

셀룰러 망의 이동국 속도와 방향을 이용한 핸드오프율 계산법

(A Calculation Method of Handoff Rate using Speed and
Direction of Mobile Stations in Cellular Networks)

우 매 리 [†] 최 용 준 ^{**} 정 영 석 ^{***} 임 경 수 ^{****} 김 종 근 ^{*****}
(Mari Wu) (YongJun Choi) (Youngseok Jung) (KyungSoo Lim) (Chonggun Kim)

요 약 CDMA 셀룰러 시스템에서는 이동국이 한 셀에서 다른 셀로 이동할 때에 핸드오프영역에서 인접한 양 셀의 채널을 신호를 동시에 점유함으로써 끊김 없는 연결을 가능하게 한다. 이 경우에 핸드오프 영역에 있는 이동국은 현재 셀의 신호 수신 지역을 벗어나지 않아도 양 기지국과 연결을 유지하는데 이것은 채널 효율성에 낭비를 가져온다. 따라서 핸드오프 율은 채널 효율성을 평가하는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 CDMA 셀룰러 시스템에서 이동국의 이동 속도와 방향을 기반으로 핸드오프 확률과 핸드오프 호수를 구하는 방식을 제안하였다.

키워드 : 핸드오프 율, 핸드오프 호수

Abstract In CDMA cellular systems, a handoff process in which the mobile station (MS) can communicate with the target base station without interrupting the communication with the current base station makes contact with the target base station before it breaks with the station it is operating on. An MS requests a soft handoff to a neighbor base station (BS) whenever the pilot strength received from the neighbor BS exceeds the handoff threshold, even though the MS may not actually be approaching to the neighbor BS. Since two traffic channels have to assign to an MS during the soft handoff period, the utilization of traffic channels is wasted. Thus, an analysis of handoff rate is a key to understand and evaluate channel efficiency. In this paper, a simple and straightforward mathematical analysis method for evaluate obtaining direction-based soft handoff rate and the number of handoff calls in CDMA cellular systems is proposed.

Key words : handoff rate, the number of handoff calls

1. 서 론

CDMA 셀룰러 시스템에서는 이동국이 같은 주파수를 사용하는 셀간을 이동함으로써 soft handoff를 가능하게 한다. Soft handoff는 break-before-connection과는 달

리 make-before-break를 가능하게 함으로써 통화중 연결이 끊기지 않게 하며 이것을 위해서 이 시스템에서는 셀의 신호영역을 겹치게 한다[1]. Soft handoff는 이동국의 핸드오프시에 끊김없는 연결을 유지하게 함으로써 통화품질을 우수하게 하나 양 기지국으로부터 채널을 점유함으로써 다른 호에 대한 채널을 희생하는 대가로 이루어진다. 핸드오프 분석은 시스템 성능측정의 중요한 요소이므로 많은 연구가 진행되고 있다[2][3][4]. H.Xie와 D.J.Goodman은 이동국의 이동모델, 속도, 셀의 크기와 호밀도를 이용하여 셀경계를 지나가는 호수를 구하는 식을 제안하였다[5]. 그리고 Cho와 Kim의 연구에서는 이 모델을 발전시켜 이동국의 이동모델에 따라 핸드오프 호수를 구하는 식을 제안하였다[6]. 그러나 이전연구에서는 이동국의 방향성을 일률적으로 적용하였으므로 본 논문

[†] 학생회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과
mrwu@nety.yu.ac.kr

^{**} 비회원 : (주)인투정보 대표이사
cto@cnsoft.co.kr

^{***} 정회원 : 경운대학교 컴퓨터공학과
ysjung@kyungwoon.ac.kr

^{****} 종신회원 : 연암공업대학 컴퓨터정보기술과
ksilm@bjo.yonam-c.ac.kr

^{*****} 종신회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
cgkim@yu.ac.kr

논문접수 : 2000년 11월 27일

심사완료 : 2002년 4월 23일

에서는 이동국의 이동 방향성을 추가한 새로운 식을 제안하였다. 먼저 기존의 핸드오프 호수와 차이를 비교하기 위해서 기존의 핸드오프 호수를 구하는 식을 핸드오프 영역의 비를 이용하여 간단히 구하였다. 그리고 이동국의 이동 방향과 속도를 이용하여 이동국이 현재 셀의 수신지역을 벗어날 핸드오프 율의 식을 제안하고 핸드오프 호수 계산에 적용하였다. 본 논문의 구성으로 제 2 장에서는 삼각형을 이용하여 핸드오프영역을 간단히 구하고 핸드오프 영역과 셀 영역의 비를 이용하여 핸드오프 율을 구하였다. 제 3 장에서는 제안한 핸드오프율 즉, 이동국의 이동 속도와 방향을 이용하여 이동국이 현재 셀의 수신지역을 벗어날 율을 구하고, 제 4 장에서는 기존의 핸드오프 호수와 이동국의 속도와 방향을 고려한 핸드오프 호수를 구하여 비교하였다. 마지막으로 5 장에서는 본 논문의 결론을 맺고 적용방향을 기술하였다.

2. 셀과 핸드오프 영역의 모델과 핸드오프 호의 비

2.1 핸드오프 처리

소프트 핸드오프는 이동국이 핸드오프를 요구할 때, 일정 영역 동안 양 기지국으로부터 신호를 동시에 수신함으로써 신호의 끊김을 방지한다. 핸드오프는 이동국이 이웃 셀로부터 받는 신호세기가 일정 임계치 이상이 될 때, 이웃 셀에 대해서 핸드오프 호를 요구한다. 그림 1에서와 같이 이동국이 셀 A에서 셀 B로 이동할 때, 이동할 셀로부터 받는 신호세기가 임계치 T_ADD 에 도달할 지점에서 셀 B에게 핸드오프를 요청한다. 이때, 셀 B에 사용 가능한 채널이 있을 때 핸드오프 요청에 대한 새로운 채널 연결이 성립된다. 이동국이 현재 신호를 받는 셀의 경계를 지나 현재 셀로부터 받는 신호세기가 임계치 T_DROP 에 도달할 때, 현재 셀로부터 받는 신호 연결은 끊긴다[9] [10].

2.2 셀 모델

셀의 경계는 이동국이 기지국으로부터 받는 셀의 신

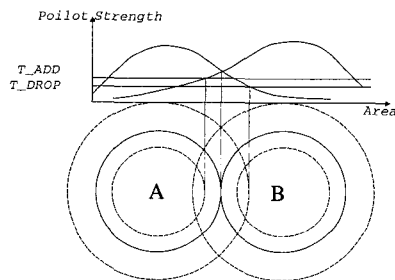


그림 1 이동국의 받는 신호세기에 따른 핸드오프 처리

호세기에 의해 결정된다. 본 논문에서는 한 셀의 신호영역을 육각형으로 모델링하였다. 핸드오프 경계는 이동국이 이웃셀로부터 받는 신호세기의 임계치에 따라 결정된다. 이동국이 이웃셀로 이동할 때, 이웃셀로부터 받는 신호세기가 임계치 T_ADD 이상이 되는 지점을 'Hs' (Handoff start)경계라고 하고, 현재셀로부터 받는 신호세기가 임계치 T_DROP 이하가 될때의 지점을 'He' (Handoff end)경계라고 한다[7].

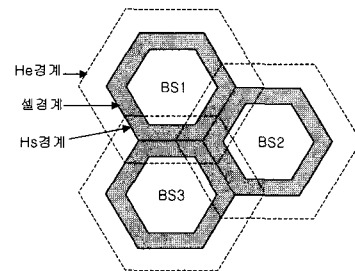


그림 2 이동국이 받는 신호세기에 따른 핸드오프 경계.

2.3 핸드오프 영역과 핸드오프 호의 비

핸드오프 영역의 간단한 모델링을 위해서 육각형 셀을 삼각형의 집합으로 나타낸다. 그리고, 핸드오프 영역은 셀을 이루는 삼각형의 부분집합으로 나타내었다. 셀의 핸드오프 영역의 넓이를 'Hs'에서 셀 경계로 보면, 삼각형의 한 변 'Hs'에서 셀 경계까지의 거리는 한 정삼각형의 높이가 된다. 그림 3에서는 육각형 셀을 3등분으로 세분한 삼각형 한 변의 길이는 반지름/3인 것을 보인다. 핸드오프 영역은 셀 경계의 삼각형집합으로 이루어지므로 반지름을 등분한 정도에 따라 삼각형의 크기가 결정되며, 핸드오프 영역의 크기도 결정된다. 핸드오프 영역은 셀 경계와 접하고 있는 삼각형의 개수와 한 개 삼각형의 넓이의 곱으로 결정이 된다. 그림 3의 경우처럼 삼각형 한 변의 길이를 반지름/3으로 할 때, 육각형 한 변의 핸드오프 영역에 대한 삼각형의 개수는 다른 면과 겹치는 삼각형을 제외하고 5개이다.

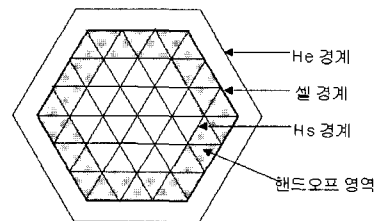


그림 3 핸드오프 영역

이것을 일반화하면 한 변의 길이가 반지름/n인 삼각형으로 이루어지는 핸드오프 영역에 대한 육각형 한 면의 삼각형의 개수는 면 $2n-1$ 이다. 셀은 육각형이므로 핸드오프 영역에 대한 삼각형 전체의 개수는 $6 \times (2n-1)$ 개이다. 삼각형 한 개의 넓이는

$A_{triangle} = \frac{\sqrt{3}R^2}{4n^2}$ 이므로, 핸드오프 영역의 크기 A_h 는 다음과 같다.

$$A_h = 6 \times (2n-1) \times A_{triangle} = 6 \times (2n-1) \times \frac{\sqrt{3}R^2}{4n^2} \quad (1)$$

(R : 육각형 셀의 반지름, n : 반경의 등분 수)

핸드오프 영역을 이용하여 전체 셀에서 발생하는 호에 대한 핸드오프 호의 비를 구할 수 있다. 핸드오프 호의 비 R_h 는 다음과 같이 나타난다.

$$R_h = \frac{A_h}{A_c}$$

여기에서, 한 개 셀의 넓이는

$A_c = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$ 이므로, 발생하는 핸드오프호의 비는 아래 (2) 식과 같이 나타난다.

$$R_h = \frac{6 * (2n-1) * \sqrt{3}R^2 / 4n^2}{3\sqrt{3}R^2 / 2} = \frac{2n-1}{n^2} \quad (2)$$

핸드오프 비 R_h 는 한 셀 영역을 셀 영역에 대한 핸드오프 영역비를 이용하여 구한 것으로 이동국의 이동성을 고려하지 않고 핸드오프 영역에서 발생하는 모든 호가 핸드오프 된다는 가정 하에서 구해졌다. 핸드오프 영역은 이동국이 기지국으로부터 받는 신호세기에 의해 조절된다. 표 1은 핸드오프 영역의 변화에 따른 핸드오프 호의 비 R_h 를 보여준다.

표 1 핸드오프 영역에 따른 셀 전체의 호에 대한 핸드오프 호의 비

n(등분)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_h	1	0.75	0.56	0.44	0.36	0.31	0.27	0.23	0.21	0.19

3. 이동국의 이동 속도와 방향을 이용한 핸드오프

이동국이 핸드오프를 요구할 때, 실제로 이동국이 현재 셀의 신호 수신지역을 벗어나지 않을 수도 있는데,

이것은 이동국의 이동속도와 이동방향에 기인한다. 따라서, 이동국의 이동 속도와 방향을 이용해서 실제로 이동국이 현재 셀의 신호 수신지역을 벗어나지 않을 확률을 구하면 핸드오프 호 중에서 현재 셀을 벗어날 호수를 예측할 수 있다.

3.1 이동국의 이동 방향을 이용한 핸드오프

이동국의 현재 셀의 신호 수신지역을 벗어나지 않을 확률을 구하기 위해서 그림 4에서 이동국의 이동방향을 모델링 하였다. 거리 'D'는 이동국이 호 지속시간동안 일정속도로 이동할 수 있는 거리이다. 이 모델에서 이동국의 속도가 증가할수록 거리 'D'는 증가한다. 그림 4에서 'He' 경계로부터 'D'보다 더 먼 거리에서 발생하는 호는 호 지속시간동안 어떠한 방향으로든 현재 셀의 신호 수신지역을 벗어날 수 없다. 따라서 'He' 경계를 나갈 가능성이 있는 호 즉, 'He' 경계로부터 거리 'D' 이내에서 발생하는 호만을 고려한다. 이동국의 이동 방향을 고려할 때, 이동국 1은 일직선으로 이동할 때에만 'He' 경계에 도달할 수 있다. 반면, 이동국 2는 같은 속도로 이동할 때, θ 내의 각도로 이동하면, 'He' 경계에 도달할 수 있다. 즉, 핸드오프는 이동국의 이동방향이 허용되는 각도내에 있을 때에만 가능성을 가진다. 따라서 이동국의 이동방향을 허용각도를 이용하여 핸드오프 확률을 구할 수 있다.

이동국은 호 지속시간 동안 거리 'D' 만큼 이동할 수 있다. 그림에서 이동국 1이 'He' 경계를 벗어나지 못하므로 'He' 경계를 벗어날 확률은 0이다. 이동국 2가 'He' 경계를 벗어날 확률은 $\theta/180$ 로 주어진다. 이 확률은 호가 셀경계 가까이에서 발생할수록 커진다.

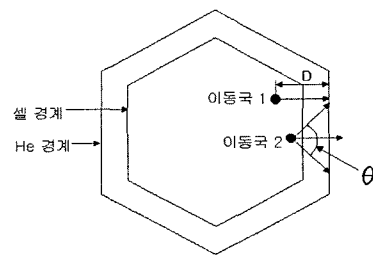


그림 4 이동국의 이동 방향의 모델링

이동국이 현재 셀의 신호 수신 지역을 벗어나지 않을 확률을 구하기 위해서 육각형 셀의 한 면을 보면 그림 5와 같다. 그림에서 'D'는 이동국이 호 지속시간동안 이동할 수 있는 최대거리이고, 'b'는 'He' 경계에서 셀 경계까지의 거리이고, 'a'는 'b'를 제외한 'D'의 나머지 거리이다. 따라서 속도가 증가함에 따라 'D'와 'a'는 증가한다.

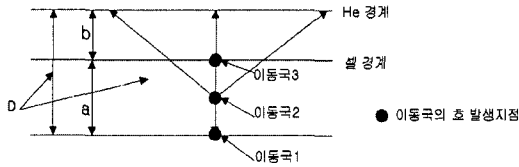


그림 5 육각형 셀 한면에 대한 이동국의 이동성 모델링

그림 5에서 이동국1은 거리 'D' 만큼 셀 경계에 대해 직각 방향으로 이동할 때에 현재 셀의 신호 수신 지역을 벗어날 수 있다. 이동국2가 바깥 셀로 이동할 때 거리 'D'에 대해서 현재 셀의 신호 수신 지역을 벗어나기 위한 각도는 θ 이다. 즉, 이동국2가 직각방향을 중심으로 θ 이외의 각도로 이동할 때, 이동국의 핸드오프 호는 'He'경계에 도달하지 못한다. 이것을 확률로 나타내면 $\theta/180$ 이 된다.

이동국 2가 실제로 현재 셀의 신호 수신 지역을 벗어날 확률은 다음과 같다.

$$p = \frac{2 \cos^{-1} \left(\frac{b+x}{D} \right)}{180} \quad (3)$$

핸드오프율 $E[P(a)]$ 는 그림5에서 거리 'D' 내에서 발생하는 호 즉, 'He'경계를 벗어날 가능성이 있는 호의 확률을 평균함으로써 구해진다. 이동국1, 이동국2, ... 이동국n에 해당하는 셀 경계까지의 모든 호의 확률을 평균한 식이 (4)에 나타난다.

$$E[P(a)] = \frac{1}{a \times K} \sum_{i=1}^{a \times K} \frac{2 \cos^{-1} \left(\frac{\frac{i}{100} + b}{D} \right)}{180} \quad K=100 \quad (4)$$

$$= \frac{1}{90 \times K \times a} \sum_{i=1}^{a \times 100} \cos^{-1} \left(\frac{\frac{i}{100} + b}{D} \right)$$

식 (4)에서 $i/100$ 는 그림 5에서 x 이고,

$$\frac{2 \cos^{-1} \left(\frac{\frac{i}{100} + b}{D} \right)}{180}$$

은 이동국의 핸드오프 확률을 나타낸다.

예를 들어, 이동국이 호 지속시간동안 이동할 수 있는 거리 'D'가 0.8km이고, 셀 경계로부터 'He'경계까지의 거리 'b'가 0.3km일 때, a 는 0.5이다. 이 때, $a \times 100 = 50$ 이므로, 각 위치에 따른 50개 이동국의 핸드오프 확률을 평균하여 구한다.

이동국의 속도변화에 따라 평균핸드오프 율을 적용하면 표 2와 같다. 평균 핸드오프 율 $E[P(a)]$ 는 'a'가 증가함에 따라 증가함을 보인다.

표 2 이동국의 속도에 따른 핸드오프 율의 변화

a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
E(X)	0.2783	0.3717	0.4241	0.4585	0.4831	0.5016	0.5161	0.5277

R (셀 반경) : 1km
 D : 평균 호 지속시간동안 평균 속도로 이동국이 'He'경계에 도달할 수 있는 최대 거리
 a (호 발생지점부터 셀 경계까지의 거리)
 b (셀 경계부터 He 경계까지의 거리) : 0.3km

4. 핸드오프 호수

핸드오프 수는 핸드오프 비 R_h 와 한 개의 셀에서 발생하는 호수를 이용하여 구할 수 있다. 일반적으로 평균 핸드오프 호수HCN(Handoff Call Number)는 식 (5)과 같다.

$$HCN = HandoffCall\ Number = R_h \times \text{평균방생호수 (호/cell/sec)} \quad (5)$$

이동국의 이동방향을 고려하여, 호가 현재 셀의 수신 지역을 벗어날 평균 핸드오프 호수HCN_D는 식 (6)와 같다. A_h 는 핸드오프 영역을 나갈 수 있는 영역의 비와 전체 셀 영역의 비로써, A_h 는 핸드오프영역을 나갈 가능성이 있는 호수이다.

$$HCN_D = Directional\ Handoff\ Call\ Number = E(X) \times A_h \times \text{평균방생호수 (호/cell/sec)} \quad (6)$$

5. 결과와 분석

정확성의 검증을 위해서 GPSS/H를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 각 기지국은 30개의 채널을 가지고 셀 반경은 1Km로 하였다. 다음과 같은 가정하에서 시뮬레이션이 수행되었다. 새로운 호는 셀 모든 지역에서 균일하게 발생하고 호 발생은 포아송분포를 따른다. 호 지속시간은 평균 120초를 가지는 지수분포를 따른다. 그림 6은 방향성을 고려하지 않고 셀 영역 크기의 변화에 따라 발생하는 핸드오프 호의 변화를 보여준다. 결과는 표 1에 나타난 핸드오프 율 R_h 과 같은 경향을 보인다.

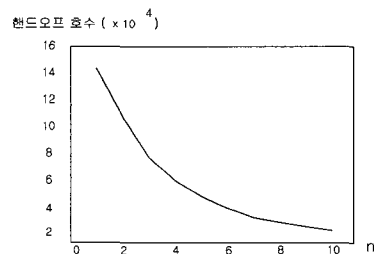


그림 6 셀 영역 크기의 변화에 따른 이용한 핸드오프 호의 변화

그림 7은 방향성을 고려하지 않은 경우 핸드오프 영역에서 발생하는 호와 이동국의 속도와 방향에 따라 하나의 셀내에서 실제로 다른 셀로 이동하는 호수를 비교하였다. HCN은 한 셀에서 발생하는 이동국의 모든 호에 대해 이동 방향과 속도를 고려할 때 핸드오프 영역을 벗어날 수 있는 호의 수를 의미한다. 'a'는 이동국이 호 지속시간 동안 이동할 수 있는 거리 'D'에서 'b'(cell 경계에서 핸드오프가 끝나는 'He' 경계까지의 거리)를 제외한 거리로써, 'a'가 증가할수록 이동국의 속도가 증가함을 의미한다.

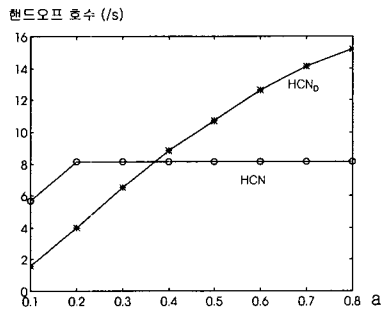


그림 7 일반 핸드오프 호수와 E[P(a)]를 적용한 핸드오프 호수의 비교

이동국의 속도와 방향을 고려한 핸드오프율 E[P(a)]를 적용한 호는 이동국의 속도가 증가함에 따라 핸드오프 영역을 벗어나는 호수(HCN_b)가 증가함을 보여주는 반면, 방향성을 고려하지 않고 핸드오프 영역을 이용한 핸드오프 호수는 이동국의 이동방향이나 속도에 관계없이 예측되는 호수가 일정함을 보여준다.

6. 결론

CDMA 셀룰러 시스템에서는 이동국이 한 셀에서 다른 셀로 이동할 때에 일정영역동안 양 셀로부터 신호를 동시에 수신하게 함으로써 소프트핸드오프를 가능하게 한다. 이것은 신호의 끊김없는 연결을 유지하는 반면에 핸드오프 영역에 있는 이동국은 현재 셀의 신호 수신 지역을 벗어나지 않아도 양 기지국과 연결을 유지해야하므로 채널 효율성에 낭비를 가져온다. 따라서 핸드오프는 시스템 성능평가의 중요한 요소이므로 많은 연구가 진행되어지고 있다. 그러나 이전연구에서는 이동국의 방향성을 일률적으로 적용하였으므로 본 논문에서는 이동국의 이동 방향성을 추가한 새로운 식을 제안하였다.

본 논문에서는 이동국의 이동 속도와 방향을 이용하여 핸드오프 호가 현재 셀의 수신 지역을 벗어날 평균 확률

을 구했다. 먼저 기존의 핸드오프 호와 비교하기 위해서 핸드오프 영역비를 이용하여 일반적으로 발생하는 핸드오프율을 구하여 일반적으로 발생하는 핸드오프 호수와 제안한 평균 핸드오프율을 적용한 호수를 비교하였다. 본 논문에서 이동국의 방향과 속도를 이용하여 핸드오프율을 구하는 방식은 이동국의 이동 속도에 따라 핸드오프율을 예측하는데 간단히 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] Andrew J. Viterbi, "CDMA Principles of Spread Spectrum Communication," Addison Wesley, pp.196-227. 1995.
- [2] D. H. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedure," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.VT-35, pp. 77-91, Aug. 1986.
- [3] Szu-Lin Su, Jen-Yeu Chen, and Jane-Hwa Hung, "Performance Analysis of Soft Handoff in CDMA Cellular Networks," IEEE journal on selected areas in communications, Vol.14, NO.9 Dec 1996.
- [4] Marina Ruggieri, Fabio Graziosi, Fortunato Santucci, "Modeling of the Handover Dwell Time in Cellular Mobile Communications System," IEEE transaction on vehicular technology, Vol.47, NO.2, May 1998.
- [5] H.Xie and D.J. Goodman, "Mobility models and biased sampling problem," 1993 2nd IEEE International Conference on Universal Personal Communication Record, Vol.2 pp. 803-807, Oct 1993.
- [6] Moo-Ho Cho, Kwang-Sik Kim and Cheol-Hye Cho, "Anaysis of soft handoff rate in DS-CDMA cellular system," 1997 IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications Record, pp.235-238. 1997.
- [7] 우매리, 김수정, 장우석, 김종근 "핸드오프 영역을 이용한 CDMA 셀룰러 환경에서의 핸드오프율," Proceedings of The 27th KISS Spring Conference, 2000.
- [8] Chonggun Kim, Mary Wu, YungJun Choi, A calculation method for soft handoff rate in cellular systems, 2000 Proceedings Ninth International Conference on Computer Communications and Networks Las Vegas, USA, 2000, pp 653-656.
- [9] Samuel C. Yang, "CDMA FT SYSTEM ENGINEERING," Artech House, pp. 75-102, 1998.
- [10] William, C. Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals," A Wiley Interscience Publication, pp.287-320, 1993.



우 매 리

1996년 2월 영남대학교 이과대학 수학과 학사. 1998년 8월 영남대학교 공과대학 컴퓨터공학과 석사. 2001년 ~ 현재 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 무선통신, 라우팅 기술



최 용 준

1996년 영남대학교 물리학과 졸업(이학사). 1998년 영남대학교 대학원 전산공학과 졸업(공학석사). 1999년 ~ 현재 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정. 2000년 ~ 2001년 (주)씨엔소프트 이사. 2001년 ~ 현재 (주)인투정보 대표이사. 관심분야는 컴퓨터 네트워크, 원격교육, 분산객체기술



정 영 석

1995년 영남대학교 공과대학 전산공학과 공학사. 1998년 영남대학교 대학원 전산공학과 공학석사. 1997년 ~ 2000 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사수료. 1999년 경동정보대학 겸임교수. 2000년 3월 ~ 현재 경운대학교 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 컴퓨터 네트워크, 이동 컴퓨팅, 분산처리시스템



임 경 수

1984년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1986년 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1991년 ~ 현재 연암공업전문대학 컴퓨터정보기술과 부교수. 관심분야는 분산처리시스템, 컴퓨터망, 인터넷



김 중 근

1981년 2월 영남대학교 공과대학 전자공학과 학사. 1987년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 계산기전공 석사. 1991년 3월 (일본)전기통신대학 정보공학과 박사. 1996년 ~ 1997년, (미국) Virginia Tech. 연구교수. 1998년 ~ 1999년, 영남대학교 전산정보원장. 1991년 ~ 현재 영남대학교 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 분산시스템, 컴퓨터통신 기술, 차세대 인터넷 기술, 가상강의시스템, 성능평가기술