

## 스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 이용한 망구축과 그 효용성

김영만, 박동민, 이정도, 임종민  
(주)지티엔티 143-837 서울시 광진구 군자동 27-2 GT&T 빌딩

### Building the Wireless Networks by Smart Sector System Passive Model(SCPM) and the Utility

Yeongman Kim, Dongmin Park, Jeongdo Lee, Jongmin Lim  
GT&T CO.,LTD, GT&T B/D #27-2, Gunja-Dong, Gwanjin-Gu, Seoul, Korea. 143-837

**Abstract** - 본 논문에서는 CDMA 이동통신 망에서 기존의 전통적인 섹터 분할 방식의 섹터간 traffic 불균형 현상에 따른 채널 자원의 비효율적 운용의 문제점 원인을 분석하고, 그 원인을 해소하기 위해 설계 고안된 스마트 섹터 시스템 수동형 모델의 소개, 설치 기법 그리고 이를 기지국에 적용하여 셀 내의 채널 자원 활용 효율이 개선된 결과를 소개하고자 한다.

### 1. 서론

CDMA 시스템은 이동통신 방식이 간섭 제한 시스템이기에 때문에 채널간의 간섭을 줄이는 작업이 셀 채널 용량을 최대화 시키는 중요한 요소이므로 간섭 최소화를 위해 섹터 분할 및 전력 제어 기술을 적용하여 사용하고 있다는 것은 잘 알려진 사실이다[1]. 그 중 모델 성능과 무선 자원 관리(Radio Resource Management; Power control, Handover, Admission control, Load control 등) 알고리즘 기술은 지속적인 연구 개발을 통하여 FA 당 채널용량이 서비스 초창기 대비 4배 가까이 증가된 단계에 이르렀다. 그러나 섹터 분할 기술 영역으로 검토되고 있는 스마트 섹터 안테나 기술은 몇 가지 방식으로 연구되고 있으나 이미 설치되어 서비스중인 기지국 시스템에 적용하기에는 구조적으로 뿐만 아니라 기술적으로 많은 제약이 존재하여 제한적인 스마트 섹터 안테나 기술만 적용하여 사용하고 있을 뿐이다.

본 논문에서 소개하고자하는 스마트 섹터 안테나 연구 결과는 (주)에스케이 텔레콤과 (주)지티엔티가 공동 개발한 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 - 고정 빔폭을 갖는 기존의 섹터 안테나를 대신하여 기지국의 송수신 조단(Front-End) 이후에 Air interface를 담당하는 장치로서 섹터별 RF 송수신 링크 신호를 각각 6개 경로로 동일한 전력으로 분배 후 장치당 4개 빔 패턴을 갖는 다중 빔 배열 안테나에 재배치하여 섹터당 빔폭을 최소 60도에서 180도까지 가변 사용할 수 있는 스마트 섹터 시스템 - 을 CDMA2000-1x 및 EV-DO 기지국에 적용 설치하여 운용하면서 분석되어진 것이다.

2장에서는 CDMA 방식에서 셀의 형태에 따른 채널용량의 변화 분석 방법, 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 소개, 설치 대상 국소 설정 방법 및 설치 기법, 설치 전후의 셀 채널 자원 활용 효율이 개선된 결과를 소개하고, 3장에서 결론을 맺는다.

### 2. 본론

#### 2.1 채널 용량 분석

##### 2.1.1 단일 셀 용량

단일 셀 환경에서는 각 사용자는 할당된 전체 스펙트럼을 사용한다. 역방향에서 셀이 동일한 Power

S를 수신하고 총 N명의 사용자가 있다고 가정하면, 에러확률  $E_b/N_o$ 는 다음과 같다[2].

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o} &= \frac{S/R}{NF \cdot N_i + [\alpha(1+f) \cdot (N-1)S] / W} \\ &= \frac{PG \cdot S}{NF \cdot BW \cdot N_i + \alpha(1+f) \cdot (N-1)S} \quad (1) \end{aligned}$$

여기서,  $NF$ : 단말기 수신 잡음지수,  $PG$ : 확산이득,  $BW$ : CDMA 대역폭,  $R$ : 음성의 부호화율,  $f$ : (인접셀로 부터의 잡음)/(자기셀 잡음),  $\alpha$ : Voice Activity,  $N$ : 사용자 수,  $S$ : 이동국으로 부터 수신되는 기지국 신호의 세기,  $N_i$ : 열잡음 밀도.

식 (1)로 부터 단일 셀 환경에서 사용자 수를 정리하면 다음과 같다.

$$N = \frac{PG}{\alpha(E_b/N_o) \cdot (1+f)} + 1 - \frac{NF \cdot N_i + BW}{\alpha(1+f)S} \quad (2)$$

##### 2.1.2 3-Sector 용량

통신 사용자수를 늘리기 위해서 간섭의 양을 줄여야 하며, 간섭을 줄이기 위해서는 셀을 섹터화 하고, 음성 활동을 감시하여 음성이 없을 때는 전송을 하지 않는 방법을 사용한다.

CDMA 시스템에서 셀 안테나의 방사 패턴을 조정함으로써 얻어지는 셀 분할 이득은 일반적으로 분할 수와 안테나 다이버시티 정도에 따라 증가하고 인접 안테나 방사 패턴이 겹치는 정도에 따라 감소한다. 한 셀을 3개의 섹터로 분할할 때, 각 섹터의 간섭은 한 셀 간섭의 1/3이므로 그에 따라 용량이 3배 증가한다. 그러면 위의 (1)식에서  $(N-1)$  대신  $(N-1)/3$  을 적용하면 용량이 거의 3배가 되나 안테나 패턴이 서로 겹치고, 상호 섹터간 간섭에 의하여 섹터화로 인한 용량증가는 2.55배(섹터화 효율=85%) 정도를 고려한다[3].

통신중 한쪽 섹터로 traffic이 편중되는 섹터간 호의 불균형을 나타내는 정도를 Q-factor로 표현한다. 이를 표현하면 다음과 같다.

$$Q\text{-factor} = \frac{\text{min.traffic} + \text{mid.traffic}}{\text{max.traffic}} \quad (3)$$

##### 2.1.3 Pole Capacity

Pole Capacity는 이상적인 전력제어 및 열잡음이 존재하지 않는 셀 환경에서 이론적인 역방향 최대 용량을 나타내며, 현장에서의 현실적인 수치와 보상은 Loading Factor로 보정한다.

Pole Capacity의 경우 식(2)에서 열잡음  $N_i$ 항을 무시하면 단일 셀에서의 최대 사용자는 다음과 같다.

$$N_{\max} = \frac{PG}{\alpha(E_b/N_o) \cdot (1+f)} + 1 \quad (4)$$

열잡음을 고려한 실질적인 최대통화용량과 Pole Capacity와의 상관관계는 다음과 같다.

$$N = \mu \times N_{\max} \quad (5)$$

여기서,  $\mu$  : Loading Factor 이다[3].

$$\mu = \frac{N}{N_{\max}} \cong \frac{(I_{co} + I_o)}{(I_{co} + I_o) + N_o} \quad (6)$$

여기서,  $I_{co}$ : 인접 셀로부터의 잡음,  $I_o$ : 셀 내에서의 잡음,  $N_o$ : 대역내 열잡음 + 수신 잡음 지수.

Loading factor=0.5이하인 경우 단말기로부터 기지국에 도달하는 신호에 섞여있는 잡음의 양이 열잡음에 의한 배경 잡음 보다 작으며, 0.6 - 0.7은 통화량 증가에 따른 단말기 잡음레벨이 급격히 증가하므로 경제적인 기지국 망 설치하는 경우 보통 0.6 - 0.7 이전에 Loading factor를 선정하여 설계한다. 그림1은 Pole capacity 대비 부하율 증가에 따른 기지국 수신 잡음 레벨 변화 그래프이다. 만일 임의의 기지국에서 섹터간 traffic 불균형 현상에 따른 특정 섹터에 호가 집중될 경우 Loading factor의 증가에 따른 기지국 채널 자원의 비효율적 운용의 원인이 된다.

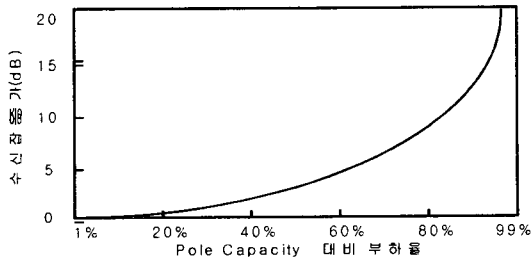


그림 1. Pole capacity 대비 부하율 증가에 따른 기지국 수신 잡음 레벨 변화.

### 2.1.4 Erlang Capacity

Erlang Capacity는 CDMA 시스템에서 요구되는 서비스 품질을 만족시키면서 수용할 수 있는 통계적인 통화용량이다. 1 Erlang은 1시간에 60통화가 발생하였고 1통화당 평균 1분씩 사용한 경우이다[4]. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Erlang = \frac{(1-r)(BW/R) \cdot F(B, \sigma)}{\alpha(1+\eta)(E_b/N_o)} \quad (7)$$

$r$  : 배경잡음밀도/최대허용잡음밀도,  $\sigma$  : 전력제어 표준편차,  $B = (E_b/N_o)[Q^{-1}(P_{block})]^2 / (BW/R)(1-r)$ .

$$F(B, \sigma) = (1/\beta)[1 + (\beta^2 B)/2 \cdot (1 + \sqrt{1 + 4/(\beta^3 B)})]$$

$$\beta = \exp(\gamma^2 \sigma^2 / 2), \quad \gamma = 0.2303.$$

기지국 설계시 기준이 되는 최대 열량(Max. Erlang)은 다음과 같다.

$$Max. Erlang = Usage Erlang + Remain Erlang \quad (8)$$

### 2.2 스마트 섹터 시스템 수동형 모델의 주요 기능 및 구조

스마트 섹터 시스템 수동형 모델은 800MHz 셀룰러 서비스 송수신 주파수 대역에 사용하기 위해 설계된 RF송신 신호의 Air Interface장치로서 섹터별로 균등한 통화량 및 채널 자원 활용을 구현하기 위해 기지국의 송수신 RF신호에 대한 다중 빔 성형 기능과 가변 섹터 빔의 합성 기능 그리고 양방향 Angle Diversity 기능을 갖추고 있다. 이러한 기능을 수행하기 스마트 섹터 시스템 수동형 모델은 3개의 모듈로 구성되어 있다.

첫째는 다중빔 안테나 모듈(MBAM)으로서 기지국과 이동국 사이에 무선 채널 구간의 Air Interface를 제공하는 역할을 수행하며 빔 성형기와 30도 빔 폭을 갖는 4개의 2차원 배열 안테나로 이루어져 있다. 빔 성형기는 부엽 레벨을 줄이기 위해 Expanded Butler Matrix 기법을 적용하였으며, 2차원 배열 안테나는 고출력 전력을 수용하기 위하여 Dual Ground Pannel 형태로 제작하였다. 3섹터를 구성하기 위하여 MBAM 3대가 필요하다.

둘째로 옥외 모듈(SCPM\_OM)로서 가변 섹터 빔을 합성하고 분배하는 역할을 수행하며, 섹터 빔 스위치 및 합성기로 이루어져 있다.

마지막으로 옥내형 모듈(SCPM\_IM)은 옥외형 모듈의 전원 공급기능과 상태감시 및 제어 기능을 수행하며, 섹터의 빔 폭을 원격 제어로 조절이 가능하도록 지원한다. 그림 2는 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 구조이다.

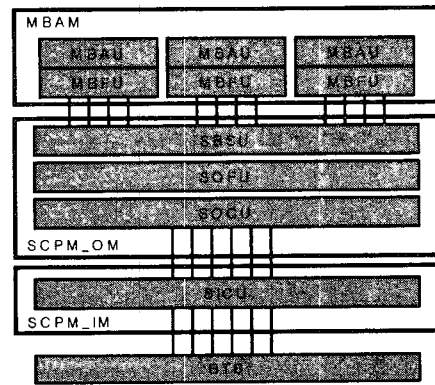


그림 2. 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 구조.

### 2.3 설치대상 국소 선정 및 설치 지침

#### 2.3.1 설치대상 국소 선정

스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 설치하는데 있어서 가장 중요한 요소는 Q-factor와 섹터로딩이다. 호 분산정도를 나타내는 Q-factor가 국소 선정에 있어서 주요 Parameter이다. 최대사용자 대비 현재사용자를 나타내는 섹터로딩 값을 고려하여 FA증설을 주도하는 국소를 스마트 섹터 시스템 수동형 모델의 적용 기준으로 설정할 필요가 있다[5].

이에 따라 국소 선정 기준은 크게 다음 4 가지로 설정할 수 있다.

- Q-factor 값이 1.0 미만인 국소
- FA 권역별 Traffic이 상위 10% 이내인 국소
- 기지국 전체 Traffic 대비 중계기 Traffic이 30% 이내인 국소
- 적용 후 동일한 셀 커버리지 유지가 가능한 국소

이러한 국소들을 대상으로 섹터별 효과적인 호 분산이 되도록 가변수평 빔 패턴을 갖는 섹터 빔을 형

성시키는 것이 스마트 섹터 시스템 수동형 모델의 설치 목적이다.

2.3.2 설치 절차 및 지침

앞의 내용과 같이 선정된 국소에 대해서는 NMS Data 분석, 기지국 현장 실사, DM Test 등의 사전 조사를 통해 시스템 설치에 필수적인 내용을 파악하게 된다.

NMS Data의 분석은 착/발신 총 시도호, Traffic Erlang, Q-factor, 소통률 및 Call Drop을 등의 항목을 산출하여 개선 및 유지를 요망하는 항목과 그 필요값을 도출해 낸다. 이러한 NMS Data 항목들은 스마트 섹터 시스템 수동형 모델의 설치 전/후 개선점을 비교하는 중요한 Parameter가 된다.

DM Test는 현장 최적화 유지를 위한 시험으로서 전용 DM장비를 통해 Dominant PN, 송수신 전력, Handover 변수 등의 데이터를 시스템 설치 전/후로 분석하여 현장이 최적화 된 상태로 유지되었는지를 판단하기 위하여 실시한다. 아래 그림3은 설치공사의 진행 순서를 흐름도로 나타낸 것이다.

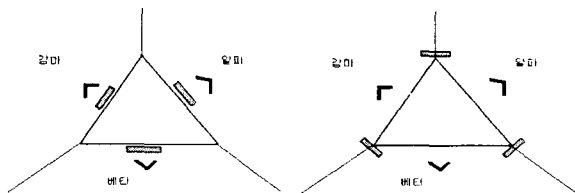


(주간 공사) (야간 공사)  
그림3. 시스템 설치공사 흐름도.

2.3.3 스마트 섹터 수동형 시스템 설치 시 주의사항

- 국소 선정 및 실사 시 중계기 위치 및 수량 파악 (중계기의 수량이 다수인 국소에서 원활한 호 분산을 위해 중계기의 모국 섹터를 변경해야 하는 경우가 발생하는데 이 경우 발주처의 동의를 얻어 적절한 섹터로 모국을 변경하여 최적화를 진행)
- 전원선 종류 선택 시, 전압 강하가 3V 미만이 되도록 선택
- 급전선 절체나 포설 시 마감처리 중요
- 안테나의 설치위치 선정 고려 (기존 안테나의 설치 방향에서 60°만큼 각도변화 필요 - 그림4 참조)

안테나 설치방향의 개념도는 그림4와 같다.



(기존 안테나의 지향 방향) (스마트 섹터 안테나의 지향 방향)  
그림4. 안테나 설치방향 개념도.

2.4 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 설치 후 용량 개선 효과 분석

본 시험 데이터는 CDMA2000-1x 기지국인 안산 본오 기지국에서 직접 측정된 데이터 값이다.

그림 5는 스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 설치 전 3 Sector의 각각의 Erlang 값을 보여준다. 가장 호가 많은 저녁 8시를 기준으로 한 경우, 알파 섹터 Erlang =28, 베타 섹터 Erlang =30, 감마 섹터 Erlang =59이다. 3섹터 총 Erlang=117이며, 이때 traffic 편중 정도를 나타내는 Q factor=0.98이다.

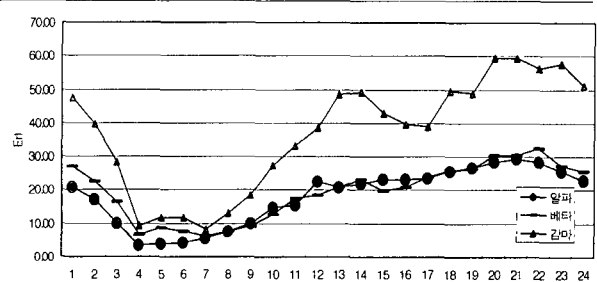


그림 5. 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 설치전 섹터간 호의 분산율(SKT 소통률 Data).

그림 6은 스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 설치 후 3 Sector의 각각의 Erlang 값을 보여준다. 가장 호가 많은 저녁 7시를 기준으로 한 경우, 알파 섹터 Erlang =41, 베타 섹터 Erlang =50, 감마 섹터 Erlang =58이 측정 되었다. 3섹터 총 Erlang=149이며, 이때 Q-factor=1.57이다.

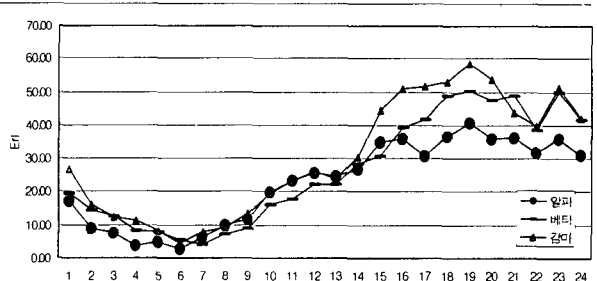


그림 6. 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 설치후 섹터간 호의 분산율(SKT 소통률 Data).

그림 7은 스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 설치전 3 Sector 전체의 Q-factor 값을 보여준다. 24시간을 기준으로 모든 섹터의 총 통화시도량=109,074 일 때 Q-factor의 평균값은 0.99이다.

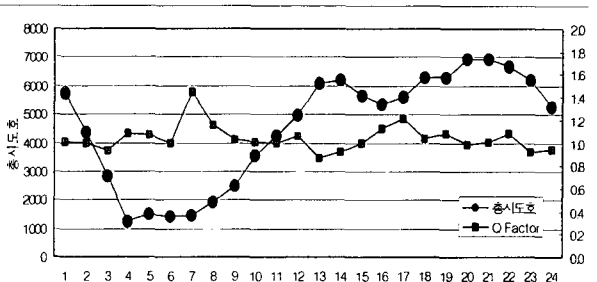


그림 7. 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 설치전 총시도호와 Q-factor(SKT 소통률 Data).

그림 8은 스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 설치후 3 Sector 전체의 Q-factor 값을 보여준다. 24시간을 기준으로 모든 섹터의 총 통화시도량=108,970일 때 Q-factor의 평균값은 1.63이다.

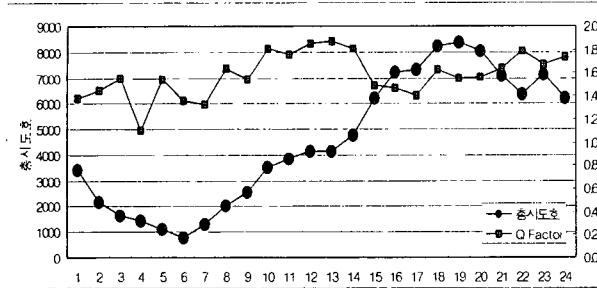


그림 8. 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 설치후 총시도량과 Q-factor(SKT 소통률 Data).

표 1은 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 적용 전 Usage Erlang과 적용 후 Usage Erlang을 비교한 결과이다. 본오 국소를 기준으로 하는 경우 적용 전 Usage Erlang은 95.68이고, 적용 후 Usage Erlang은 73.92를 갖는다. 이를 식(8)을 이용하여 분석하면 추가로 가용 가능한 Remain Usage Erlang이 21.76 만큼 확보됨을 알 수 있다. 이는 곧 21.76 Erlang에 해당하는 FA수 만큼 증설을 대체하는 효과를 갖는 것을 의미한다.

표 1. 국소별 Usage Erlang(SKT 소통률 Data)

| 국소명 | 적용 전 Usage Erl. | 적용 후 Usage Erl. | Remain Usage Erl. | 용량증대율(%) |
|-----|-----------------|-----------------|-------------------|----------|
| 본오  | 95.68           | 73.92           | 21.76             | 22.74    |
| 죽도  | 39.38           | 26.58           | 12.80             | 32.50    |
| 원평  | 73.46           | 46.00           | 27.46             | 37.38    |
| 사파  | 63.06           | 42.02           | 21.04             | 33.37    |
| 팔용  | 53.80           | 42.34           | 11.46             | 21.30    |

표 2는 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 적용 전/후 Handover 성공률을 보여준다.

표 2. Handover Statistic(DM 시험 결과)

| Item          | 적용 전(%) | 적용 후(%) |
|---------------|---------|---------|
| Idle          | 0       | 0       |
| No H/O        | 0       | 0       |
| Softer        | 98      | 100     |
| Soft          | 100     | 100     |
| Soft & Softer | 98      | 100     |
| 4Way          | 100     | 100     |
| 5Way          | 50      | 50      |

표 3은 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 적용 전/

후 Coverage 상태를 보여준다.

표 3. Coverage Statistic(DM 시험 결과)

| Item     | 적용 전(%) | 적용 후(%) |
|----------|---------|---------|
| Ec/Io    | 99.15   | 99.95   |
| Tx Power | 100.00  | 100.00  |
| Rx Power | 100.00  | 100.00  |
| FER      | 95.76   | 95.42   |
| FWD      | 96.97   | 98.71   |
| REV      | 100.00  | 100.00  |
| Good     | 96.37   | 97.68   |

표 2와 표 3의 DM 시험 결과에서 알 수 있듯이 스마트 섹터 시스템 수동형 모델 적용 후에도 적용 전과 거의 동등한 셀 환경(Handover 성능 및 Coverage 성능)을 유지하고 있음을 확인 할 수 있었다.

### 3. 결 론

기지국에서 통화 채널을 추가하기 위해서는 Soft Blocking이 발생하지 않을 정도의 최소 통화 채널을 실장하는 기지국 설계를 하고 있다. 그러나 기존의 전통적인 섹터 분할 방식으로는 섹터 간 traffic 불균형 현상을 해소 할 수 없어 기지국 채널 자원을 충분히 활용하지 못하는 문제점을 안고 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 섹터 간 traffic 불균형 현상을 해소하기 위해 스마트 섹터 시스템 수동형 모델을 CDMA2000-1x 기지국에 적용한 결과 적용 전과 후의 셀 환경(Handover 성능 및 Coverage 성능)이 동등한 수준을 유지하면서도 평균적으로 약 30% 정도의 용량증대 효과를 얻을 수 있었다. 본 논문을 통해 알 수 있듯이 스마트 섹터 시스템 수동형 모델은 이미 설치되어 서비스중인 IS-95A/B기지국, CDMA2000-1x 및 EV-DO기지국의 형상에 대한 변형을 거의 가하지 않고도 섹터 간 traffic 불균형 현상을 해소할 수 있는 가장 효과적인 스마트 안테나 시스템이라고 할 수 있겠다.

### [참 고 문 헌]

[1] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications", IEEE Press, 1996.  
 [2] K.S. Gilhousen et al, "On the Capacity of a Cellular CDMA System.", IEEE Trans. on Vehicular Tech. vol. VT-40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.  
 [3] Joseph C. Liberti, Jr. et al, "Analytical Results for Capacity Improvements in CDMA ", IEEE Trans. on Vehicular Tech. vol. 43 no. 3, pp.680-691, Aug. 1994.  
 [4] Jhong Sam Lee et al. "CDMA Systems Engineering Handbook". Artech House Press, 1998.  
 [5] Ayman F. Nagubi et al, "Capacity Improvement with Base-Station Antenna Arrays in Cellular CDMA." IEEE Trans. on Vehicular Tech. vol. 43 no. 3 pp.691-698, Aug. 1994.