

# 분산무선시스템 기반의 새로운 Dual Virtual Cell 개념 및 운용방안

양주영\*, 김정호\*\*  
이화여자대학교 과학기술대학원 정보통신학과

## Dual Virtual Cell: a New Concept of Virtual Cell in Distributed Wireless Communication System

Jooyoung Yang\*, Jeongho Kim\*\*  
Department of Information Electronics Engineering,  
Ewha Womans University  
E-mail : \*loveudear@ewha.ac.kr, \*\*jho@ewha.ac.kr

### Abstract

In order to achieve high capacity and reliable link quality in user communication, this paper proposes a new concept of virtual cell: the Dual Virtual Cell(DVC), and DVC employment strategy based on DWCS. The proposed system uses two kinds of virtual cell. One is the AVC(Active Virtual Cell) which exists for actual traffic and the other is the CVC(Candidate Virtual Cell) which contains a set of candidate antennas to protect user's link quality from performance degradation or interruption. And also this system aims to reduce MT's overloads and achieve a prompt link change successfully by introducing DVC structure which makes it possible for network to monitor real-time channel and to control communication links. The proposed system constructs DVC by using antenna selection method and improves frame error performance with employing Space-Time Trellis Code(STTC).

### I. 서론

다수사용자 다중셀 환경의 시스템이 커패시티를 높이고 커버리지를 확장하기 위해서는 셀간의 간섭을 피하는 시스템 설계에 주력해야 한다. 간섭 문제를 해결하기 위해 다중셀 환경에서 신호들을 상호 유기적으로 제어(joint control)하는 능력을 제공하는 새로운 개념의

시스템이 분산무선시스템이다. 분산무선시스템은 분산안테나, 분산신호처리, 분산제어시스템인 3개의 계층구조로 이루어져 있으며 가상셀이라는 개념을 도입하여 사용자의 움직임에 따라 셀이 동적으로 바뀌어서 핸드오프의 문제가 없으며, 분산안테나와 분산신호처리를 이용하여 사용자간이나 셀간에 야기되는 간섭을 모니터링할 수 있고 상호 간섭량을 최소화하도록 조절할 수 있어서 기존시스템이 안고 있는 간섭 문제를 효과적으로 극복할 수 있는 시스템이다.

본 논문에서는 이러한 분산무선시스템을 기반으로 하여 사용자 통신의 링크 품질을 지속적으로 유지하면서 채널 용량을 향상시키고자 하는 새로운 Dual Virtual Cell (DVC) 개념과 운용 방안을 제안한다. 제안하는 시스템에서는 DVC의 안테나 구성을 위하여 안테나 선택 기법을 이용하고 있으며, 시스템 오차확률 개선을 위하여 STTC(Space-Time Trellis Code)를 도입하였다.

### II. Dual Virtual Cell의 개념

분산무선시스템에는 기존 셀룰라 시스템에서 얘기하는 셀의 개념은 더 이상 존재하지 않는다. 대신 가상셀(Virtual Cell)이라는 새로운 개념을 도입하여 사용하고 있다. 가상셀은 기존 시스템의 셀이 기지국을

본 논문은 한국전자통신연구원(과제 0101-2004-0040)의 지원하에 이루어졌음.

중심으로 정해지는 개념인 것과 달리, 단말을 중심으로 정해진 개념으로, 신호처리 계층에서 각 단말마다의 가상셀을 동적으로 선택하고 그 가상셀 내의 신호들을 합하여 검출하고 최적화한다. 최적의 통신을 위해서 프로세서는 각 단말과 접속점(AP:access point)의 안테나 수, 각 단말의 가상셀 내의 AP 구성, AP 와 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 송신 안테나 구성, 전송 속도, 안테나 간의 송신 전력 할당, 코딩율과 변조기법, 빔 포밍을 위한 변수 계산 등의 전송 방법을 결정한다.

이러한 분산무선시스템의 셀결정방식은 전파 환경이 변하거나 단말의 위치가 바뀔 때마다 가상셀을 결정하는 과정을 계속 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 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 변동하면서 단말의 오버헤드는 증가하는 문제가 있다.

DVC 시스템에서는 가상셀을 AVC 와 CVC, 2 개의 계층 구조로 나누어 관리한다. AVC 는 단말의 실제 데이터가 오고 가는 채널을 형성하는 분산안테나들의 집합을 의미하며, CVC 는 무선링크 QoS(Quality of Service) 보장을 위하여 사용자가 현재 사용 중인 무선링크의 성능저하 혹은 단절이 생기는 경우 대체를 위한 분산안테나들의 집합을 의미한다. 이 CVC 는 네트워크의 실시간 채널 모니터링을 통하여 얻은 채널 정보를 이용하여 여러 송/수신 안테나들 중 링크 품질이 우수한 분산안테

나들을 선별하여 구성함으로써 사용자 통신의 링크 품질을 향상시킬 수 있으며, 사용자가 현재 시점에 AVC 를 통하여 통신을 하는 동안, 네트워크가 단말의 속도, 이동방향 등을 통하여 다음 시점의 단말의 도달 범위를 예측하여 또다른 가상셀(CVC)을 설정함으로써 이동에 따른 통신 링크의 단절을 막을 수 있다.

특히 고속 이동 시, 사용자의 통신 링크들을 이동에 따라 동적으로 신속하게 교체하기 위해서는 시스템이 실시간으로 이런 빠른 속도의 채널 변화를 계속해서 추적하고 있어야 하는데, DVC 시스템에서는 단말이 AVC 를 이용하여 현재 시점에 통신을 하는 동안, 네트워크가 다음 시점의 도달 범위를 예측하고 이 영역 내의 안테나들을 탐색하여 CVC 를 구성하고, 고속이동으로 인한 사용자 통신링크 변경이 필요한 경우 신속하게 통신링크를 교체시킴으로써 사용자 통신의 대부분 시간 동안 채널 상태가 좋은 전파 환경을 제공할 수 있다.

또한, DVC 시스템에서는 단말이 아닌 네트워크가 실시간으로 채널을 모니터링하고 관리함으로써, 변화가 심한 무선 채널의 채널 추정 정보(CSI, Channel State Information)를 단말이 측정해서 보내는 종래의 방식에 비하여 채널 추정 정보가 실제 채널과 일치할 확률이 높고 단말의 오버헤드를 줄일 수 있다.

### III. Dual Virtual Cell 의 운용방안

분산무선시스템의 MIMO 기술은 기존의 point-to-point MIMO 와는 달리 multipoint-to-point(하향링크) 혹은 point-to-multipoint(상향링크) 시스템이다. 우선, 상향링크에서는 보통 단말 쪽의 안테나 수가 적어서 송신안테나 보다는 수신안테나 수가 많은 MIMO 시스템을 구성하게 된다. 따라서, 최적의 수신 구조를 위해서는 AP 의 안테나 선택이 매우 중요하다. 또한 여러 개의 단말이 있을 때 그들의 가상셀들이 겹치게 되는데 이 경우 하나의 AP 가 한 명 이상의 사용자를 수용하게 되므로 각 AP 의 수신 안테나 구성은 상호 간섭을 최소화하도록 신중하게 선택해야 한다.

DVC 시스템에서는 단말의 전원이 켜지면 우선 단말의 도달 범위 내의 분산안테나들을 모두 CVC 에 포함시키고 이들과 단말 사이의 채널 정보를 수집하여 채널행렬  $H$  를 구성한다. 이러한 채널 정보는 일정 주기마다 네트워크로 전달된다고 가정하고, 네트워크는 수집된 채널 정보를 기반으로 초기 CVC 내의 안테나 중

채널 품질이 좋은 안테나들을 선별하여 다시 CVC 채널 행렬  $H_C$  를 구성한다. 네트워크는 단말의 통신 시점을 대비하여 단말의 속도, 이동방향 등을 이용하여 단말의 도달 범위를 지속적으로 예측하여 CVC 의 구성을 계속해서 업데이트한다. 단말로부터 송신이 시작되면 네트워크는 사전에 관리하고 있던 CVC 를 이용하여 단말의 초기 통신을 시작한다. 즉, 단말의 통신 전 CVC 의 모든 분산안테나들은 송신 직후 AVC 가 된다.

단말이 정지 상태로 통신을 지속하는 경우, DVC 시스템은 사용자 통신의 링크 품질 향상을 1 차 목표로 동작한다. 네트워크는 이중가상셀의 커버리지를 좁게 그리고 모든 방향으로 이동가능성이 있으므로 원에 가까운 형태로 설정하고, 사용자가 AVC 를 이용하여 통신을 하고 있는 동안 실시간으로 모니터링한 채널 정보를 이용하여 CVC 커버리지 내의 링크 품질이 우수한 후보군의 안테나들을 계속 탐색하여 주기적으로 CVC 내의 안테나를 삭제,추가,변경하며 CVC 구성을 현재 채널 상황에 적합하게 업데이트한다. 그러다가 AVC 내에 품질이 열악해지는 채널이 발생하면 신속하게 CVC 의 채널 품질이 높은 안테나로 해당 채널을 전환시킨다. 어떤 기준에 따라 CVC 의 안테나들을 선택하느냐는 네트워크의 운용방안에 따라 달리 결정할 수 있을 것이며, 본 시스템에서는 경로별 평균 전력 이득이 높은 안테나를 선택하는 기준을 사용한다.

단말이 고속으로 이동하면서 통신을 지속하는 경우, DVC 시스템은 사용자 통신 링크의 단절을 방지하고 신속하게 통신채널을 변경하는 것을 1 차 목표로 동작한다. 네트워크는 단말의 속도와 이동방향을 이용하여 다음 시점의 도달 범위를 예측하여 이중가상셀의 커버리지를 넓게 그리고 현재 이동방향으로 이동가능성이 가장 높으므로 타원 형태로 설정하고, 그 영역 내의 분산안테나들로 업데이트하고 프로세싱 유닛의 상호 연결성을 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 이중가상셀의 커버리지를 정지시보다는 넓고 고속이동시보다는 좁게 설정하고, 현재 이동방향으로 이동가능성이 가장 높으나 다른 방향으로의 이동성도 고려하여 속도가 높아질수록 원에서 타원이 되는 형태로 이중가상

셀의 모양을 설정한다. AVC 와 CVC 의 커버리지 좁게 설정함으로써, 탐색해야 하는 분산안테나의 수를 줄여서 단말의 다음 시점의 도달 범위 예측과 그 예측 범위 내의 링크 품질이 우수한 안테나 선별을 동시에 수행하여 통신채널의 신속한 변경과 링크 품질 향상을 모두 얻을 수 있게 한다.

또한 열악한 무선 환경에서 주파수 효율이 높고 신뢰성 있는 통신을 지속적으로 유지하면서 채널 용량을 향상시키기 위해서 제안시스템에서는 채널부호화 기술과 다중안테나 시스템을 결합시킨 시공간부호화 기술로 Space-Time Trellis Codes(STTC)을 도입하고 있다. 특히 상향링크에서 STTC 를 사용하는 경우에는 송신 신호 복원 과정의 오버헤드 부담을 네트워크가 지게 하여, 단말의 오버헤드를 줄일 수 있고 STTC 가 가지는 다이버시티 이득 뿐만 아니라 코딩 이득이 우수한 특성과 저전력 송신 이득까지 얻을 수 있다.

#### IV. 모의실험

모의실험은 준정적 레일리 페이딩 채널 환경에서 QPSK 변조방식을 사용하고, 송/수신단에서는 CSI 완벽하게 알고 있으며 단말이 상향링크에서 정지상태로 통신을 지속하는 경우를 가정하였다.

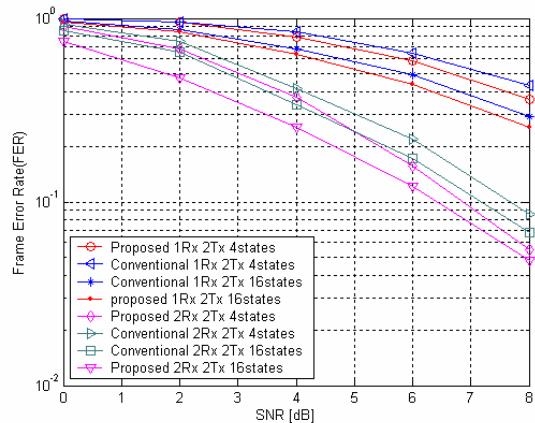


그림 1 기존시스템 대비 제안시스템의 FER 성능 비교

그림 1 은 분산무선시스템에 DVC 와 STTC 결합기술을 적용한 제안시스템과 기존 STTC 시스템의 를 비교하여 봄으로써, 단말의 무선 환경에 따라 적절한 수신안테나를 구성하는 것이 FER 성능에 어떤 영향을 미

치는지 시뮬레이션을 통하여 분석해 본 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이, 채널의 상관도를 고려하여 적절하게 여러 AP의 안테나들 중 수신 안테나를 선택하는 제안시스템이 기존시스템보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 이는 기존 MIMO 시스템의 안테나들은 보통 같은 곳에 위치하여서 이로 인한 채널상관도가 높아서 통신로의 링크 품질에 손실이 생기는 반면, 제안시스템은 특정 사용자의 수신을 위해서 채널 상태가 좋은 통신로를 CVC에서 관리하고 있으면서 수신시에 채널의 상관도에 따른 성능저하를 완화시키고 링크 품질이 좋은 채널을 선택하여 AVC에서 사용할 수 있기 때문이다.

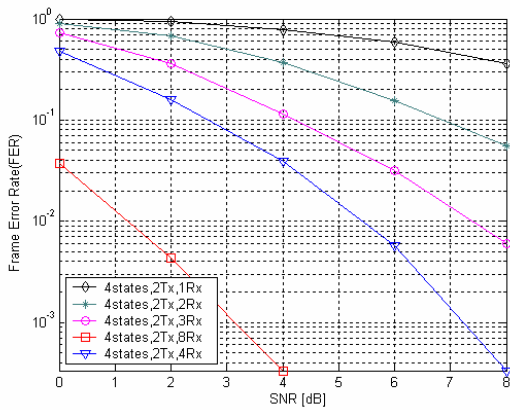


그림 2 수신안테나 증가에 따른 제안시스템 FER 성능

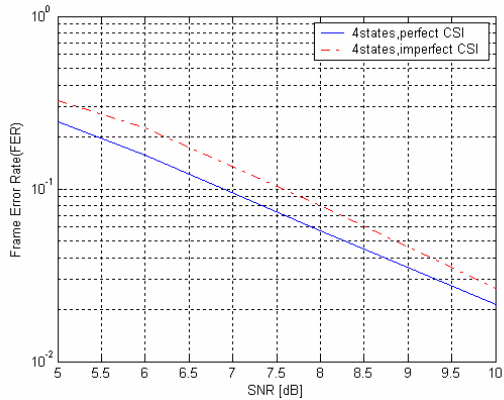


그림 3 제안시스템의 CSI 오류에 대한 민감도

그림 2는 수신안테나를 증가시킴에 따른 제안시스템의 FER 성능을 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이, 제안시스템은 고속 전송시 특정 안테나가 특정 단말의 통신을 위한 좋은 채널 상태에 들어가면 이 안테나의 채널 상태를 이용하여 데이터를 신속하게 전송하기 위한 정보를 네트워크에서 수집하고 관리하기 때문에 이러한 채널 품질이 좋은 수신안테나를 증가시키

로 FER 성능이 급격하게 개선된다.

그림 3은 제안시스템의 CSI 정보에 대한 민감도를 나타낸 그림이다. 여기서 ‘perfect CSI’란 실제채널에 대해서 완벽한 정보를 가지고 있는 경우를, ‘imperfect CSI’란 채널을 추정하는 과정은 있되 이 추정정보가 실제 채널과 일치하지 않을 수 있는 경우를 의미한다. 결과에서 알 수 있듯이, ‘imperfect CSI’ 경우에는 0.5dB 정도 성능의 차이를 보였다.

## V. 결론

본 논문에서는 분산무선시스템을 기반으로 하여 사용자 통신의 링크 품질을 지속적으로 유지하면서 용량을 향상시키고자 하는 Dual Virtual Cell 개념과 운용 방안을 제안하고 있다. DVC 시스템은 실제 traffic을 위한 AVC 외에, 사용자 통신의 다음 시점의 도달 범위 예측과 사용자 무선링크의 품질저하 및 단절을 방지하기 위한 후보군의 분산안테나들의 집합인 CVC를 도입함으로써, 특히 고속 이동시나 채널 변화가 심한 환경 등 채널 품질이 열악한 환경에서 우수한 성능을 나타낼 것으로 기대된다. 또한 제안시스템에서는 다수사용자의 고속 데이터 전송을 위하여 주파수 효율이 높고 시간, 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 채널부호화 기술과 다중안테나 시스템을 결합시킨 시공간부호화 기술로 Space-Time Trellis Codes(STTC)을 도입하고 있다.

## 참고문헌

- [1] V.Tarokh et al., "space-time codes for high data rate wireless communication: Performance analysis and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.44, pp.744-765, Mar.1998.
- [2] Mohinder Jankiraman, Space-time codes and MIMO systems, Artech House Publishers, 2004.
- [3] Shidong Zhou et al., "Distributed Wireless Communication System: A New Architecture for Future Public Wireless Access," IEEE Comm. Magazine, March 2003, vol.41, no.3, pp.108-113.
- [4] 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, January 2005, pp.61-69.