DS-CDMA 시스템에서 다중 안테나를 이용한 동기획득방식의 성능비교

정회원 강 법 주*

Performance Comparison of Acquisition Schemes Using Multiple Antennas in DS-CDMA System

Bub-Joo Kang* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에서 다중안테나를 이용한 동기획득 시스템을 제안하고 있다. 기존의 다중안테나를 이용한 동기획득 방식은 다중안테나 결합을 이용한 방법과 고정 다중빔 형성을 이용한 직렬동기획득방식 등이 있다. 그런데, 본 논문에서는 고정 다중빔 형성을 이용한 하이브리드 동기획득 방식을 제안하고 있다. 수치해석 결과로는 다경로 Rayleigh 페이딩 채널에서 동기획득시간 측면에서 두 방식에 대한 동기획득 성능을 비교하고 있다.

Key words: Code Acquisition, Code Synchronization, CDMA System

ABSTRACT

This paper proposes the acquisition system using the multiple antennas in DS-CDMA system. The conventional acquisition schemes using multiple antennas are the methods to utilize the multi-antenna combining and the fixed multi-beam forming of a serial acquisition. Then, this paper proposes the hybrid acquisition scheme using the fixed multi-beam forming. The numerical results show the performance comparison of two acquisition schemes in terms of the acquisition time in the multipath Rayleigh fading channel.

Ⅰ. 서 론

DS-CDMA 셀룰러 시스템에서 PN코드 동기획득은 이동국 및 셀 탐색의 초기동기, 다경로 탐색, 그리고 핸드오프시의 동기획득 등으로 크게 세가지 형태로 구분할 수 있다. 특히, 초기동기시의 동기획득은 CDMA 용량과 관련이 있는데, 랜덤액세스 혹은 패킷전송 시에 고속의 동기획득으로 인하여 랜덤액세스버스트 및 패킷의 프리앰블이 작고, 재전송 횟수를 작게 함으로써 결국에는 CDMA 시스템의 간섭잡음을 작게 하여 가입자 용량을 증가하게 된다.

DS-CDMA 시스템에서 다중안테나를 이용한 초기 동기획득 기술은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 인접 안테나 간의 거리를 반송파주파수의 반 파장(half a wavelength) 정도로 설정하여 페이딩 환경에서 안테나들의 수신신호 간에 상호 상관이 있도록 하여 다수개의 고정빔을 형성하여 동기획득을 수행하는 방법이고[1], 다른 방법은 인접 안테나 간의 간격을 한 파장(one wavelength) 이상으로 설정하여 안테나들의 수신신호 간에 상호상관이 없다는 가정 하에 안테나 신호들의 결합을 이용하여 동기획득을 수행하는 방법이다[2].

그런데 3세대 이동통신 및 향후 4세대 이동통신에 사용될 다중안테나 기술방식은 스마트 안테나 기술이다. 스마트 안테나 기술은 주어진 신호환경에

* 동국대학교 공학대학 정보통신공학과(bjkang@dongguk.ac.kr)
논문번호: 040102-0308, 접수일자: 2004년 3월 8일

반응하여 자신의 방사 빔 패턴을 자동적으로 변화시킬 수 있는 지능형 안테나 시스템을 말하며, 복수개의 배열 안테나 소자를 선형, 평면형 또는 원형 형태로 배열된 안테나 소자들로부터 수신신호를 적응적으로 결합하는 빔형성기(beam-former)에 기반을 둔다. 즉, 스마트 안테나 기술은 여러 개의 안테나를 사용하여 원하는 사용자에게는 안테나 이득이 크도록 빔 패턴을 생성하고, 간섭을 주는 사용자에게는 안테나 이득이 최소화 되도록 빔 패턴을 형성함으로써 궁극적으로 채널 용량을 증대 시키는 공간 필터링 기술이다. 이러한 공간 필터링은 안테나 배열간에 수신되는 신호 간에 상호 상관이 큰 경우를 가정하며, 공간 필터링을 위해서 어레이 신호를 결합하기 위한 적응 알고리즘이 필요하다.

그런데, 본 논문에서는 원하는 사용자 신호의 획득이 완료되어 다중안테나 신호의 결합을 위한 적응 알고리즘이 동작하기 이전에, DS-CDMA 시스템에서 초기 동기획득을 수행함에 있어 다중안테나를 이용한 다수의 고정빔 형성에 의한 하이브리드 동기획득을 제안하고 있다. DS-CDMA 시스템에서 다중안테나를 이용한 초기 동기획득 방법은 크게 두 가지 방법으로 요약할 수 있는데, 이중에 하나의 방법은 해당 코드위상에 일치하는 다수의 안테나 출력들을 넌코 런트 결합한 샘플을 임계치와 비교하여 신호를 검출하는 방법이고, 또 다른 하나의 방법은 Butler 행렬 등과 같이 다수의 고정빔을 형성하여 형성된 빔의 출력을 임계치와 비교하여 신호를 검출하는 방법이다. 이에 대한 기존의 연구결과로는 DS-CDMA 다중안테나 시스템에서 다수의 고정빔 형성을 이용한 직렬동기획득[1]과 안테나 출력들의 넌코 런트 다이버시티 결합을 이용한 동기획득[2] 등이 있는데, 본 논문에서는 고정 다중빔 형성을 이용한 하이브리드 동기획득 방식을 제안하고 다중안테나 결합을 이용한 하이브리드 동기획득과의 동기획득시간 측면에서 동일한 하드웨어 복잡도가 주어진 경우에 대하여 동기획득 성능을 비교하고 있다.

그리고, 본 논문에서 두 가지의 방법에 대한 동기획득 성능을 평가함에 있어 적용한 채널환경으로는 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩채널과 다수의 정확한 코드위상(correct code phase)들이 존재한다는 상황, 즉 다수의 H_1셀이 존재한다는 상황하에 수행되었으며, 최종 논문결과로는 DS-CDMA 다중안테나 시스템에서 동일한 안테나수와 동일한 넌코 런트 상관기수가 주어졌을 때 동기획득시간 측면에서 두 가지 방식에 대한 동기획득 성능을 비교 하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 제 II절에서는 다중 안테나를 이용한 동기획득 시스템 모델에 대하여 소개하고, 제 III절에서는 다중빔 형성 네트워크에서의 비트에너지대 간섭잡음밀도의 비를 설명하고 있다. 그리고, 제 IV절에서는 고정 다중빔 형성을 이용한 방법에 대한 하이브리드 동기획득 방식을 제안하고 제안한 방식의 평균동기획득시간을 제시하였으며, 제 V절에서의 수치해석결과분석에서는 다중안테나 결합을 이용한 방법과 고정 다중빔 형성을 이용한 방법에 대하여 동일한 하드웨어 복잡성이 주어졌을 때 동기획득시간 측면에서 성능을 평가하고 있다. 마지막으로 제 V절의 결론 부분에서는 본 논문에서 제안하는 방법과 결과들을 요약하고 있다.

II. 다중안테나를 이용한 동기획득 시스템 모델

기존의 다중안테나를 이용한 동기획득 시스템은 그림1과 같이 N개의 안테나로부터 수신되는 신호들에 대하여 N개의 넌코 런트 상관기를 이용하여 상관한 결과를 넌코 런트 결합한 후에 이의 판정변수를 임계치와 비교하여 동기획득을 수행하는 방법이다[2]. 그런데 본 논문에서는 안테나수와 넌코 런트 상관기수가 동일하게 주어지고 하이브리드 동기획득 방식을 동일한 형태로 그림1의 다중안테나 결합을 이용한 방법과 그림2의 다중빔 형성을 이용한 방법에 적용한 경우에 대하여 동기획득 성능을 평가하고자 한다. 그림1의 다중 안테나 결합을 이용한 동기획득 시스템에서 N개의 안테나 신호에 대하여 상관한 후에 넌코 런트 결합한 m번째의 출력, Z_m은

$$Z_m = N_w^2 E_c \sum_{n=1}^{N} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{n,p}} E\left[\alpha_{n,j}^2\right] R^2(\lambda_{ij}^{(n)}) + N_w I_{0n} \right\}, i = 1,2,...,I \quad (1)$$

으로 주어진다. 여기에서, N은 다중 안테나의 수이고, $R(\lambda_{ij}^{(n)}) = \int |H(f)|^2 \cos(2\pi f \lambda_{ij}^{(n)}) df$ 인데 $H(f)$는 정합필터의 주파수응답이고 $\lambda_{ij}^{(n)}$는 n번째 안테나에서 H_{1i}셀에 일치하는 PN 코드 생성기의 PN 시퀀스와 j번째 경로와의 타이밍 에러(timing error)이다. 또한, E_c와 N_w는 각각 PN칩 에너지와 코 런트 적분길이(확산요인)이고, $N_{n,p}$와 $\alpha_{n,j}$는 n번째 안테나에 수신된 페이딩 신호의 다경로들의 수와 j번째 경로의 이득이

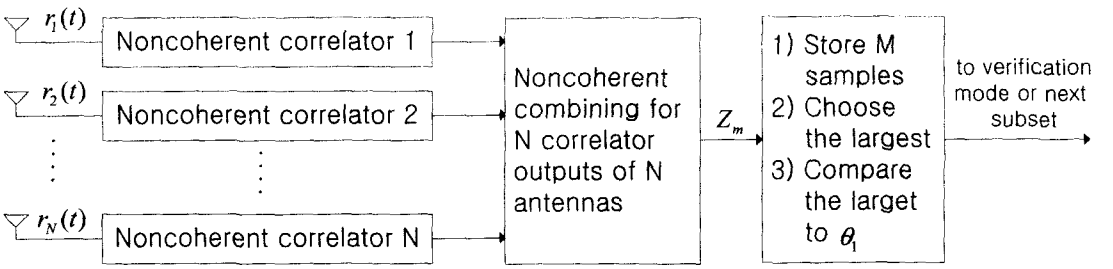


그림1. 다중안테나 결합을 이용한 동기획득 시스템의 모델
Fig.1 The model of code acquisition system using the multi-antenna combining

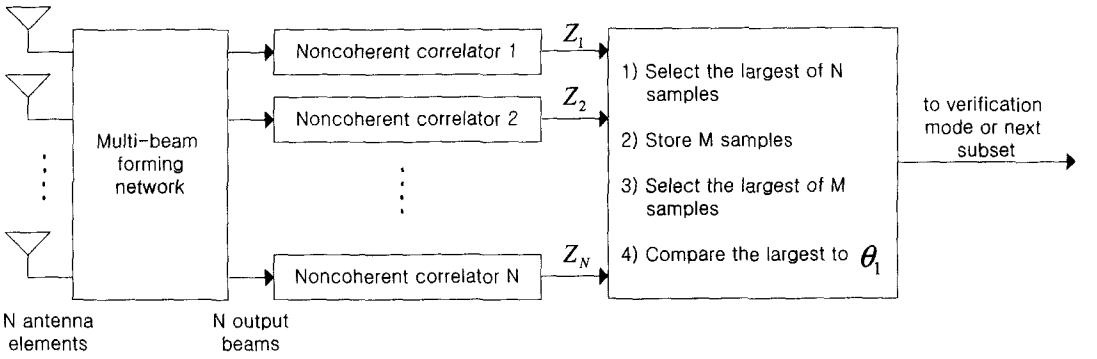


그림2. 다중빔 형성 네트워크에서의 동기획득 시스템의 모델
Fig.2 The model of code acquisition system in the multi-beam forming network

고, I는 페이딩 채널의 다경로 성분과 탐색스텝크기에 의해 구성되는 H_I셀들의 수이며, I_{0n}는 n-번째 안테나의 간섭잡음밀도이다.

일반적으로 하이브리드 동기획득 시스템을 구성하는 경우에는 상관기의 수를 안테나의 수보다는 2배 이상으로 크게 하는데 본 논문의 그림1의 경우는 두 가지 동기획득 방식에 대한 성능비교를 위해 안테나의 수와 상관기의 수가 동일하게 N으로 주어지는 구조로 구성하였다.

그림1의 다중안테나 결합을 이용한 동기획득 과정을 설명하면, N개의 안테나들로 수신된 신호들에 대하여 각 안테나에 일치하는 넌코 런트 상관기에 의해 형성된 N개의 안테나 신호들에 대하여 결합한 결과가 식(1)과 같이 표현된다. 식(1)과 같이 다중안테나 결합된 결과는 L개의 후치적분길이에 의해 넌고 런트 결합하여 하나의 샘플(판정변수)을 생성하고 이의 과정을 M번 반복하여 생성된 M개의 샘플들을 서로 비교하여 최대값을 갖는 샘플을 선택한 후에 탐색모드 및 확인모드의 임계치와 비교하는 형태로 동기획득 과정이 진행된다.

이에 반해, 본 논문에서는 RF단 혹은 고정된 빔형성 네트워크(FBN: Fixed Beamforming Network)를 이용하여 다수의 빔을 형성하는 스마트안테나 방식에서의 동기획득 방법에 관한 것을 제안하고 있다. 그림2는 본 논문에서 제안하고 있는 동기획득 시스템의 모델이다. 그림2에서 보는 바와 같이 N개의 안테나에 의해 N개의 다중빔이 형성된다. 일반적으로 이러한 스마트안테나 방식은 다중빔 형성 네트워크와 종속적으로 적응어레이 프로세서의 뱅크(Bank of Adaptive Array Proessors)가 연결되어 있다. 이의 시스템에 대한 동작은 다음과 같은데, 다중안테나에 신호가 수신되면 다중빔 형성 네트워크에서 N개의 고정빔이 형성된다. 이 경우 각각의 빔폭과 빔이득은 동일하며, 이와 같이 동일한 빔폭과 빔이득을 갖는 다중빔은 Butler 행렬 혹은 NxN 고정빔 형성 행렬을 이용하여 구성할 수 있다. 다중빔 형성 네트워크이후에 연결된 적응어레이 프로세서의 뱅크는 어레이 처리에 의해 빔을 형성하거나 혹은 신호대잡음비가 가장 양호한 빔을 선택하게 된다.

그런데, 본 논문에서는 기지국의 초기동기획득에 관한 내용을 취급하고 있으므로 다중빔 형성 네트워크에서 형성된 다중빔들을 이용하여 효율적인 동기획득 알고리즘을 제안하고 있다. 제안한 알고리즘의 내용은 다음과 같다. 다중빔 형성 네트워크에서 N개의 다중빔이 형성된다. 형성된 N개의 다중빔들은 N개의 넌코히런트 상관기에 의해 탐색모드에서의 N개의 상관기출력인 샘플들이 생성된다. N개의 샘플들 중에 가장 큰 샘플을 선택하고 선택된 샘플에 대하여 샘플치와 빔번호가 M개 저장된다. 다음 과정으로 저장된 M개의 샘플들 중에 최대 샘플값을 갖는 샘플을 선택하고 탐색모드의 임계치와 비교한다. 탐색모드의 임계치와의 비교에서 선택된 샘플이 크게 되면 탐색모드는 통과하여 선택된 샘플에 일치된 코드위상과 빔번호가 확인모드로 이동한다. 확인모드에서는 탐색모드를 통과한 코드위상에 대하여 coincidence 검출방법을 이용하여 확인 과정을 수행한 후에 확인과정을 통과하면 동기획득이 성공한 것으로 간주하고 동기추적모드로 이동한다. 만약에 동기추적 모드에 거짓 코드위상 (false code phase)이 입력되면 동기획득이 실패한 경우이므로 이에 상응하는 궤환시간 (penalty time)이 지난 후에 다음의 부분탐색구간에 대하여 탐색을 시작하게 된다.

본 논문에서 고려하는 있는 다중빔 형성 네트워크는 우선적으로 전방위셀은 3개의 섹터셀로 나누어지고 섹터셀당 N개의 다중빔이 형성되는 기지국 셀환경이다. 따라서, 다중빔당 다양한 시간지연에서 다수의 H_1코드위상들이 존재한다는 가정하에 동기획득의 성능을 해석하고 있다.

III. 다중빔 형성 네트워크에서의 비트에너지대 간섭잡음밀도의 비

다중안테나에 의한 다중빔 형성 네트워크의 경우는 단일 안테나 시스템에 비해 동일채널간섭을 줄이기 위해 사용되는 방법이다. 그래서, 다중빔 형성 네트워크 자체만으로 사용되기도 하고 적응빔 배열 시스템과 종속적으로 연결되어 사용되기도 한다. 현재 사용되고 있는 다중빔 형성 네트워크는 고정된 빔수를 갖는 형태로 12개 내지 24개의 다중빔이 주어지는데, 전방위셀(omnidirectional cell)을 3개의 섹터로 분할한 경우 섹터당 4개 내지 8개의 빔을 갖게 된다. 이런 경우 전방위 지향성 안테나의 경우보다 12개 내지 24개의 다중빔 형성 네트워크의 경우가 E_b/I_0측면에서 12배 혹은 24배로, 즉 안테나 빔의 수만큼 증가하게 된다. 이는 셀룰러 이동통신 환경에서 전방위셀인 경우에서 전방위셀을 섹터셀(sector cell)로 나누게 되면, 셀의 섹터화에 의해 간섭이 섹터수의 비율로 감소하는 것과 동일하다.

따라서, AWGN 채널하에서 섹터셀의 비트에너지대 간섭잡음밀도의 비를 E_b/I_0이라 하면 그림2와 같이 섹터당 N개의 빔이 형성된 경우는 각 빔의 비트에너지대 간섭잡음밀도의 비는

$$\frac{\left(N\sqrt{E_b}\right)^2}{NI_{0n}}=\frac{NE_b}{I_{0n}},\ n=1,2,...,N \tag{2}$$

으로 표현할 수 있으며, 여기에서 I_{0n}는 n-번째 빔의 간섭잡음밀도인데 섹터셀내에 가입자의 균일하게 분포되어 있다고 가정하면 각 빔의 간섭잡음밀도는 동일하게 되므로 각 빔의 비트에너지당 간섭잡음밀도의 비는 N_{Eb}/I_0으로 된다. 셀룰러 환경에서 전방위셀내의 가입자는 균일하게 분포된 것으로 간주하여 간섭을 해석하고 있다.

식(2)에 대한 각 빔의 비트에너지대 간섭잡음밀도의 비에 관한 관계식을 이용하여 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널에서의 다중빔 형성 네트워크에서의 H_1코드위상에 대한 m번째 섹터셀에서 N개의 형성된 빔에 대한 넌코히런트 상관기의 출력은

$$Z_n^m=N_w^2E_c\sum_{j=1}^{N_p}E[\alpha_j^2]R^2(\lambda_{ij})+\frac{N_wI_{0n}}{N},\ i=1,2,...,I,\ n=1,2,...,N \tag{3}$$

으로 주어진다. 여기서, N은 다중빔의 수이고, $R(\lambda_{ij})=\int|H(f)|^2\cos(2\pi f\lambda_{ij})df$ 인데 $H(f)$는 정합필터의 주파수응답이고 λ_{ij}는 H_{1i}셀에 일치하는 PN 코드 생성기의 PN 시퀀스와 j번째 경로와의 타이밍 에러 (timing error)이다. 또한, E_c는 PN 칩 에너지이고 N_p와 a_j는 페이딩 채널의 다경로들의 수와 j번째 경로의 이득이다. 식(3)은 각각 형성된 빔의 간섭잡음밀도가 동일한 상황에서 각각의 빔에 해당하는 넌코히런트 상관기의 출력이고 이들의 출력들이 넌코히런트 상관기 마다 L개의 후치적분길이에 의해 넌코히런트 결합한 결과가 다중빔 형성 방법의 동기획득방식에 대한 샘플(판정변수)이 된다.

IV. 다중빔 형성 네트워크에서의 하이브리드 동기획득의 평균동기획득시간

하이브리드 동기획득 방식은 병렬동기획득과 직

렬동기획득 등의 두개의 동기획득 방식의 결합으로 이루어 진다. 또한 이 방식은 탐색모드와 확인모드를 갖는 이중적분 방식을 갖는다. 본 논문에서 언급하고 있는 다중 안테나 결합 방식과 다중빔 형성 방식의 탐색모드는 그림1과 그림2에서 보는 바와 같이 N개의 병렬 I/Q 넌코 런트 상관기(parallel I/Q noncoherent correlator)에 의해서 실현된다.

V와 Δ가 각각 전체탐색구간(uncertainty region)과 탐색스텝 크기(search step size)일 때, CDMA 시스템의 역방향링크인 경우에는 전체탐색구간이 기지국 셀 반경에 의해서 결정된다. 그래서, 역방향링크상의 셀반경에 의한 왕복 전파 지연(round-trip delay)과 지연확산 등을 고려하여 결정하게 된다.

이러한 상황에서 다중안테나 결합을 이용한 동기획득에서는 전체탐색구간이 V인 것에 반해, 다중빔 형성을 이용한 방법의 경우에는 전체탐색구간이 전파지연에 의한 코드위상과 섹터셀을 다중빔으로 분할한 빔수에 의한 곱으로 표현된다. 그러므로, 다중빔 형성을 이용한 동기획득 방식에서는 전체탐색구간이 다중안테나 결합을 이용한 방식보다 빔수의 배수만큼 증가하게 된다. 따라서, 섹터셀에서 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우의 전체탐색구간이 V라면 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우의 전체 탐색구간이 VN이 된다.

제안한 하이브리드 동기획득 알고리즘은 다음과 같은데, 우선 전체탐색구간을 $Q(=\frac{VN}{MN})$ 개의 부분탐색구간(subset)들로 분할한다. 여기에서 MN은 하나의 부분탐색구간 내에 있는 시험셀(test cell)들의 수이다. 만약에 탐색모드에서 병렬 동기 획득이 N개의 병렬 I/Q 넌코 런트 상관기에 의해서 실현된다면 각 I/Q 넌코 런트 상관기에 할당된 시험셀(test cell)의 수는 M개씩 할당된다.

그림2에서 샘플(sample)을 시험셀에 대한 I/Q 넌코 런트 상관기 출력들의 넌코 런트 합이라고 정의할 때, 우선적으로 N개의 넌코 런트 상관기, 즉 N개의 빔에 해당하는 샘플들 중에 최대값을 갖는 샘플을 선정하여 저장한 후 M개의 지연 코드위상에 대하여 이의 과정을 반복한다. 다음 과정으로는 M개의 지연 코드위상들에 일치하는 샘플들을 서로 비교하여 가장 큰 샘플을 선정하고 이의 샘플값이 탐색 모드의 검출 임계치 θ_1을 초과하게 되면 동기획득 과정은 확인 모드로 전환되고 그렇지않으면 다음의 부분탐색구간에 대하여 탐색을 다시 시작한다.

다음 과정으로 확인모드는 CD(coincidence detector) 형태로 구성되는데 k개의 샘플들 중 n개의 샘플들이 확인 모드의 검출 임계치, θ_2보다 크면 동기 획득을 선언하게 되고 그렇지 않으면 다음의 부분 탐색구간의 탐색모드로 전환된다. 만약에 거짓 코드위상(false code-phase)이 동기추적 모드(code tracking mode)에 입력되면 동기추적모드에서 다음의 부분 탐색구간의 탐색모드로 되돌아 오기 위한 궤환시간(false alarm penalty time), J가 요구된다. 한 PN 칩보다 작은 탐색 스텝 크기와 다경로 페이딩을 고려하여 전체탐색구간 내에 I개의 H_1셀들이 존재하고 MN은 I보다 항상 크게 설정한다. 이 경우 종래의 단일빔 형성(다중안테나 결합)인 경우에는 전체탐색구간내에 I/N개의 H_1셀들이 존재하게 되는데, 이것은 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우의 각 빔에 대한 지연확산이 거의 동일하다는 채널설정에 기인한다. 위에서 서술된 동기획득 시스템에 대한 평균동기획득시간, $E[T_{ACQ}]$을 다음과 같이 표현할 수 있다.

유형 1) I개의 H_1셀들이 한 부분 탐색 구간에 모두 포함된 경우.

참고문헌[5]에 의하면, 유형 1에 대한 평균동기획득 시간은

$$E[T_{ACQ}|Type\ 1]=\left[\frac{QH_D^{'}(1)+\frac{1}{2}Q(Q-1)H_0(1)H_D(1)}{QH_D(1)}+\frac{H_M^{'}(1)+(Q-1)H_M(1)H_0^{'}(1)}{1-H_M(1)}\right]\tau_D \tag{4}$$

으로 주어진다. 여기서 $H(1)=H(z)|_{z=1}$와 $H_1^{'}=\frac{d}{dz}H^{'}(z)\Big|_{z=1}$이며,

$$H_D(z)=\sum_{i=1}^{I}P_{D_{1i}}P_{D_{2i}}z^{gk+M},$$

$$H_M(z)=P_{M_1}z^M+\sum_{i=1}^{I}P_{D_{1i}}(1-P_{D_{2i}})z^{gk+M}+P_{F_1}(1-P_{F_2})z^{gk+M}+P_{F_1}P_{F_2}z^{gk+M+J},$$

그리고

$$H_0(z)=(1-P_{F_1}^{'})z^M+P_{F_1}^{'}(1-P_{F_2})z^{gk+M}+P_{F_1}^{'}P_{F_2}z^{gk+M+J}$$

이다. 그리고 g는 탐색 모드의 샘플에 대한 적분구간(dwell time)과 확인모드의 샘플에 대한 적분구간과의 비율이다.

유형 2) I개의 H_1셀들이 두개의 부분탐색구간에 분할되어 존재하는 경우.

이 유형은 탐색 구간에 존재하는 I개의 H_1셀들 중에서 P개의 H_1셀들이 부분 탐색 구간, S_1에 존재하고 (I-P) 개의 H_1셀들은 부분 탐색 구간, S_2에 존재한다고 설정한다. 유형 2에 대한 평균동기획득시간은

$$E[T_{ACQ}|Type\ 2(P)]=\left[\frac{(Q-1)H_{D_1}^{'}(1)+\frac{1}{2}(Q-1)(Q-2)H_{D_1}(1)H_0^{'}(1)+H_{D_2}^{'}(1)}{(Q-1)H_{D_1}(1)+H_{D_2}(1)}+\frac{H_{M_1}^{'}(1)H_{M_2}(1)+H_{M_1}(1)H_{M_2}^{'}(1)+(Q-2)H_{M_1}(1)H_{M_2}(1)H_0^{'}(1)}{1-H_{M_1}(1)H_{M_2}(1)}\right]\tau_D \tag{5}$$

으로 주어진다. 여기서 $H(1)=H(z)|_{z=1}$와 $H_1^{'}=\frac{d}{dz}H^{'}(z)\Big|_{z=1}$이며,

$$H_{D_1}(z)=\sum_{i=1}^{P}P_{D_{1i}}P_{D_{2i}}z^{gk+M}+H_{M_1}(z)\sum_{i=P+1}^{I}P_{D_{1i}}P_{D_{2i}}z^{gk+M},$$

$$H_{M_1}(z)=P_{M_1}^{(1)}z^M+\sum_{i=1}^{P}P_{D_{1i}}(1-P_{D_{2i}})z^{gk+M}+P_{F_1}^{(1)}(1-P_{F_2})z^{gk+M}+P_{F_1}^{(1)}P_{F_2}z^{gk+M+J},$$

$$H_{D_2}(z)=\sum_{i=P+1}^{I}P_{D_{1i}}P_{D_{2i}}z^{gk+M}+H_{M_2}(z)H_0^{Q-2}(z)\sum_{i=1}^{P}P_{D_{1i}}P_{D_{2i}}z^{gk+M}$$

그리고

$$H_{M_2}(z)=P_{M_1}^{(2)}z^M+\sum_{i=P+1}^{I}P_{D_{1i}}(1-P_{D_{2i}})z^{gk+M}+P_{F_1}^{(2)}(1-P_{F_2})z^{gk+M}+P_{F_1}^{(2)}P_{F_2}z^{gk+M+J}$$

이다.

끝으로 MN개의 시험 셀들의 분포(distribution)를 고려한 하이브리드 동기획득 시스템의 평균동기획득시간, $E[T_{ACQ}]$은

$$E[T_{ACQ}]=\frac{MN-I+1}{MN}E[T_{ACQ}|Type\ 1]+\frac{1}{MN}\sum_{P=1}^{I-1}E[T_{ACQ}|Type\ 2(P)] \tag{6}$$

으로 주어진다.

위에서 평균동기획득시간, $E[T_{ACQ}]$에 관련된 확률들, P_{D_1}, $P_{D_{2i}}$, P_{M_1}, $P_{M_1}^{(n)}, n=1,2$, P_{F_1}, $P_{F_1}^{(n)}, n=1,2$, $P_{F_1}^{'}$, P_{F_2}은 참고문헌[5]에서 주어진다. 그런데, 참고문헌[2]의 다중 안테나 결합을 이용한 하이브리드 동기획득 방식에서의 평균동기획득시간의 유도는 참고문헌[5]와 동일하고, 관련된 신호검출 및 오경보 확률들을 유도함에 있어, 안테나 다이버시티 결합에 사용된 안테나당 출력들이 L개의 후치적분길이에 의해 넌코 런트 결합된 후에 샘플이 생성되므로 판정변수(decision variable)는 자유도 (degree of freedom)가 $2LN$인 non-central chi-square 랜덤 변수로 해석하면 된다. 여기에서, L은 넌코 런트 상관기의 후치적분 길이이고, N은 안테나의 수이다.

IV. 수치 해석 결과

제안한 동기획득 시스템의 성능은 대역제한이고 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널에 대하여 해석되었는데, 고려된 페이딩 채널에서 다경로세기 프로파일(discrete multipath intensity profile)의 평균 경로 전력들(average path powers), $E[\alpha_i^2]$, $i=1,2,3$은 동일하게 설정하였으며 이들 3개의 경로에 대한 전력의 합은 1이 되게 하였다. 제안한 다중빔 형성을 이용한 하이브리드 동기획득 방식과 다중 안테나 결합을 이용한 경우에서 동기획득 성능을 평가함에 있어, 전체탐색 구간을 256 PN chips로 설정하였고, PN칩의 주기(T_c)는 813.8 nsec, 탐색 스텝 크기(Δ)는 1/2, 코 런트 적분길이에 대한 PN칩의 수(N_W)는 128, 그리고 확인모드의 파라미터인 k와 n은 각각 4와 2로 설정하였다. 또한 오경보로 인하여 동기추적 모드에서 탐색모드로의 궤환시간은 $10^6 N_W T_c$ sec로 설정하였다.

본 논문에서 다중빔 형성인 경우와 다중 안테나 결합을 이용한 이중적분(double-dwell) 하이브리드 동기획득에서 탐색모드와 확인모드의 임계치는 최소 동기획득시간을 제공하는 최적의 값으로 선정하였다. 탐색 및 확인 모드의 최적의 임계치는 식(6)을

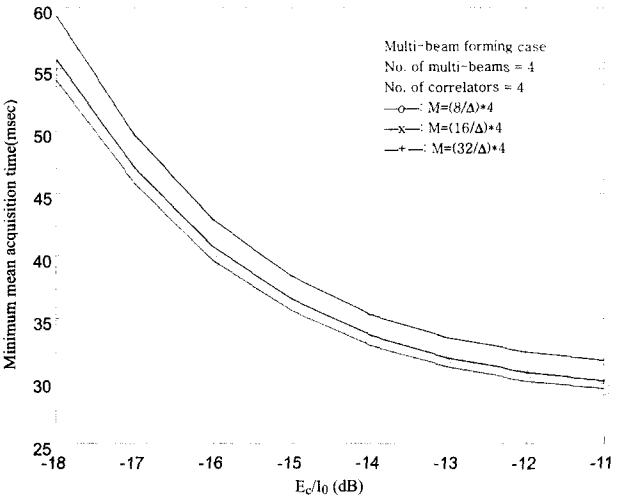


그림3. 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우에서 부분탐색구간크기에 따른 최소평균 동기획득시간

Fig. 3 Minimum mean acquisition time according to the subset size in the case of the multi-beam forming method

이용하여 임의의 임계치 범위를 참고문헌[5]에서 정의한 확률들에 적용하여 수치해석의 결과에 의해 얻어진 동기획득시간 중에 최소의 동기획득시간을 갖는 값으로 선정하게 된다.

그런데, 식(6)을 이용함에 있어 다중안테나 결합을 이용한 방법의 경우는 식(6)에서 부분탐색구간은 M이고, 형성된 빔수는 N=1이 적용된다. 또한, 참고문헌[5]에서 정의하고 있는 확률들, P_{D_1}, P_{D_2}, P_{M_1}, $P_{M_1}^{(n)}, n=1,2$, P_{F_1}, $P_{F_1}^{(n)}, n=1,2$, $P_{F_1}^{'}$, P_{F_2}을 식(6)에 적용하기 위한 확률해석에서 N개의 안테나 다이버시티 결합에 사용된 각각의 안테나당 출력들이 L개의 후치적분길이에 의해 넌코 런트 결합된 후에 샘플이 생성되므로 판정변수(decision variable)는 자유도(degree of freedom)가 2LN인 non-central chi-square 랜덤 변수로 해석하게 된다. 반면에 다중빔 형성을 이용한 방법의 경우에는 식(6)에서 부분탐색구간 M과 형성된 다중빔의 수가 N으로 적용되고, 참고문헌[5]에서 정의하고 있는 확률들, P_{D_1}, P_{D_2}, P_{M_1}, $P_{M_1}^{(n)}, n=1,2$, P_{F_1}, $P_{F_1}^{(n)}, n=1,2$, $P_{F_1}^{'}$, P_{F_2}을 해석함에 있어 각각의 형성된 빔의 출력들이 L개의 후치적분길이에 의해 넌코 런트 결합된 후에 샘플이 생성되므로 판정변수(decision variable)는 자유도(degree of freedom)가 $2L$인 non-central chi-square 랜덤 변수로 해석하게 된다.

그리고, 본 논문에서는 다중빔 형성을 이용한 방법의 경우 각각의 형성된 빔마다 H_1셀에 해당하는 다경로 신호들이 있는 것으로 해석한 것이 아니라, 다중안테나 결합인 경우와 마찬가지로 동일한 전력이득을 갖는 3개의 경로신호들만이 형성된 4개의 빔에 산재하고 있는 것으로 결과를 도출하여 동기획득 성능을 비교하였다.

그림3은 다중빔 형성을 이용한 하이브리드 동기획득 방식인 경우에서 부분탐색구간 크기 (M)에 따른 동기획득시간을 보여 주고 있다. 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우에는 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우보다 전체탐색구간(uncertainty region)측면에서 다중빔 수의 배만큼 증가하게 된다. 그림3에서 보면, 이 경우에 최소의 동기획득 시간을 얻을 수 있는 부분탐색구간의 크기는 64(4*8/Δ)로 주어진다.

그림4는 다중안테나 결합을 이용한 하이브리드 동기획득 방식인 경우에서 부분탐색 구간크기(M)에 따른 동기획득 시간을 보여주고 있다. 참고문헌[2]에서 제안한 다중안테나 결합을 이용한 경우에는 각각의 안테나 신호들에 대하여 각각 한 개의 넌코 런트 상관기를 할당하여 최종적으로 4개의 안테나에 각각 일치하는 4개의 넌코 런트 상관기 출력을 결합하여 판정 변수(decision variable)를 도출하

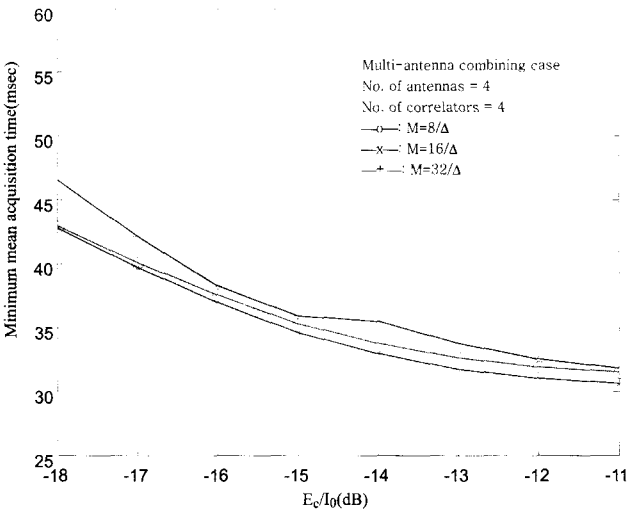


그림 4. 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우에 부분탐색구간크기에 따른 최소평균동기획득시간

Fig. 4 Minimum mean acquisition time according to the subset size in the case of the multi-antenna combining method

였다. 그림4에서 보면, 다중안테나 결합의 경우 최소의 동기획득 시간을 얻을 수 있는 부분탐색구간의 크기는 32(16/Δ)로 주어진다.

그림5는 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우와 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우에 동일한 경로전력을 갖는 3개의 경로들이 H_1셀로 존재할 경우에 대한 동기획득시간을 보여주고 있다. 두 가지 경우에서 안테나수는 4개로 동일하고 넌코 런트 상관기수가 4개인 경우와 8개인 경우에 대한 동기획득시간에서 E_c/I_0이 -14dB 이하인 경우에는 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우가 동기획득시간이 상대적으로 짧은 결과를 보여주고 -14dB 이상에서는 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우가 상대적으로 짧은 동기획득시간을 보여주고 있다. 그런데, 본

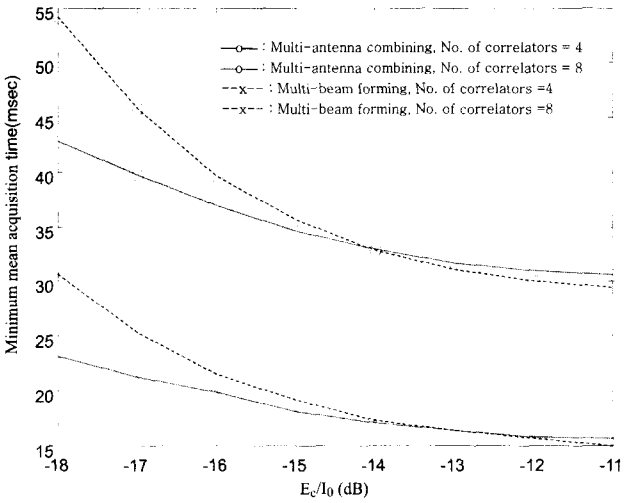


그림 5. 넌코 런트 상관기의 수에 따른 최소평균동기획득시간

Fig. 5 Minimum mean acquisition time according to the number of non-coherent correlators

논문에서 다중 안테나 결합을 이용한 방법인 경우에는 참고문헌[2]와 같이 안테나 신호들 간에는 서로 독립이라는 가정하에 성능해석에 관련된 신호검출, 오경보, 그리고 miss 확률에 대한 해석이므로, 실제적인 상황으로 안테나 신호들간에 상호상관이 있는 경우에 대하여 관 확률들을 해석하게 되면 그림5의 결과는 달라지게 된다. 그리고, 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우에서 모두 형성된 다중 빔내에 단지 3개의 페이딩 경로들이 존재하며, 이들 3개의 경로전력들의 합이 1로 설정하였는데 이의 조건은 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우에 가장 최소의 H_1셀이 존재하는 상황에서의 해석이며, 실제적인 상황에서는 이보다 많은 H_1셀이 존재하는 상황이므로 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우의 동기획득 시간은 그림5의 결과보다는 짧아지게 될 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 DS-CDMA 다중안테나 시스템에서 다중빔 형성을 이용한 하이브리드 동기획득 방법을 제안하고 기존의 다중 안테나 결합을 이용한 하이브리드 동기획득 방법과의 동기획득 시간측면에서 성능을 비교하였다. 두 가지 방식에 대하여 탐색모드와 확인모드에 최적의 임계치가 주어졌다는 상황하에 E_c/I_0이 -14dB 이하에서는 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우가 상대적으로 동기획득시간이 짧고, E_c/I_0이 -14dB 이상에서는 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우가 상대적으로 동기획득 성능이 우수한 것으로 결과가 도출되었다. 그런데, 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우에서 안테나 신호들간에 상호상관이 없다는 가정하에 신호검출, 오경보, miss 확률들을 해석하였고, 다중빔 형성을 이용한 방법인 경우에 H_1셀에 해당하는 다경로 성분들이 다중안테나 결합을 이용한 방법인 경우와 동일한 수로 존재한다는 상황, 즉 가장 열악한 경우로 결과가 도출되어 다중빔 형성을 이용한 동기획득 방식이 다중안테나 결합을 이용한 동기획득 방식보다 동기획득 성능이 우수한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] M.D. Katz, J.H. Iinatti, and S. Glisic, "Two-dimensional code acquisition in time and angular domains," *IEEE Journal on Select. Areas in Commun.*, vol.19, no.12, pp. 2441-2451, December 2001.

[2] R.R. Rick and L.B. Milstein, "Parallel acquisition of spread-spectrum signals with antenna diversity," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.45, no.8, pp.903-905, Aug. 1997.

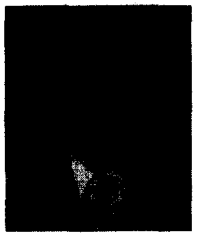
[3] J.C. Liberti and T.S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice-Hall: New Jersey, 1999.

[4] S.C. Swales, M.A. Beach, D.J. Edwardes, and J.P. Mcgeehan,"The performance enhancement of multibeam adaptive base-station antennas for cellular land mobile radio systems," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol.39, No.1, pp.56-67, Feb. 1990.

[5] B. J. Kang, Performance evaluation of DS/CDMA hybrid acquisition in multipath Rayleigh fading channel," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80_B, no.8, pp. 1255_1263, Aug. 1997.

[7] A. J. Viterbi, *CDMA principles of spread spectrum communication*, Addison-Wesley : New York, 1995.

강 법 주(Bub-Joo Kang)



1983년 2월: 경희대학교 전자공학과 졸업

1985년 8월: 연세대학교 전자공학과 석사

1996년 8월: 연세대학교 전자공학과 박사

1988"2001: ETRI 단말기모뎀 연구팀장(책임연구원)

2001년3월"현재: 동국대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야> 모뎀 및 채널코딩, 이동통신, 무선통신, 무선홈네트워크