

CDMA 역방향 링크에서 OPEN LOOP 전력제어 알고리즘 분석

正會員 李 哲 熙*, 朴 鍾 安*

Analysis of OPEN LOOP Power Control in CDMA Reverse Link

Cheul Hee Lee*, Jong An Park* *Regular Members*

※이 논문은 1994년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

요 약

CDMA 이동통신 시스템에서, 역방향 전력제어는 양호한 음성통화 품질을 얻기 위해 간섭레벨을 최소화하여 시스템 용량을 극대화시킨다.

본 논문에서는 K파라미터 환경과 이동국의 액세스 절차를 분석하여 기지국의 새로운 액세스 프로브 알고리즘을 제안한다. K파라미터는 기지국 환경에 따라서 결정되며, 액세스 프로브는 이동국의 위치변화나 채널의 여러 상태변화에 따라서 적응적으로 전력을 제어하도록 한다.

제한된 시험환경에서의 시뮬레이션 결과는 알고리즘이 양호한 음성통화품질을 유지하면서 시스템용량을 증가시키며 이동국의 전력소모를 감소시킬 수 있다는 것을 보였다.

ABSTRACT

In the CDMA mobile communication system, reverse power control can be used to minimize the interference level for a good quality of the voice channel, and used to maximize the system capacity.

In this paper, we have analyzed the environment of the K-parameter and the access procedure for the mobile station, and proposed a new algorithm for the access probe procedure of the station. K-parameter is determined according to the environment of the base station and access probe can adaptively control the power according to the position changes of the mobile station or the rapid and various state changes of the channel.

Simulation results in the limited test environment show that it can increase the system capacity and decrease the power consumption of the mobile station while maintaining the good and stable quality of the voice channel.

*조선대학교 공과대학 전자·정보통신 공학부

論文番號:96112-0409

接受日字:1996年 4月 9日

I. 서 론

이동통신 시스템에서는 양호한 통화품질을 유지하기 위하여 근원문제, 경계문제 그리고 느리거나 빠른 채널 상태의 변화 등에 대한 연구가 이루어지고 있다. CDMA 이동통신 시스템에서는 전력을 동일하게 하여 인접 셀간의 간섭 및 셀내의 간섭 등을 줄이도록 전력제어를 수행하고 있다. 이와 같은 전력제어에는 순방향 전력제어와 역방향 전력제어가 있다. 순방향 전력제어는 정해진 통화 품질을 유지하기 위해서 기지국의 전력 레벨을 조절하는 것으로서 인접셀로부터의 간섭을 최소화 하는데 있다. 이동국은 순방향 통화 채널 프레임의 품질 상태를 CRC(Cyclic Redundancy Checking)로 측정하여 전력보고 모드가 1이면 일정 주기마다, 0이면 불량 프레임 수가 정해진 임계치를 넘을 경우에만 기지국으로 전력 측정 보고 메시지를 송신한다. 기지국은 이러한 메시지를 받으면 FER(Frame Error Rate)을 기준치와 비교 판단하여 송신전력을 조절하게 된다. 이것은 기지국의 셀 제어기를 3~4 dB정도의 비교적 적은 범위내에서 조정하고 있다.^[1-4]

역방향 전력제어는 이동국의 송신레벨을 조절하는 것으로 근원 간섭문제 등을 해결하기 위해서 사용하고 있다. 역방향 전력 제어에는 개루프 전력제어와 폐루프 전력제어가 있다. 개루프 전력제어는 이동국이 독자적으로 기지국으로부터의 신호를 추정하여 송신전력을 조절한다. 이동국의 전력제어 변수로는 K 파라미터, 이동국 수신신호 강도, NOM_PWR, INIT_PWR, 액세스 프로브 교정값 등이 있으며, 이 측정치로부터 출력전력을 결정하게 된다. 여기서 K 파라미터는 시스템 파라미터 상수로 기지국 전력중복기 출력, 기지국 잡음특성, 역방향 Eb/Nt(Bit Energy Per Total Noise)비의 목표치, 기지국 부하 그리고 타 기지국의 간섭 레벨등의 파라미터들에 따라 변동이 된다. 이러한 개루프 전력제어는 80dBm 정도의 큰 변동범위를 가지고 이동국 출력전력을 조절한다. 이동국 전력 증가는 다른 이동국들에게 커다란 간섭을 일으키게 되므로 서서히 이루어져야 하고, 감소는 급속히 이루어져야 한다.

폐루프 전력제어는 역방향과 순방향 경로 손실이 같다는 전제하에 이루어지며, 개루프 전력제어시 발

생하는 레일리페이딩 때문에 이동국이 수신한 신호만으로는 기지국의 상태를 추정할 수 없게되는 문제점을 해결하기 위해서 사용된다. 즉, 미리 정해진 FER을 유지하기 위해 셀 내의 모든 이동국에 대한 역방향 Eb/No 기준치를 설정하고, 이 설정된 Eb/No와 1.25ms 동안 수신 평균한 Eb/No를 비교 측정하여 이동국의 송신 전력을 조절하는 것이다. 이러한 폐루프 전력제어는 통화채널 20ms의 음성신호 한 프레임에 16개의 전력제어 그룹을 포함하고 있으며, 기지국에서는 1Bit의 전력제어 명령을 순방향 트래픽 채널을 통하여 매 전력제어 그룹마다 이동국에 전송하여 조절한다.

또한 각 전력제어 그룹은 24개의 변조심볼 길이로 나누어지고 이중 전력제어 명령비트는 각 24개의 변조심볼 위치중 랜덤하게 선택한 연속된 두개의 변조심볼을 대치하여 전송된다. 이렇게 변조심볼 대신 그 위치에 전력제어 명령을 삽입시키는 방법을 편차링 기법이라고 한다. 여기서 각 변조심볼은 채널 인코딩과 최대거리를 갖는 블록 인터리빙을 거쳤기 때문에 인접한 변조심볼 사이에는 최대거리를 가지므로 전력제어 명령비트로 편차링되는 변조심볼은 비터비 디코딩에 의해 수정이 가능하다. 또한 이러한 편차링 기법은 음성신호에 심볼 간섭을 일으키는 것과 같으므로 특정 위치의 심볼에만 오차가 발생하는 것을 막기 위하여 그 위치를 랜덤하게 분산시키는 방법으로 역방향 전력제어를 실행하고 있다.^[1-6]

이러한 역방향 개루프 전력제어에 있어서 초기 송신전력에 대한 메시지에 대하여 기지국으로부터 응답 메시지를 받지 못하면 NUM_STEP이 정한 만큼 일정 간격(1 dB)으로 이동국 출력전력이 증가하게 된다. 이것은 사용자가 많은 지역에서나 적은 지역에서 동일하게 증가하게 되므로 사용자가 많은 지역에서는 다른 이동국에 간섭을 줄 수 있으며, 또한 사용자가 적은 지역에서는 통화채널 획득 시간이 지연될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 K 파라미터 환경분석과 액세스 프로브 절차 상 PWR_STEP 알고리즘을 개선하여 사용자가 많은 서울 지역 등 대도시와 중소도시를 구분하여 적용적으로 전력증가를 조절하므로써 최소한 간섭을 줄여 음성 품질 및 용량을 극대화할 수 있음을 제안하고, 시험을 통하여 그 결과를 확인하고자 한다. 이를 위해서 제 II장에서 개루프 전력제어 알고리즘을 개선하고, 제 III장에서는 제안된 알고리즘

에 따라 전력제어에 대한 시험 및 분석을 행하며, 제 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 개루프 전력제어 알고리즘 개선

개루프 모드에서 이동국은 기지국과 이동국사이에 전송손실을 평가하기 위하여 수신된 신호를 이용한다. 전송손실은 송신 전력증폭기의 출력 전력대 수신 안테나에서 수신되는 전력의 비이며 식 (1)과 같다.⁽⁷⁾

$$T(r) = 10 \cdot \log (P_r(r) / P_t) \quad (1)$$

경로손실은 전송손실에 반파장 도플러(cable손실 포함)와 관계된 두 안테나 이득을 뺀 값으로 식 (2)와 같이 테시벨로 전개된다.

$$L(r) = 10 \cdot \log (P_r(r) / P_t) - G_x - G_r \quad (2)$$

여기서 $P_r(r)$ 는 송신 전력 증폭기 출력이고, P_t 는 송신기로 부터 거리 r 만큼 떨어진 수신기의 LNA 입력으로 수신된 전력이다. 그리고, G_x 는 반파장 도플러와 관계된 송신안테나의 이득(dB)이고, G_r 는 반파장 도플러와 관계된 수신안테나의 이득(dB)이다. 이러한 측정치로 부터 순방향 전송 손실을 평가하며 채널상에 갑작스런 전력 감소나 증가를 적응적으로 제어하게 된다. 셀에서 SNR은 거리 r 에 위치한 이동국에 기인되는 것으로 식 (3)과 같다.

$$SNR(r) = \frac{P_r^m}{(N_o W)_c + (N/F-1) \cdot V \cdot P_r^m(r) \cdot T(r)} \quad (3)$$

여기서 $P_r^m(r)$ 은 이동국 전력 증폭기 출력이고, $T(r)$ 는 역방향 전송손실이며, 또한 N 는 셀당 실제적인 사용자의 수이다. 그리고 V 는 통화중 평균 음성 Activity factor이고, F 는 주파수 재사용 효율이며, $(N_o W)_c$ 는 셀의 열잡음이다. 이동국은 기지국 전력증폭기의 출력과 총 수신전력을 측정함으로써 경로손실 $L(r)$ 을 평가한다. 총 수신된 전력은 식 (4)와 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} P_r^m &= P_t^c \cdot T(r) + (N_o W)_c + I_{oc} \cdot W \\ &= (1 + \zeta_1 + \zeta_2) P_t^c L(r) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 P_t^c 는 셀 전력증폭기 출력이고, $P_r^m(r)$ 은 이동국에 수신된 총 전력이다. 또한 I_{oc} 는 다른 셀로부터 간섭의 스펙트럼 밀도이고, ζ_1 는 타 기지국으로부터의 전력과 이동국 소속 기지국 전력 비율이다. 그리고 ζ_2 는 열잡음 대 이동국 소속 기지국 전력의 비이고, $L(r)$ 는 경로 손실이다. 각 이동국에 의해 송신된 전력을 최소화하기 위한 최적 방법은 SNR이 동등해야 하며 모든 역방향 채널에서 같은 최소 SNR을 유지해야 한다. 최소 SNR는 때때로 시스템 보호 비라고도 한다. 식 (3)과 식 (4)로부터 식 (5)가 유도된다.

$$SNR_{min} = \frac{P_r^m(r) \frac{P_t^c(r)}{(1 + \zeta_1 + \zeta_2) P_t^c(r)}}{(N_o W)_c + \frac{(N/F-1) \cdot V \cdot P_r^m(r) P_r^m(r)}{(1 + \zeta_1 + \zeta_2) P_t^c(r)}} \quad (5)$$

이들 식으로부터 이동국이 소속된 셀로 접할 경우에 총 수신된 전력은 주로 그 소속된 셀에 기인되며 경로 손실은 식 (6)과 같다.

$$L(r) = \frac{P_r^m(r)}{P_t^c(r)} \quad (6)$$

이동국이 소속된 셀의 가장자리로 접할 경우에 총 수신전력은 하나의 셀에 기인된다. 이동국이 3개 인접 셀과 등거리에 있을 때 가장 나쁜 조건이 되며 식 (7)와 같다.

$$(1 + \zeta_1 + \zeta_2) < 3 \quad (7)$$

그리고

$$(N_o W)_c + \frac{(N/F-1) \cdot V \cdot P_r^m(r) P_r^m(r)}{(1 + \zeta_1 + \zeta_2) P_t^c(r)}$$

위 항은 오직 기지국 부하에 의존하고, 따라서 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} &\frac{(N_o W)_c + \frac{(N/F-1) \cdot V \cdot P_r^m(r) P_r^m(r)}{(1 + \zeta_1 + \zeta_2) P_t^c(r)}}{(N_o W)_c} \\ &= \frac{1}{(1-X)} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 X 는 기지국 부하이며 실제적인 사용자의

수 대 최대 허용할 수 있는 사용자의 수의 비로 정의 된다. 식 (5)와 식 (8)로부터 식 (9)와 같이 유도할 수 있다.

$$SNR_{\min}(\text{dB}) = P_r^m(r) + P_r^m(r) + 10 \cdot \log(1 - X) - 10 \cdot \log(1 + \zeta_1 + \zeta_2) - (N_o W)_c \quad (9)$$

따라서 이동국이 전송하는 전력이 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} P_r^m(r) &= SNR_{\min}(\text{dB}) - 10 \cdot \log(1 - X) \\ &\quad + P_r^c(r) + 10 \cdot \log(1 + \zeta_1 + \zeta_2) - (N_o W)_c \\ &= Eb/Nt - 21 - P_r^c(r) - 10 \cdot \log(1 - X) \\ &\quad + P_r^c + 10 \cdot \log(1 + \zeta_1 + \zeta_2) + (N_o W)_c \\ &= Eb/Nt - 134 - P_r^c(r) - 10 \cdot \log(1 - X) \\ &\quad + P_r^c + 10 \cdot \log(1 + \zeta_1 + \zeta_2) + F_n \\ &= K - P_r^c(r) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 K 상수의 값은 식 (11)과 같이 정의 된다.

$$K = Eb/Nt - 134 - 10 \cdot \log(1 - X) + P_r^c + 10 \cdot \log(1 + \zeta_1 + \zeta_2) + F_n \quad (11)$$

K는 기지국으로부터 이동국으로 보내지는 시스템 파라미터 메시지의 상수값이다. 식 (11)에서 상수 -134는 9.4KHz 대역내에 열적 잡음전력이고, F_n 은 셀잡음 형태이다. 따라서 K값은 셀의 잡음 형태, 안테나 이득 및 케이블 손실, 부하, 총 전송된 전력, 그리고 다른 셀로부터의 영향, 그리고 역방향 Eb/Nt 등의 여러 시스템 파라미터와 밀접한 관계가 있다.

개루프 전력제어시 이동국 출력 전력은 $P_r^m(r) = K - P_r^c(r)$ 로써 수신 전력이 -25dBm에서 -105dBm 범위로 변동했을 때 $-48 \pm 9.5\text{dBm}$ 에서 19dBm 이상까지 제어되어야 한다. 그리고 시간응답 속도는 AGC 필터의 시정수에 의존한다. 만약 AGC필터 시정수가 τ 을 가질 경우 식 (12)를 이용하여, 이동국 출력 전력 상승에 대한 시간응답을 평가할 수 있다.⁽⁸⁾

$$P_r^m(r) = P_r^m [1 - \exp^{-t/\tau}] \quad (12)$$

위 시간 응답은 이동국에 대한 간섭때문에 다음과 같이 상한값과 하한값을 IS-98 규정에 의해서 제한을

하고 있다. 상한 값은 식 (13) 및 (14)와 같다.

$$0 < t < 24\text{ms일 때} \\ \max\{1.2 \cdot |\Delta Pin| \cdot (t/24), |\Delta Pin| \cdot (t/24) + 0.5\text{dB}\} \quad (13)$$

$$t \geq 24\text{ms일 때} \\ \max\{1.2 \cdot |\Delta Pin|, |\Delta Pin| + 0.5\text{dB}\} + 1\text{dB} \quad (14)$$

하한값은 식 (15)와 같다.

$$t > 0\text{일 때} \\ \max\{0.8 \cdot |\Delta Pin| \cdot [1 - \exp^{-(1.25 - T)/36}] - 0.5\text{dB}, 0\} - 1\text{dB} \quad (15)$$

여기서 $|\Delta Pin|$ 는 전력제어 증감치를 나타내고 있으며, t는 ms 단위이다. 이동국은 개루프 전력제어를 독자적으로 평가하여 액세스 채널을 통하여 교정을 한다. 이때 이동국이 평가한 송신 평균 전력은 식 (16)과 같다.⁽⁸⁻¹⁴⁾

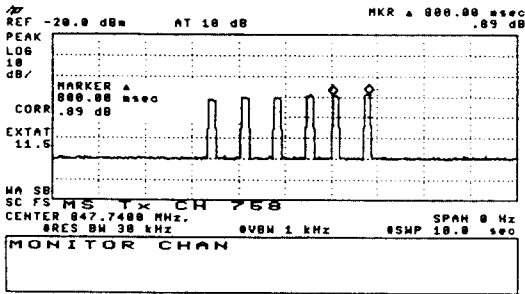
$$P_r^m(r) = K - P_r^c(r) + NOM_PWR + INIT_PWR + \text{기지국 액세스 프로브 교정값의 합} \quad (16)$$

위 수식에서 NOM_PWR은 기지국에 적정 수신전력을 제공하는 수정 전력이고, INIT_PWR은 이동국 액세스를 위한 초기전력 옵션이다. 기지국 액세스 프로브 교정값은 NUM_STEP과 PWR_STEP의 두가지 변수가 있으며, NUM_STEP은 기지국과 몇번 액세스를 할 것인가를 결정하고, PWR_STEP은 한번 액세스하는데 몇 dB증감을 할 것인가를 결정한다. 본 연구에서는 이와 같은 액세스 프로브를 환경에 따라 적용적으로 실행할 수 있도록 개선한 것이며, 이와 같은 액세스 절차는 그림 1과 같다.

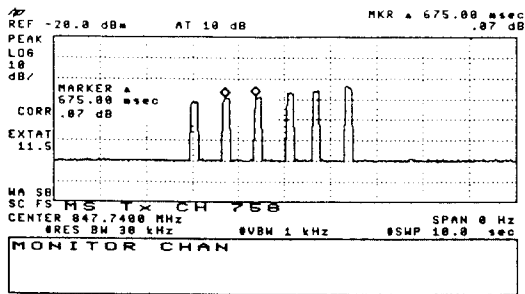
그리고, 식 (17)과 식 (18)은 이들 액세스 프로브 절차를 나타내는데, 짝수일 때 선형적으로 홀수일 때 비 선형적으로 액세스 프로브를하여 전력을 증감하는 것을 나타낸다.

$$A_n = \frac{(N \cdot P)}{2} \quad \text{일 때 짝수} \quad (17)$$

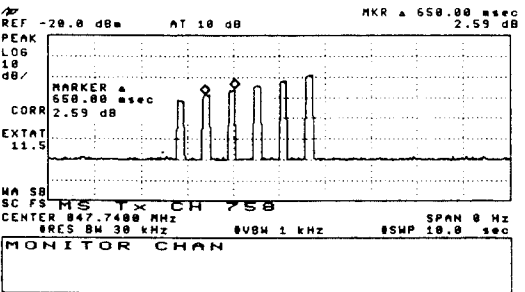
$$A_n = \frac{(P+1)}{2} + \frac{P(N-1)}{2} + \frac{(-1)^{(N-1)} - 1}{4} \quad \text{일 때 홀수} \quad (18)$$



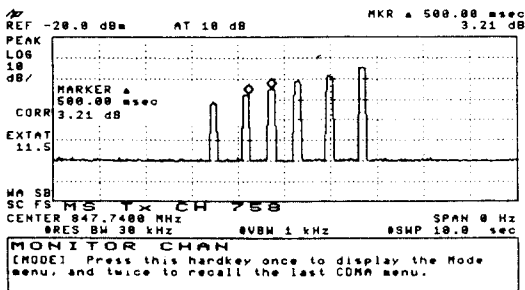
(a) PWR_STEP=1 일 때 전력 증분 측정치



(b) PWR_STEP=3 일 때 전력 증분 측정치



(c) PWR_STEP=5 일 때 전력 증분 측정치



(d) PWR_STEP=7 일 때 전력 증분 측정치

그림 4. 액세스 프로브 출력 전력측정

Fig. 4 Measured values of Access Probe output power

STEP=4일 경우는 2[dB], 2[dB], 2[dB], 2[dB]씩 증가하였다. 그리고 MAX_RSP_SEQ=3는 ACK메세지를 받지 못하면 NOM_PWR, INIT_PWR 만큼 연속해서 3번 반복하여 액세스 프로브 합을 그림 4와 같이 측정하여 확인하였다.

4. 개루프 전력제어 측정

이동국 송신 전력은 $P_r^m(r) = K - P_r^m(r)$ 로써 수신 전력이 -25dBm 에서 -105dBm 범위로 변동했을 때 $-48 \pm 9.5\text{dBm}$ 에서 19dBm 이상까지 제어되어야 한다. 여기에서 NOM_PWR, INIT_PWR 그리고 기지국 액세스 프로브 고정값의 합을 모두 사용하지 않았으며 분석된 데이터는 그림 5와 같다. 이때 K의 값은 -73dBm 이다. 이들 결과는 개선된 알고리즘에 의한 전력제어가 제한된 시간내에 규정치 범위내에서 효과적으로 이루어지고 있음을 나타내었다.

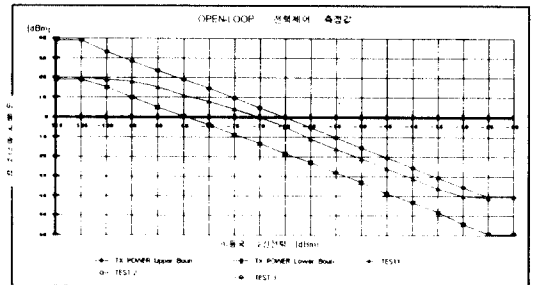


그림 5. 개루프 전력제어 측정값

Fig. 5 Measured Values of openloop Power Control

IV. 결론

CDMA 셀룰러 이동통신의 개루프 전력제어에 있어서 이동국의 송신전력을 제어하는 K 파라미터에 대하여 고찰하였으며 적용적인 기지국 액세스 프로브 절차를 제안하였다. K 파라미터는 기지국 환경에서 사용자의 수에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 이것은 이동국의 송신전력을 원활하게 제어할 수 없으므로 타 이동국에 간섭을 미치지 않는 범위에서 이동국 자체적으로 K값을 결정하도록 하였다. 또한 개선된 기지국 액세스 프로브 절차는 사용자의 수에 따라 선형 또는 비선형으로 적응적으로 전력을 증감하도록

록 하였다. 이것은 기지국 운영자가 셀 설계시 각 지역환경에 따라 INIT_PWR가 NUM_STEP, PWR_STEP의 변수값을 최적으로 설정하여 이동국을 제어함으로써 셀당 보다 많은 가입자를 수용 할 수 있고, 간섭을 최소화 할 수 있게 된다.

이와 같은 개루프 제어 파라메타에 대한 시험 결과는 FIELD상에서 이동국이 안정된 통화품질을 유지하고 또한, 전력소모를 줄일수 있을 뿐만 아니라 간섭 등을 줄임으로써 보다많은 가입자를 수용할 수 있다는 것을 보였다.

참 고 문 헌

1. Qualcomm. inc., "TIA/EIA Interim Standard(IS-95)" 7. 1993.
2. Qualcomm. inc., "Recommended Minimum Performance Standards for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Mobile Stations" 2.18. 1994, pp. 10-5~10-15.
3. W.C.Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA", IEEE Tr. Veh. Tech., Vol. 40, No. 2, pp. 291-302, May. 1990.
4. Qualcomm. inc., "CDMA System Engineering Training Handbook-Volume1" April, 1993, pp. 4-1~4-8.
6. S. Ariyavitakul and L.F. Chang, "Signal and interference statistics of a CDMA with feedback power control," Globecom '91, phoenix, AZ., Dec. 1991, pp. 41.7.1~41.7.6.
7. Audrey M. Viterbi and Andrew J. Viterbi, "Erlang capacity for power controlled CDMA system," Submitted for publications.
8. R.W. Nettleton and H. Alavi, "Downstream power control for spread-spectrum cellular radio system," in Proc. Globecom'82, Miami, FL 1982.
9. T. Nagatsu, T. Tsuruhara and M. Sakamoto, "Transmitter power control for cellular systems," in roc. IEEE Globecom. 1983, pp. 1430-1434.
10. H. Axen. "Power control in cellular mobile telephone systems," Diploma thesis, Erickson Radio Syst., Int. Rep., BT/SU90:1708, 1990 (in

Swedish).

11. H. Axen. "Uplink C/I level as control parameter for mobile transmitter power control - a preliminary study," Erickson Int. Rep., BT/ST 90:2377, Dec. 1990 (in Swedish).
12. J. Zander, "Optimum power control in cellular radio systems." Int. Rep. TRITA-TTT-9101, Royal Instit. of Technol Stockholm. Jan. 1991.
13. R. W Nettleton and H. Alavi, "Power control for a spread-spectrum cellular mobile radio system" in Proc. 33rd IEEE Veh. Technol. Conf-Toronto, ON. 1983 pp. 242-246.



박 종 안(Jong An Park) 종신회원
1975년:조선대학교 공과대학 전자공학과, 공학사
1986년:조선대학교 대학원 전기공학과, 공학박사
1983년~1984년:미국 Massachusetts 주립대학교 전기&전자공학과 객원교수

1990년~1991년:영국 Surrey 대학 전기&전자공학과 객원교수

1975년~현재:조선대학교 공과대학 정보통신공학부 교수

※주관심분야:디지털신호처리, Vision 시스템, 패턴 인식



이 철 희(Cheul Hee Lee) 정회원
1992년:조선대학교 자연과학대학 물리학과, 이학사
1994년:조선대학교 대학원 전자공학과, 공학석사
1986년~현재:조선대학교 대학원 전자공학과, 박사과정
1997년~현재:고창 기능대학 정

보통신과 전임강사

※주관심분야:이동통신, 위성통신, 광통신