
CDMA 이동통신 시스템에서 전력제어를 고려한 핸드 오프 성능평가

정 영 지*, 전 진 오**

Performance Evaluation of Handoff with Power Control in CDMA System

Yeong-Jee Chung, Jin-Oh Jeon

본 연구는 2000년도 원광대학교 교내연구비 지원에 의해 연구되었음

요 약

본 논문은 DS/CDMA 이동 무선 환경에서 이동국의 핸드오프 발생시 전력제어를 고려한 추가적인 파라미터의 설정으로 기지국 간에 생기는 시스템의 부하를 줄이고 성능을 분석 했다. 이동국 재거 보완 임계치(X-add), 활성 이동국 가산 보완 임계치(X-drop)등의 보완된 파라미터의 설정으로 핸드오프시 인접 셀들의 파일럿 신호가 기준 임계 값에 도달하지 못하여 발생할 수 있는 통화 단절과 인접셀들의 신호가 임계값을 초과하여 생기는 시스템들의 핸드오프 처리에 대한 부하를 막아 시스템 성능의 개선을 보여 주었다. 이에 대한 모델과 시뮬레이션을 구현하고 셀 구조에 맞는 파라미터의 값을 다양하게 설정하여 최적의 알고리즘을 유도하도록 하였다.

1. 서 론

핸드오프는 이동국이 현재 기지국의 서비스 권역을 벗어나 인접한 기지국의 서비스 권역으로 진입할 때에 기지국과 이동국과의 통화가 지속되

도록 하여야 한다. CDMA 기지국 사이에서는 크게 하드 핸드 오프와 소프트 핸드 오프의 2가지 종류가 있는데 하드 핸드 오프는 분리된 기지국 간이나, 상이한 할당 주파수 또는 상이한 프레임 오프셋을 가지는 채널간을 이동국이 이동할 때의

* 원광대학교 공과대학 컴퓨터및정보통신공학부 조교수

** 원광대학교 공과대학 컴퓨터공학과 석사

접수일자 : 2000년 4월 13일

핸드 오프이며, 소프트 핸드 오프는 동일 주파수가 할당된 CDMA 채널간에서만 가능한 방식으로 두 개 이상의 기지국으로부터 서비스를 받으며 통화 중에 끊어짐이 없이 핸드 오프를 수행하는 방식이다. 하드 핸드오프에서는 outage 확률의 일정한 값과 셀 경계에서의 핑퐁(ping-pong) 현상을 줄이기 위해 이동국에 높은 송신 전력이 요구되어 진다 [1]. 소프트 핸드 오프에서는 여러 기지국에서 동시에 전송을 해 주면서 핸드 오프가 이루어지므로, 핸드 오프 시 다이버시티의 효과를 얻으며 단락이 없는 통화가 가능한 장점을 가지는 반면에, 그만큼 시스템의 자원을 소모하는 단점도 가지고 있다[2].

이러한 소프트 핸드 오프는 현재 이동국이 수신 가능한 모든 기지국의 파일럿 세기를 살펴 보면서 현재의 사용 중인 기지국의 파일럿보다 다른 기지국의 파일럿이 보다 크게 수신됨에 따라 시작된다. 이러한 상황에 앞서 이동국은 수신 가능한 모든 기지국의 파일럿 신호의 세기에 따라 기지국들을 네 가지의 파일럿 채널군으로 분류하여 정보를 파일럿 세기 측정 메시지(PSMM)에 담아 기지국과 정보를 공유하여 핸드 오프를 수행하게 된다. 본 논문에서는 위와 같은 방식의 핸드오프를 적용하더라도 특정한 셀에 이동국이 집중되어 실제 사용되는 시스템의 제한된 능력 이상으로 통화를 요구하는 상황이 발생할 수가 있으며, 알고리즘에 사용되는 파라미터들이 적절하게 설정되지 않아 시스템이 불안정해지는 경우가[3] 있게 되어 이러한 상황에 대처하도록 보완된 부수적인 파라미터를 설정하여 시스템을 최적화하고 분석토록 하였다. II 장에서는 이러한 시스템의 시뮬레이션 모델에 대한 알고리즘을 설명하였으며 III장에서는 제안된 모델을 설계하도록 하였고 IV장에서는 이러한 모델에서 나온 결과를 분석하도록 하였다. V장에서는 결론을 맺었다.

II. 이동성이 고려된 핸드 오프 알고리즘

시스템에 대한 이동국이 발생하게 되면 각 이동국의 이동성에 따라 이동국이 이동하게 된다. 이동국의 새로운 위치가 결정되면, 새로운 위치에서의 각 기지국으로부터의 파일럿 수신 신호의 세기를

구하여 SIR값을 결정한다. SIR값은 식 (1)과 같이 각 기지국마다 다른 값으로 가지게 되며, 해당 기지국의 수신 파일럿 세기를 제외한 나머지 기지국들로부터의 수신 파일럿 세기들과 이동국 수신 잡음 지수의 합에 대한 해당 기지국의 수신 파일럿 세기의 비율로서 결정된다.

$$SIR_i = \frac{P_i}{\eta_m + \sum_{k \neq i} P_k} \dots\dots\dots (1)$$

$\{ \eta_m \text{ is noise figure of mobile}$
 $\{ P_i \text{ is the received pilot strength from base } i$

각 이동국의 SIR값이 구해지면, 새로운 파일럿 집합군을 만들게 된다. 여기에서 사용되는 임계치는 이동국 가산 임계치 (the add threshold : T_{add}), 이동국 제거 임계치 (the drop threshold : T_{drop}), 활성군과 후보군의 비교 임계치 (the active set versus candidate set comparison threshold : T_{comp}), 그리고 이동국 제거 타이머 (the drop timer : T_{ldrop})이다. 만약 인접군에 속해있는 기지국으로부터 수신되는 파일럿 신호의 SIR이 T_{add} 보다 크게 되면, 이 기지국에 대한 정보는 후보군으로 옮겨지게 된다. 만약 후보군에 있는 기지국의 파일럿 신호에 대한 SIR이 현재 사용 중인 활성군의 SIR보다 T_{comp} 만큼 더 크면, 해당 기지국에 대한 정보는 활성군으로 옮겨지면서 해당 기지국으로부터 통화 채널을 할당받아 사용하게 된다. 그러나 만약 활성군에 속해있는 기지국으로부터 수신되는 파일럿 신호의 SIR이 T_{drop} 보다 작게 되면, 이동국은 이동국 제거 타이머(T_{ldrop})를 작동시킨다. 이 타이머가 종료되기 전에 해당 수신 SIR이 T_{drop} 보다 커지게 되면 이동국은 삭제 타이머를 정지시키고 해당 기지국에 대한 정보를 본래 상태로 복귀시키며, 만약 T_{ldrop} 에 설정된 값이 지나도록 SIR이 T_{drop} 보다 작은 상태로 유지되면 타이머가 종료되고 해당 기지국의 정보가 인접군으로 옮겨져 관리되어 지며, 그 기지국에 대한 통화 채널을 끊게 된다.

소프트 핸드 오프를 사용하는 경우, 핸드 오프에 있는 이동국은 여러 개의 기지국에 대해서 통화를

하게 되므로 전체 시스템의 부하량을 크게 하는 영향을 준다. 만약 T_{add} 의 값이 너무 낮게 설정이 되면 핸드 오프에 있는 이동국의 수가 늘어나는 반면, T_{add} 의 값이 너무 높게 설정되어 있으면 실제 통화하는 채널이 끊어질 확률이 높아진다. 또한, T_{drop} 이 너무 높으면 셀 경계에서 핑퐁 현상을 겪을 확률이 높아지는 반면, T_{drop} 이 너무 낮으면 핸드 오프를 하는 이동국의 수가 많아진다. 따라서 위와 같은 히스테리시스(Hysteresis)의 방법을 보다 효과적으로 하기 위해서 T_{comp} 와 T_{tdrop} 을 설정하여 보완한다.

위와 같은 알고리즘을 적용하더라도, 특정한 셀에 이동국이 집중되어 실제 사용되는 시스템의 제한된 수용 능력 이상으로 통화를 요구하는 상황이 발생할 수가 있으며, 알고리즘에 사용되는 임계치들이 적절하게 설정되지 않아 시스템이 불안정해지는 경우도 있게 된다. 이와 같은 문제점들을 극복하고 시스템의 안정성을 보장하기 위해서는 보완된 알고리즘이 필요하다.

이러한 부가된 알고리즘에 사용할 4가지 임계치는 활성 이동국 제거 보완 임계치 (the total pilot power to total power ratio add handoff threshold : X_{add}), 활성 이동국 가산 보완 임계치 (the total pilot power to total power ratio drop handoff threshold : X_{drop}), 보완 임계치의 보상 임계치 (the total pilot power ratio PMRO (Pilot Measurement Request Order) threshold compensation : X_{comp}), 그리고 PMRO 지연 시간 임계치 (the PMRO delay (T_{order} [sec]))이다. 이들 임계치는 필요 이상의 핸드 오프를 줄이기 위하여, 활성군으로 속한 기지국들의 수를 조절하는 역할을 하며, 기본 임계치들과 마찬가지로 값들을 기지국으로부터 할당받아 설정한다. 이러한 임계치를 적용하기 위해서는 비교가 될 값을 설정하여야 한다. 이 값을 식 (2)와 같이, 활성군에 있는 기지국으로부터 수신되는 파일럿 신호들의 수신 세기의 합 대 총 수신 파일럿 신호의 세기의 비(P_{tot})로 정의할 수가 있다.

$$P_{tot} = \frac{\text{The sum of pilot powers of active set}}{\text{The total received pilot power}} \dots\dots\dots (2)$$

만약 활성군에 해당되는 기지국으로부터의 수신 파일럿 신호들의 합이 너무 클 경우(P_{tot} above X_{drop})는 활성군에 속한 기지국의 수신 파일럿 신호들 중에 가장 작은 것부터 차례로 기지국 정보를 후보군으로 옮긴다. 이 과정은 계산되는 P_{tot} 의 값이 X_{drop} 보다 작아질 때까지 계속된다. 이와는 반대로 만약 활성군에 속한 기지국으로부터의 수신 파일럿 신호의 합이 너무 작을 경우(P_{tot} below X_{add})는 후보군에 속한 기지국의 수신 파일럿 신호들 중에 수신 세기가 가장 큰 것부터 기지국 정보를 활성군으로 이동시켜 통화 채널을 할당받는다. 이러한 과정은 T_{tot} 의 값이 X_{add} 보다 커질 때까지나 후보군에 속한 기지국이 없을 때까지 계속된다. X_{comp} 는 보상 임계치(marginal threshold)로서 활성군에 속한 기지국으로부터의 수신 파일럿 신호들의 합의 과함을 결정하거나 (P_{tot} above $X_{drop} + X_{comp}$), 약함을 결정할 경우(P_{tot} below $X_{add} - X_{comp}$)에 사용된다.

전력 제어로부터 받은 각 기지국에 대한 이동국의 수신 파일럿 신호의 세기는 SIR의 형태로 받게 되며, 이는 식 (3)과 같은 식으로 구하여진다. 여기서 P_i 는 해당 기지국으로부터 수신되는 파일럿 신호의 세기이며, I_t 는 수신되는 모든 신호의 세기에서 P_i 를 제외한 간섭 신호의 크기이다.

$$SIR_i = \frac{P_i}{\eta_m + I_t} \dots\dots\dots (3)$$

전력 제어로부터 받은 SIR을 기준으로, 이동국 가산 임계치(T_{add}), 이동국 제거 임계치(T_{drop}), 활성군과 후보군의 비교 임계치(T_{comp}), 그리고 이동국 제거 타이머(T_{tdrop})를 이용한 기본 핸드 오프 알고리즘으로 각 이동국의 파일럿 집합군을 설정할 수가 있다.

이후, 활성 이동국 제거 보완 임계치(X_{add}), 활

성 이동국 가산 보완 임계치(X_{drop}), 보완 임계치의 보상 임계치(X_{comp})들의 부가 핸드 오프 알고리즘을 수행하기 위해서는, 활성군에 있는 기지국으로부터 수신되는 파일럿 신호들의 수신 세기의 합 대 총 수신 파일럿 신호의 세기의 비(P_{tot})를 수정하여 구하여야 한다. 이는 전달 받은 SIR을 기준으로 식 (4)와 같이 구할 수가 있다.

$$P_{tot} = \frac{\text{the sum of SIR of Active Set}}{\text{the sum of total SIR}} \dots\dots\dots (4)$$

따라서 새롭게 구하여진 SIR과 P_{tot} 을 적용하여 핸드 오프 알고리즘을 수행할 수가 있으며, 수정된 핸드 오프 알고리즘을 그림 1에 나타냈다.

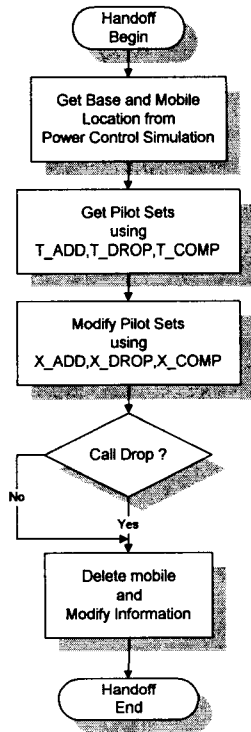


그림 1 수정된 핸드 오프 알고리즘 흐름도

Ⅲ. 동적 활성군 할당을 적용한 핸드 오프 시뮬레이션

보완된 핸드오프 알고리즘에 대한 시뮬레이션을

보다 실제적으로 수행하기 위하여, 하나의 기지국이 수용할 수가 있는 통화 채널의 수(C_i)와 핸드 오프 채널의 수를 제한된 값으로 설정하였다. 만약 어떤 기지국에 활성군으로 접속하려는 이동국의 수가 제한된 통화 채널의 수보다 크거나 핸드 오프 요청 이동국의 수가 제한된 핸드 오프 채널의 수보다 큰 경우에는 요구된 이동국들의 수신 파일럿 세기 중에서 가장 작은 수신 세기를 갖는 이동국부터 차례로 해당 기지국의 정보를 후보군으로 옮기도록 설정한다. 이러한 과정은 해당 기지국을 활성군으로 요구하는 이동국의 수가 C_i 보다 크지 않을 때까지 계속된다. 부가 핸드 오프 알고리즘과 실제 채널에 대한 시뮬레이션 과정으로 인한 핸드 오프 블러킹 과정을 그림2에 나타냈다.

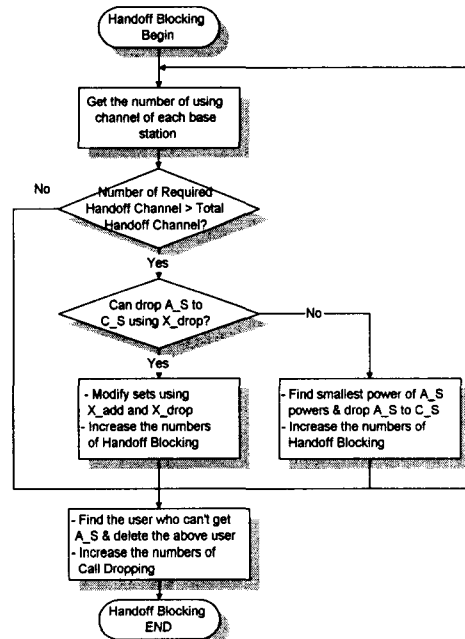


그림 2 핸드 오프 블러킹 흐름도

시뮬레이션은 시스템의 로드가 어느 정도 유지되는 포화 상태를 가정하기 때문에 활성군 추가 임계치 X_{add} 는 -20dB, 활성군 보조 임계치 X_{comp} 를 0dB로 고정하여 수행하였다. 또한, 이동국이 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국으로 전송하면 기지국은 즉시 파일럿 집합군을 전송하여 핸드 오프

응답 지연으로 인한 에러는 없는 것으로 가정하였으며, 전력 제어가 완벽하게 이루어져 파일럿 채널의 신호 세기만으로 핸드 오프의 수행이 가능하도록 가정하였다.

이러한 가정 요소와 시뮬레이션 내의 상수적 파라미터, 변수적 파라미터들을 표1에 정리하였다.

표 1 파라미터의 설정

변동 파라미터	- X_DROP	
	- T_ADD	
	- T_DROP	
고정 파라미터	- The number of bases in a system	19
	- The radius of a cell	2.3Km
	- The number of users in a cell at initial condition	20 users
	- The number of total channel in a cell	28
	- The number of handoff channel in a cell	8
	- Noise figure	5dB
	- The exponent of path loss	4
	- The S.D. of shadowing	8dB
	- The mean of call-generation time probability	100sec
	- The mean of call-holding time probability	100sec
	- The mean of velocity-determination probability	10m/sec
	- The mean of direction-determination probability	90
	- T_ADD-T_DROP	3dB
	- T_COMP	0dB
	- T_TDROF	4sec
	- X_ADD	-20dB
	- X_COMP	0dB
- T_ORDER	0sec	

IV. 시뮬레이션 결과 분석

T_{add} 의 변화에 대하여 시스템 내에 활동 중인 평균 이동국의 수를 그림 3에 나타내었다. 그림에서의 "No X-effect"란 부가 핸드 오프 알고리즘(임계치 X_{add} , X_{drop} , X_{comp} 등이 사용되는 알고리즘)을 사용하지 않고, 실제 기지국의 채널 할당이 제한된 환경에서 시뮬레이션을 수행한 결과이

다. 다른 결과들은 부가 핸드 오프 알고리즘과 실제 기지국의 채널 할당이 제한된 환경을 모두 적용하고 시뮬레이션을 수행하여 얻은 것이다. 그림 3의 "No X-effect"결과를 살펴 보면, T_{add} 가 9dB를 넘는 구간에서 시스템의 수용 용량이 크게 감소하는 것을 볼 수가 있다.

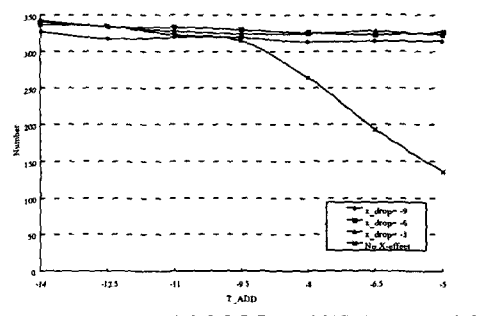


그림 3 T_{add} 의 변화에 대한 시스템 내에 활동 중인 평균 이동국의 수 ($T_{DROP}=T_{ADD}-3dB$, $T_{COMP}=0dB$, $T_{TDROF}=4$, $X_{ADD}=-20dB$)

이것은 각 기지국에서 수신되는 파일럿 신호의 세기가 T_{add} 보다 큰 것을 찾을 수가 없고, 활성군과 후보군에 해당되는 기지국이 없어 호의 손실이 생기기 때문이다. 이와는 달리, 부가 핸드 오프 알

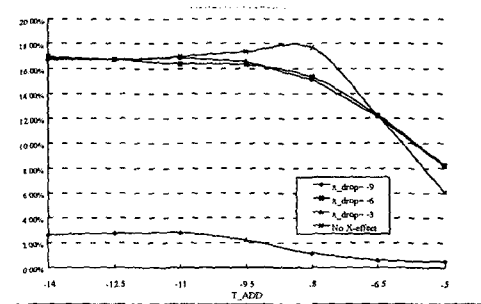


그림 4 T_{add} 의 변화에 대한 평균 핸드 오프 확률 ($T_{DROP}=T_{ADD}-3dB$, $T_{COMP}=0dB$, $T_{TDROF}=4$, $X_{ADD}=-20dB$)

고리즘을 사용한 시뮬레이션은 전 대역에서 비슷한 수용 능력을 유지하는 것을 볼 수가 있다. 그 이유는 부가 핸드 오프 알고리즘에서 사용되는 X_{add} 가 통화를 유지할 수가 있는 정도로 수신되는 호를 T_{drop} 과 T_{tdrop} 이 잘못 설정되어 손실되게 하는 경우를 막아주는 역할을 하기 때문이다.

T_{add} 의 변화에 대하여 시스템 내에 활동 중인 이동국의 평균 핸드 오프 확률을 구한 것과, T_{add} 의 변화에 대하여 셀 평균 부하율을 구한 결과들을 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 T_{add} 가 증가함에 따라 핸드 오프 확률이나 셀 부하율은 감소하게 된다. 부가 핸드 오프 알고리즘을 사용하지 않는 것은 핸드 오프 확률은 다른 시스템과 비슷하게 감소하며, 시스템 내의 이동국 수가 현저히 감소함에 따라 셀의 부하는 적은 값을 보이게 된다. 여기에서 X_{drop} 이 -9dB인 경우가 매우 적은 핸드 오프 확률을 나타내는 것을 알 수가 있다. 그 이유는 P_{tot} 의 분포가 [-5dB~-10dB]의 구간에 집중되어 있기 때문이다. 하지만 소프트 핸드 오프 중에 있는 이동국의 P_{tot} 의 분포가 거의 모두 [-5dB~-8dB]의 구간에 집중되어 있는 점을 감안하면, 호 손실 확률을 높이지 않으면서 과도한 핸드 오프를 억제하기 위해서는 X_{drop} 은 -7dB 정도로, X_{add} 는 -12dB 이하로 설정하는 것이 바람직함을 알 수가 있다.

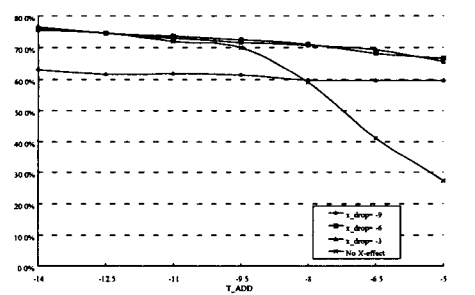


그림 5 T_{add} 의 변화에 대한 평균 셀 부하율 ($T_{DROP}=T_{ADD}-3dB$, $T_{COMP}=0dB$, $T_{TDROP}=4$, $X_{ADD}=-20dB$)

VI. 결 론

전력제어에 의한 핸드오프에서 T_{add} 가 시스템의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소이다. T_{add} 의 증가는 핸드 오프 비율의 감소, 부하의 감소, 호 손실 비율의 증가, 호 블러킹 비율의 감소, 핸드 오프 블러킹의 감소 등의 영향을 이끌어낸다. 그러나 T_{add} 와 T_{drop} 의 차이, T_{comp} 의 영향은 아주 작다. 또한, T_{tdrop} 은 값이 증가함에 따라서 핸드 오프 비율이 증가함을 알 수가 있다. 그 이유는 T_{tdrop} 은 값이 증가할 수록 활성화된 신호가 인접 군으로 떨어지는 현상이 더디게 이루어지기 때문이다.

높은 T_{add} 영역에서는 큰 호 손실 확률의 현상을 보인다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 기본 소프트 핸드 오프 알고리즘에 보완된 파라미터가 있는 부가 알고리즘을 사용해 보았다.

시스템의 여러 성능들은 X_{drop} 이 아주 낮지 않은 경우에는 X_{drop} 에 대하여 거의 일정한 성능을 나타냈지만, X_{drop} 이 -8dB이하로 설정되면, 핸드 오프 중인 이동국의 수가 급격하게 감소하여 전력 제어 시뮬레이션 시에 호가 손실되는 경우가 발생할 수가 있다.

가 소프트 핸드 오프 알고리즘을 병용한 경우, 기지국의 할당 가능한 채널 용량을 제한시킨 상황에서 핸드 오프 비율을 20% 이하로, 셀 부하를 80% 정도로 유지가 가능하고 호 손실 확률을 높이지 않으면서 과도한 핸드 오프를 억제하기 위해서는 X_{drop} 은 -7dB 정도로, X_{add} 는 -12dB 이하로 설정하는 것이 시스템의 성능을 개선 시킬 수 있었다. 향후 각 셀마다의 다양한 채널 환경과 전력 제어 및 핸드오프에 대한 어려움을 고려하여 시스템을 분석하여야 하고 시스템에 큰 영향을 주는 셀 경계에서의 다양한 전력제어 환경에 맞추어 핸드오프 연구가 수행되어야 한다.

Reference

[1] R.Vijayan and J.M.Holtzman, A Model for

Analyzing Handoff Algorithms, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 42, pp.351-356, Aug 1993.

[2] A.J. Viterbi et al, Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increase Reverse Link Capacity, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. Vol. 12, No. 8, October 1994.

[3] N. Zhang and J.M.Holtzman, Analysis of a CDMA Soft Handoff Algorithm, *PIMRC '95*, pp. 819-823, 1995.

[4] TIA/EIA Interim Standard, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*, July 1993.

1984년 1월 ~ 1987년 7월 : 금성계전(주) 연구소(주임연구원)

1987년 7월 ~ 1993년 2월 : 삼성종합기술원 소재부 품연구소(선임연구원)

1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 한국전자통신연구소 이동통신기술연구단 무선제어연구실(선임연구원)

1997년 12월 ~ 1999년 2월 : Visiting Professor at MPRG, Virginia Tech.

1995년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 공과대학 컴퓨터 및정보통신공학부 조교수

*주관심 분야 : 탄성표면파 필터 설계, 디지털 신호 처리, 이동통신 및 위성통신시스템 등



정 영 지(Yeongjee Chung)
 1978년 3월 ~ 1982년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (학사)
 1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (석사)
 1984년 3월 ~ 1993년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (박사)



전 진 오(Jinoh Jeon)
 1992년 3월 ~ 1999년 2월 : 원광대학교 공과대학 컴퓨터공학과 학사
 1999년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 공과대학 컴퓨터공학과 석사
 *주관심 분야 : 디지털 신호처리, 이동통신 시스템 등