

W-CDMA 통신 시스템에서 적응배열안테나의 Beamformer 성능분석

정희원 이정길*, 홍상완**, 이병섭*

Performance Analysis for Beamformer of Adaptive Array Antenna in W-CDMA Communication System

Jeong-Gil Lee*, Sang-Wan Hong**, Byung-Sub Lee* *Regular Members*

요 약

적용배열안테나 시스템에서 적응 과정을 수행하는 Beamformer는 DS-CDMA의 폭성상 다중사용자에 의한 신호의 열화 및 처리해야하는 데이터 속도에 영향을 받게 된다. 이러한 문제점들을 고려해서 다양한 방법들이 제안되고 있는데, 본 논문에서는 Beamformer 전단에서 역확산 과정을 수행해 Beamformer가 상대적으로 느린 데이터 속도 및 보상된 신호레벨에서 동작하게 되도록 하는 심볼 레벨 시스템과 역확산 과정없이 칩 레벨의 신호를 바로 처리하는 칩 레벨 시스템을 채널 특성이 변화하지 않는 고정 채널과 시변하는 다양한 채널 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션하고, 그 성능을 MSE와 빔 패턴 그리고 Beamformer 출력 신호 분포점등을 근거로 분석해 보았다. 고정채널에서는 비슷한 성능을 보인 반면, 시변하는 채널 환경하에서는 칩 레벨 시스템이 심볼레벨 시스템에 비해 전반적으로 더 우수함을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

The beamforming procedure in Adaptive Array Antenna System is affected by signal degradation and data rate due to DS-CDMA characteristics. Until this time, a lot of techniques are suggested to overcome this problems. This paper shows the simulation result about the beamforming performance of symbol level system that process slow data rate, compensated signal by despreading procedure in front of beamformer, and that of chip level system that process chip level signal without it. we analysis the performance using MSE, beam pattern, scattering points of beamformer outputs. chip level system is superior to symbol level system in time varying channel, while the performance of them didn't have difference in static channel.

1. 서 론

W-CDMA 통신 시스템에서는 음성통신 이외에도 데이터 및 영상 등 고속의 데이터 속도를 요구하는 서비스도 수용할 예정이며, 사용자의 수 역시 늘어날 전망이다. 이럴 경우, 다중사용자에 의한 다중접속간섭과 다중경로에 의한 간섭이 주요 시스템 성능제한 요인으로 작용한다. 최근 W-CDMA 통신

시스템에서 채널 용량증가와 성능 향상을 위한 방안으로 적용배열안테나에 대한 연구가 활발히 진행 중이다^[1-3].

적용배열안테나의 Beamformer 역시 적응과정에서 낮은 SINR 및 확산에 따른 빠른 데이터의 속도의 영향으로 인한 낮은 채널 선택도의 영향으로 성능이 열화된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 pilot channel 혹은 pilot symbol을 traffic 채널과 함께 전송하여 페이딩에 의한 신호변화분을 적절히

* 한국항공대학교 항공통신정보공학과
논문번호 : 99512-1230, 접수일자 : 1999년 12월 30일

** (주) 성미전자 연구소 IMT 사업 1팀

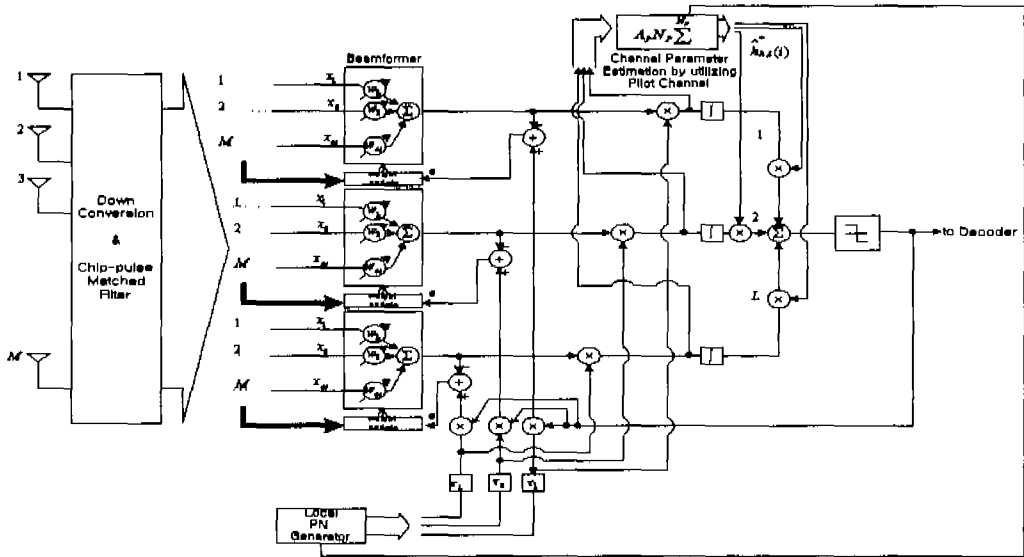


그림 1. Chip Level System

보상해 주거나^[4-5], 좀더 빠른 수렴 속도와 안정성을 제공해 줄 수 있는 새로운 적응 알고리즘의 제안등 다양한 관점에서 여러 가지 방법들이 제안되고 있다^[6-7]. 그 중 심볼 레벨 시스템은 배열 안테나를 통해 들어온 신호들을 beamformer의 적응과정을 거치기 전에 역확산 과정을 거치게 하므로써 신호의 SINR을 높이고, beamformer의 수행과정에서 부담이 될 수 있는 빠른 데이터 속도를 심볼 레벨로 낮추어 상대적으로 느린 프로세서를 사용할 수 있도록 할 수 있다는 장점을 가지고 있는 시스템이다^[8]. 하지만, 이러한 과정을 거치기 위해서는 역확산 과정을 위한 부가적인 소자의 필요 등 상대적으로 시스템의 복잡도가 칩 레벨 시스템보다는 1.5 ~ 2.5 배 높게 되는 단점들을 가지고 있다^[9]. 반대로 칩 레벨 시스템의 경우는 고성능의 프로세서가 필요하지만 상대적으로 시스템의 구성이 간단하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 앞선 연구 결과들에 근거해 각 시스템이 가지고 있는 장단점을 수용한다는 가정하에서 각 시스템에 동일한 채널 환경과 동일한 적응 알고리즘을 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했다. 그리고 그 결과에서 두 시스템의 빔 형성 능력과 수렴 속도등의 절대성능 지표들 가지고 상대 평가를 수행해서 차세대 이동통신시스템에서 선택되어 질 스마트 안테나 시스템의 구조 선택을 위한 자료를 제시하고자 한다. 본 논문은 I. 서론, II. 적응 배열 안테나를 채용한 DS-CDMA 시스템, III. 비교 시스템 구조 및 채널 환경, IV. 시뮬레이션 결과 및

분석, V. 결론으로 구성되어 있다.

II. 적응 배열 안테나를 채용한 CDMA 시스템

1. 적응배열 안테나를 통한 간섭제거

각 사용자의 송신 신호들은 각각 서로 다른 시간 지연, 위상, 안테나 입사각, 진폭변동의 영향을 받아 수신된다. 이때 원하는 사용자의 신호 또한 동기화된 신호와 한 칩 이상의 수신지연값의 차이뿐 가지게 되는 경우 이들은 간섭 성분으로 영향을 미치게 된다. 이러한 다중 접속 간섭의 영향을 보상하기 위해 공간적인 신호처리를 통한 간섭의 제거를 위해 적응배열안테나와 각 경로 신호의 혼합을 위해 RAKE 수신기를 같이사용하게 된다.

2. 신호 모델링

1) 다중경로 채널 모델

DS-CDMA와 같이 대역이 넓은 신호를 수신할 경우의 무선채널은 여러 개의 분리 가능한 다중경로 성분들이 존재하는 경우로 모델링 해야 한다. 이때 식 (2.1)은 등간격 선형배열안테나 사용시 다중경로 채널의 영향을 받은 신호가 안테나에 도달했을 경우의 채널 임펄스 응답을 나타낸다.

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^{L_k} a(\theta_{k,l}) a_{k,l} \exp(j\varphi_{k,l}) \delta(t - \tau_{k,l}) \quad (2.1)$$

2. 심볼 레벨 신호처리 시스템

또한, 안테나로 수신된 후 정합필터를 통과한 신호 즉, 심볼 레벨 신호로서 적용 과정을 수행하고 가중치 역시 심볼 단위로 갱신을 하게 되는 심볼 레벨 신호처리 시스템은 그림 2와 같으며, 처리되는 입력 신호는 식 (3.2)와 같다.

여기서 벡터 c 는 원하는 사용자 신호의 확산 부호열을 나타낸다. 이때 식 (3.2)는 심볼 단위로 제공되므로 적용 신호처리는 칩 단위가 아닌 심볼 단위로 수행된다. 이후 pilot 채널에 의해 생성된 가중치는 traffic 채널에 적용이 되고, 다시 pilot 채널을 이용한 채널 추정기에 의해 추정된 채널 파라미터는 rake 합성전에 각 경로마다 conjugate 형태로 곱하게 된다. 이렇게 함으로써 traffic 채널 또한 pilot 채널에 의해 생성된 가중치로써 적용과정을 수행하게 되고, 이후 채널추정기에 의해 구해진 채널 파라미터 $\hat{h}_k(i)$ 는 앞선 칩 레벨 신호처리 시스템과 동일하게 conjugate 형태로 각 경로마다 곱해지고, 이후 MRC(Maximal Ratio Combine)합성을 수행하게 된다.

$$x(i) = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_M(i)]^T \quad (3.2)$$

단, $x_m(i) = x_m(i) \cdot c$

$$c = [c^1 \ c^2 \ \dots \ c^N]^T$$

여기서 c 는 원하는 사용자 신호의 확산 부호열을 나타낸다. 본 논문에서는 이 두 가지의 신호를 이용해서 각각 적용 신호처리를 수행한다. 또한 beamformer로부터의 가중치는 식 (3.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(i) = [w_1(i) \ w_2(i) \ \dots \ w_M(i)]^T \quad (3.3)$$

가중치는 각 시스템에서 각각 칩 단위 및 심볼 단위로 생성 및 갱신, 적용이 이루어 진다.

3. 적용 알고리즘

심볼 레벨 시스템과 칩 레벨 시스템에서 beamformer로의 입력신호는 beamformer 전단의 정합필터의 유·무에 따라 신호 형태의 차이가 예상된다. 또한 각 시스템의 beamformer가 적용 과정을 수행하기 위해서는 적용 알고리즘이 필요하게 된다. 하지만 각 알고리즘들의 적용과정에서 가중치의 생성 및 적용 위치의 차이와 가중치 생성방법, 채널환경의 다양함으로 인해 두 시스템에 모든 알고리즘이

공통적으로 적용되기는 어렵다. 칩 레벨 시스템의 경우는 beamformer 가 처리해야 하는 기저대역 신호가 칩 레벨이므로 페이딩의 보상을 위한 적용 알고리즘 역시 칩 레벨의 데이터를 실시간으로 처리해야 하는, 즉 적용과정이 상당히 빠른 알고리즘이 필요하다. 반면 심볼 레벨 시스템의 경우는 역확산 과정을 거침으로써 칩 레벨이 아닌 심볼레벨로 적용 과정을 수행할 수 있는 장점으로 인해 상대적으로 빠른 수렴속도를 가지지 않아도 된다. 하지만 두 시스템 모두 본 논문에서 가정한 시변하는 채널환경에서는 시스템의 성능 열화가 예상되므로 본 논문에서는 CDMA 시스템의 사용자 PN 시퀀스를 참조신호 생성에 사용할 수 있는 TRB 알고리즘 중심 심볼 레벨 시스템에서 비교적 RLS와 비슷한 적용 능력을 가지며^[7], LMS 와는 달리 입력신호의 전력에 따라 적용 스텝 사이즈를 가변하고, 적절히 페이딩에 대한 보상을 해주게 되면 보다 빠르고 안정된 적용 동작을 제공해 주는 NLMS 알고리즘을 적용했다. NLMS 알고리즘의 동작은 식 (3.4)와 (3.5)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (3.4)는 칩 레벨 신호처리 시스템의 알고리즘 동작이며, 식 (3.5)는 심볼 레벨 신호처리 시스템의 알고리즘 동작이다.

$$y(i) = W^H(i) x(i)$$

$$e(i) = d(i) - y(i)$$

$$W(i+1) = W(i) + \frac{\mu}{a + \|x(i)\|^2} x(i) e^*(i) \quad (3.4)$$

$$y(i) = W^H(i) x(i)$$

$$e(i) = d(i) - y(i)$$

$$W(i+1) = W(i) + \frac{\mu}{a + \|x(i)\|^2} x(i) e^*(i) \quad (3.5)$$

본 논문의 시스템에서는 간섭의 제거를 위한 빔의 형성뿐만 아니라 페이딩에 의한 진폭과 위상 변동의 보상까지 수행해야 하는 적용 알고리즘의 부담을 줄이고, 좀 더 정확한 수신신호를 재생하기 위해 식 (3.4)와 식 (3.5)에서 결정된 신호를 참조신호로 그대로 사용하지 않고 송신신호와 함께 보내진 Pilot 채널에 의해 추정된 채널 파라미터의 conjugate와의 곱을 사용하였다. $\hat{\delta}(i)$ 는 레이크 합성된 출력값의 결정 신호로써 식 (3.6)과 같이 해서 구할 수 있다.

$$\hat{\delta}(i) = \text{sgn} \left(\sum_{l=1}^L \hat{h}_{k,l}^* w^H(i) z(l) \right) \quad (3.6)$$

4. 채널환경

본 논문에서는 각 사용자당 4개의 다중 경로의 영향을 받는 채널환경을 가정했다. 사용한 다중경로 채널 환경은 표1에 나타나 있으며 이는 ITU-R TG8-1의 Vehicular Channel B Model을 수정한 모델이다.

표 1. 본 논문에서 사용한 다중경로 채널환경

Path	Delay (Chip Duration)	Average Received Signal Power
1	0	1
2	2	0.78
3	4	0.125
4	6	0.1

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Signal Process Structure		Beamformer - Rake	
Modulation	Pilot	QPSK	
	Traffic	QPSK	
Chip Rate		3.84Mcps	
Data Rate		64ksps	
Adaptive Algorithm		NLMS	
Array element		6	
Angle of Arrival(Degree)		Desired Direction (-57.1) Interference Direction (-18/18/45)	
Simulation Tool		SPW(Signal Processing Worksystem)	
Static Channel		Modification of ITU-R TG 8-1 Vehicular Channel B Model	
Time vating Channel	Flat Fading	Slow	20Km/h (Doppler 50Hz)
		Fast	120Km/h (Doppler 200Hz)
	Selective Fading	Random Selective within 1 Symbol	

송신된 신호가 거쳐야 하는 채널 환경에는 4가지 경우를 가정했다. 먼저 신호환경이 시간에 따라 변화하지 않고 고정적인 상태를 고려했다. 두 번째로는 시변하는, 즉 시간에 따라 위상과 진폭이 변화하는 채널환경이다. 이때는 실제 상황에서 발생할 수 있는 레일리 페이딩을 고려했는데, 그중에서도 시간에 따른 변화가 급격하지 않고 일정한 진폭 및 위상사이에서 변화하도록 했다. 또한 이 경우에는 이동체의 속도에 따른 Doppler 효과를 예상할 수 있

는데, 20Km/h 의 느린 속도로 이동하는 경우에 발생하는 slow flat fading과, 120Km/h 의 빠른 속도로 이동하는 경우에 발생하는 Fast Flat Fading을 가정했다. 이때의 Doppler frequency는 식 (3.7)을 통해 구할 수 있다.

$$f_m = \frac{v \times f_c}{c} \tag{3.7}$$

식 (3.7)에서 v 는 이동체의 속도를 나타내며, f_c는 carrier frequency, 그리고 c 는 전파의 전달 속도를 나타낸다. 마지막으로 IMT-2000 과 같이 처리이득이 큰 데이터 포맷에서 흔히 발생할 수 있는 심플 내의 채널변동을 고려해서 frequency selective 페이딩을 적용했다. 이때는 시간에 따른 신호의 급격한 변화주기를 하나의 심플길이 내에서 랜덤하게 변화하도록 설정했다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 다중경로 채널 환경하에서 W-CDMA 통신 시스템에 적용 가능한 적응배열안테나의 Chip rate와 Symbol rate Beamformer 성능을 비교 분석한다. 사용자는 4개의 다중 경로를 가지며, 각각 6개의 안테나 소자로 입사된다. 시뮬레이션에 사용한 각종 파라미터들은 표 2에 정의되어 있다. 신호처리 구조로 두 개의 주요 경로 신호의 합성을 수행하는 Beamformer-Rake 구조를 채용한다. 이때 각 경로의 Beamformer는 독립적으로 동작하여 그 결과는 후단에서 시각 정렬되어 Rake 수신기를 통해 결합된다. 이 방식은 Beamforming을 통한 공간적인 신호처리와 Rake 수신기를 통한 시간적인 신호처리를 동시에 수행하기 때문에 2D-Rake 구조라고 부르는데 높은 성능개선을 얻을 수 있다. 적용 알고리즘은 IMT-2000 시스템에 사용될 확산 부호열의 Chip Rate에 해당하는 3.84Mcps의 Chip Level과 역확산 과정을 거침으로써 좀 더 높은 신호레벨 상에서 신호를 처리하게 되는 Data Rate 64Ksps의 Symbol Level에서 공통적으로 NLMS 알고리즘을 사용하였다. 성능평가는 각각의 채널환경 하에서 각 시스템 별 beam pattern, MSE 천이도, 그리고 Beamformer 출력 신호분포점을 산출해서 비교 분석했다.

2. 시뮬레이션 결과

그림 3-a와 3-b에서의 결과를 보게 되면 mse 천이도의 경우 두 시스템 모두 비슷한 시간에 수렴을 하는 것으로 나타나고 있다. 하지만, 좀 더 확대된 그림에서 볼 수 있듯이 심볼 레벨 시스템이 칩 레벨 시스템 보다는 조금 더 일찍 수렴함을 할 수 있다. 그러나 수렴 이후의 mse 값을 보게 되면 칩 레벨 시스템이 심볼 레벨 시스템보다는 더 적은 값으로 수렴함을 알 수 있다. 즉 채널의 변동이 시변하지 않고 고정적일 때는 두 시스템 모두 적절한 수렴을 행하는 것으로 판단 할 수 있다. 그림 3-c 의 신호 분포점의 경우, 심볼 레벨 시스템이 좀 더 안정적임을 알 수 있는데 이는 정합필터를 통한 신호 레벨의 평균화가 고려된 결과라고 추정된다.

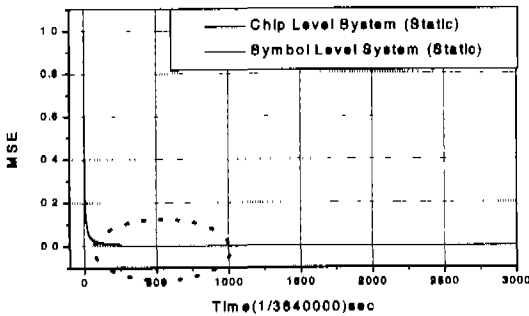


그림 3-a. 고정채널 적용시 MSE 천이도

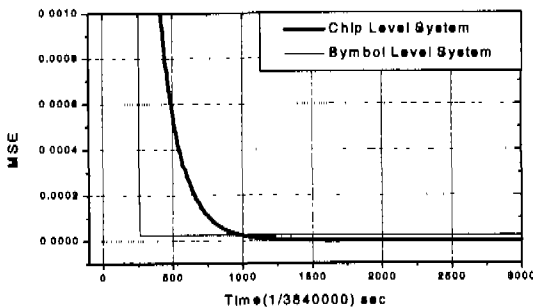


그림 3-b. 고정채널 적용시 MSE 천이도 확대도

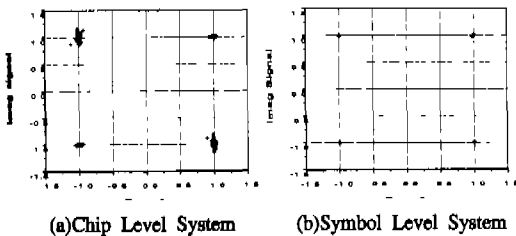


그림 3-c. 고정채널 적용시 Beamformer 출력 신호 분포점

그림 4-a와 4-b의 결과를 보면 칩 레벨 시스템은 시변하는 환경에 적절히 적용해서 원하는 방향으로의 beam steering을 하고 있으며, mse 의 천이도에서도 빠른 수렴속도를 보였다. 하지만 심볼 레벨의 경우는 beam steering 과정에서 간섭제거 능력이 다소 떨어지며 수렴속도가 느리고 불안함을 보였다. 이는 시변하는 신호환경에서 정합필터를 사용한 역확산과정에서 잡개는 매침마다 변화하는 신호환경을 하나의 심볼단위로 대신하므로 인해서 하나의 심볼 구간내에서의 칩들의 변동이 고려되지 않은 결과로 추정된다. 따라서 가중치와 입력신호의 벡터행렬 조합과 참조신호와의 차이로 추출되는 MSE 역시 극심한 변동을 가지는 천이과정을 보이는 것으로 추정된다. 또한 그림 4.b 에서도 볼 수 있듯이 심볼 레벨 시스템의 경우 매 심볼마다 극심하게 변하는 심볼단위의 가중치로써 추정된 빔성형 역시 율리온 방향(main과 null 양쪽 모두)으로의 빔성형 이라기 보다는 정합필터의 출력이 원하는 사용자 신호로의 main beam 외에 null 구동면에서는 현저한 성능저하를 보이는 것으로 확인됐다. 그림 4-c의 신호점 분포 그림을 보면 이로 인한 결과를 확인 할 수 있다.

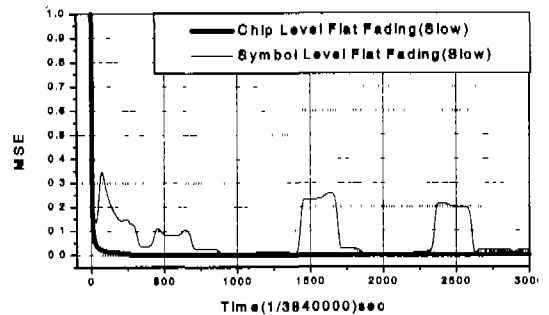


그림 4-a. Flat Fading 채널 적용시 MSE 천이도(20Km/h)

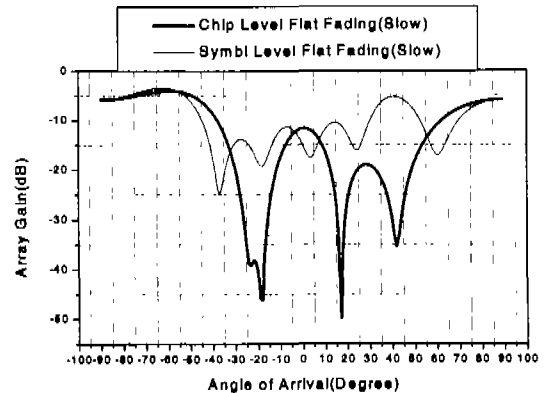
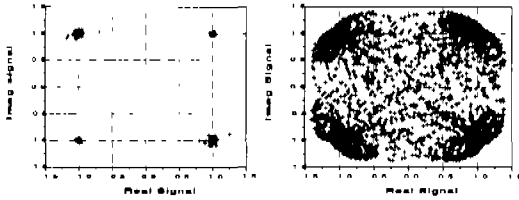


그림 4-b. Flat Fading 채널 적용시 Beam Pattern (20Km/h)



(a)Chip Level System (b)Symbol Level System
그림 4-c. Flat Fading 채널 적용시 Beamformer 출력 신호 분포점(20Km/h)

그림 5-a와 5-b의 결과를 보면 앞선 느린 페이딩 환경에서보다 더욱 확연하게 두 시스템의 차이를 확인할 수 있다. 먼저 mse 면에서 보면 칩 레벨 시스템의 경우는 한번의 왜곡을 겪기는 하지만 이후 완벽한 수렴상태를 보이는 반면 심볼 레벨 시스템의 경우는 느린 페이딩에서의 변화보다 훨씬 큰 변동폭으로 변화하는 것을 볼 수 있다. 훨씬 빨라진 칩 단위의 신호변화로 인해 단위시간(수 심볼구간 혹은 하나의 심볼구간) 내의 신호변화가 많아짐으로 인해 심볼레벨로써는 신호변화에 따른 정확한 대응이 힘든 것으로 추정된다. 빔 성형 역시 앞선 느린 페이딩과 비슷한 결과를 나타내고 있으나 이번에는 main lobe 의 방향 역시 그리 정확한 편은 아닌 것으로 확인됐다. 그림 5-c의 신호점 분포 역시 앞선 느린 페이딩의 경우보다는 더욱 더 열악한 것으로 나타났다.

그림 6-a의 결과를 보게 되면 칩 레벨의 경우는 주어진 신호환경(하나의 심볼 내에 random 하게 selective 특성은 나타나도록 채널 설계)의 영향으로 인해 앞서의 flat 페이딩의 경우들과는 달리 일정 정도의 random 한 주기를 가지면서 비 선형적인 변화를 가짐을 볼 수 있다. 하지만 심볼 레벨의 경우는 적응과정의 효과가 전혀 나타나지 않으면서 신

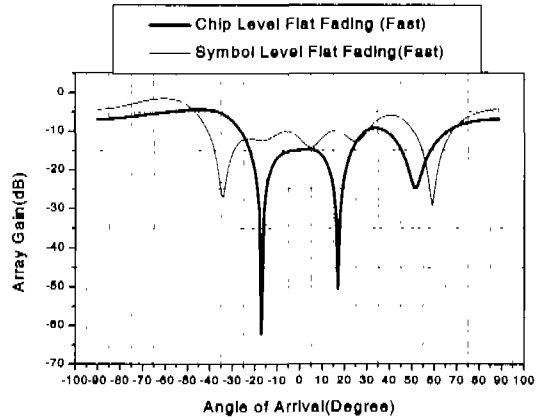
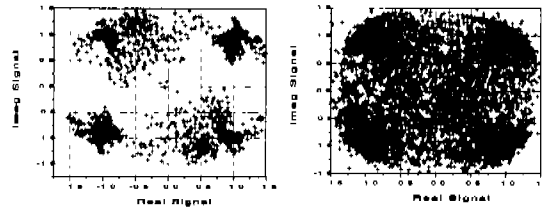


그림 5-b. Flat Fading 채널 적용시 Beam Pattern (120Km/h)



(a)Chip Level System (b)Symbol Level System

그림 5-c. Flat Fading 채널 적용시 Beamformer 출력 신호 분포점(120Km/h)

호의 mse가 발산하는 모습을 볼 수 있다. Selective 환경으로 인한 1차적인 신호의 급격한 특성변화에 더불어 정합필터 과정에서 2차적으로 한번 더 수신 신호에 대해 특성변화를 부가함으로써 신호의 적응 과정을 담당하는 beamformer로써는 적응 능력을 상실해 버림을 결과로써 보여주고 있다. Beam pattern 에서도 역시 칩 레벨 시스템이 상대적용 우수한 beam steering 능력을 보여주고 있다. 신호분포점에 의한 성능 추정결과 역시 칩 레벨 시스템이 심볼 레벨 시스템보다 상대적인 우위에 있음을 보여준다. 결과적으로 두 시스템의 성능을 비교했을 때, 신호특성의 변화가 고정적일 때 혹은 시간적인 변화가 극히 미미할 때는 정합필터를 이용한 심볼 레벨 시스템이 수신된 신호를 그대로 사용하는 칩 레벨 시스템보다 우수한 성능을 보였지만, 신호의 특성이 시간에 따라 비교적 빠른 속도로 변화하는 경우에는 앞선 신호의 신호특성과의 상관성을 이용하지 못하는 심볼 레벨 시스템은 그 성능면에서 칩 레벨과는 차이를 보임을 알 수 있다. 이는 신호의 변화가 극히 미미할 경우나 고정적일 때에는 하나

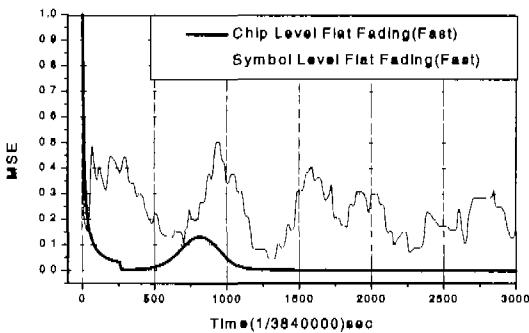


그림 5-a. Flat Fading 채널 적용시 MSE 천이도 (120Km/h)

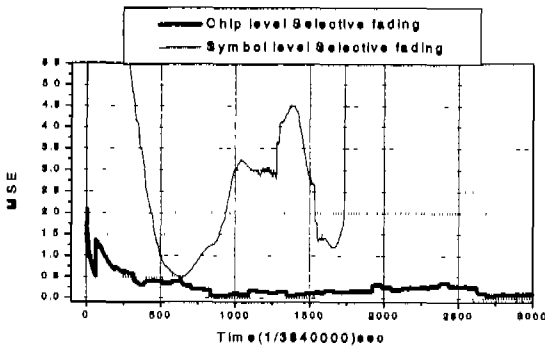


그림 6-a. Selective fading 채널 적용시 MSE 천이도

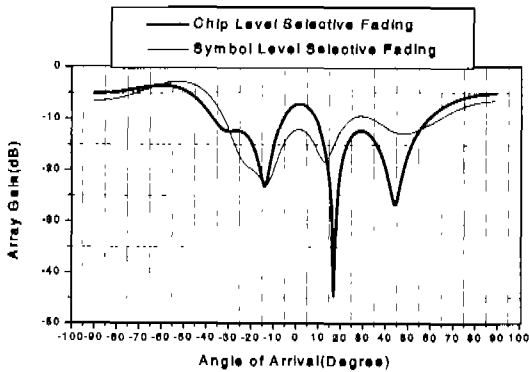
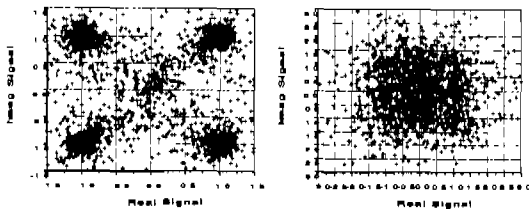


그림 6-b. Selective Fading 채널 적용시 Beam Pattern



(a)Chip Level System (b)Symbol Level System

그림 6-c. Selective Fading 채널 적용시 Beamformer 출력 신호 분포점

의 심볼 구간 혹은 수 개의 심볼 구간내의 신호특성이 시간에 따라 거의 변화하지 않게 됨으로써 심볼 구간내의 칩들의 변화폭 하나와 심볼(단위)로 표현하고 적용 처리를 해도, 적용 과정에 불리하게 작용하는 신호의 변화 성분이 적게 된다. 이럴 경우에는 입력신호의 SINR이 칩 단위의 신호보다 양호한 심볼 레벨 시스템이 우수한 성능을 보이게 된다. 하지만 신호의 변화가 빠른 경우에는 앞서 말한 심볼 구간내의 신호변화가 예상되므로, 정합필터의 사용으로 인해 신호의 변화성분을 상당부분 무시함으로

인해서 적용 과정에 필요한 앞선 신호와의 상관성이 파괴된다. 이로 인해서 적용 과정이 칩 레벨을 사용하는 칩 레벨 시스템보다는 심볼 레벨 시스템이 적용 성능면에서 떨어진다고 추정할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 적응배열안테나에서 Beamformer의 입력으로 사용되는 두 신호, 심볼 레벨 신호와 칩 레벨 신호에 대한 시스템의 성능변화를 다양한 채널 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보았다.

결과적으로 채널의 변동이 크지 않고 거의 고정적일 경우에는 심볼 레벨이나 칩 레벨의 성능차이는 그리 크기 않는 것으로 나타났다. 즉 시스템의 복잡성 면에서 상대적으로 높은 것으로 추정되는 심볼 레벨의 경우, 채널의 변동이 거의 없는 곳에서의 적용은 큰 무리가 없는 것으로 추정할 수 있다. 이는 시스템의 복잡성을 보상할 수 있다고 예상되는 상대적으로 느린 프로세서를 이용해도 적용가능 환경에 있어서 채널환경이 시간에 따라 급변하는 도심지의 경우보다는 변화가 크지 않는 외곽 지역 외 기지국 시스템에 적절하다고 할 수 있다.

하지만, 채널의 변동이 급변하는 도심지에서는 시뮬레이션 결과에서도 볼 수 있듯이 심볼내의 채널의 변동분을 보상에 줄 수 없는 심볼 레벨 시스템은 적절하지 않다는 결론이 나온다.

두 시스템 모두 각각의 장단점이 있다. 즉 추정되는 채널의 환경, 적용과정을 수행하는 프로세서, 시스템의 복잡성에 따라 적용되는 시스템의 선택이 달라질 수도 있다는 것이다. 또한 본 논문에서 행한 시뮬레이션에서는 채널 코딩이 이루어지지 않은 관례로 만약 채널 코딩까지 이루어지게 되면, 원하는 사용자 방향으로의 main beam 성형 능력면에서는 일부 채널환경에서 대등한 성능을 보여준 심볼레벨 시스템도 우리가 원하는 BER 내에서의 성능이 본 시뮬레이션 결과보다는 개선될 것이라는 추정이 가능하다. 만약 그럴 경우 비교적 느린 프로세서의 사용이 가능한 심볼 레벨 beamformer의 사용이 추천될 수도 있을 것이다. 하지만 주어진 모든 환경에서 심볼레벨 보다 우수한 성능을 보인 칩 레벨 시스템이 여전히 우위에서 있으므로써 충분히 빠른 속도를 제공할 수 있는 프로세서의 제공이 가능하다면 여전히 칩 레벨 시스템의 우위는 부정할 수 없다.

참고 문헌

[1] A.F.Naguib, "Adaptive Antennas for CDMA Wireless Networks," *Pd'D Thesis, Stanford Univ.*, Aug. 1996.

[2] G.V.Tsoulos, "Smart Antennas for Third Generation Wireless Personal Communications," *Ph'D Thesis, Bristol Univ.* Dec. 1996.

[3] Joseph C. Liberti, Jr, Theodore S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications : IS-95 and Third Generation CDMA Applications* : Prentice Hall PTR, 1998.

[4] S. Tanaka, M. Sawahashi, F.Adachi, "Pilot Symbol - Assisted Decision - Directed Coherent Adaptive Array Diversity for DS - CDMA Mobile Radio Reverse Link," *IEICE Trans.comm*, Vol. E80-A, No.12, pp. 2445-2454, Dec.1997.

[5] S.Tanaka, M.Sawahashi, F.Adachi, "Performance comparison between Time-Multiplexed Pilot Channel and Parallel Pilot Channel for Coherent Rake combining in DS-CDMA Mobile Radio," *IEICE Trans. comm*, Vol.81-B, No.7, pp.1417-1425, July 1998.

[6] R.B.Ertel, "Spatial Filtering with Adaptive Antenna Array Algorithms in DS - CDMA Communication System," *MS'D Thesis, Pennsylvania State Univ*, May 1996.

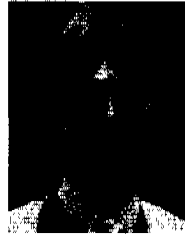
[7] K.S Chang, K.H Chang, Y. Han, "Convergence of Temporal Reference Beamforming Algorithms in CDMA System," in *Proc, JCCI*, Vol.2, pp.707-711, Apr. 1999.

[8] Tai-Ki Ahn, Byung-Sub Lee, "A Study on Multi Access Interference Cancellation Schemes for W-CDMA A Communication Systems," *Telecommunications Review*, Vol. 9, No. 2, pp. 209-223, 1999.

[9] K.H Chang, H.R Park, "Chip-Level Beamforming vs. Symbol-Level Beamforming in Coherent CDMA Adaptive Antenna Array Systems," in *Proc. IEEE. Inter. Conf. Comm*, Vol.3, pp.1558-1592, Jun 1999.

이 정 길(Joung-Gil Lee)

준회원



1998년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
공학사

1998년 8월 ~현재 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
석사과정

<주관심 분야> CDMA, 신호처리, SMART Antenna, IMT-2000

홍 상 완(Sang-Wan Hong)

정회원



1995년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
공학사

1997년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
석사

1996년 12월 ~현재 : 성미전자(주) 연구소 IMT-2000
개발1팀 주임연구원

1997년 8월 ~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공
학과 박사과정

<주관심 분야> CDMA, 신호처리, Adaptive Array, IMT-2000

이 병 섭(Byung-Sub Lee)

정회원



1979년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
공학사

1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 석사

1981년 2월 ~1992년 1월 :
한국전자통신연구소

1990년 5월 : New Jersey Institute of Technology
박사

1992년 9월 ~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학
과 부교수

<주관심 분야> 위성통신, 신호처리, Adaptive Array