

사설 5G 에서 효율적 채널 선택을 위한 셀 간 협력 최적화

이승현, 문시훈, 박경준*
DGIST

{shlee0929, msh0576, *kjp}@dgist.ac.kr

Optimization of Coordinated Multipoint (CoMP) for Efficient Channel Selection in Private 5G

Seunghyun Lee, Sihoon Moon, Kyung-Joon Park*
DGIST

요 약

다수의 이동형 무선 단말을 제한된 수의 기지국으로 제어하는 경우 간섭 또는 신호 세기의 저하로 인한 네트워크 품질 하락이 발생하여 제어 성능에 영향을 끼칠 수 있다. 본 논문에서는 스마트팩토리과 같이 제한된 영역 내에 구현된 사설 5G 에서 이동 단말과 연결하는 기지국을 적시에 변경하여 모든 단말의 평균적인 채널 품질을 최대화하는 방법을 소개한다. 이를 위해 셀 간 협력(Coordinated Multipoint) 기술을 적용하고 최적화를 통해 평균적인 채널 품질을 향상시킨다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법이 기존 방법보다 네트워크 품질을 최대 9% 향상시킴을 확인하였다.

I. 서론

다수의 이동형 무선 단말을 제한된 수의 기지국으로 제어하는 경우 간섭 또는 신호 세기의 저하로 인하여 채널 품질이 하락함으로써 제어 성능에 저하가 발생할 수 있다. 이러한 문제는 기지국의 송신 전력의 한계로 인해 기지국에 동시에 연결 가능한 무선 단말의 수와 기지국의 유효 통신범위가 일정 수준으로 제한됨에 기인한다. 이로부터 오는 한계를 극복하고자 기지국들은 서로의 유효 통신 범위가 겹쳐지도록 배치되어 있다. 이를 활용한 핸드오버(handover) 기술은 사용자가 이동 중에도 끊김 없는 무선 통신을 경험할 수 있게 한다[1]. 하지만 핸드오버는 단말과 기존에 연결된 기지국과의 채널 품질이 일정 수준 이하로 낮아져야 새로운 기지국과 연결하는 방법이다. 이때 낮은 품질의 연결이 지속될 경우 네트워크 품질의 저하가 있을 수 있다.

기존의 연구에서는 LTE-A(Long Term Evolution-Advanced) 및 5G 핸드오버에 셀 간 협력 기술을 적용하여 기존보다 데이터 처리량을 향상시키고 패킷손실율을 감소시킨다[2]. 본 논문에서는 스마트팩토리과 같이 제한된 영역 내에 구현된 사설 5G 의 품질 향상을 위해 셀 간 협력을 활용한다. 이를 통해 이동 단말과 연결할 기지국을 적시에 변경함으로써 모든 단말의 평균 채널 품질을 향상시키는 방법을 소개한다. 채널 품질의 저하를 감지하고 연결 상태를 조정하기 위해 셀 간 협력의 CS/CB(coordinated scheduling and coordinated beamforming) 기술을 적용한다. 그리고 측정된 CQI(Channel Quality Indicator)로부터 SINR(signal to interference plus noise ratio)을 추정해 채널 품질의 지표로 삼는다[3]. 그 이후 최적화 식을 통해 네트워크 품질을 최적화한다.

II. 본론

셀 간 협력은 하나의 단말이 다수의 기지국과 동시에 통신하는 기술이다. 셀 간 협력은 3GPP(Third Generation Partnership Project)에 의해 LTE-A 의 표준이 되었으며 5G 에서도 이를 지원한다. 셀 간 협력의 여러 방법중 CS/CB 가 있다. CS/CB 는 특정 단말과 연결된 다수의 기지국 중에서 하나의 기지국으로부터만 데이터를 수신하고 나머지와는 CQI 를 교환하는 방법이다. CQI 는 채널의 품질을 나타내는 0 부터 15 사이의 정수값이다. CQI 는 단말과 기지국의 동기화 과정에서 측정된 SINR 로부터 계산한다.

1) 네트워크 모델

사설 5G 는 특정 부지 또는 건물 내에 자체적으로 구축한 사설망이다. 사설 5G 의 모든 기지국과 연결된 중앙 서버는 각 기지국이 측정된 CQI 를 수집하고 네트워크 품질을 극대화하는 연결 상태를 계산한다. 그 후 계산된 최적 연결 상태를 기지국에 전달해 각 기지국과 데이터를 교환할 단말과 CQI 를 교환할 단말을 결정한다.

2) 최적화 문제

중앙 서버가 수집한 CQI 들을 M 이라 하고 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M_{g,u,t} = \{0,1, \dots, 15\}$$

G 가 기지국의 수, U 가 단말의 수, T 가 CQI 를 측정할 횟수라 할 때 $g = \{1,2, \dots, G\}$, $u = \{1,2, \dots, U\}$, $t = \{1,2, \dots, T\}$ 이다.

중앙 서버가 M 으로부터 계산한 연결 상태를 연결 행렬 C 라 하고 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_{g,u,t} = \{0,1\}$$

이때 $C_{g,u,t} = 1$ 은 g 번째 기지국과 u 번째 단말이 t 번째 측정 시점에서 데이터를 주고받음을 의미한다. 그렇지 않다면 $C_{g,u,t} = 0$ 이다.

$X_{g,u}^t = C_{g,u,t}$ 가 t 번째 측정 시점의 연결 상태를 의미하고, S 가 SINR 을 CQI 로 변환하는 함수를 나타낸다고 한다면 t 번째 측정 시점의 네트워크 품질 함수 σ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma(X^t) = \frac{\sum_{g=1}^G \sum_{u=1}^U X_{g,u}^t \cdot (\mu + \rho(g, u, t) + \pi(g, u, t))}{GU}$$

이때 $\mu = 10^{0.15s^{-1}(15)}$ 이고, ρ 와 π 는 각각 보상 함수와 손실 함수를 의미한다. ρ 와 π 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho(g, u, t) = 10^{0.15^{-1}(M_{g,u,t} X_{g,u}^t)}$$

$$\pi(g, u, t) = -\alpha \cdot (\mu - \rho(g, u, t - 1))$$

이때 α ($0 \leq \alpha \leq 1$)는 손실 인자이다.

네트워크 품질 함수 f 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f(C) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sigma(X^t)$$

따라서 셀 간 협력을 적용한 네트워크 최적화는 다음의 최적화 문제로 기술 가능하다.

$$\begin{aligned} & \operatorname{argmax} && f(C) \\ & \text{subject to} && \sum_{u=1}^U C_{g,u,t} \leq v \\ & && \sum_{g=1}^G C_{g,u,t} \leq 1 \\ & && C_{g,u,t} \leq M_{g,u,t} \end{aligned}$$

이때 v 는 하나의 기지국에서 동시에 최대로 연결 가능한 단말의 수를 의미한다.

3) 제안 알고리즘

기존에는 각 단말이 가장 좋은 채널 품질을 보이는 기지국과 우선적으로 연결하였다. 이 방법은 널리 쓰이고 있지만 최적화를 고려하지 않은 방법이다. 이 알고리즘은 모든 후보를 검증하지 않고, 각 단말을 순회하며 그때마다 최선의 선택을 하는 일종의 그리디 알고리즘이다.

그림 1 은 위의 최적화 문제를 계산하는 알고리즘의 의사 코드이다. 매 측정 시점마다 모든 연결 상태 후보가 최적화 식의 제약 사항에 부합하는지 검증한다. 부합한 후보에 대해 네트워크 품질 함수 σ 의 값을 구하고 그중 가장 큰 값을 결과에 더한다. 모든 측정 시점에 대한 계산을 완료하면 그 합을 측정 횟수 T 로 나누어 네트워크 품질 함수 f 의 값을 구한 후 이를 반환한다.

4) 실험 결과

최적화 문제 알고리즘과 기존 방법의 성능을 분석하기 위해 각 알고리즘으로 계산한 네트워크 품질을 비교한다. 그림 2 는 $\alpha = 0.5$, $G = 5$, $U = 10$ 인 경우 v 의 변화에 따른 네트워크 품질을 측정된 결과이다. 이때 v 의 최소값은 2 이다. 이는 본 실험에서 항상 $Gv \geq U$ 를 만족한다고 가정하기 때문이다. v 가 U 의 50% 이상인 경우에는 두 방법이 생성한 연결 행렬의 네트워크 품질에 큰 차이가 없지만, 그 비율이 낮아질수록 차이가 커짐을 확인할 수 있다. v 가 U 의 20%인 경우, 최적의 연결 행렬이 보이는 네트워크 품질은 기존의 방법에 비해 대략 9%의 품질 향상을 보인다.

III. 결론

본 논문에서는 사설 5G 에서 제한된 수의 기지국으로 다수의 이동형 무선 단말을 제어하는 경우, 채널을 적시에 변경함으로써 모든 단말의 평균적인 채널 품질을 향상시켰다. 이를 위해 셀 간 협력의 CS/CB 방법을 도입하였고 CQI 를 분석하여 최적의 연결 상태를 계산하였다. 그리고 최적화된 방법이 기존의 방법에 비해 기지국이 동시에 연결 가능한 단말의 수가 감소하는 상황에서도 네트워크 품질을 향상시킴을 실험을 통해

Algorithm 1 Proposed

Input: M

Output: $f(C)$

```

1:  $sum\_quality = 0, max\_quality = 0$ 
2: for  $t = 1$  to  $T$  do
3:   for  $X^t \leftarrow G^U$  candidates do
4:     if  $isValid(X^t)$  then
5:        $max\_quality = \max(\sigma(X^t), max\_quality)$ 
6:     end if
7:   end for
8:    $sum\_quality = sum\_quality + max\_quality$ 
9:    $max\_quality = 0$ 
10: end for
11: return  $sum\_quality / T$ 

```

그림 1. 최적화 문제 알고리즘

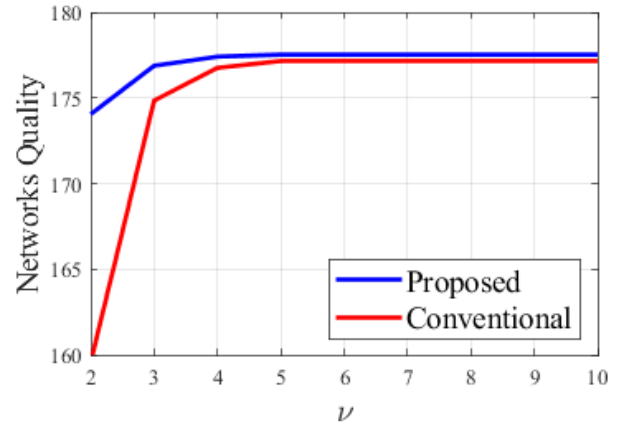


그림 2. v에 따른 CoMP 무선 네트워크 품질 비교

확인하였다. 다만 채널을 변경하는 작업의 부하를 고려하지 않았고, 최적화 문제를 해결하는 알고리즘의 시간 복잡도가 단말의 수에 따라 지수적으로 증가한다는 점은 향후에 해결해야 할 문제이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the DGIST R&D Program of the Ministry of Science and ICT (21-DPIC-16).

참고 문헌

- [1] G. P. Pollini, "Trends in handover design," IEEE Communications Magazine, vol. 34, no. 3, pp. 82-90, 1996.
- [2] M. Boujelben et al., "A novel mobility-based COMP handover algorithm for LTE-A/5G HetNets." 2015 23rd international conference on software, telecommunications and computer networks (SoftCOM). IEEE, 2015.
- [3] A. Omri et al., "Synchronization Procedure in 5G NR Systems," IEEE Access, vol. 7, pp. 41286-41295, 2019.