DBpia

안테나 어레이와 유선 Relay Station을 활용한 셀룰러 시스템의 전송 용량 분석

준회원 김 유 신*, 종신회원 성 원 진*

Transmission Capacity Analysis for Cellular Systems Using Antenna Arrays and Wireline Relay Stations

Yusin Kim* ***Associate Member***, Wonjin Sung* ***Lifelong Member***

요 약

유선 Relay Station (RS)은 셀룰러 시스템의 기지국 (Base Station; BS)과 Radio-over-Fiber (RoF) 형태로 연결되어 시스템의 용량을 증대시키고 음영 지역을 축소시키는 역할을 수행할 수 있다. 무선 멀티홉 시스템과는 달리 별도의 대역으로 BS와 RS 간 신호 전송을 함에 따라, 주파수 재사용으로 인한 간섭의 영향을 크게 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 RS를 활용하는 셀룰러 시스템에서 안테나 어레이를 부가적으로 사용하는 경우 전송 용량 측면에서의 이득을 산출하고, 셀 내에 배치하는 안테나 어레이의 구성에 따른 성능 변화를 분석한다. 특히 성능 향상을 최대화하는 RS 위치의 선정, 주어진 안테나 원소 개수에 따른 배치 형태 결정, 안테나 원소의 개수 증가에 따른 성능 이득을 실험적으로 평가함으로써, 유선 RS와 안테나 어레이의 통합 활용 방안을 제시한다.

Key Words : Antenna array, Relay station, Throughput, Cellular capacity, Beamforming

ABSTRACT

Wireline relay stations (RS's) are connected to cellular base stations (BS's) via radio-over-fiber (RoF) to enhance system capacity and to reduce shadow areas. Unlike wireless multi-hop systems, BS-to-RS signaling is transmitted out-of-band, thus reducing the effect of interference caused by frequency reuse. In this paper, antenna arrays used in addition to the wireline RS's are considered to evaluate the transmission capacity gain and performance variations according to the array structures. In particular, RS locations to maximize the gain, array distribution patterns for a given number of antenna elements, performance enhancement for a varying number of elements are experimentally determined to suggest a proper utilization of antenna arrays in conjunction with wireline RS's.

Ⅰ. 서 론

셀룰러 시스템의 전송 효율 및 서비스 품질 향상을 위해 유선 및 무선 RS를 활용하는 방안에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다[1]. 무선 RS를 활용하는 멀티 홉 시스템의 경우, BS와 무선 자원을 부분적으로 공유하는 다수 개의 무선 RS를 사용함으로써, BS만 존재하는 기존의 셀룰러 시스템보다 축소된 전송 영역으로 인해 송신 전력을 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한 RS와 단말 간의 전송 거리 단축을 통해 경로 손실을 감소시켜 데이터의 고속 전송이 가능하게 하여, 셀룰러 시스템의 전송 용

* 서강대학교 전자공학과 디지털전송연구실 (wsung@sogang.ac.kr)
논문번호 : KICS2007-04-191, 접수일자 : 2007년 4월 26일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 16일

www.dbpia.co.kr

량을 증가시키는 장점이 있다[2],[3]. 반면 한정된 무선 자원을 BS와 RS들이 분할 또는 재사용을 통해 공유하므로 주파수 효율 향상이 제한적으로 발생하고, BS와 RS간의 RF 신호 컨버젼을 위해 시스템 복잡도가 증가하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 통신 시스템 내에 단말이 밀집되어 있거나 데이터 요구량이 큰 경우, 별도의 BS와 RS간의 무선 자원 및 RF 신호 컨버젼이 필요 없는 유선 RS를 활용함으로써 무선 자원의 효율적 사용이 가능하다. 유선 RS를 활용하는 시스템과 관련된 연구 동향은 참고문헌 [4]-[6]에 기술되어 있다. 유선 RS 송신기에 빔포밍(beamforming)을 위한 안테나 어레이[7]-[9]를 적용하는 경우, SINR (Signal-to- Interference and Noise Ratio)의 증가를 통한 추가적인 시스템 전송 용량 향상이 가능하다.

본 논문에서는 셀룰러 시스템에서 유선 RS 사용 시의 전송 용량 성능 이득을 산출하고, 셀 내의 BS와 RS에 안테나 어레이를 사용한 빔포밍 적용 시, 전송 용량 측면에서 효과적인 안테나 분산 배치 형태 및 RS 위치를 선정한다. 특히 사용하는 안테나 원소의 개수가 고정되어 있는 경우 적절한 BS 및 RS의 다중 안테나 배치 형태를 제시하고, 사용하는 안테나 원소 수 증가에 따른 전송 용량 증가 폭을 산출한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 본 논문의 실험 환경 및 용량 산출 방식을 기술한다. III 장에서는 유선 RS 시스템에 안테나 어레이 적용 시 안테나 원소 개수를 고정, 즉 안테나 복잡도를 고정한 경우 전송 용량 향상을 위한 효과적인 안테나 분산 배치 형태 및 RS 위치를 제시한다. IV 장에서는 안테나 원소 개수의 증가에 따른 전송 용량 변화를 산출하고, V 장에서는 실험 및 분석 결과를 바탕으로 결론을 맺는다.

Ⅱ. 실험 환경 및 용량 산출 방식

2.1 셀 구성 및 전송 환경

본 논문에서 고려하는 셀룰러 시스템은 그림 1과 같이 BS와 3개의 유선 RS가 방사형으로 배치된 셀 구조를 갖는다. 그림에서 R_{RS}는 셀 중심으로부터 RS까지의 거리를 나타낸다. 그림 2는 III장의 실험에서 사용하는 다중 안테나 원소 수 M에 따른 안테나 어레이를 보여준다. 각 송신기는 정삼각형 형태의 구조를 사용함으로써 전 방향에 대한 빔포밍이 가능하다. 전송 용량 산출을 위한 실험에서는 그림 3과 같이 육각 셀을 중심으로 그 주위에 간섭원으로 작용하는 6개의 인접 셀이 존재하는 다중 셀 환경에서 하향 링크 송신을 고려하며, 실험에 사용된 주요 전송 파라미터는 다음과 같다.

- 반송파 주파수: 2.3 GHz
- 시스템 대역폭: 10 MHz
- 송신 전력: 20 W (≅ 43 dBm)
- 경로 손실 모델: Lee 모델[11]
- 채널: Static single-path 채널
- 주파수 재사용 계수: 1

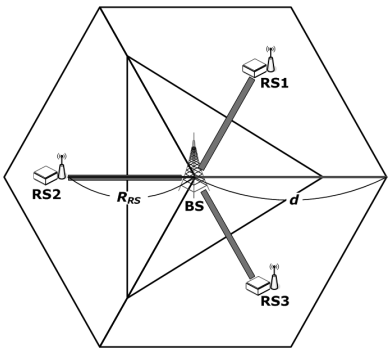


그림 1. BS 및 3개의 유선 RS가 존재하는 셀 구성도

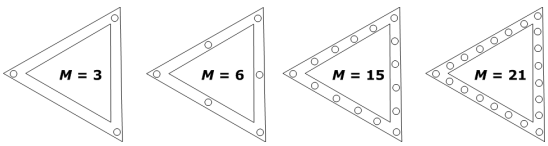


그림 2. 실험에 사용하는 안테나 어레이 (M = 3, 6, 15, 21)

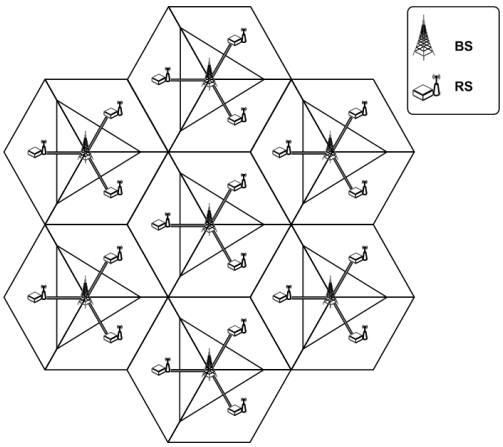


그림 3. 유선 RS가 존재하는 다중 셀 환경

빔포밍을 적용하기 위한 실험의 기본적인 가정은 다음과 같다. 셀 내에서 BS 및 3개의 RS 전송 영역은 그림 1과 같이 지리적으로 가까운 위치에 의해

www.dbpia.co.kr

분할되고, 각 전송 영역에서 uniform한 형태로 각각 한 개의 단말에게 reuse 1의 형태로 전체 대역폭을 할당하여 전송한다. BS 및 3개의 RS는 해당 영역에 속하는 단말의 정확한 위치 정보를 바탕으로 송신 빔포밍을 수행한다. 이 경우의 셀 전체 전송 용량과, 셀 내에 N의 단말이 균일하게 분포하여 존재할 경우의 단말 당 평균 전송 용량의 산출 방식은 다음과 같다.

2.2 전송 용량 산출

시스템 전송 용량을 산출하기 위한 수식은 capacity formula를 사용한다[12].

$$\eta_j = W log_2(1+\Gamma_j) \tag{1}$$

인덱스 j = 0은 BS, j = 1, 2, 3은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 RS를 의미한다. W는 단말의 사용 대역폭이고, Γ_j는 j번째 송신기에 의한 단말의 수신 SINR이다. 이 때, 단말의 수신 SINR은 다음 식과 같이 수신 신호 전력 대비 간섭과 잡음 전력 합의 비율로서 유도된다.

$$\Gamma_j = \frac{P_j/L_j}{\sum_{i=0, i\neq j}^{J} P_i/L_i + \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{J} P_i^{(k)}/L_i^{(k)} + N_0 W} \tag{2}$$

수식 (2)에서 P_j는 j번째 송신기의 송신 전력이고 L_j는 j번째 송신기와 연결된 단말의 경로 손실이며, 그림 1의 셀 구성의 경우 J = 3이다. 또한 k = 1, 2, …, K (K = 6)는 인접 셀 인덱스이다. 식 (2)에서 분자 P_j/L_j는 수신 신호 전력이고, 분모 항들은 간섭 전력들의 합이다. 분모 부분의 세 개 항 중 첫 번째 항은 셀 내 타 송신기로부터의 간섭 전력이고, 두 번째 항은 인접 셀 간섭 전력이며, N_0W는 잡음 전력이다. 셀 전송 용량은 $\eta = \eta_0 + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3$이며, 셀 형태의 대칭성으로 인해 평균 전송 용량은 $\overline{\eta_1} = \overline{\eta_2} = \overline{\eta_3}$을 만족하므로, 셀 전체의 평균 전송 용량은

$$\overline{\eta} = \overline{\eta_0} + 3\overline{\eta_1} \tag{3}$$

으로 표현된다. 셀 내에 총 N개의 단말이 균일하게 분포로 발생할 때, 각 송신 영역에서 발생된 단말 수의 평균 값 N_j는

$$N_j = \frac{S_j}{S} N \tag{4}$$

이며, 이 때 S는 셀 전체 면적이고, S_j는 j번째 송신기의 전송 영역 면적이다. 전체 시스템 대역폭 W를 N_j개의 단말에게 동일한 크기로 할당하는 경우, 단말 별 할당 대역폭은 W/N_j이므로 j번째 송신기 영역에서 단말 당 평균 전송 용량 $\overline{\eta_j}'$은

$$\overline{\eta_j}' = \overline{\eta_j}/N_j \tag{5}$$

이다. 셀 전체에서의 단말 당 평균 전송 용량 $\overline{\eta}'$은 $\overline{\eta_j}'$에 각 영역의 해당 면적을 고려한 가중 평균으로 구한다.

$$\begin{aligned}\overline{\eta}' &= \left(\frac{S_0}{S}\right)\overline{\eta}'_0 + 3\left(\frac{S_1}{S}\right)\overline{\eta}'_1 \\ &= \frac{1}{N}(\overline{\eta_0} + 3\overline{\eta_1}) = \frac{1}{N}\overline{\eta}\end{aligned} \tag{6}$$

따라서 식 (3)에서 구한 셀 전송 용량을 총 단말 수로 나누면, 셀 내에서 균일하게 분포하는 단말들의 단말 당 평균 전송 용량을 산출할 수 있다. 성능 비교를 위해, BS만 존재하는 셀룰러 시스템의 전송 용량과의 비교를 수행하며, BS 및 3개의 RS에 안테나 어레이 적용 시와 미적용 시의 전송 용량 비교하여 성능 이득을 제시한다. 구체적인 실험 과정은 다음과 같다.

1) BS 및 각 RS 영역에서 균일한 분포로 한 개의 단말을 발생
2) BS 및 RS는 자신에게 속한 단말에게 송신 신호를 빔포밍하여 전송
3) 식 (2)를 통해 단말의 수신 SINR 산출
4) 단말의 수신 SINR을 이용하여 셀 및 단말 당 전송 용량 산출
5) 위 과정을 반복 수행하여 평균 전송 용량 산출

Ⅲ. 안테나 배치 형태에 따른 전송 용량

본 장에서는 셀룰러 시스템에 BS만 존재하는 경우, 유선 RS를 추가 설치하는 경우, 또한 안테나 어레이를 적용하는 각각의 경우에 대해 전송 용량을 산출하고 성능을 비교하고 분석한다. 특히 셀 내에서 전체 안테나 원소 수 M_{cell}을 고정하였을 때, 전송 용량 향상을 위한 효과적인 안테나 어레이의 분산 배치 형태 및 RS 위치를 결정한다.

www.dbpia.co.kr

3.1 유선 RS가 존재하는 셀룰러 시스템

BS 외에 추가로 3개의 유선 RS가 존재하는 셀룰러 시스템의 전송 용량은 RS의 위치 (R_{RS})에 따라 변화한다. 그림 4는 R_{RS} 변화에 따른 셀 전송 용량을 나타낸다. 전송 용량이 최대가 되는 RS의 위치는 R_{RS} = 0.56d인 경우이며 (d는 육각 셀 원점에서 셀 경계까지의 최대 거리를 의미), 이때 셀 전송 용량은 표 1에 표시된 바와 같이 RS 미사용 경우 대비 3배 이상의 증가 폭을 갖는다. 참고로 BS와 각 RS가 동일하게 전송 영역 (각각 셀 전체의 25%)을 갖기 위한 RS의 위치는 R_{RS} = 0.71d일 때이다. R_{RS} = 0.56d인 경우의 평균 전송 용량을 $\bar{\eta}_{0.56d}$으로 표시하고, 안테나 어레이 활용 시 성능 향상 정도를 평가하기 위한 기준 값으로 사용한다.

표 1. 시스템 전송 용량. (단위: [bps/Hz])

시스템 전송 용량	$\bar{\eta}_0$	$\bar{\eta}_1$	$\bar{\eta}$	$\frac{\bar{\eta}}{\bar{\eta}_{0.56d}}$
RS 미사용	.	.	3.30	0.32
RS 사용 (R_{RS}=0.56d)	3.05	2.47	10.46	1.00

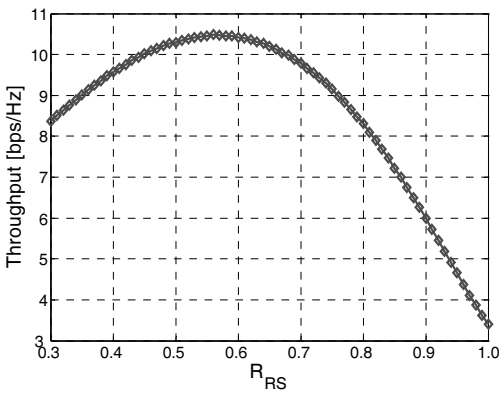


그림 4. R_{RS}의 변화에 따른 평균 전송 용량 $\bar{\eta}$

3.2 유선 RS 및 안테나 어레이를 활용한 셀룰러 시스템

셀 내에서 사용하는 전체 안테나 원소 수가 정해졌을 때, BS 또는 RS로 분산 배치하는 형태에 따라 평균 전송량의 변화가 발생하며, 본 절에서는 M_{cell} = 24인 경우 최적의 분산 배치 형태를 실험적으로 결정한다. 정삼각형 형태의 안테나 어레이 사용 시 BS 및 RS에서 안테나 원소의 개수는 3의 배수이며, 표 2와 같이 A, B, C의 세 가지 형태의 안테나 원소의 분산 배치가 가능하다. 구조 A의 경우 안테나 원소를 BS와 RS에 균등하게 배치한 형태이고, 구조 B의 경우 RS보다 BS에 원소 배치 비중을 증가시킨 경우이며, 구조 C는 BS에 원소를 집중 배치한 형태이다. 표에서 M_0와 M_1은 각각 BS와 한 개의 RS에서 사용

표 2. 안테나 원소 배치 형태 (M_{cell} = 24)

	M_0	M_1	M_{cell} (=M_0+3M_1)
구조 A	6	6	24
구조 B	15	3	24
구조 C	21	1	24

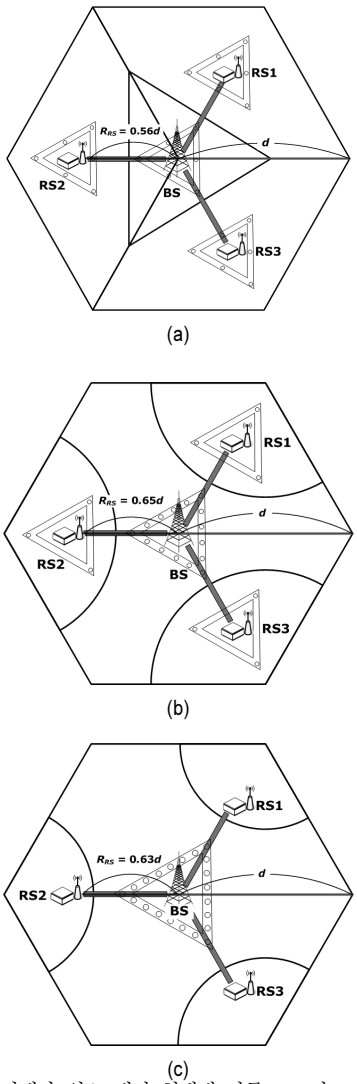


그림 5. 안테나 원소 배치 형태에 따른 BS 및 RS 전송 영역: (a) 구조 A, (b) 구조 B, (c) 구조 C

www.dbpia.co.kr

하는 안테나 원소 개수이며, 안테나 원소의 분산 배치 형태에 따른 각 송신기의 전송 영역 및 RS의 위치는 그림 5에 표시된 바와 같다. 안테나 어레이를 활용하는 경우에도 셀 전송 용량은 R_{RS}의 크기에 따라 변화하며, 구조 A, B, C 경우에 대한 최적의 R_{RS}는 각각 0.56d, 0.65d, 0.63d로 변화된다.

그림 6은 안테나 원소 배치 형태에 따른 단말의 수신 SINR CDF를 도시한 것이며, 셀 전송 용량은 표 3에 요약되어 있다. 구조 A, B, C의 평균 SINR은 안테나 어레이 미적용 시 대비 6.51, 6.90, 5.78dB의 이득을 보이며, 구조 B가 평균 SINR 측면에서 가장 우수하다. 구조 A의 경우, BS와 RS에 다중 안테나를 균등하게 분산 배치하였으며, 이때 셀 전송 용량은 어레이 미적용 시 대비 약 66% 향상되었다. 구조 B의 경우, RS보다 BS에 다수의 원소를 배치하여 BS의 송신 전력 이득이 증가하고 최적 RS 위치는 기존의 0.56d 보다 외부인 0.65d로 이동한 것을 확인할 수 있으며, 안테나 어레이 미적용 시 대비 약 70% 향상된 전송 용량을 가진다. 구조 C 구조의 경우, BS에 다중 안테나 원소를 집중 배치하여 BS의 송신 전력 이득이 RS에 비해 크게 증가하며 RS 영역은 빔포밍을 수행하지 않는 경우이다. 평균 전송 용량 향상 폭은 세 가지 분산 배치 형태 중 가장 작은 약 57% 이다.

Ⅳ. 안테나 원소 개수 변화에 따른 전송 용량

안테나 어레이를 구성하고 있는 원소 수는 시스템의 복잡도 및 비용을 결정하는 중요한 요소이다. 본 절에서는 셀 내의 총 원소 수를 변화시킴에 따라 얻어지는 셀 평균 전송 용량을 제시하고, 특히 어레이

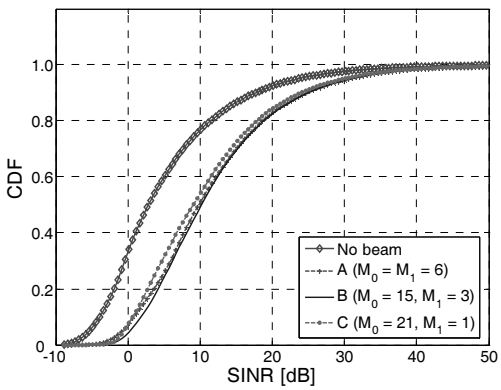


그림 6. 안테나 원소 배치 형태에 따른 SINR CDF

표 3. 안테나 원소 배치 형태에 따른 평균 전송 용량.
(단위: [bps/Hz])

	$\overline{\eta_0}$	$\overline{\eta_1}$	$\overline{\eta}$	$\frac{\overline{\eta}}{\overline{\eta_{0.56d}}}$
어레이 미적용 $\eta_{0.56d}$	3.05	2.47	10.46	1.00
구조 A (M_0=M_1=6, M_{cell}=24) R_{RS} = 0.56d	4.94	4.15	17.35	1.66
구조 B (M_0=15, M_1=3, M_{cell}=24) R_{RS} = 0.65d	3.54	4.74	17.73	1.70
구조 C (M_0=21, M_1=1, M_{cell}=24) R_{RS} = 0.63d	3.37	4.37	16.47	1.57

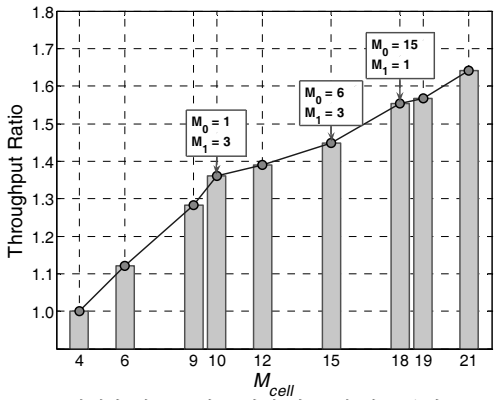


그림 7. 안테나 원소 수의 증가에 따른 셀 전송 용량

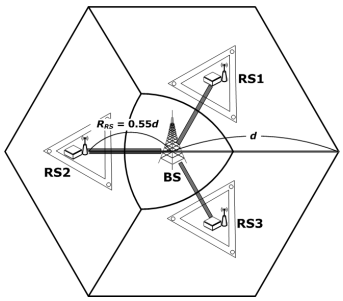
미적용 시 대비 30%, 40%, 50% 이상 용량을 향상시키기 위한 최소 복잡도의 안테나 어레이 구조와 RS 위치를 결정한다.

표 4는 총 원소 수를 4에서 21까지 증가시키는 경우 BS 및 RS에 할당된 원소 수, 셀 전송 용량 및 어레이 미적용 시와의 비교, 최적 RS 위치를 실험적으로 결정하여 요약한 표이다. 표에서 관찰할 수 있듯이, 동일 원소 개수를 사용하는 경우에도 전송률의 변화가 있을 수 있으며, 원소 개수의 증가에 따라 용량 증가가 발생하는 경향을 보이나, 그렇지 않은 반례도 존재한다. 예를 들면, M_0=18, M_1=1 (M_{cell}=21)인 경우의 평균 용량은 M_0=1, M_1=6 (M_{cell}=19)인 경우의 평균 용량보다 작다. 그림 7은 안테나 원소 수 증가에 따른 셀 전송 용량의 증가를 도시한 것이며, 각 원소의 개수 M_{cell} 당 최적의 성능을 나타내는 구성에 대해 기준값 $\overline{\eta}_{0.56d}$ 대비 용량 증가비를 표시하였다. 어레이 미적용 시 대비 각각 30%, 40%, 50% 이상

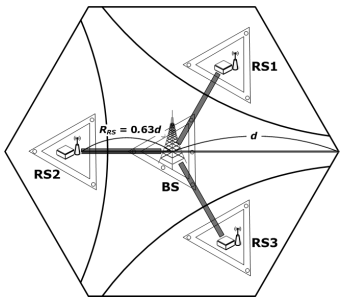
www.dbpia.co.kr

향상시키기 위한 최소 안테나 원소 수는 M_{cell}이 각각 10, 15, 18인 경우이며, 이들 경우에 대한 안테나 어레이 배치는 그림 8에 나타내어져 있다.

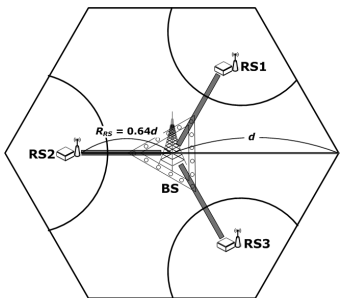
그림 8(a)의 구조 3은 각 RS에 안테나 원소 3개를 사용하고 BS는 안테나 어레이를 적용하지 않은 경우이며, RS들을 R_{RS} = 0.55d에 위치시켜 BS의 커버리지가 비교적 작은 구조이다. 전송 용량을 40% 이상 향상시키기 위한 최적의 안테나 어레이 배치 구조는 그림 8(b)의 구조 5이며, BS는 안테나 원소 6개, RS는 원소 3개씩을 사용하고 R_{RS} = 0.63d에 위치시킨다. 전송 용량 50% 이상 향상을 위해서는 그림 8(c)의 구조 6이며, BS와 각 RS에서 사용하는 원소 개수는 15와 1로써 BS의 커버리지가 큰 경우이며 R_{RS} = 0.64d이다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. 안테나 배치 구조에 따른 BS 및 RS 전송 영역: (a) 구조 3, (b) 구조 5, (c) 구조 6

Ⅵ. 결 론

표 4. 안테나 배치 구조에 따른 셀 평균 전송 용량.
(단위: [bps/Hz])

	M_{cell} (= M_0 + 3M_1)	M_0	M_1	$\bar{\eta}$	$\frac{\bar{\eta}}{\bar{\eta}_{0.56d}}$	R_{RS}
어레이 미적용 $\eta_{0.56d}$	4	1	1	10.46	1.00	0.56d
구조 1	6	3	1	11.72	1.12	0.63d
구조 2	9	6	1	13.42	1.28	0.64d
구조 3	10	1	3	14.24	1.36	0.55d
구조 4	12	9	1	14.41	1.38	0.64d
		3	3	14.54	1.39	0.58d
구조 5	15	12	1	15.09	1.44	0.65d
		6	3	15.15	1.45	0.63d
구조 6	18	9	3	15.65	1.50	0.64d
		15	1	16.25	1.55	0.66d
구조 7	19	1	6	16.40	1.57	0.64d
구조 8	21	18	1	16.11	1.54	0.64d
		12	3	17.10	1.63	0.65d
		3	6	17.16	1.64	0.55d

본 논문에서는 유선 RS를 활용하는 셀룰러 시스템에서, 안테나 어레이를 각 전송기에 추가적으로 활용하는 경우 전송 용량 측면에서의 성능 이득을 다양한 셀 구성 형태에 대해 평가하였다. 셀 내에서 안테나 어레이의 총 개수를 고정하는 경우, BS와 RS에서의 분산 배치 형태에 따라 전송 용량의 변화가 있으며, 용량을 최대로 하는 구성이 반드시 BS와 RS의 원소 개수를 동일한 수로 배치함으로써 얻어지지는 않음을 확인하였다. 또한 안테나 원소의 총 개수를 증가시킴에 따라 성능의 계속적인 향상이 이루어지며, 원소 수 18인 경우 어레이를 사용하지 않는 경우 즉 원소 수 4인 경우 대비 약 55%의 용량 이득이 얻어진다. 본 분석은 평균 용량 측면만을 고려하여 수행한 것으로써, 각 커버리지에 존재하는 수신기 별 전송 용량의 공정성을 고려한 분석은 추후 연구 주제이다.

참 고 문 헌

〔1〕 R. Pabst, B. H. Walke, D. C. Schultz, P. Herhold, H. Yanikomeroglu, S. Mukherjee, H. Viswanathan, M. Lott, W. Zirwas, M. Dohler, H. Aghvami, D. D. Falconer, and G. P. Fettweis, "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio,"

www.dbpia.co.kr

IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 9, pp. 80-89, Sept. 2004.

〔2〕 N. H. Dawod, I. D. Marsland, and R. H. M. Hafez, "Improved transmit null steering for MIMO-OFDM downlink with distributed base station antenna arrays," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 419-426, Mar. 2006.

〔3〕 A. So and B. Liang, "Effect of relaying on capacity improvement in wireless local area networks," in *Proc. IEEE WCNC2005*, vol. 3, pp. 1539-1544, Mar. 2005.

〔4〕 J. S. Wu, J. Wu, and H. W. Tsao, "A radio-over-fiber network for microcellular system application," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, no. 1, pp. 84-94, Feb. 1998.

〔5〕 H. Al-Raweshidy and S. Komaki, *Radio Over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks*. Norwood, MA: Artech House, 2002.

〔6〕 J. Fan, C. L. Lu, and L. G. Kazovsky, "Dynamic range requirements for microcellular personal communication systems using analog fiber-optic links," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 8, pp. 1390-1397, Aug. 1997.

〔7〕 S. Bellofiore, C. A. Balanis, J. Foutz, and A. S. Spanjas, "Smart-antenna systems for mobile communication networks, part 1: Overview and antenna design," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 44, no. 3, pp. 145-154, June 2002.

〔8〕 S. Bellofiore, C. A. Balanis, J. Foutz, and A. S. Spanjas, "Smart-antenna systems for mobile communication networks, part 2: Beamforming and network throughput," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 44, no. 4, pp. 106-114, Aug. 2002.

〔9〕 J. H. Winters, "Smart antennas for wireless systems," *IEEE Personal Commun.*, pp. 23-27, Feb. 1998.

〔10〕 Z. Lei, F. Chin, and Y.-C. Liang, "Orthogonal switched beams for downlink diversity transmission," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 53, no. 7, pp. 2169-2177, July 2005.

〔11〕 W. C. Y, Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*. New York: Wiley, 1993.

〔12〕 C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, pp. 379-423, 623-656, 1948.

김 유 신 (Yusin Kim) 준회원

2005년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사

2007년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사

<관심분야> 디지털통신, 전송기술, 모뎀 구현

성 원 진 (Wonjin Sung) 종신회원

1990년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사

1992년 5월 : University of Michigan (EECS) 석사

1995년 12월 : University of Michigan (EECS) 박사

1996년 1월~2000년 8월 : Hughes Network Systems사 책임연구원

2000년 9월~현재 : 서강대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 이동무선통신, 통계적통신이론, MIMO, 분산안테나시스템(DAS), 위성모뎀

www.dbpia.co.kr