

D2D Power Control in the Cellular System: Non Cooperative Game Theoretic Approach

Changyoon Oh*

Abstract

In this paper, we consider the game theoretic approach to investigate the transmit power optimization problem where D2D users share the uplink of the cellular system. Especially, we formulate the transmit power optimization problem as a non cooperative power control game. In the user wide sense, each user may try to select its transmit power level so as to maximize its utility in a selfish way. In the system wide, the transmit power levels of all users eventually converge to the unique point, called Nash Equilibrium. We first formulate the transmit power optimization problem as a non cooperative power control game. Next, we examine the existence of Nash Equilibrium. Finally, we present the numerical example that shows the convergence to the unique transmit power level.

▶ Keyword: D2D Communication, Game Theory, Power Control

I. Introduction

단말 간 직접통신 (D2D 통신)을 셀룰라 시스템에 적용하고자 하는 관련 연구가 활발하게 진행 중이다 [1-4]. 특히, 셀룰라 시스템의 상향링크 주파수 자원을 활용한 단말간 직접통신 (Device to Device(D2D) Communication) 관련 연구는 통신 표준 관점[1-2]과 알고리즘 관점[3-4]에서 연구가 진행되어 왔다. 많은 연구가 D2D 통신에 집중되고 있는데, 그 이유는 다음과 같은 장점에서 찾을 수 있다. 단말이 직접 목적지 단말에 데이터를 전송함에 따라, 기지국을 통해서 목적지 단말에 데이터를 전송함에 발생하는 두 번의 링크자원 소모를 절약할 수 있다. 특히, 송수신하는 단말이 서로 가까운 거리에 위치할 때, 송신과정에서 발생하는 전력소모량을 절약할 수 있다. 일례로, 두 단말이 기지국에서 멀리 떨어져 위치하는 경우, 즉 셀 가장 자리에 위치하고 있을 경우, D2D통신을 위한 별도의 주파수 자원의 할당 없이 셀룰라에서 사용하는 주파수 자원을 재사용하여 주파수 효율을 높여줄 수 있다. 본 연구에서는 D2D 통신이 셀룰라 통신이 사용하는 상향링크(Uplink) 자원을 공유(share)하는 환경에서, 비협력적 게임이론적 방법으로 D2D 단말들의 전송전력을 최적화하는 방안을 제안하도록 한다.

II. Preliminaries

1. Related works

셀룰라 시스템의 상향링크 주파수 자원을 재사용하여 D2D 전력 제어와 이에 따른 간섭 영향 연구가 진행되고 있다 [1-4]. [1]에서는 LTE 셀룰라시스템의 상향링크 제어채널을 D2D 탐색채널로 재사용하는 과정에서 간섭이 발생하며 이를 효율적으로 관리하기 위해서 전력제어 방안을 연구하였다. [2]에서는 LTE-Advanced 규격에서 D2D 통신의 적용과정을 Device discovery 관점에서 설명하고 있다. 특히, 셀룰라 링크와 주파수를 공유하는 과정에서 D2D 링크가 발생시키는 간섭영향을 자세히 다루고 있다. Fig. 1 은 D2D 링크와 셀룰라 링크가 주파수를 공유하여 운영하는 과정에서 링크간에 간섭영향을 주고 받는 상황을 도시하고 있다.



Fig. 1. Coexistence Scenario [2]

*First Author: Changyoon Oh, Corresponding Author: Changyoon Oh
*Changyoon Oh (changyoonoh@inhac.ac.kr), Dept. of Information & Communications Engineering, Inha Technical College.
• Received: 2018. 02. 05, Revised: 2018. 02. 13, Accepted: 2018. 03. 14.
• This work has been published in part in the Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, July 2017.

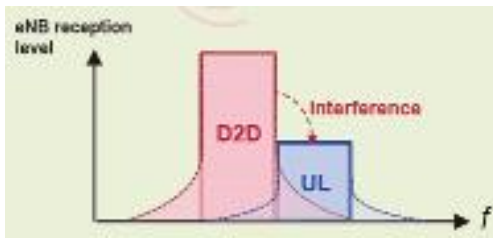


Fig. 2. Interference Level [2]

실선은 시그널을 나타내며, 점선은 간섭을 표시한다. D2D 링크에서의 송수신은 셀룰라링크에게는 간섭이며, 셀룰라링크에서의 송수신은 D2D 링크에게는 간섭이다. Fig. 2는 D2D 링크와 셀룰라 링크가 서로 인접한 주파수를 할당받아 운용하는 과정에서 인접한 주파수영역에 간섭영향을 주는 상황이다. 동일한 주파수가 아닌 인접한 주파수를 사용하여 링크를 운용하더라도 적은량의 간섭은 인접한 주파수 영역에 영향을 준다 [2]. [3]에서는 셀룰라 상향링크 자원을 재사용하는 과정에서 셀룰라 단말에게 영향을 주는 간섭을 제어하고자 하는 알고리즘을 설명하고 있다. 간섭 제어 기술은 크게 송신전력을 조절하는 전력제어[5], 수신신호를 제어하는 신호처리[6], 방향성 안테나를 사용하는 빔포밍[7] 등으로 구분할 수 있는데, [3]에서는 송신전력을 제어하는 방법을 제시하고 있다. [4]에서는 D2D 단말을 셀룰라 상향링크 자원을 공유하기 위한 실질적인 구현이슈를 설명하고 있다. 기지국이 단말들에게 주파수자원을 할당해주는 스케줄링(scheduling) [8]이 대표적인 구현이슈에 해당되는데, 통신사업자들은 통신표준규격에 제약을 받지 않고, 통신사업자 자체적인 스케줄러를 개발해 주파수자원 할당에 적용하고 있다. D2D 통신을 위하여 셀룰라 시스템의 상향링크 자원을 쓰는 것이 선호되는데, 이유는 다음과 같다. 첫째, 셀룰라 시스템에서는 하향링크 자원을 사용하는 빈도가 더 높다. 따라서, 사용빈도가 덜한 상향링크 자원을 D2D 통신으로 사용하게 되면, 주파수 효율을 높이는 데 효과적이다. 둘째, D2D 통신으로 인해 셀룰라 통신의 단말이 성능 저하 및 강한 간섭을 받아서는 안된다. D2D 단말이 상향링크 자원을 사용할 경우, 기지국이 D2D 통신의 제어가 용이하여, D2D 통신이 셀룰라 단말로의 간섭을 쉽게 제어할 수 있게 된다.

[9]에서는 제안하는 방안은 셀룰라 시스템의 상향링크 주파수 자원을 사용하는 D2D 단말간에서 on-off 전력제어 방안이다. 제안하는 방안은 간섭량을 효율적으로 제어할 수 있는 장점이 있는 반면, 단점으로 on-off 전력제어는 필요에 따라 전송을 중지하는 방식이기 때문에 실시간으로 데이터를 전송해야 하는 경우 on-off전력제어 방식 사용이 어렵다. [10]에서는 [9]에서의 문제를 해결하고자, 반복적 기법을 적용하여 단말들의 전송전력을 최적화하는 방법을 제안하였고, 반복적 기법의 수렴도를 실험을 통하여 확인하였다.

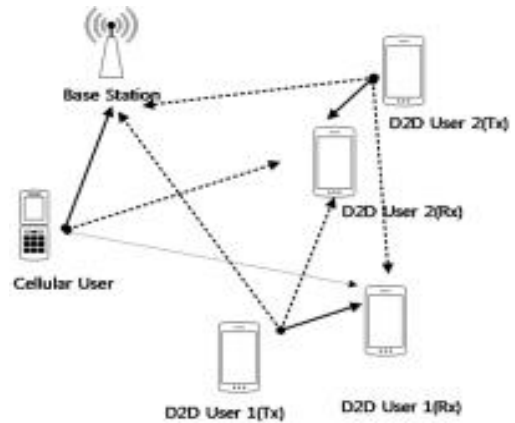


Fig. 3. System Model

본 논문에서는 셀룰라 단말뿐만이 아니라 상향링크 자원을 공유하고 있는 D2D 단말들의 전송전력 최적화 방안을 연구한다. 셀룰라 시스템에서 전송전력 최적화 문제를 게임이론적으로 접근하여 많은 연구가 진행되어져 왔다. 본논문에서는 셀룰라 시스템의 상향링크 주파수 자원을 공유하는 셀룰라 단말과 D2D 단말들의 전송전력을 최적화하고자, 게임 이론적[11-12]으로 접근하고자 한다. [11-12]에서는 CDMA 네트워크에서 게임이론을 적용하여 제안하는 power control game 문제가 나쉬 평형 (Nash Equilibrium)이 존재함을 증명하고 있다. 또한 이를 기반으로 하여 비협력적 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있다.

본 연구에서는 [10]에서 다루었던 동일한 문제를 게임이론적 관점에서 살펴보고자 한다. 구체적으로, 셀룰라 단말과 D2D 단말들이 셀룰라 시스템의 상향링크 자원을 공유하는 환경에서 전송전력 문제를 비협력적 게임이론으로 문제화하고, 알고리즘을 제안하고자 한다. 특히, 본 논문은 2017년 컴퓨터정보학회 하계학술대회에 발표되었던 내용 [13]을 확장 발표함을 일러둔다.

먼저, 각각의 단말에게 적용될 payoff function을 모델링한다. 특히, payoff function modeling에서는 각각의 단말의 실시간 전송요구사항인 SIR(Signal to Interference Ratio, 신호 대 간섭비)를 고려하여 반영하기로 한다. 모델링한 payoff function을 기반으로 비협력적 전송전력 게임을 정의한다. 제안하는 비협력적 전송전력게임에서는 각각의 단말은 오로지 자신의 payoff function만을 최적화하도록 전송전력을 선택하도록 한다. 또한, 정의한 비협력적 전송전력게임이 Nash Equilibrium 이 됨을 설명한다.

III. The Proposed Scheme

3.1 System Model

단일셀(Single Cell) 모델을 고려한다. 셀 내에는 두 가지 종류의 단말이 존재한다. 첫째, 기지국과 통신하는 셀룰라 단말

은 p_c 의 송신전력으로 기지국에 데이터를 전송하며, 셀룰라 단말과 기지국 사이의 채널이득은 g_{cB} 이다. 둘째, D2D 통신을 하는 i 번째 D2D 송신단말 D_i ($i=1,2,\dots$)은 p_{D_i} 의 송신전력으로 수신단말에게 데이터를 전송하며, i 번째 D2D 송신단말과 i 번째 D2D 수신단말 사이의 채널이득은 $g_{D_i D_i}$ 이다.

모든 단말은 셀룰라 상향링크 주파수 자원을 공유하여 사용하기 때문에 수신단에서 서로간에 간섭을 일으킨다. Figure 1.에서 신호는 실선으로 표시하고, 간섭은 점선으로 표시하였다.

셀룰라 단말의 수신단(기지국)에서의 신호대 간섭비는 수식 (1)과 같다.

$$SIR_c = \frac{p_c g_{cB}}{\sum_l p_{D_l} g_{DB} + N} \quad (1)$$

셀룰라 단말은 l 번째 D2D 단말이 p_{D_l} 로 송신한 전력으로부터 수신단인 기지국에서 $p_{D_l} g_{DB}$ 만큼의 간섭을 받게 된다.

k 번째 D2D 단말의 수신단(k 번째 D2D 수신단말)에서의 신호대 간섭비는 수식 (2)와 같다.

$$SIR_{D_k} = \frac{p_{D_k} g_{D_k D_k}}{p_c g_{cD_k} + \sum_{l \neq k} p_{D_l} g_{D_l D_k} + N} \quad (2)$$

k 번째 D2D 단말은 l 번째 D2D 단말($l \neq k$)이

p_{D_l} 로 송신한 전력으로부터 수신단에서 $p_{D_l} g_{D_l D_k}$ 만큼의 간섭을 받으며, 셀룰라 단말이 p_c 로 송신한 전력으로부터 수신단에서 $p_c g_{cD_k}$ 만큼의 간섭을 받는다.

본 논문의 목적은 각 단말들에게 요구되는 신호대 간섭비(SIR)를 만족하면서 셀룰라 단말과 D2D 단말의 전송전력의 합을 최소화하는 것이다.

$$\min [p_c + \sum_{k=1}^K p_{D_k}] \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \frac{p_c g_{cB}}{\sum_l p_{D_l} g_{DB} + N} \geq Req_SIR_c \quad (4)$$

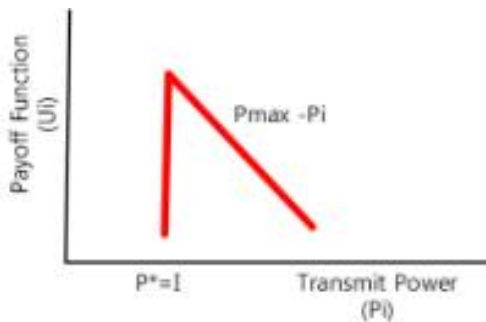


Fig. 4. Payoff function

$$\text{s.t. } \frac{p_{D_k} g_{D_k D_k}}{p_c g_{cD_k} + \sum_{l \neq k} p_{D_l} g_{D_l D_k} + N} \geq Req_SIR_{D_k} \quad (5)$$

$Req_SIR_c, Req_SIR_{D_k}$ 는 각각 셀룰라 송신 단말의 수신단에서 요구되는 신호대 간섭비, k 번째 D2D 송신단말의 수신단에서의 요구되는 신호대 간섭비를 나타낸다. N ($N > 0$)는 열 잡음이다.

수식 3에서의 전송전력 최적화 문제를 비협력적 게임을 정의하여 문제를 해결하고자 한다. 이를 위해 먼저 본 논문에서 적용하게 될 Payoff Function 모델링이 필요하다.

3.2 Payoff Function Modeling

각각의 단말 i 는 SIR 요구사항을 만족하면서 최소의 전송전력을 사용하고자 할 것이다. 따라서, Payoff Function Modeling 시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

1) SIR 요구사항을 만족하지 못할 경우, 단말 i 의 payoff function 인 $u_i = 0$.

2) SIR 요구사항을 만족할 경우, 전송전력 범위 내에서 단말 i 의 payoff function 은 $u_i \geq 0$. 특히, 전송 전력값의 증가에 따라 u_i 값이 감소함.

요구사항 1)에 대한 근거는 다음과 같다. 단말 입장에서 SIR 요구사항을 만족하지 못하면 데이터 수신이 안되기 때문에 단말의 만족도는 가장 낮으며, $u_i = 0$ 이 되어야 한다. 요구사항 2)에 대한 근거는 다음과 같다. SIR 요구사항을 만족할 경우, SIR 값의 크기에 상관없이 데이터 수신이 된다. 단말 입장에서는 배터리 용량이 제한적이기 때문에, 사용하는 전송전력이 작을수록 만족도는 높아진다. 즉, 전송전력값이 증가할수록 u_i 의 값은 작아져야 한다.

위에서 언급한 고려사항 1), 2)를 만족하는 다양한 payoff function 이 존재할 수 있다. 하지만, 이들 중에서 단말 i 의 전송전력값의 증가에 따라 1차 함수적으로 단말 i 의 payoff function 인 u_i 가 감소하도록 정의하였다. 정의한 payoff function 은 수식 (6)과 같다.

$$u_i = p_{\max} - p_i \quad (SIR_i \geq ReqSIR_i) \\ = 0 \quad (SIR_i < ReqSIR_i) \quad (6)$$

Fig. 4.는 수식 6에서의 payoff function을 보여주고 있다. 단말 i 이 SIR 요구사항을 만족하지 못할 경우 단말 i 의 payoff function 은 $u_i = 0$ 이 되며, SIR 요구사항을 만족할 경

우 단말 i 의 payoff function은 전송전력의 증가에 따라 1차 함수적으로 감소하는 형태를 가지게 되는 즉, $u_i = p_{\max} - p_i$ 을 따른다.

3.3 Non Cooperative Power Game Problem

Formulation

비협력적 게임에서는 각각의 단말은 오로지 자기 자신의 payoff function 만을 최적화하도록 전송 전력값을 결정한다. 먼저 비협력적 전송전력 게임(Non Cooperative Game)을 정의하기로 한다.

$$G = [N, P_i, u_i] \quad (7)$$

여기서, N, P_i, u_i 은 각각 게임에 참여하는 Player set, strategy set, payoff function 이다. 즉, $N = [c, DL, \dots, DK]$, $p_i = [0, p_{\max}]$, 이다.

비협력적 전력 게임 (NPG)을 수식화 하면 다음과 같다.

$$\max u_i(p_i) \text{ for all } i \in [c, DL, \dots, DK] \quad (8)$$

수식 8에서 각각의 단말 i 는 자신의 payoff function 이 최대가 되도록 전송전력 p_i 를 선택하게 된다.

특히, 단말의 payoff function 이 최대가 되는 전송전력값은 수식 4,5 이 등호가 성립되는 전송전력값이다.

$$p_c = \text{Req_SIR}_c \frac{\sum_l p_{Dl} g_{lB} + N}{g_{cB}} \quad (9)$$

$$p_{Dk} = \text{Req_SIR}_{Dk} \frac{p_c g_{cB} + \sum_{l \neq k} p_{Dl} g_{lDk} + N}{g_{DkDk}} \quad (10)$$

여기서, 단말 i 가 셀룰라 단말인 경우에는 수식 9을 따르고, D2D 단말인 경우 수식 10을 따른다. 즉, 각각의 단말은 자신의 payoff function을 최대가 되도록 수식 9 또는 10와 같이 전송전력값을 선택하게 된다. 특히, 수식 9,10에서 오른쪽 항을 간섭함수(Interference Function)라고 정의한다.

$$I_c(P_D) = \text{Req_SIR}_c \frac{\sum_l p_{Dl} g_{lB} + N}{g_{cB}} \quad (11)$$

$$I_{Dk}(p_c, P_D) = \text{Req_SIR}_{Dk} \frac{p_c g_{cB} + \sum_{l \neq k} p_{Dl} g_{lDk} + N}{g_{DkDk}} \quad (12)$$

정리하면, 단말 i 가 payoff function u_i 를 최적화하기 위해 선택하게 되는 전송 전력은 수식 13,14 와 같다.

$$p_c = I_c(P_c, P_D) \quad (13)$$

$$p_{Dk} = I_{Dk}(P_c, P_D) \quad (14)$$

3.4 Nash Equilibrium

Definition 1 [11] 모든 단말 j 에 대하여 $u_j(p_j) \geq u_j(\bar{p}_j)$ 일 경우, p_j 으로 구성된 전송전력벡터 P 는 NPG 인 $G = [N, P, u_i]$ (수식 6)의 Nash Equilibrium 이다.

여기서, $P = (p_c, p_{DL}, \dots, p_{DK})$ 는 각 단말들의 전송전력으로 구성된 전송전력벡터를 나타낸다.

Nash Equilibrium 에서는 다른 단말들의 전송전력값들이 변하지 않는 한, 단말 j 는 자신의 전송전력인 p_j 를 변경하여 payoff function을 증가시킬 수 없다. 즉, 상대 단말들이 선택한 전송전력값에 대하여 단말 j 의 최적의 대응(best response)는 p_j 이며, 이 때 payoff function 은 $u_j(p_j)$ 이 된다. 특히, 수식 6에서의 best response 는 수식 13, 14와 같다.

Proposition 1. 수식 6에서의 NPG 은 유일한(unique) 나쉬 평형(Nash Equilibrium)이 존재한다.

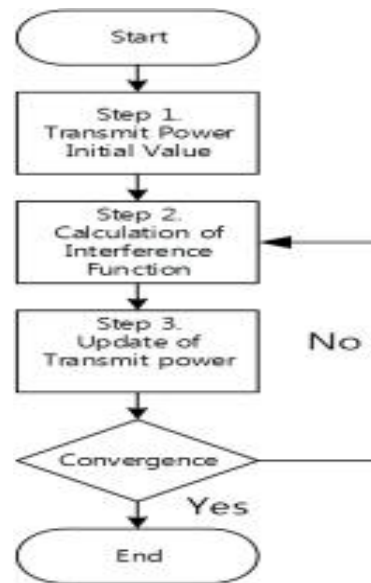


Fig. 5. Flow of Power Control Algorithm

[12,14]에 의하면 best response (수식 13,14)가 다음 3가지 조건을 만족하면 유일한(unique) 나쉬평형이 존재한다.

- 조건 1. Positivity $I(P) > 0$
- 조건 2. Monotonicity If $P \geq \bar{P}$, then $I(P) \geq I(\bar{P})$
- 조건 3. Scalability For all $\alpha > 1$, $\alpha I(P) > I(\alpha P)$

[10]에서는 수식 13, 14이 위의 세가지 조건을 모두 만족함을 증명하였으며, 상세한 증명없이 그 결과만을 정리하기로 한다.

Proposition 1. 간섭함수인 수식 11, 12은 Positivity 를 만족한다. 즉, $I_c(P_D) > 0$ 이다. [10]

Proposition 2. 간섭함수인 수식 11, 12은 Monotonicity를 만족한다. 즉, If $P \geq \bar{P}$, then $I(P) \geq I(\bar{P})$. [10]

Proposition 3. 간섭함수인 수식 11, 12은 Scalability를 만족한다. 즉, For all $\alpha > 1$, $\alpha I(P) > I(\alpha P)$. [10]

따라서, 수식 6에서의 NPG 은 unique Nash Equilibrium 이 존재한다.

Proposition 1 에 의하여 본 논문이 고려하는 비협력적 게임 (수식 6)은 각각의 단말 j 가 오로지 단말 자신의 payoff function 인 u_j 를 최적화 하도록 전송전력값을 p_j 를 best response 에 해당하는 수식 13,14로 선택하기만 하고, 이 과정을 모든 단말에 걸쳐 반복적으로 수행하면 unique 한 power vector 인 P 에 수렴하게 됨을 의미한다.

3.5 Algorithm for Non Cooperative Game

Step 1. 전송전력벡터 초기값 설정

예) $P = (0, 0, \dots, 0)$

Step 2. 간섭함수 값 계산(수식 11,12): P 값을 기반으로 각각의 단말은 간섭함수값 계산

Step 3. 전송전력값 업데이트(수식13,14): Step 2의 간섭함수 값을 기반으로 새로운 전송전력 벡터 값 업데이트

Step 4. Step 2 와 Step 3를 반복

Step 1.에서 전송전력 초기값은 임의의 값으로 설정해도 좋다. 즉, 단말의 전송전력 최대값으로 설정해도 제안하는 알고리즘은 최적화된 전송전력값으로 수렴하게 된다. 본 논문에서는 $P = (0, 0, \dots, 0)$ 을 전송전력 초기값으로 사용하기로 한다.

Step 2.에서 각 단말들의 전송전력 초기값이 정해지면, 이를 기반으로 각 단말들이 받게 될 간섭량인 간섭함수를 계산해야 한다. 각 단말의 간섭함수는 자기 자신을 제외한 다른 단말들의 전송전력의 함수이며, 정해진 전송전력 벡터값으로부터 계산이 가능하다.

Step 3.에서 각 단말들의 간섭함수값이 결정되면, 이를 기반으로 각 단말들은 전송전력값을 업데이트 한다. 각 단말들은 간섭함수와 동일한 값을 전송전력값으로 선택한다.

Step.2 와 Step. 3 의 과정은 전송전력값이 수렴할 때까지 반복한다.

3.6 Numerical Examples

인접셀 간섭과 열잡음을 포함한 간섭은 $N = 10^{-12}$ 이며, 셀룰라 단말의 요구 SIR과 D2D 단말의 요구 SIR 은 각각 $Req_SIR_{ci} = 7$, $Req_SIR_{Dk} = 7$ 이다. 송신기와 수신기 사이의 채널 이득은 $\frac{r}{d^4}$

이며, 여기서 r 은 variance 8dB 를 가지는 log normal fading 이며, d 는 송신기와 수신기 사이의 거리이다.

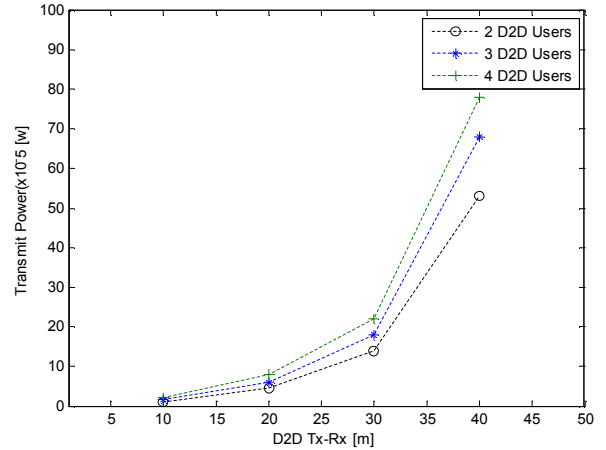


Fig. 6. Transmit power consumption

Fig. 6. 는 하나의 셀 내에 D2D 송신 수신 단말쌍의 증가와 전송전력량의 증가를 알아보기 위한 실험이다. 먼저, 2개의 D2D 송수신 쌍을 D2D 송신단말과 수신 단말간 거리를 10미터에서 40미터로 증가해 가면서 전송전력값을 얻었다. 전송전력값은 1000 번의 실험결과를 평균한 값이다. D2D 송신단말과 D2D 수신단말 사이의 거리가 증가할수록 필요한 전송전력값은 기하급수적으로 증가한다. 이는 사용하는 채널모델이 송수신 단말 사이의 거리 증가에 따라 그 값이 기하급수적으로 감소하기 때문이다. 다음은 D2D 송수신 단말쌍의 수를 3개,4개로 증가하는 경우 필요한 전송전력값을 실험해 보았다. D2D 송수신단말쌍이 증가할수록 필요한 전송전력값은 증가하였다. 이는 하나의 셀내에서 셀룰라링크 상향 링크 자원을 공유하는 단말들의 숫자가 증가함으로 단말들간의 간섭량이 증가하고, 이로인해 증가한 간섭량을 상쇄하기 위해 필요한 전송전력량이 증가하기 때문이다.

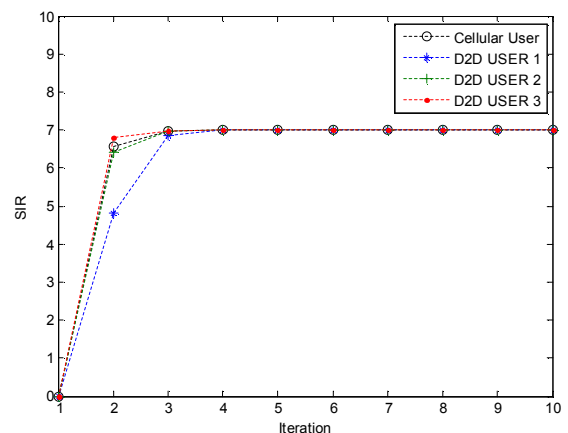


Fig. 7. SIR Convergence

Fig. 7. 하나의 셀룰라 단말과 세 개의 D2D 단말이 전송하는 시나리오에서 요구하는 SIR 값을 동일하게 $Req_SIR_{ci} = 7$

로 설정하였을 때의 비협력적 알고리즘의 수렴도를 실험해 보았다. 가로축은 제안하는 알고리즘의 반복횟수이며, 세로축은 단말들의 신호대 간섭비(SIR)를 나타낸다. 5번 이하의 반복과정을 거친 후, SIR 값은 수렴함을 알 수 있다. 즉, 5번 이하의 반복과정에서 전력값이 수렴함을 의미한다.

IV. Conclusions

본 연구에서는 D2D 통신이 셀룰라 통신이 사용하는 상향링크(Uplink) 자원을 공유(share) 하는 환경에서, 비협력적 전송 전력 게임을 통하여 D2D 단말들의 전송전력을 최적화하였다.

D2D 단말간의 상호 협력없이 모든 D2D 단말들의 전송전력이 유일한 수렴점에 도달하는 Nash Equilibrium 이 존재함을 수식적으로 표현하였으며, 실험 예제를 통하여 확인하였다. 특히, 이러한 전송전력의 수렴은 대부분의 실험환경 조건에서 5 회이하에서 수렴함을 확인하였다. 하나의 셀내에서 셀룰라 상향링크 자원을 셀룰라 단말과 D2D 단말이 공유하기 때문에 단말들 간의 간섭량은 증가하게 된다. 요구하는 SIR 값을 만족하기 위해서는 증가된 간섭량을 상쇄하기 위해서 모든 단말들은 전송전력량을 증가하여야 한다. 따라서, D2D 송수신 단말쌍이 증가할수록 전송전력량은 증가하게 된다. 하지만, D2D 송수신 단말쌍의 증가는 지속적으로 간섭량의 증가를 가져오기 때문에 셀룰라 상향링크 자원을 공유하는 D2D 송수신 단말쌍을 증가할 수 있는 한계 숫자는 존재한다. 향후에는 D2D 단말쌍과 전송전력간의 관계를 연구하고자 한다.

REFERENCES

- [1] E. Sree Harsha, "LTE-Advanced Cellular Networks for D2D Communications," International Journal of Scientific Engineering and Technology Research," August 2014.
- [2] S. Yasukawa, "D2D Communications in LTE Advanced Release 12," NTT DOCOMO Technical Journal vol. 17, no. 2.
- [3] N. Lee, X. Lin, J. Andrews, and R.W. Heath, "Power Control for D2D Underlaid Cellular Networks: Modeling, Algorithms and Analysis," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 33, no. 1, pp 1-13, Jan. 2015.
- [4] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Mikand Z. Turnyi, "Design aspects of network assisted device-to-device communications," IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 3, pp. 170-177, March 2012.
- [5] Keysight Technologies, "Performing LTE and LTE-Advanced RF Measurements with the E7515A UXM Wireless Test Set," Application Note, Keysight Technologies, March 2015.
- [6] N. Mahmud, "Vulnerabilities of LTE and LTE-Advanced Communication," White Paper, Rohde Schwarz, July 2014.
- [7] B. Schulz, "LTE Transmission Modes and Beamforming," White Paper, Rohde Schwarz, July 2015.
- [8] D. Singh, "Radio Resource Scheduling in 3GPP LTE: A Review," International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), vol. 4, Issue 6, June 2013.
- [9] N. Lee, X. Lin, J. Andrews, and R.W. Heath, "Power Control for D2D Underlaid Cellular Networks: Modeling, Algorithms and Analysis," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 33, no. 1, pp 1-13, Jan. 2015.
- [10] C. Oh, "D2D Power Control in the Cellular System: Iterative Algorithm and Convergence," Journal of the Korea Society of Computer and Information vol.22, no. 9, pp. 41-47, September 2017.
- [11] Xiao, N.B. Shroff, and E.K.P. Chong. "A utility-based power-control scheme in wireless cellular systems," IEEE/ACM Transactions on Networking, 11:210-221, April 2003.
- [12] F. Meshkati, et al. "A game-theoretic approach to energy-efficient power control in multicarrier CDMA systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, no.6, June 2006.
- [13] C. Oh, "D2D power control in the cellular system: non cooperative game theoretic approach," Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, vol 25, no 2, 114-115, July 2017.
- [14] R. Yates, "A framework for uplink power control in cellular radio systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications 13(7):1341 - 1347 October 1995.

Authors



Changyoon Oh received the B.S. degree in Electrical Engineering from Yonsei University, Korea in 1999 and M.S. and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Pennsylvania State University, U.S.A in 2001, 2005, respectively. Dr. Oh

joined the faculty of the Department of Information & Communications Engineering at Inha Technical College, Incheon, Korea in 2011. He is currently an associate Professor in the Department of Information & Communications Engineering at Inha Technical College. He is interested in Physical Layer Issue and wireless standard.