



무선 다중 접속

여러 사람이 동시에 무선 통신하는 것을 가능케

성영철

한국과학기술원

1. 무선 통신 자원

무선 통신의 가장 쉬운 예는 두 사람이 서로 대화하면서 의사를 소통하는 것이다. 이 예를 좀 더 깊이 살펴 보면, 우선 말하는 사람의 뇌 속에 상대방에게 전달하고자 하는 내용, 즉 정보(information)가 있는데, 이 정보는 대부분 기호에 기반한 언어로 저장되어 있다. 이 기호적 정보가 물리적으로 서로 떨어져 있는 말하는 사람의 뇌에서 듣는 사람의 뇌로 전달되기 위해서는, 이 언어적/기호적 정보가 두 사람 사이의 물리적 매질을 통과할 수 있는 물리적 신호로 바뀌어야 한다. 이 송신자와 수신자 사이의 물리적 매질을 흔히 통신이론에서는 채널(channel)이라고 부른다. 대화의 경우, 말하는 사람이 성대를 떨어서 기호적 언어를 음파 신호로 변조하고 이 음파 신호가 채널을 통해 즉, 공간 속의 공기의 떨림을 통해 듣는 사람의 귀청을 울리고, 듣는 사람은 자신의 귀청의 울림을 다시 기호적 언어로 해석해서 정보를 전달받게 된다. 좀 더 전문적인 용어를 이룰 설명하면 기호적 정보를 가진 정보원(information source)에서 기호적 정보가 물리 신호로 변조되고 이 변조된 물리 신호는 채널을 통해 전파되어 정보 수집기(information sink) 즉, 수신기에서 복조되고 해석된다.

그렇다면, 위 예에서 말하는 사람과 듣는 사람의 신체(즉, 송·수신기)와 노력(신호·정보처리) 외에 이 대화를 위해 필요한 다른 것들은 무엇일까? 첫째로, 두 사람이 있는 공간(space)이다. 이 공간은 통신을 통해 극복해야 하는 대상이면서 또한 통신을 위해 필요한 자원이다. 만약 각각의 사람이 1차원 생명체이고 신호 전달의 흐름이 직선 상의 1차원으로만 국한된 직선에 살고 있고, 각각의 사람이 유클리드 공간 내에서 서로 평행하는 두 다른 직선 상에 존재하면 두 1차원적 사람 간의 통신은 불가능할 것이다. 그러므로, 서로 연결된 공간은 통신을 위해 필요한 자원으로 간주될 수 있다. 둘째로, 이 대화를 위해 사용된 시간(time)이다. 즉, 말하는 사람의 언어가 음파 신호로 변조되어 전달되었는데, 여기서, 신호의 개념에 대해 주목할 필요가 있다. 신호란 음파의 세기, 전압 및 전기장의 세기 등과 같은 물리적인 양이 시간에 따라 변하는 변이를 말하는 것으로 필연적으로 시간의 추이를 동반한다. 그리하여, 시간은 신호의 전송을 수반하는 통신을 위해 소요되는 자원이다. 시간 또한 통신을 위해 필요한 자원이면서 때로는 통신을 통해 극복해야 하는 대상이 될 때도 있다. 즉, 옛날의 우리 선조들이 자신들의 지식을 후대에 전달, 즉 통신하고 싶어했었고, 우리 선조들은 훌륭하게도 문자, 종지와 먹을 사용해 정보들을 기호화하여 책으로 담기면서 후대에 통신하였다. 그러므로, 공간과 시간은 통신을 통해 극복해야 하는 대상이면서 통신을 위해 필요한 자원이다. 그리고, 공간과 시간 외의 무선 통신 자원으로는 시간과 쌍대(dual) 개념인 주파수(frequency)가 있다. 주파수란 단위 시간당 신호의 변화를 측정하는 것이다. 신호는 각 시간마다의 신호값을 나열함으로써 나타낼 수도 있고, 또한 서로 다른 주파수의 정현파(sine wave)들에 다른 크기와 위상을 곱한 뒤 더함으로써 나타낼 수도 있다. 이 두 기술(description)은 푸리에 변환(Fourier Transform)에 의해 연결되어 있다[1].

공간과 시간은 통신을 통해 극복해야 하는 대상이면서 통신을 위해 필요한 자원이다. 또다른 무선 통신 자원으로는 시간과 쌍대 개념인 주파수가 있다.

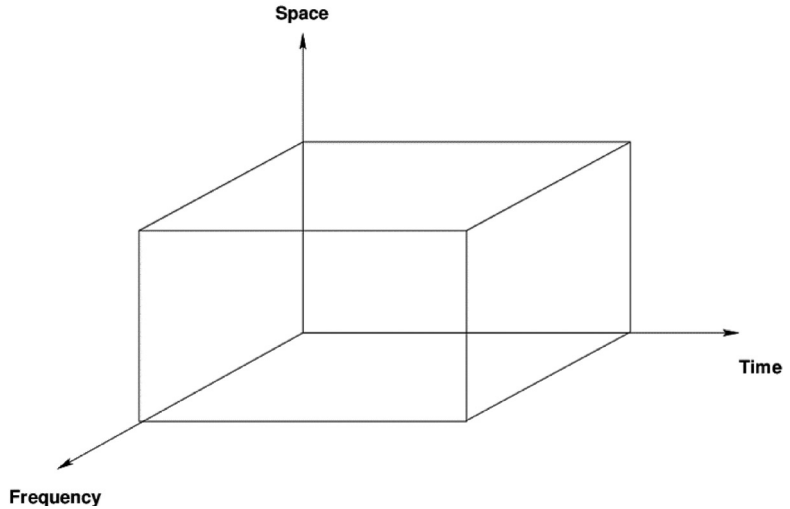


그림 1. 무선 통신 자원: 시간, 주파수, 공간

무선 통신 자원인 공간, 시간, 주파수 등을 적절히 여러 사용자들이 나누어 사용함으로써 여러 사람이 동시에 무선 통신하는 것이 가능하다.

대부분의 현대 무선 통신에서는 앞 예의 사람 간 대화에 사용되는 음파의 거리적 전달 한계 및 전달 속도를 뛰어넘기 위해서 진공의 공간을 통해 빛의 속도로 전파 가능한 전자파 신호를 사용하고 있다. 전자파는 맥스웰 방정식(Maxwell's equation)에 의해 기술되는데, 맥스웰 방정식은 선형 미분 방정식이다. 이로 인해 서로 다른 전자파원(예, 안테나)에서 오는 두 전자파 신호는 같은 시간, 같은 공간에서는 중첩(superposition)이 일어난다. 그러므로, 각각의 안테나를 가지고 무선 통신하는 서로 다른 통신원들은 같은 시간, 같은 공간에서는 서로 간섭을 일으키게 된다. 하지만, 우리가 주변에서 흔히 접할 수 있는 카페 내에서의 무선랜(Wi-Fi) 서비스를 생각해 보자. 카페에는 무선랜 액세스 포인트가 설치되어 있으며, 카페 내에 본인 이외에도 다른 사람도 같은 무선랜을 사용하는 것을 흔히 볼 수 있다. 그렇다면, 어떻게 상호간에 무선 간섭을 제어하고 여러 사람이 동시에 무선 통신하는 것이 가능한 것일까? 이 질문에 대한 해답은 앞서 언급한 무선 통신 자원인 공간, 시간, 주파수 등을 적절히 여러 사용자들이 나누어 사용함으로써 가능한 것이다.

II. 공간 재사용과 셀 구조

가장 손쉽게 여러 명이 동시에 무선 통신하게 하는 방법은 거리가 있는 공간을 재사용하는 것이다. <그림 2>에서 보듯이 송신기 A에서 나온 전자파(electromagnetic wave) 신호는 전파(propagation) 거리가 멀어질수록 그 신호 강도가 약해지는데, 단위 면적당 수신 전력은 진공인 경우 거리의 제곱에 반비례하고, 도심지의 경우 그보다 더빨리 감쇄한다.

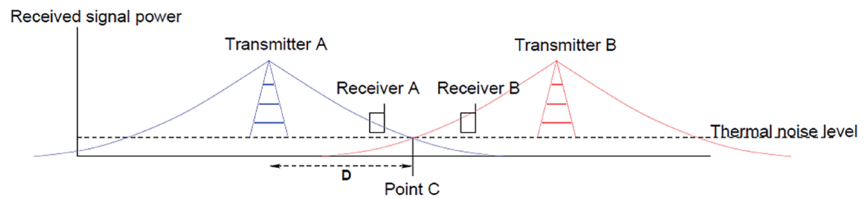


그림 2. 거리에 따른 전파 신호 감쇄

이 사실을 이용하면 송신기(transmitter) A에서 나온 신호의 수신 전력이 거리 D를 지나면 수신기(receiver) 내부에 존재하는 열잡음 (thermal noise) 전력보다 더 작게 되는 지점이 존재한다. 거리 D를 지나면 송신기 A에서의 간섭이 수신기의 열잡음보다 낮게 되어, 실질적으로는 간섭이 없다고 간주할 수 있고, C 지점 이후부터는 다른 송신기인 송신기 B로부터의 신호를 받는 수신기가 놓일 수 있게 된다. 그리하여, 송신기 A-수신기 A 쌍과 송신기 B-수신기 B 쌍 사이에는 큰 간섭 없이 각각 무선 통신할 수 있게 된다.

이러한 거리에 따른 전자파 신호의 감쇄를 이용한 시간과 주파수의 무선 통신 자원의 공간적 재사용은 무선 이동 통신에서 동시 통신 용량을 증대시키는 핵심적인 방식 중 하나로, 보통의 이동 통신망은 이를 극대화하는 <그림 3>과 같은 셀룰라 구조로 설계되어 있다. 셀의 크기는 보통 도심에서는 앞서 설명하였듯이 송신기 즉 기지국으로부터의 송신 신호가 수신기의 열잡음보다 낮게 되는 지점까지 크게 잡지 않고 이보다 훨씬 작게 설계하는데 이는 통신 수요가 많은 도심에서는 통신 자원을 공간적으로 더욱 많이 재사용하기 위함이다. 이 경우 주파수 변조 (frequency modulation - FM) 통신과 주파수 분할 방식을 사용한 1세대에서는 실질적으로 셀간 간섭이 존재하는데 이를 회피하기 위하여 전체 주파수 자원을 3등분하여 인접하는 셀끼리는 같은 주파수 대역이 배치되지 않도록 주파수 대역을 셀들에 적절히 할당한다. 하지만, 이 경우 각 셀에서는 전체 주파수 대역의 3분의 1만 사용하게 되어 큰 손실이 발생한다. 이에 코드분할 다중접속을 사용하는 2세대 이후의 이동통신망에서는 시간/주파수 자원을 셀마다 100% 재사용하고 셀간 간섭은 진보된 통신 기술들로 제어하고 있다. 특히, 5 세대 이후 이동통신망은 소형셀 네트워크라고 하여 셀의 크기를 더욱 작게 하여, 동시 통신 용량을 증가시키려 하고 있다. 피코셀(pico-cell) 및 펄토셀(femto-cell) 기술들이 이러한 노력의 예이며, 또한 Wi-Fi 핫스팟(hot spot)이 아주 좋은 작은 셀의 예이다. 이러한 소형셀 네트워크에서는 시간과 주파수 자원을 공간적으로 훨씬 더 많이 재사용하므로 통신 용량을 현저히 증가시킬 수 있다.

거리에 따른 전자파 신호의 감쇄를 이용하여 시간과 주파수의 무선 통신 자원을 공간적으로 재사용한다.

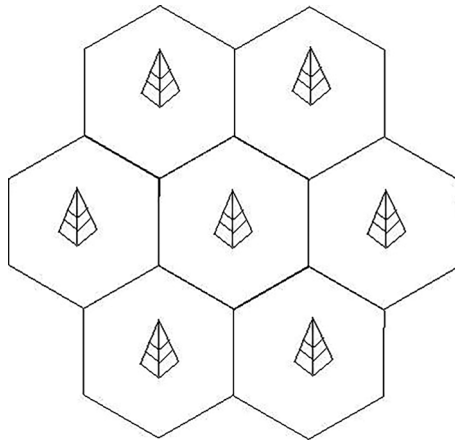


그림 3. 셀룰라 (cellular) 무선 통신 구조

Ⅲ. 한 셀 내에서의 사용자 구분

앞 절에서 우리는 전자파의 거리에 따른 감쇄를 이용하여 공간을 셀로 나누고 각 셀에서 시간과 주파수와 같은 무선 통신 자원을 재사용함으로써 공간적으로 떨어진 여러 명의 사용자가 동시에 무선 통신할 수 있음을 보았다. 그렇다면, 이제 인접한 거리로 전자파가 서로 간섭을 미치는

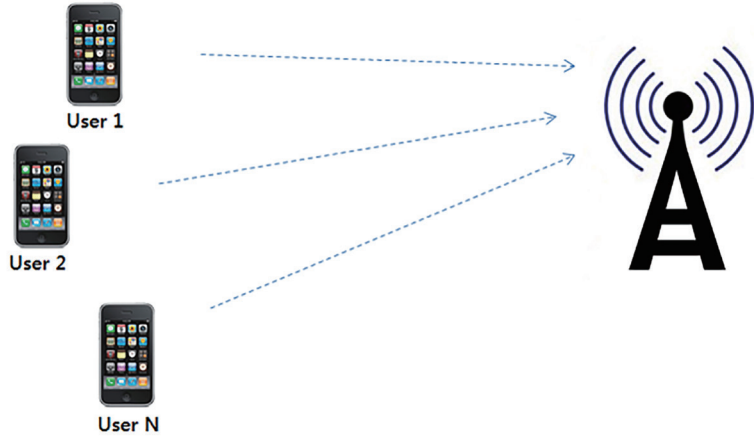


그림 4. 다중 접속

한 셀 내에서는 어떻게 동시에 여러 명이 무선 통신을 할 수 있을까라는 물음에 대해 생각해 보자. 이를 가능하게 하는 방식은 여러 가지가 있을 수 있으나, 기본적으로는 시간과 주파수와 같은 무선 통신 자원을 여러 명의 사용자들이 적절히 나누어 사용하는 것이다.

좀 더 구체적으로 <그림 4>와 같이 여러 명의 휴대 단말기가 기지국으로 통신하는 경우를 생각해 보자. 이러한 통신 상황을 상향 링크(Uplink) 또는 Reverse link라고 부르고, 통신이론에서는 다중접속채널 (multiple access) 상황이라고 부른다[2].

가장 오래된 다중 접속 방식 중 하나는 <그림 5(a)>와 같이 주어진 전체 주파수 대역을 여러 개로 쪼개어 각 쪼개진 주파수 서브 대역(subband)을 각각의 사용자에게 할당하는 것이다. 이 경우 수신기는 자신에게 할당된 주파수 서브 대역만 통과시키는 필터(filter)를 사용하여 다른 주파수 대역에 할당된 사용자들의 신호들을 제거하여 간섭 없이 무선 통신할 수 있게 된다. 이러한 다중 접속 방식을 주파수 분할 다중접속(frequency-division multiple access, FDMA)이라고 하며, 이 방식은 벨 연구소에서 개발한 1세대 아날로그 이동통신인 Advanced Mobile Phone System (AMPS)에 적용되었다. 다중 접속 채널과 반대의 상황, 즉, 기지국이나 방송국에서 여러 명의 다른 사용자에게 신호를 내려주는 상황을 하향 링크(downlink), forward link, 또는 방송 채널 (broadcast channel) 상황이라 부르는데, AM/FM 라디오와 TV 방송과 같은 방송 채널 상황에서 주파수 분할 방식이 널리 사용되고 있다.

또다른 다중 접속 방식은 <그림 5(b)>와 같이 주파수 대신 그 쌍대인 시간을 여러 개로 쪼개어 여러 사용자에게 할당하는 것이다. 이 방식을 시분할 다중접속(time-division multiple access, TDMA)이라고 부른다. 이 경우 전체 시간을 우선 프레임으로 나누고, 또 이 프레임들을 더 작은 여러 슬롯으로 나누어 각 슬롯을 사용자들에게 할당한다. 예를 들어, 프레임의 길이를 T초라고 하고, 프레임 내 1번부터 N번까지 슬롯이 있다면, 매 프레임의 1번 슬롯을 1번 사용자에게 할당하고, 매 프레임의 2번 슬롯을 2번 사용자에게 할당하고, 이런 식으로 N번 사용자까지 할당하는 것이다. 이렇게 되면, 각 사용자는 매 T초마다 자기에게 할당된 시간에 정보를 보낼 수 있다. 음성의 경우, 보통 무선 통신에서는 음성을 디지털화할 때 보코더(Vocoder) 방식을 사용하는데, 보코더 방식이란 사람의 목소리를 매 20 msec 프레임으로 나누고 20 msec 프레임을 분석하여 분석된 정보를 디지털화하여 전송하고 수신측에서는 분석된 정보를 이용하여 20msec의 목소리 프레임을 다시 합성해 내어 음성을 재생하는 것이다. 이동통신에 흔히 사용되는 ARM voice codec은 20msec 마다 수백 비트의 정보를 생성한다. 그러므로, 시분할 다중 접속 방식에서 프레임의 크기를 20msec으로 잡고, 그 안에 포함되어 있는 N개의 슬롯이 각각 수백 비트의 정보를

인접한 거리로 전자파가 서로 간섭을 미치는 한 셀 내에서는 시간과 주파수와 같은 무선 통신 자원을 여러 명의 사용자들이 나누어 사용한다.

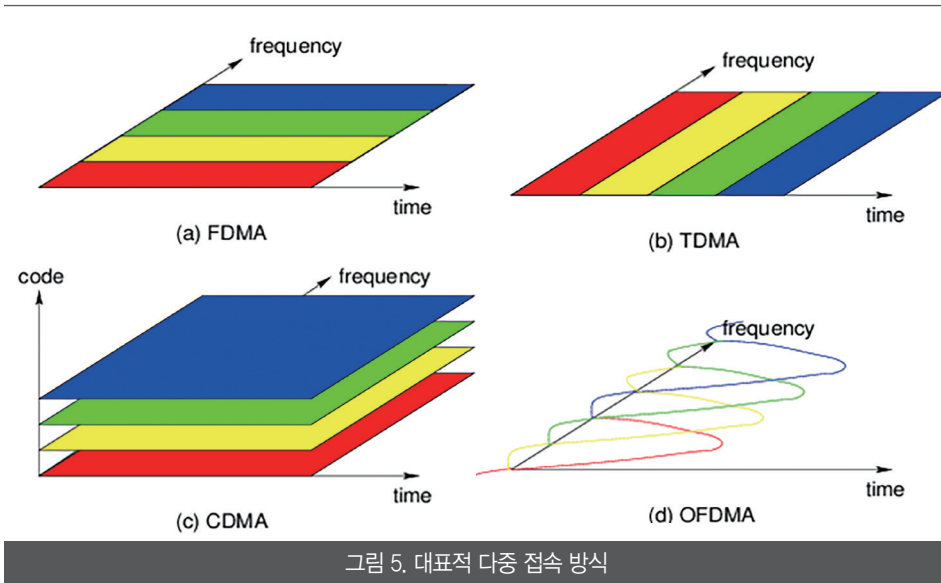


그림 5. 대표적 다중 접속 방식

전송할 수 있다면 N명의 사용자가 동시에 음성 통신을 할 수 있는 것이다. 이와 같은 시분할 다중 접속 방식은 2세대 이동통신인 GSM에 적용되었다.

요즈음과 같이 음성보다 인터넷 데이터 통신이 대세인 시대에는 예전의 음성 통화 시대처럼 N개의 슬롯을 N명의 동시 음성 통화자에게 독점적으로 할당하지 않고 그보다 훨씬 많은 사용자들을 대상으로 매 순간 필요에 따라 슬롯을 사용자에게 할당하는 방식을 취하고 있다. 이렇게 주어진 자원의 슬롯 수보다 더 많은 사용자를 고려하고 매 순간 사용자의 필요와 상황에 따라 통신 자원 슬롯을 할당하는 것을 스케줄링(scheduling)이라고 한다. 최적의 스케줄러를 설계하는 것은 현대 무선 통신에서 아주 중요한 문제이다.

이제까지 우리는 주파수 또는 그 쌍대인 시간을 쪼개어 여러 사용자들을 수용하는 다중접속에 대해 살펴 보았다. 이외의 다중 접속 방식으로는 코드 분할 다중 접속(code-division multiple access, CDMA)이 있다. 코드 분할 다중 접속에서는 주어진 통신 자원인 시간과 주파수를 쪼개지 않고 각 사용자에게 사용자의 데이터 전송 속도 보다 더 빠른 속도의 코드를 할당하여 이 코드를 이용해서 사용자를 구분하는 것이다. 이 때 각 코드는 서로 직교(orthogonal) 또는 준직교(quasi-orthogonal)한다. 그리고, 이 코드가 주어진 전체 대역폭을 다 차지하도록 설계한다.

좀 더 구체적으로 설명하면, <그림 6>의 예에서 보듯이 네 명의 사용자가 있고, i번째 사용자는 T초동안 하나의 심볼 s_i 를 전송하고자 한다고 가정하자. 그리고, 각 사용자에게 다음과 같은 길이 4의 Hadamard 코드, 즉, $c_1[n]=(1,1,1,1)$, $c_2[n]=(1,-1,1,-1)$, $c_3[n]=(1,1,-1,-1)$, $c_4[n]=(1,-1,-1,1)$ 이 할당되었다고 가정해 보자. 이 경우, 원래 코드의 곱이 없을 때 T초동안 하나의 심볼이 전송되지만, 코드가 곱해진 후에는 1번 사용자의 경우 $s_1c_1[n]=(s_1, s_1, s_1, s_1)$ 이 전송되고, 2번 사용자의 경우 $s_2c_2[n]=(s_2, -s_2, s_2, -s_2)$, 3번 사용자의 경우 $s_3c_3[n]=(s_3, s_3, -s_3, -s_3)$, 4번 사용자의 경우 $s_4c_4[n]=(s_4, -s_4, -s_4, s_4)$ 와 같이, 네 개의 칩(chip)이라고 불리는 서브 심볼이 전송되게 된다. 그리하여, 코드가 곱해진 신호는 원래의 신호보다 단위시간당 변화가 네 배가 많아져 필요한 주파수 대역폭이 네 배로 늘어난다. 이 코드가 곱해진 신호들이 공간에 방사되어 전자파의 중첩에 의해 더해져서 기지국에 수신된다. 그러므로, 수신 신호는 $r[n] = \sum_{i=1}^4 s_i c_i[n]$ 가 된다. 이제 이 수신 신호 $r[n]$ 과 k번째 코드 $c_k[n]$ 과 상관값(correlation) 또는 내적값(inner product)을 구해 보자. 내적은 각 요소들끼리 곱한 후 더하는 것이다. 즉, $\sum_{n=1}^4 r[n]c_k[n]$ 을 구하면, $4s_k$ 가 된다. 즉, 공간에서 중첩되어 더해진

코드 분할 다중 접속(CDMA)에서는 시간과 주파수를 나누지 않고 각 사용자에게 코드를 할당하여 사용자를 구분한다.

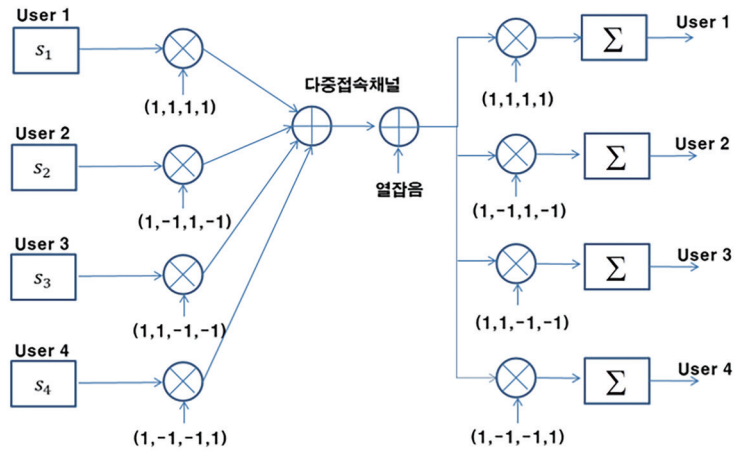


그림 6. 코드 분할 다중 접속 예

신호에 k 번째 코드를 다시 곱해 각 요소값들을 더하면 k 번째 사용자의 심볼만 분리해서 복원할 수 있다. 이것은 근본적으로 코드들이 직교, 즉, 서로 다른 코드간 내적이 영이기 때문에 가능한 것이다.

2세대 이동통신에서는 시분할 다중 접속 방식인 유럽의 GSM과 더불어 Qualcomm 사가 제안한 코드 분할 다중 접속 방식에 기반한 IS-95 표준이 채택되었다. IS-95에서는 하향 링크(downlink)에서는 직교 Hadamard 코드가 사용되었고, 상향 링크(uplink)에서는 의사랜덤코드(pseudo random code) 기반의 준직교(almost orthogonal) 코드가 사용되었다[3]. 상향 링크에서는 각 단말기들과 기지국 사이의 거리와 다중 경로(multi-path) 전파를 통해 발생하는 채널 지연들을 완벽하게 동기(synchronization) 시키기가 어렵기 때문에 칩 수준의 완벽 동기를 요구하는 완전 직교 코드를 사용하기가 어려웠기 때문에 준직교 코드를 사용하였다. 상향 링크의 경우 기존 1,2세대의 주파수 분할 및 시 분할 다중 접속 방식에서는 인접 셀의 간섭으로 인해 주파수 자원을 매 셀마다 100% 재사용할 수가 없고 33%로 재사용하였지만, 준직교 코드를 사용하는 코드 분할 다중 접속 상향 링크에서는 준직교성이 셀 내 사용자들 사이 뿐만 아니라 셀 간 사용자들 사이에서도 보장되도록 설계하여 셀마다 주파수 자원을 100% 재사용하는 것이 가능하였다. 이것이 바로 기존 방식 대비 IS-95의 최대 장점이었다. 2세대 CDMA 방식부터 셀 마다 시간 및 주파수 자원을 100% 재사용하는 것이 자리 잡았다. 우리나라가 당시 성공이 불확실한 이 코드 분할 다중 접속 방식을 과감하게 채택하였고 1997년 세계 최초로 상용화하였다. 이 코드 분할 다중 접속 방식의 성공은 전세계 무선 통신 분야에 새로운 전기를 마련하였고 지난 20년간 우리나라가 이동 통신 분야에 세계 선두 주자가 될 수 있는 발판을 마련하였다.

무선 인터넷 데이터가 주가 되는 4세대 이동통신에서는 완벽 직교성을 보장하는 주파수 분할 다중 접속(OFDMA)이 사용된다.

1999년 발표된 3GPP Release 99와 같은 3세대 이동통신 표준에서는 코드 분할 다중 접속 방식을 더 넓은 대역폭에 적용하는 광대역 CDMA가 채택되었다. 이후 2000년대 초중반을 지나면서 무선 음성 통화보다 무선 인터넷 데이터의 중요성이 부각되면서 음성 통화에서는 미미했던 코드 분할 다중 접속 방식의 문제점이 대두되었다. 상향 링크에서 준직교 코드를 사용하기 때문에 어느 정도의 사용자간 간섭이 존재하게 된다. 이 경우 모든 사용자가 통신에 필요한 어느 정도의 신호-대-간섭-더하기-잡음비를 유지하기 위해서는 어느 특정 사용자가 아주 큰 전력을 사용하지 않도록 모든 사용자의 송신전력을 제어해야만 한다. K 명의 사용자가 서로 만족할 만한 수준의 신호-대-간섭-더하기-잡음비를 유지하는 전력으로 통신하고 있을 때 또 다른 한 명이 이 CDMA 네트워크에 들어오기 위해서 갑자기 큰 전력으로 송신하여 현재의 균형을 깨트려서는 안

되기 때문에 새롭게 네트워크에 들어오는 사용자는 자신이 특정 전력으로 신호를 송신했을 때 기지국에서의 수신 전력을 예측하고, 보수적으로 처음에는 예측치보다 약한 전력으로 기지국에 신호를 쏘아 보고, 기지국에서 아무런 응답이 없으면 전력을 조금 더 올려 쏘아 보는 식으로 기지국에서 응답이 올 때까지 전력을 차츰 증가시키는 단계를 밟게 된다. 이 시간이 십 수 msec정도 인데, 이 초기의 전력 증대 단계에 소요되는 시간이 수 분 이상의 음성 통화에서는 미미하지만, 수십 msec 단위로 스케줄링이 일어나는 무선 데이터 통신에서는 아주 큰 시간 손실이 된다. 그리하여, 무선 인터넷 데이터가 주가 되는 4세대 이동통신에서는 완벽 직교성을 보장하는 주파수 분할 다중 접속이 부활하였다. 하지만 1세대처럼 아날로그 방식이 아닌 디지털 방식의 주파수 분할 다중 접속인 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)가 채택되었다. 앞서 언급하였듯이 아날로그이든 디지털이든 주파수 분할 다중 접속은 인접 셀 간섭을 겪게 되는데, 4세대 이동통신에서는 강력한 채널 부호, 전력 제어, 스케줄링을 통해 인접 셀 간섭을 제어하면서 셀마다 시간 및 주파수 자원을 100% 재사용하고 있다.

IV. 다중 안테나 통신 원리

앞 절에서 살펴 보았듯이 무선 통신의 기본적인 자원인 공간, 시간, 주파수, 코드 등을 분할하여 여러 명의 사용자가 동시에 무선 통신하는 것이 가능하다. 이러한 방법들은 고전적인 방법들로서 수십년간 알려져 있었다. 1990년대 중반부터 이러한 고전적 방법이 아닌 송신기 및 수신기에 여러 개의 안테나를 설치하여 동시 통신할 수 있는 자유도(Degree-of-freedom)를 늘리는 방법이 벨 연구소를 중심으로 연구되었다. 이를 다중 안테나 통신이라고 부른다. 다중 안테나 통신에서는 <그림 7>에서 보듯이 기지국에 여러 개의 안테나를 설치하고 여러 개의 안테나를 가진 수신기나 단일 안테나를 가진 수신기 여러 개를 포함하는 네트워크를 형성하게 되는데, 이때 기지국 안테나들과 모든 수신기의 안테나들 사이의 통신 채널은 행렬(matrix)꼴로 나타나고 이 행렬의 rank가 1보다 크면 같은 주파수, 같은 시간에 동시에 여러 명의 사용자가 통신하는 것이 가능하다[4].

특히, 다중 안테나 통신에서는 시간이나 주파수를 더 사용하지 않고 안테나와 같은 하드웨어의 증설로 통신 용량을 늘릴 수 있기 때문에, 가용 시간과 주파수의 제약으로 통신 용량의 한계가

다중 안테나 통신에서는 시간이나 주파수를 더 사용하지 않고 안테나와 같은 하드웨어의 증설로 통신 용량을 늘릴 수 있다.

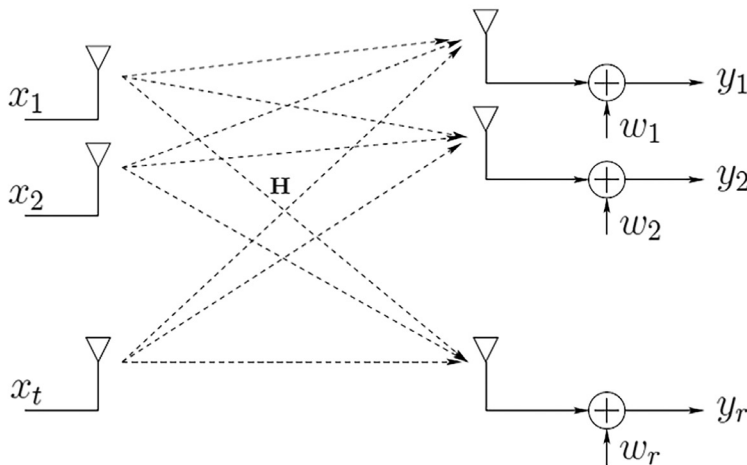


그림 7. 다중 안테나 무선 통신: k 개의 송신 안테나, r 개의 수신 안테나

있을 때 고려할 수 있는 방법이다. 그리하여, 다중 안테나 통신은 4세대 이동통신에 채택되었고, 5세대 이동통신에서는 안테나의 수를 획기적으로 늘려 통신 용량을 획기적으로 증가시키는 거대 배열 다중 안테나 통신(massive MIMO)이 고려되고 있다[5].

V. 맺음말

이 글에서는 중첩의 원리가 적용되는 전자파를 이용한 무선 통신에서 여러 명의 사용자가 어떻게 동시에 통신할 수 있는지에 대해 살펴 보았다. 다중 사용자 통신은 근본적으로 공간, 시간, 주파수, 코드와 같은 무선 통신 자원을 적절히 사용자에게 분배함으로써 가능하다. 근래에는 다중 안테나를 이용한 다중 접속 또한 널리 사용되고 있다. 앞으로 더 많은 사용자가 동시 통신하고 통신 용량을 증대시키기 위해서 주어진 시간과 주파수 자원을 최대한 활용하고 작은 셀로 공간을 분할하여 자원 재사용을 극대화하고 거대 배열 안테나 통신 등을 적용하는 방향으로 진화할 것으로 예상된다.

Acknowledgement

이 글은 미래창조과학부 한국연구재단 기초연구지원사업(2013R1A1A2A10060852)의 후원으로 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. V. Oppenheim and A. S. Wilsky, White, Signals and Systems, 2nd Ed., Prentice-Hall, 1997.
- [2] T. M Cover and J. A. Thomas, Elements of Information Theory, 2nd Ed., Wiley, 2006.
- [3] A. J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley, 1995.
- [4] D. Tse and P. Viswanath, Fundamentals of Wireless Communication, Cambridge, 2005.
- [5] 이길원, 성영철, 소정호, 서준영, "5G massive MIMO 실현을 위한 연구 동향," 대한전자공학 회지, 42권, 10호, pp. 16 - 34, 2015년 10월.