

PCS 망에서의 타이머 기반의 다계층 위치관리 방식

임형규* 정회원 박세웅*

A Timer-based Multilayer Location Management Strategy for PCS Networks

Hyoung-Kyu Lim*, Sae-Woong Bahk* *Regular Members*

요 약

PCS와 같은 이동 통신 시스템에서 사용자에게 호를 적절하게 라우팅해주기 위해서는 사용자의 위치관리가 필수적이다. 이는 대부분 페이징과 위치등록 과정의 조합으로 이루어진다. 무선링크상의 신호트래픽의 관점에서 보면 페이징과 위치등록의 트래픽은 서로 반비례 관계를 갖고 있는데, 이를 이용해 위치관리에 관련된 신호 트래픽을 최소화하는 연구가 많은 사람들의 관심을 받아 왔다. 본 논문에서는 다계층 위치영역 구조를 가지며, 타이머를 사용한 위치갱신과 3단계 페이징을 기반으로 동작하는 새로운 위치관리 방식을 제안한다. 사용자는 자신의 특성에 따라 최적의 계층이 할당받으며, 소속된 계층과 자신의 특성에 따라 타임아웃값을 계산하여 타이머를 동작시키고, 이를 바탕으로 위치영역의 변경 여부 검사와 위치갱신을 수행한다. 계층을 할당하는 기준과 방법, 타임아웃값의 계산, 페이징 방식에 대해 살펴보고, 모의실험을 통해 기존의 방식과의 성능을 비교한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a location management strategy that minimizes the radio bandwidth cost for paging and location update. The proposed strategy uses the concept of multilayer and is based on the timer-initiated location update and 3-step paging. The system assigns an optimal layer number to a mobile terminal according to the user's mobility pattern and call arrival rate. The mobile terminal performs a location update, if necessary, when a timer expires where a simple algorithm is used for the calculation of timeout values. We compare the proposed strategy with other competitive ones in terms of the cost of radio bandwidth for paging and location update. Simulation results are provided to demonstrate the cost-effectiveness of the proposed strategy under various scenarios.

I. 서 론

PCS는 사용자의 밀도가 높은 도심과 같은 지역에서 시스템의 수용 능력을 향상시키기 위해 마이크로셀의 개념을 채택하고 있다^[1]. 그러나, 셀의 크기가 작아지면 사용자의 위치갱신 횟수가 증가하게 되고, 그에 따라 위치관리에 필요한 신호 트래픽(signaling traffic) 또한 크게 증가하게 된다^[2]. 신호 트래픽은 시스템의 수용 능력을 제한하는 중요한

요인이기 때문에 이를 줄이는 것은 시스템 설계에 있어서 중요한 문제가 된다.

위치관리는 일반적으로 페이징과 위치갱신으로 이루어진다. 대기 상태에서 무선 단말기가 자신의 위치 정보를 시스템에 알리는 것을 위치갱신이라고 하며, 페이징은 사용자에게 호를 연결하기 위해 사용자들을 찾는 과정을 말한다.

본 논문에서는 페이징과 위치갱신으로 이루어진 무선 링크상의 신호 트래픽을 최소화하는 새로운

* 서울대학교 전기공학부 데이터통신망 연구실(lhk@netlab.snu.ac.kr)

논문번호 : 97273-0822, 접수일자 : 1997년 8월 22일

* 본 연구는 학술진흥재단 연구소 지원과제(과제번호 E0062)로 수행되었습니다.

위치관리 방식을 제안한다. 이후의 논문 순서는 먼저 II장에서는 대표적인 세 가지 위치관리 방식에 대해 간략하게 살펴보고, III장에서는 제안한 방식의 시스템 구조, 위치갱신 방식, 페이징 방식에 대해 살펴본다. IV장에서는 제안한 방식의 성능을 모의실험을 통해 분석, 비교하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 동적 위치영역 방식

기존의 위치영역(Location Area) 기반의 위치관리 방식은 고정된 크기의 위치영역을 사용해왔다. 위치갱신은 위치영역이 바뀔 때마다 실시되며, 페이징은 사용자가 등록된 위치영역내의 모든 셀에 실시된다.

동적 위치영역(dynamic location area : DLA) 방식^[3]에서는 위치영역의 크기가 사용자마다 다르며, 시간에 따라서도 변하게 된다. 따라서, 사용자별로 위치관리를 해야 하고, 위치갱신할 때마다 위치영역을 새로 계산해야 하기 때문에 복잡하게 된다.

2. 적응적 위치 추적 방식

적응적 위치 추적(adaptive location tracking) 방식은 다계층(multiple layer)을 사용하여 동적 위치영역 방식보다 간단하면서 유사한 성능을 갖도록 한 방법이다^[4]. 각 계층은 미리 정해진 크기의 위치영역들로 구성되며, 단말기는 적절한 계층을 할당받아 위치갱신을 실시한다.

3. 타이머 기반의 위치갱신 방식

타이머 기반의 위치갱신 방식^[5]은 위치영역이라는 개념이 없이 셀 단위로 위치관리를 한다. 단말기는 타이머가 발생할 때마다 위치갱신을 실시하며, 타이머가 만료된 단말기나 시스템에 의해 전체 신호 트래픽을 최소화하는 값으로 설정된다. 페이징은 마지막으로 위치갱신된 셀에 먼저 실시하고, 응답이 없으면 사용자를 찾을 때까지 주위의 셀들에 순차적으로 실시한다. 이 방식은 대기상태에서 단말기의 전력 소모를 최소화할 수 있지만, 상당한 페이징 시간 지연이 발생할 수 있으며, 타이머값 계산이 복잡하다는 단점이 있다.

III. 제안한 위치관리 방식

제안하는 위치관리 방식은 각 계층마다 다른 크기의 위치영역을 갖는 다계층 구조를 가지며, 각 사

용자에 적합한 최적의 위치영역의 크기를 정하여 그 크기에 해당하는 계층의 위치영역에 사용자를 등록한다. 위치갱신은 타이머가 발생한 순간에 신호 채널을 검사하여 위치영역이 변경된 경우에만 실시한다. 페이징은 마지막으로 등록된 위치영역에 대해 먼저 실시하고, 응답이 없으면 상위 계층에 해당하는 위치영역을 통해 최대 3단계로 실시한다. [그림 1]은 제안한 방식의 동작을 예로써 나타낸 그림이다. 계층 1의 위치영역 상에서 이동하고 있는 사용자가 검은 사각형과 하얀 원에서 각각 위치갱신과 페이징을 겪게 되는 것을 표시한 것이다. 시간 t7에 호가 도착하면 t6에서 갱신된 위치영역에서 사용자가 벗어났으므로, 시스템은 그림과 같이 3단계 페이징을 실시하여 사용자를 찾는다.

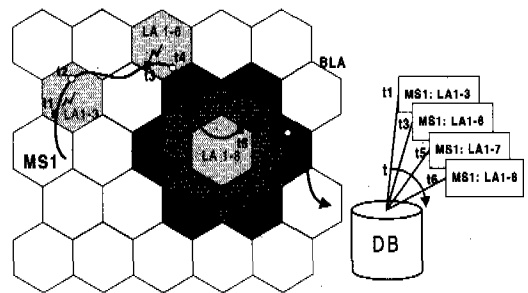


그림 1. 제안한 위치관리 방식의 동작 예

1. 시스템의 구조와 계층 할당

시스템은 n 계층으로 구성된다. 각 계층은 계층 1의 위치영역인 기본 위치영역(Basic Location Area: BLA)의 정수배 크기의 위치영역들로 구성된다. 기본 위치영역은 하나의 셀, 혹은 몇 개의 셀들의 집합을 나타낸다. 전체 서비스 영역은 기본 위치영역으로 나누어지며, 각각에 대해 식별자(ID)가 할당된다. 다른 계층들도 그 계층에 해당하는 위치영역들로 전 시스템 영역을 포괄하도록 구성된다.

위치영역의 모양은 편의상 정사각형 형태를 가정한다^[3]. 각 셀은 넓이가 $l \times l$ (km)이며, 기본 위치영역은 c^2 개의 셀이 모여 한 변의 길이가 $b = l \times c$ 인 정사각형 모양을 갖게 된다. 따라서, 다른 계층들의 위치영역은 b 의 정수배인 변의 길이를 갖는다.

사용자에 대한 계층 할당은 사용자의 특성인 호 도착률과 이동성을 고려하여 이루어진다. 이동성은 보통 평균 속도 $E(v)$ (km/h)를 의미하며, 가장 최근의 호 진행 중에 셀에 머무르는 평균 시간으로부터 예측 가능하다^[7]. 호 도착률은 페이징간의 시간을 측

정한 값인 호 도착간 시간(call inter-arrival time)으로부터 계산할 수 있다. 이때, k 번째 시간 간격동안 사용자의 평균 호 도착률을 $A_k(\text{calls/hour})$ 라고 가정한다. 여기서 시간 간격은 한 시간, 혹은 여러 시간이 될 수 있다. 이런 정보를 사용하여 사용자별로 단위 시간당 위치갱신과 페이징에 드는 대역폭 비용(신호 트래픽의 양)을 계산하면 다음과 같다^[3].

$$Cost = C_p A_k c^2 n^2 + C_u u_n \quad (1)$$

여기서 $u_n(\text{updates/hour/user})$ 은 계층 n 의 사용자별 위치갱신률, $C_p(\text{bytes/paging/cell})$ 는 한 셀을 한번 페이징하는데 드는 비용, $C_u(\text{bytes/update})$ 는 위치갱신에 드는 비용을 나타낸다.

임의의 움직임(random movement) 이동성 모델을 가정할 경우, m 을 단위 시간당 위치영역을 벗어난 사용자의 수, ρ 를 단위 면적당 사용자의 밀도, N 을 위치영역 내의 사용자 수, L 을 위치영역의 둘레 길이라고 하면 m 의 평균 $E[m]$ 은 다음과 같다^[6].

$$E[m] = \frac{\rho E[v] L}{\pi} = \frac{\rho E[v] \times 4(bn)}{\pi} \quad (2)$$

이를 이용하면 u_n 은 다음과 같이 계산된다.

$$u_n = \frac{E[m]}{E[N]} = \frac{E[m]}{\rho (bn)^2} = \frac{4E[v]}{bn\pi} \quad (3)$$

이를 이용하여 정리하면 식 (1)은 다음과 같다.

$$Cost = C_p A_k c^2 n^2 + C_u \frac{4E[v]}{bn\pi} \quad (4)$$

위의 식 (4)를 최소화하는 n 값이 사용자에게 할당되는 최적의 계층 n_{opt} 가 된다.

제안하는 방식의 초기 작업은 다음과 같다.

- 1) 사용자가 단말기의 전원을 켜면, 단말기는 시스템에 초기 위치등록을 요청한다.
- 2) 시스템은 식 (4)를 이용해서 n_{opt} 를 계산하고 이를 사용자에게 통보한다.
- 3) 단말기는 기지국의 방송 신호 채널을 통해 계층 n_{opt} 상에서 현재 속해있는 위치영역의 식별자를 알아내어 이를 시스템에 알린다.
- 4) 사용자는 시스템으로부터 자신의 호 도착률과 이동성 정보 등을 전송받아 위치갱신에 필요한 타임아웃값을 계산한다.

2. 페이징 방식

페이징 과정은 기본 위치영역을 단위로 실시된다. 상위 페이징영역은 사용자가 등록되어 있는 위치영역과 그 주위의 기본 위치영역들을 일컫는 것으로, III장 1절에 따르면 이는 현재의 위치영역보다 두 단계 높은 계층에 해당하는 위치영역의 크기를 갖게 된다. 페이징 과정은 다음과 같이 이루어진다.

- 1) 사용자에게 호가 도착하면, 시스템은 그 사용자가 등록되어 있는 위치영역에 속한 모든 기본 위치영역에 페이징을 실시한다.
- 2) 응답이 없으면, 상위 페이징영역에 추가로 포함된 기본위치영역들에 대해 페이징한다.
- 3) 역시 응답이 없으면, 현재의 위치영역의 주변 위치영역들에 속하며 1, 2단계에서 페이징하지 않은 기본 위치영역들에 대해 페이징한다.

위와 같은 최대 3단계의 페이징만으로 확실하게 사용자를 찾을 수 있으려면 적절한 위치갱신 방식이 필요한데, 이는 다음절에서 살펴보기로 한다.

3. 위치갱신 방식

다음 순서로 사용자의 위치갱신이 이루어진다.

- 1) 단말기는 자신의 호 도착 특성과 이동성에 관한 정보를 바탕으로 첫 번째 타임아웃값을 정하여 타이머를 동작시킨다.
- 2) 타임아웃이 발생하면 기지국이 방송하는 위치영역에 대한 정보를 검사한다.
- 3) 현재의 위치영역이 등록되어 있는 위치영역과 다르다면, 위치갱신을 실시하고 다음 타임아웃값을 계산하여 타이머를 동작시킨다. 같은 경우에는 단지 타이머만을 동작시킨다.
- 4) 단말기는 자신이 페이징될 때까지 타임아웃값을 변화시키면서 2), 3)을 반복한다.
- 5) 호가 끝나고 대기상태로 돌아오면, 위치갱신을 수행한 후, 1)에서 4)까지의 작업을 반복한다.

각 타임아웃값은 단말기의 호 도착간 시간의 확률 분포를 사용하여 계산된다. 이 분포의 확률 밀도 함수를 $f_k(t)$, 평균은 $1/A_k$ 라고 하자.

첫 번째 타임아웃값 $T_{o,k}(1)$ 은 호 도착 확률이 어떤 확률값 p ($0 \leq p \leq 1$)가 되는 시간 $T_k(1)$ 을 계산하여 정한다.

$$p = \int_0^{T_k(1)} f_k(t) dt \quad (5)$$

$$T_{o,k}(1) = T_k(1) \quad (6)$$

일반적으로 $(r-1)$ 번째 타임아웃이 발생했을 때까

지 호가 도착하지 않았을 때, r 번째 ($r \geq 2$) 타임아웃값 $T_{o,k}(r)$ 은 호 도착 확률이 p 가 되는 시간 $T_k(r)$ 을 구하고 $T_k(r)$ 에서 $T_k(r-1)$ 을 빼서 구한다.

$$p = \Pr(t \leq T_k(r) | t > T_k(r-1)) \quad (7)$$

$$p(1-p)^{r-1} = \int_{T_k(r-1)}^{T_k(r)} f_k(t) dt \quad (8)$$

$$T_{o,k}(r) = T_k(r) - T_k(r-1) \quad (9)$$

위의 결과를 대표적인 확률 분포인 지수 분포(exponential distribution)와 균등 분포(uniform distribution)에 대해 적용해 보면 다음과 같다.

• 지수 분포의 경우

$$f_k(t) = A_k e^{-A_k t}, \quad t \geq 0$$

$$T_{o,k}(r) = \frac{1}{A_k} \ln \frac{1}{(1-p)^r}, \quad r \geq 1$$

• 균등 분포의 경우

$$f_k(t) = \begin{cases} A_k/2 & , 0 \leq t \leq 2/A_k \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

$$T_{o,k}(r) = 2p(1-p)^{r-1}/A_k, \quad r \geq 1$$

2절에서도 언급한 대로, 제안한 시스템에서는 불필요한 위치갱신을 줄이기 위해 타이머를 사용하지 단, 3단계 페이징을 했는데도 사용자를 찾지 못하는 일이 발생하는 것은 피해야한다. 게다가 페이징의 세 번째 단계는 상당한 페이징 신호 트래픽을 발생 시키므로 3단계까지 실행되는 것을 최소한으로 줄여야 한다. 이를 위해 타임아웃값을 설정에 있어 이동성도 고려할 필요가 있다.

호 도착 특성만을 고려한 위의 타임아웃값 계산 방식에 다음과 같이 상위 페이징영역을 기준으로 사용자의 이동성을 반영할 수 있다. 사용자의 최적의 계층이 n_{opt} 일 때, 상위 페이징영역의 한 변의 길이는 $b(n_{opt}+2)$ 가 된다. 사용자가 임의의 방향으로 움직이더라도 사용자가 상위 페이징영역 내에 머무는 평균 시간은 대략 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E[T] = \frac{b(n_{opt}+2)}{2E[v]} \quad (10)$$

식 (10)은 일종의 기준이 되는 시간으로 타임아웃값을 이보다 작게 하는 것이 타당하다. 이를 위해 a 라는 값을 도입한다. a 는 미리 시뮬레이션을

통해 n_{opt} 에 따라 최적의 값을 찾아서 시스템이 저장하고 있는 값으로, 초기작업에서 이동성, 호 도착률 정보와 함께 사용자에게 전송되는 값이다.

$$T_{o,k}(1) = a \cdot \frac{b(n_{opt}+2)}{2E[v]}, \quad 0 < a < 1 \quad (11)$$

호 도착간 시간분포와 이동성을 동시에 고려하기 위해 식 (6)의 첫 번째 타임아웃 값을 식 (11)로 설정한다. 이렇게 하면 n_{opt} 에 따라 a 값이 정해지고, 첫 번째 타임아웃 값과 함께 결정된 p 값을 이용해 다른 타임아웃 값들을 계산할 수 있게 된다.

IV. 성능 분석

이 장에서는 제안한 방식의 성능을 분석하고, II장에서 소개했던 방식들과 성능을 비교한다. 모의실험에서 사용한 변수들은 다음과 같다^{[3][8]}.

- 최대 계층 수: $n = 8$
- 셀의 한 변의 길이: $l = 0.15 \text{ km}$
- $C_p = 1 \text{ byte/paging/cell}$
- $C_u = 10 \text{ bytes/update}$
- $c^2 = 4 \text{ cells/BLA}$

사용자의 평균 호 도착률은 시간에 관계없이 동일한 값을 사용하였으며, 고정시켜야 하는 경우에는 0.6(calls/h), 3(calls/h)를 사용하였다. 사용자의 평균 속도는 대략 50(km/h) 정도까지 모의실험에서 고려하였다. 고정된 값이 필요할 때는 5(km/h), 36(km/h)를 사용하였다^[8]. 호 도착간 시간 분포로는 지수 분포와 균등 분포에 대해 모의실험을 하였다. a 값은 모의실험을 통해 얻은 [표 1]의 값들을 사용했다.

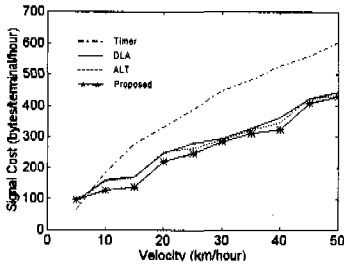
표 1. 분포와 n_{opt} 에 따른 a 값

n_{opt} \ 분포	2	3	4	5	6	7	8
지수 분포	0.45	0.45	0.45	0.6	0.4	0.4	0.35
균등 분포	0.75	0.65	0.6	0.65	0.75	0.5	0.5

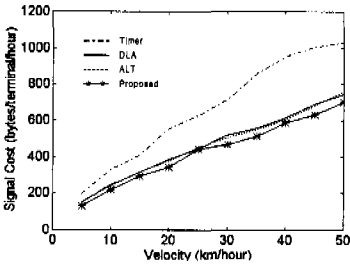
[그림 2]는 호 도착간 시간 분포로 지수 분포를 가정하고 사용자별 시간당 신호 대역폭 비용을 그린 그림이다. 결과에서 보듯이 제안한 방식이 다른 방식들에 비해 더 좋은 성능을 나타낸다. 이는 제안한 방식이 호 도착간 시간 동안에 실행되는 불필요

한 위치갱신 트래픽을 줄일 수 있기 때문이다.

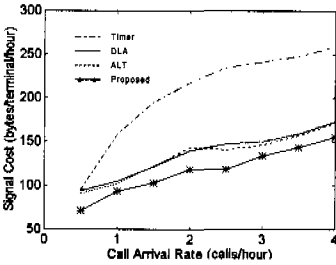
다 제안한 방식이 전체적으로 더 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다. 단지 (a)와 (d)에서 속도가 빠르면 호 도착률이 낮은 경우에 타이머 방식이 제안한 방식보다 더 적은 신호 비용을 가짐을 알 수 있다.



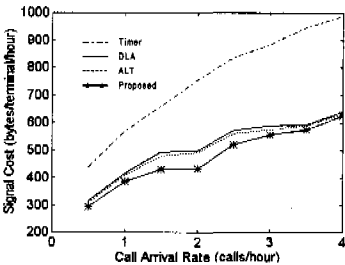
(a) $A_k=0.6$ (calls/hr)



(b) $A_k=3$ (calls/hr)



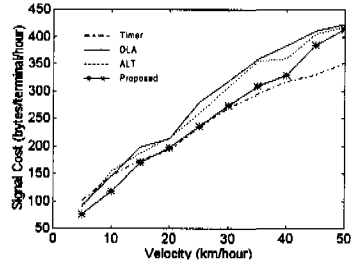
(c) $E(v)=5$ (km/hr)



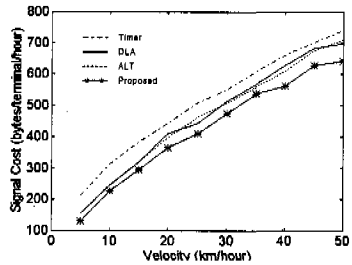
(d) $E(v)=36$ (km/hr)

그림 2. 지수 분포의 경우의 신호 비용

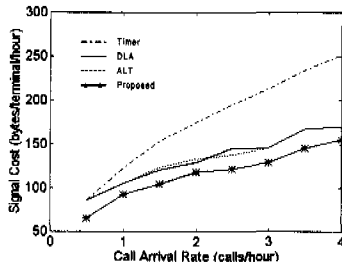
[그림 3]은 호 도착간 시간 분포를 균등 분포로 가정했을 때의 신호 대역폭 비용을 나타낸 그림이



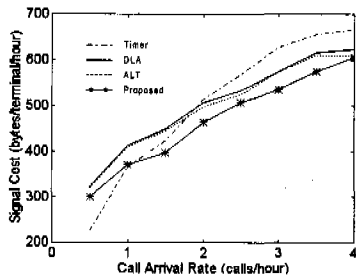
(a) $A_k=0.6$ (calls/hr)



(b) $A_k=3$ (calls/hr)



(c) $E(v)=5$ (km/hr)



(d) $E(v)=36$ (km/hr)

그림 3. 균등 분포의 경우의 신호 비용

하지만, 이 경우에 타이머 방식은 사용자를 찾기 위해서 평균 6번 정도의 페이징을 하게 되어, 최대 3번만 페이징을 하는 제안된 방식에 비해 두 배가 넘는 페이징 시간지연을 겪게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 링크상의 신호 트래픽을 줄일 수 있는 타이머 기반의 다계층 위치관리 방식을 제안하였다. 제안한 방식에서 사용자는 시스템에 진입할 때에 자신의 특성에 따라 적합한 계층을 할당 받는다. 이동 중에는 타이머를 통해 위치갱신 여부를 결정하도록 함으로써 불필요한 위치갱신 작업을 줄여서, 결과적으로 전체 신호 트래픽의 양을 감소시킬 수 있음을 모의실험을 통해 확인하였다.

참고 문헌

[1] L. Greenstein, N. Amitay, et. al., "Microcells in personal communications systems," *IEEE Communications Magazine*, 30(12), pp. 76-88, December 1992.

[2] S. Okasaka, S. Onoe, et. al., "A new location updating method for digital cellular systems," *Proc. 41th IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 345-350, 1991.

[3] H. Xie, S. Tabbane, and D. J. Goodman, "Dynamic location area management and performance analysis," *Proc. 43th IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 536-539, May 1993.

[4] K. L. Yeung, and T. P. Yum, "A comparative study on location tracking strategies in cellular mobile radio systems," *Proc. 45th IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 22-28, July 1995.

[5] C. Rose, "Minimizing the average cost of paging and registration: a timer-based method," *ACM Journal of Wireless Networks*, 2(2), pp. 109-116, 1996.

[6] R. Thomas, H. Gilbert, G. Maziotto, "Influence of the moving of the mobile stations on the performance of a radio mobile cellular network," *Proc. of the Third Nordic Seminar*

on Digital Land Mobile Radio Communications, September 1988.

[7] C. W. Sung, and W. S. Wong, "User speed estimation and dynamic channel allocation in hierarchical cellular system," *Proc. 44th IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 91-95, June 1994.

[8] F. V. Baumann, and I. G. Niemegeers, "An evaluation of location management procedures," *Proc. IEEE ICUPC'94*, pp. 359-364, 1994.

임형규(Hyoung-Kyu Lim)



1995년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
 1997년 3월~현재 : 서울대학교 전기공학부 박사과정

<주관심 분야> 이동성 관리, 무선 PCS망, 인터넷, 라우팅

박세웅(Sae-Woong Bahk)

정회원

1984년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업
 1986년 2월 : 서울대학교 전기공학과 석사
 1991년 12월 : 펜실베니아대학 시스템공학 박사
 1991년 12월~1994년 2월 : AT&T 벨연구소 연구원
 1994년 3월~현재 : 서울대학교 전기공학부 조교수
 <주관심 분야> 무선 PCS망, ATM, 인터넷