

LTE 시스템에서 수직적 섹터구분 방식의 성능 분석 및 최적 빔 조합 도출

서 판 규*, 박 창 민*, 조 규 성**,
박 해 성**, 김 덕 경*

Performance Analysis and Optimum Beam Combination for Vertical Sectorization in LTE Systems

Pan-Kyu Suh*, Chang-Min Park*, Gyu Seong
Cho**, Haesung Park**, Duk Kyung Kim*

요 약

최근 능동 안테나의 발달로 수직적 섹터구분 기술이 적용된 LTE 시스템에서 다양한 빔 패턴을 사용하는 것이 가능하다. 본 논문에서는 시스템 레벨 시뮬레이터를 활용하여 시스템 성능을 분석하고, 최적 섹터 빔 조합 및 최적 파라미터를 제시한다.

Key Words : Active Array Antenna, Vertical Sectorization, System Level Simulator

ABSTRACT

Recently, owing to the development of active array antenna techniques, various sector beams can be applied to the LTE systems with vertical sectorization. In this paper, we evaluate the system performance and suggest an optimum beam combination and parameters by using a system level simulator

I. 서 론

최근 무선 통신 시스템의 발전과 스마트 기기의 보

급으로 인해 무선 데이터 수요는 지속적으로 증가하고 있고 이러한 추세는 앞으로도 계속 될 것으로 예상되고 있다. 이러한 무선 통신 시스템에서 가장 중요한 관심사 중 하나가 바로 효율적인 주파수 사용이다. 최근 들어 능동 안테나 기술 (AAS: Active Antenna System)의 발달로 비교적 자유로운 빔 형성이 가능해짐에 따라, 수직적 섹터구분 (Vertical Sectorization)을 적용하려는 시도가 이루어지고 있다^[1]. 이 기술은 보다 효율적인 주파수 사용이 가능하여 기존 기술과 비교하여 약 50%가량 주파수 효율을 증대할 수 있다^[1]. 하지만 두 개의 섹터 빔 간 간섭이 발생하여 성능 열화가 발생하므로 이를 최소화할 수 있는 최적의 빔 패턴을 사용하는 것이 매우 중요하다. 본 논문의 저자는 기존 3x1 섹터 시스템에서 다양한 빔 패턴을 통하여 향상된 성능을 도출하였다^[2]. 본 논문에서는 수직적 섹터분리 기술이 적용된 LTE 기반 시스템 레벨 시뮬레이터를 통해 다양한 빔 패턴 조합에 따른 성능을 분석한다. 이를 통해 최적의 빔 조합을 도출하여 수직적 섹터분리 기술의 최적화된 환경을 제시한다.

II. 수직적 섹터구분

수직적 섹터구분은 서로 다른 안테나 틸팅을 갖는 두 개의 섹터 빔을 통해 섹터가 수직적으로 나누어지며, 각각 안쪽 섹터와 바깥쪽 섹터라 부른다. 이 때, 안쪽 섹터와 바깥쪽 섹터의 전송 전력의 합은 기존 3x1 섹터분리 시스템에서의 전송 전력과 동일하며, 안쪽 섹터와 바깥쪽 섹터는 동일 대역폭을 재사용한다. 대역폭 재사용으로 인해 주파수 효율 [bps/Hz]의 증대를 기대 할 수 있지만, 안쪽 섹터와 바깥쪽 섹터 사이에 간섭이 발생하기 때문에 안쪽과 바깥쪽 섹터 빔 패턴 및 최적 틸팅에 따른 정확한 분석을 필요로 한다. 하지만 기존의 연구^[1]에 3GPP 기술집^[3]에서 제공하는 수직으로 된 빔 패턴을 이용함에 따라, 메인 로브의 방향과 사이드 로브 수준은 조절 가능하지만 사이드 로브를 모두 일정한 크기로 간주하기 때문에 수직적 섹터구분의 성능에 영향을 크게 미치는 섹터 간 간섭의 영향을 파악하는데 한계가 있다. 본 논문에서는 실제 안테나 기법에 따른 빔 패턴과 이를 개선할 수 있는 빔 패턴을 적용하여 그 영향을 분석하였다.

* 본 연구는 산업원천사업 (10041734)에 의해서 지원되어 수행되었으며, 인하대학교에 의해 지원되었음.

◆ First Author : 인하대학교 전자과 정보통신전공 무선통신 연구실, sapchu@nate.com, 학생회원

○ Corresponding Author : 인하대학교 정보통신공학과, kdk@inha.ac.kr 중신회원

* 인하대학교 전자과 정보통신전공 무선통신 연구실

** SK 텔레콤, 네트워크 연구원

논문번호 : KICS2013-12-555, Received December 31, 2013; Reviewed January 17, 2014; Accepted March 12, 2014

III. AAS 기반 안테나 패턴

본 논문에서는 4가지 안테나 패턴 (Uniform, Dolph, Nullfill, Coscant)을 사용하였다^[2]. 이 때, Uniform기법은 모든 안테나 소자에 동일한 송신 전력이 인가되는 가장 기본적인 방식이며, Dolph기법은 사이드로브 수준을 일정 수준 이하로 억제하는 방식이다. Nullfill기법은 안테나 패턴의 null을 채우도록 조절하는 방식을 나타내며, Coscant기법은 경로손실을 보상하여 거리에 따라 일정한 세기의 신호를 송신할 수 있는 방식이다. 본 논문에서는 ULA (Uniform Linear Array) 안테나 구조를 가정하며, 안테나 패턴 및 소자별 가중치는 다음 식과 같다.

$$AP(\theta) = EP(\theta) \times \sum_{n=1}^N W_n e^{jk(n-1)d\cos\theta} \quad (1)$$

이 때 AP와 EP는 안테나 어레이 패턴과 소자 패턴을 나타내고, W_n 은 각 소자에 가해지는 복소수 가중치이고, θ 는 방향을, d 는 소자 간 간격을 의미한다. 이 때 안테나 기법에 따라 각 소자의 가중치가 상이함에 따라 안테나 송신전력이 변경된다. 예를 들면 13개의 안테나 소자를 이용하는 AAS에서 사이드로브 레벨을 -20dB로 제한한 Dolph 패턴의 경우 표 1과 같은 가중치를 갖게 되어, 송신전력이 모두 1로 동일한 Uniform기법과 비교하여 약 1.1dB 가량 손실이 발생된다. 뿐만 아니라 다양한 안테나 패턴에 따라 안테나 빔폭과 안테나 이득이 바뀌게 된다. 따라서 안테나 기법에 따라 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)가 변경되는데 본 논문에서는 이를 반영하여 결과를 도출한다. 안테나 특성에 따른 EIRP는 다음과 같이 표현 가능하다. 이 때 P_t 는 송신기 입력전력을 나타내고 G_t 는 안테나 이득을 나타낸다. 본 논문에서 사용한 안테나패턴에 따른 EIRP 특성은 표 2에 나타난 것과 같다.

$$EIRP = P_t \times G_t \quad (2)$$

표 1. Dolph 기법의 소자별 가중치 (SLL = -20dB)
Table. 1. Element weighting for Dolph method (SLL = -20dB)

Weight Amp.	0.51	1.00	0.93	0.82	0.69	0.54	0.76	0.54	0.69	0.82	0.93	1.00	0.51
Weight Pha.	0.00	274.57	189.26	104.04	18.43	293.75	208.25	293.75	18.43	104.04	189.26	274.57	0

표 2. 안테나 패턴에 따른 EIRP 특성
Table. 2. EIRP for different antenna patterns

	Uniform	Dolph	Nullfill	Cosecant
P_t (dBm)	43	41.9	41.7	40.7
G_t (dBi)	16.1	15.9	15.8	14.8
EIRP Difference(dB)	0	-1.5	-1.6	-3.6

IV. 모의실험 결과

4.1 모의실험 환경

본 논문의 모의실험은 LTE 기반의 멀티 셀 환경을 기반으로 수행되었으며, 7개의 셀(1-tier)을 전체 영역 (1000m x 1200m)에 배치하였으며 각 셀은 수평(3) x 수직(2), 총 6개의 섹터로 이루어져있다. 안쪽섹터로의 간섭을 야기하는 바깥쪽 섹터 빔은 안쪽섹터로의 간섭이 가장 적은 Dolph 패턴만을 사용하였다.¹⁾ 안쪽 섹터와 바깥쪽 섹터의 틸팅 값은 각각 18°, 10°를 가정하였다^[1]. 시뮬레이션에서 사용한 파라미터는 표 3에 정리하였다.

4.2 시스템레벨 시뮬레이터를 활용한 성능 분석

4.2.1 신호 대 간섭비 (SINR) 확률 분포

그림 1은 안쪽 섹터의 빔 패턴에 따른 SINR의 누적분포함수 (CDF; Cumulative Distribution Function)를 나타낸다. 사용자의 위치에 상관없이 일정한 신호 세기로 수신할 수 있도록 조정된 Coscant 패턴을 사용한 경우 가장 좋은 성능을 나타내고 있다. 특히, 하위 5% 사용자 SINR의 경우 Dolph 패턴을 사용한 경

표 3. 모의실험 파라미터
Table. 3. Simulation Parameters

Parameter	Value
Bandwidth	10MHz
Scheduler	Proportional Fair
UE Distribution	Uniform (525 UEs in 1000m x 1200m area)
Path Loss Model	TR 36.942 (Urban)
ISD	500m
BS Height	32m
Transmission Mode	2 x 2 CLSM
Channel Model	PedB

1) 바깥쪽 섹터의 성능은 빔 패턴 변화에 대해 미미한 차이를 보이기 때문에 안쪽 섹터 성능만을 제시하고 있다.

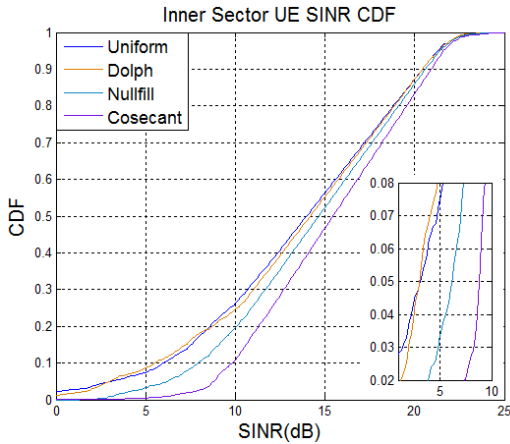


그림 1. 안쪽 섹터 사용자의 SINR 누적분포함수
Fig. 1. CDF of UE SINR in Inner Sector

우와 비교하여 약 6dB 가량 이득이 발생한다.

4.2.2 Outage 확률

표 4는 문턱값 (threshold)를 변경하면서 안쪽섹터의 Outage 확률을 안테나 패턴 조합에 따라 나타내고 있다. 이 때 Outage 확률은 전체 서비스 영역 대비 문턱값 이하의 SINR을 갖는 영역의 비율을 의미한다. 문턱값이 0dB인 경우 Outage 확률은 Dolph패턴에 대한 결과를 기준으로 전체 서비스 지역에 대하여 Nullfill 패턴을 사용한 경우 약 7.3% 가량 감소하고, Coscant 패턴을 사용한 경우 약 12.1% 가량 감소한다. 문턱값을 5dB, 10dB로 증가하는 경우 Outage 확률은 대체로 비슷한 경향을 갖는 다른 조합과 달리 Coscant 패턴을 사용한 경우 전체적으로 Outage 확률이 10% 이상 감소함을 관찰할 수 있다.

표 4. 안쪽 섹터의 Outage 확률
Table. 4. Outage Probability in Inner Sector (%)

Threshold(dB)	Uniform	Dolph	Nullfill	Cosecant
10	57.5	59.3	60	48.5
5	38.8	41.5	40.9	28
0	16.1	18.3	11	6.2

4.2.3 수율

안쪽 섹터에 다양한 안테나 패턴을 적용한 경우 안쪽 섹터, 바깥쪽 섹터 및 전체 셀 수율에 대한 결과가 표 5에 정리되어 있다. 안쪽 섹터 빔을 Coscant 패턴, 바깥쪽 섹터의 빔을 Dolph 패턴을 사용하는 경우 가장 좋은 성능을 나타낸다. 특히, 안쪽 섹터의 수율은

표 5. 다양한 안테나 패턴 조합 별 수율 비교
Table. 5 Throughput Comparison for various beam pattern combinations
(Uniform 패턴을 기준으로 한 이득을 %로 나타냄)

	Uniform	Dolph	Nullfill	Cosecant
Inner Sector THP	-	6.5%	8.5%	19.7%
Outer Sector THP	-	8.2%	9.6%	9.6%
Sum THP	-	7.3%	9.0%	14.7%

Cosecant 빔패턴을 이용함에 따라 Dolph 빔패턴에 비해 약 12.5% 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 수직적 섹터구분을 적용한 LTE 기반 시스템 레벨 시뮬레이터에 다양한 빔을 적용하여 SINR, outage 확률, 수율 측면에서 성능 분석을 수행하였다. 수직적 섹터 구분 시스템에서는 안쪽 섹터는 전체 서비스 영역에 고른 성능의 서비스를 제공할 수 있는 Coscant 패턴을, 바깥쪽 섹터는 이웃 섹터로의 간섭이 적은 Dolph 패턴을 섹터 빔으로 사용한 경우가 최적의 조합으로 나타났다. 이러한 조합이 안쪽과 바깥쪽 섹터 모두에 Dolph 패턴을 적용한 경우와 비교하여도 전체 수율 합이 약 6.8% 가량 증가하였다. 또한 SINR의 CDF 및 outage 확률 측면에서도 상당한 개선 효과가 있었다.

References

- [1] O. Yilmaz, et. al., "System level analysis of vertical sectorization for 3GPP LTE," in *Proc. IEEE ISWCS*, pp. 453-457, Tuscany, Italy, Oct. 2009.
- [2] P. K. Suh, D. Y. Kwon, and D. K. Kim, "Performance analysis for various beam pattern with system level simulator," in *Proc. KICS Conf. Commun. 2013*, pp. 56-57, Seoul, Korea, Nov. 2013.
- [3] 3GPP Technical Report 36.814 V9.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects, Mar. 2010.