

論文99-36S-4-2

In-Building PCS 의 가입자 이동성 및 트래픽 특성 분석

(Analysis of User Mobility and Traffic Characteristics in In-Building PCS)

李炯吉*, 金宜默**, 具齊吉***, 崔炯辰****

(Hyung-Gil Lee, Euy-Mook Kim, Je-Gil Koo, and Hyung-Jin Choi)

요 약

본 논문에서는 PCS의 확장개념으로 최근 관심이 높아지고 있는 In-Building PCS에서 가입자 이동성향과 이동 트래픽 특성을 이용해서 시스템의 트래픽 성능을 분석하였다. 이를 위해 빌딩내 적절한 셀 모양을 설정하고 가입자 이동성을 수학적으로 모델링하였으며 모델링된 셀에서의 가입자 이동률을 다양한 이동 파라미터로서 정의하고 이로부터 2 차원 Markov 생성-소멸 상태도를 유도하였다. 마지막으로 모델링된 가입자 이동성과 트래픽 상태도를 통해 셀 내에서의 트래픽 성능을 분석하고 평가하였다.

Abstract

In this paper, we analyzed the teletraffic performance of a system with mobile property of users in the In-Building PCS which has recently appeared as the expanded concept of PCS. For this analysis, we proposed a proper cell model within a building and modeled the user mobility mathematically. Then, we defined the mobility rate of user in the modeled cell in terms of various mobility parameters and derived a two dimensional Markov birth-death state diagram. Finally, we analyzed and evaluated teletraffic performance within the cell utilizing the modeled mobility of user and the teletraffic state diagram.

I. 서 론

마이크로셀 환경을 기반으로 하는 개인휴대통신

* 正會員, LG 情報通信

(LG. Information & Communication Co. Ltd.)

** 正會員, 한솔PCS

(Hansol PCS Co.)

*** 正會員, 龍仁 송담大學 電子科

(Dept. of Electronics Eng., Yong-In Song Dam College)

**** 正會員, 成均館大學校 電氣, 電子 및 컴퓨터工學部

(Comsys Lab, School of Electrical and Computer Eng., Sung Kyun Kwan University)

接受日: 1996年7月15日, 수정완료일: 1999年1月9日

(Personal Communication Services)은 시간과 장소에 관계없이 개인간의 음성 및 데이터 교환을 가능케 하고 뛰어난 휴대성과 보편성을 특징으로 하는 통신 서비스이다. 이러한 개인휴대통신이 사용자 밀집도가 높은 고층 건물이나 빌딩에서 사용될 경우 빌딩내에 자체 이동 스위칭 시스템(Mobile Switching System)을 두고 내부 및 외부 개인간의 통신을 수행하는 이른바 In-Building PCS 개념이 점차 대두되고 있다. 이러한 In-Building PCS의 구현은 피코 셀룰러(pico cellular) 개념을 도입함으로써 이루어질 수 있는데, 여기서 피코셀은 주파수 이용률을 높이고 광대역 통신에서 피할 수 없는 다중경로의 영향을 완화하기 위해 반경이 수 미터(meter)에 해당하는 극히 작은 셀 크기를 의미한다. 특히, In-Building PCS에서 피코셀은 작게는 일반 룸이나 사무실 공간 정도의 크기를 나타

내며 크기는 하나의 층(floor)으로 볼 수 있다. 이러한 In-Building PCS 시스템을 설계할 경우 가입자 이동 성향과 빌딩내 가입자 이동 트래픽에 따른 Portable의 공간적 분포를 고려하여 도심지를 중심으로 하는 마이크로 셀룰러 시스템과는 다르게 설계되어야 한다.

In-Building PCS의 트래픽 성능에 대한 분석을 수행할 경우에도 마찬가지로 마이크로셀 환경에서의 분석과는 달라지게 된다. 이것은 기존의 마이크로 셀룰러 시스템의 가입자 이동 특성이 랜덤하며 Portable 분포는 균일분포를 가지는 반면에, 빌딩내 피코 셀룰러 시스템은 등록 지역의 크기가 마이크로 셀룰러 시스템에 비해 극히 작아져서 가입자 이동에 의한 위치 등록 트래픽이 매우 버스트한 성질을 갖으며^[2], 가입자 이동 또한 정적이며 버스트한 특성을 나타내기 때문이다^[1].

기존 회선교환 방식의 전화망에서는 Erlang과 Engset 트래픽 모델링 등이 주로 사용되고 있으나, In-Building PCS에서의 트래픽 모델링은 한정된 자원때문에 유한 Population에 기초한 Engset 트래픽 모델링이 더 적합하다^[1]. 그리고 이동 트래픽 모델링에서 가입자의 이동성이 추가됨에 따라 핸드오프와 다른 간섭에 의한 영향을 고려해야 하므로 셀내의 가입자 이동성과 이동 트래픽을 포함한 호 블럭킹(call blocking) 확률, 핸드오프 실패(handoff failure) 확률, 호 누락(dropped calls) 확률 및 핸드오프 성공 확률등에 의해 트래픽 성능을 평가할 수 있다.

트래픽 모델링에 관한 최근 연구로는 먼저 시스템내에서 일시적인 호 도착 통계와 Portable의 공간적 분포에 기초한 트래픽 용량 예측모델을 해석하였고^[1], In-Building 피코-셀룰라 환경하에서 하루중 특정시간에 가입자의 국부적 집중현상에 따른 가입자의 위치 등록 트래픽 모델의 버스트한 특성을 해석하였다^[2]. 그리고 트래픽 핸들링 구조에 따른 셀룰라 이동전화 트래픽 모델과 성능 해석^[3]과 마이크로 셀룰라 환경에서 셀모양을 결정하는 이론적 접근^[5]이 연구 되었으며, 1차원의 차량도로상에서 셀룰라 전화 트래픽 해석 연구^[7]가 이루어 졌다.

본 논문에서는 In-building PCS시스템의 트래픽 성능을 두 가지 접근 방법을 통해 분석하고자 한다. 첫째, 빌딩내 가입자들의 이동이 많은 1층을 중심으로 적절한 셀을 설계하고 이러한 셀내에서 가입자 이동 성향을 수학적으로 모델링하고 해석한다. 둘째, 빌딩내

활동하는 전체 가입자들의 이동률이 정적이며 버스트한 특성을 가진다는 점을 고려하여 모델링된 1층 셀에서 진행중인 호를 가진 Portable과 진행중이지 않은 Portable의 비로서 가입자 이동률을 표현한다. 그리고 이러한 이동 파라미터를 가지고 셀이 서비스할 수 있는 채널의 수와 셀내에 존재하는 Portable의 수에 대해서 2차원 상태를 설정함으로써 1층 셀에 대한 호 블럭킹 확률과 핸드오프 실패 확률등의 트래픽 성능을 분석하고자 한다.

특히, 본 논문에서는 기존의 무한 population 트래픽 분석에 사용되는 Erlang 분포와는 달리 빌딩내 유한 population을 가정한 Engset 분포를 통해 좀 더 현실적이고 정확한 분석을 수행한다.

본 논문의 구성은 1장의 서론에 이어서 2장에서는 가입자 이동성향을 묘사하기 위해 적합한 셀을 설계하고 설계된 셀내에서 가입자 이동성을 수학적으로 해석하고 모델링하였다. 3장에서는 셀로의 가입자 이동률을 파라미터로하여 2차원의 트래픽 상태를 설정하였고, 이 상태도로부터 정상상태 흐름 방정식을 유도하였다. 4장에서는 모델링된 셀내의 가입자 이동성향과 트래픽 상태도로부터 성능 파라미터를 계산하였으며, 5장에서는 계산결과에 대한 분석을 수행하였다. 마지막으로 6장에서는 이상의 모델링과 결과분석을 종합하여 결론을 맺었다.

II. 빌딩내 셀 설계 및 가입자 이동 모델링

본 장에서는 빌딩내의 셀 모양을 제시하고 이 셀내에서 가입자의 이동성향을 수학적으로 기술한다. 또한 트래픽 성능분석에 사용되는 확률변수들을 정의하고 나아가 셀내에서 호를 유지하는 채널 유지 시간에 대한 확률변수를 유도한다.

빌딩의 구성은 각 층을 하나의 피코셀로 보아 임의의 F 층을 갖는 빌딩을 L개의 셀을 가진 시스템으로 간주한다. 이러한 빌딩에서 가입자들이 가장 많이 활동하는 장소는 1층이 될 것이다. 오전에 1층을 통해 빌딩내로 진입하고 점심 무렵에는 1층을 경유하여 밖으로 또는 지하식당으로 이동하며, 주로 퇴근 무렵 역시 1층을 통하여 빌딩을 떠난다. 따라서 1층에서의 가입자 이동 트래픽은 다른 층에 비해 상당히 높게 나타난다^[2]. 이러한 이동 트래픽을 고려하여 1층 셀 모양을 그림 1과 같이 나타냈다.

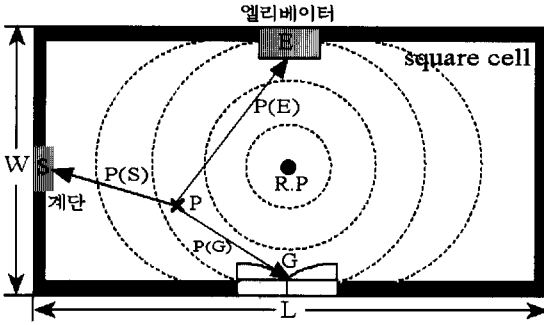


그림 1. 1 층 셀 모양과 가입자 이동 모델
Fig. 1. Cell shape and mobility model of the 1st floor.

위의 그림 1에서 셀은 길이가 L(m)이고 폭이 W(m)인 직사각형 셀(Square Cell)로 설정하였고, Hall 중앙에 등방성 안테나를 가진 RP(Radio Port)가 설치된 것으로 가정하였다. 또한 셀 내에서 Portable들은 균일하게 분포하며, 호는 임의의 P점에서 발생한다고 가정한다. 호가 발생한 위치에서 가입자는 E, S, 그리고 G의 세 지점으로 이동할 수 있고 그 외 경우는 Hall 내에 머무르는 것으로 가정하였다. 이러한 셀내 각 영역으로의 이동은 하루 중 특정 시간에 따라 달라지게 되며, 호 발생 위치로부터 가입자의 이동 방향을 나타내는 파라미터를 표 1에 정리하였다.

표 1. 가입자 이동 방향과 진행확률의 정의
Table 1. Definition of mobility direction and progress probability of users.

표 기	E 지점	S 지점	G 지점
의 미	엘리베이터가 있는 영역	계단이 있는 영역	현관이 있는 영역
진행 확률	$P(E)$	$P(S)$	$P(G)$

빌딩내 총 M 개의 Portable이 있다고 가정하고 1층 직사각형 셀 내에서 서비스 가능한 총 채널의 수가 N일 경우, 셀 내에서의 가입자 이동 모델을 수학적으로 해석하기 위해 먼저 트래픽 모델링 파라미터 설정을 위한 가정을 한다. 일반적으로 호의 발생은 두 가지로 나뉜다. 먼저 셀내의 임의의 위치에서 발생하는 새로운 호가 있고 각각의 영역 E, S, G에서 발생하는 핸드오프 호가 있다. 그리고 셀 모델링의 엘리베이터 영역(E)에서는 일반적으로 통신설비가 없으므로 핸드오프가 없다고 가정한다.

다음으로 모델링되는 직사각형 셀 내에서의 이동 파라메타 및 확률변수들을 정의하면 다음과 같다.

1) V : 가입자 이동속도를 나타내는 확률변수로서, 구간 $[0, V_{max}]$ 에서 균일분포로 가정한다. 이의 확률밀도함수는 식 (1)과 같이 정의한다.

$$f_V(v) = \begin{cases} \frac{1}{V_{max}} & , 0 \leq v \leq V_{max} \\ 0 & , otherwise \end{cases} \quad (1)$$

여기서 V_{max} 는 가입자 이동 최고속도를 나타내며, 가입자 이동속도는 확률변수이지만 셀내에서 이동하는 동안 일정한 속도 V_c 를 유지하는 것으로 가정한다^[3].

2) 셀내에서 가입자의 이동확률은 셀내에 머물 확률과 각 외부 영역으로 이동할 확률로 구성되며, 다시 외부로 이동할 확률은 E 지점으로 이동할 확률 $P(E)$ 와 S 지점으로 이동할 확률 $P(S)$, 그리고 G 영역으로 이동할 확률 $P(G)$ 의 합으로 나타낼 수 있다. 이러한 관계를 식 (2)와 식 (3)에 나타냈다.

$$P(staying) + P(moving) = 1 \quad (2)$$

$$P(moving) = P(E) + P(S) + P(G) \quad (3)$$

3) Z : 호가 발생한 위치 P에서 셀 경계까지의 임의의 길이의 확률변수로서 누적분포함수는 식 (4)와 같이 가입자가 셀내에 있을 경우와 셀외의 경우로 표현되며, 누적분포함수의 미분으로 정의되는 확률밀도함수는 식 (5)와 같이 계산된다^[8].

$$F_Z(z) = Pr(Z \leq z) = \begin{cases} 0 & , z < 0 \\ z/L_i & , 0 \leq z \leq L_i \\ 1 & , z > L_i \end{cases} \quad (4)$$

$$f_Z(z) = \frac{d}{dz} F_Z(z) = \begin{cases} 1/L_i & , 0 \leq z \leq L_i \\ 0 & , z > L_i \end{cases} \quad (5)$$

여기서 L_i 는 그림 1에서와 같이 직사각형 셀의 가장 긴 거리 즉, $\sqrt{L^2 + W^2}$ 를 나타낸다.

4) T_M : 한 개의 호가 발생하여 할당된 채널이 핸드오프가 일어나지 않고 유지되는 시간에 대한 확률변수로서, 평균이 μ_M^{-1} 인 부 지수분포(negative exponential distribution)를 가진다^[3]. 이 지수 분포는 핸드오프를 고려하는 채널 유지 시간(Channel Holding Time) 분포와는 다르다.

$$f_{T_m}(t) = \begin{cases} \mu_M e^{-\mu_M t} & , t > 0 \\ 0 & , otherwise \end{cases} \quad (6)$$

5) T_H : 채널 유지 시간(Channel Holding Time)을 나타내며, 채널이 한 호에 의해 점유된 시간부터 완료시까지 호를 유지하는 시간으로서, 셀의 크기, 속도 및 가입자의 이동 방향등에 대한 함수로 나타낸다^[3].

따라서, T_H 는 호가 발생한 셀에서 할당된 채널을 유지하는 시간(T_{Hn})과 인접셀로 핸드오프 호가 발생해서 채널을 유지하는 시간(T_{Hn})으로 나누어 생각할 수 있다. 여기서 T_{Hn} 는 호가 발생한 셀에서 핸드오프 요구없이 할당된 채널을 유지하거나 Portable이 호 발생 셀내에 머물 시간에 대한 확률변수로서 누적분포함수를 식 (7)과 같이 쓸 수 있다. 즉, 식 (7)의 시간변수를 거리에 대한 이동속도의 비 즉, Z/V 로 표현한 것으로 결합 확률밀도함수(Joint PDF)로 표현한다. 여기서 Z 와 V 확률변수는 서로 독립이므로 결합 확률밀도함수는 서로 독립인 확률밀도함수로써 계산할 수 있다. T_{Hn} 의 확률밀도함수는 식 (8)과 같이 계산된다^{[3], [8]}.

$$\begin{aligned} F_{T_m}(t) &\equiv Pr(T_{Hn}(t) \leq t) \\ &= Pr(Z/V \leq t) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{z=0}^{Vt} f_{Z,V}(z, v) dz dv \\ &= \begin{cases} 0 & , t < 0 \\ \frac{V}{L_t} t & , 0 \leq t \leq L_t/V \\ 1 & , t > L_t/V \end{cases} \quad (7) \\ f_{T_m}(t) &= \frac{dF_{T_m}(t)}{dt} \\ &= \begin{cases} \frac{V}{L_t} & , 0 \leq t \leq L_t/V \\ 0 & , t > L_t/V \end{cases} \quad (8) \end{aligned}$$

다음으로 T_{Hn} 는 인접 셀로 핸드오프가 발생해서 할당채널의 나머지 메시지 동안 유지하거나 Portable이 해당 셀내에 머물 시간을 나타내는 확률변수를 나타내며, 식 (7)과 식 (8)과 같은 방법으로 누적분포함수와 확률밀도함수를 구하면 식 (9)와 식 (10)과 같다. 여기서 간단한 해석을 위해서 1층 셀 모델의 엘리베이터(E), 계단(S) 및 현관(출입구)(G) 위치는 직사각형 각 변의 중앙에 있다고 가정한다.

$$F_{T_m}(t) \equiv Pr(T_{Hn}(t) \leq t)$$

$$\begin{aligned} &= \begin{cases} 0 & , t < 0 \\ \frac{2V}{L_t} t & , 0 \leq t \leq L_t/2V \\ 1 & , t > L_t/2V \end{cases} \\ &= \begin{cases} 0 & , t < 0 \\ \frac{V}{W} t & , 0 \leq t \leq W/V \\ 1 & , t > W/V \end{cases} \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{T_m}(t) &= \frac{dF_{T_m}(t)}{dt} \\ &= \begin{cases} \frac{2V}{L_t} & , 0 \leq t \leq L_t/2V \\ 0 & , t > L_t/2V \end{cases} \quad (10) \end{aligned}$$

III. 이동 파라미터에 따른 트래픽 상태도

본 장에서는 빌딩내에서 가입자들이 갖는 이동 트래픽 특성을 바탕으로 셀내로의 가입자 이동률을 다양한 이동 파라미터로 정의하고 이를 사용하여 트래픽 분석을 위한 2차원 Markov상태도를 유도한다.

빌딩내에서 가입자 이동에 의해 이동단말의 공간적 분포에 따른 이동 트래픽 특성이 옥외 환경에 비해 상대적으로 정적이고 특정 시간에 따라 버스트한 특성을 갖는다. 즉 사무실 환경에서 사람들은 한 장소에서 모여 일하고 상대적으로 짧은 시간에 걸쳐 다른 장소로 이동하는 경향을 보인다. 따라서 빌딩내의 가입자 Portable 들이 한 특정 셀내에 집중되는 정도는 현재 셀 범위에서 수행되는 업무기능뿐만 아니라 하루 중 특정 시간에 따라서 상당히 영향을 받는다^[11].

표 2. 1층 셀에서의 가입자 이동 파라미터
Table 2. Mobility parameters of user in 1st floor cell.

	의	미
α_0	진행중인 호를 가진 가입자가 셀을 떠나는 비율	
α_1	진행중인 호를 가진 가입자가 셀로 들어오는 비율	
β_0	진행중이 아닌 호를 가진 가입자가 셀을 떠나는 비율	
β_1	진행중이 아닌 호를 가진 가입자가 셀로 들어오는 비율	

F층을 가진 빌딩의 경우, 1층으로의 총 운반 트래픽은 시스템이 한 셀 내에 제공하는 총 서비스를 μ ,과 전체 호 발생률 λ ,로서 나타낼 수 있고 1층 셀영역으로 가입자들의 이동률은 다음과 같이 분류할 수 있다. 먼저 1층 셀로 들어오는 가입자와 떠나는 가입자로 구

분하고, 다음으로 이들 각각을 다시 통화중인 호를 가진 가입자와 통화를 하지 않는 가입자로 나눌 수 있다. 이러한 가입자 이동 파라미터를 표 2에 정리하였다^[11].

이렇게 정의된 이동 파라미터를 가지고 셀내의 서비스 호의 변화(N)와 사용중인 Portable 수(M)의 변화에 따른 2차원의 상태도를 세울 수 있다. 셀내에 현재 공간적으로 분포하고 있는 Portable의 수가 m이고 진행중인 호의 수가 n인 경우를 “mn”상태라고 정의했을 때 2차원 Markov 생성-소멸 상태도를 그림 2에 나타냈다.

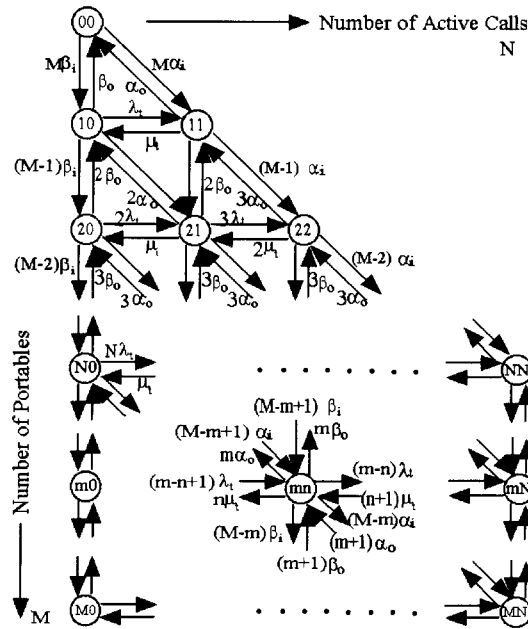


그림 2. 2차원 Markov 생성-소멸 상태도
Fig. 2. Two dimensional Markov birth-death state diagram.

Memoryless property가 성립하는 그림 2의 Markov 상태도는 N과 M의 변화에 따라 총 K=(N+1)(M+1-N/2)의 상태를 가지며 각 상태는 위에서 정의된 이동 파라미터들을 가지고 현 상태에서 다음 상태로 생성 혹은 소멸되는 Markov Chain관계를 갖고 있다. 이러한 Markov 변화 상태 “mn”에 대해 자세히 설명하면 다음과 같다. 먼저 세로축은 현재 m개의 Portable이 있는 상태에서 이동 파라미터 β_i를 가지고 다음상태로 천이되고, 혹은 β_o로서 다시 이전 상태로 천이되는 셀내의 Portable 수의 변화를 나타낸다. 그리고 가로축의 변화는 진행중인 호의 변화율의

미하는데 이것은 셀내의 전체 호 발생률 λ_i로 다음 상태로 천이되고 총 서비스율 μ_i로서 다시 이전 상태로 복귀되는 것을 나타낸다. 마지막으로 대각선 방향의 천이는 진행중인 호를 가진 Portable의 이동을 나타내며 이 파라미터의 변화가 시스템의 핸드오프에 대한 확률을 결정한다.

트래픽 성능을 평가하기 위해서는 각 상태에 대한 정상상태 확률 p_{mn}을 결정해야 한다. 이를 위해 통계적 평형상태(즉, flow out = flow in)를 적용한 식 (11)와 모든 상태확률의 합은 1이어야 한다는 조건식 (12)을 세울 수 있다^[11].

$$a_0 p_{mn} = a_1 p_{m-1, n} + a_2 p_{m+1, n} + a_3 p_{m-1, n-1} + a_4 p_{m-1, n} + a_5 p_{m+1, n} + a_6 p_{m+1, n+1} \quad (11)$$

$$\sum_{m,n} p_{mn} = 1 \quad (12)$$

식 (11)에서의 각 계수값은 표 3에 정리하였다. 이들 값은 표 2에서 정의한 이동 파라미터를 사용하여 다음의 4가지 기본 조건으로부터 설정된 것이다.

- ① 호 발생률 λ_i은 진행중이지 않은 호를 가진 Portable의 수(m-n)에 비례한다.
- ② 호 서비스율 μ_i는 이용 가능한 채널의 수(N)에 의해 제한된다.
- ③ Portable이 셀을 떠나는 비율은 셀내에 남아있는 Portable의 수(m)에 비례한다.
- ④ Portable이 셀로 들어오는 비율은 나머지 다른 셀에 있는 Portable의 수(M-m)에 비례한다.

표 3. 상태 방정식의 계수값
Table 3. Coefficient values of state equation.

	계 산 값
a ₀	(M-m)(β _i + α _i) + m(β _o + α _o) + (m-n)λ _i + nμ _i
a ₁	(m-n+1)λ _i
a ₂	(n+1)μ _i
a ₃	(M-m+1)α _i
a ₄	(M-m+1)β _i
a ₅	(m+1)β _o
a ₆	(m+1)α _o

표 3에서 결정된 각 계수값의 의미를 살펴보면

다음과 같다. 먼저 a_0 는 식 (11)에서 왼쪽 항에 있는 계수값으로서 정상상태 “mn”에서의 소멸률(Death Rate)을 의미하고, $a_1 \sim a_6$ 는 오른쪽 항의 값들로서 정상상태 “mn”에서의 생성률(Birth Rate)을 나타낸다. a_1 값은 진행중이지 않은 호를 가진 Portable의 호 발생률을 나타내며, a_2 는 진행중인 호를 가진 Portable의 호 완료율을 나타낸다. 그리고 a_3 는 진행중인 호를 가진 Portable이 셀내로 진입해 들어오는 비율(Rate) 이고 a_4 는 진행중이지 않은 호를 가진 Portable이 셀내로 들어오는 비율이다. 또한 a_5 는 진행중이지 않은 호를 가진 Portable이 셀을 떠나는 비율이고, a_6 는 진행중인 호를 가진 Portable이 셀을 떠나는 비율을 나타낸다. 그리고 a_0 는 “mn”상태에서 출력되는 파라미터들의 합으로 표현되고 상태 “mn”에서의 소멸률을 나타낸다.

임의의 “mn”상태에서의 정상상태 흐름방정식의 계수를 결정하기 위한 상태도를 구체적으로 도시하면 그림 3 과 같다.

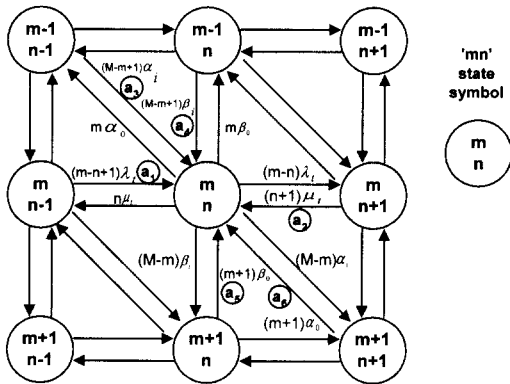


그림 3. “mn”상태의 생성-소멸 상태도
Fig. 3. Typical “mn”state birth-death state diagram.

여기서 $m=0$ 인 상태는 셀내에 Portable이 없는 상태를 의미하고, $m=M$ 인 경우는 시스템내, 즉 발당내 전체 Portable이 현 셀에 들어와서 서비스 중이거나 그외 상태를 의미하고, 최대 $N(N < M)$ 개 Portable만이 서비스 가능한 것으로 가정하였다.

이상으로부터 식 (11)과 식 (12)에서 K개의 선형방정식을 세울 수 있다. 이렇게 세운 선형방정식은 식 (13)과 같이 행렬식으로 구성할 수 있다. 여기서 A는 상태방정식 (11)에서 $a_0 \sim a_6$ 의 계수행렬이며, R은 열

행렬로 마지막 항이 ‘1’이고 나머지 항이 ‘0’인 행렬이다.^[9]

결국, 정상상태 확률 p_{mn} 는 식 (13)에 대한 역행렬 식 (14)를 계산함으로써 구할 수 있다^[11].

$$AP=R \tag{13}$$

$$P=A^{-1}R \tag{14}$$

상태 수 K가 3인 경우 ($M=1, N=1$)를 예들들어 행렬식을 세우면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} -a_0 & a_5 & a_6 \\ a_4 & -a_0 & a_2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{00} \\ p_{10} \\ p_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

IV. 셀내 트래픽 성능 파라미터의 계산

본 장에서는 이상의 모델링된 직사각형 셀에서의 트래픽 성능분석을 위한 성능파라미터를 구한다.

먼저 가입자의 이동성향에 의해 셀내에서 발생된 호가 핸드오프를 시도할 확률 P_{nh} 은 S 영역, G 영역, E 영역으로 핸드오프할 확률의 합으로서 식 (15)과 같이 계산된다^[8].

$$\begin{aligned} P_{nh} &= P(T_M \cdot V)S)P(S) + P(T_M \cdot V)G)P(G) \\ &\quad + P(T_M \cdot V)E)P(E) \\ &= P(T_M) \left\langle \frac{S}{V} \right\rangle P(S) + P(T_M) \left\langle \frac{G}{V} \right\rangle P(G) \\ &\quad + P(T_M) \left\langle \frac{E}{V} \right\rangle P(E) \\ &= P(S) \int_0^{E(S)/V_c} e^{-\mu t} f_{T_{in}}(t) dt \\ &\quad + P(G) \int_0^{E(G)/V_c} e^{-\mu t} f_{T_{in}}(t) dt \\ &\quad + P(E) \int_0^{E(E)/V_c} e^{-\mu t} f_{T_{in}}(t) dt \\ &= \frac{1}{\mu M} \left\{ \frac{V_c}{E(S)} [1 - e^{-\mu M E(S)/V_c}] \cdot P(S) \right. \\ &\quad + \frac{V_c}{E(G)} [1 - e^{-\mu M E(G)/V_c}] \cdot P(G) \\ &\quad \left. + \frac{V_c}{E(E)} [1 - e^{-\mu M E(E)/V_c}] \cdot P(E) \right\} \tag{15} \end{aligned}$$

여기서 파라메타 S, G, E는 각각 가입자가 호를 발생한 지점(P)에서 계단(S), 현관(출입구)(G) 및 엘리베이터(E) 까지의 거리를 나타낸다. 위의 식 (15)에서

S/V, G/V, E/V는 T_{Hn} 으로 표현되는 값이고 $P(T_M > T_{Hn})$ 는 새로운 호가 블럭킹 되지 않고 핸드오프 영역에 진입하는 확률을 의미하며, $P(T_M > T_{Hh})$ 는 핸드오프 되어온 호가 다시 핸드오프 영역에 진입하는 확률을 나타내며 각각 식 (16)와 식 (17)과 같이 유도된다^[3].

$$\begin{aligned}
 P(T_M > T_{Hn}) &= P(T_M - T_{Hn} > 0) \\
 &= \int_0^{\infty} [1 - F_{T_n}(t)] f_{T_m}(t) dt \\
 &= 1 - \int_0^{\infty} F_{T_n}(t) f_{T_m}(t) dt \\
 &= \int_0^{\infty} f_{T_m}(t) e^{-\mu_n t} dt \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(T_M > T_{Hh}) &= P(T_M - T_{Hh} > 0) \\
 &= \int_0^{\infty} f_{T_m}(t) e^{-\mu_h t} dt \quad (17)
 \end{aligned}$$

다음으로 외부 영역으로부터 핸드오프되어 들어온 호가 다시 새로운 핸드오프를 시도할 확률 P_{hh} 을 구하면 식 (18)와 같다. 여기서 핸드오프되어 들어오는 영역은 S, G, E 영역이 될 수 있으나 엘리베이터 영역 E지점에서는 핸드오프될 수 없다고 가정하여 실질적으로 S 영역과 G 영역에 대해서만 고려한다. 이 경우 이들 영역에서 핸드오프를 시도할 수 있는 영역은 각각 E, G 영역과 E, S 영역이 될 수 있다. 식 (18)는 이를 표현한 것으로 핸드오프 호 발생영역에서 각 핸드오프 영역으로 이동하는 동안의 채널 유지 거리가 핸드오프 영역까지의 거리보다 큰 경우를 나타낸 것이다^[8].

$$\begin{aligned}
 P_{hh} &= P(S에서 발생) \cdot [P(T_M \cdot V > \overline{SE}) \\
 &\quad + P(T_M \cdot V > \overline{SG})] \\
 &\quad + P(G에서 발생) \cdot [P(T_M \cdot V > \overline{GS}) \\
 &\quad + P(T_M \cdot V > \overline{GE})] \\
 &= P(S에서 발생) \cdot [P(T_M \cdot V > \frac{\sqrt{(L^2 + W^2)}}{2}) \\
 &\quad + P(T_M \cdot V > \frac{\sqrt{(L^2 + W^2)}}{2})] \\
 &\quad + P(G에서 발생) \cdot [P(T \cdot V > \frac{\sqrt{(L^2 + W^2)}}{2}) \\
 &\quad + P(T \cdot V > W)] \\
 &= P(S에서 발생) \cdot [2 \exp(-\mu_M \frac{\sqrt{(L^2 + W^2)}/2}{V_c})] \\
 &\quad + P(G에서 발생) \cdot [\exp(-\mu_M \frac{\sqrt{(L^2 + W^2)}/2}{V_c}) \\
 &\quad + \exp(-\mu_M \frac{W}{V_c})] \quad (18)
 \end{aligned}$$

위의 식 (15)와 식 (18)를 모두 고려했을 때 외부로부터의 새로운 호가 포아송 과정(Poisson Process)으로 셀로의 평균 도착률 λ_n 과 핸드오프 호의 평균 도착률 λ_h 은 식 (11)에서 사용된 한 셀에서의 통계적 평형상태(flow out = flow in)를 적용하여 식 (19)과 같이 표현할 수 있다^[4].

$$\lambda_h = \lambda_n(1 - P_{Bn})P_{nh} + \lambda_h(1 - P_{Fh})P_{hh} \quad (19)$$

여기서 P_{Bn} 는 새로운 호의 발생이 블럭킹될 확률이고, P_{Fh} 는 핸드오프 호의 발생이 실패될 확률이다. 식을 정리하면 다음과 같이 외부로부터의 핸드오프 발생률을 얻을 수 있다.

$$\lambda_h = \frac{(1 - P_{Bn})P_{nh}}{1 - (1 - P_{Fh})P_{hh}} \lambda_n \quad (20)$$

따라서 1층 셀에서의 총 호 발생률(total call arrival rate)은 식 (21)과 같이 셀내 호의 발생률과 핸드오프 호 발생률의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \lambda_i &= \lambda_n + \lambda_h \\
 &= \lambda_n [1 + \frac{(1 - P_{Bn})P_{nh}}{1 - (1 - P_{Fh})P_{hh}}] \quad (21)
 \end{aligned}$$

다음으로 직사각형 셀 내에서 채널을 점유한 호가 채널을 해제하는 경우(call completion rate)는 호가 완료되어 점유채널이 해제된 경우와 다른 영역으로 핸드오프 되는 경우로 구분할 수 있다. 따라서 하나의 셀에서 이용가능한 총 서비스율(호 완료율) μ_i 는 다음과 같다^[4].

$$\mu_i = \mu_M + \mu_h \quad (22)$$

여기서 μ_M 은 평균 호 완료율이고, μ_h 는 셀에서 다른 셀로 핸드오프 비율을 나타낸다. 호 발생 지점 P에서 S, G, E 지점까지의 거리가 모두 변수이므로 μ_h 는 다음과 같이 되어야 한다.

$$\mu_h = \frac{V}{E[S]} + \frac{V}{E[G]} + \frac{V}{E[E]} \quad (23)$$

따라서 직사각형 셀 내에 부과되는 총 제공 트래픽 (Offered traffic) A_i 는 식 (24)과 같이 새로운 호 발생에 의한 트래픽과 핸드오버 호 발생에 의한 트래픽의 합으로 표현된다.

$$A_i = \frac{\lambda_n}{\mu_M} + \frac{\lambda_h}{\mu_h} \quad (24)$$

이와 같이 셀내에서 총 제공 트래픽이 결정되면 하나의 RP(Radio Port)가 가지는 채널수 N에 대해 j개의 채널이 점유될 확률이 결정될 수 있는데, 이것은 유한 population을 가정한 Engset 분포식으로 생각했을 때 다음식 (25)과 같이 표현된다. 여기서 M은 빌딩내 총 Portable 의 수이다^{[6], [10]}.

$$p_j = \frac{\binom{M}{j} A_i^j}{\sum_{k=0}^N \binom{M}{k} A_i^k} \quad (25)$$

다음으로 그림 2의 2차원 상태 방정식과 식 (21)과 (22)에서 계산된 셀내의 총 호의 발생률과 서비스율을 근거로 하여 1층 셀영역에서의 호 블러킹 확률 P_{Bn} 과 호 누락 확률 P_{Dh} 을 구해보면 다음과 같다.

호 블러킹 확률은 한 호가 새로이 발생하였을 경우 시스템의 모든 채널이 점유될 확률을 의미하므로 조건부 확률 $P(\text{Blocking}|\text{Arrival})$ 로서 표현할 수 있고, 이 식은 Bayes 이론으로부터 식 (26)과 같이 표현할 수 있다^[11].

$$P_{Bn} = P(\text{Blocking}|\text{Arrival}) = \frac{P(\text{Arrival}|\text{Blocking}) \cdot P(\text{Blocking})}{P(\text{Arrival})} \quad (26)$$

여기서 $P(\text{Arrival}|\text{Blocking})$ 는 상태 mN중 m이 N보다 큰 어떠한 상태에 대해서 $(m-N)\lambda$ 로 계산되는 값이며, $P(\text{Blocking})$ 는 셀내의 모든 채널이 사용중에 있을 확률이다. 또한 호 발생 확률 $P(\text{Arrival})$ 는 모든 상태들이 갖는 호 발생률에 대해서 평균을 취함으로써 계산될 수 있다. 이를 정리하면 호 블러킹 확률 P_{Bn} 은 다음식 (27)과 같다^[11].

$$P_{Bn} = \frac{\sum_{m=N}^M (m-N)\lambda_i \cdot P_{mN}}{\sum_{m,n} (m-n)\lambda_i \cdot P_{mn}} \quad (27)$$

한편, 호 누락 확률 P_{Dh} 는 외부 영역으로부터 셀 내로 진행중인 호를 가지고 들어오는 호가 핸드오프를 시도했을 때 호가 누락되는 확률을 의미하는 것으로 $P(\text{Handoff}|\text{Arrival})$ 로 표현할 수 있으며, 이것은 식 (26)의 유도와 같은 방법으로 식 (28)와 같이 계산할 수 있다.

$$P_{Dh} = P(\text{Handoff}|\text{Arrival}) = \frac{\sum_{m=N}^M (M-m)\alpha_i \cdot P_{mN}}{\sum_{m,n} (M-m)\alpha_i \cdot P_{mn}} \quad (28)$$

V. 결과 및 성능분석

본 장에서는 지금까지의 모델링된 빌딩내 1층 직사각형 셀에 대해서 가입자 이동성향과 Portable의 공간적 분포에 따른 시스템의 버스트한 트래픽 성능에 대한 계산결과를 가지고 몇 가지 성능 파라미터에 대한 결과를 도시하고 분석한다.

모델링된 시스템의 성능평가를 위해 사용된 시스템 파라미터는 다음과 같다. 먼저 빌딩은 L=120(m), W=60(m)인 F=4(층)인 건물로 가정하였고 건물 안에서 가입자의 최대 이동속도 V_{max} 는 2km/hr로 설정하였다. 또한 가입자들의 평균 통화시간은 100초로 가정하였다. 그리고 식 (18)에서 Portable이 S영역에서 나타날 확률과 G영역에서 나타날 확률은 모두 0.1로 가정하였고 트래픽 제어를 위해 사용되는 채널 할당 방식은 FCA(Fixed Channel Allocation)를 사용하는 것으로 하였다.

그림 4 은 1층 직사각형 셀내에서 가입자 이동성향에 따른 외부 영역으로의 핸드오프 시도확률을 나타낸다.

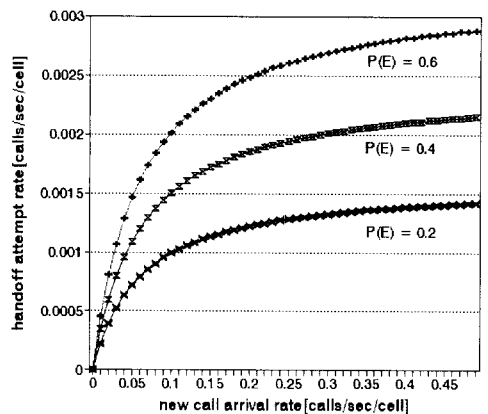


그림 4. 외부 영역으로 핸드오프 시도 확률
 Fig. 4. Handoff Attempt Probability into Outer Region.
 ($V_c = 2 \text{ km/hr}$, $L = 160 \text{ m}$, $W = 60 \text{ m}$, $\mu_M = 1/100 \text{ sec}$, $F = 4$, $N = 5$)

그림 5에서 보듯이 새로운 호의 발생률이 증가함에

따라 외부 핸드오프 영역 즉, E, S, G로의 핸드오프 시도 확률이 증가함을 알 수 있다. 또한 각 영역으로의 이동 확률의 증가에 따른 성능을 보이기 위해 S영역과 G영역으로의 이동확률을 $P(S)=0.1$ 과 $P(G)=0.1$ 로 고정시킨 상태에서 $P(E)$ 값을 증가시키면서 성능을 보였다. E 방향으로의 이동 확률이 증가함에 따라 핸드오프 트래픽이 증가함을 볼 수 있다.

다음으로 Portable의 공간적 분포에 따른 트래픽 성능으로서 호 블럭킹 확률과 호 누락 확률을 살펴본다. 가입자 이동이 많은 점심시간대를 예를들어 1층으로의 가입자 이동률을 $\alpha_i=0.003$, $\alpha_o=0.01$, $\beta_i=0.03$, $\beta_o=0.1$ 으로 하고, 시스템 내에서의 호 서비스율 대 발생률을 $\lambda_i/\mu_i=0.1$ 으로 설정한다.

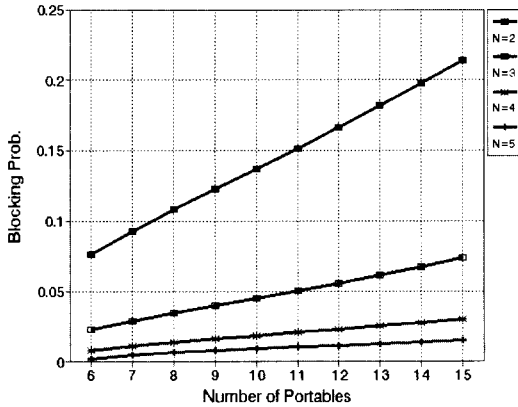


그림 5. 호 블럭킹 확률
Fig. 5. Call blocking probability.
($\alpha_i = 0.003$, $\alpha_o = 0.01$, $\beta_i = 0.03$, $\beta_o = 0.1$)

먼저, 그림 5는 셀 내에 이용 가능한 채널의 수를 2에서 5까지 변화시키면서 Portable 수의 증가에 따른 1층에서의 호 블럭킹 확률을 보인 것이다. 이용 가능한 채널의 수가 적어짐에 따라서 시스템내 호 블럭킹 확률은 현저히 증가함을 알 수 있고, 또한 시스템내 사용 Portable이 증가함에 따라 셀 내 트래픽이 증가함을 볼 수 있다.

다음으로, 그림 6은 1층 셀에서 핸드오프 실패에 의한 호 누락 확률을 나타낸다. 그림 6에서 보면 호 블럭킹 확률과 유사하게 호 누락 확률 역시 Portable 수의 증가에 따른 성능이 저하됨을 볼 수 있다. 이렇게 호 블럭킹 확률과 유사한 특성을 보이는 것은 트래픽 제어를 위해 사용되는 채널 할당 방식을 FCA (Fixed Channel Allocation)로 가정했기 때문이다.

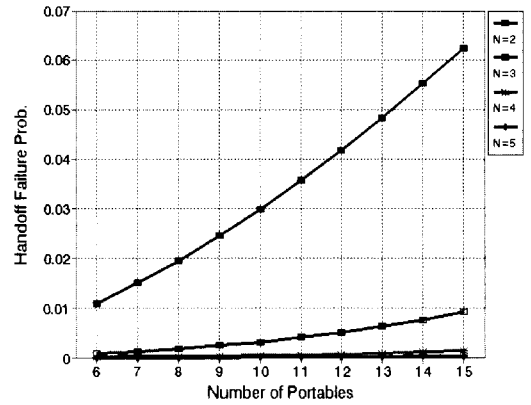


그림 6. 호 누락 확률
Fig. 6. Probability of a dropped call.
($\alpha_i = 0.003$, $\alpha_o = 0.01$, $\beta_i = 0.03$, $\beta_o = 0.1$)

그림 7은 가입자 이동도를 나타내는 파라미터 β_i/β_o 과 호 블럭킹 확률의 관계를 보여주고 있다. 여기서 β_i/β_o 는 셀을 떠나는 비율 대 셀내로 들어오는 비율을 나타내는 것으로 셀 내로의 가입자 트래픽 이동도를 나타낸다.

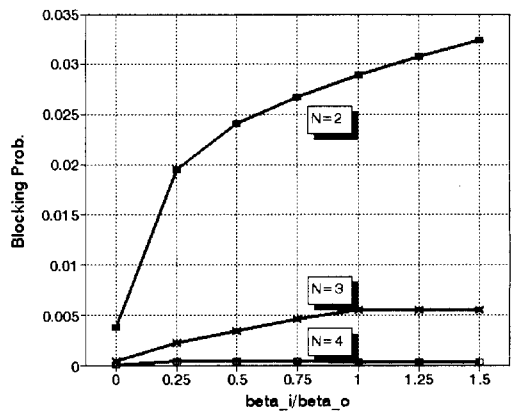


그림 7. β_i/β_o 에 대한 호 블럭킹 확률
Fig. 7. Call blocking probability due to β_i/β_o .

그림 7에서 보듯이 셀을 떠나는 Portable의 비율과 셀로 들어오는 비율이 1에 근접함에 따라 호 블럭킹 확률은 포화상태로 접근함을 알 수 있다. 이것은 셀내에서 Portable의 수가 시스템의 최대값 M에 도달하고 있음을 시사하는 것이다. 따라서 In-Building PCS시스템에서의 트래픽 성능은 호 도착 및 서비스 통계 특성과 Portable의 빌딩내 공간적 분포에 대한 함수가 됨을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 원형 혹은 육각형 형태의 매크로셀이나 도시형 십자형/일자형 셀과는 달리 최근에 관심이 높아지고 있는 In-Building PCS통신을 위한 피코 셀룰러 시스템에서 트래픽 성능분석을 수행하였다. 트래픽 분석은 다음 두 가지 측면에서 수행하였다.

먼저 빌딩내 가입자 이동량이 많은 1층을 대상으로 직사각형 셀을 설계하고 설계된 셀내에서 가입자 이동성향을 수학적으로 모델링하였다. 직사각형 셀 내에서 가입자 이동은 이동속도와 핸드오프 영역까지의 거리에 대한 함수로 표현되며, 외부 영역으로의 핸드오프 시도 확률은 셀 내에서 특정 방향으로의 이동확률의 함수임을 알 수 있었다.

두번째로, 설계된 직사각형 셀로의 가입자 이동률에 따른 성능평가를 수행하였다. 이것은 빌딩내에 존재하는 총 Portable 수의 변화와 셀내에서 이용 가능한 채널의 수를 가지고 2차원 생성-소멸 상태방정식을 유도함으로써 가능하였다. 결과적으로 셀을 떠나는 Portable의 비율과 셀로 들어오는 비율이 1을 초과하면서부터 호 블럭킹 확률은 포화상태로 접근함을 볼 수 있었고, 이것으로부터 빌딩내 트래픽 성능은 호 도착 및 서비스 통계 특성과 Portable의 공간적 분포에 대한 함수가 됨을 알 수 있었다.

향후 연구방향으로는 1층 셀 이상의 고층 셀에서 가입자 이동성향을 수학적으로 모델링하고, 이들 셀에서의 트래픽 성능과 1층 셀에서의 트래픽 성능을 분석하고 비교할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] G. D. Boudreau, "Traffic Modelling for Mobile Wireless Applications," Proceedings of 45th IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 356-360, July 1995.
- [2] T. Sakamoto, E. Kamagata, and M. Serizwa, "Location Registration and Paging for In-building Personal Multimedia Communication Systems," Proceedings of 46th IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1878-1882, April 1996.
- [3] D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-35, No. 3, pp. 77-92, August 1986.
- [4] M. M. Zonoozi, P. Dasanayake, and M. Faulkner, "Teletraffic Modelling of Cellular Mobile Networks," Proceedings of 46th IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1274-1277, April 1996.
- [5] L. R. Maciel and H. L. Bertoni, "Cell Shape for Microcellular Systems in Residential and Commercial Environments," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, pp. 270-278, May 1994.
- [6] V. Frost and B. Melamed, "Traffic Modelling for Telecommunications Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 32, No. 3, pp. 70-81, March 1994.
- [7] S. El-Dolil, W. Wong, and R. Steele, "Teletraffic Performance of Highway Microcells with Overlay Macrocell," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 7, No. 1, pp. 71-78, January 1989.
- [8] A Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 3rd Ed. New York : McGraw-Hill Inc, 1991.
- [9] John R. Clymer, System Analysis Using Simulation and Markov Models, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall International, Inc, 1990.
- [10] Misha Schwartz, Telecommunications Networks, Addison-Wesley Publishing Company, 1987.

저 자 소개



李 炯 吉(正會員)

1995년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사). 1997년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1997년 3월 ~ 현재 LG 정보통신(주) 단말연구소 주임연구원 근무. 주관심분야는 이동통신, 디지털통신

기술, 개인휴대통신(PCS) 기술, 동기화 및 변복조 기술 등임



具 齊 吉(正會員)

1984년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사). 1986년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 1월 ~ 1998년 1월 삼성전자(주) 정보통신(본) 연구소 근무.(선임 연구원).1996년 3월 ~ 현재

성균관대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1998년 3월 ~ 현재 용인송담대학 전자과.주관심분야는 디지털통신, 무선 및 이동통신 기술 등임

金 宜 默(正會員)

1991년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사). 1993년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1997년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1997년 3월 ~ 현재 한솔 PCS 정보통신 선임연구원 근무. 주관심분야는 위성통신, 이동통신, 디지털통신 기술, 개인휴대통신(PCS) 기술, 동기화 및 DSP 기술 등임



崔 炯 辰(正會員)

1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업. 1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업. 1976년 3월 ~ 1979년 7월 주식회사 금성사 중앙연구소 근무. 1979년 9월 ~ 1982년 12월 University of Southern

California 전기공학과 박사(Ph.D). 1982년 10월 ~ 1989년 2월 LinCom Corp. 연구원으로 근무. 1989년 3월 ~ 현재 성균관대학교 전자공학과(정교수). 주관심분야는 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화기술을 포함한 Modem 기술 등임