

다중 계층 무선망에서 새로운 이동성 관리 기법의 성능 평가

최 원 근*

Performance Evaluation of a New Mobility Management Scheme in Multi Layer Wireless Networks

Choi, Won Keun*

요 약

본 논문은 모바일 사용자들에게 더 나은 QoS를 제공하기 위해 제안한 새로운 이동성 관리 기법의 성능평가에 관한 것이다. 마이크로 셀의 최소 잔류 시간 문제와 매크로 셀의 채널 재사용의 제한의 문제점들을 극복하기 위해서 다중 계층 무선통신 시스템을 설계하였다. 본 연구에서는 제안한 기법의 성능분석 모델을 설계하고, 큐잉 분석을 통하여 수학적 분석을 수행하였고, 모의시험을 통하여 제안된 기법의 성능을 분석하였다. 제안한 기법은 핸드오버 호의 실패율을 감소시켜 모바일 사용자에게 더 나은 QoS를 제공할 수 있음을 보여주었다.

Key Words : Mobility Management, QoS, handover, Multi layer, Wireless Network

ABSTRACT

This paper describes the performance of the new mobility management scheme for providing more effective QoS to mobile users. The micro-cellular system cannot meet the minimum residency time requirements and The macro-cellular has the problem of the channel reuse limit for calls of a fast-moving mobile terminal. To overcome these problems, we designed a new multi layer network architecture and mobility management scheme. In this paper, we designed a performance analysis model and analyzed the performance of it by mathematical and queuing methods. The proposed scheme has showed the probability to provide more effective QoS to mobile users.

1. 서 론

이동 통신에 대한 요구는 무선 링크의 높은 트래픽 용량 및 이동성 요구 증대 방향으로 진행되고 있다. 마이크로-셀룰러 시스템에서 셀 반경이 작은 마이크로-셀이 채널 재사용으로 트래픽 요구를 만족시킬 수 있다. 마이크로-셀은 저 전력 송신기를 사용하여 근거리에서 채널 재사용이 가능하므로 가용 채널의 양을

증가시키지만, 높은 이동성을 가진 이동 사용자들의 핸드오버 발생 속도는 증가하여 망에서 프로세싱 부하가 증가한다.

현재 핸드오버 호의 실행은 핸드오버 성공을 위하여 새로운 핸드오버가 발생하기 전에 끝나야 한다. 고속으로 이동하는 사용자들의 핸드오버 호는 핸드오버가 요구하는 최소 잔류 시간 전에 새로운 핸드오버가 발생할 수 있는 문제가 있다. 매크로-셀룰러 시스템의

* 본 논문은 2020년 인하공업전문대학 교내 논문 연구 지원에 의하여 연구되었습니다.

• First Author : Inha Technical College Department of Information & Communication Engineering, wkchoi@inhac.ac.kr, 종신회원
논문번호 : 202011-269-B-RN, Received November 4, 2020; Revised May 16, 2021; Accepted July 7, 2021

마이크로-셀은 셀 반경이 크기 때문에 높은 이동성에 효율적이지만, 채널 재사용의 제한으로 트래픽 요구를 만족시키지 어렵고 결국, 사용자가 요구하는 QoS를 만족시키지 어렵다.

이러한 문제점들을 극복하기 위해서 이동에 따르는 영향을 지역화 하는 새로운 이동성 관리 모델을 제안하였고, 제안한 관리 모델에서는 사용자의 다양한 이동성을 고려한 마이크로-셀과 매크로-셀을 중첩한 다중 계층 무선통신 시스템을 설계하였다. 제안한 기법에서 사용자의 이동속도와 매크로-셀의 최적의 크기와의 관계를 찾아내기 위하여 수학적 분석을 이용한 연구를 수행하였다¹⁾.

본 논문에서는 제안한 새로운 기법의 성능을 연구하였으며, 이에 관련된 기존에 연구된 내용들을 살펴보면 다음과 같이 크게 2영역으로 분류될 수 있다.

다중 계층 구조 시스템에서 1) 사용자 속도 추정과 셀 선택에 관한 연구들, 2) 셀 간에 존재하는 중첩 영역 장점을 이용한 오버플로 및 복귀(take-back)를 수행하는 방법들이 연구되었다.

이동 사용자의 속도에 관한 연구는 여러 논문연구에서 볼 수 있는데 Sung은 거주 시간을 이용하여 사용자의 속도를 추정하였고²⁾, Lagrange과 Yeung은 이동 단말기 (MT)의 과거 정보를 이용하여 평균 거주 시간을 추정하였다³⁾⁴⁾. 임계치(threshold) 접근 방법은 핸드오버 발생률을 감소시킬 수 있는데 Yeung은 이러한 관점에서 평균 호 입력 속도에 따라서 임계치를 동적으로 조정한다⁴⁾.

계층 구조 시스템은 셀 간에 존재하는 중첩 영역의 장점을 이용하여, 사용자에게 두개 이상의 셀에서 휴지(idle) 채널을 제공할 수 있다. Lagrange과 Shum은 오버플로(overflow) 기법을 사용하여 마이크로-셀이 휴지 채널이 없는 경우에 중첩된 매크로-셀에서 신규 호 또는 핸드오버 호에 휴지 채널을 할당한다⁵⁾. 오버플로 채널 할당 기법은 신규 호의 블로킹(blocking)률 및 통신 중인 호의 강제 종료율을 감소시킨다. 마이크로-셀에서 채널 이용률을 향상하기 위하여, Jabbari은 매크로-셀에서 마이크로-셀로 핸드오버를 허용하는 역 계층 구조 기법을 제안하였다⁶⁾. Hwang는 언더플로(underflow) 기법을 제안하였는데, 이 기법에서는 핸드오버한 호에 매크로-셀이 제공할 휴지 채널이 없는 경우 중첩된 마이크로-셀의 휴지 채널을 제공한다⁷⁾. Lagrange는 오버플로된 호는 처음 선택된 계층의 셀이 트래픽 채널을 제공할 수 있으면, 처음 선택된 계층의 셀로 복귀(take-back)한다³⁾.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2장에서는 이전 연

구에서 연구된 내용 중에서 본 연구에서 필요한 내용들 살펴보고, 3장에서는 제안된 기법에 대해서 수학 및 큐잉 분석을 서술하고 시뮬레이션을 수행하여 성능을 분석하고, 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안한 모델의 고찰

본 연구에서는 한 가지 이상의 계층 유형이 있는 다중 계층 무선통신 시스템을 설계하였다.

본 연구에서 설계된 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 다중 계층 무선망 구조에서 상위 계층의 셀은 하위 계층의 셀을 덮는다.
- 셀에는 크기에 따라서 셀-0·셀-1·셀-2...·셀-i 등으로 분류된다. 그림 1은 다중 계층 무선망의 셀의 종류를 보여준다.
- 셀-i는 $3(i+1)^2 - 3(i+1) + 1$ 개의 셀-0들을 덮는다.
- 셀-0를 마이크로-셀이라 정의하고, 나머지 셀들을 매크로-셀로 정의한다.
- 각 계층의 셀 크기는 MT의 속도 분포에 따라서 동적으로 선택된다.

그림 2는 이동 단말기에 이동성 관리를 위한 FSM 상태 다이어그램을 보여준다. 핸드오버 절차는 측정(measurements), 판단(decision) 그리고 핸드오버 실행(handover execution) 3가지 단계로 구분된다. 이동 단말기가 BS로부터 신호를 수신하여 세기를 측정하는 측정 단계를 실행한다. 판단 단계에서 측정 정보와 전송 오류 또는 신호 세기의 임계치로 라디오 링크의 품질을 판단하여 핸드오버 실행 단계를 판단한다.

제안한 기법에서 무선망의 다중 계층 효과를 최대화하기 위하여 이동성 관리를 위한 핸드오버를 설계하였으며, 이동 사용자의 이동 속도 분포에 따라서 최적의 셀들이 선택되고 오버플로 및 복귀 기법을 사용하여 자원 효율을 최대화한다고 가정하였다.

한편 호 핸드오프 속도 η 는 다음과 같이 주어진다¹⁾.

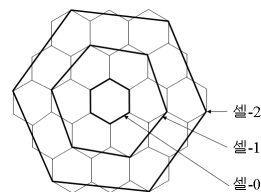


그림 1. 다중 계층 무선망 구조
Fig. 1. Multi Layer Wireless Architecture

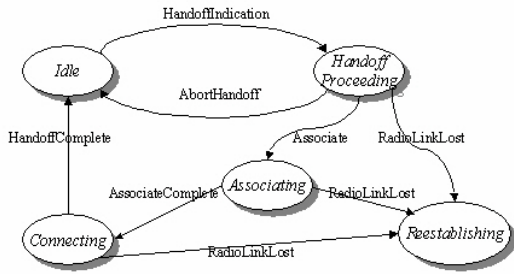


그림 2. 핸드오버를 위한 MT의 FSM
Fig. 2. FSM for handover at an MT side

$$\eta = \frac{VL}{\pi S} = \frac{2V}{\pi \sin(\pi/3)} \quad (1)$$

또한 MT가 핸드오버 시간 T_H 전에 현재의 셀에서 떠나는 핸드오버 실패 확률 P_1 다음과 같이 주어진다.

$$P_1 = P[T < T_H] = 1 - e^{-\eta T_H} \quad (2)$$

셀 한 변편의 최소 길이 l_m 은 (3)에서 다음과 같이 유도된다.

$$l_m = \frac{2VT_H}{\pi \log\left(\frac{1}{1-P_1}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)} \quad (3)$$

핸드오버 실패 확률 P_1 값을 고정시킬 때, MT 평균 이동 속도 V 변화에 따르는 l_m 값의 변화를 살펴보면, 동일한 핸드오버 실패 확률 P_1 값을 유지하기 위하여, 고속에서는 l_m 값이 커짐을 확인할 수 있었다. 또한, 셀을 셀-0, 셀-1, 셀-2, 셀-3으로 고정시킬 때 MT의 평균 이동 속도 V 변화에 따르는 P_1 값 변화를 시뮬레이션한 결과 핸드오버 실패 확률 P_1 은 MT의 평균 이동 속도 V 에 비례하고, 셀 크기와는 반비례함을 알 수 있다.

III. 제안된 기법의 성능 분석

기존 연구들과 이전 연구에서 수행된 내용을 기반으로 다중 계층 무선망에서 제안한 기법의 성능을 분석한다.

3.1 무선망 성능 분석 모델

그림 3은 다중 계층 무선망 분석 모델을 보여주며, 다중 계층 무선망 구조에서, 계층 및 셀을 다음과 같

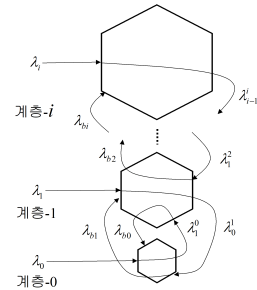


그림 3. 다중 계층 무선망 분석 모델
Fig. 3. multi layer wireless network analysis model

이 설계한다.

- MT들은 이동 속도에 따라서 두 가지 이상의 그룹으로 분류된다. 계층-0은 최저 속도로 이동하는 MT 그룹에 할당되고, 계층-1은 다음 속도로 이동하는 MT 그룹에 할당된다. 그러므로 계층- i 의 MT의 이동 속도는 계층- $i-1$ 의 MT의 이동 속도보다 빠르다. MT 그룹의 이동 속도는 일정 기간의 평균 속도이므로 MT의 속도 변화는 고려하지 않는다.
- 계층-0에는 셀-0가 할당되며, 셀-0의 크기는 계층-0에 속한 MT들의 이동 속도에 결정된다.
- 계층- i 에 속한 MT 그룹의 속도에 따라서 셀 유형에서 최적의 셀을 선택하여 계층- i 에 할당한다. 계층- i 에 셀- i 가 항상 할당되는 것은 아니다.
- 계층- i 의 셀은 O_i 개의 계층- $i-1$ 셀들을 덮는다.
- 계층- i 의 셀에 m_i 개의 채널이 할당된다.

다중 계층 무선 통신 시스템은 다음과 같이 동작한다.

- MT $_i$ 의 신규 호는 우선 계층- i 의 셀에서 채널을 할당 받는다. 계층- i 의 셀이 신규 호를 위하여 트래픽 채널을 제공할 수 없으면, 하위 계층의 셀이 상위 계층보다는 채널 여유가 많으므로, 신규 호는 계층- $i-1$ 로 오버플로될 수 있다. 계층- $i-1$ 의 셀에서 트래픽 채널을 제공할 수 있으면, 신규 호는 계층- $i-1$ 의 셀에서 통신을 한다. 그렇지 않으면 신규 호는 잃어버리게 된다.
- MT $_i$ 의 핸드오버 호는 우선 계층- i 의 셀에서 채널을 할당 받는다. 계층- i 의 셀이 핸드오버 호를 위하여 트래픽 채널을 제공할 수 없으면, 핸드오버 호는 계층- $i-1$ 로 오버플로될 수 있다. 계층- $i-1$ 의 셀에서 트래픽 채널을 제공할 수 있으면, 핸드오버 호는 계층- $i-1$ 의 셀에서 통신을 한다. 그렇지 않으면 핸드오버 호는 잃어버리게 된다.
- 오버플로된 호는 핸드오버가 발생하면 최적의 계층 셀로 핸드오버될 수 있다.

3.2 성능 분석

본 논문에서는 MT의 평균 속도를 이용한다.

신규 호가 일반적으로 핸드오버 호보다는 우선순위가 높지만, 계산을 간단하게 하려고 핸드오버 호와 함께 처리된다고 가정한다. 신규 호의 통화 실패율은 핸드오버 호의 통화 절단율과 같다. 본 연구에서는 MT가 핸드오버 절차가 끝나기 전에 목표 셀에서 떠나면 핸드오버가 실패한 것으로 가정한다.

그림 4는 오버플로 및 복귀(take-back)를 위한 기능이 포함된 분석 모델이며, 성능 분석을 위하여 다음과 같은 가정을 도입한다.

- 계층-*i*의 셀들은 한 변의 길이가 *l_i*인 정 육각형이다.
- MT_{*i*}의 신규 호는 입력 속도 λ_m 의 포아송 과정을 따른다.
- 호 서비스 시간 및 셀 체류 시간은 각각 $1/m$ 및 $1/h$ 의 지수 분포를 따른다.
- 신규 호 및 핸드오버 호의 블로킹 확률은 Erlang loss formula에 의하여 주어진다.

$$P_{bi} = \frac{(\lambda_{ii}/\mu_i + \lambda_{ii}^{(i+1)}/\mu_i^{(i+1)})^{m_i}}{m_i! \sum_{j=0}^{m_i} (\lambda_{ij}/\mu_j + \lambda_{ii}^{(i+1)}/\mu_i^{(i+1)})^j}, \quad i = 0,2,3,\dots \quad (1)$$

$$P_{bi} = \frac{(\lambda_{i1}/\mu_1 + \lambda_{i1}^{(0)}/\mu_1^{(0)} + \lambda_{i1}^{(2)}/\mu_1^{(2)})^{m_i}}{m_i! \sum_{j=0}^{m_i} (\lambda_{ij}/\mu_j + \lambda_{i1}^{(0)}/\mu_1^{(0)} + \lambda_{i1}^{(2)}/\mu_1^{(2)})^j} \quad (2)$$

λ_{i1} 는 MT_{*i*}에 의하여 계층-*i*에 발생하는 전체 트래픽 도착률

$\lambda_{i1}^{(0)}$ 는 MT_{*i*}에 의하여 계층-*j*에 발생하는 전체 트래픽 도착률

μ_i 는 MT_{*i*}에 의하여 계층-*i*에서 서비스율

μ_i^j 는 MT_{*i*}에 의하여 계층-*j*에서 서비스율

신규 호의 발생 속도는 모든 셀에서 동일하고, 전체 셀들의 영역에 대한 트래픽은 λ_n 의 포아송 과정을 따른다고 가정한다. 그러므로 입력 속도를 $\lambda_{n1} = \alpha \lambda_n$, $\lambda_{n0} = (1-\alpha)\lambda_n/O_1$ 으로 줄 수 있다. 표 2는 분석을 위한 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 분석을 위한 파라미터 값
Table 1. parameters for analyses

O_1	7,19,37
the number of channels (m_0)	20
the number of channels (m_1)	40
speed of a MT ₀ (V_0)	5 km/h
speed of a MT ₁ (V_1)	20,30,40km/h
the length of one side of a cell (l_0)	15 m
call service rate (μ)	120 sec

그림 4에서 그림 9는 마이크로 셀-0과 매크로-셀이 셀-1·셀-2·셀-3으로 고정된 환경에서 신규 호 입력속도 (λn_0)의 값이 변화에 따르는 신규 호 혹은 핸드오버 호의 통화 실패율(Pdi)의 변화를 나타낸다.

모든 그림에서 Pdi가 λn_0 와 비례함을 알 수 있다. 즉 입력속도가 커질수록 Pdi가 커짐을 볼 수 있다. 또한, σ 값은 전체 입력 중에서 마이크로 셀-0로 할당되는 저속 호와 매크로 셀로 할당되는 고속 호의 비율을 나타낸다. σ 값이 커질수록 고속 호의 비율이 높아진다. 하지만 고속 호의 비율은 최고 50%를 가정하여서 저속 호의 비율이 항상 높거나 최소한 같아지도록 하였다. 모든 그림에서 보는 바와 같이 고속호의 비율이 높을수록 호의 통화 실패율이 높아지는 것을 볼 수 있다.

그림 4, 그림 6 및 그림 8은 마이크로 셀-0과 매크로-셀이 셀-1·셀-2·셀-3으로 고정된 환경에서 신규 호의 통화 실패율(Pd0)값의 변화하는 모습을 보여준다. Pd0값은 σ 값에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 하지만 그림 4, 그림 6 및 그림 8에서 보듯이 Pd0값은 차이가 거의 나지 않음을 확인할 수 있다.

그림 5 그림 7 및 그림 9는 마이크로 셀-0과 매크로-셀이 셀-1·셀-2·셀-3으로 고정된 환경에서 핸드오버 호의 통화 실패율(Pd1)값의 변화를 보여준다.

Pd1값이 Pd0값과 비교하여 σ 값의 변화에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5는 마이크로 셀-0와 매크로 셀-1으로 구성된 형태이다. 그림에서 보는 바와 같이 σ 값에 따른 그림 4의 신규 호의 Pd0 차이가 있지만 작다. 하지만 그림 5의 Pd1는 상대적으로 차이가 크게 나는 것을 볼 수 있다. 이것은 매크로 셀을 이용한 다중 계층 구성은 빈번한 핸드오버의 발생을 줄여서 Pd1 값이 적어진 것으로 볼 수 있으며, σ 값이 커질수록 차이가 적어지는 것은 채널의 재사용을 이용한 트래픽

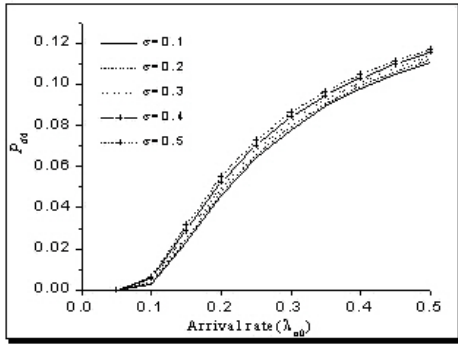


그림 4. 매크로셀이 셀-1일 때 Pd0 값의 변화
Fig. 4. Pd0 for macro cell-1

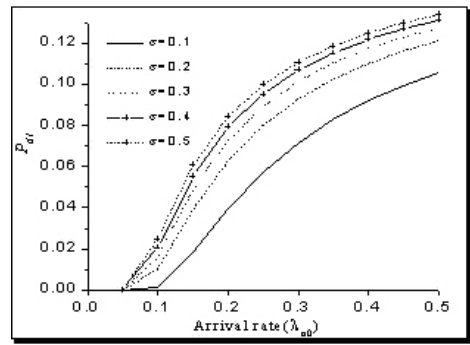


그림 7. 매크로셀이 셀-2일 때 Pd1 값의 변화
Fig. 7. Pd1 for macro cell-2

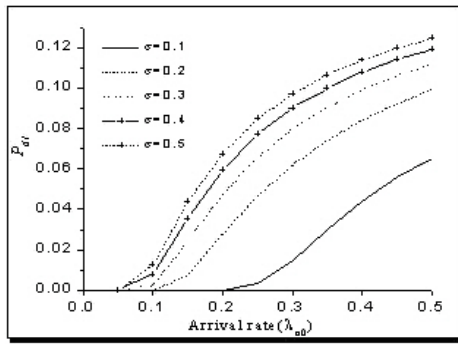


그림 5. 매크로셀이 셀-1일 때 Pd1 값의 변화
Fig. 5. Pd1 for macro cell-1

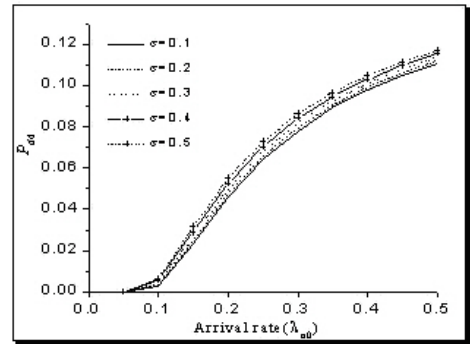


그림 8. 매크로셀이 셀-3일 때 Pd0 값의 변화
Fig. 8. Pd0 for macro cell-3

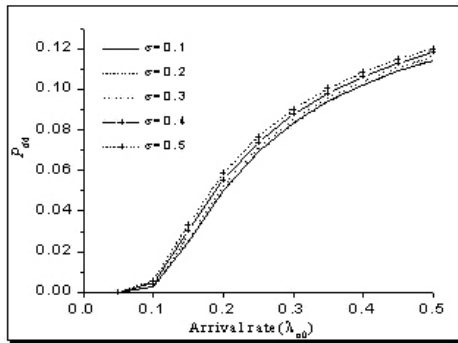


그림 6. 매크로셀이 셀-2일 때 Pd0 값의 변화
Fig. 6. Pd0 for macro cell-2

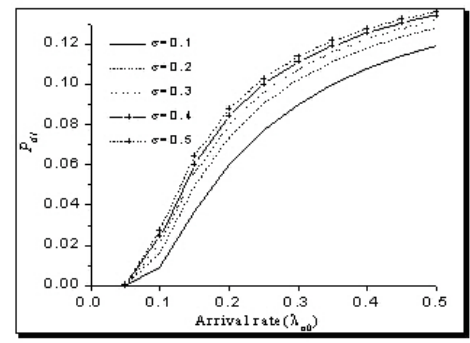


그림 9. 매크로셀이 셀-3일 때 Pd1 값의 변화
Fig. 9. Pd1 for macro cell-3

용량이 상대적으로 적은 것을 보여준다.

그림 6과 그림 7은 마이크로 셀-0와 매크로 셀-2으로 구성된 형태로 σ 값에 따른 그림 6의 신규 호는 Pd0 차이가 작지만, 그림 7의 Pd1는 상대적으로 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 5보다는 차이가 적은 것을 확인할 수 있는데 이것은 핸드오버는 작게 발생하지만, 채널의 재사용을 이용한 트래픽 용량이

상대적으로 적기 때문이다.

그림 8과 그림 9는 마이크로 셀-0와 매크로 셀-3으로 구성된 형태로 그림 9의 Pd1는 상대적으로 차이는 나는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 5이나 그림 7보다는 차이가 적은 것을 확인할 수 있는데 핸드오버는 더 적게 발생하지만, 채널의 재사용을 이용한 트래픽 용량이 두 경우보다는 상대적으로 더 적기 때문이다.

IV. 결 론

이동 통신에서 마이크로 셀의 채널 재사용을 통한 높은 트래픽 용량은 제공하면서 매크로 셀을 이용한 빈번한 핸드오버의 발생을 줄이는 이동성의 지역화를 시키는 이동성 관리기법을 제안하였다^[1]. 본 연구에서는 제안한 기법의 성능 평가를 위해서 평가 모델을 설계하였고, 수학 분석과 큐잉 분석을 수행하였다. 모의 시험을 통한 성능 평가를 수행하였다. 제안한 기법은 신규 후보다는 핸드오버 호에 대한 통화 실패율이 상대적으로 적게 나타났으며, 이동성의 영향을 지역화시킴으로써 사용자에게 더 나은 QoS를 지원하는 것이 가능함을 볼 수 있었다. 다음에 수행될 연구는 제안된 모델을 더 일반화시킨 모델과 수학적 분석이 수행될 것으로 예상된다.

References

- [1] W. K. Choi "The QoS adaptive mobility management scheme in multi layer wireless networks," *J. KICS*, vol. 45, no. 2, pp. 320-326, 2020.
- [2] C. W. Sung and W. S. Wong, "User speed estimation and dynamic channel allocation in hierarchical cellular system," in *Proc. IEEE VTC'94*, Stockholm, Sweden, 1994.
- [3] X. Lagrange and P. Godlewski, "Performance of a hierarchical cellular network with mobility-dependent hand-over strategies," in *Proc. IEEE VTC'96*, Atlanta, GA, USA, 1996.
- [4] K. L. Yeung and S. Nanda, "Optimal mobile-determined micro-cell selection," in *Proc. IEEE VTC'95*, Toronto, Ontario, Canada, 1995.
- [5] K. Shum and C. W. Sung, "Fuzzy layer selection method in hierarchical cellular systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, no. 6, pp. 1840-1849, Nov. 1999.
- [6] B. Jabbari and W. F. Fuhrmann, "Teletraffic modeling and analysis of flexible hierarchical cellular networks with speed-sensitive handoff strategy," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 15, no. 8, pp. 1539-1548, 1997.
- [7] Y. Hwang, Y. Han, and Y. Kim, "Performance analysis of mixed voice/data

services in a micro-cell-based PCS Network," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E81-A, no. 6, pp. 1136-1144, Jun. 1998.

최 원 근 (Choi, Won Keun)



1982년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업

1986년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사

1999년 8월 : 고려대학교 전자공학과 박사

1991년 9월~현재 : 인하공업전문대학 정보통신과 근무

<관심분야> 멀티미디어 통신, QoS, 트래픽 분석 및 관리

[ORCID:0000-0002-4144-8632]