

인지 네트워킹 기반 중첩 융합 네트워크에서 이중 가상 셀 운영방안의 성능분석

준회원 최 유 미*, 종신회원 김 정 호*

Performance Analysis of Operation Strategy of Dual Virtual Cell-based System under The Overlay Convergent Networks of Cognitive Networking

Choi, YuMi* Associate Member, Kim, Jeong-Ho* Lifelong Member

요 약

데이터 트래픽의 증가와 더불어 인지 기반 중첩 융합 네트워크 환경 하에서의 서비스 성능이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 이에 따라 다양한 이중 네트워크(HetNet)가 결합된 환경 하에서 주변상황의 인지 기능을 활용하는 이중 가상 셀의 구성과 특징에 대해 살펴보고 자원의 효과적 활용에 적합한 개별 이중 네트워크의 특성분석과 특성을 반영하는 시스템측면의 최적화를 고려하여 성능측면의 분석을 다루고자 한다. 이를 위해 가상 이중 셀 시스템의 구성과 운영이 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 기지국의 소형화와 지능화가 진행됨에 따른 활용도 측면의 성능을 분석하였다. 고려하는 시스템은 유용한 가상의 신호를 찾을 수 있는 능력을 활용하여 가상의 이중 셀을 구성하고 고속이동에 따른 무선링크에서의 성능열화를 방지하고 고속의 데이터 전송을 위한 시-공간 트렐리스 코드를 적용한 시스템의 성능을 분석하여 그 유용성에 대해서 시뮬레이션을 통하여 정량적인 분석결과를 얻었다. 이를 바탕으로 다양한 파라미터가 주어진 환경 하에서 전체 시스템에 어떤 영향을 미치는지를 해석하고 고려하는 시스템의 특징을 고찰하였다.

Key Words : Heterogeneous Networks, Cognitive Networking, Throughput, Radio Resource Management

Abstract

With the fast growing data traffic, the performance of the convergent overlay network environment under the cognitive networking environment is crucial for the implementation of the efficient network structure. In order to achieve high capacity and reliable link quality in wireless communication of the overlay convergent networks with the cognitive networking based on the advanced capability of the mobile terminal, a Distributed Wireless Communication System (DWCS) can provide the capability of ambient-aware dual cell system's operation. This paper has considered virtual cell: the Dual Virtual Cell (DVC), and also proposes DVC employment strategy based on DWCS network. One is the Active Virtual Cell which exists for user's actual data traffic and the other is the Candidate Virtual Cell which contains a set of candidate antennas to protect user's link quality from performance degradation or interruption. The considered system constructs DVC by using cognitive ability of finding useful virtual signals. Also, for multi-user high-rate data transmission, the DWCS system exploits Space-Time Trellis Codes. The effects of changing environments on the system performance has been investigated thereafter.

※ 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0008916)

* 이화여자대학교 전자공학전공 무선멀티미디어통신 연구실(jho@ewha.ac.kr)

논문번호 : KICS2012-04-177, 접수일자 : 2012년 4월 11일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 11일

I. 서 론

현재 상용화가 진행 중인 이동통신 시스템은 정지 및 이동 중에 안테나를 통하여 음성, 문자, 동영상 등의 정보를 송/수신하고 이를 원래의 정보로 복원하는 새로운 패러다임을 제공함을 목표로 하여 3세대에 비하여 보다 고속으로 변화가 심한 무선환경에서 계층별 교차최적화를 통하여 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 합과 동시에 고속 및 저속, 도심 및 부도심 등 다양한 환경에 적합한 무선 접속 기술들을 결합하여 사용자 중심(User-centric)의 서비스를 제공함을 동시에 추구하고 있다^[1-4]. 즉, 중첩 융합 이동통신은 현재 저속의 음성 및 패킷 데이터 통신 위주에서 고속 이동 중에 최대 100Mbps, 정지 및 저속 이동 중에 155Mbps~1Gbps까지의 데이터 전송 속도를 기반으로 하여 유무선 통합에 의한 멀티미디어 통신이 가능토록 하는 데 1차적인 주안점이 있다. 그러나 빠른 전송 속도 뿐만 아니라 스펙트럼 효율성(spectral efficiency)의 향상, 커버리지(cell coverage) 확장, 서비스 품질(QoS)과 서비스 등급의 차별화, 효율적인 서비스 지원을 위한 단말기 재구성, ALL IP환경을 위한 패킷 전용 시스템의 구현, 그리고 기존의 시스템과의 조화 등이 함께 고려되어야 하므로 시스템, 단말, 물리계층 기술, MAC계층 기술, 통합망 기술 등 다양한 기술영역이 상호 결합하여 시너지를 창출할 수 있는 방향의 정립이 필요한 상황이다. 주파수 활용 분야에서는 제한된 주파수를 효율적으로 활용하기 위하여 계층적 셀 기술, 적응형 동적 채널 할당 기술, 스펙트럼 공유 기술등이 논의되고 있으며 네트워크 분야에서는 여러 네트워크 간의 융합을 지원하고 IP 기반의 QoS 관리를 위해 무선 링크에서의 IP 최적화 기술, 무선에서 안정적인 IP전송 기술, 라우팅, 멀티캐스트, IP 기반 신호처리, 이동성 관리, 대역폭 제어 기술 등이 연구되고 있다^[7-9]. 본 논문에서는 이러한 중첩 융합 이동통신시스템의 기술적인 과제를 해결하기 위한 구조로써, 기존에 제안한 분산 무선시스템[2]-[4]을 기반 환경으로 하는 다양한 이중 네트워크간의 데이터 오프로딩(data off-loading)이 필요한 중첩 융합된 네트워크 환경에 적용한다고 가정할 경우의 이중 셀 운영방안을 기반으로 한 시스템 성능의 특성과 성능을 평가하고자 한다.

II. 시스템의 구성

분산무선시스템에서는 최적의 통신을 위해서 프로세서가 각 단말과 AP의 안테나 수, 각 단말의 가상셀 내의 AP 구성, AP와 단말의 안테나들 간의 채널 상관도, 가상 셀 내 단말의 위치, 가상 셀이 겹쳐지는 영역 내에 있는 다른 단말들의 위치, 각 단말마다 요구되는 전송 속도 등에 대하여 전부 혹은 부분적인 정보를 가지고 있어야 한다. 무선 통신은 전파환경의 변화가 심해서 채널에 대한 정보를 단말이 측정해서 보내는 기존 방식에서는 채널 추정 정보가 수 초 단위로 제공되어서 네트워크가 채널 변화의 속도를 쫓아가지 못하게 되고 이로 인하여 단말의 통신이 특정 순간에서 다음 순간으로 가는 연속적인 전송 과정에서 무선링크의 품질이 급격하게 변동하고 또한 단말의 오버헤드를 증가시키는 문제점이 있다.

2.1. 시스템의 구조

고려하는 이중 가상 셀 (DVC; dual virtual cell) 시스템에서는 가상 셀을 Active Virtual Cell (AVC) 과 Candidate Virtual Cell (CVC), 2개의 계층 구조로 나누어 관리한다. AVC는 단말의 실제 데이터가 오고 가는 채널을 형성하는 분산안테나들의 집합을 의미하며, CVC는 무선링크 QoS (Quality of Service) 보장을 위하여 사용자가 현재 사용 중인 무선링크의 성능저하 혹은 단절이 생기는 경우 대체를 위한 분산안테나들의 집합을 의미한다. 사용자가 통신에 현재 사용 중인 안테나가 있는 AP들은 모두 AVC에, 사용자가 통신을 하는 동안 채널을 모니터링 함으로써 얻은 후보군의 안테나들이 있는 AP들은 모두 CVC에 포함시켜 표시한 것이며, 그림에서 각 가상 셀에 포함된 AP들의 안테나 전부가 AVC 이나 CVC에 속함을 의미하는 것은 아니다. 신호처리를 담당하는 프로세서들이 영역 내에 분산되어 있고, 각 프로세서들은 co-processing을 위해 상호 연결되어 있으며, 프로세서들은 분산되어 있는 AP들과 연결되어 있다. 각 AP에는 무선 신호를 송수신하는 안테나들이 장착되어 있으며, 이 AP들은 영역의 여러 지점에 분산되어 있어서 전파의 사각지대가 없고, 단말의 실제 데이터가 오고 가는 채널을 형성하는 분산안테나들의 집합인 AVC와 사용자 통신링크의 성능저하 혹은 단절을 방지하기 위한 분산안테나들의 집합인 CVC를 구성하는 구조이다. CVC의 안테나 구성은 네트워크가 실시간 채널 모니터링을 통하여 얻은 채널 정보를 이용하여 여러 송/수신 안테나들 중 링크 품질이 우수한 분산안테나들을 선별

하여 구성한다. 또한 CVC의 커버리지는 네트워크가 단말의 속도, 이동방향 등을 통하여 다음 시점의 단말의 도달 범위를 예측하여 커버리지로 설정함으로써 이동에 따른 통신 링크의 단절을 막을 수 있게 한다. CVC의 구성 및 변경, 갱신 과정은 사용자가 현재 시점에 AVC를 통하여 통신을 하는 동안 동시에 이루어진다. 해당 단말로부터의 무선신호처리는 AVC의 안테나가 소속된 AP들과 연결된 3개의 processing unit에서 우선 데이터를 수신받고 상호 연결성을 통하여 셋 중 Master Coordinator가 되는 하나의 processing unit으로 신호처리작업을 옮겨서 무선신호들을 합하여 검출한다. 그림에서 나타난 AVC와 CVC의 반경은 고정된 값이 아니며, 이것은 단말의 속도나 시스템의 부하와 같은 환경 변화에 따라 동적으로 결정된다. 또한 AVC와 CVC는 사용자를 중심으로 정의된 개념이며, 거리상으로는 먼 거리에 있더라도 채널 품질이 더 좋은 안테나들로 구성될 수 있으므로 반드시 지역적으로 가까운 안테나의 집합을 의미하는 것은 아니다.

2.2. 시스템의 운용

분산무선시스템의 MIMO (Multi-Input Multi-Output) 기술은 기존의 점대점 (point-to-point) MIMO와는 달리 다점대점 (multipoint-to-point) (하향링크) 혹은 점대다점 (point-to-multipoint) (상향링크) 시스템이다. 우선, 하향링크에서는 보통 단말 쪽의 안테나 수가 적어서 수신안테나보다는 송신안테나 수가 많은 MIMO 시스템을 구성하게 되고 상향링크에서는 송신안테나보다는 수신안테나 수가 많은 MIMO 시스템을 구성하게 된다. 따라서, 최적의 송수신 구조를 위해서는 AP의 안테나 선택이 매우 중요하다. 또한 여러 개의 단말이 있을 때 그들의 가상 셀들이 겹치게 되는데 이 경우 하나의 AP가 한 명 이상의 사용자를 수용하게 되므로 각 AP의 수신 안테나 구성은 상호 간섭을 최소화하도록 신중하게 선택되어야 한다. 그림 1은 N개의 AP가 서로 다른 위치에 균일하게 분포하고 있으며, 각 AP에는 M개의 안테나가 장착되어 있고 단말은 L개의 안테나를 사용하는 제안시스템의 상향링크 시스템 모델을 나타낸 것이다. DVC시스템에서는 단말의 전원이 켜지면 우선 단말의 도달 범위 내의 분산안테나들을 모두 CVC의 커버리지에 포함시키고 이들과 단말 사이의 채널 정보를 수집하여 채널 행렬 H를 구성한다.

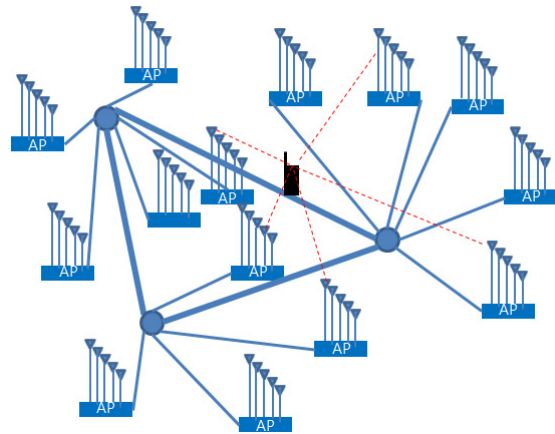


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

채널 행렬 H는 단말과 각 AP의 안테나 간의 거리를 나타내는 distance vector

$$d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_N]^T$$

의 함수로 표현이 가능하며, 상향 링크의 경우, 상호 독립적인 N개의 $M \times L$ 의 부수적인 채널 행렬로 구성된다.

$H_n(d_n)$ 은 단말의 각 안테나와 n번째 AP의 안테나 간에 형성되는 채널을 의미하는 채널 행렬로 $M \times L$ 행렬,

$$H_n(d_n) = [h_1^n \ h_2^n \ \dots \ h_L^n]$$

있다. 그리고 여기서 $h_l^n(d_n)$ 은 단말의 l번째 안테나와 n번째 AP의 각 안테나 간에 형성되는 채널의 경로 계수를 나타내는 채널행렬로,

$$h_l^n(d_n) = [h_{1,l}^n \ h_{2,l}^n \ \dots \ h_{M,l}^n]$$

와 같이 정의된다. 채널은 frame단위로만 변화하고 한 frame 내에서는 변하지 않는 준정적 채널(Quasi-static)로 채널 모델을 가정하자. 분산 안테나 시스템(Distributed Wireless Communications Systems; DWCS)의 분산 안테나 구조는 기존 셀룰라 시스템과 같은 점대점 (point-to-point) 채널이 아니라 다점대다점 (multipoint-to-multipoint) 채널이라서 통신에 사용되는 각 안테나 간의 거리와 페이딩 (fading) 특성이 서로 다르기 때문에, 소규모 페이딩(small scale fading) 뿐만 아니라 경로손실 (path loss), 대규모 페이딩 (Shadowing; large scale fading)에 관하여 모두 고려하여야 한다. 따라서 n번째 AP의 m번째 수신안테나와 단말의 l번째 송신안테나 간에 형성되는 채널의 경로계수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$h_{m,l}^n = d_n^{-\alpha/2} \cdot \beta_{m,l}^n \quad (1)$$

여기서 d_n 은 n 번째 AP의 m 번째 수신안테나와 단말의 1 번째 송신안테나 간의 거리를, α 는 경로손실 계수 (path-loss exponent)를, $\beta_{m,l}^n$ 은 대규모 페이딩 (large scale fading)과 소규모 페이딩 (small scale fading)을 복합하여 나타내는 복소 랜덤 변수를 각각 의미한다. $\beta_{m,l}^n$ 의 크기 (amplitude)는 Rayleigh 분포를 따르며, mean square value는 평균이 0이고 표준편차가 σ_s ($\sigma_s \in (8, 10)$)인 로그 정규분포를 따른다.

채널 정보는 일정 주기마다 네트워크로 전달된다고 가정하고, 네트워크는 수집된 채널 정보를 기반으로 초기 CVC 커버리지 내의 안테나 중 채널 품질이 좋은 안테나들을 선별하여 CVC 채널 행렬 HC를 구성한다. 어떤 기준에 따라 CVC를 구성하는 안테나를 선택하느냐는 네트워크의 운용방안에 따라 달리 결정할 수 있을 것이다. 본 시스템에서는 경로별 평균 전력 이득이 높은 안테나를 선택하는 기준을 사용하고 있다. 상향링크 CVC 채널 행렬의 i 번째 row, HC_i 는 채널 행렬 H의 안테나 중 평균 전력 이득이 i 번째로 높은 안테나와 단말 간에 형성되는 채널을 의미한다. 높은 안테나의 채널은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$H_{C,i} = \max \left\{ |h_{m,l}^1|^2, |h_{m,l}^2|^2, \dots, |h_{m,l}^L|^2 \right\} \quad (2)$$

네트워크는 단말의 통신 지점을 대비하여 단말의 속도, 이동방향 등을 이용하여 단말의 도달 범위를 지속적으로 예측하여 CVC의 구성을 계속해서 업데이트한다. 그림 2는 설명한 고려하는 시스템의 동작 과정을 나타낸 순서도이다. 단말이 저속으로 이동하면서 통신을 지속하는 경우, DVC 시스템은 사용자 통신 링크의 단절을 방지하고 링크 품질 향상을 동시에 얻고자 한다. 특정 영역으로 트래픽이 집중되어 단말들의 중첩 영역에서 공간 채널의 상호 간섭이 문제되는 경우에는 각 무선신호의 채널을 분산시켜서 공간 채널의 상관도로 인한 시스템의 성능 저하를 막도록 가상 셀을 설정할 수 있다. 즉, 고속 이동시에는 분산안테나 시스템을 이용하여 가상 셀의 커버리지를 넓게 잡고 프로세싱 유닛의 상호 연결성을 통한 릴레이 형식 신호처리로 링크의 단절과

품질 저하를 막는다. 또한 특정 영역으로 트래픽이 집중되어 단말들의 중첩 영역에서 공간 채널의 상호 간섭이 문제되는 상황에서는 각 무선신호의 채널을 분산시켜서 공간 채널의 상관도로 인한 시스템의 성능 저하를 막는다. 본 발명에서는 사용자의 현재 지점의 통신을 위한 가상 셀(AVC) 설정 프로세스와 다음 지점의 통신을 위한 가상 셀(CVC) 설정 프로세스를 분리시킨다.

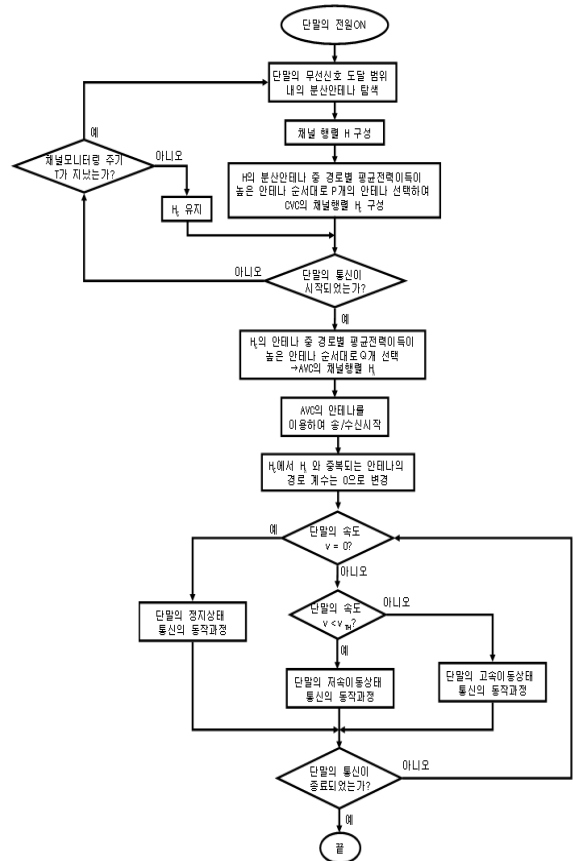


그림 2. 초기 HC, HA 설정 순서도
Fig. 2. Flow chart for initial HC, HA setup

III. 시뮬레이션 결과 및 해석

제안시스템과 기존 시스템의 FER을 상호 비교하여 봄으로써, 단말의 무선 환경에 따라 적절한 수신 안테나를 구성하는 것이 사용자 통신의 무선 링크 품질에 어떤 영향을 미치는지 알 수 있다. 시뮬레이션 환경과 변수는 송/수신 단에서는 동일한 개수의 안테나를 사용하는 경우이며, 기존 셀룰라 시스템은 BS의 안테나 중에서 각 실험에서 지정한 개수의 안테나를 사용할 수 있으며, 제안시스템은 분산된 여러 개의 AP에서 각 실험에서 지정한 개수의 안테나 수만큼을 선택하여 사용할 수 있다. 그림 3은

STTC의 상태의 수를 4, 8, 16, 32 로 증가시킴에 따른 기존 셀룰라 시스템과 제안시스템의 FER 성능을 나타낸 결과이다. 기존 셀룰라 시스템과 제안시스템은 모두 동등하게 2개의 송신안테나와 1개의 수신안테나를 사용한 경우이다.

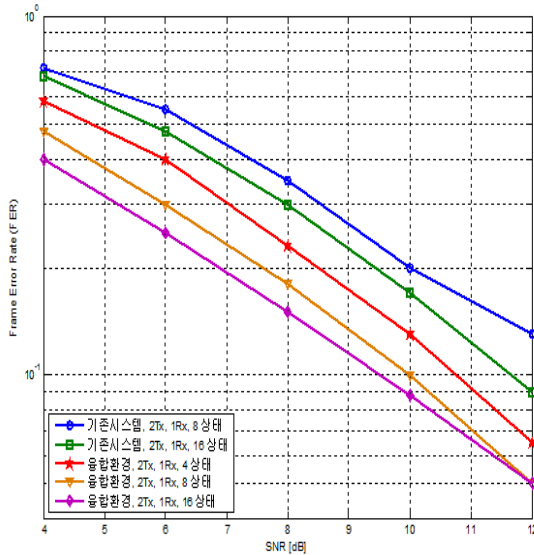


그림 3. 고려하는 시스템의 Frame Error Rate 성능의 비교
Fig. 3. FER performance comparison of considered system

결과에서 알 수 있듯이, 사용된 모든 QPSK 코드들의 FER 그래프들은 거의 동일한 기울기를 가지며 이는 코드들이 동일한 다이버시티 이득을 얻음을 확인시켜 준다. 두 시스템은 모두 STTC의 상태의 수를 늘림에 따라 coding 이득을 얻어서 성능이 개선된다. 그러나 수신안테나가 1개인 경우, 4 가지 상태에서 8가지 상태, 16 가지 상태로 상태 수를 증가시킴에 따른 이득이 대략 0.5dB, 0.3dB 정도로 큰 폭의 개선은 얻을 수 없었으며, 16 가지 상태를 넘어가면 성능개선이 한계점에 다다른다. 제안시스템은 4 가지 상태 STTC를 사용하는 경우에도 8가지 상태, 16가지 상태, 32가지 상태 STTC를 사용하는 기존 시스템보다 우수한 성능을 나타내었다. 또한 이 결과는 전력 제어(power control)를 통하여 단말에서 훨씬 적은 송신 전력을 사용함에도 불구하고 보다 개선된 성능을 보인다는 점에서 더 의미가 있다. 그림 4는 안테나 밀도를 높여감에 따른 제안시스템의 성능 개선 정도를 보여주는 그림이다. 향후 등장할 시스템은 보다 고밀도의 기지국(AP) 환경이 될 것이 확실 시 되므로 이에 따른 영향을 평가하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 실험은 송신안테나를 2개, 수신안테나를 1개 사용하고 4가지 상태 STTC를 사용하는 제안시스템에 대하여 수행한 결과

이다. 결과에서 알 수 있듯이, 안테나 밀도가 2배, 4배 올라감에 따라 안테나 밀도가 1인 경우에 비하여 FER 성능이 약 1.0dB, 2.0dB 개선되었다. 이는 고밀도로 안테나가 분포된 환경에서는 단말에게 훨씬 많은 수의 고품질의 채널을 제공할 수 있음을 나타낸다. 이는 네트워크가 단말의 출현을 인지한 후에야 단말의 통신을 위한 안테나를 선정하는 기존 가상 셀 방식보다 사용자의 이동을 단말의 전원이 켜진 후부터 지속적으로 관리하면서 단말의 통신 지점을 대비하여 링크 품질이 우수한 채널을 관리하고 있다가 단말의 통신이 개시되었을 때, 신속하게 단말의 통신을 위해 좋은 품질의 링크를 제공하는 DVC 시스템의 장점으로 인한 것이다.

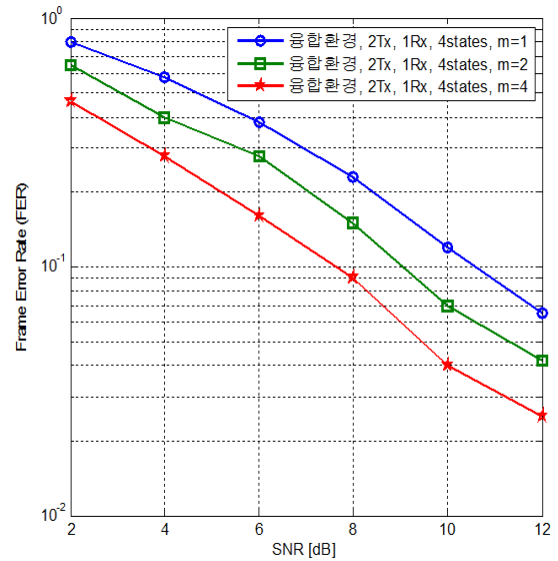


그림 4. 안테나 밀도에 따른 고려하는 시스템의 Frame Error Rate 성능
Fig. 4. FER performance of considered system w.r.t antenna density

이 결과는 정지상태의 통신환경에서 시뮬레이션을 수행한 결과이며, 고속이동상태의 통신환경에서는 단말의 고속이동상황에서 무선 링크 단절을 방지하는 데 큰 어려움을 안고 있는 기존 가상 셀 시스템보다 제안시스템이 현저하게 우수한 성능을 보일 것으로 예상된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 제한한 분산무선통신시스템[2]을 기반으로 하여 사용자 통신의 링크 품질을 지속적으로 유지하면서 용량을 향상시키고자 하는 Dual Virtual Cell 구조와 제시된 운용 방안에 대하여 구체적인 운영에 따른 성능에 대해 살펴보았다. 제시된 시스템은 CVC운용 방법에 따라 특히 고속

이동 시나 채널 변화가 심한 환경 등 채널 품질이 열악한 환경에서 우수한 성능을 나타낼 수 있음을 확인하였다. 또한 중첩 융합 이동통신시스템은 다수 사용자의 고속 데이터 전송을 지원하는 것을 목표로 하는 시스템이므로 제안시스템에서는 시공간 트렐리스 부호화 기술을 이용하여 다중안테나를 통하여 부호화된 신호를 전송함으로써 주파수 효율을 향상시키고 시간, 공간 다이버시티 이득을 피할 수 있음을 관찰하였다. 본 논문의 시험결과를 통하여 제안된 시스템의 운영을 통해 기존 시스템보다 개선된 성능을 얻을 수 있을 것으로 사료되어 향후 보다 세분화된 방안에 대한 평가를 통해 보다 체계적인 성능분석 및 효과의 분석이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Shidong Zhou, Yunzhou Li, Ming Zho, Xibin Xu, Jing Wang, and Yan Yao, "Novel Techniques to Improve Downlink Multiple Access Capacity for Beyond 3G," IEEE Communications Magazine, pp. 61-69, January 2005.

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

[3] EunJi Cheon and Jeong-Ho Kim, "Characteristics of Wireless Distributed Communication System under the Overlay Convergent Networks," Journal of KICS, Vol. 37, No. 6, 2012.

[4] EunMi Kwon, and Jeong-Ho Kim, "Performance Analysis of STTC-based Dual Virtual Cell System under the Overlay Convergent Networks of Cognitive Networking," Journal of KICS, Vol. 37, No. 6, 2012.

[5] 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.

[6] J. Wang, M. Ghosh, and K. Challapali,

"Emerging Cognitive Radio Applications: A Sruvey," IEEE Communications Magazine, Vol. 49, No. 3, pp. 74-81, March 2011.

[7] 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.

[8] G. J. Foschini and M.J. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," Wireless Personal Commun., Mar. 1998.

[9] J. Proakis, Digital Communications, 3rd ed. NewYork: McGraw-Hill,1995.

최 유 미 (Choi, YuMi)

준회원



2010년 이화여자대학교 공과대학 전자공학과 재학 중
2012년 1월~이화여자대학교 전자공학과 무선멀티미디어 통신연구실
<관심분야> 무선통신, 이동통신 네트워크, 인지 네트워킹

김 정 호 (Kim, Jeong-Ho)

중신회원



1991년 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1993년 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1999년 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1995년 LG전자 멀티미디어 연구소

1999년~2000년 LG정보통신 중앙연구소 선임연구원
2000년, 2009년 Virginia Tech. MPRG (Mobile Radio Research Group) Visiting Scholar and Visiting Professor
2001년~2002년 8월 LG전자 UMTS 시스템 연구소 책임연구원
2002년 9월~현재 이화여자대학교 공과대학 전자공학과 부교수
<관심분야> 인지 네트워킹, 인지 라디오 네트워크, 인지기반 QoS제어, SDR Hardware 플랫폼 설계