

페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법의 정확한 모델링 및 성능 분석

문유리 · 이태한 · 백장현[†]

전북대학교 산업정보시스템공학과

Exact Modeling and Performance Analysis of Paging Schemes Using Paging Agents

Yu Ri Moon · Taehan Lee · Jang Hyun Baek

Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University

This study considers paging schemes that can page some cells or only one cell within the location area to reduce paging cost by using PAs (Paging Agents) and compares their performances by using a new analytic method. There are three ways of paging schemes using PAs; BSPA (Base Station Paging Agent), 2SPA (2-Step Paging Agent), LAPA (Location Area Paging Agent). This study proposes exact performance of BSPA and 2SPA using a new analytic method based on Markov chain modeling to find the most efficient paging scheme. Numerical results for various circumstances are presented by using proposed analytic method to select a proper paging scheme in mobile communication networks.

Keyword: paging agent, BSPA, 2SPA, LAPA

1. 서론

이동통신은 고도정보사회로 나가는데 중요한 역할을 하고 있다. 빠르게 변화하는 현대 사회에 발맞추어 사람들의 움직임도 바빠지면서 이동통신의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 이처럼 복잡하고, 다양화되는 사회 속에서 이동통신 가입자들은 시간과 장소에 구애 없이 자유롭게 이동통신 서비스를 받고자한다.

가입자의 수가 증가함에 따라 셀 당 사용자의 수가 많아지면서 위치영역 내의 셀의 크기가 작아졌고, 교통이 발달하면서 가입자의 이동성은 높아졌다. 이러한 모든 가입자를 만족시키는 이동통신 서비스를 제공하는 것은 중요하지만 무선 자원은 한정적이기 때문에 자원을 무제한적으로 사용할 수 없다. 한정된 무선 자원으로 많은 가입자들에게 서비스를 제공하기

위하여 효율적인 위치등록 방법과 페이징 방법을 연구하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 효과적인 페이징 방법에 대하여 고려한다. 페이징은 이동통신망에서 이동국으로 착신호가 발생하면 이를 해당 이동국(mobile station, MS)에 연결해주기 위해 이동통신 시스템이 위치영역(location area, LA)내의 기지국(base station, BS)을 통하여 페이징 메시지를 보내고, 페이징 메시지를 수신한 해당 이동국에서는 응답 메시지를 보내 호를 연결시켜 주는 일련의 과정을 말한다.

현재의 이동통신망에서는 호 발생 시 위치영역 내 모든 셀에 동시에 페이징하는 방법(Simultaneous Paging)을 사용하고 있다. 이 방법은 구현이 간단하며 페이징 메시지가 이동국에게 확실하게 전달된다. 하지만 위치영역 내 모든 기지국에게 페이징 메시지를 송신한다는 점에서 무선 채널을 효율적으로 이

[†]연락처 : 백장현 교수, 561-756 전북 전주시 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과,

Fax : 063-270-2333, E-mail : jbaek@chonbuk.ac.kr

투고일(2010년 11월 24일), 심사일(1차 : 2010년 12월 24일), 게재확정일(2011년 02월 07일).

용한다고 보기 어렵다. 이러한 동시 페이징을 개선하여 무선 채널의 부하를 줄이기 위한 여러 연구결과가 있다(Rose, 1997). 이동국의 위치에 대한 확률 값이나 이동 정보에 근거한 방법(Rose, 1999; Wan, 1999), 페이징 비용을 줄일 수 있는 위치등록 방법(Mao, 2002) 등이 그러한 연구 결과들이다.

이러한 여러 페이징 방법 중 가장 많이 다루어지는 페이징 방법은 선택적 페이징 방법(Rose, 1995; Akyildiz, 1996; Mao, 2000)이라고 할 수 있다. 선택적 페이징 방법은 위치영역에 속한 셀을 이동국이 속할 가능성에 따라 몇 개의 소영역으로 나누고, 이동국이 속할 확률이 높은 소영역에서 시작하여 이동국이 응답할 때까지 순차적으로 페이징하는 방법이다. 중간 단계의 소영역에서 이동국이 응답할 경우, 나머지 소영역에는 페이징 할 필요가 없다. 따라서 기존의 동시 페이징에 비하여 페이징 부하를 줄일 수가 있다. 소영역을 몇 개로 나누고, 소영역을 어떻게 나눌지 등에 따라서 여러 가지 연구가 수행되었다(Ho, 1995; Chung, 2003). 그러나 이 방법은 첫 번째 페이징 메시지를 보낸 후 응답 메시지를 기다리고 응답이 없을 경우 다음 소영역에 새로 페이징 메시지를 보내는 절차를 반복해야 하기 때문에, 페이징을 요청하여 이동국의 응답을 받을 때까지의 페이징 지연이 커지므로 실제 이동통신 시스템에 구현하기에는 현실적으로 문제가 있다(Li, 2000; Ryu, 2003). 이러한 측면에서 페이징 에이전트를 이용한 새로운 페이징 방법들을 주목할 필요가 있다.

본 연구에서는 페이징 에이전트를 도입하여 위치영역 내 일부만 페이징하거나 하나의 셀에만 페이징하는 페이징 방법을 소개하고, 정확한 수리적 계산 방법을 제안하여 각 페이징 성능을 분석, 비교하고자 한다. 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법에는 기지국에 페이징 에이전트를 두는 방법(Suh, 2003)과 중앙 페이징 에이전트를 두는 2단계 페이징 방법(Baek, 2004), 마지막으로 위치영역 전체를 관장하는 하나의 위치영역 페이징 에이전트를 이용하는 방법(Kim, 2006)이 있다. 본 연구에서는 사각형 셀 환경에서 랜덤 워크 이동성 모형(Akyildiz, 2000)을 가정하여 각 페이징 방법들의 페이징 비용을 구한다. 또한 다양한 환경을 가정한 수리적 결과를 통하여 무선 자원에서의 페이징 비용이 최소가 되는 가장 효율적인 페이징 방법을 파악하고자 한다.

서론에 이어 제 2장에서는 각 페이징 방법에 대하여 기술한다. 제 3장에서는 페이징 비용을 계산할 수 있는 분석 모형을 제시하고, 각 페이징 방법들의 성능 분석을 한다. 제 4장에서는 다양한 수리적 분석결과를 제시하고, 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 연구 현황

현재 이동통신망에서 사용하고 있는 동시 페이징(Simultaneous Paging, SP)과 페이징 에이전트를 이용한 방법 BSPA, 2SPA, LAPA를 순서대로 기술한다.

2.1 Simultaneous Paging

현재 이동통신 시스템의 대부분은 SP 방법을 채택하고 있다. SP에서는 착신호가 발생하면 위치영역 내 모든 기지국에 페이징 요청을 하고, 모든 기지국은 자신의 셀에 페이징한다. 이 방법은 구현이 간단하며 페이징 메시지가 이동국에게 확실하게 전달된다는 장점이 있는 반면 위치영역 내 모든 기지국이 페이징 메시지를 방송(broadcast)한다는 점에서 효율성 측면에서 문제가 있다. 따라서 위치영역 내 모든 셀에 페이징하는 SP를 개선하고자 페이징 에이전트를 도입하여 위치영역 내 일부 또는 하나의 셀에만 페이징하는 방법들이 제시되었다.

2.2 Base Station Paging Agent

페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법의 효시가 되는 BSPA에서는 각 기지국마다 페이징 에이전트를 도입한다. 이동국이 새로운 셀로 진입할 때 기지국의 페이징 에이전트 리스트에 MID(Mobile ID)를 저장한다. 이동국으로 착신호 발생 시 위치영역 내 모든 기지국에 페이징 요청을 하면, 기지국은 자신의 페이징 에이전트 리스트를 검색하여 리스트에 해당 MID가 있을 경우에만 페이징 메시지를 방송한다(Suh, 2003). BSPA의 셀의 구성 및 페이징 에이전트의 위치를 <그림 1>에 나타내었다. 그림에서는 편의상 하나의 기지국에만 기지국 페이징 에이전트를 나타냈지만 실제로는 위치영역 내 모든 기지국에 기지국 페이징 에이전트가 있다.

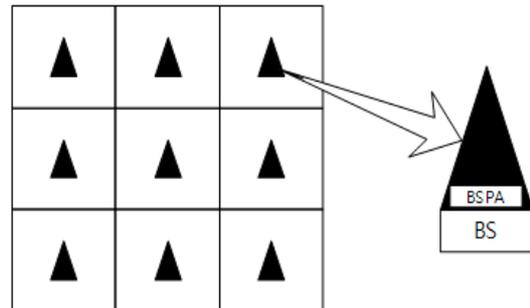


그림 1. BSPA의 셀의 구성 및 페이징 에이전트

주어진 절차에 따라 페이징을 수행할 경우, 위치영역 내 모든 셀에 페이징하지 않고 이동국이 방문한 셀들에만 페이징을 하게 되어 기존의 SP에 비하여 페이징 비용이 줄어들게 된다. 하지만 이동국이 위치영역 내 거의 모든 셀을 방문하는 경우에는 SP와 비슷한 성능을 보일 수 있다. 이러한 측면에서 여전히 성능이 개선될 필요가 있다.

BSPA에서 도입한 페이징 에이전트의 개념을 이용하면서, BSPA보다 성능이 개선된 페이징 방법에는 2SPA와 LAPA가 대표적이다. 2SPA와 LAPA에서는 페이징 에이전트를 이용하여 위치영역 내의 하나의 셀에만 페이징 메시지를 방송하는 방법을 제시한다.

2.3 2-Step Paging Agent

2SPA에서는 위치영역 내 모든 기지국에 페이징 에이전트를 설치하고, 위치영역의 중앙 셀에는 위치영역 내 모든 페이징 에이전트를 관장하는 중앙 페이징 에이전트(CPA, Central PA)를 설치한다. 2SPA의 셀의 구성 및 페이징 에이전트의 위치는 <그림 2>와 같다. 그림에서는 편의상 하나의 기지국에만 기지국 페이징 에이전트를 나타냈지만 실제로는 위치영역 내의 모든 기지국에 기지국 페이징 에이전트가 있어야 2SPA 페이징 방법이 작동 가능하다.

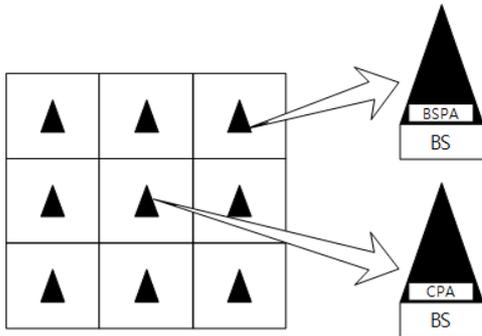


그림 2. 2SPA의 셀의 구성 및 페이징 에이전트

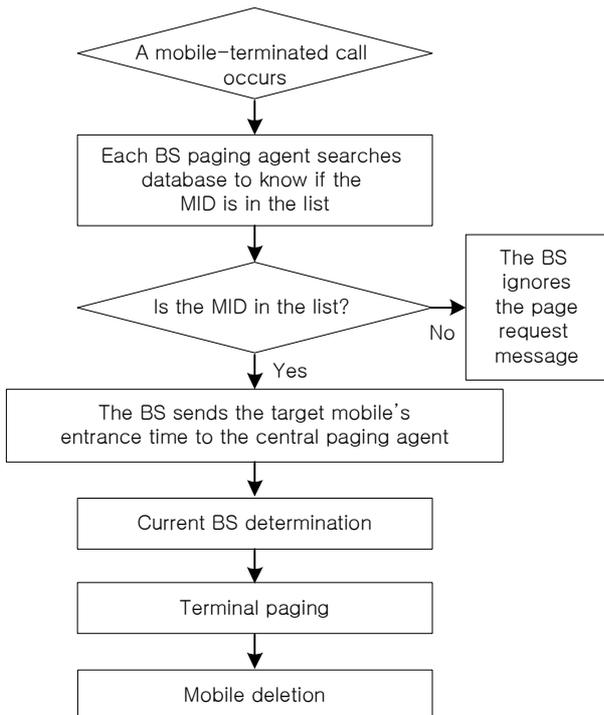


그림 3. 이동국으로 착신호 발생 시 흐름도(2SPA)

이동국이 새로운 셀로 진입할 때마다 해당 기지국의 페이징 에이전트는 페이징 에이전트 리스트에 MID(Mobile ID)와 ENT(Mobile Entrance Time)를 저장한다. 착신호가 발생하여 위치영역 내 모든 기지국에 페이징 요청을 하면, 기지국은 자신의 페이징 에이전트 리스트를 검색하여 해당 MID가 존재하는

경우 중앙 페이징 에이전트에 MID와 ENT를 우선으로 보낸다. 중앙 페이징 에이전트는 수신한 ENT 값들을 비교하여 가장 최근의 ENT를 갖는 하나의 기지국을 찾는다. 해당 기지국에 페이징 요청을 하면 그 기지국만 페이징 메시지를 발송하게 된다(Back, 2004). 이러한 페이징 절차를 흐름도로 표시하면 <그림 3>과 같다.

이러한 절차에 따라 페이징을 수행할 경우, 위치영역 내 하나의 셀에만 페이징하여 해당 이동국을 찾을 수가 있다. 2SPA에서는 해당 이동국이 속한 하나의 셀에만 페이징하기 위해서 모든 이동국이 새로운 셀로 이동할 때마다 이동국의 ID에 추가하여 셀 진입시간(ENT)을 기지국의 PA에 저장하고 실제 착신호 발생하면 이러한 정보를 CPA에서 수집, 비교하는 절차를 수행한다.

2.4 Location Area Paging Agent

LAPA 방법은 2SPA와 마찬가지로 위치영역을 관장하는 위치영역 페이징 에이전트 하나만 필요하다. LAPA의 셀의 구성 및 페이징 에이전트의 위치를 <그림 4>에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 위치영역 내 모든 셀에 페이징 에이전트가 필요 없으며, 위치영역 내의 대표적인 하나의 기지국에만 위치영역 페이징 에이전트를 두어 LAPA 페이징 방법을 실행한다.

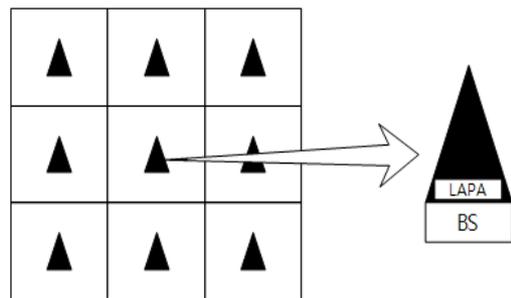


그림 4. LAPA의 셀의 구성 및 페이징 에이전트

<그림 4>와 같이 하나의 페이징 에이전트를 둔 시스템 환경에서 착신호 발생 시 하나의 셀에만 페이징을 수행하기 위하여 다음과 같은 몇 가지 기능들을 수행한다.

첫째, 정보전달 기능이 필요하다. 이동국이 현재의 기지국을 벗어나 현재의 위치영역 내 새로운 기지국으로 진입하면 이동국은 액세스 채널(Access Channel)을 통하여 MID를 포함한 짧은 메시지를 새로운 기지국으로 전송한다. 기지국은 우선으로 MID와 BSID(Base Station Identification)를 포함한 짧은 메시지를 위치영역 페이징 에이전트로 전송한다.

둘째 이동국의 위치정보 갱신 기능이 필요하다. 위치영역 페이징 에이전트가 MID와 BSID를 받으면 해당 이동국의 위치정보(해당 기지국)를 갱신한다. 그 결과 위치영역 페이징 에이전트는 각 이동국이 속한 기지국에 대한 정확한 정보를 유지

할 수 있다.

마지막으로 이동국 검색기능이 필요하다. 이동국에 대한 착신호가 발생하면 위치영역 페이징 에이전트는 데이터베이스를 검색하여 해당 이동국이 어느 기지국에 있는지 확인하고 해당 기지국에만 페이징을 요청한다.

위의 기능에 따른 페이징 절차를 흐름도로 표시하면 <그림 5>, <그림 6>과 같다.

이러한 절차에 따라 페이징을 수행할 경우 위치영역 내 단 하나의 셀에만 페이징하여 해당 이동국을 찾을 수가 있다. 하나의 셀에만 페이징을 수행한다는 면에서 2SPA와 유사하지만, LAPA에서는 지연시간에 대한 서비스품질(QoS, quality of service)을 저하시키지 않도록 이동국이 셀에 진입할 때마다 미리 정보를 수집하고 착신호 발생 시에는 미리 수집한 정보를 비교하여 해당 이동국이 속한 셀에만 페이징을 요청한다.

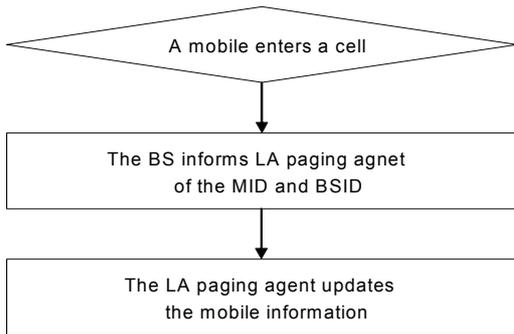


그림 5. 이동국의 셀 진입 시 흐름도

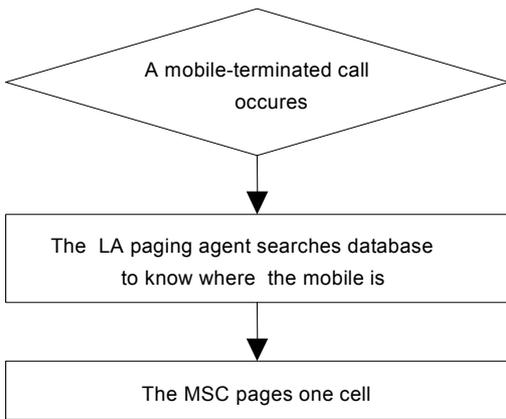


그림 6. 이동국으로의 착신호 발생 시 흐름도

지연시간에 대한 LAPA와 2SPA의 차이점은 유선상에서 한 번의 메시지 전송에 관계되지만 이러한 처리를 하는 시간이 매우 작을 것이므로 어떤 방법이 더 우수하다고 말하기 어렵다. 실제 페이징 에이전트를 이용하여 하나의 셀에만 페이징을 수행한다는 측면에서는 두 방법이 매우 유사하기 때문에 정확한 성능 비교를 수행할 필요가 있다. LAPA를 포함하여 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법에서는 무선 채널에서의

페이징 부하를 줄이기 위하여 페이징 에이전트가 필요하며, 이를 이용하여 위치영역 내 일부 또는 하나의 셀에만 페이징 메시지를 발송할 수 있다. 그런데 이 과정에서 무선상에서의 처리가 아닌, 유선상에서의 처리 절차는 여러 번의 프로세스를 처리해야 한다. 본 연구에서는 무선 비용과 아울러 이러한 유선 비용까지 고려하여 2SPA와 LAPA의 성능을 분석, 비교하고자 한다.

3. 분석 모형

제 3장에서는 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법의 성능 분석을 구하기 위한 분석모형을 제시한다. 분석모형은 크게 BSPA&2SPA와 LAPA로 두 개의 성능분석으로 나뉜다. 위치등록 부하는 페이징 방법에 관계없이 동일할 것이므로 성능분석에서 고려하지 않고, 각 페이징 방법의 페이징 에이전트 수의 차이도 시스템 구축 초기에만 관계되는 고정 비용이므로 별도로 고려하지 않는다.

각 페이징 방법의 성능을 비교하기 위하여 착신호는 도착률 λ_c 인 포아송 분포를 따르고, MS가 위치영역에 머무는 시간은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 일반 분포를 따른다고 가정한다. 또한 본 연구에서는 기존의 연구(Kim, 2006)와는 다르게 MS가 하나의 위치영역 내에서만 이동한다는 가정을 하지 않아도 된다. 즉, 착신호 도착간격 동안 거치는 셀 수 및 위치영역 수에 대한 제약이 없는 일반적인 상황을 대상으로 분석을 수행한다.

3.1 페이징 비용

3.1.1 LAPA의 페이징 비용

착신호 도착간격 동안 i 번 셀에 진입 할 경우 LAPA의 페이징 비용 $C_{LAPA}(i)$ 는 다음과 같다.

$$C_{LAPA}(i) = C_L + C_T + C_F \times i + C_U \times i \quad (1)$$

식 (1)에서 C_L 은 착신호 발생 시 이동국이 거쳐 간 셀을 찾기 위해 페이징 에이전트 리스트를 검색하는 비용이다. C_T 는 이동국이 거쳐간 셀에 페이징하는 비용이고, $C_F \times i$ 는 이동국이 진입한 셀들이 MID와 BSID를 위치영역 페이징 에이전트에 전송하는 비용이며, $C_U \times i$ 는 위치영역 페이징 에이전트 리스트에 등록하는 비용이다.

LAPA의 경우 이동국이 셀에 진입할 때마다 MID와 BSID를 위치영역 페이징 에이전트로 전송하면($C_F \times i$) 이를 갱신하고($C_U \times i$) 착신호가 발생하면 위치영역 페이징 에이전트는 해당 이동국의 정보를 검색하여(C_L) 현재 이동국이 속한 하나의 셀에만 페이징하게 한다(C_T). 이 경우에는 해당 이동국이 속하지 않은 나머지 기지국의 정보를 삭제하는 절차가 필요 없다.

LAPA에서 i 를 반영하기 위하여, 호 도착간격 동안 i 번 셀에

진입할 확률 $\alpha(i)$ 가 필요하다. 착신호 간격은 평균이 $1/\lambda_c$ 인 지수분포, 셀 체류시간은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 일반분포로 가정하면 이전의 연구(Li, 2000)로부터 $\alpha(i)$ 는 식 (2)와 같이 구해진다. $f_m(s)$ 는 셀 체류시간의 확률밀도함수에 대한 Laplace-Stieltjes 변환을 나타낸다.

$$\alpha(i) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)] & i = 0 \\ \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [f_m^*(\lambda_c)]^{i-1} & i \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

단, $\rho = \lambda_c / \lambda_m$

위치영역 내 셀의 수가 N 일 때 LAPA의 페이징 비용 \bar{C}_{LAPA} (N)은 다음과 같은 값을 갖는다.

$$\bar{C}_{LAPA}(N) = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha(i) C_{LAPA}(i) \quad (3)$$

본 연구에서는 $\sum \alpha(i) > 0.999$ 를 만족할 정도로 착신호 도착 간격 동안 MS가 진입하는 셀의 수를 충분히 반영하였으며 따라서 이전 논문의 LAPA의 페이징 비용보다 정확한 값을 제시하고 있다.

3.1.2 BSPA의 페이징 비용

착신호 도착간격 동안 i 번 셀에 진입 할 경우 BSPA의 페이징 비용 $C_{BSPA}(i)$ 는 다음과 같다.

$$C_{BSPA}(i) = C_L \times N + C_T \times i + C_D \times (i-1) \quad (4)$$

식 (4)에서 N 은 위치영역 내 셀의 수이고 $C_D \times (i-1)$ 은 페이징을 한 후 현재 이동국이 속하지 않은 $(i-1)$ 개의 셀에 대해 페이징 에이전트 리스트에서 해당 이동국의 정보를 삭제하는 비용이다.

BSPA의 경우 착신호가 발생하면 위치영역 내 모든 기지국의 페이징 에이전트에서 해당 이동국의 정보를 검색하여 ($C_L \times N$) 해당 이동국이 거쳐간 셀에 페이징하고($C_T \times i$) 응답이 오지 않는 기지국의 페이징 에이전트 리스트에서 해당 이동국의 정보를 삭제한다($C_D \times (i-1)$).

BSPA의 페이징 비용 $\bar{C}_{BSPA}(N)$ 은 다음과 같은 값을 갖는다. $P(S_i)$ 에 대한 자세한 내용은 제 3.2절에서 기술한다.

$$\bar{C}_{BSPA}(N) = \sum_{i=1}^N P(S_i) C_{BSPA}(i) \quad (5)$$

3.1.3 2SPA의 페이징 비용

착신호 도착간격 동안 i 번 셀에 진입 할 경우 2SPA의 페이징 비용 $C_{2SPA}(i)$ 는 다음과 같다.

$$C_{2SPA}(i) = \begin{cases} C_L \times N + C_R \times i + C_c + C_T + C_D \times (i-1) & i \neq 0 \\ C_L \times N + C_R + C_T & i = 0 \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)에서 $C_R \times i$ 는 이동국이 진입한 셀들이 해당 MID와 ENT를 중앙 페이징 에이전트에 유선으로 보고하는 비용이고, C_c 는 중앙 페이징 에이전트가 ENT를 비교하는 비용이다.

2SPA의 경우 착신호가 발생하면 위치영역 내 모든 기지국의 페이징 에이전트에서 해당 이동국의 정보를 검색하여($C_L \times N$) 해당 이동국이 거쳐간 기지국들은 해당 MID와 ENT를 중앙 페이징 에이전트로 보고한다($C_R \times i$). 중앙 페이징 에이전트는 ENT를 비교하여(C_c) 현재 이동국이 속한 하나의 셀에만 페이징하게 하고(C_T) 나머지 기지국의 페이징 에이전트 리스트에서는 해당 이동국의 정보를 삭제한다($C_D \times (i-1)$).

2SPA의 페이징 비용 $\bar{C}_{2SPA}(N)$ 은 다음과 같은 값을 갖는다.

$$\bar{C}_{2SPA}(N) = \sum_{i=1}^N P(S_i) C_{2SPA}(i) \quad (7)$$

3.2 BSPA & 2SPA의 안정상태 확률

LAPA에서는 페이징 부하를 구하기 위해 셀 진입 횟수(K)를 구하면 되므로 식 (2)를 이용하면 되지만 BSPA와 2SPA의 경우에는 페이징 부하를 구하기가 다소 어렵다. 왜냐하면 BSPA와 2SPA의 경우에는 호 도착간격 동안 몇 번 셀을 진입했는가(K)가 아닌, 몇 개의 셀에 진입했는가(C)를 알아야 하기 때문이다. 예를 들어 호 도착간격 동안 MS가 셀 $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B$ 의 순서로 4번 셀에 진입했다면 셀 진입 횟수 $K = 4$ 이지만 진입한 셀의 수 $C = 2$ 가 된다. 이와 같이 BSPA와 2SPA의 경우에는 페이징 부하를 구하기 위해 셀 진입 횟수(K)가 아닌, 진입한 셀의 수(C)를 구해야 한다.

이전의 논문(Kim, 2006)에서는 상태에 머무는 시간을 지수분포로 가정하였기 때문에, 지수분포가 아닌 다른 분포를 따르는 경우에는 정확한 값을 계산할 수 없었다. 또한 셀 수가 4인 경우에 대한 <그림 9>에서 0{0}과 0{0, 1, 2, 3}처럼 자신에게 되돌아오는 경우가 존재하지만 이전의 논문에서는 자신에게 되돌아오는 경우를 제대로 고려할 수 없었다. 본 연구에서는 이러한 두 가지 문제점을 개선하여 정확한 페이징 부하를 계산하고자한다.

착신호 도착 당시 MS가 현재 위치영역에서 호 도착간격동안 진입한 셀의 수(C)를 알아내기 위하여, 본 연구에서는 기본적으로 마코프 모형을 이용한다. 마코프 모형을 적용하기 위해 MS의 현재 상태를 $k(S)$ 로 표현하자. 여기서 k 는 MS가 현재 머무르는 셀, S 는 MS가 방문한 셀들의 집합을 나타낸다. 예를 들어 MS가 셀 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ 의 순서로 셀에 진입했다면 현재 MS는 셀 1에 머물고 있고, 방문한 셀의 집합은 0, 1, 3이 된다. 즉, MS의 현재 상태 $k(S)$ 는 1{0, 1, 3}로 표현되며 이때 k 는 1이고, S 는 {0, 1, 3}이다.

가능한 모든 $k(S)$ 들간 상태전이를 고려하여 상태전이도를 그리고 그에 따른 상태전이행렬을 구한 후 모든 $k(S)$ 에 대한 안정상태확률을 구하면 최종적으로 호 도착 간격동안 MS가 몇 개의 셀에 진입하는지를 구할 수 있다.

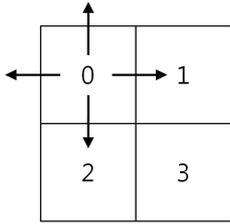


그림 7. $N = 4$

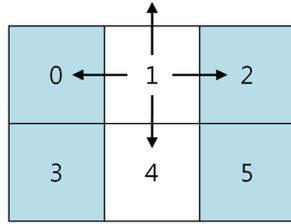


그림 8. $N = 6$

본 연구는 사각형 셀 환경을 가정하고, MS는 1/4확률로 이동한다. 제 3.2절에서는 <그림 7>의 셀의 수가 4인 경우($N = 4$)를 대상으로 안정상태확률을 구하는 방법을 설명한다. <그림 8>의 셀의 수가 6인 경우($N = 6$)에도 이와 비슷한 방법으로 안정상태확률을 구할 수 있다.

편의상 4개 셀을 0, 1, 2, 3으로 구분하고 MS가 새로운 위치영역에 진입할 때 셀 0으로 진입한다고 가정하자. <그림 9>는 $N = 4$ 일 때 모든 상태의 전이도를 보여준다. 첫 번째 박스의 0{0}을 제외한 나머지 모든 상태는 $\frac{1}{2}a + b$ 의 확률로 0{0}으로 이동한다. <그림 9>에 이를 표시해야 하지만 편의상 생략하였다. 여기서 a 는 $P[T_m < T_c]$ 로 착신호가 발생하기 전에 다른 셀로 이동할 확률을 말하며, b 는 $P[T_c < T_m]$ 을 나타낸다. 여기에서 T_m 은 셀에 머무는 시간, T_c 는 착신호 발생간격이다.

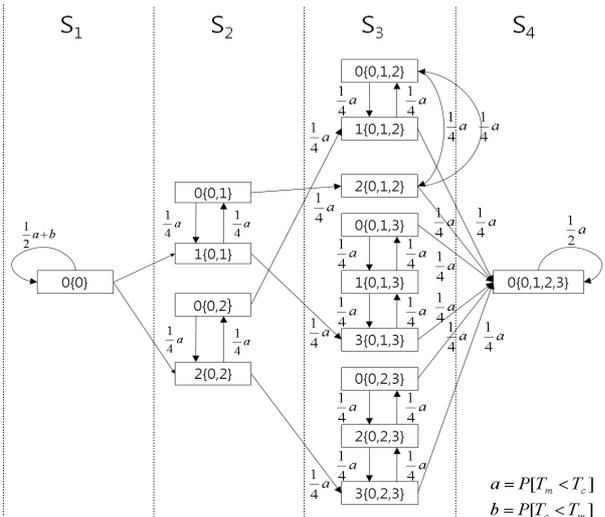


그림 9. $N = 4$ 일 때의 상태전이도

다음으로 MS의 전이확률을 살펴보자. 지금 막 인접한 위치영역에서 새로운 위치영역의 셀 0로 진입한 MS의 경우, 인접 셀에 진입하게 된다면 다음과 같은 4가지 경우가 가능하다.

- 1) $\frac{1}{2}P[T_m < T_c]$ 의 확률로 다른 위치영역의 셀로 진입한다(상태 0{0}).
- 2) 착신호가 발생하여($P[T_c < T_m]$) 위치영역에 갓 진입한 상태로 된다(상태 0{0}).
- 3) $\frac{1}{4}P[T_m < T_c]$ 의 확률로 셀 1로 이동한다(상태 1{0, 1}).
- 4) $\frac{1}{4}P[T_m < T_c]$ 의 확률로 셀 2로 이동한다(상태 2{0, 2}).

위와 같은 절차를 거쳐 가능한 상태들을 나열해보면 $N = 4$ 인 경우 가능한 상태는 총 15가지이며, 이를 방문한 셀의 수에 따라 S_1, S_2, S_3, S_4 로 나눌 수 있다. 여기서 S_i 은 MS가 방문한 셀이 i 개인 경우를 나타낸다.

<그림 9>의 상태전이도가 구해지면 <그림 10>과 같은 전이확률 행렬을 어렵지 않게 구할 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & 0 & P[T_m < T_c] & 0 & P[T_m < T_c] & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & 0 & P[T_m < T_c] & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & P[T_m < T_c] & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & 0 & 0 & 0 & P[T_m < T_c] & 0 & P[T_m < T_c] & \dots & 0 \\ \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & 0 & 0 & P[T_m < T_c] & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P[T_m < T_c] & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{2}P[T_m < T_c] + P[T_c < T_m] & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{2}P[T_m < T_c] \end{bmatrix}$$

그림 10. $N = 4$ 일 때 전이확률 행렬 P

<그림 10>의 전이확률 행렬 P를 얻으면 식 (8), 식 (9)을 이용하여 상태 i 에 대한 안정상태확률 π_i 를 구할 수 있다(Ross, 1996). 이 때 i 는 <그림 9>에 나타낸 각각의 $k(S)$ 상태에 순차적으로 번호를 부여한 것이다. 편의상 가능한 상태의 총 수를 M 개라고 하자. $N = 4$ 인 경우 i 는 0부터 14까지 총 15개의 상태 ($M = 15$)를 가지며, 편의상 <그림 9>의 왼쪽부터 차례대로 번호를 부여한다. 예를 들어, π_1 의 1은 0{0, 1}을 나타내고, π_5 의 5는 0{0, 1, 2}를 나타낸다.

$$\pi P = \pi \tag{8}$$

$$\sum_{i=0}^{M-1} \pi_i = 1 \tag{9}$$

여기서 $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{M-1})$ 이다. π_i 를 구하면 최종적으로 방문한 셀의 수에 대한 확률을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(S_1) = \pi_0 \tag{10}$$

$$P(S_2) = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 \tag{11}$$

$$P(S_3) = \pi_5 + \pi_6 + \pi_7 + \dots + \pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{13} \tag{12}$$

$$P(S_4) = \pi_{14} \quad (13)$$

여기서 $P(S_i)$ 은 MS가 방문한 셀이 i 개일 확률을 의미한다. 이렇게 구해진 $P(S_i)$ 를 식 (5), 식 (7)에 대입하면 최종적으로 BSPA와 2SPA의 정확한 페이징 비용을 계산할 수 있다.

위치영역 내 셀의 개수가 늘어나면 고려해야 할 경우의 수 또한 증가하게 된다. 설명을 위해 <그림 8>과 같이 셀의 수가 6개인 위치영역을 고려해보자.

MS가 새로운 위치영역에 진입한다면 셀 0에 진입할 수도 있고 셀 1에 진입할 수도 있다. 그런데 셀 0에서 이웃 셀로 진입하는 경우와 셀 1에서 이웃 셀로 진입하는 경우에 대한 확률 특성은 전혀 다르게 나타난다. 따라서 $N = 4$ 인 경우와는 달리 위치영역에 처음 진입한 셀이 0이나 1이냐에 따라 상태를 다르게 정의해야 한다. 따라서 $N = 4$ 인 경우에 비하여 상태의 수가 크게 증가한다.

하지만 처음 진입한 셀이 각각 0, 2, 3, 5일 경우는 동일한 확률 특성을 갖는다(처음 진입한 셀이 각각 1, 4일 때도 마찬가지다). 따라서 이 4가지 경우를 하나로 묶어 확률 특성을 고려하면 계산의 복잡도를 줄일 수 있다. 또한 MS가 셀 1에서 위치영역 내의 다른 셀로 진입한다면 셀 0, 2, 4로 이동할 수 있는데 이때, 셀 0으로 움직이는 경우와 셀 2로 움직이는 경우는 확률 특성이 동일하므로 이 2가지 경우를 확률 특성을 고려하면 계산의 복잡도를 줄일 수 있다.

이와 같은 방법을 이용하여 고려해야 하는 경우의 수를 줄이면 수리적 계산의 복잡도를 상당 부분 줄일 수 있다. 그럼에도 불구하고 N 이 증가하면($N \geq 6$) 상태의 수(M)가 급격하게 증가하므로($N = 9$ 인 경우 약 870개) 안정상태확률 π_i 와 방문한 셀의 수에 대한 확률 $P(S_i)$ 를 구하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 N 이 6이상인 경우에 대해서는 전산프로그램을 작성하여 관련 값들을 구하고 페이징 부하를 계산하였다.

4. 분석 결과

페이징 방법의 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 이동통신 환경을 가정한다. 먼저 셀의 개수 N 은 6으로 가정한다. 분석모형에서는 이해를 돕기 위하여 보다 간단한 경우인 N 이 4일 때를 예로 들었으나, 최근 이동통신 시스템은 가입자의 증가로 셀이 소형화되어 위치영역 내 셀의 개수가 증가하고 있다. 결국 $N = 4$ 인 경우보다 $N = 6$ 인 경우가 보다 현실적이라고 할 수 있다. 따라서 여기에서는 $N = 6$ 을 가정한다.

착신호 발생 시 페이징 에이전트 리스트를 검색하는 비용 C_L 은 1로 가정하고, 편의상 유선상에서의 처리 비용 C_c, C_R, C_F, C_U, C_D 은 C_L 과 동일하게 1로 가정한다. 한정된 자원인 무선 채널에 관련된 셀 당 페이징 비용 C_T 는 10으로 가정한다.

다. 무선 채널 비용과 유선상의 처리 비용에 따른 성능을 분석하기 위하여 C_T/C_L 의 변화에 따른 각 페이징 방법의 성능을 비교한다.

또한 편의상 한 셀에 머무는 시간은 평균이 $\frac{1}{\lambda_m}$ 인 지수분포로 가정하고, 착신호 도착간격은 모수가 λ_c 인 지수 분포를 따른다고 가정한다. 이동성과 착신호에 대한 CMR(call to mobility ratio)은 $\frac{\lambda_c}{\lambda_m}$ 이다. λ_c 은 1, λ_m 은 5로 가정하여 CMR에 따른 각 페이징 비용을 분석한다.

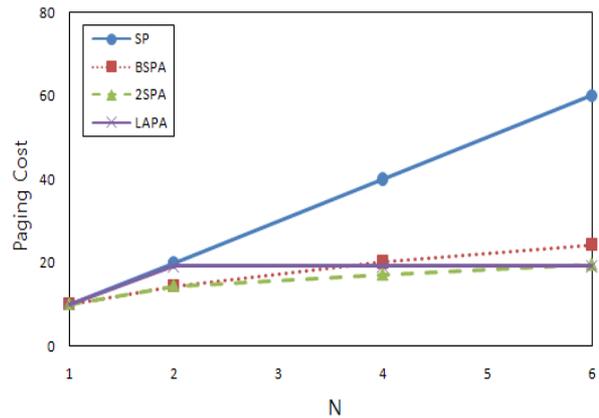


그림 11. N 에 따른 페이징 비용 변화

<그림 11>은 N 의 변화에 따른 페이징 변화를 보여준다. 그림에서 SP는 착신호 발생 시 모든 셀에 페이징하므로 $C_{SP}(i) = C_T \times N$ 으로 간단하게 구해진다. SP의 경우 셀의 수가 증가함에 비례하여 페이징 비용이 정비례하여 커지는 것을 알 수 있다. 반면 페이징 에이전트를 이용한 나머지 3가지 방법들은 SP에 비하여 완만하게 증가한다. 2SPA와 BSPA는 셀이 증가함에 따라 점차적으로 증가하는 모습을 보인다. 특히, 2SPA의 경우 나머지 페이징 방법들에 비하여 전반적으로 좋은 성능을 보이고 있다.

LAPA는 셀이 1인 경우를 제외하고 일정한 페이징 비용을 갖는다. BSPA와 2SPA의 경우에는 셀의 수가 증가하면서 MS가 방문할 수 있는 셀의 수 또한 증가하게 되어 이와 관련된 유선과 무선상의 추가 비용이 생기지만, LAPA는 단지 위치영역 내 MS의 이동횟수에 의하여 페이징 비용이 결정되기 때문에 셀의 수와 상관없이 페이징 비용이 결정된다. 따라서 셀의 수가 커질수록 상대적으로 우수한 성능을 보이게 된다.

<그림 12>는 CMR 변화에 따른 페이징 비용의 변화를 나타낸 것이다. $\lambda_c = 1$ 로 고정하고 λ_m 을 0.8에서 4까지 변화시켜가면서 CMR에 따른 각 페이징 비용을 분석한 것이다. CMR이 크다는 것은 상대적으로 착신호의 발생률은 높아지고, MS의 이동성은 낮아진다는 것을 의미한다.

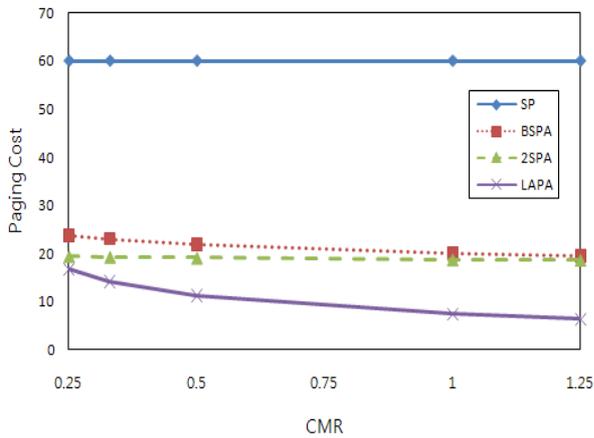


그림 12. CMR에 따른 페이징 비용

그림을 보면 SP의 경우 CMR의 변화와 상관없이 일정한 값을 나타내고, 페이징 에이전트를 이용한 나머지 방법들은 CMR이 클수록 낮은 페이징 비용이 나타나는 것을 알 수 있다.

BSPA와 2SPA는 서로 비슷한 성능을 보이고 있는데, CMR이 작을수록 2SPA가 BSPA보다 더 좋은 성능을 보인다. LAPA의 경우 CMR이 커질수록 다른 방법들에 비하여 페이징 비용이 낮다. LAPA는 움직이는 횟수에 비례하여 페이징 비용이 증가하는데, CMR이 클수록 상대적으로 착신호 발생에 비하여 셀에 진입하는 횟수가 줄어들게 되므로 착신호 도착간격 당 페이징 비용은 줄어들게 되어 유리해진다.

<그림 13>은 C_T/C_L 이 변화함에 따른 페이징 비용을 나타낸다. 그림으로부터 C_T/C_L 이 커짐에 따라 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법이 SP보다 훨씬 좋으며, C_T/C_L 이 커질수록 BSPA보다는 2SPA나 LAPA의 성능이 상대적으로 더 우수한 것을 알 수 있다. $C_T/C_L = 1$ 일 경우 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법들에 비하여 SP 페이징 방법이 더 낮은 페이징 비용을 갖지만 실제로는 무선비용이 유선비용보다 클 것이므로($C_T/C_L > 1$) 일반적으로 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법들이 우수하다고 할 수 있다.

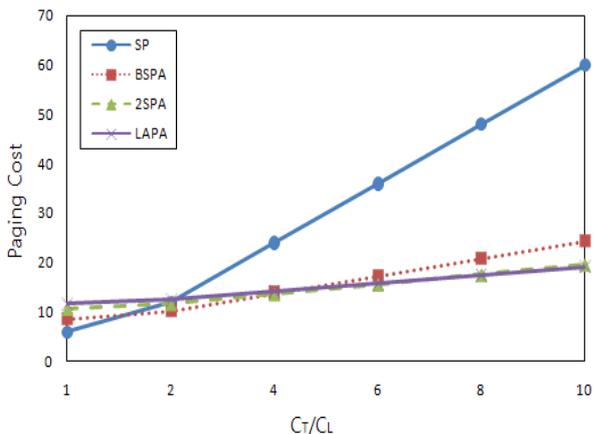


그림 13. C_T/C_L 의 변화에 따른 페이징 비용

본 연구에서는 각 유선비용의 값을 동일하게 가정하였으나, 만약 모든 유선비용의 값을 정확하게 알 수 있다면 보다 정확한 성능비교를 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 페이징 에이전트를 이용하여 위치영역 내 일부(BSPA) 또는 하나의 셀에만 페이징하는 페이징 방법(2SPA, LAPA)들을 도입하고, 각 페이징 방법들에 대한 새로운 수리적 분석 방법을 제시하였다. 페이징 에이전트를 이용한 페이징 방법을 다른 이전의 연구들에서는 근사적인 성능분석 방법을 사용하여 정확한 결과를 제공하지 못하였다. 본 연구에서는 정확한 성능분석 방법을 제안하고 여러 환경 하에서 효과적인 페이징 방법을 분석, 비교하였다.

성능분석 결과, 일반적으로 셀의 수가 증가할수록 LAPA의 성능이 우수하고 셀의 수가 감소할수록 2SPA의 성능이 우수함을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 다양한 환경에서 가장 적절한 페이징을 선택하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Akyildiz, I. F., Ho, J. S. M., and Lin, Y. B. (1996), Movement-based location update and selective paging for PCS networks, *IEEE/ACM Tr. on Networking*, 4(4), 629-638.
- Akyildiz, I. F., Lin, Y. B., Lai, W. R., and Chen, R. J. (2000), A new random walk model for PCS networks, *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 18(7).
- Baek, J. H. and Ryu, B. H. (2004), An Efficient 2-Step Paging Strategy Using Paging Agents of Base Stations in Mobile Communication Networks, *ETRI Journal*, 26(4).
- Chung, Y. W., Sung, D. K., and Aghvami, A. H. (2003), Effect of uncertainty of the position of mobile terminals on the paging cost of an improved movement-based registration scheme, *IEICE Tr. on Communications*, E86-B(2), 859-8602.
- Ho, J. S. M. and Akyildiz, I. F. (1995), Mobile user location update and paging under delay Constraints, *ACM-Baltzer J. Wireless Networks*, 1(4).
- Kim, K. H., Lim, T. J., Kang, K. H., and Baek, J. H. (2006), Performance improvement of paging scheme using paging agent, *Journal of Information Technology Applications and Management*, 13(2), 87-97.
- Li, J., Kameda, H., and Li, K. (2000), Optimal dynamic mobility management for PCS networks, *IEEE/ACM Tr. on Networking*, 8(3), 319-327.
- Mao, Z. and Douligeris, C. (2000), A location-based mobility tracking scheme for PCS networks, *Computer Communications*, 23, 1729-1739.
- Mao, Z. (2002), An Intra-LA Location Update Strategy for Reducing Paging Cost, *IEEE Commun. Lett.*, 6(8), 334-336.
- Rose, C. and Yates, R. (1997), Location uncertainty in mobile networks: a theoretical framework, *IEEE Communications Magazine*.
- Rose, C. and Yates, R. (1995), Paging Cost Minimization under delay Constraints, *ACM-Baltzer J. Wireless Networks*, 1(4), 211-220.
- Rose, C. (1999), State-Based Paging/Registration: a Greedy Technique, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 48(1), 166-173.

Ross, S. (1996), *Stochastic Processes*, John Wiley and Sons.

Ryu, B. H., Ahn, J. H., and Baek, J. H. (2003), Comparative performance evaluation of movement-based registration and distance-based registration, *IEICE Tr. on Communications*, E86-B(3), 1177-1180.

Suh, B. S., Choi, J. S., and Choi, S. I. (2003), An Efficient Paging Strategy Based

on Paging Agents of Base stations in Cellular Mobile Networks, *ETRI Journal*, 25(1), 55-58.

Wan, G. and Lin, E. (1999), Cost Reduction in Location Management Using Semi-Realtime Movement Information, *ACM-Baltzer J. Wireless Networks*, 5(4), 245-256.



문유리

전북대학교 산업공학 학사
 현재 전북대학교 산업공학 석사
 관심분야: 정보통신, 추계적과정, 최적화



이대한

연세대학교 응용통계 학사
 KAIST 산업공학과 석사
 KAIST 산업공학과 박사
 현재: 전북대학교 산업정보시스템공학과
 조교수
 관심분야: 정수계획, 조합최적화, 정보통신,
 logistics



백장현

서울대학교 산업공학과 학사
 서울대학교 산업공학과 석사
 서울대학교 산업공학과 박사
 현재: 전북대학교 산업정보시스템공학과
 교수
 관심분야: 경영과학, 응용통계, 정보통신