이동통신망의 자원을 다중 재사용하는 D2D 통신에서 셀 수율 향상을 위한 무선자원 할당기법

이정하, 구자헌, 정민영 성균관대학교 정보통신대학 e-mail:{jhlee88, mageboy, mychung}@skku.edu

A Radio Resource Allocation Scheme for Improving Cell Throughput in Device-to-Device Communication Multiply Reusing Resources of Cellular Networks

Jungha Lee, Jaheon Gu, and Min Young Chung College of Information and Communication Engineering, Sungkvunkwan University

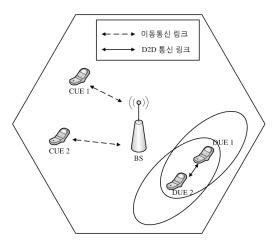
요 익

D2D(Device-to-Device) 통신은 이동통신망을 기반으로 동작할 경우 이동통신망의 자원을 재사용함으로써 주파수 자원사용의 효율성을 높일 수 있다. 그러나 D2D 통신 단말(DUE; D2D user equipment)이 이동통신망의 자원을 재사용하는 경우 동일자원을 사용하는 이동통신개체와 DUE 간 및 D2D 통신 쌍 간에 신호 간섭이 발생할 수 있어 이를 고려한 자원할당기법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 다수의 DUE가 이동통신망의 상향링크 자원을 다중으로 재사용할 때 이동통신개체 및 DUE가 달성가능 한 주파수 효율을 고려하여 DUE에게 자원을 할당함으로써 셀 수율을향상시킬 수 있는 자원할당 기법을 제안한다.

1. 서론

최근 스마트 기기의 보급으로 이동통신망을 통해 처리되어야 할 데이터 트래픽양이 급증함에 따라 이동통신망의 무선자원 부족 및 기지국의 부하 증가와 같은 문제들이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술들중 하나로써 D2D(Device-to-Device) 통신이 고려되고 있다[1]. D2D 통신은 기지국의 중계 없이 단말들 간의 직접적인 데이터 트래픽 교환을 지원하는 기술이다. 특히 그림 1과 같이 D2D 통신이 이동통신망을 기반으로 동작할 경우 D2D 통신단말(DUE; D2D user equipment)들이 이동통신망의 자원을 재사용할 수 있어 주파수 사용효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 동일자원을 공유하는 이동통신 개체와 DUE 사이에는 간섭이 발생하여 시스템의 성능저하를 야기할 수 있다. 이에 이동통신망 기반의 D2D 통신 관련 연구들은 주로 간섭완화를 위한 기법을 다룬다[2]-[4].

이동통신망 기반의 D2D 통신에서는 주파수 자원사용의 효율성을 향상시키기 위하여 이동통신망의 자원을 DUE들이 다중으로 재사용하는 경우가 고려되고 있다[3]. DUE들이 이동통신망의 자원을 다중 재사용할 경우 동일자원을 공유하는 이동통신개체와 DUE간 간섭뿐만 아니라동일자원을 사용하는 D2D 통신 쌍 사이에도 간섭이 발생하여 시스템 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 D2D 통신이 이동통신망의 자원을 다중 재사용하는 환경에서 주파수 효율을 효과적으로 향상시키기 위해서는 이동통신개체



(그림 1) 이동통신망 기반의 D2D 통신의 예

와 DUE 간 간섭 및 D2D 통신 쌍 사이에서 발생하는 간 섭을 모두 고려 할 수 있는 간섭완화 기법이 필요하다.

D2D 통신이 이동통신망의 자원을 재사용할 때 동일자원을 공유하는 이동통신 개체와 DUE 간의 간섭은 각 개체에게 자원을 효율적으로 할당함으로써 완화될 수 있다[3][4]. 본 논문에서는 DUE가 이동통신망의 상향링크 자원을 다중재사용 할 때 이동통신개체 및 DUE의 달성 가능한 주파수 효율을 고려하여 DUE에게 자원을 할당하는 방안을 제안하며, 성능평가 결과를 통해 제안기법이 셀 수율을 향상시킬 수 있음을 보인다.

2. 시스템모델

시스템 모델로 이동통신망의 상향링크 자원을 공유함으로써 D2D 통신을 지원하는 이동통신망을 고려한다. 각셀에는 기지국의 중계에 의해서만 통신이 가능한 N_C 대의 이동통신 단말(CUE; Cellular User Equipment) i (i \in S_{CUE})와 N_D 개의 D2D 쌍이 존재한다. 각 D2D 쌍에서 송신 DUE 및 수신 DUE를 각각 j와 j ($\{j,j\}$ \subset S_{DUE})로 표기한다. CUE i 및 DUE j는 임의의 송신전력 제어기법에 의해 결정된 송신전력 P_i 및 P_j 를 사용하여 신호를 전송한다.

다중 사용자를 지원하기 위한 매체접근 기술로써 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 고려한다. OFDMA 기반의 이동통신망에서 자원할당은 특정 시간구간동안 다수의 부반송파의 그룹으로 이루어진 자원블록(RB; Resource Block) 단위로 수행된다. CUE에 대한 자원할당은 기존 이동통신망에서와 같이 Round-Robin, Max C/I 및 PF(Proportional Fair) 스케줄링과 같은 임의의 스케줄링 기법을 사용하여 이루어져 하나의 RB는 하나의 CUE에 의해서만 사용된다. DUE를 위한 자원할당은 하나의 RB를 다수의 DUE들이 사용하도록하여 시스템의 주파수 사용효율을 향상시킨다.

단말들에 대한 자원할당은 전적으로 기지국의 결정에 의해 이루어진다. 모든 단말들과 기지국 사이에는 전용 제어채널이 존재하며, 기지국은 제어채널을 통해 파일럿신호를 송수신함으로써 자신과 단말간의 채널이득 $(g_{i,BS},\ g_{j,BS})$ 을 측정할 수 있다. 단말과 단말 사이에도 제어를 위한 채널이 존재하며 제어채널을 통해 측정된 채널이득 $(g_{i,j},\ g_{j,j})$ 에 대한 정보는 기지국에게 보고되어 기지국이 자원할당 결정과정에서 이용할 수 있다고 가정한다.

3. 제 안기법

제안기법은 CUE에 대한 자원할당은 임의의 스케줄링기법에 의해 이루어졌다는 가정 하에 셀 수율 향상을 위한 DUE 자원할당 방법을 다룬다. 제안기법은 RB가 DUE들에 의하여 다중 재사용 될 때 주파수 효율을 향상시키기 위해서 채널품질이 좋은 D2D 쌍에 대해 높은 자원할당 기회를 부여한다. RB k를 할당받은 DUE의 집합 $S_{DUE,k}$ 를 결정하는 과정은 다음과 같다.

RB k에 대한 현재 주파수 사용효율 λ_k 는 k를 할당받은 CUE를 i^k , 잡음을 N_0 라고 할 때 섀넌용량에 의하여다음과 같이 구할 수 있다 [5].

$$\begin{split} & \lambda_k = \log_2 \!\! \left\{ 1 + \frac{P_{i^k} g_{i^k,BS}}{\sum\limits_{j \in \textit{S_{DUB, k}}} (P_j g_{j,i^k}) + N_0} \right\} \\ & + \sum\limits_{j \in \textit{S_{DUB, k}}} \!\! \log_2 \!\! \left\{ 1 + \frac{P_j g_{j,i^k}}{P_{i^k} g_{i^k,j^l} + \sum\limits_{j^* \in \textit{S_{DUB, k}} - \{j^*\}} (P_{j^*} g_{j^*,j^l}) + N_0} \right\} \end{split}$$

제안기법은 주파수 사용효율을 극대화함으로써 셀 수율을

향상시키기 위해 CUE i^k 로부터 간섭을 적게 받는 DUE \hat{j} 부터 자원할당 기회를 부여한다. 기지국은 i^k 로부터 받는 간섭이 적은 DUE부터 순차적으로 해당 DUE \hat{j} 가 RB k를 사용할 때 달성 가능한 주파수 사용효율 $\widetilde{\lambda_k}$ 를 계산한다.

$$\begin{split} \widetilde{\lambda_k} &= \log_2 \!\! \left\{ \! 1 + \! \frac{P_{_{i^k}} g_{_{i^k},BS}}{\sum\limits_{j \in \mathcal{S}_{\!\!\!D\!U\!E,k^+} + \{\hat{j}\}} \!\! \left(P_j g_{j,BS} \! \right) + N_0} \right\} \\ &+ \! \sum\limits_{j \in \mathcal{S}_{\!\!\!D\!U\!E,k^+} + \{\hat{j}\}} \!\! \log_2 \!\! \left\{ \! 1 + \! \frac{P_j g_{j,j}}{P_{_{i^k}} g_{_{i^k,j'}} + \sum\limits_{j^* \in \mathcal{S}_{\!\!\!D\!U\!E,k^-} - \{j\} + \{\hat{j}\}} \!\! \left(P_{j^*} g_{j^*,j'} \right) + N_0} \right\} \end{split}$$

기지국은 현재 RB k의 주파수 사용효율 λ_k 와 DUE \hat{j} 가 RB k를 사용함으로써 얻을 수 있는 주파수 사용효율 $\widetilde{\lambda_k}$ 을 비교하여 $\widetilde{\lambda_k} > \lambda_k$ 일 경우 RB k를 DUE \hat{j} 에게 할당하고, CUE i^k 로부터 받는 간섭의 세기가 다음으로 작은 DUE j에 대하여 상기의 과정을 반복한다. $\widetilde{\lambda_k} < \lambda_k$ 가 될경우 D2D 통신 쌍의 자원 재사용으로 인한 RB k의 주파수 사용효율이 항상될 수 없으므로 추가적인 D2D 통신 쌍에 의한 RB k의 재사용이 제한된다.

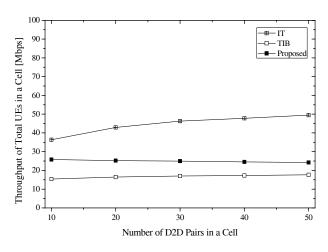
4. 성능평가

제안기법의 성능평가를 위하여 C++ 기반의 시뮬레이션을 수행하였다. CUE들은 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 전이중통신을 수행하고 PF 스케줄링 기법으로 자원을 할당받는다. DUE들은 단방향 통신을 수행한다고 가정하였으며 D2D 통신 쌍 단말 간 최대 허용거리는 400m로 설정하였다. 채널 환경으로는 ITU-R의 Micro Urban 경로손실 모델[6]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	30 대
단말 송신전력	10 dBm

제안기법으로 인한 시스템 성능향상 수준을 평가하기위하여 [3]에서 제안된 자원할당 기법인 IT(Interference Tracing)와 TIB(Tolerable Interference Broadcasting)를 비교기법으로 설정하였다. IT 기법은 자원을 할당받은 CUE로부터의 간섭이 임계값 I_{Th} 이상일 경우 DUE가 해당 자원을 사용하지 않음으로써 수신 DUE가 CUE로부터 받는 간섭을 완화한다. TIB 기법은 기지국이 감내 가능한 간섭의 여유(I_{margin})를 방송하여 해당 수치보다 낮은 간섭을 줄 것으로 예상되는 DUE들이 자원을 선택적으로 사용하도록 함으로써 DUE로부터 기지국으로의 간섭을 완화한다. 시뮬레이션에서 I_{Th} 와 I_{margin} 의 값은 각각 - 92dBm, -26dB로 설정하였다[3].



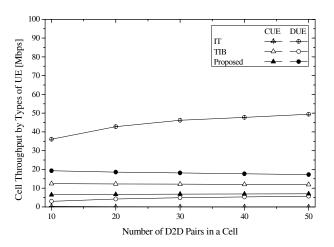
(그림 2) D2D 통신 쌍의 수 변화에 따른 셀 수율

D2D 통신 쌍 수 변화에 따른 셀 내 전체 단말의 수율이 그림 2에 나타나있다. 셀 당 총 수율은 IT 기법이 가장 높으며 TIB 기법이 가장 낮게 나타나는 것을 확인 할수 있다. IT 기법에선 DUE가 CUE로부터 받는 간섭이 I_{Th} 이하일 경우 해당 RB가 다수의 DUE에 의하여 재사용됨으로써 주파수 효율이 높아져 가장 높은 셀 수율을 제공할 수 있다. 그러나 그림 3의 단말 종류 별 셀 당 수율을 측정한 결과에서와 같이 IT 기법의 경우 기본적으로 제공되어야 할 CUE들의 수율이 전혀 보장될 수 없다. 이는 IT 기법의 경우 RB가 다수의 D2D 통신 쌍에 의하여 재사용됨에 따라 기지국이 DUE로부터 받는 간섭은 증가하게 되지만 이를 제한하기 위한 방안은 고려되지 않기때문이다.

제안기법의 경우 자원할당 과정에서 D2D 통신 쌍에의해 RB가 다중 재사용됨에 따라 얻을 수 있는 주파수사용효율을 고려한다. 이로 인하여 DUE로부터 기지국이받는 간섭 및 자원을 공유하는 D2D 통신 쌍 간의 간섭을고려하여 D2D 통신 쌍에게 자원을 할당함으로써 CUE 및 DUE에게 특정수준 이상의 수율을 제공할 수 있다. 결과적으로 제안기법은 CUE가 통신가능한 수준의 수율을 보장하면서 D2D 통신 쌍이 얻을 수 있는 수율을 향상시켜전체 셀 수율을 향상시키는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 D2D 통신이 이동통신망의 상향링크 자원을 다중 재사용하는 환경에서 망의 전체 수율을 향상시키기 위한 D2D 자원할당기법을 제안하였다. 제안기법은 D2D 통신 쌍에 의해 RB가 재사용되는 것에 따른 주파수사용효율을 고려하여 D2D 통신 쌍에게 자원을 할당한다. 성능평가를 통하여 제안기법이 CUE의 수율을 특정수준보장하는 범위에서 셀 수율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.



(그림 3) D2D 통신 쌍의 수 변화에 따른 단말 종류 별 셀 당 수율

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한 국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012-0001286)

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] H. Xing and S. Hakola, "The Investigation of Power Control Schemes for a Device-to-Device Communication Integrated into OFDMA Cellular System," in Proc. IEEE 21st PIMRC, pp. 1775–1780, Sep. 2010.
- [3] T. Peng, Q. Lu, H. Wang, S. Xu, and W. Wang, "Interference Avoidance Mechanisms in the Hybrid Cellular and Device-to-Device Systems," in Proc. IEEE 20th PIMRC, pp. 617-621, Sep. 2009.
- [4] P. Janis, V. Kovunen, C. Ribeiro, J. Korhonen, K. Doppler, and K. Hugl, "Interference-Aware Resource Allocation for Device-to-Device Radio Underlyaing Cellular Networks," in Proc. IEEE VTC, pp. 1–5, Apr. 2009.
- [5] C. E. Shannon, "Communication in the Presence of Noise," in Proc. Institute of Radio Engineers, vol. 37, no. 1, pp. 10–21, Jan. 1949.
- [6] ITU-R report M. 2135, "Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced," 2008.