

# PCS 환경에서의 무선접속방식에 대한 용량분석

오 종 택

(한국통신 연구개발원 무선통신개발단 선임연구원)

□ 차 례 □

- |                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| I. 서론                          | III. 각 방식별 채널 용량 분석 |
| II. 이동 통신 환경에서의 채널 용량에 관계된 요소들 | IV. 결론              |

## 요 약

이동통신 서비스에 대한 수요가 크게 증가하므로 무선접속방식에 있어서 채널용량의 분석이 매우 중요한 요소로 부각되고 있다. 그러나 이동통신채널은 환경에 따라 매우 다르므로 용량을 정확하게 분석하기 어렵다. 이 논문에서는 PCS 환경에서 채널용량에 관계되는 요소들을 정량적으로 분석하고 이들을 사용하여 전형적인 CDMA와 TDMA 방식에 대한 채널용량을 분석하였다. 제시한 채널모델은 가능한 모델중에 하나가 될 수 있고, 제안된 채널 용량 분석방법중 요구되는  $E_b/N_0$  값의 계산방식은 이동통신 시스템에 있어 각 요소가 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는데 도움이 된다.

## I. 서 론

이동 통신 시스템에 대한 기대와 역할이 커짐에 따라 많은 종류의 무선 접속 방식들이 제안되고 있다. 이들 방식간에는 장단점이 있고, 방식의 선정에 위해서는 우선 제공할 서비스의 종류와 정도를 정의하고, 망계획을 세운 후에 여기에 가장 적합한 무선 접속 방식을 선택하거나 설계하는 것이 순서이다. 또한 무선 접속 방식만을 본다면, 제공할 수 있는 서비스의 질과 채널 용량, 복잡도(비용) 등으로 평가 항목을 나눌 수 있다. 그런데 이동 통신 시스템에 할당된 무선 주파수 대역은 제한되어 있고 사용자는 많으므로 채널 용량은 무척 중요한 요소이고, 각 무선 접속 방식의 제안사들이 나름대로의 용량을 제시하고 있다. 그러나 이동 통신의 경우는 채널의 특성이 매우 열악하

고 환경에 따라 용량이 크게 변하므로 사업자의 입장에서 객관적으로 이들 방식을 분석, 평가할 수 있어야 한다.

이 연구에서는 CDMA 방식과 TDMA 방식에 대한 채널 용량을 분석하기 위해 채널 용량에 관계된 요소들을 조사, 분석하였고 3장에서 여러가지 무선 접속 방식에 대한 용량 분석을 수행하였다.

## II. 이동 통신 환경에서의 채널 용량에 관계된 요소들

이동 통신의 경우는 그 특성상 무선 채널을 사용해야 하고, 무선 채널은 한정된 주파수 자원을 갖고 있으므로 무선 채널을 동시에 사용할 수 있는 사용자 수는 제한되어 있다. 이점이 사용자의 위치를 모르는

점과 무선 채널의 특성이 매우 열악하다는 점과 함께 이동 통신의 어려운 환경이다.

이동 통신의 목적으로 할당된 주파수 내역은 제한되어 있으므로 초기에는 사용자가 매우 적었고, 1983년에 미국에서 아나로그 셀룰라 서비스를 개시하였다. 셀룰라 개념의 도입은 획기적인 것으로 같은 주파수 대역을 각각 멀리 떨어진 여러개의 셀에서 동시에 사용할 수 있으므로 이론적으로는 무한대의 사용자를 수용할 수 있다. 그러나 실제로는 전파의 전파 특성이 일정하지 않고 셀의 크기를 무한정 줄일 수 없으므로 복잡한 알고리즘의 셀 구성 계획이나 주파수 배정 계획을 사용해야 단위 면적당 채널 용량을 크게 할 수 있다. 따라서 임의의 이동 통신 시스템의 채널 용량 분석은 이동 통신 사업 계획과 시스템 설계에 필수적인 것이고, 특히 여러가지 무선 접속 방식의 성능 평가에 있어서도 매우 중요한 항목이다.

기본적으로 통신 자원을 효과적으로 사용하기 위해서는 다중화(multiplexing)와 다원 접속(multiple access)을 사용하여야 하며, 이런 경우에 있어서 CDMA 방식은 사용자간에 간섭이 커지고, TDMA 방식의 경우는 반송파 주파수를 재사용하므로 인접 셀간의 간섭이 증가한다. 그러므로 이 간섭을 줄여서 신호대 잡음비를 증가시키든지, 작은 신호대 잡음비에서 채널 코딩 등을 적용하여 BER(bit error rate)을 낮추는 것이 채널 용량을 증가시키는 방법이다. 그러나 이 두가지 방법 모두가 시스템을 복잡하게 하고 비용을 증가시키므로 성능과 비용사이의 균형을 맞추어야 한다. 또한 AWGN 환경에서의 한 설계되고 이상적으로 동작하는 다중 접속 방식들은 이론적으로 성능이 같다[1]. 그러나 이동 통신의 환경은 AWGN 환경과는 다르고 수신된 신호는 신호의 크기가 시간에 따라 또는 위치에 따라 크게 변화하기 때문에 특정 방식이 더 유리할 수 있다. 따라서 사업 환경 및 목적에 적합한 시스템을 설계 또는 선정하는 것이 매우 중요하고, 다중 접속 방식의 선정을 기술적인 요소뿐만 아니라 경제적, 정치적인 요소까지 고려되어야 하므로 매우 복잡하고 어려운 작업이다.

2장에서는 채널 용량에 영향을 미치는 여러가지 요소들에 대해 언급하고, 3장에서 이것들을 이용하여 두가지 접속 방식에 대해 채널 용량을 분석한다. 기본적으로 여기에서 언급되는 요소들이 독립적으로 채널 용량에 영향을 미치는 것이 아니며 또한 비선형 시스템도 포함되어 있으므로 임의의 다중 접속 방식에 대해 채널 용량을 수식적으로 계산하는 것은 매우

어려운 것이고, 다중 접속 시스템을 정확히 모델링하여 시뮬레이션하는 것이 가능한 방법일 것이다. 또한 통신 시스템의 경우 평균적인 시스템 성능 지표 보다 최악의 시스템 성능 지표가 더욱 중요하므로, 다중 접속 방식들을 제안하는 여러 업체의 주장을 검증없이 인정하는 것은 적절하지 못하다.

### 1. 전파 전파 감쇄와 페이딩

자유공간으로 복사되는 전파와의 전파 경로 감쇄는 신호의 파장  $\lambda$ 와 전파 거리  $d$ 의 함수로 나타낼 수 있다[2].

$$P_{or} = \frac{1}{(4\pi d/\lambda)^2} P_t \tag{1}$$

여기서  $P_{or}$ 은 수신된 전력이고,  $P_t$ 는 송신 전력이다. 이 수식을 전파 거리의 함수로 간단하게 하면,

$$P_{or} = C d^{-2} P_t \tag{2}$$

이고,  $C$ 는 상수이다. 이 경우 전파 감쇄 지수는 2이다. 그러나 이동 통신 환경은 자유 공간의 경우와 다르게 전파의 전파를 막는 장애물들이 매우 많으므로 경우에 따라 상당히 다르고, 도시지역에서의 line-of-sight의 경우(즉, 기지국의 안테나와 이동국의 안테나사이의 직접 경로가 있을 때) 전파 감쇄 지수는 2~3이다 [3]. 그리고 옥내의 경우에는 실험적으로 감쇄 지수가 3.55~3.67로 알려져 있다[4]. 또한 실험 데이터에 의하면 안테나의 높이가 10m이고, 주변에 높은 건물들이 있는 환경에서 900MHz의 RF 신호를 사용하여 100m 떨어진 곳에서 측정할 결과 약 70dB 이상의 감쇄가 있다.

임의의 셀에 있어, 수신 신호 크기의 최저 허용 임계치는 요구되는 최저 신호대 잡음비(혹은 신호대 간섭비)에 관계되고, 셀 커버 영역(또는 셀 반경)을 결정한다. 따라서 이동 통신 분야에 있어서도 적용 분야가 다양한 만큼, 각각의 경우 적합한 감쇄 특성을 고려하여 채널 모델링을 해야 한다.

이동하고 있는 물체에서 또는 주위에 물체들이 움직일 때, 수신기에 수신되는 전파의 세기는 시간에 따라 변화한다. 이렇게 수신된 RF 신호의 포락선을 페이딩 신호라 하고, long-term 페이딩 신호  $m(t)$ 와 short-term 신호  $r_o(t)$ 의 곱으로 표시할 수 있다[2].

$$r(t) = m(t) \cdot r_o(t) \tag{3}$$

long-term 페이딩 신호는 어느 지점(또는 시간)에 수신된 신호의 local mean을 의미하고 주로 지형의 영향으로 생긴다. 로그값으로 표시된 long-term 페이딩 신호의 크기는 통계적으로 정규화 분포를 갖는다.

short-term 페이딩은 송신된 신호가 건물과 같은 인공 구조물에 부딪혀 다중 전파 경로를 형성하기 때문에 생긴다. 수신된 신호가 크고 작아지는 주기는 신호의 주파수와 이동체의 이동 속도  $V$ , 수신 신호의 입사 방향등에 관계되며[2], 최대 페이딩의 주파수는 다음과 같다.

$$f_{fading, max} = \frac{V}{\lambda} \quad (4)$$

또한 short-term 페이딩 신호의 크기의 통계적인 분포는 line-of-sight의 경우에 Rice 분포를 하고, LOS가 아닌 경우에는 Rayleigh 분포를 갖는다[3].

이상에서 살펴본 것같이 실제의 이동 통신 채널의 환경은, 전파의 복사에 따른 전파 전파 감쇄에 long-term 페이딩과 short-term 페이딩이 가미된 것으로 경우에 따라 매우 다르다. 또한 기존에 연구된 채널 모델들이 매크로 셀 또는 셀룰라 환경을 고려한 것이고 PCS (personal communications service) 환경과는 차이가 있으므로 기본 가정에 유의해야 한다.

양질의 음성 품질을 유지하기 위해서는 수신 신호 크기의 감쇄를 보상하기 위한 방법을 도입해야 한다. 그러나 이 방법들 중 효율적인 변복조나 채널 코딩 등은 다른 사용자에 영향을 끼치지 않고 수신 신호의 BER을 작게 할 수 있지만, 전력 제어(power control)의 경우는 다른 사용자에 간섭을 유발시킨다. 그리고 전자에 의해 얻을 수 있는 이득은 한정이 되어 있고, 후자의 경우는 훨씬 큰 이득을 얻을 수 있으므로, 각각의 목적과 환경에 맞는 방법을 선택적으로 채용해야 한다. 특히 이동체의 이동 속도에 있어 셀룰라의 경우는 100km/h 이상의 속도를 고려하지만, PCS의 경우는 보행자의 경우를 가정하므로 페이딩 주파수가 훨씬 작아진다.

이것은 PCS의 경우 깊은 페이딩에 빠져있는 시간이 길다는 것을 의미하므로, 빨리 페이딩을 보상하지 않으면 셀룰라에서 사용되는 채널 코딩과 인터리빙의 효과가 없어진다. 이렇게 채널 특성은 다중 접속 방식의 구조나 성능에 큰 영향을 미치고 따라서 채널 용량에도 관계가 깊다.

## 2. 동일 채널 간섭

(1) 동일 채널 간섭이란 같은 주파수 대역을 사용하는 사용자간의 간섭을 말하고, carrier-to-interference ratio, C/I라 한다. 현재 서비스중인 AMPS(analog mobile phone system)의 경우 75%의 사용자가 "good" 또는 "excellent"라고 했을 때의 C/I값이 18dB이다.

일반적으로 전방향 안테나를 사용할 때 어느 임계치 이상의 크기의 전파가 도달하는 범위는 2차원으로 영역을 표시할 때 반지름이 R인 원으로 표시할 수 있다. 그러나 원으로 모델링할 경우 셀영역이 중복되던지 또는 커버하지 못하는 부분이 생기므로, 육각형의 셀 모양으로 구성한다. 이때 육각형 셀의 기하학적인 특성으로 인해 주파수 재사용수 K와, 같은 주파수 대역을 사용하는 셀간의 최소 거리 D와의 관계는 식(5)과 같다[5].

$$D/R = \sqrt{3K} \quad (5)$$

$K = 7$ 인 셀군집(cell cluster)에서  $D/R = \sqrt{3 \cdot 7} = 4.6$ 이고, 첫번째 인접 셀들(first tier)에 대한 C/I만을 고려한다면 식(6)와 같다.

$$C/I|_{first\ tier} = \frac{R^{\gamma}}{6 D^{\gamma}} = \frac{1}{6} \cdot 4.6^{\gamma} = 74.6 = 18.7(dB) \quad (6)$$

여기서  $\gamma$ 는 전파 감쇄 지수이고, 4를 가정하였다. 따라서 AMPS의 경우 주파수 재사용수는 7이다. 사용자가 가능한 무선 채널수는 일정하게 제한되어 있으므로, K를 작게하면 한 셀에서 사용가능한 주파수 채널은 늘어 나지만 C/I가 감소하게 되어 음성의 품질이 저하되고 데이터의 BER이 증가한다. 이 경우 오류 정정 부호를 사용하거나 전력 제어를 알맞게 하는등의 부가적인 조치로 품질을 향상시킬 수 있으나 비용과 복잡도가 증가하게 된다.

(2) 셀 계획을 달리하여 채널 용량을 증가시킬 수 있다. 첫번째 방법이 셀 분열(cell splitting)이다. 이것은 셀 반경 R을 작게하는 것으로 K가 동일하므로 셀당 채널 용량은 같지만, 단위 면적당 채널 용량은 셀 반경의 제곱에 반비례하여 증가한다[2].

(3) 두번째로 동일한 주파수를 사용하는 셀간의 거리 D를 줄여서 주파수 재사용수 K를 작게한다. 이 경우 셀당 채널 용량은 증가하지만 간섭의 크기가 증가하므로 이것을 줄이기 위해 섹터(sectorization)를 이용한다. 즉 지향성이 있는 안테나를 세개 이용하게 되면 수신되는 간섭 신호의 양이 1/3으로 줄어들고 C/I

는 증가한다[2].

식(6)과 같은 D, R, K에서 간섭신호는 두개의 인접 셀로부터 수신되므로

$$C/I|_{\text{worst case, first tier}} = \frac{R^{-4}}{(D+0.7R)^{-4} + D^{-4}} = 285 = 24.5(\text{dB}) \quad (7)$$

이고, 약 6dB가 증가하였다. 따라서 K를 작게하여 용량을 증가시킬 수 있다.

(4) K를 줄이고 증가된 간섭 문제를 해결하기 위해 zone 개념을 도입할 수 있다[2].

식(6)과 같은 D, R, K에서

$$C/I|_{\text{worst case, first tier}} = \frac{9R^{-4}}{4(D-R/3)^{-4} + (D-R)^{-4} + (D-4/3R)^{-4}} = 25.3(\text{dB}) \quad (8)$$

이다. sectorization의 경우는 그 셀에 할당된 반송파 채널들 중 1/3씩을 각 섹터에 고정 할당 하였으므로 트렁크 효율이 떨어지지만, zone 개념의 경우는 셀에 할당된 채널들을 유동적으로 각 zone에 할당할 수 있으므로 트렁크 효율이 높다. 또한 각 zone간의 이동은 핸드오프로 처리하지 않기 때문에 셀 분열과는 개념이 다르다. 여기서 핸드오프란 좀 더 나은 품질의 무선 채널을 사용하기 위해 반송파 주파수 대역을 바꾸거나 TDMA의 경우는 time slot을 바꾸는 것을 의미한다.

(5) 전형적인 TDMA 방식의 경우, 인접 셀간에 반송파 주파수 대역이 다른 무선 채널을 할당하여 사용하므로 동일 채널 간섭은 셀간에만 발생하지만, CDMA 방식의 경우는 다르다. 즉, CDMA 방식은 같은 반송파 주파수 대역을 사용하는 사용자의 신호가 시간 영역에서 또는 영역에서 서로 분할되지 않기 때문에 셀안의 동일 주파수 대역을 사용하는 사용자간에도 동일 채널 간섭이 있고, 같은 주파수 대역을 사용하는 인접 셀의 사용자와도 간섭이 있다. 일반적으로 CDMA 방식의 경우 TDMA 방식보다 주파수 대역이 훨씬 크므로 셀들이 같은 주파수의 반송파를 사용하는 경우가 많으므로 간섭의 영향이 매우 크다.

CDMA 시스템에서 셀간에 동일한 주파수의 반송파를 사용할 때 셀안의 사용자에게 의한 간섭을 100%

라고 하면 모든 인접 셀에서의 사용자에게 의한 간섭이 약 40%가 된다[6]. 이 수치는 전파 감쇄 지수에 따라 달라질 수 있고, 전파 환경이 이상적이고 시스템이 완벽하게 동작할 때를 가정한 것으로 이 가정에서 벗어나면 간섭의 양이 크게 증가될 수 있고, 이것은 곧 사용자 수의 감소를 의미한다.

(6) 전파 감쇄 지수  $\alpha$ 와 주파수 재사용수 r를 파라메타로 할때의 간섭의 크기는 동일한 주파수의 반송파를 모든 셀이 사용할 때는  $\alpha$ 의 값에 상관없이 없고, 동일한 주파수의 반송파를 사용하는 셀간의 거리가 멀수록  $\alpha$ 의 값에 민감하다[1]. 이것은 전파 감쇄가 클수록 셀간의 간섭이 작아지기 때문이다. 특정 시스템의 성능을 분석할 때에 무선 채널의 특성은 매우 중요한 요소이고, 옥내 또는 옥외 등의 특정 환경에 따라 그 특성의 변화가 큰 것에 유의하여야 한다.

주파수 재사용수가 작아질수록 채널 용량은 커지지만, 1일 때에는 간섭이 커지므로 오히려 용량이 가장 적다. 육각형 셀구조에서는 4개의 셀마다 같은 반송파 주파수를 사용하는 것이 최적이다[1].

### 3. 변복조기

좁은 주파수 대역에 많은 양의 데이터를 작은 출력 전력으로 오류없이 전송하는 것이 효율적인 전송시스템이다. 그러나 이런 요소들 사이에는 서로 trade-off가 있어서 꼭 필요한 조건을 만족시키고 중요하지 않은 조건은 희생하는 것이 보통이다. 이동 통신에서 사용하는 주파수 대역은 매우 한정되어 있고, 단말기의 배터리 사용시간을 고려할 때 출력 전력은 작아야 한다. 특히 많은 사용자가 지원되어야 하므로 변복조기는 스펙트럼 효율(spectrum efficiency)이 좋은 방식을 사용해야 한다.

Shannon-Hartley 정리로부터 대역폭-효율 평면을 그릴 수 있다[7]. BER이  $10^{-5}$ 일때, FSK 계열의 변복조기는 대역폭보다 작은 전송율로 데이터를 전송할 수 있고 필요한  $E_b/N_0$  즉 출력 전력은 약 10 dB정도 이면 된다. 반면에 PSK 계열의 경우는 대역폭보다 큰 전송율로 전송할 수 있고 약 12 dB 이상의 출력 전력이 필요하다. 예를들어 CT-2와 DECT는 채널의 대역폭보다 데이터의 전송율이 작으므로 GMSK 방식의 변복조기를 사용하지만, PACS나 PHS, IS-54(DAMPS)와 같은 경우는 데이터의 전송율이 대역폭보다 더 크고 따라서 QPSK 계열의 변복조기를 채용한다.

같은 변조 방식을 사용해도 복조하는 방법에 따라 효율이 달라지기도 하고[8], 이동 통신 환경에서의

변복조기의 성능은 AWGN 환경에서의 성능과 다른 점이 있다[9]. 주요 PCS 시스템에서 사용되는 QPSK 계열의 변복조기에 있어서 복조된 신호의 비트 오류율을  $10^{-3}$ 이라고 할때, QPSK는 약 6.7 dB의  $E_b/N_o$ 가 필요하다[8]. 이밖에 저역통과필터를 롤-오프 값도 성능에 영향을 미친다[9].

4. 채널 코딩과 인터리빙

PCS로 제안된 무선접속 방식들중 대부분이 채널 코딩을 수용하고 있다. TDMA 방식은 주로 CRC(cyclic redundancy check)를 사용하여 수신된 데이터 중에 오류 비트가 있는지 알아내고, 있는 경우에 데이터의 재전송을 요구하는 등의 조치를 취한다. 이에 반해 CDMA 방식들은 콘볼루션 부호를 많이 사용하는데, 그 이유는 채널 비트 전송율이 커지지 않기 때문이다. 즉, 강력한 채널 코딩을 사용하게 되면 전송하려는 데이터보다 훨씬 많은 양의 부호화된 데이터를 보내야 하는데, CDMA의 경우는 PN 부호를 사용하여 채널 비트 전송율을 열배이상 높여 놓았으므로 전송율 증가의 부담이 없이 부호 이득(coding gain)을 얻을 수 있다. 그러나 이동 통신 환경은 AWGN와 다르게 페이딩 현상이 있으므로 버스트 오류(burst error, 즉, 오류 비트가 분산되어 있는 것이 아니고 몰려서 발생한다.)가 발생하므로 이것을 분산시켜서 오류 정정이 가능하도록 인터리버를 사용한다. 그리고 인터리버의 크기는 깊은 페이딩(-10dB이하의 감쇄)이 발생하는 기간에 관계된다[10, 11]. 또한 오류비트가 너무 많이 발생하면 Viterbi 복호기로 복호했을때 더 많은 오류비트가 생성된다[12].

표 1. 콘볼루션 부호의 이득[7, 13].

rate	K	교정가능 비트수, t	부호이득 (BER = 10E-3, AWGN, soft decision)
1/2	7	4	3.8 dB
1/2	9	5	4.5 dB
1/3	9	8	4.8 dB

5. 다이버시티

두개이상의 서로 상관없이 없는(uncorrelated) 페이딩 신호들을 조합하여 수신하는 것을 다이버시티라 하고[14], 다이버시티를 채용하지 않을 때보다 2가지의 다이버시티를 채용할때, BER이  $10^{-3}$ 에서 10dB정도

의 이득이 있고, 다이버시티 수가 증가할수록 S/I는 약간씩 좋아진다[1]. 또한 CDMA 방식에서 사용되는 RAKE 수신기의 경우 경로 다이버시티의 일종으로, 성능은 전파의 경로 특성에 따라 크게 달라진다[15, 16].

6. 전력 제어

전력 제어는 순방향 링크의 경우에는 임의의 위치에 있는 이동국에 수신할 수 있는 최소한의 전력을 송신하여 동일 셀내에 있거나 동일 채널을 사용하는 인접 셀내에 있는 다른 사용자에게 끼치는 간섭 또는 잡음을 최소화하기 위한 것이다. 즉, 기지국의 송신 전력을 줄이는 만큼 셀안이나 인접 셀에서의 간섭이 감소하므로 주파수의 재사용이 가능하다. 또한 역방향 링크의 경우는 단말기가 송신하는 전력을 기지국에서 수신할 수 있는 최소한으로 함으로써 인접 셀의 기지국에 끼치는 간섭을 줄이게 된다. 특히 CDMA의 경우는 셀안의 모든 단말기로부터 송신된 신호의 전력이 같은 크기로 수신되도록 되어야 채널 용량이 최대가 되고 시스템이 안정되게 동작한다. 만약 하나의 단말기로부터 수신된 신호의 전력이 다른 것보다 훨씬 크다면 기지국에서는 그 하나의 단말기를 제외한 다른 단말기의 신호는 수신이 불가능할수도 있다.

전력 제어는 사용자 자신의 S/N에도 관계가 되지만, 자신의 신호가 다른 사용자에게는 간섭이나 잡음이 되므로 전체적으로 미치는 영향을 분석해야 한다. 모든 셀이 같은 반송파 주파수를 사용하는 CDMA 시스템에서 전파거리에 따른 감쇄만을 고려하면 셀내의 사용자수를 M이라할 때, 셀 경계에서의 C/I는 식(9)와 같다[17].

$$C/I = \frac{1}{3.3 M - 1} \tag{9}$$

그러나 전력 제어가 이상적으로 되었을때는 셀 경계에서의 C/I가 1/1.66M으로 증가한다. CDMA방식의

표 2. CDMA 시스템의 시뮬레이션 파라미터의 변동에 따른 용량의 감소

parameter	ideal case [18]	test value	capacity change
voice activity use	37.5%	50%	-30%
path loss	4	3	-20%
multipath fading	No	Yes	-45%
HO margin	0dB	6dB	-40%
power control error	0dB	1dB	-35%

표준을 기준으로 하여 분석한 결과[18]와 비교할때, 시스템의 파라미터의 변동에 따른 채널 용량의 변화는 표 2와 같이 매우 크다[19].

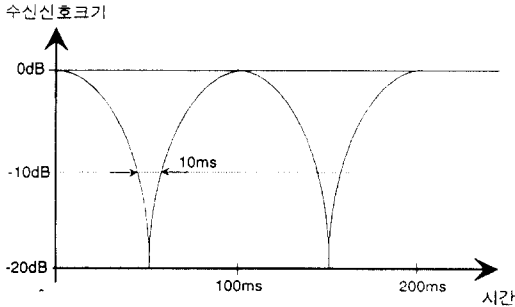


그림 1. 가장한 short term 페이딩 특성

### III. 각 방식별 채널 용량 분석

#### 1. PCS 환경에 적합한 무선 채널 모델

먼저 PCS의 환경에 맞는 일반적인 채널의 특성을 가정한다. 이것은 가능한 여러가지의 경우중에 하나가 될 수 있다.

- (1) PCS에 사용되는 반송파의 주파수는 2GHz이고 파장  $\lambda$ 는 15cm이다.
- (2) 보행자용이라고 한다면 이동속도  $V$ 는 2m/sec (7.2km/hr)이다.
- (3) 신호의 평균값의 크기가 -10dB이하로 떨어지는 빈도의 평균값은 식(10)과 같다[17].

$$\bar{n} = 0.75 \left( \frac{V}{\lambda} \right) = 10 \text{ crossings/sec} \quad (10)$$

- (4) 페이딩의 평균 기간은 식(11)와 같다.

$$t = 0.132 \left( \frac{\lambda}{V} \right) \cong 10 \text{ msec} \quad (11)$$

- (5) 다중 전파 경로 현상때문에 생기는 지연 퍼짐 (delay spread)은 옥내에서 10-50nsec이고, 옥외에서는 0.1-5  $\mu$ sec이다[1].
- (6) 주파수 영역에서 채널의 평탄한 대역폭의 적도인 coherent 대역폭은 옥내에서 3MHz, 옥외에서 100kHz이다.
- (7) 다중 경로의 수는 지연 퍼짐의 두배의 기간동안 2-3개가 있다.

- (8) PCS의 경우 안테나의 높이가 낮고 설치 비용이 저렴해야 하므로 섹터 안테나를 사용하지 않는다.
- (9) 통화중 화자가 말하는 시간은 50%이다.
- (10) 페이딩 특성은 그림 1과 같다.
- (11) 전파전파 감쇄지수  $\alpha$ 는 4이다.

#### 2. PCS 환경에서의 채널용량 계산

(1) CDMA 방식에 대한 일반적인 채널 용량 계산식을 유도하기 위한 신호대 잡음비는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C/N &= S/N = C/(N_{AWGN} + I) \\ &= \frac{C}{C_{AWGN} \cdot C + \{(M-1)C + C_{CI} \cdot M \cdot C\} P_{err} \cdot \nu} \\ &= \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{req} \cdot \frac{R}{W} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서  $C$ 는 신호의 반송파 전력이고,  $N$ 은 잡음 전력,  $S$ 는 신호 전력,  $N_{AWGN}$ 은 AWGN 잡음 전력,  $I$ 는 간섭 신호의 전력,  $C_{AWGN}$ 은 한 사용자의 신호 전력에 대한 AWGN 전력의 크기를 나타내는 계수,  $M$ 은 시스템의 채널수,  $C_{CI} \cdot M \cdot C$ 는 인접 셀들에서 오는 간섭 신호 전력의 총량,  $P_{err}$ 은 전력 제어의 오차에 의한 간섭의 증가율,  $\nu$ 는 음성 발생율,  $(E_b/N_o)_{req}$ 는  $10^{-3}$ 의 BER을 유지하기 위해 최소로 요구되는 비트 에너지대 잡음 전력 밀도,  $R$ 은 채널 부호화이전의 신호의 비트 전송율,  $W$ 는 전송 대역폭이다.

식 (12)를  $M$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$M = \left[ \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{req}^{-1} \cdot \frac{W}{R} \cdot C_{AWGN} / (P_{err} \cdot \nu) + 1 \right] / (1 + C_{CI}) \quad (13)$$

만약  $M \gg 1$ 이라면,

$$M = \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{req}^{-1} \cdot \frac{W}{R} \cdot C_{AWGN} / (P_{err} \cdot \nu \cdot (C_{CI} + 1)) \quad (14)$$

이고,  $C_{AWGN} = 0$ ,  $P_{err} = 1$ 이고 전력 제어 오차와 AWGN을 무시하면 식 (15)와 같이 기존에 제시된 수식과 동일한 것이된다. 그러나 사용자가 많게 되면 상대적으로 잡음의 영향은 작겠지만 전력 제어의 오차는 경우에 따라 상당히 큰 용량 감소를 야기하므로 무시할 수 없다.

$$M = \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{req}^{-1} \cdot \frac{W}{R} \cdot 1/\nu \cdot 1/C_{CI} \quad (15)$$

전파 경로 감쇄를 최적으로 보상했을 때의  $C_{CI}$ 는 [17]에 의해  $0.6 \times (M-1)/M$ 이고, 이때 페이딩에 의한 감쇄 보상과 전력 제어 지연 시간, 최소 전력 제어 단계에 의한 오차는  $P_{err}$ 에 해당한다. 그밖에 채널 부호화 이득이나 다이버시티 이득, 변복조기의 성능은  $(E_b/N_o)_{req}$ 에 영향을 미친다. 또한 핸드 오프도 무선 링크의 성능에 영향을 끼치지만 그 알고리즘에 따라 신호량이 증가하는 등의 복잡한 요소들이 있으므로 신호량과 핸드 오프는 용량 분석에서 제외한다.

예를들어 다음과 같은 CDMA 시스템에 대해 용량을 분석한다.

- 음성 신호 비트율 : 9.6kbps
- PN chip rate : 1.25Mcps
- 콘블루션 부호기 :  $K = 9, r = 1/3$
- 인터리버 :  $32 \times 18 : 20\text{msec}$
- 변조기 : OQPSK
- 전력 제어 : 폐회로 전력 제어 : 1bit/1.25msec,  $\pm 0.5\text{dB step}$   
개회로 전력 제어 : 총 다이내믹 범위(dynamic range) 85dB/수  $\mu\text{sec}$
- FDD

전파 경로 감쇄와 long-term 페이딩은 개회로 전력 제어의 속도와 다이내믹 범위가 충분히 보상 가능하므로 short-term 페이딩에 의한 신호의 감쇄가 문제가 된다. 왜냐하면 FDD(frequency division duplexing) 방법을 사용하는데 순방향 링크와 역방향 링크의 주파수 차이가 동기 대역폭(coherence bandwidth)을 초과하므로 링크간의 특성을 reciprocity가 없으므로 순방향 링크와 역방향 링크의 short-term 페딩이 다르다. 따라서 short-term 페딩은 폐회로 전력 제어로 깊은 페딩 구간 10msec의 중간인 5msec에서 2dB의 보상이 가능하다. 변복조기로는 OQPSK를 사용하므로 동기 복조를 해야하고 BER이  $10^{-3}$ 일때 요구되는  $E_b/N_o$ 는 6.7dB이다. 인터리버는 잘 동작한다고 가정하면 [10]에 의해 총 후보화 이득은 5.2dB이고 RAKE 수신기와 안테나 다이버시티 등의 다이버시티 이득은 12dB이라고 가정한다. 이때 항상  $10^{-3}$ 의 BER을 위한 요구되는  $E_b/N_o$ 를 계산하는 mobile system equation은 다음과 같다.

$$(E_b/N_o)_{req} = 20 - 12 - 2 + 6.7 - 5.2 = 7.5\text{dB} = 5.62 \quad (16)$$

2.5MHz의 서비스 대역폭에서 AWGN의 전력을 무시하고, 식 (13)에 대입하면 하나의 셀에서 채널 용량은 다음과 같다.

$$M = \frac{(5.62^{-1} \cdot \frac{1.25 \times 10^6}{9.6 \times 10^3}) / (1.5 \cdot 0.5) + 1}{1 + 0.6} = 19.9 \quad (17)$$

(2) TDMA의 경우는 육각형의 셀모형을 사용할때 채널 용량을 식 (18)로 표시할 수 있다[2].

$$M = N \cdot \{3 \cdot (6 \cdot C/I)^{-1/2}\}_{\alpha=4} = \frac{N}{\sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{C}{I}\right)_{req}}} \quad (18)$$

여기서 N은 주파수 재사용 이전의 총 채널수(반송파수  $\times$  반송파당 time slot수)이고 M은 한 셀에서의 채널수를 말한다.

다음과 같은 규격의 TDMA시스템에 대해 용량을 분석한다.

- 음성 신호 비트율 : 32kbps
- 반송파 대역폭 : 300kHz
- 채널 전송 비트율 : 400kbps
- time slot 수 : 8개
- 변조기 :  $\pi/4\text{DQPSK}$
- 전력 조절 : 폐회로 전력 조절 : 1bit/2.5msec,  $\pm 3\text{dB/step}$   
다이내믹 범위 30dB
- 2가지 안테나 다이버시티
- FDD

[9]에 의하면 AWGN을 무시할 수 있을때  $10^{-3}$ 의 BER을 얻으려면 C/I는 약 30dB가 필요로 되지만, 다이버시티나 전력 제어를 고려하지 않았다. 위의 TDMA 시스템에서는 전력 제어의 속도가 너무 느려 페이딩에 대한 보상이 되지 않으므로 안테나 다이버시티 이득을 고려하여 요구되는 C/I가 약 20dB라고 하면, 30MHz의 서비스 대역폭에 대해 하나의 셀내에서 사용자 수는 식(19)와 같다.

$$M = \frac{\frac{15 \times 10^6}{300 \times 10^3} \cdot 8}{\sqrt{\frac{2}{3} \cdot 10^2}} = 50 \quad (19)$$

지금까지 계산한 수식들은 채널 용량 계산을 위한

정성적인 분석을 목적으로 한 것으로, 2장에서 언급한 요소들이 어떻게 영향을 미치는지를 보이고 있다.  $10^{-3}$ 의 BER을 목표로 분석하였지만 실제로는 90%의 시간동안  $10^{-3}$ 의 BER을 목표로 한다면 용량이 훨씬 늘어날 것이다.

#### IV. 결 론

이상에서 무선 접속 방식의 채널 용량에 관계된 요소들과 그 영향에 대해 분석하였고 독자적인 방법으로 각 방식에 대한 용량을 계산하였다. 여기서 참고한 문헌들의 경우도 대부분 많은 요소들을 무시하고 몇 가지의 요소만을 고려하거나 특정 방식에 대한 분석만을 하였기 때문에 이 자료를 이용하여 용량을 정량적으로 분석하기는 어렵다. 각 방식별로 용량을 합리적으로 분석하기 위해서는, 먼저 채널에 대한 정의가 이루어져야 한다. 즉, 사업의 대상이 되는 옥외나 옥내, 또는 간단하거나 복잡한 구조물에 대해 채널 특성을 통계적으로 정한후, 무선 접속 방식을 정확히 모델링하여 용량에 대한 시뮬레이션을 수행해야 한다. 그 결과로 용량에 대한 통계적인 특성을 구할 수 있다. 즉, 각 방식별로 평균 사용자 수와 분산을 구하는 것이 합리적이다. CDMA의 경우는 평균 사용자 수가 TDMA보다 클 것으로 예상되지만 분산 역시 클 것이므로, TDMA보다는 불안정한 시스템이 될 것으로 예측된다.

#### 참 고 문 헌

1. "Advantages of CDMA & SS over FDMA, TDMA in cellular," P. W. Baier, and A. Steil, IEEE Tr. Vehic. Tech., vol. 42, no. 3, pp. 357-364, Aug. 1993.
2. Mobile communications design fundamentals, W. C. Y. Lee, Wiley, 2nd Ed., 1993, ch. 10.
3. "Microcells in personal communications systems," G. Vannucci, IEEE Comm. Mag., pp. 76-88, Dec. 1992.
4. "Experimental evaluation of space/frequency/polarization diversity in the indoor wireless channel," H. M. Hafez, IEEE Tr. Vehic. Tech., vol. 40, no. 3, pp. 569-574, Aug. 1991.
5. Mobile cellular telecommunications systems, W. C. Y. Lee, McGraw-Hill, 1990, ch. 2.
6. CDMA system engineering training handbook, Qualcomm, ver. X1, ch. 3.
7. Digital communications : Fundamentals and applications, B. Sklar, Prentice-Hall, 1988, ch. 7, 9.
8. Digital communications : satellite/earth station engineering, K. Feher, Prentice-Hall, 1983, ch. 3, 4.
9. "Performance of non-coherent  $\pi/4$  QPSK in a frequency selective fast Rayleigh fading channel," C. L. Liu and K. Feher, Proc. IEEE Int. Conf. Comm., pp. 1369-1373, 1990.
10. "Combined orthogonal/convolutional coding for a digital cellular CDMA system," D. D. Falconer, Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., pp. 63-66, 1992.
11. "Performance of convolutional codes with interleaving in the interference limited Rayleigh fading channel," L. F. Chang, Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., pp. 812-816, 1991.
12. "Analysis on bit-error characteristics of channel codec in digital mobile communications systems," Y. Shoji, Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., pp. 17-22, 1991.
13. "Overview of Qualcomm's spread spectrum CDMA for digital cellular systems," J. S. Lee, 개인통신 기술세미나 자료, 한국통신, pp. 77-98, 1993.
14. "Experimental evaluation of space/frequency/polarization diversity in the indoor wireless channel," H. M. Hafez, IEEE Tr. Veh. Tech. vol. 40, no. 3, pp. 569-574, Aug. 1991.
15. "Performance of a CDMA radio communications system with feedback power control and multipath dispersion," S. Ariyavisitakul, Proc. IEEE Globecom, pp. 1017-1021, 1991.
16. "나경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 적용한 CDMA 시스템의 성능 분석," 강창언, 전자공학회논문지, 31권, A권, 4호, pp. 370-378, 1994년 4월.
17. "Overview of cellular CDMA," W. C. Y. Lee, IEEE Tr. Veh. Tech., vol. 40, no. 2, pp. 291-302, May 1991.
18. "On the capacity of a cellular CDMA system," A. J. Viterbi, IEEE Tr. Veh. Tech., vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
19. "A comparison of CDMA and TDMA systems," J. K. Uglund, Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., pp. 732-735, 1992.





오 종 택

- 
- 1963년 11월 4일생
  - 1993년 12월 ~ 현재 : 한국통신 연구개발원 무선통신 개발단 선임연구원
  - 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 및 학위취득
  - 1987년 3월 ~ 1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정 및 학위취득
  - 1986년 3월 ~ 1987년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사과정
  - 1982년 3월 ~ 1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 학사과정 및 학위취득