

## Performance Analysis of D2D Power Control To Compensate Channel Estimation Error

Changyoon Oh\*

\*Associate Professor, Dept. of Information and Communication Engineering, Inha Technical College, Incheon, Korea

### [Abstract]

To improve the performance of D2D power control algorithm proposed in the previous work, three modified D2D power control algorithms are proposed to compensate the channel estimation error. Then, we evaluate the performance of three modified D2D power control algorithms in the channel estimation error environment. In real channel environment, the channel estimation is not perfect. To that end, the impact of imperfect channel estimation on the D2D power control algorithm, which was developed with the assumption of perfect channel estimation, has been analyzed in the previous work. Three modified D2D power control algorithms are based on 1) Retransmission, 2) SIR Margin, and 3) Retransmission and SIR Margin. Simulation results show that the Retransmission and SIR Margin approach shows best performance in the sense of the transmit power consumption and the latency.

▶ **Key words:** D2D Communication, Power Control, Retransmission, SIR, Channel Estimation

### [요 약]

본 논문에서는, 지난 연구에서 제안한 D2D 전력제어 알고리즘의 성능 개선을 위하여, 채널추정 에러를 보상하는 세 가지 수정 D2D 전력제어 알고리즘을 제안한다. 또한, 제안하는 세 가지 수정 D2D 전력제어 알고리즘을 채널추정 에러 환경에서 성능평가를 진행한다. 실제 채널환경에서는 채널추정 에러가 빈번하게 발생한다. 지난 연구에서는 채널추정 에러가 없는 환경을 가정하고 제안된 D2D 전력제어 알고리즘이 채널추정 에러 환경에서 성능 문제가 있음을 확인하였다. 세 가지 수정 D2D 전력제어 알고리즘은 1)재전송, 2)신호대 간섭비 여유, 3)재전송과 신호대 간섭비 병합을 기반으로 한다. 실험 결과 재전송과 신호대 간섭비 병합기법이 채널추정 에러를 보상하는 데 소모하는 전송전력과 지연 관점에서 가장 좋은 성능을 보임을 확인하였다.

▶ **주제어:** 직접통신, 전력제어, 재전송, 신호대 간섭비, 채널추정

• First Author: Changyoon Oh, Corresponding Author: Changyoon Oh  
\*Changyoon Oh (changyoonoh@inhatc.ac.kr), Dept. of Information and Communication Engineering, Inha Technical College  
• Received: 2020. 03. 11, Revised: 2020. 05. 25, Accepted: 2020. 05. 25.

## I. Introduction

셀룰라 시스템에서 단말끼리의 직접통신(Device to Device(D2D) Communication)을 운용하기 위하여 셀룰라 시스템의 주파수 자원 중에서 상향링크 주파수를 활용하는 방안에 관한 연구가 진행되었다. 주파수 재사용에서는 간섭을 효율적으로 관리하는 기술들이 필요한데, 송신단과 수신단 사이의 전송전력 제어가 이러한 간섭문제를 해결할 수 있는 대표적 기술로 분류된다. 전송전력 제어기술이 효과적으로 운용되기 위해서는 채널추정 에러를 효과적으로 처리하는 것이 중요하다. 즉, 송신단에서 전송한 신호를 수신단에서 에러없이 복구하기 위해서는 수신단에서 정확한 채널 추정이 필요하다. 송신단과 수신단 사이의 채널 추정이 완전하다는 가정하에 D2D 전송전력 제어 알고리즘이 제안되기도 하지만, 채널추정 에러가 존재하는 실제 통신시스템에서는 수신단에서 에러율이 높다. 기존 연구에서는 D2D 송수신단에서의 채널추정 에러가 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 채널추정 에러를 보상할 수 있도록 세 가지 알고리즘을 수정 제안하고, 제안한 전력제어 알고리즘들의 성능을 분석 평가한다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

셀룰라 주파수 자원을 재사용하여 D2D 전력제어와 간섭 영향을 해결하고자 하는 연구가 진행되었다. LTE 셀룰라 시스템 상향링크에서의 제어채널에서 D2D 탐색채널을 재사용(Reuse)하는 과정에서의 간섭을 효율적으로 관리하는 것을 목적으로 하는 전력제어 방안을 연구하였다 [1]. Fig. 1은 두 개의 통신시스템이 셀룰라 시스템의 상향링크 주파수를 재사용하는 과정에서 서로의 시스템에 간섭을 주고 받는 예를 보여준다. 실선은 시그널을 의미하며, 점선은 간섭을 나타낸다. D2D 통신시스템에서의 송수신은 셀룰라 시스템에게는 간섭이며, 셀룰라 시스템에서의 송수신은 D2D 통신시스템에게는 간섭이다. D2D 링크와 셀룰라 링크는 동일한 주파수를 재사용하기 때문에 두 개의 공존하는 서로 다른 통신시스템끼리 간섭을 받는다. [2]에서는 D2D 통신시스템이 주파수를 재사용하면서 셀룰라 시스템에 접속한 단말에게 영향을 주는 간섭을 제어하는 전력제어 알고리즘을 기술하고 있다.

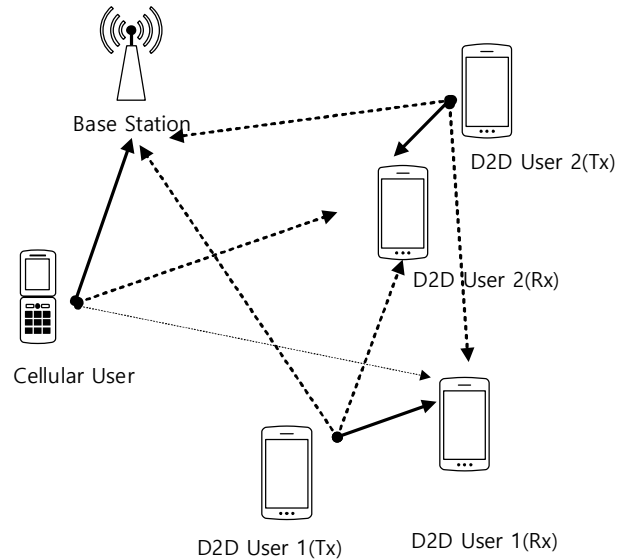


Fig. 1. System Model

시스템에서의 송수신은 D2D 통신시스템에게는 간섭이다. D2D 링크와 셀룰라 링크는 동일한 주파수를 재사용하기 때문에 두 개의 공존하는 서로 다른 통신시스템끼리 간섭을 받는다. [2]에서는 D2D 통신시스템이 주파수를 재사용하면서 셀룰라 시스템에 접속한 단말에게 영향을 주는 간섭을 제어하는 전력제어 알고리즘을 기술하고 있다. 간섭관리 방법중에서 대표적으로 송신전력을 제어하는 전송전력제어[2-6], 방향성 안테나를 신호처리 관점에서 다루는 빔포밍[8] 등이 있다. [3]에서는 전송전력 제어기술을 제시하고 있다. [4,5]에서는 5G Full Duplex에서 D2D 통신 지원을 위한 전송전력제어 방안을 연구하였다. [6]에서는 D2D 단말들의 기하학적 위치를 기반으로 송수신단 거리에 따른 전송전력 알고리즘을 제안하였다. [7]에서는 비협력적 게임이론을 기반으로 D2D 전송전력 방안을 연구하였다. 자원을 할당하는 스케줄링(scheduling) [8-11]은 대표적인 구현이슈에 해당된다. 따라서, 통신사업자들은 자체적으로 독자적인 스케줄러를 개발하여 단말들에게 자원을 할당하는데 적용하고 있다. [12]에서는 D2D 단말이 셀룰라의 상향링크 주파수 자원을 사용하는 과정에서 on-off를 활용하는 전력제어 방안을 다루고 있다. on-off 방안은 간섭량을 조절하기에는 효율적일 수는 있으나, 실시간 데이터 전송시, on-off 방식으로 인해 경우에 따라 전송을 중지할 수 밖에 없는 단점이 발생한다. [13]에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여, 실시간 전송이 가능하도록 D2D 단말이 전송전력을 할 수 있도록 제안하였다. 또한, 제안하는 알고리즘이 반복 과정에서 전송전력이 빠르게 수렴하고 있음을 실험결과를 통해 보여주고 있다. 하지

만, 제안하는 알고리즘은 수신단에서의 완벽한 채널 추정을 가정하고 있다. 실제 채널환경에서는 채널추정 에러가 수신단에서 항상 존재한다. [14]에서는 D2D power control 수신단에서의 채널추정 에러가 D2D power control algorithm에 주는 영향을 SIR 관점에서 분석하였다. 본 논문에서는 채널추정 에러 환경에서 적용이 가능하도록 세 가지 modified D2D power control algorithms을 제안하고, 이들의 성능을 비교 분석한다.

### III. Problem Formulation and Proposed Modified D2D Power Control Algorithms

#### 3.1 System Model and Problem Formulation

단일셀(Single Cell) 모델을 고려한다. 셀 내에는 두 종류의 단말이 존재한다. 기지국에 접속하는 단말은  $p_c$ 의 전송전력으로 데이터를 전송한다. 셀룰라에 접속하는 단말과 기지국의 채널이득은  $g_{cB}$ 이다. D2D 통신시스템에서  $i$ 번째 D2D 송신단말  $D_i$  ( $i=1,2,\dots$ )의 송신전력은  $p_{D_i}$ 이다. 전송된 신호는 D2D 수신단말이 수신하게 되는데, 송신단말과 D2D 수신단말의 채널이득은  $g_{D_i D_i}$ 이다.

셀룰라 시스템과 D2D 시스템은 주파수를 재사용하기 때문에 상대방 시스템에게 간섭을 발생시킨다. 셀룰라 시스템에서 수신단인 기지국에서의 신호대 간섭비는 식 (1)과 같다.

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

셀룰라시스템에서의 단말은  $l$  번째 D2D 단말로부터 간섭을 받는데, 구체적으로, D2D 단말은  $p_{D_l}$  로 송신하며, 수신단인 기지국의 간섭량은  $p_{D_l} g_{D_l B}$ 이다.  $k$  번째 D2D 링크에서 수신단에서 신호대 간섭비는 식(2)와 같다.

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

마찬가지로,  $k$  번째 D2D 단말은 다른 D2D 단말로부터 간섭을 받는다. 일례로,  $l$  번째 D2D 단말은  $p_{D_l}$  로 전송하고, 수신단은  $p_{D_l} g_{D_l D_k}$  의 간섭을 받는다. 또한, 셀룰라 단말로부터도 간섭을 받는다. 일례로, 셀룰라 단말이  $p_c$  로 전송하면 수신단에서의 간섭량은  $p_c g_{c D_k}$ 이다. 본 논문에서는, 개별 단

말들이 각각 요구하는 신호대 간섭비를 충족하면서 동시에 모든 단말들이 소모하는 전송전력의 총합을 최적화하고자 한다. 이러한 최적화문제는 식 (3),(4),(5)와 같다.

$$\min [p_c + \sum_k p_{D_k}] \quad (3)$$

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

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

$Req\_SIR_c, Req\_SIR_{D_k}$  는 각각 기지국에 접속하는 단말에게 요구하는 신호대 간섭비,  $k$  번째 D2D 송신단말에서 요구하는 신호대 간섭비이다.  $N$  는 열잡음이다.

단말들의 요구사항인 수식 (4),(5)를 전송전력 관점에서 정리하면 다음과 같다.

$$p_c \geq Req\_SIR_c \frac{\sum_l p_{D_l} g_{D_l B} + N}{g_{cB}} \quad (6)$$

$$p_{D_k} \geq Req\_SIR_{D_k} \frac{p_c g_{c D_k} + \sum_{l \neq k} p_{D_l} g_{D_l D_k} + N}{g_{D_k D_k}} \quad (7)$$

수식 (6), (7)에서 오른쪽 항을 식 (8), (9)에서와 같이 간섭함수(Interference Function) [15]로 정의하도록 한다.

$$I_c(P_D) = Req\_SIR_c \frac{\sum_l p_{D_l} g_{D_l B} + N}{g_{cB}} \quad (8)$$

$$I_{D_k}(p_c, P_D) = Req\_SIR_{D_k} \frac{p_c g_{c D_k} + \sum_{l \neq k} p_{D_l} g_{D_l D_k} + N}{g_{D_k D_k}} \quad (9)$$

식 (6), (7), (8), (9)를 적용하여 채널추정 에러를 보상하는 세 가지 전송전력 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 세 가지 Modified D2D Power Control Algorithms은 1) 재전송(Retransmission), 2) SIR margin, 3) Retransmission + SIR margin을 기반으로 한다.

#### 3.2 Modified Algorithm 1: Retransmission

재전송(Retransmission)을 기반으로 한 D2D 전송전력 알고리즘이다. D2D 전송전력 알고리즘을 적용하여 얻어진 전송전력으로 신호를 전송하고, 수신단에서 요구하는 SIR을 만족시키지 못하는 경우 전송전력을 다시 결정하여 신호를 재전송한다. 구체적인 방법적 절차는 Fig. 2 와 같으며 알고리즘 설명은 다음과 같다.

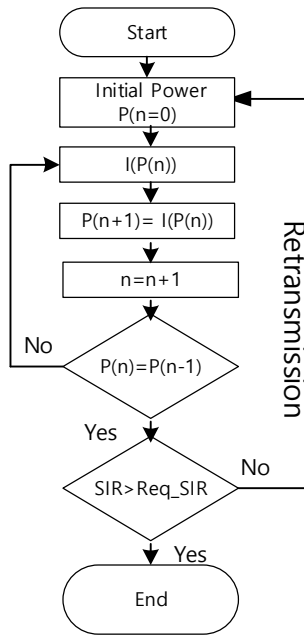


Fig. 2. Flow chart of Modified Algorithm 1 (Retransmission)

Step 1. 단말들의 초기 전송전력을 결정

$$P(n=0)$$

Step 2. 전송전력을 이용하여 간섭함수를 결정

$$I(P(n))$$

Step 3. 간섭함수를 이용하여 전송전력을 업데이트

$$P(n+1) = I(P(n))$$

Step 4. 전송전력의 수렴여부를 확인

$$P(n+1) = P(n)$$

만약, 수렴하였다면 Step 5 이동  
아직 수렴하지 않았다면 Step 2 이동

Step 5. 요구하는 SIR (Req\_SIR)를 만족여부 확인

$$SIR > Req\_SIR$$

만약, 만족하였다면 Step 6 이동  
만족하지 않았다면 Step 1 이동

Step 6. End

Step 2에서 간섭함수  $I(P(n))$ 는 식 (8), (9)를 활용한 다. Step 3에서 전송전력  $P(n+1)$ 을  $I(P(n))$ 로 업데이트 할 경우, 최소의 전송전력을 활용하여 목표로 하는 SIR에 도달할 수 있다. Step 4에서 전송전력이 수렴하는 경우, SIR도 함께 수렴하게 된다. 즉, 모든 단말들의 전송전력이 변화가 없으므로, 단말들의 SIR도 수렴하게 된다. Step 5에서 채널추정 에러 여부에 따라 수렴한 단말들의 SIR이 목표로 하는 SIR인 Req\_SIR 보다 작은값에 수렴하는 경우가 발생한다. 이러한 경우에는 송신단에서 전송전력을

다시 결정하여 재전송이 필요하다. 본 논문이 적용하는 채널추정 에러는 가우시안 채널추정 에러(Gaussian Channel Estimation Error) 분포이다. 가우시안 채널추정 에러  $e$ 는 식 (10)와 같다.

$$e = \hat{g} - g \tag{10}$$

$\hat{g}$ ,  $g$ 는 각각 수신단에서 추정된 채널의 경로손실이득(Pathloss gain), 실제 채널의 경로손실 이득이다.  $E(e^2)$ 를  $g^2$  값으로 균등화(Normalization)하면 식 (11)와 같다.

$$\frac{E(\hat{g} - g)^2}{g^2} = \sigma_g^2 \tag{11}$$

$\sigma_g^2$  값이 커질수록 중심인 평균 0을 기준으로 좌우 대칭인 벨모양(bell shape)의 분포가 더 넓게 퍼진다. 가우시안 확률분포는 평균값 0을 중심으로 좌우 대칭인 벨모양(bell shape)의 에러 분포를 가진다. 특히, 가우시안 에러의 분산값에 해당하는  $\sigma_g^2$  값이 커질수록 가우시안 에러 분포인 좌우 벨모양이 중심은 낮아지고, 좌우로 더 넓게 퍼지는 통계적 특성을 가진다. 수신단에서 SIR 값이 Req\_SIR 보다 작아지는 경우는 에러가 양의 값(+)을 가지는 경우인데, 가우시안 분포에 따르면 에러값이 양일 확률은 50% 이다. 따라서, 완벽한 채널추정을 가정하여 개발된 D2D Power Control을 적용하여 전송하는 경우, 가우시안 채널에러의 영향으로 50%의 확률로 데이터 전송이 성공하게 된다.

### 3.3 Algorithm 2: SIR Margin

SIR Margin을 조절하는 D2D 전송전력 알고리즘이다. 채널추정 에러를 보상하기 위해 목표로 하는 SIR (Req\_SIR) 값보다 더 큰 SIR 값을 설정한다. 구체적인 알고리즘은 Fig. 3과 같다.

Step 1. 단말들의 초기 전송전력을 결정

$$P(n=0)$$

Step 2. SIR margin 설정

Step 3. 전송전력을 이용하여 간섭함수를 결정

$$I(P(n))$$

Step 4. 간섭함수를 이용하여 전송전력을 업데이트

$$P(n+1) = I(P(n))$$

Step 5. 전송전력의 수렴 여부를 확인

$$P(n+1) = P(n)$$

만약, 수렴하였다면 Step 6 이동  
아직 수렴하지 않았다면 Step 3 이동

Step 6. End

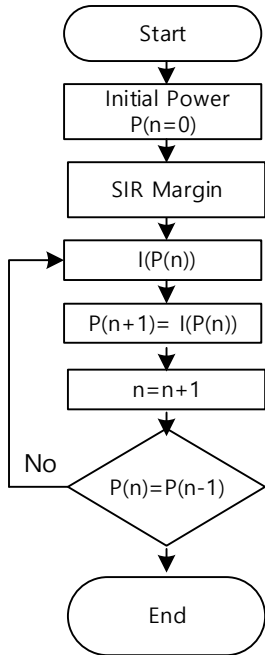


Fig. 3. Flow chart of Modified Algorithm 2 (SIR Margin)

Step 2.에서 SIR Margin을 설정할 때, SIR Margin을 크게 설정할수록 수신단에서의 SIR이 Req\_SIR 보다 작아질 확률이 작아진다. D2D 전송전력 알고리즘에서 목표로 하는 SIR을 요구하는 SIR인 Req\_SIR 보다 크게 설정하여 적용하게 되면, 수신단에서 SIR이 Req\_SIR 보다 작아지는 경우는 Target SIR을 높여 양(+)의 값을 가지는 가우시안 에러가 발생해도 수신단 SIR을 Req\_SIR보다 크게 보상해줄 수 있게 된다. SIR Margin 기법만을 적용하여, 한번만의 전송으로 수신단에서 성공적인 수신을 위해서는 송신단 전송전력을 높여야 하는 단점이 있다.

### 3.4 Modified Algorithm 3: Retransmission + SIR Margin

재전송(Retransmission)과 SIR margin을 병합하는 방법이다. D2D 전송전력 알고리즘에서 Target SIR을 요구하는 SIR인 Req\_SIR보다 큰 값을 적용하여 초기전송하며, 수신단에서 요구하는 SIR을 만족시키기 못하는 경우 재전송한다. 구체적인 알고리즘은 Fig. 4 와 같다.

Step 1. 단말들의 초기 전송전력을 결정

$$P(n=0)$$

Step 2. SIR Margin 설정

Step 3. 전송전력을 이용하여 간섭함수를 결정

$$I(P(n))$$

Step 4. 간섭함수를 이용하여 전송전력을 업데이트

$$P(n+1) = I(P(n))$$

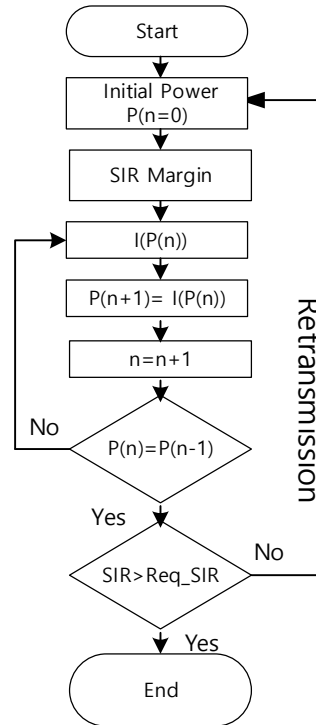


Fig. 4. Flow chart of Modified Algorithm 3 (Retransmission+ SIR Margin)

Step 5. 전송전력의 수렴여부를 확인

$$P(n+1) = P(n)$$

만약, 수렴하였다면 Step 6 이동

아직 수렴하지 않았다면 Step 3 이동

Step 6. 요구하는 SIR (Req\_SIR)를 만족 여부 확인

$$SIR > Req\_SIR$$

만약, 만족하였다면 Step 7 이동

만족하지 않았다면 Step 2 이동

Step 7. End

Algorithm 3에서는 전송전력 소모량과 Delay를 함께 고려한다. 재전송이 없는 Algorithm 2 방법은 Target\_SIR을 크게 설정하기 때문에 전송전력 소모가 크다. 재전송을 횟수를 줄이면서 동시에, 전송전력 소모를 최소화하고자 하는 방법이다.

## IV. Numerical Results

실험 환경은 채널추정 에러가 없는 환경과 동일한 조건을 적용하였다. 열잡음을 포함한 간섭은  $N=10^{-12}$  이다. 요구하는 신호대 간섭비(SIR)는 각각  $Req\_SIR_c = 5$ ,  $Req\_SIR_{Dx} = 5$ 이다. 송신단말과 수신단말간의 채널이득은

$\frac{r}{d^t}$  으로 생성된다.  $r$ 은 log normal fading이며 variance 는  $8dB$  이다.  $d$ 는 송수신기의 거리이다.

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7은 각각 Modified Algorithm 1, Modified Algorithm 2, Modified Algorithm 3 에 의한 SIR 수렴결과이다. 먼저 알고리즘의 SIR 수렴과정을 살펴 보기로 한다. 알고리즘 시작단계에서 전송전력은 모든 단말이  $P(n=0) = 0$ 이다. 다른 단말들의 전송전력을 기반으로 단말 자신의 간섭함수  $I(P(n))$ 를 계산하고, 계산된 간섭함수를 적용해 전송전력  $P(n+1) = I(P(n))$ 을 업데이트 한다. 전송전력이 업데이트되면 전송전력은 상승한다. 이 때, 단말들의 SIR 값도 업데이트되어 상승한다. 알고리즘 은 이러한 과정을 반복한다.

알고리즘 반복과정에서 전송전력이 더 이상 상승하지 않고 수렴하게 되는 경우, 즉,  $P(n+1) = P(n)$  이면, SIR 도 더 이상 상승하지 않고 수렴하게 된다.

Fig. 5는 Modified Algorithm 1에서 SIR margin 없이 알고리즘을 적용한 SIR 수렴결과이다. SIR margin 없는 경우에는 알고리즘에서 Target SIR을 Req\_SIR 과 동일한 값인 Target SIR=5로 설정한다. 수렴한 SIR 값이 Req\_SIR=5보다 작은 경우가 대략 50% 정도 발생하였다. 나머지 50%는 Req\_SIR=5보다 큰 경우이다. 수렴한 SIR 이 Req\_SIR 보다 큰 경우는 채널추정 에러가 음(-)의 값인 경우이며, 반대로 수렴한 SIR 이 Req\_SIR 보다 작은 경우는 채널추정 에러가 양(+)의 값인 경우이다. SIR margin 없이 알고리즘을 적용하는 Modified Algorithm 1에서는 수렴한 SIR 값이 Req\_SIR=5 보다 작은 50%의 단말에게 전송전력 알고리즘을 다시 수행하여 재전송을 진행한다. 이러한 재전송 과정은 모든 단말의 수렴한 SIR 이 Req\_SIR=5 보다 커질때까지 반복한다.

Fig. 6은 Modified Algorithm 2에 의한 SIR 수렴결과이다. 모든 단말들이 수렴하는 SIR 값이 Req\_SIR=5 보다 크게 되도록 SIR margin을 크게 설정하였다. 알고리즘에서 설정한 Target SIR 은 7이다. 모든 단말들의 수렴 SIR 은 Req\_SIR=5보다 큰 것을 확인하였다. Modified Algorithm 2의 경우 재전송없이 한 번의 알고리즘 수행으로 모든 단말들의 수렴 SIR가 Req\_SIR=5보다 커야 하기 때문에 Target SIR을 크게 설정할 필요가 있다. 따라서, 단말들의 수렴 SIR 가 Req\_SIR=5 보다 크게 상회하는 경우도 발생하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7 는 Modified Algorithm 3에 의한 SIR 수렴결과이다. 10% 재전송이 발생하도록 SIR margin은 Target SIR을 Req\_SIR보다 큰 값인 Target SIR=5.7로 설정하였

다. 여기서, Target\_SIR=5.7으로 설정하면 10% 정도의 재전송이 발생하는 것은 실험데이터를 기반으로 얻어진 결과이다. Target\_SIR을 높은 값으로 설정할수록 재전송 확률은 작아진다. 반면, 필요한 전송전력은 Target\_SIR에 지수적으로 증가한다. SIR margin을 Target\_SIR=5.7 이 되도록 설정한 경우, 수렴한 SIR 값이 Req\_SIR=5 보다 작은 경우가 대략 10% 정도 발생하였다. 나머지 90%는 Req\_SIR=5보다 큰 경우이다. 10% 재전송하도록 설정된 Modified Algorithm 3에서는 수렴한 SIR 값이 Req\_SIR=5보다 작은 10%의 단말에게 전송전력 알고리즘을 다시 수행하여 재전송을 진행한다. 이러한 과정은 모든 단말의 수렴 SIR 값이 Req\_SIR=5 보다 크게 될 때 까지 알고리즘이 반복 진행된다.

Fig. 8는 Success rate을 다르게 설정하여 수신단에서  $SIR > Req\_SIR$ 을 만족하는데 필요한 재전송 횟수 분포를 보여준다. Success rate 은 알고리즘을 수행시 수렴한 SIR 이 Req\_SIR 보다 큰 비율을 나타낸다. 각각의 success rate에 대하여 10000회 실시하여 얻은 결과이다. success rate 50% 는 Modified Algorithm 1 (M-Algorithm 1)에 해당한다. Modified Algorithm 1은 평균 0인 가우시안 에러 분포를 적용하므로, 50%의 성공 확률을 가지게 된다. 이는 가우시안 확률분포가 채널추정 에러에 관계없이 양(+)의 에러값이 발생할 확률이 50%이기 때문이다. Success rate 50%의 경우, 5번의 재전송 후에도 여전히 3% 정도는 수렴 SIR 이 Req\_SIR보다 작은 경우가 발생한다. SIR Margin을 높일수록 success rate 은 높아진다. 반면, 높아지는 SIR Margin에 따라 필요한 전송전력은 지수적으로 증가한다. Success rate 70%의 경우, 5번의 재전송을 하면 0.25% 정도가 수렴 SIR 이 Req\_SIR보다 작은 경우가 발생한다. 이와 같이 Success rate을 높여 재전송 횟수를 줄일 수 있다. success rate 90% 는 Modified Algorithm 3 (M-Algorithm 3)에 해당한다. Success rate 90% 의 경우 3번 재전송을 하게 되면, 수렴 SIR 이 Req\_SIR보다 작은 경우가 0.1% 정도 발생하게 된다. Success rate 100%는 Modified Algorithm 2 (M-Algorithm 2)에 해당한다. 재전송 횟수는 전송되는 서비스의 지연 요구사항(Delay Requirement)에 의해 결정된다.

Table 1. success rate에 따른 기대 전송 횟수 (Expected Number of Transmission)를 보여준다. SIR Margin 없이 Retransmission만을 수행하는 Modified Algorithm 1은 success rate 이 50%이며, 전송이 성공하기 까지 평균 2회의 전송을 하게 된다. success rate

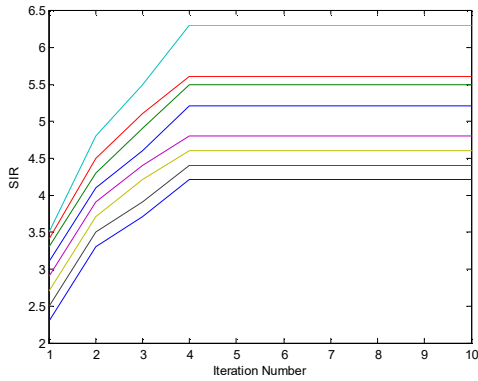


Fig. 5. SIR convergence (Modified Algorithm 1)

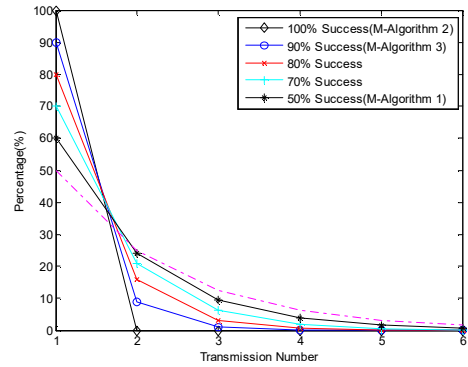


Fig. 8. Transmission Number for different success rate

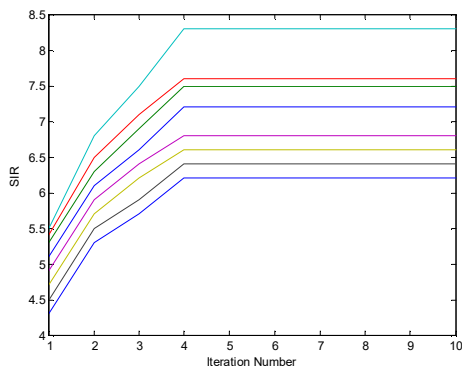


Fig. 6. SIR convergence (Modified Algorithm 2)

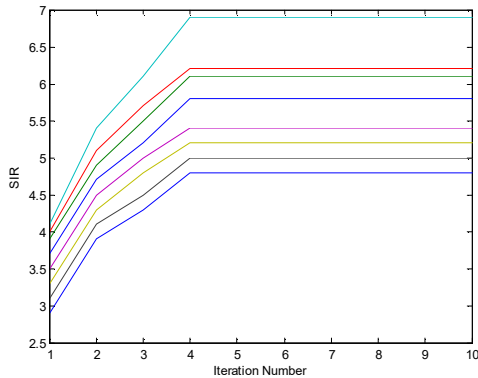


Fig. 7. SIR convergence (Modified Algorithm 3)

Table 1. Expected Number of Transmission

Success Rate	Expected Number transmission
50% (Modified Algorithm 1)	2
60%	1.67
70%	1.43
80%	1.25
90% (Modified Algorithm 3)	1.11
100% (Modified Algorithm 2)	1

### IV. Conclusions

본 연구에서는 수신단 채널추정 에러를 보상하는 세 가지 Modified D2D Power Control Algorithm을 제안하였다. 제안하는 전송전력 알고리즘은 1) Retransmission 2) SIR Margin 3) Retransmission + SIR Margin을 기반으로 한다. 1) Retransmission만을 적용하는 Algorithm 1은 최소의 전송전력을 소모하는 반면, 전송 성공확률은 50%이다. 재전송 확률이 높은 것이 단점이다. 또한, 전송전력 소모 측면에서 효율적인 장점이 있다. 배터리 소모가 중요하고, Delay가 중요하지 않은 서비스에서 적용이 가능하다. 2) SIR Margin을 높이는 Algorithm 2는 전송전력 알고리즘에서 목표 SIR을 높여서 전송이 성공하도록 한다. 단점은 소모하는 전송전력은 지속적으로 증가한다. 전송전력 소모보다 Delay가 중요한 서비스에서 적용이 가능하다. 3) Retransmission과 SIR Margin을 병합하는 Algorithm 3은 소모하는 전송전력과 Delay를 함께 고려하는 방법이다. Retransmission만을 적용하는 방법은 소모되는 전송전력을 줄일 수 있지만, 재전송횟수가 많아질 수 있는 단점을 가진다. 평균적인 전송횟수는 2회이지만,

이 커질수록 전송 횟수는 작아지며, success rate 이 90% 일 때 평균 1.2회의 전송을 하게 된다. success rate 이 100% 일 때는 한 번의 전송으로 전송이 성공하게 된다. 전송 횟수만을 살펴보면 success rate 100%인 경우가 가장 좋은 해법인 것으로 볼 수 있지만, success rate 을 높이려면 이에 해당하는 Target SIR을 높여야 한다. 특히, success rate 이 높아질수록 기하급수적으로 커지는 전송전력이 요구된다.

확률상 6회 이상의 재전송 가능성도 3% 정도 된다. SIR Margin만을 적용하는 방법은 재전송없이 한 번의 전송으로 전송성공이 되어야 하므로, 전송전력 소모가 크다. 이러한 점을 고려할 때, Retransmission과 SIR Margin을 함께 적용하는 방법이 적절하다. 다만, Success rate을 얼마로 선정하는 것이 적절한지는 적용하는 통신시스템의 프레임 길이(Frame Length)와 전송하는 데이터의 지연 제한(Delay constraint) 및 D2D 단말의 배터리 요구 소모량 등을 함께 고려할 필요가 있다.

## REFERENCES

- [1] E. Sree Harsha, "LTE-Advanced Cellular Networks for D2D Communications," International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, August 2014.
- [2] 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.
- [3] L. Han, T. B. Iliev, G. Y. Mihaylov, E. P. Ivanova and I. S. Stoyanov, "Power control schemes for device-to-device communications in 5G mobile network," 2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, pp. 416-419, 2017.
- [4] J. F. Shi, M. Chen, Z. H. Yang, H. Xu and Y. Wang, "Power control and performance analysis for full-duplex relay-assisted D2D communication underlying fifth generation cellular networks," in IET Communications, vol. 11, no. 18, pp. 2729-2734, 2017.
- [5] L. Han, Y. Zhang, X. Zhang and J. Mu, "Power Control for Full-Duplex D2D Communications Underlying Cellular Networks," in IEEE Access, vol. 7, pp. 111858-111865, 2019.
- [6] A. Abdallah, M. M. Mansour and A. Chehab, "A Distance-Based Power Control Scheme for D2D Communications Using Stochastic Geometry," 2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Toronto, pp. 1-6, 2017.
- [7] Al-Gumaei, Y.A.; Aslam, N.; Al-Samman, A.M.; Al-Hadhrani, T.; Noordin, K.; Fazea, Y. "Non-Cooperative Power Control Game in D2D Underlying Networks with Variant System Conditions," Electronics 2019, 8, 1113.
- [8] B. Schulz, "LTE Transmission Modes and Beamforming," White Paper, Rohde Schwarz, July 2015.
- [9] D. Singh, "Radio Resource Scheduling in 3GPP LTE: A Review," International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 4, Issue 6, June 2013.
- [10] M. Han, "Opportunistic resource scheduling for D2D communication in OFDMA networks," Computer Networks, Elsevier, Vol. 73, pp. 319-334, November 2014.
- [11] M. Han, "Opportunistic scheduling and incentive mechanism for OFDMA networks with D2D relaying," Computer Networks, Elsevier, Vol. 91, pp. 772-787, November 2015.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] C. Oh, "Power Control for D2D Communication in the Cellular System: The Impact of Channel Estimation Error," Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, July 2018.
- [15] 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.