

논문 2007-44TC-10-5

# 무선 센서 네트워크에 적합한 단말 특성 기반 저전력형 IP 페이징 기법

(Terminal Characteristics-Based IP Paging Strategy with Low Power Consumption for Wireless Sensor Networks)

서 봉 수\*, 최 진 식\*\*

(Bongsue Suh and Jin-Seek Choi)

## 요 약

무선 IP 네트워크에서 단말의 이동성 지원 방법의 문제점을 해결하기 위한 기존의 IP 페이징 기법은 페이징 영역내의 라우터를 이동하는 idle 상태의 이동단말이 등록을 수행하지 않아 등록 메시지와 오버헤드를 감소시키는 효과가 있다. 하지만, 최근 IP 기반 무선 센서 네트워크에 대한 연구와 구현이 활발한 시점에서 IP 페이징 기법을 이러한 환경에 바로 적용할 경우 지속적인 페이징 신호 수신 시도로 인하여 이동단말이 전력을 과도하게 소비한다는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이를 해결하고자 센서 네트워크와 이동단말의 특징을 이용한 가변적 페이징 주기에 근거한 동기화된 간헐적 페이징 수신 기법을 제안한다. 수학적 분석의 결과는 제안하는 방법에서 단말의 이동성과 페이징 영역 내의 라우터의 개수가 감소할수록 단말의 전력 소모가 현저히 감소함을 보여준다. 또한 제안하는 방법에 사용된 파라미터를 조정함으로써 기존의 연속적 페이징 수신 기법으로의 전환은 물론 이동단말의 전력 소비 정도 및 간헐적 페이징 수신 기법으로 인한 지연 등을 조정할 수 있어 IP 기반의 무선 센서 네트워크에 효과적으로 적용될 것으로 기대된다.

## Abstract

IP paging strategy, one of the solutions for derived problems in IP mobility support protocol, reduces the messages and the overheads over the network, since there is not registration procedure when a mobile terminal moves into a new router within the same paging area. However, the fact that the mobile terminals with the previous strategy consume electrical power continuously for paging signal reception obstructs the application of IP paging strategy to the IP-based wireless sensor networks. In this paper, we propose a discontinuous paging reception strategy based on the characteristics of the wireless sensor networks and their mobile terminals. As a result of the mathematical analysis, the proposed strategy significantly reduces the terminals' power consumption. In addition, by setting the relating parameters as appropriate values, the proposed strategy can be switched to the continuous reception strategy, or can be adjusted to limit the terminals' power consumption or paging delay.

**Keywords :** IP 페이징, 간헐적 페이징 수신, 저전력 소비

## I. 서 론

유선 IP 네트워크에서 단말은 IP 주소에 의거하여 식

별되며 이 주소는 단말의 네트워크 상의 위치 정보를 내포하고 있다. 그러나 이동 IP 네트워크에서의 이동단말의 주소, 즉 홈 주소(home address)는 단말의 현재 위치를 의미하지 않는다. 이로 인한 단말의 이동성의 문제를 해결하기 위하여 이동 IP 방법이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 이는 홈 네트워크 상의 홈 에이전트(HA: home agent)와 단말이 위치한 외부 네트워크(foreign network)의 관리 라우터인 외부 에이전트(FA: foreign agent) 등의 요소와 이에 의하여 부여된 CoA(care-of-

\* 정회원, 공주대학교 정보통신공학부  
(Kongju National University)

\*\* 평생회원-교신저자, 한양대학교 컴퓨터교육과  
(Hanyang University)

※ 이 논문은 2007년도 한국전자통신연구원 및 정부  
(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받  
아 수행된 연구임 (R11-2000-074-02006-0)

접수일자: 2007년8월27일, 수정완료일: 2007년10월18일

address), 그리고 이의 HA에서의 등록 등의 과정 등을 통하여 단말의 이동성을 보장하고 있다.

외부 네트워크에 위치한 단말이 라우터 사이를 이동할 경우 홈 에이전트와의 등록 절차에 따른 잦은 시그널링의 발생과 통신 세션의 유지 중에 라우터간 이동, 즉 핸드오프시의 복잡한 과정 등이 문제가 되고 있다. 이를 해결하기 위한 많은 방법이 제안되었다. 등록 영역을 지역화(localization)하여 등록 과정에서 발생하는 시그널링을 감소시키는 Regional Registration 방법<sup>[2]</sup> 및 네트워크의 불필요한 오버헤드를 줄여 등록과정에 필요한 시간을 줄여 빠르고 끊어짐 없는 핸드오프가 가능할 수 있도록 하는 HAWAII (Handoff-Aware Wireless Internet Infrastructure)<sup>[3]</sup> 등이 대표적인 예이다. 또한 idle 상태인 단말이 특정 영역 내에 위치한 다른 라우터 영역으로 이동한 경우 홈 에이전트와 등록을 생략하는 대신 단말로 송신할 데이터 발생 시 해당 특정 영역내 모든 라우터가 동시에 페이징 신호를 송출하여 이동단말의 접속점을 찾아내는 P-MIP (Paging in Mobile IP) 방법(이하, IP 페이징 기법)이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 특히 IP 페이징 기법은 셀룰러 이동 통신에서의 페이징 개념을 이동 IP 네트워크에 확장한 개념으로 비연결성 서비스의 특징과 이동단말의 대부분이 idle 상태라는 사실을 잘 이용하는 효과적인 방법이다. 하지만, 이 방법은 이동단말이 페이징 신호의 수신을 위하여 무선 수신 장치를 항상 동작시켜야 하므로 이동단말의 지속적인 전력 소모가 예상된다.

특히 최근의 무선 센서 네트워크의 경우 하위 프로토콜에 상관없이 네트워크 계층에 IP 를 도입함으로써 다양한 응용 시스템이 개발되고 있다<sup>[5-6]</sup>. 이러한 무선 센서 네트워크에서의 가장 중요한 요건 중에 하나는 이동 단말이 외부 전원 공급없이 장시간, 혹은 수명이 다할 때까지 동작해야 한다는 사실이다. 따라서 IP 페이징 기법을 무선 센서 네트워크와 같은 특수한 환경에 바로 적용할 경우 이동단말의 지속적인 전력소모로 인하여 효과적인 시스템 구축이 어려울 것으로 예상된다. 따라서 이러한 문제 해결을 위한 개선된 IP 페이징 방법이 필요하다.

무선 센서 네트워크에서 단말의 전력 소모를 감소시키는 방법으로는 S-MAC(Sensor Medium Access Control) 방법<sup>[7]</sup>이 제안되었다. 센서 노트들이 서로 통신을 통하여 자체 애드-혹 네트워크를 구성할 경우 센서 노트들의 긴 듀티 사이클, 즉 긴 시간 동안 대기모드와 짧은 시간동안의 동작 시간이라는 사실을 충분히 이

용한 매체접근제어 기술이다. 본 방법을 적용하기 위해서는 S-MAC 이 구현된 센서 노드로 시스템을 구성해야 하므로 호환성 면에서 불리한 점이 있다.

본 논문에서는 기존의 IP 페이징 기법에 FA와 이동 단말 간 동기화된 간헐적 페이징 수신 개념을 도입하여 이동단말의 전력 소모를 현저히 감소시키는 방법을 제안한다. 이 방법은 IETF(Internet Engineering Task Force)의 RFC(Recommendations for Comments)에 등록된 표준 기법을 사용하는 무선 네트워크에서 적용이 용이하므로 호환성 면에서 유리하다. 제안하는 방법의 주요 개념은 idle 상태의 이동단말에서 대부분 시간 동안 수신 모듈의 전원을 차단하면서 주기적으로 일정시간 동안만 수신 모듈을 활성화하여 페이징 신호를 수신하는 기법의 적용이다. 제안하는 방법의 또 다른 특징은 이동단말의 이동성이나 세션 설정 빈도의 특성에 따라 가변적인 페이징 주기가 부여된다는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 IP 페이징 기법의 주요 내용을 살펴보고, III 장에서는 제안하는 방법에 대한 상세한 기술, IV 장에서는 이의 수학적 모델링과 분석, 그리고 정량적 비교를 통한 성능 분석을 설명하며, V 장에서 결론을 맺는다.

## II. IP 페이징 기법의 개요<sup>[4]</sup>

### 1. 이동단말의 등록 과정

IETF RFC 등록된 이동 IP에서는 이동단말이 새로운 라우터 영역으로 이동하면 에이전트 광고(agent

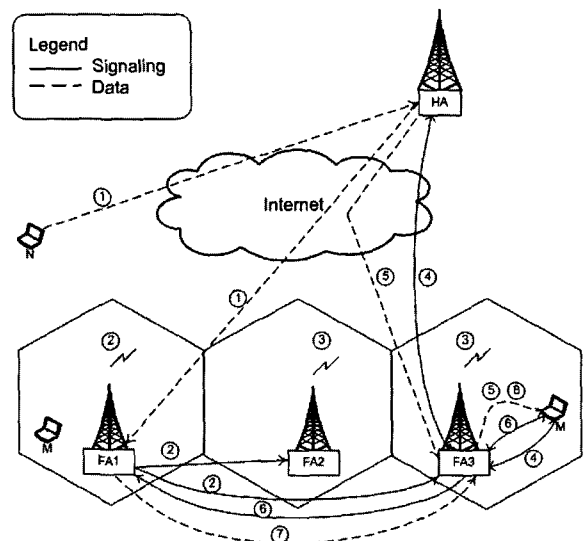


그림 1. IP 페이징 및 데이터 전달 과정<sup>[4]</sup>  
Fig. 1. Procedure of IP paging and data delivery<sup>[4]</sup>.

advertisement) 메시지를 수신하고 이에 응답함으로써 해당 라우터는 이동단말의 새로운 FA가 되며 관련 정보를 이동단말의 HA에 등록하는 과정을 수행한다<sup>[1]</sup>. 하지만 IP 페이징 기법에 따르면 무선 IP 네트워크 상의 몇 개의 라우터의 영역을 단일의 페이징 영역으로 설정하고 페이징 영역 내에서의 단말의 라우터 간 이동의 경우 해당 HA는 등록과정을 수행하지 아니한다<sup>[4]</sup>.

예를 들어, 그림 1에서는 FA1, FA2, 그리고 FA3가 하나의 페이징 영역을 형성하며 이동단말이 이 영역 내에서 이동할 경우에는 HA에서의 등록이 생략된다. 한편, 데이터 세션을 유지중인 active 상태의 이동단말이 라우터 간 이동할 경우는 기존의 이동 IP 프로토콜에서 규정한 핸드오프와 즉각적인 재등록 과정이 수행된다<sup>[1]</sup>.

이동단말의 이동으로 인하여 HA에서의 등록이 일어나는 경우는 아래와 같다.

- 이동단말이 새로운 페이징 영역으로 이동하였을 경우
- 현재 FA가 새로 부팅하거나 이동단말의 유효등록기간이 만료되었을 경우
- Idle 모드의 이동단말이 데이터를 송신하려는 경우

새로운 등록절차가 이루어지면 이동 IP 프로토콜<sup>[1]</sup>에 의하여 해당 라우터가 새로운 FA가 되며 이동단말에 새로운 CoA 주소 부여, HA에서의 등록 및 이전 FA에서의 해당 이동단말의 정보를 삭제 등의 과정을 거친다.

## 2. 페이징 과정

그림 1은 IP 페이징 및 데이터 전달 과정을 보여주고 있다. 특정 이동단말을 목적으로 하는 데이터가 발생하면 데이터를 수신한 HA는 이동단말의 CoA 주소를 이용하여 해당 FA(등록 FA, 그림에서 FA1)로 전달한다(①). 데이터를 수신한 FA는 해당 이동단말에 대한 정보를 확인하여 단말의 IP 페이징 기능 수행 여부를 파악한다. 해당 단말이 IP 페이징이 가능하며 현재 idle 상태로 판단되면 데이터를 버퍼에 저장한 후에 자신의 서비스 영역은 물론 자신이 속한 페이징 영역의 모든 라우터에게 페이징 요청 신호를 전달한다(②). 이 신호를 수신한 다른 라우터(이웃 FA, 그림에서 FA2 및 FA3)도 각각의 서비스 영역에 페이징 신호를 방송한다(③).

페이징 신호에는 하나 혹은 다수의 이동단말 홈 주소

를 포함하고 있어 여러 단말을 동시에 페이징 할 수 있다. 페이징 신호를 수신한 이동단말은 페이징 신호 내에 자신의 홈 주소를 발견하면 페이징 응답신호를 보내며 HA와 등록 과정을 수행한다(④). 이후 HA는 새로운 FA(그림에서 FA3)로 등록 이후의 데이터를 전송하여 이동단말로 전달된다(⑤). 이와 동시에 새로운 FA는 이전의 FA(그림에서 FA1)로 페이징 응답 신호를 전달하며(⑥), 이전의 FA는 버퍼에 저장된 데이터를 새로운 FA를 통하여 이동단말에게 전달하고(⑦,⑧) 이동단말 관련 기록을 삭제한다.

## III. 전력 절약형 IP 페이징 기법

### 1. 필요 요소 및 등록 방법

상기 IP 페이징 기법에서 idle 상태의 이동단말은 페이징 신호의 수신을 위하여 항상 무선 채널의 신호를 수신하여야 한다. 이는 이동단말로 데이터를 전송할 경우 페이징 영역 내에 위치한 모든 라우터들이 페이징 신호를 즉시 송출함으로써 이동단말의 위치를 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있으나, 단말의 입장에서는 페이징 신호 수신을 위하여 지속적인 전력을 소비하여야 하는 단점이 있다.

일반적으로 무선 센서 네트워크의 경우 이동단말은 주기적으로 측정 데이터를 생성하고 주기적으로 수집노드나 서버로 보내는 작업을 수행하거나 이들로부터 지령(데이터)을 받아 처리한다. 이러한 환경에서는 데이터 세션 간의 간격은 수 초에서 수 시간으로 매우 큰 값이며 한번의 데이터 세션 유지 시간도 다른 통신 시스템에 비하여 매우 짧은 특징을 가지고 있다. 또한 센서 네트워크에서는 대부분의 데이터 세션이 이동단말의 주기적인 데이터 발생에 의하여 이루어지며 HA를 통한 데이터 전달의 발생빈도는 상대적으로 낮다. 따라서 IP 페이징이 일어나는 횟수는 상대적으로 희박하여 이동단말이 페이징 신호 수신을 위하여 지속적으로 수신 모듈을 활성화 시켜 채널을 감시하는 방법은 매우 비효율적이다.

본 논문에서는 IP 프로토콜을 사용하는 무선 센서 네트워크에서 간헐적 페이징 신호 수신을 통하여 이동단말의 전력 소비를 현격하게 감소시키는 방법을 제안한다. 페이징 신호의 수신 주기(이하, 페이징 주기,  $T$  (초))는 이동단말의 이동도와 데이터 세션 설정 빈도에 근거하여 가변적으로 설정한다. 라우터는 결정된 페이징 주기와 부가적인 시간정보를 이용하여 각 이동단말마다 고

유한 특정한 시간에만 이동단말에게 페이징 신호를 전달하도록 한다.

제안하는 간헐적 페이징 수신 기법에서는 페이징 주기 결정을 위하여 이동단말의 내부에 다수의 라우터 주소를 저장할 수 있는 메모리 공간인 레지스터(이하, 레지스터)와 저장된 라우터 번호의 개수를 나타내는 카운터(이하, 카운터)를 보유하고 있다. Idle 상태인 이동단말이 새로운 라우터 영역에 들어갈 경우 이동단말은 바로 이전과 다른 에이전트 광고 메시지를 수신하게 된다. 메시지 내에 포함되어 있는 같은 페이징 영역내의 전송 라우터의 주소가 레지스터에 없는 경우에는 레지스터에 라우터 주소를 저장하고 카운터를 1 증가시킨다. 만약 라우터 주소가 레지스터에 있는 경우에는 레지스터나 카운터를 업데이트하지 않는다. 중요한 점은 IP 페이징에서와 같이 idle 상태인 이동단말이 페이징 영역내의 다른 라우터로부터 새로운 에이전트 광고 메시지를 수신하여도 이에 대한 응답을 보내지 않는다는 사실이다.

이동단말로 설정된, 혹은 이동단말이 설정한 데이터 세션이 종료되면 새로운  $T$  값이 결정되어 새로운 FA와 등록이 이루어지며,  $T$  값과 등록 시점의 타임스탬프 정보는 FA의 이동단말 레코드에 저장된다. 본 논문에서는 데이터 세션 종료 시 수행하는 레지스터와 카운터 정보 업데이트의 세 가지 방법을 아래와 같이 제시한다.

- 방법 1: 현재의 FA 주소를 제외한 모든 레지스터의 주소를 삭제하고 카운터 값을 1로 리셋한다.
- 방법 2: 레지스터에서 가장 오래 동안 저장된 라우터 번호를 삭제하고 카운터를 1 감소한다.
- 방법 3: 카운터 값이 문턱값  $l$  보다 큰 경우에는 가장 최신의  $l$  개의 라우터 번호만 보유하고 나머지는 삭제하며 카운터를  $l$ 로 수정한다. 카운터 값이  $l$  보다 작거나 같은 경우에는 위의 방법 2의 같이 수행한다.

2. 페이징 방법 및 주기의 결정

Idle 상태의 이동단말이 등록 과정을 수행할 경우 새로운 라우터, 즉 새로운 FA는 단말이 설정한 페이징 주기  $T$  및 등록 시점의 타임스탬프 정보를 이동단말 레코드에 저장한다. Idle 상태인 이동단말로 보낼 데이터가 존재하면 등록 FA는 이 두 정보를 이용하여 페이징 시점을 결정하고 자신의 영역은 물론 페이징 영역내의 모든 라우터에게 페이징 요청 신호를 전송한다. 이웃 FA는 즉시 페이징 신호를 송출한다. 페이징 시점과

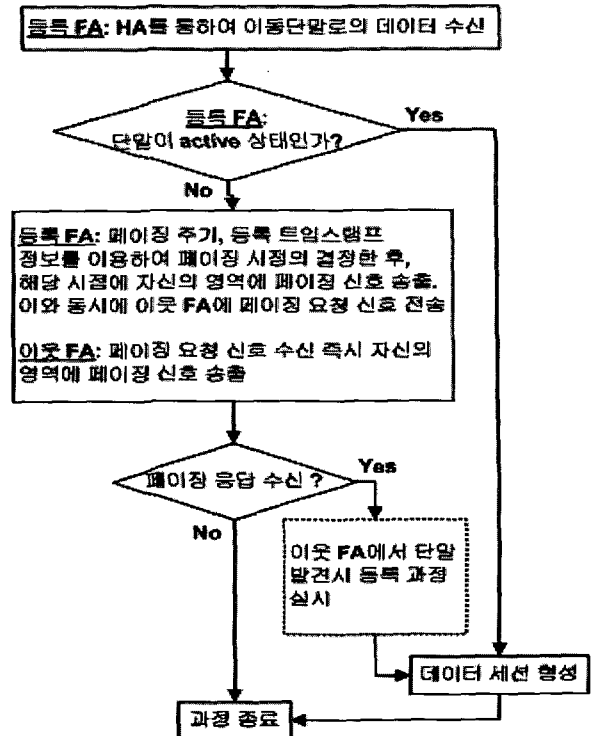


그림 2. FA에서 페이징 과정  
Fig. 2. Paging procedure at FAs.

동기가 이루어진 이동단말 측에서도 특정 시간 동안만 수신 모듈을 동작시켜 신호를 수신한다. 페이징 신호를 수신하여 목적지 주소 리스트 필드에 자신의 홈 주소가 없는 경우에는 다음 페이징 신호 수신 때 까지 수신 모듈의 동작을 중지한다. 만약, 수신한 페이징 신호에 자신의 홈 주소가 포함되어 있으면 IP 페이징 기법<sup>[1]</sup>에 의거하여 FA 및 HA와의 등록 과정을 거치고 데이터를 수신하게 된다.

그림 2는 이동단말로 데이터를 송신할 경우 HA에 등록된 이동단말의 CoA를 이용하여 해당 외부 네트워크의 페이징 영역에 간헐적 페이징을 수행하고 데이터를 전달하는 과정을 나타내고 있다. 그림에서 이웃 FA는 이동단말이 실제로 등록한 FA를 제외한 해당 페이징 영역내의 모든 라우터를 의미한다.

간헐적 페이징 수신 기법의 경우 페이징 주기가 이동단말의 전력 소모량에 직접적 영향을 끼친다. 본 논문에서는 이동단말의 이동성 정도와 세션 설정 빈도에 근거한 페이징 주기 결정 알고리즘을 제안하며, 이는 아래와 같이 구하도록 한다.

$$T(i) = \min \left\{ T_1, \max \left( \left\lfloor \frac{aT_1}{\log_2 i} \right\rfloor, T_2 \right) \right\}. \quad (1)$$

여기서  $T_1$  및  $T_2$  는  $T$  가 가질 수 있는 최대값 및

최소값이며,  $i$  는 카운터의 값이며,  $\alpha$  는 비례상수이다. 여기서 밑이 2인 로그값을 사용하는 이유는 다음과 같다. 카운터의 값이 증가하면서 이에 정비례하여  $T$  가 감소할 경우에는 큰 이동성을 가지는 이동단말에 대해서는  $T$  값이 급격히 감소할 수 있다. 이는 간헐적 페이징 수신 기법의 적용으로 인한 지연(이하, 페이징 지연)면에서 매우 유리하지만 전력소모의 급격한 증가로 이어진다. 이러한 문제를 막기 위하여 카운터 값의 로그값에 비례하게 설정하여  $i$  값 증가에 따라  $T$  가 천천히 감소하도록 하였다. 실제 시스템에서는  $\alpha$ ,  $T_1$  및  $T_2$  값을 조정하여 적절한 전력 소모량 및 페이징 지연을 조절할 수 있으며,  $T_1 = 0$ 으로 설정하여 연속적 페이징 수신 기법<sup>[4]</sup>으로 변환시킬 수 있다.

#### IV. 성능 분석

##### 1. 수학적 분석

제안하는 방법에서는 이동단말이 새로운 라우터로부터 에이전트 광고 메시지를 수신할 때마다 카운터 값이 증가되며 데이터 세션 설정 시 마다 카운터 값이 감소되며, 이러한 카운터 값은 새로운 페이징 주기 결정에 이용된다. 즉, 단말의 이동성이 작을수록, 그리고 데이터 세션 설정 빈도가 증가할수록 페이징 주기가 증가하게 되어 전력 소비량이 감소하게 된다. 이는 일반적으로 이동단말의 이동성이 상대적으로 낮은 무선 센서 네트워크에 효과적임을 예측할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 단말의 이동성과 데이터 세션의 설정 빈도에 따른 이동단말의 전력 소비량을 수학적으로 분석하고자 한다.

제안하는 방법의 예측되는 통계적 성능 향상을 입증하고 방법별, 그리고 시스템 환경별로 그 정도를 분석하기 위한 수학적 모델링에 필요한 가정은 일반적으로 셀룰러 통신 시스템에서 사용하는 가정을 도입하며 이는 다음과 같다.

- 외부 네트워크는 무선 센서 네트워크이며 각 페이징 영역은 중첩되지 않은  $N$  개의 라우터로 구성되어 있다.

- 이동단말이 하나의 라우터 영역에 머무르는 시간은 파라미터가  $\lambda_m$  인 지수분포를 가진다. 이동하는 새로운 라우터는 페이징 영역내의  $N$  개의 라우터 중에서 무작위로 결정된다.

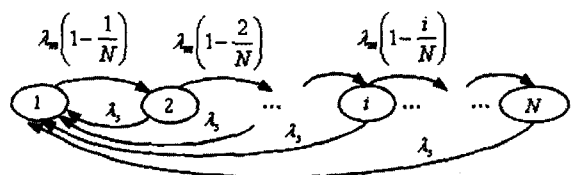
- 페이징 신호를 수신하는 시간, 즉 페이징 신호 수

신을 위하여 수신모듈에 전원이 공급되는 시간은 1 초이며 이 시간에 1의 전력이 소비된다고 가정한다. 이 시간은 시스템과 이동단말 내부의 클럭 드리프트나 라우터간의 메시지 전달 지연 등을 고려하여도 이동단말이 충분히 해당 페이징 신호를 수신할 수 있을 것이다.

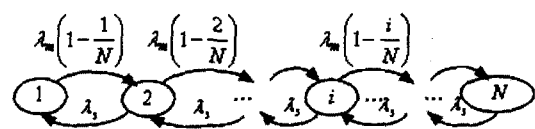
- 이동단말로 설정되는, 혹은 이동단말이 설정하는 이웃하는 두 데이터 세션의 시간 간격은 파라미터가  $\lambda_s$  인 지수분포를 가진다. 한 번의 세션 설정 시 세션 유지 시간은 평균  $D$  초 이다.

- 실제로 새로운  $T$  값이 페이징 과정에 반영되는 시점은 데이터 세션이 종료되는 시점이지만, 분석의 단순화를 위하여 상태변수  $i$  가 변하는 시점으로 가정한다. 이러한 가정은 실제의 경우보다 작은  $T$  값을 유발하여 제안한 방법의 성능 결과를 저하시킨다.

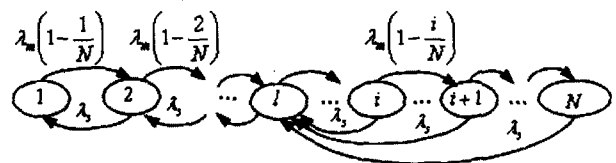
이러한 가정을 기반으로 상태 변수  $i$  인 마르코프 체인<sup>[8]</sup>을 만들 수 있다. 여기서  $i$  는 이동단말 내부의 카운터 값이다. 이에 따라 제안하는 세 가지 방법에 대한 마르코프 체인의 상태 천이도는 그림 3 과 같이 만들 수 있다. 이를 이용하여 상태 천이 행렬  $Q$ 를 구할 수 있으며<sup>[8]</sup>, 방법 1에 대한 0 이 아닌  $Q$  의 성분은 아래와 같다.



(a) 방법 1



(b) 방법 2



(c) 방법 3

그림 3. 각 방법에 대한 상태 천이도  
Fig. 3. State diagrams for the algorithms.

$$\begin{cases} q_{11} = -\lambda_m \left(1 - \frac{1}{N}\right), \\ q_{i,i} = -\lambda_m \left(1 - \frac{i}{N}\right) - \lambda_s, \\ \quad \text{for } i=2, \dots, N, \\ q_{i,i+1} = \lambda_m \left(1 - \frac{i}{N}\right), \\ \quad \text{for } i=1, \dots, N, \\ q_{i,1} = \lambda_s, \quad \text{for } i=2, \dots, N. \end{cases} \quad (2)$$

방법 2에 대하여 0 이 아닌 Q의 성분은 아래와 같다.

$$\begin{cases} q_{1,1} = -\lambda_m \left(1 - \frac{1}{N}\right), \\ q_{i,i} = -\lambda_m \left(1 - \frac{i}{N}\right) - \lambda_s, \\ \quad \text{for } i=2, \dots, N, \\ q_{i,i+1} = \lambda_m \left(1 - \frac{i}{N}\right), \\ \quad \text{for } i=1, \dots, N-1, \\ q_{i,i-1} = \lambda_s, \quad \text{for } i=2, \dots, N. \end{cases} \quad (3)$$

방법 3의 경우 레지스터와 카운터가 업데이트 되는 시점은 데이터 세션이 완료되는 시점이며, 이 경우 카운터 값이  $l$  라로 바뀐다는 점이 중요하다. 따라서  $i$  값은 1에서  $N$  까지 가질 수 있다. 따라서, 방법 3에 대하여 0이 아닌 Q의 성분은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} q_{1,1} = -\lambda_m \left(1 - \frac{1}{N}\right), \\ q_{i,i} = -\lambda_m \left(1 - \frac{i}{N}\right) - \lambda_s, \\ \quad \text{for } i=2, \dots, N, \\ q_{i,i+1} = \lambda_m \left(1 - \frac{i}{N}\right), \\ \quad \text{for } i=1, \dots, N, \\ q_{i,i-1} = \lambda_s, \quad \text{for } i=2, \dots, l, \\ q_{i,l} = \lambda_s, \quad \text{for } i=l+1, \dots, N. \end{cases} \quad (4)$$

이제 정상상태 확률 행렬  $[\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_N]$  을 구하기 위하여 다음의 두 수식을 이용한다<sup>[8]</sup>.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \pi_i = 1 \\ [\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_N] Q = 0. \end{cases} \quad (5)$$

따라서, 정상상태 확률<sup>[8]</sup>은 다음과 같이 표시된다.

$$[\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N] = [1, 0, 0, \dots, 0] Q^{-1} \quad (6)$$

여기서  $Q^{-1}$ 은 Q 행렬의 첫 열의 모든 성분에 1을 더한 행렬이다.

카운터 값이  $i$  인 이동단말의 페이징 주기의 역수는

1 초 동안 이동단말의 수신 모듈이 활성화 된 회수이며  $f(i) = 1/T(i)$  으로 표시한다. 1 초 동안 수신모듈에 전원을 공급하는데 소비되는 전력는 1 이므로,  $t$  초 동안에 간헐적 페이징 수신 기법으로 소비되는 전력  $\overline{P}_t$  은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\overline{P}_t = (t - \lambda_s t D) \sum_{i=1}^N \pi_i f(i). \quad (7)$$

또한, 기존의 IP 페이징의 연속적 페이징 수신 기법<sup>[4]</sup>에서  $t$  초 동안 페이징 신호 수신으로 소비되는 전력  $\overline{P}_t^0$  는 아래와 같다.

$$\overline{P}_t^0 = t - \lambda_s t D. \quad (8)$$

위의 식 (7) 및 (8)을 이용하여 기존의 방법에 비하여 제안한 방법에서의 전력 소비 비율 PCR (Power Consumption Ratio) 값을  $PCR = \overline{P}_t / \overline{P}_t^0$  으로 정의한다.

한편, 제안한 방법을 사용함에 따라 발생하는 페이징 지연  $d$  는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$d = \sum_{i=1}^N T(i) \pi_i. \quad (9)$$

## 2. 정량적 성능분석

정량적인 성능 비교를 위하여 사용한 파라미터는  $\alpha = 1$ ,  $N = 19$ ,  $t = 3600$ ,  $D = 10$ ,  $l = 2$ ,  $\lambda_c = 10^{-3}$  이며,  $\lambda_m$  은  $10^{-4}$ 에서  $10^{-2}$  까지 변한다. 페이징 주기의 제한과 관련하여  $T_1 = 60$ ,  $T_2 = 0$  으로 하였다. 그림 4는 각 방법에 대하여  $\lambda_m$  변화에 따른 PCR 값을 보여주는 그래프이다. 방법 0은 연속적인 페이징 수신 기법<sup>[4]</sup>을 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 제안한 방법들은 전체적으로 매우 낮은 전력 소비량을 보여주고 있다. 특히  $\lambda_m$  이 감소할수록, 즉 이동단말의 이동성이 작을수록 현저히 감소함을 보여주며, 방법 1이 가장 효과적임을 보여주고 있다. 이는 데이터 세션 설정 시 카운터 값의 감소 정도가 다른 두 방법에 비하여 작아 상대적으로 큰 페이징 주기를 갖기 때문이다.

그림 5는 방법 2에 대하여 여러  $N$  값에 대하여  $\lambda_m$  변화에 따른 PCR 값을 보여주고 있다.  $N$  증가할수록 PCR 이 증가하며,  $N$  값이 매우 큰 경우에는  $N$  의 증가가 전력 소비 감소에 미치는 영향이 점점 약해짐을

알 수 있다. 위의 두 그림에서 알 수 있는 사실은  $\lambda_m$ 의 증가에 따라 PCR 값이 계속 증가하지 않고 특정 값에 수렴하는 사실이며, 이는 이동단말의 이동성이 커질수록 이동성이 전력 소비량에 미치는 정도가 약해짐을 의미한다. 결과적으로 무선 센서 네트워크에서 센서로 사용되는 이동단말들이 특수한 목적을 위하여 높은 이동성을 갖더라도 전력 소비 측면에서는 불리한 점이 없음을 의미한다.

제안하는 방법에서의 단점은 간헐적 페이징 수신을 이용하므로 이동단말로 이루어지는 데이터 세션의 설정 시간이 기존의 연속적 페이징 수신 방법<sup>[4]</sup>에 비하여 증가한다는 사실이다. 지연의 크기는 식 (8)에서 나타나 있으며 실제의 결과는 그림 4 및 5와 반대로 나타난다. 즉,  $\lambda_m$ 이 증가할수록 지연이 감소한다.

일반적으로 센서 네트워크의 경우 이동단말로의 데

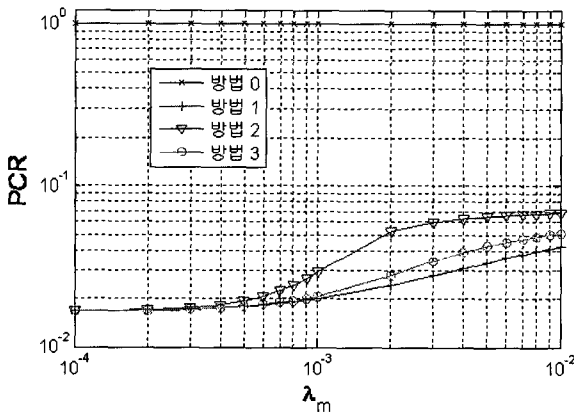


그림 4. 방법별  $\lambda_m$  대 PCR 성능 비교  
Fig. 4  $\lambda_m$  versus PCR for the algorithms.

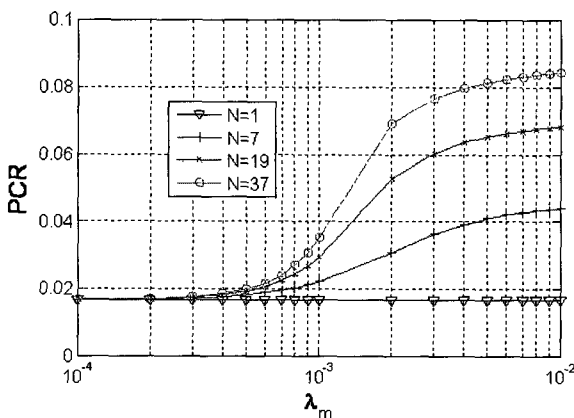


그림 5. 방법 2에 대한 N값의 변화에 따른  $\lambda_m$  대 PCR 성능 비교  
Fig. 5  $\lambda_m$  versus PCR for various values of N in algorithm 2.

이터 세션의 설정에 비하여 이동단말이 주기적으로 센서 데이터를 수집하고 이를 전송하는 형태이므로 제안하는 방법의 지연 발생은 큰 문제는 되지 않는다. 하지만 특별한 경우,  $\alpha, T_1, T_2$  등의 값을 조정함으로써 페이징 지연을 원하는 값이 이내로 설정하거나 연속적 페이징 수신 기법<sup>[4]</sup>으로의 전환이 가능하다.

### V. 결론

무선 센서 네트워크는 이동단말의 이동성이 적으며 대부분의 데이터 세션이 이동단말에 의하여 주기적으로 이루어지는 특징이 있으므로, IP 페이징 기법의 연속적인 페이징 방법을 적용시킬 경우 이동단말의 지속적인 전력 소모를 유발한다. 본 논문에서는 IP 기반 무선 센서 네트워크에서 이동단말의 전력 소모를 감소시키기 위한 간헐적 페이징 수신 기법을 제안하였다. 페이징 영역내의 라우터와 이동단말 사이에 동기화된 간헐적 페이징 신호의 송수신을 통하여 이동단말 수신 모듈의 전력 소모를 감소시키는 방법이 주요 개념이다. 수학적 분석의 결과, 이동단말의 이동성과 페이징 영역 내의 라우터의 수가 감소할수록 이동단말의 전력 소모가 현저히 감소함을 보여준다. 이러한 사실을 이용하면 제안하는 방법을 IP 기반 센서 네트워크에 적용할 경우 더욱 효과적이고 이상적인 저전력형 시스템 운용이 가능할 것으로 예측된다.

### 참고 문헌

- [1] C. Perkins, "IP mobility support", RFC 2002, IETF, 1996.
- [2] E. Fogelstroem, A. Jonsson, and C. Perkins, "Mobile IPv4 regional registration," RFC 4857, IETF, June 2007.
- [3] R. Ramjee, K. Varadhan, L. Salgarelli, S. R. Thuel, Shie-Yuan Wang, and T. La Porta, "HAWAII: a domain-based approach for supporting mobility in wide-area wireless networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 10, issue 3, pp 396-410, June 2002.
- [4] X. Zhang, J. G. Castellanos, and A. T. Campbell, "P-MIP : Paging extensions for mobile IP," Mobile Networks and Applications, vol. 7, pp. 127-141, 2002.
- [5] Bo Tao, Han Ding, and Y. L. Xiong, "IP sensor and its distributed networking application in

- e-maintenance,” in the Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2003. vol. 4, Oct. 2003.
- [6] S. Lei, W. Xiaoling, X. Hui, Y. Jie, J. Cho, and S. Lee, “Connecting heterogeneous sensor networks with IP based wire/wireless networks,” in the Proceedings of IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems and International Workshop on Collaborative Computing, Integration, and Assurance (SEUS 2006/WCCIA 2006), Apr. 2006.
- [7] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, “Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks,” IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 12, no. 3, June, 2004.
- [8] L. Kleinrock, *Queueing Systems Volume 1: Theory*, John Wiley & Sons, 1975.

---

 저 자 소 개
 

---



서 봉 수(정회원)

1993년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1995년 한국과학기술원 전기및전  
자공학과 석사 졸업.

1999년 한국과학기술원 전기및전  
자공학과 박사 졸업.

1999년~2004년 한국전자통신연구원 선임연구원

2004년~2005년 안동대학교 조교수

2005년~현재 공주대학교 정보통신공학부 부교수

<주관심분야 : 무선통신, 센서 네트워크>



최 진 식(평생회원)

1985년 서강대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1987년 한국과학기술원 전기및  
전자공학과 석사 졸업.

1995년 한국과학기술원 전기및  
전자공학과 박사 졸업.

1987년~1991년 (주)LG전자 정보통신 네트워크팀

1995년~2001년 공주대학교 조교수

2001년~2004년 한국정보통신대학교 조교수

2004년~현재 한양대학교 컴퓨터교육과 부교수

<주관심분야: 컴퓨터 네트워크, 스위칭 및 라우팅,  
이동성 관리>