
Device-to-Device

통신 환경에서의 매칭 이론을
이용한 자원 할당 기법

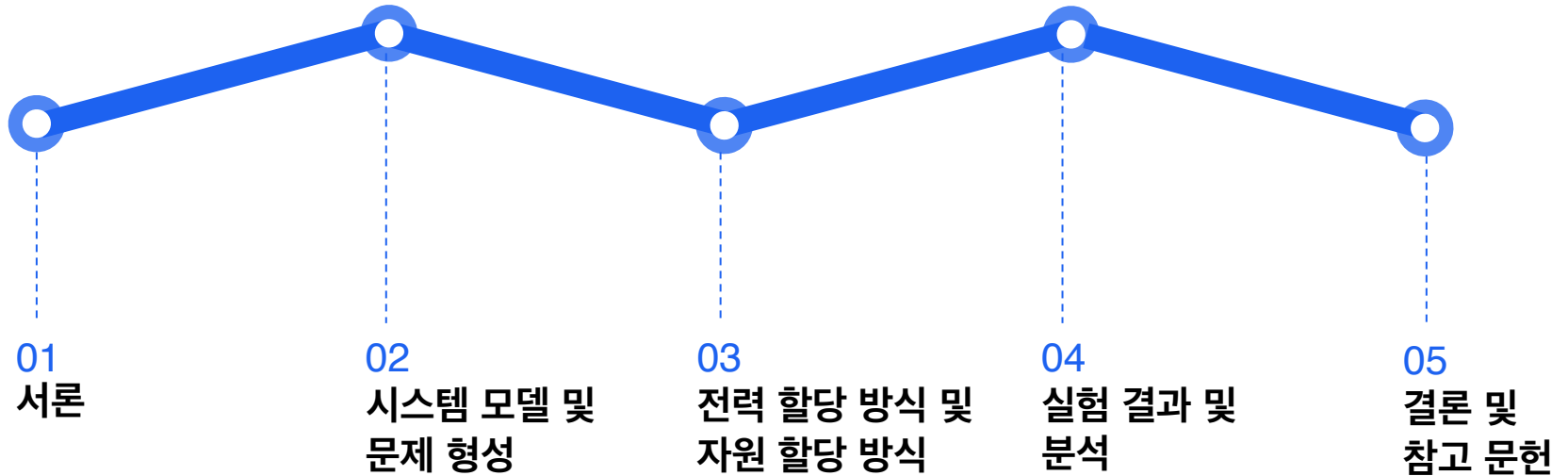
[Technical session 2-4]
02-Dec-2016

성균관대학교 전자전기공학부

이 승현
이 용우
신 지태

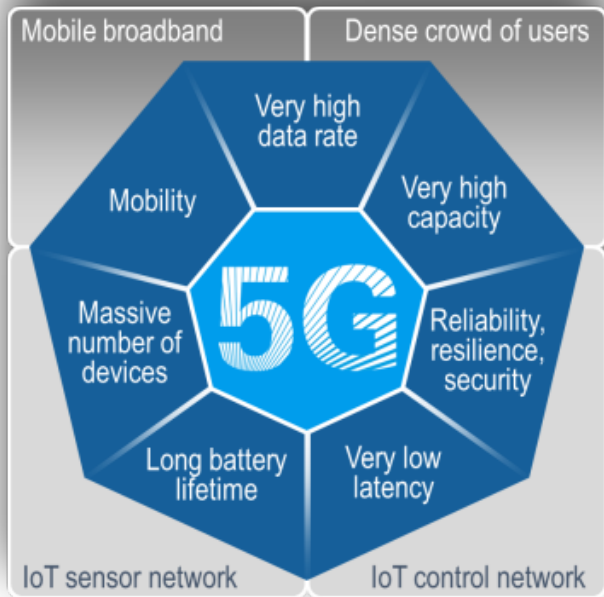
목차

CONTENTS



01 서론

01 서론_5세대 이동통신(5th Generation, 5G)의 대두



새로운 멀티미디어 환경
모바일 트래픽 수요량 급증

트래픽 정체로 인한 심한 간섭
현존하는 통신 인프라로 대처 불가

▼
‘5G’의 대두

01 서론_단말간 직접 통신(Device-to-Device, D2D) 기술

“Device-to-Device”

정의

기지국을 직접 경유하지 않고
셀룰러 자원을 재사용함으로써
단말간 직접 송수신을 할 수 있도록 하는 기술

5G의 핵심 기술

proximity gain
hop gain
reuse gain
pairing gain

낮은 단말간 통신 비용
자원 활용의 높은 효율성

01 서론_D2D 통신 환경에서의 주요 이슈



- ▶ 셀룰러 유저와 D2D 유저의 전력 할당
- ▶ D2D 유저에 대한 셀룰러 자원 할당
- ▶ 기지국과 각 유저들 간 간섭 조정

01 서론_D2D 통신 환경에서의 주요 이슈



▶ 셀룰러 유저와 D2D 유저의 전력 할당

▶ D2D 유저에 대한 셀룰러 자원 할당

▶ 기지국과 각 유저들 간 간섭 조정

본 논문에서는, 현대 경제학 이론 중 하나인 매칭 이론을 이용하여

- 1) Gale-Shapley 알고리즘의 성능을 검증하며,
- 2) D2D/셀룰러 유저 중 어떠한 유저가 프로포징 유저일 때 전체 시스템 성능이 향상하는지에 대해 논한다.

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구

1. 남자가 가장 선호도가 높은 여자에게 프로포즈를 한다.
2. 프로포즈를 받은 여자들에 대해서는 프로포즈 받은 남자들 중에 선호도가 가장 높은 남자의 프로포즈를 승낙하며 프로포즈를 받지 못한 여자들은 매칭되지 않는다.
3. 전 단계에서 매칭되지 못 하거나 새로운 남자에 의해 거절된 남자들에 대해 그 다음 높은 선호도를 갖고 있는 여자에게 프로포즈를 한다.
4. 모든 남자가 매칭될 때까지 2-3의 과정을 반복한다.
5. 매칭이 완료된다.



유리

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구



수진

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이



짱아

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이



영희

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



유리

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구



수진

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이



짱아

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이



영희

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



유리

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구



수진

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이



짱아

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이



영희

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



유리



수진



짱아



영희

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



유리



수진



짱아



영희

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수



유리

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구



수진

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이



짱아

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



영희

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수



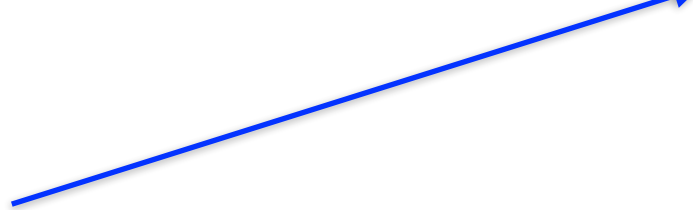
유리

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구



수진

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이



짱아

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



영희

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수



유리

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구



수진

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이



짱아

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



영희

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



유리



수진



짱아



영희

짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



철수

영희 > 유리 > 수진 > 짱아



짱구

짱아 > 유리 > 영희 > 수진



훈이

유리 > 영희 > 짱아 > 수진



맹구



유리



수진



짱아



영희

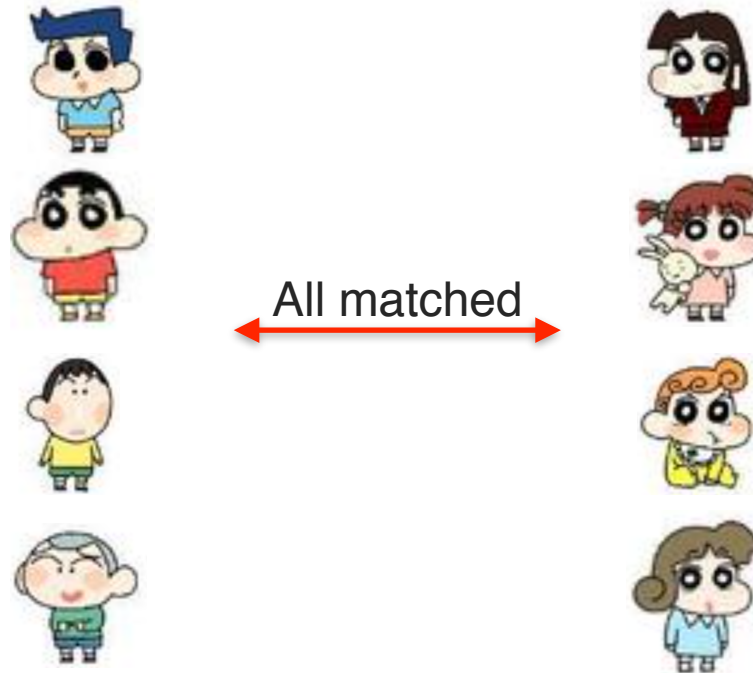
짱구 > 훈이 > 철수 > 맹구

철수 > 맹구 > 짱구 > 훈이

짱구 > 철수 > 맹구 > 훈이

맹구 > 훈이 > 철수 > 짱구

01 서론_Gale-Shapley's Stable marriage



Advantages

perfection
stability
termination
Pareto optimality

Men optimality

- proposing user는 항상 최적의 파트너와 매칭된다.

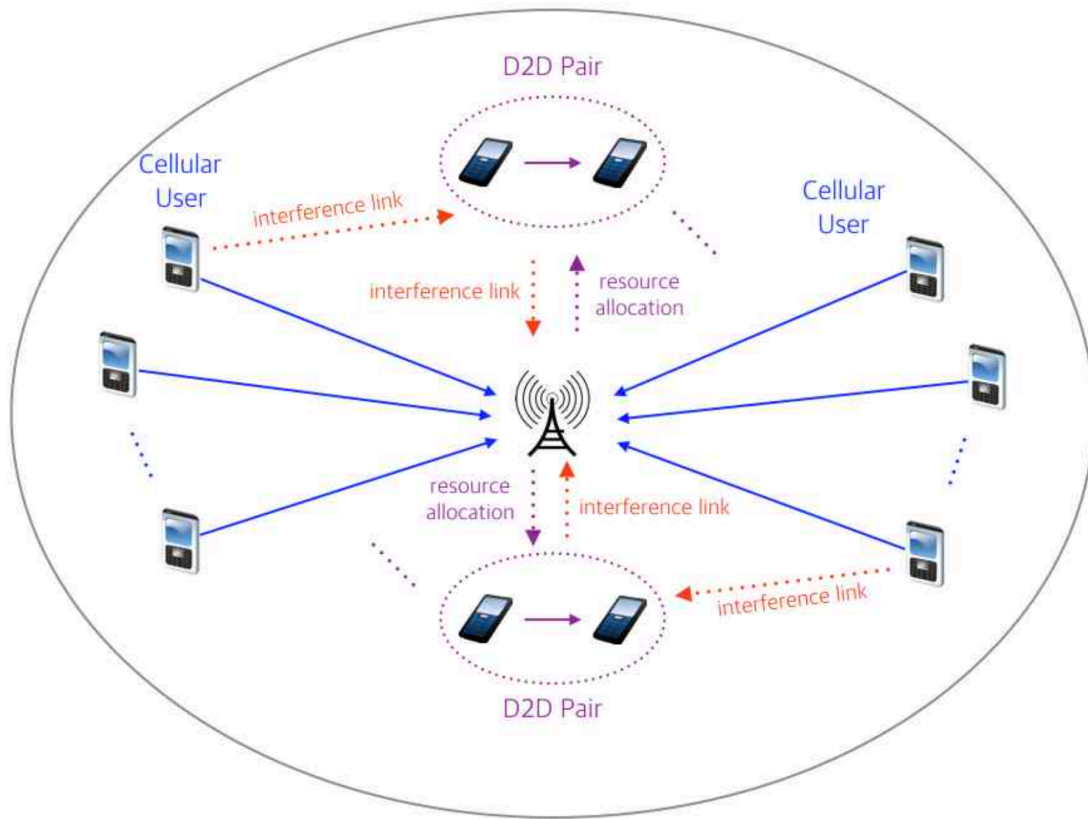
Women pessimality

- proposed user는 항상 최악의 파트너와 매칭된다.

02

시스템 모델 및 문제 형성

02 시스템 모델 및 문제 형성



시스템
모델

- ▶ Underlay D2D 통신 환경
- ▶ FDD 방식
- ▶ 단일 셀 환경
- ▶ Multipath & Slow fading
- ▶ 셀룰러 유저와 D2D 페어
셀 내 균일 분포

$$C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_i, \dots, c_N\},$$
$$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_j, \dots, d_M\},$$

02 시스템 모델 및 문제 형성

$$\max_{\rho_{i,j}, P_c^i, P_d^j} W_i \sum_{c_i \in C} \sum_{d_j \in A} [\log_2(1 + \gamma_i^c) + \rho_{i,j} \log_2(1 + \gamma_j^d)],$$

$$s.t. \quad \gamma_i^c = \frac{P_i^c G_{i,BS}}{N_0 + \rho_{i,j} P_j^d G_{j,BS}} \geq \gamma_{i,\min}^c$$

$$\gamma_j^d = \frac{P_j^d G_j}{N_0 + \rho_{i,j} P_i^c G_{i,j}} \geq \gamma_{j,\min}^d$$

$$\sum_{d_j \in A} \rho_{i,j} \leq 1, \rho_{i,j} \in 0,1, \forall c_i \in C$$

$$\sum_{c_i \in C} \rho_{i,j} \leq 1, \rho_{i,j} \in 0,1, \forall d_j \in A$$

$$P_j^d \leq P_{\max}^d, \forall d_j \in A$$

$$P_i^c \leq P_{\max}^c, \forall c_i \in C$$

최적화
문제

$$\triangleright G_{i,BS} = K \beta_{i,BS} \zeta_{i,BS} D^{-\alpha}$$

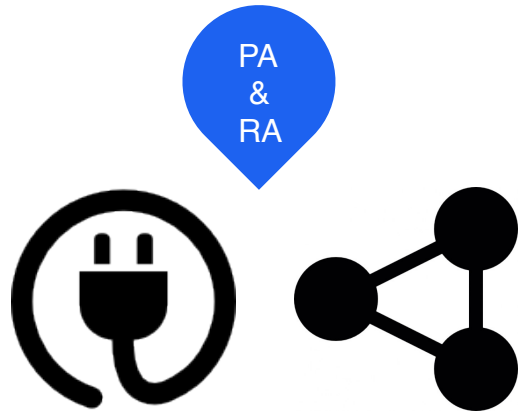
▶ QoS requirement guaranteed

▶ one-to-one matching between D2D pair and Cellular user

03

전력 할당 방식 및 자원 할당 방식

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



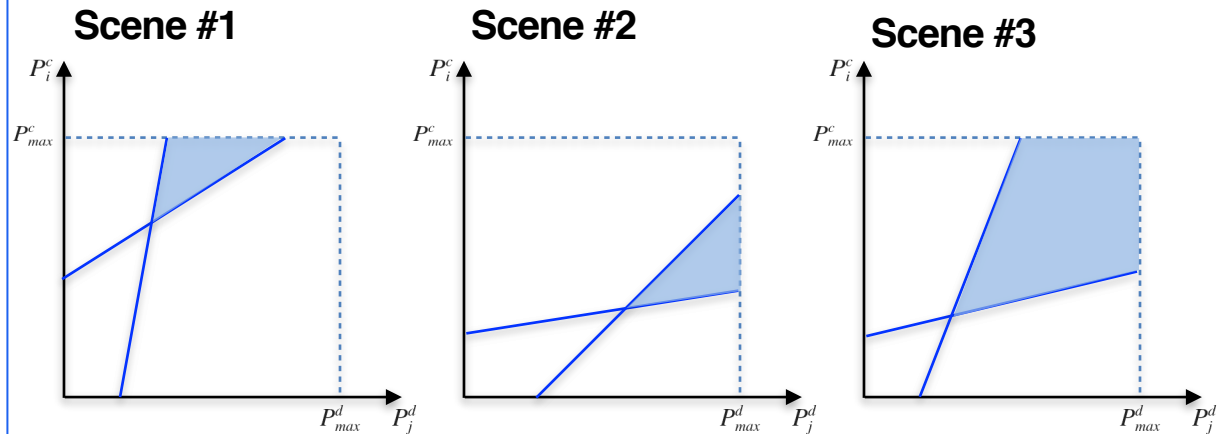
▶ User Sceinario

▶ Optimized PA

▶ Random PA

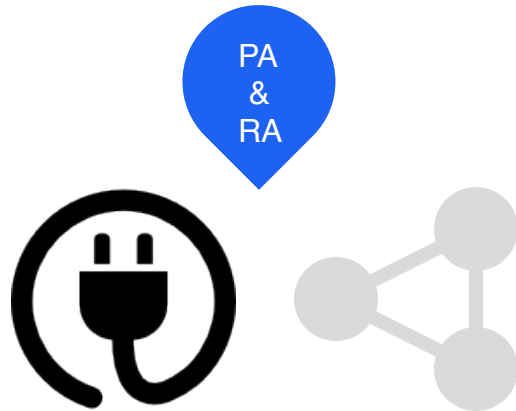
▶ GS RA

▶ Random RA



- ▶ 주어진 최적화 문제에 대하여 위 세가지 시나리오 중 1개에 속해야 유저 간 매칭이 가능함. ($\rho_{i,j}=1$)
- ▶ 이 때 각각의 시나리오에 대해 어떠한 경우 전체 시스템 성능을 최적화할 지에 대해 전력 할당 방식과 자원 할당 방식을 논함.

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



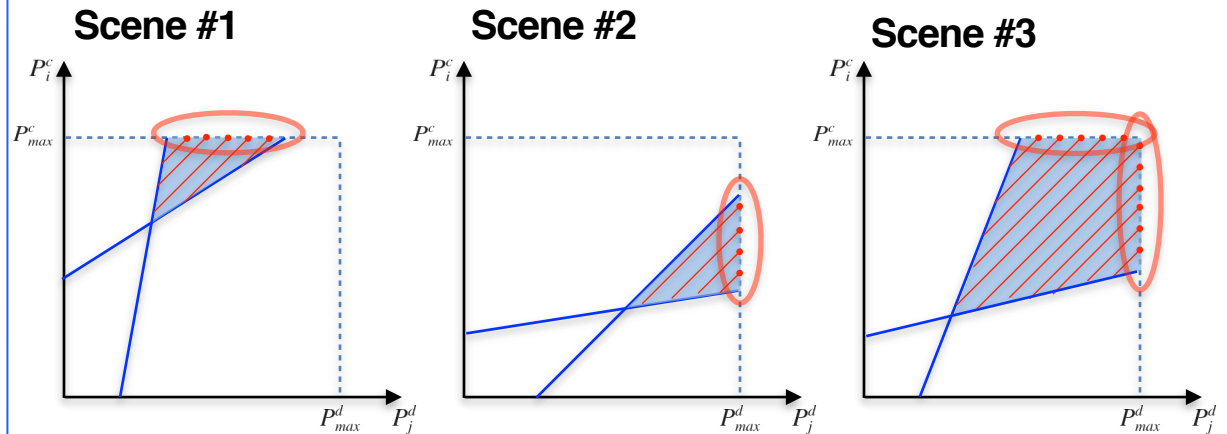
▶ User Sceinario

▶ Optimized PA

▶ Random PA

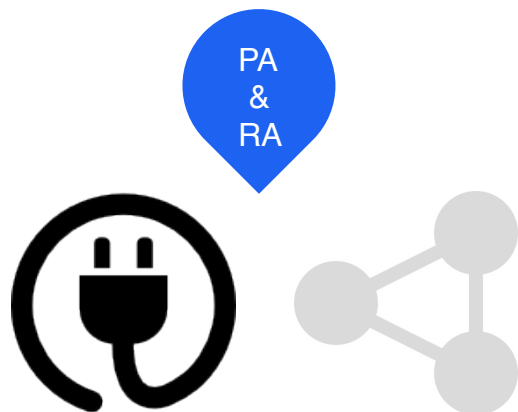
▶ GS RA

▶ Random RA



- ▶ 전체 시스템 성능은 각각의 D2D pair와 셀룰러 유저의 전력이 동일한 비율 $r(r > 1)$ 만큼 늘어날 때 더 향상됨.
- ▶ 따라서, 두 유저 중 적어도 하나의 유저는 반드시 **최대 전송 전력의 상한값**을 갖게 됨.

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



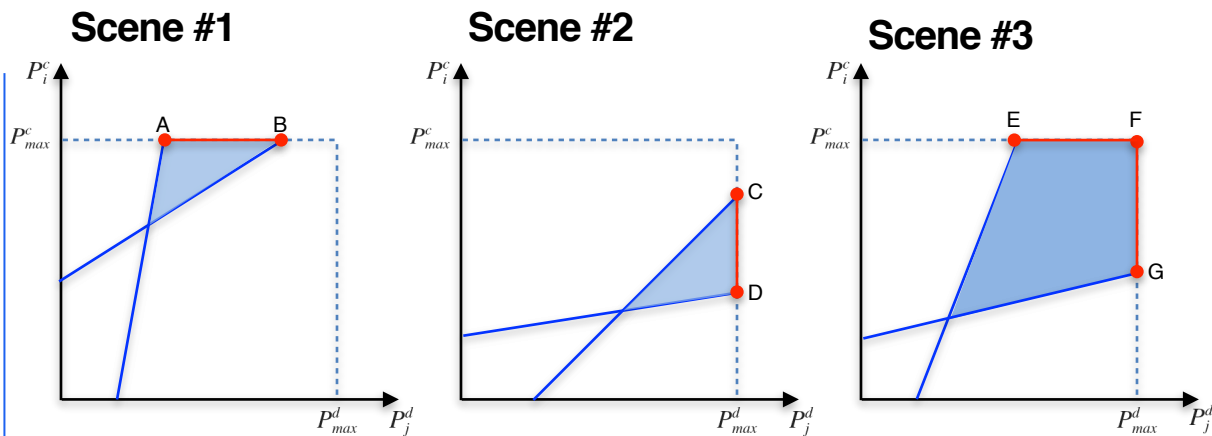
▶ User Sceinario

▶ Optimized PA

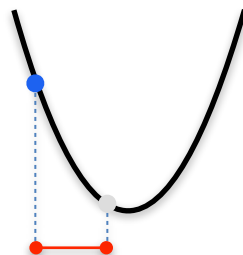
▶ Random PA

▶ GS RA

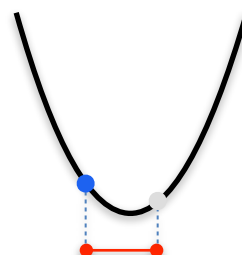
▶ Random RA



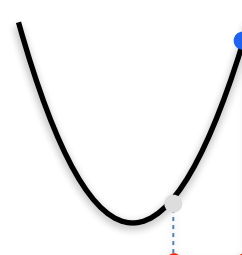
case #1



case #2

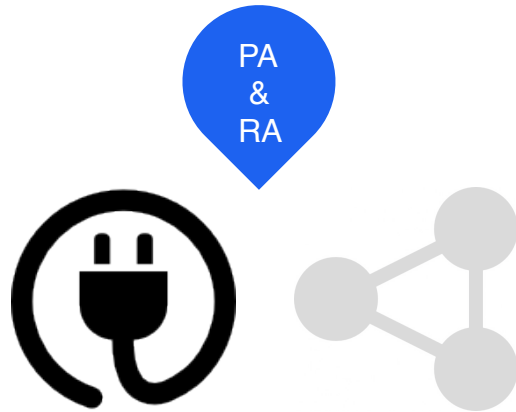


case #3



▶ 이 때 각 segment(AB, CD, EF, FG)에 대해 전체 시스템 성능은 한 유저의 전력 값이 고정될 때 다른 유저의 전력에 따라 아래로 볼록한 함수이므로 위의 3가지 경우를 고려할 수 있음.

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



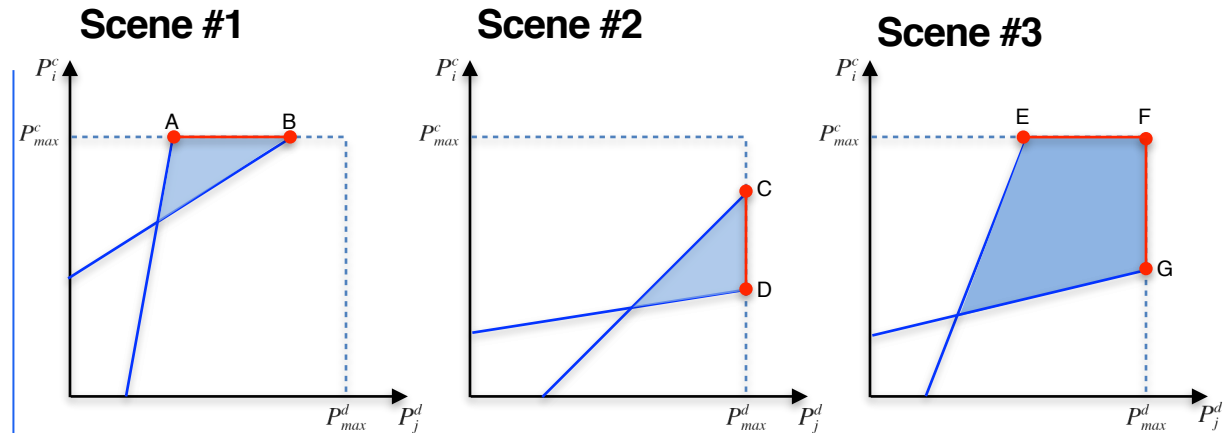
▶ User Sceinario

▶ Optimized PA

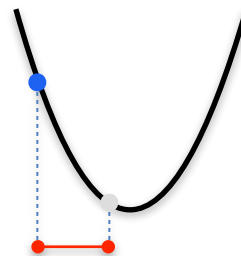
▶ Random PA

▶ GS RA

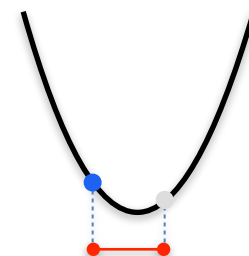
▶ Random RA



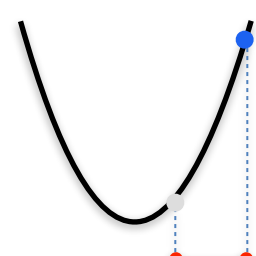
case #1



case #2

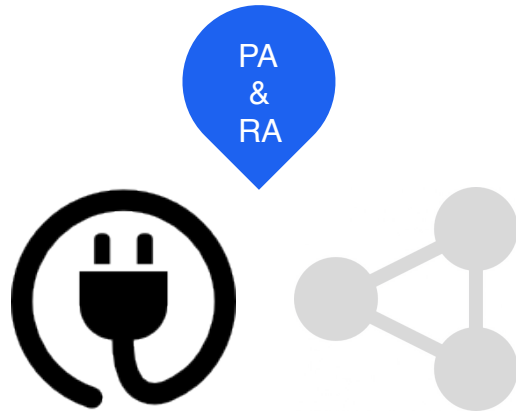


case #3



▶ 따라서, 최적화된 전력은 각 segment에서 **하한값과 상한 값 중 최댓값**으로 할당하며(S#1, S#2), S#3에 대해서는 각 segment EF, FG에서 얻어진 값 중 **최댓값**을 할당함.

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



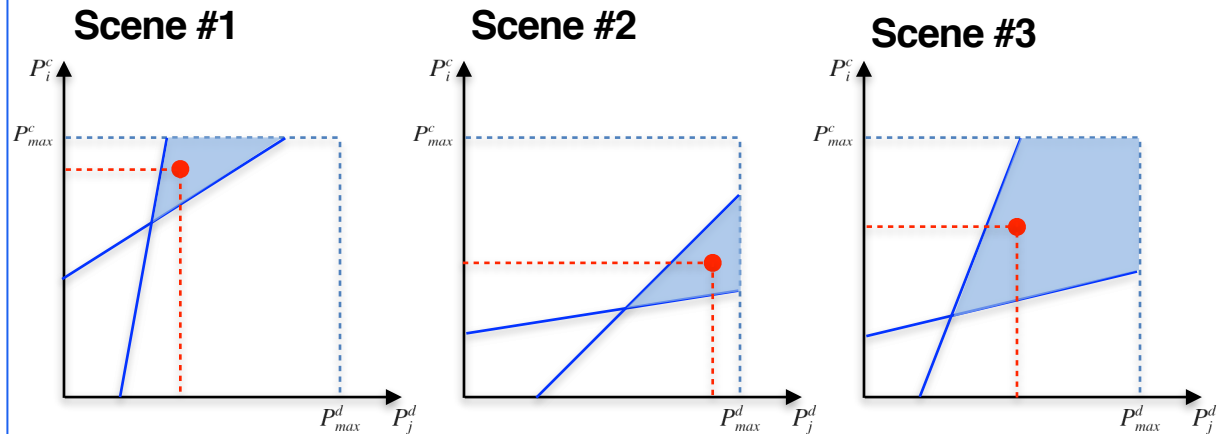
▶ User Sceinario

▶ Optimized PA

▶ Random PA

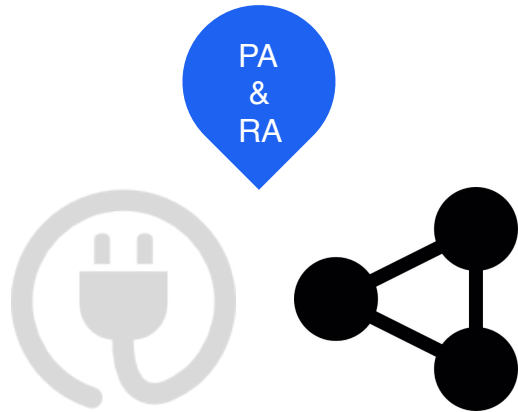
▶ GS RA

▶ Random RA



▶ 임의 전력 할당 방식은 주어진 시나리오를 만족하는 각각의 유저들에 대해 주어진 영역에서 임의로 전력을 할당함.

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



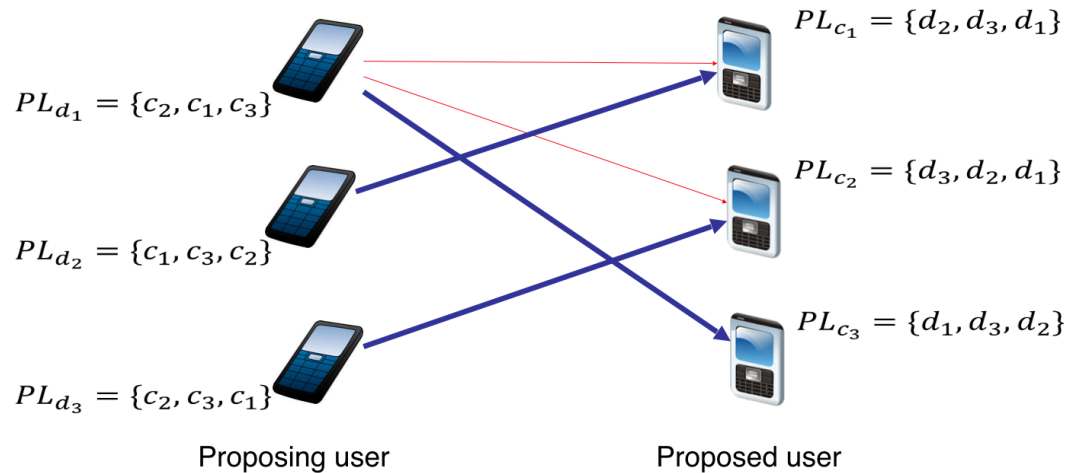
▶ User Scenario

▶ Optimized PA

▶ Random PA

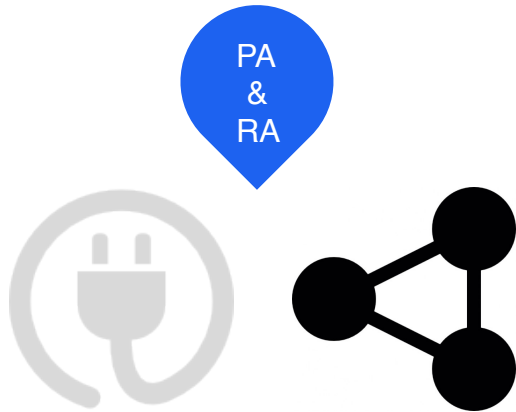
▶ GS RA

▶ Random RA



- ▶ 매칭이 가능한 D2D 유저와 셀룰러 유저가 매칭된 경우에 대해 **각 유저들의 성능이 높은 순서대로 선호도 목록을 형성하여 GS 알고리즘을 적용하여 자원을 할당함.**
- ▶ 이 때 프로포징 유저를 바꿈에 따라 **각 유저의 처리량이 어떻게 변화하는지와 전체 시스템 성능이 어떻게 변화하는지**를 분석함.

03 전력 할당 방식 및 자원 할당 방식



▶ User Scenario

▶ Optimized PA

▶ Random PA

▶ GS RA

▶ **Random RA**

$$M_{\rho} = \begin{Bmatrix} \textcircled{1} & 0 & \cdots & \times & 1 \\ 0 & \textcircled{1} & \cdots & \times & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & \times & \cdots & \textcircled{1} \end{Bmatrix}$$

- ▶ 매칭이 가능한 D2D 유저에 대해 셀룰러 유저의 자원을 임의로 할당함.
- ▶ 이 때 두 유저 간 일대일 매칭을 하므로, 자원을 할당해 준 셀룰러 유저는 다른 D2D 유저에게 자원을 더이상 할당할 수 없으며, 자원을 할당받은 D2D 유저는 다른 셀룰러 유저로부터 자원을 할당받을 수 없음.

04

실험 결과 및 분석

04 실험 결과 및 분석



▶ Parameter table

- ▶ Total system throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm
- ▶ Total D2D Tx throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm
- ▶ Total system throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm
- ▶ Total cellular users throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm
- ▶ Total D2D Tx throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

파라미터(parameter)	값(value)
셀 환경	R=1000m, 단일 셀(uni-cell)
시스템 환경 상수 (K, system environment constant)	0.01
다중경로 페이딩 효과 (Multipath fading effect)	지수 분포, $\lambda = 1$
슬로우 페이딩 효과 (Slow fading effect)	로그 정규 분포, $\sigma = 8$
셀룰러 유저의 수 (N , The number of CUs)	50
D2D 페어의 수 (M , The number of D2D pairs)	15-50
경로손실 멱지수 (α , pathloss exponent)	4
D2D 페어간 거리 (proximity of D2D)	(60,100)m
상향 링크 대역폭 (W_i , uplink bandwidth)	0.5MHz
가우시안 백색소음(N_0 , AWGN)	-144dBm
셀룰러/D2D 유저의 최대 송신 전력	24dBm
기지국의 최소 SINR 요구조건 (the minimum of SINR for BS)	(15,20)dB
D2D Rx의 최소 SINR 요구조건 (the minimum of SINR for D2D Rx)	13dB

04 실험 결과 및 분석



▶ Parameter table

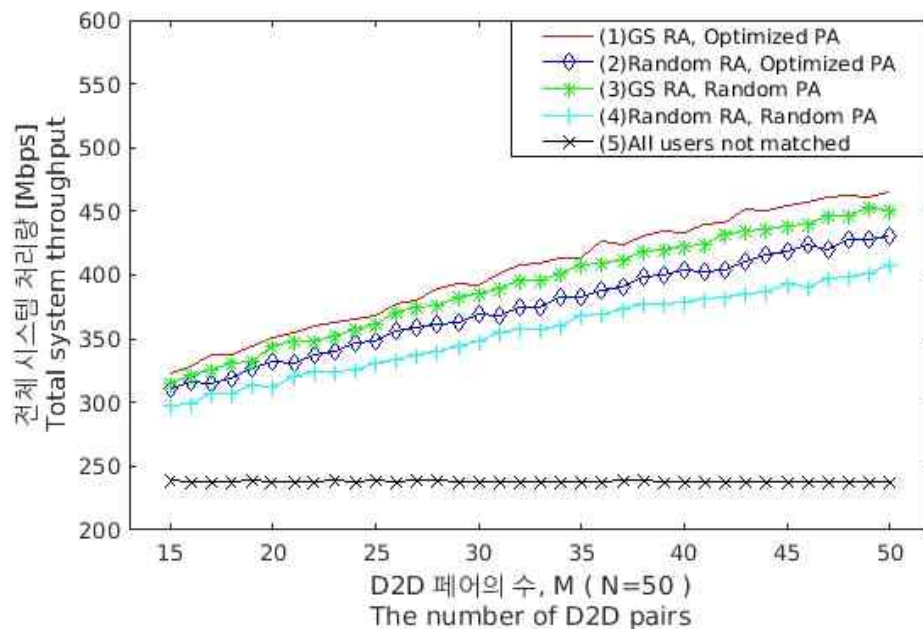
▶ Total system throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm

▶ Total D2D Tx throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm

▶ Total system throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

▶ Total cellular users throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

▶ Total D2D Tx throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm



- ▶ 어떠한 셀룰러 자원도 공유되지 않을 때의 총 시스템 처리량 : 약 239.40Mbps
- ▶ 각각의 자원할당 방식에 대해 전력할당 방식에 대한 시스템 처리량 차이
GS 알고리즘의 할당 방식 : 평균 11.31Mbps, 임의의 자원 할당 방식 : 평균 19.87Mbps
- ▶ 각각의 전력 할당 방식에 대한 자원 할당 방식에 따른 시스템 처리량 차이
최적화 전력 할당 방식 : 평균 28.29Mbps, 임의의 전력 할당 방식 : 37.05Mbps

04 실험 결과 및 분석



▶ Parameter table

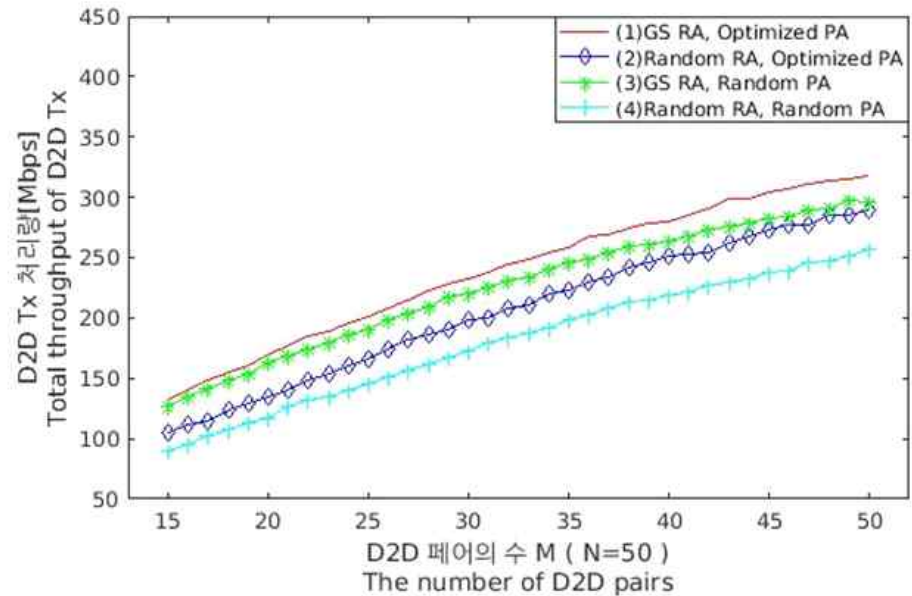
▶ Total system throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm

▶ Total D2D Tx throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm

▶ Total system throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

▶ Total cellular users throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

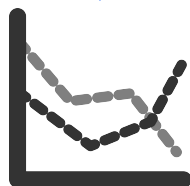
▶ Total D2D Tx throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm



- ▶ D2D Tx 처리량 차이의 폭은 자원 할당 방식에 따른 전력 할당 방식을 비교할 때, GS 알고리즘의 경우가 평균 13.89Mbps로 임의의 자원 할당 방식의 경우 25.23Mbps에 비해 더 낮게 측정되었음.
- ▶ 전력 할당 방식에 대하여 최적화 전력 할당 방식이 33.54Mbps, 임의의 자원 할당 방식의 경우 44.88Mbps로 더 높게 측정되었음.

04 실험 결과 및 분석

실험
결과
분석



▶ Parameter table

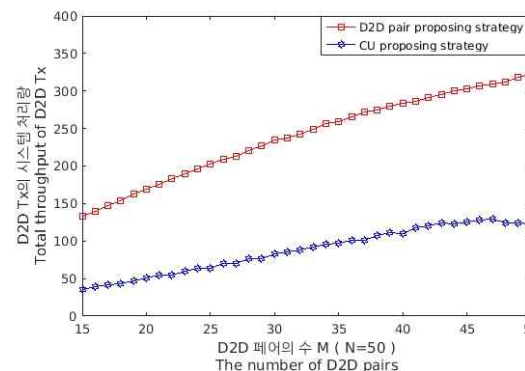
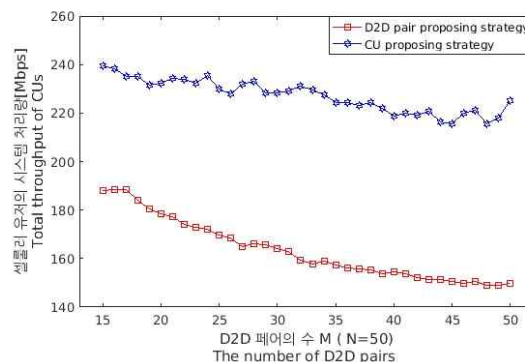
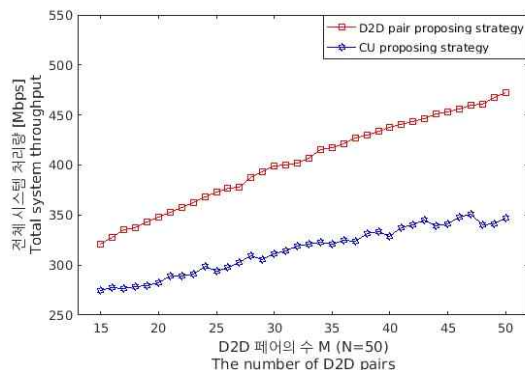
▶ Total system throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm

▶ Total D2D Tx throughput comparison by PA algorithm and RA algorithm

▶ Total system throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

▶ Total cellular users throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm

▶ Total D2D Tx throughput comparison by assigning proposing user in GS algorithm



- ▶ GS 알고리즘에 대한 D2D 유저 집단과 셀룰러 유저 집단에 대해 **프로포징 유저를 어떻게 지정하느냐에 따른 시스템 처리량**을 비교함.
- ▶ D2D 유저가 프로포징 유저가 되었을 때 최대 125.10Mbps의 시스템 처리량 차이가 남.
- ▶ 셀룰러 유저의 시스템 처리량 변화는 셀룰러 유저가 프로포징 유저가 되었을 경우 처리량의 감소폭이 더 낮음.
- ▶ D2D Tx의 처리량 증가폭은 D2D 유저가 프로포징 유저가 되었을 경우 더 높음.
- ▶ D2D 유저와 셀룰러 유저 두 집단간 **프로포징 유저가 최적의 매칭을 하며 프로포징을 받는 유저는 지정된 매칭 상황에 대해 최악의 매칭함을** 확인할 수 있음.
- ▶ 즉, 셀룰러 유저가 프로포징 유저가 된 경우 소유한 셀룰러 자원의 공유에 의한 손실을 줄이려 하며, D2D 유저가 프로포징 유저인 경우는 최적의 셀룰러 자원을 공유하여 처리량 값을 늘리려 함.
- ▶ D2D 유저가 프로포징 유저가 되었을 때, 전체 시스템 성능이 높아짐.

05

결론 및 참고 문헌

05 결론 및 참고 문헌

- 1 자원 할당에 대해 경제학 메커니즘의 적용 가능성 시사
- 2 실험 결과를 통해 D2D 유저가 프로포징할 때 전체 시스템 성능이 향상됨을 검증
- 3 유저 간 모빌리티 상황이 고려될 때 GS 알고리즘의 선택도에서 시변성을 어떻게 고려하는가에 대한 향후 연구 방향 제시

05 결론 및 참고 문헌

참고 문헌

- [1] Hwang, Insoo, Bongyong Song, and Samir S. Soliman. "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks." IEEE Communications Magazine 51.6 (2013): 20-27.
- [2] Popovski, P., et al. "ICT-317669-METIS/D1. 1 Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system." EU-Project METIS (ICT-317669), Deliverable (2013).
- [3] Yu, Guanding, et al. "Joint mode selection and resource allocation for device-to-device communications." IEEE Transactions on Communications 62.11 (2014): 3814-3824.
- [4] Zhang, Ning, et al. "Energy-efficient coverage scheme for relay-assisted D2D network." 6th International Conference on Wireless, Mobile and Multi-Media (ICWMMN 2015). IET, 2015.
- [5] Huang, Jianwei, and Lin Gao. "Wireless network pricing." Synthesis Lectures on Communication Networks 6.2 (2013): 1-176.
- [6] Bovet, Daniel Pierre, Pierluigi Crescenzi, and D. Bovet. Introduction to the Theory of Complexity. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.
- [7] Gjendemsjo, Anders, et al. "Optimal power allocation and scheduling for two-cell capacity maximization." 2006 4th international symposium on modeling and optimization in mobile, ad hoc and wireless networks. IEEE, 2006.
- [8] Gusfield, Dan, and Robert W. Irving. The stable marriage problem: structure and algorithms. MIT press, 1989.
- [9] Gale, David, and Lloyd S. Shapley. "College Admissions and the Stability of Marriage." The American Mathematical Monthly 120.5 (2013): 386-391.
- [10] Gale, David, and Marilda Sotomayor. "Some remarks on the stable matching problem." Discrete Applied Mathematics 11.3 (1985): 223-232.
- [11] Sotomayor, Marilda. "A non-constructive elementary proof of the existence of stable marriages." Games and Economic Behavior 13.1 (1996): 135-137.
- [12] McVitie, D. G., and Leslie B. Wilson. "Stable marriage assignment for unequal sets." BIT Numerical Mathematics 10.3 (1970): 295-309.

감사합니다.

Q&A
