

이동통신망의 상향링크자원을 재사용하는 D2D 통신을 위한 자원할당기법

이정하, 배성재, 정민영
성균관대학교 정보통신대학
e-mail:{jungha, noooi, mychung}@ece.skku.ac.kr

A Resource Allocation Scheme for D2D communication Reusing Uplink Resource of Cellular Networks

Jungha Lee, Sueng Jae Bae, and Min Young Chung
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

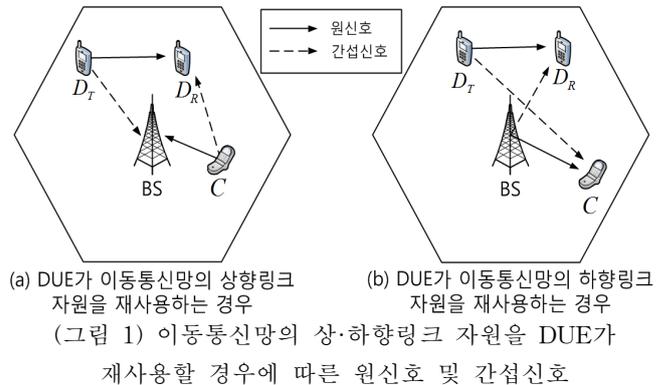
요 약

D2D(Device-to-Device) 통신은 이동통신망을 기반으로 동작할 경우 이동통신망의 자원을 재사용함으로써 자원이용의 효율성을 높일 수 있다. 그러나 동일자원을 사용하는 이동통신개체와 D2D 통신 단말(DUE) 사이에 신호 간섭이 발생할 수 있어 이를 고려한 자원할당기법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 D2D 통신이 이동통신망의 상향링크자원을 재사용할 때 DUE로부터 기지국으로의 간섭으로 인한 CUE의 상향링크 전송률 손실 대비 DUE로 얻는 전송률 이득이 극대화하는 DUE에게 자원을 할당함으로써 동일자원을 사용하는 DUE와 이동통신개체 간 간섭을 완화하고 망의 수율 성능을 향상시킬 수 있는 자원할당기법을 제안한다.

1. 서론

최근 이동통신 망에서의 데이터 서비스 수요가 크게 늘어남에 따라 무선 자원 부족 및 기지국의 부하 증가 문제가 대두되고 있다. 이에 무선자원을 효율적으로 사용하고 기지국의 부하를 줄일 수 있는 통신 기술 중 하나로서 D2D(Device-to-Device) 통신이 고려되고 있다. D2D 통신은 단말들이 기지국을 거치지 않고 직접 상호 간 데이터를 교환할 수 있는 기술이다. D2D 단말(DUE, D2D Communication User Equipment)들은 기지국의 도움 없이 서로간의 통신링크를 통해 직접 통신할 수 있으므로 기지국의 부하를 분담할 수 있다. 특히 D2D 통신이 이동통신망을 기반으로 동작할 경우 DUE는 기존 이동통신망의 상·하향링크 자원을 재사용할 수 있어 자원 이용의 효율성을 높일 수 있다[1]. 그러나 DUE가 기존 이동통신망의 자원을 재사용할 경우 동일 자원을 사용하는 DUE와 이동통신개체들 사이의 간섭이 발생하여 통신품질을 저하시킬 수 있기 때문에 이동통신개체-DUE 간 간섭 문제를 완화하는 방안이 D2D 통신 관련 연구에서 활발히 연구되고 있다[2][3].

이동통신개체-DUE간 간섭은 DUE가 이동통신망의 상·하향링크 자원 중 어떤 자원을 재사용하는지에 따라 간섭을 주는 주체와 간섭을 받는 대상이 달라진다. DUE가 이동통신망의 상향링크 자원을 재사용하는 경우 그림 1 (a)와 같이 이동통신단말(CUE, Cellular User Equipment) C의 상향링크 전송은 D2D 수신 단말(D_R)에게, D2D 송신



단말(D_T)의 전송은 기지국(BS, Base Station)에게 각각 신호 간섭을 일으킨다. 반면 DUE가 이동통신망의 하향링크 자원을 재사용하는 경우에는 그림 1 (b)와 같이 기지국의 전송은 D_R 에게, D_T 의 전송은 C에게 간섭 영향을 미친다.

DUE가 이동통신망의 자원을 재사용 할 경우 발생하는 이동통신개체-DUE 간의 신호간섭은 간섭량을 고려하여 무선자원을 효율적으로 할당함으로써 제어될 수 있다. 이에 본 논문에서는 DUE가 이동통신망의 상향링크 자원을 재사용하는 환경에서 DUE가 기지국에게 주는 간섭 및 CUE가 DUE에게 주는 간섭을 고려하여 CUE의 상향링크 전송률 손실 대비 DUE의 전송률 이득이 가장 큰 DUE에게 자원을 할당함으로써 망의 수율을 증진시키는 자원할당기법을 제안한다.

2. D2D 통신 단말을 위한 자원할당 기법 제안

본 논문에서 제안하는 DUE를 위한 자원할당기법은 D2D 통신이 이동통신망의 상향링크 자원을 재사용하는 환경에서 DUE로부터 기지국으로의 간섭으로 인한 CUE의 상향링크 전송률 손실 대비 DUE로 얻는 전송률 이득을 극대화하는 것을 목표로 한다. 제안기법은 기지국이 CUE에게 PF(Proportional Fair) 및 RR(Round-Robin) 등 임의의 방식으로 자원할당 계획을 수립했다는 가정 하에 DUE에게 자원을 할당하는 방안을 다룬다.

제안기법의 동작을 위해 그림 2에 나타난 각 링크에 대한 정보를 기지국과 D2D 수신단말이 측정할 수 있어야 한다. 이를 위해 기지국은 단말들이 송신하는 파일럿 신호를 이용하여 자신과 CUE C_i 사이의 채널이득($g_{C,B}$) 및 자신과 D2D 송신단말 D_j^T 사이의 채널이득($g_{D_j^T,B}$)을 측정한다. 또한 D2D 수신단말 D_j^R 은 자신과 C_i 사이의 채널이득(g_{C,D_j^R}) 및 D2D 통신 쌍을 이루는 단말 D_j^T 사이의 채널이득($g_{D_j^T,D_j^R}$)을 측정하여 기지국에 보고한다. 기지국은 각 이동통신개체 및 DUE 사이의 채널이득 정보를 이용하여 각 개체들이 받을 신호의 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)을 예측할 수 있다.

기지국은 자신이 측정한 채널이득 및 D2D 수신단말로부터 보고받은 채널이득 정보를 이용하여 각 수신개체(R)가 각 송신개체(T)로부터 받는 신호의 세기($S_{T,R}$)를 예측한다. $S_{T,R}$ 은 송신개체가 사용할 송신전력(P_T)과 $T-R$ 사이의 채널이득(g_{TR})을 이용해 식 (1)과 같이 계산된다.

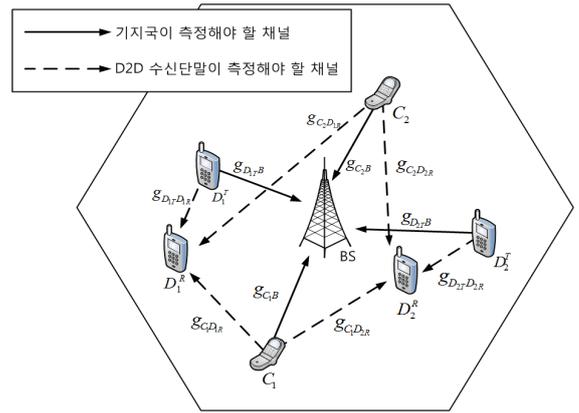
$$S_{T,R} = \frac{P_T}{g_{TR}} \quad (1)$$

CUE에 대한 상향링크 스케줄링은 이미 수행되어 있는 가정 하에 기지국은 각 자원블록을 사용하고 있는 CUE에 대해 동일자원을 공유해서 사용할 DUE를 선정함으로써 D2D에 대한 자원할당을 수행한다. 이를 위해 기지국은 자원블록 n 을 C_i^n 이 전용으로 사용할 경우 자신이 C_i^n 로부터 수신하는 신호의 SINR($\gamma_{C_i^n}$)과, 자원블록 n 이 D2D 쌍 D_j 에 의해 재사용 될 경우에 자신이 C_i^n 로부터 수신하는 신호의 SINR($\gamma_{C_i^n,D_j}$)을 각각 다음과 같이 계산한다.

$$\gamma_{C_i^n} = \frac{S_{C_i^n,B}}{N} \quad (2)$$

$$\gamma_{C_i^n,D_j} = \frac{S_{C_i^n,B}}{S_{D_j^T,B} + N} \quad (3)$$

기지국은 예측된 $\gamma_{C_i^n}$ 및 $\gamma_{C_i^n,D_j}$ 를 통해 C_i^n 가 자원블록을 전용으로 사용할 경우 얻을 수 있는 전송률($R_{C_i^n}$)과 D2D 쌍 D_j 와 자원블록을 공유할 경우 달성 가능한 전송률($R_{C_i^n,D_j}$)을 시스템에서 정의된 MCS(Modulation and Coding Scheme) 테이블을 통해 구한다. 구해진 전송률 값을 이용하여 기지국은 자원블록 n 을 할당받은 CUE C_i^n 가 해당



(그림 2) 기지국 및 D2D 수신단말이 측정해야 할 채널 정보

자원블록을 DUE와 공유할 경우 예측되는 C_i^n 의 전송률 손실량($R_{C_i^n} - R_{C_i^n,D_j}$)을 계산한다. 이후 기지국은 D_j^R 이 D_j^T 로부터 수신하는 신호의 SINR γ_{D_j} 를 예측하여 D2D 쌍 D_j 가 달성 가능한 전송률 R_{D_j} 를 계산한다. 기지국은 이동통신개체-DUE간 간섭으로 인한 CUE 전송률 손실 대비 D2D 쌍 D_j 로 얻는 전송률 이득(G_j^n)을 계산한다.

$$G_j^n = \frac{R_{D_j}}{R_{C_i^n} - R_{C_i^n,D_j}} \quad (4)$$

이와 같은 과정을 통하여 기지국은 각 자원블록 별로 모든 D2D 쌍에 대해 G_j^n 값을 계산하고 가장 높은 G_j^n 를 가지는 D2D 쌍 D_j^n 에게 해당 자원블록을 할당한다.

3. 성능평가

제안기법의 성능평가를 위하여 C++ 기반의 시뮬레이션을 수행하였다. CUE들은 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 전이중통신을 수행하고 PF 스케줄링 기법으로 자원을 할당받으며 DUE들은 단방향 통신을 수행한다고 가정하였다. 채널 환경으로는 ITU-R의 Micro Urban 경로 손실 모델[4]을 적용하였으며, 기타 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 나타내었다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
셀 수	7 개
기지국 간 거리	1000 m
셀 당 CUE 수	50 대
셀 당 D2D 쌍 수	50 쌍
단말 송신전력	0 dBm

제안기법의 성능을 평가하기 위해 Zulhasnine 등이 제안한 자원할당 기법을 사용하여 DUE에게 자원할당을 수행한 경우(Zulhasnine's)[3], DUE가 PF 스케줄링으로 자원을 할당받는 경우(PF), 모든 단말의 통신이 기지국의 중계에 의해 수행되는 경우(Cellular)에 대한 CUE와 DUE의 수율을 측정하였다. Zulhasnine의 자원할당 기법은 각 CUE로부터의 채널이득이 가장 낮은 D2D 수신단말을 찾고, 해당 D2D 쌍과 CUE가 동일 자원을 이용했을 때 기

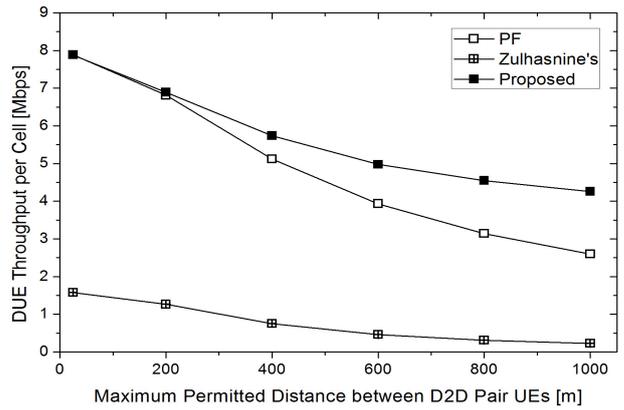
지국이 CUE로부터 수신하는 신호의 SINR(γ_C)과 D2D 수신단말이 D2D 송신단말로부터 수신하는 신호의 SINR(γ_D)이 모두 사전에 정의된 목표 SINR($\gamma_{C,tgt}$, $\gamma_{D,tgt}$) 이상을 만족할 것으로 예상될 경우 해당 CUE와 D2D 쌍이 동일자원을 사용하도록 한다.

그림 3은 D2D 쌍을 이루는 단말 간 최대 허용거리의 변화에 따른 셀 당 총 DUE 수율의 합을 나타낸다. D2D 쌍을 이루는 단말 간 최대 허용거리가 늘어남에 따라 채널품질이 좋지 못한 D2D 쌍의 비율이 증가하여 DUE 수율은 세 기법 모두 감소한다. 제안기법은 높은 전송률을 가지는 DUE일수록 더 높은 자원점유기회를 부여함으로써 가장 높은 DUE 수율을 제공한다. 반면 Zulhasnine의 기법의 경우 목표 SINR에 대한 제한에 의해 자원블록을 할당받지 못하는 DUE들이 다수 발생하여 DUE 수율이 가장 낮다.

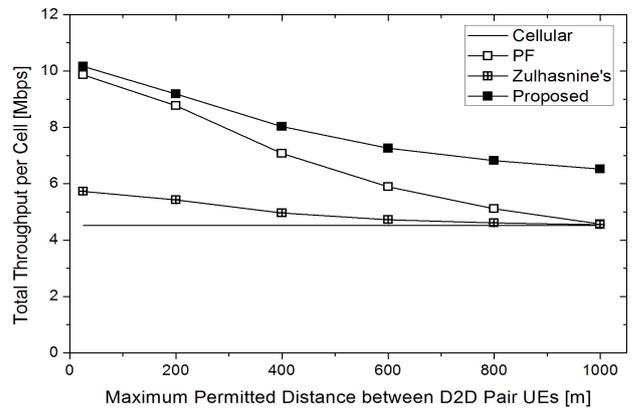
세 기법들에 대해 D2D 쌍을 이루는 단말 간 최대 허용 거리에 따른 셀 당 총 단말의 수율 합을 그림 4에서 비교하였다. 여기서 셀 당 총 단말의 수율은 각 셀 내의 CUE와 D2D 쌍들이 얻는 수율의 합을 의미한다. D2D 통신을 수행하는 경우 DUE들이 이동통신망의 자원을 재사용함으로써 자원을 효율적으로 이용해 D2D 통신을 수행하지 않는 Cellular의 경우보다 높은 수율을 제공함을 확인할 수 있다. PF, Zulhasnine 기법 및 제안기법에 대한 셀 당 총 CUE 전송률은 각각 2, 4.2, 2.3 Mbps로, CUE의 전송률은 네 기법 모두에서 D2D 쌍을 이루는 단말 간 최대 허용거리 변화에 따른 변동 없이 일정한 수준을 유지한다. Zulhasnine의 기법은 목표 SINR 제한으로 인하여 DUE와 자원을 공유하지 않는 CUE가 존재하며 해당 CUE들은 DUE로부터의 간섭을 받지 않아 높은 수율을 제공받을 수 있다. 따라서 Zulhasnine의 기법은 D2D 통신이 고려되는 기법들 중에서는 가장 높은 CUE 전송률을 달성하였다. 그러나 그림 3의 결과와 같이 Zulhasnine 기법은 DUE의 전송률이 타 기법들에 비하여 현격히 낮아 제안기법 및 PF에 비해 낮은 셀 당 총 수율을 가진다. 제안기법은 CUE가 D2D 쌍과 동일자원을 사용 시 발생하는 간섭으로 인한 CUE의 전송률 손실이 낮은 D2D 쌍에게 우선적으로 자원을 할당함으로써 CUE가 받는 간섭을 고려치 않고 자원을 할당하는 PF 기법에 비해 높은 CUE 전송률을 제공하여 가장 높은 셀 당 총 단말 수율을 가진다.

5. 결론

본 논문에서는 D2D 통신이 이동통신망의 상향링크 자원을 재사용하는 환경에서 망의 전체 수율을 향상시키기 위한 D2D 자원할당기법을 제안하였다. 제안기법은 동일자원을 재사용하는 D2D 쌍으로부터의 간섭으로 인한 CUE의 전송률 손실 대비 D2D 통신으로 달성 가능할 것으로 예측되는 수율이 가장 높은 D2D 쌍에게 우선적으로 자원을 할당한다. 성능평가를 통하여 제안기법이 전체 망의 총 수율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.



(그림 3) D2D 페어 단말 간 최대 허용거리에 따른 셀 당 총 DUE 수율



(그림 4) D2D 페어 단말 간 최대 허용거리에 따른 셀 당 총 단말 수율

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0007369)

참고문헌

- [1] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks," IEEE Communication Magazine, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [2] P. Janis, V. Kovunen, C. Ribeiro, J. Korhonen, K. Doppler and K. Hugl, "Interference-Aware Resource Allocation for Device-to-Device Radio Underlying Cellular Networks," in Proc. IEEE VTC, pp. 1-5, Apr. 2009.
- [3] M. Zulhasnine, C. Huang, and A. Srinivasan, "Efficient Resource Allocation for Device-to-Device Communication Underlying LTE Network," in Proc. International Conference on WiMob, pp. 368-375, Oct. 2010.
- [4] ITU-R report M. 2135, "Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced," 2008.