

직접 수열 부호 분할 다중 접속 시스템용 전송 배열 안테나의 검증 시스템 구현

종신회원 이 용 업*, 준회원 이 준 호*, 정회원 김 중 대*, 박 중 후**

A Test Bed Implementation of the Transmit Antenna Array for DS-CDMA system

Yong Up Lee* *Regular Member*, Joon-Ho Lee* *Associate Member*

Jong-Dae Kim*, Joong-Hoo Park** *Regular Members*

요 약

이 논문에서는 직접 수열 부호 분할 다중 접속 이동 통신 시스템에 전송 배열 안테나 기술을 사용하여, 순방향 채널의 용량을 증대하는 알고리즘들에 관해 알아본다. DSP와 PC를 사용하여 알고리즘 검증용 시스템을 제작하고, 알고리즘의 하드웨어 구현과 최적화, 검증 시스템의 동작 순서와 구조를 알아본다. 또한, 성능 분석을 통해 구현된 알고리즘들의 수행시간을 알아본다.

ABSTRACT

In this paper, the algorithms to increase the capacity of the forward link channel are studied in the DS-CDMA mobile communication system with the technology of transmit antenna array. Through of the implementation of the test bed with PC and DSP boards, the hardware implementation and optimization of the algorithms, the operation scenario and architecture of the test bed, are considered. In addition, the performance analyses are achieved about the execution time of the algorithms.

I. 서론

이동 통신에서 다중 안테나(multiple antennas)를 사용해 채널 용량을 증대시키는 배열 안테나(antenna array) 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지의 연구는 주로 기지국 수신기에 다중 안테나를 적용하여 역방향(uplink) 채널의 용량을 증가하는 방향으로 연구가 진행되었다^[1-2].

3세대 이동 통신 또는 무선 인터넷 통신에서는 오히려 역방향 채널 용량의 증대보다는 순방향(downlink) 채널 용량 증대가 더 필요하다. 일반적으로, 순방향 채널 용량을 증대시키려면 이동국 수신기에 배열 안테나를 사용해야 하는 것으로 생각

될 수 있다. 그런데, 이동국의 크기와 가격문제로 인해 이동국에 다중 안테나를 적용하는 것보다는 기지국 송신기에 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘을 적용하여 순방향 채널 용량을 향상하는 방향으로 연구가 진행 중이다^[3-5].

기지국이나 이동국에 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘을 적용하여 순방향 채널 용량을 증대하는 기술을 전송 배열 안테나(transmit antenna array) 기술이라고 한다. 전송 배열 안테나는 여러 가지 시스템 구조로 설계될 수 있지만, 성능과 제품 구현성의 이유로 인해 다음의 두 가지 시스템 구조가 적합하다. 그 중에 한 구조는 기지국 송신기에 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘이 있고, 이동국

* 한림대학교 정보통신공학부 (yulee@hallym.ac.kr),
논문번호 : K01180-0810, 접수일자 : 2001년 8월 10일

** 한양대학교 전자컴퓨터공학부

은 단일 안테나만 있는 blind 방식이다⁴⁾. 다른 구조는 기지국에 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘이 있고, 이동국은 단일 안테나와 제한된 범위의 신호처리 알고리즘(예를 들면, 순방향 채널 정보를 추정하고 이를 기지국에 역 전송하는 기능)이 있는 feedback 방식이나 semi-blind 방식 등이다^{5,8)}.

이 논문에서는 순방향 채널의 용량 증대가 필요한 3세대 이동 통신에서, 효율적인 채널 용량 증대 방법의 하나인 전송 배열 안테나 기술에 관한 알고리즘들을 알아보고, 검증 시스템을 제작하여 알고리즘의 하드웨어 구현과 최적화를 하여 전송 배열 안테나 기술의 시스템 해법을 알아본다.

이 논문에서는 순방향 채널 추정 문제는 복잡하고 시스템 의존적이므로 일반적인 채널 추정 방법을 사용하고, 다중 사용자(multi-user) 시스템은 다루기 어려워 단일 사용자(single user) 시스템에 대해서만 고려한다. 단일 사용자용 전송 배열 안테나 알고리즘을 구체화하기 위해 검증 시스템을 제작하고, 알고리즘을 실제 구현한다. 또한, 제작된 전송 배열 안테나의 검증 시스템에서 기지국과 이동국의 시스템 동작 순서를 알아보고, 주요 알고리즘의 실행 순서도 알아본다.

논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 순방향 채널 용량 증대를 위한 전송 배열 안테나 시스템 구조와 신호 모형에 관해 있고, 전송 배열 안테나의 알고리즘이 소개된다. 3장에서는 검증 시스템을 구현하고, 제안된 알고리즘의 검증 및 최적화를 다룬다. 성능 분석이 4장에 있고, 5장에 결론이 있다.

II. 전송 배열 안테나

2.1 시스템 구조

순방향 채널 용량을 증대할 목적으로 사용되는 전송 배열 안테나 기술은 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘을 적용하는 대상에 따라 여러 가지 시스템 구조를 생각할 수가 있다. 이 논문에서는 순방향 및 역방향 채널이 다른 주파수를 사용하는 주파수 분할 다윈(frequency division duplex, FDD) 방식의 직접 수열 부호 분할 다중 접속 (direct sequence code division multiple access, CDMA) 시스템에 배열 안테나 기술을 적용했을 경우에만 생각하자.

전송 배열 안테나 시스템을 구현하기 위해서 다음과 같은 시스템 구조를 생각할 수가 있다.

㉠구조 : 기지국 송신기에 다중 안테나와 배열 신호

처리 알고리즘으로 신호를 전송하고, 이동국 수신기는 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘으로 신호를 수신하는 기능이 있는 시스템 구조

㉡구조 : 기지국 송신기에서 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘으로 신호를 보내고, 이를 이동국 수신기에서 단일 안테나로만 신호를 받는 시스템 구조

㉢구조 : 기지국 송신기에 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘이 있어 신호를 전송하고, 이동국 수신기는 단일 안테나와 제한된 범위의 신호처리 기능이 순방향 채널 정보를 추정하고 이를 기지국에 역 전송하는 알고리즘이 있는 시스템 구조

㉣구조 : 기지국 송신기는 단일 안테나로만 신호를 전송하고, 이동국 수신기는 다중 안테나와 배열 신호 처리 알고리즘으로 신호를 수신하는 구조

위 시스템 구조들 중에서, 이동국의 제한된 크기와 소비 전력이 작아야 되는 조건 때문에 ㉠과 ㉡ 구조는 시스템 구현 면에서 현실성이 없다. 한편, 시스템 구현을 고려하지 않고 성능 면에서 보면 ㉠ 구조 성능이 가장 우수할 것이고, ㉢과 ㉣ 구조은 유사한 성능을 보일 것이다¹⁾.

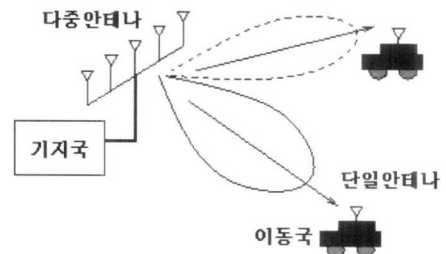


그림 1. 전송 배열 안테나 시스템 구조

순방향 채널 용량을 증대하기 위해 사용되는 전송 배열 안테나의 시스템 구조는 성능이나 시스템 구현 면에서 볼 때, ㉠과 ㉣구조가 가장 적절하며, <그림 1>에 나타내었다. 이 논문에서는 ㉢과 ㉣ 구조에 적용될 수 있는 구현이 쉽고 효율적인 알고리즘에 대해 알아본다.

2.2 시스템 구성

주파수 분할 다윈 방식의 직접 수열 부호 분할 다중 접속 시스템에 단일 가입자 전송 배열 안테나 시스템을 적용하기 위해 필요한 알고리즘과 시스템 구성 등을 살펴보면 <그림 2>와 같다.

여기서, P_k 는 k 번째 가입자에게 전송된 신호전력이다. 참고문헌 [8]에서도 볼 수 있듯이, (3)식을 풀면, 전송 배열 안테나 기술에서 전송 빔을 얻기 위한 최적의 빔 가중 벡터는 다음과 같이 구해진다.

$$w_{k, \text{opt}} = \sqrt{P_k} e_{\text{max}} \quad (4)$$

여기서, e_{max} 는 $H^H H$ 행렬의 최대 고유치(eigenvalue)에 대응하는 고유벡터(eigenvector)가 된다.

정리하면, 기지국에서 전송 빔을 형성하려면, 순방향 채널을 추정하여 얻은 행렬 $\hat{H}^H \hat{H}$ 에서 최대 고유벡터를 구하여, 기지국에서 빔 형성 가중벡터를 만든다. 이 과정에서 기지국은 전송 빔을 만들기 위해, 순방향 채널 추정 알고리즘, 추정 정보를 가지고 고유벡터를 계산하는 알고리즘 등이 필요하다.

III. 검증 시스템 구현

주파수 분할 다원 방식의 직접 수열 부호 분할 다중 접속 시스템에 <그림 2>에 있는 전송 배열 안테나의 시스템 구성과 알고리즘 개념을 실제로 구현해 보자. 먼저, 2.3절에 있는 알고리즘을 Matlab이나 C 언어를 사용하여 기지국의 순방향 빔을 형성하는 알고리즘, 이상적인 채널 추정 알고리즘, 채널 정보로부터 빔 형성 가중 벡터를 얻는 알고리즘, 고유 벡터를 구하는 알고리즘들을 작성한다. 다음, 알고리즘 검증용 검증 시스템을 제작하여 작성된 전송 배열 안테나의 여러 가지 알고리즘들을 하드웨어 적으로 실현 가능한 가를 알아본다. 마지막으로, 알고리즘의 수행시간을 최적화 하는 것이다.

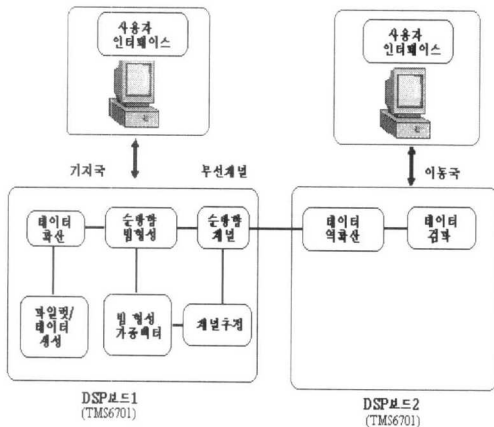


그림 3. 전송 배열 안테나 검증 시스템 구조

전송 배열 안테나 시스템의 알고리즘들을 검증하기 위해서 <그림 3>과 같은 검증 시스템 구조를 생각하였다. 이때, 순방향 채널의 추정은 완벽하여, 채널 정보를 완전하게 알 수 있고, 이를 기지국에서 알고 있다고 가정한 시스템 구조이다.

검증 시스템은 개인용 컴퓨터 (personal computer, PC) 두 대, TMS32C6701인 DSP보드 두 대, DSP보드 사이에 직렬 통신을 하는 연결부로 구성된다. PC 제어가 가능한 DSP 보드 한 대는 무선 채널 생성 알고리즘과 기지국의 알고리즘들이 내장되어 동작되며, 다른 DSP 보드는 역시 PC 제어가 가능하며 이동국의 알고리즘들이 내부에서 동작된다.

검증 시스템을 운영하는 소프트웨어는 크게 나누어, PC 윈도우 환경에서 사용자 인터페이스 기능을 수행하는 프로그램과 전송 배열 안테나 기능을 위한 알고리즘들로 구성된다.

전송 배열 안테나 알고리즘들은 먼저, Matlab언어의 프로그램을 사용하여 PC 환경에서 알고리즘을 검증하고, Matlab 프로그램을 C 언어로 변환하였다. 다음에 DSP보드에서 동작되는 기계어 또는 어셈블리 언어로 바꾸는 과정을 거쳐, DSP보드 안에서 동작되는 알고리즘들로 구현 되었다. DSP보드의 알고리즘들은 DSP보드의 내부 프로그램을 통해 제어된다.

<그림 3>에 있는 전송 배열 안테나 검증 시스템은 <그림 4>와 <그림 5>에 있는 순서에 따라 시스템이 동작한다. 구체적으로, 기지국과 무선 채널에서 수행되는 동작은 <그림 4>의 순서에 따라 진행되며, 이동국의 동작 순서는 <그림 5>에 나와 있다. 동작한다. 검증 시스템에서 동작되는 알고리즘들의 기능은 다음과 같다. 무선 채널 생성 알고리즘은 DSP보드 안에서 동작하며 실제, 옥내 순방향 무선 채널과 같은 효과를 출력하는 소프트웨어 시뮬레이터로 PC에서 신호 도착 방향 혹은 페이딩 변수들을 입력으로 받아 무선 채널을 만든다. 기지국은 기지국에서 단일 가입자에게 보낼 데이터와 파일럿 신호를 생성하는 알고리즘, 확산 알고리즘, 순방향 채널로 전송되는 빔을 형성하는 알고리즘, 빔 형성 가중 벡터를 만드는 알고리즘 등으로, DSP보드 안에서 동작하며 기지국 역할을 하는 시뮬레이터이다. 이동국의 알고리즘들은 순방향 채널에 대한 추정 알고리즘, 데이터 역확산 알고리즘, 데이터 검파 알고리즘 등으로 DSP보드에서 동작하는 시뮬레이터이다.



그림 4. 검증 시스템(기지국과 무선채널) 시스템 동작 순서

전송 배열 안테나 기능을 하기 위한 동작되는 알고리즘들의 상세한 순서가 <그림 6>에 있다. DSP 보드에서 구현된 알고리즘에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

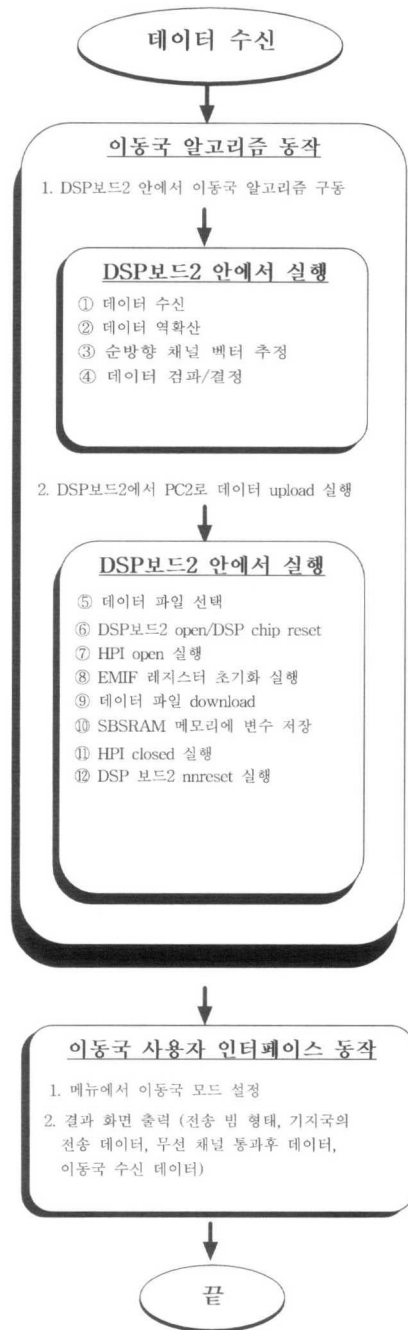


그림 5. 검증 시스템 (이동국) 동작 순서

신호 발생 알고리즘은 기지국에서 전송할 데이터와 보조 파일럿 신호를 발생한다. 보조 파일럿 신호는 크기를 1이며, 동일한 길이로 반복 발생한다. 전송 데이터는 복소 정규 확률 변수에서 임의로 발생하여 BPSK 데이터 변조를 하는데 발생된 수가 0

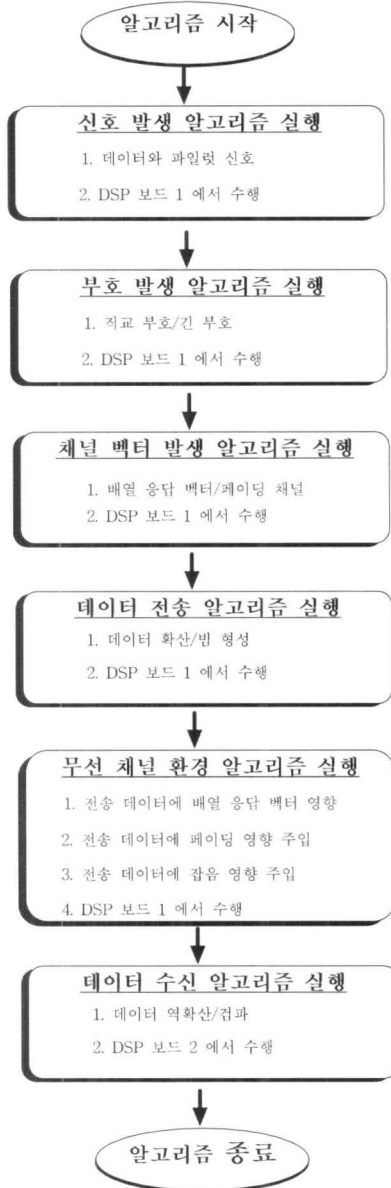


그림 6. 알고리즘 순서도

보다 클 경우 1로 하고, 작을 경우 -1로 한다.

부호 발생 알고리즘은 직교 부호와 긴(long) 부호를 만든다. 직교 부호는 Walsh 부호를 이용하며, 기지국에서 전송할 데이터를 확산 변조시킨다. 이때, Walsh 부호는 64×64 행렬에서 64 행 가운데 하나를 사용한다. 의사 (pseudo noise, PN) 부호는 복소 정규 확률 분포에서 하나를 사용하여 전송 데이터를 확산하여 이동국에서 구별하게 한다. CDMA 방식에서 사용하는 짧은 PN 부호는 순방향 통신에

서 기지국 구별을 위해 사용하므로 이 검증 시스템에서는 고려하지 않았다.

채널 벡터 발생 알고리즘은 배열 응답 벡터와 페이딩 채널을 만든다. 기지국에서 전송된 신호는 기지국 배열 안테나의 구조적인 특성을 나타내는 배열 응답 벡터의 공간적인 영향을 받은 후, 다중경로 특성을 가지는 무선 채널의 페이딩 영향과 가입자의 이동으로 생기는 도플러 영향을 받는다. 이를 모형화 하기 위해 기지국 안테나의 배열 응답 벡터와 무선 채널 모형으로 많이 사용되는 제이크 (Jake) 채널 모형을 사용한다.

신호와 부호, 채널 벡터를 만든 후, 데이터 전송 알고리즘을 통해 기지국 데이터를 이동국으로 보낸다. 데이터 전송은 먼저, 전송 데이터를 BPSK 방식의 데이터 변조, 부호를 사용한 확산 변조를 한 후, 기지국의 사용자 인터페이스에 입력된 신호 방향 또는 신호 도착 방향 알고리즘을 통해 얻은 방향과 배열 응답 벡터를 가지고, 가입자가 있는 신호 도착방향으로 빔을 형성하여 전송한다.

무선 채널 환경은 전송 데이터에 배열 응답 특성, 페이딩 채널 효과, 가산성 백색 정규 잡음 영향을 인가하여, 데이터가 실제 무선 채널 영향을 받는 효과를 준다.

데이터 수신 알고리즘은 이동국에서 데이터를 수신하면, 먼저 직교 및 긴 부호를 이용하여 데이터 역확산을 한 후 데이터 검파를 수행한다.

IV. 성능 분석

검증 시스템의 소프트웨어 구성은 크게 나누어, 기지국 및 이동국 알고리즘이 동작하는 DSP보드의 구동 소프트웨어인 어셈블러 프로그램과 사용자 인터페이스가 구동되는 윈도우 프로그램으로 되어 있다. 검증 시스템 동작에 소요되는 시간을 최소화하기 위해, 두 프로그램에 대해 소프트웨어 최적화 작업이 필요하지만, 여기서는 주로 기지국과 이동국을 구동하는 전송 배열 안테나 알고리즘에 대해서 최적화만을 고려한다. 일반적으로 소프트웨어 최적화 작업은 <그림 7>과 같은 과정으로 3단계 모두에서 알고리즘들을 최적화를 수행하는데, 주로 2와 3 단계 최적화 결과가 전체 최적화에 영향을 준다. 검증 시스템에서 사용한 DSP보드 TMS320C6701 보드는 내부 최적화 프로그램인 Code Composer로 2단계 최적화를 할 수 있도록 되어 있다.

TMS320C6701 DSP는 기준 수행 사이클이 167 MHz로 1 사이클 수행시간은 6 nsec로 검증 시스템에서 동작되는 각 알고리즘의 소요 시간을 보면 <표 4.1>과 같다. 이 결과는 전송 배열 안테나의 모든 알고리즘을 최적화를 하고 난 후, 각 세부 알고리즘들이 구동하는데, 소요된 수행 사이클 수와 수행 시간이다.

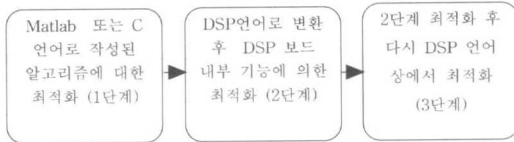


그림 7. 알고리즘 최적화 과정

<표 4.1>의 결과는 기지국에서 48심볼 데이터를 10번 전송하여 이동국에서 수신된 데이터 480개를 얻어내는 데, 소요되는 시간과 수행 사이클을 나타낸 것이다. 전송 배열 안테나 검증 시스템이 동작하는 데 필요한 전체 소요 시간은 약 1.049초이다. 검증 시스템은 DSP 보드를 사용하지 않고 PC 2대로만 제작할 수도 있다. 이럴 경우, 167MHz 클럭을 가지는 CPU를 사용한 PC에서 C언어로 작성된 알고리즘을 수행하였을 때의 소요시간은 약 1.913초가 된다. 그래서, DSP 보드를 사용한 검증 시스템은 PC만 사용한 검증 시스템에 비해, 약 2배 정도의 알고리즘 최적화와 소요 시간 개선을 볼 수가 있었다.

표 4.1. 검증 시스템내 알고리즘 수행 시간

| 알고리즘 | 수행 사이클 | 수행 시간(msec) |
|--------|-------------|-------------|
| 신호발생 | 2,219,902 | 13.319 |
| 부호발생 | 47,315,522 | 283.393 |
| 채널벡터발생 | 6,847,078 | 41.082 |
| 데이터 전송 | 50,322,232 | 301.933 |
| 무선채널 | 62,730,240 | 376.381 |
| 데이터 수신 | 5,419,200 | 32.515 |
| 합계 | 174,854,174 | 1,049.125 |

V. 결론

직접 수열 부호 분할 다중 접속 방식의 이동 통신 시스템에서 순방향 채널의 용량을 증대하기 위해 사용하는 전송 배열 안테나 기술에 관한 효율적인 알고리즘들을 알아보았다. DSP와 PC를 사용하

여 전송 배열 안테나 시스템의 알고리즘 검증용 시스템을 제작하여 알고리즘들의 하드웨어 구현과 최적화, 검증 시스템의 동작 순서와 시스템 구조 등을 나타냈다. 알고리즘 검증 시스템은 PC만 사용한 검증 시스템에 비해, 약 2배 정도의 알고리즘 최적화와 소요 시간 개선을 볼 수가 있었다.

고마움의 글

이 논문은 2001년도 한림대학교 교비 연구비에 의하여 연구되었으므로, 이에 고마움을 표시합니다.

참고 문헌

- [1] J.S. Thompson, P.M. Grant, and B. Mulgrew, "Smart antenna arrays for CDMA systems," *IEEE Personal Comm.*, vol.14, pp.16-25, October 1996.
- [2] A.F. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, "Capacity improvement with base station antenna arrays in cellular CDMA," *IEEE Tr. Veh. Tech.*, vol. VT-43, pp.691-698, August 1994.
- [3] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Jr. Sel. Areas in Comm.*, vol. 16, pp. 1451-1458, October 1998.
- [4] G.G. Raleigh, S.N. Diggavi, V.K. Jones, and A.Paulraj, "A blind adaptive transmit antenna algorithm for wireless communication," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 1494-1499, Seattle, WA, June 1995.
- [5] D. Gerlach and A. Paulraj, "Adaptive transmitting antenna arrays with feedback," *IEEE Signal Processing Letters*, vol.1, pp. 150-152, October 1994.
- [6] C. Farsakh and J.A. Nossek, "Spatial covariance based downlink beamforming in an SDMA mobile radio system," *IEEE Tr. Comm.*, vol.46, pp. 1497-1506, November 1998.
- [7] F. Rashid, Farrokhi, K.J.R. Liu, and L. Tassiulas, "Transmit beamforming and power control for cellular wireless systems," *IEEE Jr. Sel. Areas in Comm.*, vol.16, pp. 1437-1450, October 1998.

- [8] J. Choi, S. Perreau, and Y.U. Lee, "Semi-blind method for transmit antenna array in CDMA systems," in *Proc. IEEE VTC*, Boston, Aug. 2000.
- [9] R.O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Tr. Ant. Prop.*, vol. AP-34, pp. 276-280, Mar. 1986.

1988년 3월~2000년 2월 : 삼성전자(주) 중앙연구소
수석 연구원

2000년 3월~현재 : 한림대학교 정보통신공학부
조교수

<주관심 분야> 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통신

이 용 업(Yong Up Lee)

종신회원



1985년 2월 : 서울대학교
전자공학과 공학사

1987년 2월 : 한국 과학기술원
전기 및 전자과 공학석사

1996년 8월 : 한국 과학기술원
전기 및 전자과 공학박사

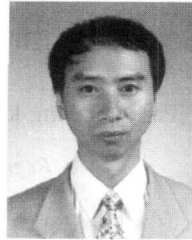
1987년 8월~1998년 1월 : 삼성전자 정보통신 연구소
신입 연구원

1998년 3월~현재 : 한림대학교 정보통신공학부
조교수

<주관심 분야> 이동 통신 이론, 다중 사용자 검파
스마트 안테나, 배열 신호처리

박 중 후(Joong-Hoo Park)

정회원



1985년 2월 : 서울대학교
전자공학과 공학사

1987년 2월 : 서울대학교
전자공학과 공학석사

1997년 2월 : Univ. of
Missouri-Rolla, 전기
공학과 공학 박사

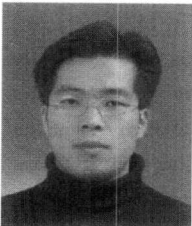
1997년 11월~2000년 2월 : 삼성전자(주) 통신연구소
수석 연구원

2000년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터 공학부
전임강사

<주관심 분야> 이동 통신 이론, 다중 사용자 검파,
IMT-2000

이 준 호(Joon-Ho Lee)

준회원



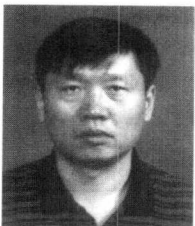
1985년 2월 : 한림대학교
정보통신공학부 공학사

1985년 3월~현재 :
한림대학교 전자공학과
석사과정

<주관심 분야> 신호처리, 영상처리

김 종 대(Jong Dae Kim)

정회원



1982년 2월 : 서울대학교
전자 공학과 공학사

1984년 2월 : 한국 과학 기술원
전기 및 전자과 공학석사

1990년 2월 : 한국 과학 기술원
전기 및 전자과 공학박사