

논문 2014-51-10-1

인지기반 중첩 융합 네트워크에서 위치정보에 기반한 D2D 시스템의 성능분석

(Performance Analysis of D2D system Considering users' locations
under the Overlay Convergent Networks of Cognitive Networking)

김 정 호*

(Jeong-Ho Kim[Ⓢ])

요 약

본 논문에서는 인지 기반 중첩 융합 네트워크 환경 하에서의 사용자의 위치정보를 토대로 사용자 단말기의 전력소모감소와 간섭신호의 저감효과를 극대화하기 위한 기본적인 D2D(device-to-device)시스템을 제시하고 무선 전송 환경에서의 시스템 성능을 분석하고자 한다. 단말기의 기능성이 좋아짐에 따라 스마트한 지능을 기반으로 자원의 효과적 활용에 적합한 개별 이중 네트워크의 특성분석과 특성을 반영하는 시스템 측면의 최적화가 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 사용자 이동특성에 기반하여 인접 단말기와의 직접 통신하는 절차를 구성하여 단말기 간 직접 통신에 다중안테나 기술을 적용할 경우 이에 따른 FER(frame error rate) 등의 성능특성을 살펴보고자 한다.

Abstract

In this paper, the performances of the presented D2D (device-to-device) systems under the environment of the cognitive convergent overlay networks are evaluated based upon the locations of the D2D users' terminals, the power consumptions of the terminals and the reductions of the interference levels. As the capabilities of the users' terminals improve, the optimization of the system is crucial to the efficient utilization of the radio resources of the individual networks considering their mobility and the features of their networks. Users' mobility model is given for the performance evaluation of the D2D system. In this paper, the performances of the D2D systems are evaluated in terms of the performance index of the FER (frame error rate) employing multiantenna techniques (MIMO:multiple input multiple output) for the various network environments.

Keywords : D2D systems, Cognitive Networking, Radio Resource Management, Multi-antenna systems

I. 서 론

중첩 융합 인지 네트워크 환경은 다양한 단말기가 보다 개선된 처리능력을 기반으로 자신의 위치정보를 능

동적으로 네트워크 정보관리요소에 보고하고 이를 기반으로 D2D 그룹을 형성하며 이를 기반으로 D2D를 활성화하여 보다 개선된 시스템의 용량확보와 간섭신호의 발생을 적절하게 제어할 수 있어야 한다. 특히 D2D의 특징은 단말기간의 상대적 거리가 전체 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소가 된다. D2D를 적용하기 위해서는 적절한 거리이하를 유지하여야 보다 고속의 정보전송이 가능할 뿐만 아니라 시스템에서 사용하는 공통대역의 간섭신호 발생을 적절하게 통제함으로써 전체

* 정회원, 이화여자대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Ewha Womans University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: jho@ewha.ac.kr)

접수일자: 2013년10월22일, 수정일자: 2014년07월18일
게재확정: 2014년09월25일

시스템의 성능을 유지할 수 있기 때문이다. D2D 시스템이 적절한 성능과 용량증가 및 주파수 스펙트럼 사용 효율의 개선을 이루기 위해서는 D2D 그룹을 사용자의 이동에 따라 신속하게 형성하는 것이 중요하다. 주요한 고려사항으로 관심 있는 사용자 단말기들의 상대적인 위치에 따라 그룹을 구성하여야 하는 제한이 있다. 따라서, 이와 같은 사용자의 이동성 패턴을 고려하는 것이 필요하며 적절한 그룹을 구성하고 그룹 구성을 위한 조건을 만족하면 새로운 그룹을 구성하여 그룹 내의 D2D가 가능할 수 있도록 권한을 부여하여 Ad Hoc 형태의 D2D를 허용할 수 있어야 한다. 이때 네트워크는 개별 사용자의 위치등록에 따른 위치정보를 관리하고 해당 단말기로 하여금 지역에 특정한 D2D그룹을 구성한다. 특히 그룹 내의 양자 간 통신은 불가피하게 그룹 외의 타 사용자에게 간섭신호를 발생시키므로 이를 최소화하고 전송효율을 높이기 위해서 다중 안테나 (multi-antenna techniques) 기술을 적용하여 빔포밍과 공간 다중화를 적용하여 전력효율 및 용량증대를 이루는 것이 필수적이다. 이는 전송용량의 개선뿐만 아니라 발생하는 간섭신호를 최소로 줄여 인접 사용자에게 미치는 영향을 최소화할 수 있기 때문이다^[1].

공간다중화를 위해 수신단에서는 ZF(Zero Forcing) 기법, MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법, V-BLAST(Vertical-Bell lab. Layered Space-Time), D-BLAST(Diagonal-Bell lab. Layered Space-Time) 등을 사용할 수 있으며 주어진 환경에 따라 그 특성이 다르게 나타난다. MMSE 기법은 ZF와 유사한 선형수신기로 수신단에서 더해지는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)의 분산을 고려하여 신호의 평균 제곱오차(mean square error)가 최소가 되도록 송출된 신호를 추정한다. 다중안테나 시스템은 이 두 가지 기법의 장점을 동시에 얻기 위하여 안테나의 일부는 정해진 전송률을 얻기 위해 사용하고, 잔여 안테나는 링크 품질을 개선하기 위한 다이버시티 이득을 얻는데 활용할 수 있다. 두 가지 방법으로 얻을 수 있는 이득에는 trade-off가 있어서 시스템 성능을 최대화하도록 안테나의 운용할 필요가 있다. 이를 위해 사용자 링크 품질의 지속적인 제어를 목적으로 하는 D2D 시스템에서 다중 안테나 기술과 채널 부호화 기술이 결합된 시공간 부호화 기술을 도입하여 주파수 효율과 품질 개선을 얻을 수 있다. 또한 수신 단에서 시공간 다이버시티 이득

을 얻을 수 있고 대역폭 추가적인 할당이 없이도 Coding Gain을 얻을 수 있다. 이를 통해 채널 용량을 크게 개선시킬 수 있는 OSTBC와 STTC를 적용한 시스템을 고려하고자 한다^[5]. OSTBC는 시공간 코드(space-time code)들 간에 직교성이 유지되므로 수신기 구현에 있어서 수신처리와 디코딩 측면에서 복잡도를 줄일 수 있고, 또한 최대의 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 장점이 있으므로 선택하고자 한다. 또한 STTC는 복잡도가 다소 높으나 성능측면에서의 이득을 얻고자 할 때 적합한 구조이므로 D2D그룹에서 각 단말기의 처리능력에 따라 적합한 수신처리방법을 선택할 수 있다는 측면에서 활용이 가능하다. 따라서, 본 논문에서는 이 두 시공간 코드를 고려하여 제안한 D2D시스템의 성능을 평가한다.

본 논문에서는 이러한 중첩 융합 인지 네트워크 환경에서 사용자의 위치를 기반으로 LTE-A 표준을 토대로 주어진 그룹 내에서의 D2D통신 방식의 성능을 평가하고자 한다. 기술적인 과제를 해결하기 위한 구조로써^[2-5], 기존의 제안된 분산 무선 통신 시스템^[6]을 기반 환경으로 하여 사용자의 이동특성에 OSTBC (orthogonal space time block code), STTC(space time trellis code)를 적용한 분석모델을 기초로 고려하는 시스템에 대하여 주어진 환경에서 성능을 평가하고자 한다.

II. 위치정보기반 D2D시스템

다중안테나에 기반한 시공간 프로세싱(Space-Time Processing) 기술은 송/수신단에 복수 개의 안테나를 적용하여 다중경로 신호를 유발하는 scattering 환경에서 데이터 전송 채널을 공간적으로 분리시킴으로써 안테나별 데이터가 공간 다이버시티를 얻게 하여 전송 품질을 향상시키는 데이터 다이버시티 최대화 기술로서 공간 다이버시티(spatial diversity)기술이 있다. 또한 다수의 송신안테나를 이용하여 다수의 데이터를 동시에 전달하여 전송률을 향상시키는 공간 다중화 기술(spatial multiplexing)기술이 있다. 또한 이러한 두 가지 방식을 최적으로 결합하여 각각의 전송품질과 전송용량을 얻고자 하여 두 방식을 결합하여 운용하는 방식을 고려할 수 있다. 이 두 가지 방식과 결합한 방식은 D2D 사용자 그룹 내에서 적합한 전송용량과 전송품질을 유지하기 위해 선택할 수 있으며 이에 대한 데이터 프레

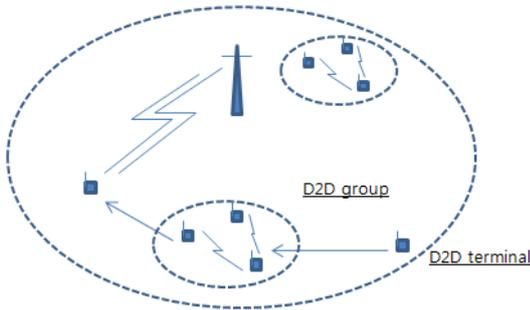


그림 1. D2D 그룹의 생성 및 그룹원의 변경
Fig. 1. Generating and Altering D2D groups.

임 오류율을 기반으로 평가한다.

1. 시스템 모델의 구성

D2D 통신을 위한 그룹은 그림 1과 같이 하나의 LTE기지국이 커버하는 영역 내에 정보를 보내고자 하는 상대가 존재하는 경우 상호간의 무선링크를 생성하고 정보를 전송하는 것을 기본으로 한다. 이를 위해서는 단말기 스스로 상대를 탐지하는 방법과 네트워크의 사용자 단말기의 이동정보를 기반으로 그룹을 구성할 수 있다.

D2D그룹의 활성화 및 동작의 구체적인 절차는 다음과 같다.

- 1) 네트워크(D2D그룹 관리주체)는 가입자 단말기가 등록된 D2D그룹의 타 가입자 단말기와의 상대적인 위치를 확인하고 상호간의 위치정보를 파악한다.
- 2) D2D그룹에 속하는 단말기가 유효한 거리 이내(동일한 기지국의 섹터 내 또는 상호간 거리(d)가 수 미터 이내, $d < 10$ m)로 접근하였다고 판단될 때 D2D활성화 메시지를 송신한다.
- 3) D2D활성화메시지를 수신한 단말기는 동일한 그룹에 속한 단말기를 탐색하고 D2D활성화상태로 변경한다.
- 4) 송신하고자 하는 정보가 있을 때는 D2D송수신에 적합한 변조/코딩/수신처리 방법 등의 파라미터를 상호 교환하고 채널에 적합한 방법을 선택하여 정보전송을 개시한다.
- 5) 정보전달이 마무리되면 상호간의 위치를 확인한다. 허용 가능한 범위(거리 $d > 10$ m) 내에 있지 않을 경우 D2D그룹에서 제외를 네트워크에 요청한다.
- 6) 네트워크가 D2D 그룹에서 해당 단말기를 D2D활성화 그룹 리스트에서 삭제한다.

7) 등록된 D2D그룹의 단말기가 위치등록을 하면 활성화 조건을 체크하여 1)의 단계로 진행한다.

D2D 연결이 형성된 그룹내의 단말기간 무선 링크에서는 고속 및 저전력, 저간섭 신호발생에 필수적인 다중 안테나 사용을 전제로 송신 안테나의 개수가 MT이고 수신안테나가 MR개 있는 상황을 고려할 수 있다. 이 경우 최대 MTMR개의 독립된 페이딩 채널을 결합시킬 수 있으므로 이 때 얻을 수 있는 최대 다이버시티 이득은 MTMR이다. 보다 개선된 성능을 얻기 위한 OSTBC와 STTC는 수신단으로 부터 송신단으로 피드백 되는 정보가 없는 개루프 방식으로 송신 안테나의 개수가 늘어날 때에 복호 복잡도가 안테나 수와 전송률에 비례하여 지수적으로 증가하는 문제점이 있으나, 다이버시티 이득인 MTMR을 얻을 수 있다. MIMO 방식 중 전송안테나 어레이방법은 수신단으로부터 송신단으로 피드백되는 정보를 이용하는 페루프 방식으로 송신안테나 개수만큼의 다이버시티 이득을 얻는 동시에 송신안테나의 수를 하나씩 증가시킬 때마다 평균 신호 대 잡음비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)가 3dB 증가하여 어레이 이득을 추가로 얻어 우수한 성능을 얻을 수 있다.

2. 시스템 해석모델

OSTBC와 STTC는 최대 우도 복호기의 계산 복잡도가 안테나 수와 전송률에 지수적으로 비례하여 증가한다. 반면 송/수신 안테나의 곱에 해당하는 다이버시티 이득과 부호화 이득을 얻을 수 있다. 각각의 송신 안테나에서는 서로 다른 MT개의 신호를 동시에 전송할 수 있으며, 송신 신호는 준 정적 플랫 페이딩(quasi-static flat fading 채널)을 통과하여 수신단에 수신되고, 수신 시스템에 Gaussian Noise가 첨가되는 시스템이다.

이러한 시스템에서의 시스템 성능을 분석하기 위한 모델의 수학적 분석 모형을 아래에 기술하고자 한다. 신호백터는 s 로 오류가 발생한 신호는 e 로 표시되어지며 오류 확률은 다음 수식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 P(s \rightarrow e | h_{j,i}, i=1,2,\dots,M_T, j=1,2,\dots,M_R) \\
 = Q\left(\frac{d(s,e)}{2\sigma}\right) \leq \exp(-d^2(s,e)E_s / 4N_0)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

특정 t 시점에 i 번째 안테나를 통해 전송되는 신호를

s_i^t 라고 하면, 시간 t 에 j ($j = 1, 2, \dots, M_R$)번째 안테나를 통해 수신되는 신호, r_j^t 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_t^j = \sum_{i=1}^{M_T} h_{j,i}^t s_i^t + n_t^j \quad (2)$$

여기서 $h_{j,i}$ 는 채널 행렬의 채널 gain으로 i 번째 송신안테나에서 j 번째 수신안테나로 가는 경로의 페이딩 감쇄 계수를 나타낸다. 또한 n_t^j 는 시간 t 에 j 번째 수신안테나에서 첨가되는 잡음 으로 i.i.d. (independently and identically distributed) Gaussian 랜덤 변수로 볼 수 있다. 고려하는 평가를 위한 시스템에서는 준 정적 플랫 페이딩(quasi-static flat fading) 채널을 가정하면 한 프레임 구간동안은 채널은 일정하고 프레임 단위로 변화되는 것을 가정할 수 있다.

각 안테나에서 전송되는 데이터 프레임의 길이가 L 일 때, 시공간 코드워드 (space-time code word) 행렬 $M_T \times L$ 은 다음과 표현될 수 있다.

$$S = [s_1, s_2, \dots, s_L] = \begin{bmatrix} s_1^1 & s_1^2 & \dots & s_1^L \\ s_1^2 & s_2^2 & \dots & s_2^L \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_1^{M_T} & s_2^{M_T} & \dots & s_L^{M_T} \end{bmatrix} \quad (3)$$

행렬 S 의 각 행은 각 송신 안테나로부터 전송되는 데이터 열(row)을 나타내며, 행렬 S 의 각 행(column)은 시간 t 시점의 시공간 심볼이다.

위와 같이 신호

$$s = s_1^1 s_1^2 \dots s_1^{M_T} s_2^1 s_2^2 \dots s_2^{M_T} \dots s_L^1 s_L^2 \dots s_L^{M_T}$$

가 전송되었을 때, 최대 우도 복호기가 신호에 대한 추정으로 오류 신호

$$e = e_1^1 e_1^2 \dots e_1^{M_T} e_2^1 e_2^2 \dots e_2^{M_T} \dots e_L^1 e_L^2 \dots e_L^{M_T}$$

을 선택할 확률을 코드 쌍별 에러 확률(pairwise error probability (PEP))라고 하고, 이것은 다음과 같은 상황에서 발생하게 된다.

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_R} \left| r_t^j - \sum_{i=1}^{M_T} h_{j,i}^t s_i^t \right|^2 \geq \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_R} \left| r_t^j - \sum_{i=1}^{M_T} h_{j,i}^t e_i^t \right|^2 \quad (4)$$

이것을 재정리하면 다시 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_R} 2 \operatorname{Re} \left\{ (n_t^j)^* \sum_{i=1}^{M_T} h_{j,i}^t (e_i^t - s_i^t) \right\} \geq \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_R} \left| \sum_{i=1}^{M_T} h_{j,i}^t (e_i^t - s_i^t) \right|^2 \quad (5)$$

수신단에서 채널에 대한 완벽한 CSI(channel state information)을 가지고 있다면, 송신 신호 s 에 대하여 오류 신호 e 로의 PEP의 upper-bound를 구할 수 있다. 그리고, 신호 s 와 오류신호 e 간의 신호공간에서의 거리는 다음과 같이 주어진다.

$$d^2(s, e) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{M_R} \sum_{i=1}^{M_T} \sum_{i'=1}^{M_T} h_{j,i} \overline{h_{j,i'}} (s_i^t - e_i^t) \overline{(s_{i'}^t - e_{i'}^t)} \quad (6)$$

만일 $\Omega_j = (h_{j,1}, h_{j,2}, \dots, h_{j,M_T})$ 라고 놓으면,

$$d^2(s, e) = \sum_{j=1}^{M_R} \Omega_j A \Omega_j^+ \quad (7)$$

과 같이 표현될 수 있다. 여기서 Ω_j^+ 는 Ω_j 의 허미션 전치행렬(Hermitian transpose)를 나타내며, $A = A(e, s)$ 는 시간에 독립적인 $M_R \times M_T$ 행렬이다.

$$A_{p,q} = \sum_{t=1}^L (s_t^p - e_t^p) \overline{(s_t^q - e_t^q)} \quad (8)$$

이상을 정리하면, PEP는 다음과 같이 요약된다.

$$P(s \rightarrow e | h_{j,i}, i=1,2,\dots,M_T, j=1,2,\dots,M_R) \leq \prod_{j=1}^{M_R} \exp \left(- \frac{\Omega_j A \Omega_j^+ E_s}{4N_0} \right)$$

여기서, A 는 허미션 행렬(Hermitian matrix)이므로,

$$V A V^+ = D$$

이다.

다음 식을 만족하는 단위행렬(unitary matrix) $V(VV^+=I)$ 와 실 대각행렬 D 가 존재한다. 여기서 V 의 row들은 A 의 아이겐 벡터(eigenvector)들이며, M_T 차원 벡터공간(vector space)의 완벽한 직교 기저(basis)이다. 더불어 대각행렬 D 의 원소들은 A 의 아이겐 값(eigenvalue), λ_i 들이다. 차분 행렬(Difference matrix) B 를 다음과 같이 정의하면,

$$B(s, e) = \begin{pmatrix} e_1^1 - s_1^1 & e_2^1 - s_2^1 & \cdots & e_L^1 - s_L^1 \\ e_1^2 - s_1^2 & e_2^2 - s_2^2 & \cdots & e_L^2 - s_L^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_1^{M_T} - s_1^{M_T} & e_2^{M_T} - s_2^{M_T} & \cdots & e_L^{M_T} - s_L^{M_T} \end{pmatrix}$$

B는 A의 제곱근 행렬이 된다. 즉, $A=BB^+$.

다음으로 $d^2(s, e)$ 를 A의 아이겐 값(eigenvalue)들로 표현하고자 한다. 먼저

$$(\beta_{j,1}, \beta_{j,2}, \dots, \beta_{j,M_T}) = \Omega_j V^+$$

라고 하면,

$$\Omega_j A \Omega_j^+ = \Omega_j V^+ D V \Omega_j^+ = \sum_{i=1}^{M_T} \lambda_i |\beta_{j,i}|^2$$

이다. 따라서,

$$\therefore d^2(s, e) = \sum_{j=1}^{M_R} \sum_{i=1}^{M_T} \lambda_i |\beta_{j,i}|^2 \quad (9)$$

이다. $h_{j,i}$ 가 평균이 $Eh_{j,i}$ 인 복소 가우시안 랜덤변수 (complex Gaussian random variable)이므로, K_j 를 다음과 같이 정의한다.

$$K_j = (Eh_{j,1}, Eh_{j,2}, \dots, Eh_{j,M_T}) \quad (10)$$

이때 V는 단위 행렬(unitary matrix)이므로, $\beta_{j,i}$ 는 분산이 0.5이고 평균이 $K^j \cdot v_i$ 인 독립 복소 가우시안 랜덤변수(independent complex Gaussian random variable)가 된다.

그리고 준 정적 플랫 페이딩(quasi-static flat fading) 채널의 경우에는 모든 i와 j에 대하여 $Eh_{j,i} = 0$ 이므로,

$$P(s \rightarrow e) \leq \left(\frac{1}{\prod_{i=1}^{M_T} \left(1 + \frac{E_S}{4N_0} \lambda_i \right)} \right)^{M_R} \quad (11)$$

이다. SNR이 충분히 큰 경우에는

$$\left(1 + \frac{E_S}{4N_0} \lambda_i \right) \approx \frac{E_S}{4N_0} \lambda_i$$

이므로, PEP는 다음과 같이 주어진다.

$$P(s \rightarrow e) \leq \left(\prod_{i=1}^r \lambda_i \right)^{-M_R} \left(\frac{E_S}{4N_0} \right)^{-rM_R} = \left(\prod_{i=1}^r \lambda_i^{1/r} \right)^{-rM_R} \left(\frac{E_S}{4N_0} \right)^{-rM_R} \quad (12)$$

여기서 r은 A의 rank를 나타내므로 A에는 r개의 0이 아닌 아이겐 값(eigenvalue)들과 $(M_T - r)$ 개의 0인 아이겐 값(eigenvalue)들이 존재한다. 따라서 rM_R 의 다이버시티 이득과 $\left(\prod_{i=1}^r \lambda_i \right)^{1/r}$ 의 코딩 이득을 얻을 수 있다. 또한, OSTBC를 적용한 경우의 수신 성능을 나타내는 시공간 코드간 PEP는 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$P(S^{(i)} \rightarrow S^{(j)}) \leq \left(\frac{M_T}{\|e_j^i\|_F^2} \right)^{M_T M_R} \left(\frac{\rho}{4M_T} \right)^{-M_T M_R} \quad (13)$$

여기서, ρ 는 신호대 잡음비이고, e_j^i 는 두 코드의 직교 차분 매트릭스(orthogonal difference matrix)이고 $\|\cdot\|_F$ 는 Frobenius Norm이다^[4]. 위와 같은 PEP 해석결과는 시뮬레이션의 시간을 절약하는데 활용하고자 하며, D2D 그룹 형성 후 그룹 내에서 이루어지는 환경에서의 성능 특성을 살펴보고자 한다.

III. 시뮬레이션 결과 및 해석

시스템 시뮬레이션에 적용되는 파라미터는 표 1에 정리되어 있다. 기본적으로 D2D 통신을 위한 그룹이 주어지고 이때 셀룰러 기지국의 커버리지 면적의 5%이하의 영역 내에서 D2D 단말기가 존재하는 환경을 가정한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Value
Carrier Frequency	2 GHz
Bandwidth	20 MHz
Sample Frequency	30.72 MHz

Subframe Duration	1 ms
FFT size	2048
Occupied subcarriers	120+DC subcarriers = 1201
No. of OFDM symbols/subframe	12 (extended CP)
CP size (samples)	512 (extended CP)
Channel models	EPA, EVA, ETU
Modulation scheme	BPSK, QPSK, 8-QAM, 16-QAM
Noise	AWGN
Antenna Configuration (MIMO)	2x1, 1x2, 2x2, 4x1,1x4
Combining Technique	MRC at Rx
No. of Users in a group	10
Space Time Coding	STTC, OSTBC
Detection Technique	SIC

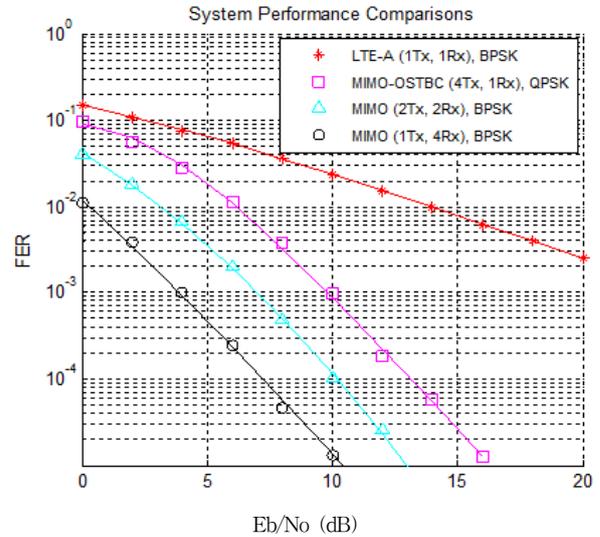


그림 3. D2D 위치 정보에 따른 시스템 성능 비교
Fig. 3. System performance comparisons w.r.t D2D terminals' locations.

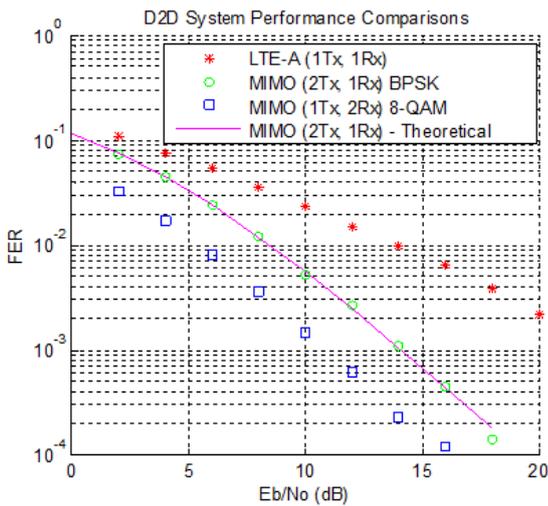


그림 2. 시스템 성능 비교
Fig. 2. System performance comparisons.

주어진 D2D 단말기 간에는 주어진 안테나의 개수와 시공간 코드를 선택하고 주어진 준 정적 플랫폼 페이딩 랜덤 채널의 CSI에 기반하여 상호 정보전송을 위한 파라미터를 설정한다. 그림 2에는 현재 LTE-A 환경에서 단위 프레임을 전송하였을 때 시뮬레이션을 통해 얻을 프레임 오류 확률을 그린 그래프이다.

D2D사용자간에 적어도 송신단 또는 수신단에서 2개 이상의 안테나를 적용한 경우는 LTE-A에 비하여 매우 개선된 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 특히 채널의 상태가 좋아서 8-QAM을 변조방식으로 선택한 경우가 가장 좋은 성능을 나타내었다. 이는 수신 다이

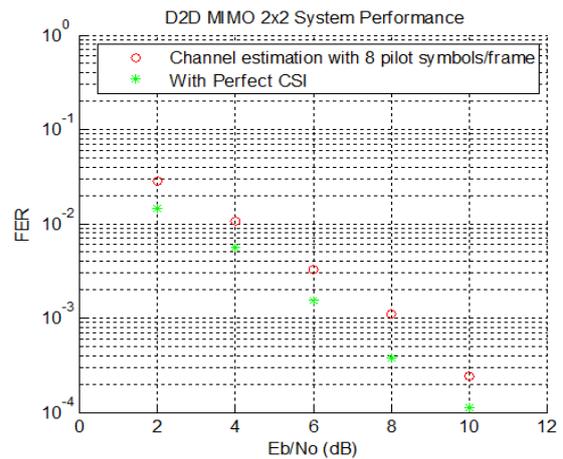


그림 4. 채널상태정보(CSI)에 따른 성능변화
Fig. 4. Performance variations with CSIs.

버시티가 기본적으로 데이터의 전송품질측면을 개선한 데 기인한 것이다. 그림 3은 상대적인 위치에 따른 시스템의 성능을 시뮬레이션한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 MIMO기술을 적용하지 않은 경우인 LTE-A의 경우가 가장 낮은 성능을 보였고, 수신 다이버시티를 적용한 경우가 상대적으로 우수한 성능을 보였으며 2x2 구조의 상대적으로 먼거리에 있는 시스템의 성능은 다이버시티 지수 4인 시스템에 비하여 보다 낮은 성능을 나타내었다.

채널의 품질이 상대적으로 우수하여 QPSK변조방식을 적용하고 송신 다이버시티를 적용하였으며 시공간

코드로 OSTBC를 적용한 경우는 상대적으로 낮은 성능을 나타냈다. 이는 동시에 전송하는 신호의 숫자가 낮기 때문에 간섭제거 등의 기능을 활용하지 못함에 따른 원인으로 분석된다. 그림 4는 채널 상태정보의 정확도에 따른 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션 결과로 정확한 CSI를 갖는 경우에 대하여 수치상으로 상당한 성능차를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 1.5dB 정도의 성능 차를 나타내었으며 이는 채널의 정확한 정보를 예측하는 것이 수신성능에 매우 지대한 영향을 미침을 확인할 수 있다.

기존의 수신 알고리즘과 간섭신호를 제거하는 기능을 갖춘 경우와 최적 수신 알고리즘을 사용한 경우의 성능을 비교하기 위하여 시뮬레이션을 통해 얻은 결과이다.

상대적으로 낮은 차수를 갖는 BPSK변조방법을 적용한 경우에 ML 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보였으며 SIC의 간섭제거 알고리즘은 상대적으로 낮은 성능을 보였다. 그 이유는 10명의 D2D그룹 사용자 중에서 서로 쌍을 이루어 전송함에 따른 간섭신호가 둘 또는 셋 사이의 신호전송이 이루어지므로 간섭제거 기능의 역할이 상대적으로 약함에 기인한 것으로 해석된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 D2D 사용자 환경에서 다중 안테나 기술을 사용하고 사용자의 위치정보를 활용하여 전력제어 및 간섭제거가 가능한 환경에서의 시스템의 성능을 평가하고 결과를 분석하였다. 사용자의 이동성 정보는 개별 D2D단말기가 수집할 경우 지나친 에너지 사용으로 인한 전력소모 증가의 문제와 연결지연 등의 문제가 발생하므로 사용자 이동성을 증첩 융합 네트워크에서 수집하고 관리하는 방안을 고려할 수 있다. 이를 기반으로 D2D 사용자 단말기 간에 협소한 영역에서의 신호전송에 있어서 최적화를 통해 타 사용자에 미치는 영향을 최소화할 수 있음을 확인하였다. 또한 시공간 부호화(OSTBC, STTC) 기술을 적용하여 보다 개선된 용량을 얻을 수 있으며 짧은 시간동안 고속 전송을 통해 D2D 단말기간에 정보전송이 이루어지도록 시스템을 구성하여야 한다. 이와 같은 환경을 고려하여 D2D 시스템을 모델링하고 성능을 평가하였다. D2D 통신을 응용할 경우 사용자 단말기간의 위치가 근접할수록 전송성능 및

용량의 개선효과가 뚜렷하였으며 점진적으로 D2D 단말기간의 거리가 증가함에 따라 발생하는 간섭전력의 세기가 증가하고 이로 인한 기간망의 용량이 감소하여 일정한 영역을 넘어서는 경우 이로 인한 시스템 전체적인 용량의 감소가 D2D 기술 적용에 따른 이득을 상쇄하여 전반적인 효율과 성능의 급격한 저하가 발생할 수 있다. 이에 따라 적정한 그룹 멤버의 수와 그룹의 영역을 최적화하여 설정하는 것이 성능의 개선과 용량의 극대화에 중요한 요소가 된다. 이를 위해서는 단말기의 위치 정보를 정밀하게 관리할 필요가 있으며 그룹에서의 벗어난 단말기를 신속하게 배제함으로써 지나친 간섭신호의 발생을 억제할 수 있고 이로 인한 전송용량의 감소를 막을 수 있다. 또한 D2D 통신의 개시(initiation)의 주체는 위치정보관리 주체가 된다. 그러나 시스템 사용자의 편의성 증대를 위해서는 단말기 사용자의 initiation도 수용할 수 있어야 하며 단말기 내에 주변 그룹 멤버를 탐색하는 기능을 두어 D2D 통신을 위한 무선 링크의 설정을 진행할 수 있도록 절차의 진행을 허용 할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Afif Osserian, Klaus Doppler, Cassio Ribeiro, Ming Xiao, Kikael Skoglund, Jawad Manssour, "Advances in Device-to-Device Communications and Network Coding for IMT-Advanced," ICT-Mobile Summit 2009.
- [2] Jing Wang, Yan Yao, Ming Zhao, Shidong Zhou, Yi Wang, Xin Su, "Conceptual platform of distributed wireless communication system", Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2002. IEEE 55th, Vol.2, pp.593-597, May 2002.
- [3] George Tsoulos, Ed., "MIMO System Technology for Wireless Communications," CRC Press, Boca Rato, FL, 2006.
- [4] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space time codes for high data rate wireless communications: performance criterion and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.44, pp.744-765, Mar.1998.
- [5] V. Tarokh, A. Naguib, N. Seshadri, and A.R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication : Performance criteria in the presence of channel estimation error, mobility and multiple paths," IEEE Trans.

on Commun., vol.47, pp.199-207, Feb. 1999.

- [6] Joo-Young Yang, Jeong-Ho Kim, "A study on the newly proposed Dual Virtual Cell System in Distributed Wireless Communication System," Journal of KICS, pp517~526, 2006.

저 자 소 개

김 정 호(정회원)

대한전자공학회 논문지

제49권 TC편 제 5호 참조