

논문 2011-48TC-1-9

셀룰러 시스템의 간섭에 의한 D2D 시스템의 Outage 확률 분석

(Outage Probability of the Device-to-Device Communication According to the Interference-to-Signal-Ratio Generated by Cellular Networks)

민 현 기*, 서 우 현**, 박 성 수*, 홍 대 식***

(Hyunkee Min, Woohyun Seo, Sungsoo Park, and Daesik Hong)

요 약

본 논문에서는 device-to-device (D2D) 시스템이 M 개의 셀룰러 단말기들과 상향 링크의 주파수 자원을 공유할 때 셀룰러 단말기들에 의한 간섭과 D2D 통신 단말기 쌍의 신호의 파워 비에 따른 outage 확률을 분석한다. 이 때, D2D 통신 전송기의 최대 전송 파워는 셀룰러 네트워크에 어떠한 해로운 간섭도 발생하지 않게 하기 위해서 엄격하게 제한된다. 수학적 모델에 의해 D2D 통신 수신기의 outage 확률은 셀룰러 사용자 단말기들에 의해 발생하는 간섭 대 신호 비 및 셀룰러 사용자 단말기의 개수, M 에 의한 함수로 표현된다. 또한, 셀룰러 사용자 단말기들에 의해 발생하는 간섭 대 신호 비는 D2D 통신 단말기 쌍, 셀룰러 사용자 단말기들, 및 기지국과의 거리의 함수로 표현된다. 얻어진 outage 확률을 이용해서, D2D 통신 시스템의 신뢰성을 쉽게 평가할 수 있다. 또한, 분석의 타당성을 입증하기 위해 모의실험들을 제공한다.

Abstract

In this paper, the outage probability of device-to-device (D2D) uplink communication underlying cellular networks is analyzed over Rayleigh fading. We assume that a D2D pair and M cellular user equipments share the same frequency resources. To prevent any harmful interference from a D2D transmitter to the BS, the maximum transmit power of the D2D transmitter is strictly limited. Under these assumptions, the outage probability is represented as a function of the interference-to-signal ratio from M cellular user equipments to a D2D receiver and the number of cellular user equipments, M . In addition, the interference-to-signal ratio is represented as a function of distances among D2D equipments, cellular user equipments and the BS. Simulation results validate these analytical results.

Keywords : device-to-device (D2D), outage probability

I. 서 론

일반적인 통신 시스템은 단말기와 단말기 간의 통신을 위해서 고정된 기지국을 거쳐 송수신이 이루어진다.

그러나 서로 통신을 원하는 단말기 쌍이 근접한 위치에 존재하고 있을 때, 기지국은 제어 신호만 각 단말기와 송수신하고, 실질적인 데이터 신호는 셀룰러 네트워크와 주파수 자원을 재사용하여 단말기 간의 직접 링크를 이용하여 전송하는 device-to-device (D2D) 통신 시스템이 연구되고 있다^[1~5]. D2D 통신 시스템은 인지 무선 시스템의 2차 사용자 개념과 유사하지만, 인지 무선 시스템의 2차 사용자는 1차 사용자에 의해 제어되지 않는 반면, D2D 통신 시스템은 셀룰러 네트워크에 의해 D2D 통신의 주파수 자원 할당 및 사용 가능한 최대 파워가 제어될 수 있다는 점이 다르다^[4,6].

* 학생회원, ** 정회원, *** 평생회원, 연세대학교 전기전자공학부

(Dept. of Electrical and Electronic Engin., Yonsei University)

※ 이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업(NRL:R0A-2007-000-20043-0)의 지원을 받아 연구되었음.

접수일자: 2010년11월29일, 수정완료일: 2011년1월14일

셀룰러 네트워크와 주파수 자원을 공유하는 D2D 통신 시스템은 기지국을 통해 전송을 하는 전통적인 셀룰러 방식과 비교하여 전체적인 통신 용량의 향상 및 D2D 통신 모드를 이용하는 사용자의 데이터 처리율의 향상을 얻을 수 있다. 즉, 서로 근접한 위치에 존재하는 단말기 쌍에 대해서는 기지국이 D2D 통신 모드를 지원해 줌으로써 보다 고속의 데이터를 전송할 수 있게 하고, D2D 통신 사용자의 주파수 재사용을 통한 전체적인 주파수 효율성을 증가시킬 수 있다^[1].

D2D 통신 시스템이 셀룰러 네트워크와 주파수 자원을 공유할 때, 셀룰러 네트워크와 D2D 통신 시스템의 신뢰성 및 통신 용량을 향상시키기 위해서는 주파수 재사용에 의해 발생하는 간섭을 효율적으로 제어해야 한다^[1-5]. 셀룰러 네트워크의 신뢰성 및 통신 용량을 보장해 주기 위해서 기지국이 D2D 통신 전송기의 전송 파워를 엄격하게 제한하는 방법이 제안되었다^[1]. 이 경우 전송 파워가 엄격하게 제한된 D2D 통신 단말기는 셀룰러 네트워크에 어떠한 해로운 간섭도 발생시키지 않는다. 그 외에도 셀룰러 네트워크 및 D2D 통신 시스템의 통신 용량의 합이 최대가 되게 하기 위해서 최적 파워 할당 방법이 제안되었고^[2], 간단한 파워 제어 알고리즘이 적용되었을 때의 D2D 통신 시스템의 성능이 적분식으로 표현되었다^[3]. 그리고 각 단말기들의 통신 용량의 합이 최대가 되도록 D2D 통신 시스템이 overlay, underlay 및 cellular mode 중 하나의 방식으로 선택되어 동작되도록 설계한 알고리즘도 제안되었다^[4]. 또한 효율적인 간섭 제거 기법을 이용하여 D2D 통신 시스템의 신뢰성을 높이는 기법도 제안되었다^[5].

기존의 제안된 방법들은 D2D 통신 시스템이 하나의 셀룰러 단말기와 주파수 자원을 공유할 때의 간섭 문제를 다루었다. 그러나 다중 안테나를 장비한 기지국은 동시에 다중 사용자와의 통신을 지원할 수 있다. 이 경우에는 D2D 통신 수신기는 다중 사용자에 의한 간섭에 의해 성능이 크게 열하될 수 있다. 따라서 D2D 통신 시스템과 다중 셀룰러 사용자들이 주파수 자원을 공유할 때의 간섭에 대한 연구가 필요하다.

D2D 통신 시스템과 다중 셀룰러 사용자들이 공존할 때의 간섭은 상향 링크와 하향 링크의 경우로 나누어 접근할 수 있는데, 먼저 하향 링크의 경우에는 [1]에서 제시한 파워 조절 기법을 통해 D2D 통신 전송기에 의해 셀룰러 사용자 단말기에 발생하는 간섭을 효율적으로 제어할 수 있으며, [7]에서 제시한 전송 빔 형성 기

법을 통해 기지국에 의해 D2D 통신 수신기로 발생하는 간섭을 효율적으로 제어할 수 있다. 따라서 하향 링크에서 발생하는 간섭은 기존의 기법을 이용하여 효율적으로 제어할 수 있다.

D2D 통신 시스템과 다중 셀룰러 사용자들이 상향 링크에서 공존 할 때에도 하향링크와 마찬가지로 2 가지 종류의 간섭이 발생한다. 하나는 D2D 통신 전송기에 의해 기지국에 발생하는 간섭이고, 나머지 하나는 셀룰러 단말기들에 의해 D2D 통신 수신기로 발생하는 간섭이다. 먼저 첫 번째 간섭은 하향 링크의 경우와 마찬가지로 [1]에서 제시한 방법인 D2D 통신 전송기의 최대 허용 전송 파워를 엄격하게 제한하는 방법을 사용함으로써 해결할 수 있다. 두 번째 간섭은 [2]와 [3]에서 제시된 셀룰러 단말기의 파워를 제한하는 방법으로써 해결할 수 있으나, 이 경우에는 셀룰러 네트워크의 성능을 낮출 수 있다. 일반적으로 셀룰러 네트워크와 D2D 통신 중에서 우선순위가 셀룰러 네트워크에 있기 때문에 셀룰러 단말기의 파워를 제한하는 방법은 적용되기 어렵다.

따라서 본 논문에서는 하나의 D2D 통신 단말기 쌍이 M 개의 셀룰러 단말기들과 상향 링크의 주파수 자원을 공유할 때 셀룰러 단말기들에 의한 간섭에 대한 D2D 통신 단말기 쌍의 신호의 파워 비에 따른 outage 확률을 분석하고, 분석된 결과를 바탕으로 셀룰러 네트워크에 의해 발생하는 간섭 대 신호 비에 따른 D2D 통신 단말기의 공존 가능성에 대하여 논의한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 D2D 통신 시스템이 M 개의 셀룰러 단말기와 주파수 자원을 공유할 때의 상향 링크 간섭 시나리오를 나타내고 있다. 기지국은 M 개 이상의 다중 안테나를 장비하고 있고, 셀룰러 및 D2D 통신 시스템의 각 사용자 단말기는 단일 안테나를 장비하고 있다고 가정한다. 따라서 M 개의 셀룰러 단말기는 기지국의 다중-입력 다중-출력 기법에 의해서 동시에 기지국과 데이터 신호를 송수신 할 수 있다. 또한 1 개의 D2D 통신 단말기 쌍이 셀룰러 단말기에 비하여 서로 가까이 존재하고 있으며, 효율적인 주파수 사용을 위해 M 개의 셀룰러 단말기와 주파수 자원을 공유하는 시스템 모델을 고려한다.

그림 1에서 살펴보면, D2D 통신 시스템과 셀룰러 네

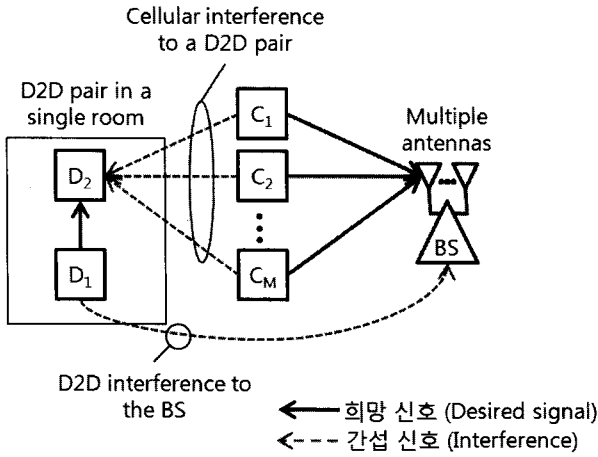


그림 1. D2D 통신 시스템이 M 개의 셀룰러 단말기와 주파수 자원을 공유할 때의 상향 링크 간섭 시나리오

Fig. 1. System model of D2D uplink underlaying cellular networks with M cellular user equipments.

트위크가 상향 링크에서 공존 할 때, D2D 통신 전송기에 의해 기지국에 발생하는 간섭 및 셀룰러 단말기들에 의해 D2D 통신 수신기로 발생하는 간섭이 발생한다. 먼저 첫 번째 간섭은 D2D 통신 전송기의 최대 허용 전송 파워를 엄격하게 제한함으로써 무시될 수 있다. 그러나 두 번째 간섭에 의해 D2D 통신 수신기는 M 개의 간섭 신호들을 겪게 된다. 이때, D2D 통신 수신기에서의 수신 신호는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$y = \sqrt{c(d_{D_1D_2})^{-\alpha} P_{D_1}} h_{D_1D_2} s_{D_1} + \sum_{i=1}^M \sqrt{c(d_{C_iD_2})^{-\alpha} P_{C_i}} h_{C_iD_2} s_{C_i} + n, \quad (1)$$

여기서 s_{D_1} 과 s_{C_i} 는 각각 D2D 통신 전송기, D_1 에서의 전송 신호 및 i 번째 셀룰러 사용자 단말기, C_i 에서의 전송 신호를 의미하고, n 은 열잡음을 의미하고 그 파워는 σ_n^2 으로 표현하기로 한다. 그리고 h_{xy} 는 x - y 링크의 채널 계수를 의미하고, 각 채널 계수는 Rayleigh fading을 따른다고 가정한다. 또한, d_{xy} 는 x - y 링크의 거리를 의미하고, P_{D_1} 과 P_{C_i} 는 각각 D2D 통신 전송기에서의 전송 파워 및 i 번째 셀룰러 사용자 단말기에서의 전송 파워를 의미한다. 그리고 자유 공간 경로 손실 모델^[8]을 이용한다. 자유 공간 경로 손실 모델은 $P_a = c(d_a)^{-\alpha} P_0$ 로 표현되는데, 여기서 P_0 와 P_a 는 각각 초기 파워 및 전송기로부터 d_0 만큼의 거리동안 신호가 전송 되었을 때의 경로 손실에 의한 파워를 의미한다.

그리고 c 와 α 는 각각 경로 손실 상수 및 경로 손실 지수를 의미한다.

셀룰러 네트워크에서는 모든 셀룰러 사용자 단말기들로부터 수신되는 신호들의 평균 파워가 같아지도록 제어된다^[9]. 셀룰러 사용자 단말기와 기지국 링크의 평균 수신 파워 레벨을 \bar{P}_{CB} 라고 표기하고, Rayleigh fading을 따르는 각 채널의 평균 파워는 1 일 때, i 번째 셀룰러 사용자 단말기로부터 기지국으로 수신되는 신호의 평균 파워는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\sqrt{c(d_{CB})^{-\alpha} P_{C_i}} = \bar{P}_{CB} \text{ for } \forall i, \quad (2)$$

여기서 d_{CB} 는 i 번째 셀룰러 사용자 단말기와 기지국 사이의 거리를 의미한다. 그리고 (2)를 이용하면 i 번째 셀룰러 사용자 단말기에 의해 D2D 통신 수신기에 발생하는 간섭 신호의 파워는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P_{I,C_iD_2} = c(d_{C_iD_2})^{-\alpha} P_{C_i} = \left(\frac{d_{CB}}{d_{C_iD_2}} \right)^{\alpha} \bar{P}_{CB} \quad (3)$$

그리고 D2D 통신 전송기는 셀룰러 네트워크에 어떤 해로운 간섭도 발생시키지 않기 위하여 최대 사용 가능 파워가 엄격히 제한된다. 기지국에서 D2D 통신 전송기에 의해 발생하는 간섭에 대해 최대 허용 간섭 대 신호 비를 δ_B 라고 하면, D2D 통신 전송기와 기지국 사이의 간섭 대 신호 비, P_{I,D_1B} 에 대하여 다음의 관계가 성립한다.

$$P_{I,D_1B} \leq \delta_B \bar{P}_{CB} \quad (4)$$

여기서 (4)와 $P_{I,D_1B} = c(d_{D_1B})^{-\alpha} P_{D_1}$ 의 관계를 이용하면, D2D 통신 수신기에서의 평균 수신 신호 파워는 아래와 같이 제한된다.

$$P_{S,D_1D_2} = c(d_{D_1D_2})^{-\alpha} P_{D_1} = \left(\frac{d_{D_1B}}{d_{D_1D_2}} \right)^{\alpha} P_{I,D_1B} \leq \left(\frac{d_{D_1B}}{d_{D_1D_2}} \right)^{\alpha} \delta_B \bar{P}_{CB} \quad (5)$$

D2D 통신 수신기에서의 최대 평균 수신 신호 파워는 (5)와 같이 표현될 수 있으며, 본 논문에서는 (5)에서 제시한 최대 평균 수신 파워를 이용하여 추후 수식들을 전개한다.

III. Outage 확률 분석

이번 장에서는 M 개의 셀룰러 단말기에 의한 간섭 대 신호 비에 따른 D2D 통신 수신기에서의 outage 확률을 유도한다. Outage 확률을 유도하기 위해 먼저 D2D 통신 수신기에서의 수신 신호 대 간섭비의 확률 밀도 함수 (probability density function, pdf) 및 확률 누적 분포 함수 (cumulative distribution function, cdf) 를 유도하고, 다음으로 outage 확률과 수신 신호 대 간섭비의 확률 누적 분포 함수와의 관계를 이용한다. 먼저 M 개의 셀룰러 사용자 단말기들은 모두 D2D 단말기 쌍이 존재하는 방 바로 밖에 존재하고 있는 최악 상황을 가정한다. 즉, 모든 셀룰러 사용자 단말기로부터 발생하는 간섭이 동일 수준으로 M 개의 간섭 중 어느 하나의 간섭도 무시할 수 없는 환경을 가정한 것이다. 이 때, i 번째 셀룰러 사용자 단말기에 의해 발생하는 간섭 대 신호 비 I_{R_i} 는 모두 δ_D 로 가정한다. 따라서 각 간섭 대 신호 비는 아래와 같이 표현된다.

$$I_{R_i} = \frac{P_{I,C_i,D_2}}{P_{S,D_1,D_2}} = \delta_D, \text{ for } \forall i. \quad (6)$$

(1)에서 높은 신호 대 잡음비를 가정하고 열잡음을 무시하면, 수신 신호 대 간섭 및 잡음비는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma = \frac{|h_{D_1,D_2}|^2}{\sum_{i=1}^M I_{R_i} |h_{C_i,D_2}|^2 + \sigma_n^2} \approx \frac{|h_{D_1,D_2}|^2}{M\delta_D \sum_{i=1}^M |h_{C_i,D_2}|^2}. \quad (7)$$

Outage probability를 구하기 위해 먼저 수신 신호 대 간섭비의 확률 밀도 함수를 구해야 한다. 이를 위해

$\mathbf{x} = |h_{D_1,D_2}|^2$ 및 $\mathbf{y} = \sum_{i=1}^M |h_{C_i,D_2}|^2$ 로 두면, 각각의 채널 계수가 Rayleigh fading을 따른다고 가정했기 때문에 \mathbf{x} 와 \mathbf{y} 의 확률 밀도 함수는 각각 아래와 같이 표현할 수 있다^[10].

$$f_{\mathbf{x}}(x) = \exp(-x)U(x), \quad (8)$$

$$f_{\mathbf{y}}(y) = \frac{y^{M-1}}{\Gamma(M)} \exp(-y)U(y), \quad (9)$$

여기서 $U(\cdot)$ 는 단위 계단 함수 (unit step function)를 의미한다. 그리고 [11, 식 (6-60)]과 [12, 식 3.351.3]

을 이용하면, $z = \mathbf{y}/\mathbf{x}$ 에 대한 확률 밀도 함수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} f_z(z) &= \int_0^\infty y f_{\mathbf{x}\mathbf{y}}(yz, y) dy \\ &= \frac{1}{\Gamma(M)} \int_0^\infty y^M e^{-y(z+1)} f_{\mathbf{x}\mathbf{y}}(yz, y) dy \\ &= \frac{M}{(z+1)^{M+1}}. \end{aligned} \quad (10)$$

다음으로 [11, 식 (5-18)]을 이용하면, $\gamma = z/(M\delta_D)$ 에 대한 확률 밀도 함수를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$f_{\gamma}(\gamma) = \frac{M^2 \delta_D}{(M\delta_D \gamma + 1)^{M+1}}. \quad (11)$$

그리고 (11)을 적분하면 D2D 통신 시스템의 수신 신호에 대한 확률 누적 함수를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{\gamma}(\gamma) &= \int_0^{\gamma} f_{\gamma}(x) dx = \int_0^{\gamma} \frac{M^2 \delta_D}{(M\delta_D x + 1)^{M+1}} dx \\ &= \left[-\frac{1}{(M\delta_D x + 1)^M} \right]_0^{\gamma} = 1 - \frac{1}{(M\delta_D \gamma + 1)^M}. \end{aligned} \quad (12)$$

그리고 간섭 제한적인 (interference limited) 시스템에서 outage 확률은 수신 신호의 순시 신호 대 간섭 비, γ 가 미리 정해진 임의의 문턱값인 γ_{th} 보다 작을 확률을 의미한다. 즉, 아래의 수식이 outage 확률을 의미한다^[10].

$$P_{out} = \Pr[\gamma < \gamma_{th}] = \int_0^{\gamma_{th}} \Pr[\gamma] d\gamma = F_{\gamma}(\gamma_{th}). \quad (13)$$

따라서 (12)에서 $\gamma = \gamma_{th}$ 로 치환하면, D2D 통신 수신기의 outage 확률은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_{out} = 1 - \frac{1}{(M\delta_D \gamma_{th} + 1)^M}. \quad (14)$$

이 결과로부터 D2D 통신 시스템의 outage 확률에 대한 성능은 M 과 δ_D 가 감소함에 따라 향상됨을 확인할 수 있다.

그리고 (6)에 (3)과 (5)를 대입하면 δ_D 를 아래와 같이 거리에 대한 함수로 다시 표현할 수 있다.

$$\delta_D = \frac{P_{I,CD_2}}{P_{S,D_1,D_2}} = \frac{1}{\delta_B} \left(\frac{d_{D_1,D_2} d_{CB}}{d_{D_1,B} d_{CD_2}} \right)^{\alpha}. \quad (15)$$

(15)에 의해 $d_{D_1D_2}$ 와 d_{CB} 가 작아질수록, 그리고 δ_B 와 d_{D_1B} 및 d_{CD} 가 커질수록 δ_D 가 감소하고, 이에 따라 outage 확률에 대한 시스템 성능은 향상됨을 확인할 수 있다. 즉, outage 확률은 D2D 통신 시스템 단말기 쌍과 셀룰러 사용자 단말기 및 기지국과의 서로 간의 거리에 대한 함수로 표현되어지고, 제시된 outage 확률에 대한 closed form을 이용하여 D2D 통신 시스템의 신뢰성을 손쉽게 판단할 수 있다.

IV. 실험 결과

이번 장에서는 컴퓨터 모의실험을 통해서 D2D 통신 시스템의 outage 확률 성능을 검증한다. 모의실험의 매개 변수들은 아래 표 1에 정리되어 있다.

그림 2는 D2D 통신 단말기 쌍의 거리, $d_{D_1D_2}$ 는 10m일 때, 셀룰러 사용자 단말기와 D2D 통신 수신기의 거리에 따른 outage 확률 성능을 나타낸다. 그림에서 M 이 증가함에 따라 outage 확률의 성능이 크게 열화됨을 확인할 수 있다. 또한, 셀룰러 사용자 단말기와 D2D 통신 수신기의 거리가 멀어질수록 outage 확률의 성능이 크게 개선됨을 확인할 수 있다. D2D 통신 단말기 쌍의 거리가 10m인 경우에는 10^{-1} 의 outage 확률을 얻기 위해서는 $M = \{1, 2, 4\}$ 에 따라 각각 셀룰러 단말기와 대략 30m ($\delta_D = 0.0740$), 40m ($\delta_D = 0.0194$) 그리고 50m ($\delta_D = 0.0066$) 이상 떨어져 있어야 함을 확인할 수 있다.

그림 3은 셀룰러 단말기와 D2D 통신 수신기의 거리는 20m일 때, D2D 통신 단말기 쌍의 거리에 따른 outage 확률 성능을 나타낸다. 여기에서는 그림 2와 마찬가지로 M 이 증가함에 따라 outage 확률의 성능이 크게 열화됨을 확인할 수 있다. 또한, D2D 통신 단말기 쌍의 거리가 가까울수록 outage 확률의 성능이 크게

개선됨을 확인할 수 있다. 셀룰러 단말기와 D2D 통신 수신기의 거리가 20m일 때에도 $M = \{1, 2, 4\}$ 의 경우에 대해서 D2D 통신 단말기 쌍의 거리가 각각 7m ($\delta_D = 0.1075$), 5m ($\delta_D = 0.0280$) 그리고 3m ($\delta_D = 0.0036$) 이하로 가까우면 10^{-1} 이하의 outage

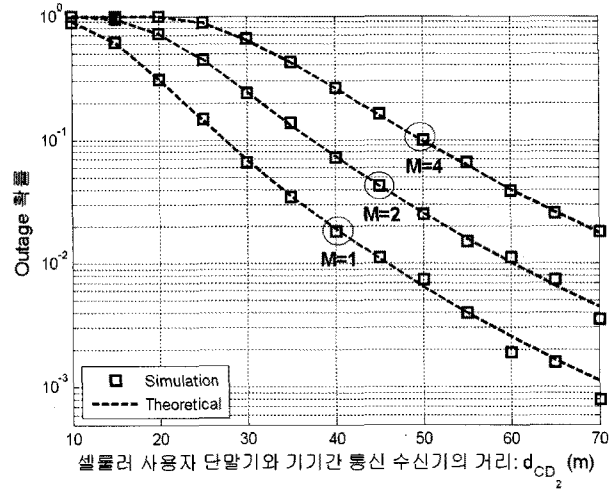


그림 2. D2D 통신 시스템이 M 개의 셀룰러 단말기와 주파수 자원을 공유할 때, 셀룰러 사용자 단말기와 D2D 통신 수신기의 거리에 따른 Outage 확률 ($\bar{P}_{CB}/\gamma_{th} = 20dB$)

Fig. 2. Outage probability of D2D system according to the distance between cellular user equipments and a D2D receiver.

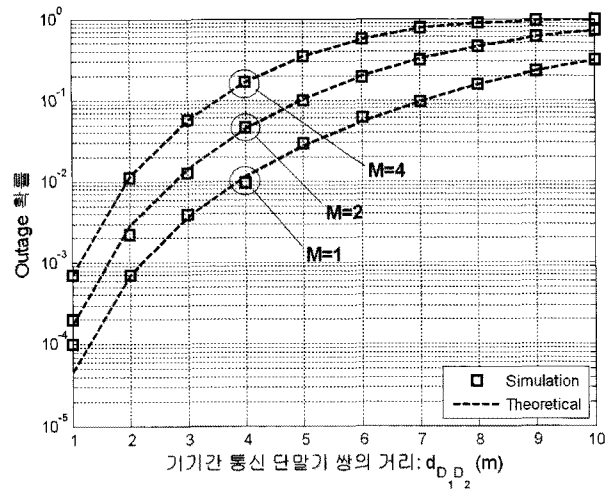


그림 3. D2D 통신 시스템이 M 개의 셀룰러 단말기와 주파수 자원을 공유할 때, D2D 통신 전송기와 수신기의 거리에 따른 Outage 확률 ($\bar{P}_{CB}/\gamma_{th} = 20dB$)

Fig. 3. Outage probability of D2D system according to the distance between a D2D transmitter and a D2D receiver.

표 1. 모의실험 매개 변수
Table 1. Simulation parameters.

매개 변수	값
α	4
δ_B	0.1
d_{D_1B}	250 m
$d_{D_1D_2}$	10 m (그림 3 제외)
d_{CD_2}	20 m (그림 2 제외)
d_{CB}	$d_{D_1B} - d_{CD_2}$

확률을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

위의 실험 결과들은 유도된 outage 확률이 실험 결과와 일치함을 보여준다. 또한 D2D 통신 시스템의 outage 확률은 셀룰러 사용자 단말기로부터 발생하는 간섭 대 신호비와 셀룰러 사용자 단말기의 개수에 대한 함수로 표현되며, 간섭 대 신호 비는 D2D 통신 단말기 쌍, 셀룰러 사용자 단말기, 및 기지국과의 거리의 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제시된 outage 확률과 각 단말기 및 기지국과의 거리 정보를 이용하면 D2D 통신 시스템의 신뢰성을 쉽게 평가할 수 있다.

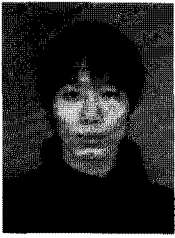
IV. 결 론

본 논문에서는 D2D 통신 시스템이 M 개의 셀룰러 단말기들과 상향 링크의 주파수 자원을 공유할 때 D2D 통신 시스템의 outage 확률을 분석하였다. 유도된 결과에 의해 D2D 통신 수신기의 outage 확률은 셀룰러 사용자 단말기들에 의해 발생하는 간섭 대 신호 비 및 셀룰러 사용자 단말기의 개수에 의한 함수로 표현할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 셀룰러 사용자 단말기들에 의해 발생하는 간섭 대 신호 비는 D2D 통신 단말기 쌍, 셀룰러 사용자 단말기들, 및 기지국과의 거리의 함수로 표현되고, 모의실험을 통해 유도된 outage 확률의 정확성을 입증하였다. 따라서 각 단말기 및 기지국과의 거리 정보를 이용하여 outage 확률을 쉽게 계산할 수 있으며, 이를 통해 D2D 통신 시스템의 신뢰성을 평가할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] K. Doppler, M. P. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [2] C. H. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "Power optimization of device-to-device communication underlying cellular communication," in *Proc. IEEE ICC 2009*, pp. 1-5, June 2009.
- [3] C. H. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "On the performance of device-to-device underlay communication with simple power control," in *Proc. IEEE VTC 2009-Spring*, pp. 1-5, Apr. 2009.
- [4] K. Doppler, C. H. Yu, C. B. Ribeiro, and P. JÄänis "Mode selection for device-to-device communication underlying an LTE-advanced network," in *Proc. IEEE WCNC 2010*, pp. 1-5, Apr. 2010.
- [5] H. Min, W. Seo, J. Lee, S. Park, and D. Hong, "Reliability improvement using receive mode selection in the device-to-device uplink period underlying cellular networks," to appear in *IEEE Trans. Wireless Commun.*
- [6] 이제민, 왕한호, 노고산, 홍대식, "다수의 주 사용자가 존재하는 무선인지 네트워크의 중계 전송 성능 평가," 대한전자공학회논문지, 제47권 TC편, 제 5호, 25-32쪽, 2010년 5월
- [7] K. Hamdi, W. Zhang, and K. B. Letaief, "Opportunistic spectrum sharing in cognitive MIMO wireless networks," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 8, no. 8, pp. 4098-4109, Aug. 2009.
- [8] Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed.*, Prentice Hall, 2001.
- [9] J. W. Makr and W. Zhuang, *Wireless Communications and Networking*, Prentice Hall, 2003.
- [10] 민현기, 이성은, 홍대식, "증폭 후 전달 릴레이 시스템을 위한 송신 Maximum-Ratio-Combining과 릴레이 선택 다이버시티에 대한 Outage 확률 분석," 대한전자공학회 논문지, 제45권 TC편, 제 2호, 13-18쪽, 2008년 2월
- [11] A. Papoulis and S. U. Pillai, *Probability, Random Variables and Stochastic Process*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [12] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series, and Products*, 6th ed. San Diego, CA: Academic, 2000.

저 자 소 개



민 현 기(학생회원)
2005년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2007년 연세대학교 전기전자
공학과 석사 졸업.
2007년 3월~현재 연세대학교
전기전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 이동통신시스템, OFDM, MIMO,
멀티홉 시스템>



서 우 현(정회원)
2004년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2010년 연세대학교 전기
전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 이동통신시스템,
OFDM, MIMO, HCS 시스템>



박 성 수(학생회원)
2006년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2008년 연세대학교 전기전자
공학과 석사 졸업.
2008년 3월~현재 연세대학교
전기전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 펄토셀, 멀티홉 릴레이, MIMO,
OFDM>



홍 대 식(평생회원)
1990년 Purdue University
Electrical Engineering
박사 졸업.
1991년~현재 연세대학교
전기전자공학과 교수.

<주관심분야 : 디지털통신, 통신신호처리, 4G시스
템, OFDM, 멀티홉 시스템, CR, M2M>