

WCDMA 역방향 빔포밍 구조 및 성능 시뮬레이션

이재식, 박영근, 장태규, *김재화
중앙대학교 전자전기공학부,*(주)삼성전자
전화 : 02-820-5318

WCDMA Rreverse Link Beamforming Structure and its Performance Simulation

Jae-Sik Lee, Young-Keun Park, Tae-Gyu Chang, Jae-Hwa Kim
School of Electrics and Elctronics Engineering, Chung-Ang University.
E-mail : tgchang@cau.ac.kr

Abstract

This paper presents a beamforming algorithm for the uplink application of a linear array antenna for WCDMA system. A steering beamforming algorithm is designed using a block DFT algorithm and its performance is analyzed and verified using computer simulations. Various environmental parameters such as the number of antenna elements, the number of users, the mobility of the target user, and the status of fast power control are reflected in the simulation study providing themselves as useful design and implementation guides for the reverse link beamforming of WCDMA system.

I. 서론

기지국에 어레이 안테나를 이용하여 빔포밍 기술을 적용하는 것은 사용자들의 공간적인 분포 상태에 따라 전파를 지향적으로 수신함으로써 전력 효율의 증대는 물론, 불필요한 간섭을 줄여 궁극적으로 기지국의 수용 범위 및 가입자 용량을 늘리는 유효한 방법으로 제한된 주파수 채널 용량 하에서 가입자 수를 증대시키는 효과를 준다[1][2]. 빔포밍 알고리즘을 적용하기 위해서는 수신안테나 구조를 어레이 안테나로 변경해야하므로 설치비용이 큰 비중을 차지하고, 빔포밍 알고리즘 적용시 향상되는 성능은 안테나 수, 간섭사용자 신호의 크기, 빔포밍 알고리즘의 형태 등의 설계변수에 의해 크게 좌우된다. 따라서 빔포밍 알고리즘을 설계하여 적

용하기 위해서는 설계변수의 설정이 매우 중요하다.

본 논문에서는 DFT방식에 기초한 빔포밍 알고리즘을 제시하여 고속 전력제어 알고리즘과의 복합적용시 간섭사용자의 공간적 위치 분포와 페이딩현상[3]을 가지는 시간적 분포를 독립적으로 분리하여 상호간섭을 최소화시킴으로써 알고리즘의 성능을 극대화시키는 것을 보이고자 한다. 또한 다중접속과 이동에 의한 페이딩 등의 불규칙한 채널 특성에서 기인하는 오차요인에 대한 강인성을 보장하여 direction selectivity를 지향하던 기존의 방식에 비해 경제성이 보장되는 유리한 측면을 부각할 수 있다[4][5].

본 논문에서 제시한 빔포밍 적용구조를 사용자 이동 환경 등의 주요파라미터를 이용한 시뮬레이션을 통해 성능해석을 함으로써 WCDMA에 적합한 빔포밍 알고리즘과 적용기법을 도출하고 이를 개발하는 것은 향후 빔포밍 설계에 필요한 설계상수의 지침을 제공할 수 있으므로 그 의미가 매우 크다.

II. 빔포밍 알고리즘 및 적용구조

본 장에서는 WCDMA 기지국에 어레이 안테나를 적용하기에 적합한 DFT기반의 빔포밍 알고리즘과 기지국 수신기에 대한 전력제어 알고리즘과의 복합적용 구조를 제시하고 동작원리를 요약 기술하였다.

2-1 전력제어와 빔포밍 알고리즘의 복합적용 구성도

빔포밍 알고리즘과 전력제어를 복합적용시 성능에 미치는 영향을 알기 위해 그림 1과 같이 빔포밍 알고리즘과 전력제어를 복합적용하는 수신기 구조를 구성

하였다.

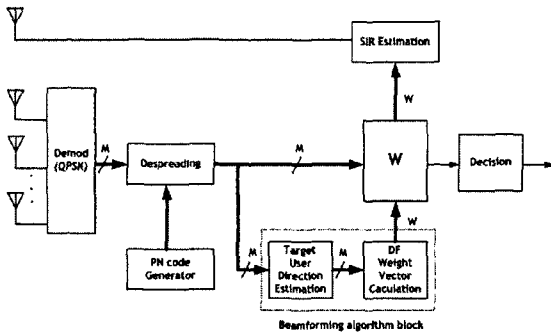


그림 1. 빔포밍 알고리즘과 전력제어의 복합적용 WCDMA 수신기 구조

본 논문에서 제시한 빔포밍 적용구조의 주된 특징은 I/Q 채널분리를 통해 기저대역 신호의 실수성분만을 이용한 빔포밍 적용이 용이하게 구성되었다는 데 있다. 그리고 전력제어 알고리즘을 위한 SIR 추정부에 빔포밍 가중치 벡터를 적용할 수 있는 구조를 구성함으로써 복합적용에 따른 성능 향상을 측정할 수 있게 하였다.

2-2 DFT 기반의 빔포밍 알고리즘

디지털 빔포밍의 기본적인 원리는 안테나 element별로 수신된 RF(Radio frequency)단 신호를 어레이 안테나에서 수신되는 신호의 크기와 위상을 함께 나타내는 in-phase 및 quadrature-phase 기저대역 신호로 분리하고 이에 weight 벡터를 곱하여 더함으로써 array factor를 얻는 것으로, 궁극적으로는 array 안테나 수신 신호의 크기와 위상을 조절하여 원하는 방향으로 빔을 형성하여 수신신호에 지향성을 부여하는 것이다.

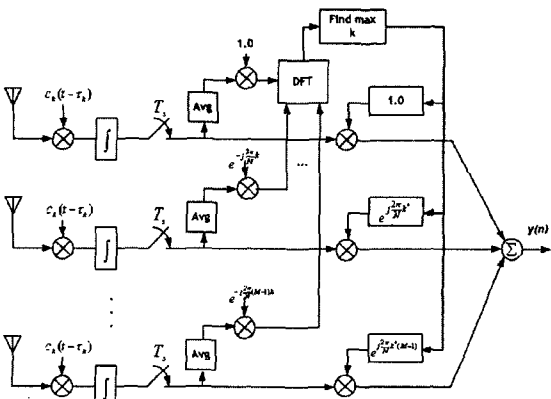


그림 2. 본 논문에서 적용한 DFT 기반의 steering 빔포밍 기법의 연산구조도

그림 2는 본 논문에서 적용한 DFT 기반의 steering 빔포밍 기법의 연산 구조도를 나타낸다. 수신된 안테나의 기저대역 신호를 $x(t)$ 라고 하면, $x(t)$ 는 식 (1)과 같이 사용자별 신호의 합에 어레이 안테나 응답벡터의 조합으로 이루어진다. 여기서, $m_N(t)$ 은 N번째 사용자의 신호, $a(\theta_{N-1})$ 는 어레이 안테나의 응답벡터, $\eta(t)$ 는 부가 잡음성분이다.

$$x(t) = m_0(t) a(\theta_0) + m_1(t) a(\theta_1) + \dots + m_{N-1}(t) a(\theta_{N-1}) + \eta(t) \quad (1)$$

기저대역 신호를 목표 사용자 코드로 역확산 하면 식(2)와 같이 목표 사용자의 성분과 간섭 및 부가 잡음 성분으로 분리하여 표현할 수 있다.

$$x(n) = \int_{(n-1)T_s + \tau_s}^{nT_s + \tau_s} x(t) c_k(t - \tau_k) dt = d_k(n) a(\theta_k) + I_k(n) + \eta(n) \quad (2)$$

여기서, $c_k(t)$ 는 k번째 사용자의 코드, $I_k(n)$ 는 k번째 사용자의 코드로 역확산된 간섭사용자들이 안테나 신호 벡터를 나타낸다. 안테나 신호벡터를 안테나 요소의 인덱스를 축으로 이산 푸리에 변환(DFT)을 취하면 사용자 신호의 위상에 해당하는 주파수 값에서 푸리에 변환 값이 최대값을 가지게 되고 이 때의 주파수 성분이 사용자의 위치 정보가 된다. 사용자의 위치정보를 바탕으로 steering 벡터를 결정하여 빔포밍에 적용하게 된다. 사용자 추정의 오차를 최소화하기 위해 안테나 신호를 매 10슬롯마다 평균을 취하여 사용한다.

2-3 전력제어를 위한 SIR 추정

그림 3은 본 논문에서 적용한 SIR 방식에 기반한 고속전력제어 구조를 나타낸 것이다.

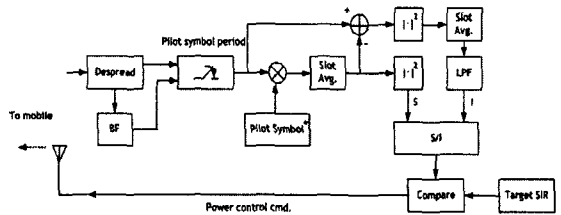


그림 3. SIR 방식에 기반한 전력제어구조

전력제어의 기본원리는 SIR 또는 E_b/I_0 를 추정하여 해당서비스의 SIR목표치와 비교하여 송신전력을 높이거나 낮추는 것이다. 사용자의 신호전력 및 간섭전력의 추정을 위해 DPCCCH(Dedicated Physical Control Channel)의 파일럿신호를 이용한다. 사용자의 신호전력은 수신 파일럿 신호와 기준 파일럿신호의 상관

도를 슬롯단위로 평균하여 얻고, 간섭전력은 추정된 사용자 신호에 대한 수신신호의 variance로 얻는다.

III. 성능 시뮬레이션

본 장에서는 2장의 내용을 토대로 설계한 WCDMA 시스템의 동작의 타당성을 확인하기 위하여 실제의 이동통신환경 변수를 적용하여 구성된 시나리오에 따라 수행한 동작 시뮬레이션에 대해 기술하였다. 사용자수에 따라 간섭 신호의 크기가 달라지고, 사용자의 위치, 이동속도 등도 빔포밍 및 전력제어에 영향을 준다. 주요 변수에 따른 사용자 위치 분포 및 이동을 생성하는 사용자 이동 프로파일러를 구성하였고, 이를 통해 속도별, 사용자수별 시뮬레이션을 수행하여 빔포밍과 전력 제어의 상호 영향을 관찰하였다.

3-1 Design of user mobility profiles

타당한 빔포밍 성능을 측정하기 위해서는 실제 이동통신 환경을 토대로 구성된 시뮬레이션 시나리오를 적용하여야 한다. 본 절에서는 사용자 위치에 필요한 주요 파라미터들을 이용하여 사용자 위치를 통계적으로 적절히 분포시키고 실제 물리적 이동현상을 반영한 사용자 이동 프로파일러의 모델링에 대해 기술하였다.

사용자 이동 프로파일러의 입력은 안테나 수신 각도, 안테나가 수용할 수 있는 셀반경, 이동사용자의 수, 이동사용자의 이동속도, 시뮬레이션 시간 등이다. 이에 대해 각 사용자의 위치정보를 자동 생성하여 안테나 수신각도로 산출하여 출력한다. 사용자의 초기 위치를 셀 내의 임의의 한 지점에 지정한다. 셀 내의 또다른 임의의 지점을 지정하여 두 지점간의 이동을 물체의 물리적 운동을 반영하여 이동경로를 얻는다. 시뮬레이션 수행시간이 길어질수록 시뮬레이션 수행시간에 비례적으로 많은 수행경로 지점을 추가함으로써 셀 내에서의 이동 경로를 생성할 수 있다. 사용자의 초기 위치, 셀 내의 지점, 운동방향 등을 통계적으로 고르게 분포시킴으로써 사용자별로 독립적인 이동을 부여하였고, 물체의 물리적 운동을 토대로 모델링하여 실제 이동통신 환경을 반영하는 사용자 이동 프로파일러를 생성하였다.

그림 4와 그림 5는 셀 반경이 300[m], 셀 안테나 입사각이 120°인 조건에 대해 사용자 이동 프로파일러를 통해 생성한 사용자 이동에 따른 위치 경로의 예를 보였다.

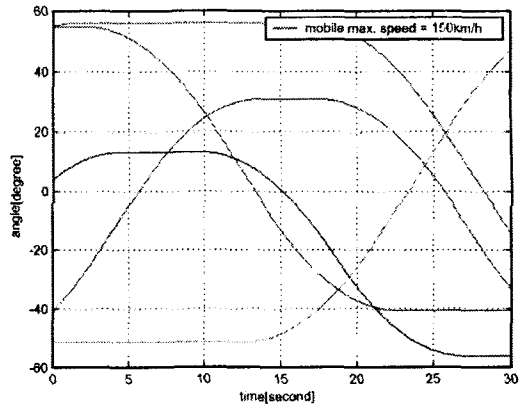


그림 4. 이동자 프로파일의 예(사용자 수 5명, 사용자 최대속도 150km/h, 시뮬레이션 시간 30초)

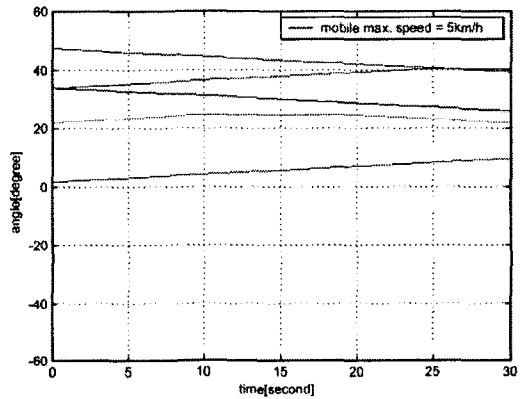


그림 5. 이동자 프로파일의 예(사용자 수 5명, 사용자 최대속도 5km/h, 시뮬레이션 시간 30초)

3-2 Simulation results

본 절에서는 본 논문에서 제시한 WCDMA 시스템 구조를 바탕으로 설계한 시뮬레이터에 환경 파라미터와 사용자 이동프로파일을 적용하여 동작 시뮬레이션을 수행한 결과에 대한 내용을 기술하고자 한다.

표 1 시뮬레이션 변수 설정

Parameters	Simulation values
Operating rate	8*chip rate
Beamforming rate	DFT method, 150Hz, every 10 slot
Power control rate	1.5 KHz, every slot
Fading	Sum of 10 sinusoid, rayleigh dist.
Target SIR	8[dB]
Target SIR	8[dB]

시뮬레이션 수행을 위해 표 1 에서와 같이 변수를 설정하였다. 20명의 사용자 신호를 생성하여 4개의 어레이 안테나를 통해 8*chip의 속도로 샘플링하여 수신하는 구조로 구성되어있다. 이동에 의해 생성되는 페이딩 현상은 10개의 정현파 신호를 크기와 위상을 조절하여 조합하여 얻는 deterministic한 방식으로 디자인하여 적용하였고, 전력제어는 매 슬롯마다 갱신하는 구조로 구성되어 있으며, 4개의 어레이 안테나로 수신한 신호를 10 슬롯 평균치를 구해 매 10 슬롯마다 32 point DFT를 실시하여 빔포밍 가중치벡터를 구하고, 이를 수신신호에 적용하는 구조를 가진다.

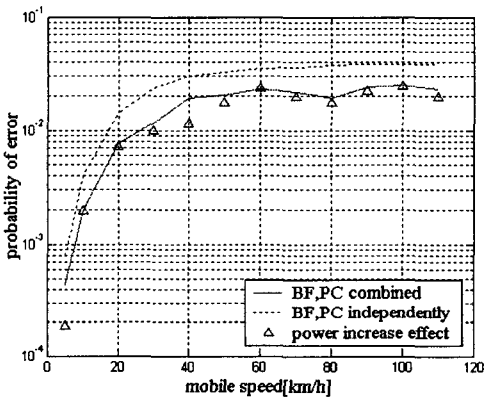


그림 6. 이동속도에 따른 BER 결과

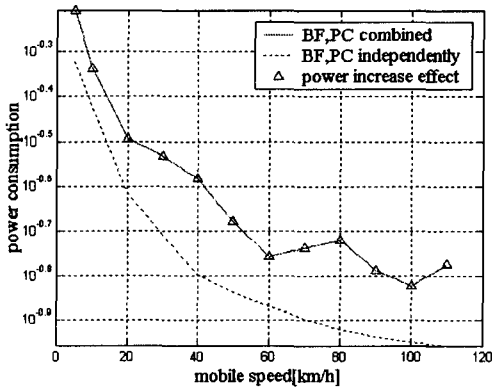


그림 7. 이동속도에 따른 전력소모 결과

그림 6은 시뮬레이션 수행을 통해 얻은 BER 결과이고, 그림 7은 전력소모 결과이다. 그림 6에서 빔포밍과 전력제어를 독립적으로 적용한 결과에 대해 복합적용한 결과가 2-5[dB]의 성능이 향상되었음을 보인다. 그림 7의 결과에서는 전력소모량이 복합적용구조에서 늘어났음을 보인다. 독립구조에 비해 복합적용구조에서 추가적으로 소모된 전력량을 구하여 BER 결과에 반영

하면 독립구조와 복합구조의 BER 값이 동등하게 얻어짐을 알 수 있었다. 이는 빔포밍 알고리즘과 전력제어 알고리즘을 복합적용했을때의 성능이 독립적으로 적용했을때와 일치하므로 빔포밍 알고리즘과 전력제어 알고리즘은 상호 간섭효과가 없는 것이 확인되었다.

빔포밍과 전력제어 알고리즘을 복합적용함에 있어서 성능에서의 손실이 없음을 확인하였고, 향후 추가연구를 통해 WCDMA 시스템의 기지국 구조의 복잡도를 대폭 줄일 수 있게 되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 어레이 안테나 사용에 있어서 DFT에 기반한 빔포밍 적용구조를 제시하였고, 전력제어와의 복합적용구조를 도출하였으며 이를 이동통신환경에 적합한 파라미터를 이용한 성능 실험을 통해 상호간의 간섭효과가 없음을 알게 되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 빔포밍과 전력제어의 복합 적용구조는 성능 측면에 있어서 WCDMA 환경에 적용하기에 적합한 구조이고, 복합적용구조를 바탕으로하는 정수연산구조, 간략화된 적용구조등의 추가적인 연구를 수행하는 기반이 되었고, 빔포밍 설계시 중요한 설계지침을 제공할 수 있다 하겠다.

Reference

- [1] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications -Principles & Practice*, IEEE Press, Prentice Hall, 1996.
- [2] Harry Holma and Antti Toskala, *WCDMA FOR UMTS-Radio Access For Third Generation Mobile Communications*, Wiley, 2000
- [3] Bernard Sklar, "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems-Part I: Characterization," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, Iss. 9, pp. 139-146, Sept. 1997.
- [4] 박재준, 배병재, 장태규, "셀룰러 CDMA 기지국에 beamforming 안테나 적용을 위한 동작 시뮬레이션 및 성능해석에 관한 연구," 대한전자공학회 논문지, 37권 TC편 2호, pp. 130-142, 2000년 2월
- [5] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network TS 25-series.