) | Criteria | |
|-----------------|---------------------|-----------------------|
| | Coverage area (dBm) | Adjustment zone (dBm) |
| 40 | -88.6 | -95.0 |
| 50 | -87.6 | -94.0 |
| 60 | -86.9 | -93.0 |
| 80 | -85.6 | -92.0 |
| 100 | -84.6 | -91.0 |

게 서비스 영역, 조정대상 영역 기준을 각각 RSRP -105 dBm, -115 dBm으로 동일하게 규정한 반면 일본의 경우 이용 대역폭에 따라 영역 기준을 각각 다르게 규정한다.

Ⅲ. 자율 능동형 후행 기법 환경 및 시나리오

3-1 자율 능동형 후행 기법 환경

자율 능동형 후행 기법을 적용하기 위해 인접한 5G 특화망 간 전파간섭이 발생하는 환경을 가정하였다. 그림 1은 작업자들이 이용하는 단말, 중장비, 드론 등이 운용되는 A 특화망과 실내 공간에서 특화망 주파수를 사용하는 B 특화망이 서로 인접한 지역에 위치한 환경을 나타낸다.

그림 1과 같이 인접한 지역에서 특화망이 운용된다고 가정할 때, 양 특화망은 동일한 주파수 대역을 사용하기

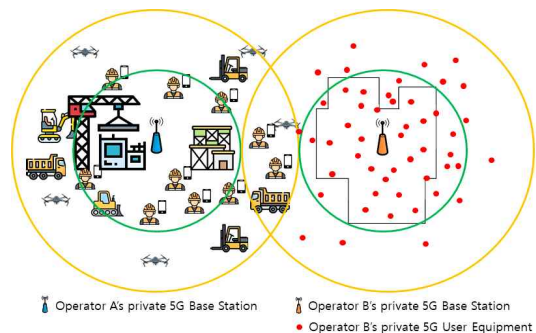


그림 1. 5G 특화망 이용 환경

Fig. 1. Private 5G networks utilization environment.

때문에 서로 겹치는 조정대상 영역 내에서 단말을 이용한다면 전파간섭이 발생할 수 있다.

위와 같은 상황을 방지하기 위해 과학기술정보통신부에서는 ‘5G 특화망 주파수 공동사용을 위한 이용조건 및 세부사항에 관한 지침’을 통해 5G 특화망 영역 조정에 관해 다루었다^[6]. 제5조(특화망 영역 조정)에 5G 특화망 주파수 공동사용을 위한 서비스 영역 또는 조정대상 영역 조정은 기존 운용자와 신규 운용자간 합의를 통해 조정한다고 명시되어 있으며, 그림 2 및 그림 3은 과학기술정보통신부 지침에 따른 조정대상 영역 조정의 예시를 나타낸다.

3-2 자율 능동형 후행 기법 시나리오

본 논문은 기계학습의 일종인 SVM을 활용하여 5G 특화망 실제 이용환경에 적합한 조정대상 영역의 자율 능

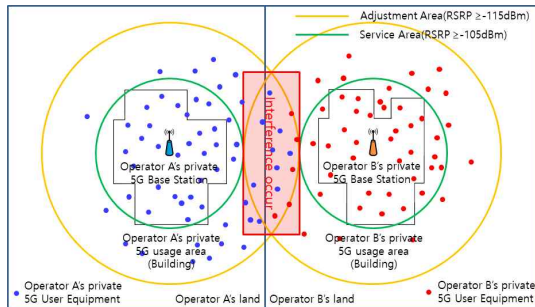


그림 2. 조정대상 영역 조정 전
Fig. 2. Adjustment Area Before adjustment.

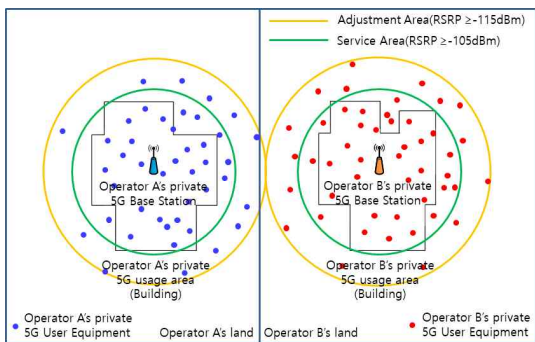


그림 3. 조정대상 영역 조정 후
Fig. 3. Adjustment area after adjustment.

동형 후행 기법을 제안한다. 자율 능동형 후행 기법을 적용하기 위해 우선 양 특화망 간 겹치는 조정대상 영역 내에 위치한 단말의 위치 데이터를 SVM을 이용해 분류한다^[7]. 이후, 조정대상 영역 내에서 단말을 많이 활용하는 특화망 측은 조정대상 영역을 확장하고, 적게 활용하는 특화망 측은 조정대상 영역을 축소하여 특화망을 운용한다. 이때, 조정대상 영역을 확장 및 축소하는 방안으로 각 특화망 기지국의 안테나 빔포밍을 활용한다.

SVM 적용 목적은 그림 4와 같이 두 개의 클래스로 나누어 있는 데이터를 분류하는 최적의 초평면(hyperplane)을 찾는 것이다. 본 논문에서는 인접한 5G 특화망 간 서로 겹치는 조정대상 영역 내 위치한 단말의 위치 데이터를 분류하기 위해 SVM을 활용하였다. 5G 특화망 단말의 위치 데이터를 기반으로 조정대상 영역 조정을 실시함으로써 기존 방식인 특화망 운용자 간 상호 협의에 의한 조정대상 영역 조정 방식보다 유동적이고, 능동적으로 5G 특화망 실사용 환경에 적합한 조정대상 영역 조정이 가능하다.

SVM은 초평면을 정의하기 위해서 지지 벡터에 해당하는 데이터 값이 필요하기 때문에, 5G 특화망 단말 위치 데이터들 중 지지 벡터에 해당하는 데이터만 추출하면 다른 데이터에 대한 추가적인 학습이 필요 없어 속도가 빠른 편이며, 데이터 수가 적어도 우수한 성능을 보인다. SVM을 이용하여 인접한 5G 특화망의 단말 위치 데이터를 분류하는 초평면을 찾는 과정을 수행하며, 초평면과

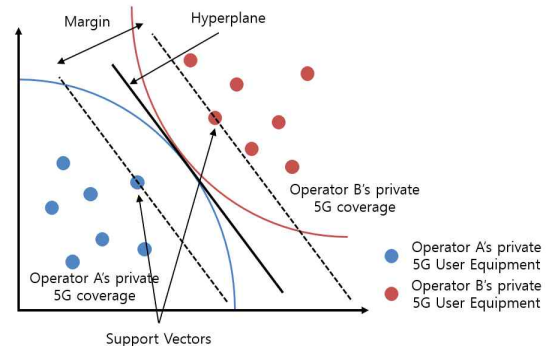


그림 4. 서포트 벡터 머신 선형 분류 예시
Fig. 4. Example of support vector machine linear classification.

지지 벡터 사이의 거리를 마진이라고 한다. SVM은 마진이 클수록 분류 성능이 좋아지는 특징을 가지며 최적의 초평면을 구하는 수식은 식 (1)과 같다.

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m \zeta_i$$

$$(w^T x_i + b) y_i \geq 1 - \zeta_i \begin{cases} y_i \in -1, 1 \\ \zeta_i \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

SVM은 선형분류, 비선형분류로 구분된다. 5G 특화망 단말 위치 데이터를 선형적으로 분류할 수 없을 경우 데이터를 고차원의 공간으로 대응시켜 계산하는 커널트릭(kernel trick)을 기반으로 계산하는 커널함수를 사용한다^[8]. 본 논문에서는 비선형분류 함수 중 하나인 RBF(radial basis function) 커널을 이용하여 5G 특화망 단말 위치 데이터를 분류하였다.

그림 5는 단말의 위치 데이터를 SVM을 이용하여 분류한 예시이다. 초평면에 해당하는 곡선은 본 논문에서 DCL(dynamic coordination line)이라고 하였으며, 점선에 해당하는 마진 범위 내에서 조정대상 영역을 확장 또는 축소하여 영역을 확정한다. 이때 조정대상 영역을 확장 및 축소하는 마진의 범위는 양 특화망의 서비스 영역에 영향을 주지 않도록 설정된다. 조정대상 영역을 확정 후 그림 6과 같이 5G 특화망 기지국 빔포밍을 통해 커버리지를 확장 및 축소하며, 조정대상 영역 경계에는 양 특화망 기지국에서 전송하는 신호의 수신신호 세기를 측정할 수 있는 측정 장치인 DCS(dynamic coordination sensor)를 두어 기지국 출력을 위반하는 특화망이 있다면 위반한 특화망 측에 기지국 송신전력 조절을 통보하여 조정

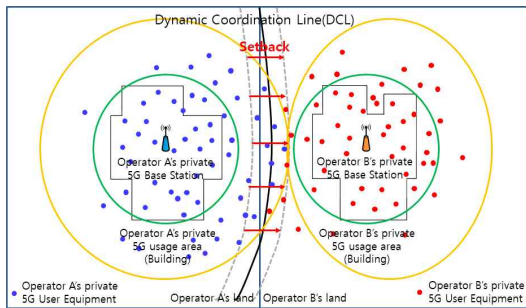


그림 5. SVM 활용 조정대상 영역 확정
Fig. 5. Determination of adjustment area using SVM.

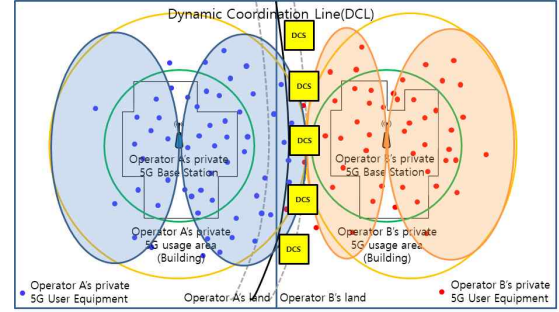


그림 6. 자율 능동형 후행 기법 구상도
Fig. 6. Conceptual diagram of automatic dynamic setback.

하는 방식으로 자율 능동형 후행 기법을 실시한다.

그림 7은 자율 능동형 후행 기법의 동작 순서를 나타낸다. 자율 능동형 후행 기법을 적용하기 위한 가정 사항으로 특화망 운용자는 단말의 실시간 위치를 알고 있으며, 신뢰할 수 있는 중앙기관에 단말 위치를 전송한다. 중앙기관은 특화망 단말의 위치 데이터를 SVM을 통해 분류하며, 초평면을 도출할 수 있는 경우 서로 겹치는 조정대상 영역에서 이용 중인 단말이 적은 쪽 특화망의 조정대상 영역 축소를 실시한다. 조정대상 영역 내 양 특화망의 단말이 혼재되어 초평면 도출이 불가능할 경우, 양 특화망 모두 조정대상 영역 축소를 실시하여 간섭을 최소화한

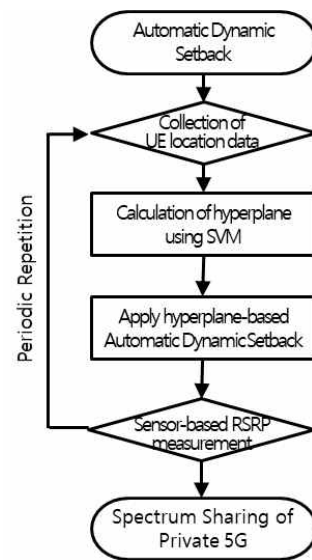


그림 7. 자율 능동형 후행 기법 순서도
Fig. 7. Flowchart of automatic dynamic setback.

다. 중앙기관은 양측 기지국으로부터 전송되는 신호의 수신신호 세기(RSRP)를 센서를 통해 주기적으로 측정하여 전송전력을 위반하는 기지국을 모니터링 한다^[9]. 또한 일련의 과정은 주기적으로 재실행하여 양 특화망 모두 유동적으로 조정대상 영역을 조정하여 활용 가능하게 한다.

IV. 자율 능동형 후행 기법 성능 분석

4.1 모의실험 시나리오 및 파라미터 정의

본 연구는 인접한 5G 특화망 간 조정대상 영역에서의 주파수 공동사용을 위한 것으로 간섭원, 피간섭원은 각각 5G 특화망 기지국과 단말이다. 양 특화망의 커버리지는 한국방송통신전파진흥원(KCA)에서 지원하는 ‘이음5G 주파수 이용관리 시스템’의 ‘특화망 통신구역 기준거리 계산’ 소프트웨어를 이용하여 산출하였다. 모의실험 환경으로 기지국 출력 49 dBm 기준 서비스 영역 209.2 m, 조정대상 영역 401.7 m를 설정하였다.

또한 간섭원과 피간섭원의 파라미터 설정을 위해 국립전파연구원에서 고시한 전기통신사업용 무선설비의 기술기준 제4조 10항^[10]과 ITU-R에서 정의한 indoor small cell 규격^[11]에 따라 5G 특화망 기지국 및 이동국의 출력, 안테나 높이 및 이득 등 세부사항을 표 2에 나타냈다.

조정대상 영역 내의 자율 능동형 후행 기법 성능을 분석하기 위하여 간섭원 5G 특화망의 빔포밍 유/무에 따른 피간섭원 5G 특화망 단말의 iRSS 상위 누적 5 % 구간

다 전송을 값을 산출하여 비교하였다. iRSS 상위 누적이란 시뮬레이션으로 산출된 피간섭원 특화망 단말 iRSS 값을 높은 값부터 누적시킨 지표이다. 양 특화망 각각 단말 1개가 커버리지 내 임의로 분포되어 동작 중인 환경을 설정하였으며, 채널 환경으로는 0.5~100 GHz 대역을 지원하고, urban micro cell 환경을 지원하는 3 GPP TR38.801 채널 모델을 사용하였다^[12]. 임의의 서비스 영역 및 조정대상 영역 위치한 단말의 전송을 산출하기 위해 몬테카를로 기반의 SEAMCAT 프로그램을 이용하여 총 20,000회 시뮬레이션 하였으며, 이는 20,000개의 임의의 좌표에 위치한 피간섭원 단말에 대한 시뮬레이션으로 볼 수 있다. 또한 피간섭원 특화망 단말 iRSS 값을 기반으로 겹쳐진 조정대상 영역 내 위치한 단말을 확인하였으며, iRSS 상위 누적 10 % 이내의 결과에서 서로 겹쳐진 조정대상 영역 내 피간섭원 특화망 단말이 위치함을 확인하였다.

단말의 전송을 산출하기 위하여 shannon-hartley 정리를 사용하였으며, 단말 전송을 계산식은 식 (2)와 같다.

$$\text{Throughput}(bps) = \text{Bandwidth}(Hz) \times \log_2(1 + SINR) \quad (2)$$

4.2 모의실험 성능 분석 결과

그림 8은 자율 능동형 후행 기법 적용 전(a)과 후(b) 피간섭원 특화망 단말의 iRSS 상위 누적에 따른 전송을 나타낸다. 시뮬레이션 시행마다 채널 환경 및 단말의 위치가 변동되기 때문에 최대, 최소 전송의 값은 소폭 변동될 수 있으나, iRSS 상위 누적에 따른 단말 전송을 그래프의 형태는 유사하다.

자율 능동형 후행 기법 적용 전의 경우 간섭원 기지국에서 피간섭원 단말의 거리가 이격될수록 iRSS 값이 낮아지기 때문에 단말 전송은 증가하는 모습을 보인다. 그러나 피간섭원 단말의 이격거리가 피간섭원 기지국을 지나쳐서 이격되는 경우에는 dRSS 값도 동시에 낮아지기 때문에 iRSS 값이 낮더라도 dRSS 값이 낮아 iRSS 상위 누적 60 % 지점을 넘어서면 단말 전송이 낮아지는 형태를 보인다. 반면 자율 능동형 후행 기법 적용 후의 경우 기지국 빔포밍을 활용하기 때문에 전반적으로 일정한 단

표 2. 5G 특화망 파라미터
Table 2. Private 5G parameter.

| Parameter | Base station | Mobile station |
|----------------------------------|--------------|----------------|
| Center frequency (GHz) | 4.77 | |
| Bandwidth (MHz) | 100 | |
| Power (dBm/100MHz) | 49 | 23 |
| Antenna height (m) | 10 | 1.5 |
| Antenna gain (dBi) | 0 | -4 |
| Density of Tx (km ²) | 100 | |
| Interference criterion(C/I) (dB) | 19 | |
| Number of BS (km ²) | 1 BS/1 | |
| Receive sensitivity (dBm) | -72 | |

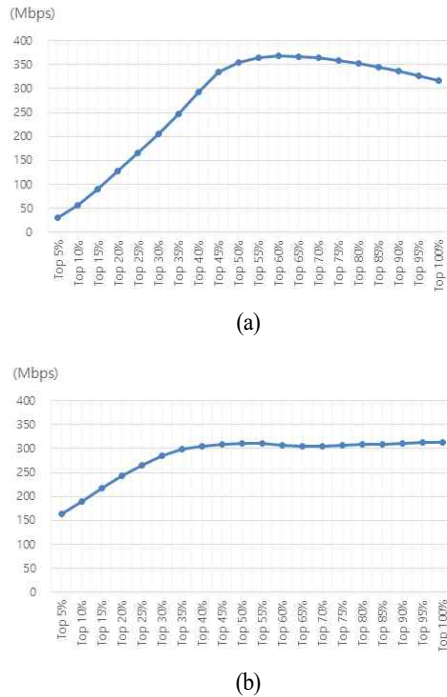


그림 8. 자율 능동형 후행 기법 적용 전(a), 후(b) 피간섭원 단말 전송율

Fig. 8. Throughput of the Victim User Equipment(UE) before(a), after(b) apply Automatic Dynamic Setback.

말 전송율을 유지하는 모습을 보인다.

표 3은 정량화된 자율 능동형 후행 기법 적용 전, 후의 피간섭원 특화망 단말 전송율이다. 자율 능동형 후행 기법 적용 전 최소 단말 전송율은 29.43 Mbps, 최대 단말 전송율은 367.72 Mbps로 최소 단말 전송율은 최대 단말 전송율 대비 약 8 %의 성능 수치를 보인다. 반면, 자율 능동형 후행 기법 적용 후 최소 단말 전송율은 163.39 Mbps, 최대 단말 전송율은 313.86 Mbps로 최소 단말 전송율은 최대 단말 전송율 대비 약 52 %의 성능 수치를 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 5G 특화망 조정대상 영역 내 주파수 공동사용을 위한 자율 능동형 후행 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 자율 능동형 후행 기법 적용 전/후의 단말 전송율을 비교 분석하였으며, 조정대상 영역 내 주파수

표 3. 피간섭원 단말 전송율

Table 3. Throughput of victim user equipment (UE).

| Top cumulative of iRSS (%) | Throughput of victim UE (Mbps) | |
|----------------------------|---|--|
| | Before applying Automatic dynamic setback | After applying Automatic dynamic setback |
| 5 | 29.43 | 163.39 |
| 10 | 56.02 | 188.92 |
| 15 | 89.95 | 218.20 |
| 20 | 127.10 | 242.44 |
| 25 | 165.24 | 264.81 |
| 30 | 204.73 | 284.33 |
| 35 | 247.72 | 298.65 |
| 40 | 292.00 | 305.04 |
| 45 | 335.67 | 309.45 |
| 50 | 355.13 | 311.65 |
| 55 | 364.35 | 310.87 |
| 60 | 367.72 | 307.70 |
| 65 | 366.79 | 304.94 |
| 70 | 363.64 | 305.38 |
| 75 | 359.11 | 306.95 |
| 80 | 362.60 | 308.88 |
| 85 | 345.62 | 309.53 |
| 90 | 336.56 | 311.08 |
| 95 | 327.69 | 312.08 |
| 100 | 317.20 | 313.86 |

공동사용 가능성을 확인하였다.

다만, 본 논문에서 제안한 기법을 사용했을 때, 특화망 운용자는 동일한 산정식에 의해 정당한 주파수 할당대가를 납부하였기 때문에 전파 이용의 공정성 문제가 발생할 수 있어 이에 대한 정책적 고려가 우선적으로 이루어져야 한다. 추가적으로, 단말을 임의의 위치에 분포시켜 간섭확률을 통계적으로 예측하는 SEAMCAT 프로그램의 특성 상 SVM 분류를 통해 확정된 영역에 한정하여 단말을 분포시킬 수 없는 한계점이 있어 SVM 분류 성능 도출을 위한 연구를 진행할 계획이며, 조정대상 영역 조정 후 범포밍 커버리지 바깥쪽에 위치한 간섭원 단말을 보호할

수 있도록 실시간 위치 데이터를 기반으로 가상의 지리적 경계를 설정하는 geofence 기술과 결합된 5G 특화망 주파수 공동사용에 관한 연구를 진행할 예정이다.

현재 5G 특화망은 활성화 단계이며, 점진적으로 늘어나는 수요를 감안할 때 특화망 주파수 공동사용 제도의 확립이 필요한 시점이라고 판단된다. 본 논문에서 제안한 방안이 이에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Ministry of Science and ICT(MSIT), "Private 5G guideline," Sejong, Korea, No. 2021-10, Oct. 2021.
- [2] Ministry of Science and ICT(MSIT), "Guidelines on usage conditions and details for spectrum sharing in private 5G," Sejong, Korea, No. 2021-0895, Oct. 2021.
- [3] FCC, "47 CFR Part 96-Citizens Broadband Radio Service," 47 CFR Part 96, 2024.
- [4] Bundesnetzagentur, "Administrative rules for spectrum assignments for local spectrum usages in the 3700-3800 MHz band," 2023. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/Telecommunications/Companies/TelecomRegulation/FrequencyManagement/FrequencyAssignment/LocalBroadband3,7GHz.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [5] Ministry of Internal Affairs and Communications(MIC), *Radio Act Related Examination Standards*, No. 67 of 2001, 2023.

- [6] M. Hofmann, "Support vector machines - Kernels and the kernel trick," 2006. Available: https://www.cogsys.wiai.uni-bamberg.de/teaching/ss06/hs_svm/slides/SVM_Seminarbericht_Hofmann.pdf
- [7] H. S. Kim, D. W. Yun, J. P. Choi, D. H. Yoon, J. K. Sun, and H. S. Jeon, et al., "Wireless traffic reasoning method based on support vector machine according to the probability of incumbent user's channel occupancy," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 11, pp. 885-894, Nov. 2019.
- [8] Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), "Method and Apparatus for managing non-public network communication areas," KR Patent 1020230141390, Jul. 18, 2022.
- [9] National Radio Research Agency(RRA), *Technical Standards for Radio Equipment in Telecommunication Services*, No. 2022-15, Jul. 2023.
- [10] *In-band and Adjacent Band Coexistence and Compatibility Studies Between IMT Systems in 3,300-3,400 MHz and Radio Location Systems in 3,100-3,400 MHz*, Recommendation ITU-R M.2481, Sep. 2019.
- [11] ETSI, "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz," European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France, Report no. ETSI TR 138 901, Nov. 2020.

유 원 석 [숭실대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-9204-809X>



2025년 2월: 숭실대학교 글로벌미래교육원 정보통신공학과 (공학사)
2025년 3월~현재: 숭실대학교 전자정보공학부 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 주파수 공동사용, 주파수 정책, 5G 특화망, 블록체인 등

조 승 우 [숭실대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0003-0419-2775>



2024년 2월: 숭실대학교 글로벌미래교육원 정보통신공학과 (공학사)
2024년 3월~현재: 숭실대학교 전자정보공학부 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 간섭분석, 위성통신, 이동통신 등

김민준 [숭실대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0009-3848-4315>



2024년 8월: 국가평생교육진흥원 컴퓨터 공학과 (공학사)

2025년 3월~현재: 숭실대학교 에너지정책기술융합학과 석사과정

[주 관심분야] 기계학습, 강화학습, 공간통계학, 신재생 에너지 등

이원철 [숭실대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-6250-9342>



1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1994년 5월: 미국 Polytechnic Institute of New York University, Electrical Engineering (공학박사)

1995년 9월~현재: 숭실대학교 전자정보공학과 교수

2021년 2월~현재: 숭실대학교 연구산학부총장

2017년 3월~현재: 공공안전통신망 포럼 공공통신망생태계위원회 위원장

2015년 1월~2022년 12월: 한국전자파학회 이사

2020년 2월~2021년 12월: 과학기술정보통신부 ICT 규제샌드박스 실증특례 연구반 연구반장

2020년 9월~2020년 12월: 2021년도 ICT R&D 사업 전파·위성분야 신규과제 발굴 기획위원회 위원

[주 관심분야] Cognitive Radio, TV White Space, 주파수 공동사용, 간섭분석, 디지털 필터설계 등