

분산 무선 통신시스템 기반의 Dual Virtual Cell 시스템의 제안 및 성능분석

준희원 양 주 영*, 종신회원 김 정 호*

A study on the Newly Proposed Dual Virtual Cell System in Distributed Wireless Communication System

Joo-young Yang* Associate Member, Jeong-ho Kim* Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 가상 셀(Virtual Cell)이라는 새로운 개념을 도입하여 사용자의 움직임에 따라 셀(Cell)이 동적으로 바뀌어서 핸드오프의 문제가 없으며, 사용자 간, 셀 간에 야기되는 간섭을 모니터링 할 수 있고 또한 상호 간섭을 최소화하도록 제어할 수 있어서 기존 셀룰라 시스템이 안고 있는 간섭 문제를 효과적으로 극복할 수 있는 분산무선통신시스템에 관하여 소개한다. 그리고 이러한 분산무선시스템을 기반으로 하여 사용자 통신의 링크 품질을 지속적으로 유지하면서 용량을 향상시키고자 하는 Dual Virtual Cell(DVC) 개념과 운용 방안을 제안하였다. DVC 시스템은 단말의 실제 트래픽을 위한 Active Virtual Cell 외에, 사용자 통신의 다음 시점의 도달 범위 예측과 사용자 무선링크의 품질저하 및 단절을 방지하기 위한 후보군의 분산안테나들의 집합인 Candidate Virtual Cell을 도입하여 이러한 이중구조의 가상 셀을 동시에 관리함으로써, 채널정보 획득에 대한 단말의 부담을 줄이고 채널추정정보에 대한 시간지연과 단말의 이동으로 인한 무선링크 단절 및 품질 저하를 방지하며 신속한 통신채널 변경을 지원할 수 있다. 제안하는 시스템에서는 DVC의 안테나 구성을 위하여 안테나 선택기법을 이용하고 있으며, 시스템 오차 확률 개선을 위하여 Space-Time Trellis Code를 도입하였다.

Key Words : DWCS, Virtual Cell, Dual Virtual Cell, distributed antenna system, STTC

ABSTRACT

In order to achieve high capacity and reliable link quality in wireless communication, the significant efforts should be concentrated on mitigating interference between cells. To solve the interference problem, the newly introduced concept of a Distributed Wireless Communication System (DWCS) can provide the capability of joint control of the signals at multiple cells. This paper proposes a new concept of virtual cell: the Dual Virtual Cell (DVC), and also proposes DVC employment strategy based on DWCS network. The proposed system manages two kinds of virtual cell. 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 proposed system constructs DVC by using antenna selection method. Also, for multi-user high-rate data transmission, the proposed system introduces multiple antenna technology to get a spatial and temporal diversity gain and exploits Space-Time Trellis Codes known as STTC to increase a spectral efficiency.

※ 이 논문은 정보통신부 대학 ITRC 프로젝트(영남대학교 광대역 이동멀티미디어 연구센터(YU-BMMRC))의 지원으로 수행된 연구임.

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

논문번호: KICS2006-03-123, 접수일자: 2006년 3월 7일, 최종논문접수일자: 2006년 5월 15일

I. 서론

새로운 4세대 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 무선 환경에서 계층별 교차최적화(cross-layer optimization)를 통하여 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 함과 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. 이러한 4세대 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 하는데 1차적인 주안점이 있다. 그러나 고속 전송 뿐만 아니라 스펙트럼 효율(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, 유,무선 통합망 기술 등 다양한 기술영역이 상호 결합하여 시너지를 창출할 수 있는 방향의 정립이 필요한 상황이다.

본 논문에서는 이러한 4세대 이동통신시스템의 기술적인 과제를 해결하기 위한 구조로써, FuTURE 프로젝트의 일환으로 연구되고 있는 분산무선시스템(Distributed Wireless Communication System)에 관하여 소개하고, 분산무선시스템을 기반 환경으로 하여 사용자 통신의 링크 품질을 지속적으로 유지 하면서 용량을 향상시키고자 하는 Dual Virtual Cell의 개념과 운용 방안을 제안하였다. 그리고 시공간 트렐리스 부호화 기술(Space-Time Trellis Code)를 적용한 제안시스템의 성능을 MATLAB을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 평가 및 토의하고 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 분산무선통신시스템 (Distributed Wireless Communication System)

무선통신은 급속한 발전에도 불구하고 4세대 이동통신시스템의 요구사항을 충족시키기에는 여전히

많은 문제들이 남아 있다. 우선, 기존의 무선접속시스템들이 상호 호환이 되지 않는다는 점이다. 무선랜, 셀룰라시스템, 위성통신과 같은 시스템들은 각각 독립적으로 발전되어 왔기 때문에 서로 호환이 잘 되지 않을 뿐만 아니라, 같은 접속시스템에서도 다양한 표준이 존재하여서 이들을 같이 동작시키는 데에는 문제가 많다. 그리고 무선통신은 현재의 거의 무제한적인 서비스 요구사항에 비하여 유효스펙트럼이 매우 제한적이며, 전송과정에서의 에너지 손실이 매우 큰 기본적인 문제를 안고 있다.

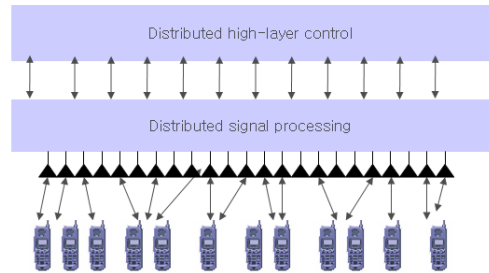


그림 1. 기존 셀룰라 시스템의 구조

그림 1은 기존 셀룰라 시스템(cellular system)의 구조를 나타낸 것이다. 기존 셀룰라 시스템에서는 BTS(base transceiver station)가 자신의 커버리지 영역 내의 단말(MT, mobile terminal)로 오고 가는 신호를 처리하고 다른 셀의 신호는 간섭으로 판단한다.

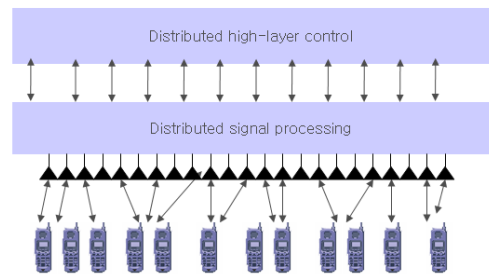


그림 2. DWCS의 시스템 구조

DWCS는 기존의 셀룰라 시스템과 다르게 계층적 구조를 수평하게 만드는 것을 기본아이디어로 한다. 그림 2는 DWCS 구조를 나타낸 것이다. DWCS는 기본적으로 분산안테나(distributed antennas), 분산 신호처리(distributed signal processing), 분산제어시스템(distributed high-layer control)이라는 세 가지 부분으로 구성된다.

분산신호처리는 DWCS 구조의 가장 핵심적인 부분이라고 할 수 있다. 변조/복조, 채널 코딩/디코딩,

joint detection, 채널 측정, MAC (medium access control), LLC(link layer control), RLC(radio link control), RNC(radio network control) 등의 무선 접속과 관련된 모든 신호 처리는 이 계층에서 이루어진다. 이 계층은 물리적으로는 분산 프로세싱 센터(DPCs, distributed processing centers)와 전용 광 네트워크(dedicated optical network)라 불리는 2개의 부계층으로 구성되어 있다. 광 네트워크에서는 두 가지 주요한 일을 처리하는데, 첫 번째는 분산안테나들로부터 혹은 분산 안테나로 오고 가는 디지털 중간주파수(IF) 신호를 수집하고 전달하는 일이고, 두 번째는 서로 다른 분산된 프로세싱 센터들 간에 고속의 실시간 데이터 교환을 통하여 co-processing을 수행할 수 있도록 프로세싱 센터들을 서로 연결하는 일이다. 따라서 전체 시스템은 실제로 거대한 규모의 MIMO 시스템을 실현하는 많은 수의 분산된 안테나를 가진 point-to-multipoint 시스템으로 동작하게 되는 셈이다. 그림 3과 같이, 분산무선 시스템의 신호 처리는 안테나로부터 따로 분리되어 있으며, 무선 신호들은 분산안테나들을 통하여 수집되고, 각 프로세서는 여러 안테나로부터 오고 가는 무선 신호들을 처리하고, 서로 다른 프로세서들 간에는 긴밀하게 co-processing이 이루어진다.

프로세싱 계층은 논리적으로는 각각 하나의 중앙 처리장치(CPU, central processing unit)로 생각될 수 있으나, 여러 개의 프로세서들이 영역 내에 분산되어 존재하여 신호를 병렬적으로 처리한다. 이런 구조에서 다수의 안테나 사이를 오고 가는 신호는 다중안테나 기술을 통하여 채널 커패시티 혹은 무선링크의 품질을 최대한 향상시키도록 가장 가까운 프로세서에서 동시에 처리한다. 또한 프로세서 간에

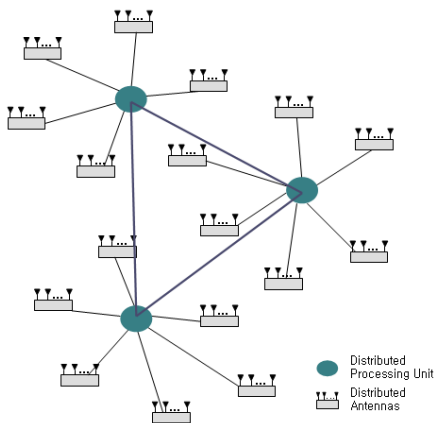


그림 3. DWCS 네트워크

는 고속의 연결성을 통하여 상호 동작할 수 있어서 신호처리 작업을 프로세서 간에 동적으로 정렬하고 전달할 수 있다. 따라서 분산프로세서는 하나의 프로세서가 고장 나더라도 그 프로세싱 작업을 다른 프로세서로 옮겨서 할 수 있으므로 시스템의 신뢰도를 높일 수 있다.

DWCS에는 기존 셀룰라 시스템에서 얘기하는 셀의 개념은 더 이상 존재하지 않는다. 대신 가상셀이라는 새로운 개념을 도입하여 사용하고 있다. 기존 시스템에서 셀이 기지국을 중심으로 정해지는 개념인 것과 달리, 가상셀은 단말을 중심으로 정해진 개념이다. 그림 4는 이러한 가상셀의 개념을 나타낸 것이다.

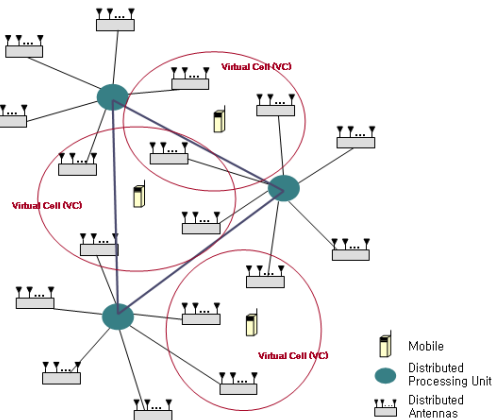


그림 4. DWCS의 가상셀

DWCS의 또 다른 새로운 개념은 가상기지국(VBS, virtual base station)이다. 기존 셀룰러 시스템에서는 기지국이 자신의 고유한 안테나와 사용자들의 신호 처리를 수행하였으나, DWCS에서는 신호처리 기능이 분산처리 네트워크(distributed processing network)에 있다. 따라서 특정 영역 내 사용자의 신호 처리 기능은 더 이상 어느 특정 프로세서에 국한되는 문제가 아니다. 가상 기지국은 특정 안테나 집합의 도달 범위 내의 사용자들의 신호 처리를 수행한다.

III. 제안하는 Dual Virtual Cell 시스템

분산무선시스템에서는 최적의 통신을 위해서 프로세서가 각 단말과 AP의 안테나 수, 각 단말의 가상셀 내의 AP 구성, AP와 단말의 안테나들 간의 채널 상관도, 가상셀 내 단말의 위치, 가상셀이 겹쳐지는 영역 내에 있는 다른 단말들의 위치, 각 단말마다 요구되는 전송 속도 등에 대하여 전부 혹은

부분적인 정보를 가지고 있어야 한다. 이러한 정보를 가지고 프로세싱 장치(PU:processing unit)는 각 단말의 데이터 전송을 위한 송/수신 안테나 구성, 전송속도, 안테나 간의 송신 전력 할당, 코딩율과 변조기법, 빔 포밍을 위한 변수 계산 등의 통신 방법을 결정한다. 네트워크는 이러한 가상셀 결정과정을 전파환경이 변하거나 단말의 위치가 바뀔 때마다 계속 반복해야 하며 동시에 위와 같은 통신방법을 위한 정보수집과 통신방법 결정과정도 반복해야 한다.

그러나 연속적인 전송과정에서 단말의 속도가 빠른 경우, 위와 같은 사항을 결정하는 동안 단말은 다른 위치로 이동하고, 재차 위와 같은 과정을 반복하는 동안 이전에 결정된 가상셀을 이용하여 통신을 하려면 이미 단말이 다른 위치로 이동했을 수 있으므로, 결과적으로 끊임없이 가상셀을 결정하는 과정을 반복하지만 실제 통신환경과 네트워크가 추정한 통신환경이 불일치하게 되는 상황이 반복되어 단말의 링크 품질이 끊임없이 변동하고 때로는 단절되기까지 할 수 있다.

또한 무선통신은 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.

3.1 제안하는 Dual Virtual Cell 시스템의 개념

이러한 종래 기술의 문제점은 사용자가 통신을 하는 동안 다음 경로에 대한 예측이 필요함을 의미한다. 따라서 제안하는 Dual Virtual Cell(DVC) 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.

네트워크는 단말이 AVC를 이용하여 현재 시점에 통신을 하는 동안, 단말의 속도, 이동방향에 따라 다음 시점의 도달 범위를 예측하고 이 영역 내

에서 좋은 채널 상태에 들어가는 안테나들을 탐색하여 CVC를 구성하고 사용자 통신링크의 성능저하 및 단절, 고속이동으로 인한 채널 변경이 필요한 때, 신속하게 통신링크를 교체시킨다. 그림 5는 제안시스템의 개념을 간략하게 나타낸 것이다. 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. 여기서 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 AVC나 CVC에 속함을 의미하는 것은 아니다.

CVC의 안테나 구성은 네트워크가 획득한 채널 정보를 이용하여 여러 송/수신 안테나들 중 링크 품질이 우수한 분산안테나들을 선별하여 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.

그림 5와 같이 해당 단말로부터의 무선신호처리 는 AVC의 안테나가 소속된 AP들과 연결된 3개의

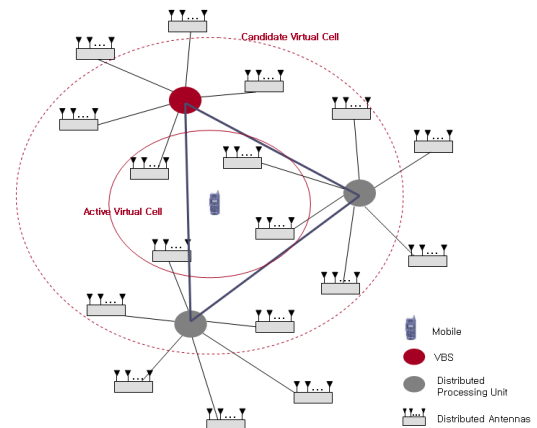


그림 5. Dual Virtual Cell의 개념

processing unit에서 우선 데이터를 수신받고 상호 연결성을 통하여 셋 중 Master Coordinator가 되는 하나의 processing unit으로 신호처리작업을 옮겨서 무선신호들을 합하여 검출한다.

3.2 제안하는 DVC 시스템의 운용방안

분산무선통신시스템의 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 기술은 기존 point-to-point MIMO와는 달리 multipoint-to-multipoint 시스템이다. 우선, 하향 링크에서는 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 송/수신 구조를 위해서는 AP의 안테나 선택이 매우 중요하다. 또한 여러 개의 단말이 있을 때 그들의 가상 셀이 겹치게 되는

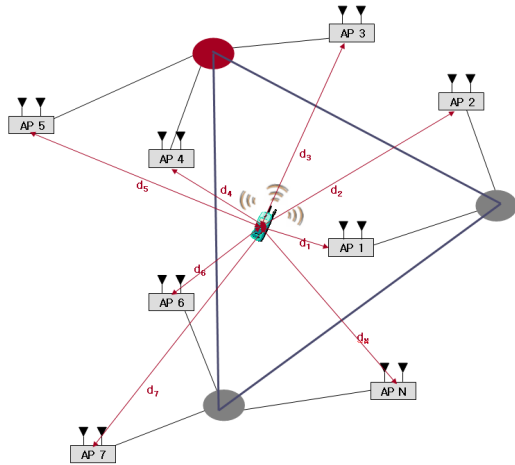


그림 6. 시스템 모델

$$\mathbf{H}(\mathbf{d}) = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1(d_1) \\ \mathbf{H}_2(d_2) \\ \vdots \\ \mathbf{H}_N(d_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1}^1 & h_{1,2}^1 & \cdots & h_{1,L}^1 \\ h_{2,1}^1 & h_{2,2}^1 & \cdots & h_{2,L}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1}^1 & h_{M,2}^1 & \cdots & h_{M,L}^1 \\ h_{1,1}^2 & h_{1,2}^2 & \cdots & h_{1,L}^2 \\ h_{2,1}^2 & h_{2,2}^2 & \cdots & h_{2,L}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1}^2 & h_{M,2}^2 & \cdots & h_{M,L}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{1,1}^N & h_{1,2}^N & \cdots & h_{1,L}^N \\ h_{2,1}^N & h_{2,2}^N & \cdots & h_{2,L}^N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1}^N & h_{M,2}^N & \cdots & h_{M,L}^N \end{bmatrix} \quad (1)$$

데 이 경우 하나의 AP가 한 명 이상의 사용자를 수용하게 되므로 각 AP의 수신안테나 구성은 상호 간섭을 최소화하도록 선택되어야 한다.

그림 6는 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 분산 안테나들을 모두 CVC의 커버리지에 포함시키고 이들과 단말 사이의 채널 정보를 수집하여 채널 행렬 \mathbf{H} 를 구성한다.

채널 행렬 \mathbf{H} 는 단말과 n번째 AP의 안테나 간 거리를 나타내는 distance vector $\mathbf{d}=[d_1 d_2 \cdots d_N]^T$ 의 함수로 표현이 가능하며, 상향 링크의 경우, 상호 독립적인 N개의 $M \times L$ 의 부수적인 채널 행렬로 구성된다. 여기서 $\mathbf{H}_n(d_n)$ 은 단말의 각 안테나와 n번째 AP의 안테나 간에 형성되는 채널을 의미하는 채널 행렬로 $M \times L$ 행렬, $\mathbf{H}_n(d_n)=[\mathbf{h}_1^n \mathbf{h}_2^n \cdots \mathbf{h}_L^n]$ 로 정의할 수 있다. 그리고 여기서 $\mathbf{h}_l^n(d_n)$ 은 단말의 l번째 안테나와 n번째 AP의 각 안테나 간에 형성되는 채널의 경로 계수를 나타내며, $\mathbf{h}_l^n(d_n)=[h_{1,l}^n h_{2,l}^n \cdots h_{M,l}^n]$ 과 같이 정의된다.

DWCS의 분산안테나 구조는 기존 셀룰라 시스템과 같은 point-to-point 채널이 아니라 multipoint-to-multipoint 채널이라서 통신에 사용되는 각 안테나 간의 거리와 fading특성이 서로 다르기 때문에, small scale fading 뿐만 아니라 path loss, large scale fading에 관하여 모두 고려하여야 한다. 따라서 n번째 AP의 m번째 수신안테나와 단말의 l번째 송신안테나 간에 형성되는 채널의 경로 계수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

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

여기서 d_n 은 n번째 AP의 m번째 수신안테나와 단말의 l번째 송신안테나 간의 거리를, α 는 path-loss exponent를, β 는 large scale fading과 small scale fading을 나타내는 복소 랜덤 변수를 각각 의미한다. β 의 amplitude는 Rayleigh 분포를 따르며, mean square value는 평균이 0이고 표준편차가 σ_s ($\sigma_s \in \{8,10\}$)인 log-normal 분포를 따른다.

채널 정보는 일정 주기마다 네트워크로 전달되고 가정하고, 네트워크는 수집된 채널 정보를 기반으로 초기 CVC 커버리지 내의 안테나 중 채널 품질

질이 좋은 안테나들을 선별하여 CVC 채널 행렬 H_c 를 구성한다. 본 시스템에서는 경로별 평균 전력 이득이 높은 안테나를 선택하는 기준을 사용하고 있다. 따라서 상향링크 CVC 채널 행렬의 H_c 의 각 row는 채널 행렬 H 의 수신안테나들 중 평균 전력 이득이 높은 수신안테나와 단말간에 형성되는 채널로 구성된다. 단말로부터 송신이 시작되면 네트워크는 사전에 관리하고 있던 CVC를 이용하여 단말의 초기 통신을 시작한다. 즉, 단말의 통신 전 CVC의 모든 분산안테나들은 통신이 시작된 직후 AVC가 된다.

단말이 정지 상태로 통신을 지속하는 경우, DVC 시스템은 사용자 통신의 링크 품질 향상을 1차 목표로 동작한다. 그림 7과 같이, 이 경우에는 이중 가상 셀의 커버리지를 좁게 잡고, 모든 방향으로 이동가능성이 있으므로 원에 가까운 형태로 가상 셀을 설정하고 단말 주변의 채널 상황을 탐색한다.

단말이 고속으로 이동하면서 통신을 지속하는 경

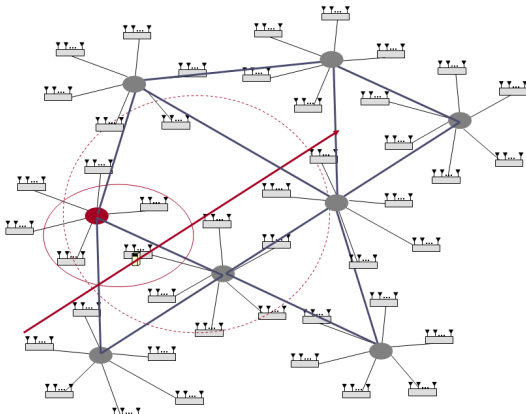


그림 7. 단말의 저속이동상태 통신의 이중 가상 셀

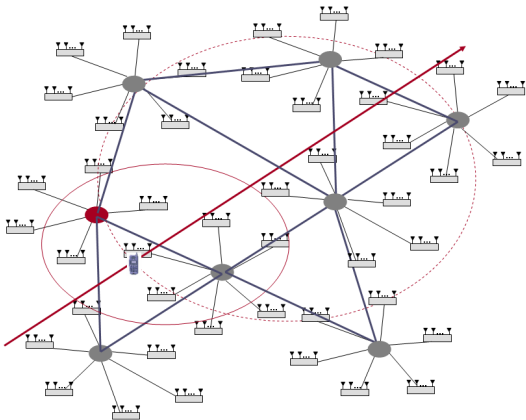


그림 8. 단말의 고속이동상태의 이중 가상 셀

우, DVC 시스템은 사용자 통신 링크의 단절을 방지하고 신속하게 통신채널을 변경하는 것을 1차 목표로 동작한다. 네트워크는 단말의 속도와 이동방향을 이용하여 다음 시점의 도달 범위를 예측하여 그림 8과 같이 CVC와 AVC의 커버리지를 넓게, 그리고 현재 이동방향으로 이동가능성이 가장 높으므로 타원 형태로 설정하고, 그 영역 내의 분산안테나들로 AVC를 업데이트하고 프로세싱 유닛의 상호연결성을 통한 릴레이 형식으로 무선 신호를 처리함으로써 링크의 단절과 품질 저하를 막고 통신채널 변경이 신속하게 이루어지도록 한다.

단말이 저속으로 이동하면서 통신을 지속하는 경우, DVC 시스템은 사용자 통신 링크의 단절을 방지하고 링크 품질 향상을 동시에 얻고자 한다. 네트워크는 이중 가상 셀의 커버리지를 정지시 보다는 넓고 고속이동시보다는 좁게 설정하고, 현재 이동방향으로 이동가능성이 가장 높으나 다른 방향으로의 이동성도 고려하여 속도가 높아질수록 원에서 타원이 되는 형태로 이중 가상 셀의 모양을 결정한다.

IV. Simulation 결과 및 토의

모의실험에 사용된 기존시스템과 제안시스템의 채널 모델과 시스템 변수는 표 1과 같다.

표 1. 채널 모델 및 시스템 변수

Parameters	Conventional System	Proposed System
Small scale fading channel	Quasi-static Rayleigh fading channel	
Uplink/ Downlink	Uplink channel	
Channel coding	STTC	
Channel information	Known at transmitter/receiver	
Modulation	QPSK	
Power control	Perfect	

Network model	Cellular system	DWCS
The number of terminal	1	1
The number of antennas at MT	2	2
The number of antennas at AP	2	2
Antenna topology	Centralized	Distributed
Co-processing among signal processors	No	Yes
Co-processing among antennas	No	Yes

4.1 요구송신전력(Required Transmission Power)

동등한 조건의 시뮬레이션 환경 구현을 위하여 두 시스템은 모두 완벽한 전력 제어(Perfect Power Control)가 이루어지며 두 시스템에서 안테나는 그림 9, 그림 10과 같이 위치에 동일한 위치에, 동일한 밀도로 분포한다고 가정하였다.

기존 셀룰라 시스템과 DWCS에서 단말의 송신 전력은 다음 두 식으로 각각 표현할 수 있다. 기존의 셀룰라 시스템:

$$P_{T-cellular} = P_R d_0^{-\alpha} 10^{\beta_0/10} \quad (3)$$

DWCS:

$$P_{T-DWCS} = \frac{P_R}{\sum_{i=0}^n d_i^{-\alpha} 10^{-\beta_i/10}} \quad (4)$$

여기서 P_R 은 수신 전력을 의미하며 이 값은 두 시스템에서 모두 동일하다. 그리고 n 은 제안시스템에서 사용되는 사용된 안테나 수이며 Path-loss exponent α 는 두 시스템에서 모두 4이고 σ_s 는 1로 가정하였을 때, 빗금 친 영역에서 단말의 위치에 따른 단말의 요구 송신 전력은 그림 11, 그림 12와 같다. 단말의 위치가 (0,0)일 때의 송신전력을 0이라고 하였을 때, 각 위치에 따른 상대적인 요구 송신 전력을 나타내고 있다. 결과에서 알 수 있듯이,

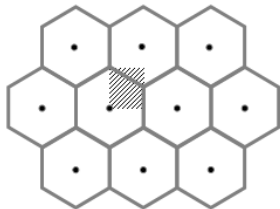


그림 9. 기존 셀룰라 시스템의 셀과 안테나 분포

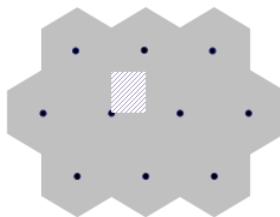


그림 10. DWCS의 안테나 분포

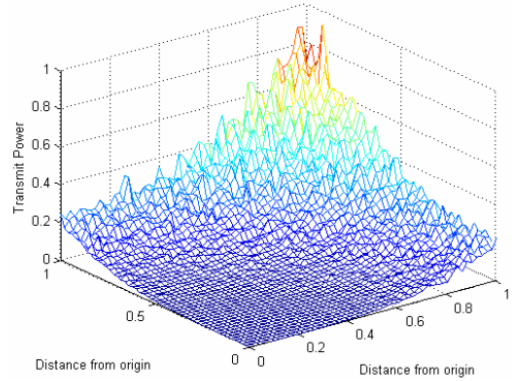


그림 11. 기존 셀룰라 시스템의 셀 내에서 단말의 위치에 따른 요구 송신 전력

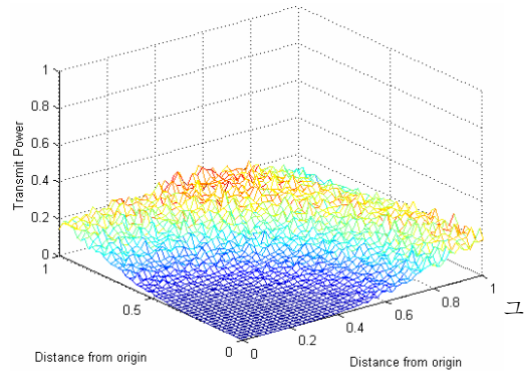


그림 12. DWCS를 기반 환경으로 하는 제안시스템에서의 단말의 위치에 따른 요구송신 전력

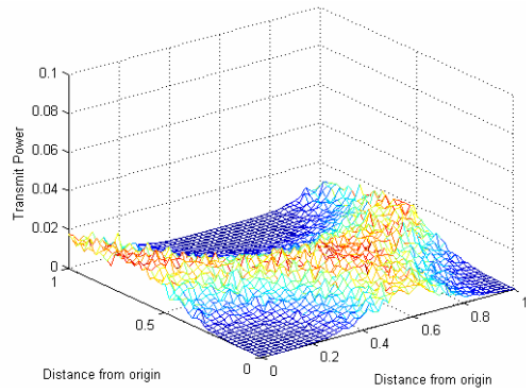


그림 13. 안테나 밀도를 2배 높인 경우의 단말의 위치에 따른 요구 송신 전력

기존 셀룰라 시스템에서는 셀의 중심에 BS(Base Station)이 있고 이 BS의 안테나가 셀 내의 단말에 대한 모든 신호를 처리해야 하므로 단말에서는 Cell의 경계로 갈수록 BS까지의 거리를 고려하여 요구 송신 전력을 크게 증가시켜야 한다. 그러나 DWCS를 기반 환경으로 하는 제안시스템에서는 단말 주

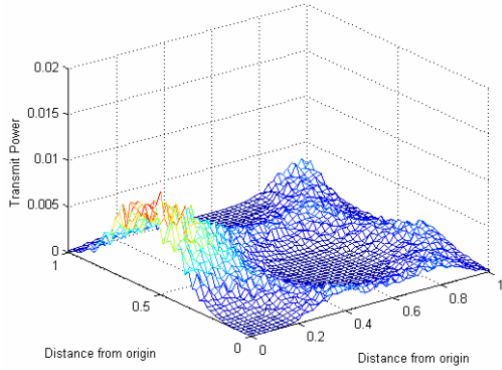


그림 14. 안테나 밀도를 4배 높인 경우의 단말의 위치에 따른 요구 송신 전력

변에 분산되어 분포한 여러 안테나들을 동시에 사용할 수 있으므로 수신안테나까지의 거리를 줄일 수 있어서 단말의 요구 송신 전력을 현저하게 줄일 수 있다.

기존의 셀룰라 시스템은 2GHz 이하의 주파수 대역에서 동작하므로, 4세대 이동통신시스템의 최대전송률이 기존시스템의 최대전송률보다 훨씬 높아질 것이라는 점을 감안하였을 때, 이러한 고속의 전송 속도를 제공하기 위해서는 보다 높은 주파수 대역을 사용하는 것이 필요하다. 그러나 높은 주파수대역은 전자기파의 페이딩 현상이 채널환경을 더욱 악화시킬 수 있으므로, 만약 기존 셀 구조 이동통신 기술이 단순히 아무런 수정 없이 미래 시스템에 적용된다면, 단말의 송신 전력이 크게 증가되어야 할 것이다. 그림 13와 그림 14는 동일한 시뮬레이션 환경 하에서 그림 12의 경우에 비하여 안테나 밀도를 2배, 4배 높여감에 따른 요구 송신 전력을 구한 결과이다. 요구 송신 전력이 안테나 밀도가 높아짐에 따라 급격하게 줄어들음을 확인할 수 있다. 만약 제안시스템에서 CDMA(Code Division Multiple Access)를 사용한다고 가정한다면, 안테나 밀도가 높아짐에 따라 낮아지는 송신 전력 송출은 사용자 간의 간섭(interference) 문제를 급격하게 완화시킬 수 있으며, 이는 결과적으로 시스템 용량(capacity)을 증가시킬 수 있을 것이다.

4.2 사용자 무선링크 품질(Frame Error Rate)

그림 15는 기존 셀룰라시스템과 제안시스템에서 2개의 송신안테나를 사용하고 수신안테나로는 1개, 2개, 3개, 4개를 사용하는 경우에 대해서 각각 FER(Frame Error Rate)을 구한 결과이다. 동등한 비교를 위하여 두 시스템은 송/수신단에서 동일한

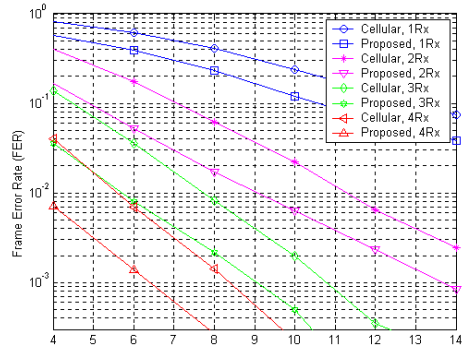


그림 15. 기존 셀룰라 STTC 시스템과 제안하는 DWCS 기반의 DVC-STTC 시스템의 Frame Error Rate

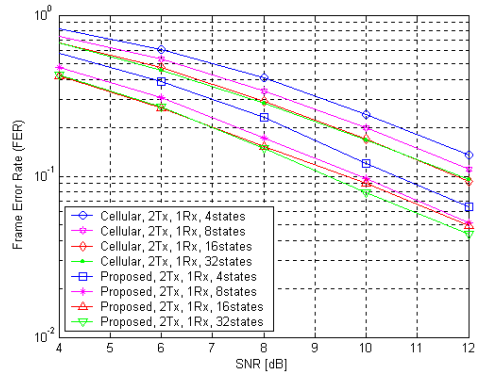


그림 16. STTC의 state수를 4,8,16,32state로 증가시킴에 따른 기존 셀룰라 STTC 시스템과 제안시스템의 Frame Error Rate

개수의 안테나를 사용한다. 두 시스템 모두 채널 부호화 기술로 4states STTC를 사용하였다. 결과에서 알 수 있듯이, 채널의 상관도를 고려하여 적절하게 여러 AP의 안테나들 중 수신 안테나를 선택하는 제안시스템이 기존시스템보다 평균적으로 약 2dB정도 성능이 우수함을 알 수 있다.

이는 기존 셀룰라 MIMO 시스템의 안테나들은 보통 같은 곳에 위치하여서 이로 인한 채널상관도가 높아져서 통신로의 링크 품질에 손실이 생기는 반면, 제안시스템은 특정 사용자의 수신을 위하여 채널 상태가 좋은 통신로를 CVC에서 관리하고 있으면서 수신시에 채널의 상관도에 따른 성능 저하를 완화시키고 링크 품질이 좋은 채널을 선택하여 AVC에서 사용할 수 있기 때문이다.

그림 16은 STTC의 state수를 4,8,16,32 state로 증가시킴에 따른 기존 셀룰라 시스템과 제안시스템의 FER 성능을 나타낸 결과이다. 두 시스템은 모두 STTC의 state수를 늘림에 따라 coding 이득을 얻어서 성능이 개선된다. 그러나 16 state를 넘어가면 성능 개선이 한계점에 다다른다. 수신안테나가 1개

인 경우, 제안시스템은 4state STTC를 사용하는 경우에도 8state, 16state, 32state STTC를 사용하는 기존시스템보다 우수한 성능을 나타내었다. 또한 이 결과는 전력 제어(power control)를 통하여, 단말에서 훨씬 적은 송신 전력을 사용함에도 불구하고 보다 개선된 성능을 보인다는 점에서 의미가 있다.

V. 결론

본 논문에서는 분산무선시스템을 기반으로 하여 사용자 통신의 링크 품질을 지속적으로 유지하면서 용량을 향상시키고자 하는 Dual Virtual Cell 개념과 운용 방안을 제안하였다. 제안하는 DVC 시스템은 사용자의 실제 트래픽을 위한 Active Virtual Cell 외에, 네트워크의 채널 모니터링을 통하여 얻은 채널 정보를 이용하여 여러 송/수신 안테나들 중 링크 품질이 우수한 분산안테나들을 선별하여 구성된 CVC를 도입함으로써, 사용자 통신의 링크 품질을 향상시킬 수 있으며, 네트워크가 단말의 속도, 이동방향 등을 통하여 다음 시점의 단말의 도달 범위를 예측하여 CVC를 업데이트하는 과정을 반복함으로써, 단말의 이동으로 인한 무선링크 단절 및 품질 저하를 방지하고 신속한 통신채널 변경을 지원할 수 있다. 제안시스템은 특히 고속 이동이나 채널 변화가 심한 환경 등 채널 품질이 열악한 환경에서 우수한 성능을 나타낼 것으로 기대된다. 또한 4세대 이동통신시스템은 다수사용자의 고속 데이터 전송을 지원하는 것을 목표로 하는 시스템이므로 제안시스템에서는 시공간 트래픽 부호화 기술을 이용하여 다중안테나를 통하여 부호화된 신호를 전송함으로써 주파수 효율을 향상시키고 시간,공간 다이버시티 이득을 피하고 있다.

그러나 제안시스템은 기반 환경으로 분산무선통신시스템(DWCS)을 도입하고 이중 가상 셀 구조를 관리하고 채널 부호화 기술로 STTC를 활용하고 있기 때문에, 하드웨어 비용과 채널 추정을 위한 시스템의 오버헤드, 복잡도 감소 등이 연구해야 할 과제로 남아 있으며, 실제적인 시스템의 구현을 위해서는 네트워크 채널 추정의 오버헤드를 감소시키면서 사용자 링크 품질의 변동을 최소화하도록 CVC와 AVC를 구성하는 안테나 수의 최적화가 필요하다. 또한 CVC 커버리지 최적화, 분산안테나를 사용함으로써 인하여 수신신호의 지연시간이 경로별, 안테나별로 다른 문제 등 앞으로의 연구에서 다루어야 할 문제들이다.

참고 문헌

- [1] Xiao-Hu Yu, Guoan Chen, Ming Chen, and Xiqi Gao, "Toward Beyond 3G: The FuTURE Project in China," IEEE Communications Magazine, pp.70-75, January 2005.
- [2] 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.
- [3] Shidong Zhou, Ming Zhao, Xibin Xu, Jing Wang, and Yan Yao, "Distributed Wireless Communication System: A New Architecture for Future Public Wireless Access," IEEE Communications Magazine, vol.41, no.3, pp.108-113, March 2003.
- [4] Paulraj, Nabar and Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*, Cambridge Press, 2003.
- [5] V.Tarokh, H.Jafarkhani, and A.R.Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: Performance results," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.17, pp.451-460, Mar. 1999.
- [6] 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, March 1998.
- [7] V. Tarokh, A. Naguib, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rates wireless communications: Performance criteria in the presence of channel estimation error, mobility and multiple paths," IEEE Trans. Commun., vol. 47, pp. 199-207, Feb. 1999.
- [8] J. Gan, S. Zhou, and J. Wang, "An Antenna Selection Criterion in Distributed Antenna System," ICC 2004, Vol.2, pp.1507-1512, Sep.2004.
- [9] Wang Yu, Li Zheng, and Wu wei-ling, "On the Reverse Link Capacity of Distributed Wireless Communication System," VIC 2004-Spring.

2004 IEEE 59th Vol.4, pp. 2086-2090, May 2004.

- [10] Wonil Roh, Paulraj A., "Performance of the Distributed Antenna Systems in Multi-cell Environment," VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual Vol. 1, pp.587-591, April 2003.
- [11] Liang Xiao, Lin Dai, Hairuo Zhuang, Shidong Zhou, and Yan Yao, "Information-theoretic capacity analysis in MIMO distributed antenna systems," VTC 2003- Spring. The 57th IEEE Semiannual, Vol.1, pp.779-782, April 2003.
- [12] Wonil Roh, Paulraj A., "Outage performance of the distributed antenna systems in a composite fading channel," Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th Vol. 3, pp. 1520-1524, Sept. 2002.

양 주 영 (Joo-young Yang)

준회원



2004년 2월 이화여자대학교
정보통신학과 공학사
2006년 2월 이화여자대학교
과학기술대학원 정보통신학과
공학석사
2006년 3월~현재 (주)삼성전자
무선사업부 아주 Lab.

<관심분야> 다중안테나 시스템, 다중 접속 시스템, 이동통신 네트워크

김 정 호 (Jeong-ho Kim)

종신회원



1991년 2월 한국 과학기술원
전기 및 전자공학과 공학사
1993년 2월 한국 과학기술원
전기 및 전자공학과 공학석사
1999년 2월 한국 과학기술원
전기 및 전자공학과 공학박사
1993년 1월~1995년 7월 LG전자

멀티미디어 연구소

1999년 3월~2000년 2월 LG정보통신 중앙연구소 선임연구원
2000년 3월~2001년 6월 Virginia Tech. MPRG (Mobile Radio Research Group) Visiting Scholar
2001년 7월~2002년 8월 LG전자 UMTS 시스템 연구소 책임연구원
2002년 9월~현재 이화여자대학교 공과대학 정보통신학과 조교수
<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 무선 디지털 통신, 확산 대역통신, 이동통신 네트워크, 휴대 인터넷