

논문 2011-48CI-4-9

# 무선 센서 네트워크에서 동적 히스테리시스 특성을 이용한 이동 노드의 가입 방법

(Method for Joining Mobile Nodes in Wireless Sensor Networks using  
Dynamic Hysteresis)

이재형\*, 이응수\*, 김동성\*\*

(Jae-Hyung Lee, Eung-Soo Lee, and Dong-Sung Kim)

## 요약

본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 히스테리시스 특성을 이용한 이동 노드의 네트워크 가입 방법을 제안한다. 제안된 방법은 정적 히스테리시스 특성을 이용하여 이동 노드가 네트워크 전송 경계점에 위치했을 때 빈번히 가입과 탈퇴를 하게 되는 문제점을 해결한다. 그에 따라, 네트워크 가입 요청에 따른 주변 노드들의 응답 패킷을 줄여 에너지 소비를 효율적으로 관리 할 수 있다. 하지만 정적 히스테리시스 방법은 네트워크의 가입률을 감소시키게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 동적 히스테리시스 방법을 적용하여 가입률을 향상시킨다. 제안된 방법의 효율성을 증명하기 위해서 히스테리시스 모델들을 적용한 네트워크 가입 방법을 구현하여 이동 노드의 경로에 따라 효율적으로 네트워크 가입됨을 보였다.

## Abstract

In this paper, we propose a method for joining mobile nodes in wireless sensor networks using hysteresis features. It is possible to use static hysteresis, whereby joining and withdrawal are carried out repeatedly when a mobile node is located at boundary points. The energy consumption of the nodes can be effectively managed by a decrease in the response packets of the neighbors under the joining requests of the mobile nodes. However, static hysteresis causes a decrease in the joining rate. In order to increase the joining rate, dynamic hysteresis is used. To evaluate the performance of the proposed technique, the joining rate is investigated and analyzed. Simulation results show that the proposed method enables efficient joining according to the mobility of nodes in wireless sensor networks.

**Keywords :** Static/Dynamic hysteresis, Joining method, Wireless sensor networks, Mobile nodes

## I. 서론

최근 사회기반시설 안전, 산불, 산업시설 감시 및 국방 등의 분야에서 이동성 및 유연성 등으로 인해 다양한 무선 센서 네트워크 기술들이 연구되어지고 있다<sup>1~</sup>

<sup>3]</sup> 센서 네트워크 기술의 핵심 분야로는 센서네트워크 용 실시간 운영체제 기술, 무선 통신 기술, 위치 추정 기술, 네트워크 기술 (MAC 기술, 통신 보안 기술, 라우팅 기술 등), 저 전력 기술 등이 있다<sup>4~6]</sup>. 하지만 센서 네트워크는 기본적으로 고정된 위치에서 정보를 수집하는 노드들을 바탕으로 연구되었고, 노드의 이동성을 지원하기 위한 연구들은 많이 진행되지 않았다<sup>7~8]</sup>.

한편, 근래에 들어 와이파이존 (Wifi-zone)과 와이브로 (WiBro) 지역이 증가하고, 다양한 유비쿼터스 센서들의 개발로 노드의 이동성에 대한 관심이 고조되고 있다. IPv6 네트워크에서는 이동성을 제공하기 위해서

\* 학생회원, \*\* 정회원, 금오공과대학교 전자공학부 (School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

※ 본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.  
접수일자:2011년4월13일, 수정완료일:2011년6월27일

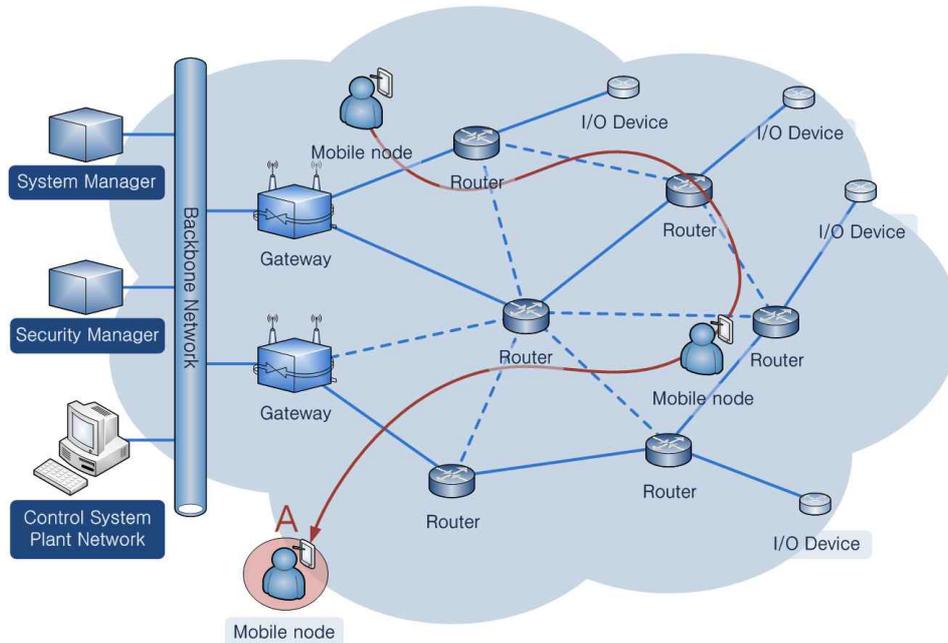


그림 1. 전송 경계점에서 이동 노드의 문제점  
 Fig. 1. Problem of mobile node at boundary point.

Mobile IPv6를 정의하였다<sup>[9]</sup>. Mobile IPv6는 홈 주소 (Home Address, HoA)와 임시 주소 (Care of Address, CoA) 간의 홈 에이전트 (Home Agent, HA)를 통한 바인딩 관리를 사용하여 노드의 이동성을 지원한다. Mobile WiMAX 표준에서는 MIP (Mobile IP)와 PMIP (Proxy Mobile IP)를 기반으로 하는 두 개의 3 계층 핸드오버 방안을 제공하여 노드의 이동성을 지원한다<sup>[10]</sup>.

현재 노드의 이동성을 지원하기 위한 방법은 고속 핸드오버를 위한 기술을 기반으로 연구가 이루어지고 있다. 이와 달리, 본 논문에서는 그림 1과 같은 무선 환경에서 이동 노드 (A지점)가 전체 네트워크의 전송 허용 경계점에 위치했을 때 발생하는 문제점을 분석하여 이를 해결하기 위한 방법을 제안한다.

무선 센서의 RSSI (Received Signal Strength Indicator)는 전파의 특성상 값이 선형적이지 못하고, 주변 환경에 의해 오차가 발생된다. 이러한 특성으로 네트워크에 가입되어 있는 이동 노드가 전송 경계점에 위치하게 되면, 빈번하게 가입과 탈퇴를 하게 될 확률이 높아진다. 그에 따라 많은 트래픽을 발생시켜 전체 네트워크 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 될 수도 있다.

본 논문에서는 임계구간에서 가입과 탈퇴를 집중적으로 반복하는 문제점을 해결하기 위해서 정적 히스테리시스 (Hysteresis) 특성을 이용한 네트워크 가입 방법

을 사용한다. 제안된 방법은 빈번한 가입과 탈퇴의 절차에 의해 발생하는 트래픽을 줄임으로써 이동 노드와 인접 노드들의 에너지 소모를 줄인다. 하지만 정적 히스테리시스는 가입기간을 줄여서 문제점을 해결하기 때문에 가입률을 향상시키기 위해서 가입 시기를 동적으로 가변하는 히스테리시스 특성을 이용한 네트워크 가입 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 히스테리시스 특성의 관련 연구에 대하여 소개한다. III장에서는 전송 경계점에서 이동노드의 문제점을 분석하고, 히스테리시스 특성을 이용한 네트워크 가입 방법을 제안한다. 이를 응용하여 보다 효율적인 동적 히스테리시스 특성을 이용한 가입 방법을 제안한다. IV장에서는 제안된 방법의 효용성을 증명하기 위해서 모의실험을 통한 성능 평가를 하고, 마지막 V장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

## II. 관련 연구

히스테리시스의 모델링은 일반적으로 물리적 법칙에 기초한 방법과 현상에 기초한 방법이 있다. 물리적 모델은 자기장 내에 발생하는 자기 모멘트와 에너지의 관계식에 의해서 히스테리시스 관계식을 유도해 내고, 역보상 과정을 거쳐 선형화 시키는 방법으로 Jiles-

Atherton 모델이 대표적이다<sup>[11]</sup>. 현상을 기초로 하는 대표적인 프라이자흐 (Preisach) 모델은 실제 측정에 얻어진 히스테리시스 데이터를 통해 커브의 위치에 따른 차별화된 가중치를 부여함으로써 선형화 시키는 방법이다<sup>[12]</sup>. 프라이자흐 모델은 여러 분야에서 다루어 지고 있으며 통신 분야에서는 다양한 측면에서의 핑퐁 (Ping-Pong) 현상에 따른 문제점을 해결하기 위해 사용되어 지고 있다. 대표적인 예로 적응형 변조기법에서는 BER (Bit Error Rate)을 이용하여 변조방법을 변경 시 히스테리시스 특성을 이용하여 변조 기법이 빈번히 변화되는 것을 방지한다<sup>[13]</sup>. 또한, 근래에 들어 이동성이 요구되는 노드들의 증가로 셀룰러 (Cellular) 네트워크의 핸드오버 (Hand-over) 기법을 위하여 많은 연구들이 이루어지고 실제 통신 모델에 적용되어지고 있다.<sup>[14-15]</sup>.

핸드오버는 이동 노드가 네트워크 시스템의 서비스 영역을 벗어나 인접 서비스 영역으로 이동할 때 통신 단절 없이 지속적으로 유지시켜주기 위한 기법이다. 이러한 핸드오버 기법은 두 개의 임계점을 이용한다. 첫 번째 임계점에서는 인접 라우터들의 RSSI에 의해 측정된 평균들을 이용하여 핸드오버 처리를 위한 적절한 새로운 라우터를 결정한다. 두 번째 임계점에서는 선택된 새로운 라우터를 통하여 핸드오버 처리를 실행한다. 이러한 두 개의 임계점은 히스테리시스 마진(Margin)을 가지고, 이러한 마진에 의해서 새로운 라우터와 기존의 라우터간의 핸드오버 처리가 빈번히 발생하는 문제점을 해결한다.

히스테리시스 특성을 이용한 핸드오버 기법의 연구들의 사례로 [16]에서는 서비스를 제공해주는 기지국의 신호 강도가 충분할 때 기지국의 임계점을 설정하여 불필요한 핸드오버를 방지하기 위한 EASS (Expected Average Signal Strength)를 제안한다. 셀 내부와 외부 사이에서의 핑퐁 현상을 방지하기 위해서 [17]에서는 핸드오버 히스테리시스 마진을 결정하기 위한 방법을 제안한다. 그리고 [18] 서는 서비스 제공 기지국과 핸드오버 처리를 위한 새로운 기지국과의 거리 정보를 이용하여 동적으로 히스테리시스 마진을 결정한다.

### III. 히스테리시스 특성을 이용한 네트워크 가입 방법

유선 통신기술과 무선 통신기술은 매질의 차이에 의해서 그림 2와 같은 특성 그래프로 나타난다. 무선 네

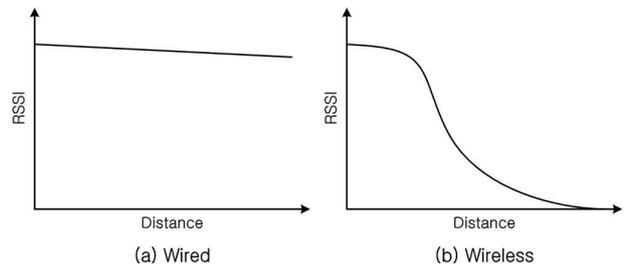


그림 2. 거리에 따른 수신 신호 세기의 특성

Fig. 2. Feature of RSSI by distance.

트워크 기술은 전파의 감쇄계수에 의해서 발생하는 문제점들 때문에 유선 기술과 다르게 다양한 기법들이 존재한다. 예를 들어 거리에 따라 신호의 세기가 감소되는 문제점에 의한 전력제어 기술<sup>[19]</sup>, 멀티홉 네트워크에서 지속적인 통신 유지를 위한 핸드오버 기법<sup>[20]</sup> 및 Hidden Terminal 문제를 해결하기 위한 충돌회피 기법<sup>[21]</sup> 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들과는 달리 네트워크 외곽의 전송 경계점에서의 문제점을 분석한다.

RSSI는 무선 센서 네트워크 환경에서 사용하는 RF 신호의 상대적인 크기를 나타내는 값이다. 이 상대적인 신호 크기는 dBm 단위 (-10 dBm~-200dBm)로 측정할 수 있다. 하지만 RSSI는 주변 환경에 의해 쉽게 오차가 발생되며, IEEE 802.15.4 기반 CC2420 모듈의 경우에는 평균 6 dBm (거리: 2m) 정도의 오차를 나타낸다.<sup>[22]</sup>

이러한 특성의 무선 네트워크 환경에서 이동 노드가 네트워크 외곽의 전송 허용 경계점에 위치할 때 RSSI의 오차에 의해 네트워크 가입과 탈퇴를 반복하게 되는 문제점이 발생된다. 그에 따라, 이동 노드의 빈번한 네트워크의 가입 및 탈퇴 절차 요청으로 불필요한 트래픽을 발생시키고, 그에 따른 에너지 소비가 증가된다. 또한, 이러한 노드들이 증가함에 따라 전체 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 될 수도 있다.

#### 1. 정적 히스테리시스 방법

본 논문은 네트워크 전송 경계점에서의 문제점을 해결하기 위해서 히스테리시스 특성을 갖는 네트워크 가입 방법을 제안한다. 그림 3은 간단한 형태의 프라이자흐 히스테리시스 곡선을 보여준다. 이러한 정적 히스테리시스 특성 곡선을 이용하여 특정 임계점에 빈번히 발생하는 현상들을 해결한다.

IEEE 802.15.4 표준에서는 실외에서의 최대 전송 허

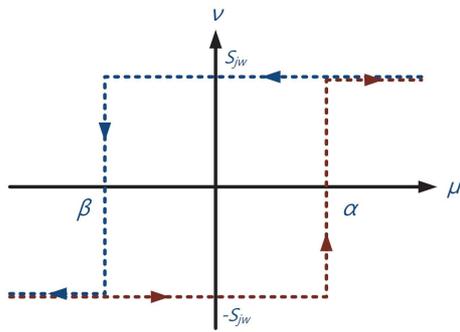


그림 3. 프라이자흐 히스테리시스 곡선

Fig. 3. Elementary Preisach model.

용 범위를 100m로 정의하고, 실내에서 신뢰적으로 데이터를 전송할 수 있는 거리를 20m로 정의한다<sup>[23]</sup>. 실제 환경에서는 이동 노드의 성능 오차와 주변 환경 요소들에 의해서 최대 전송 거리가 다르게 적용된다. 정적 히스테리시스 특성을 갖는 네트워크 가입 방법은 최대 전송할 수 있는 거리, 즉 탈퇴 시기를 20m로 가정하고, 가입 시기는 최대 2m 이내의 오차를 고려하여 18m로 가정한다. 이를 바탕으로 정적 히스테리시스 특성을 고려한 네트워크 가입 방법은 식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$\nu_n[\mu] = \begin{cases} S_{jw} & , \text{if } \mu \leq \alpha \\ -S_{jw} & , \text{if } \mu \geq \beta \\ \nu_{n-1}[\mu] & , \text{if } \beta < \mu < \alpha \end{cases} \quad (1)$$

$\mu$  : 거리                       $\nu_n$  : 네트워크 상태  
 $S_{jw}$  : 가입                       $-S_{jw}$  : 탈퇴  
 $\alpha$  : 18m 지점                   $\beta$  : 20m 지점

이동 노드가  $\beta$  를 벗어나게 되면 탈퇴를 하게 되고, 다시  $\alpha$  지점 범위 내로 진입하면 네트워크 가입을 하게 된다. 또한,  $\alpha$  와  $\beta$  사이에서는 기존 상태를 유지하게 된다. 이러한 특성에 의해서 노드의 주변 오차와 이동성에 의해 발생하는 문제점을 해결 할 수 있다.

다시 말해, 정적 히스테리시스 특성을 이용한 네트워크 가입 방법은 네트워크 전송 경계점에 이동 노드가 위치했을 때 빈번하게 가입과 탈퇴를 반복하는 문제점을 해결한다. 그림 4의 (a)의 경우, 임계점을 기준으로 가입과 탈퇴가 반복되는 것을 확인 할 수 있다. (b)의 경우는 정적 히스테리시스 특성을 고려하기 때문에 (a)의 경우보다 가입/탈퇴의 빈도수가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 하지만 정적 히스테리시스 방법은 가입 기

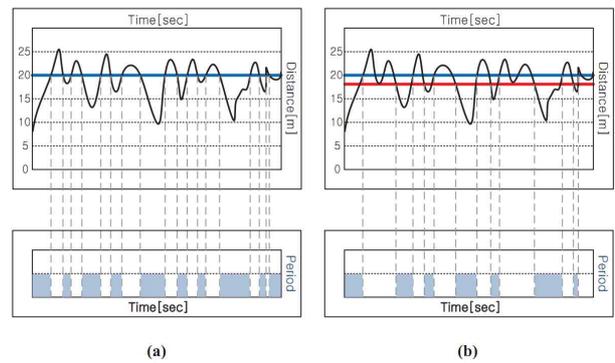


그림 4. 거리정보에 따른 가입 및 탈퇴 기간:

(a) 기존의 방법, (b) 정적 히스테리시스 방법.

Fig. 4. Joining and withdrawal period by distance:

(a) Existing method, (b) Static hysteresis.

간을 줄여서 빈번하게 발생하는 문제점들을 해결하기 때문에 가입률을 향상 시킬 수 있는 방법이 요구된다.

## 2. 동적 히스테리시스 방법

본 논문에서는 그림 5와 같이 거리에 따라서 영역을 정의한다. 전송 안정 지대는 G 영역 (Green Zone), 경고 지대는 Y 영역 (Yellow Zone), 그리고 위험 지대는 R 영역 (Red Zone)으로 나타낸다.

정적 히스테리시스 특성을 고려한 이동 노드의 가입 시기는 G 영역의 임계점에 의해서 결정되고, 탈퇴 시기는 R 영역의 진입 임계점에 의해서 결정된다. 하지만 정적 히스테리시스를 고려하게 되면 네트워크의 생존율이 절감되기 때문에 Y 영역에서 이동 노드의 가입률을 향상시키기 위한 동적 히스테리시스 특성을 고려한다.

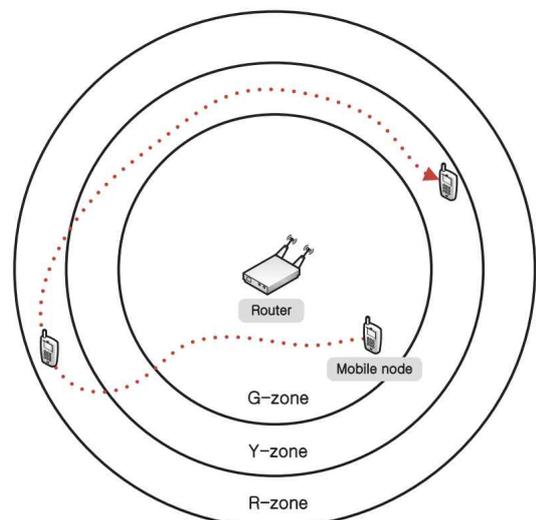


그림 5. 거리에 따른 네트워크 영역

Fig. 5. Network zones by distance.

그림 5의 이동 노드의 경우, 정적 히스테리시스 특성을 고려하게 되면 노드가 탈퇴 후 Y 영역에만 존재하기 때문에 재가입이 되지 않는다. 하지만 Y 영역은 실제적으로 통신범위 내에 존재하기 때문에 오랜 기간 Y 영역에 존재하고, 주변 환경에 의한 오차의 변폭이 작을 경우 네트워크 가입을 하는 것이 보다 효율적이다.

동적 히스테리시스 방법은 Y 영역에서의 가입률을 향상시키기 위해서 이동 노드의 상태에 따라 G 영역의 가입 임계점 ( $\alpha$ )을 동적으로 가변한다. 이동 노드가 R 영역으로 진입하여 네트워크 탈퇴를 하게 되면 재가입을 위해서 주기적으로 인접 노드들에게 “Scan request”를 송신하게 된다. 요청 신호를 수신한 인접 노드들은 “Scan response” 신호를 이동 노드에게 송신을 한다. 이 때, 이동 노드는 “Scan response” 신호를 수신하고 RSSI를 측정하게 된다. 동적 히스테리시스 방법은 이 주기적 RSSI 정보 (n, 인접 노드 → m, 이동 노드)를 이용하여 G 영역의 임계점을 식 2를 이용하여 동적으로 할당한다.

$$Gzone_n^m = G_d + (R_d - M_n^m) + W_g \quad (2)$$

$G_d$ 는 기존에 정의한 G 영역의 가입 임계점의 기본값이다. 가입 임계점을 설정하기 위해서 노드의 이동경로를 예측할 수 있다면, 즉 이동 노드가 R 영역과 가까워지는지 또는 G 영역과 가까워지는지를 판단할 수 있다면 보다 안정적으로 G 영역의 임계점을 설정할 수 있다.  $M_n^m$ 은 현재의 RSSI ( $R_n^m$ )값과 과거의 RSSI 값에 의해 결정되는 WMEWMA (Window Mean with

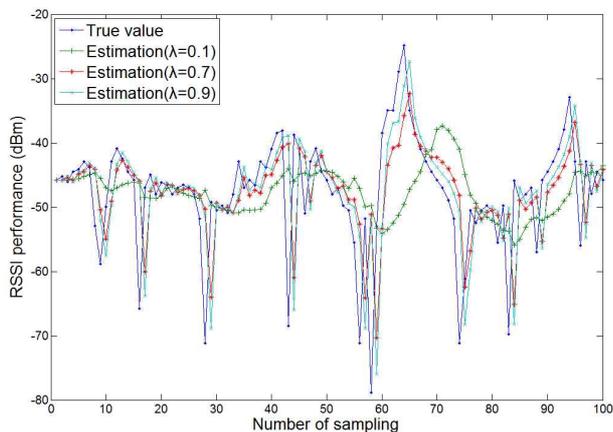


그림 6.  $\lambda$  값에 의한 RSSI 성능 평가  
Fig. 6. RSSI estimation performance under different values of  $\lambda$ .

Exponentially Weighted Moving Average)기반의 예측값이다<sup>[24]</sup>. WMEWMA 기법은 EWMA 기법을 개선시킨 방법으로 구조가 간단하여 동작 시 메모리를 적게 차지하고, 타임 윈도우 (Time Window)기반으로 계산 처리량이 적은 장점이 있다. WMEWMA 기법에 의해 결정되는 예측값은 Y 영역의 범위를 기반으로  $0m < M_n^m < 2m$ 의 범위로 설정되어야 하기 때문에 R 영역의 탈퇴 임계점에 의해  $R_d - M_n^m$ 을 취하게 된다. 이러한 예측모형 기반의  $M_n^m(t+1)$ 은 식 3과 같이 계산된다.

$$M_n^m(t+1) = \lambda R_n^m(t) + \frac{1-\lambda}{T} \sum_{k=\max(1,t-T)}^{t-1} M_n^m(k) \quad (3)$$

$T$ 는 타임 윈도우로 본 논문에서는 10으로 설정한다. 예측모형의 가중치인  $\lambda$ 는  $0 < \lambda < 1$  범위로 조절할 수 있다.  $\lambda$ 는 예측모형에서 가장 중요한 요소이며  $\lambda$ 가 작을 경우에는 과거값 보다 현재값에 가중치를 더 주게 되고,  $\lambda$ 가 클 경우에는 과거값 보다 현재값의 가중치가 더 크게 되므로 RSSI 변폭 특성에 맞는 적절한  $\lambda$ 를 정해야 한다.

그림 6은 적절한  $\lambda$ 를 찾기 위한 결과를 보여준다.  $\lambda$ 를 0.1씩 가변하면서 실험을 하였고, 비교를 위하여  $\lambda$ 의 최소값, 최대값, 그리고 최적값만 나타내었다. 그림 7은 실험 결과의 실제 RSSI와 예측값의 편차 합을 나타낸 그래프로  $\lambda$ 가 0.7일 때 편차 합이 가장 적은 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는  $\lambda$ 를 0.7로 설정한다.

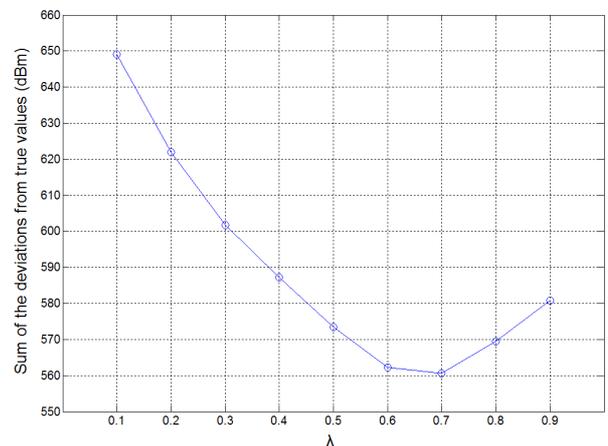


그림 7. 실제 값과  $\lambda$  값에 의한 예측값의 편차  
Fig. 7. Deviation from true values under different values of  $\lambda$ .

마지막으로 식 2의  $W_g$  는  $R_n^m$  의 변화량을 이용한 가중치이다. 그림 6에서 보듯이 RSSI의 값을 예측 하더라도 장애물이나 기타 전파간섭에 의해서 급격히 변화하는 RSSI에 대해서는 대처할 수 없는 것을 볼 수 있다.  $W_g$  는  $M_n^m$  과 함께 Y 영역에 존재하는 이동 노드의 가입 및 탈퇴를 판별하기 위한 변수로써 식 4와 같이 계산된다.

$$W_g = -\frac{\tan^{-1}(\Delta R_n^m)}{\eta} \quad (4)$$

$\Delta R_n^m$  은  $R_n^m(t-1) - R_n^m(t)$  인 이전값과 현재값의 변화량을 나타낸다. 무선 네트워크에서는 주변 환경의 특성에 따라 노이즈의 변폭차가 크다.  $W_g$  는 신호의 변화

값을 바탕으로 결정되기 때문에 다양한 네트워크에 적용할 수 있는 가중치 오프셋인  $\eta$  을 사용한다. 본 논문에서는 기본값으로  $\eta$  를 90°로 설정한다.

그림 8은 제안하는 동적 히스테리시스 특성을 이용한 이동 노드의 네트워크 가입 방법 순서도를 나타낸 것이다. 네트워크 가입과 탈퇴는 기본적으로 정적 히스테리시스 특성을 이용하여 결정을 한다. 하지만 이동 노드가 네트워크 탈퇴 후 Y 영역으로 복귀하게 될 경우에는 동적 히스테리시스 특성을 이용하여 네트워크 가입 및 탈퇴를 판별한다.

### IV. 모의실험

#### 1. 모의실험 환경

본 모의실험은 9개의 라우터와 1개의 이동노드를 구성하여 그림 9와 같은 노드 모델 환경으로 Visual C++ 를 이용하여 구현하였다. 모의실험은 120m × 75m 범위의 메쉬(Mesh) 토폴로지를 구성하였다. 제안된 방법의 성능분석을 위하여 이동 노드 경로는 네트워크 전송 허용 경계점을 기준으로 경로를 설정하였으며, 이동 노드와 각 노드들의 RSSI 크기는 2m의 오차 범위 내에서 랜덤 모델을 적용하였다. 최대 전송 범위는 20m, 히스테리시스의  $\alpha$  는 18m로 설정하였다. 그리고 이동 노드의 속도는 10m/s 로 설정하였다.

#### 2. 모의실험 성능분석

본 모의실험에서는 노드의 이동 경로에 따른 가입 횟수와 인접 노드들의 가입 응답 메시지 전송 횟수를 바탕으로 제안된 방법의 효율성을 성능분석 하였다. 제안된 방법의 성능 비교를 위한 기존의 방법은 히스테리시스 특성을 적용하지 않은 방법으로 사용하였다.

그림 10은 네트워크 전송 허용 경계점에서 히스테리시스 특성을 고려한 이동 노드의 네트워크 가입 횟수를 비교한 그래프이다. 기존의 방법은 20m 임계점을 기준으로 빈번히 네트워크 가입과 탈퇴를 반복하는 것을 볼 수 있다. 반면, 제안된 방법은 기존의 방법보다 적은 가입 횟수를 나타낸다. 하지만 가입 종속 기간이 긴 영역에서도 가입을 하지 않고 탈퇴를 유지하는 것을 볼 수 있다. 이는 정적 히스테리시스의 문제점을 보여준다. 이전의 실험과 같은 조건으로 정적 히스테리시스의 가입률이 낮아지는 문제점을 해결하기 위한 동적 히스테리시스를 적용한다. 동적 히스테리시스 방법은 정적 히스

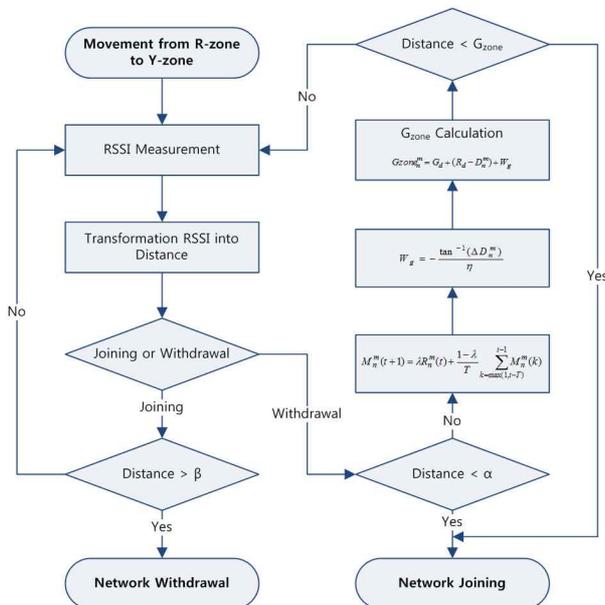


그림 8. 동적 히스테리시스 방법의 순서도  
Fig. 8. Flow chart of dynamic hysteresis method.

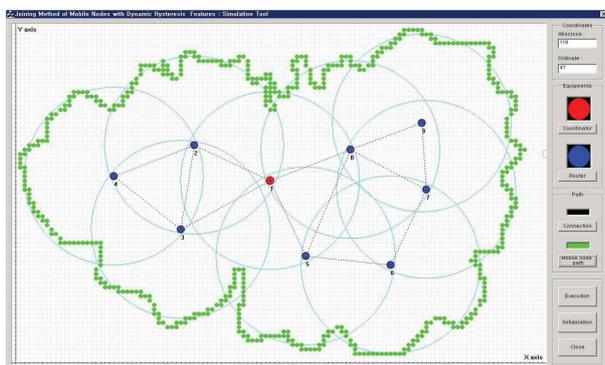


그림 9. 시뮬레이션 툴을 이용한 이동 노드의 경로 설정  
Fig. 9. Path of mobile node using simulation tool.

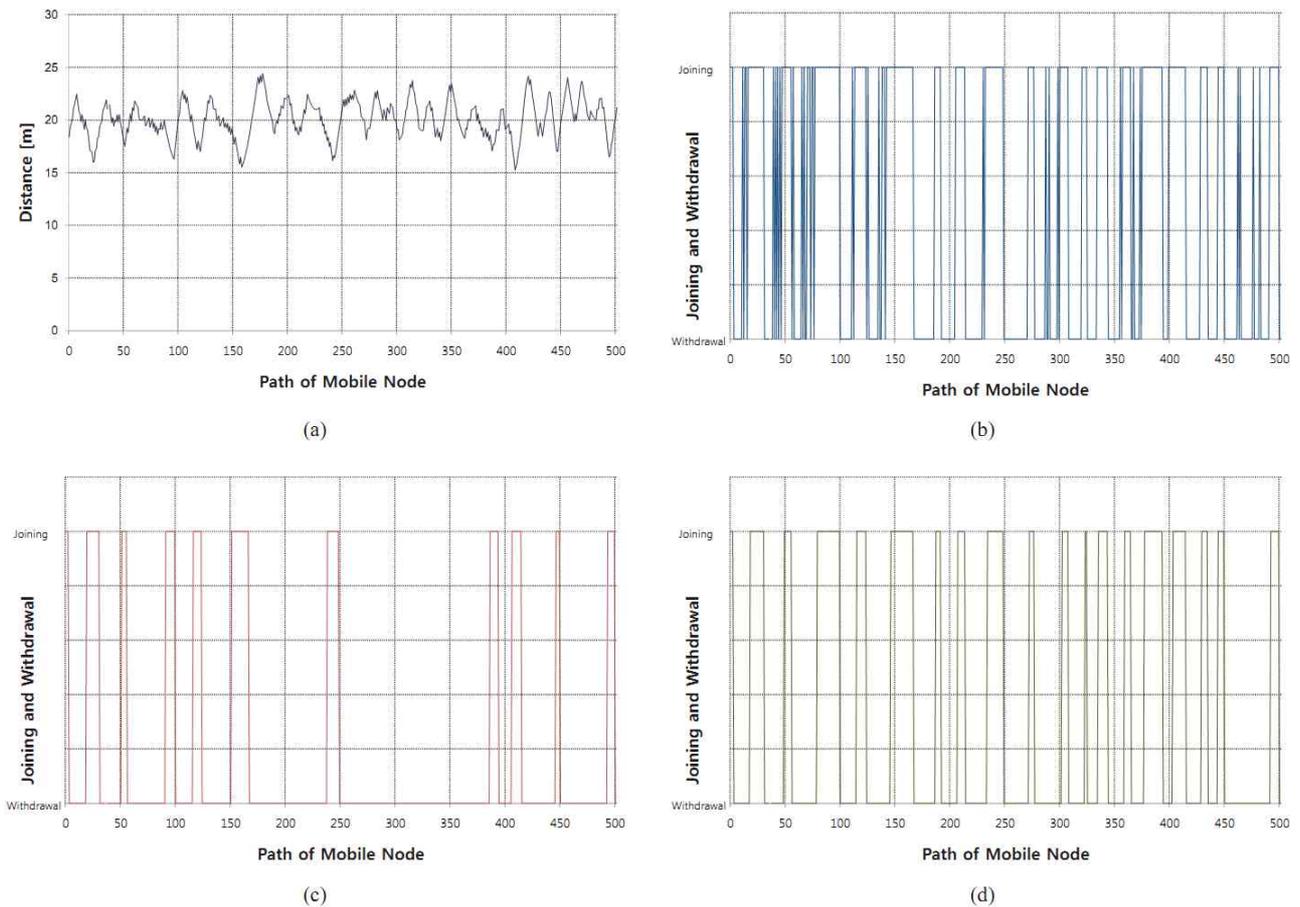


그림 10. 시뮬레이션 결과: (a) 인접 노드들에 의한 이동노드의 RSSI, (b) 기존의 방법, (c) 정적 히스테리시스 방법, (d) 동적 히스테리시스 방법.

Fig. 10. Simulation results: (a) RSSI of the mobile node by neighbors, (b) Existing method, (c) Static hysteresis method, (d) Dynamic hysteresis method.

표 1. 각 가입 방법의 네트워크 가입 횟수

Table 1. Number of joining by each joining method.

가입 방법	가입 횟수
기존의 방법	44
정적 히스테리시스 방법	11
동적 히스테리시스 방법	19

테리시스 방법과는 달리 Y 영역에서 동적으로 G 영역의 임계점을 가변함으로써 네트워크 가입 기간을 향상시킨 것을 볼 수 있다. 네트워크 중속 기간이 긴 영역에서는 대부분 가입이 되고 있는 것을 확인 할 수 있다.

제안된 방법은 정적 히스테리시스를 기반으로 네트워크 전송 허용경계점에서 빈번하게 가입 및 탈퇴를 하는 문제점을 해결한다. 그리고 Y 영역에서 동적 히스테리시스 특성을 고려하여 이동 노드의 네트워크 가입률

을 향상 시킨다.

표 1은 기존의 방법, 정적 히스테리시스 방법, 그리고 동적 히스테리시스 방법의 이동 노드의 네트워크 가입 시도 횟수를 보여준다. 기존의 방법은 핑퐁현상에 의해 불필요한 가입까지 포함하여 44번 네트워크 가입을 시도하였다. 반면, 제안된 방법은 동적으로 히스테리시스 특성을 이용하여 불필요한 가입을 하지 않으므로 19번 가입을 시도하였다.

그림 11은 모의실험 결과에서 각각의 가입 방법에 대한 가입률을 보여준다. 기존의 가입은 빈번하게 가입이 되는 경우를 포함하여 48.50%의 가입률을 나타낸다. 반면, 정적 히스테리시스는 18.36%를 나타내고, 동적 히스테리시스는 35.53%로 Y 영역에서 가입률을 약 17% 향상시킨 것을 볼 수 있다.

그림 12는 이동 노드의 네트워크 가입 요청에 따른 이웃 노드들의 트래픽 발생량을 나타내는 그래프이다.

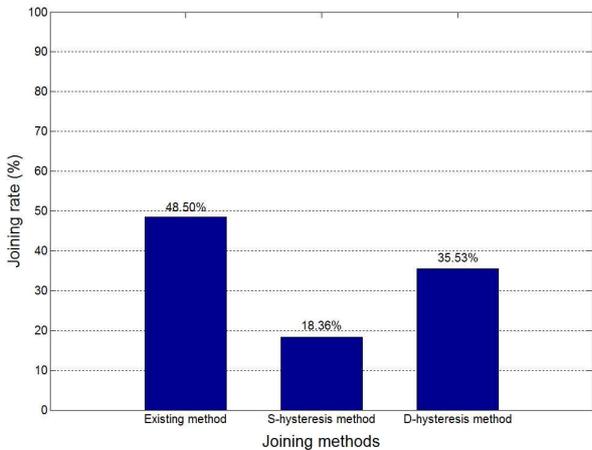


그림 11. 각 가입방법에 대한 네트워크 가입률  
Fig. 11. Joining rates by each joining methods.

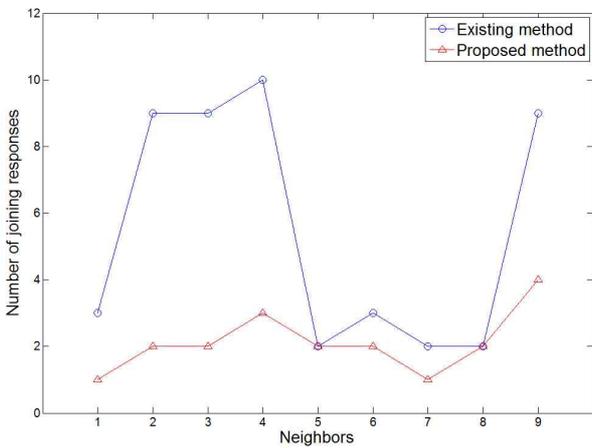


그림 12. 이웃노드들의 가입응답 횟수  
Fig. 12. Number of joining responses of neighbors.

기존의 방법은 이동 노드의 가입 요청에 따라 이웃 노드들의 응답 평균이 5.44회로 나타났다. 반면, 제안된 동적 히스테리시스 특성을 적용한 방법은 기존의 방법보다 감소된 2.11회로 나타났다. 특히 노드 4의 경우, 기존의 방법은 이동 노드의 가입 요청에 의해 10번 응답 메시지를 전송하였지만 제안된 방법은 응답 메시지를 3번만 전송 하였다. 이 결과는 제안된 방법이 기존의 방법보다 불필요한 트래픽을 발생시키지 않는다는 것을 보여준다. 모의실험에서는 한 번의 응답으로만 대처하였지만 실제적인 네트워크 가입 절차의 경우 보다 많은 양의 패킷이 요구될 것이다.

실제 무선 네트워크 환경에서는 시뮬레이션 환경보다 더 많은 노드들을 요구한다. 그리고 이동 노드의 주변 노드수가 증가 할수록 네트워크 가입 및 탈퇴 절차에 의해 발생하는 트래픽도 증가하게 된다. 시뮬레이션 결

과 제안된 방법은 이러한 문제점을 해결하여 불필요한 트래픽에 의한 에너지 소비를 절감 시키고, 시스템의 성능을 유지시키며 노드의 이동성을 지원함을 보였다.

### V. 결 론

본 논문은 무선 통신망 환경에서 노드의 이동성에 따른 동적 히스테리시스 특성을 고려한 네트워크 가입 방법을 제안하였다. 히스테리시스 특성을 고려한 네트워크 가입 방법은 노드의 전송 허용 경계점에서 빈번하게 네트워크 가입과 탈퇴를 반복하는 문제점을 해결하였다. 이를 통해 이동 무선 노드의 에너지 소비를 효율적으로 관리할 수 있었다.

또한, 모의실험을 통하여 제안된 방법이 기존의 방법보다 가입 요청 횟수를 줄여 불필요한 트래픽이 발생하는 것을 방지함을 보였다. 그리고 효율적으로 네트워크에 가입하는 것을 볼 수 있었다.

향후 연구를 통해 본 논문에서 제안된 동적 히스테리시스 가입 방법을 실장한 통신 모델을 설계하고 구현하고자 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. Willig, "Recent and emerging topics in wireless industrial communications: A selection," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 4, pp. 102-124, 2008.
- [2] F. De Pellegrini, D. Miorandi, S. Vitturi, and A. Zanella, "On the use of wireless networks at low level of factory automation systems", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 2, pp. 129-143, 2006.
- [3] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey", *Computer Networks, Elsevier Science*, Vol. 52, pp. 2292-2330, 2009.
- [4] 김동성, 이정일, "실시간 혼합 트래픽 전송을 위한 산업용 IEEE 802.15.4 망의 체계적 전송 기법," *대한전자공학회논문지*, 제45권, CI편, 제6호, 18-26쪽, 2008년.
- [5] Oka, A., Lampe, L., "Data extraction from wireless sensor networks using distributed fountain codes," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 57, pp. 2607-2618, 2009.
- [6] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey," *Computer Networks, Elsevier Science*, Vol. 52,

- pp. 2292-2330, 2009.
- [7] 이재형, 이응수, 김동성, “센서 네트워크의 이동 노드를 위한 효율적 네트워크 구성 방법,” *대한전자공학회논문지*, 제47권, CI편, 제6호, 655-665쪽, 2010년.
- [8] Caimu Tang and We, D.O., “An Efficient Mobile Authentication Scheme for Wireless Networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 7, pp. 1408-1416, 2010.
- [9] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko (2005). Mobility Support in IPv6. IETF RFC 3755.
- [10] WiMAX Forum, “WiMAX System Evaluation Methodology V2.1,” Jul. 2008. Available at web: <http://www.wimaxforum.org/technology/documents>
- [11] Carpenter, K.H. “A differential equation approach to minor loops in the Jiles-Atherton hysteresis model,” *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 27, pp. 4404-4406, 2002.
- [12] R. Venkataraman, P.S. Krishnaprasad, “Approximate inverse of hysteresis : theory and numerical results”, *In proceeding of the 39th IEEE Conference on Decision and control*, pp. 1-10, Jan. 2000.
- [13] I.-T. Hwang, T.-W. Jang, M.-G. Kang, S.-M. No, J.-Y. Son, D.-S. Hong, and C.-G. Kang, “Performance analysis of adaptive modulation and coding combined with transmit diversity in next generation mobile communication systems,” *Future Generation Computer Systems, Elsevier Science*, Vol. 20, No. 2, pp. 189-196, 2004.
- [14] H.-J. Lee, D.-W. Kim, B.-C. Chung, and H.-S. Yoon, “QoS-Oriented Intersystem Handover Between IEEE 802.11b and Overlay Networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 57, pp.1142-1154, 2008.
- [15] Garmonov, A.V., S.-H. Cheon, D.-H. Yim, K.-T. Han, Y.-S. Park, Savinkov, A.Y., Filin, S.A., Moiseev, S.N., and Kondakov, M.S., “Adaptive Hysteresis Using Mobility Correlation for Fast Handover,” *IEEE Communications Letters*, Vol. 12, pp. 152-154, 2008.
- [16] Marichamy, P. and Chakrabarti, S. “On threshold setting and hysteresis issues of handoff algorithms,” *In proceeding of the IEEE Pervasive Computing and Communications*, pp. 436-440, 1999.
- [17] Cruz-Perez, F.A., Seguin-Jimenez, A., and Ortigoza-Guerrero, L., “Effects of handoff margins and shadowing on the residence time in cellular systems with link adaptation”, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 5pp. 3409-3413, 2004.
- [18] Shyam Lal and Panwar, D.K., “Coverage Analysis of Handoff Algorithm with Adaptive Hysteresis Margin”, *In proceeding of the Information Technology*, pp. 133-138, 2007.
- [19] Nan Feng, “Joint Network-Centric and User-Centric Radio Resource Management in a Multicell System,” *IEEE Transaction on Communication*, Vol. 50, No. 7, pp, 1114-1118, Jul. 2005.
- [20] S.-J. Yoo, D. Cypher, and N. Golmie, “Predictive link trigger mechanism for seamless handovers in heterogeneous wireless networks,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 9, No. 5, pp. 685-703, 2009.
- [21] Kuge, T. Ohno, K, and Itami, M, “An analysis of performance degradation caused by hidden terminal and its improvement in Inter-Vehicle communication,” *In proceeding of the Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST'09)*, pp. 482-485, Oct. 2009.
- [22] Texas Instrument. CC2420 Data Sheet. Available at web:<http://www.ti.com/lit/gpn/cc2420>
- [23] IEEE standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirement part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (WPANs), IEEE Std 802.15.4a-2007(Amendment to IEEE Std 802.15.4-2006), 2007.
- [24] A.Woo, T. Tong, and D. Culler, “Taming the underlying challenges of reliable multihop routing in sensor networks,” *In proceeding ACM Sensys*, pp. 14-27, Nov. 2003.

---

 저 자 소 개
 

---

이재형(학생회원)

대한전자공학회논문지-CI 제47권 제6호 참조

이응수(학생회원)

대한전자공학회논문지-CI 제47권 제6호 참조

김동성(정회원)

대한전자공학회논문지-CI 제47권 제6호 참조