Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 22 No. 8, pp. 41-46, August 2017
www.ksci.re.kr
https://doi.org/10.9708/jksci.2017.22.08.041

Energy D2D Tx-Rx assignment in the Cellular System

Changyoon Oh*

Abstract

In this paper, we investigate the D2D Transmitter(Tx) and Receiver(Rx) pair assignment problem in the cellular system where D2D users share the uplink resource of the cellular system. Sharing the uplink resource of the cellular system may cause interference to the cellular system, though it is beneficial to improve the D2D user Capacity. Therefore, to protect the cellular users, D2D transmit power should be carefully controlled. In this work, we focus on optimal Tx-Rx assignment in such a way that the total transmit power of users is minimized. First, we consider the optimum Tx-Rx assignment in general and the corresponding complexity. Then, we propose an iterative D2D Tx-Rx assignment algorithm with low complexity that can minimize total transmit power of users. Finally, we present the numerical examples that show the complexity and the convergence to the unique transmit power level.

▸Keyword: D2D, assignment, Power Control, Iterative Algorithm

I. Introduction

셀룰라 시스템 상향링크 자원을 활용한 단말 간 직접통신(Device to Device(D2D) Communication)을 하도록 하는 관련 연구는 통신표준 관점 [1-2]과 알고리즘 및 설계관점에서 진행되어 왔다 [3-4]. D2D 통신에 많은 연구가 집중되는 이유는 D2D를 적용함에 따른 다음과 같은 장점에서 찾을 수 있다. 첫째, 단말이 직접 목적지 단말에 데이터를 전송함에 따라, 기지국을 통해서 목적지 단말에 데이터를 전송함에 발생하는 두 번의 링크자원 소모를 절약할 수 있다. 둘째, 송수신하는 단말이 서로 가까운 거리에 위치할 때, 송신과정에서 발생하는 전력소모량을 절약할 수 있다. 셋째, 단말이 기지국에서 멀리 떨어져 위치하는 경우, 즉 셀 가장자리에 위치하고 있을 경우, D2D 통신을 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, 단말들의 전송전력 최적화를 위하여 송신단말과 수신단말 할당 기법을 제안하도록 한다.

II. Preliminaries

1. Related works

D2D 통신이 셀룰라 시스템의 상향링크 주파수 자원을 재사용하여 전력제어와 이에 따른 간섭 영향 연구가 진행되고 있다 [1-3]. [1] 에서는 LTE 셀룰라시스템의 상향링크 제어채널에서 D2D 탐색채널을 재사용하는 과정에서 발생되는 간섭을 효율적으로 관리하고자 하는 전력제어 방안을 연구하였다. [2]에서는 D2D 통신이 LTE-Advanced 규격에서 어떻게 적용되어 있는지 Device discovery 관점에서 설명하고 있다. [3]에서는 셀룰라 상향링크 자원을 재사용하는 과정에서 셀룰라 단말에게 영향을 주는 간섭을 제어하고자 하는 알고리즘적 기술을 설명하고 있다. [4]에서는 D2D 단말을 셀룰라 상향링크 자원을 공유하도록 하는 실질적인 구현입장에서 구현이슈를 설명하고 있다. D2D 통신을 위하여 셀룰라 시스템의 상향링크 자원을 쓰는 것이 선호되는데, 이유는 다음과 같은 근거에서 찾을 수 있다. 첫째, 셀룰라 시스템에서는 하향링크 자원을 사용하는 빈도가 더 높다. 따라서, 사용빈도가 덜한 상향링크 자원을 D2D 통신

• First Author: Changyoon Oh, Corresponding Author: Changyoon Oh
*Changyoon Oh (changyoonoh@inhatc.ac.kr), Dept. of Information & Communications Engineering, Inha Technical College
• Received: 2017. 04. 20, Revised: 2017. 06. 09, Accepted: 2017. 07. 31.

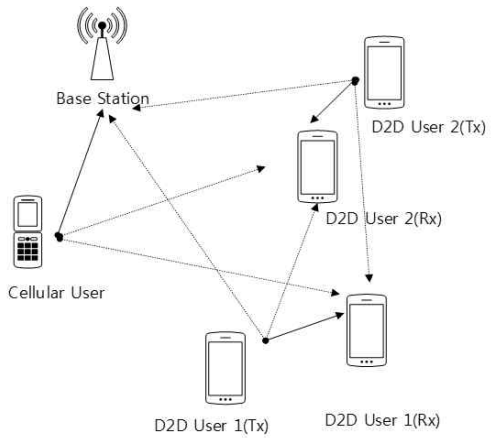

Fig. 1. System Model

으로 사용하게 되면, 주파수 효율을 높일 수 있다. 둘째, D2D 통신으로 인해 셀룰라 통신의 단말이 성능 저하 및 강한 간섭을 받아서는 안된다는 점이다. D2D 단말이 상향링크 자원을 사용할 경우, 기지국이 D2D 통신의 제어가 용이하여, D2D 통신이 셀룰라 단말로의 간섭을 용이하게 제어할 수 있게 된다.

셀룰라 시스템에서는 초기 단말이 네트워크 접속시 다수개의 기지국 중에서 단말이 접속할 기지국을 선택하는 cell selection 과정을 거치게 되며, 또는 이동중에 기지국을 변경 선택하는 핸드오프(Handoff) 과정을 진행한다. 이는 기본적으로 전송전력을 최적화하여 단말 자신의 전송전력 소모를 줄이는 한편, 네트워크 입장에서는 전체적인 간섭량을 줄이고자 함이다.

본 논문에서는 전송전력 최적화를 위하여 송신 단말과 수신 단말을 할당하는 방향으로 접근하고자 한다. 현재의 D2D 통신 분야에서 전송전력 최적화를 위한 연구는 기지국이 이미 통신하게 될 D2D 송신 단말과 D2D 수신 단말을 결정한 상태에서, 최적의 채널할당 문제를 위한 해법을 다루고 있다 [5].

특정한 시나리오에서, 일예로, 스마트그리드 응용 분야에서 D2D 송신단말은 전력사용량을 다수개의 D2D 수신단말중 하나의 D2D 수신단말에 전송하기만 하면 된다. 즉, 송신 단말과 수신단말이 이미 정해진 것이 아니라, 송신단말 그룹에 속한 하나의 D2D 단말은 수신단말 그룹 중 하나의 단말을 선택해서 데이터를 전송하면 된다. 따라서, D2D 단말을 송신단말그룹으과 수신단말 그룹으로 구분하고, 전송전력 관점에서 송신단말과 수신단말을 효율적으로 pairing 하도록 할 수만 있다면, 전체 단말의 전송전력을 최적화하는데 효율적일 것이다.

[6]에서는 셀룰라시스템에서 다수개의 기지국과 다수개의 단말이 있을 때, 단말들의 전송전력을 최적화 하기 위하여 어떻게 기지국과 단말을 paring 하여야 하는지를 반복적 기법을 적용하고 있다. 본 논문에서는 [6]에 적용된 방법을 D2D Tx-Rx pairing 에 적용하고자 한다. 구체적으로, 셀룰라 단말과 D2D 단말이 셀룰라 시스템의 상향링크 자원을 공유하는 환경에서 단말들의 전송전력 문제를 송신단말과 수신단말 쌍을 선택하는 문제로 접근하여 전송전력 문제를 고찰하고자 한다. 특히, 일반적인 최적화 문제의 해법을 설명하고, 복잡도를 완화하면서 전송전력 최적화할 수 있는 반복 알고리즘(Iterative Algorithm)을 제안하도록 한다.

III. The Proposed Scheme

3.1. System Model and Problem Formulation

단일셀(Single Cell) 모델을 고려한다. 셀 내에는 세가지 종류의 단말이 존재한다. 기지국과 통신하는 하나의 셀룰라 단말과 K 개의 D2D transmitter 와 M개의 D2D receiver 가 존재하며, 각각의 D2D transmitter 는 M개의 D2D receiver 중 한 개를 선택하여 전송할 수 있다. 이 때, i 번째 D2D transmitter 가 선택한 D2D receiver를 $a(i)$ 라고 정의하고, 이렇게 정의된 각각의 K 개의 D2D receiver를 하나의 벡터로 다음과 같이 정의한다.

$$a(i) \in (1,2,..,M) \tag{1.1}$$

$$a = [a(1),...,a(K)] \tag{1.2}$$

i 번째 D2D transmitter 에서의 전송전력과 수신단말 $a(i)$ 까지의 채널이득을 각각 p_i $h_{ia(i)}$ 라고 정의한다. 셀룰라 단말의 전송전력과 수신단인 기지국 사이의 채널이득을 각각 p_c h_c로 정의한다. i 번째 D2D transmitter 의 전송신호에 대한 수신단 D2D Receiver $a(i)$ 에서의 신호대 간섭비 SIR(Signal to Interference Ratio)는 다음과 같다.

$$SIR_{a(i)} = \frac{p_i h_{ia(i)}}{p_c h_{ca(i)} + \sum_{j \neq i} p_j h_{ja(i)} + N} \tag{2}$$

여기서, N는 열잡음을 포함한 간섭이다.

$h_{ca(i)}$, $h_{ja(i)}$는 각각 셀룰라 단말에서 D2D 수신단말 $a(i)$까지의 채널이득, j번째 D2D transmitter에서 D2D 수신단말 $a(i)$까지의 채널이득이다.

또한, 셀룰라 단말의 기지국에서의 신호대 간섭비는 다음과 같다.

$$SIR_c = \frac{p_c h_c}{\sum_{j=1}^{K} p_j g_{jc} + N} \tag{3}$$

h_{jc} 는 j번째 D2D transmitter에서 기지국까지의 채널이득이다.

본 논문에서 고려하는 최적화 문제는 각각의 D2D 단말이 요구하는 신호대 간섭비를 만족하도록 하면서 모든 D2D 단말의 전송전력의 합을 최적화하도록 $a=[a(1),...,a(M)]$를 선택하고, 이 때의 전송 전력벡터 $P=[p_c,p_1,...,p_K]$을 구하는 것이다. 이를 수식화 하면 다음과 같다.

$$\min p_c+\sum_{i=1}^{K}p_i \tag{4}$$

$$s.t.\ SIR_{a(i)}=\frac{p_i h_{ia(i)}}{p_c h_{ca(i)}+\sum_{j\neq i}p_j h_{ja(i)}+n} \geq \gamma_i \tag{5}$$

$$s.t.\ SIR_c=\frac{p_c h_c}{\sum_{j=1}^{K}p_j h_{jc}+n} \geq \gamma_c \tag{6}$$

$$a(i)\in[1,2,...,M] \tag{7}$$

γ_c, γ_i 는 각각 셀룰라 송신 단말의 수신단인 기지국에서 요구되는 신호대 간섭비, i번째 D2D 송신단말의 수신단에서의 요구되는 신호대 간섭비를 나타낸다.

3.2 Optimum Solution for a Fixed Assignment

$i\ (1\leq i\leq K)$ 번째 D2D transmitter 가 선택한 D2D receiver가 $a(i)$로 선택되었을 때, 수신 단말 벡터를 $l=[a(1),a(2),...a(K)]$라고 정의한다. 선택된 수신 단말벡터 l에 대하여, 수식 (5),(6)를 만족하는 수식 (4)의 최적화 해법을 살펴보도록 한다.

수식 (5),(6)을 하나의 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P\geq H^l P+N^l \tag{8}$$

여기서,

$$P=[p_c,p_1,...,p_K] \tag{9}$$

$$N^l=[\frac{n}{h_c},\frac{n}{h_{1a(1)}},.....,\frac{n}{h_{Ka(K)}}]^T \tag{10}$$

$$H^l=\begin{bmatrix} H_0 \\ H_1^l \\ . \\ . \\ H_K^l \end{bmatrix} \tag{11}$$

셀룰라 단말의 수신단은 항상 기지국 이므로, 동일한 H_0 값을 갖는다. 구체적으로,

$$H_0=[0,\frac{\gamma_c h_{1c}}{h_c},\frac{\gamma_c h_{2c}}{h_c},...,\frac{\gamma_c h_{Kc}}{h_c}] \tag{12}$$

$$H_1^l=[\frac{\gamma_1 h_{ca(1)}}{h_{1a(1)}},0,\frac{\gamma_1 h_{2a(1)}}{h_{1a(1)}},...,\frac{\gamma_1 h_{Ka(1)}}{h_{1a(1)}}]$$

$$H_2^l=[\frac{\gamma_2 h_{ca(2)}}{h_{2a(2)}},\frac{\gamma_2 h_{1a(2)}}{h_{2a(2)}},0,...,\frac{\gamma_2 h_{Ka(2)}}{h_{2a(2)}}]$$

....

$$H_K^l=[\frac{\gamma_K h_{ca(K)}}{h_{Ka(K)}},\frac{\gamma_K h_{1a(K)}}{h_{Ka(K)}},\frac{\gamma_K h_{(K-1)a(K)}}{h_{Ka(K)}},0]$$

각각의 단말에 대하여 수식 (5)(6)을 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$p_i \geq H_i^l P+N^l \tag{13}$$

$$p_c \geq H_0 P+N^l \tag{14}$$

특히, 최적화 해법은 각각의 단말에 대하여 수식 (5)(6)이 등호가 성립될 때이다. 즉, 행렬식으로 표현한 수식 (13),(14) 이 등호가 성립할 때이며, 다음과 같다.

$$P=H^l P+N^l \tag{15}$$

선택된 수신 단말벡터 l에 대하여, 수식 (4)의 최적화 해법은 역행렬을 이용하여 얻을 수 있으며, 다음과 같다.

$$P=[I-H^l]^{-1}N^l \tag{16}$$

수식 (16) 에 대한 최적화 해법은, $[I-H^l]$ 의 Perron Frobenius eigenvalue 값이 1보다 작을 경우, 항상 존재한다. [7]

3.3 Optimum Solution in General

각각의 D2D transmitter는 M 개의 D2D Receiver 중에서 하나를 자신의 수신단말로 선택할 수 있다. 따라서, K 개 각각의 전송단말이 M개의 수신단말중 하나를 선택하여 만들 수 있는 수신단말 벡터 $l=[a(1),a(2),...a(K)]$ 의 갯수는 모두 M^K 개가 존재한다.

따라서, 수식 (4)에 대한 최적화 방법은 M^K 개의 수신단말 벡터 $l=[a(1),a(2),...a(K)]$에 대하여 수식 (16)를 적용하고, 이렇게 계산된 M^K 개의 결과값 중에서 최소의 전송전력값을 갖는 수신단말 벡터 값을 선택하는 것이다. 하지만, 이러한 방법은 전송단말 K, 또는 수신단말 M이 증가함에 따라 그 복잡도가 기하급수적으로 증가하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 복잡도를 줄이면서 수식 (4)를 최적화할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

3.4 Proposed Algorithm for Optimum D2D Assignment

먼저 제안하는 Iterative Algorithm은 다음과 같다.

Step 1. 시작 전송전력 벡터 $P(n)$ 와 시작 D2D수신단말벡터 $T(n)$선정

$P(n=0)=[p_c(0),p_1(0),...,p_K(0)]$

$T(n=0)=[a(1),a(2),...a(K)]$

여기서, 시작값 전송전력 벡터 $P(n=0)$은 임의의 값이 가능하다. 예, $P(n=0)=[0,0,...,0]$. 시작 D2D 수신단말 벡터 $T(n=0)$는 임의의 값이 가능하다.

Step 2. 전송전력 $P(n)$으로부터 각각의 D2D 단말 $(i=1,..K)$ 에 대하여 최소의 전력을 필요로하는 수신 D2D 단말 $a(i)$ 선정과 그 때의 전송전력 p_i선정

$a(i)=\arg\ [\min H_i^{T(n)}P(n)+N^{T(n)}], a(i)\in 1,....,M$

$p_i=\min H_i^{T(n)}P(n)+N^{T(n)}\ \ i=0,1,2,...,K$

Step 3.

Step 2 에서 얻은 $a(i)\,(1\le\ i\le\ K)$; 로부터 수신 단말 벡터 업데이트, i.e.,

$T(n)=[a(1),a(2),...a(K)]$

Step 2 에서 얻은 $p_i\,(1\le\ i\le\ k)$ 로부터 전송전력 벡터 $P(n)$ 업데이트, i.e.,

$P(n)=[p_c,p_1,p_2....,p_K]^T$

Step 2 와 Step 3를 $P(n),T(n)$이 수렴할 때까지 반복 수행 (반복횟수를 표시하기 위하여 n값 +1씩 증가, $n=n+1$;)

3.5 Optimality of the Proposed Iterative Algorithm

논문 [8] 에서는 셀룰라시스템에서 다른 단말들의 전송전력값에 의해 결정되는 간섭함수를 정의하고, 각각의 단말이 요구하는 통화품질을 유지하기 위해서는 단말 자신의 간섭함수보다 더 큰 전송전력값을 가져야 함을 설명하고 있다. 특히, 간섭함수 값은 다음 3가지 조건을 만족할 경우, Unique 한 값에 수렴하게 되며, 이를 Standard Interference Function 이라고 한다.

조건 1. Positivity $I(P)>0$

조건 2. Monotonicity If $P\ge\ \overline{P}$, then $I(P)\ge\ I(\overline{P})$

조건 3. Scalability for all $\alpha>1$, $\alpha I(P)>I(\alpha P)$

따라서, 어떤 간섭함수가 위의 3가지 조건을 만족하는 Standard Interference Function 일 경우, iterative algorithm을 반복적으로 수행하여 단말들의 전송전력값은 unique 한 최적의 해법에 도달하게 된다.

Proposition 1. 본 논문이 제안하는 Iterative Algorithm 은 unique 한 최적의 해법을 가진다.

이에 대한 증명을 설명하기 위하여, 본 논문에서는 간섭함수는 수식 (13),(14)로부터 다음과 같이 정의한다.

$$I_i=H_i^l P+N \tag{17}$$

$$I_c=H_0 P+N \tag{18}$$

수식 (17), (18)은 각각 D2D 단말, 셀룰라 단말의 간섭함수이다. 수식 (13), (14)를 할당될 전송전력 관점에서 살펴보면 할당되는 전송전력은 항상 간섭함수보다 커야하며, 특히 최적의 전송전력할당을 위해서는 전송전력이 간섭함수와 같도록 할당하는 것이다. 특히, 본 논문에서 정의한 간섭함수인 수식 (17), (18)은 standard interference function 이 되기 위한 세가지 조건을 모두 만족한다.

또한, 논문 [6] 에 의하면, 여러개의 수신기지국 중에서 최소 전송 전력을 소모하도록 하는 수신기지국을 선택하도록 하는 함수 또한 standard interference function 에 해당한다.

따라서, 본 논문이 제안하는 proposed algorithm 에서 최소의 전력을 소모하는 수신단말을 선택하는 함수 또한 standard interference 이 된다. 즉, proposed algorithm 은 standard interference function 이며, proposed algorithm을 반복적으로 수행하게 되면 최적의 전송전력과 최적의 수신단말 벡터를 얻을 수 있게 된다.

3.6 Numerical Examples

간섭 $N=10^{-12}$ 이며, 셀룰라 단말의 요구 신호대 간섭비 (SIR) 과 D2D 단말의 요구 SIR 은 각각 $\gamma_c=7$, $\gamma_i=7$이다.

송신기와 수신기 사이의 채널 이득은 $\frac{r}{d^4}$ 이며, 여기서 r 은 variance $8dB$ 를 가지는 log normal fading 이며, d는 송신기와 수신기 사이의 거리이다.

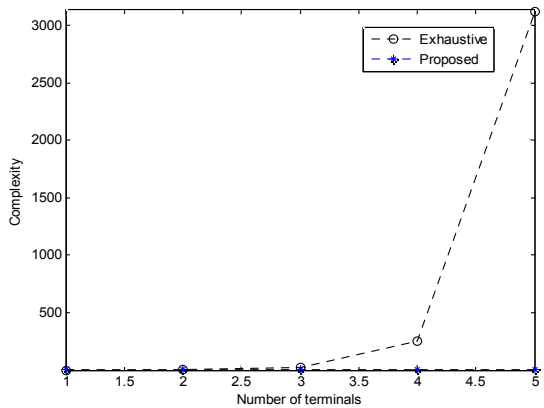

Fig. 2. Complexity Comparison

Fig. 2 은 최적화 과정을 구하는 과정에서의 복잡도 실험 결과이며, 위에서 설명한 실험 환경에서 1000회 반복하여 평균한 결과이다. 여기서, 복잡도는 수식 (4)의 최적화 해법을 구하기 위하여 몇 개의 수신단말 벡터를 수식 (15)에 대하여 수행하였는가로 정했다. 비교 대상은 모든 경우를 전부 고려하는 방법 Exhaustive Search(Exhaustive)) 과 Proposed iterative algorithm(Proposed) 이다. Exhaustive 방법의 경우 단말 수의 증가에 따라 기하급수적으로 복잡도가 증가함을 알 수 있다. 반면, 제안하는 Proposed 의 경우, 단말의 수 증가에 관계없이 복잡도는 5회 미만이다.

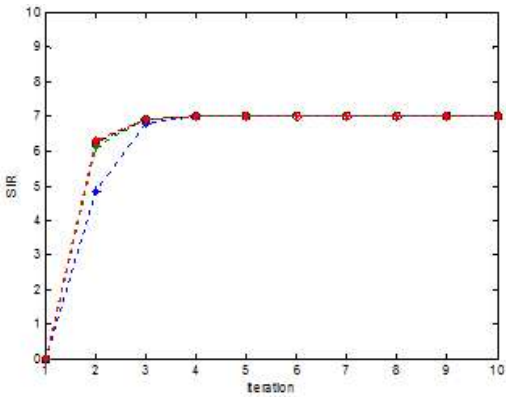

Fig. 3. SIR Convergence for 3 D2D Users

Fig. 3 는 송신 단말과 수신 단말의 수를 각각 3개로 하였을 때, Proposed iterative algorithm 의 SIR 수렴도이며, 위에서 설명한 실험 환경에서 1000회 반복하여 평균한 결과이다. 다. 대부분의 단말에서 5회 미만에서 목표로 하는 SIR 값에 수렴하고 있다.

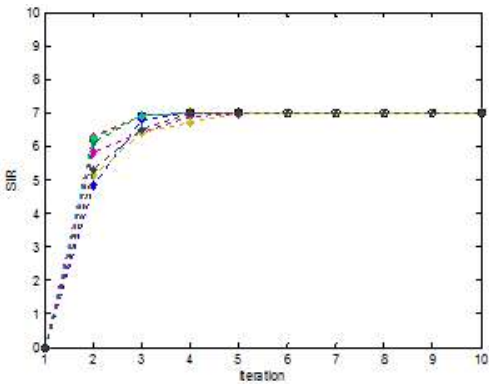

Fig. 4. SIR Convergence for 7 D2D Users

Fig. 4 는 송신단말과 수신단말의 수를 각각 7개로 하였을 때, Proposed iterative algorithm 의 SIR 수렴도이다. 대부분의 단말에서 5회 미만에서 목표로 하는 SIR 값에 수렴하고 있다.

즉, 단말수의 증가가 SIR 수렴도에 영향을 미치지 않는다고 해석할 수 있다.

IV. Conclusions

본 연구에서는 D2D 통신이 셀룰라 통신이 사용하는 상향링크(Uplink) 자원을 공유(share) 하는 환경에서, 모든 단말의 전송전력을 최적화하고자 각각의 송신단말에 수신단말을 할당하는 방안을 제안하였다. 즉, 한 개의 셀룰라 내에서 한 개의 셀룰라 단말이 기지국과 통신중이며, 셀룰라 통신 상향링크 자원을 공유하기 위하여 다수개의 D2D 송신단말그룹과 다수개의 D2D 수신단말 그룹이 있을 때, 송신단말과 수신단말을 어떻게 pairing 하는 것이 셀룰라 내 전체 단말의 전송전력을 최적화하는데 효율적인가에 대한 해법을 살펴보았다.

일반적으로, 송신 단말과 수신단말의 쌍을 할당하는 방안은 단말 개수의 증가에 그 복잡도가 기하급수적으로 증가한다. 따라서, 본 논문에서는 단말 개수의 증가에 관계없이 일정한 복잡도를 가지면서 최적화 해법을 찾는 iterative algorithm을 제안하였고, 이에 대한 복잡도 및 수렴도 성능평가를 살펴보았다.

대부분의 단말에서 5회 미만에서 목표로 하는 SIR 값에 수렴하고 있으며, 3장 실험결과에서 이미 설명하였듯이, 이는 단말수의 증가가 SIR 수렴도에 영향을 미치지 않는다고 해석할 수 있다. 특히, 제안하는 알고리즘은 송수신 환경이 송신단말그룹과 수신단말그룹으로 구분되고, 이 두 개의 그룹에서 일대일 관계를 이루면서 송수신이 이루어질 때 효과적이다.

하지만, 제안하는 최적화 해법은 여러 개의 D2D 송신 단말이 동일한 D2D 수신단말을 선택할 수 있는 가능성도 있다. 그렇다면, 하나의 D2D 송신단말과 하나의 D2D 수신 단말을 Pairing 해야 한다고 제한해야 할 때(현실적인 D2D 응용을 살펴보았을 때 이러한 제한이 더 타당성이 있음), 어떻게 송수신 단말을 pairing 하는 것이 최적인가? 이에 대한 연구가 진행중이며, 본 연구의 결과는 진행중인 연구의 upper bound 로 사용될 것이다.

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 Celllular 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] L. Wang, “QoS-Aware Joint Mode Selection and Channel Assignment for D2D Communications,” IEEE International Conference on Communications ,May 2016.
[6] R. Yates, “Integrated power control and base station assignment,” IEEE Transactions on Vehicular Technology (Vol. 44, Issue 3, pp. 638 - 644, Aug 1995.
[7] E. Seneta, "Non-negative matrices and markov Chain," Spring-Verlag, 1981.
[8] R. Yates, “A framework for uplink power control in cellular radio systems,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 13 Issue 7, pp. 1341-1347, September 2006.

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.