



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

무선 네트워크 하향링크 채널에서의
D2D 통신 성능 분석

Performance Analysis on Device-to-Device
Communication in Downlink Cellular Networks

2015년 2월

서울대학교 대학원

전기정보 공학부

이용훈

Performance Analysis on Device-to-Device Communication in Downlink Cellular Networks

지도교수 박세웅

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2015년 1월

서울대학교 대학원
전기정보 공학부
이용훈

이용훈의 공학석사 학위논문을 인준함
2015년 1월

위원장 최 성 현 (인)

부위원장 박 세 웅 (인)

위 원 심 병 효 (인)

초 록

무선 네트워크 하향링크 채널에서의 D2D 통신 성능 분석

서울대학교 대학원
전기 컴퓨터 공학부
이용훈

무선 네트워크의 스펙트럼 효율을 높이기 위한 방법 중 하나로 D2D(device-to-device) 통신이 주목받고 있다. 기존의 D2D 통신의 성능을 올리거나 분석한 연구들은 instantaneous한 접근 방식을 이용하여 특정 상황에서의 optimal solution을 찾는 데에 중점을 두었지만, 최근에는 확률기하를 이용하여 D2D 통신의 성능을 statistical한 방법으로 접근하는 연구들이 발표되고 있다. 이러한 분석은 특정 시간에서는 optimal이 아닐지 모르지만 긴 시간의 측면에서는 앞선 기법보다 좋은 성능을 보일 수 있다. 하지만 많은 연구들이 상향링크 채널에서의 D2D 통신에 집중되어 있고, 하향링크 채널에서의 D2D 통신의 성능을 분석한 논문은 많지 않다. 본 논문에서는 mode selection과 power control을 고려한 하향링크 채널에서의 D2D 통신 성능을 통계적으로 분석하였다. 하향링크 채널에서의 D2D 통신은 상향링크 채널에서의 D2D와는 다른 특성을 갖기 때문에 기존의 상향링크 채널에서 D2D 통신을 고려한 논문들과는 다른 mode selection 기준이 필요하다. 본 논문에서는 기지국과의 거리, D2D 링크의 거리, 가까운 셀룰러 유저와의 거리를 이용하여, 하향링크 채널에서의 D2D 유저와 셀룰러 유저의 SINR 을 일정 수준 이상 보장하는 D2D 통신을 하는 mode selection 기준을 제안하였다. D2D 트래픽이 있는 유저가 제안한 기준에 따라 D2D 모드로 동작할 확률, D2D 통신 할 때의 송신 전력을 확률적으로 분석하였고, 이를 이용하여 D2D 모드로 동작할 때와 셀룰러 모드로 동작할 때의 SINR outage probability를 유도하였다. 뿐만 아니라 Shannon capacity를 이용하여 각 유저의 link capacity와 이를 이용한 total network capacity를

구하였다. 시뮬레이션 결과와 분석결과의 비교를 통하여 분석의 적합성을 검증하였다.

주요어 : Device-to-device communication, mode selection, stochastic geometry, downlink cellular networks, power control

학 번 : 2013-20853

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 관련 연구.....	2
제 3 장 시스템 모델	4
제 1 절 네트워크 모델.....	4
제 2 절 채널 모델 및 D2D Power Control.....	4
제 4 장 Mode Selection.....	6
제 1 절 모드 선택 기준	6
제 2 절 D2D 모드 선택 확률.....	7
제 5 장 D2D 통신 성능 분석.....	9
제 1 절 D2D 송신 전력 분석.....	9
제 2 절 SINR 분석	10
제 3 절 Link Capacity 및 Total Network Capacity	14
제 6 장 시뮬레이션 결과.....	16
제 7 장 결론	21
참고문헌.....	22
Abstract	23

표 목 차

[표 1]	16
-------------	----

그림 목 차

[그림 1]	7
[그림 2]	8
[그림 3]	17
[그림 4]	17
[그림 5]	18
[그림 6]	18
[그림 7]	19
[그림 8]	20

제 1 장 서론

D2D 통신은 기지국을 거치지 않고 단말간 혹은 사용자간의 직접적인 통신을 가능하게 함으로써 무선 통신 네트워크의 주파수 효율을 높이고 전력 사용량을 줄이는 방법으로 주목 받고 있다.

D2D 통신의 주파수 할당 방법에는 크게 두 가지가 있는데, D2D 통신만을 위한 주파수를 따로 할당 받아 통신하는 방법과 일반 셀룰러 유저와 주파수를 공유하여 사용하는 방법이 있다. 전자의 경우에는 D2D 통신이 다른 셀룰러 유저에게는 간섭을 미치지 않는다는 장점이 있지만, D2D 통신을 통해 얻을 수 있는 주파수 효율은 낮아진다는 단점이 있다. 후자의 경우에는 D2D 통신이 셀룰러 사용자에게 간섭을 미칠 수 있다는 단점이 있지만 전자의 경우보다 많은 주파수를 사용하여 주파수 효율 및 네트워크 성능을 높일 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는, D2D 통신을 통해 주파수 대역 재사용 효율을 가장 많이 높일 수 있는, 셀룰러 유저와 주파수를 공유하는 기법을 이용하여 D2D 성능을 분석한다.

확률 기하(stochastic geometry)는 큰 스케일의 무선 네트워크의 성능을 분석하기 위한 좋은 수학 틀로써, 최근 이러한 확률 기하를 이용하여 셀룰러 네트워크에서 상향링크 채널을 통한 D2D 통신 성능을 분석한 연구들이 많이 발표되고 있다. [1][2] 하지만 하향링크 채널을 이용한 D2D 통신은 상향링크 채널을 이용한 D2D통신과 서로 다른 signal-to-interference-plus-noise-ratio (SINR)특징을 보이며 이를 고려하여 D2D 통신 성능을 분석할 필요가 있다.

본 논문은 하향링크 채널에서 D2D mode selection과 power control을 고려한 D2D 통신의 성능 분석하였고, SINR과 link capacity의 수학적 분석을 제공한다. 또한 기존 상향링크 채널에서와는 다른 하향링크채널에서의 모든 선택기준을 제시한다. 이러한 결과들은 시스템 파라미터를 정하거나 시스템 모델을 정하는 데에 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

제 2 장 관련연구

D2D 통신의 성능을 분석하거나 올리기 위한 기법을 제안하는 연구는 크게 두 가지의 접근 방식으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 instantaneous analysis approach 방식으로, instantaneous한 시스템 정보(link distance, channel gain)를 이용하여 해당 순간의 상황에 맞는 최적의 기법을 제공하거나 그때의 성능을 분석한다. 두 번째 방식은 statistical analysis approach 방식으로, statistical한 정보(유저의 분포, 채널의 확률 분포)등을 이용하여 조금 더 긴 시간을 기준으로 성능을 분석하거나 기법을 제안한다. 이때 제안하는 기법은 특정 시간에서는 최적의 솔루션은 아닐 수 있지만 길게 보았을 때에는 보다 나은 성능을 보일 수 있다[4]–[7].

이미 상향링크 채널에서 D2D mode selection을 하였을 때 D2D 통신의 네트워크 성능을 statistical하게 분석한 논문들이 몇몇 있다. [1]에서는 channel inversion power control을 하는 D2D 통신의 성능을 분석한 논문으로, 기지국은 일정하게 배치되어있고, 유저는 PPP를 따라 분포된 상황에서의 D2D 통신과 셀룰러 통신의 성능을 분석하였다. D2D 유저는 D2D 링크 거리 D 가 문턱거리 μ 보다 작을 때 D2D 모드로 동작하고, 그렇지 않은 경우에는 셀룰러 모드로 동작하여 기지국과 통신한다. 또한 송신전력을 최소화하는 최적의 μ 를 찾고 이를 기반으로 D2D mode selection을 하였을 때의 성능을 분석하였다. [2]에서는 [1]과 비슷하게, channel inversion power control을 하고, 기지국과 유저가 PPP를 따라 분포되어 있는 상황을 고려하고 있다. 그러나 mode selection의 기준으로, 단순히 D2D 링크 거리만 보는 것이 아니라 D2D link quality와 셀룰러 link quality(기지국과 D2D 유저와의 링크)를 비교하였다. 이 비율이 D2D biasing factor T_d 보다 큰 경우에 D2D 모드로 동작하는 mode selection scheme을 제안하고 [1]보다 나은 성능을 보임을 확인하였다.

상향링크 채널에서의 D2D를 제안하는 연구들은, 상향링크 채널이 하향링크 채널보다 under-utilized될 가능성이 크고, 또한 상향링크

유저가 하향링크 유저보다 적기 때문에 간섭의 영향도 덜 받을 것이라는 근거를 들어 상향링크 채널에서의 D2D 통신을 옹호한다. 반면에 하향링크 채널에서의 D2D 통신은 다음과 같은 이점을 가진다. Frequency division duplex (FDD) 시스템에서는 보통 하향링크 채널이 상향링크 채널보다 더 많은 밴드폭을 갖기 때문에 보다 높은 주파수 재사용을 가질 수 있고, time division duplex (TDD) 시스템에서는 이전에 고려하지 않았던 타임 슬롯을 사용함으로써 재사용효율을 높일 수 있다. [3]에서는 time-frequency hopping 기법에 초점을 맞추어 하향링크 채널에서의 D2D 성능을 분석했다.

본 논문에서는 각각 하향링크 채널과 상향링크 채널에서의 유저가 서로 다른 SINR 특성을 가진다는 점을 이용하여 기존의 상향링크 채널의 모드 선택기준과는 다른 하향링크 채널 D2D 통신 모드 선택 기준을 제시하고, 제시하는 기준에 따라 D2D 통신을 하였을 때의 성능을 statistical하게 분석하였다.

제 3 장 시스템 모델

제 1 절 네트워크 모델

본 논문에서는 D2D 통신이 가능한 single-tier 하향링크 셀룰러 네트워크를 고려한다. 각각의 기지국은 밀도 λ_b 를 갖는 Poisson point process (PPP) $\Phi_b = \{b_i; i=1,2,3,\dots\}$ 를 따라 분포하며, 이 때 $b_i \in \mathbb{R}^2$ 는 i 번째 기지국의 위치이다. 셀룰러 유저와 D2D 유저^① 는 각각 밀도 λ_c 와 λ_d 를 갖는 PPP $\Phi_c = \{c_i; i=1,2,3,\dots\}$ 와 $\Phi_d = \{d_i; i=1,2,3,\dots\}$ 를 따라 분포하며, 이 때 $c_i, d_i \in \mathbb{R}^2$ 는 각각 셀룰러 유저의 위치와 D2D 유저의 위치를 의미한다.

D2D 유저는 각각 하나의 수신가능 유저를 가지며, 수신가능 유저는 D2D 가능거리 $r_{d,\max}$ 를 반지름으로, D2D 송신 유저를 원의 중심으로 하는 원 안에서 uniform distribution 을 따라 위치한다. 이 때, D2D 링크 거리를 r_d 는 다음과 같은 확률 분포를 갖는다.

$$f_{r_d}(r) = \frac{2r}{r_{d,\max}^2}, \text{ where } 0 \leq r \leq r_{d,\max} \quad (1)$$

$r_{d,\max} \leq r_{d,\text{th}}$, 즉 $r_{d,\max}$ 는 항상 $r_{d,\text{th}}$ 내에서 주어지며, 이때 $r_{d,\text{th}}$ 는 D2D 유저의 최대 송신 전력 $P_{d,\max}$, D2D 통신의 문턱 수신감도를 ρ 라고 할 때의 최대 D2D 수신 가능거리이다.

$$r_{d,\text{th}} = \left(\frac{P_{d,\max}}{\rho}\right)^{1/\eta} \quad (2)$$

제 2 절 채널 모델 및 송신 전력 컨트롤

$\eta > 2$ 를 pathloss exponent 라고 할 때, 거리 r 에 따른 pathloss 는 $r^{-\eta}$ 로 주어진다. 특정 두 위치 $x, y \in \mathbb{R}^2$ 사이의 channel gain $h(x, y)$ 는 Rayleigh fading 을 가정하며, 이 때 각각의 channel gain, h 는 i.i.d 하게 exponential 분포를 따른다.

^① 전송하고자 하는 D2D traffic이 있는 유저를 말한다.

셀룰러 유저는 가장 가까운 기지국과 통신하며, 이 때 각각의 기지국은 동일한 전력 P_{BS} 로 다운링크 전송한다고 가정한다. D2D 유저는 D2D 모드 선택 기준을 만족시켰을 때에 D2D 모드로 동작하며 이때의 송신전력은 path-loss 에 반비례하고, 최대 D2D 송신전력 $P_{d,max}$ 이내의 범위에서 Channel inversion power control 기법을 따른다.

$$P_d = \min\{\rho r_d^\eta, P_{d,max}\} \quad (3)$$

D2D 모드 선택기준을 만족시키지 않는 D2D 유저는 일반 셀룰러 유저와 같이 기지국과 통신하는 셀룰러 모드로 동작한다.

제 4 장 Mode Selection

제 1 절 하향링크 채널에서의 D2D 모드 선택 기준

D2D 유저와 가장 가까운 기지국과의 거리를 r_b , D2D 유저와 가장 가까운 셀룰러 유저와의 거리를 각각 r_c , 셀룰러 유저와 그에 상응하는 기지국과의 거리를 r_{bc} 라고 하면, 하향링크 채널에서의 D2D모드 ^②로 동작하는 유저의 SINR과 셀룰러 모드 ^③로 동작하는 유저의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{D2D} = \frac{P_d r_d^{-\eta} h}{\sigma^2 + P_{BS} r_b^{-\eta} h} = \frac{\rho h}{\sigma^2 + P_{BS} h r_b^{-\eta}} \quad (4)$$

$$SINR_{cell} = \frac{P_{BS} r_{bc}^{-\eta} h}{\sigma^2 + P_d r_c^{-\eta} h} = \frac{P_{BS} r_{bc}^{-\eta} h}{\sigma^2 + \rho h r_d^{\eta} r_c^{-\eta}} \quad (5)$$

D2D 모드로 동작하는 유저의 성능을 보장하기 위해 문턱거리 μ 를 이용하여 $r_b > \mu$ 일 때만 D2D 로 동작하게 하여 기지국에서 오는 간섭의 양을 일정 크기 이하로 보장한다. μ 가 작으면 D2D 모드로 동작하는 D2D 유저의 숫자는 많아지지만, D2D 모드로 동작할 때 기지국으로부터 받는 간섭의 크기가 크기 때문에 좋은 성능을 보장할 수는 없다.

또한 셀룰러 모드로 동작하는 유저의 성능을 보장하기 위하여 D2D biasing factor T_d 를 이용하여 $T_d r_d^{-\eta} \geq r_c^{-\eta}$ 일 때에 D2D 모드로 동작하게 하여 셀룰러 유저가 D2D 통신으로 인해 받는 간섭의 양을 일정 크기 이하로 보장한다. T_d 가 커질수록 D2D 모드로 동작하는 D2D 유저의 숫자는 커진다. T_d 가 0 인 경우에는 D2D 유저와 셀룰러 유저와의 거리를 고려하지 않고 D2D 모드로 동작하기 때문에 셀룰러 유저가 받는 간섭의 크기가 크다. 반면에 T_d 가 무한대에 가까운 경우에는 D2D 모드로 동작하지 않는다. 따라서 원하는 시스템 조건에 따라 적당한 T_d 의 값을 찾는 것이 중요하다.

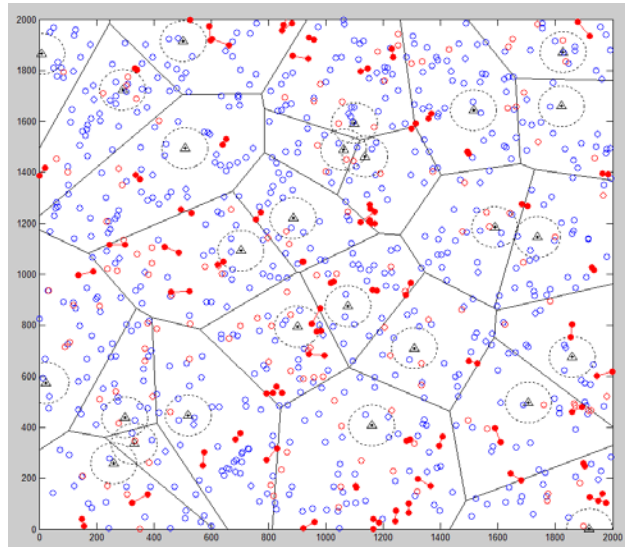
즉 D2D 유저는 $T_d r_d^{-\eta} \geq r_c^{-\eta}, r_b > \mu$ 를 만족시키는 경우에만 D2D 모드로 동작함으로써 D2D 모드로 동작할 때의 성능을 보장하고 이 때

^② 기지국을 거치지 않는 단말간의 D2D 통신을 말한다.

^③ 기지국을 통한 일반적인 셀룰러 통신을 말한다.

발생하는 간섭으로부터 셀룰러 유저의 성능 저하를 일정 수준 이하로 막을 수 있다.

[그림 1]는 본 논문의 시스템 모델에 맞추어 기지국과 셀룰러 유저, D2D 유저를 분포시킨 결과이다. 검은색 삼각형은 기지국을 의미하며, 파란색 테두리 원은 셀룰러 유저를 의미한다. 빨간색 테두리 원은 D2D 유저를 의미하며, 빨간색으로 가득 채워진 채로 표시된 유저는 D2D 모드를 선택한 유저, 빨간색 테두리와 내부는 비워진 유저는 D2D 트래픽은 있지만 셀룰러 모드로 동작하는 유저를 의미한다. 검은 실선은 Voronoi 셀을 나타내며 검은 점선은 기지국에서 μ 만큼 떨어진 지점을 의미한다. D2D 유저 중에 D2D 모드로 선택한 유저의 경우에만 D2D 수신유저를 표시하였고, D2D 링크를 빨간색 실선으로 표시하였다. [그림 1]을 통하여 고려하였던 D2D 트래픽이 있는 유저가 모드 선택 기준에 따라 D2D 모드를 선택하고 있음을 확인할 수 있다.

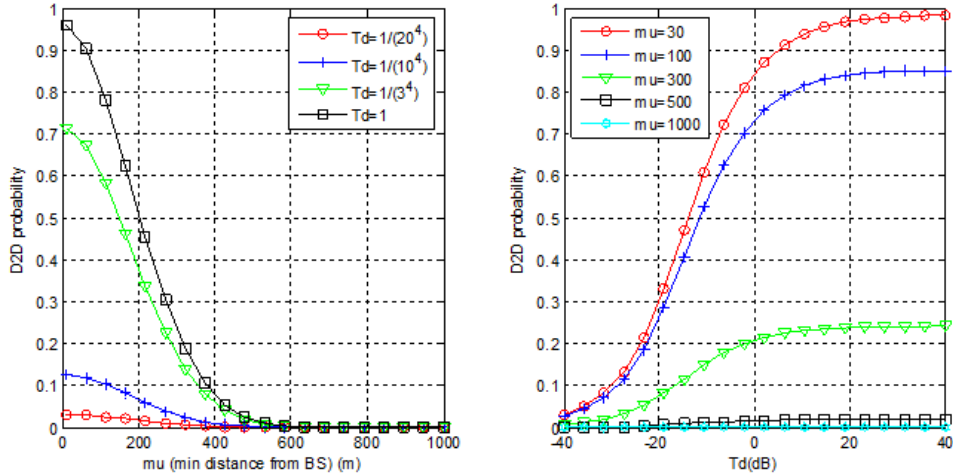


[그림 1]

제 2 절 D2D 모드 선택 확률

D2D 유저가 위에서 언급한 D2D 모드 선택기준에 따라 D2D 모드로 동작할 확률, 즉 D2D 모드 선택 확률 p_{D2D} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
p_{D2D} &= P\{T_d r_d^{-\eta} \geq r_c^{-\eta}, r_b > \mu\} = E_r[P\{T_d r_d^{-\eta} \geq r_c^{-\eta}, r_b > \mu | r_d = r\}] \\
&= E_r[P\{r_c \geq \frac{r_d}{T_d^{1/\eta}} | r_d = r\} \cdot P\{r_b > \mu\}] \\
&= \int_0^{r_{d,\max}} \frac{2r}{r_{d,\max}^2} \exp(-\pi\lambda_c \frac{r^2}{T_d^{2/\eta}}) dr \cdot \exp(-\pi\lambda_b \mu^2) \\
&= \exp(-\pi\lambda_b \mu^2) \int_0^{\pi\lambda_c T_c^{\eta/2} r_{d,\max}^2} \frac{T_d^{2/\eta}}{\pi\lambda_c r_{d,\max}^2} \exp(-t) dt \\
&= \frac{T_d^{2/\eta} e^{-\pi\lambda_b \mu^2}}{\pi\lambda_c r_{d,\max}^2} (1 - e^{-\frac{\pi\lambda_c}{T_d^{2/\eta}} r_{d,\max}^2})
\end{aligned} \tag{6}$$



[그림 2]

[그림 2]에서는 모드 선택기준이었던 μ 와 T_d 에 따라 D2D 모드 선택확률 p_{D2D} 가 어떻게 변화하는지 나타낸다. 식(6)에서 보인 바와 같이 [그림 2] 그래프를 통하여 μ 가 증가함에 따라 exponentially 감소함을 확인할 수 있고, T_d 가 증가함에 따라 exponentially 증가하다가 거의 수렴함을 확인할 수 있다.

제 5 장 D2D 통신 성능 분석

이번 장에서는 D2D 통신의 송신전력을 분석하고, 이를 기반으로 D2D 모드로 동작하는 유저와 셀룰러 모드로 동작하는 유저의 SINR의 outage probability를 구하여 각각 모드의 성능을 분석한다.

제 1 절 D2D 송신전력 분석

$X_d = \rho r_d^{\eta_d}$, $X_c = \rho r_c^{\eta_c}$ 라고 하면 D2D 송신전력 $P_d = \{X_d : X_d \leq T_c X_c\}$ 는 다음과 같은 확률 분포를 갖는다.

$$\begin{aligned}
 f_{P_d}(x) &= \int_x^{\infty} \frac{f_{X_d|T_c X_c}(x|y)P\{X_d \leq y\}f_{T_c X_c}(y)}{P\{X_d < T_c X_c\}} dy \\
 &= \frac{1}{P\{X_d < T_c X_c\}} \int_x^{\infty} \frac{2x^{2/\eta-1} \min(yT_c, P_{d,\max})^{2/\eta} 2\pi\lambda_c y^{2/\eta-1} e^{-\pi\lambda_c(y/\rho)^{2/\eta}}}{\eta \min(yT_c, P_{d,\max})^{2/\eta} P_{d,\max}^{2/\eta} \eta \rho^{2/\eta}} dy \quad (7) \\
 &= \frac{\pi\lambda_c e^{\pi\lambda_b \mu^2} 2x^{2/\eta-1}}{\eta(\rho T_c)^{2/\eta} (1 - e^{-\frac{\pi\lambda_c r_{d,\max}^2}{T_c^{2/\eta}}})} \exp\left[-\frac{\pi\lambda_c}{(\rho T_c)^{2/\eta}} x^{2/\eta}\right]
 \end{aligned}$$

이를 통해 D2D 송신전력의 α -th moment 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E[P_d^\alpha] &= \int_0^{P_{d,\max}} x^\alpha \cdot f_{P_d}(x) dx = \int_0^{P_{d,\max}} \frac{\pi\lambda_c e^{\pi\lambda_b \mu^2} 2x^{\frac{2}{\eta}-1+\alpha}}{\eta(\rho T_c)^{2/\eta} (1 - e^{-\frac{\pi\lambda_c r_{d,\max}^2}{T_c^{2/\eta}}})} \exp\left[-\frac{\pi\lambda_c}{(\rho T_c)^{2/\eta}} x^{2/\eta}\right] dx \\
 &= \frac{e^{\pi\lambda_b \mu^2} (\rho T_c)^\alpha}{(\pi\lambda_c)^{\frac{\eta\alpha}{2}} (1 - e^{-\frac{\pi\lambda_c r_{d,\max}^2}{T_c^{2/\eta}}})} \int_0^{\frac{\pi\lambda_c (\frac{P_{d,\max}}{\rho T_c})^{2/\eta}}{\rho T_c}} t^{\frac{\eta\alpha}{2}} e^{-t} dt \quad (8) \\
 &= \frac{e^{\pi\lambda_b \mu^2} (\rho T_c)^\alpha}{(\pi\lambda_c)^{\frac{\eta\alpha}{2}} (1 - e^{-\frac{\pi\lambda_c r_{d,\max}^2}{T_c^{2/\eta}}})} \gamma\left(\frac{\eta\alpha}{2} + 1, \pi\lambda_c \frac{r_{d,\max}^2}{T_c^{2/\eta}}\right)
 \end{aligned}$$

제 2 절 SINR 분석

D2D 모드로 동작하는 유저가 유저가 다른 D2D 모드 유저로부터 D2D 수신기가 받는 간섭을 I_{DD} , 기지국으로부터 D2D 수신기가 받는 간섭을 I_{BD} 라고 하면, D2D 모드로 동작하는 유저가 받는 SINR 은 다음과 같다.

$$SINR_{D2D} = \frac{\rho h_0}{\sigma^2 + I_{BD} + I_{DD}} \quad (9)$$

Channel gain, h_0 가 exponential 분포를 따르므로 SINR 의 outage Probability 는 다음과 같이 구할 수 있다. 이때, $L_X(\cdot)$ 은 랜덤변수 X 의 pdf Laplace transform 을 의미한다.

$$\begin{aligned} P\{SINR_{D2D} > \beta\} &= E\left[P\left\{h_0 \geq \frac{\beta}{\rho}(\sigma^2 + I_{BD} + I_{DD}) \mid I_{BD}, I_{DD}\right\}\right] \\ &= E\left[\exp\left\{-\frac{\beta}{\rho}(\sigma^2 + I_{BD} + I_{DD})\right\}\right] = \exp\left(-\frac{\beta}{\rho}\sigma^2\right) L_{I_{BD}}\left(\frac{\beta}{\rho}\right) L_{I_{DD}}\left(\frac{\beta}{\rho}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

D2D 모드로 동작하는 유저 분포 $\tilde{\Phi}_d$ 는 Φ_d 로 분포되어 있던 D2D 유저 중 D2D 모드를 선택한 유저만을 포함하며, PPP로 주어지지 않는다. 하지만 $\tilde{\Phi}_d = p_{D2D}\Phi_d$ 와 같이 근사할 수 있으며, 이러한 근사를 이용하면, 여전히 PPP의 성질을 이용할 수 있다. 이를 이용하여 I_{BD} 와 I_{DD} 의 근사값인 \tilde{I}_{DD} 를 다음과 같이 구할 수 있다. I_{BD} 는 모든 기지국으로부터 오는 간섭의 합으로 주어지며, I_{DD} 는 $\tilde{\Phi}_d$ 에 따라 분포된 D2D 모드 송신 유저로부터 오는 간섭의 합으로 주어진다.

$$I_{BD} = \sum_{X_i \in \Phi_b} P_{BS} h_i \|x_i\|^{-\eta} \quad (11)$$

$$I_{DD} = \sum_{X_i \in \tilde{\Phi}_d} P_d h_i \|x_i\|^{-\eta} \approx \tilde{I}_{DD} = \sum_{X_i \in p_{D2D}\Phi_d} P_d h_i \|x_i\|^{-\eta} \quad (12)$$

I_{BD} 와 \tilde{I}_{DD} 의 Laplace transform은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
L_{I_{BD}}(s) &= \mathbb{E}_{\Phi_b} \left[\prod_{X_i \in \Phi_b} \mathbb{E}_h \left[e^{-s \cdot 1(\|x_i\| < \mu) P_{BS} h \|X_i\|^\eta} \right] \right] \\
&= \exp(-2\pi\lambda_b \left[\int_{\mu}^{\infty} (1 - \mathbb{E}_h \{ e^{-s P_{BS} h x^{-\eta}} \}) x \, dx \right]) \\
&= \exp(-2\pi\lambda_b \left[\int_{\mu}^{\infty} \left(1 - \frac{1}{1 + s P_{BS} x^{-\eta}} \right) x \, dx \right]) \\
&= \exp(-2\pi\lambda_b (s P_{BS})^{-1/\eta} \int_{(\frac{\mu^\eta}{s P_{BS}})^{1/\eta}}^{\infty} \frac{y}{1 + y^\eta} \, dy) \tag{13} \\
&\stackrel{(a)}{=} \exp\left(-\frac{2\pi\lambda_b s P_{BS} \mu^{2-\eta}}{(\eta-2)} \left[{}_2F_1\left(1, \frac{\eta-2}{\eta}, 2-\frac{2}{\eta}, -s P_{BS} \mu^{-\eta}\right) \right]\right) \\
&\stackrel{(\eta=4)}{=} \exp\left(-\pi\lambda_b (s P_{BS})^{\frac{2}{\eta}} \left[\frac{\pi}{2} - \arctan\left(\frac{\mu^2}{\sqrt{s P_{BS}}}\right) \right]\right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_{\tilde{I}_{DD}}(s) &= \mathbb{E}_{p\Phi_d} \left[\prod_{X_i \in pD_{2D}\Phi_d} \mathbb{E}_{P_d, h_i} \{ e^{-s P_d h_i \|x_i\|^\eta} \} \right] \\
&= \exp(-2\pi p_{D_{2D}} \lambda_d \mathbb{E}_{P_d, h} \left[\int_0^{\infty} (1 - e^{-s P_d h x^{-\eta}}) x \, dx \right]) \\
&= \exp(-2\pi p_{D_{2D}} \lambda_d \mathbb{E}_{P_d, h} \left[\frac{(s h P_d)^{2/\eta}}{\eta} \Gamma\left(-\frac{2}{\eta}\right) \right]) \tag{14} \\
&= \exp(-2\pi p_{D_{2D}} \lambda_d \mathbb{E}_{P_d} \left[\frac{(s P_d)^{2/\eta}}{\eta} \Gamma\left(1 + \frac{2}{\eta}\right) \Gamma\left(-\frac{2}{\eta}\right) \right]) \\
&\stackrel{(b)}{=} \exp\left(\frac{-p_{D_{2D}} \lambda_d \pi s^{2/\eta}}{\text{sinc}(2/\eta)} \mathbb{E}[P_d^{\frac{2}{\eta}}]\right)
\end{aligned}$$

이 때 등호 (a)에서는 hypergeometric function 의 정의를 이용한다.

$$\int_r^{\infty} \frac{u}{u+x^a} x dx = \frac{ur^{2-a}}{a-2} {}_2F_1\left(1, \frac{a-2}{a}, 2-\frac{2}{a}, -ur^{-a}\right) \tag{15}$$

등호 (b)에서는 Euler's reflection formula 의 정의를 이용한다.

$$\Gamma(1-z)\Gamma(z) = \frac{\pi}{\sin(\pi z)} \quad (16)$$

또 한 각각의 Laplace transform 식(13), (14) 에 $s = \beta / \rho$ 을 대입하여, D2D 모드로 동작하는 유저의 SINR outage probability(10)를 구할 수 있다.

D2D모드 유저의 SINR 식(9)을 구할 때와 비슷한 방법으로, 셀룰러 유저가 다른 D2D 모드 유저로부터 받는 간섭을 I_{DC} , 상응하는 기지국외에 다른 기지국으로부터 셀룰러 유저가 받는 간섭을 I_{BC} 라고 하면, 셀룰러 유저의 수신기가 받는 SINR은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SINR_{cell} = \frac{P_{BS} h_0 r_b^{-\eta}}{\sigma^2 + I_{BC} + I_{DC}} \quad (17)$$

위의 방식과 같이 Channel gain, h_0 의 성질을 이용하여 SINR의 outage Probability는 다음과 같이 구할 수 있다. 기지국의 경우에 power control를 하지 않기 때문에 기지국과 유저의 거리 r_b 에 따른 조건부 기대 값을 이용하여 SINR의 outage Probability를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P\{SINR_{cell} > \beta\} &= E[P\{SINR_{cell} > \beta | r_b\}] \\ &= \int_0^{\infty} P\{SINR_{cell} > \beta | r_b\} 2\pi\lambda_b r_b e^{-\lambda_b \pi r_b^2} dr_b \\ P\{SINR_{cell} > \beta | r_b\} &= E_{I_{BC}, I_{DC}} [P\{h_0 \geq \frac{\beta r_b^\eta}{P_{BS}} (\sigma^2 + I_{BC} + I_{DC}) | I_{BC}, I_{DC}\}] \quad (18) \\ &= E_{I_{BC}, I_{DC}} [\exp\{-\frac{\beta r_b^\eta}{P_{BS}} (\sigma^2 + I_{BC} + I_{DC})\}] \\ &= \exp(-\frac{\beta r_b^\eta}{P_{BS}} \sigma^2) L_{I_{BC}}(\frac{\beta r_b^\eta}{P_{BS}}) L_{I_{DC}}(\frac{\beta r_b^\eta}{P_{BS}}) \end{aligned}$$

D2D 유저 중에 $r_b > \mu$, 즉 기지국으로부터 문턱거리 μ 이상 떨어진 유저 분포 $\hat{\Phi}_d$ 는 $\hat{p}_{D2D} \Phi_d$ 로 근사할 수 있으며, 이러한 근사를 이용하면,

여전히 PPP의 성질을 이용할 수 있다. 이 때, 이를 이용하여 I_{BC} 와 I_{DC} 의 근사값인 \hat{I}_{DC} 를 다음과 같이 구할 수 있다. I_{BC} 는 해당 셀룰러 유저와 상응하는 기지국외의 모든 기지국으로부터 오는 간섭의 합으로 주어지며, I_{DC} 는 $\hat{\Phi}_d$ 에 따라 분포된 D2D 모드 송신 유저로부터 오는 간섭의 합으로 주어진다.

$$I_{BC} = \sum_{X_i \in \Phi_b \setminus X_0} P_{BS} h_i \|x_i\|^{-\eta} \quad (19)$$

$$I_{DC} = \sum_{X_i \in \hat{\Phi}_d} 1(\|x_i\|^{-\eta} < T_c r_d^{-\eta}) P_d h_i \|x_i\|^{-\eta}$$

$$\approx \hat{I}_{DC} = \sum_{X_i \in \hat{\Phi}_d} 1(\|x_i\|^{-\eta} < T_c r_d^{-\eta}) P_d h_i \|x_i\|^{-\eta} \quad (20)$$

I_{BC} 와 \hat{I}_{DC} 의 Laplace transform은 아래와 같으며, 각각의 Laplace transform 표현 식 (21), (22)에 $s = \beta r_b^\eta / P_{BS}$ 을 대입하여, D2D 모드로 동작하는 유저의 SINR outage probability (18)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_{I_{BC}}(s) &= E_{\Phi_b} \left[\prod_{X_i \in \Phi_b \setminus X_0} E_h [e^{-s P_{BS} h \|X_i\|^{-\eta}}] \right] \\ &= \exp(-2\pi\lambda_b \int_{r_b}^{\infty} (1 - E_h [e^{-s P_{BS} h x^{-\eta}}]) x dx) \\ &= \exp(-2\pi\lambda_b \int_{r_b}^{\infty} (1 - \frac{1}{1 + s P_{BS} x^{-\eta}}) x dx) \\ &= \exp(-2\pi\lambda_b \int_{r_b (s P_{BS})^{-1/\eta}}^{\infty} \frac{y}{1 + y^\eta} (s P_{BS})^{\frac{2}{\eta}} dy) \\ &= \exp(-2\pi\lambda_b \frac{s P_{BS} r_b^{2-\eta}}{\eta-2} {}_2F_1(1, \frac{\eta-2}{\eta}, 2 - \frac{2}{\eta}, -\frac{r_b^\eta}{s P_{BS}})) \\ &\stackrel{(\eta=4)}{=} \exp(-\pi\lambda_b (s P_{BS})^\eta \{ \frac{\pi}{2} - \arctan(\frac{1}{\sqrt{s P_{BS} / r_b^\eta}}) \}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned}
L_{i_{DC}}(s) &= E[\exp(-s \sum_{X_i \in \rho\Phi_d} 1(\|x_i\|^{-\eta} < T_c r_d^{-\eta}) P_d h_i \|x_i\|^{-\eta})] \\
&= E_{\hat{\rho}\Phi_d} [\prod_{X_i \in \hat{\rho}\Phi_d} E_{P_d, h_i} \{ e^{-s \cdot 1(\|x_i\| > (\frac{P_d}{\rho T_c})^{1/\eta}) P_d h_i \|x_i\|^{-\eta}} \}] \\
&= \exp(-2\pi \hat{\rho} \lambda_d E_{P_d, h} [\int_{(\frac{P_d}{\rho T_c})^{1/\eta}}^{\infty} (1 - e^{-s P_d h x^{-\eta}}) x dx]) \\
&= \exp(-2\pi \hat{\rho} \lambda_d E_{P_d} [\int_{(\frac{P_d}{\rho T_c})^{1/\eta}}^{\infty} (1 - \frac{1}{1 + s P_d x^{-\eta}}) x dx]) \\
&= \exp(-2\pi \hat{\rho} \lambda_d E_{P_d} [P_d^{2/\eta} s^{2/\eta} \{ \int_{(s \rho T_c)^{-1/\eta}}^{\infty} \frac{y}{1 + y^\eta} dy \}]) \\
&= \exp(-2\pi \hat{\rho} \lambda_d E_{P_d} [P_d^{2/\eta} s^{2/\eta} \{ \frac{(s \rho T_c)^{1-2/\eta}}{\eta - 2} {}_2F_1(1, 1 - \frac{2}{\eta}, 2 - \frac{2}{\eta}, -s \rho T_c) \}]) \\
&\stackrel{(\eta=4)}{=} \exp(-\pi \hat{\rho} \lambda_d E_{P_d} [P_d^{2/\eta} s^{2/\eta} \{ \frac{\pi}{2} - \arctan(\frac{1}{\sqrt{s \rho T_c}}) \}]) \tag{22}
\end{aligned}$$

제 3 절 Link Capacity 및 Total Network Capacity

Shannon Capacity를 이용하여 D2D 모드와 셀룰러 모드로 각각 동작할 때의 link capacity의 기대값, R_{D2D} 와 R_{cell} 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
R_{D2D} &= E[\log_2(1 + SINR_{D2D})] = \int_0^{\infty} P[\log_2(1 + SINR_{D2D}) > t] dt \\
&= \int_0^{\infty} \exp(-\frac{2^t - 1}{\rho} \sigma^2) L_{I_{BD}}(\frac{2^t - 1}{\rho}) L_{I_{DD}}(\frac{2^t - 1}{\rho}) dt \tag{23}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{cell} &= E[\log_2(1 + SINR_{cell})] = \int_0^{\infty} \mathbb{P}[\log_2(1 + SINR_{cell}) > t] dt \\
&= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{2^t - 1}{P_{BS}} r_b^\eta \sigma^2\right) L_{I_{BC}}\left(\frac{2^t - 1}{P_{BS}} r_b^\eta\right) L_{I_{DC}}\left(\frac{2^t - 1}{P_{BS}} r_b^\eta\right) 2\pi\lambda_b r_b e^{-\lambda_b \pi r_b^2} dr_b dt
\end{aligned} \tag{24}$$

R_{D2D} , 식 (23)와 R_{cell} , 식 (24)를 이용하여 total network capacity 를 구할 수 있다. R_{D2D} 에 D2D 모드 유저의 밀도를 곱하고, R_{cell} 에 기지국 밀도를 곱하여 전체 네트워크의 성능을 분석할 수 있다. total network capacity 는 다음과 같다.

$$T = p_{D2D} \lambda_d R_{d2d} + \lambda_b R_{cell} \tag{25}$$

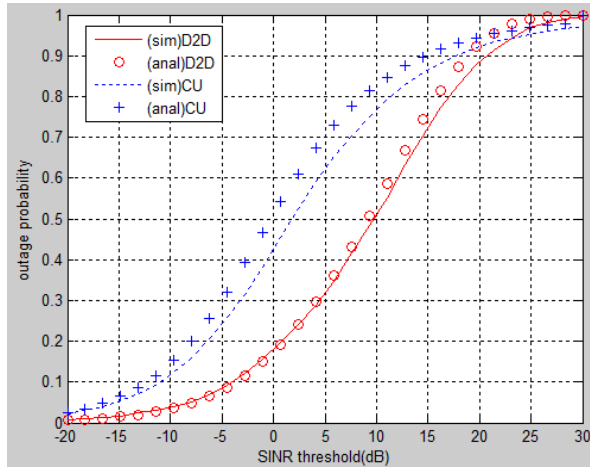
제 6 장 시뮬레이션 결과

이번 장에서는 본 논문 제 3장에서 같은 시스템 모델을 갖는 시뮬레이터를 만들고 그 결과와 분석결과의 비교를 통해 분석결과의 적합성을 검증하고자 한다. [표 1]은 시뮬레이션 파라미터들을 명시하였다.

Parameter	Value
Simulation area	2km, 2km
BS intensity, λ_b	3/km ²
Cellular UE intensity, λ_c	250/km ²
Potential D2D UE intensity, λ_d	25/km ²
D2D biasing factor, T_d	1
BS distance threshold, μ	100m
Max D2D link distance, $r_{d,max}$	20m
BS Tx power, P_{BS}	5W
D2D Target SNR	50dB
White noise, σ^2	-97dBm

[표 1]

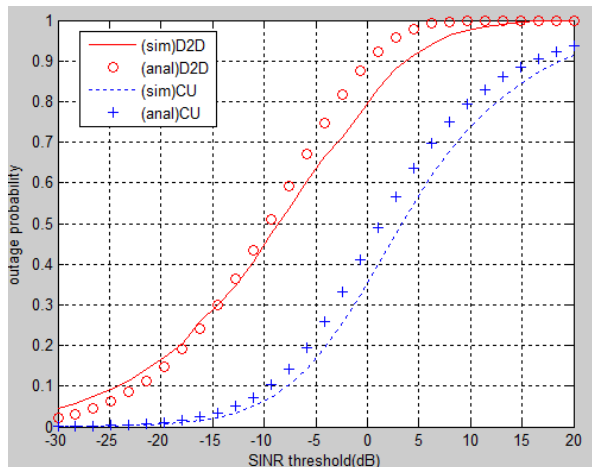
아래의 [그림 3]은 5장 2절에서 구했던 SINR outage probability 식(10), (18)을 그린 그래프 이다. 빨간색은 D2D mode로 동작할 때의 SINR 성능을, 파란색은 cellular mode로 동작하는 유저의 SINR 성능을 나타낸다. 실선과 점선은 시뮬레이션 결과를 나타내고 원과 크로스는 분석결과를 나타낸다. y축은 SINR의 outage probability를 나타내므로 그래프의 오른쪽에 있을수록 좋은 SINR 성능을 보임을 알 수 있다.



[그림 3]

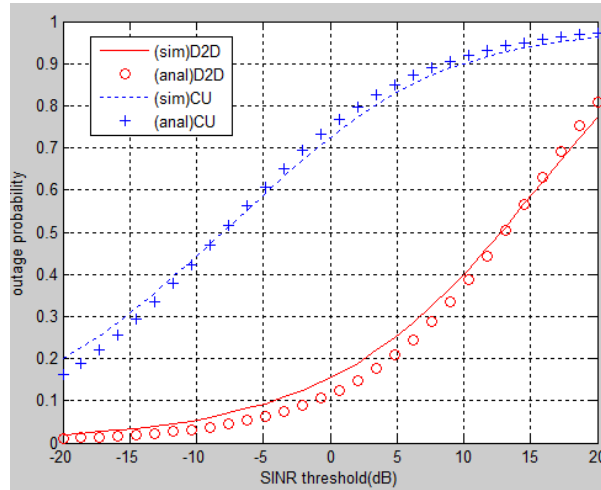
위의 simulation 환경에서는 D2D 모드로 동작할 때의 성능이 셀룰러 모드로 동작할 때의 성능보다 좋음을 그림 3 에서 확인 할 수 있다. 또한 분석결과와 시뮬레이션 결과가 잘 맞음을 볼 수 있다. 약간의 오차는 I_{DC} 와 I_{DD} 를 구할 때의 근사에서 기인한 것으로 예상된다.

다음의 두 그래프는 이전 시뮬레이션 환경을 레퍼런스로 두고 시뮬레이션 파라미터를 조금씩 바꿔가면서 분석한 결과이다. [그림 4]는 위의 시뮬레이션보다 D2D target SNR을 작게 하고 실험한 결과이다. D2D target SNR이 50dB에서 30dB로 줄어들어 따라, 위의 그래프에 비해서 D2D 모드로 동작하는 유저의 SINR 성능이 떨어졌음을 확인할 수 있다.

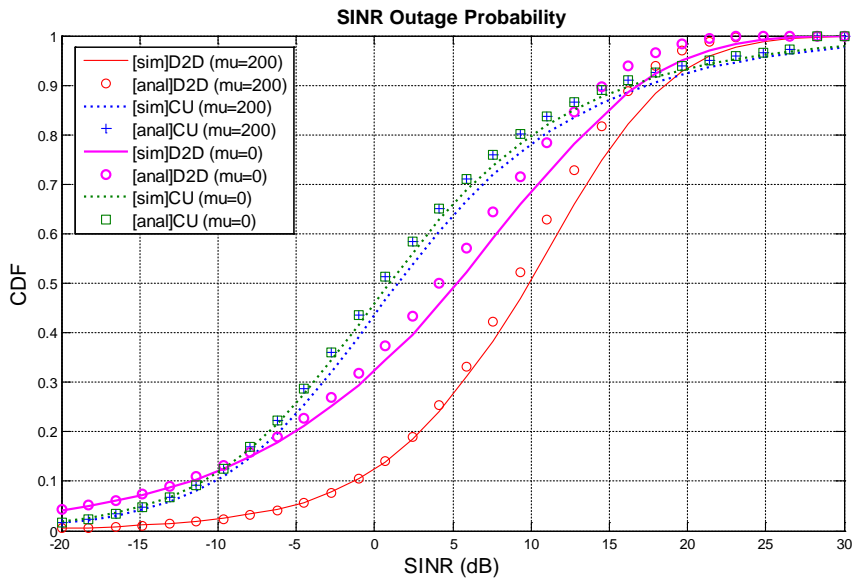


[그림 4]

[그림 5]는 위의 시뮬레이션보다 D2D 유저의 밀도를 크게 하고 실험한 결과이다. D2D 유저의 밀도가 증가하면 cellular 유저가 D2D 통신으로 인해 받는 간섭의 크기가 증가하게 되고 이로 인해 셀룰러 모드로 동작하는 유저의 SINR 성능이 나빠짐을 확인할 수 있다.



[그림 5]

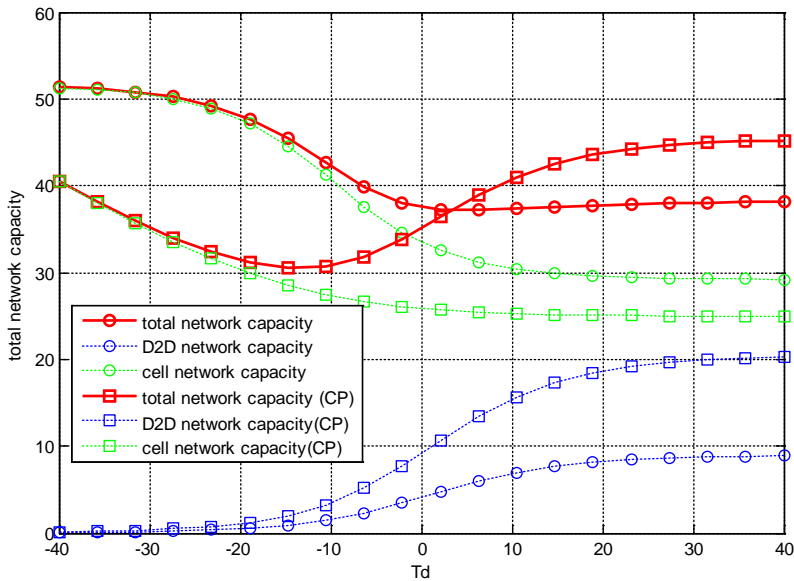


[그림 6]

[그림 6]은 D2D 모드 선택 기준 중 하나였던 μ 의 영향을 본 것이

다. 그래프의 빨간색과 파란색은 μ 가 200m 일 때, 분홍색과 초록색은 μ 가 0 일 때, 즉 D2D 유저와 기지국과의 거리 r_b 를 고려하지 않을 때의 성능을 나타낸다. r_b 를 고려하지 않을 때의 성능 ($\mu=0$)이 $\mu=200$ 일 때의 성능보다 더 떨어짐을 확인할 수 있다. 이를 통하여 모드선택 기준의 하나였던 기지국과의 거리를 고려하는 것이 타당함을 알 수 있고 또한 시스템 모델에 따라 적당한 μ 를 찾는 것이 중요함을 알 수 있다.

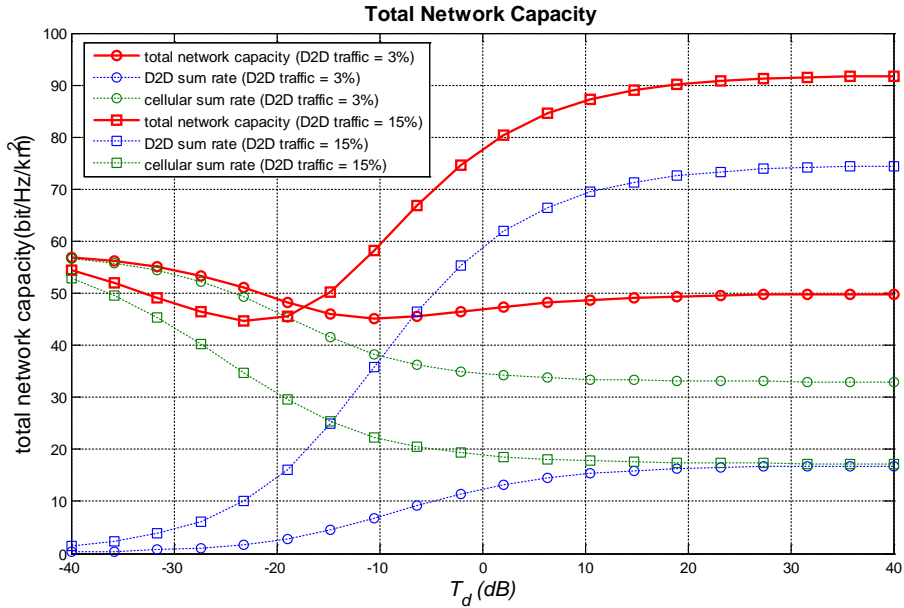
다음 그래프 [그림 7]는 5장에서 동작 모드 별 link capacity를 이용하여 구했던 total network capacity 식(25)을 그래프에 표현한 것이다. 동그라미는 power control를 할 때 사각형은 고정 power로 D2D 통신을 할 때의 성능을 나타낸 것이다. 초록색은 D2D 통신 할 때의 link capacity에 D2D 모드로 동작하는 유저의 밀도를 곱한 값이고, 파란색은 셀룰러 모드 link capacity에 기지국 밀도를 곱한 값이다. 빨간색은 total network capacity로 파란색과 초록색의 합이다.



[그림 7]

Power control를 하면 D2D 통신의 network capacity는 작아지지만 셀룰러 모드로 동작할 때의 성능은 좋음을 알 수 있다. 이를 통해 D2D 링크 거리에 따라 적합한 파워로 D2D 통신을 하고, 이를 고려한 mode selection이 잘 이루어짐을 알 수 있다. D2D 통신의 네트워크 성능은 p_{D2D} 가 중요한 요소임을 알 수 있고, T_d 가 커지면서 p_{D2D} 가 커지면

D2D 통신의 네트워크 성능 역시 증가함을 확인할 수 있다.



[그림 8]

[그림 8]은 D2D 트래픽의 발생빈도가 바뀔 때, 즉 전체 유저 중에서 D2D 트래픽이 있는 유저의 비율이 바뀔 때의 성능을 나타낸 그래프이다. 동그라미는 D2D 트래픽 발생빈도가 3%일 때, 네모는 D2D 트래픽 발생빈도가 15%일 때의 성능을 나타낸 것이다. 이 두 경우 모두 앞선 그래프에서 확인한 바와 같이 T_d 가 커질수록 D2D 모드 선택확률이 증가하기 때문에 D2D 모드로 동작하는 유저의 sum rate이 증가하고, 또한 이로 인해 셀룰러 유저가 D2D 유저로부터 받는 간섭이 증가하기 때문에 셀룰러 유저의 성능은 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 빨간색으로 표시된 total network capacity 관점에서 D2D traffic에 따라 적당한 T_d 의 값이 바뀔 수 있음을 확인할 수 있다. D2D traffic이 3%인 경우에는 D2D를 덜 활성화 시키는 것이 전체 네트워크 성능 관점에서는 좋고, D2D traffic이 15%인 경우에는 D2D를 많이 활성화 시키는 것이 전체 네트워크 성능 관점에서 좋다. 이처럼 본 논문의 분석 결과를 이용하여 시스템 환경에 따른 적당한 모드선택 기준을 찾을 수 있다.

제 7 장 결론

본 논문에서는 mode selection과 power control을 고려한 하향링크 채널에서의 D2D 통신 성능을 통계적으로 분석하였다. 하향링크 채널에서의 D2D 통신은 상향링크 채널에서의 D2D와는 다른 특성을 갖기 때문에 기존의 상향링크 채널에서 D2D 통신을 고려한 논문들과는 다른 mode selection 기준이 필요했고, SINR 특성을 고려하여 기지국과의 거리, D2D 링크의 거리, 가까운 셀룰러 유저와의 거리를 이용하여 D2D 통신을 하는 mode selection 기준은 제안하였다. 제안한 기준에 따라 D2D 모드로 동작할 확률, D2D 통신 할 때의 송신 전력의 분포를 분석하였고, 이를 이용하여 D2D 모드로 동작할 때와 셀룰러 모드로 동작할 때의 SINR outage probability를 유도하였다. 뿐만 아니라 Shannon capacity를 이용하여 total network capacity를 구하였다. 이러한 분석결과는 동일한 파라미터를 갖는 시뮬레이션 결과와 잘 부합함을 확인하였다. 이러한 분석을 통하여 하향링크 채널에서의 D2D 통신의 성능을 예측할 수 있고, 또한 상황에 따라 상향링크 채널과 하향링크 채널 중 어느 곳에서 D2D 통신을 하는 것이 좋을지 판단할 수 있는 지표로 사용될 수 있을 것이라 기대한다.

참고 문헌

- [1] X. Lin, J. G. Andrews, and A. Ghosh, "Spectrum sharing for device-to-device communication in cellular networks," submitted to IEEE Transactions on Wireless Communications 2013 (<http://users.ece.utexas.edu/~jandrews/publications.php>).
- [2] Hesham Elhway, Ekram Hossain, "Analytical modeling of mode selection and power control for underlay D2D communication in Cellular Networks," submitted to IEEE Transactions on Communications 2014, (<http://arxiv.org/pdf/1405.2017v2.pdf>).
- [3] Qiaoyang Ye, Mazin Al-Shalash, Constantine Caramanis and Jeffrey G. Andrews, "A Tractable model for optimizing device-to-device communications in downlink cellular networks," IEEE International Conference on Communications, 2014.
- [4] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, December 2009
- [5] K. Doppler, C.-H. Yu, C. B. Ribeiro, and P. Janis, "Mode selection for device-to-device communication underlying an LTE-advanced network," in Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2010), Sydney, Australia, April 2010.
- [6] Z. Liu, T. Peng, S. Xiang, and W. Wang, "Mode selection for device-to-device (D2D) communication under LTE-advanced networks," in Proc. Of IEEE Int. Conf. on Communications (ICC 2012), Ottawa, Canada, 10-15 June 2012
- [7] H. Min, J. Lee, S. Park, and D. Hong, "Capacity enhancement using an interference limited area for device-to-device uplink underlying cellular networks," IEEE Transactions on Wireless Communication, vol. 10, no. 12, pp. 3995-4000, 2011.

Abstract

Performance Analysis on Device-to-Device Communication in Downlink Cellular Network

Yong Hun Lee

Electrical and Computer Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Device-to-device (D2D) communication in cellular networks has been proposed to maximize spectrum utilization via direct communication between cellular mobiles by surpassing base stations. D2D communication analysis can be classified two approaches. Many of existing power and cellular allocation and mode selection schemes use instantaneous system information to decide sub-optimal or heuristic solution, but nowadays researches statistically approach to analyze D2D performance using stochastic geometry. The latter approach might not be optimal at a particular time, but it could have better performance in long-term view. Most of literatures have been conducted on the D2D communication performance in uplink cellular networks, only few of them in downlink cellular networks. In this paper, we statistically analyze D2D communication performance which considers mode selection and power control in downlink cellular networks. For the analysis, a novel mode selection criterion is needed since D2D communication in downlink channel has different SINR properties with that in uplink channel. We proposed a novel downlink D2D mode selection

criterion which employs a distance from base station and cellular user and a distance of D2D link. According to this mode selection criterion, we get not only the SINR distribution using D2D mode selection probability and D2D transmission power distribution, but also get the link capacity and total network capacity by applying Shannon capacity to SINR coverage probability. We verify results of our analysis from the comparison with the simulation results.

주요어 : Device-to-device communication, mode selection, stochastic geometry, downlink cellular networks, power control
학 번 : 2013-20853