

3차원 환경에서의 지능형 무선통신 시스템

김동현 | 김재홍 | 이광복
서울대학교

요 약

본고에서는 앞으로의 무선통신 환경의 변화를 예측하고 변화에 대응하기 위한 해결방안으로 무선통신 시스템의 '지능화'와 '3차원화'를 제안한다. 그리고 이를 바탕으로 지능형 인프라, 지능형 단말기, 협동통신, 3차원 채널 모델링의 4가지 요소로 구성된 지능형 3차원 무선통신 시스템에 대해 소개하고 현재 진행중인 관련 연구에 대해 살펴본다.

1. 서 론

1. 무선통신 환경의 변화와 그에 따른 새로운 무선통신 시스템의 필요성

최근 들어 스마트폰을 비롯한 다양한 무선통신 단말기들이 발전을 하면서 개개인의 생활방식에서부터 사회 전반에 이르기까지 급격한 변화를 겪고 있다. 버스나 지하철에서 스마트폰으로 동영상을 실시간으로 다운받아 보거나, 거실과 방을 옮겨 다니며 노트북이나 태블릿PC로 웹서핑을 하는 모습은 더 이상 어색한 풍경이 아니다. 무선통신 기술은 개인의 여가생활뿐 아니라 업무환경에도 큰 영향을 미치고 있다[1]. 이러한 변화는 크게 아래의 3가지로 정리해 볼 수 있다.

1) 무선통신의 다양화

기존 2세대 이동통신 시스템은 단순한 음성통화가 주목적이었지만 3세대로 넘어오면서 그 목적이 대용량의 데이터 전송, 실시간 스트리밍, VoIP 등과 같이 다양해지고 있다. 뿐만 아니라 통신 시스템 또한 기존에는 셀룰러망에 한정되어 있었지만 현재는 무선랜(WLAN), 와이브로(WiBro, WiMax)와 같이 다양한 시스템이 공존함으로써 이들 서비스와 통신 시스템을 상황에 따라 효율적으로 운영해야 할 필요성이 생기게 되었다.

2) 무선통신 환경의 고밀도화

무선통신 시스템의 사용자가 급증하면서 통신 서비스 제공업체들이 더 많은 통신 인프라를 설치함에 따라 점차 무선통신 환경이 고밀도화 되어가고 있다. 셀룰러 시스템의 경우 서비스 품질향상이나 음영지역 해소를 위해 기지국이나 중계기, 또는 소형 기지국(펨토셀) 등이 계속해서 설치되고 있고, 무선랜 시스템 역시 스마트 폰의 등장으로 AP(Access Point)가 경쟁적으로 늘어나고 있다. 하지만 무분별한 기지국과 AP의 설치에 오히려 무선신호간의 간섭문제를 심화시킬 수가 있어 계획적인 인프라의 설치와 적절한 무선자원 관리가 필수적이라고 할 수 있다.

3) 무선통신 환경의 초고충화

사용자들이 무선통신을 사용하는 환경 또한 변화하고 있다. 기존에는 실내에서는 유선, 실외에서는 무선통신이라는

인식이 강했으나 점차 이러한 구분 없이 실내에서도 무선통신의 비중이 높아지고 있다. 상대적으로 커버리지가 좁은 무선랜이나 펌토셀이 주목을 받고 있는 것도 이러한 변화에 기인한다고 볼 수 있다. 특히 실내의 경우 아파트나 업무용 빌딩과 같은 고층건물이 주를 이루면서 기존의 실외환경에서는 고려하지 않던 층간의 무선채널까지도 존재하게 되어 기존의 평면적인 셀 구조에 수직적인 공간까지도 고려해야 하는 상황에 직면하게 되었다.

2. 지능형 3차원 무선통신의 개요

본고에서는 이처럼 복잡하고 다양하게 변화하고 있는 통신환경에 대응하기 위한 방법으로 무선통신의 '지능화'와 '3차원화'를 제안한다.

1) 무선통신의 지능화

지금까지의 무선통신 시스템에서는 기지국에 비해 상대적으로 단말기의 역할이 제한적이었으나 스마트폰이나 태블릿PC와 같은 휴대 단말기가 발전하게 되면서 점차 기지국 중심의 구조에서 벗어나 단말기가 획득가능한 여러가지 정보와 능력을 활용하는 것이 가능해지고 있다. 이를테면 GPS와 같은 센서에 의한 정보나 사용중인 어플리케이션에 대한 정보 등과 같이 사용자에게 밀접하면서도 정확한 정보가 단말기를 통해 기지국에 공유된다면 보다 사용자의 상황에 맞는 효과적인 무선통신을 수행할 수 있을 것이다. 이처럼 다양한 정보를 바탕으로 보다 지능적이고 효율적인 무선통신 환경을 만드는 것을 무선통신의 '지능화'라고 한다.

무선통신의 지능화는 단말기 뿐 아니라 무선통신 인프라에도 적용가능하다. 앞서 언급했듯이 앞으로의 무선통신 시스템은 셀룰러, 무선랜, 펌토셀 등 여러 종류의 무선 인프라가 혼재되어 있을 것으로 예상되는데 이들 시스템간의 정보교환과 협력을 통해 효과적으로 사용자를 분산시키고 자원을 분배한다면 전체적인 무선통신 시스템의 성능을 높일 수 있을 것이다.

2) 무선통신의 3차원화

실내, 특히 고층 건물에서의 무선통신이 중요해짐에 따라 무선통신 시스템 역시 기존의 평면적인 셀 구조에서 벗어나 층간의 3차원적인 무선 채널을 고려한 새로운 셀 구조가 필

요할 것으로 예상된다. 이것을 무선통신의 '3차원화'라고 한다.

이를 위해서는 먼저 실내의 무선채널을 3차원적으로 해석한 채널 모델에 대한 연구가 이루어져야 하고, 개발된 채널 모델을 바탕으로 기존의 평면적 채널 모델에서의 무선통신 기술들을 3차원적인 관점으로 확장하고 발전시켜 나가야 할 것이다.

II. 지능형 3차원 무선통신 시스템

본고에서는 앞서 설명한 무선통신의 '지능화'와 '3차원화'를 바탕으로 다음의 4가지 구성요소로 정의되는 지능형 3차원 무선통신 시스템을 제안하고 각 구성요소 별로 현재 진행중인 연구에 대해 소개하도록 한다.

1. 지능형 3차원 무선통신 시스템 구성요소

1) 지능형 인프라

무선통신 수요의 증가에 대한 효과적 대응 및 무선통신 서비스의 질적 향상을 위해 단말기 혹은 다른 인프라와 정보 공유 및 협력을 통해 효율적인 핸드오프 및 부하분산, 자원 할당을 수행하고, 성능향상을 위해 다중안테나, 분산안테나, 이동기지국 등의 기술을 포함하는 다중 인프라 시스템 기술

2) 지능형 단말기

사용자의 무선통신 환경에 대한 정보 및 기타 부가정보를 수집하고, 수집된 정보를 바탕으로 지능형 인프라와의 협력을 통해 지능적으로 사용자의 상황에 맞는 무선통신을 수행하는 단말기 기술

3) 협동통신

실내의 3차원상에서의 음영지역을 해소하고 무선통신의 신뢰성 및 전송효율을 극대화하기 위해 중계기(Relay)를 사용하는 기술

4) 3차원 무선 채널 모델링

전파의 특성을 실내외 3차원 환경에서 실측한 무선채널에 대한 데이터를 바탕으로 3차원 무선채널의 모델을 개발하고 이를 바탕으로 3차원 셀 플래닝 및 3차원에서의 간섭제거를 수행하는 기술

2. 진행 중인 지능형 3차원 무선통신 연구

1) 매크로셀-펨토셀간 핸드오프 및 자원할당량 제어를 통한 부하분산 (지능형 인프라)

현재 진행 중인 지능형 인프라 기술 연구 중 대표적인 것으로는 ‘매크로셀-펨토셀간 핸드오프 및 자원할당량 제어를 통한 부하분산 기법’이 있다. 최근 들어 실내 사용자의 요구를 만족시키기 위하여 실내 환경에서 펨토셀을 이용하는 것이 하나의 주요한 해결책으로 고려되고 있다 [2]. 현재까지는 펨토셀이 기존의 매크로 셀과 독립적으로 동작하는 간단한 방식이 많이 고려되고 있으나, 펨토셀 기지국과 매크로 기지국 등의 인프라 시스템이 지능적으로 연동하여 동작할 경우 시스템 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

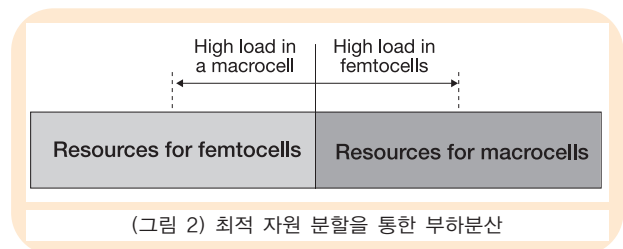
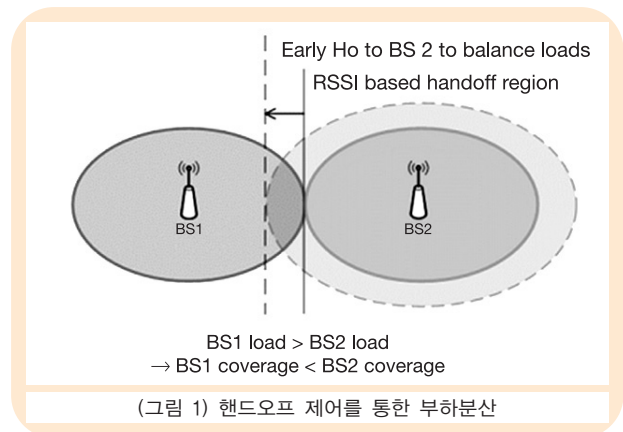
펨토셀이 존재하는 환경에서는 매크로셀의 과도한 부하를 적극적으로 펨토셀로 이전하는 것이 바람직하지만, 가장 신호가 강한 기지국에 접속하도록 하는 기존의 핸드오프 기술로는 그 목적을 충분히 달성하기 힘들다. 또한 핸드오프를 너무 빈번히 일으킬 경우, 펨토셀의 설치에 따라 급격히 늘어난 핸드오프 시그널링 오버헤드 증가에 따라 시스템에 큰 부담을 줄 수 있다. 따라서 본 과제에서는 부하를 분산시키면서도 핸드오프 빈도를 특정 수준 이하로 제한하는 접속 제어 알고리즘을 제안한다. 이와 더불어 매크로 기지국과 펨토 기지국이 서로 직교 주파수 자원을 이용하도록 하여 펨토셀 설치에 따른 간섭문제를 줄이고, 각 기지국들의 부하 상황에 따라서 매크로 기지국과 펨토 기지국에 주어지는 자원의 비율을 지능적으로 조절하도록 하는 기술을 제안한다.

특정 기지국에 접속하여 있는 사용자 i 의 전송률을 r_i , 기지국에 접속하여 있는 사용자의 수를 N 이라고 하였을 때 부하는 다음과 같이 정의된다.

$$Load = \sum_{i=1}^N \frac{1}{r_i}$$

기존 연구 [3]에서 위와 같이 정의된 부하를 바탕으로, 기지국들 중 가장 큰 부하를 가진 기지국의 부하를 최소화하는 min-max fairness를 달성하도록 부하분산을 할 경우, worst-case 사용자의 throughput을 최대화할 수 있음이 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 부하 분산의 목적을 달성하기 위한 핸드오프 제어와 자원 할당량 조절을 동시에 수행한다.

핸드오프 제어와 자원 할당량 조절의 개념은 (그림 1) 및 (그림 2)에 표현된 바와 같다. 먼저, (그림 1)과 같이 인접한 기지국들 중에 BS 1의 부하가 BS 2에 비해 클 경우에, BS 1에서 BS 2로 일어나는 핸드오프의 필요 요건을 낮추어 더 적극적인 핸드오프를 유도하는 반면 BS 2에 머무는 사용자들의 핸드오프는 억제함으로써 부하분산의 목적을 달성할 수 있다. 이러한 개념을 다수의 펨토셀 그룹과 매크로셀이 혼재하는 경우에 적용시킬 경우, 대부분 상대적으로 부하가 작은 펨토셀로의 핸드오프를 권장하는 방향으로 알고리즘이 동작하게 된다. (그림 2)는 매크로셀과 펨토셀 간 자원 할당량을 조절하는 알고리즘을 개념적으로 표현하고 있다. 다수의 펨토셀이 공유하는 자원 부분과 매크로셀이 사용하는 자원의 양을 분리함으로써 cross-tier interference에 의한 부작용을 줄이되, 펨토셀의 부하가 많은 경우에는 펨토셀에의



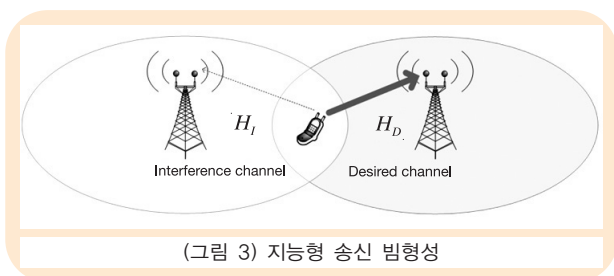
자원 할당 비율을 늘리고 매크로셀의 부하가 많은 경우에는 매크로셀에의 자원 할당 비율을 늘리는 방법을 통해 시스템 전체적으로 부하가 균등히 분산되어 시스템의 성능을 향상 시키도록 한다. 본 과제에서 제안하는 기술에서는 핸드오프 제어와 자원 할당량 조절을 각각 독립적으로 수행하는 기법을 제안하며 그것이 낮은 복잡도를 가짐에도 불구하고 최적의 부하분산을 달성할 수 있음을 보인다.

2) 지능형 송신 빔 형성과 이를 활용한 접속제어 (지능형 단말기)

지능형 단말기 연구 중 대표적인 것으로는 ‘지능형 송신 빔 형성과 이를 활용한 접속제어 기술’이 있다. 기존에는 단말기의 안테나가 하나만 장착되어 있어서 단말기가 기지국과의 통신에 영향을 미칠 수 있는 여지가 거의 없었지만 다중안테나가 장착이 되면 이를 활용한 빔 형성이 가능해지면서 보다 능동적인 송수신이 가능해진다. 주변 기지국들과의 협력을 통해 주변 셀들의 부하정보까지 공유할 경우 빔형성과 연계하여 접속제어, 부하분산에도 영향을 미칠 수가 있게 된다.

(그림 3)에서 오른쪽 셀(셀 1)에 속해 있으면서 왼쪽 셀(셀 2)과의 경계에 있는 단말기는 상향링크 신호를 송신할 때 셀 2의 기지국에 간섭을 미치게 된다. 이 때 기존의 단말기들은 안테나가 하나만 장착되어 있어서 간섭을 제어하기가 쉽지 않았지만 앞으로 다중안테나가 장착될 경우 빔 형성을 통해 간섭을 제어할 수 있게 된다. 특히 단말기에서 인접 기지국으로의 간섭채널에 대한 정보를 알고 다중안테나 빔형성 기법을 사용할 경우 인접 기지국으로의 간섭은 줄어들면서 단말기가 속해있는 기지국으로의 신호는 크게 하는 지능적인 빔 형성이 가능해진다[4].

지능형 송신 빔형성은 접속제어나 핸드오프, 부하분산에도 응용될 수 있다. 단말기의 전원이 켜질 때 해당 단말기와



(그림 3) 지능형 송신 빔형성

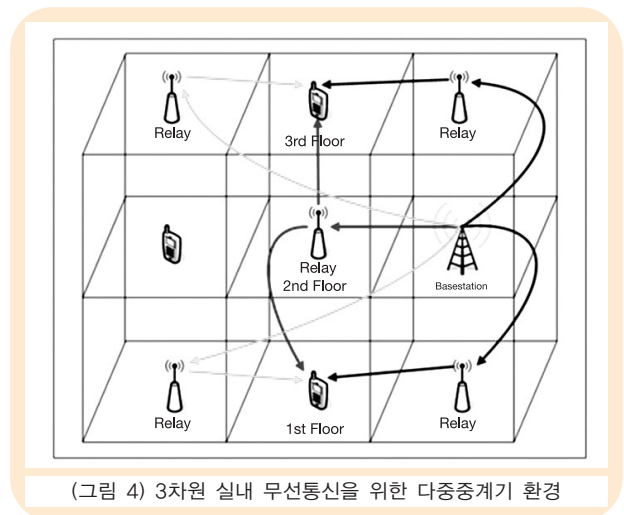
통신을 수행할 기지국이 정해지게 되는데 이 때 단말기에서 지능형 송신 빔 형성이 사용된다는 것을 가정할 경우 선택할 기지국으로의 무선채널은 물론 선택되지 않은 인접 셀로의 간섭까지 고려하여 보다 효율적인 접속제어를 수행할 수 있게 된다. 간섭채널에 대한 정보 외에 추가적으로 인접 셀들의 부하정보까지 알 수 있다면 부하분산까지 동시에 고려함으로써 전체 시스템의 성능을 높일 수도 있다[5].

여기에서는 셀룰러 시스템에서의 상향링크를 예시로 들었지만 간섭채널의 정보를 획득할 수 있고 다중안테나를 장착하고 있다면 이 지능형 송신 빔 형성 기술은 상/하향링크나 시스템의 구분없이 어디든지 사용 가능하다. 특히 실내에서 AP나 소형기지국들이 밀집되어 있을 때 발생하는 간섭문제나 동일 주파수를 사용하는 이종(Heterogeneous) 시스템간의 간섭문제가 발생할 때 매우 효과적인 해결책이 될 수 있을 것이다.

3) 다중안테나 - 다중중계기 선택기법 (협동통신)

무선통신 시스템에서의 신호는 전송 중 장애물로 인한 페이딩 및 다른 신호에 의한 간섭 등에 의해 왜곡이 된다. 이러한 신호 왜곡 현상을 완화시키기 위한 하나의 방법으로 송신기가 중계기의 도움을 받아 서로 협동하여 수신기에 신호를 전송하는 협동통신 기법이 제안되었다[6].

특히 (그림 4)에서와 같이 송신기와 수신기가 서로 다른 층에 위치해 있거나 벽, 칸막이가 많은 실내공간의 경우, 신호의 왜곡 현상은 더욱 심화된다. 지금까지 연구되어 온 협동



(그림 4) 3차원 실내 무선통신을 위한 다중중계기 환경

통신 기술들 중에서도, 이와 같은 실내 3차원 환경에서는 다중중계기 협동통신 기술, 특히 여러 개의 중계기 중 가장 좋은 채널을 갖는 중계기를 선택하여 활용하는 다중 중계기 선택 기법이 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

본 고에서는 이러한 3차원 환경에서의 협동통신 기술로 연관정 후 전송 방식(Soft-decision-and-forward: SDF)기를 기반으로 하는 다중 안테나 다중 중계기 환경에서의 선택 기법을 제안한다.

시스템 모델은 하나의 소스 노드(송신기, S), M개의 중계기 노드(Rm), 하나의 테스트네이션 노드(수신기, D)를 갖는 협동통신 시스템을 고려한다. 각 노드는 두 개의 송신 안테나와 두 개의 수신 안테나를 갖는다고 가정한다. 본 과제에서 제안하는 중계기 선택 기법은 소스-중계기, 중계기-테스티네이션 링크의 순시적인 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio: SNR)가 최대가 되는 중계기를 선택하는 방식이다. 즉, 다음과 같은 선택 기준을 따른다.

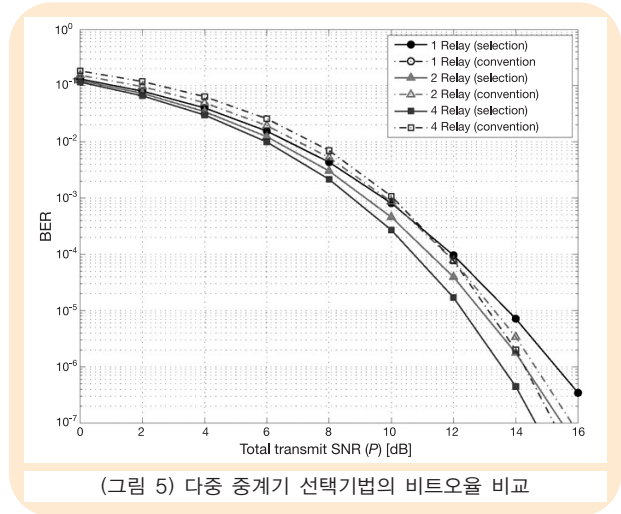
$$m = \arg \max_{m \in \{1, \dots, M\}} \left\{ \frac{\gamma_{m,1} \gamma_{m,2}}{\gamma_{m,1} + \gamma_{m,2} + 1} \right\}.$$

여기서 $\gamma_{(m,1)}$ 와 $\gamma_{(m,2)}$ 는 각각 소스와 m 번째 중계기 링크 그리고 m 번째 중계기와 테스트네이션 링크의 SNR을 나타낸다.

본 연구의 결과로서, 위의 중계기 선택 시스템의 비트 오율을 수식적으로 유도함으로써 성능을 평가하였고, 다이버시티 차수가 4(M+1)임을 증명하였다[8]. 이는 중계기 선택 기법을 사용하지 않고, M 개의 모든 중계기가 신호를 직교 전송하는 기존의 다중 중계기 시스템의 다이버시티 차수와 동일하다. 이와 함께 시뮬레이션을 통해 본 과제에서 제안된 다중 중계기 선택 기법이 기존의 다중 중계기 시스템에 비해 좋은 성능을 보임을 검증하였다.(그림 5)

4) 3차원 채널 모델링

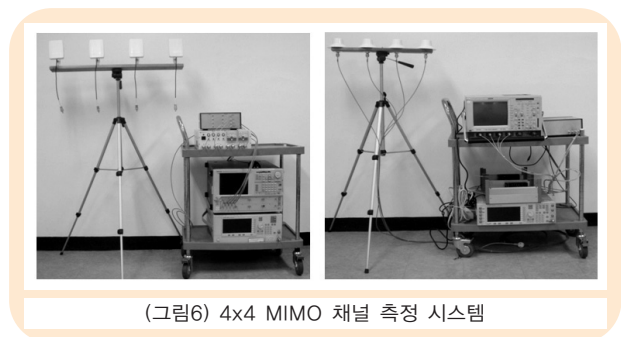
무선통신 환경에서 실제적인 전파의 전파 현상은 반사, 투과, 회절 및 분산 현상에 의하여 매우 복잡한 특성을 나타내며 반송 주파수, 대역폭, 전파환경(실내외, 도시지역, 거주지역, 지형 및 건물 재질 구조 등)에 따라 다르므로 분석적인 도구(수학적 모델링)를 이용하여 표현하는 데는 한계가 있다. 이러한 전파의 전파 현상을 모델링하는 방법으로는



(그림 5) 다중 중계기 선택기법의 비트오율 비교

통계적인 방법(stochastic model)과 확정적인 방법(deterministic model)이 사용되는데, 전자는 주어진 전파환경에서의 반복 측정을 통하여 통계적으로 대표되는 모델 파라미터를 이용하고, 후자는 송수신에 이르는 전파환경을 수학적으로 표현하여 전파를 추적하는 ray tracing 방법을 사용한다. 통계적인 방법은 전파의 특성을 전파환경을 대표하는 파라미터의 확률함수로 표현이 가능하고, 확정적인 방법(Ray tracing)은 특정한 전파환경을 정확히 묘사할 수 있다는 장점이 있다. 최근 제안되는 무선통신 채널모델은 위의 두 방법을 혼합하는 geometry-based stochastic 모델로서 두 가지의 장점을 효과적으로 이용하기도 한다 [9].

하지만 이와 같은 기존의 무선 채널 모델링 방법들은 주로 시간과 주파수 영역에서만 무선 채널을 모델링하여 3차원 공간까지 함께 모델링하는 연구는 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다. 앞서 언급한 무선통신의 고밀도화, 초고충화로 실내 무선통신이 더욱 중요해지고 있는 상황에서 3차원



(그림6) 4x4 MIMO 채널 측정 시스템

공간에 대한 모델링 연구는 필수적이라고 할 수 있다.

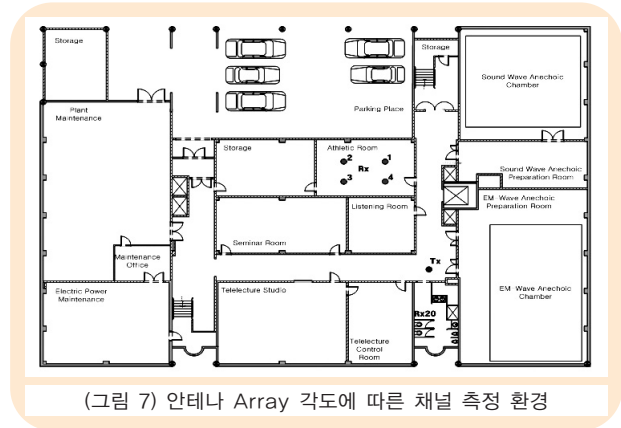
본 연구에서는 3차원 무선 채널을 모델링 하기 위해 3.5GHz 4x4 MIMO 채널 측정 시스템(그림 6)을 구축한 상태이며 이 측정 시스템을 활용하여 실내 무선 채널 환경을 측정을 하고 무선 채널의 대표 파라미터로 모델링하였다. 추후 더욱 다양한 실내 무선 채널 환경과 시나리오에 대한 측정을 수행하여 일반적인 실내 무선 채널 환경에 대한 채널 모델링을 수행할 예정이다.

다음은 3차원 무선채널 측정의 한가지 예로 안테나 Array의 각도에 따른 채널 분석의 측정 시나리오를 나타낸다(그림 7). 송신기(Tx)가 있고 각 지점에 수신기(Rx 1,2,3,4)가 있을 때 안테나 Array의 각도를 달리해서 공간상에서의 무선 채널을 측정하는 실험이다.

〈표 1〉은 각 수신 지점의 Mean Excess delay와 RMS delay 값을, 〈표 2〉는 각 위치에서의 각도에 따른 채널용량의 평균값과 표준편차를 나타낸다.

III. 결 론

무선통신 환경의 변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 다양한 정보를 바탕으로 주변상황을 인지하고, 단말기들



과 기지국 간의 협력을 통해 적응적으로 통신을 수행하는 지능화된 무선통신 기술의 개발이 필수적이다. 뿐만 아니라 무선통신을 사용하는 환경이 실외에서 실내로 바뀌고 고층화됨에 따라 3차원 무선채널에 대한 연구 역시 반드시 이루어져야 할 것이다. 따라서 본고에서는 지능형 인프라 및 단말기, 협동통신, 3차원 무선채널 모델링의 4가지 요소로 이루어진 지능형 3차원 무선통신 시스템을 제안하고 현재까지의 연구상황에 대해 살펴보았다. 아직까지는 시작단계로서 개별기술이나 채널 모델링에 머물러 있지만 추후 지속적인 연구를 통해 개발된 3차원 모델을 바탕으로 지능화된 무선통신 시스템이 개발될 수 있도록 노력해야 할 것이다.

〈표 1〉 Mean Excess와 RMS delay

	0도		60도		120도		180도	
	Mean Excess Delay [ns]	RMS Delay [ns]	Mean Excess Delay [ns]	RMS Delay [ns]	Mean Excess Delay [ns]	RMS Delay [ns]	Mean Excess Delay [ns]	RMS Delay [ns]
위치 1	17.8	38.7	31.2	45.9	40.7	13.5	58.9	40.5
위치 2	9.3	22.9	14.9	49.8	6.9	18.8	9.3	20.9
위치 3	37	14.8	99.9	24.2	20.8	13.5	24.9	56.5
위치 4	86.9	53.9	47.9	15.3	70.3	44.4	78.5	58.1

〈표 2〉 안테나의 Array의 각도별 채널용량과 최대고유치

	Channel Capacity[bps/Hz]													
	0도		30도		60도		90도		120도		150도		180도	
	Mean	S.T.D	Mean	S.T.D	Mean	S.T.D	Mean	S.T.D	Mean	S.T.D	Mean	S.T.D	Mean	S.T.D
위치 1	5.38	2.65	5.88	2.68	6.62	2.8	6.26	2.74	7.5	3.23	7.59	3.06	6.9	2.86
위치 2	6.39	2.79	6.61	3.17	6.59	2.99	6.75	3.45	5.17	2.58	5.54	2.72	5.9	2.93
위치 3	6	3.01	5.68	2.81	4.04	2.44	6.22	2.96	5.76	3.24	5.82	2.69	4.81	2.49
위치 4	6.82	3.02	7.79	3.48	4.98	2.55	6.36	2.72	6.88	2.8	7.33	2.95	6.21	2.79

참 고 문 헌

- [1] 전자신문, “LG광화문빌딩 ‘스마트워크 공간으로~’”, 2010년 10월 1일
- [2] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, “Femtocell Networks: A Survey”, IEEE Communication Magazine, vol. 46, no. 9, pp.59-67, Sep. 2008.
- [3] Y. Bejerano, S. J. Han, and L. Li, “Fairness and Load Balancing in Wireless LANs using Association Control”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.15, no.3, pp. 560-573, Jun 2007
- [4] B. O. Lee, H.W. Je, O.-S. Shin and K.B. Lee, “A Novel Uplink MIMO Transmission Scheme in a Multicell Environment”, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.8, no.10, pp.4981-4987, Oct.2009
- [5] D.M. Kim, H.Y. Yim, B.O.Lee, S.H.Choi, S.H.Choi, and K.B.Lee, “Load-Aware Beamforming and Association for System-Wide Utility Maximization”, in Proc. IEEE International Conference on ICT Convergence(ICTC), Nov. 2010
- [6] J.N. Laneman, D.N.C. Tse, and G.W.Wornell, “Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior”, IEEE Transactions on Information Theory, vol.50, no.12, Dec. 2004
- [7] 양재동, 송경영, 노종선, 신동준, “Alamouti 부호에 기반한 협력통신을 위한 연관정 후 전송 프로토콜,” 제19회 통신정보합동학술대회(JCCI2009).
- [8] 송경영, 김재홍, 노종선, 정하봉, “연관정 후 전송 방식 기반 다중 릴레이 협동통신망의 릴레이 선택 방식의 다이버시티 분석”, 한국통신학회논문지, 제 35권 제 10호, pp. 793-799, 2010년 10월.
- [9] 정현규, 이광천, “차세대 이동통신 무선채널 연구동향,” 전자통신동향 분석 제21권 제3호, 2006년 6월.

약 력



김 동 현

2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학사
 2006년 ~ 현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사 통합과정
 관심분야: MIMO, 4G(5G) Communication Systems



김 재 홍

2008년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학사
 2008년 ~ 현재 서울대학교 석박사 통합과정
 관심분야: 협동통신, MIMO 통신 시스템, 정보 이론



이 광 복

1982년 토론토대학교 공학사
 1986년 토론토대학교 공학석사
 1990년 맥매스터대학교 공학박사
 1982년 ~ 1985년 Motorola, Canada, Senior Engineer
 1990년 ~ 1996년 Motorola, USA, Senior Staff Engineer
 1996년 ~ 현재 서울대학교 전기공학부 교수
 2002년 ~ 현재 IEEE Transaction on Wireless Communications, Editor
 2006년 ~ 현재 IEEE Communication Society, Asia Pacific Board, Officer/ Vice Director
 2005년 ~ 현재 IEEE Communication Society Seoul Chapter, Chair
 2005년 IEEE ICC Wireless Communication Symposium, Co-chair
 2006년 ~ 2008년 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 소장
 2006년 ~ 현재 (사)한국통신학회, 이사/ 상임이사
 2001년 ~ 2008년 Journal of Communications and Networks, Editor/ Division Editor/ Publication Director
 2010년 IEEE Fellow 선정
 2010년 제9회 한국 공학상 수상 (교육과학기술부, 한국연구재단)
 관심분야: MIMO, OFDM, WLAN, 4G(5G) Communication systems